

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOTERMAL ALANLARIN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
ARAŞTIRILMASI: BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

Esin ÖZGÜLEŞ

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Züheyr KAMACI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
3.1. Jeotermal Enerji Nedir?.....	6
3.2. Jeotermal Kaynak.....	7
3.3. Jeotermal Sistem	8
3.3.1. Jeotermal sistemlerin sınıflandırılması.....	9
3.3.1.1. Jeotermal sistemlerin sıcaklıklarına göre sınıflandırılması	9
3.3.1.2. Jeotermal sistemlerin fiziksel durumlarına göre sınıflandırılması	10
3.3.1.3. Jeotermal sistemlerin doğal durumu ve jeolojik konumuna göre sınıflandırılması	10
3.4. Dünyada Jeotermal Sistemlerin Yayılımı.....	11
3.4.1. Aktif kıta kenarındaki jeotermal sistemler	11
3.4.2. Okyanus ortası sırtlar üzerindeki jeotermal sistemler	12
3.4.3. Yaygın aktif kıta yarıkları üzerindeki sistemler.....	12
3.4.4. Kıtasal yarıklar üzerindeki diğer sistemler	12
3.4.5. Aktif volkanik adalarla ilgili sistemler	12
3.4.6. Normal ve normalden yüksek ısı akısı ile ilgili sistemler	12
3.5. Önemli Jeotermal Kuşaklar	13
3.5.1. And Volkanik Kuşağı.....	13
3.5.2. Alp – Himalaya Kuşağı	13
3.5.3. Karayip Adaları.....	13
3.5.4. Orta Amerika Volkanik Kuşağı	13
3.6. Türkiye’de Jeotermal Enerji	14

3.7. Jeotermal Aramadaki Süreçler.....	18
3.8. Jeotermal Aramada Kullanılan Jeofizik Yöntemler	18
3.8.1. Manyetik yöntem	19
3.8.2. Gravite yöntemi.....	20
3.8.3. Elektrik - Elektromanyetik yöntemler	21
3.8.3.1. Doğru akım öz direnç yöntemi	22
3.8.3.2. Doğal gerilim (SP) yöntemi	24
3.8.3.3. Etkisel kutuplaştırma (IP) yöntemi	25
3.8.3.4. Manyetotellürik yöntem	26
3.8.3.5. Çok düşük frekanslı elektromanyetik (VLF) yöntem.....	28
3.8.3.6. Geçici elektromanyetik (TEM) yöntem.....	29
3.8.4. Termal yöntemler	29
3.8.5. Sismik yöntem	30
3.8.6. Kuyu jeofiziği	32
3.9. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu	33
3.10. Büyük Menderes Grabeni ve Çalışma Alanının Genel Jeolojisi	35
3.11. Çalışma Alanının Jeotermal Açidan Değerlendirilmesi.....	38
3.12. Çalışma Alanında Uygulana Jeofizik Yöntemlerde Kullanılan Cihazlar.....	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	40
4.1. Gravite Anomali Haritalarının Analiz ve Değerlendirilmesi	40
4.2. Manyetik Anomali Haritalarının Analiz ve Değerlendirilmesi	44
4.3. IP/ Rezistivite Yöntemi ve Elektrik Yapı Kesitleri.....	47
4.4. DES (Düşey Elektrik Sondajları).....	53
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	64
6.KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

JEOTERMAL ALANLARIN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI: BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

Esin ÖZGÜLEŞ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Züheyr KAMACI

Jeotermal enerjinin, diğer fosil enerji kaynaklarına göre daha temiz, yenilenebilir ve ekonomik olması son yıllarda tüm dünya ülkelerinin bu enerji türüne olan ilgilerini arttırmıştır. Buna bağlı olarak ülkemizde de jeotermal enerji daha aktif bir şekilde kullanılmaya başlanmış ve yeni sahaların devreye girme gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu sebeple bu çalışmada jeotermal alanların potansiyelinin ortaya konulmasına ve kırık sistemlerinin tespitine yönelik jeofizik çalışmalarda hangi jeofizik yöntemlerin kullanıldığı açıklanmıştır. Kullanılan yöntemlerin birbirlerine göre güçlü ve zayıf yönleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışma bir uygulama örneği ile pekiştirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada Jeofizik Servisi ve İleri Teknolojiler Ltd. Şti. tarafından Aydın il merkezi ile Germencik arasında yer alan çalışma sahasının jeotermal enerji potansiyelinin belirlenmesi amacıyla daha önceden toplanmış olan elektrik, gravite ve manyetik veriler yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu verilerden yararlanılarak çalışma alanındaki olası fay sistemleri ve jeotermal sistemle ilgili olabilecek horst-graben yapıları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sonuçta yapıya uygun olarak bir jeotermal yer altı modeli geliştirilmiş ve yapılan çalışmalar ışığında araştırma bölgesinde sondaj için düşünülen muhtemel potansiyel alan belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, jeofizik yöntemler, elektrik, gravite, manyetik.

2011, 74 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXPLORATION OF GEOTHERMAL FIELDS BY MEANS OF GEOPHYSICAL METHODS: A CASE STUDY

Esin ÖZGÜLEŞ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Geophysical Engineering Department**

Supervisor: Asst.Prof.Dr. Züheyr KAMACI

Since geothermal energy is more clean, renewable and economic than the other energy sources, in recent years, all world countries increased their interest on this energy. Accordingly, in our country, geothermal energy has been started to be used more common and new geothermal areas need to be opened. Therefore, this study defines which geophysical methods are used for geothermal studies whose aim is to define the potential of geothermal fields and to locate the fracture crack systems. The weak and the strong points of the used methods tried to be introduced according to the each other. This study was consolidated with a case example.

In this study, the electric, gravity and magnetic data, which are collected to define the geothermal energy potential in the study area between the city centre of Aydın and Germencik by Geophysical Service and Advanced Technologies Ltd. Co., tried to be interpreted. By the help of these data, Horst-Graben structures which can be related with potential fault and geothermal systems in the work area, tried to be explained. Eventually, one geothermal underground model is improved which is suitable for the structure then with the help of these studies, the potential area is defined which has to be thought for drilling in the searching area.

Key Words: Geothermal energy, geophysical methods, electric, gravity, magnetic.

2011, 74 pages

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, beni her zaman yönlendiren ve bana her zaman yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Züheyr KAMACI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Literatür araştırmalarımnda, benden bilgisini ve emeğini hiç esirgemeyen Dokuz Eylül Üniversitesi'nden değerli hocam Prof. Dr. Coşkun SARI' ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca uygulama alanında sağladığı olanaklardan ve verilerden ötürü başta Sayın Jeofizik Yüksek Mühendisi Hakan ÇAVAŞ olmak üzere Jeofizik Yüksek Mühendisi Seyfullah TUFAN, Jeofizik Mühendisi Serkan ÖZCAN, Fizikçi Mert PINARBAŞI ve diğer tüm Jeofizik Servisi ve İleri Teknolojiler Ltd. Şti. çalışanlarına teşekkür ederim.

1996-YL-09 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne teşekkür ederim.

Tez sürecinde benden yardımlarını hiç esirgemeyen, her zaman manevi destek veren canımdan çok sevdiğim aileme gösterdikleri sabır ve özveriden dolayı teşekkür ederim.

Esin ÖZGÜLEŞ

ISPARTA, 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Yerkürenin yapısı ve sıcaklık dağılımı.....	6
Şekil 3.2. Jeotermal akışkanın oluşumu.....	7
Şekil 3.3. Jeotermal sistemin oluşum modeli	9
Şekil 3.4. Türkiye jeotermal kaynaklar dağılımı ve uygulama haritası	14
Şekil 3.5. Türkiye ısı akısı haritası	17
Şekil 3.6. Yozgat Sarıkaya sahasına ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası	19
Şekil 3.7. Rezidüel gravite anomali haritası.....	21
Şekil 3.8. Bir hat boyunca elde edilen yer elektrik kesiti ve jeolojik yorumı	23
Şekil 3.9. İki boyutlu rezistivite ve IP çalışmalarına örnek	26
Şekil 3.10. Aliğa sahasında iki boyutlu ters-çözüm sonucu elde edilen gerçek öz direnç dağılımı ve jeolojik yorum	27
Şekil 3.11. CSAMT 2 boyutlu profil kesitine örnek.....	28
Şekil 3.12. Çalışma alanını (Aydın civarı) gösteren yer bulduru haritası.....	33
Şekil 3.13. İnceleme alanının yer bulduru haritası	33
Şekil 3.14. İnceleme alanının uydu görüntüsü ve jeofizik çalışma	34
Şekil 3.15. Açılı arazi görüntülenmesi.....	34
Şekil 3.16. Çalışma alanındaki grabenin jeolojik kesiti.....	35
Şekil 3.17. Aydın-İzmir civarının genel jeoloji haritası.....	37
Şekil 3.18. IP/ Rezistivite ölçümlerinde kullanılan cihazlar	38
Şekil 3.19. Gravite ölçümlerinde kullanılan cihazlar	39
Şekil 3.20. Manyetik ölçümlerinde kullanılan cihazlar	39
Şekil 4.1. Çalışma alanı gravite etüdü nokta dağılım haritası.....	40
Şekil 4.2. Çalışma alanı gravite anomali renk, kontur haritası.....	41
Şekil 4.3. Çalışma alanı rezidüel gravite anomalileri renk, kontur haritası	42
Şekil 4.4. Çalışma alanı rezidüel gravite anomalileri 3B görüntüsü	42
Şekil 4.5. Çalışma alanı ve çevresinin 3B yükseklik görüntüsü ve üzerinde rezidüel gravite anomalileri.....	43
Şekil 4.6. Çalışma alanı ve çevresinin renklendirilmiş 3B yükseklik görüntüsü ve üzerinde rezidüel gravite anomalileri	43

Şekil 4.7. Çalışma alanı manyetik etüdü nokta dağılım haritası	44
Şekil 4.8. Çalışma alanı toplam bileşen manyetik anomali renk, kontur haritası...	45
Şekil 4.9. Çalışma alanı ve çevresinin 3B yükseklik görüntüsü ve üzerinde toplam bileşen manyetik anomalileri	46
Şekil 4.10. Çalışma alanı ve çevresinin renklendirilmiş 3B yükseklik görüntüsü ve üzerinde toplam bileşen manyetik anomalileri.....	46
Şekil 4.11. Çalışma alanında belirlenen RES 1 ve RES 2 hatları.....	47
Şekil 4.12. Res 1 hattı için uygulanmış 2B rezistivite ve IP çalışması.....	48
Şekil 4.13. Res 2 hattı için uygulanmış 2B rezistivite ve IP çalışması.....	49
Şekil 4.14. RES 1 hattı 2B elektrik yapı kesiti ve daha önceden modellenmiş yapı kesiti	51
Şekil 4.15. RES 2 hattı 2B elektrik yapı kesiti	52
Şekil 4.16. DES noktaları lokasyon haritası.....	53
Şekil 4.17. DES noktaları açılım haritası.	53
Şekil 4.18. DES 2 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti.	54
Şekil 4.19. DES 3 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti.	54
Şekil 4.20. DES 4 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti.	55
Şekil 4.21. DES 5 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti.	55
Şekil 4.22. DES 6 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti.	56
Şekil 4.23. DES 7 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti.	56
Şekil 4.24. DES 8 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti.	57
Şekil 4.25. DES 2. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 10,37.....	58
Şekil 4.26. DES 3. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 9,67.....	58
Şekil 4.27. DES 4. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 16,48.....	59
Şekil 4.28. DES 5. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 24,64.....	59
Şekil 4.29. DES 6. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 39,85.....	60

Şekil 4.30. DES 7. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 40,50.	60
Şekil 4.31. DES 8. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 9,53.	61
Şekil 4.32. DES 1, DES 3, DES 4, DES 5 verilerine ters çözüm yapılarak oluşturulmuş 2B yapı kesiti	62
Şekil 4.33. DES 6, DES 7, DES 8 verilerine ters çözüm uygulanması sonucu ortaya çıkan 2B yapı kesiti.....	63
Şekil 5.1. Sondaj için düşünülen muhtemel potansiyel alan.	65
Şekil 5.2. Konvektif hidrotermal sistemin genelleştirilmiş olası modeli.	66

KISALTMALAR DİZİNİ

AMT	Audio Manyetotellürük
CSAMT	Controlled Source Audio-frequency Magnetotelluric
DES	Düşey elektrik sondaj
EM	Elektromanyetik
IP	İndüklem polarizasyon
JICA	Japan International Cooperation Agency
MT	Manyetotellürük
MTA	Maden Teknik Arama
Mgal	miligal
mV/ V	milivolt/ volt
Ohm. m	Ohmmetre
SP	Self potansiyel
TEM	Transient Electromagnetics
VLF	Very Low Frequency Electromagnetic
RMS	Ağırlıklı Ortalama Değer

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı son zamanlarda tüm dünya ülkelerinin başlıca sorunudur. Nüfusun hızla artması, sanayinin ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte açığa çıkan enerji ihtiyacı insanoğlunu yeni enerji kaynakları aramaya yöneltmiştir. Kömür, petrol gibi fosil enerji kaynaklarının ilerideki yüzyıllarda tükenme olasılığı vardır. Bu bakımdan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu amaçla son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmış ve araştırılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de jeotermal enerjidir. Yerkürenin farklı derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı 20 °C den fazla olan ve çevresindeki yer altı sularına göre daha fazla mineral, gaz ve tuz içeren sıcak su ve buharın yeryüzüne çıkarılarak kullanılması jeotermal enerji olarak tanımlanır (Eroğlu, 2008). Jeotermal enerjinin fosil enerji kaynaklarına göre birçok avantajı vardır. Jeotermal enerji ekonomik, temiz, yenilenebilen, yerli, dışa bağımlılığı olmayan bir enerji kaynağıdır. Bu özelliklerinden dolayı dünyada ve ülkemizde kullanım alanları oldukça gelişmiştir. Jeotermal enerjinin kullanım alanları yaygın olarak elektrik üretimi, ısıtma (sera, konut, hayvan çiftlikleri), endüstriyel uygulamalar ve kaplıca tedavileridir.

Bir jeotermal alanın oluşabilmesi için ısı kaynağı, gözenekli bir hazne kaya, geçirimsiz örtü kaya ve yeterli su beslenmesi gerekmektedir. Jeotermal akışkan içeren hazne kaya ve onu çevreleyen ortam jeofizik yöntemlerle kolayca algılanıp haritalanabilecek fizikî özelliklere sahiptir. Jeotermal alanların en çarpıcı özelliği çevrelerine göre yoğun sıcak ortam içermeleridir, bu nedenle ısının kayaçların fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyen jeofizik yöntemler arama faaliyetlerinin temelini oluşturmaktadır (Şener vd., 1986). Sıcak su anomalilerini doğrudan gösteren ve mekanik sondaj yerlerinin belirlenmesinde en etkili yöntemler termal ve jeoelektrik yöntemlerdir. Ancak bu jeofizik yöntemlerden başka gravite, manyetik, sismik, kuyu jeofiziği ve loglarının birlikte kullanılması halinde daha yararlı sonuçlar ortaya çıkacağı aşikârdır. Jeofizik yöntemler sayesinde, yeraltının yapısını ve yer altı hidrojeolojik koşullarını ortaya çıkarmak, örtü kalınlığını

saptamak, jeotermal akışkanı taşıyan kırık–çatlak ve fayları ortaya koymak ve sondaj yerlerini tespit etmek mümkündür.

Bu tez çalışmasında, jeotermal alanların jeofizik yöntemlerle aranması üzerinde durulmuş, Jeofizik Servisi ve İleri Teknolojiler Ltd. Şti. tarafından 2009 yılında Aydın il merkezinin batısı ile Aydın iline bağlı Germencik ilçesinin kuzeyinde yer alan çalışma sahasında elektrik, manyetik ve gravite yöntemleriyle toplanmış veriler değerlendirilerek yorumlamaya gidilmiştir.

Çalışmanın amacı, söz konusu jeotermal enerjiyi ortaya koymak için birlikte kullanılması gereken jeofizik yöntemlerle sıcak su anomalilerinin gösterilmesi ve mekanik sondaj yerlerinin belirlenmesinde bu yöntemlerin birbirlerine göre güçlü ve zayıf yönlerinin ortaya konulmasıdır. Ayrıca çalışma sahası için uygun bulunan elektrik yöntem ile elektrik yönteme yardımcı olmak amacıyla seçilen gravite ve manyetik yöntemlerin bazı özelliklerinden yararlanarak çalışma alanının olası faylarını ve/veya fay sistemlerini ve jeotermal sistemle ilgili olabilecek graben ve horst yapılarının ortaya çıkarılması ile birlikte jeotermal sistemin modellenmesine gitmektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Jeofizik yöntemlerin jeotermal alan aramadaki önemi ve jeotermal alanların jeofizik yöntemler kullanılarak araştırılması hakkında çok sayıda araştırma mevcuttur.

Craig (1961), jeotermal akışkanı oluşturan suların genelde meteorik kökene sahip olduklarından, yerkabuğundaki hazneleri sürekli olarak beslenebilmekte ve jeotermal kaynağın sürekli olarak yenilenebilmekte olduğunu söylemiştir.

Erden (1965), Manisa-Salihli-Kurşunlu kaplıcaları ve civarında yaptığı gravite etüdünde sahanın güney kısmında Bouger konturlarının sıklaştığını ve ikinci türev haritalarındaki doğu-batı yönlü faylarla aynı yerlerde Kurşunlu ve çamur kaplıcalarının yer aldığını belirlemiştir. Gülay (1970) tarafından, Kurşunlu kaplıcaları ve civarında yapılan öz direnç çalışması sonucunda kuzeye doğru derinleşen temel yapı ortaya çıkarılmış, Neojen çökellerin kalınlıkları saptanmıştır.

MTA Genel Müdürlüğünün gerçekleştirdiği önemli bir proje olan Jeotermik Enerji Araştırmaları kapsamında Ekingen (1969) tarafından Dikili-Bergama alanında yapılan jeofizik gravite etüdü ile Dikili ve Kiroba yükselimsellerinin önemli birer jeotermal potansiyel alan olduğu ortaya konmuştur.

Ekingen (1970), Seferihisar jeotermal alanında jeolojik birimler arasındaki yoğunluk farkını kullanarak, taban topografyasının yapısını ve derinliğini çıkarmak, magmatik sokulumların dağılımını saptamak ve tektonik hatları belirlemek amacıyla yaklaşık 1000 km²’ lik bir alanda gravite çalışmaları yapmıştır.

Tezcan (1971) ve Demirören (1971) Schlumberger elektrik sondajlarından yararlanarak Türkiye’deki jeotermal alanları haritalamışlardır.

Simav jeotermal sahasındaki ilk jeofizik çalışmalar; Yücel vd. (1983) tarafından jeotermal etüt amaçlı 1/25 000 ölçekli haritalama çalışması, Uslu ve Demirbaş (1986) tarafından gravite ve Özen (1988) tarafından rezistivite çalışmalarıdır. Bu çalışmalarla graben yapısı, graben alanının üstündeki ve sınırlarındaki faylar, örtü

kayanın kalınlığı, rezervuarın temel derinliği ve yeri hakkında yorumlamalarda bulunulmuştur.

Şener vd. (1986), hazne kayanın yerini, derinliğini ve uzanımını, örtü kaya kalınlığını ve hazne kayaç içinde sıcak odak noktalarını saptayarak bunların düşey ve yatay etki sınırlarını belirlemek gibi amaçlarla yapılan jeofizik çalışmaların ülkemizde başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Yüzeysel gözlemlere dayanan diğer araştırma yöntemleriyle elde edilemeyecek parametrelerin jeofizik araştırma metotlarından bir veya birkaçını bir arada uygulayarak belirlenebileceğini belirtmişlerdir.

JICA-MTA (1987), Dikili- Bergama civarında yapılan çalışmalarda ilk kez elektromanyetik yöntemle (Kontrol Kaynaklı Audio Manyetotellürik- 693 nokta) birlikte gravite (81 nokta) ve öz direnç yöntemleri de kullanılmış ve bölgenin derin yapısı ile jeolojik bilgiler edinilmeye çalışılmıştır.

Blakely (1995), manyetik özellik göstermeyen kayaçlar ile manyetik özellik gösteren kayaçlar arasındaki manyetizasyon farkından faydalanarak, fayların ve jeolojik yapıların yerlerinin belirlenebileceğini açıklamıştır.

Ercan ve Şahin (1999), Germencik - Ömerbeyli yöresinde yapılan SP ve elektrik öz direnç ölçüleri, yöntemin özellikle yöreyi ısıtma görevini üstlenen kırıkların yerlerini, uçlaşma düzlemlerini ya da diğer bir deyişle kırıkların eğim açılarını, uzanım doğrultulan bulmada, sıcaklık, basınç ve iletkenlik ayrılıkları olan parçaları ayırt etmede oldukça etkin olduğunu göstermişlerdir.

Serpen (2003), jeofizik çalışmaların; sıcaklık, mineralizasyon, gaz ve akışkan hareketi gibi akışkan parametreleri ile faylanma, bazı litostratigrafik birimlerin kalınlıklarındaki ani değişim ve temel yapılar gibi sığ ve derin rezervuarların yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Tarcan vd. (2004), yüksek jeotermal enerji rezervinin horst ve graben sistemleri ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Burçak vd. (2005), Orta Anadolu'da Aksaray ve civarındaki sahalara MT yöntemini uygulayarak, derin düşük öz dirençli belirti kuşaklarını sıcak ve kısmi ergimeye uğramış magma kütleleri olarak yorumlayarak, jeotermal sistemin ısı kaynağı olabileceğini belirtmişlerdir.

Çirkin (2007), Kütahya-Gediz-Şaphane jeotermal sahasında ve yakın çevresinde manyetotellürik çalışmalar yapılmış ve bu yöntem ek olarak rezistivite ölçüleri alınmıştır. Çalışma sonucunda yapılan değerlendirmeler sonucu, magmatik sokulumların, jeotermal sistemleri oluşturan örtü kayaç, rezervuar kayaç ve ısı kaynağının, beslenme ve boşalımı sağlayan fayların belirlenebildiği görülmüştür.

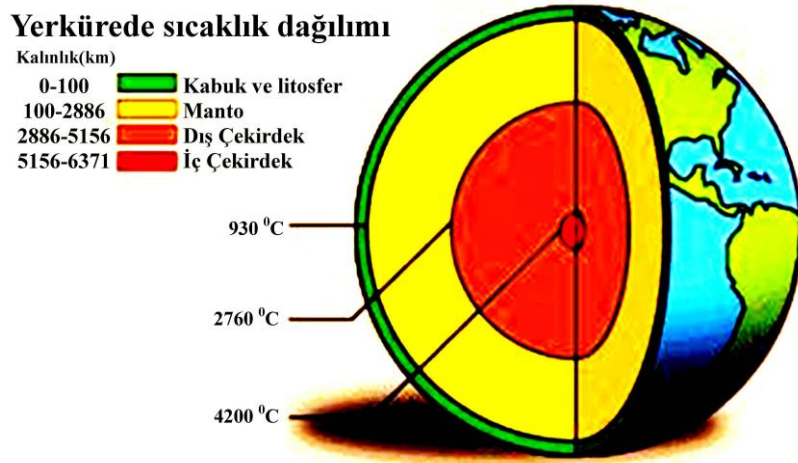
Özdemir (2008), çok elektrotlu öz direnç yönteminin uygulanması ile çok geniş alanlarda hızlı araştırmalar yapılmakta ve yer altı ile ilgili daha fazla veri üretilebileceğini ve ölçüm sonucunda saptanan parametreler yeraltının jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerini birlikte yansıtacağını belirtmiştir. Bu nedenle, yeraltı suyu ve jeotermal etütlerde yeraltının iki ve üç boyutlu modellenenebildiği çok elektrotlu öz direnç ölçümlerin etkin olduğunu açıklamıştır.

Gönülalan vd. (2009), yer içi yapılarının daha iyi anlaşılabilmesi için günümüzde jeofizik yöntemler tüm dünyada başarıyla uygulandığını ancak uygulanan jeofizik yöntemlerin, her jeotermal kaynağa özel olduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Jeotermal Enerji Nedir?

Jeotermal enerji, yerkürenin farklı derinliklerinde bulunan ısıtıcı kaynaklar tarafından ısıtılan, etrafındaki diğer su kaynaklarıyla kıyaslandığında daha fazla erimiş mineral içeren, sıcaklıkları sürekli atmosferik sıcaklığın üzerinde sıcaklığa sahip olan su ve buharların taşıdığı ısı enerjisidir. Yerkürede derinlere inildikçe sıcaklık artmaktadır. Yerkürenin merkezi bir hayli sıcaktır. Bu nedenle ısı akısı yüzeye doğrudur. Yaklaşık 6400 km derinlikteki, yerküre merkezinin sıcaklığının 4000 ° C olduğu tahmin edilmektedir (Wright ve Culver, 2004). Yerkürenin yapısı ve sıcaklık dağılımı Şekil 3.1' de gösterilmiştir.

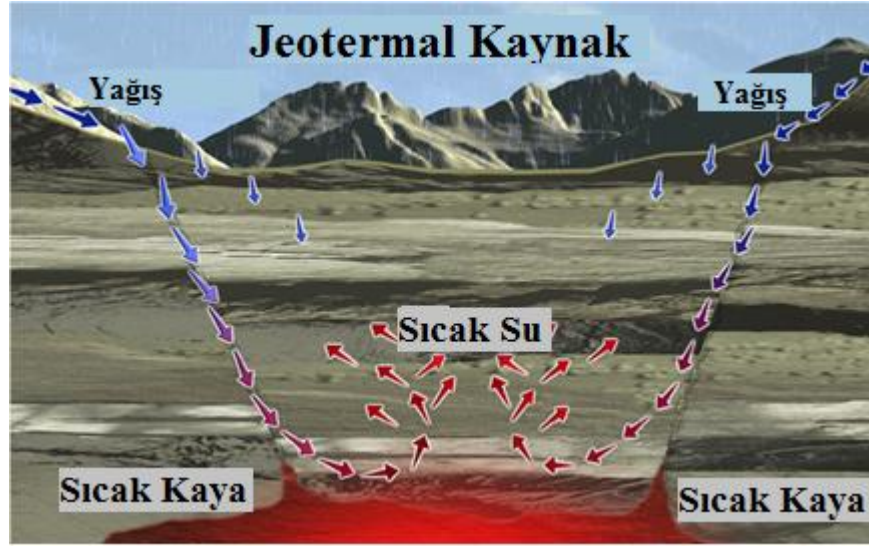


Şekil 3.1. Yerkürenin yapısı ve sıcaklık dağılımı (Özdemir, 2007)

Farklı derinliklerdeki ısıtıcı kaynaklar ya soğumamış bir magma kütesidir ya da genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yeryüzündeki meteorik kökenli sular kırık ve çatlaklar vasıtasıyla derinlere süzülür ve birikir. Biriken bu sular ısıtıcı kaynaklar vasıtasıyla ısıtılır (Temimhan, 2005). Sonuç olarak ortaya birikmiş bir ısı enerjisi çıkar. Kısaca jeotermal enerji yerkabuğunun işletilebilir derinliklerinde olağan dışı olarak birikmiş ısının oluşturduğu bir enerji türüdür (Şimşek vd., 1981).

3.2. Jeotermal Kaynak

Bölgede yüzeyden derinlere doğru çatlak, boşluk sistemleri vasıtasıyla süzülerek inen ve ısıtıcı magma-jeotermal gradyan vasıtasıyla ısınan meteorik sular kırıklı, boşluklu, geçirgen özelliği bulunan kayalarda toplanarak sıcak su (jeotermal) rezervuarlarını oluştururlar. Jeotermal akışkanın oluşumu Şekil 3.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Jeotermal akışkanın oluşumu (Geothermal Education Office, 2001)

Farklı bileşimdeki kayaların içinde sular süzülürken bu kayalardan çözdükleri mineral ve tuzları da beraberlerinde taşıyarak iyon bakımından zenginleşirler. Ayrıca magma ile olan ilişkilerinden dolayı çeşitli gazları da beraberlerinde taşırlar (CO_2 , H_2S , Rn). Isınan sular rezervuar özellikteki kayaların veya tektonizma esnasında oluşan ve tali rezervuar özelliği kazanan tektonik zonlar içinde de toplanabilirler. Isınan jeotermal su, sistemdeki gaz ve hidrolik basıncın etkisiyle hareket ederek fay zonları-kırık ve çatlaklar vasıtası ile yeryüzüne çıkarak doğal boşalımlı mineralize jeotermal kaynakları oluştururlar. Jeotermal ısının bir kaynağa dönüşebilmesi için bir aracı gereklidir. Çoğu durumda bu, doğal akışkandır: yer altı suyu ve gazdır.

Jeotermal kaynak üç bileşenden oluşur. Bunlar;

- 1- Isı: Genellikle su, buhar, gaz şeklinde birikmiş ya da kızgın kuru kayada yüklenmiş, dolaşıyor olabilir ya da yeryüzüne çıkmış olabilir (Öngür, 2005).

- 2- Isıyı taşıyan akışkanın basıncı: Akışkan basınç sayesinde yeryüzüne ulaşır. Basınç kaynakla ilgili önemli bilgiler sağlar. Sistemin dengesi, beslenip beslenmediği, tükenme süreci ile ilgili bilgileri kaynağın basıncı sayesinde öğrenebiliriz (Öngür, 2005).
- 3- Kaynağın kimyasal bileşimi: Jeotermal ısıya sahip akışkan çözünmüş katılar ve gazlar açısından zengin ve kararsız dengeler altındadır. Bu bileşenlerin türleri ve akışkanın değişken ısı ve basınç koşullarına bağlı olduğu kadar, yan kayanın türüne, geçirimsizliğine ve alterasyon durumuna da bağlıdır; bunlar değiştikçe bileşim de değişir (Öngür, 2005).

3.3. Jeotermal Sistem

Jeotermal ısının bir kaynağa dönüşebilmesi için bir aracı gereklidir. Çoğu durumda bu, doğal akışkandır. Ancak, bunun bir jeotermal sistem olabilmesi için bu akışkanların yer kabuğunun içinde dolaşabilmesi gerekir. Akışkan dolaşırken kabuğu oluşturan kayalardaki ısıyı kendi üzerine alır. Bu dolaşımın sağlanabilmesi için kaya ortamında bir geçirimsizliğin olması gerekir. Bu şekilde akışkan ısıyı daha hızlı bir şekilde yeryüzüne taşır (Şekil 3.3). Bu geçirimsizlik ise dünyanın oluşumundan beri süre gelen tektonik gerilmeler sonucu oluşan kırık ve çatlaklar ile sağlanır (Öngür, 2005).

Jeotermal sistemler 4 ana parametreden oluşur (Parlaktuna, 2007).

1. Yüksek verimli bir ısı kaynağı: Bu kaynaklar magmatik kökenlidir.
2. Geçirimsiz bir rezervuar: Bol poroziteli ve permabiliteye sahip kayalardır.
3. Geçirimsiz bir örtü kaya: Isı iletkenlikleri ve poroziteleri minimum düzeydedir.
4. Su beslenmesidir: Kırık ve çatlaklardan yeraltına süzülen meteorik kökenli sulardır



Şekil 3.3. Jeotermal sistemin oluşum modeli (Arslan vd, 2001)

Bir jeotermal sistemin statik/dinamik davranışını, verimli ve sürdürülebilir işletilmesini etkileyen ve belirleyen birçok parametre vardır. Bunlar; sistemin boyutları, sınırları ve sınır koşulları (akışa kapalı veya beslenmeli), jeolojik yapısı, kayaç ve akışkan özellikleri, basınç ve sıcaklık dağılımları, termodinamik denge (basınç-sıcaklık-hacim ilişkileri), ısı ve akışkan iletim ve taşınım mekanizmaları, uygulanan üretim/enjeksiyon yöntemleri, kuyuların üretim/enjeksiyon performansları, üretilen enerjinin veya akışkanın kullanım alanlarıdır. Jeotermal sistemlerin işletilmesinde, söz konusu bu parametrelerin etkilerini de dikkate alan bir üretim stratejisiyle, çevreye saygılı ve verimli işletilmesi amaçlanır (Onur ve Satman, 2006).

3.3.1. Jeotermal sistemlerin sınıflandırılması

3.3.1.1. Jeotermal sistemlerin sıcaklıklarına göre sınıflandırılması

1. Düşük Sıcaklıklı Sahalar: Rezervuar sıcaklığı 20°C ile 70°C arasında olan sistemlerdir.
2. Orta Sıcaklıklı Sahalar: Rezervuar sıcaklığı 70°C ile 150°C arasında olan sistemlerdir.
3. Yüksek Sıcaklıklı Sahalar: Rezervuar sıcaklığı 150°C ' den yüksek olan sistemlerdir (Şimşek vd., 2001).

Düşük ve orta sıcaklıklı sahalardan elde edilen enerji, en başta ısıtmacılık olmak üzere kimyasal madde üretimi ve endüstride kullanılırken, yüksek sıcaklıklı sahalardan elde edilen enerji, elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

3.3.1.2. Jeotermal sistemlerin fiziksel durumlarına göre sınıflandırılması

Jeotermal sistemler fiziksel durumlarına göre ikiye ayrılır.

1. Buhar ağırlıklı sistemler (kuru buhar)
2. Sıvı ağırlıklı sistemler

Buhar ağırlıklı sistemlerde sıvı haldeki su ile buhar birlikte bulunurlar. Buna rağmen etkin olan faz, rezervuar boyunca süreklilik gösteren ve basıncı kontrol eden buhar fazıdır. Bu sistemler yeryüzünde çok az bulunmalarına ve sıcak su sistemlerine göre daha az ısı barındırmalarına rağmen, temiz, risksiz ve diğer sistemlere göre daha problemsiz olmaları nedeniyle tercih sebebidirler (Parlaktuna, 2007).

Sıvı ağırlıklı sistemlerde de sıvı haldeki su ile buhar birlikte bulunurlar. Fakat burada süreklilik gösteren ve basıncı kontrol eden faz sıvı fazıdır. Bu sistemlerde su kimyasal bir çözüldür ve çeşitli minareler içerir (sodyum, potasyum, lityum, kalsiyum, klor, bikarbonat, sülfat, borat ve silikat). Bu sistemler buhar ağırlıklı sistemlere göre daha fazla ısı barındırırlar. Çünkü bu sistemde akışkan rezervuarda kaynamaya başlar. Bu sistemlerde karşılaşılan üretim problemleri, buhar ağırlıklı sistemlere göre daha uğraştırıcıdır (Parlaktuna, 2007).

3.3.1.3. Jeotermal sistemlerin doğal durumu ve jeolojik konumuna göre sınıflandırılması

1. Volkanik sistemler
2. Taşınım sistemleri
3. Jeo-basınçlı sıcak oluşumlar
4. Kızgın kuru kaya
5. Sedimanter sistemler

- Volkanik sistemler, volkanik etkinliklerle ilişkilendirilirler. Isı kaynağı magma veya sıcak, yükseltilerdir. Volkanik sistemlerde suyun akışını geçirgen çatlaklar ve fay zonları kontrol ederler (Satman, 2001).
- Taşınım sistemleri, düşey ısı akışı değerlerinin yüksek olduğu tektonik olarak aktif bölgelerde sıcak kabuğun ısı kaynağı olduğu sistemlerdir. Düşey çatlak ve fayların bulunduğu ortamlarda jeotermal su 1 km' den daha derinlere indikten sonra aşağıdaki kayaçlardan ısı almakta ve daha sonra yükselerek taşınım sistemlerini oluşturmaktadır (Satman, 2001).
- Jeo-basınçlı oluşumlarda kayaçların içerdiği akışkan hidrostatik basıncın çok üzerindedir. Bu sistemler genellikle geçirimsizliği yüksek olan bir örtü kaya ile kaplı olan zonlardan oluşmaktadırlar. Geçirimsiz örtü kaya etkisiyle sistemde sıkışan akışkan, basınç gradyanının etkisi ile yükselerek yüzeye ulaşmaktadır (Akan, 2002)
- Kızgın kuru kaya sistemleri ise, ısı taşıyıcı ortam olan suyu içermeyen sistemlerdir (Grant vd., 1982). Geçirgen olmaması ve akışkan içermemesi nedeniyle normal jeotermal rezervuarlar gibi işletilemezler. Bu sistemler için ısıyı yüzeye çıkarabilecek uygun bir yöntem bulunduğu takdirde yüksek verimli enerji elde etmek mümkündür.
- Sedimanter sistemler, 1 km'den daha derin yerlerde geçirgen sedimanter tabakalarda oluşan, ısı taşınımından çok iletimin doğal olarak etken olduğu ve bazı durumlarda fayları da içeren sistemlerdir (Satman, 2001). Sedimanter sistemler ülkemizde en çok görülen sistem türüdür.

3.4. Dünyada Jeotermal Sistemlerin Yayılımı

3.4.1. Aktif kıta kenarındaki jeotermal sistemler

Bunlar biri okyanus tipi kabuk olmak üzere iki litosferik levha önünün çarpışması ile alakalıdır. Genellikle derin odaklı deprem dizi alanları ve kabuksal erimeyi içeren volkanizmalarla birlikte bulunur (Yeni Zelanda, Yeni Gine, Endonezya, Tayvan ve Meksika). İki levhanın da kıta kabuğu olduğu aktif kıta kenarları jeotermal açıdan daha az yaygın alanlar olup, dağınık olarak yayılmış deprem ve yaygın volkanik

aktivite ile kendini gösterir. Böyle bir kuşak Kuzey Hindistan (Tibet), İran ve Türkiye'den Akdeniz'e ulaşır (Temimhan, 2005).

3.4.2. Okyanus ortası sırtlar üzerindeki jeotermal sistemler

İzlanda ve Azor Adaları bu tür sistemlere örnektir (Temimhan, 2005).

3.4.3. Yaygın aktif kıta yarıkları üzerindeki sistemler

Bu tür yarıklar, kıtasal levhaların kırılmasına sebep olan ve daha sonraki okyanus tabanını oluşturacak yapılar olarak düşünülürler (Doğu Afrika Rifti, Afar Üçgeni, Kızıldeniz) (Temimhan, 2005).

3.4.4. Kıtasal yarıklar üzerindeki diğer sistemler

Bunlar iki levha arasındaki çarpışmalardan uzakta olan hareketler sebebiyle oluşan yarıklardır ve son zamanlarda yüksek açılı riftler olarak adlandırılmaktadır (Ren Grabeni, Baykal Rifti) (Temimhan, 2005).

3.4.5. Aktif volkanik adalarla ilgili sistemler

Büyük okyanustaki Hawaii ve Tana adaları bu tür sistemlere örnektir (Temimhan, 2005).

3.4.6. Normal ve normalden yüksek ısı akısı ile ilgili sistemler

Uygun koşullar altında derinlerdeki normal ısı akısı ile de jeotermal sistemler oluşabilir. Bu ısı akısı kabuğun ilk 5 km'lik derinliklerinde kayaç tipine bağlı olarak fark eden termal kondaktivitedeki değişimler ve sığdaki granitler tarafından oluşturulan ilave ısı akısı olarak tanımlanır (Temimhan, 2005).

3.5. Önemli Jeotermal Kuşaklar

3.5.1. And Volkanik Kuşağı

Güney Amerika'nın batı sahillerinde bulunan ve çok sayıda aktif volkanizmaya sahip olan bu kuşak, Venezüella, Kolombiya, Ekvator, Peru, Şili ve Arjantin gibi yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemleri kapsamaktadır (Temimhan, 2005).

3.5.2. Alp – Himalaya Kuşağı

Hindistan plakası ile Avrasya plakasını çarpışması en büyük jeotermal kuşakları arasındadır 150 km. genişliğinde 3000 km uzunluğundadır. Türkiye'de bu kuşak içinde yer alır. Ayrıca İtalya, Yugoslavya, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Çin, Myanmar ve Tayland da bu kuşak içindedir (Temimhan, 2005).

3.5.3. Karayip Adaları

Bu adalarda aktif volkanizma hâkimdir. Bu sebeple bu kuşak önemli jeotermal alan potansiyeline sahiptir (Temimhan, 2005).

3.5.4. Orta Amerika Volkanik Kuşağı

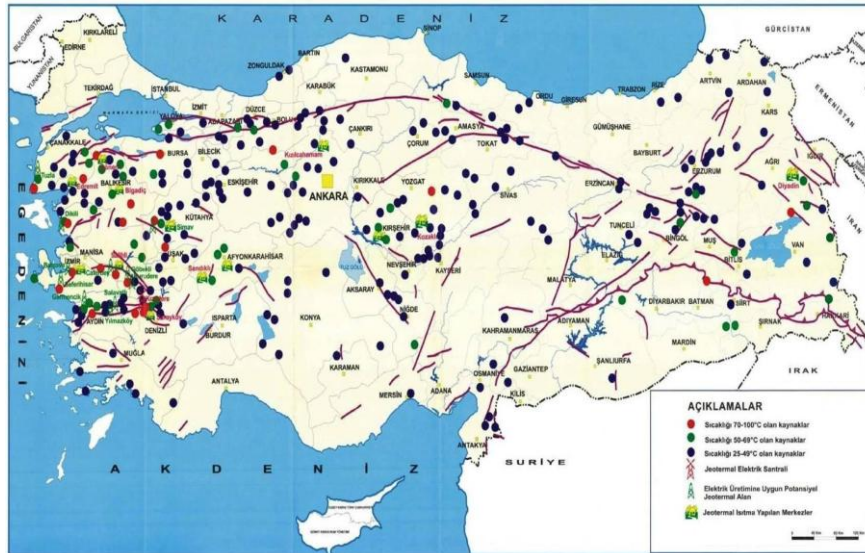
Guatemala, El Salvador, Nikaragua, Kosta Rika ve Panama bu kuşakta yer alır (Temimhan, 2005).

Bunların dışında; Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Doğu Çin, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, İzlanda, Meksika, Kuzey ve Doğu Avrupa da farklı tektonik oluşumların etkisiyle verimli jeotermal sahalara sahip bulunmaktadır (Temimhan, 2005).

3.6. Türkiye’de Jeotermal Enerji

Ülkemiz Tetis Okyanusu’nun kapanışı sırasında gelişen Alp- Himalaya kuşağında yer almaktadır. Türkiye Avrasya, Afrika ve Arap levhalarının etkisi altındadır. Bu plakaların hem kuzeyden hem de güneyden sıkışmasıyla aktif fay zonları oluşmuştur. Bu zonlar genellikle graben yapısında ve doğrultu atımlı faylar şeklinde gelişmişlerdir. Yüzeyden derinlere inen ve burada ısınan sular oluşan faylar boyunca yüzeye ya da yüzeye yakın yerlere taşınabilirler. Ülkemizde de aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak çok sayıda jeotermal kaynak bulunmaktadır (Şekil 3.4). Türkiye jeotermal enerji potansiyeli ile Dünya’nın en zengin 7. ülkesidir. Jeotermal enerji kaynakları sıcaklıklarına bağlı olarak başta elektrik üretimi olmak üzere, ısıtmacılıkta (konut, sera, termal tesis ısıtması), endüstriyel uygulamalar, termal turizm-tedavi ve kültür balıkçılığında kullanılmaktadır (Arslan vd, 2001).

MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1962 yılında başlanan jeotermal enerji arama çalışmalarında 2010 yılı Haziran ayı sonuna kadar 494 adet, 239.000 m sondajlı arama yapılarak 190 adet saha keşfedilmiş ve doğal çıkışlar hariç, açılan kuyularla ise 3855 MWt ısı enerjisi elde edilmiştir (Maden Tetkik Arama, 2010a).



Şekil 3.4. Türkiye jeotermal kaynaklar dağılımı ve uygulama haritası (Maden Tetkik Arama, 2008a)

Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler genellikle yüksek sıcaklığa sahiptirler ve açılma tektoniğine bağlı olarak grabenlerde yer alırlar. Grabenlerde yer alan jeotermal sistemlerin en önemlileri Menderes ve Gediz grabeni içinde yer almaktadır. Bu grabenleri oluşturan diri faylar hem jeotermal yönden, hem de depremsellik yönünden aktiftirler (Arslan vd., 2001).

Türkiye'nin en yüksek sıcaklığa sahip olan jeotermal sahası Menderes grabeninde bulunan Denizli-Kızıldere (242 °C) sahasıdır. Yine Menderes grabeninde bulunan diğer yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalara; Aydın- Germencik (232 °C), Aydın-Pamukören (188 °C), Aydın-Salavatlı (171 °C), Aydın-Umurlu (150 °C), Aydın-Sultanhisar (146 °C), Aydın-Bozköy (143 °C), Aydın-Yılmazköy İmamköy (142 °C), Nazilli-Bozyurt (127 °C), Aydın-Atça (124 °C), jeotermal sahalarıdır (Koçak, 2000).

Gediz Grabenin'deki jeotermal alanlar ise; Manisa- Salihli Caferbeyli sahası (155 °C), Manisa-Alaşehir- Kavaklıdere sahası (116 °C), Manisa-Salihli-Kurşunlu sahası (96 °C) ve Manisa-Turgutlu-Urganlı sahası (86 °C) dır. Benzer graben sisteminde gelişen Kütahya-Şaphane sahası (181°C), Kütahya-Simav jeotermal sahası (162 °C) ve Kütahya-Gediz-Abide jeotermal sahası (97 °C)'da yüksek sıcaklıklı sahalara arasındadır. Çürüksu Garbeni içindeki, Gölemezli jeotermal alanı (65 °C), Karahayıt sahası (55 °C) ve Pamukkale (35 °C) sahası genelde düşük sıcaklıklara sahiptir (Koçak, 2000).

Batı Anadolu'daki diğer jeotermal sistemler kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu grabenler ve volkanik aktivitelerin bulunduğu alanlarda yer alırlar. Bu jeotermal alanlar İzmir-Seferihisar sahası (153 °C), İzmir-Balçova sahası (130 °C), İzmir Dikili sahası (130 °C), İzmir-Aliaga sahası (96 °C) ve İzmir Çeşme jeotermal sahası (62 °C)'dır. Bu sahalardan dışında Batı Anadolu'nun kuzey kısmındaki Çanakkale-Tuzla jeotermal sahası (174 °C), Balıkesir-Bigadiç sahası (95 °C), Balıkesir-Hisaralan sahası (100 °C) ve Balıkesir-Gönen sahası (80 °C) önemli jeotermal alanlardır. Ege bölgesinde sıkışma tektoniği ve genç volkanizmaya bağlı olarak daha düşük

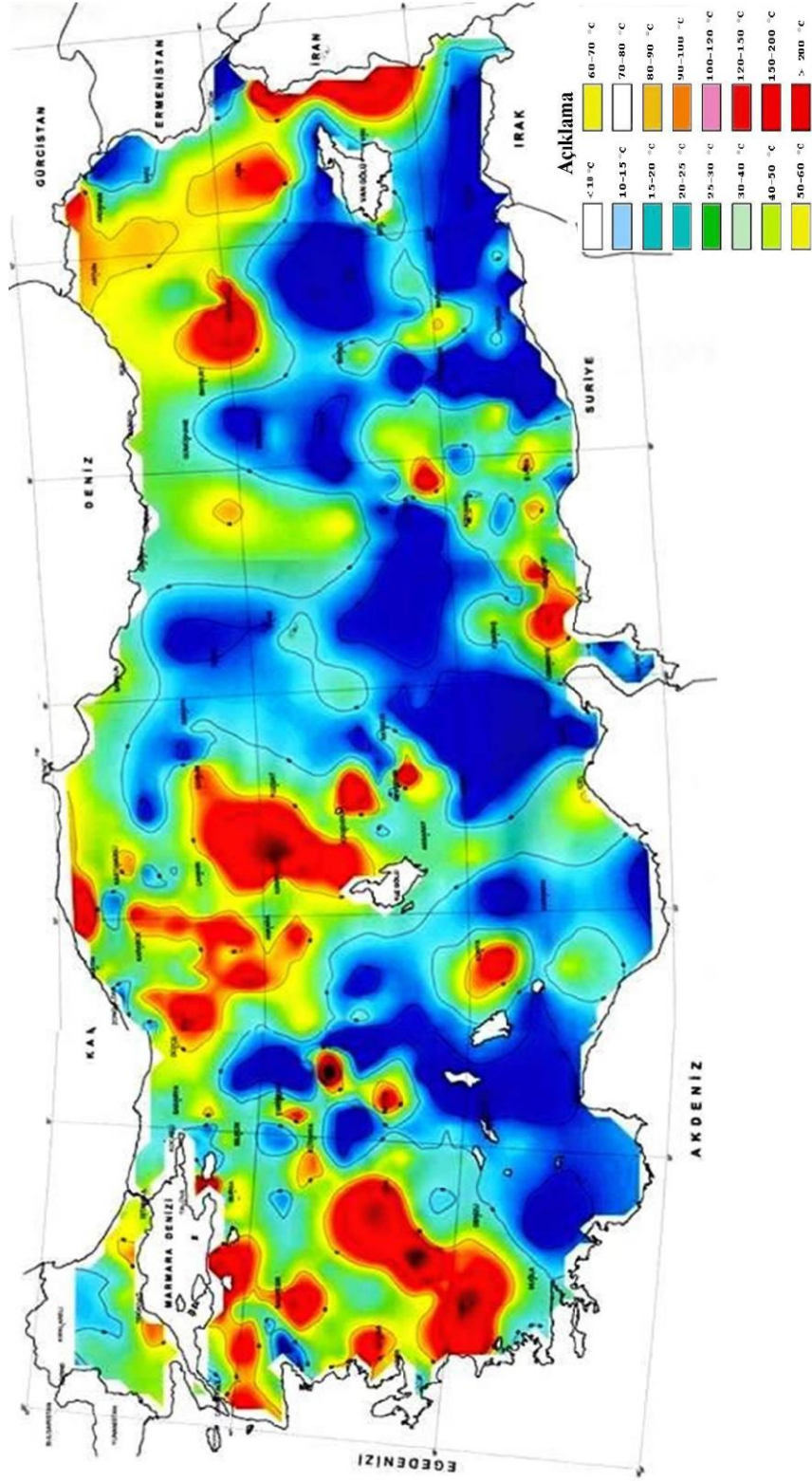
sıcaklıklı Manisa-Saraycık (74 °C) ve Manisa-Kula-Emir jeotermal alanları da (63 °C) bulunmaktadır (Arslan vd., 2001).

Orta Anadolu'daki jeotermal sistemler genelde volkanik aktivitelere bağlı olup, Batı Anadolu'ya göre daha düşük sıcaklıklara sahiptir. Bu bölgedeki önemli jeotermal alanlar; Afyon-Ömer-Gecek sahası (98 °C), Nevşehir Kozaklı sahası (93 °C), Ankara-Kızılcahamam sahası (86 °C), Yozgat-Sorgun sahası (75 °C), Afyon-Sandıklı sahası (70 °C), Kırşehir Terme sahası (57 °C), Aksaray-Ziga sahası (65 °C) ve Sivas-Sıcak Çermik sahası (49 °C)'dır (Arslan vd., 2001).

Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da volkanik ve tektonik aktivitelere bağlı olarak gelişen önemli jeotermal alanlar; Van-Erçiş sahası (80 °C), Ağrı-Diyadin sahası (78 °C), Bitlis-Nemrut sahası (59 °C), Diyarbakır-Çermik sahası (51 °C) ve Urfa-Karaali (49 °C) sahalarıdır (Arslan vd., 2001).

Kuzey Anadolu'da doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı boyunca gelişen önemli jeotermal alanlar; Sakarya-Akyazı sahası (84 °C), Bursa-Çekirge sahası (82 °C), Yalova-Armutlu sahası (77 °C), Yalova- Terme sahası (66 °C), Çankırı-Kurşunlu sahası (54 °C), Tokat-Reşadiye sahası (47 °C), Bolu-kaplıca sahası (45 °C) dır. Bu sahaların dışında Doğu Karadeniz'de Rize-Ayder jeotermal sahası (56 °C) bulunmaktadır (Arslan vd., 2001). Türkiye'nin yer içi sıcaklık dağılımıyla ilişkili ısı akısı haritası şekil 3.5' te gösterilmektedir.

Ayrıca Maden Tetkik Arama tarafından, 2010 yılı itibariyle jeotermal sondaj çalışmaları tamamlanmış sahalar; Denizli Buharkent Sahası (147 °C), Aydın Yılmazköy sahası (kuyu ağzı 142 °C, kuyu tabanı 190 °C), Denizli - Sarayköy - Gerali sahası (114 °C), Kütahya – Şaphane Sahası (kuyu ağzı 97,5°C, kuyu tabanı 178,5 °C), Balıkesir - Bigadiç – Adalı (70 °C), İzmir – Dikili – Bademli sahası (68 °C), Aydın – Kuşadası – Davutlar Sahası (58 °C), Aydın - Buharkent – Ortakçı Sahası (56,7 °C), İzmir – Bergama – Karahıdırlı Sahası (50°C), Yozgat – Akdağmadeni – Karadikmen Sahası (50°C), Muğla - Köyceğiz – Sultaniye Sahası (40 °C) 'dır (Maden Tetkik Arama, 2010b).



Sekil 3.5. Türkiye ısı akısı haritası (Maden Tetkik Arama, 2008b)

3.7. Jeotermal Aramadaki Süreçler

1- Sahaların çevrelerinde daha önce yapılmış çalışmaların değerlendirilmesi;

- Uzaktan Algılama Çalışmaları
- Jeolojik Çalışmalar
- Saha Jeolojisi ve Haritalama
- Jeokimyasal Çalışmalar
- Hidrojeolojik Çalışmalar

2- Jeofizik Yöntemler

- Gravite Yöntemi ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
- Manyetik Yöntemi ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
- Elektrik Yöntemler ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
- Elektromanyetik Yöntemler ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
- Termal Yöntemler ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
- Sismik Yöntemle Verilerin Toplanması, İşlenmesi ve Yorumlanması
- Kuyu Jeofiziği

3- Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Durum Değerlendirmesi

Bu çalışmalardan sonra uygun görülen ve önerilen lokasyonlarda sondaj çalışmaları gerçekleştirilerek üretim aşamasına geçilir. Üretim aşaması jeotermal akışkanın sıvı ya da buhar olması durumuna göre elektrik enerjisi veya ısı enerjisi olarak gerçekleştirilir (Gönülalan vd., 2009).

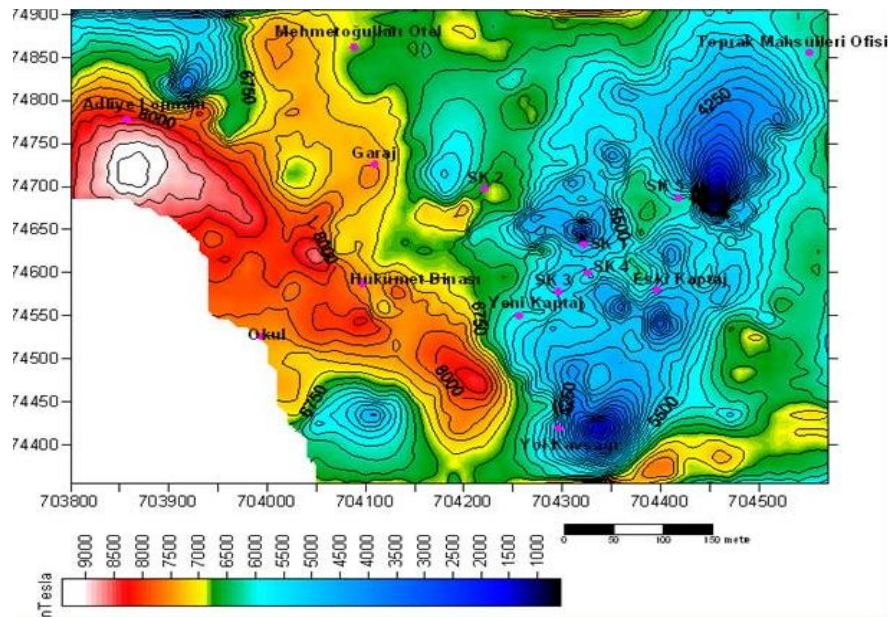
3.8. Jeotermal Aramada Kullanılan Jeofizik Yöntemler

Jeofizik araştırmalarda, yüzeyden derine doğru formasyonların manyetik duyarlılık, yoğunluk, elektriksel iletkenlik, sıcaklık gibi parametrelerinden faydalanılır. Jeotermal alanlarda da bu parametreler çevrelerine göre değişiklik gösterirler. Bu sebeple jeotermal alan aramalarında, jeotermal alanın yerini, boyutunu ve geometrisini belirleyebilmek için jeofizik yöntemlere ihtiyaç vardır. Jeotermal saha çalışmalarında ilk adım, jeolojik verilerin toplanmasıdır. Jeotermal olduğu düşünülen alanın volkanik kuşak üstünde olup olmadığı önemli bir bilgidir. Eğer varsa;

jeotermal sızıntıların kontrol edilmesi ve jeokimya etütlerinin yapılması gerekmektedir. Daha sonra jeolojik ve hidrojeolojik bilgilerle alan tanımlanıp hava ve uydu fotoğraflarıyla desteklenmelidir. Fakat bunların hiçbirisi bize jeotermal alan ile ilgili kesin bir sonuç veremeyeceğinden tüm bu değerlendirilen verilerin ışığında belirlenen hedef alan da jeofizik yöntemler yapılmalıdır (Zorlu,2005).

3.8.1. Manyetik yöntem

Manyetik yöntem, mıknatıslanma özelliğine sahip olan kayaç veya diğer nesnelerin oluşturduğu manyetik alanı ölçer ve bu nesnelerin saptanması amacıyla kullanılır. Havadan, karadan ve denizden uygulanabilen bir yöntemdir. Manyetik yöntemle yer manyetik alanın düşey, yatay ve toplam bileşenleri saptanır. Ayrıca bu yöntemle yer manyetik alan şiddetindeki farklılıklar ölçülür. Bu farklılıklarla; mıknatıslanma özelliğine sahip cisimlerle, mıknatıslanma özelliğine sahip olmayan cisimler birbirinden ayrılır (Şekil 3.6). Böylelikle manyetik yöntemle, yöntemin bazı özelliklerinden yararlanılarak, mıknatıslanma duyarlılığı yüksek olan kayaçlar belirlenebilir (Zorlu, 2005). Manyetik yöntem, maliyetinin ucuzluğu, geniş alanlarda hızla sonuca gidilebilmesi nedeni ile tercih edilmekte olan yardımcı bir yöntemdir.



Şekil 3.6. Yozgat Sarıkaya sahasına ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası (Gönülalan vd., 2009)

Jeotermal aramalarda, manyetik yöntem ile havzadaki magmatik kayaç birimleri ve bu birimlerin uzanımları ve derinlikleri tespit edilebilmektedir. Yer içindeki ferromanyetik mineral içeren kayaçların oluşturduğu manyetik alan, yer manyetik alanı üzerinde farklılıklara neden olmaktadır. Yüzeyden veya havadan yapılan ölçümlerle belirlenen farklılıklar özellikle manyetik Curie izotermi ile kabuğun içindeki sıcak girişim çalışmalarında ve jeotermal alanlarda bulunan kırık hatlarının modellenmesinde büyük önem taşımaktadır (Nabighian vd., 2005). Manyetik ölçümlerde; fay zonlarında oluşan alterasyonlar nedeniyle ortaya çıkan mineralizasyon değişimleri manyetik anomalilere neden olmakta ve fay araştırmalarında destek bilgiler vermektedir (Enerson Mühendislik, 2011).

3.8.2. Gravite yöntemi

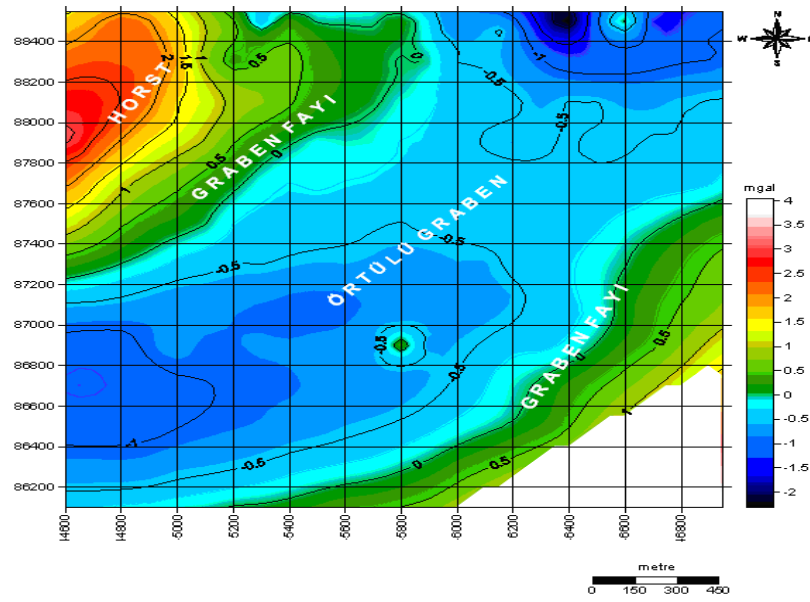
Gravite yöntemindeki amaç, yeraltında bulunan kayaçların yoğunluk farklılığından yararlanarak yeraltı yapısını ortaya koymaktır. Yeraltındaki kayaçlar arasında bir yoğunluk ve şekil farklılığı var ise bunların yeryüzünde meydana getirdikleri gravite değerleri de birbirlerinden farklı olur.

Gravite sistemi, jeolojik birimler arasındaki yoğunluk farkı özelliklerini kullanarak taban topografyasını, yapısını, derinliğini çıkarmak, magmatik sokulumların yerini, yayılımını saptamak ve tektonik hatları belirlemek amacıyla uygulanır (Özgüler vd., 1984). Bunun yanında bölgenin jeolojik yapısının bilinmesi iyi bir yorumlama yapmayı sağlar. Diğer jeofizik yöntemlere göre daha ucuz ve daha hızlı olduğu için jeotermal alan belirlemede ön araştırma için kullanılacak öncelikli yöntemlerden birisidir.

Yöntem, özellikle hidrotermal biçimde alterasyon geçirmiş kayaçların olduğu yerler ile çevresindeki değişime uğramamış (altere olmamış) kayaç birimlerinin bulunduğu ve yeterli yoğunluk zıtlığının olduğu durumlarda oldukça yararlı ve yorumlayıcı sonuçlar verebilir (Hochstein ve Hunt, 1970). Jeotermal alanlar üzerinden toplanan gravite verileri; jeotermal dizgenin örtü ve taban kayaç birimleri ile çevresindeki jeolojik oluşumlar ile ilgili önemli bilgiler verebilir (Zorlu, 2005).

Uygun ortamlarda gravite ölçmeleri, önemli yapısal oluşumları ayırt edebilir ve jeotermal sistemlerle ilişkili olabilen yerel pozitif anomalilere işaret edebilir. Böyle pozitif anomaliler, yerel yapısal yükselmeler, gömülmüş volkanik veya intrüzif yapılar tarafından yaratılabilir (Laughlin, 1982).

Şekil 3.7’ de de görüldüğü gibi gravite yöntemiyle horst- graben yapıları da ortaya konabilmektedir. Jeotermal sistemle yakından ilgili olan bu graben-horst yapısı ve graben fayları jeotermal enerji açısından önem arz etmektedir (Gönülalan vd., 2009).



Şekil 3.7. Rezidüel gravite anomali haritası (Gönülalan vd., 2009)

Isı kaynağı olan yeraltındaki magmatik sokulumları ve büyüklüğünü, jeotermal akışkanların yukarı yükselme sırasında kendini tıkayarak yarattığı silika çökeltme yapılarını, suyun hakim olduğu hidrotermal sistemleri kontrol eden önemli fayları belirlemek için gravite yöntemi kullanılmalıdır (Christopher ve Armstead, 1989)

3.8.3. Elektrik - Elektromanyetik yöntemler

Elektrik ve elektromanyetik yöntemlerde ölçülen parametre yerin elektrik iletkenliğidir. Jeotermal akışkanlar çevrelerinde sıcaklık, elektriksel iletkenlik, yoğunluk ve çeşitli mineralleşmeler açısından değişiklik yaratırlar. Bunlardan,

elektriksel iletkenlik (özdirenç) değişimi yüzeyden yapılacak ölçümler ile kolayca belirlenebilmekte ve potansiyel jeotermal rezervuarların aranmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, elektrik ve elektromanyetik yöntemler jeotermal aramalarda en çok başvurulan jeofizik yöntemlerden biridir (Başokur, 2009).

Elektrik-elektromanyetik yöntemler kendi aralarında, incelenen ortamın değişik elektriksel ve elektromanyetiksel parametrelerine göre farklı araştırma tekniklerine ayrılmışlardır. Birbirinden farklı bu araştırma teknikleri arasında, jeotermalde sıklıkla kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur.

3.8.3.1. Doğru akım özdirenç yöntemi

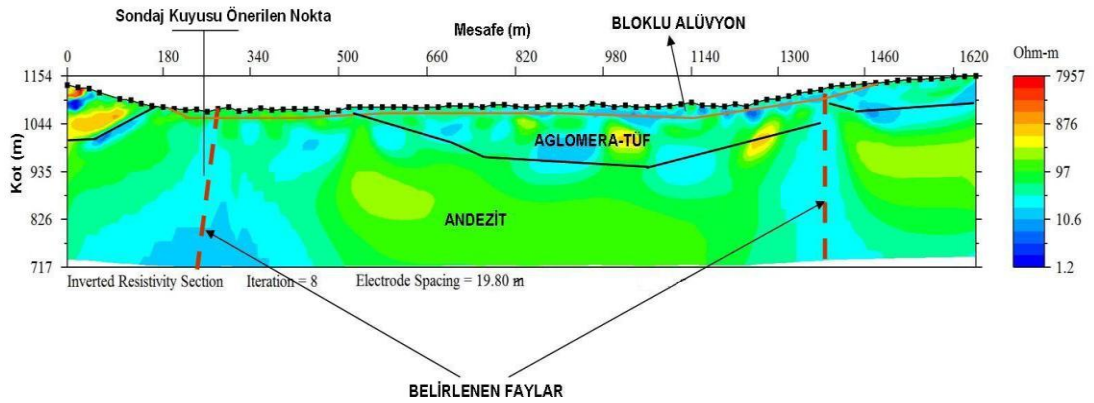
Doğru akım özdirenç yöntemi yapay bir enerji kaynağı kullanılarak iki elektrot ile yere akım verilmesi ve diğer iki elektrot arasındaki potansiyel farkın ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır (Ergin, 1981). Yöntem uygulananın kolay olması ve etkili sonuçlar vermesi nedeniyle arama jeofiziğinde kullanılan önemli jeofizik yöntemlerden biridir. Bu yöntem sayesinde kayaçların yatay ve düşey yönlü elektriksel iletkenlik farklarından faydalanarak jeolojik yapı ortaya konabilir.

Akım ve gerilim elektrotlarının konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri geliştirilmiştir. Bunlar, elektrotların bir simetri merkezine göre çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Schlumberger, Wenner, dipol-dipol (dipole-dipole) ve pole-dipol (pole-dipole) dizilimleridir. Bu dizilimler amaca uygun seçilmektedir. Schlumberger ve Wenner dizilimi derin amaçlı araştırmalarda kullanılmaktadır. Yanal süreksizliklerin belirlenmesinde ise "pole-dipole" dizilimi iyi sonuç vermektedir. Maden aramacılığında ise daha çok dipol-dipol ve gradient dizilimleri kullanılmaktadır (Candansayar; 2010).

Yöntem, kirlenme bölgelerinin aranmasında, arkeolojik alan aramalarında, tatlı-tuzlu su girişimlerinin belirlenmesinde, petrol aramalarında, heyelan bölgelerinin tespitinde kullanıldığı kadar jeotermal enerji kaynağının belirlenmesinde, yanal

süreksizlik oluşturan gömülü fayların belirlenmesinde, kırık çatlak yapıların aranmasında da yoğun olarak kullanılır.

Jeotermal alan araştırmalarında, dikkat edilmesi gereken parametreler ortamın ısısı, akışkan miktarı, gözenekliliği, ortamın içerdiği tuz ve mineral oranı, kil minarelerinin varlığı ve suya doygunluktur. Bu parametrelerdeki artış ortamın özdirencini azaltacak ve bu özdirenç zıtlığı bize jeotermal alanın yeri hakkında önemli bilgiler verecektir (Zorlu, 2005). Şekil 3.8’ de verilen elektrik yapı kesiti örneğinde faylar ve belirlenen sondaj yeri (düşük özdirence sahip) görülmektedir.



Şekil 3.8. Bir hat boyunca elde edilen yer elektrik kesiti ve jeolojik yorumu (Özdemir ve Dalaz, 2009)

Yapay kaynaklı elektrik özdirenç yönteminde çözümü istenen jeolojik problemlerin farklı olması durumunda farklı ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Düşey elektrik sondajda bunlardan biridir. Düşey elektrik sondaj yerin düşey yöndeki gelişimini ortaya koyar. Düşey elektrik sondajının amacı yeraltının derinliklerinde düşey olarak bulunan jeolojik katmanların, derinliklerini, elektriksel özelliklerini, kalınlıklarını ve su içeriklerini bulmaktır. Özdirençin derinliğe bağlı grafiğini çıkarabilmek için akım elektrotları arası uzaklığın her ölçüm sonunda arttırılması gereklidir. Uzaklığın arttırılmasındaki amaç akımın daha derinlere inmesini sağlamaktır (Özdemir, 2008). DES yöntemiyle yeraltı tabakalarının arasındaki sınırları yeraltı yapı kesitleriyle belirleyebiliriz. DES yöntemi, yeraltı suyu içeren tabakaların aranmasında, ana kaya üstündeki örtü kalınlığının saptanmasında kullanılır.

DES uygulamalarında kapalı bir jeotermal sistemde örtü kayacı temsil eden jeolojik birimler düşük öz dirence sahiptir. Bu sebeple kapalı jeotermal sistemlerde DES eğrileri H tipi bir eğri modeli gösterirler. Örtü kayaç içindeki düşük öz direnç kapanımları jeotermal bir sistemin varlığına işaret edebilir. Açık bir sistemde ise, örtü kayaç bulunmadığından; jeotermal akışkanın kırık ve fay sistemleri boyunca hareketi düşünülmelidir. Jeotermal amaçlı sondajda kırık ve fay sistemini daha derinde kesmesi gerekir. Bu tür bir jeotermal sistem için DES eğri modeli; rezervuar kayaç için yüksek öz direnç gösterir nitelikte olması gerekir. Jeotermal akışkanın, fay zonu boyunca rezervuar kayaç içerisindeki hareketi alterasyon ve mineralizasyon etkisiyle DES eğrisinde düşük öz direnç olarak kendisini gösterir (Karzaoğlu, 2009).

Jeotermal alan araştırmalarında son zamanlarda en çok kullanılan bir diğer yöntem çok elektrotlu öz direnç yöntemidir. Bu yöntem de kullanılan bir doğrultu boyunca profil ölçüsü almamızı sağlayan cihazlarla çok geniş alanlarda çok hızlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu yöntemin avantajı yeraltının hem düşey hem de yatay yöndeki yapısı ile ilgili bilgi vermesidir. Ölçüm sonucunda saptanan parametreler yeraltının jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerini birlikte yansıtmaktadır (Özdemir ve Dalaz, 2009).

3.8.3.2. Doğal gerilim (SP) yöntemi

Bu yöntem; doğal kaynaklı bir elektrik yöntem olup yer içindeki elektriksel yüklere karşı duyarlıdır. Yöntemle, yere herhangi bir elektrik akım verilmeden, iki nokta arasında mevcut olan doğal gerilim ölçülür. Doğal gerilim verileri toplam alan ve gradyent olmak üzere iki ayrı biçimde toplanır. Toplam alan ölçümlerinde elektrotlardan biri ölçüm alanının dışında bir noktaya sabit olarak yerleştirilir. Diğer elektrotlar ise, ölçüm hattı boyunca belirli ölçüm aralıklarında hareket ettirilerek, doğal gerilim verisi toplanır. Gradyent türü ölçüm de ise; elektrotlar belirli bir ölçüm aralığında sabit tutulur ve ölçüm hattı boyunca kaydırılarak doğal gerilim verisi elde edilir. Gradyent verisi toplamının yararı, sıcak suyu yüzeye taşıyan kırık hatları gibi ani ortam değişikliklerinin bulunduğu yerleri belirleyebilmesidir (Zorlu, 2005).

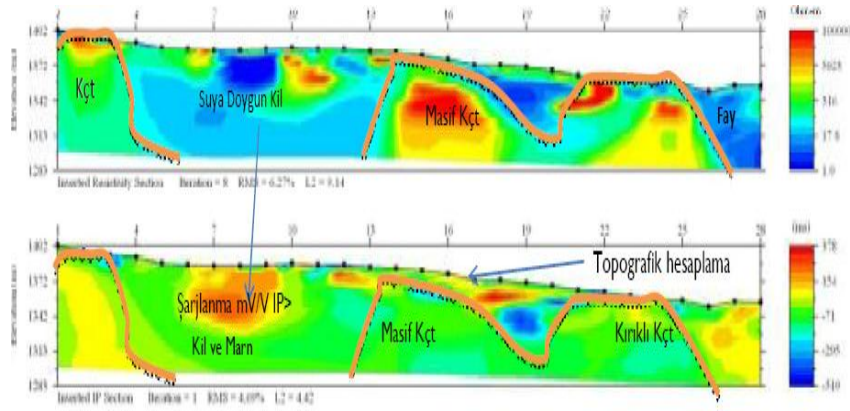
Doğal gerilim belirtileri genel olarak yerkabuğundaki sıvı akışı, basınç ve iyon hareketlerinden türer. Ortamdaki özdirenç zıtlığı, çok yağışlı ya da çok kurak iklimlerde yer altı su seviyesinin değişmesi, ısı, gözeneklilik gibi olgularda doğal gerilim belirtilerinin oluşumundaki ana etkilere (Corwin ve Hoover, 1979; Ercan vd., 1986; Apostolopoulos vd., 1997; Gündoğdu, 2003). Yöntem dünyada kullanılan en eski jeofizik yöntemlerden biridir. Ayrıca jeotermal aramada elektrik yöntemler içinde özdirençten sonra en çok kullanılan yöntemdir.

Bu yöntem, yer altı suyunun iletken kayaçlarla etkileşiminden, yüksek jeotermal gradyanlardan ve hareket eden (özellikle yükselen) akışkanlardan doğan doğal voltaj değişimlerini ölçer ve jeotermal aramada yaygın olarak kullanılır (Laughlin, 1982). Ayrıca sıg madenlerin aranmasında, fay ve kırık kuşaklarının belirlenmesinde kullanılır.

3.8.3.3. Etkisel kutuplaştırma (IP) yöntemi

Yer içine iki elektrot yardımı ile doğru akım uygulanır ve bu akım belirli bir süre sonra kesilir. Akım kesildikten sonra okunan gerilim farkı hemen sıfır olmaz. Zamanla azalarak bu etki sıfıra yaklaşır. Elektrot uçlaşmasında; elektrik akımı yer altında kayaçların gözeneklerindeki eriyiğin barındırdığı iyonlarla taşınır. Eğer bu iyonların yolu bazı mineral parçaları ile kapatılırsa, iyonlar metal sınırlarında toplanırlar. Çünkü akım mineral içerisinde elektronik iletkenlik ile taşınacaktır. Mineral etrafında akımın girdiği tarafta pozitif (+), çıktığı tarafta negatif (-) iyonlar toplanır. Böylece biriken yükler elektrik akımının akışına ters yönde bir voltaj yaratırlar. Akım kesilince mineral yüzeyinde toplanan iyonlar tekrar eski haline döner ve oluşan voltaj azalarak söner. İyonların bu hareketi yapay uçlaşmayı oluşturur. Zar uçlaşmasında ise; kayaç içinde dağılmış kil mineralleri ıslaktırlar ve negatif yüklüdürler. Bu nedenle ıslak kil parçacığı üzerinde bir iyon bulutu oluşur. Yere akım verildiğinde, pozitif iyonlar kil sınırlarından uzaklaşırlar. Akım kesildiğinde ise tekrar kil mineralleri etrafındaki negatif iyonlara doğru hareket ederler. İyonların bu hareketi de yapay uçlaşmayı doğurur (Candansayar, 2009).

IP yöntemi, kayaçların iyon içeren bölgelerinin saptanmasında kullanılan bir jeofizik yöntemidir. IP çalışmalarında elektrotların dizilişi öz direnç yönteminde olduğu gibidir. IP yöntemi yeraltının hem öz direnç, hem de iyonik durumunu yansıtır. Jeotermal alanlarda sıcak su ve buhar barındırmaları ve çeşitli mineral içermeleri nedeniyle iyi birer iletkenlerdir. Jeotermal ortamlarda, düşük öz direnç ve yüksek şarjlanabilme birbirlerini destekleyen olgulardır (Şekil 3.9).



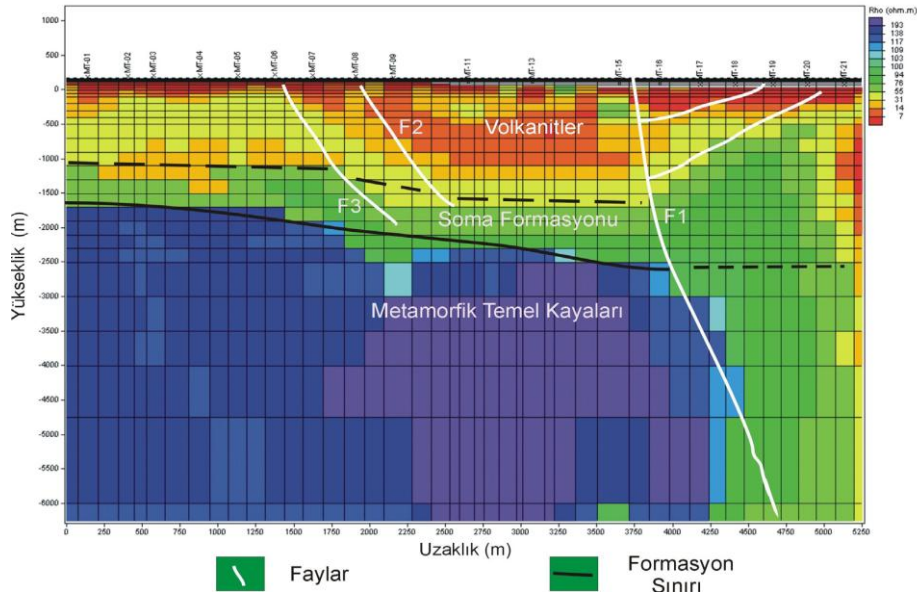
Şekil 3.9. İki boyutlu rezistivite ve IP çalışmalarına örnek (Gönülalan vd., 2009)

3.8.3.4. Manyetotellürik yöntem

Manyetotellürik yöntem, yer altı incelemelerinde enerji kaynağı olarak dünyanın doğal elektromanyetik alanını kullanır ve yerin elektriksel öz direnci ölçülür. Doğal elektromanyetik alan, onlarca kilometre derinlikleri incelemede çok düşük frekanslar da dâhil olmak üzere oldukça geniş bir frekans spektrumuna sahiptir. Bu da yeraltının çok sığ yapılarından çok derin yapılarına kadar araştırma olanağı sağlamaktadır. Manyetotellürik sözcüğü, manyetiğin karşılığı olan manyeto ve yerküre akımları için kullanılan tellürik sözcüklerinin birleşiminden oluşur. Bu anlamda Manyetotellürik, yer manyetik alanındaki tellürik ve manyetik akımların oluşturduğu değişimleri inceleyen bir yöntem olarak tanımlanabilir (Christopherson, 2001).

Kayaçların elektrik iletkenliği poroziteyle, sıcaklıkla, içerdiği suyun tuzluluğu ile birlikte artmaktadır. Kuru kayaçlarda iletkenlik sıcaklıkla doğru orantılı olarak yavaş-yavaş artarken, magma çok daha iletkenidir. MT ölçümleri araştırılan jeolojik

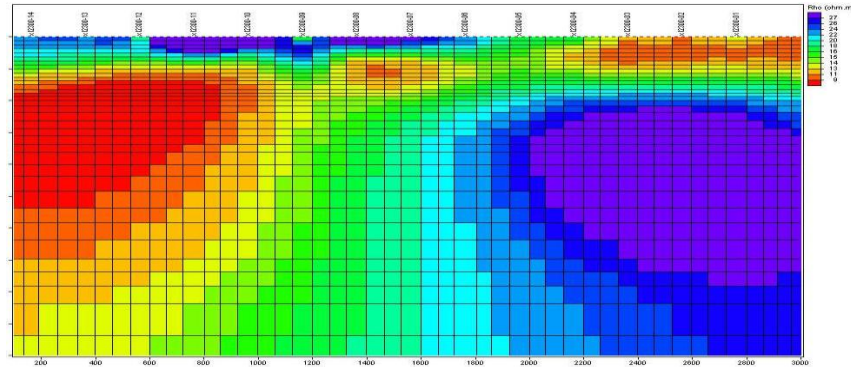
formasyonların özellikleri hakkında çok önemli bilgiler vermektedir. Kayaçlar arasındaki iletkenlik farklarından dolayı, MT verilerin yorumlanması ile derinlik, büyük stratigrafik birimlerin sınırları gibi jeolojik yapılar açığa çıkarılabilmektedir (Çirkin, 2007). MT yöntem derinlerde uygulanabildiğinden kabuk, manto, litosfer ve astenosfer ara yüzeylerinin araştırılmasına imkân sağlar. MT yöntemi jeolojik eğilimlerin, ayrışma kuşaklarının ve fay sistemlerinin incelenmesinde oldukça başarılı bir yöntemdir. Bunların yanında, frekans bandının uygun olduğu durumlarda, MT yöntemi ile kıtasal kabuk derinliği ve kabuk içerisindeki olası iletkenlik belirtilerinin saptanması olanaklıdır (Başokur, 2009). Örnek olarak Şekil 3.10' te Aliğa sahasında yapılmış MT çalışmalarıyla elde edilen model görülmektedir.



Şekil 3.10. Aliğa sahasında iki boyutlu ters-çözüm sonucu elde edilen gerçek öz direnç dağılımı ve jeolojik yorum (derinlik 6 km - doğrusal ölçek) (Kaya ve Başokur, 2007)

Audio-manyetotellürik yöntemi, uygun derinliklerdeki elektriksel iletkenlik değişimlerini incelemek amacıyla kullanılır. Özellikle jeotermal araştırmalarda bulunan iletken ortamlardaki değişimler bu yöntem yardımıyla saptanıp, jeotermal etkinliğin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Yöntemin önemli bir diğer özelliği de; yerin 2-3 km altından bilgi sağlayabilmesidir. AMT yöntemi diğer jeofizik yöntemlerle birlikte yapıldığında yorumlama gücünü bir hayli arttıracaktır (Zorlu, 2005).

CSAMT (Kontrol Kaynaklı Audio Manyetotellürik) yöntemi, yapay kaynaklı bir yöntemdir. Sinyal gücünün daha fazla olması ve arazide uygulanabilirliğinin daha hızlı olması nedeniyle jeotermal aramalarda MT ve AMT yöntemlere göre daha çok tercih edilir. CSAMT Yöntemi ile; 1-2 km. derinliğe kadar jeotermal akışkan içeren rezervuar, masif sülfid ve grafit yatakları belirlenmektedir. Bu yöntem ayrıca belirtilen derinlik içersinde yeterli özdirenç farklılığı ve kalınlığı bulunan jeolojik katmanların izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Maden Tetkik Arama, 2008c).



Şekil 3.11. CSAMT 2 boyutlu profil kesitine örnek (Temimhan, 2005)

3.8.3.5. Çok düşük frekanslı elektromanyetik (VLF) yöntem

VLF, yapay kaynaklı bir elektromanyetik yöntemdir ve dünya üzerinde yerleşmiş durumda bulunan değişik radyo vericilerinden (genellikle askeri) yayılan güçlü dalgaların birincil alan olarak kullanılmasıyla başlar. Bu yöntemle, iletken olmayan kayaç oluşumlarının geniş derinliklerde aranmasını olası kılmaya karşın, iletken ortamlarda derinlik penetrasyonu düşer. Ölçüm işlemleri genellikle oldukça hızlıdır ve düşük ölçüm maliyetiyle, yüzey altı yapıları hakkında önemli veriler verir. EM-VLF araştırmaları, özellikle yüzeye yakın ve taşıyıcı olduğu düşünülen kırık zonları üzerinde tanımlayıcı belirtiler üretmektedirler ve diğer yöntemlerle, özellikle de doğal gerilim ile, birlikte bu tür yerlerin belirlenmesinde oldukça etkili olmaktadır. EM-VLF yöntemi de, yüzey altındaki basınç, sıvı akışları ve iyonik hareketlere karşı duyarlıdır ve bu olgunun doğal gerilim oluşturan ortamlarla benzer olması, her iki yöntemin birlikte kullanılmasının oldukça etkili sonuçlar verebileceğini göstermektedir (Zorlu, 2005).

3.8.3.6. Geçici elektromanyetik (TEM) yöntem

Geçici elektromanyetik yöntemde araştırma yapılacak alan üzerine geniş bir halka serilir. Bu verici halkadan yere akım verilir ve yeraltında bir enerji yaratılır. Daha sonra bu akım aniden kesilerek yeryüzünde bir manyetik alan yaratılır. Bu birincil manyetik alandır ve bu alan civardaki iletken ortamlardan geçerse bir elektromanyetik kuvvet yaratır. Bu elektromotor kuvvet nedeni ile iletken içinde akan akım Eddy akımlarını oluşturur. Eddy akımlarının zamanla sönümlenmesi ile de ikincil manyetik alan oluşturur. Eddy akımlarının sönümlenmesi ortamın öz direncine ve yapının boyutuyla orantılıdır. Bu ikincil alan, vericideki akımın kapalı olduğu anda yani birincil alanın yokluğunda ölçülür (Başokur, 2003).

Zaman Ortamı Elektromanyetik Yöntem (Time-Domain Electromagnetic Method) olarak ta bilinen bu yöntem verici kontrolü ile sağlanan yüksek çözünürlük ile doğal kaynakların ekonomik olarak aranmasında ve yer kabuğunun derin ya da sığ kesimlerinin incelenmesinde kullanılabilen bir jeofizik yöntemdir. Genel olarak maden ve jeotermal alan araştırmalarında, çevre jeofiziği çalışmalarında iletken ortamlara çok duyarlı olması özelliği ile direk olarak ya da diğer jeofizik yöntemlere yardımcı bir yöntem olarak kullanılabilmektedir (Özürlan ve Uluggerli, 2005 ; Başokur, 2003).

3.8.4. Termal yöntemler

Yeraltı sıcaklığının ölçülmesi ve gradyan artışının belirlenmesi jeotermal enerji aramalarının sağlıklı ve güvenilir yöntemlerindendir. Yeraltı sıcaklığı derinlik ile orantılı olarak artmaktadır. Jeotermal gradyan; yeraltına inildikçe, yer sıcaklığını 1 °C derece arttıran derinlik miktarıdır (Altınlı, 1986). Normal jeotermal gradyan 33 metredir. Yani yerin altında inilen her 33 metre için 1 °C sıcaklık artışı olması beklenir. Eğer sıcaklık 33 metrede 1°C' den fazla artarsa pozitif jeotermal gradyan olarak adlandırılır. Bu da bir jeotermal alan olabileceğine işaret eder. Dünyada ortalama gradyan artışı 25 C°/km. dir (Tissot ve Welle, 1984). Bu gradyan artışı dünyanın her yerinde düzenli değildir. . Kayaçların ısı iletkenliği, bölgesel ısı akışı

dağılımı, aktif tektonik yapı ve yeraltı su dolaşımı jeotermal gradyan değerini etkileyen faktörlerdir (Gevrek, 1991).

Isı Akısı; yer içinden yeryüzüne doğru yükselen ısı enerjisine denir. Isı akısı ölçümleriyle yerin iç ısı ile levhaların hareket etmesine ve depremlerin oluşmasına neden olan mantodaki ısı hücrelerinin yapısını anlamak mümkündür (Bal, 2004).

Doğrudan sıcaklık ölçümüne dayanan ısı akısı ve jeotermal gradyan gibi termal yöntemler jeotermal alanların araştırılmasında en etkin ve güvenilir yöntemlerden biridir. Sığ derinlik ölçümlerinde, sıcaklığa günlük sıcaklık değişimi, topoğrafya, mikroklima gibi etkenler etki etse de derin ölçümlere göre daha ekonomik ve zaman açısından daha kolay uygulanabilir olması nedeniyle (derin ölçümler yapılmadan) önce ilk olarak tercih edilirler (Gevrek, 1991).

3.8.5. Sismik Yöntem

Sismik yöntemler aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Pasif sismik yöntemler, doğal depremlerin etkileri veya ilgili jeotermal akışkan çekimi ve enjeksiyonu sırasında oluşan etkileri ile ilgilenir. Aktif sismik yöntemler ise, yapay kaynağı (patlatma ya da vibro) olan tüm sismik aramaları kapsar.

Aktif sismik yöntemlerden olan sismik kırılma ve sismik yansıma yöntemleri temel kayacın durumu ile akifer yapısını algılayabilme amacıyla kullanılabilir (Serpén, 2003). Uygulamalı sismikte, dalgaları üreten bir enerji kaynağına, yeryüzüne bir düzen içinde yerleştirilmiş bir seri alıcıya ve bu alıcılara gelen dalgaları kaydeden ölçüm aletine ihtiyaç vardır. Yeraltındaki jeolojik tabakaların durumlarını saptamak amacıyla, bir kaynak tarafından oluşturulan dalgaların tabaka sınırlarından kırılarak veya yansıyarak yeryüzünde bulunan algılayıcılar tarafından sismografa iletilmesi ilkesine dayanır. Sismik kırılma yöntemi yeraltına gönderilen ses dalgalarının yer içindeki tabaka sınırlarında meydana gelen kırılma özelliklerini inceler. Sismik kırılma yöntemi, zemine ait jeolojik tabakaların sismik hızlarının ve bu tabakaların derinliklerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesine olanak sağlar. Sismik kırılma yöntemiyle gömülü fayların belirlenmesi mümkündür. Sismik yansıma yöntemi ise;

yeraltının iki veya üç boyutlu, ayrıntılı yapısal ve stratigrafik kesitinin elde edilmesinde kullanılır. Sismik yansıma yöntemi, çevre kayaçlara göre yeterli akustik empedans farkı yaratan ortamlarda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu yöntem, jeotermal üretim planlamasında ve saha sınırlarının belirlenmesinde etkili olan fayların yeri, atımı ve kıvrımların tespitinde de detaylı bilgiler verir (Gönülalan vd., 2009). Ancak aktif sismik yöntemler jeotermal alan araştırmalarında, uygulanabilirliğinin zor olması ve pahalı bir yöntem olması sebebiyle öncelikli önerilen yöntemlerden biri değildir.

Aktif fayları belirleme amacıyla pasif sismik yöntemlerden biri olan mikro deprem yöntemini de uygulanabilir. Pasif yöntemler jeotermal aramada aktif sismik yöntemlere göre daha yaygın olarak kullanılırlar (Serpen, 2003). Bir jeotermal rezervuarın belirlenmesi ve tanımlanmasında, özellikle de hidrotermal alanların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde, sismolojik veriler önemli yer tutar. Bu tür alanlarda oluşan depremlerle buhar rezervuarlarının özellikleri saptanabilir. Bu tür olaylar, jeotermal deprem olarak bilinir. Mikrodepremler; geniş basınç ya da ısı gradyentleriyle ilişkili olabilir ya da akışkan taşınmasıyla ilişkisi bulunan hacim değişimlerine bağlı olarak ortaya çıkabilir. Eğer bu olgular doğruysa; dağılımlar yoluyla buhar zonunun sınırları tanımlanmaya çalışılır. Birçok rezervuar modelinde bu sınır dinamiktir ve buhar zonunun gözlenmesi için sismik araştırmalar yapmak gerektiğinden, alanda yapılacak patlatma çalışmalarıyla sorun çözümlenmeye çalışılır. Bu tür patlatma çalışmaları yoluyla yapılmış sismik kırılma araştırmalarıyla bazı jeotermal alanlarda olumlu sonuçlar alınmıştır. Bu çalışmalarla, araştırılan bölgedeki kırık zonları bulunabildiği gibi, jeotermal rezervuarın temeli ve örtü kayaç birimleri hakkında da bilgiler sağlamak olasıdır (Ackermann, 1979). Ayrıca jeotermal akışkanın fazla çekimi veya fazla enjeksiyonu da mikrosismik olaylara sebep olabilir. Öte yandan, düşük geçirimsizlikli rezervuarlarda ya da daha çok kışkırtılan (enhanced) jeotermal alanlarda akışkan dolaştırmak üzere yapay yollarla oluşturulan çatlağın konum ve geometrisinin izlenmesinde mikrosismik izleme teknikleri vazgeçilmez bir yer edinmiş bulunmaktadır (Pritchett ve Ishido, 2005; Hiroshi vd., 2005).

3.8.6. Kuyu Jeofiziği

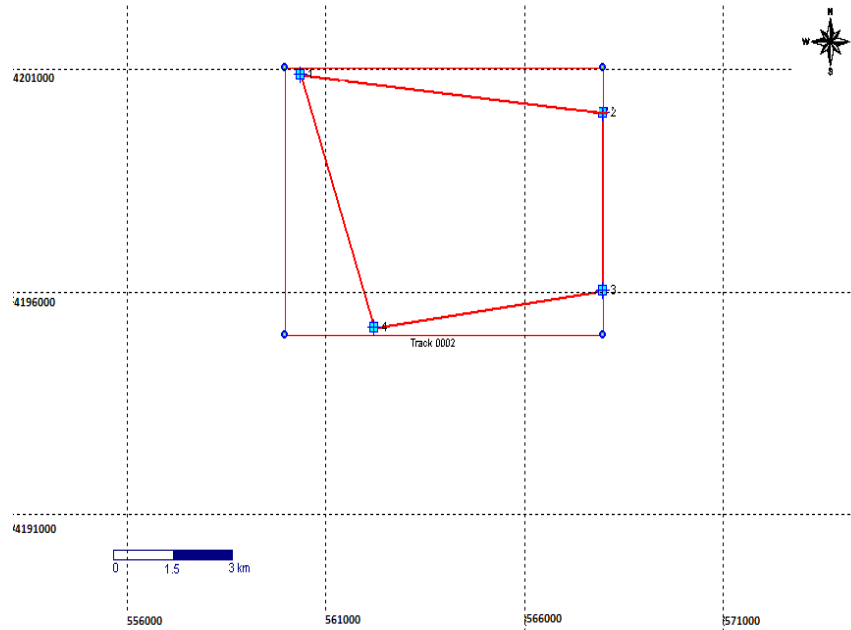
Kuyu jeofiziği; yer altı kaynaklarını araştırmak amacıyla, sondaj kuyusu açıldıktan sonra kuyu içinde yapılan jeofizik ölçüleri kapsar. Kuyu logu ölçümlerinde, formasyonların ölçülecek fiziksel parametrelerine (özdirenç, yoğunluk, radyoaktivite vd.) göre farklı ölçü alma yöntemleri kullanılır (gamma- ray logu, yoğunluk logu, rezistivite logu, doğal potansiyel logu, gamma ray spektral log, sıcaklık logu, nötron logu, sonik log, kaliper log) (Danışman ve Akgün, 2000). Böylelikle kuyu jeofiziğinde kayaçların yoğunlukları, radyoaktiviteleri, özdirençleri, tabaka kalınlıkları, kuyu geometrisi, tabaka eğim ve doğrultuları, çatlaklı zonlar ve rezervuar zonlarda sıcaklık, gözeneklilik ve geçirgenlik, akışkan hareketleri, akışkana doygunluk, tuzluluk parametreleri gibi parametreler belirlenebilmektedir. Jeotermal rezervuarların hidrolik/termal performansını kontrol eden en önemli iki parametre geçirgenlik ve gözenekliliktir. Rezervuar gözenekliği jeotermal sistemin ne kadar akışkan ve ısı içerdiğini, geçirgenlik ise üretilen akışkanın hızını (veya debisini) gösterir. Gözeneklilik ve geçirgenliğin yanında diğer önemli olan parametreler ise, akışkan ve kayacın termal iletkenliği ve bunların ısı kapasiteleridir. Termal iletkenlik, akışkan veya kayacın ısı iletme kapasitesinin, ısı kapasitesi ise akışkan ve kayacın ısı depolama kapasitelerinin bir ölçüsüdür (Onur ve Satman, 2006). Kayaç geçirgenlik ve gözeneklilik değerleri ve diğer termal parametreler kuyu logları ve kuyu basınç testleri ve analizleri ile belirlenebilmektedir (Onur, 2005).

3.9. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu

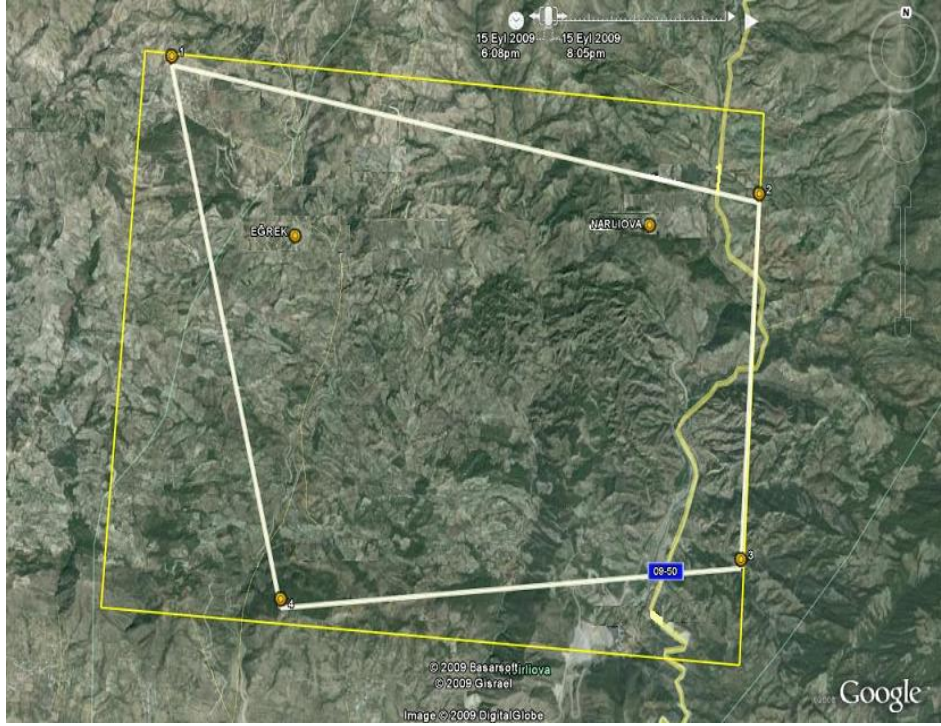
Aydın il merkezinin batısı ile Aydın iline bağlı Germencik ilçesinin kuzeyinde yer alan çalışma sahasının konumunu gösteren yer bulduru haritaları Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Ayrıca çalışma alanına ait uydu fotoğrafı ve jeofizik etüt alanı (Şekil 3.14) ile açılı arazi görüntülerinden (Şekil 3.15) yararlanılmıştır.



Şekil 3.12. Çalışma alanını (Aydın civarı) gösteren yer bulduru haritası



Şekil 3.13. Çalışma alanının yer bulduru haritası (Jeofizik Servisi, 2009)

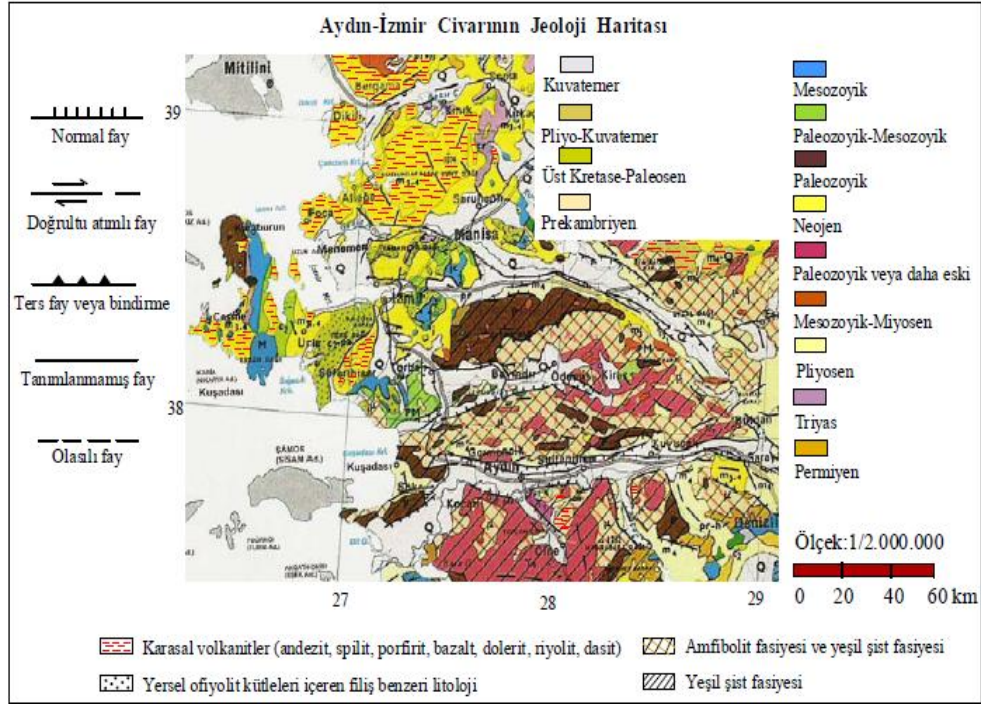


Şekil 3.14. İnceleme alanının uydu görüntüsü ve jeofizik çalışma alanı



Şekil 3.15. Açılı arazi görüntülenmesi (Jeofizik Servisi, 2009)

3.10. Büyük Menderes Grabeni ve Çalışma Alanının Genel Jeolojisi



Şekil 3.16. Aydın-İzmir civarının genel jeoloji haritası (Bingöl, 1989)

Batı Anadolu’da KD-GB ve KB-GD doğrultulu aktif graben sistemleri gelişmektedir. Bu çöküntülerin en önemlilerinden biri Büyük Menderes Grabeni’dir. Büyük Menderes Grabeni 150 km’lik uzunluk ve 10–20 km genişliğe sahip olan aktif normal faylarla sınırlı D-B doğrultulu bir çöküntüdür (Paton, 1992). D-B doğrultulu ana yapılardan biri olan Büyük Menderes grabeni, doğuda Denizli havzasından batıda Ege Denizi’ne kadar uzanmaktadır (Yönlü, 2008). Grabenin doğu ucu Pamukkale civarında Gediz grabeni ile kesişmekte ve batı ucu da Germencik civarında kuzey ve güney kolu olarak ikiye ayrılmaktadır. Kuzey kolu Kuşadası’na devam ederken, güney kolu Ege Denizi’ne girmektedir. Büyük Menderes grabeninde Miyosen’den bu yana K-G ve D-B doğrultulu iki fay takımı gelişmiştir. Bunlardan K-G doğrultulu olanlar Nazilli kuzeyinde, Kuyucak batısında ve Atça- Kılavuzlar arasında bulunur. Bu fayların yüzeyde izlenen uzunlukları 3–5 km arasında değişir. Faylar büyük bir olasılıkla Nazilli’den itibaren alüvyon altında da devam eder. Yaklaşık D-B doğrultusunda gelişen ikinci fay takımı, Büyük Menderes grabeninde basamaklar oluşturacak şekilde gelişmiş güneye eğimli normal faylar niteliğindedir.

Bu fayların oluşumu Geç Miyosen'den itibaren başlar ve günümüze kadar devam eder (Utku ve Sözbilir, 2003). Grabenin ana fayı grabenin kuzey kenarı boyunca uzanır ve güneye doğru eğimlidir. Grabenin kuzeyini sınırlayan fayların güneydeki faylara oranla daha aktif olduğu ve Holosen dönemindeki aktivitenin önemli kısmının grabenin kuzeyinde gerçekleştiği daha önce yapılan çalışmalarda (Şengör, 1982; Paton, 1992; Seyitoğlu ve Scott, 1992; Cohen ve diğ., 1995; Altunel, 1999; Hakyemez ve diğ., 1999; Bozkurt, 2000; Sözbilir, 2000) ortaya konulmuştur.

Miyosen döneminden günümüze dek, Anadolu'nun geçirdiği evrime paralel morfolojik değişim sunan ve özgün jeoloji geçmişi ile ülkemizin en yüksek ısı akısına sahip yöresini oluşturan Menderes masifi, aşamalı bir süreç içinde yükselmiştir. Masif, yakın zamanda DB uzanımlı grabenleri oluşturan derin yapısal süreksizliklerle kesilmiştir. Bu bölgede, bir yandan metamorfikleri etkilemiş olan sıyrılma fayları ve bir yandan da üst Miyosen'de oluşmuş, bugünlere verrev uzanan bir başka fay sistemi ile yaygın ve etkili bir kırılanma ve kaya ortamlarının geçirimsizlik kazanması olanaklı olmuştur. Bütün bunlar, bu bölgede çok sayıda ve yüksekçe ısı yüklü jeotermal sistemin gelişmesini sağlamıştır (Öngür, 2005).

Bölgede, Üst Miyosen dönemiyle birlikte grabenleşme süreci başlamıştır. Oluşan grabenlerde genç Neojen ve Kuvaterner çökelleri birikmiş, bu çökellerin yaşıtı morfolojik birimler ise horstlarda aşınım yüzeyleri olarak gelişmiştir (Özgür, 1983). Menderes masifinin Paleozoyik metamorfikleri (gnays, filit, çeşitli şistler, mermer), temeli kurmaktadır (Şimşek, 1981). Uzun bir stratigrafik boşluktan sonra, karasal Üst Miyosen çökelleri aşılma uyumsuzlukla, metamorfikler üzerine gelmektedir. Aşınım yüzeylerinde ayrılmış gnays, kuvarsit, mermer çakıllarının akarsu ortamında birikmesiyle Üst Miyosen birimleri oluşmuştur. Bu kaba taneli kırıntılılar üzerine yine aşılma uyumsuzlukla, Pliyosen yaşlı, gölsel kumtaşı, kilaşı, marn çökelleri gelmektedir. Gölsel Pliyosen çökelleri, yanal olarak akarsu ortamı birimlerine geçişlidir. Pliyokuvaternerde, tektoniğin etkinliği sonucu, iri bloklar içeren, yaygın alüvyon yelpazeleri oluşmuştur. Yakın çevredeki, volkanik etkinlikler bu evreye aittir (Yüksel, 1971; Ercan, 1982).

Çalışma sahası Aydın il merkezinin batısı ile Germencik ilçesinin kuzeyinde bulunup Büyük Menderes Grabeni'nin batı kesiminde yer almaktadır. Çalışma sahasının tümünde Menderes masifinin Metamorfik kayaları (gnays, şist, kuvars-şist ve mermer) üzerine çökelen sedimanlar (kumtaşı, silttaşı, konglomera) bölgede oluşan genel dizilimi vermekte (Şekil 3.17) ve açılan kuyularda benzer dizilimler görülmektedir (Jeofizik Servisi, 2009).

UST SİSTEM	SİSTEM	ALT SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER	Holosen	Aydın	Qaly		150		Alüvyon - Alüvyon Yelpazesi
				Trç		150		Taraça
		Pleyistosen	Umurlu	Plt		300		Gevşek tutturulmuş Çakıltası yer yer Killi
				Pi		450		Kumtaşı - Silttaşı - Kilitaşı
	TERSİYER NEOJEN	Üst Miyosen	Kocaklı	ÜM		400		Kırmızı bordo renkli Çakıltası - Kumtaşı Kilitaşı
				OM		200		Marn - Kumtaşı Kömür seviyeli
		Orta Miyosen	Hacıözü	OM		200		Taban Konglomerası
				PzGny		250		Allokton Gnays; Altere Kuvarsit bantlı
PALEOZOYİK	Menderes Masifi			PzMrs		1000		Mermer - Şist - fillit ardalanması Kuvarsit bantlı
				?		?		Çeşitli Şist (Mikaşist - Kuvarsşist - kloritşist) Gnays

Şekil 3.17. Çalışma alanındaki grabenin jeolojik kesiti (Karahana ve Bülbul, 2008)

Metamorfik kayalar içerisinde bulunan mermer seviyeler ve tektonizma etkisi ile faylanmış ve çok çatlaklı, kırılğan hale gelmiş metamorfikler (gnays, kuvars-şist) ikincil geçirgen özellik kazanarak jeotermal sistemlerin rezervuar kayaçlarını oluşturmaktadır. Diğer taraftan metamorfikler üzerinde bulunan geçirimsiz sedimanter birimler (kil taşı ve marn türü geçirimsiz birimler) ise örtü kaya olarak görev yapmakta ve dolayısı ile ısınmış suyu rezervuar kaya içerisinde

hapsetmektedir. Tektonizma etkisi ile bölgede graben sistemlerini oluşturan faylar meteorik suyun yeraltına girmesine imkân vermekte ve derin seviyelerde ısınan suyun uygun rezervuar koşullarında yeraltında depolanmasına ve böylelikle jeotermal rezervuar sistemlerinin oluşmasına imkân vermektedir (Jeofizik Servisi, 2009).

3.11. Çalışma Alanının Jeotermal Açından Değerlendirilmesi

Bahsedilen sahanın bulunduğu bölge jeotermal sistemlerin oluşması için gerekli tüm koşulları barındırmaktadır. Bölgede ölçülen yüksek ısı akımının varlığı jeotermal sistemlerin ısı kaynağını oluşturmaktadır. Bölgede bulunan jeolojik birimlerin litolojik özellikleri jeotermal sistemleri oluşturabilmek için gerekli rezervuar kayaç ve örtü kayaç özelliklerini sağlamaktadır. Ayrıca yoğun tektonizma etkisi ile oluşan graben sistemleri ve dolayısı ile meydana gelen fay ve kırık sistemleri suyun yeraltında dolaşımına imkân vermekte ve uygun jeolojik ortamlarda rezervuarlarda depolanmasını sağlamaktadır (Jeofizik Servisi, 2009).

3.12. Çalışma Sahasında Uygulanan Jeofizik Yöntemlerde Kullanılan Cihazlar

IP/ Rezistivite yönteminde, veri toplama işleminde; AGI SSR8 Superstring ile IRIS VIP 5000 verici ve IRIS ELRECPRO alıcı, TSQ-3 verici ve ELRECPRO alıcı kullanılmıştır. Enerji kaynağı olarak; 2 adet 10 -20 HP ve bir adet 5 HP benzinli jeneratör, kullanılmıştır.



Şekil 3.18. IP/ Rezistivite ölçümlerinde kullanılan cihazlar

Gravite ölçümlerinde; SCINTREX marka CG-5 ile ölçümler yapılmıştır. Ayrıca Gravite noktalarını mm. hassasiyetinde belirleyebilmek için bir adet sabit ve iki adet gezici TOPCON marka DGPS RTK cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.19. Gravite ölçümlerinde kullanılan cihazlar

Manyetik ölçümlerinde; SCINTREX marka 1 Adet BAZ ve 1 Adet Gezici alıcı Envi-Mag manyetometresi kullanılmıştır.



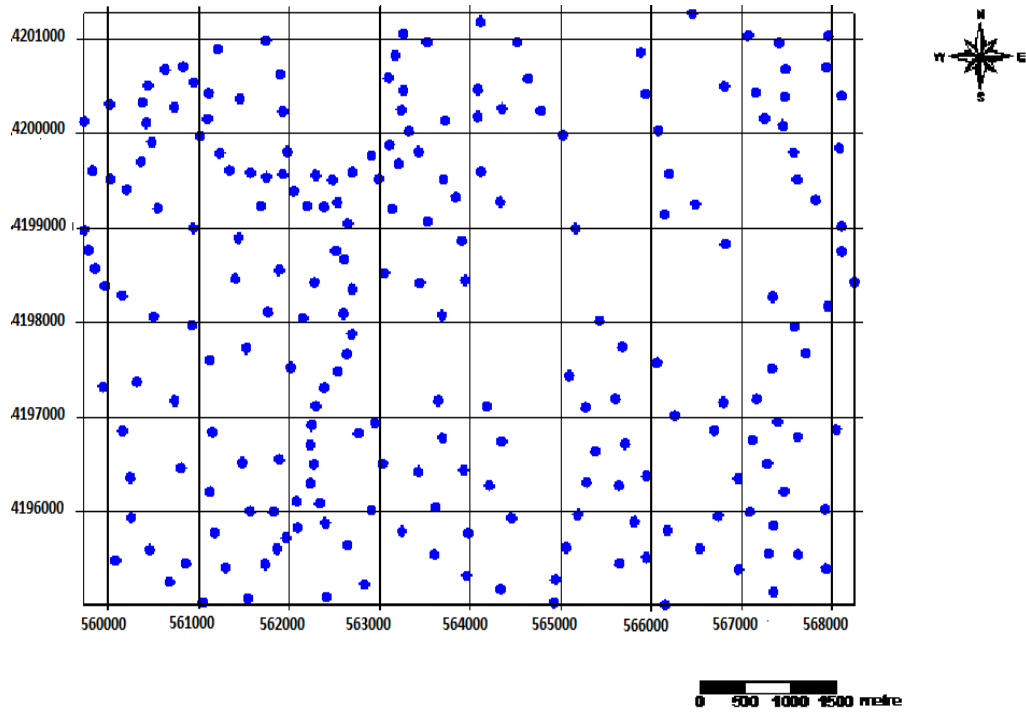
Şekil 3.20. Manyetik ölçümlerinde kullanılan cihazlar

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Aydın il merkezinin batısı ile Aydın iline bağlı Germencik ilçesinin kuzeyinde yer alan çalışma sahasında Jeofizik Servisi ve İleri Teknolojiler Limited Şirketi tarafından alınmış olan gravite, manyetik ve elektrik verileri tekrardan değerlendirilmiş ve yorumlamaya gidilmiştir.

4.1. Gravite Anomali Haritalarının Analiz ve Değerlendirilmesi

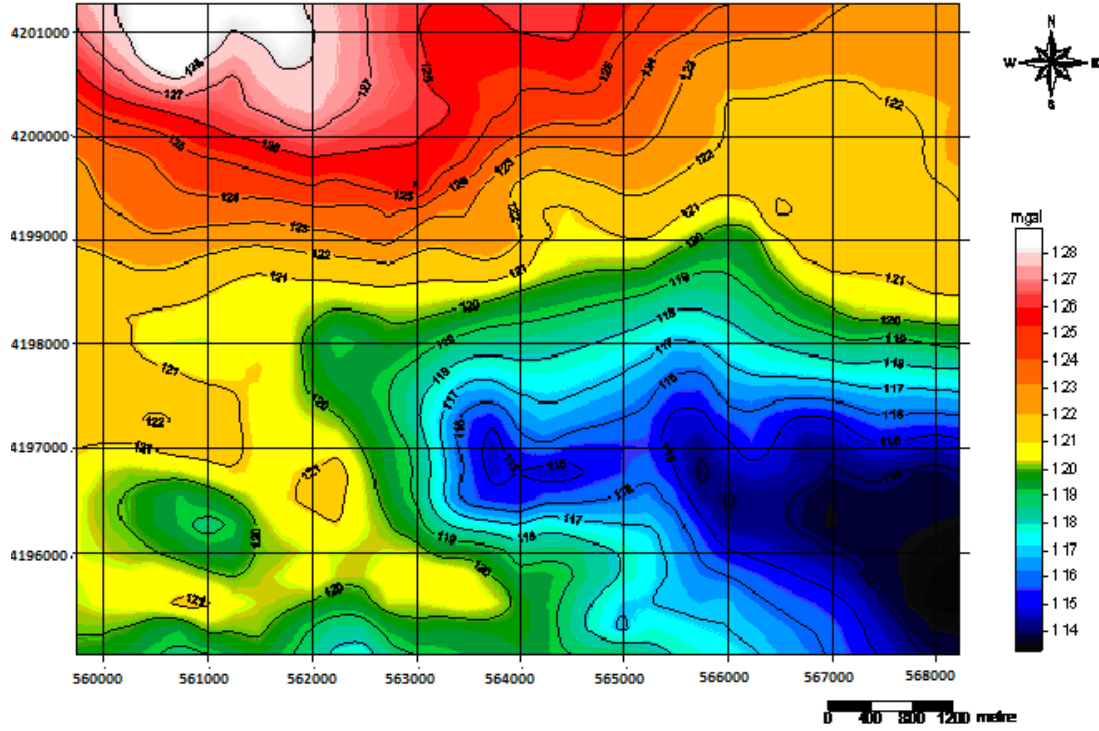
Çalışmada, SCINTREX marka CG-5 AutoGrav gravimetresi ile toplam 226 noktada gravite ölçüsü alınmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Çalışma alanı gravite etüdü nokta dağılım haritası (Jeofizik Servisi, 2009)

Ölçülen gravite verilerine; enlem etkisi düzeltmesi, yükseklik (kot) etkisi düzeltmesi, topoğrafik (engebe) etki düzeltmesi ve gel-git etkisi düzeltmeleri uygulanmıştır. Yükseklik (kot) düzeltmesi için ortalama 2.5 gr / cm^3 yoğunluğuna göre hesaplanan 0.20382 katsayısı kullanılmıştır. Bouguer Anomalisi ortalama 2.5 gr / cm^3 yoğunluğuna göre hesaplanmıştır. Gel-git etki düzeltmesi gravimetre cihazı

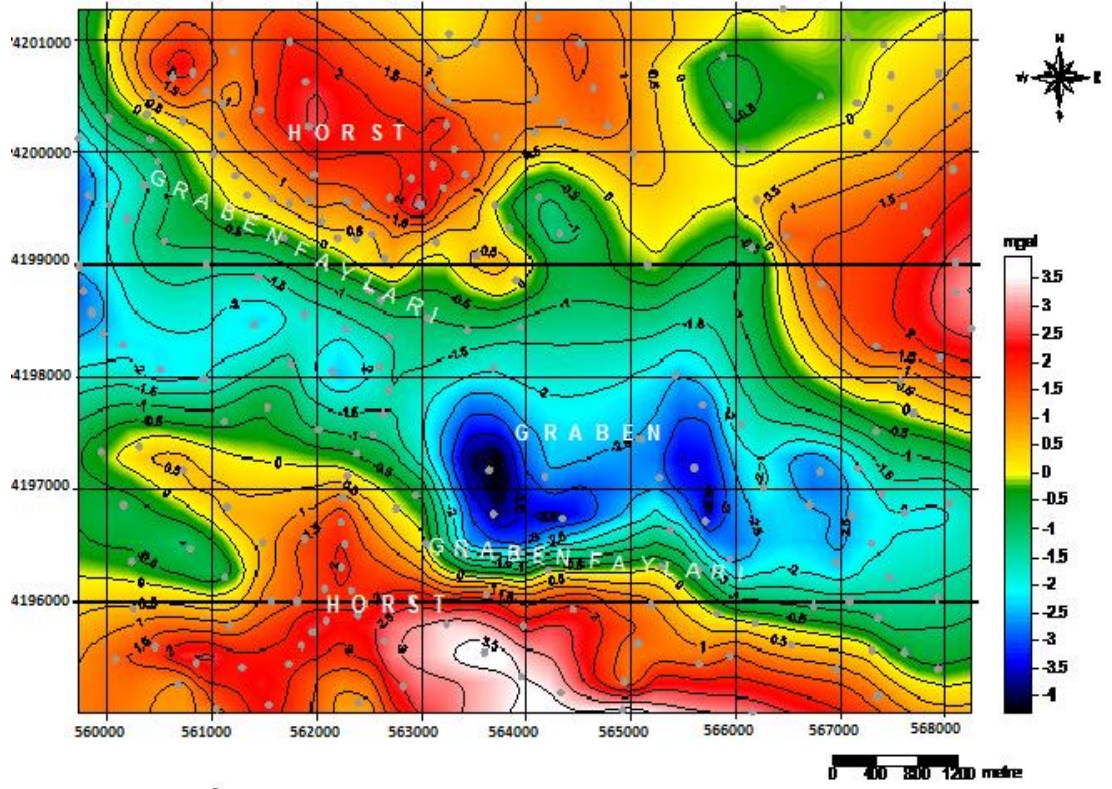
tarafından otomatik olarak yapılmış olup, düzeltmede bu değerler kullanılmıştır. SURFER bilgisayar programı ile gravite anomali haritaları çıkarılmıştır.



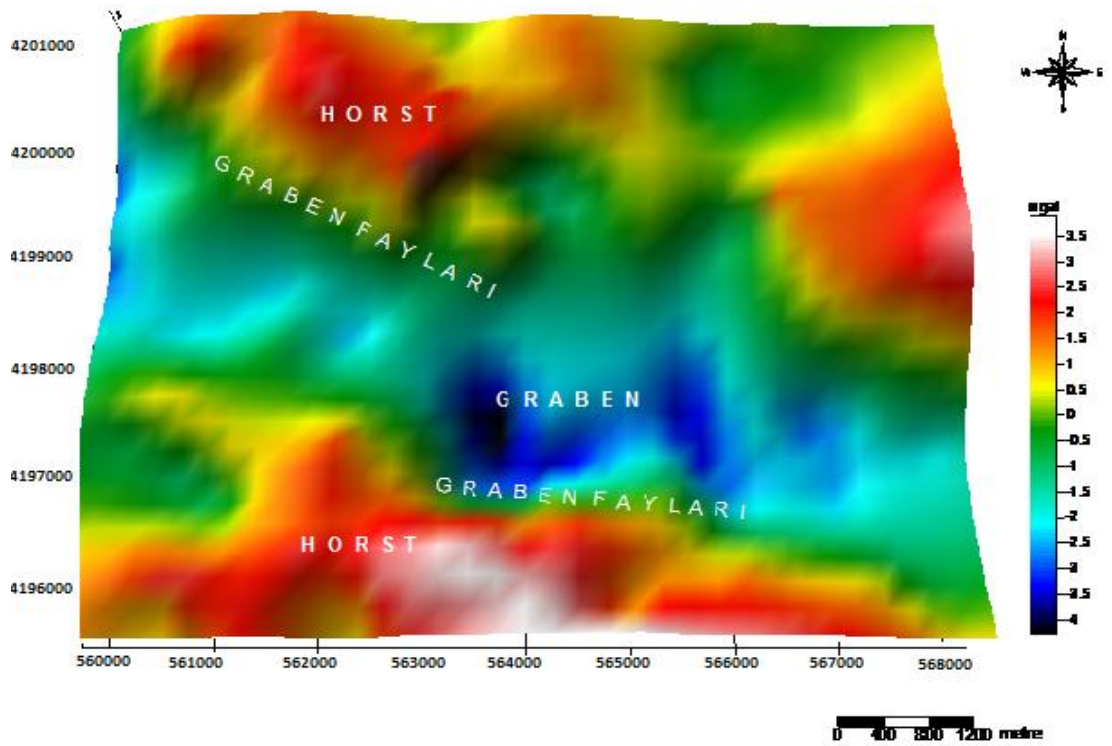
Şekil 4.2. Çalışma alanı gravite anomali renk, kontur haritası

Çalışma alanı gravite anomalileri renk, kontur haritası (Şekil 4.2) genel olarak incelendiğinde inceleme alanının güney-güneydoğusunda en düşük (114 mgal) ve kuzey-kuzeybatısında en yüksek (128 mgal) gravite değerleri yer almış olup, bu iki yön arasında 14 mgal'lik değişim saptanmıştır. Bu durumda temel kayacın kuzey-kuzeybatıdan, güney-güneydoğu istikametinde derinleştiğini söyleyebiliriz.

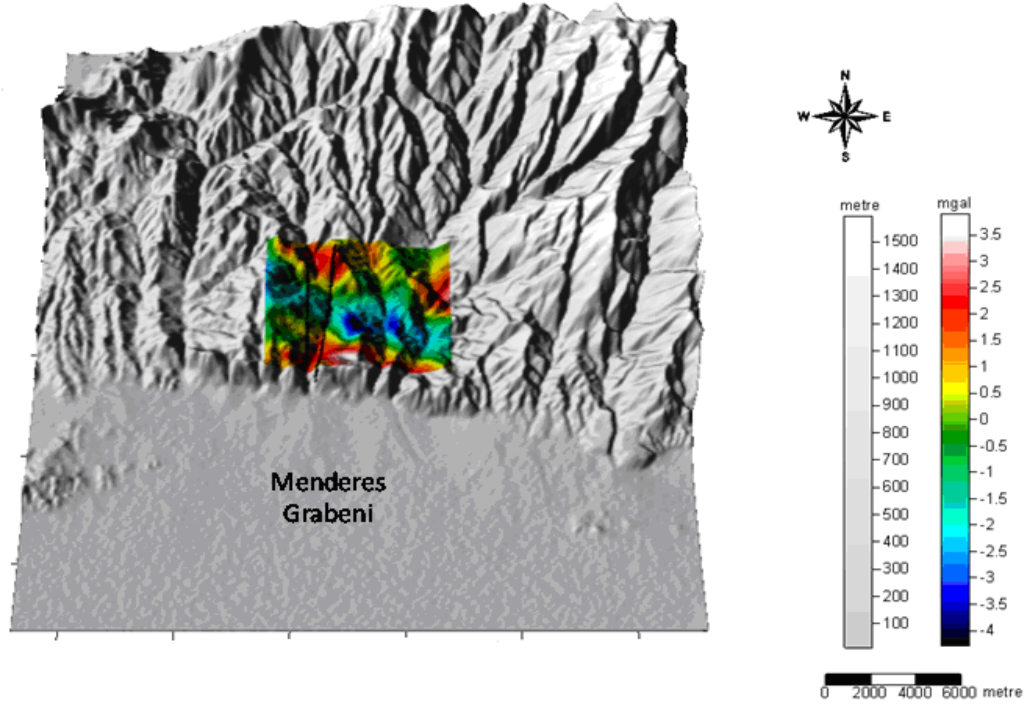
Çalışma alanı gravite anomalileri renk, kontur haritasından türetilen, derin etkilerin uzaklaştırıldığı, yüzeysel etkilerin yer aldığı rezidüel gravite renk, kontur haritasında (Şekil 4.3) ve bu haritanın 3 boyutlu görüntüsünde (Şekil 4.4), kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda kenarlarında graben faylarının yer aldığı bir graben belirlenmiştir. Bu grabenin kuzey ve güneyinde horstlar yer almaktadır.



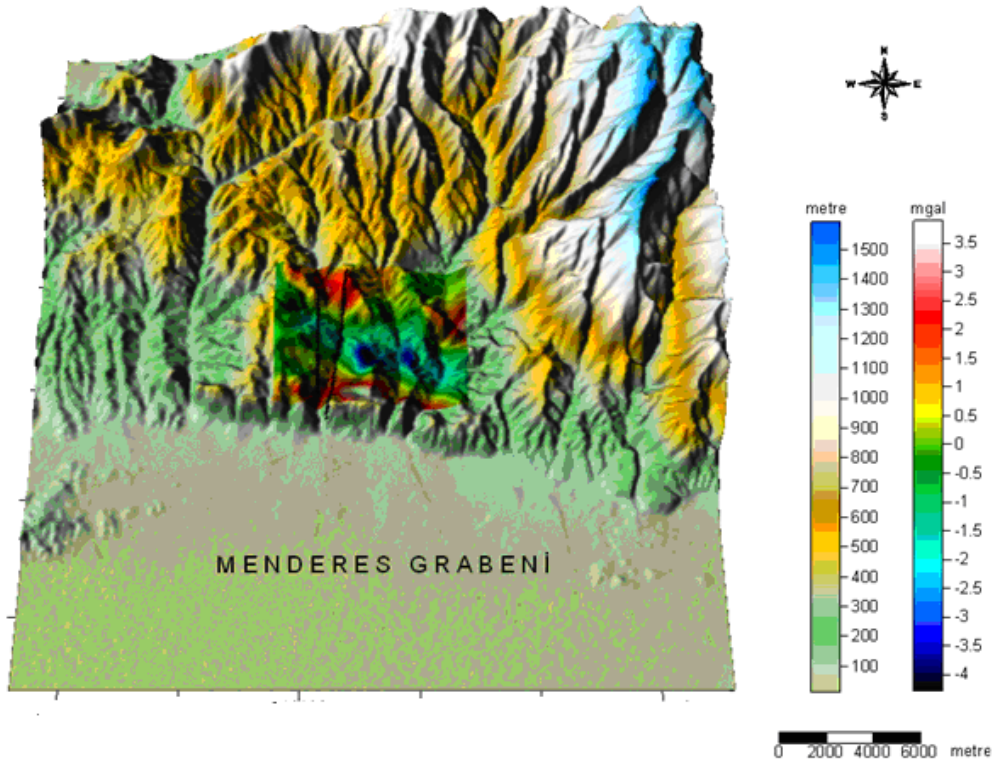
Şekil 4.3. Çalışma alanı rezidüel gravite anomalileri renk, kontur haritası



Şekil 4.4. Çalışma alanı rezidüel gravite anomalileri 3B görüntüsü



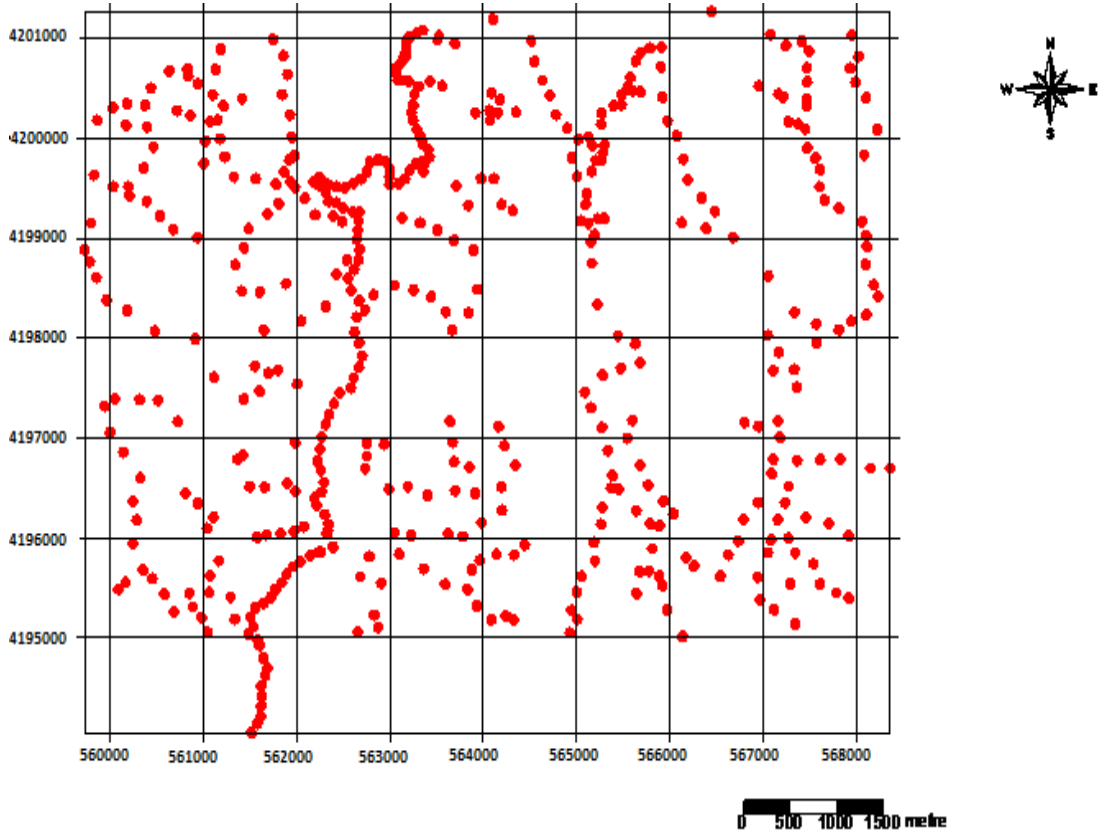
Şekil 4.5. Çalışma alanı ve çevresinin 3B yükseklik görüntüsü ve üzerinde rezidüel gravite anomalileri



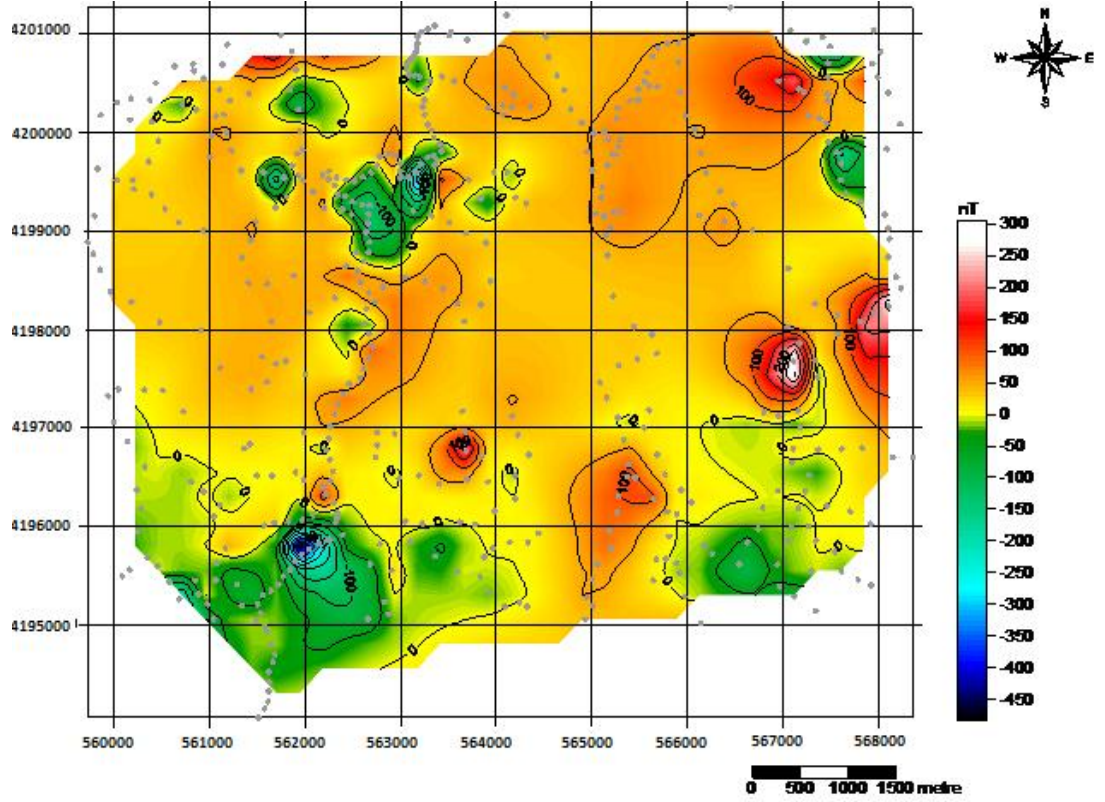
Şekil 4.6. Çalışma alanı ve çevresinin renklendirilmiş 3B yükseklik görüntüsü ve üzerinde rezidüel gravite anomalileri

4.2. Manyetik Anomali Haritalarının Analiz ve Değerlendirilmesi

Manyetik ölçümler çalışma alanında SCINTREX marka ENVI-MAG manyetometresi toplam 493 noktada alınmıştır. Manyetik nokta dağılım haritası Şekil 4.7 'de gösterilmiştir.

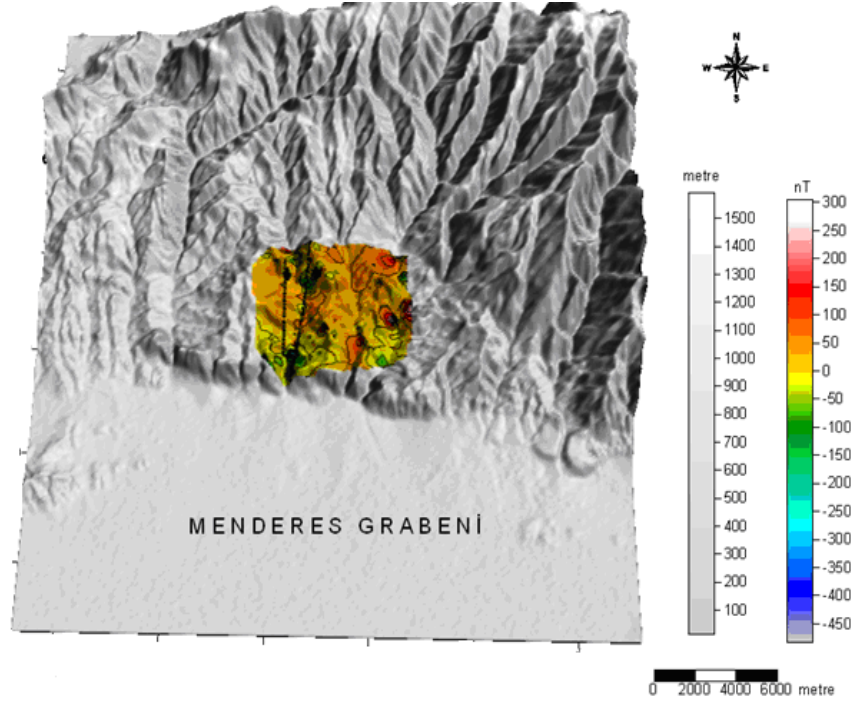


Şekil 4.7. Çalışma alanı manyetik etüdü nokta dağılım haritası (Jeofizik Servisi, 2009)

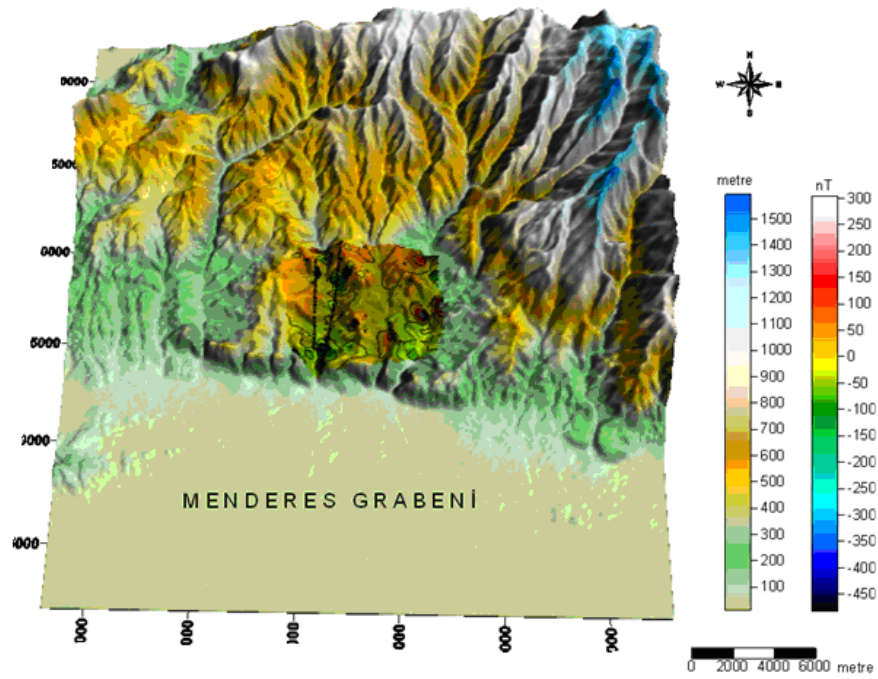


Şekil 4.8. Çalışma alanı toplam bileşen manyetik anomali renk, kontur haritası

Toplam Bileşen Manyetik Anomali Haritası genel olarak incelendiğinde; çalışma alanında çökel ve metamorfik birimler hâkimdir ve gerçekte sedimanter (tortul) ve metamorfik kayaçlar manyetik özellik göstermezler, bu nedenle tamamen sedimanter ve metamorfik kayaçlarla kaplı çalışma alanında ciddi bir manyetik anomaliye rastlanmamıştır. Çalışma alanında manyetik özellikte bir kayacın ve/veya jeolojik yapıyı yansıtacak bir anomalinin yer almadığı, küçük boyutlardaki pozitif anomalilerin mıknatıslanma özelliği olan materyallerden, negatif anomalilerin ise silisçe zengin materyallerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4.8).

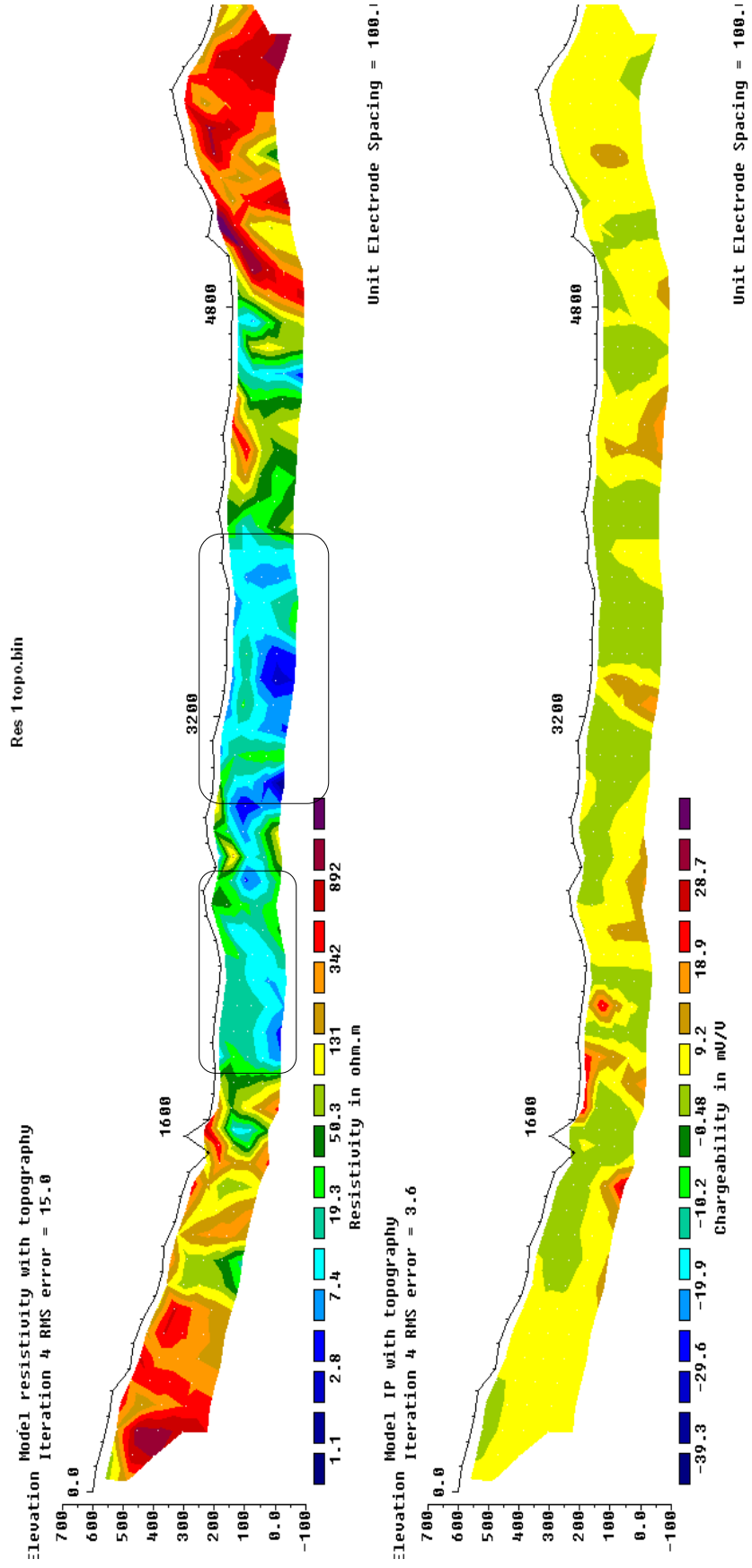


Şekil 4.9. Çalışma alanı ve çevresinin 3B yükseklik görüntüsü ve üzerinde toplam bileşen manyetik anomalileri

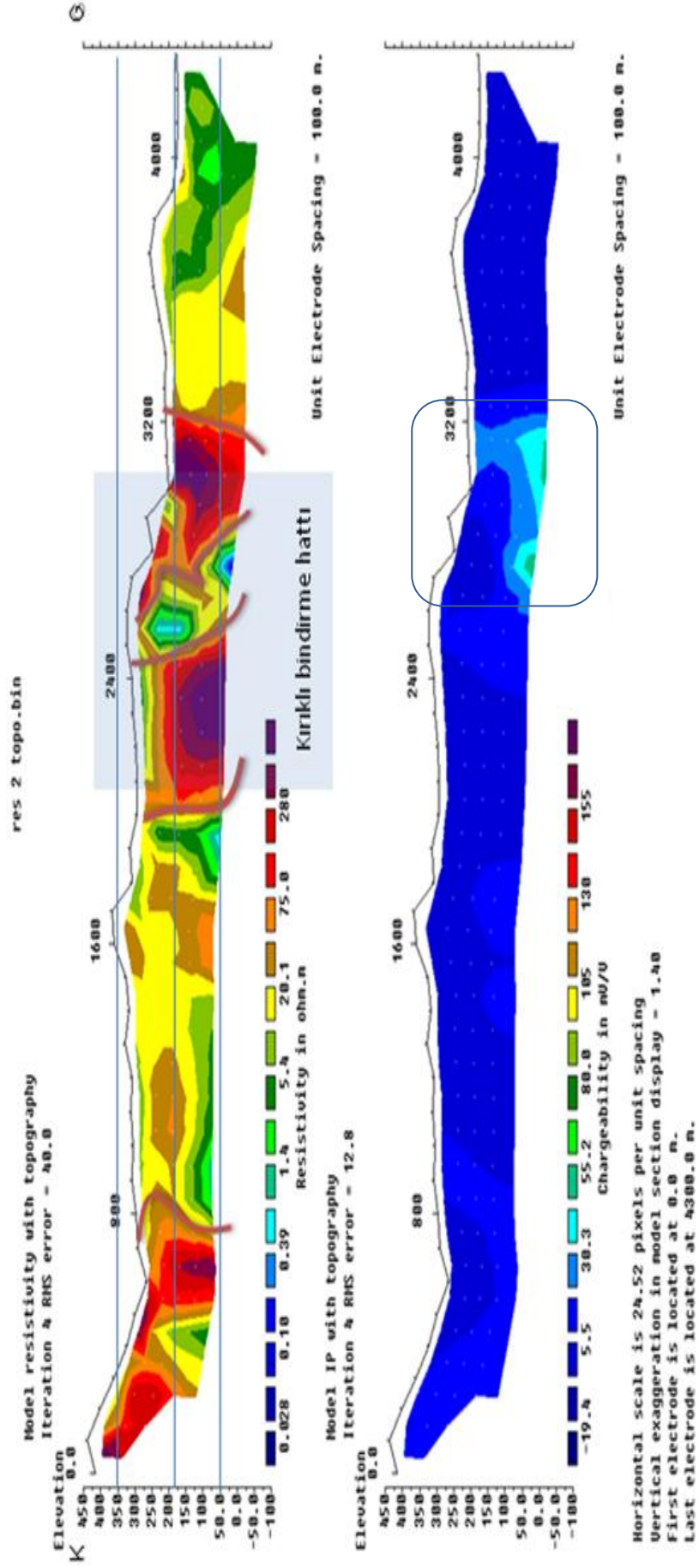


Şekil 4.10. Çalışma alanı ve çevresinin renklendirilmiş 3B yükseklik görüntüsü ve üzerinde toplam bileşen manyetik anomalileri

Önceden belirlenen iki adet stratigrafik amaçlı 2 Boyutlu yapı kesiti çalışması K-G yönlü ve K-KD/G-GB yönlü olarak ölçülmüştür (Şekil 4.11). Elektrik profil ölçülerinde pole-dipole elektrot dizilimi kullanılmıştır. Elektrik yapı kesitleri RES2DINV programı ile çizdirilmiştir ve Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 'te gösterilmiştir.



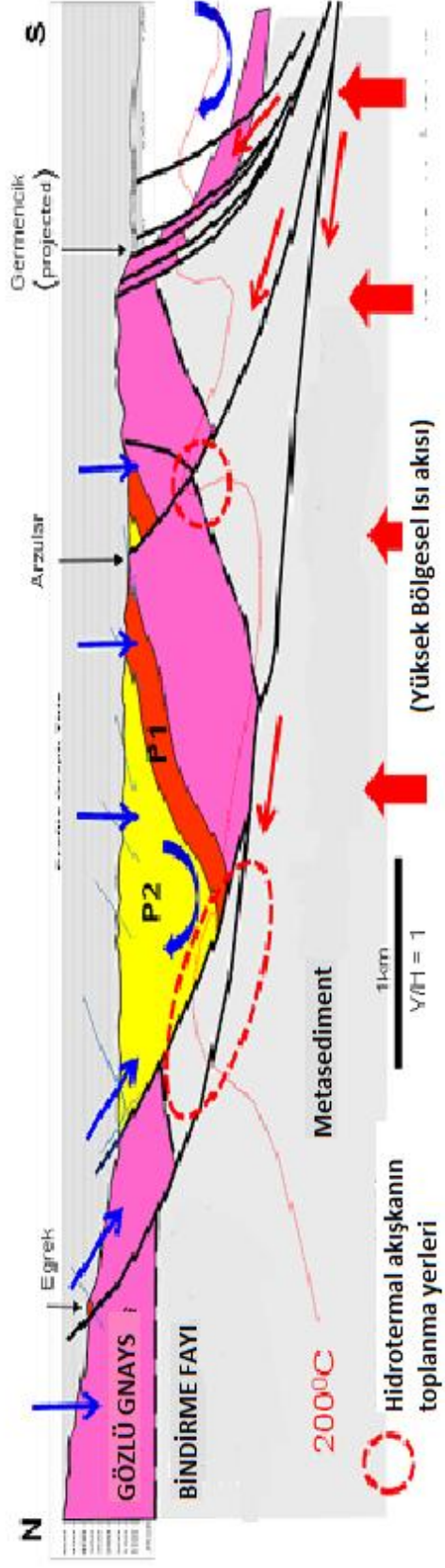
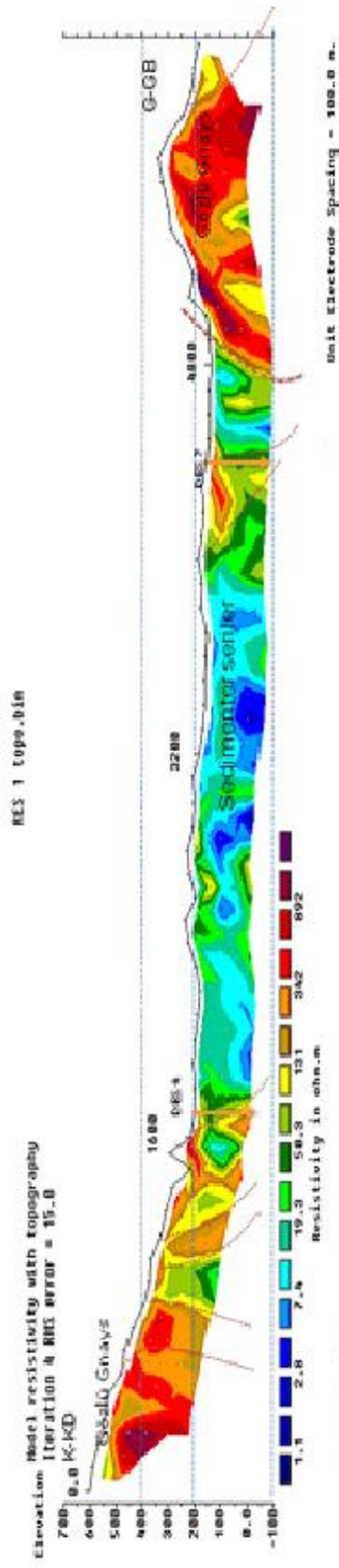
Şekil 4.12. Res 1 hattı için uygulanmış 2B rezistivite ve IP çalışması



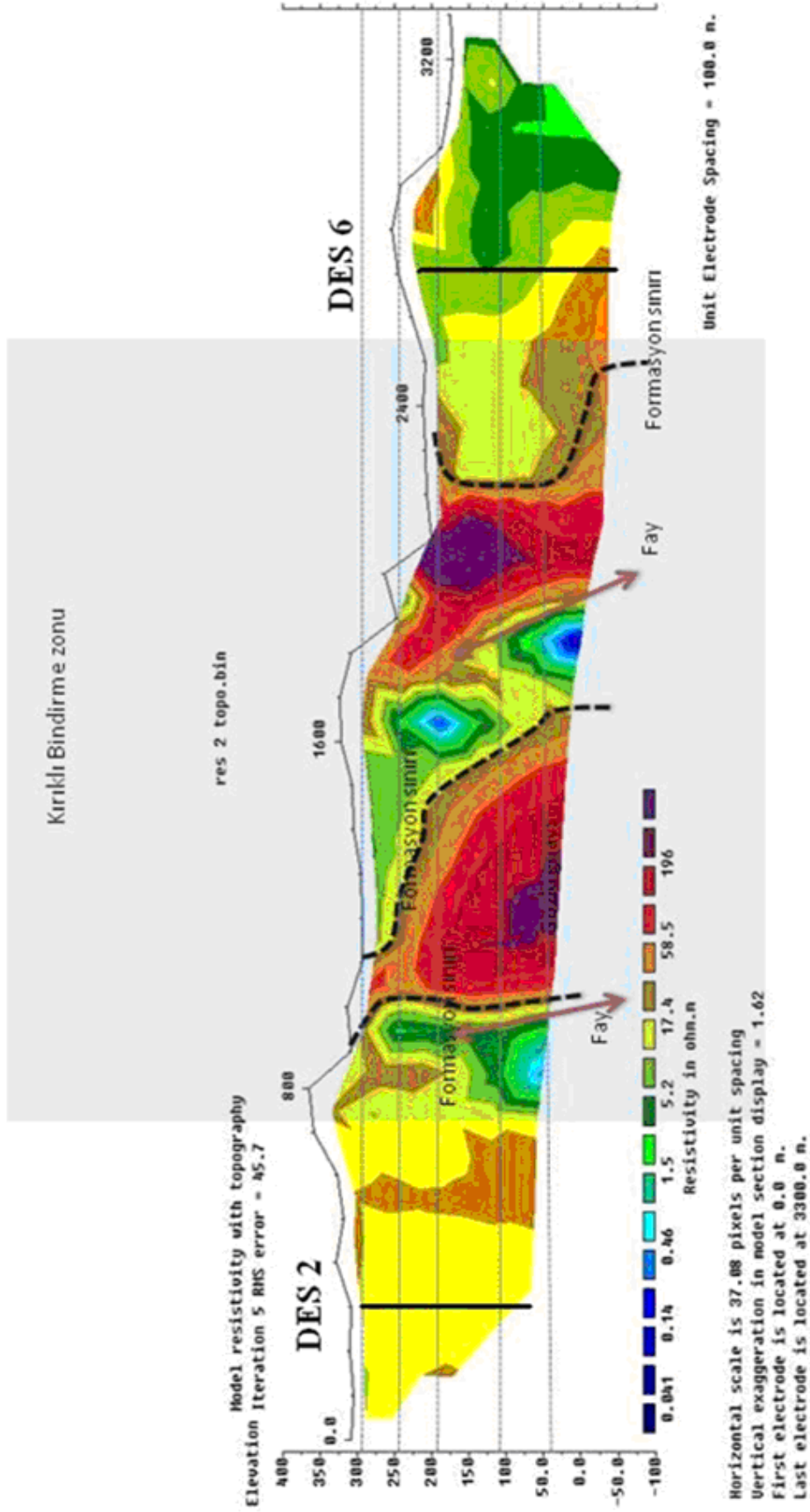
Şekil 4.13. Res 2 hattı için uygulanmış 2B rezistivite ve IP çalışması

RES 1 hattı 6100 m. Uzunluğundadır (Şekil 4.12) RES 1 hattı boyunca sahanın rezistivitesi 2 Ohm.m – 892 Ohm.m olarak değer almaktadır. Resistivite profil kesiti üzerinde Gözlü Gnays 892 Ohm.m olarak değer alırken kırıklı ve bozuşmuş kısımlar, sedimanter bir yapı olarak 2 Ohm.m – 342 Ohm.m aralığında ölçülmüştür. Kırıkların bulunduğu yerlerdeki IP etkisi 9.2 mV/V ile 18.9 mV/V arasında değişmektedir. RES 1 hattında graben yapısı ve kırıklar belirlenmiştir. RES 1 elektrik yapı kesiti jeolojik bilgiler ile birlikte değerlendirildiğinde 1600m. ile 4000 m. arası oblik atımlı bir fayın varlığından söz edilebilir. Buralarda kopmalar gözlenmekte ve bu kopma aralarının dolgu zemin ile dolmuş olduğu görülmektedir. Bu dolgu zemin düşük öz direnç değeri vermektedir.

RES 2 Rezistivite hattı açılı olarak verilmesine karşın sahada yer gözlemleri yapıldıktan sonra RES 2 hattı olarak adlandırılmıştır (Şekil 4.11). RES 2 Hattı 4300 m. uzunluğundadır (Şekil 4.13). Sahanın rezistivitesi 0,10 Ohm.m ile 280 Ohm.m ve üzeri olarak değer almaktadır. Resistivite profil kesiti üzerinde Gözlü Gnays 280 Ohm.m ve üzeri değer alırken kırıklı ve bozuşmuş kısımlar, sedimanter bir yapı olarak 0,10 – 75 Ohm.m aralığında ölçülmüştür. Anomali alanı olarak belirlenen bölgede ölçülen IP etkisi incelenmesi gereken bir değer olarak gözlenmektedir. 30.3 mV/V – 55.2 mV/V değerleri sülfid değerleri yüksek alanı belirlemektedir. Jeokimyasal akışkanın etkisi veya suya doygun sedimanter serilerin bu değerlere ulaşması olarak değerlendirilebilir.

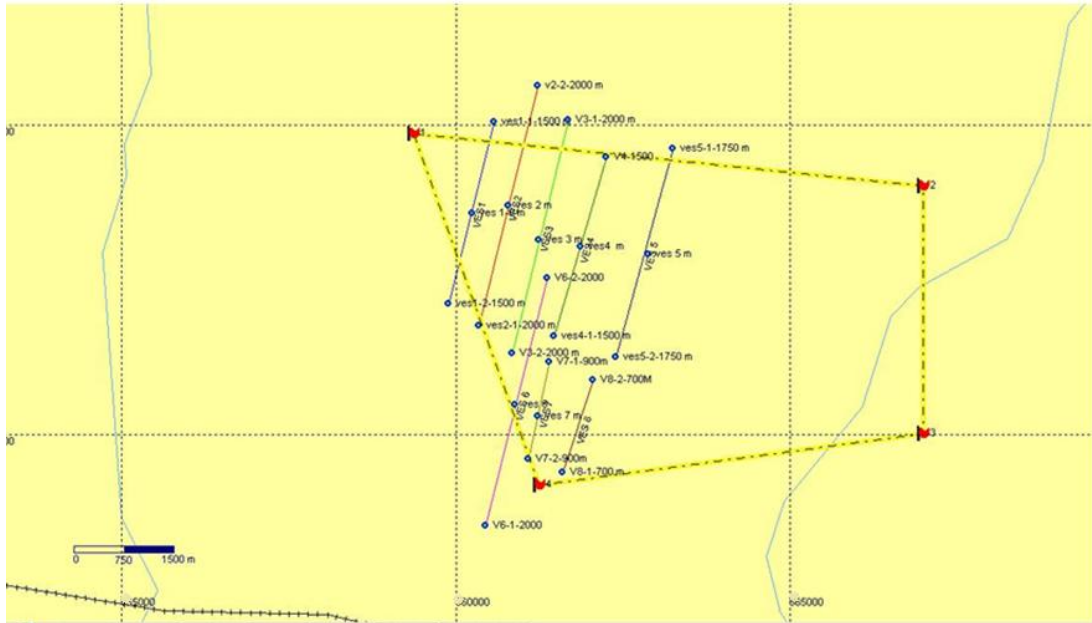


Şekil 4.14. RES 1 hattı 2B yapı kesiti ve daha önceden tahmin edilen modellenmiş yapı kesiti

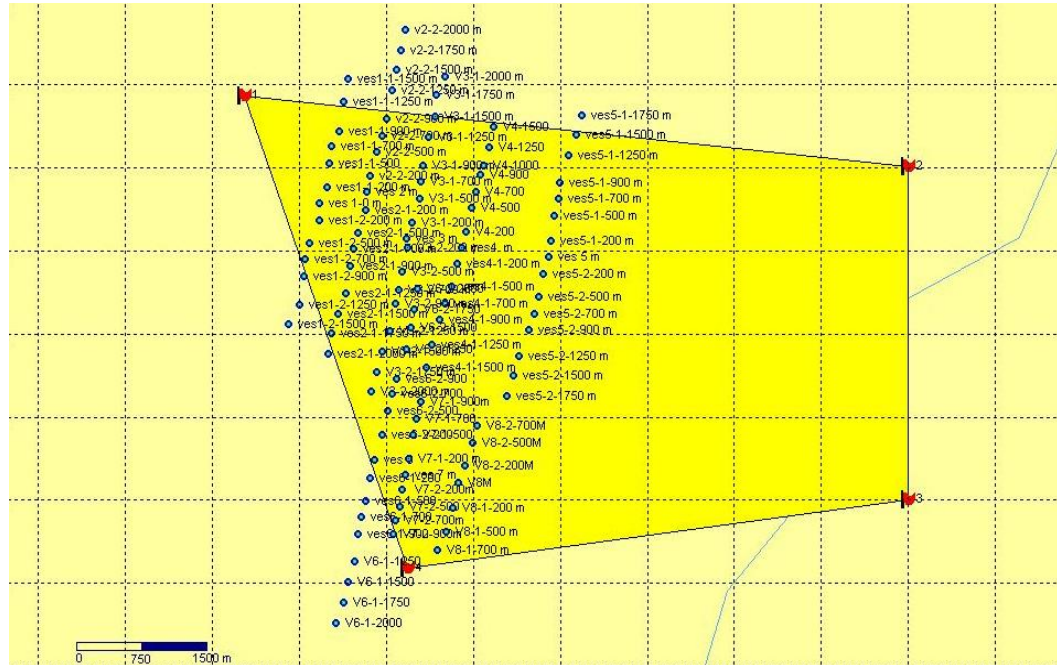


Sekil 4.15. RES 2 hattı 2B vapi kesiti

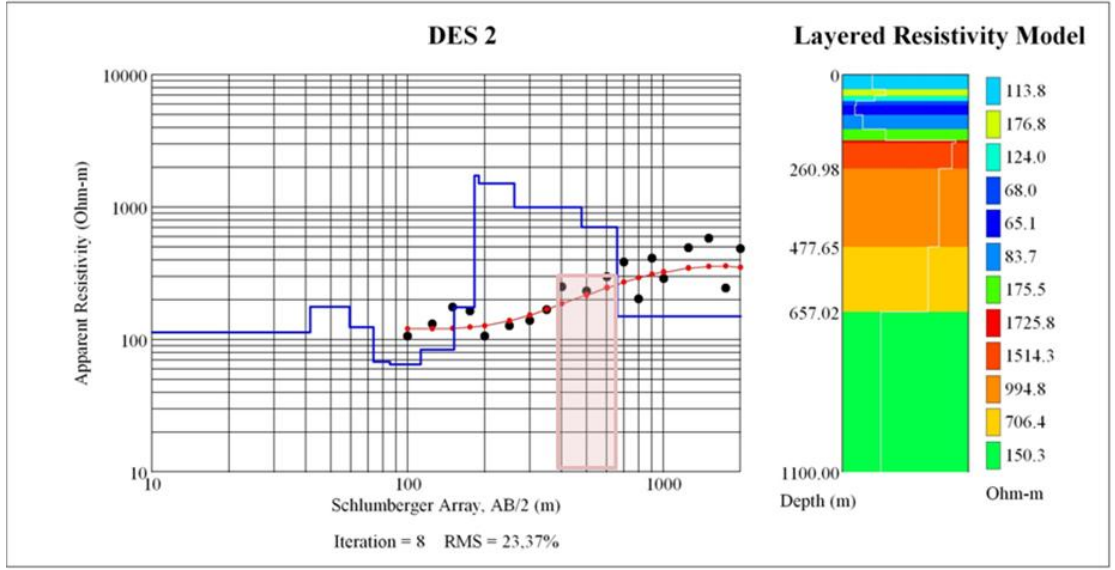
4.4. DES (Düşey Elektrik Sondajları)



Şekil 4.16. DES noktaları lokasyon haritası (Jeofizik Servisi, 2009)

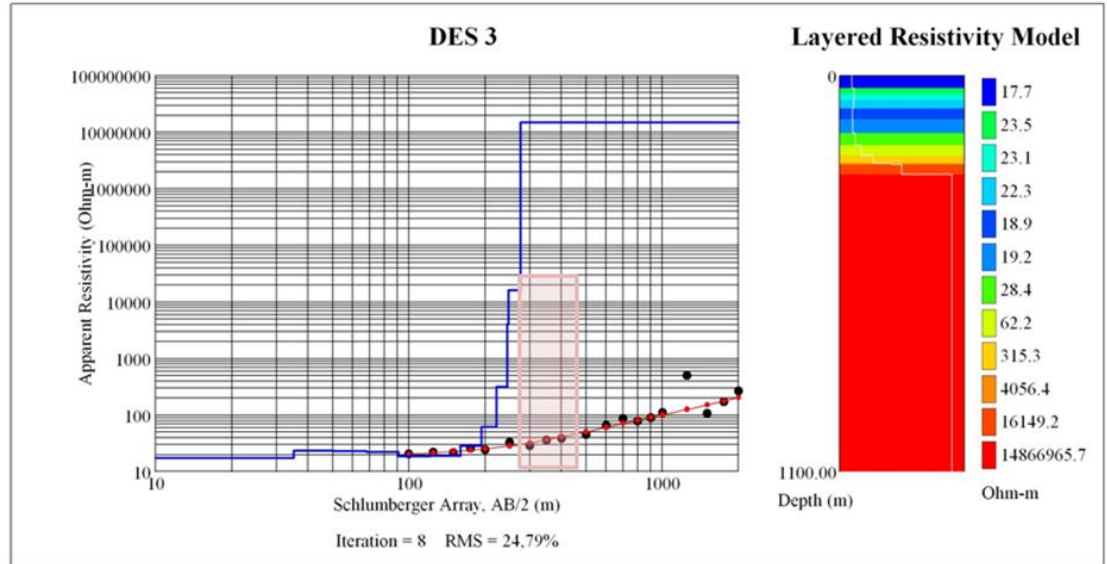


Şekil 4.17. DES noktaları açılım haritası (Jeofizik Servisi, 2009)



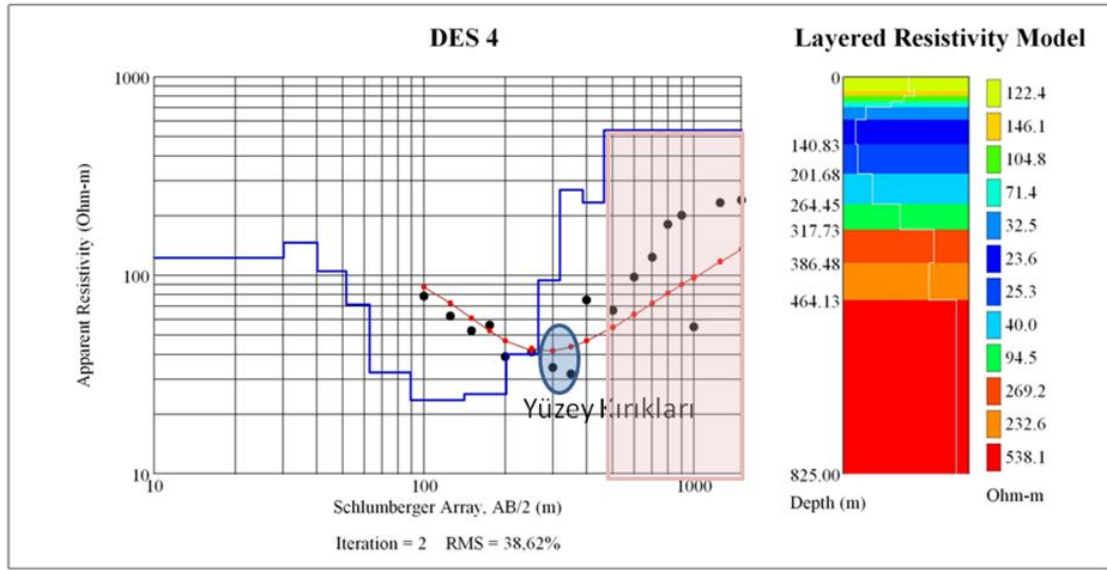
Şekil 4.18. DES 2 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti

Şekil 4.18' deki eğri yorumlanacak olursa; 657 metrede steril kayaç girişi. Rezistivite değeri 175 ohm.m'den 1725 ohm.m' ye çıkmıştır.



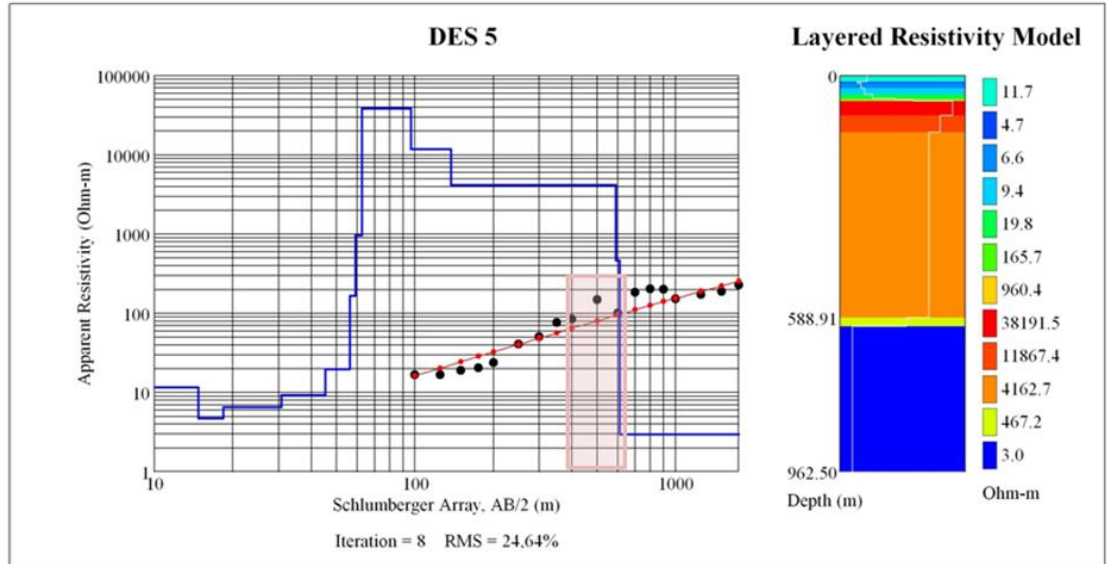
Şekil 4.19. DES 3 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti

Şekil 4.19' daki eğride; 400-600 metreler arasında steril kayaç girişi, kontakt zon şeklinde rezistivite değeri 315 ohm m.den 4056 ohm m.ye yükselmiştir.



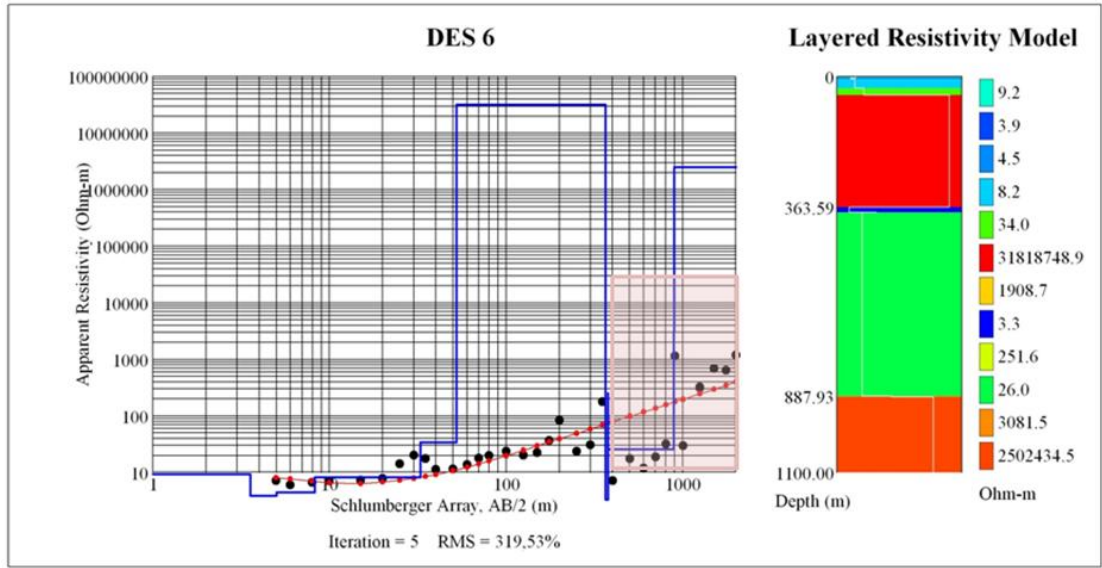
Şekil 4.20. DES 4 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti

Şekil 4.20'deki eğride; genel olarak 600 m. derinden başlayarak 1500 ve daha derine giden gözlü gnays temel yapı olarak sahada gözlenmektedir. 400-600 m. aralıklarında yapı kesitinde kırıklı geçiş zonları içermektedir.



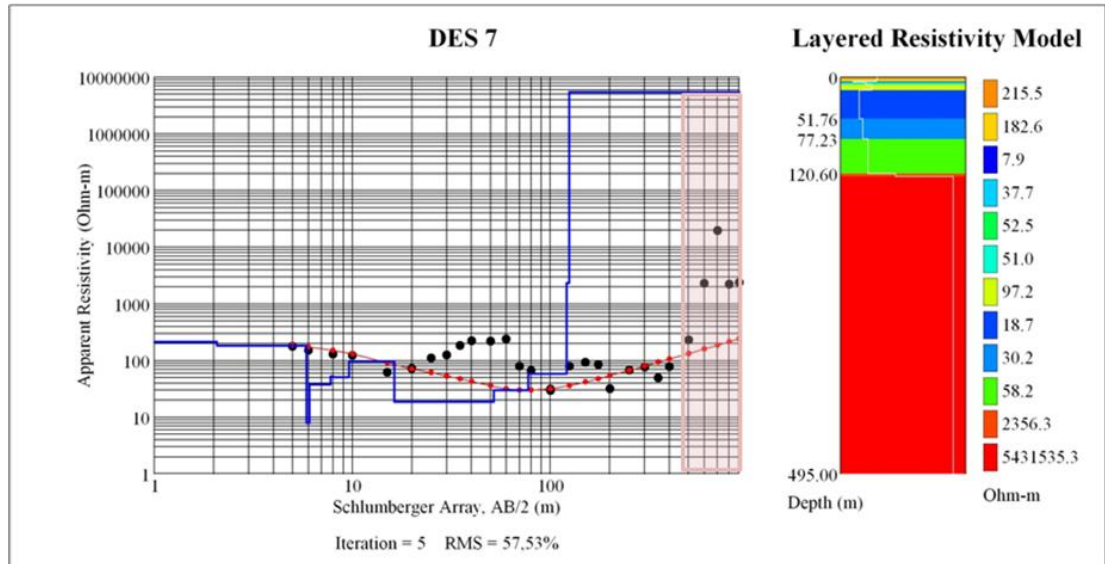
Şekil 4.21. DES 5 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti

Şekil 4.21' deki eğride 600 metrede faylanma olduğu diğer jeofizik verilerden korele edilerek yorumlanmıştır. Hemen sonra temel geçiş zonuna girilmiştir.



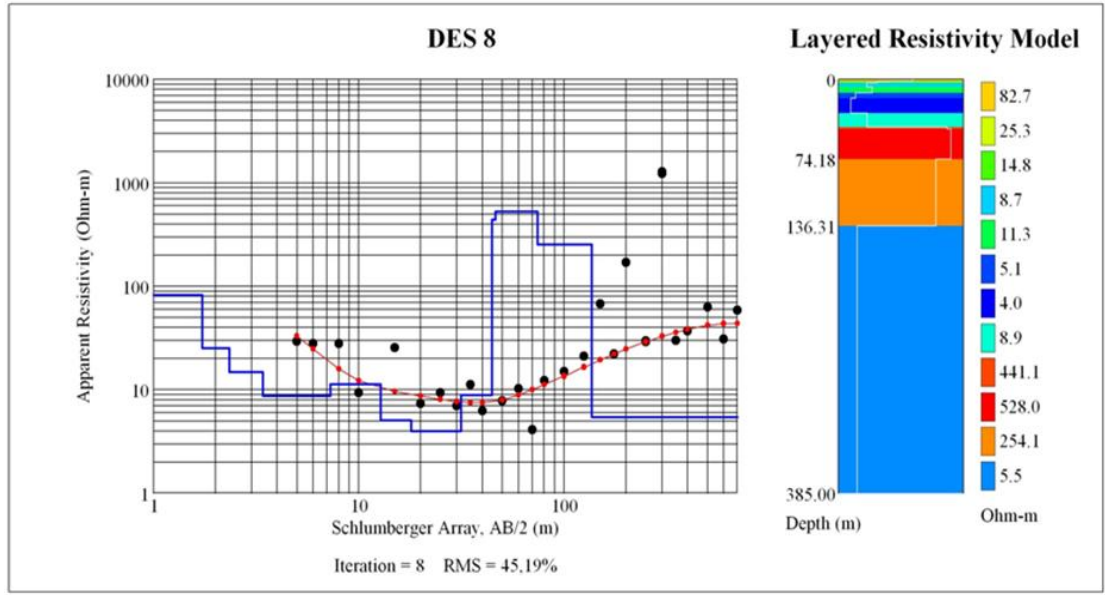
Şekil 4.22. DES 6 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti

Şekil 4.22' deki eğri yorumlanacak olursa; 400 m' ye kadar konglomeralı ve şistli birimler yer almaktadır. 400 m. civarında muhtemel faylanmalar görülür ve daha sonra temel kaya olan gözlü gnays'a giriş söz konusudur.



Şekil 4.23. DES 7 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti

Şekil 4.23' deki eğri yorumlanacak olursa; yüzeyde şistli birimler ve yüzey kırıkları yer almaktadır. 900 m. derinlikte kırıklı formasyon değişimi söz konusudur.

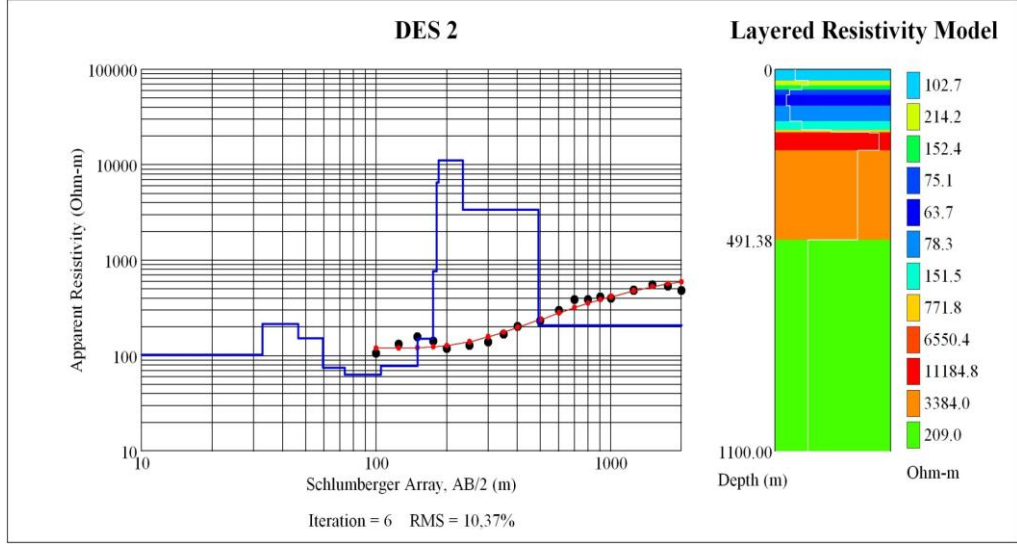


Şekil 4.24. DES 8 öz direnç eğrisi ve derinlik kesiti

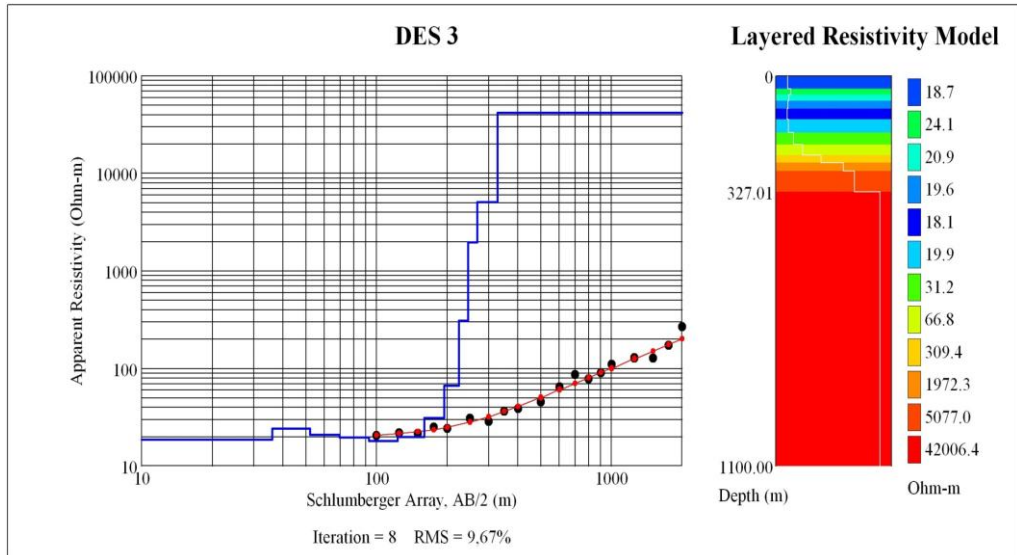
Şekil 4.24' teki eğri kısaca yorumlanacak olursa; bu bir sıcak su eğrisi değildir. Çünkü üst yüzey birimleri konglomera ve şistten ibarettir. Ancak yüzeye yakın 50 m. derinlikli sığ içme suyu temin edilebilir.

Düşey elektrik sondaj lokasyonları 8 adet olarak önerilen lokasyonlarda ölçümler yapılmıştır. Çalışmada Schlumberger Elektrot Dizilimi uygulanmıştır. DES ölçümlerinin yorumlamacı tarafından anlaşılabilir olması bakımından ölçüm değerlerinin tamamı dijital ortamda alınan veriler göz önüne alınarak Earthimager 1D programı ile değerlendirmeye alınmıştır. Genel olarak yüzeyden 20 Ohm.m ile başlayan sedimanter (tortul) veya altere (bozuşmuş) zonlar derinlere doğru inildikçe 528 Ohm.m ve yukarı değerlerde Gözlü Gnays olarak ölçülmüştür. Bu değerlendirmede aşırı sapma değerler bölgenin topografik kot farkları ile kırıklı zonlar üzerinde olmasından kaynaklanmaktadır. Bu da RMS değerlerinin yüksek gözükmesine neden olmaktadır. Ancak uygulanan yineleme (iterasyon) ve ters çözüm (inversion) hesaplama tekniği uygulandıktan sonra kırmızı ile çizilen eğri gerçek düşey elektrik eğrisini vermektedir. DES ölçümlerinden sıcak su karakteristik eğrisine rastlanmamıştır. Ancak 400 m- 600 m. derinlikli seviye gözlemlerinde kırıklı ve tortul (sedimanter) bir yapının olduğu gözlenmiş ve jeotermal sisteme uygun bir yapının olduğu ortaya konmuştur.

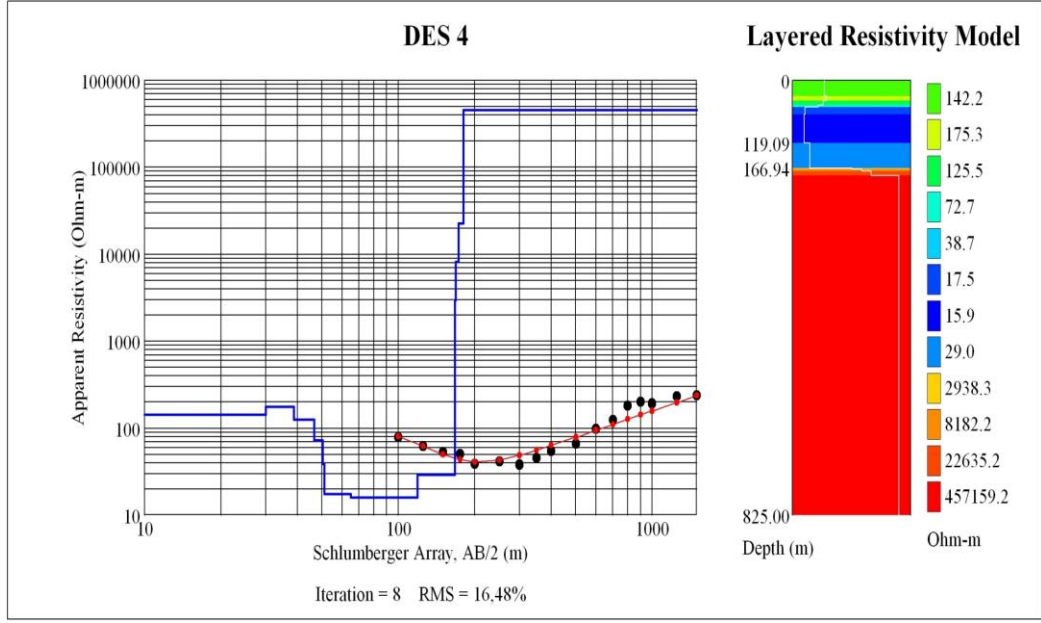
Düşey elektrik sondajı verilerinde kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucunda genel olarak DES eğrilerinin yorumlanmasında bir değişiklik olmamıştır. Buna karşılık RMS değerlerinin düştüğü gözlenmektedir. Bu etkilerinin farklılığını görmesi açısından DES sondaj sonuçları tekrar aşağıda görselleştirilmiştir.



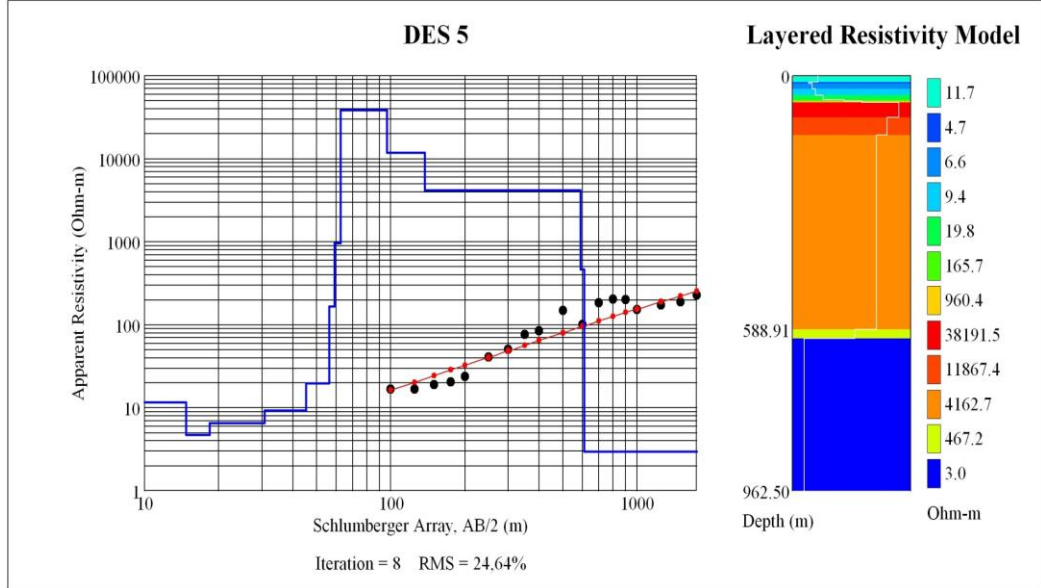
Şekil 4.25. DES 2. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 10,37



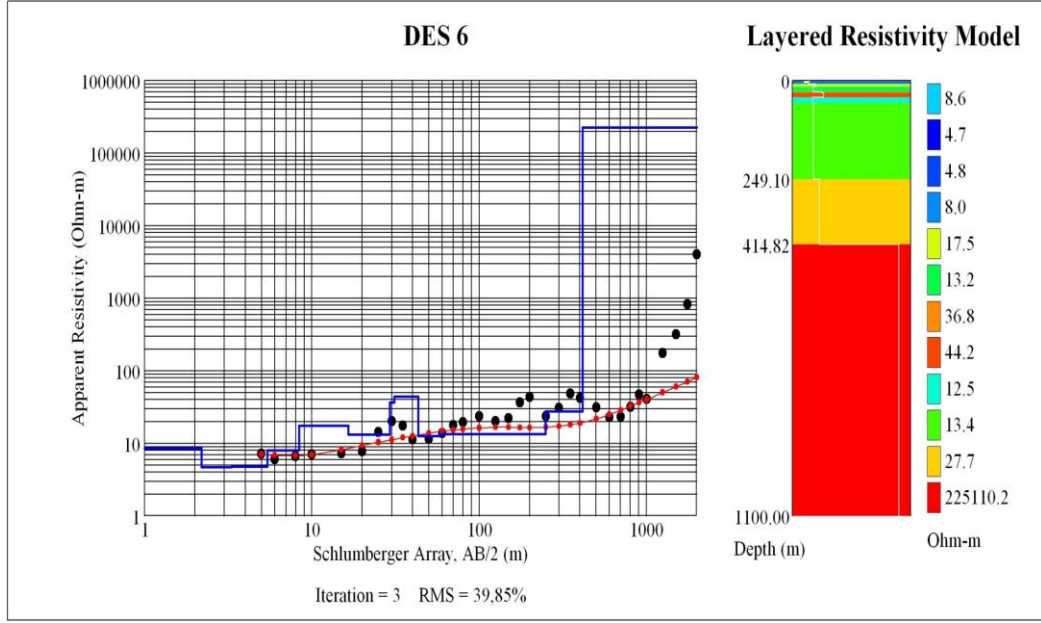
Şekil 4.26. DES 3. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 9,67



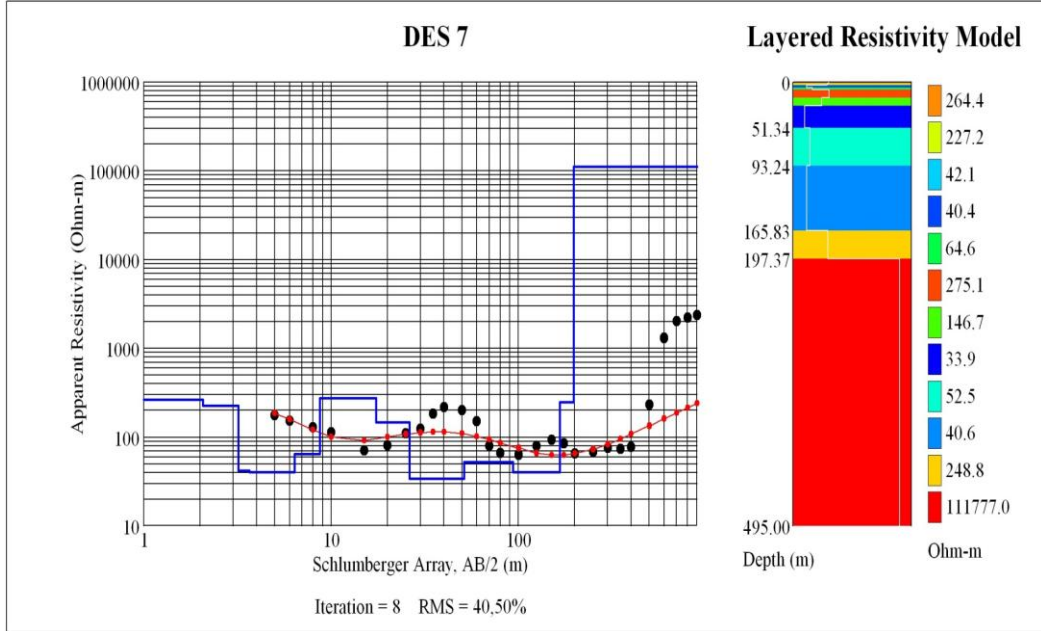
Şekil 4.27. DES 4. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 16,48



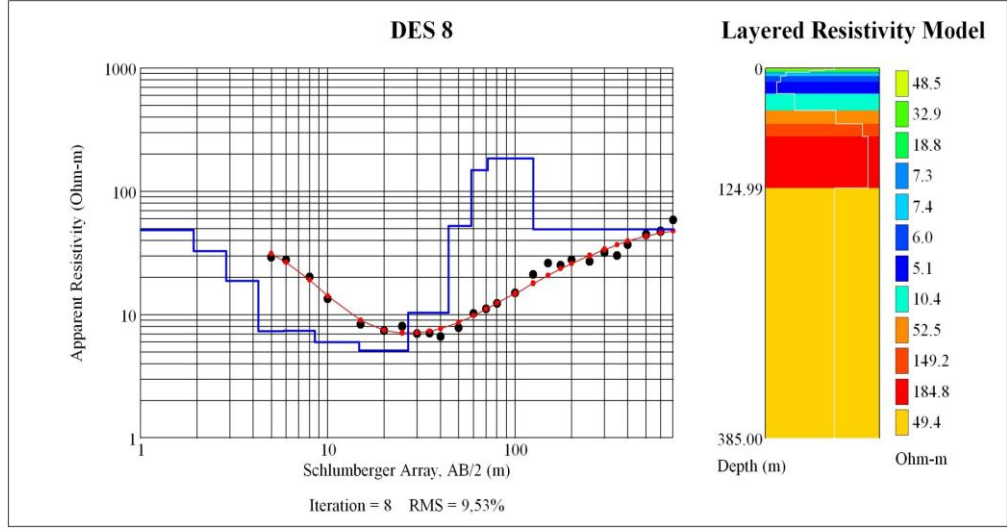
Şekil 4.28. DES 5. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 24,64



Şekil 4.29. DES 6. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 39,85



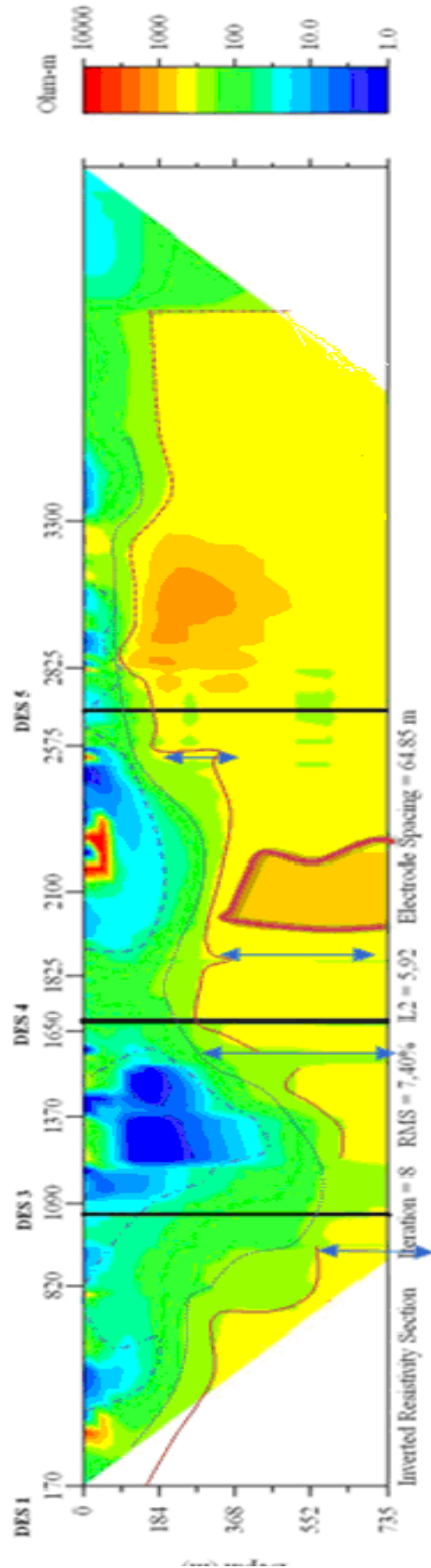
Şekil 4.30. DES 7. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 40,50



Şekil 4.31. DES 8. Kırıklı ortamdan kaynaklanan veriler elimine edildikten sonra yapılan proses işlemi sonucu RMS değeri % 9,53

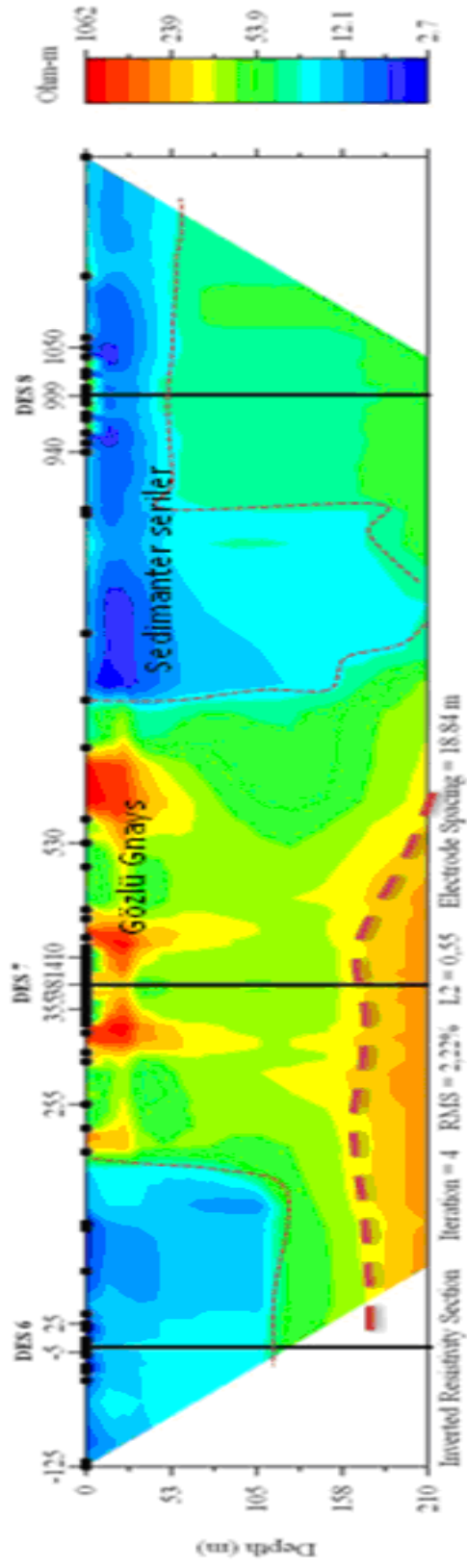
DES noktalarının toplam birleştirilmesi 2700 m.lik bir yapı kesitinin yapılmasına olanak sağlamıştır. Seçilen DES verilerine Earthimager 2D yazılımı ile Ters Çözüm (Inversion) işlemi uygulanarak en iyi yapı görselliğini veren yapı kesitleri elde edilmiştir (Şekil 4.32 ve Şekil 4.33)

DES 1 3 4 5 Yapı kesiti



Şekil 4.32. DES 1, DES 3, DES 4, DES 5 verilerine ters çözüm yapılarak oluşturulmuş 2B yapı kesiti

DES 6 7 8 Yapı kesiti 2 (Inversion)



Sekil 4.33. DES 6, DES 7, DES 8 verilerine ters çözüm uygulanması sonucu ortaya çıkan 2B yapı kesiti

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma ile jeotermal enerjiyi ortaya koymak için birlikte kullanılması gereken jeofizik yöntemlerin, sıcak su anomalilerinin gösterilmesi ve mekanik sondaj yerlerinin belirlenmesindeki önemli rolleri ve birbirlerine göre güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Ayrıca çalışma sahası için uygun bulunan jeofizik yöntemlerden elektrik yöntem ile elektrik yönteme yardımcı olmak amacıyla seçilen gravite ve manyetik yöntemlerin bazı özelliklerinden yararlanarak çalışma alanının olası fay sistemleri ve jeotermal sistemle ilgili olabilecek graben ve horst yapıları saptanmıştır.

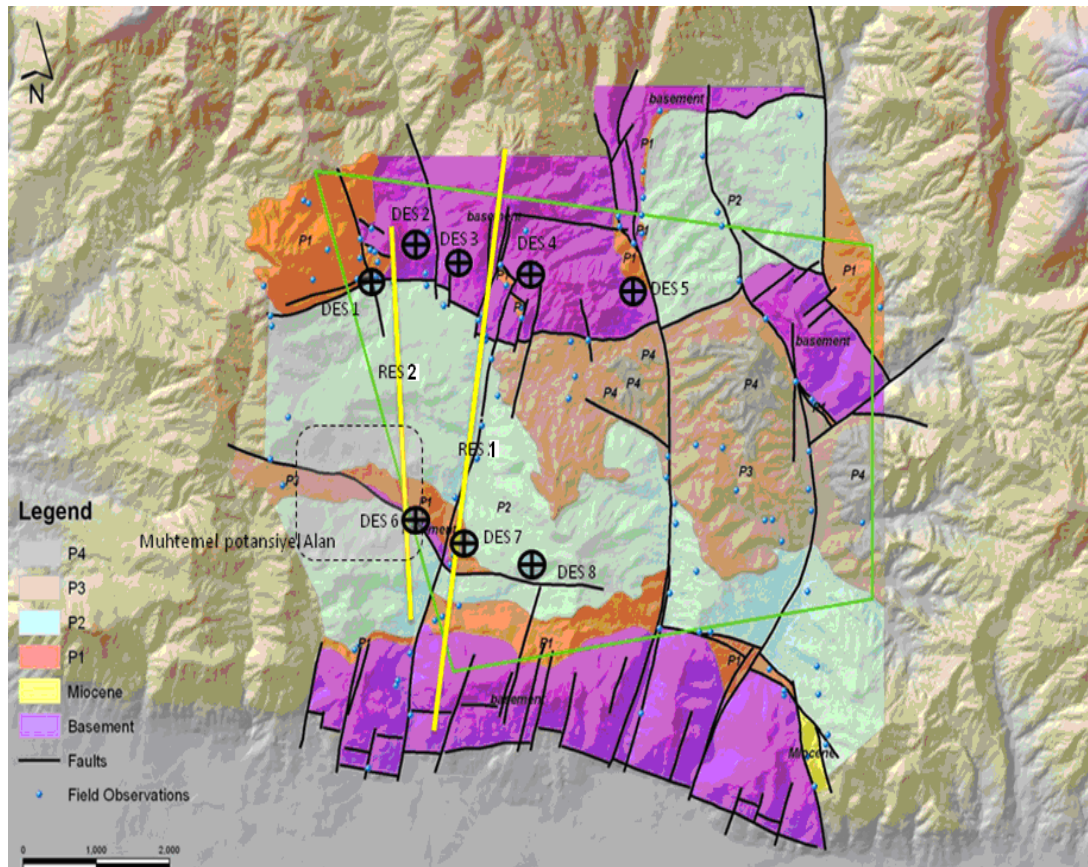
Çalışma alanı gravite anomalileri renk, kontur haritası genel olarak incelendiğinde inceleme alanın güney-güneydoğusunda en düşük (114 mgal) ve kuzey-kuzeybatısında en yüksek (128 mgal) gravite değerleri yer almış olup, bu iki yön arasında 14 mgal'lik değişim saptanmıştır. Bu durumda temel kayacın kuzey-kuzeybatıdan, güney-güneydoğu istikametinde derinleştiğini söyleyebiliriz.

Çalışma alanı gravite anomalileri renk, kontur haritasından türetilen, derin etkilerin uzaklaştırıldığı, yüzeysel etkilerin yer aldığı rezidüel gravite renk, kontur haritasında ve bu haritanın 3B görüntüsünde, kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda kenarlarında graben faylarının yer aldığı bir graben belirlenmiştir. Bu grabenin kuzey ve güneyinde horstlar yer almaktadır. Rezidüel gravite anomali haritalarından güneydeki graben fayının, kuzeydeki graben fayına göre daha dike yakın olduğu söylenebilir. Jeotermal sistem açısından yapılacak sondajların, jeolojik verilerle desteklenen, rezidüel gravite renk, kontur haritasında sıfır (0) konturu negatifi tarafında yapılması önerilir.

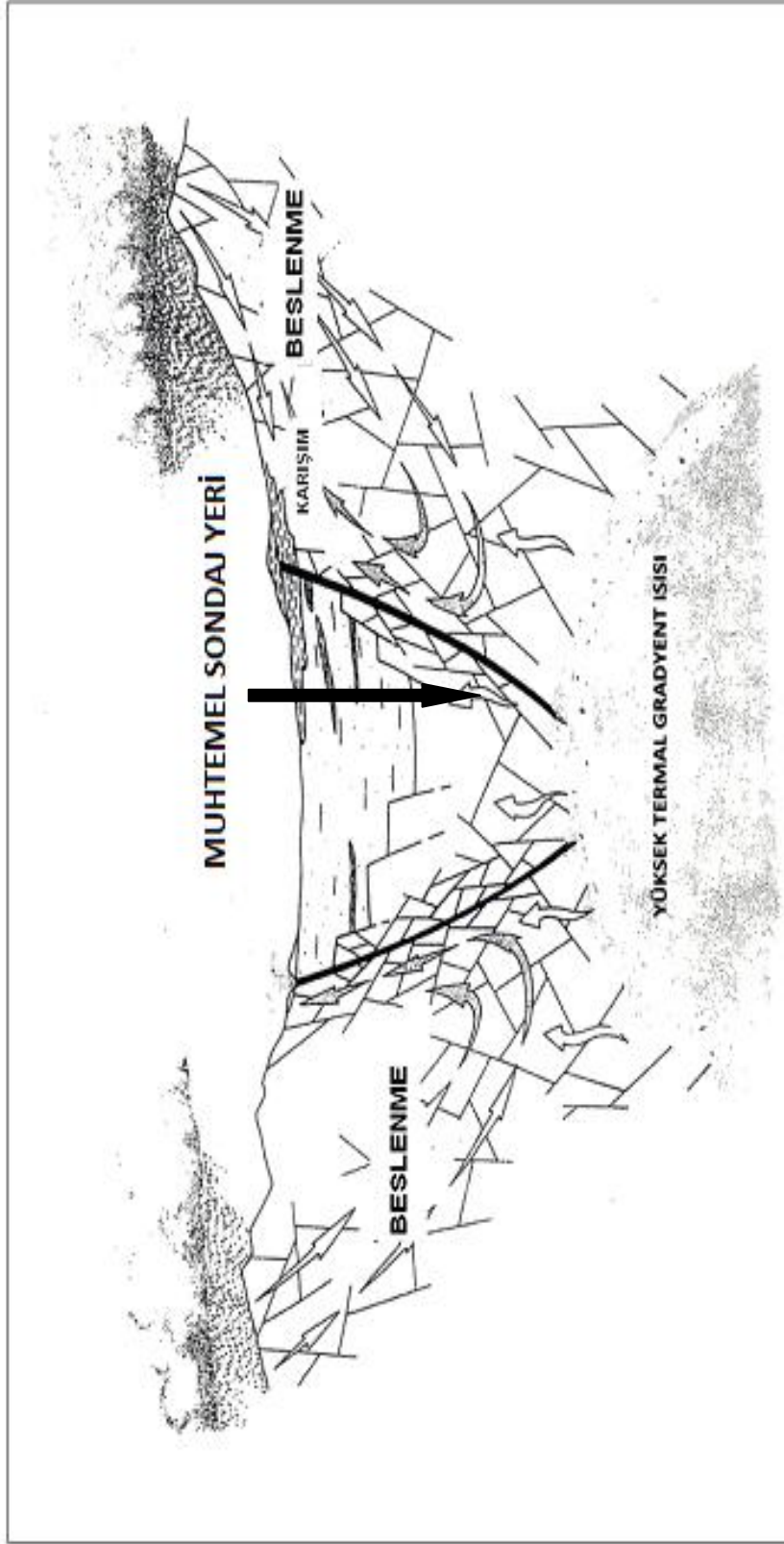
Çalışma alanında manyetik özellikte bir kayacın ve/veya jeolojik yapıyı yansıtacak bir anomalinin yer almadığı, küçük boyutlardaki pozitif anomalilerin mıknatıslanma özelliği olan materyellerden, negatif anomalilerin ise silice zengin materyellerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak elektrik yöntemlerin sonuçları, ortaya çıkan Gravite yapı haritası ile birlikte değerlendirildiğinde, Horst ve graben yapıların kontak sınırlarında oluşan Graben Fayları boyunca beliren alanlar, potansiyel sondaj alanları olarak ortaya çıkmakla beraber, seçilecek sondaj noktasının tortul (sedimanter) bir yapının içinde derin sondaj noktaları seçilmesinin doğal risklerini beraberinde getirebilir.

Tüm veriler elimizdeki jeolojik bilgiler ile birlikte yorumlandığında sondaj için düşünülmesi önerilen muhtemel potansiyel alan, hazırlanan modelleme haritası üzerinde belirtilmiştir (Şekil 5.1) Ayrıca bu modelleme haritasına göre sahamızda düşünülen jeotermal sistemin konvektif hidrotermal sisteme uygun bir model olduğu düşünülmüş ve olası sondaj yeri belirlenmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.1. Sondaj için düşünülen muhtemel potansiyel alan



Sekil 5.2. Konvektif hidrotermal sistemin geliştirilmiş olası modeli

6. KAYNAKLAR

- Ackerman, H.D., 1979. Seismic refraction study of the Raft River geothermal area. Idaho, Geophysics, 44, (2), 216-225.
- Akan, B., 2002. Jeotermal sistemlerde ısı taşınımının modellenmesi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 26 (2), 3-16.
- Altınlı, E., 1986. Yerbilimleri Sözlüğü, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü yayımları No: 195. Ankara.
- Altunel, E. 1999. Geological and geomorphological observations in relation to the 20 September 1899 Menderes earthquake, Western Turkey. Journal of the Geological Society, London, 156, 241-246.
- Apostolopoulos, G., Louis, I., Lagios, E., 1997. The self-potential method in the geothermal exploration of Greece. Geophysics. 62, (6), 1715 -1723.
- Arslan, S., Darıcı, M., Karahan, Ç., 2001. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli. Jeotermal Enerji Semineri. 21-28.
- Bal, A., 2004. Aydın- İzmir Civarının Hava Manyetik Verilerinden Isı Akısı Değerlerinin Belirlenmesi ve Isı Akısı Dağılımının İncelenmesi. Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 141 s.
- Başokur, A.T., 2003. Maden Aramalarında Elektrik Ve Elektromanyetik Yöntemler. http://forum.jeolab.com/turkce_kitaplar/maden_aramalarinda_elektrik_ve_elektromanyetik_yontemler-t536.0.html Erişim Tarihi: 15.03.2011.
- Başokur, A.T., 2009, Manyetotellurik Yöntem ve Jeotermal Aramalarda Kullanımı. TMMOB Jeotermal Kongresi, 217- 231, Ankara.
- Bingöl, E., 1989. 1/2000000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası. MTA, Ankara.
- Blakely, R.J., 1995. Potential theory in gravity and magnetic applications. University Press, NY, Cambridge, 441 p.
- Bozkurt, E., 2000. Timing of extension on the Büyük Menderes graben, Western Turkey, ve its tectonic implications
- Burçak, M., Kaya, C., Kılıç, A.R., Akdoğan, N., 2005. Exploration of the Heat Source and Geothermal Possibilities of the Aksaray Region, Central Anatolia, Turkey, Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- Candansayar M.E., 2010. Doğru Akım Öz direnç Yöntemi, Elektrik Yöntemler Lisans Ders Notları, Ankara Üniversitesi.

- Candansayar, E., 2009. Yapay Uçlaşma Yöntemi. Elektrik Yöntemler Lisans Ders Notları, Ankara Üniversitesi.
- Christopherson, K.R., 2001. Applications of magnetotellurics to petroleum exploration Papua New Guinea : A model for frontier areas Geophysics: The Leading Edge of Exploration, April 21-27.
- Chritopher, H., Armstead, H., 1989. Energia Geotermica, Noriega Editores, Mexico.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, 1702-1703.
- Cohen, H.A., Dart C.J, Akyüz H.S., Barka A. 1995. Syn-rift sedimentation ve structural development of the Gediz ve Büyük Menderes graben, Western Turkey. Journal of the Earth Society, London, Vol.152, pp. 629-638.
- Corwin, R.F., Hoover, D.B., 1979. The self-potential method in geothermal exploration. Geophysics, 44, 2, 226- 245.
- Çirkin, B., 2007. Jeotermal Enerji Aramalarında Manyetotellürik Yöntemin Kütahya-Gediz-Şaphane Sahasına Uygulanması. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82 s.
- Danışman, M.A., Akgün, M., 2000. Standart kuyu logu yöntemlerinin yeraltı suyu araştırmalarında kullanılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2 (1), 111-127.
- Demirören, M., 1971. Çanakkale - Ayvacık - Tuzla Jeotennik Enerji Sahası Resistivite Etüdü. 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu - Ankara.
- Ekingen, A., 1969. İzmir-Urla-Seferihisar Jeotermik Enerji Aramaları Gravite Etüdü. Derleme No: 4312. MTA. Ankara.
- Ekingen, A., 1970. Gravity Survey of the İzmir- Urla District. MTA. Report, v. 4725.
- Enerson Mühendislik ve Müşavirlik, 2011. [http:// www.enersonengineering.com/index.php/tr/jeotermal-saha-etuedleri/jeotermal-aratrma-program](http://www.enersonengineering.com/index.php/tr/jeotermal-saha-etuedleri/jeotermal-aratrma-program). Erişim Tarihi: 03.03.2011.
- Ercan, T., 1982, Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve volkanizması: Türkiye Jeoloji Kur. 36. Bilimsel Teknik Kurultayı Panel Yay., 5-14, Ankara
- Ercan., A., Drahor, M., Atasoy, E., 1986. Natural polarization studies at Balçova geothermal field. Geophysical Prospecting, 34, 475- 491.
- Ercan, A., Şahin, H., 1999. Germencik jeotermal alanının sıcak yerleri. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Jeofizik Dergisi. Sayı:1-2. 51-70, Ankara.

- Erden, F., 1965. Salihli-Manisa Gravite Etüdü. MTA Raporu (3931).Yayınlanmamış.
Basım Yeri: Ankara
- Ergin, K., 1981. Tatbiki Jeofizik. İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul
- Eroğlu, V., 2008. Ülkemizde Termal, Maden Suları, Kaynakları ve Kullanımı.
Termal ve Maden Suları Konferansı Bildiriler Kitabı. 3-11. Afyonkarahisar.
- Geothermal Education Office 2001. www.geothermal.marin.org .GEOpresentation.
Erişim Tarihi: 19.03.2011
- Gevrek, A.İ., 1991. Gradyan Sondajları ve Yeraltı Sıcaklık Ölçümlerinin Jeotermal
Enerji Araştırmalarında Yeri ve Önemi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
Yayın Organı, Sayı: 39, 51-54.
- Gönülalan, U., Çavaş, H., Güreli, O., Tufan, S., 2009. Jeofizik Yöntemlerin
Jeotermal Enerji Arama Yatırımlarındaki Önemi. TMMOB Jeotermal
Kongresi Bildiriler Kitabı, 263- 279. Ankara.
- Grant, M.A., Donaldson, I.G., Bixley, P.F., 1982. Geothermal Reservoir Engineering
Academic Pres. New York. 369 p.
- Gülay, A., 1970. Manisa-Salihli, Caferbeyli-Köseli, Kurşunlu-Allahdiyen-Çamur
Kaplıcaları yöreleri rezistivite raporu. MTA Raporu.(4853). Yayınlanmamış.
Basım Yeri: Ankara
- Gündoğdu, N.Y., 2003. Mühendislik Jeofiziğinde Elektrik Yöntem Uygulamaları.
Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, 38 s.
- Hakyemez, Y.H., Erkal, T., Göktas F., 1999. Late Quaternary evolution of the
Gediz ve Büyük Menderes Grabens, Western Anatolia, Turkey. Quaternary
Science Reviews, 18, 549-554.
- Hiroshi, A., Yusuke, K., Tanetomo, I., Nobukazu, S., Hiroaki, N., Roy, B., 2005.
Monitoring of Reservoir Behavior at Soultz HDR Field by SuperResolution
Microseismic Mapping, WGC 2005.
- Hochstein, M.P., Hunt, T.M., 1970. Seismic, gravity and magnetic studies,
Broadlands geothermal field, New Zealand. Proc. U.N. Symp. Geothermal
Resour., Pisa, Geothermics Spec. Issue, 2, 333-346.
- Jeofizik Servisi ve İleri Teknolojiler Ltd. Şti, 2009. Batı Aydın Jeotermal Enerji
Arama Raporu. (Yayınlanmamış)
- JICA-MTA, 1987. The pre-feasibility study on the Dikili – Bergama geothermal
development Project, Final Report, Japan Inc. Agency

- Karahan, Ç., Bülbül, E., 2008. Aydın ve Çevresi Jeotermal Enerji Aramaları Jeoloji ve Sondaj Raporu (Yayınlanmamış).
- Karzaoğlu, H., 2009. Jeotermal Çalışmalarda Kullanılan Doğru Akım Özdirenç Yöntemlerinin (Düşey Elektrik Sondaj, Wenner, 3 Nokta) Sahanın Jeolojisi ve Genel Tektonik Yapı ile Birlikte Değerlendirilmesi. TMMOB Jeotermal Kongresi Bildiriler Kitabı, 291- 310. Ankara.
- Kaya, C., Başokur, A.T., 2007. Aliğa Jeotermal Sahasının Manyetotellürik Yöntemle Araştırılması. TMMOB Jeotermal Kongresi, 21-24 Kasım 2007, Ankara, 231-247.
- Koçak, A., 2000. Türkiye’de Jeotermal Enerji Aramaları ve Potansiyeli. Türkiye 8.Enerji Kongresi. 109-124. Basım Yeri: Ankara.
- Laughlin, A.W., 1982. Exploration for Geothermal Energy, Eds.: Edwards, L.M., Chilingar, G.V., Rieke III, H.H., Fertl, W.H., in Handbook of Geothermal Energy, Gulf Pub. Co., Houston.
- Maden Teknik Arama 2008a. İnternet Sitesi. http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/enerji/index.php?id=haritalar. Erişim Tarihi: 21.02.2011
- Maden Teknik Arama 2008b. İnternet Sitesi. http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/enerji/index.php?id=jeotermalpotansiyel. Erişim Tarihi: 21.02.2011
- Maden Teknik Arama 2008c. İnternet Sitesi http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/jeof/index.php?id=jeoelektrik&m=1. Erişim Tarihi: 20.02.2011
- Maden Teknik Arama 2010a. İnternet Sitesi.<http://www.mta.gov.tr/v2.0/liklari/enerji/images/calismalar.pdf>. Erişim Tarihi: 04.04.2011
- Maden Teknik Arama 2010b. İnternet Sitesi. http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/enerji/index.php?id=2010_biten_kuyu. Erişim Tarihi:04.04.2011
- Nabighian M.N., Grauch V.J.S., Hansen R.O., LaFehr T.R., Li Y., Peirce J.W., Phillips J.D., Ruder M.E., 2005. The historical development of the magnetic method in exploration. Geophysics, Vol:70, No:6, pp.33-61.
- Onur, M., Satman, A., 2006. Jeotermal Sistemlerin Potansiyellerinin Belirlenmesinde ve Sürdürülebilir İşletilmesinde Rezervuar Mühendisliği Çalışmaları ve Önemi. Dikili Yöresi Jeotermal Kaynakların Değerlendirilmesi Sempozyumu. İzmir.
- Onur, M., 2005. Jeotermal Rezervuarlarda Kuyu Basınç Testleri ve Analizi. Aksoy N. (editör), Jeotermal Enerji Seminer Kitabı. TMMOB Makine Müh. Odası, MMO Yayın No: E/2005/393-2, 167-205.

- Öngür, T., 2005. Jeotermal Sahalarda Jeolojik ve Jeofizik Arama, İlke ve Stratejileri. Jeotermal Enerji Semineri Kitabı, 21-38.
- Özdemir, A., 2007. Jeotermal enerji ve elektrik üretimi. Jeofizik Bülteni, 55, 300-310
- Özdemir, A., 2008. Çok-elektrotlu jeofizik rezistivite ölçümlerinin yeraltısuyu ve jeotermal arama alanlarındaki uygulamalarının değerlendirilmesi. Sondaj Dünyası Dergisi, Sayı 6, 7-13.
- Özdemir, A., Dalaz, M.S., 2009. Çok- Elektrotlu Özdirenç Yöntemi ile Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli ve Arama Yöntemleri Sempozyumu, İstanbul.
- Özen, N., 1988. Kütahya-Simav- Çitgöl- Naşa- Hüsüm- Eynal Alanları Jeotermal Enerji Aramaları Rezistivite Etüdü. MTA Raporu. 8524. Ankara.
- Özgüler, M.E., Turgay, M.I., Şahin, H., 1984. Denizli jeotermal alanlarında jeofizik çalışmalar. MTA Dergisi. Sayı 99-100. 129-142.
- Özgür, R., 1983. Aydın-Germencik-Ortaklar dolayında genç tektoniğe bağlı jeomorfolojik gelişme. MTA Dergisi. Sayı 99-100, 142-148.
- Özürlan, G., Ulugergerli, E.Ü., 2005. Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler. Birsan Yayınevi, 250 s.
- Parlaktuna, M., 2007. Jeotermal Sistem Tipleri. <http://hidrojeoloji.blogcu.com/jeotermal-sistem-tipleri/2238073>. Erişim Tarihi: 20.02.2011
- Paton, S.M., 1992. The relationship between extension and volcanism in western Turkey, the Aegean Sea and central Greece, Phd thesis, Cambridge University
- Pritchett, J.W., Ishido, T., 2005. Hydrofracture Characterisation Using Downhole Electrical Monitoring, WGC 2005.
- Satman, A., 2001. Jeotermal Enerjinin Doğası. V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir.
- Serpen, Ü., 2003. Jeotermal Enerji Arama Teknikleri. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1992. The age of Büyük Menderes Graben (West Turkey) and its tectonic implications. Geological Magazine, 129, 239-242 pp.
- Sözbilir, H., 2000. Batı Anadolu'dan örneklerle aktif faylar ve potansiyel aktif faylar. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu.
- Şener, Ç., Erdoğan A.R., Özgüler, M.E., 1986. Türkiye'deki jeotermal alanların araştırılmasında jeofizik çalışmalar. MTA Dergisi. Sayı:107. 152- 169.

- Şengör, A.M.C., 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler (factors governing the neotectonic evolution of the agean). in: Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli. 59-71 pp.
- Şimşek, Ş., 1981. Aydın (Germencik) Alanının Jeotermal Enerji Olanakları. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Sempozyumu. Yay., 5. Ankara.
- Şimşek, Ş., Şamilgil, E., Akkuş, M., 1981. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Yararlanma Olanakları. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu. 23-36. Ankara.
- Şimşek, Ş., Mertoğlu, O., Koçak, A., Bakır, N., Akkuş, İ., Dokuz, 1., Durak, S., Dilenire, A., Şahin, R., Akıllı, H., Suludere, Y., Karakaya, C., Tan, E., 2001. Dpt Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005) Jeotermal Enerji Raporu, Dpt Yayın No 2609-O.K620 Isbn 975 -16-2825-7, Ankara.
- Tarcan G, Gemici Ü, Aksoy N., 2004. Hdroteological and geochemical assessments of the Gediz Graben Geothermal Areas, Western Anatolia, Turkey. Environment Geology, 47: 523-534 pp.
- Temimhan, S., 2005. Salihli- Kurşunlu Kaplıcaları ve Civarının Jeotermal Potansiyelinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95 s.
- Tezcan, A.K., 1971. Sarayköy - Kızıldere Jeotermal Enerji Sahasında Kuru Buhar Üretme İmkânı. Türkiye 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu, Ankara.
- Tissot, B., Welle, D.H., 1984. Petroleum Formation and Occurence, Springer-Verlag, Berlin, 698 s.
- Uslu, A., Demirbaş, Ş., 1986. Kütahya-Simav jeotermal gravite etüdü, MTA derleme no: 8136.
- Utku, M., Sözbilir, H., 2003. Aydın-Nazilli Fayının Paleosismolojik Ön Bulguları. İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, IV Kuvaterner Çalıştayı. 121-129.
- Wright, P.M., Culver, G., 2004. Jeotermal Kaynakların Doğası. Z. İken, B. Özerdem ve G. Gökçen, (Çev. Ed.), Jeotermal Enerji Doğrudan Kullanım ve Tasarım El Kitabı içinde. 7- 26. İzmir, Makine Mühendisleri Odası Yayınları.
- Yönlü, Ö., 2008. Büyük Menderes Grabeninin Batı Kesiminin Morfotektonik Özellikleri ve Tarihsel Deprem Aktivitesi. Eskişehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107 s.
- Yücel, B., Coşkun, B., Demirci, S., Yıldırım, N., 1983. Simav yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA Rapor no: 8219

- Yüksel, V., 1971. Söke-Germencik Bölgesinin Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları: MTA Raporu, 4677 (yayımlanmamış), Ankara.
- Zorlu, O., 2005. Balçova-Narlidere Jeotermal Alanının CSAMT Yöntemiyle Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 139 s

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Esin ÖZGÜLEŞ

Doğum Yeri ve Yılı: Malatya/ 1985

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Rahmi Kula Anadolu Lisesi 1996- 2003

Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği 2004-2008

Yüksek Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı 2008-...

