

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEDİZ GRABENİ GÜNEYİ
(SALİHLİ-SART-YENİKÖY-AKÇAPINAR)
JEOTERMAL ALANININ MANYETOTELLÜRİK YÖNTEMLE
ARAŞTIRILMASI**

Akın ADIGÜZEL

**Danışman
Prof. Dr. Züheyr KAMACI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2018**



© 2018 [Akın ADIGÜZEL]

TEZ ONAYI

Akın ADIGÜZEL tarafından hazırlanan "Gediz Grabeni Güneyi (Salihli-Sart-Yeniköy-Akçapınar) Jeotermal Alanının Manyetotellürik Yöntemle Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

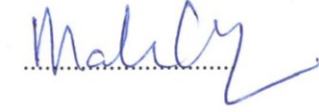
Danışman

Prof. Dr. Züheyr KAMACI
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mahmut OKYAR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Coşkun SARI
Dokuz Eylül Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Akın ADIGÜZEL



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
3.1. Jeotermal Enerji	5
3.2. Jeotermal Sistemin Kaynağı	6
3.3. Jeotermal Sistemleri Oluşturan Parametreler	7
3.4. Jeotermal Sistemlerin Sınıflandırılması	9
3.4.1. Jeotermal sistemlerin sıcaklıklarına göre sınıflandırılması	9
3.4.2. Jeotermal sistemlerin fiziksel koşullarına göre sınıflandırılması	9
3.4.3. Jeotermal sistemlerin jeolojik ortamlarına göre sınıflandırılması	10
3.4.4. Jeotermal enerjinin kimyasal bileşimine göre sınıflandırılması	11
3.4.4.1. Sodyum klorürlü sular	11
3.4.4.2. Asit sülfat klorür sular	11
3.4.4.3. Asit sülfat sular	11
3.4.4.4. Kalsiyum bikarbonatlı sular	12
3.5. Dünyadaki Jeotermal Kuşaklar	12
3.6. Türkiye’de Jeotermal Enerji	13
3.7. Jeotermal Araştırmalar	19
3.7.1. Jeotermal araştırmaların amacı	19
3.7.2. Jeotermal aramanın felsefesi	19
3.7.3. Jeotermal sahalarda yüzey arama teknikleri	19
3.8. Araştırma Sahasının Jeomorfolojisi	21
3.9. Araştırma Sahasının Jeolojisi	23
3.9.1. Genel jeoloji	23
3.9.2. Stratigrafi	25
3.9.2.1. Paleozoik	26
3.9.2.1.1. Paleozoik şistler	26
3.9.2.1.2. Paleozoik mermerler	26
3.9.2.1.3. Kuvarsit, kuvarsit şist	26
3.9.2.1.4. Migmatit şist ve gnayslar	26
3.9.2.2. Mesozoik	27
3.9.2.2.1. Kireçtaşı	27
3.9.2.2.2. Ofiyolitik karmaşık, ve serpantin, peridotit, metakumtaşı, metaçakıldaşı, metapelitik	27
3.9.2.3. Senozoik	28
3.9.2.3.1. Killi kireçtaşı-kumtaşı-çamurtaşı	28
3.9.2.3.2. Kumtaşı-çakıldaşı- kireçtaşı	28
3.9.2.3.3. Çakıldaşı-kumtaşı-killi kireçtaşı-şeyl	29
3.9.2.4. Kuvaterner alüvyonlar	29
3.9.3. Tektonizma	29

3.9.4. Araştırma sahasındaki jeotermal sistem parametrelerinin özellikleri	31
3.9.4.1. Örtü kaya	31
3.9.4.2. Rezervuar kaya	31
3.9.4.3. Isıtıcı kaya	31
3.10. Araştırma sahasındaki sulara ilişkin bilgiler	33
3.10.1. Su kaynakları ve güncel durumları	33
3.10.2. Suların kimyasal sınıflamaları	35
3.11. Araştırma sahasının jeofiziksel özellikleri	37
3.12. Manyetotellürik Yöntem	41
3.12.1. Manyetotellürik alan	41
3.12.2. Manyetotellürik yönteminde kaynak	42
3.12.3. Manyetosferin yapısı	43
3.12.4. Yer manyetik alanın değişimi	44
3.12.5. MT yönteminde ölçü düzeni	45
3.12.6. Manyetotellürik yöntem giriş	47
3.12.6.1. Temel bağıntılar	48
3.12.6.2. Deri Kalınlığı	49
3.12.6.3. Görünür öz direnç ve faz tanımları	50
3.12.6.4. Empedans verilerinin analizi	52
3.12.6.5. Manyetotellürik yöntemde kullanılan boyutluluk parametreleri	52
3.12.6.5.1. Empedans oranlarına göre boyutluluk belirlenmesi	52
3.12.6.5.2. Tipper büyüklüğü (Tipper Magnitude)	53
3.12.6.5.3. Döndürme işlemi	54
3.12.6.5.4. Durağan kayma (Static Shift)	56
3.12.6.6. Manyetotellürik verilerin değerlendirilmesi	57
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	59
4.1. Araştırma Sahasında Manyetotellürik Çalışmalar	59
4.2. Araştırma Sahasının Tanıtılması	59
4.3. MT Ölçüm Lokasyonu	60
4.4. Manyetotellürik Ölçülerin Yorumu	62
4.4.1. İki boyutlu manyetotellürik elektrik yapı kesitlerinin yorumu	62
4.4.1.1. Kuzey-güney profillerinin yorumu	63
4.4.1.1.1. KG1 profili	63
4.4.1.1.2. KG2 profili	66
4.4.1.1.3. KG3 profili	68
4.4.1.1.4. KG4 profili	70
4.4.1.1.5. KG5 profili	72
4.4.1.1.6. KG6 profili	74
4.4.1.1.7. KG7 profili	76
4.4.1.1.8. KG8 profili	78
4.4.1.1.9. KG9 profili	80
4.4.1.1.10. KG10 profili	82
4.4.1.1.11. KG11 profili	84
4.4.1.2. Doğu-batı profillerinin yorumu	86
4.4.1.2.1. DB1 profili	86
4.4.1.2.2. DB2 profili	89
4.4.2. Seviye haritaları	92
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	115

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEDİZ GRABENİ GÜNEYİ (SALİHLİ, SART, YENİKÖY, AKÇAPINAR) JEOTERMAL ALANININ MANYETOTELLÜRİK YÖNTEM İLE ARAŞTIRILMASI

Akın ADIGÜZEL

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Züheyr KAMACI

Günümüzde dünya nüfusunun artması ve sanayileşmeden kaynaklanan etkenlerden dolayı enerji gereksinimi hızla artmaktadır. Bu nedenle ülkemizde özel sektör ve kamuda enerjiye yönelik araştırmalar sıkça yapılmaktadır. Jeotermal enerjinin yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez, ucuz, çevreci oluşu ve dünyada fosil yakıtların tükenmek üzere olması nedeniyle son yıllarda jeotermal enerjiye talep çok artmıştır.

Bu çalışmada, Gediz Grabeni güneyinde, Salihli (Sart, Yeniköy, Akçapınar), jeotermal enerji aramaya yönelik olarak özel bir şirket tarafından daha önceden elde edilen manyetotellürik veriler yeniden değerlendirilerek ölçülere en uygun modelleme teknikleri uygulanmıştır.

Manyetotellürik (MT) yöntem ile alt ve üst kabuk sınır derinliği, hatta üst manto derinlikleri hakkında bilgi edinilebilmektedir. Diğer yandan yeraltı kaynaklarının (petrol, doğalgaz maden, jeotermal) araştırılması ve geliştirilmesi açısından önem arz etmektedir.

Jeotermal enerji açısından MT yöntem, çok derinlerde ısıtıcı olabilecek, yüzeye yaklaşan magmatik sokulum gibi iletken yapıların derinliklerinin ortaya çıkarılması ve derinlerden iki boyutlu bilgi vermesi nedeniyle dünyada ve Türkiye’de jeotermal sahaların araştırma safhasında çok tercih edilmektedir. Sahaya ait MT ölçülere ters çözüm yapılarak iki-boyutlu (2B) görünür öz direnç ve faz kesitleri en doğru şekilde yorumlanmaya çalışılmıştır. Bunun sonucunda sahanın jeotermal sistemine ait bir model oluşturularak Gediz Grabeni’ ne ait, fay sistemleri, derinlerdeki iletken yapılar, örtü ve temel birimlerin derinliği hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir. Daha sonra sahada jeotermal enerji elde edilebilecek alanlar sınırlandırılmış ve olası sondaj yerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, Manyetotellürik, Gediz Grabeni, Salihli

2018, 115 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EXPLORATION OF THE SOUTH OF THE GEDİZ GRABEN (SALİHLİ-SART-YENİKÖY-AKÇAPINAR) GEOTHERMAL AREA BY MAGNETOTELLURIC METHOD

Akın ADIGÜZEL

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

Supervisor: Prof. Dr. Züheyr KAMACI

Today the need for energy is on the rise due to the effects of population growth and industrialization. Therefore, private and public companies reengage in research for energy sources in our country very often. The demand for geothermal energy increases because it is renewable, sustainable, inexhaustible, environmentally friendly while fossil fuels are about to run out.

In this study, the most appropriate modeling technique was applied by reassessing the magnetotelluric data previously measured by a private company in search of geothermal energy in the area between Salihli-Turgutlu (Sart, Yeniköy, Akçapmar) to the south of Gediz Grab en.

By means of practicing the magnetotelluric method (MT) on the layer, we can get information on lower and upper border depths, also on the upper crust. On the other hand it is also important to try to find the places of the natural resources of the earth (petroleum, natural gas, mines, geothermal) and to benefit from them.

For geothermal energy, geophysical method of magnetotelluric is preferred in Turkey and throughout the world because that method works in giving two dimensional information. By working in contrast to the MT measurements two dimensional resistances are interpreted. Crucial information has been obtained about, the fault systems in the Gediz Graben, the conductor structures in the deep earth, and about the depth of main branches. Then in the field, possible drilling areas are identified and with geothermal energy delineated.

Keywords: Geothermal, Magnetotelluric, The Gediz Graben, Salihli

2018, 115 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle şahsımı yönlendiren Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Züheyr KAMACI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlama aşamasında bilgi ve emeğini benden esirgemeyen Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesinden Doç. Dr. Emin ULUGERGERLİ'ye teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca MTA Genel Müdürlüğünde beraber çalıştığım, deneyimlerini ve bilgisini sürekli paylaşan Jeofizik Yük. Müh. Ali Rıza KILIÇ'a ve araştırma tez sahasının jeolojik olarak yorumlanmasına yardımcı olan değerli arkadaşlarım Jeoloji Mühendisi İsa CAN ve Jeoloji Mühendisi Hakan AYGÜN'e teşekkür ederim.

Arazi verilerinin paylaşımı konusunda yardımlarından dolayı FNÇ Petrol ve Madencilik LTD. ŞTİ firma sahibi Jeofizik Mühendisi Cemil ADIGÜZEL'e teşekkür ederim.

Tez sürecinde daima yanımda olan, beni destekleyen ve başarıya ulaşmamı sağlayan canımdan çok sevdiğim aileme gösterdikleri sabır ve özveriden dolayı teşekkür ederim.

Akın ADIGÜZEL
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Yerkürenin iç yapısı ve sıcaklık dağılımı.	5
Şekil 3.2. Jeotermal sistemin kaynağı.	6
Şekil 3.3. İdeal bir jeotermal sistemin kavramsal modeli.	8
Şekil 3.4. Jeotermal bir sistemin jeofizik araştırma yöntemleri ile yorumlanması.	8
Şekil 3.5. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar ve levha (plaka) sınırları.	13
Şekil 3.6. Türkiye haritası üzerinde jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar.	16
Şekil 3.7. Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler.	17
Şekil 3.8. Yüzey arama teknikleri.	20
Şekil 3.9. Araştırma sahasında MT ölçü noktaları ve sahanın morfolojik yapısı.	22
Şekil 3.10. Araştırma sahası ve civarının morfolojik yapısı.	22
Şekil 3.11. Araştırma sahası ve civarının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası.	24
Şekil 3.12. Araştırma sahası civarının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.	25
Şekil 3.13. Türkiye ısı akısı haritası.	38
Şekil 3.14. Araştırma sahası civarında manyetotellürik ölçü noktaları ve gravite Bouger anomali haritası.	40
Şekil 3.15. Güneşten gelen yüklü parçacıklarla yer manyetik alanın etkileşimi.	43
Şekil 3.16. Manyetosferin yapısı.	44
Şekil 3.17. Yer manyetik alanın değişimi.	45
Şekil 3.18. MT yönteminde ölçü düzeneği.	46
Şekil 3.19. Zamana karşı ölçülen manyetotellürik alan bileşenleri.	47
Şekil 3.20. Deri kalınlığının, öz dirence ve frekansa göre değişimi.	50
Şekil 3.21. TE ve TM modu şematik gösterimi.	52
Şekil 3.22. Tipper veri örneği.	53
Şekil 3.23. Empedans döndürme işlemi.	55
Şekil 3.24. Statik kayma düzeltmesinin uygulanması.	56
Şekil 4.1. Araştırma sahası'nın yer bulduru haritası.	59
Şekil 4.2. Araştırma sahasında manyetotellürik ölçü istasyonlarını gösteren lokasyon haritası.	61
Şekil 4.3. KG1 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış öz direnç ve faz kesiti.	65
Şekil 4.4. KG2 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış öz direnç ve faz kesiti.	67
Şekil 4.5. KG3 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış öz direnç ve faz kesiti.	69
Şekil 4.6. KG4 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış öz direnç ve faz kesiti.	71
Şekil 4.7. KG5 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış öz direnç ve faz kesiti.	73
Şekil 4.8. KG6 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış öz direnç ve faz kesiti.	75

Şekil 4.9. KG7 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür özdirenç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış özdirenç ve faz kesiti.....	77
Şekil 4.10. KG8 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür özdirenç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış özdirenç ve faz kesiti.....	79
Şekil 4.11. KG9 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür özdirenç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış özdirenç ve faz kesiti.....	81
Şekil 4.12. KG10 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür özdirenç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış özdirenç ve faz kesiti.....	83
Şekil 4.13. KG11 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür özdirenç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış özdirenç ve faz kesiti.....	85
Şekil 4.14. DB1 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür özdirenç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış özdirenç ve faz kesiti.....	88
Şekil 4.15. DB2 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür özdirenç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış özdirenç ve faz kesiti.....	91
Şekil 4.16. 0 metre seviye haritası	94
Şekil 4.17. 250 metre seviye haritası	95
Şekil 4.18. 500 metre seviye haritası	95
Şekil 4.19. 750 metre seviye haritası	96
Şekil 4.20. 1000 metre seviye haritası	96
Şekil 4.21. 1250 metre seviye haritası	97
Şekil 4.22. 1500 metre seviye haritası	97
Şekil 4.23. 1750 metre seviye haritası	98
Şekil 4.24. 2000 metre seviye haritası	98
Şekil 4.25. 2500 metre seviye haritası	99
Şekil 4.26. 3000 metre seviye haritası	99
Şekil 4.27. 4000 metre seviye haritası	100
Şekil 4.28. 5000 metre seviye haritası	100
Şekil 4.29. 6000 metre seviye haritası	101
Şekil 4.30. 7500 metre seviye haritası	101
Şekil 4.31. 10000 metre seviye haritası	102
Şekil 4.32. İki boyutlu MT seviye haritaları	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Jeotermal elektrik üretim projeksiyonu, tahmini güç	14
Çizelge 3.2. Türkiye’de jeotermal ile merkezi ısıtma	15
Çizelge 3.3. Türkiye’de sera ısıtması	18
Çizelge 3.4. Salihli-Kurşunlu jeotermal alanındaki sıcak su kaynakları	33
Çizelge 3.5. Salihli jeotermal alanındaki açılan sondaj kuyular	34
Çizelge 3.6. Urganlı jeotermal alanındaki kaynaklar	35
Çizelge 3.7. Salihli bölgesindeki jeotermal alanlardaki suların kimyasal analizleri	36
Çizelge 5.1. Çalışma sahasında önerilen muhtemel sondaj lokasyonları.....	107



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

2B	İki Boyutlu
AMT	AudioMagnetotellürik
B	Manyetik akı yoğunluğu (Weber/metre-kare=Tesla)
CSAMT	Yapay kaynaklı audiomanyetotellürik
d	Yer değiştirme akımları (Coulomb/ m^2)
DC	Doğru Akım
E	Elektrik alan şiddeti (mV/m)
EGS	Enhanced Geothermal Systems
EM	Elektromanyetik
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
E_x	Elektrik alan x-bileşeni
E_y	Elektrik alan y-bileşeni
E_z	Elektrik alan z-bileşeni
f	Frekans (Hz)
g	Yer çekim ivmesi
H	Manyetik alan şiddeti (A/m)
HDR	Hot Dry Rock
H_x	Manyetik alan x-bileşeni
H_y	Manyetik alan y-bileşeni
H_z	Manyetik alan z-bileşeni
IP	İndüksiyon Polarizasyon
J	Elektrik akımının yoğunluğu (A/m^2)
MTA	Maden Tetkik Arama
MT	Manyetotellürik
Ohm.m	Ohm.metre
RMS	Ağırlıklı Ortalama Değer
TE	Transverse Elektrik
TEM	Transient Electromagnetics
TM	Transverse Manyetik
Z	Empedans
q	Isı Akısı
ρ	Özdirenç (Ohm-m)
μ	Manyetik geçirgenlik (H/m)

1. GİRİŞ

Günümüzde ülkelerin kalkınma ve büyüme hızına bağlı olarak enerji ihtiyaçları sürekli olarak artmaktadır. Dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %90'nı fosil yakıtlar olarak adlandırılan kömür, petrol ve doğal gazdan karşılanmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenecek olması ve yakıldığında havaya verdiği yüksek orandaki karbondioksit nedeniyle kirlilik yaratması, alternatif enerji kaynaklarının devreye girmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle son yıllarda fosil yakıtların yerine geçebilecek alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve yararlanılması konusunda çalışmalar hızlanmıştır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjiye talep oldukça fazla artmıştır. Ülkemizde son yıllarda birçok başarılı araştırmalar (etüt ve sondaj) yapılarak jeotermal sahalarda yüksek ve orta sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir. Jeotermal enerji kullanılarak elektrik üretimi, konut ısıtması, seracılık ve kaplıca turizminde ülke ekonomisine katkı sağlanmaktadır.

Jeotermal enerji yerin derinliklerindeki kayalar içinde birikmiş olan ısı enerjisidir. Meteorik suların geçirimli kayalarda yerin derinliklerine doğru, süzülerek ısı kaynağına doğru yaklaşması ve orada birikmiş ısı enerjisi ile ısındıktan sonra, ısınmış suyla soğuksu arasındaki yoğunluk farkından dolayı yukarıya doğru yükselir ve geçirgen olmayan kayalarla örtülü poroz ve geçirimli zonlar içinde birikerek jeotermal rezervuarları oluşturur. Jeotermal akışkan, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20°C den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir.

Ülkemizde son 20 yılda jeotermal enerjiye yönelik araştırmalar ve sondaj çalışmaları artış göstermiştir. Son 40 yıl içinde jeotermal sondaj kuyuların büyük bir kısmı, MTA (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü) tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye genç volkanik etkinliklerin sık rastlandığı orojenik aktif, tektonik, Akdeniz kuşağının üzerinde yer almaktadır. Alp Orojenizi sırasında şiddetli kırılma tektoniğine uğraması magma yaklaşımı ve buna bağlı olarak yerkabuğunun içine yerleşen magma odaları jeotermal sistemlerin oluşmasında önemli rol oynamıştır. Jeotermal sistemin elemanlarının (örtü ve temel birim derinliği, tektonizma)

belirlenmesine yönelik, sahaya jeofizik yöntemlerden bir veya bir kaç uygulanarak rezervuar yeri, derinliği ve yapısı hakkında bilgi edinilir. Jeotermal alanlardaki formasyonların içerisindeki tuzlu ve sıcak sular elektrik özdirenç değerini çok katlı olarak düşürürler. Özdirenç değişiminin düşmesi nedeniyle elektrik özdirenç yöntemi jeotermal sahalarda çok sıkça uygulanmaktadır.

Rejyonal ölçekte jeotermal alanların geliştirilmesi için doğal sıcak su çıkışların olmadığı ve hidrotermal alterasyonun mostro vermediği yüzey verilerinden yoksun, yüksek entalpili, gizli jeotermal sahaların ülke ekonomisine kazandırılması için derin bilgi veren, elektromanyetik yöntemlerden Controlled Source Audio Magnetotellurics (CSAMT), Audiomagnetotelluric (AMT), Magnetotelluric(MT) ve gibi jeofizik yöntemlerin uygulanmasına ihtiyaç vardır.

Bu tez çalışmasında yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaların araştırılması safhasında uygulanan MT yöntem ve değerlendirmeleri ele alınmıştır. FNÇ Petrol ve Madencilik Ltd. Şti tarafından 2016 yılında Turgutlu-Salihli arasında, Gediz Grabeninin güneyinde toplanmış, 145 adet Manyetotellürik (MT) veriler yeniden değerlendirilerek iki boyutlu (2B) modellenmiştir. Manisa İline bağlı Turgutlu ve Salihli İlçeleri arasında, doğu- batı hattında Sart, Mersindere, Ahmetli, Akçapınar köyleri; güneyde ise Başlıoğlu, Çaypınar, Yeniköy, Sivrice köyleri arasında kalan bölgenin jeotermal enerji potansiyelinin araştırılması amacıyla, ilgili sahaya manyetotellürik (MT) yöntem uygulanmıştır. MT yöntem, çok derinlerde ısıtıcı olabilecek, yüzeye yaklaşan magmatik sokulum gibi yapıların derinliklerinin ortaya çıkarılması ve derinlerden iki boyutlu bilgi vermesi nedeniyle jeotermal sahalarda sıkça uygulanmaktadır. Bu nedenle Gediz Grabeninin güneyinde kalan sahada, yüksek enerji elde etmek amacıyla, elektromanyetik yöntemlerden MT etüt çalışması yapılmış ve sıcak akışkan elde edilebilecek alanlar sınırlandırılarak sondaj yerleri belirlenmiştir.

MT modellemeler sonucunda ters çözüm yapılarak iki boyutlu (2B) özdirenç modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra jeotermal sahanın derin ve sığ özdirenç dağılımı, örtü ve temel birimlerin geometrisi, taban topografyası, derinlerdeki ısı kaynağı (iletkenlik), tektonizma gibi jeotermal kriterleri hakkında bilgiler elde edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Derin jeotermal sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi aşamalarında jeofizik yöntemlerden MT yöntem birçok jeotermal sahaya diğer jeofizik yöntemler ile birlikte uygulanmaktadır. Jeotermal enerjiye yönelik jeofizik etüt çalışmaları hakkında çok sayıda araştırmalar literatürde yer almaktadır.

Erden (1965), Manisa ili Salihli ilçesi sınırlarındaki Kurşunlu kaplıcaları civarında yapılan gravite etüdünden çıkan sonuçlara göre sahanın güneyinde Bouger anomalilerinin sıklaştığı ve ikinci türev haritalarındaki doğu-batı yönlü fayların bulunduğu kesimlerde Kurşunlu kaplıcaları ve çamur hamamının yer aldığı belirtilmiştir.

Gülay (1970), Manisa-Salihli, Caferbeyli-Köseli, Kurşunlu-Allahdiyen-Çamur kaplıcaları civarında yapılan öz direnç etüt çalışması sonucunda, sahanın kuzeyine doğru temel yapının derinleştiğini saptamış ve Neojen çökellerinin kalınlıkları ile ilgili bilgiler sunmuştur.

Karamandere (1971), Manisa iline bağlı Salihli-Turgutlu ilçeleri arasında, Gediz Nehri güneyinde, L19 b1, b2 paftalarında kalan sahanın jeotermal potansiyelini araştırmak amacıyla bölgenin jeolojisini ve hidrojeolojisi açıklamıştır. Bu çalışma sonucunda Gediz grabenine ait tektonik hatlar ve yerleri belirlenmiştir.

Gürsoy (1981), Turgutlu-Alaşehir arasında jeotermal amaçlı yapılan gravite çalışması ile Manisa ilinin güneydoğusunda, Turgutlu-Salihli-Alaşehir-Sarıgöl ilçelerini içine alan sahanın bir genel graben yapısında olduğunu, güneyde kademeli fayların, kuzeyde ise düşey yapıdaki fayların baskın olduğunu açıklamıştır.

Öngür (2005), Menderes Masifi, özgün jeoloji geçmişi ile ülkemizin en yüksek ısı akısına sahip yöresini oluşturmaktadır. Üstelik bu Masif, yakın zamanda D-B uzanımlı grabenleri oluşturan derin yapısal süreksizliklerle kesilmiştir. Bu bölgede, bir yandan metamorfizmi etkilemiş olan sıyrılma fayları ve bir yandan da üst Miyosen'de oluşmuş, bugünlere vev uzanan bir başka fay sistemi ile yaygın ve etkili bir kırılma ve kaya ortamlarının geçirimsizlik kazanması olanaklı olmuştur.

Bu nedenlerden dolayı bölgede çok sayıda ve yüksekçe ısı yüklü jeotermal sistemlerin gelişebileceğini belirtmiştir.

Özen-Balaban ve Tarcan (2009), Caferbey ve Sart (Salihli) jeotermal alanlarının Hidrojeokimyasal özelliklerini araştırmışlar. Menderes Masifi metamorfiklerine ait gnays ve kuvars-mikaşistlerin karstik boşluklu ve çatlaklı olduğunu ve jeotermal sular için akifer özelliği taşıdığını belirtmişlerdir. Çalışmada jeotermal alanındaki suların meteorik kökenli olduğu ortaya konulmuştur. Su kimyası sınıflamalarının sonuçlarına göre Sart-Çamur kaplıcası Na-Ca-HCO₃, Cafer Bey kaplıcası Na-HCO₃ su tipini göstermektedir.

Demirtaş vd. (2013), Salihli-Bozdağ jeotermal alanının faylanma mekanizmasını açıklamak ve yapılacak jeokimyasal ve/veya jeofizik çalışmaları yönlendirmek amaçlı araştırmalar yapmış, jeotermal sahalarının bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı, stratigrafik istifi, paleotektonik, neotektonik ve aktif tektonik yapıları hakkında yorumlamalarda bulunmuştur.

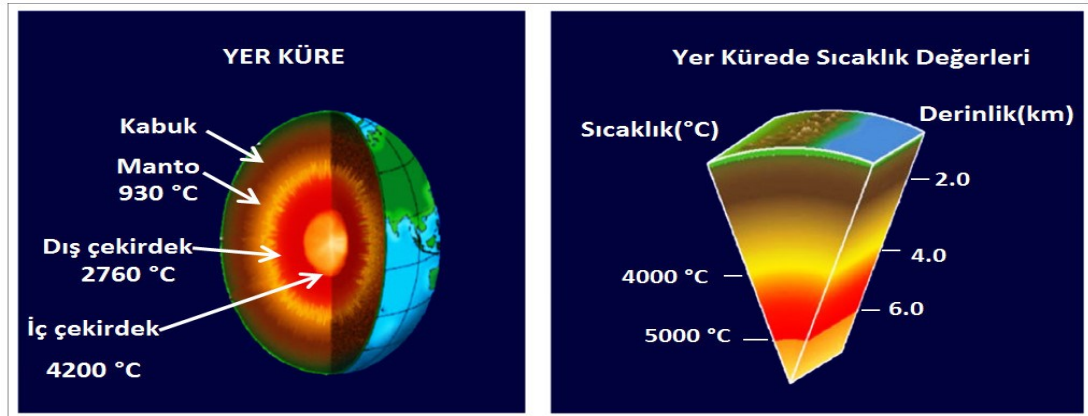
Hakyemez vd. (2013), Gediz Grabeninin Kuvaterner Jeolojisi ve evrimi açıklamışlar. Kuvaterner başlangıcından günümüze değin eski ve yeni Gediz nehirleri ile değişik boyutlardaki göllerin, K-G genişleme rejimi içinde gelişen tektonik denetimli bir havza evrimi sürecinde çökellerini depoladıklarını öne sürmüşlerdir. Araştırmada Gediz Havzasının erken ve geç Kuvaterner sırasındaki eş zamanlı sedimanter ve tektonizma süreçleri açıklanarak nehrin denizle buluşma serüveninin Holosen ortalarında gerçekleştiği öne sürülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Jeotermal Enerji

Yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu sıcaklığı 20 °C fazla olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla mineral, gaz ve tuz içeren akışkanların yeryüzüne çıkarılarak kullanılması jeotermal enerji olarak tanımlanır. Jeotermal enerji yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez, ucuz, güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil bir enerji türüdür.

Jeotermal enerji, yerkabuğunun, çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları bölgesel atmosferik sıcaklıkların üzerinde olan, normal yeraltı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar, gazlar içeren sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Yeryüzünden derinlere doğru inildikçe jeotermal gradyan nedeniyle her 33 metrede 1 ° C sıcaklık artışı olur. Yeryüzünün merkezinin sıcak olması nedeniyle yüzeye doğru bir ısı akışı yükselimi olur. Yerkürenin yapısı ve sıcaklık dağılımı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yerkürenin iç yapısı ve sıcaklık dağılımı
(Geothermal Education Office, 2017)

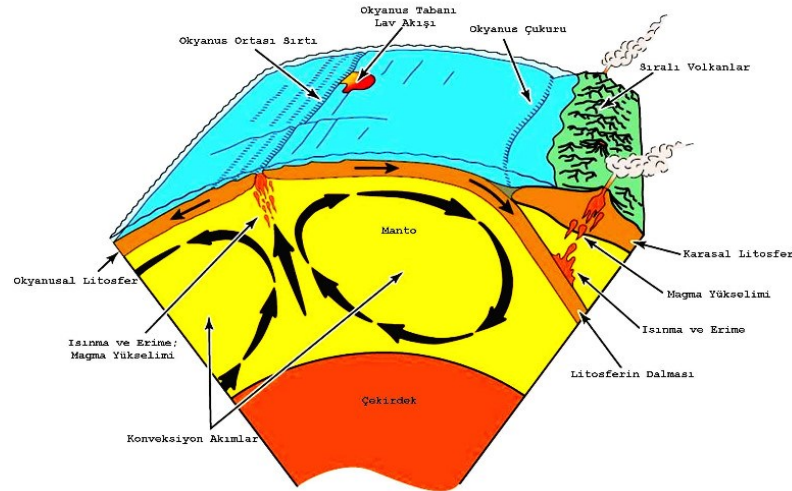
Bazı alanlarda bulunan sıcak kuru kayalar da akışkan içermemesine rağmen jeotermal enerji kaynağı olarak kabul edilirler. Jeotermal akışkanı oluşturan sular genelde meteorik kökenli olduğu için atmosferik koşullar devam ettiği sürece jeotermal kaynaklar yenilenmektedir. Bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için gerekli olan parametreler; yer kabuğunun derinliklerindeki ısı kaynağı, ısıyı taşıyan

akışkan (beslenme), akışkanı bünyesinde barındıran rezervuar kayaç ve ısının kaybını önleyen örtü kayadır (Arslan vd. 2001).

3.2. Jeotermal Sistemin Kaynağı

Dünyanın merkezinde sıcaklığı yaklaşık 4200 °C'yi bulan magma adı verilen eriyik kütle bulunmaktadır. Tektonizmanın yarattığı kırık ve zayıflık zonlarından kabuk içerisinde sığ derinliklere veya yeryüzüne kadar ulaşan magma faaliyetleri jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturur.

Atmosfer kaynaklı meteorik sular kırık ve çatlaklar boyunca yeraltına doğru süzöldükten sonra derinlerde ısınır ve daha sonra gözenekli ve geçirimli olan rezervuar kayaçlar içerisinde birikirler. Kabuğun incelendiği bölgelerde magmanın yukarıya doğru yaklaşmasıyla ısınan sular yukarı akış yaparlar. Bu şekilde elde edilen sıcak su jeotermal kaynak olarak nitelendirilmektedir. Jeotermal sistemin kaynağı Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Jeotermal sistemin kaynağı (Özdemir, 2007)

Jeotermal akışkan ise çoğunlukla meteorik sular olmakla birlikte rezervuar içerisinde buhar ve sıvı haldedir. Konveksiyon akım (ısı iletimi) ısınma nedeniyle oluşur ve sonuçta sistemdeki sıvının termal genişlemesine neden olur. Düşük yoğunluklu ısınmış sıvı sistem içerisinde yükselme eğilimindedir ve sistemin kenarlarından gelen soğuk su ile yer değiştirir. Doğal olarak konveksiyonel akım sisteminde, alt

kısımlarda sıcaklık azalma eğilimindeyken üst kesimlerde sıcaklık artma eğilimindedir (Özdemir, 2007).

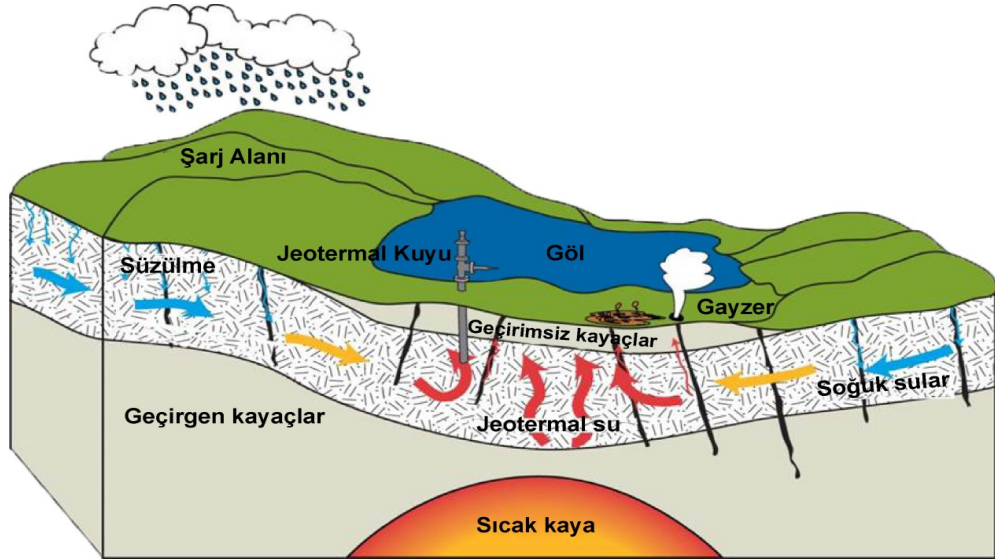
3.3. Jeotermal Sistemleri Oluşturan Parametreler

Jeotermal sistemler, ısı yayılımı ve zenginleşmesine yardımcı olan kaya türleri ve yapısal ortamların varlığını gerektirir. Isı kaynağı ile bu sistemlerin konuşlandığı yer arasında dolaysız bir ilişki yakınlık olmayabilir. Önemli olan bölgesel ısı akısının yüksek olduğu kütleli ısı transferinin görüldüğü ya da ısı çevrimine elverişli jeolojik yapıların, katmanlanma ya da zonlarının olduğu yerlerinin bulunmasıdır(Öngür, 2005).

Jeotermal sistemleri başlıca, dört ana başlık altında toplayabiliriz;

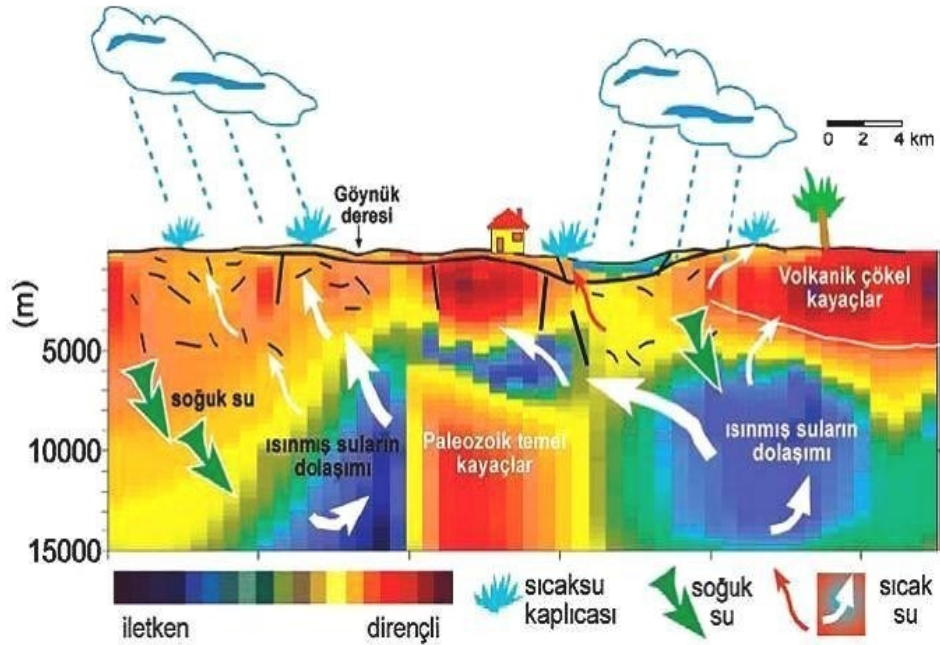
1. Isı Kaynağı: Kabuk üzerinde yüzeye yakın tektonik kırıkların ulaşabildiği tektonik zonlar, jeotermal sistemler için ısı kaynağını oluşturmaktadır. Genelde magmatik kökenlidirler.
2. Isıyı ihtiva eden akışkan: Meteorik kökenli yağmur suları da yeryüzüne düştükten sonra çatlaklı zonlardan yeraltına doğru süzülerek ısı anomalisi etkisiyle kayaçlardaki yüzeye çıkarlar.
3. Rezervuar zon: Rezervuar kayaçlar porozitesi ve permabilitesi yüksek kayaçlardan oluşmalıdır.
4. Örtü kaya: Jeotermal sistemlerin en önemli parametrelerindendir. Termal akışkan geçirimsiz ve gözeneksiz jeolojik birim içerisinde ısını ve enerjisini kaybetmeden kalması gerekmektedir. Bu şartları sağlayan birimlere ise örtü birim denmektedir. Genellikle killi birimleri ihtiva eden Kuvaterner yaşlı az geçirimli olan birimler örtü özelliğindedir.

Jeotermal sistemlerin kavramsal modeli denilince, jeotermal sistem kayaç ilişkisi, hazne kayaç, geçirimsizlik, örtü kayası ve tektonik özellikler akla gelmelidir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. İdeal bir jeotermal sistemin kavramsal modeli
(Geothermal Resource, 2017)

Jeotermal sahalara jeofizik metotlar uygulandıktan sonrada jeotermal sistemin elemanları (ısı kaynağı, rezervuar, örtü birim) hakkında bilgi edinilir. Yorum aşamasında jeofizik veriler bölgenin jeolojisi ile birlikte yorumlanarak kavramsal model oluşturulur. Jeofizik araştırma yöntemleri ile elde edilen kavramsal model Şekil 3.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Jeotermal bir sistemin jeofizik araştırma yöntemleri ile yorumlanması
(Gönülalan vd., 2009)

3.4. Jeotermal Sistemlerin Sınıflandırılması

Jeotermal sistemlerin sınıflandırılmaları birçok parametrelere göre yapılmaktadır. Genellikle jeotermal içerikli sahalar jeotermal sistemin, sıcaklıklarına göre, fiziksel koşullarına göre, jeolojik ortamına göre ve kimyasal bileşimine göre sınıflandırılmaktadır.

3.4.1. Jeotermal sistemlerin sıcaklıklarına göre sınıflandırılması

1. Düşük Entalpili Sahalar: Rezervuar sıcaklıkları 20 °C ile 70 °C arasında değişen jeotermal sistemlerdir.
2. Orta Entalpili Sahalar: Rezervuar sıcaklıkları 70 °C ile 150 °C arasında değişen jeotermal sistemlerdir.
3. Yüksek Entalpili Sahalar: Rezervuar sıcaklıkları 150 °C' den yüksek olan jeotermal sistemlerdir.

Düşük ve orta entalpili sahalardan üretilen jeotermal akışkan, seracılık, termal turizmi ve tedavi, konut ısıtmacılığı alanlarında kullanılmaktadır. Bunun dışında farklı bir sektör olan karbondioksit üretiminde de kullanılmaktadır. Yüksek entalpili sahalardan üretilen akışkan ile de elektrik üretimi yapılmaktadır.

3.4.2. Jeotermal sistemlerin fiziksel koşullarına göre sınıflandırılması

Jeotermal sistemlerin fiziksel koşullarına göre sınıflandırılması şu şekildedir.

1. Sıvının etken olduğu jeotermal rezervuarlar: Bu sistemde süreklilik gösteren ve basıncı kontrol eden, faz sıvı fazıdır. Su kimyasal bir çözüldür(sodyum, potasyum, lityum, kalsiyum, klor, sülfat, borat, silikat). Bu sistemler buhar ağırlıklı sistemlere göre daha çok ısı barındırırlar. Dünyaca ünlü sıvı ağırlıklı jeotermal sistemler arasında Yeni Zelanda'dan Wairakei, Meksika'dan Cerro Prieto ve ülkemizden Kızıldere'yi saymak mümkündür (Parlaktuna, 2007).
2. Buharın etken olduğu rezervuarlar; Buhar ağırlıklı sistemler de etkin olan faz, rezervuar boyunca süreklilik gösteren ve basıncı kontrol eden olan faz, buhar fazıdır.

Bu sistemler yeryüzünde az bulunmalarına rağmen temiz, risksiz ve diğer sistemlere göre problemsiz olmaları nedeniyle çok tercih edilmektedirler (Parlaktuna, 2007).

3.4.3. Jeotermal sistemlerin jeolojik ortamlarına göre sınıflandırılması

Jeotermal sistemlerin jeolojik ortamlarına göre sınıflanması aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır;

1. Volkanik Sistemler: Jeotermal bölgedeki volkanik etkinliklerle ilişkilidir. Isı kaynağı magma kökenlidir. Volkanitler oluşumları sırasında kabuğun üst düzeylerine kütleli ısı taşıdıkları için jeotermal olanak sağlarlar. Bunun yanında özellikle stratovolkanlar farklı geçirimsizliğe sahip ürünlerin ardalanması ve karmaşık içyapıları ile jeotermal sistemlerin yerleşimine olanak sağlarlar (Öngür, 2005).

2. Taşınım Sistemleri: düşey çatlak ve faylarla yüksek ısı akışının olduğu tektonik olarak aktif bölgelerdir. Isı kaynağı kabuk içerisine sokulmuş sıcaklığını henüz kaybetmemiş magmatik sokulumlardır. Atmosfer kaynaklı sular 1 km' den fazla derinliklere inip ısıdıktan sonra kırık-çatlak zonlarından tekrar yükselerek taşınım sistemlerini oluştururlar (Öngür, 2005).

3. Sedimanter Sistemler: 1 km' den daha derin yerlerde geçirgen tortul tabakalarda oluşan ısı taşınımından çok iletimin etken olduğu sistemlerdir. Sediman sistemler ülkemizde en çok görülen sistem türüdür. Tortul birimler çökeldiği havzaların niteliğine bağlı olarak farklı geçirimsizliğe sahip ortamların ardalanmasından kurulu ise jeotermal sistemlerin oluşumu açısından önemlidirler. Bu kaya türleri ısı açısından anlamlı bir hedef değillerdir. Üstelik biriktikleri havzalar, çoğu zaman yer kabuğunun çöküntü kuşaklarında olduğu için eş sıcaklık yüzeylerinin derine doğru büküldüğü, kabuğun üst kesimlerinin soğuduğu, düşük sıcaklık anomalilerine konudur. Bu açıdan tortul birimlerin kurulduğu yerler jeotermal sistemlerin oluşumu açısından olumsuzdur. Tortul birimlerin jeotermal sistemlerde yüklendikleri en tipik işlev bir örtü katmanı olarak ısı kaplanmasına yardımcı olmaktır (Öngür, 2005).

4. Kızgın Kuru Kaya Sistemleri: Doğal çatlak ve gözenek permabilitesi içermeyen yüksek sıcaklığa sahip kayalar HDR (Hot Dry Rock) kızgın kuru kaya olarak

adlandırılır. Isıyı taşıyıcı özellikleri vardır ancak akışkan içermezler. Doğal çatlak ve permabilitesi içeren ancak ekonomik miktarda akışkan içermeyen sistemler ise (Enhanced Geothermal Systems) Geliştirilebilir Jeotermal sistemler olarak adlandırılır. Bunlara da kısaca EGS sistemleri denilmektedir. Bu iki tanımlama birbirine yakın sistem tanımlamaları olup, tek fark tanımlanan kayaç tipidir. HDR sistemlerinde kayaç tipi magmatik genellikle granitik kayaçlar iken, EGS sistemlerinde kayaç tipi sedimanter basen tipi kayaçlardır (Burçak, 2013).

5. Yüksek Basıncılı Sistemler: Yüksek basınçlı petrol rezervuarlarına benzer olarak basıncın normal basınçtan yüksek olduğu tabakalarda görülür.

3.4.4. Jeotermal Enerjinin Kimyasal Bileşimine Göre Sınıflandırılması

Jeotermal enerjinin kimyasal bileşimine göre sınıflandırılması Üçer, 2005' ten alınmıştır.

3.4.4.1. Sodyum klorürlü sular

Evaporitik değilse ortam derindir, klorca zengin sular, büyük sıcak su dolaşım sistemlerini temsil ederler. H^+ iyonunun silikat minerallerle reaksiyonu neticesinde PH değeri 7 civarında olup nötr özellik gösterir. Yüzeyde kaynama olursa alkalikleşme olur ve Cl_2/SO_4^{2-} oranı yüksek olur.

3.4.4.2. Asit sülfat klorür sular

Suların asitliği Cl^- ye ilaveten H_2S gazlarının oksidasyon sonucu, oksijen taşıyan meteorik sular tarafından SO_4^{2-} dönüşür. Bu tip sular volkanik uçucuların (SO_4 ve HCl) çözünümü sonucu oluşur. Genelde genç andezit volkanizması ile ilgili aktif hidrotermal sistemlerin derin kısımlarında görülür.

3.4.4.3. Asit sülfat sular

PH değeri çok düşük sulardır. Bu sular buharın yoğunlaşmasıyla oluşurlar, yeraltında kaynama koşulları hakkında bilgi verir.

Asitliliğin göstergesi çoğunlukla H_2S ve asitlenme sonucu sülfirik asit reaksiyonundan kaynaklanır.

3.4.4.4. Kalsiyum bikarbonatlı sular

Esas anyon HCO_3 ve CO_2 silikat mineralleri ile reaksiyonu sonucu oluşur. $200^\circ C$ altındaki sıcaklıklar da kalsitin çözünürlüğü oldukça yüksektir. Kalsiyum volkanik kayalardan yıkanıp alınır. Bikarbonatlı sular yüzeye çıktıklarında içindeki CO_2 kaybeder ve traverten çöker. Bu tür sular genellikle düşük sıcaklıklı rezervuar gösterir.

3.5. Dünyadaki Jeotermal Kuşaklar

Dünyadaki yüksek ısı akışı gösteren jeotermal kuşakların dağılımı, petrol alanların da olduğu gibi belli jeolojik özellikler gösteren kuşaklar şeklindedir. Bu alanlarda diğer bölgelere göre daha fazla ısı akışı bulunmaktadır. Jeotermal alanlar ısının transfer edildiği alanlardır. Isı akışı $0-125.7 \text{ mW/m}^2$ olan alanlar normal alanlardır. 125.7 mW/m^2 den büyük alanlar jeotermal alanlar olarak adlandırılabilir (Elder, 1965).

Dünyadaki genç volkanik hatlar ve volkanizma kuşakları jeotermal enerji açısından etkindirler (Şekil 3.5). Bunlardan en önemlileri;

1. Batı Pasifik Kuşağı: Kamçatka, Japonya, Yeni Zellanda, doğu ve güneydoğu Asya ülkelerini kapsamaktadır.
2. And Volkanik Kuşağı: Alaska, Kanada ve USA batısı, Meksika, Ekvator Peru, şili vb. kapsar.
3. Alp Himalaya Kuşağı: İtalya Yunanistan, Türkiye, İran, Tibet ve Çin vb. kapsar.
4. Doğu Afrika Rift sistemi: Aktif volkanizma olan bu kuşakta Zambia, Tanzanya, Kenya, Etiyopya vb. kapsar.
5. Atlantik Ortası Sırtı: İzlanda, Asor, Ascension, St. Helen adaları vb. kapsar (Canik, 2000).

Ateş Kuşağı (Ring fire) olarak bilinen kırmızı hatlar boyunca aktif volkanlar yer almaktadır. Bu bölgeler yer kabuğunu oluşturan tektonik plaka sınırları olarak

tanımlanmaktadır. Plaka sınırları boyunca yüksek sıcaklıklı jeotermal alanlar gelişmektedir. Ayrıca bu zonlarda büyük depremler meydana gelmektedir.



Şekil 3.5. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar ve levha (plaka) sınırları
(Geothermal Education Office, 2017)

3.6. Türkiye’de Jeotermal Enerji

Türkiye zengin jeotermal kaynaklara sahip olup, potansiyel olarak dünyanın 7. ülkesi konumundadır. Ülkemizde jeotermal enerji araştırma çalışmaları 1962 yılından itibaren, MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmekte olup, MTA’nın jeotermal enerji üzerine yaptığı jeoloji, jeofizik, jeokimya üzerine yaptığı çalışmalar ile bugüne kadar, sıcaklıkları 35-40 °C’ nin üzerinde olan 170 adet jeotermal sahanın varlığını ortaya koymuştur (MTA, 2005). Bu sahaların büyük bir bölümü Batı Anadolu’ da olup yüksek sıcaklıklara sahiptir. Türkiye’de ilk elektrik üretimine yönelik 1968 yılında Denizli-Kızıldere sahasının geliştirilmesi ile başlamış ve 1974 yılında 0,5 MWe kapasiteli santral MTA Genel Müdürlüğü tarafından devreye sokulmuştur. Daha sonra EÜAŞ tarafından 20.4 MWe kapasiteli bir santral kurulmuştur, İlerleyen yıllarda Aydın-Germencik’te ise kapasitesi 50-100 MWe kapasiteli santral kurulmuştur (Koçak, 2001).

Türkiye'nin jeotermal enerjiden elektrik üretim projeksiyonu ve tahmini gücü, 2013 yılı itibariyle Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Jeotermal elektrik üretim projeksiyonu, tahmini güç (Kılıç vd., 2013)

Jeotermal Saha	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	2013 Tahmini Değerleri (MWe)
Denizli Kızıldere	200-242	80
Aydın-Germencik	200-232	130
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	213	15
Manisa-Salihli-Göbekli	182	15
Çanakkale-Tuzla	174	80
Aydın-Salavatlı	171	65
Kütahya-Simav	162	35
İzmir-Seferihisar	153	35
Manisa-Salihli-Caferbey	150	20
Aydın-Sultanhisar	145	20
Aydın-Yılmazköy	142	20
İzmir-Balçova	136	5
İzmir-Dikili	130	30
TOPLAM		550

Ülkemizde kaplıca turizmi çok yaygındır. Kaplıca merkezlerini yılda yaklaşık 4 milyon kişinin ziyaret ettiği bilinmektedir. Türkiye’de ilk jeotermal ile konut ısıtma uygulamasına, 1964 yılında Balıkesir-Gönen’de Gönen Belediyesi tarafından Park Otelin ısıtılmasıyla başlanmıştır. Afyon, Bigadiç, Gönen, Balçova, Kızılcabamam, Kırşehir gibi bir çok kaplıca merkezlerinde termal su ile tedavi hizmet verilmektedir

Serpen vd. (2009)’ a göre Türkiyede jeotermal enerjiden yirmi merkezi ısıtma sistemi itibariyle, 2009 yıl sonu itibariyle, yaklaşık 6 milyon m^2 , ye eşdeğer bir alan ısıtması yapılmaktadır. Giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark ile kullanılan debilerden hesaplanan merkezi ısıtma için termal kapasite 395 MW_t ’ dir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Türkiye’de jeotermal ile merkezi ısıtma (Serpen vd., 2009)

Merkezi Isıtma	Yıl	T giriş (°C)	T çıkış (°C)	Q(maks.) (kg/s)	Kapasite (MWt)	Eşdeğer Alan (x 100 ²)
Gönen - Balıkesir	1987	67	45	200	18.4	2500
Simav - Kütahya	1991	100	50	175	36.6	6000
Kırşehir	1994	54	49	270	5.6	1800
Kızılcahamam-Ank.	1995	70	42	150	17.6	2600
Balçova-İzmir	1996	118	60	320	77.7	21500
Afyon	1996	90	45	180	33.9	5000
Kozaklı - Nevşehir	1996	98	52	100	19.2	1500
Sandıklı - Afyon	1998	70	42	250	29.3	4000
Diyadin – Ağrı	1998	65	55	200	8.4	400
Salihli - Manisa	2002	80	40	150	25.1	4000
Dikili-İzmir	2008	120	60	40	10.0	150
Sarayköy-Denizli	2002	125	60	100	27.2	2500
Edremit-Çanakkale	2004	60	45	270	16.9	2740
Bigadiç-Balıkesir	2006	80	50	80	10.0	1000
Bergama-İzmir	2006	62	40	100	10.0	200
Kuzuluk-Sakarya	1994	80	40	25	11.2	500
Armutlu-Yalova	2000	78	40	30	4.8	250
Güre-Balıkesir	2006	62	52	200	8.5	300
Sorgun-Yozgat	2007	75	50	200	20.9	1500
Yerköy-Yozgat	2007	60	40	40	3.3	500
Toplam					394.6	58940

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunmasıyla bağlantılı olarak, orojenik magmatik ve volkanik aktivitelerin çok olması nedeni ile jeotermal açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, Kuzeybatı, Orta Anadolu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde 600’ ün üzerinde jeotermal kaynak bulunmaktadır. Türkiye haritası üzerinde jeotermal kaynakların dağılımı ve volkanik birimlerin çıkışlarını gösteren harita Şekil 3.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Türkiye haritası üzerinde jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar (MTA, 2017a)

Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler genelde yüksek sıcaklığa sahip olup, açılma tektoniğine bağlı olarak grabenlerin üzerinde yer alırlar (Şekil 3.7). Doğu-batı ve kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu genç grabenlerde yer alan jeotermal sistemlerin en önemlileri Menderes ve Gediz grabeni içinde gelişmiştir. Bu grabenleri oluşturan diri faylar hem jeotermal yönden, hem de depremsellik yönünden aktiftirler. Menderes grabeni içinde, Türkiye'nin en yüksek sıcaklığa sahip Denizli-Kızıldere jeotermal sahası (242 °C), Aydın- Germencik jeotermal sahası (232 °C), Aydın-Salavatlı jeotermal sahası (171 °C), Aydın-Yılmazköy-İmamköy jeotermal sahası (142 °C) bulunmaktadır. Gediz Grabenin' deki jeotermal alanlar; Manisa-Salihli Caferbeyli sahası (155 °C), Manisa-Salihli-Kurşunlu sahası (96 °C), Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere sahası (116 °C) ve Manisa-Turgutlu-Urganlı sahası (86 °C), İzmir-Seferihisar sahası (153 °C), İzmir-Balçova sahası (130 °C), İzmir-Dikili sahası (130 °C), İzmir-Aliaga sahası (96 °C) dir (Arslan vd., 2001).

(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).

Ülkemizde jeotermal ile sera ısıtması birçok tarım alanında yapılmaktadır. Batı Anadolu’da birçok sera, jeotermal ile ısıtılmaktadır. Bu seralarda üretilen sebzeler yurt dışına ithal edilmektedir. Türkiye’de sera ısıtması yapılan bölgeler Çizelge 3.3’ de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Türkiye’de sera ısıtması (Serpen vd., 2009)

Yer	Kapasite (MWt)	Alan (dönüm)
Dikili-İzmir	83.7	775
Salihli-Manisa	22.6	350
Turgutlu-Manisa	15.4	110
Balçova-İzmir	10.5	100
Kızıldere-Denizli	40	357
Gümüşköy-Aydın	2.5	50
Diyadin-Ağrı	3.1	2.4
Karacaali-Urfa	25	170
Sındırgı-Balıkesir	3.0	200
Simav-Kütahya	17	100
Toplam	207.4	2104.4

3.7. Jeotermal Araştırmalar

3.7.1. Jeotermal araştırmaların amacı

Jeotermal aramanın genel amacı, enerjinin ekonomik olarak üretilebileceği bir jeotermal sistemin bulunmasıdır. Jeotermal aramanın amaçları aşağıdaki gibidir (Serpen, 2003).

1. Bir jeotermal sahanın veya düşük sıcaklıklı akiferin yerini belirlemek.
2. Eğer bulunursa bunun yarı-termal veya hipertermal olduğuna karar vermek.
3. Eğer bulunan saha hipertermal ise, onda suyun ve buharın olduğunu belirlemek.
4. Bulunan saha veya akiferin mümkün olduğu kadar hassaslıkla alan, derinlik ve olası sıcaklık aralığını belirlemek.
5. Bunlardan hareketle, ısı potansiyelinin büyük derecesini veya bütün jeotermal kaynağın kapasitesinin kaba tahmini yapmak ve buradan elde edebilecek ısı kalitesini tespit etmek.

3.7.2. Jeotermal aramanın felsefesi

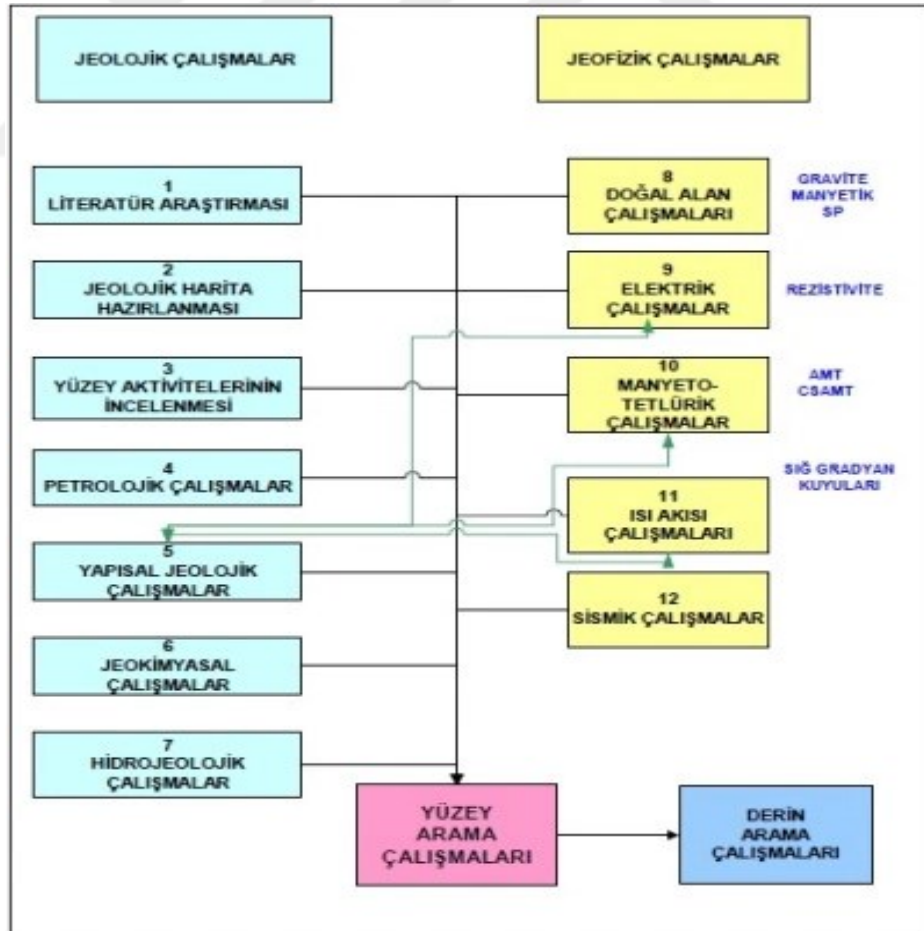
Arama felsefesi, aramacının büyük bir alanda aramaya başlaması, dikkate alınan alanın veri alındıkça daraltılması ve bu yaklaşımın kaynak yeri tespit edilinceye kadar devam etmesidir. Araştırılacak alanların büyük olduğu başlangıç aşamalarında, hızlı ve düşük maliyetli keşif teknikleri uygulanır. Sonuçlar toplandıkça ve arama sınırları daraldıkça, güvenilirlik artar ve daha pahalı teknikler kullanılmaya başlar. Jeotermal aramada da, bu yaklaşım en pahalı teknik “arama kuyusu” delinip muhtemel alan test edilinceye kadar devam eder (Serpen, 2003).

3.7.3. Jeotermal sahalarda yüzey arama teknikleri

Jeotermal kaynak aramalarında ve geliştirilmesinde birçok meslek disiplinlerinden yararlanılmaktadır. Sondaj aşamasından önce jeoloji, jeokimya ve jeofizik çalışmalar yapılarak jeotermal sahanın potansiyeli ortaya konulur.

1. Jeolojik çalışmalarla ile bölgenin detay jeolojik haritası, alterasyon jeolojisi tektonizma, stratigrafisi belirlenir.
2. Jeofizik çalışmalar ile yeraltının geometrisi(örtü ve temel birim derinliği), alterasyon sınırları (iletkenlik) ve taban topoğrafyası belirlenir.
3. Fotojeolojik çalışmalar ile bölgenin jeolojik yapısı, tektonik ve litolojik bilgileri elde edilir.
4. Jeokimyasal çalışmalar ile suların kimyasal sınıflaması yapılarak özellikleri ve kökenleri hakkında bilgi edinilir.
5. Sondaj çalışmaları. Sondaj esnasında geçilen jeolojik formasyonların derinlikleriyle birlikte litolojik, stratigrafik özellikleri belirlenerek hedeflenen derinlikte jeotermal akışkan elde edilir (Serpen, 2003).

Jeotermal aramalar esnasında yapılan yüzey arama tekniklerinin ayrıntıları şematik olarak Şekil 3.8’ de verilmiştir.

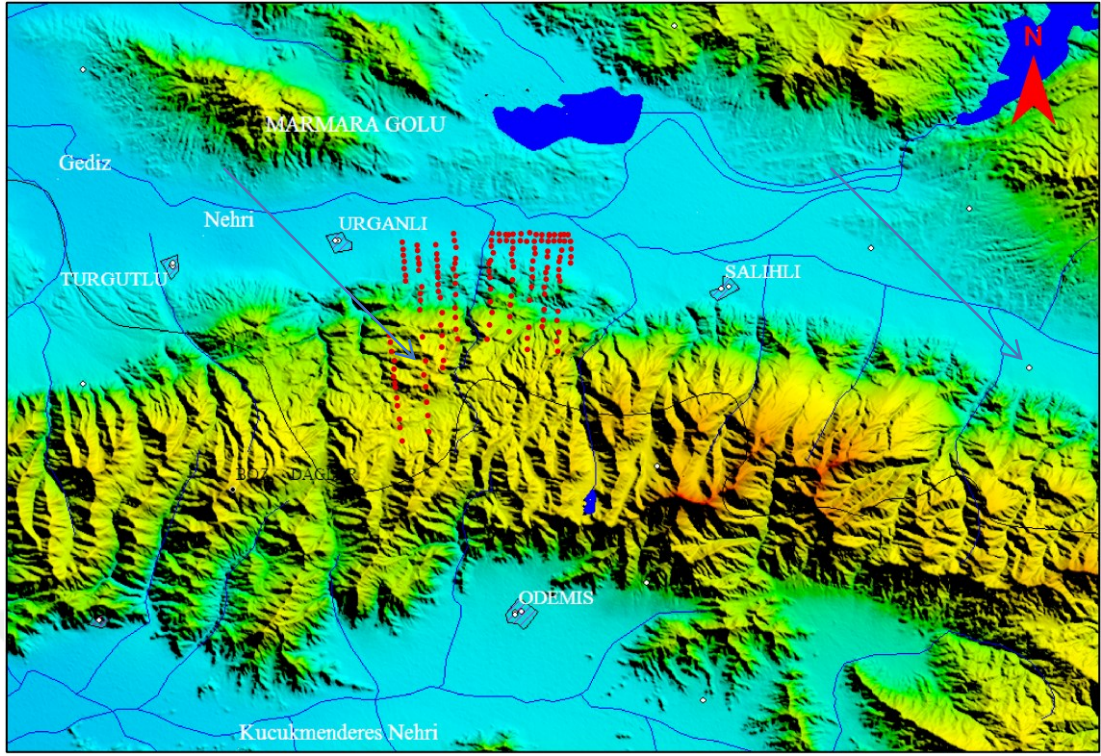


Şekil 3.8. Yüzey arama teknikleri (Serpen, 2003)

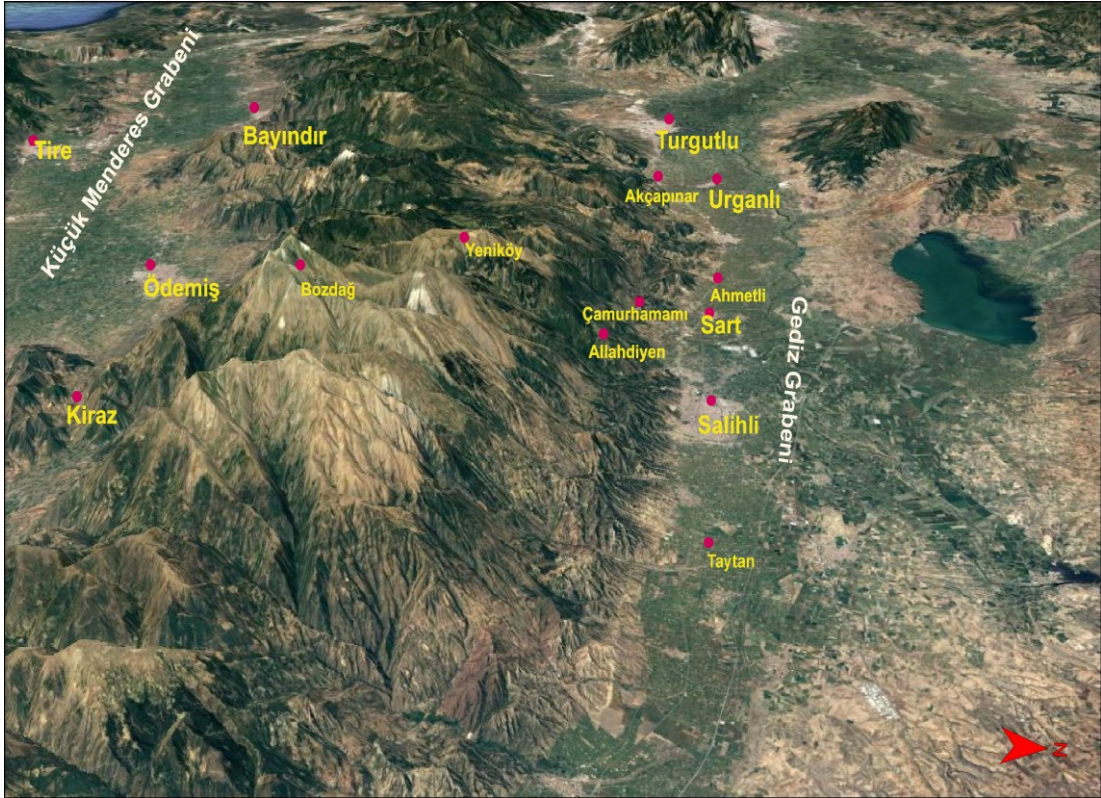
3.8. Araştırma sahasının jeomorfolojisi

Sahaya ait jeomorfolojik bilgiler Demirtaş vd. (2013)' den alınmış olup aşağıda özetlenmiştir.

Çalışma alanına ilişkin jeomorfolojik bilgiler Şekil 3.9 ve Şekil 3.10' da sunulmuştur. Bölgenin morfolojik yapısı KD-GB yönlü çekmeye bağlı olarak Gediz çöküntüsünü sınırlayan KB-GD ve D-B gidişli faylarla şekillendirilmiştir. Salihli ovası ise kuzey ve güney tarafından faylarla sınırlandırılmıştır. Gediz çukurluğunun oluşumun da rol oynayan faylar ovanın çöküntü olduğunun bir kanıtı gibidir. Salihli ovası Gediz çöküntüsünün içinde ve Salihli ilçesi ise Gediz nehrinin ovaya girdiği yerde kurulmuştur. Yer yer 90-100 metreyi bulan alüvyonlar Gediz ve Bozdağ'ın etkisiyle heterojen bir yapı gösterirler. Salihli ovasının güney kesimlerindeki sıcak ve su kaynakları bu fay hattının bir eseridir. Güneydeki dik topografyanın ovaya açıldığı alanlarda yaygın alüvyon yelpazeleri ve taşkın alanları gelişmiştir. Topografyanın dik olmasının nedeni, ilçeyi güneyden sınırlayan KB-GD ve D-B doğrultulu faylardır. Gediz grabenini oluşturan bu faylar aktif özelliktedir. Bu faylar ve bu fayları yaklaşık dik yönde kesen KD-GB ve K-G doğrultulu faylar derin vadiler ve alüvyon yelpazelerinin oluşmasına yol açmıştır. Bu vadilerin arasında da genel olarak KD-GB ve K-G uzanımlı tepe ve sırtlardan oluşan yükseltiler meydana gelmiştir. Bir başka anlatımla Salihli yerleşim yeri, Gediz grabeni üzerindeki çöküntü alanında, topografik eğimi, 0^0-3^0 olan, alüvyal yelpaze üzerinde kurulmuştur. Şehrin güneyine doğru eğim artmakta ve zirvelerde 17^0 nin üzerine çıkmaktadır. Güneydeki dik topografyanın ovaya açıldığı alanlarda yaygın alüvyon yelpazeleri ve taşkın alanları gelişmiştir. Topografyanın dik olmasının nedeni, ilçeyi güneyden sınırlayan KB-GD ve D-B doğrultulu faylardır. Gediz grabenini oluşturan bu faylar aktif özelliktedir. Bu faylar ve bu fayları yaklaşık dik yönde kesen KD-GB ve K-G doğrultulu faylar derin vadiler ve alüvyon yelpazelerinin oluşmasına yol açmıştır. Bu vadilerin arasında genel olarak KD-GB ve K-G uzanımlı tepe ve sırtlardan oluşan yükseltiler meydana gelmiştir.



Şekil 3.9. Araştırma sahasında MT ölçü noktaları ve sahanın morfolojik yapısı (HGT uydu görüntüsü)



Şekil 3.10. Araştırma sahası ve civarının morfolojik yapısı (Google Earth)

3.9. Araştırma Sahasının Jeolojisi

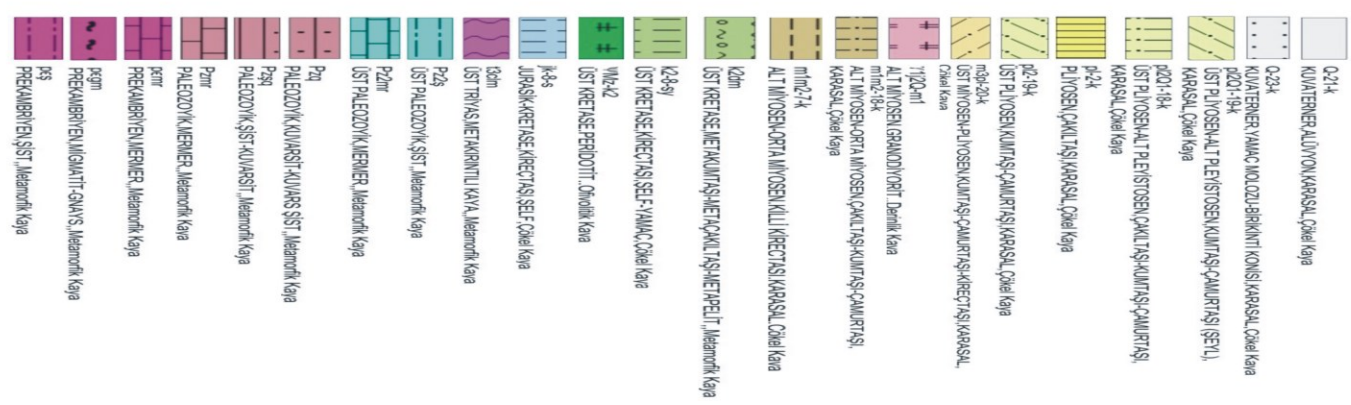
3.9.1. Genel jeoloji

Bölgenin genel jeolojisine ait harita Şekil 3.11' de gösterilmiştir. Gediz vadisinde yer alan çalışma alanı, geniş bir bölge içerisinde kalmaktadır. Ege çöküntü sistemlerinden, Gediz çöküntüsü içerisinde yer alan bölgenin, uzunluğu yaklaşık olarak 210 km. civarındadır. Kuzeyden Gediz Ovası, güneyden Bozdağ sırtları, batıdan Avşar ve Derbent, doğudan Sart çayı ile sınırlanmıştır. En genç birimler ise Gediz Ovası alüvyonlarıdır.

Bölgede yüzeylenen kayaçları örtü ve temel kayaçlar olarak iki gruba ayrılırlar. En altta Menderes Masifi metamorfikleri, bunların üzerinde Menderes Masifi örtü şistleri yer almaktadır. Bunların üzerine Çaldağ bindirme birimleri gelmektedir. En üstte ise yanal olarak ortamsal değişiklikler gösteren Tersiyer çökel kayaları gelmektedir. Pliyosen deniz istilasından sonra Alp orojenezinin vallak fazı ile bu günkü Gediz Grabeni teşekkül etmiş. Bu esnada kilometrelerce takip edilebilen faylar teşekkül etmiş ve bu büyük faylardan bazılarında sıcak sular çıkmıştır. Bunlar Sart çamur banyoları, Kurşunlu termal alanı ve Urganlı kaplıcalarıdır (Karamandere, 1971).

Bölgede yoğun maki bitki örtüsüyle kaplı metamorfik kayaçlar örtü kayaçları içerisinde değerlendirilmektedir. Bunlar başlıca; mikaşist, ince taneli gnayslar, granat-mika şist, muskovit-kuars şist, metakuvarsit ve mermerlerdir. Bölgede yaklaşık 13 km²'lik bir alan kaplayan granodiyorit, Menderes Masifi metamorfikleri içine sokulum yapmıştır (Demirtaş vd., 2013).

	Q21-4	KUATERER, ALUYON KARASU, Çörel Kaya
	Q23-4	KUATERER, YAMACI MUZZU, BEHMETI (KONS), KARASU, Çörel Kaya
	Q201-194	IST P105ENKAL, PLE105ENKALINTIŞ, ÇAMURUŞI (SEL), KARASU, Çörel Kaya
	Q201-184	IST P105ENKAL, TEPE105EN ÇAMU, TİŞ, ÇAMURUŞI, KARASU, Çörel Kaya
	Q24-4	P105ENKAL, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q21-194	IST P105ENKALINTIŞ, ÇAMURUŞI, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-204	IST P105ENKALINTIŞ, ÇAMURUŞI, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-201	ALTINÖREN, GRANDIÖRÜT, Denizli Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, ÇAMURUŞI, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya
	Q201-214	ALTINÖREN, ÇAMU, TİŞ, KARASU, Çörel Kaya



24

3.9.2. Stratigrafi

Çalışma alanında en altta Prekambriyen/Kambriyen yaşlı Menderes Masifi'nin metamorfik birimleri (migmatit, gnays, mikaşist, mermer ve kalkışist) yer almaktadır. Bunların üzerinde Mesozoik yaşlı kireçtaşları, ofiyolitik karmaşıklar, serpantinit, peridotit ve metakumtaşı, metaçakıltaşı, metapelit bulunmaktadır. En üstte Tersiyer çökelleri görülmektedir. Çalışma sahası civarının genelleştirilmiş stratigrafisi, Şekil 3.12' de gösterilmiştir.

ÜST SİSTEM	SENOZOYİK		GRUP FORMASYON ÜYE	KALINLIK	SİMGE	LİTOLOJİ
	TERSİYER	KUVATERNER				
	PLİYÖSEN			0.50 m	Qa	Alüvyon
				0.50 m	Tr	Traverten
				±200 m	PI2	Beyaz renkli kumtaşı, miltaşı, kireçtaşı
				±200 m	PI1	Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı
MESOZOYİK			ÇALDAĞ FORMASYONU		L	Laterit
					Mof	Ofiyolitik karmaşa (Eski metamorfik ve kireçtaşı blokları)
					S	Serpantinit-Peridotit (Manyezit oluşumlu)
PALEOZOYİK			MENDERES MASIFI METAMORFİTLERİ		Mkçt	Kireçtaşı fosilli komprehensif seri Tektonik Dokanak
					Pzmu	Metaultramafik karmaşa (kıvrımlı)
					Pzk	Kuarsit
					Pzmr	Mermer
					Pzmş	Mikaşist
PREKAMBRIYEN				Pçgm		Migmatit, Gnays

Şekil 3.12. Araştırma sahası civarının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Karamandere 1971' den değiştirilerek alınmıştır)

3.9.2.1. Paleozoik

Paleozoik yaşı kayaçlar Menderes Masifi metamorfikleridir. Bunlar şist, mermer, kuvarsit, metaultramafik başlıkları adı altında inceleyebiliriz.

3.9.2.1.1. Paleozoik şistler(Pz2ş)

Menderes Masifi örtü şistleridir. Yeşil şist fasiyesinin düşük derecelerindeki metamorfizma etkilerini taşıyan ve birbirleri ile yanal/düşey geçişli olan; kuvars-muskovit şist, kuvars-muskovit-biyotit şist, muskovit-biyotit-albit şist, granatlı biyotit şist ve kalk şist ardalanmasından oluşur (Karamanderesi, 1971).

3.9.2.1.2. Paleozoik mermerler (Pz2mr)

Mermerler Menderes Masifi örtü şistlerinin üzerinde geçişli olarak görülür. Mermer, alt seviyede koyu gri, üstte daha açık renkli, yer yer mavi beyaz renkli, yersel dolomitize, orta-iri kristalli, sert, düzenli eklemlili ve kırıklı, bol erime boşlukludur. Sahada mermerler, Şirinyer, Çamurhamamı ve Allahdiyen köylerinin güneyinde mostra verirler (Karamanderesi, 1971).

3.9.2.1.3. Kuvarsit, kuvarsit şist (Pzq)

Menderes masifi örtü şistleridir. Bozdağ-Gölcük yolu üzerinde ve Çamyayla köyü doğusunda yer alırlar. Ganysların üstünde yer alan bu birimler kuvarsit, kuvarsit şist, biotit, muskovit gnays, serizit parçaları ile temsil edilirler. Bu birimler eskiden beri çok fazla deformasyona uğradığından tabaka doğrultuları ve eğimleri çok dağınıktır. Şiddetli tektonizma bu formasyonun bol katlanma, kıvrılma ve kırılma göstermesine neden olmuştur (Karamanderesi, 1971).

3.9.2.1.4. Migmatit şist ve gnayslar (pçgm, peş)

En alt seviyeyi teşkil eden gnays ve migmatit şistler Bozdağ'ın güney eteklerinde yaygın olarak yüzeylenirler. Gnayslar albit gnays, biotit gnays, muskovit gnays, ortoklaslı gnays gibi çeşitli tiplerdedir.

Çoğunlukla gözlü gnays şeklinde olup gözlerin büyüklüğü yer yer 3 cm büyüklüğe ulaşmaktadır. Gözlü gnayslar, kuvars damarları ve turmalin pegmatitleri tarafından kesilmişlerdir. Damarların kontak zonlarında yüksek ısı işareti distenleri görmek mümkündür. Gnayslar üste doğru şistli gnayslara ve grenatlı-kuvars-klorit-muskovit şistlere geçer. Gnaysların bulunduğu araziler aşınma tipleri, yüzey şekilleri ve açık renkli oluşları ile tipik özellik gösterirler ve bitki örtüsü nadiren gelişir (Karamandere, 1971).

3.9.2.2. Mesozoik

3.9.2.2.1. Kireçtaşı (k2-8-sy)

Bozdağ'ın batısında ve Çaldağ'ın güney-doğusunda görülmektedir. Altta açık renkli dolomitize kireçtaşı ile koyu renkli dolomit ardalanması yer alıp, daha üstte kireçtaşına geçmektedir. Kalın tabakalı dolomitler, kızılımsı yeşil renkli ince kilitaşı tabakaları ile ardalanmalıdır. Üst seviyelere doğru dolomitlerle ardalanmalı görünen dolomitize kireçtaşlarında birincil doku kısmen korunmuş olup, ikincil kalsit dolgulu çatlaklar oldukça boldur. Çok kırıklı, parçalanmış, bloklar şeklinde gözlenen dolomitlerin tabakalanması belirgin değildir (Karamandere, 1971).

3.9.2.2.2. Ofiyolitik karmaşık (ψmz-k2) ve serpantin, peridotit, metakumtaşı, metaçakilitaşı, metapelitik (k2dm)

Çaldağ ve yakın civarında yer almaktadır. Serpantin ve peridotitler, çökel kayaların üzerinde veya içinde bloklar halinde bulunur. Yeşil renk tonlarında olan ultramafitler, kızılımsı yer yer silisifiye olmuş bir laterit kabuğu ile çevrelenmiştir. Büyük ultramafit kütlelerinde lateritik kabuktan kütlelerin merkezine doğru parçalanma ve ayrışmanın azalması ile serpantinlerden peridotitlere geçilir. Serpantinler; ultrabazikler, peridotitler ve piroksenitlerden türemiştir.

Radyolaritler; kızılımsı, pembe renkli ve ince tabakalıdır. Tabaka aralarında manganlı ince çamurtaşı mercikleri ve kuvars damarcıkları bulunur. Gabro ve diyabaz dayıkları şeklinde görülen bazik kayalar bozuşmuş ve bloklar şeklindedir. Spilitleşmiş bazaltik lav ve tüfler, yeşil kahverengi, oksidasyon zonlarında

kırmızımsı renklerde, çoğunlukla ayrılmış, düzensiz yapraklanmalı, orta-kalın tabakalar veya masif bloklar halindedir. Yer yer kalsit dolgulu boşlukları bulunan spilitler de ikincil kalsit dolgulu çatlaklar kayayı bir ağ gibi sarmıştır.

Kahverengi sarımsı renkteki lateritler zengin demir, nikel, kobalt içeren zonlar ihtiva etmektedir. Tabandaki serpantinitle tedricen zengin nikel içeren limonitli zonlara geçiş gösterir. Bunların üzerinde siyah-kahverengi hematitli zonlar bulunmaktadır. En üstte ise silisli ve curufumsu görünümüyle kabuk zonu diğer zonları sarmaktadır. Lateritleşme KD-GB uzanımlı faylar boyunca görülmektedir. Bu fay zonlarında alterasyon killeri mevcuttur (Karamenderesi, 1971).

3.9.2.3. Senozoik

Mesozoyik birimler üzerine aşıl diskordanslı olarak gelirler. Bunlar, killi kireçtaşı-çakıltası-kumtaşı-çamurtaşı (m1m2-18-k, m1-m2-7-k) ve çakıltası-kumtaşı-killi kireçtaşı-Şeyl (pl-2-Q1, pl-2-Q1-18-k, pl-2-Q1-19-k) olarak adlandırılan Alt-Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı birimlerin üzerine Pleyistosen yaşlı Tersiyer çökelleridir. En üstte aşıl diskordansla gelen Kuvaterner yaşlı traverten (Tr), yamaç molozu ve alüvyon (Q_a) bulunmaktadır (Karamenderesi, 1971).

3.9.2.3.1. Killi kireçtaşı-kumtaşı-çamurtaşı (m1m2-18-k, m1-m2-7-k)

Krem beyaz renkli, genellikle sert, yer yer tebeşirimsi, silisifiye veya travertenimsi görünümündedir. Killi kireçtaşlarında kalsit hamuru yanında, kil-kum-çört taneleri gözlenir. Kumtaşı ve konglomeralar Kırmızı renklidir. Bozdağ'ın güney eteklerinde ve Salihli kasabasının kuzeyinde yüzeylenir. Üste doğru beyaz sarı renkli konglomera ve kumtaşlarına geçer.

3.9.2.3.2. Kumtaşı-çakıltası- kireçtaşı (m3pl-20-k, pl2-19k, Pl-2-k)

Mezozoik ve metamorfik temelden türemiş çakıl, kum-siltlerden oluşmaktadır. Genellikle iyi yuvarlaklaşmış çakıllardan oluşmuş kırmızı, bordo, sarı renklerdeki çakıl taşları, beyaz kireç veya sarı renkli kil çamuruyla gevşek tutturulmuştur. Yeşilimsi renkli kumtaşı tabakaları, marn ve yer yer yapraklanmalı, bitki kalıntılı

kiltaşı ve silt taşlarıyla ardalanmalıdır. Üste doğru yapraklı şeyllere geçer (Karamanderesi, 1971).

3.9.2.3.3. Çakıltaşı-kumtaşı-killi kireçtaşı-şeyl (pl2-Q1-18-k,pl2-Q1-19-k)

Üst Pliyosen-Alt Pleyistosen yaşlı beyaz renkli çakıl ve kumtaşları Mesozoik ve metamorfik temel ürünleridir. Killi Kireçtaşları krem beyaz renkli, genellikle sert, yer yer tebeşirimsi, silisifiye veya travertenimsi görünümündedir. Killi kireçtaşlarında kalsit hamuru yanında, kil-kum-çört taneleri gözlenir. Bunların üzerine diskordan olarak eski Kuvaterner oluşukları ve travertenler gelmektedir (Karamanderesi, 1971).

3.9.2.4. Kuvaterner alüvyonlar (Q-23-k, Q-21-k)

Doğudan batıya doğru akan Gediz nehri yatağı boyunca oldukça kalın alüvyonlar birikmiştir. Alüvyonlar: üst Pleyistosen yaşlı tutturulmamış konglomera, kumtaşı, yamaç molozları ve çevrede parça parça görülen travertenler, alüvyonlarla temsil edilmekte olup Pliyosen birimlerini diskordan olarak örtmektedir (Karamanderesi, 1971).

3.9.3. Tektonizma

Menderes Masifi'nin kuzeyine karşılık gelen Kemalpaşa-Sarıgöl arasında uzanan yaklaşık 140 km uzunluğunda kabaca doğu-batı uzanımlı ve güneye içbükey olan bir çöküntü havzası yer almaktadır. Kenarları normal faylarla sınırlı olan bu çöküntü havzası graben özelliğinde olup, Gediz Grabeni olarak adlandırılmıştır (Demirtaş vd., 2013).

Bölgedeki faylar graben oluşumuna bağlı olarak basamaklar şeklindedir. Sahadaki büyük faylar Gediz Graben sistemini oluşturan doğu-batı uzanımlı faylardır. Bu faylardan bir tanesi graben kenarında, Akçapınar-Gökkaya- arasında görülmektedir. Neojen-alüvyon kontağında bulunan bu fay hattında kristalen temel yüzeye çıkmıştır. Ayrıca kuzey bloğu çökmüş, güney bloğu yükselmiştir eğimi ise 80°-90° dir.

İkinci bir graben fayı da, ilkinin güneyinde olup, Çıkrıkçı köyünden başlar, Halikahya köyünün güneyinden Alahıdır köyüne kadar uzanır. Bu fay hattında demir zuhuru daha önceki yıllarda saptanmıştır. Bu fay 8 km. takip edilmiştir ve yine kuzey bloğu çökmüş güney bloğu ise yükselmiştir.

Sahanın güneyine doğru gidersek üçüncü olarak büyük fay Sivrice köyünün kuzeyinden başlar oradan Hacıköseli köyünün kuzeyinden geçerek Ahmetli-Dereköy arasında pliosen içinde kaybolur. Bu fay kuzey-güney faylar ile kesilmiş ve normal atımlı bir faydır. Eğimi ise kuzeye doğrudur. Daha güneyde ise kristalen temel içerisindeki bulunması muhtemel faylar arazinin örtülü olması ve litolojinin karmaşık olması nedeniyle tam olarak seçilememiştir. Bölgede kuzey-güney uzanımlı faylar doğrultu atımlı faylardır. Yer yer sağ ve sol atımlı olan kuzey-güney istikametli faylar genelde kısa mesafelidirler. Bunlardan en önemlileri Akçapınar güneyinde Pliyosen şeylleri (pl2Q1-18-K) arasında yapraklı şeyllerin görünmesini sağlayan fay önemlidir. Alahıdır güneyinde oldukça fazla faylar görülmektedir.

Bunlardan bazıları, Dibekdere, Kanlıdere, Akyar tepe civarlarından geçmektedirler (Karamanderesi, 1971).

Grabenin güneyinde yer alan eğim atımlı normal faylar pek çok yerde KD-GB ve KB-GD yönlü oblik ve doğrultu atımlı faylarla kesilmektedir. Güneyde sıyrılma fayı şeklinde çok belirgin olarak izlenen eğim atımlı normal faylar listrik özellik sunmaktadır. Sıyrılma fayı sıçramalar şeklinde geometrik özellikler göstermektedir. Bu sıçrama bölgelerinde yırtılma fayları gelişmiştir. Grabenin güney bölümündeki faylar genelde güneyden kuzeye doğru gençleşmektedir (Demirtaş vd., 2013).

Bölge Hersinyen Orojenezi ile kıvrılarak deniz üstüne çıkmış, Pliyosen başlarına kadar su yüzünde kalmıştır. Pliyosen, deniz istilasından sonra Alp Orojenezi'nin Vallak fazı ile bugünkü Gediz Grabeni oluşmuştur. Bu esnada kilometrelerce takip eden doğu-batı yönlü faylar oluşmuş, daha sonra da Pleistosen Çökelleri tutturulmuş konglomeralar çökelmiş, saha en son şeklini Pasadenik fazı ile kazanmıştır.

Bölgede tektonik aktivite halen devam etmektedir. Doğru-batı yönlü faylar genellikle listrik, bunlara dik olan kabaca güney-kuzey yönlü faylar ise doğrultu atımlıdır.

Bölgede Miyosen ile Paleozoik ve Pliyosen ile Paleozoik kontağı, çok yerde faylıdır. Bölgede tektonik oldukça karmaşıktır. Kuzeyde ve güneyde metamorfiklerle sınırlanmış olan çökelme ortamı kabaca doğu-batı yönünde uzanan bir çöküntü havzası niteliğindedir. Doğu-batı basamak faylarla kırılmış bu kıvrımlar bir graben oluşturmuştur. Ayrıca bu kırık sistemine aşağı yukarı dik doğu-batı doğrultulu kırılmalar, dolayısıyla çökel kayalarda bir takım antiklinal ve senklinaller oluşmuştur (Demirtaş vd., 2013).

3.9.4. Araştırma sahasındaki jeotermal sistem parametrelerinin özellikleri

3.9.4.1. Örtü kaya

Jeotermal elemanların önemli unsurlarından biride örtü kayadır. Örtü kayaçların gözeneksiz, geçirimsiz ve sıkı olması istenir. Bu nedenle çalışma sahasında Mikaşistler, Yapraklı şeyller, Kırmızı ve bordo renkli kumtaşları ve mil taşları örtü niteliğinde olabilecek kayaçlardır (Karamanderesi, 1971).

Miyosen yaşlı kayaçlar, Alt ve Üst Pliyosen yaşlı kayaçlar (pl2 Q1-18-k/pl2 Q1-19k), içlerinde bulundurdıkları kil taşları, çamur taşları, kumtaşları, çakıl taşları, karasal çökeller iyi bir örtü kaya niteliği kazanmışlardır.

3.9.4.2. Rezervuar kaya

Çalışma alanında rezervuar, Paleozoik yaşlı şist ve mermerlerden oluşur. Sahada şistler ilksel olması nedeniyle rezervuar kaya özelliği göstermezler ancak, geçirmiş oldukları orojenezler ile bol kırıklı, çatlaklı bir yapı kazanmışlar ve kazandıkları kırık ve eklemler nedeniyle tali rezervuar kaya özelliği kazanmışlardır. Şistler içerisinde bulunan mermerler ise erime boşlukları, kırık ve eklemler yapıları nedeniyle iyi bir rezervuar kaya özelliği gösterirler (Karamanderesi, 1971).

3.9.4.3. Isıtıcı Kaya

Çalışma sahasında derinlerde ısıtıcı kaya olabilecek genç volkanik bir kütle yoktur. Bölgede en yakın volkanizma Kula volkanikleridir. Bu volkaniklerin Orta

Miyosende başladığı ve Üst Pliyosen'e kadar etkinliğini sürdürdüğü ileri sürülmektedir. Kula volkanikleri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiş ve düşük sıcaklıklı bir etkinlik olarak tanımlanmıştır. Gediz Grabeni civarında kıta kabuğunun incelenmesiyle birlikte metamorfik kayaların ısıtıcı niteliği taşındığı bilinmektedir.

Menderes Masifi, özgün jeoloji yapısı ve evriminin yanında çok sayıda grabenle kesilmiş oluşu ile de ülkemizde en yaygın ve yüksek akılı ısı anomalisini temsil etmektedir. Sahaların tümü orta yüksek entalpili, 120-240°C sıcaklıklı rezervuarlarda gelişmiştir. Bu geniş bölgede yüksek ısı akısının kökeni ve yerel jeotermal sistemlerin oluşma ve birikme mekanizmaları öncelikle Menderes Masifinin evriminin aydınlatılarak açıklanabilir (Öngür, 2005).

Menderes Masifi metamorfikleri, iki ana birime ayrılmaktadır: “Çekirdek” ve “Örtü”. Çekirdek, ileri derecede başkalaşmış şistler, leptit gnayslar, gözlü gnayslar, metagranitler, migmatitler ve metagabrolardan kuruludur. Örtü ise, mikaşist, fillit, metakuvarsit, metabazit, metakoyugranit, kloritoyit- kiyanit şist, metakarbonat ve metaolistostromdan oluşmaktadır (Öngür, 2005).

Masif çok aşamada başkalaşmıştır. Önce, masifin yaşları 585-1870 milyon yıl arasında değişen en yaşlı kayaları Prekambriyen Kambriyen sınırında Pan Afrika kıta-kıta çarpışmasının yarattığı koşullarda üst amfibolit-granülit fasiyesinde başkalaşmıştır. Menderes Masifi'nin hem çekirdeği ve hem de örtüsündeki diziler, Neotetis Okyanusu'nun kapanışı ve Anatolid-Torid Platformu'nun İzmir-Ankara Zonu'nun altına, kuzeye doğru dalmasıyla ilintilendirilen iki yanlı bir Tersiyer başkalaşımına uğramıştır. Yüksek Basınç Başkalaşımı epidot-mavi şistten eklojite kadar yayılan koşullarda geçmiş ve ardından üst Eosen'de “Ana Menderes Başkalaşımı” denilen Barrovyen türü başkalaşım gelmiştir. Bu orta basınçlı son başkalaşımın son aşamalarındaki sıkışma gerilmesi ortamı, içsel katlanmaya ve çekirdek dizilerinin örtü dizilerinin üst düzeylerinin üzerine bindirmesine neden olmuştur. Daha sonra yayılma tektoniği ortamı, eş zamanlı granitlerin yerleşimi, sıyrılma faylarının gelişmesi, yükselme ve Menderes Masifi'nin tüketilmesi süreçleri yaşanmıştır. Alt Miyosen'de Batı Anadolu'da yerleşen yayılma tektoniği ortamı Menderes Masifi'nin yükselme ve tüketilmesine neden olmuş ve buna dev sıyrılma fayları ve paralanma zonlarının oluşumu eşlik etmiştir. Yaşı 19,5 milyon yıl olarak

belirlenen eş dönem granitleri örtü dizisinin içine bu dönemde yerleşmiş ve ana kayada dokanak başkalaşımına neden olmuştur. Yükselme ve orta masifin (Kiraz-Ödemiş As Masifi) tüketilmesi sırasında dev sıyrılma fayları ve gevrek ve kırılğan ortamda 100 m'ye varan paralanmış zonlar oluşmuştur. Bu olayların ardından, gerçekten gevrek koşullar altında, genel olarak D-B uzanan ve hem aralanma zonlarını ve hem de bu kristalen temeli örten Neojen çökellerini kesen normal graben fayları oluşmuştur (Öngür, 2005).

3.10. Araştırma sahasındaki sulara ilişkin bilgiler

3.10.1. Su kaynakları ve güncel durumları

Çalışma sahasının civarında jeotermal sondaj kuyuları ve kaplıcalar bulunmaktadır. Sahanın batısında, Turgutlu ilçesi sınırlarında Urganlı kaplıcaları, doğusunda ise Salihli ilçesinde, Kurşunlu kaplıcaları mevcuttur. Salihli ilçesinin 7 km batısında Caferbeyli' de MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1989 yılında, 1189 metre derin kuyu sondajı yapılmış ve 155 °C sıcaklık ve 2lt/sn de bide akışkan elde edilmiştir. Bu sahalarda MTA ve özel firmalar tarafından açılmış birçok üretim kuyusu bulunmaktadır. Çalışma sahasının doğusunda, Salihli civarındaki sıcak su kaynakları 34°C-155 °C arasın da değişmektedir. Bu kaynaklar ile ilgili ayrıntılı bilgiler Çizelge 3.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Salihli-Kurşunlu jeotermal alanındaki sıcak su kaynakları (MTA, 2005)

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Dere içi	55	-
Gazino önü, dere sağı	63.5	0.60
Gazino önü havuza akan	85-89	0.57
Kurşunlu	62	0.3
İçme	40	0.73
Kükürtlü	43	0.2
Çelikli	34.5	0.04
Sart(çamur)	50	3
Caferbeyli	155	2
Tabak Çayı	45	1

Çizelge 3.5. Salihli jeotermal alanındaki açılan sondaj kuyular
(MTA, 2005 ve Demirtaş, vd., 2013’den alınmıştır)

Kuyu Adı	Derinlik	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Kullanım	Açıklamalar
K1	40	90	20	reenjeksiyon	MTA
K2	73	94	45	Üretim	MTA
K3	104	94	80	Kullanım Dışı	MTA
K4	262	59	2	Kullanım Dışı	MTA
K5	116	83	40-50	Üretim	MTA
K6	183	80	-	Üretim yok	
K7	158	120	-	Kullanım Dışı	S
K8	513	57	-	Üretim yok	A
K9	120	98	-	Üretim yok	L
K10	395	103	-	Üretim yok	İ
K11	117	98	46	Üretim	H
K12	110	90	12	Üretim	L
K13	300	100	-	Üretim yok	İ
K14	190	60		Üretim yok	
K15	250	120	33	Üretim	B
K16	300	74	-	Üretim yok	E
K17	190	120	-	Reeenjeksiyon	L
K18	63	100	10	Üretim	E
K19	190	64	20	Üretim	D
K20	750	-	-	Üretim yok	İ
K21	900	-	-	Üretim yok	Y
K22	763	-	-	Üretim yok	E
K23	990	-	-	Üretim yok	S
K24	954	-	50	Üretim yok	İ
K25	1193	85	-	Üretim	
SC-1	1198	155	2	Üretim yok	MTA

Kurşunlu jeotermal alanında sondaj çalışmaları 1976-1997 yılları arasında MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır (MTA, 2005). Daha sonraki yıllarda, sahada Salihli Belediyesi tarafından Kurşunlu bölgesinde jeotermal akışkan üretimine yönelik sondaj kuyuları açılmıştır. Bu sondajlara ait bilgiler Çizelge 3.5’ de gösterilmiştir.

Kurşunlu jeotermal alanında 25 adet sondaj kuyusu mevcut olup bunlardan, 6 adet sondaj kuyusu aktif olarak çalışmakta ve bu sondajlardan çekilen su bölgede kaplıca

amaçlı olarak kullanılmaktadır. Salihli İlçesinin batısında Caferbeyli' de 1989' yılında MTA tarafından derin bir kuyu yapılmıştır. Bu kuyu 1189.10 metre olup su sıcaklığı 155 °C debisi 2 l/s dir. Ayrıca Salihli Ovası içerisinde sera ve konut ısıtılmasın da kullanılan sondaj kuyuları mevcuttur.

Çalışma sahasının batısında Turgutlu İlçesi sınırları içerisinde Urganlı jeotermal alanı bulunmaktadır. Urganlı yerleşim yeri civarında çok sayıda kaynak mevcuttur. Bu kaynakların sıcaklıkları 51°C-80°C arasında değişmektedir Kaynaklar ile ilgili ayrıntılı bilgiler Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Urganlı jeotermal alanındaki kaynaklar (MTA, 2005)

Urganlı Jeotermal Alanı		
Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Akhamam	80	1.5
Çamurlu Kaynak	80	2
Garkın Hamamı	73	5
Uyuz Hamamı	53	5
Esas Kaynak	64.5	5
Kırk Damlar	77	1
Kumkaldıran	73	3

3.10.2. Suların kimyasal sınıflaması

Salihli civarındaki termal kaynakların ve sondaj sularının bor içerikli olduğu bilinmektedir. Uluslararası Hidrojeologlar birliğine (IAH) göre yapılan sınıflamalarda, Caferbey, Sart-Çamur kaplıcaları jeotermal alanındaki termal sular sırasıyla Na-HCO₃ ve Na-Ca-HCO₃ tipindedirler (Çizelge 3.7). Yüzey ve soğuk yeraltı suları ise Na, Ca, Mg ve HCO₃ iyonlarının egemen olduğu sulardır (Demirtaş vd., 2013).

Çizelge 3.7. Salihli bölgesindeki jeotermal alanlardaki suların kimyasal analizleri (Tarcan, 2002)

Örnek No ve Adı	Örnekleme Tarihi	T (°C)	ECµS/cm	pH	Na	K	Ca	Mg	Fe	Li	Mn	Ni	Cu	Pb	Cl	HCO ₃	SO ₄	SiO ₂	B
1 MTA2 Tw	25.4.1992	85	3000	6,3	462	55	130	13	0,10			0,147	0,008	0,076	69	1378	125	267	65
2 MTA3Tw	24.6.1992	95	2750	6,03	432	50	31	13							90	1220	10	135	31
3 Caferbeyli Tw*	20.9.1990	155	2700	7,8	680	70	42	6	0,10			0,147	0,008	0,076	115	1983	34	214	67
4 Sart-Çamur Ts	15.7.1992	51	1600	5,90	213	23	145	22	0,13	1,8	0,04	0,082	0,006	0,057	40	1074	64	101	13
5 Çelikli Ts	15.7.1992	42	2400	6,20	497	60	71	12	0,06	1,788	0,005	0,120	0,008	0,087	83	1550	112	180	23
6 Sazdere Ts	21.5.1993	37	3070	7,55	417	50	29	65							200	1377	43	145	
7 Kurşunlu Ts	15.7.1992	90	1850	4,85	426	51	10	9	0,11	1,842		0,103	0,005	0,072	64	1080	107	186	38
8 Tabak dere Sw	15.7.1992	20	586	7,10	75	8	48	13							18	305	90	29	2,3
9 Karaoluk Cs	15.7.1992	14	210	7,25	15	1	18	2	0,05	0,014		0,022	0,005	0,033	8	37	74	21	
10 Kurşunlu dere Cs	15.7.1992	19	410	6,76	79	9	69	14	0,07	0,082		0,033	0,004	0,038	20	388	66	d	3
11 Kurşunlu Üfütük Cs	31.5.1992	15	1420	5,75	120	7	180	77							21	647	541	20	
12 Salihli dere Sw	21.5.1993	18	1299	7,19	140	15	17	92							41	535	174	19	
13 Göbekli soğuk kuyu	15.7.1992	18	584	6,9	45	4	22	15							12	243	20	26	

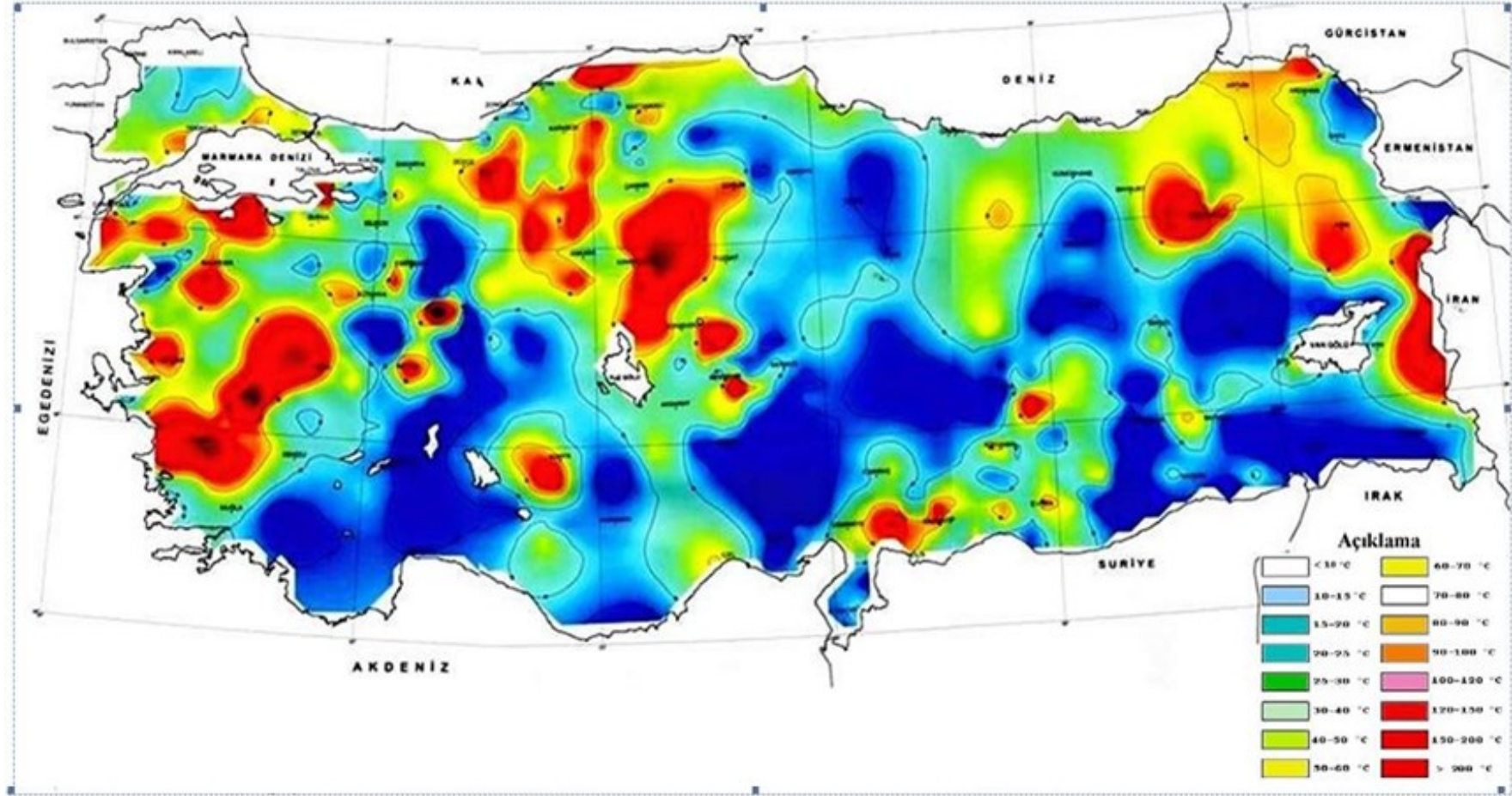
Suların izotop kimyası sonuçları ele alındığında, bölgedeki termal suların kökeninin meteorik kökenli sular olduğu görülür. Ayrıca suların yeraltındaki kalış sürelerinin uzundur. Sart-Çamur kaplıcası termal suları diğer sulara göre yüksek trityum ve düşük Cl içeriğine sahip olup güncel suların karıştığı sulardır. Jeotermometre sonuçları değerlendirildiğinde bölgede açılan kuyuların akifer sıcaklıkları değerlendirildiğinde, Sart-Çamur kaplıcası termal sular 70-100 °C, Caferbey termal sularının ise 150-185 °C arasında değişen akifer sıcaklıklarına bağlıdır (Özen-Balaban ve Tarcan, 2009).

Termal sular genel olarak silis minerallerini anhidrit, jips, kalsedon, kuvars) çözüldürücü, karbonat minerallerini çözültici özelliktedir. Bu nedenle bölgede jeotermal suların kullanımı sırasında kuyularda ve iletim hatlarında karbonat mineralinin neden olduğu kabuklaşma problemiyle karşılaşmaktadır. Caferbey jeotermal alanı sıcaklık açısından elektrik üretimine uygun bir saha olduğu için sondajlarda silika kabuklaşmasının kuyu donanımlarında karşılaşılabilecek bir problem olduğu tahmin edilmektedir (Özen-Balaban ve Tarcan, 2009).

3.11. Araştırma sahasının jeofizik özellikleri

Batı Anadolu’ da izmir, Manisa ve Aydın civarındaki ortalama ısı akısı değerleri 104mWm^{-2} civarında olması, ısı akısı haritasından anlaşılacağı üzere çalışma sahasının yüksek ısı akısı değerlerine sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 3.13).

Gravite Bouger Anomali haritası (Şekil 3.14) incelendiğinde; Salihli, Alaşehir, Sarıgöl ilçeleri arasında, 60-90 mgal aralığında düşük gravite değerleri ile yer alan iki kapanım, çalışma sahası civarında bir çöküntü havzasının olduğunu göstermektedir. Bu çöküntü sistemi jeolojik olarak Gediz Çöküntüsüne karşılık gelmektedir. Turgutlu ve Salihli ilçelerinin güneyinde 115-135 mgal aralığında değişen yüksek gravite değerleri, güneyde Bozdağlar horstunun üzerinde kalmaktadır. Gravite Bouger Anomali haritası ile sahanın morfolojisi uyum içerisindedir.

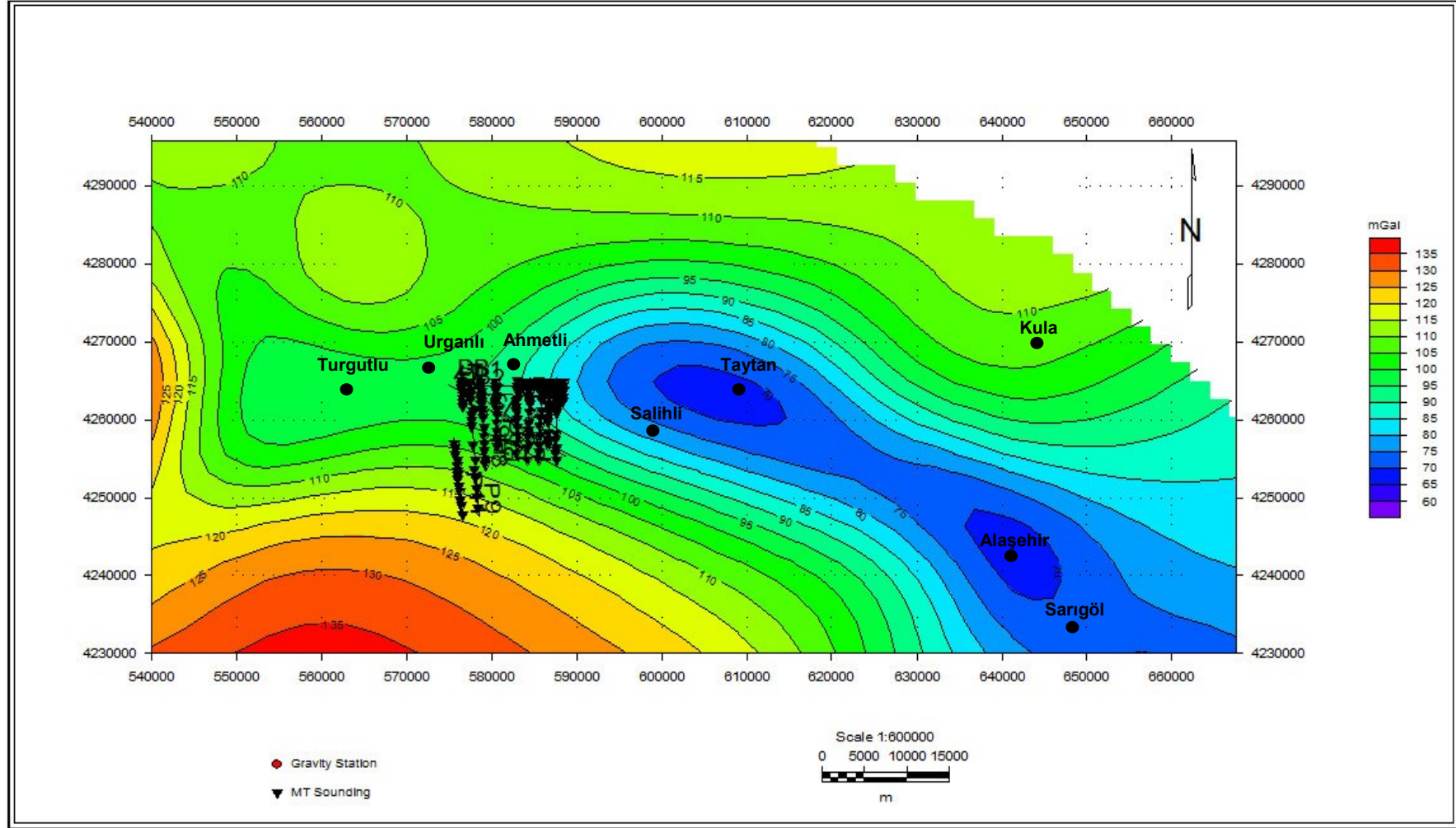


Şekil 3.13. Türkiye ısı akısı haritası (MTA, 2017c)

Bouger ve ikinci türev haritalarında Ahmetli civarında konturların sıklaşması ile birlikte batıya doğru bir gravite artışının bulunması ile ovanın ortasında Taytan civarından başlayarak alivyon kalınlığının Ahmetli'ye doğru azaldığı anlaşılmaktadır. Ahmetli kuzeyindeki Urganlı kaplıcaları civarında Gravite eğrilerinin değişimi buradaki kaplıcaların faylanmalar ile ilgili olduğunu açıklamıştır (Erden, 1965).

Gürsoy (1971) tarafından yapılan gravite çalışmasına göre, bölgenin bir graben yapısında olduğu, sıcak su ve kaplıcaların grabenin kuzeyindeki ve güneyindeki faylarla ilgili olduğu, grabenin topoğrafyasının, Alaşehir tarafında daha derin olduğu, en yüksek sediman kalınlığının, Salihli Ovası'nda 1600 metreye ulaştığı açıklanmıştır.





Şekil 3.14. Araştırma sahası civarında manyetotellürik ölçü noktaları ve gravite Bouger anomali haritası (Gürsoy, 1981)

3.12. Manyetotellürik Yöntem

Manyetotellürik, yerin elektromanyetik alanındaki değişimleri kullanarak yeryuvarının öz dirence bağlı yapısını inceleyen bir yöntemdir. 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). Manyetotellürik (MT) yöntemin kuramsal ilkeleri Tikhonov (Tikhonov, 1950), Cagniard (Cagniard, 1953) tarafından belirlenen ve ölçü sistemleri açısından gerekli teknolojiye 1970'lerde (Vozoff, 1972) ulaşan jeofiziğin doğal kaynaklı elektromanyetik (EM) yöntemlerinden biridir.

Başka bir tanımla Manyetotellürik, geniş bir frekans aralığında genellikle 10^{-4} - 10^3 Hz aralığında, doğal elektrik ve manyetik alan değişimlerinin ölçülerek yerkürenin elektrik öz direnç yapısının belirlendiği bir yöntemdir (Kaufmann, ve Keller, 1981). Vozoff ve Cagniard, L, tarafından önerilen bu yöntem, yerküreyi oluşturan kayaçların iletkenlik değişimlerinden yararlanarak yerkürenin derin elektrik öz direnç yapısının araştırılmasında yaygın olarak kullanılır.

Elektromanyetik dalganın indüklendiği elektrik alanın ve manyetik alanın yer yüzeyinde ölçülen genliklerinin oranından yerin öz direncini saptamayı hedefleyen bir yöntemdir. Farklı frekanslardaki elektromanyetik dalgalar farklı derinliklerde söneceklerinden elektrik ve manyetik alan bileşenleri frekansa bağlı ölçülerek yer öz direncinin derine doğru değişimi izlenebilir. Doğal elektromanyetik olayların çok geniş bir frekans bandında oluşmasından dolayı, bu yöntem çok sığ yapılardan çok derinlere kadar yeraltını izleme olanağı sağlamaktadır.

3.12.1. Manyetotellürik alan

Yöntem, kuramsal ilkeleri Tikhonov (1950) ve Cagniard (1953) tarafından, belirlenen ve ölçü sistemleri açısından gerekli teknolojiye 1970'lerde (Vozoff, 1972) ulaşılan doğal kaynaklı elektromanyetik yöntemlerinden biridir. Başka bir tanımla

MT, genellikle $10^{-4}\text{Hz}-10^4 \text{ Hz}$ aralığında, doğal elektrik ve manyetik alan değişimlerinin ölçülerek yer elektrik öz direnç yapısının belirlendiği bir yöntemdir (Vozoff, 1972).

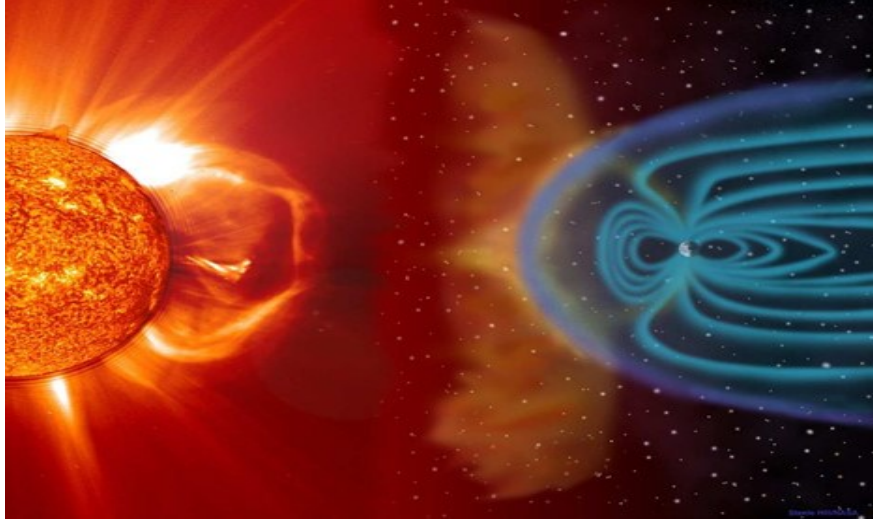
Tikhonov (1950) ve Cagniard (1953)'ın önerdiği bu yöntem, yerküreyi oluşturan kayaçların iletkenlik değişimlerinden yararlanılarak yerkürenin derin elektrik öz direnç yapısının araştırılmasında yaygın olarak kullanılır.

Yer içine doğru ilerleyen bir elektromanyetik dalganın yüzey direntisi (impedance), birbirlerine dik yatay elektrik (E) ve manyetik alanların (H) oranı olarak tanımlanır. Direnti frekansın (veya periyodun) fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Yer manyetik alanın zamanla değiştiği ve bu değişimin çok küçük periyotlardan çok büyük periyotlara kadar geniş bir aralıkta olduğu bilinmektedir. Yerin manyetik alanındaki bu değişim, yer içerisinde bir indüksiyon akımının oluşmasına neden olur. Yer manyetik ve elektrik alandaki bu değişimler aynı karakterde olacağından, bir doğal elektromanyetik alanın varlığı söz konusudur. Bu alanın varlığı Cagniard (1953)'ün önerdiği yöntemin kullanılması ile yeraltının araştırılmasını sağlar (Başokur, 2008).

3.12.2. Manyetotellürik yöntemde kaynak

Manyetotellürik yöntemde doğal kaynaklı elektrik ve manyetik alanın vektör bileşenleri ölçülür. Manyetik alan, güneşten gelen mikropülsasyonlardan ve yıldırım şimşek gibi atmosferik olaylardan meydana gelir. Manyetik alan büyük değişiklik göstermez ve yerin öz direncine duyarlı değildir. Elektrik alan ise yer içinin yapısına ve öz direncine bağlıdır ve hızlı değişir.

MT yöntemde, yer manyetik alanının zamanla değişimi sürekli gözlemlendiğinde çok uzun ve çok kısa periyotlar arasında oldukça geniş bir aralıkta yer alan olayların var olduğu görülür. Bu aralıkta, iyonosfer ve manyetosfer içindeki yüklü parçacıkların titreşimleri yer elektromanyetik alan değişimlerinin kaynağıdır (Şekil 3.15). Dolayısıyla bu değişimlere bağlı olarak yerküre katmanları içinde indüklenen elektrik akımları (Eddy-tellürik akımlar) da yerin doğal elektromanyetik alanını oluştururlar.



Şekil 3.15. Güneşten gelen yüklü parçacıklarla yer manyetik alanın etkileşimi (Başokur, 2008).

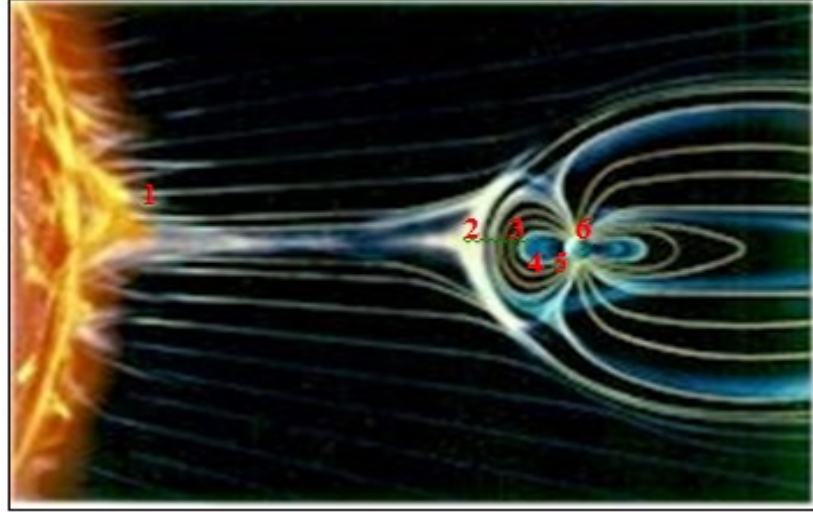
3.12.3. Manyetosferin yapısı

Yerküre içinde zamanla değişen doğal elektromanyetik alanın iki önemli dalga kaynağı vardır (Şekil 3.16).

1) 1 Hz' den küçük frekanslardaki elektromanyetik alanlar, güneşten gelen plazma akışı ile yerkürenin kalıcı doğal manyetik alanının birbirleriyle etkileşiminden oluşurlar. Güneş rüzgârları olarak adlandırılan bu parçacık akışı, yerin kalıcı manyetik alanı üzerinde değişik frekanslarda salınımlara neden olur (Çirkin, 2007)

2) 1 Hz'den büyük frekanslardaki elektromanyetik alan değişimlerini ise genellikle ekvator yakınında gerçekleşen dünya genelindeki yıldırım ve şimşekler oluşturur (Çirkin, 2007).

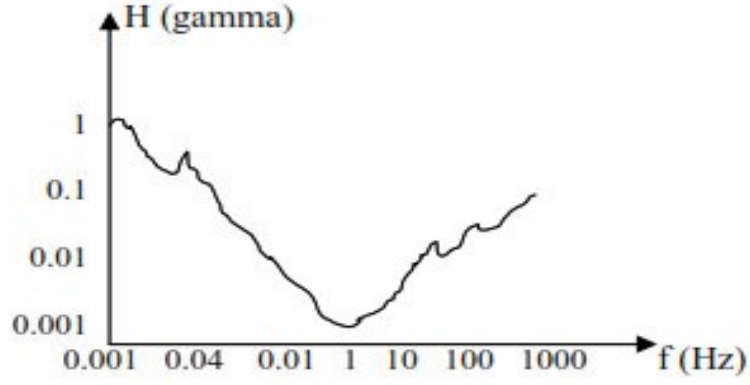
Doğal kaynaklı manyetik alandaki (10^{-5} - 10^5 Hz aralığında) değişimler nedeniyle atmosfere göre daha iletken olan yer içinde tellürik akımlar akar(Şekil 18, Manyetosferin yapısı). Yer içinde elektrik alandaki değişimler manyetik alandaki değişimlere neden olur. MT yöntemi, dalga yayılım yönüne dik doğrultuda elektrik (E) ve manyetik (H) değişimlerini içeren düzlem dalgaların zamana bağlı değişimi kullanılır. Bu değişimden yararlanarak öz direncin frekansla değişimi incelenebilmektedir. E ve H vektörleri yatay düzlemindedir.



Şekil 3.16. Manyetosferin yapısı, 1. Güneş rüzgarı 2. Darbe cephesi 3. Manyetik alan çizgileri 4. Plazma 5. Radyasyon Kuşağı 6. Yerküre R yerküre yarıçapı=6370 km (Çirkin, 2007)

3.12.4. Yer manyetik alanın değişimi

Yer manyetik alanındaki değişimler elektromanyetik dalganın bir bileşeni olarak düşünülürse manyetik ve elektrik alan bileşenlerindeki değişimlerden yerin öz direnci hakkında ilişki kurulabilir. Yer manyetik alanın zamanla değiştiği ve bu değişimin çok küçük periyotlardan çok büyük periyotlara kadar geniş bir aralıkta olduğu bilinmektedir. Yerin manyetik alanındaki bu değişim yer içerisinde bir indüksiyon akımının oluşmasına neden olur. Yer manyetik ve elektrik alanındaki bu değişimler aynı karakterde olacağından bir doğal elektromanyetik alanın varlığı söz konusudur. Bu alanın varlığı Cagniard'ın önerdiği yöntem olarak kullanılarak yer için araştırılmasını sağlar. Şekil 3.17'de görüldüğü üzere yer manyetik alanın değişimi frekansın bir fonksiyonudur ve en zayıf değişim 1 Hz civarında görülmektedir. İyonosfer ve manyetosferde oluşan, 1 Hz'in üzerindeki değişimler yere ulaşmadan iyonosfer içinde soğulurlar. Bu sinyallerin kaynağı, atmosferde oluşan yıldırım ve şimşeklerdir. 1 Hz' in altındaki elektromanyetik dalga ise güneşten gelen yükler ile manyetosfer sınırındaki girişimlerden oluşur (Çirkin, 2007).



Şekil 3.17. Yer manyetik alanının değişimi (Keller ve Frischknecht, 1966)

Yer manyetik alanındaki değişimler iç kaynaklı (seküler) ve dış kaynaklı(günlük veya yüksek frekanslı) olarak iki ana gruba ayrılırlar.

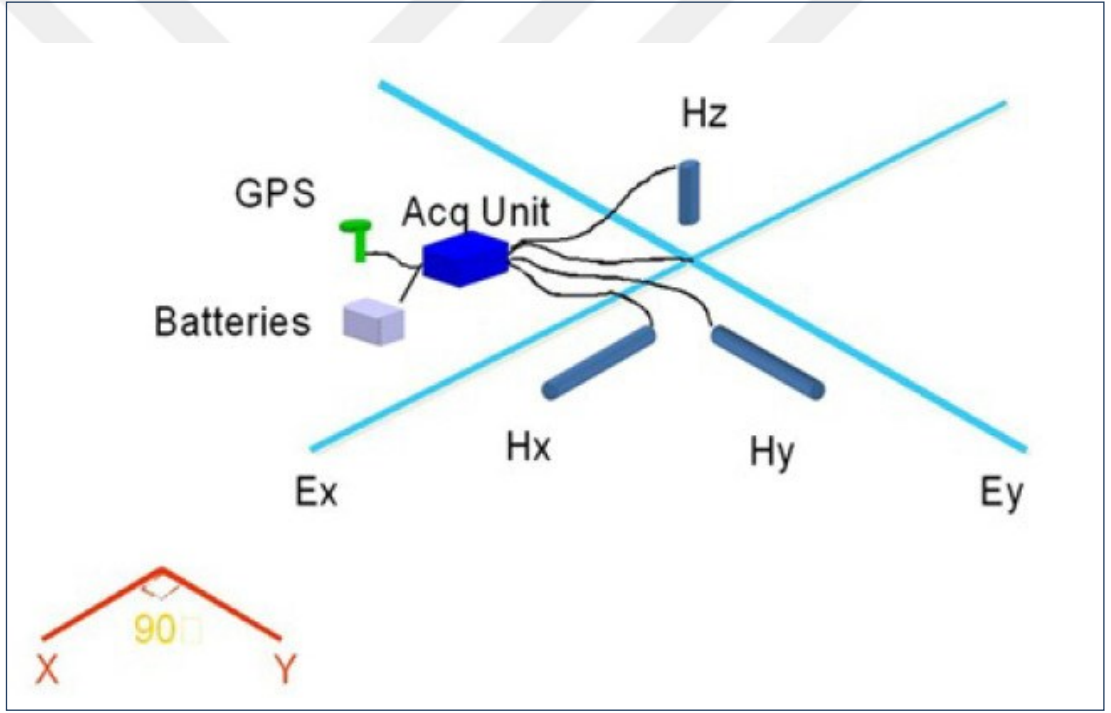
1. Uzun süreli değişimler 10^3 sn'den (ya da 1 Hz'in üzerindeki) büyük değişimlerdir ve iç kaynaklı (internal)'dır. Bunlar epoklar, epoklardan daha kısa süreli olan manyetik olaylar, 11 yıllıklar (güneş lekelerinin arttığı dönemlerde yer manyetik alanında azalma olur), periyodu 1 yıl olan yıllıklar, yerkürenin güneşe olan uzaklığına bağlı mevsimsel değişimler, güneşin kendi eksenini etrafında dönmesi ile ilgili 27 günlükler şeklinde gruplandırılmıştır.

2. Dış kaynaklı (external) değişimler 10^0 - 10^3 sn aralığındaki ya da 1 Hz'in altındaki değişimlerdir. Bunlar atmosferdeki elektromanyetik akımlarla düzensiz değişimler şeklinde oluşan ve periyot uzunluğuna göre sırasıyla manyetik fırtınalar, körfezler, jetler, manyetik mikropulsasyonlar, astenosferiklerdir. Ayrıca yer manyetik alanının günlük 24 saat periyotlu bir sinüs eğrisi şeklinde görülen günlük değişimler de bu tür değişimlerdendir (Cristophersen, 2001).

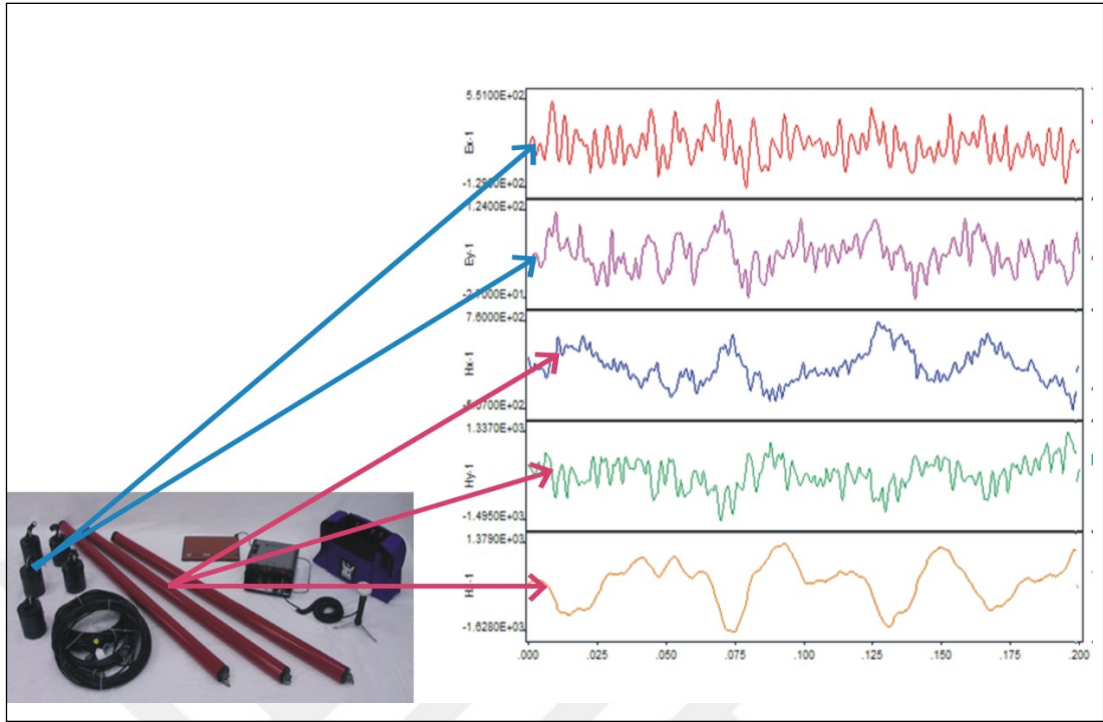
3.12.5. MT yönteminde ölçü düzeni

MT yönteminde manyetik alanın üç bileşeni (H_x , H_y , H_z), elektrik alanının iki bileşeni (E_x ve E_y), birer adet alıcı ve hafıza kartında toplanır. Manyetik alanlar bobin, elektrik alanlar ise polarize olmayan potlar ile (Cu-CuSO_4 veya Pb-PbCl) ölçülür (Şekil 3.18). MT yöntemde amaç, yeryüzündeki yatay bir doğrultudaki yer elektrik

alan şiddeti ile buna dik açıdaki yatay doğrultudaki yer manyetik alan şiddetini zamanın bir fonksiyonu olarak ölçmektir. Arazi koşullarına göre birbirlerinden 50-200 m. uzaklıkta bulunan elektrotlar arazi üzerine L veya + oluşturacak biçimde yerleştirilerek MT ölçü alınır. Yer manyetik alanın bileşenlerinin ölçümleri için de MTC-50 bobinleri(indüksiyon) kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında MT ölçümler için Phoenix firması tarafından üretilen 5 kanallı, çok amaçlı V-5 System 2000 adlı alıcı kullanılmıştır. Kanallardan 2 tanesi elektrik alan bileşenlerini (E_x , E_y), 3 kanal ise manyetik alan bileşenlerini (H_x , H_y , H_z) ölçmede kullanılır (Şekil 3.19). Ölçülen H_z bileşeni jeolojik doğrultu hakkında bilgi almak için kaydedilir. Diğer bileşenler ise yer altı elektrik öz dirençleri hakkında bilgi elde etmek için ölçülür.



Şekil 3.18. MT yönteminde ölçü düzeneği (Mwakirani vd., 2012)



Şekil 3.19. Zamana karşı ölçülen manyetotellürik alan bileşenleri (Başokur, 2008)

3.12.6. Manyetotellürik yöntem giriş

MT yöntemini birbirlerinden bağımsız olarak ilk ortaya atanlar Cagniard (1953) ve Tikhonov (1950)'dur. Yeraltı iletkenlik değişimleri kullanılarak, yer içinin araştırılması için önermişlerdir. MT yöntemi sedimanter havzaların belirlenmesi, petrol ve jeotermal kaynakların araştırılması, maden yataklarının bulunması ve yeraltının derin yapısının araştırılmasında kullanılır (Dinçer, 2007). Kayaçlar üzerindeki gösterdiği öz direnç, taşınan yükün yoğunluğuna ve akım yolunun geometrisine bağlıdır. Kayalara ait öz dirençleri belirlemek için “Archie Kanunu” (Archie, 1942) olarak bilinen ve aşağıdaki gibi verilen deneysel (ampirik) bir formül kullanılabilir (Xiao, 2004).

$$\rho = a\rho_w\phi^{-m}s_w^{-n} \quad (3.1)$$

Bu denklemdeki a, n ve m ampirik katsayılarıdır. Bu katsayılar pekiştirme (konsolidasyon) derecesine bağlıdır. Formasyon sıvısını öz direncini, gözenekliliği, s_w suya doygunluğunu gösterir.

Atmosfer, iyonosfer, manyetosferde oluşan çeşitli değişimlerin yer manyetik alanı üzerindeki etkisine Manyetotellürik olaylar denir. 10^{-5} - 10^5 Hz frekans aralığında yer içinde değişen doğal elektromanyetik alanlardır. Uzun mesafelerde sönümlenerek iyonosfer ve yeryüzü arasında yayılmaktadır. Yayılan bu dalgalar fiziksel olarak düzlem dalga yapısında davranırlar. Bu davranışı gösteren manyetotellürik alanlar yere nüfus ederek tellürik akımları oluşturmaktadır.

3.12.6.1. Temel bağıntılar

Manyetotellürik yönteminin kuramı Maxwell denklemleriyle açıklanır. Maxwell denklemleri, dört adet denklemin bir araya getirilmesinden oluşturulmuştur. E , elektrik alan şiddeti (V / m), H , manyetik alan şiddeti (A / m), B , manyetik akı yoğunluğu (W / m^2), q , hacimsel yük yoğunluğu (C / m^3), özetkenlik (S / m), dielektrik sabiti (F/m)

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (3.2)$$

$$\nabla \times H = \sigma E + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (3.3)$$

$$\nabla \cdot E = q / \varepsilon \quad (3.4)$$

$$\nabla \cdot H = 0 \quad (3.5)$$

şeklinde verilebilir. Denklem 3.3'deki ifadeler homojen ve yön bağımsız (izotrop) ortam için $J = \sigma E$ ve $B = \mu H$ şeklinde tanımlanır ve element denklemleri (material equations) olarak bilinirler. Bu ifadeleri denklemde yerlerine koyarsak;

$$\nabla \times B = \mu J + \mu \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (3.6)$$

Burada J akım yoğunluğu (A/m^2), μ manyetik geçirgenlik (H/m) dir. MT yönteminde, serbest havanın manyetik geçirgenlik olarak serbest havanın manyetik geçirgenliği;

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Henry metre,}$$

Buna göre (3.3) ve (3.6) kullanılarak;

$$\Delta^2 E = \mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t} + \mu\epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (3.7)$$

elde edilir.

Düşük frekans değerleri için ($f < 105$), ϵ değerinin çok küçük olduğu kabul edilir (yarı duraylı durum ‘quasi-static limit’ durum) ve yukarıdaki eşitliğin sağ tarafındaki ifade ihmal edilirse elektrik alan içerisindeki dalga denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\Delta^2 E - \mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (3.8)$$

Dünyanın geçirgen bir ortam olduğundan söz edilebilir. Bu yüzden difüzyon denklemi olarak ta bilinen yukarıdaki denklemin frekans ortam karşılığı;

$$\Delta^2 E + i\omega\mu\sigma E = 0 \quad (3.9)$$

$$\Delta^2 H + i\omega\mu\sigma H = 0 \quad (3.10)$$

Denklem (3.9) ve (3.10) Helmholtz denklemleri olarak bilinir ve 2B ve 3B düz çözüm de bu denklemler çözülür (Dinçer, 2007).

3.12.6.2. Deri kalınlığı (Skin depth)

Deri kalınlığı, iletken ortamda elektromanyetik alanın genliğinin sönümlenmesi ile açıklanabilir. Alanın yüzeydeki genliğinin $1/e'$ değerine yani % 33'üne indiği değerdir (Dinçer, 2007)

$$e^{-\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}z} = e^{-1} \quad (3.11)$$

Buradan deri kalınlığı;

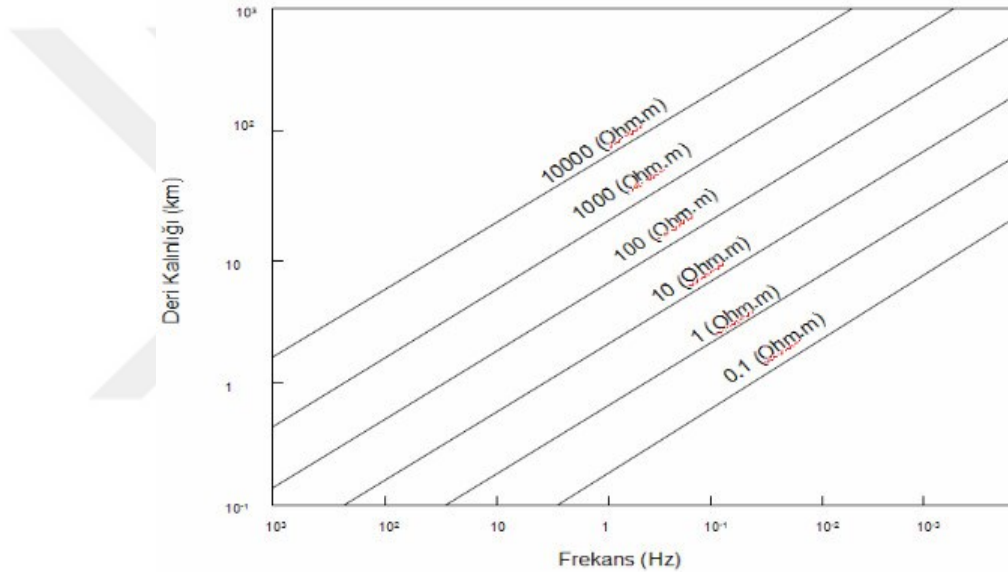
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad (3.12)$$

olarak elde edilir. $\omega = 2\pi f$ ve μ yerine μ_0 alınırsa denklem (3.12)

$$\delta \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ (metre)} \quad (3.13)$$

olarak yazılabilir.

Deri kalınlığının özdirenç ve frekansla ilişkisi Şekil 3.20' de verilmiştir (Dinçer, 2007).



Şekil 3.20. Deri kalınlığının, özdirenç ve frekansa göre değişimi (Xiao 2004)

3.12.6.3. Görünür özdirenç ve faz tanımları

Elektromanyetik dalganın manyetik alan şiddeti, zaman sinüzoidal $H_0 e^{-i\omega t}$ şeklinde yazılabilir. Denklem 3.2' den hareketle;

$$H = \frac{1}{i\omega\mu_0} \nabla \times E \quad (3.14)$$

Elektrik alan şiddeti ile manyetik alan şiddeti karşılaştırılırsa;

$$E_x = E_0 e^{-kz} e^{-i\omega t} \quad (3.15)$$

$$H_y = \frac{1}{i\omega\mu_0} E_0 e^{-kz} e^{-i\omega t} \quad (3.16)$$

Burada elektrik alan (E_x) ve manyetik alan (H_y) birbirine diktir(ortagonal). Birbirine dik E ve H alanlarının oranından elde edilen büyüklük empedans olarak tanımlanır. Denklem 3.15 ve denklem 3.16' kullanılarak Z_{xy} empedans değerini,

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y} = \frac{(1-i)}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega \mu_0 \rho} \quad (3.17)$$

Şeklinde tanımlanır. Genel olarak MT verisi görünür öz direnç ve empedans fazı büyüklükleri ile sunulur. Denklem 3.17'de görünür öz direnç ρ_{xy} ve faz(ϕ_{xy}) çözülebilir.

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega \mu_0} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (3.18)$$

$$\phi_{xy} = \frac{\text{Sanal}(Z_{xy})}{\text{Gerçel}(Z_{xy})} \quad (3.19)$$

Tabakalı bir ortamda ölçülen görünür öz direnç değerleri elektrik ve manyetik alanlarının yönlerine bağımlı değildirler. İki-boyutlu ve üç-boyutlu ortamlarda ise durum tabakalı ortamlara göre değişiklik gösterir. Eğer yatay bir eksen boyunca ortamın öz direnci sabit ise (burada x-ekseni alınmıştır) birbirinden ayrı iki elektromanyetik mod vardır (Şekil 3.21). Bunlar TE modu (TE-Transverse Electric veya E-paralel) ve TM modudur(TM- Transverse magnetic veya- H paralel).

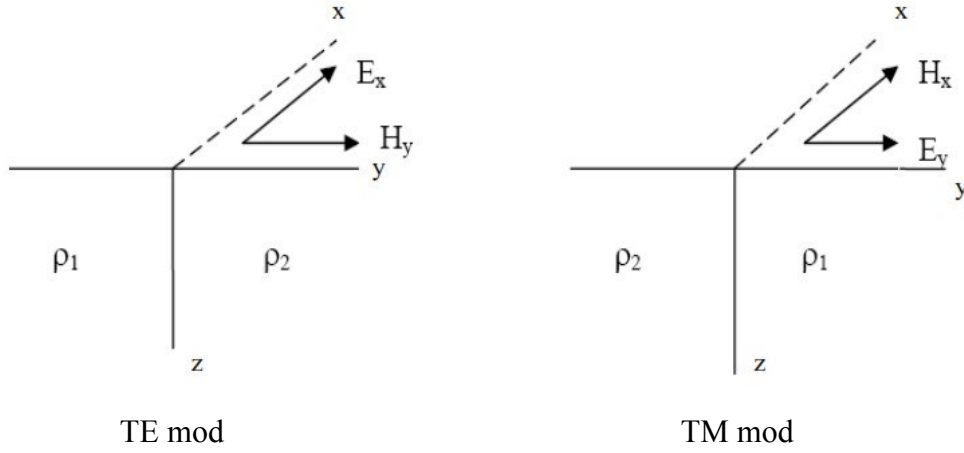
Şekil 3.20'de x eksenini jeolojik doğrultuyu gösterdiğinden, TE modu için görünür öz direnç ve faz değerleri yukarıdaki (3.18) ve (3.19) denklemleri ile hesaplanırlar. TM-modunda H_y bileşeni jeolojik doğrultuya paraleldir. Bu durumda empedans, görünür öz direnç ve faz aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$Z_{yx} = \frac{E_y}{H_x} \quad (3.20)$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{\omega \mu_0} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2 \quad (3.21)$$

$$\phi_{yx} = \frac{\text{Sanal}(Z_{yx})}{\text{Gerçel}(Z_{yx})} \quad (3.22)$$

MT verilerinin iki-boyutlu (2B) ters çözümü için bu tez çalışmasında TE ve TM modu için hesaplanan görünür öz direnç ve faz değerleri kullanılır (Dinçer, 2007).



Şekil 3.21. TE ve TM modu şematik gösterim (Dinçer, 2007)

3.12.6.4. Empedans verilerinin analizi

Empedans verilerinin çözümünde karşılaşılan iki temel problem, verilerde üç boyutluluk ve sabit kaymadır (static shift). 2-boyutlu yorum yapılmadan önce bu iki temel problemin etkisinin veriden giderilmesi gerekmektedir. Verilerden 3-boyutluluğun giderilmesi için bazı parametrelerin hesaplanması gerekir (Dinçer, 2007).

3.12.6.5. Manyetotellürik yöntemde kullanılan boyutluluk parametreleri

3.12.6.5.1. Empedans oranlarına göre boyutluluk belirlenmesi

Z_{ij} ile E ve H arasında bir ilişki dizeyi aşağıdaki yazılabilir.

$$\begin{pmatrix} E_x \\ H_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} \quad (3.23)$$

1B-ortamda empedans,

$Z_{xx}=Z_{yy}=0$ ve $Z_{xy}=Z_{yx} \neq 0$ koşullarını sağlar,

2-B ortamda empedans,

$Z_{xx}=Z_{yy}=0$ ve $Z_{xy} \neq Z_{yx}$

$Z_{xx} \neq Z_{yy} \neq 0$ olduğun da ölçümün yapı doğrultusunda olmadığı düşünülür.

Buradan $Z_{xx}=Z_{yy}=0$ olduğu yön bulunabilir.

3-B ortamda empedans,

$Z_{xx} \neq Z_{yy} \neq Z_{xy} \neq Z_{yx} \neq 0$ koşulunu sağlar (Dinçer, 2007).

3.12.6.5.2. Tipper büyüklüğü (Tipper Magnitude)

Tipper, düşey manyetik alan ölçüsünün, yatay manyetik ölçüsüyle normalize edilmesidir. Bir boyutlu ortamda düşey manyetik bileşen sıfırdır. Genel olarak Yer içi çok boyutludur bu durumda düşey bileşen H_z ,

$$H_z = T_x H_x + T_y H_y \quad (3.24)$$

olarak verilir. Buradaki T tipper şeklinde adlandırılır. Tipper büyüklüğü aşağıdaki şekilde verilir.

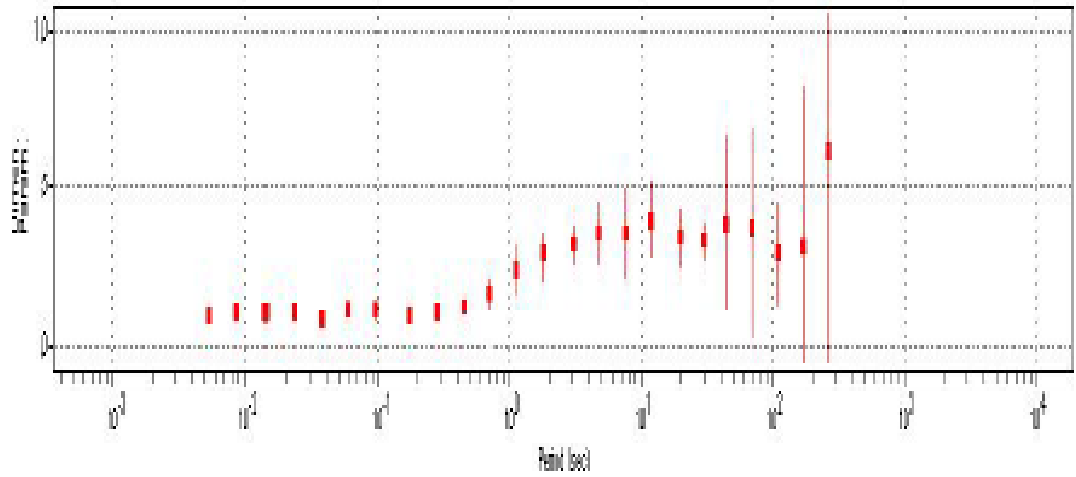
$$|T| = \sqrt{|T_x|^2 + |T_y|^2} \quad (3.25)$$

2B'lu bir yapı için x yönünü yok sayarsak denklem,

$$H_z = T_y H_y \quad (3.26)$$

şeklini alır. Tipper doğrultu yönündeki belirsizliklerin çözülmesine ve geçirgenliğin hangi tarafta daha yüksek olduğunun belirlenmesine yardımcı olur (Vozof, 1991). Yani yerdeki iletkenlik değişimi, hakkında bilgi verir.

Tipper büyüklüğü çok nadiren 1'den büyük olur, genel olarak 0.1 ile 0.5 aralığındadır (Şekil 3.22) ve bu durum ortamın iki boyutlu olduğunun göstergesidir. Değerin 0.1 den düşük olduğu yerlerde gürültü içeriğinden bahsedilir (Green, 2003).



Şekil 3.22. Tipper veri örneği (Dinçer, 2007)

3.12.6.5.3. Döndürme işlemi

Arazi çalışmalarında MT verileri her istasyon için manyetik ve coğrafi kuzey doğrultusunda alınır. Bu ölçümler daha sonra istenilen doğrultuda döndürülebilir. Yani döndürme işlemi, ölçülen doğrultu ile jeolojik doğrultu arasındaki açı kadar eksenleri döndürme işlemidir (Şekil 3.23). Eğer elektrik alan vektörünü E , $+ \theta$ açısıyla saat yönünde döndürülürse döndürülmüş elektrik alanlar x- ve y-yönünde,

$$E'_x = \cos \theta E_x + \sin \theta E_y \quad (3.27)$$

$$E'_y = -\sin \theta E_x + \cos \theta E_y \quad (3.28)$$

Eşitlikleri hesaplanır. Bu iki denklemi dizey şeklinde yazarsak;

$$E' = RE \quad (3.29)$$

Burada R,

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

Benzer şekilde x- ve y- yönünde döndürülmüş manyetik alanlar,

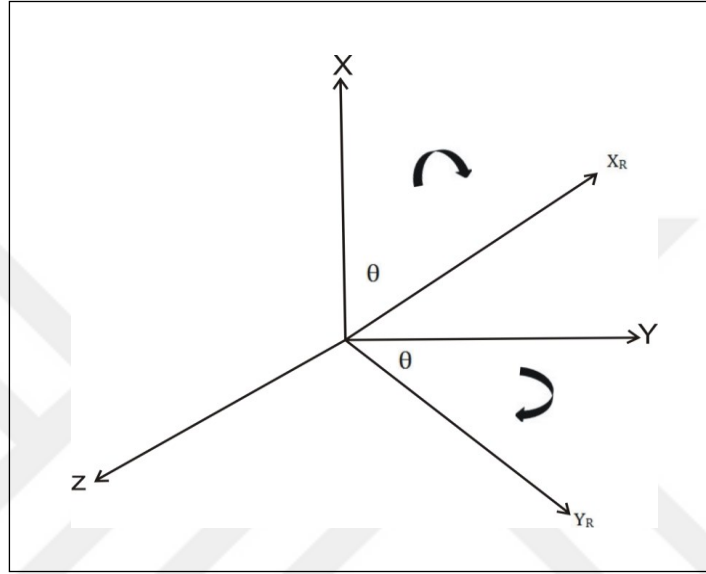
$$H' = RH \quad (3.31)$$

Döndürülmüş empedans aşağıdaki hesaplanır.

$$Z' = RZR^T \quad (3.32)$$

Burada R^T , R ' nin devriğidir (tranzpoze).

Döndürme işlemi sonucunda elde edilen empedansın ölçüm aşamasında aynı yönde yapılmış ölçüm değerine eşit olduğu kabul edilir (Vozof, 1991).



Şekil 3.23. Empedans döndürme işlemi (Özürlan ve Uluggerli, 2005)

2-B' lu ortamlarda Z_{xx} ve Z_{yy} 0' a yaklaşıyorsa ölçüm hatlarımız jeolojik doğrultu ile aynı doğrultuda olur. Bu durumda $|Z_{xx}|^2 + |Z_{yy}|^2$ ' yi minimum yapan açı aranabilir. Bu konu ile ilgili bilgi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$4\theta = \tan^{-1} \left[\frac{(Z_{xx} - Z_{yy}) + (Z_{xy} - Z_{yx})^2 + (Z_{xx} - Z_{yy}) + (Z_{xy} - Z_{yx})^2}{|Z_{xx} - Z_{yy}| - |Z_{xy} - Z_{yx}|^2} \right] \quad (3.33)$$

Bu formülde elde edilen açı değeri ideal koşullarda elektriksel uzanım doğrultusunu verecektir. Bu formülde empedansların sadece genlikleri işleme girdiği için bazı durumlarda açı farklı değer alabilir. Döndürme işlemi her bir frekans için diğerlerinden bağımsız olarak yapılır. Bu durumda önerilen jeolojik haritadan ve yön

analizlerinden elde edilen en uygun tek bir açının seçilmesi ve bütün verinin bu açı ile döndürülmesidir.

Her MT istasyonunda kuzey-güney ve doğu-batı doğrultularında ölçülen yön bağımlı empedans değerlerine, Bu çalışmada, jeoelektrik doğrultu açılarını belirlemek için temeli (Caldwell vd., 2004)'e dayanan Faz tensörü ile jeoelektrik doğrultu açıları bulunmuştur. Döndürme işleminden sonra; TE (elektrik alan jeolojik doğrultuya paralel) ve ona dik TM modları belirlenmiştir. Çalışma sahasında bütün MT istasyonları (320 Hz-0.001 Hz arası) için 15° lik açı belirlenmiştir. Sahada bütün profiller için aynı açı ile döndürme işlemi yapılmış ve her bir istasyon için, TE ve TM modları belirlenmiştir (Dinçer, 2007).

3.12.6.5.4. Durağan kayma (Static Shift)

MT verilerinin analizinde karşılaşılan en büyük sorun durağan kaymadır. Bu olay doğrudan olarak görünür öz direnç eğrilerinde gözlemlenir. Bu etki nedeniyle görünür öz direnç eğrileri y-ekseni boyunca aşağı ve yukarı doğru kayar, statik shift probleminin nedeni olarak ölçüm yapılan elektrotların hemen yakınlarında olan bozucu cisimler ve elektrotların farklı jeolojik birimlerde olmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanır. Durağan kayma (Vozoff, 1991) tarafından denklem olarak açıklanmıştır.

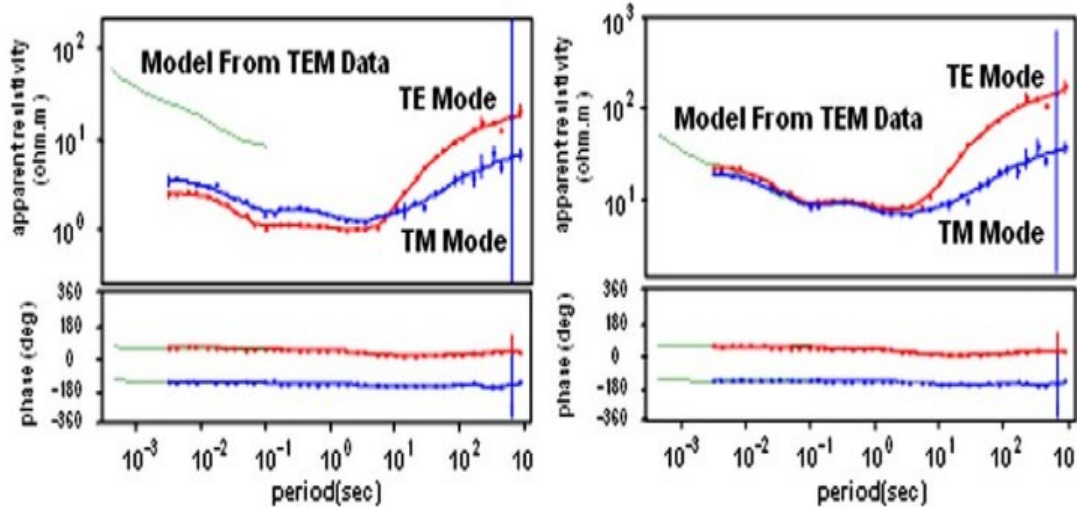
$$E_t = E + \Delta E \quad (3.34)$$

şeklindedir.

E_t : Ölçülen elektrik alan

E : Gerçek elektrik alan ΔE : Küçük ölçekli cisimlerin yarattığı etki

Durağan kayma (statik shift) etkisinin veri üzerinde giderilmesine yönelik birçok yöntem vardır. Genellikle TEM (Transient Elektromanyetik) yöntemi kullanılmaktadır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Statik kayma düzeltmesinin uygulanması: solda statik kayma düzeltmesi yapılmadan önce, sağda düzeltme yapıldıktan sonra (Kaya, 2002)

Bu çalışmada Durağan kayma etkisi ölçülerden, WinGlink[®] programında modelleme ile giderilmiştir.

3.12.6.6. Manyetotellürik verilerin değerlendirilmesi

Çalışma sahasında, ölçülen zaman serisi manyetotellürik verilerin Fourier dönüşümleri alınarak, frekans ortamında empedanslar elde edilmiş ve her ölçü istasyonu için EDI standardında dosyalar oluşturulmuştur.

Bu çalışmada jeoelektrik doğrultu açılarını belirlemek için temeli (Caldwell vd. 2004) dayanan Faz tensörü ile jeoelektrik doğrultu açıları bulunmuştur. Döndürme işleminden sonra; TE (elektrik alan jeolojik doğrultuya paralel) ve ona dik TM modları belirlenmiştir. Çalışma sahasında bütün MT istasyonları (320 Hz-0.001 Hz arası), için 15° lik açı belirlenmiştir. Sahada bütün profiller için aynı açı ile döndürme işlemi yapılmış ve her bir istasyon için, TE ve TM modları belirlenmiştir.

Mackie vd. 1997 tarafından geliştirilen yazılımda, sonlu farklar ağı ile verilen elektrik yapı kesiti üzerinden “Network Analogy” hesaplama yöntemi ile 2-B model için düz çözüm yapılmaktadır. Sonlu farklar ağında hücrelerin kalınlık ve genişlikleri kullanılan frekanslara ve ölçülen görünür öz dirençlere veya kestirilen ortalama ortam

özdirencine bağı olarak seçilmektedir. Jeolojik yapılarının özdirençleri göz önüne alınarak, ağı oluşturan hücrelere istenilen özdirenç değerleri atanarak elektriksel yapılar oluşturulur. Ağ üzerinden yapılan düz çözüm işlemi ile TE ve TM modları için hesaplanan elektrik ve manyetik alan değerlerinin oranından empedans tanımlanarak, kuramsal Cagniard (1953) görünür özdirenç ve empedansın fazı değerleri elde edilir.

Ters çözüm işleminde parametre olarak ağı oluşturan her bir hücrenin özdirençleri kullanılmaktadır. Çözüm için ise “Non Linear Conjugate Gradient (NLCG)” (Rodi ve Mackie, 2001) yöntemi kullanılmaktadır. Yöntem kısmi türevler dizeyinin tersinin alınmasını gerektirmediğinden, geleneksel Gauss-Newton veya Marquard-Levenberg yöntemlerine göre daha kısa bir süre içerisinde çözüm yapabilmektedir.

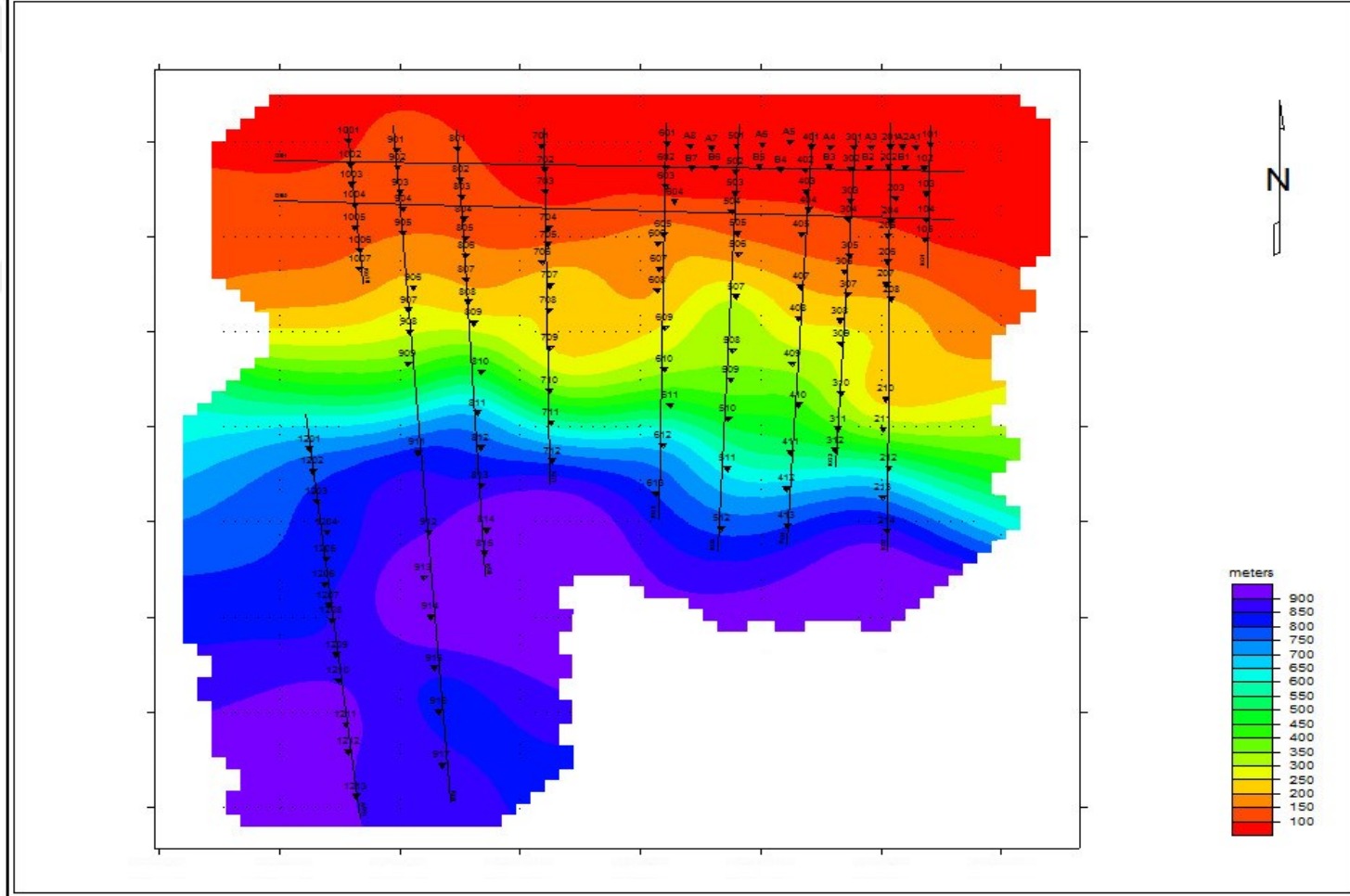
Düz çözüm tekniğinden kaynaklanabilecek duraysızlığı gidermek, model duyarlılığını veren kısmi türevler dizeyindeki tekilliği azaltmak ve parametre olarak kullanılan hücre özdirençlerinin aşırı değişimini engellemek için düzgünleştirme (smoothing) işleci kullanılmıştır.

Yapma-kesitlerin incelenmesi ile yapılan yorum nitel olup, yeraltındaki gerçek özdirenç dağılımının hesaplanması için iki boyutlu ters çözüm işleminin uygulanması ve ölçüm profili boyunca yeraltı yapısını temsil edebilecek 2 boyutlu yer elektrik modelinin elde edilmesi gerekmektedir. 2 boyutlu yer elektrik kesitindeki özdirenç dağılımından bölgenin jeolojik yapısına ait bilgiler türetilebilir. Bu amaçla arazi çalışmalarından elde edilen verilerin 2-B yorumunda WinGlink[®] adlı yazılım kullanılmıştır. Yazılım veri hazırlama, 1-B ve 2-B modelleme, kesit hazırlama ve veri sunumu işlevlerini kullanıcının görsel denetiminde yapabilmektedir.

4.3. MT Ölçüm Lokasyonu

Araştırma sahasında, 145 adet ayrı istasyonun her birinde yaklaşık 20 saat süresince manyetotellürik (MT) ölçüler alınmıştır (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3). Bu çalışmada ölçüler, Phoenix-V5 System 2000 MT alıcısı ile alınmıştır. MT yönteminde ölçüler, 320 Hz-0.001 Hz arasındaki frekanslarda kayıt edilmiştir.

Gediz Graben'ine ait tektonik hatların geçişlerini ve birimlerin değişim sınırlarının incelenebilmesi için kuzey-güney yönünde 11 adet profil oluşturularak iki boyutlu modeller üretilmiştir. Diğer yandan, 2 adet doğu-batı yönünde profiller oluşturularak sahanın farklı yöndeki öz direnç dağılımı belirlenmiştir. MT nokta aralıkları, arazinin ulaşılabilirliğine göre ve amaca uygun olacak şekilde 500 metre, profil aralıkları 1500-2000 metre aralığında değişmektedir.



Şekil 4.2. Araştırma sahasında manyetotellürik ölçü istasyonlarını gösteren lokasyon haritası (WinGlink®)

4.4. Manyetotellürik Ölçülerin Yorumu

Çalışma sahasında jeotermale yönelik manyetotellürik ölçümler ile yeraltında öz direncin derinlikle değişimi incelenmiştir. Bunun sonucunda bölgedeki yüzeye yaklaşan ısıtıcıyı ifade eden magmatik sokulum veya bir ısı akısı olabilecek iletken zonlar, alterasyon alanları, yüksek öz dirençli temel birim geometrisi ve tektonik hatlar hakkında ilgili sahaya yorum getirilmiştir.

Profillerin modellenmesi sonucunda, jeotermal sistemlerde düşük öz dirençli anomalilere karşılık gelen örtü kaya ile rezervuar özelliği taşıyan tektonik hatlar ve bölgedeki jeolojik yapılar ile birlikte yüksek entalpili jeotermal aktivitenin olabileceği alanlar belirlenmiştir. Bunun sonucunda çalışma sahasının jeotermal enerji potansiyeli hakkında bilgiler ortaya konulmuştur.

4.4.1. İki boyutlu manyetotellürik elektrik yapı kesitlerinin yorumu

İki boyutlu (2B) ters çözüm sonucunda elde edilen elektrik yapı kesitleri, örtü birim derinliği, örtü birimin alt sınırı ve örtü içerisindeki faylar ile derinlerdeki ısıtıcıyı teşkil eden iletken yapılar hakkında bilgi vermektedir.

Çalışma sahasında görünür öz direnç ve faz profilleri iki boyutlu modellenmiş ve ters çözüm sonucunda elde edilen elektrik yapı kesitleri değerlendirmeye alınmıştır. Görünür öz direnç ve faz profillerinin direk yorumu yanıltıcı olabilmektedir. Bu nedenle iki boyutlu modellerden tekrar hesaplanmış öz direnç ve faz profilleri arazi ölçü verileri ile kıyaslanmıştır.

Ölçülen ve hesaplanan profillerin uyumu bize modelin ne kadar doğru yapıldığını göstermektedir.

Bölgede tektonik hatlar Gediz Graben sisteminin oluşumuna bağlı olan basamak tipli faylardır. Sahadaki büyük faylar aktif jeotermal sistemlerin oluşmasında oldukça etkilidirler. Diğer yandan sahadaki kuzey-güney uzanımlı fayların doğrultu atımlı ve kısa mesafeli olduğu Karamenderesi, (1971) tarafından ortaya konmuştur.

Sahada bütün MT için 15° lik aynı açı ile döndürme işlemi yapılmış ve her bir istasyon için, TE ve TM modları belirlenmiştir.

4.4.1.1. Kuzey-güney profillerinin yorumu

Çalışma sahasında kuzey-güney yönünde 11 adet profildeki MT ölçüleri, Gediz grabenini oluşturan doğu-batı uzanımlı, basamak şeklindeki normal fayları dik kesecek şekilde modellenmiştir. Bunun sonucunda grabenin içinde öz direnç değişimleri incelenerek muhtemel ısıtıcı olabilecek iletken anomaliler belirlenmiştir.

4.4.1.1.1. KG1 profili

KG1 profili boyunca 5 adet istasyonda 10000 Hz- 0.001 Hz frekans aralığında, görünür öz direnç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.3). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 149x42 hücreli model ağ kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 1.25 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B öz direnç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.3' te görülmektedir.

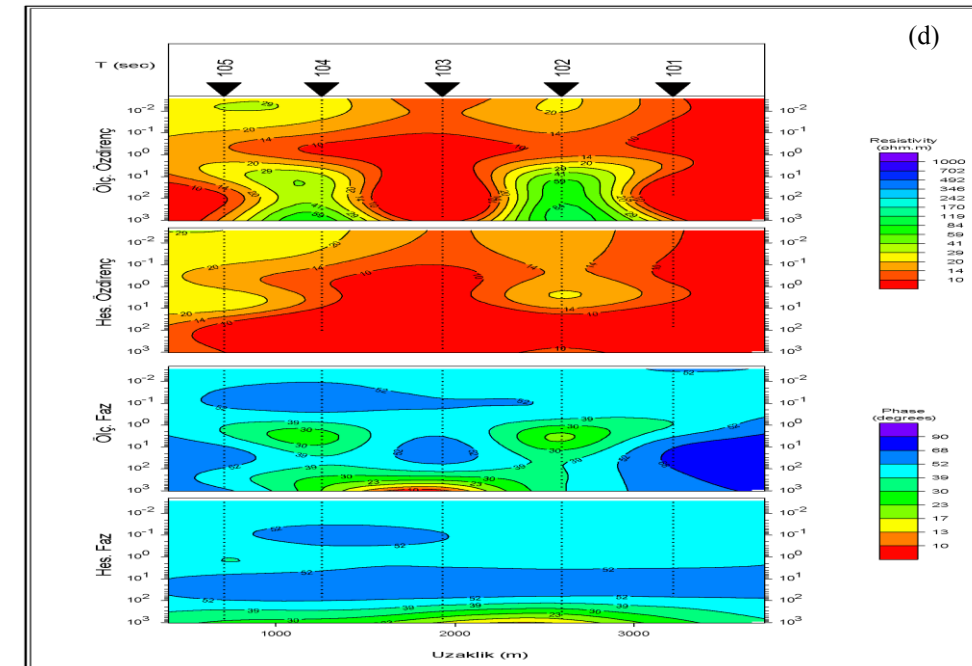
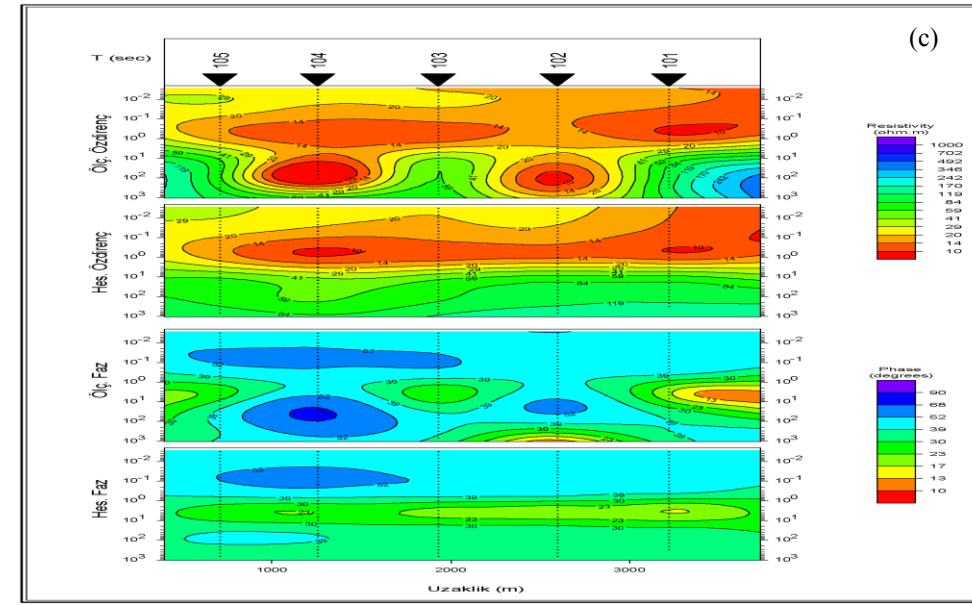
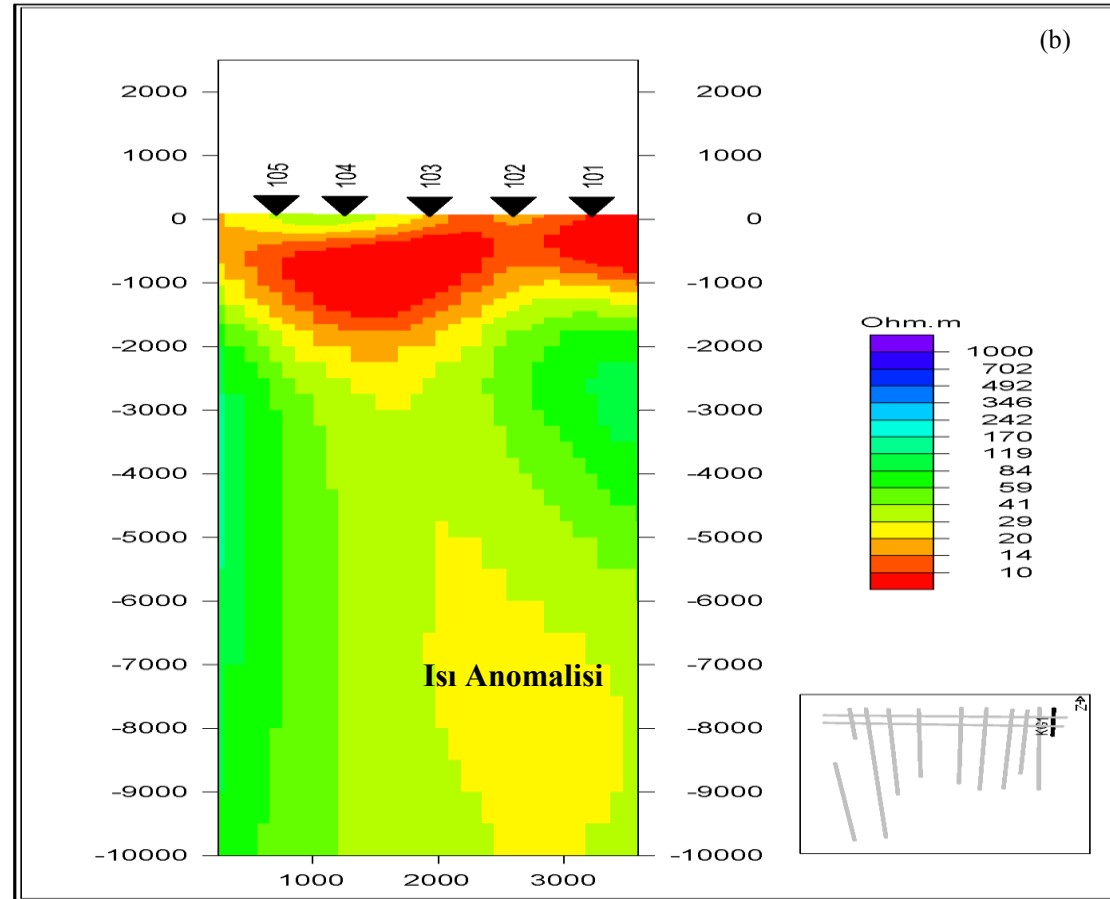
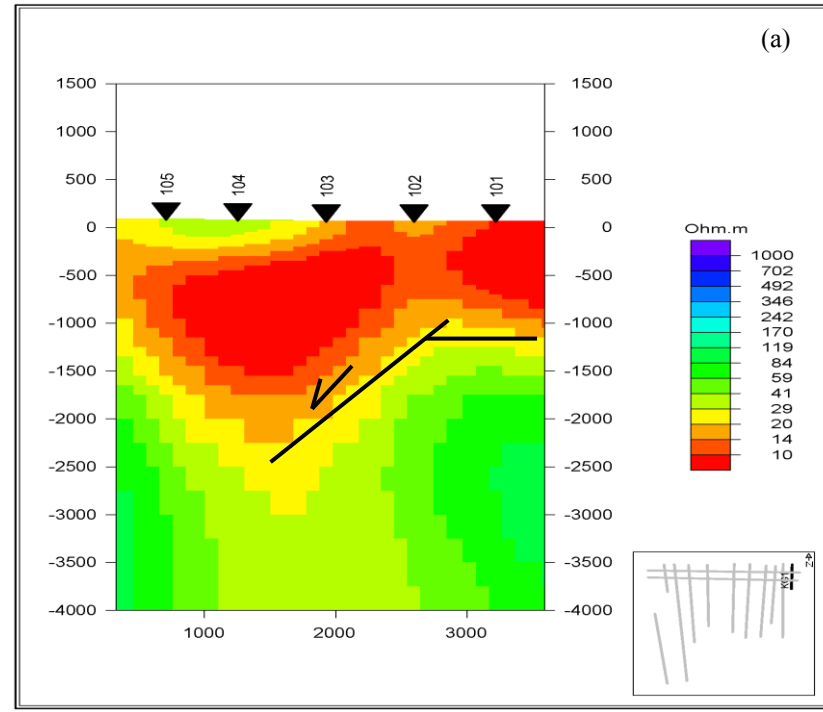
Sığ yapı profili incelendiğinde, düşük öz dirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük öz dirençli (10-14ohm.m) bu birim, alüvyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir. Bu birimler içerisinde muhtemel sıcak su etkisi olduğu düşünülmektedir. Örtü birim, 101 ve 102 no' lu ölçüm noktalarından geçen ve güneye doğru düşen muhtemel fay ile birlikte 2250 metre derinlere kadar uzanmaktadır. Düşük öz dirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m öz dirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş) ve Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, Menderes Masifi içerisinde alt kabuktan üst kabuğa doğru yükselen düşük öz dirençli (14-20 ohm.m) iletken birim, derinlerden yüzeye doğru yükselmektedir. Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays(pegm),

şist(peş) ve mermerlere (p mr), karşılık gelen temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) yer almaktadır. Profilde yoğun iletken birimler nedeniyle temel birimlerin etkisi gözlenmemiştir.

Derinde görülen düşük özdirençli anomali jeotermal enerji açısından önemli olup ısıtıcı olarak yorumlanmaktadır. Bu tür yapılar alt kabuktan üst kabuğa doğru yükselmiş sıcak ve kısmen ergimeye uğramış magmatik kütleleri ya da derinlerden y zeyeye yaklaşan ısı akısını işaret etmektedir. Ancak  alışma sahasında, ısıtıcı olarak volkanik bir etkinlik olmadığı için bu iletken anomaliler y zeyeye yaklaşan ısı anomalisi olarak yorumlanmıştır.





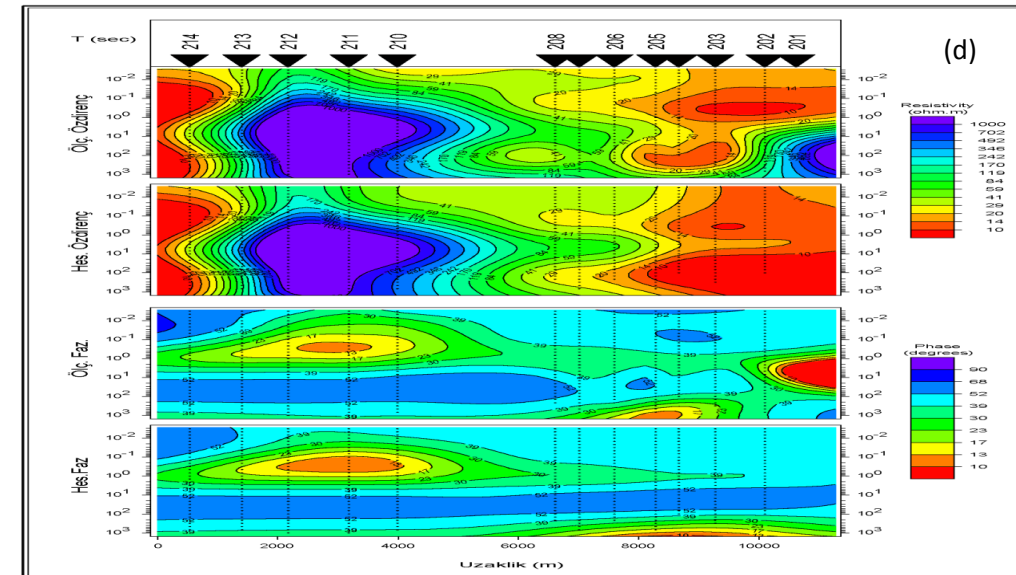
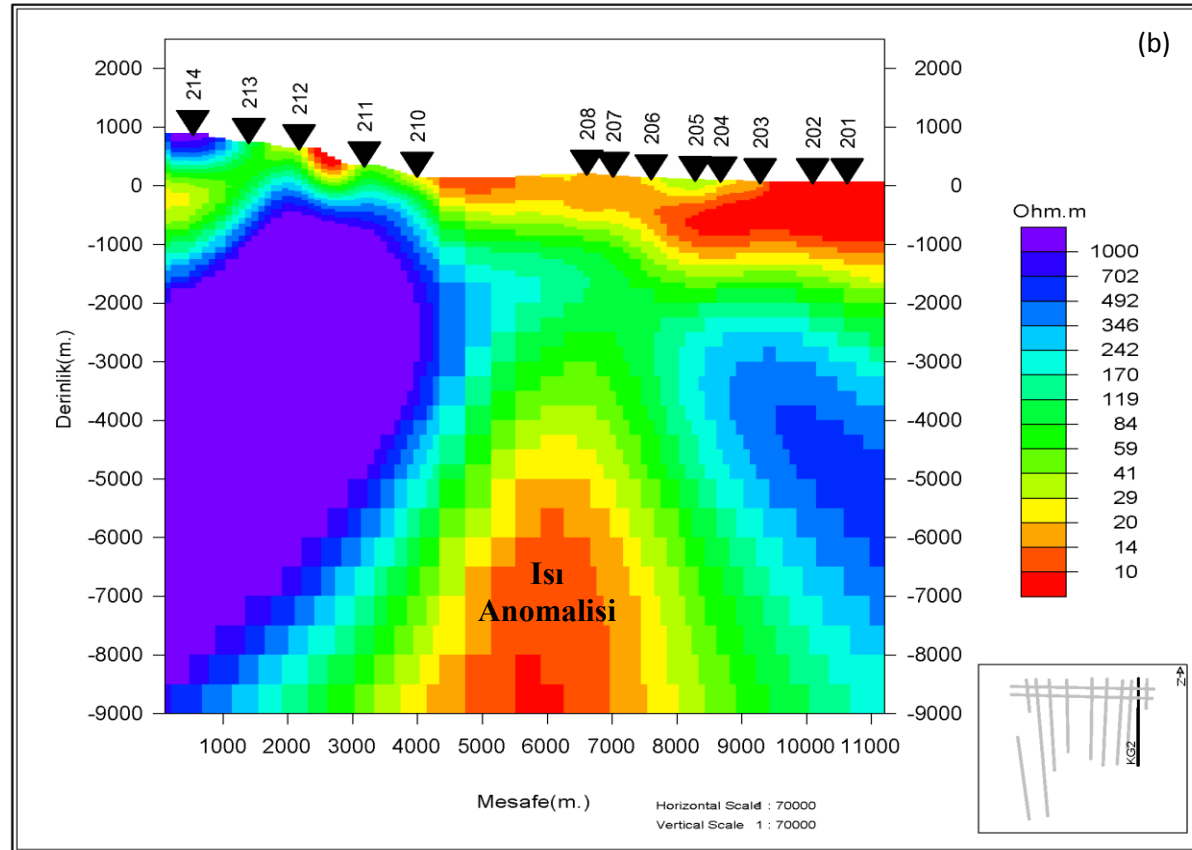
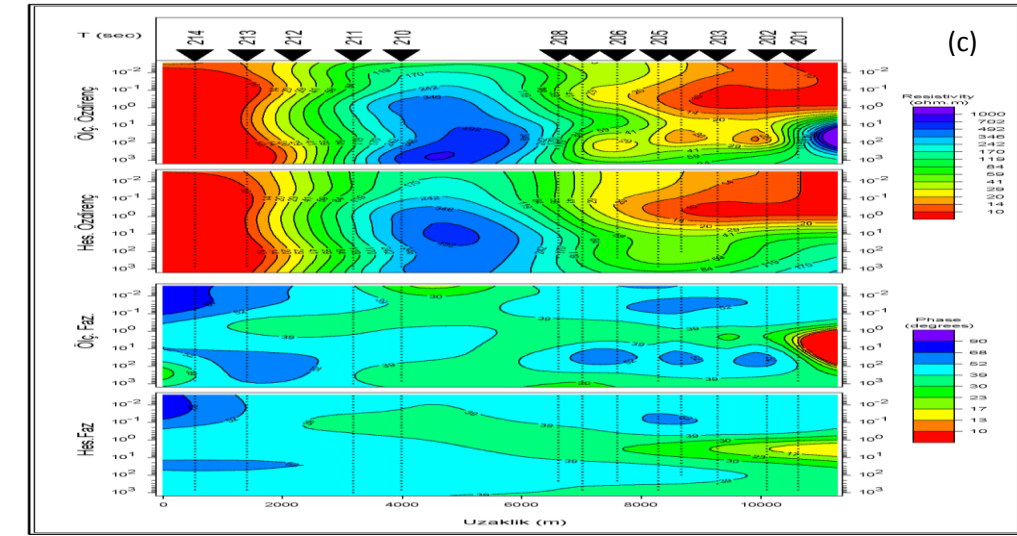
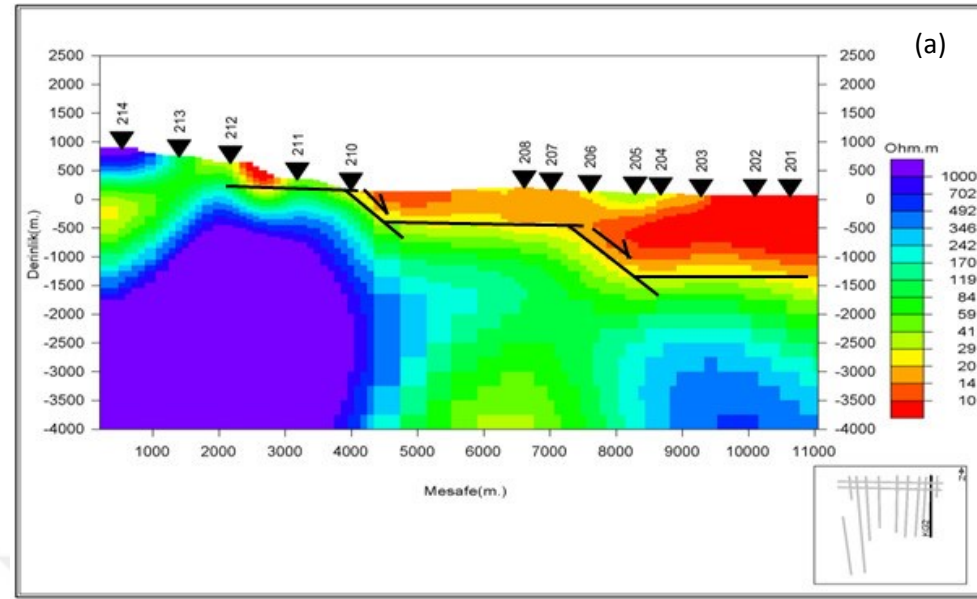
Şekil 4.3. KG1 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

4.4.1.1.2. KG2 profili

KG2 profili boyunca 13 adet istasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür özdirenç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.4). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 149x42 hücreli model ağ kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 1.61 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B özdirenç modeli (sığ ve derin), TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.4' te görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, özdirenç değişimi ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük özdirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük özdirençli(10-14 ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k, Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası ve çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir. Bu birimler içerisinde muhtemel sıcak su etkisi olduğu düşünülmektedir. Örtü birim, 210-211 ve 206-207 MT noktaları arasında düşen yapılar içerisindeki muhtemel faylar ile birlikte yaklaşık 1500 metre derine kadar uzanmaktadır. Düşük özdirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m özdirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays(pçgm), şist (pçş) ve mermerlere (pçmr), karşılık gelen temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır. Profilin orta kesiminde Menderes Masifi içerisindeki yüksek özdirençli birimler arasında, düşük özdirençli(iletken) yapı görülmektedir. Derinlerdeki bu tür anomaliler jeotermal enerji açısından önemli olup ısıtıcı olarak yorumlanmaktadır. Bu tür yapılar alt kabuktan üst kabuğa doğru yükselmiş, sıcak ve kısmen ergimeye uğramış magmatik kütleleri ya da derinlerden yüzeye yaklaşan ısı akısını işaret etmektedir.



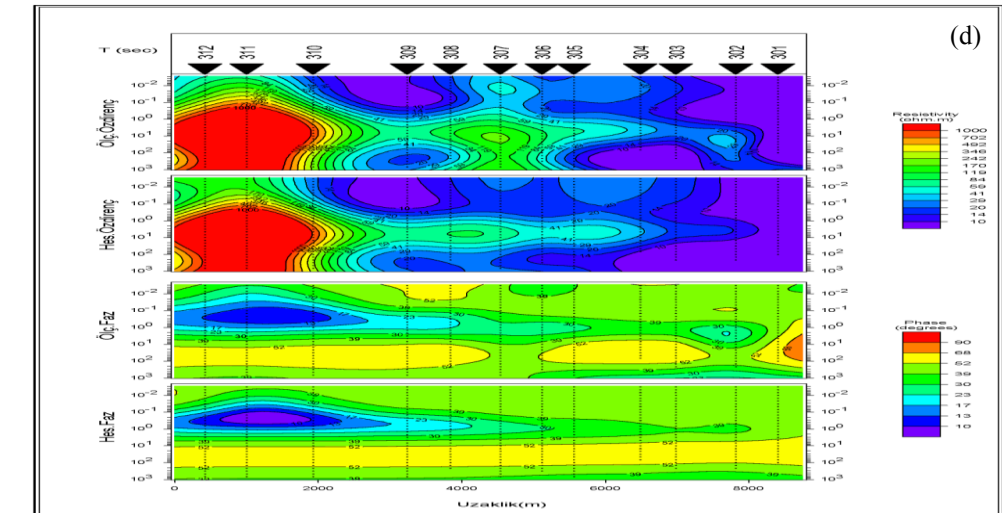
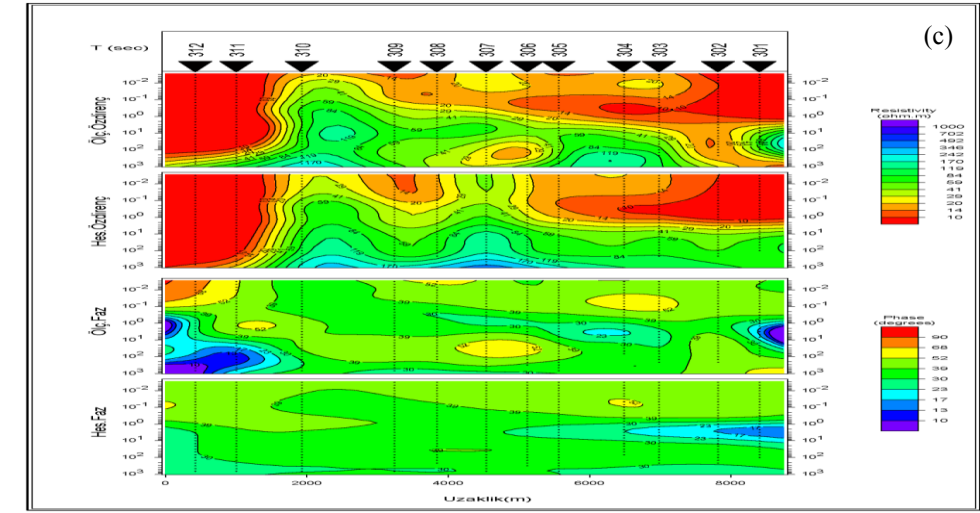
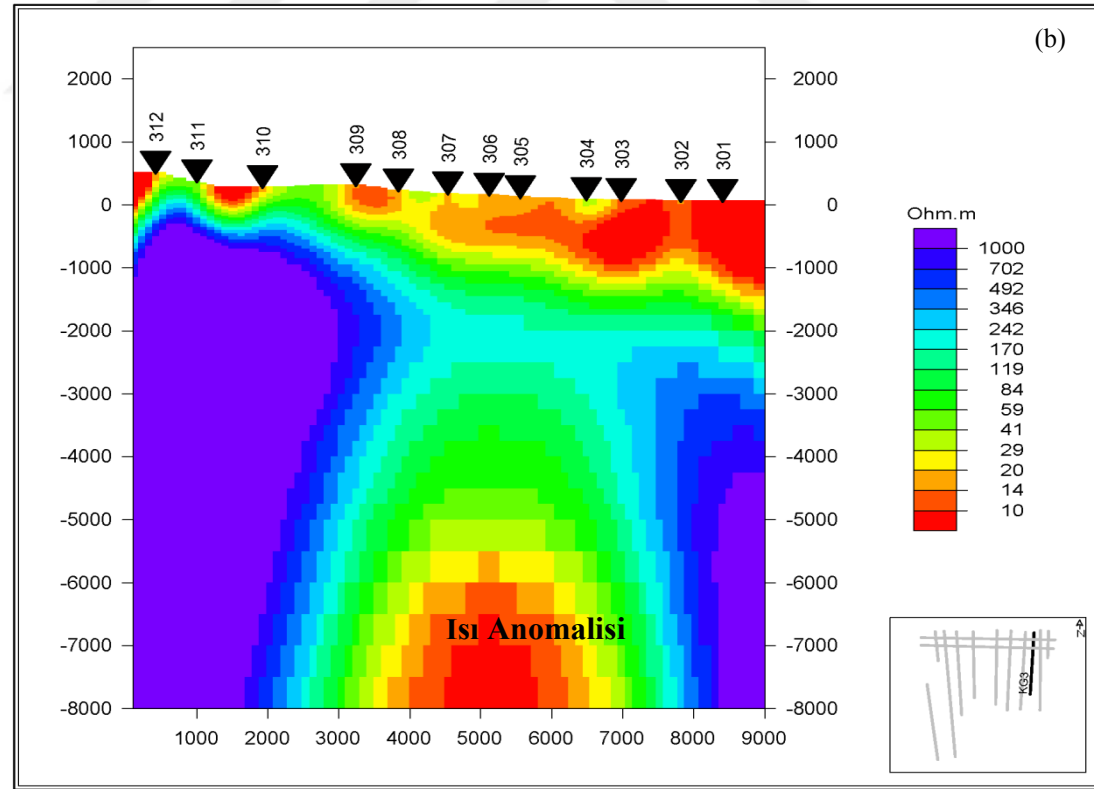
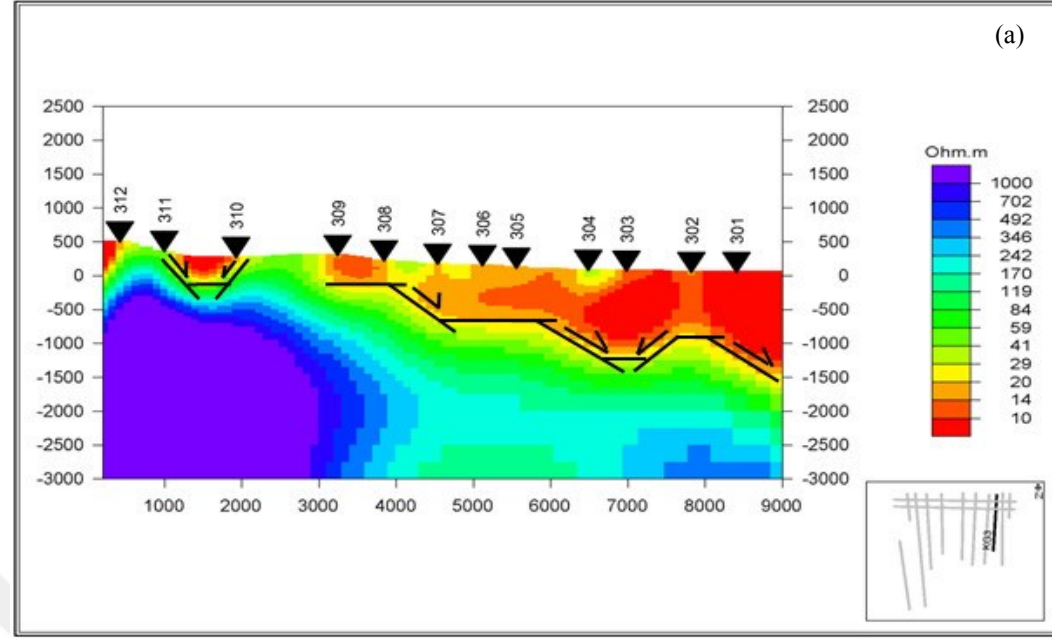
Şekil 4.4. KG2 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

4.4.1.1.3. KG3 profili

KG3 profili boyunca 13 adet istasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür özdirenç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.5). Başlangıç modeli olarak 100 ohm. m homojen yarı sonsuz ortam ve 111 x 98 hücreli model ağ kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 2.56 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B özdirenç modeli (sığ ve derin), TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.5’ te görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, özdirenç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük özdirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük özdirençli(10-14ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir. Bu birimler içerisinde muhtemel sıcak su etkisi olduğu düşünülmektedir. Örtü birim içerisinde, 311-310, 308-307, 304-303 ve 302-301 MT noktaları arasında düşen yapılar içerisindeki muhtemel faylar yüzeyden itibaren yaklaşık 1500 metre derinliğe kadar uzanmaktadır. Düşük özdirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m özdirençli birim ise orta-üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pçgm), şist (pçş) ve mermerlere(pçmr), karşılık gelen temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır. En alt seviye de profilin orta kesiminde, yüksek özdirençli, birimler arasında düşük özdirençli yapı görülmektedir. Bu tür yapılar alt kabuktan üst kabuğa doğru yükselmiş, sıcak ve kısmen ergimeye uğramış magmatik kütleleri ya da derinlerden yüzeye yaklaşan ısı akısını işaret etmektedir. Çalışma sahasında ısıtıcı olarak volkanik bir etkinlik olmadığı için bu iletken anomaliler yüzeye yaklaşan ısı anomalisi olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.5 KG3 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

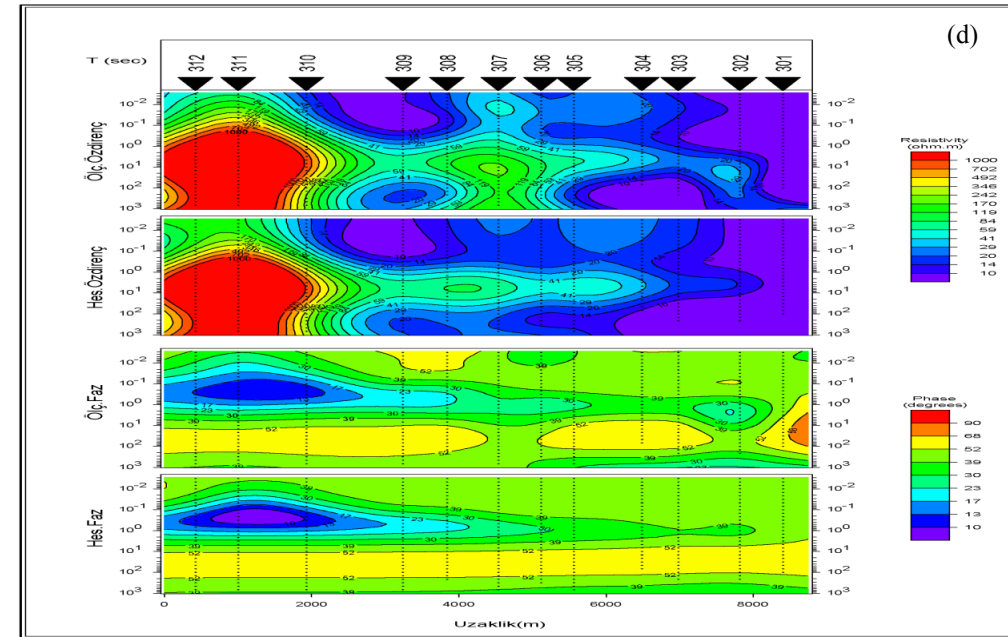
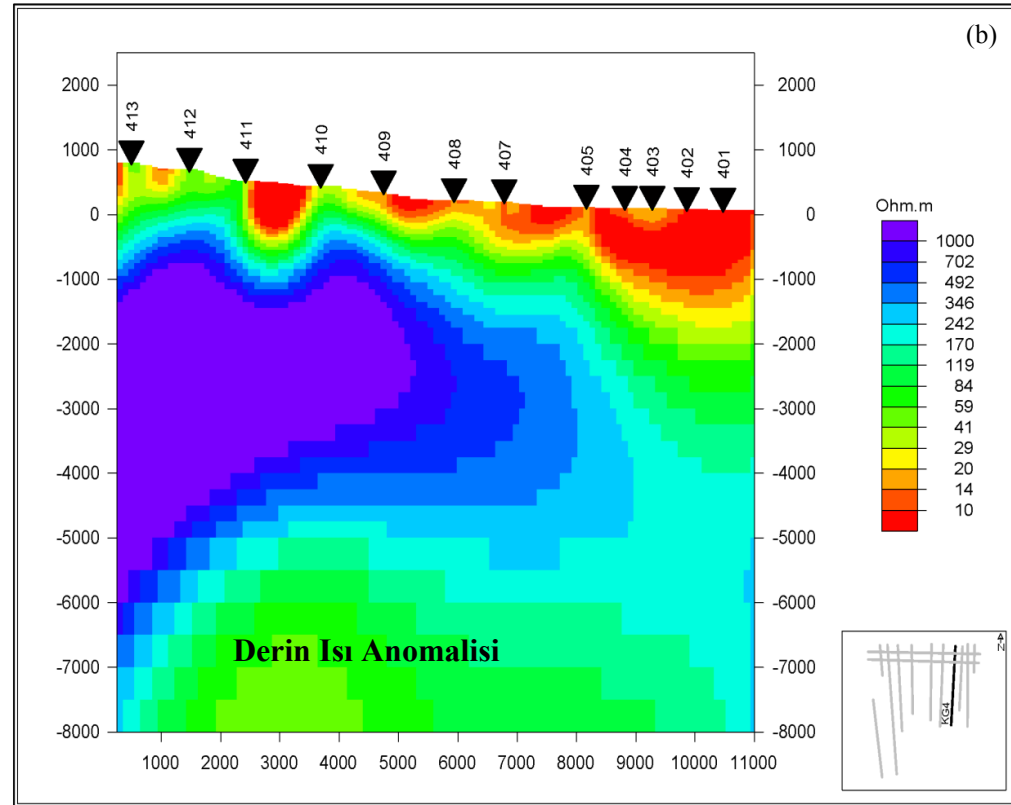
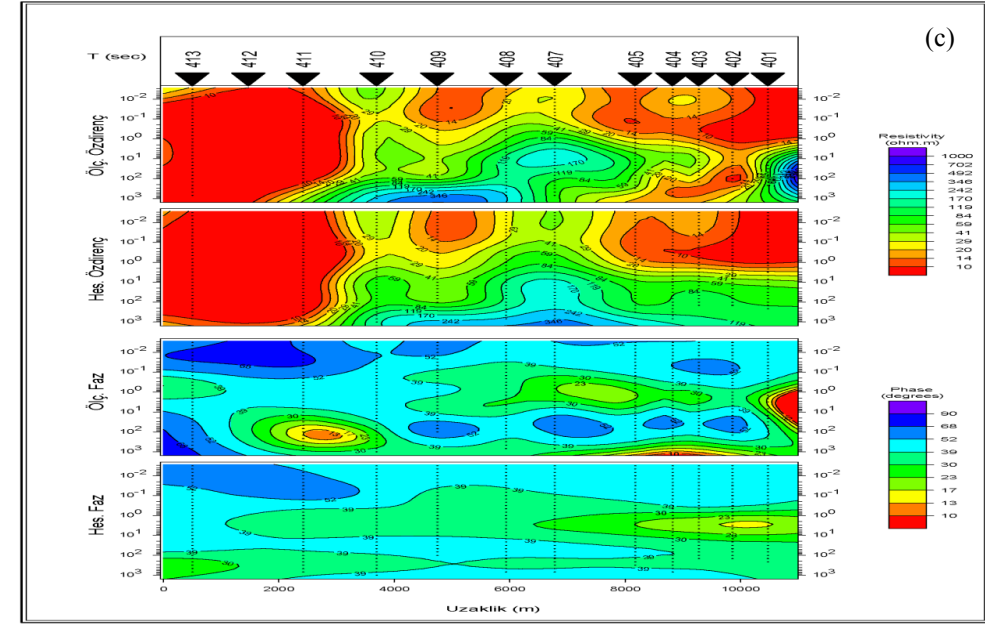
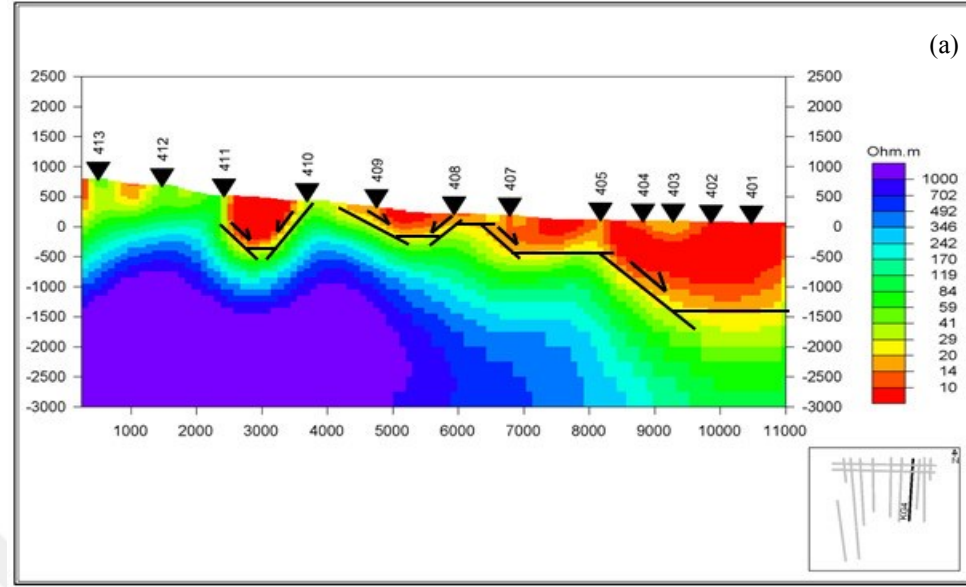
4.4.1.1.4. KG4 profili

KG4 profili boyunca 12 adet istasyonda 10000 Hz- 0.001 Hz frekans aralığında, görünür özdirenç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.6). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 140x116 hücreli model ağı kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 2.64 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B özdirenç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.6' da görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, özdirenç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük özdirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük özdirençli(10-14ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir. Bu birimler içerisinde muhtemel sıcak su etkisi olduğu düşünülmektedir. Örtü birim içerisinde, 411-410, 410-409, 409-408 ve 405-404 MT noktaları arasında düşen yapılar içerisindeki muhtemel faylar yüzeyden itibaren yaklaşık 1500 metre derinliğe kadar uzanmaktadır.

Düşük özdirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m özdirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, KG4 profilinin güneyinde temel birim Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (p_{egm}), şist (p_{eş}) ve mermerlere (p_{emr}), karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır. 29-59 ohm.m düşük özdirençli yapı görülmektedir. Bu tür yapılar alt kabuktan üst kabuğa doğru yükselmiş, sıcak ve kısmen ergimeye uğramış magmatik kütleleri ya da derinlerden yüzeye yaklaşan ısı akısını işaret etmektedir.



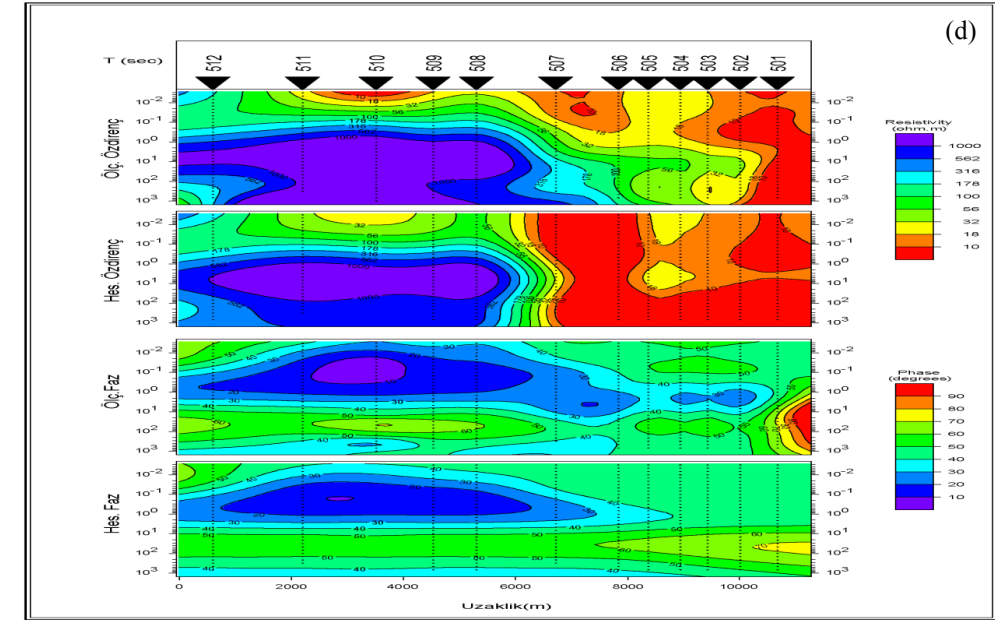
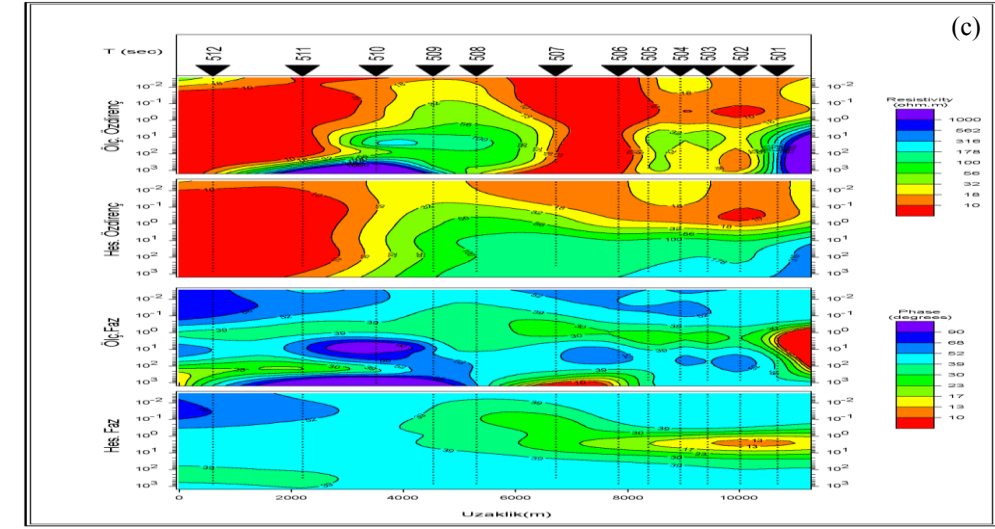
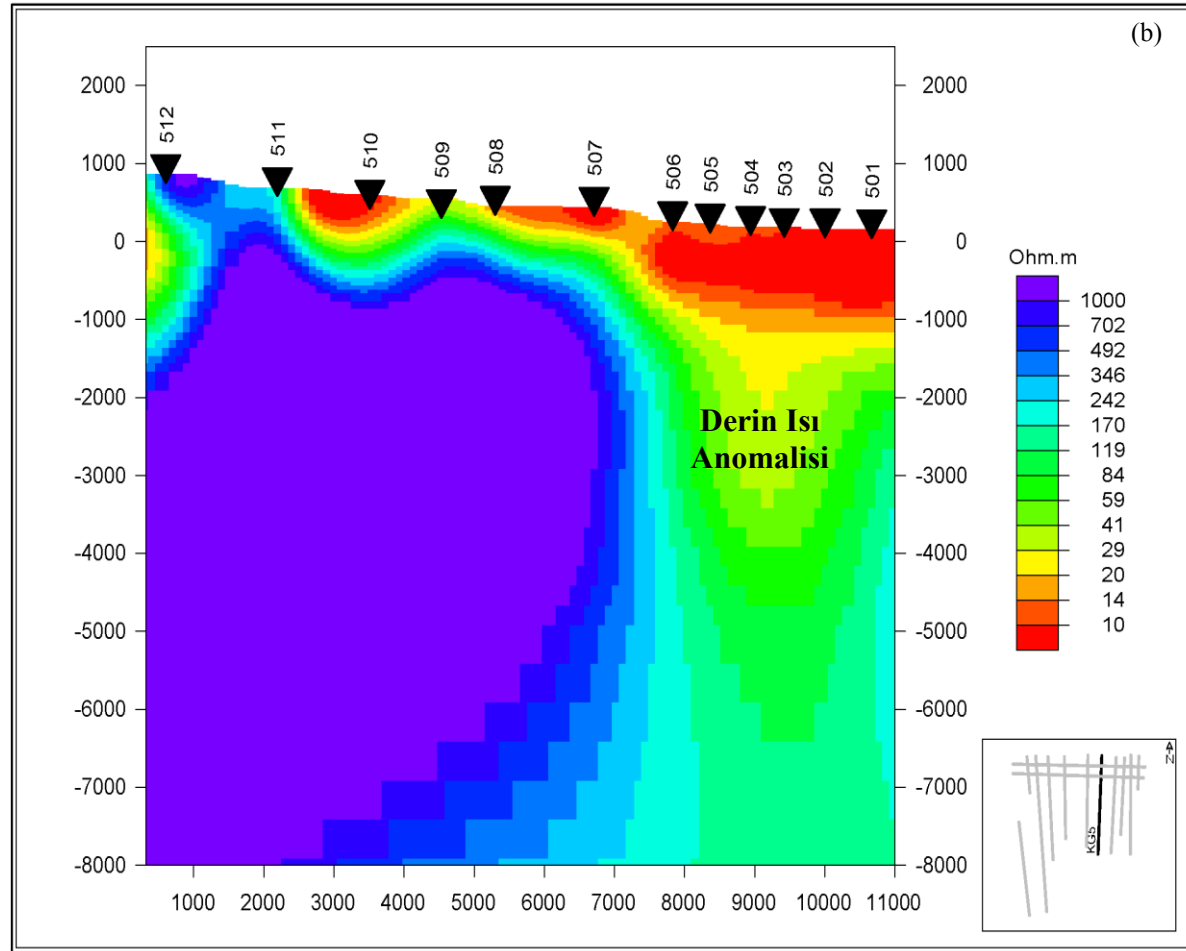
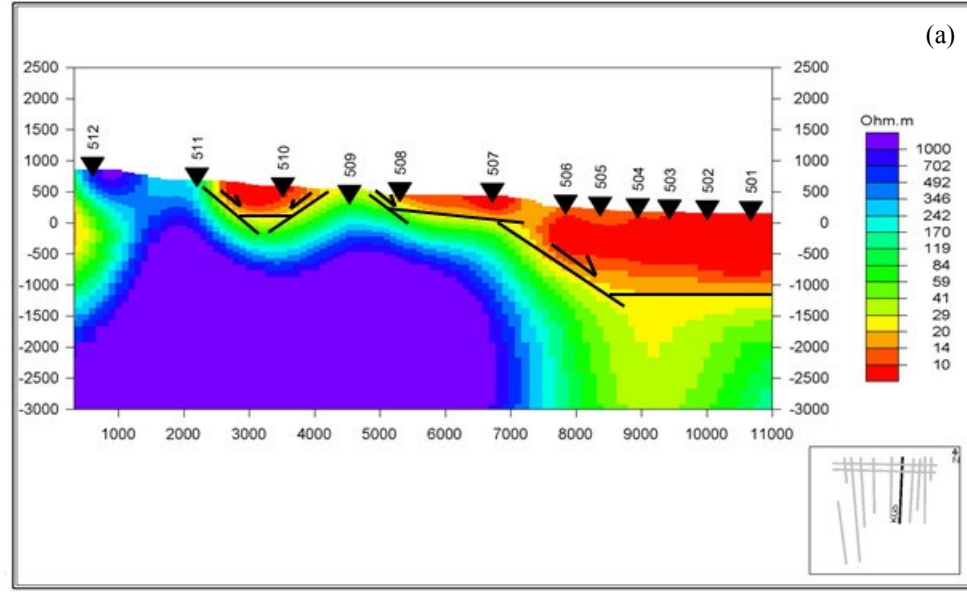
Şekil 4.6. KG4 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

4.4.1.1.5. KG5 profili

KG5 profili boyunca 12 adet istasyonda 10000 Hz- 0.001 Hz frekans aralığında, görünür özdirenç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.7). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 152x141 hücreli model ağı kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 1.97 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B özdirenç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.7 'de görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, özdirenç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük özdirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük özdirençli(10-14ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir. Bu birimler içerisinde muhtemel sıcak su etkisi olduğu düşünülmektedir. Örtü birim içerisinde, 509-508, 507-506 noktaları arasında düşen yapılar içerisindeki muhtemel faylar yüzeyden itibaren yaklaşık 1100 metre derinliğe kadar uzanmaktadırlar. Düşük özdirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m özdirençli birim ise orta-üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (Pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları(jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, temel birimler ise Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays(pçgm), şist(pçş) ve mermerlere(pçmr), karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır. Profilin kuzeyinde, derinlerde 506-501 noktaları arasındaki 29-59 ohm.m özdirençli düşük özdirençli yapı görülmektedir. Bu tür yapılar alt kabuktan üst kabuğa doğru yükselmiş, sıcak ve kısmen ergimeye uğramış magmatik kütleleri ya da derinlerden yüzeye yaklaşan ısı akısını işaret etmektedir. Çalışma sahasında ısıtıcı olarak volkanik bir etkinlik olmadığı için bu iletken anomaliler yüzeye yaklaşan derin ısı anomalisi olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.7. KG5 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

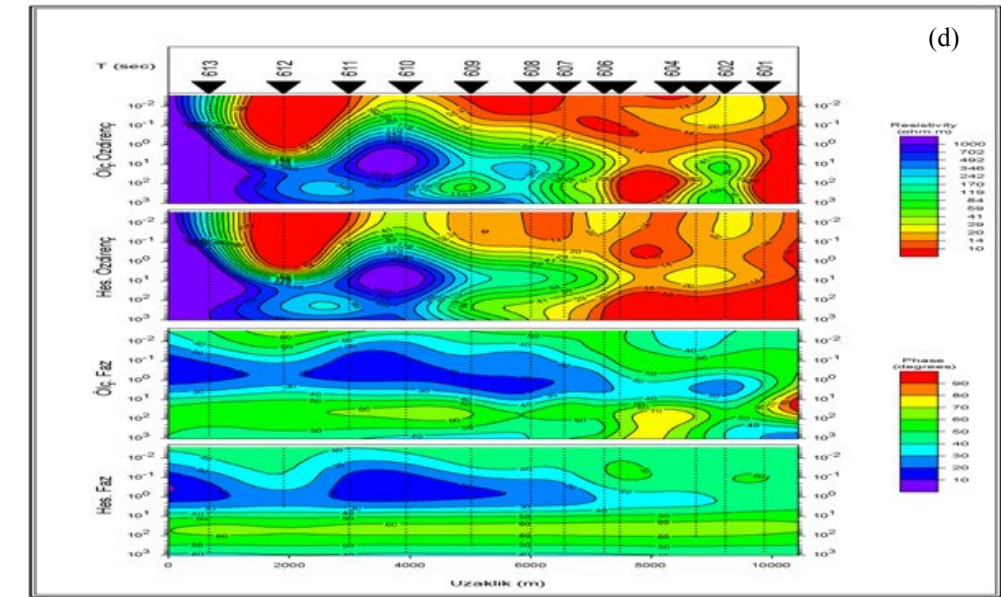
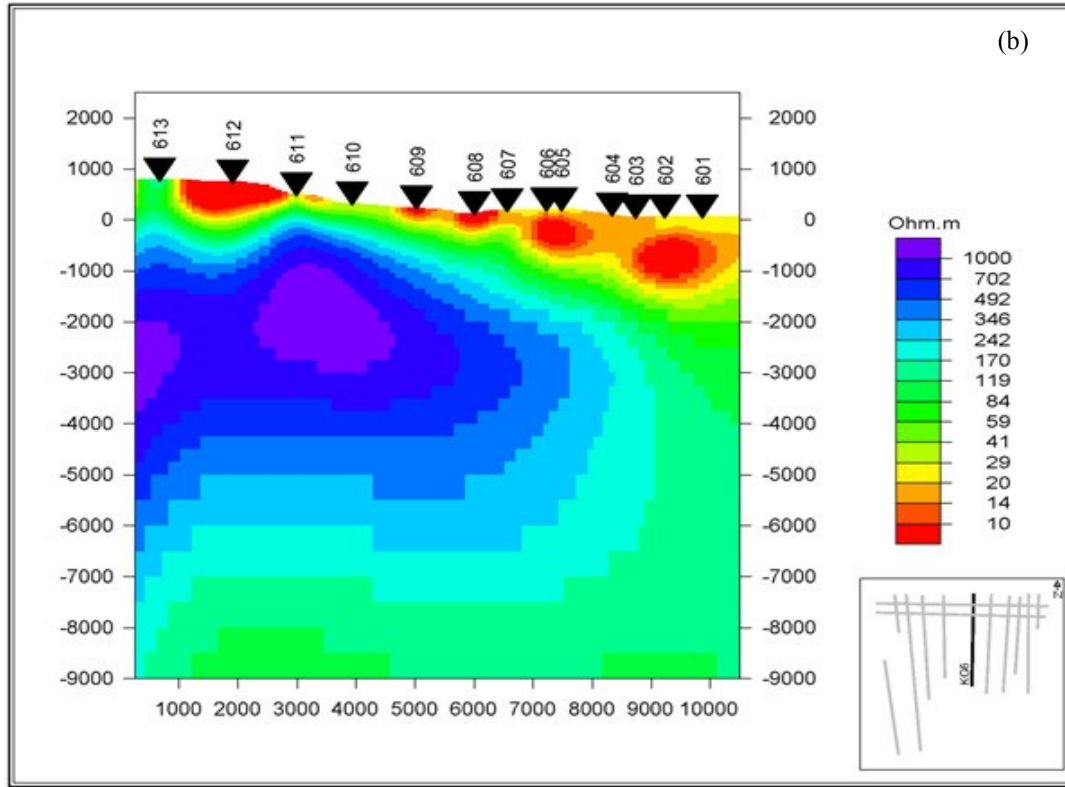
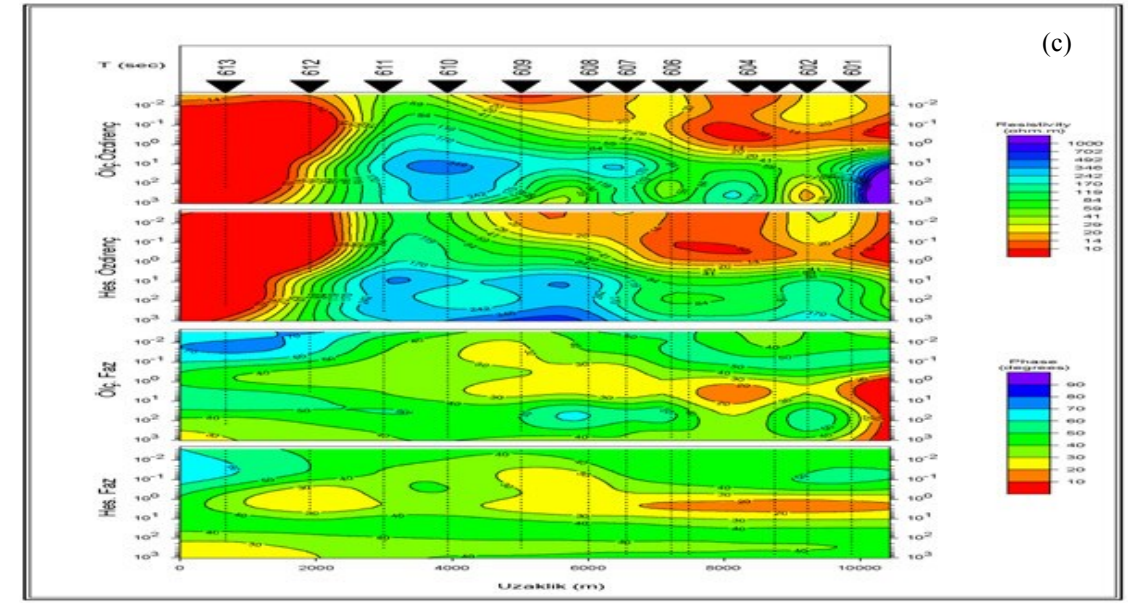
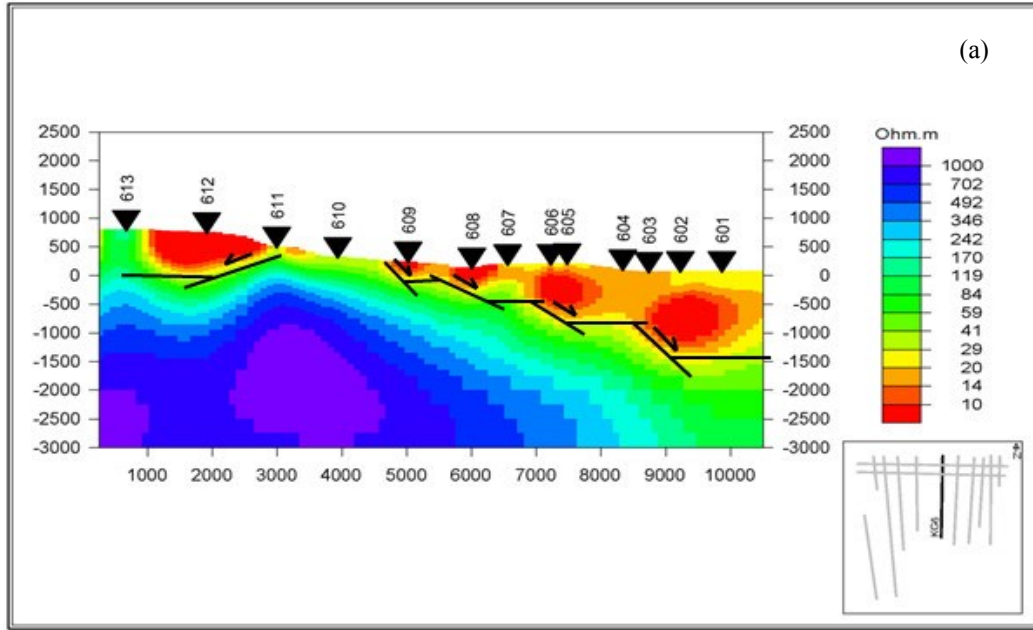
4.4.1.1.6. KG6 profili

KG6 profili boyunca 13 adet istasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür öz direnç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.8). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 141x120 hücreli model ağı kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 3.07 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B öz direnç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.8’ de görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, öz direnç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük öz dirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük öz dirençli(10-14ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu(Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı(pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir. Örtü birim içerisinde, 612-611, 610-609, 609-608, 606-605,603-602, MT noktaları arasında düşen yapılar içerisindeki muhtemel faylar yüzeyden itibaren yaklaşık 1400 metre derinliğe kadar uzanmaktadırlar.

Düşük öz dirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m öz dirençli birim ise orta-üst paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), jura-kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, profilin temelinde ısı anomalisi olarak kabul edebileceğimiz net iletken yapılara rastlanılmamıştır. Profilin en alt seviyesinde 613-605 noktaları arasında kalan kısımda temel birimler hakim olmuştur. Temel birim ise Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pegm), şist (peş) ve mermerlere (pembr), karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek öz dirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır.



Şekil 4.8. KG6 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

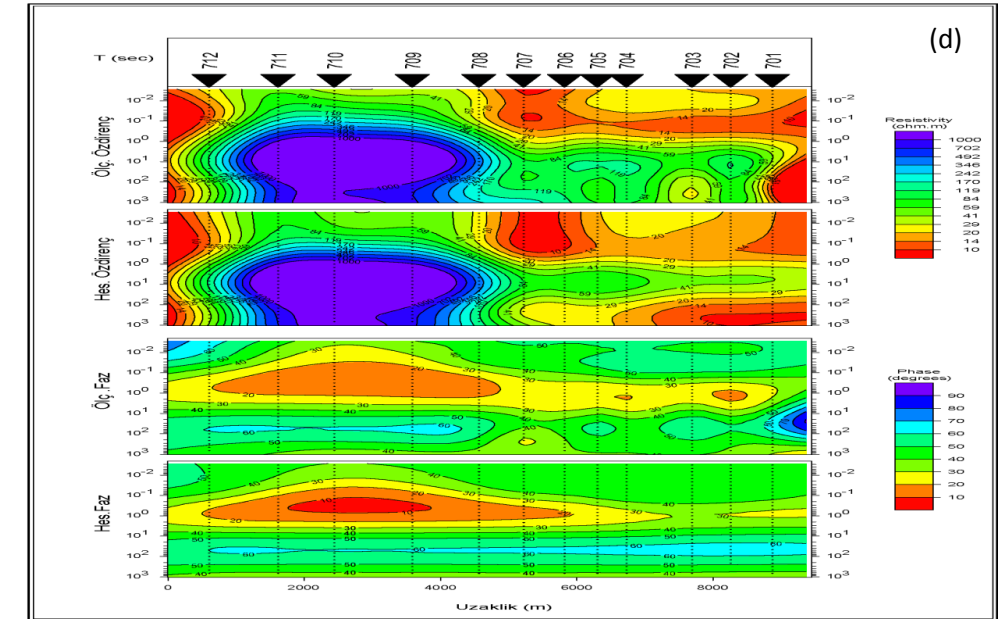
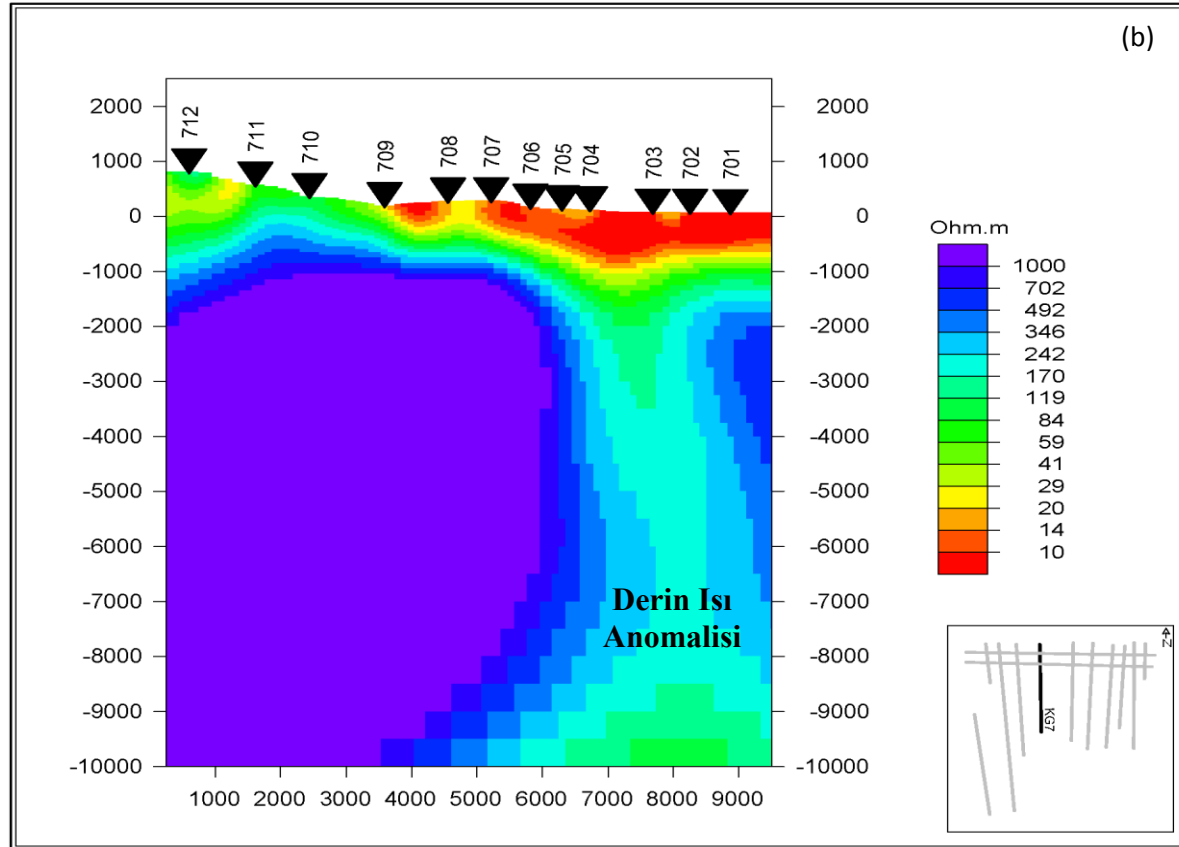
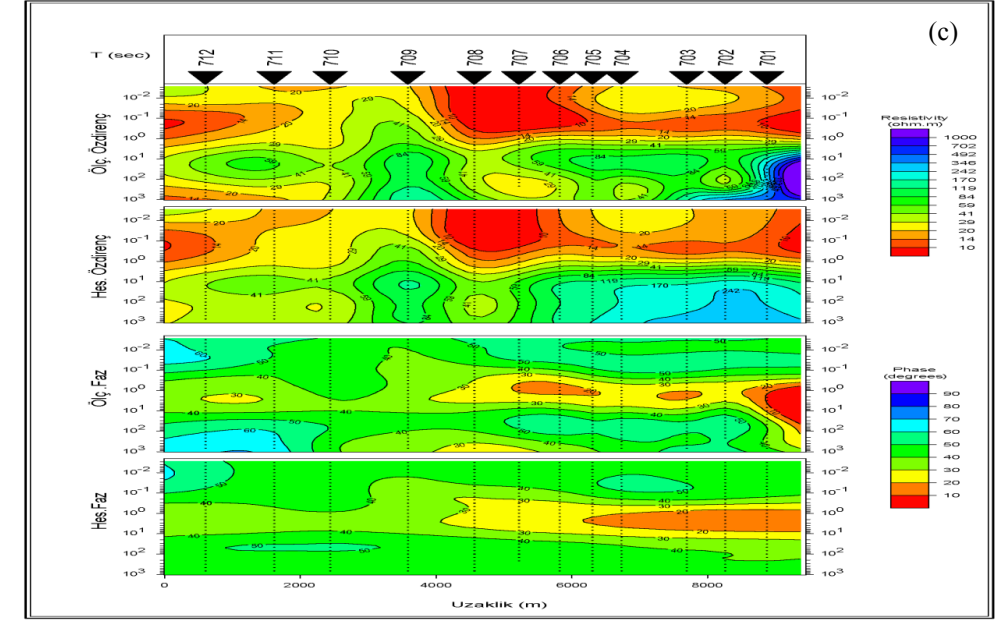
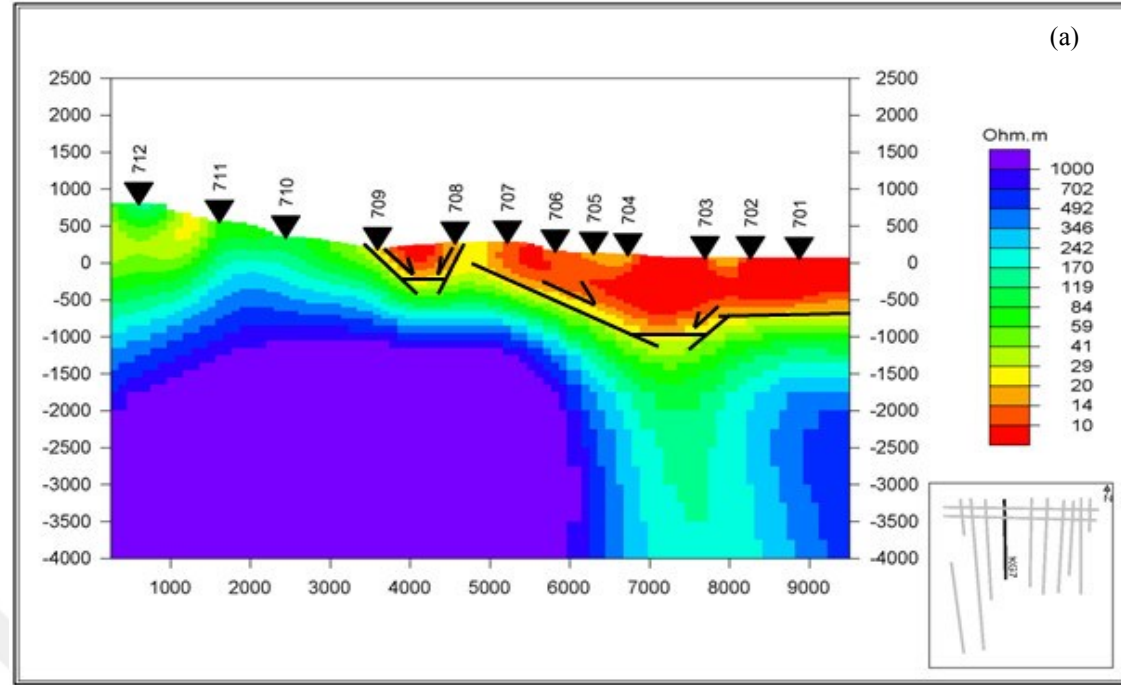
4.4.1.1.7. KG7 profili

KG7 profili boyunca 12 adet istasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür özdirenç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.9). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 138x107 hücreli model ağ kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 1.07 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B özdirenç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.9’da görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, özdirenç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük özdirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük özdirençli(10-14ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir. Örtü birim içerisinde, 710-709, 707-704, 703-702 MT noktaları arasında düşen yapılar içerisindeki muhtemel faylar yüzeyden itibaren yaklaşık 700 metre derinliğe kadar uzanmaktadır.

Düşük özdirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m özdirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, profilin en alt seviyesinde 712 -705 noktaları arasında kalan kısımda yer alan temel birim ise prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pçgm), şist (pçş) ve mermerlere (pçmr) karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır. Profilin kuzeyinde, derinlerde 705-701 noktaları arasındaki 29-242 ohm.m özdirençli iletken bir yapı görülmektedir. Bu tür yapılar alt kabuktan üst kabuğa doğru yükselmiş, sıcak ve kısmen ergimeye uğramış magmatik kütleleri ya da derinlerden yüzeye yaklaşan ısı akısını işaret etmektedir. Çalışma sahasında ısıtıcı olarak volkanik bir etkinlik olmadığı için bu iletken anomaliler yüzeye yaklaşan derin ısı anomalisi olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.9. KG7 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

4.4.1.1.8. KG8 profili

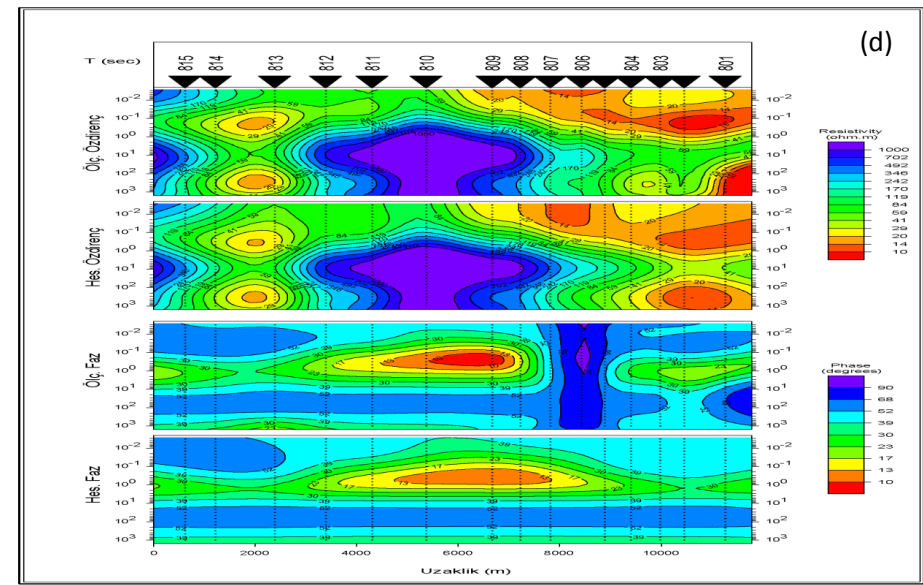
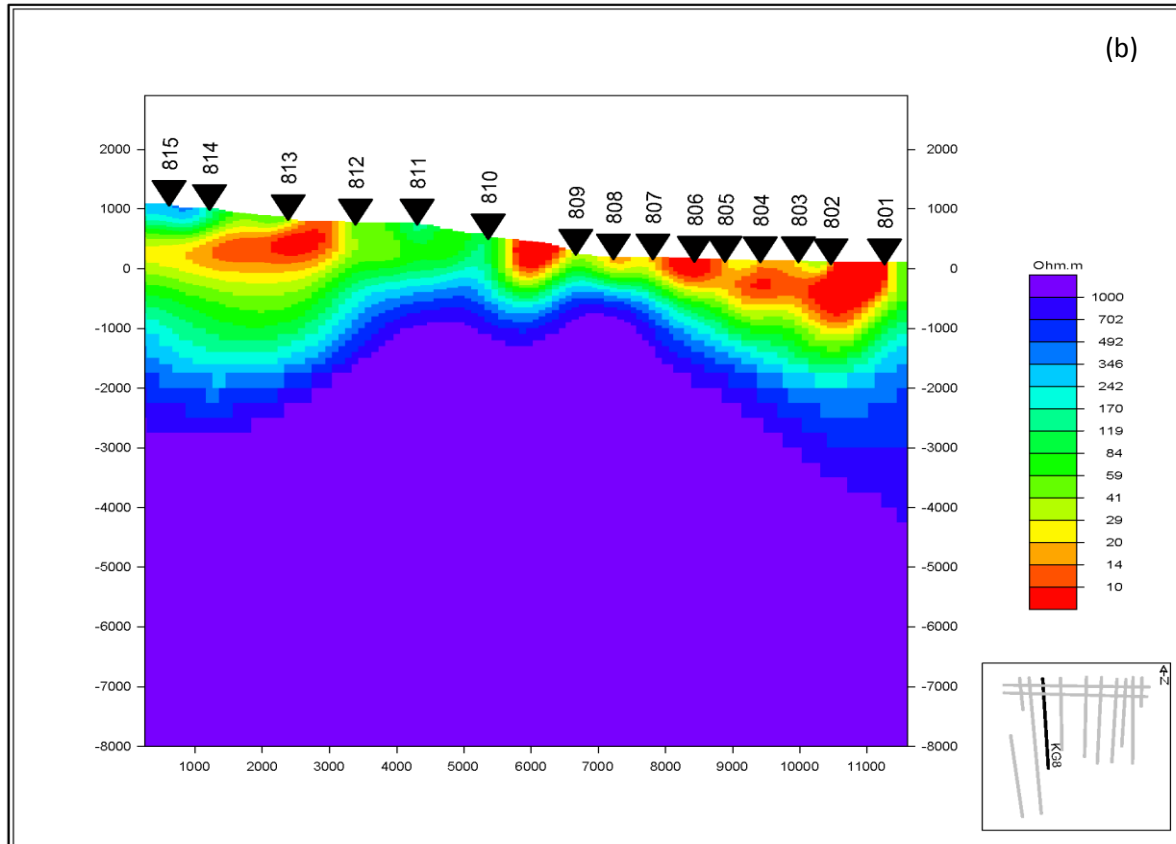
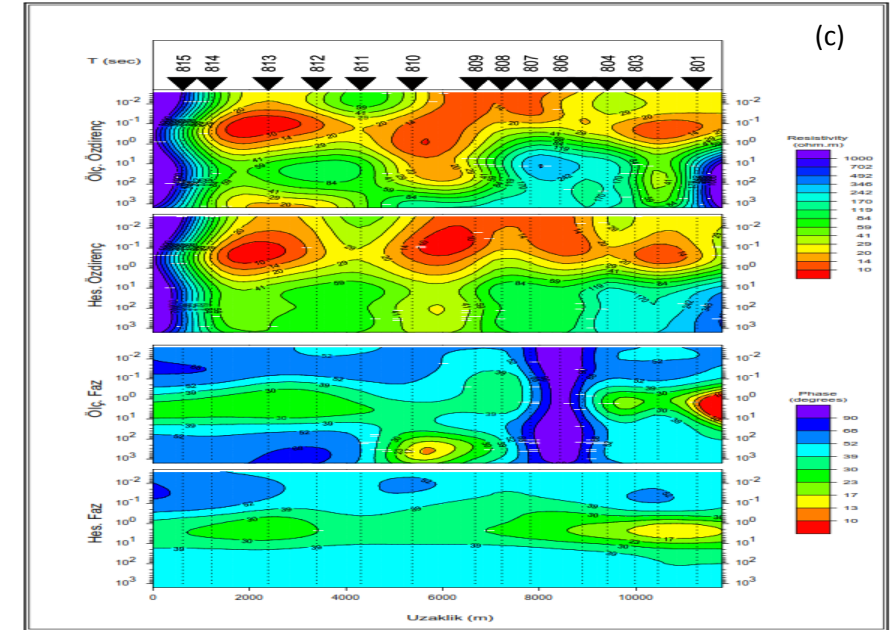
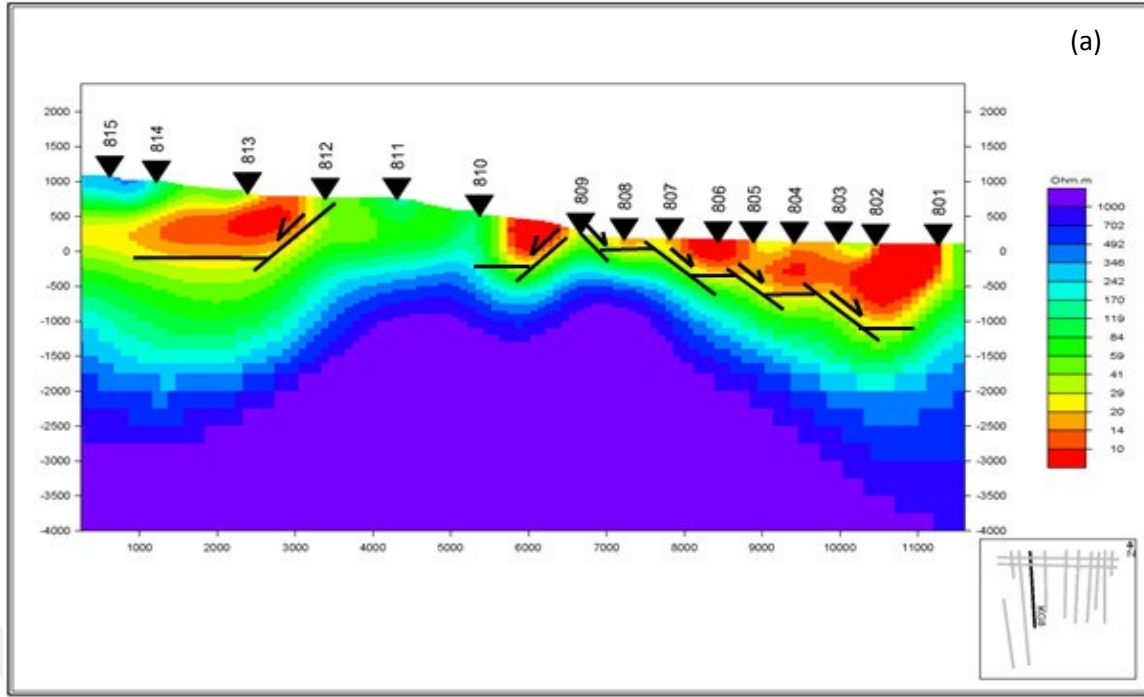
KG8 profili boyunca 15 adet istasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür özdirenç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.10). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 175x133 hücreli model ağ kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 2.68 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B özdirenç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.10' da görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, özdirenç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük özdirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük özdirençli(10-14ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir.

Örtü birim içerisinde, 812-813, 810-809, 809-808, 807-806, 805-804, 803-802 MT noktaları arasında düşen yapılar içerisindeki muhtemel faylar yüzeyden itibaren yaklaşık 1000 metre derinliğe kadar uzanmaktadır.

Düşük özdirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m özdirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, sahanın güneybatısına doğru gidildikçe derinlerde, temel birimlerin etkisi, yüksek özdirenç (346-1000 ohm.m) değerleriyle giderek belirmektedir. Profilin en alt seviyesinde temel birim ise Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pçgm), şist (pçş) ve mermerlere (pçmr), karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır.



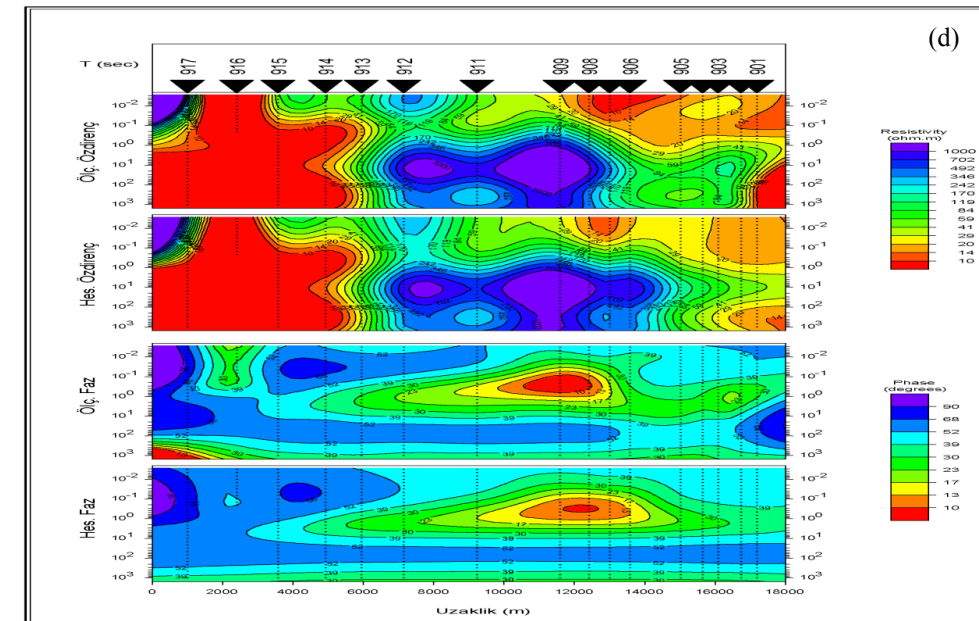
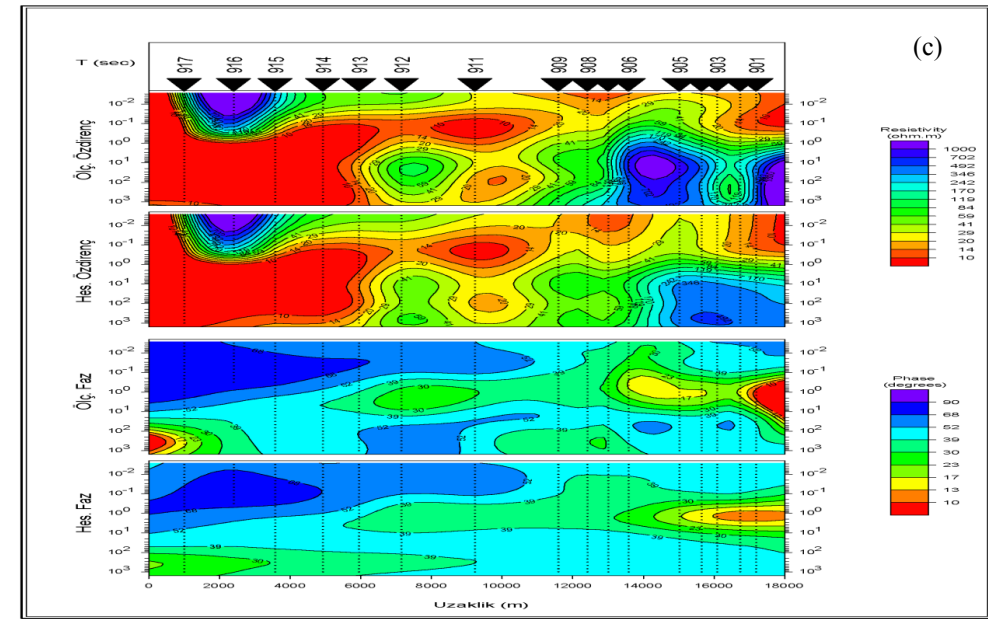
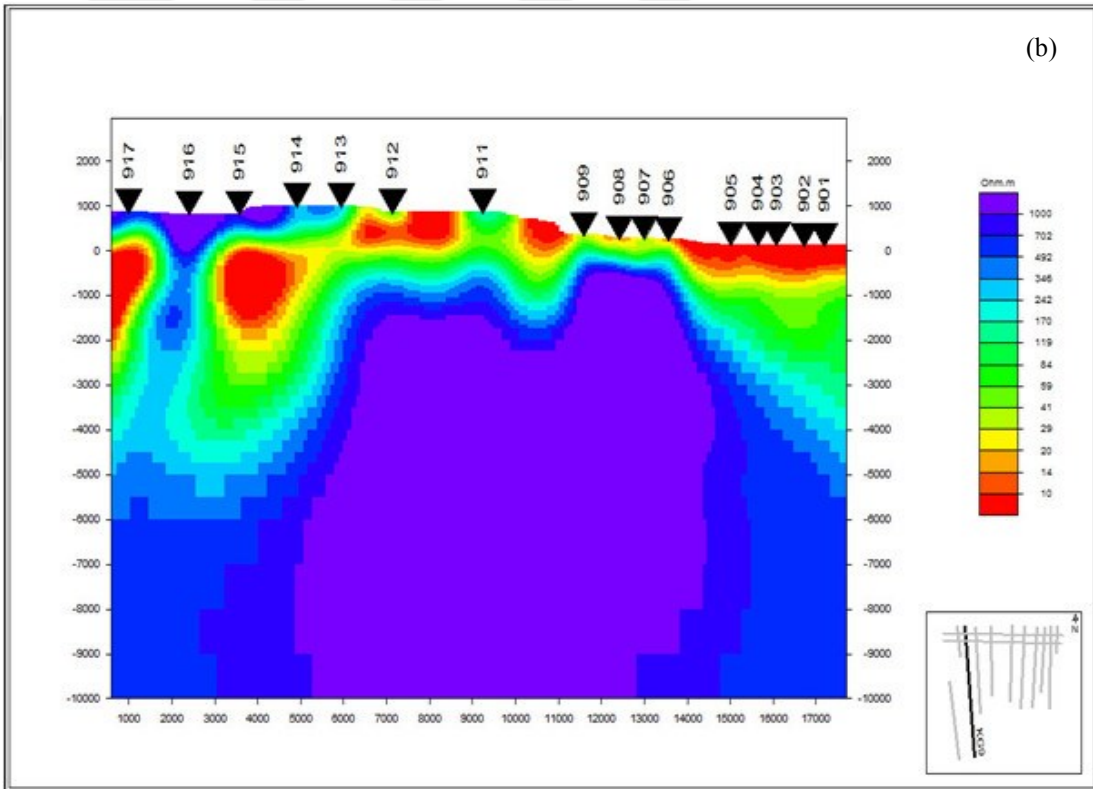
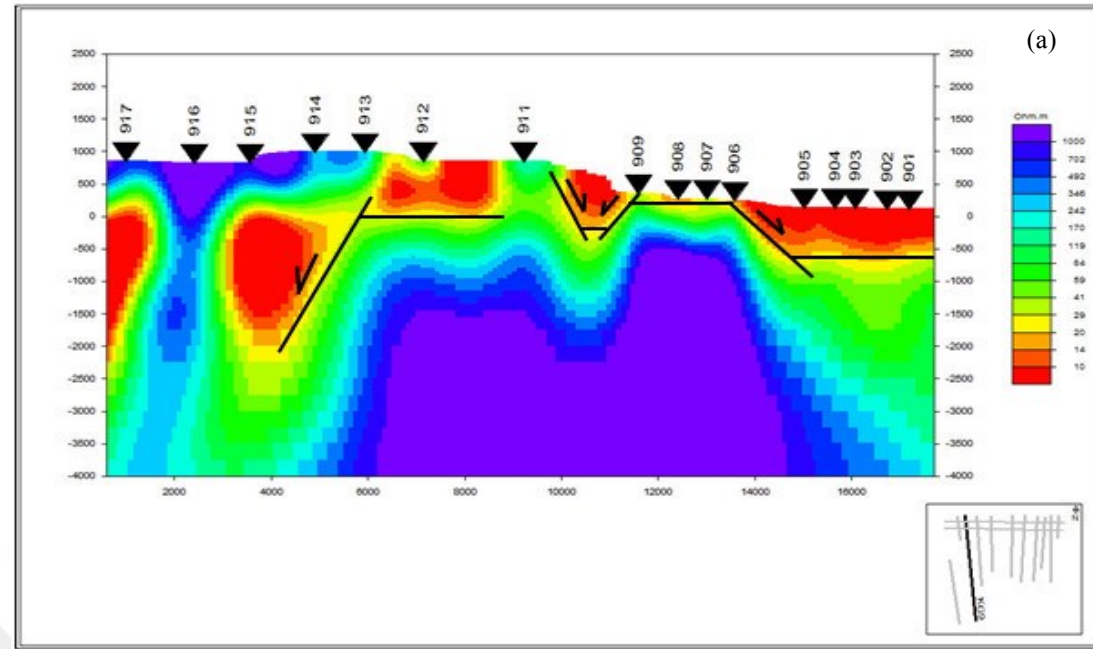
Şekil 4.10. KG8 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

4.4.1.1.9. KG9 profili

KG9 profili boyunca 16 adet istasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür özdirenç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.11). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 164x191 hücreli model ağ kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 2.86 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B özdirenç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.11’ de görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, özdirenç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük özdirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük özdirençli(10-14ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere denk gelmektedir. Örtü birim içerisinde, 914-913, 911-909, 906-905 MT noktaları arasında düşen yapılar içerisindeki muhtemel faylar yüzeyden itibaren yaklaşık 2000 metre derinliğe kadar uzanmaktadırlar. 913 ve 915 MT istasyonları arasındaki düşük özdirençli yapı, Paleozoyik şistler içerisindeki grafitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla bu iletken kütlenin bulunduğu alan da jeotermal etki yoktur. Düşük özdirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m özdirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, profilin en alt seviyesinde temel birim ise Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pəgm), şist (pəş) ve mermerlere(pəmr), karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır. Sahanın güneyine doğru gidildikçe derinlerde, temel birimlerin etkisi yüksek özdirenç değerleriyle giderek belirmektedir.



Şekil 4.11. KG9 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

4.4.1.1.10. KG10 profili

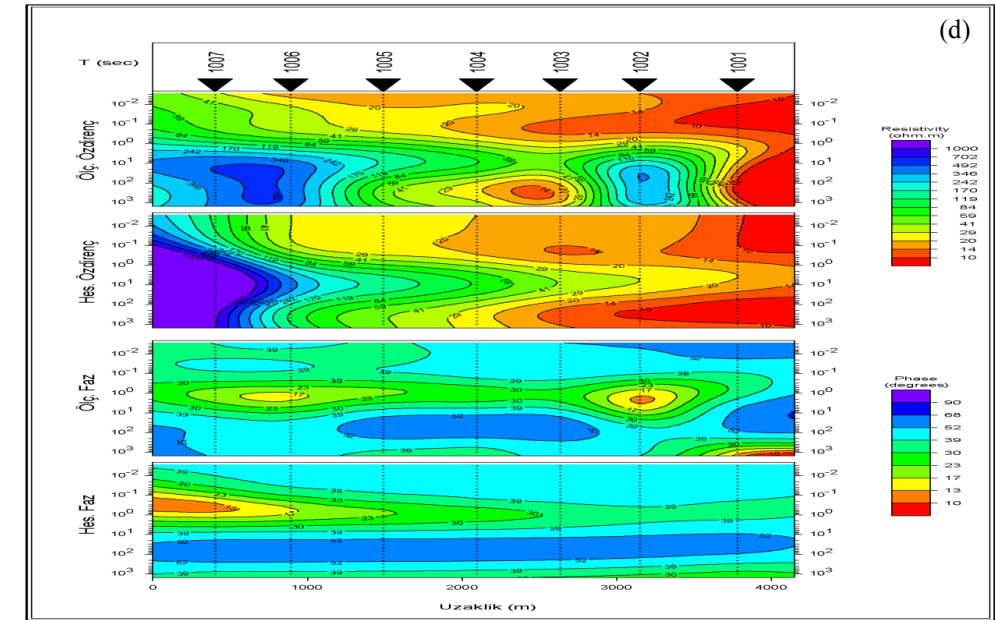
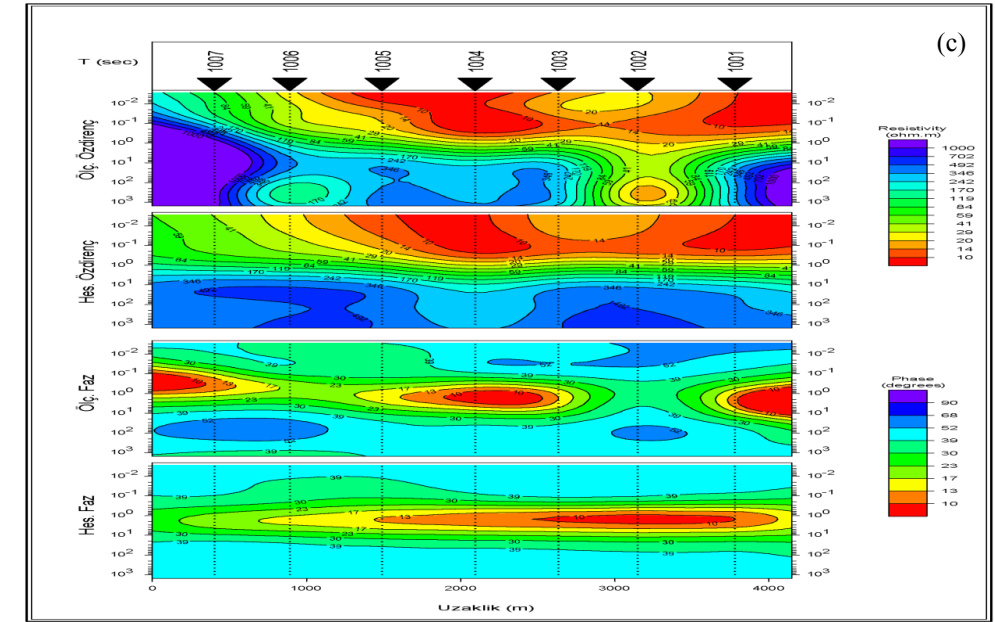
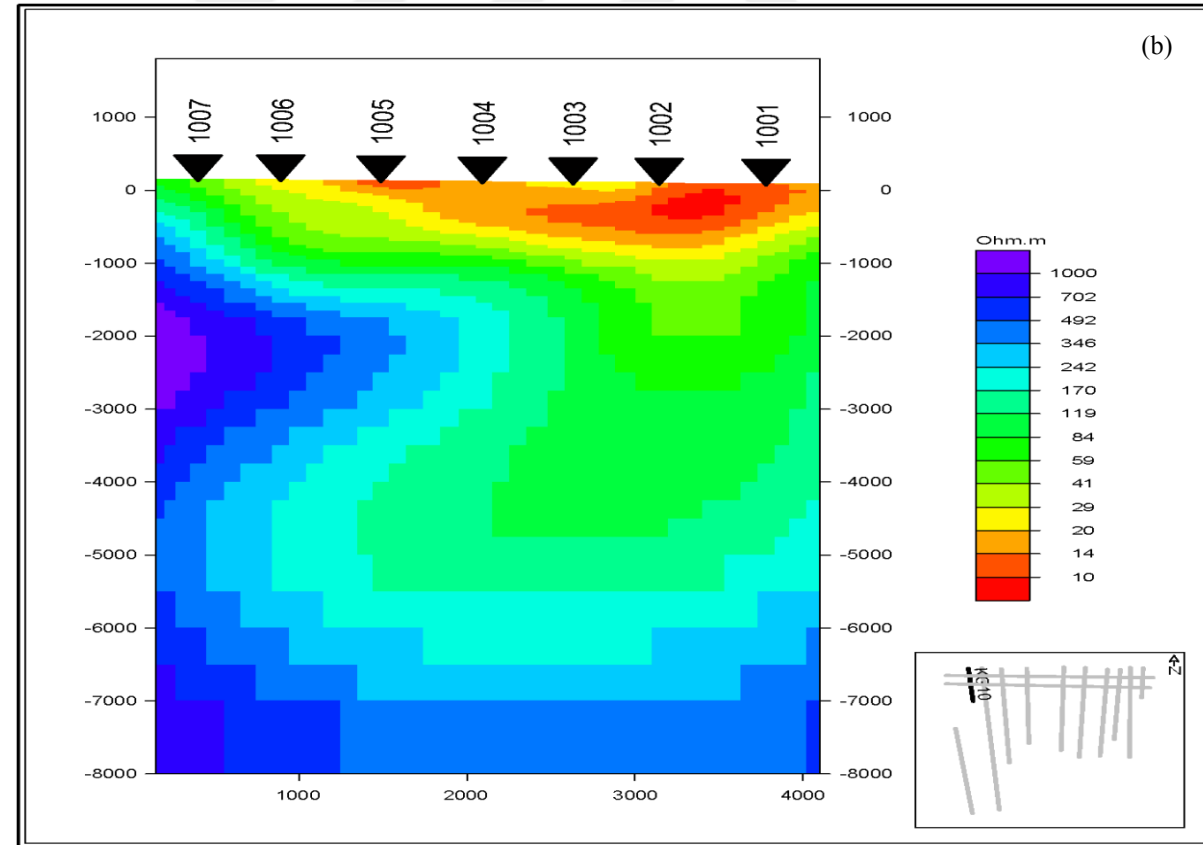
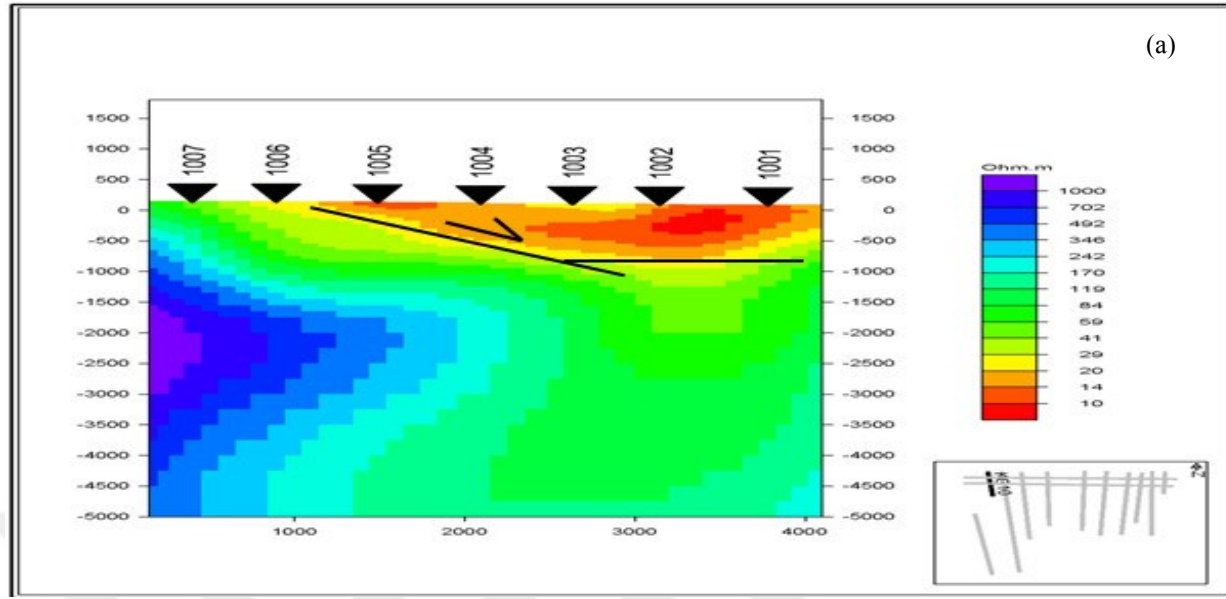
KG10 profili boyunca 7 adet istasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür özdirenç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.12). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 74x58 hücreli model ağ kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 1.39 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B özdirenç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.12’ de görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde özdirenç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük özdirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük özdirençli(10-14ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, üst pliyosen+alt-orta miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere denk gelmektedir.

Örtü birim içerisinde, 1006-1005-1004-1003 MT noktaları arasında düşen yapı içerisindeki muhtemel fay yüzeyden itibaren yaklaşık 800 metre derinliğe kadar uzanmaktadırlar.

Düşük özdirençli örtü birimin altında yer alan 29-119 ohm. m özdirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, profilin en alt seviyesinde temel birim ise Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pçgm), şist (pçş) ve mermerlere(pçmr), karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır.



Şekil 4.12. KG10 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

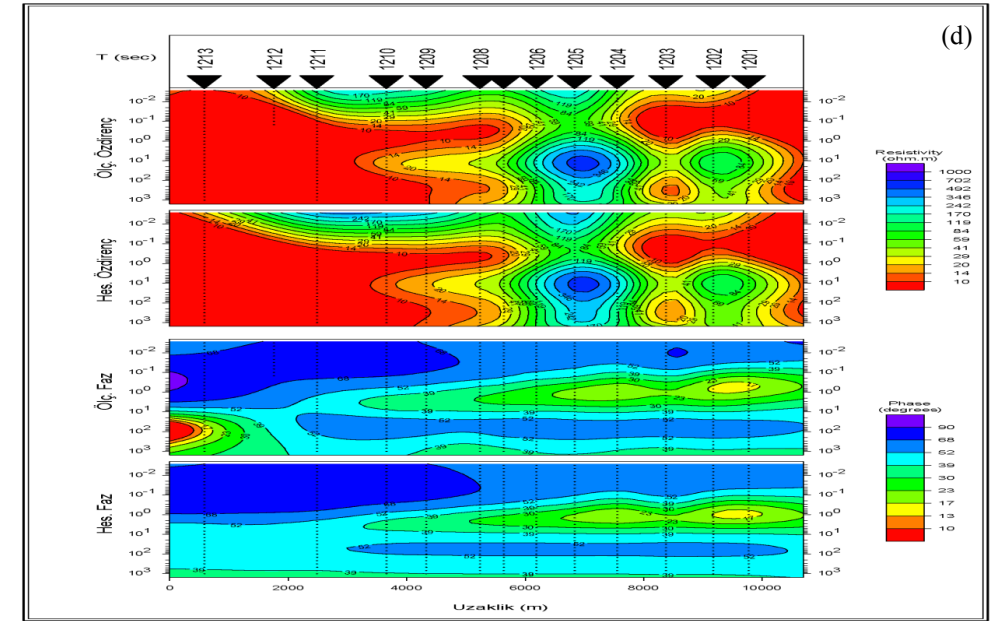
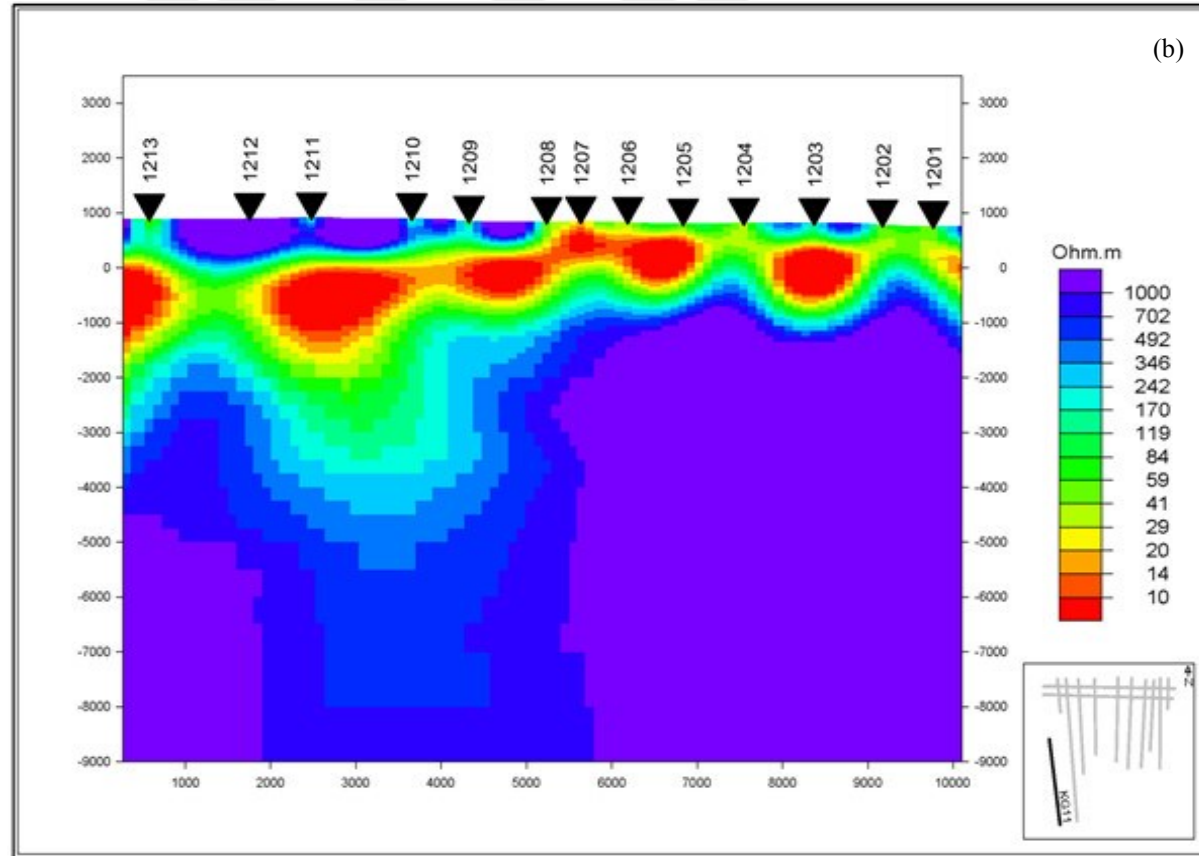
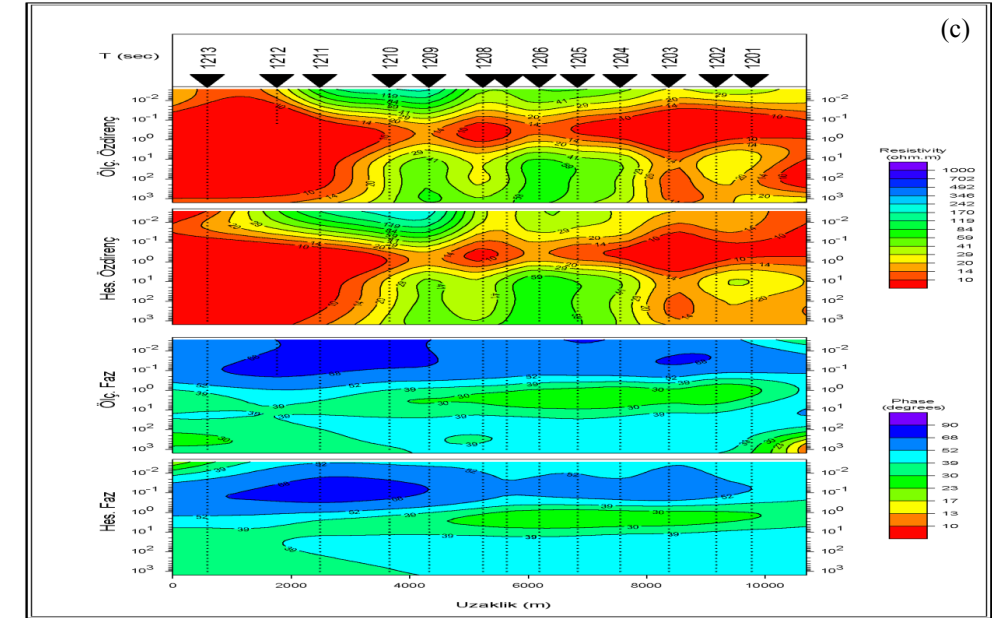
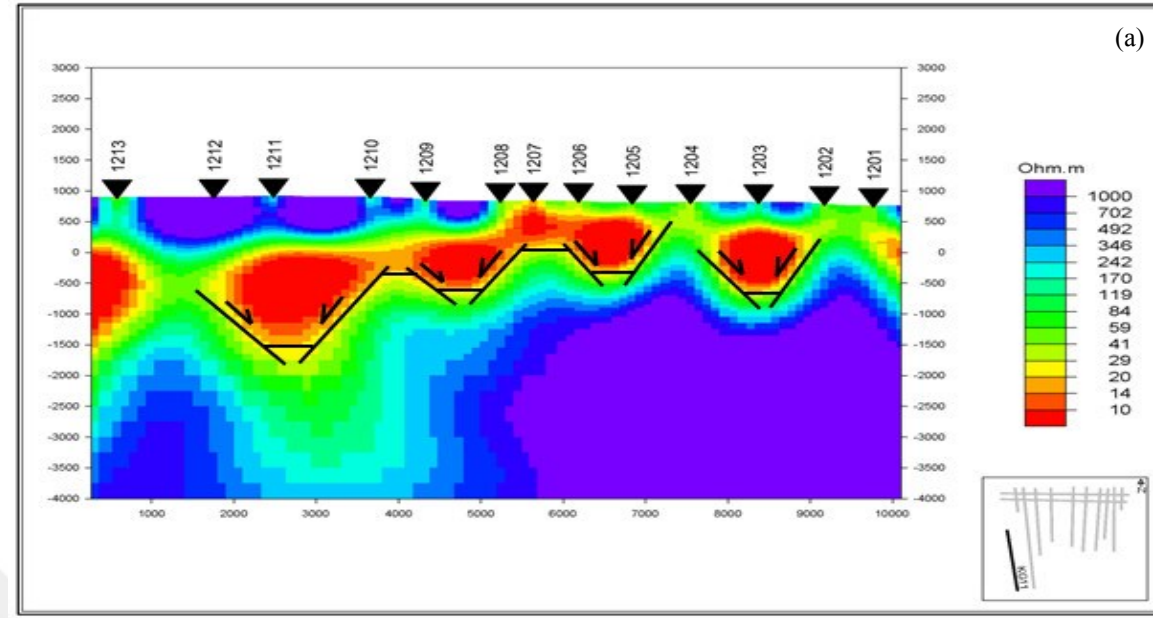
4.4.1.1.11. KG11 profili

KG11 profili boyunca 13 adet ıasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür özdirenç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.13). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 153x116 hücreli model ağ kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 3.16 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B özdirenç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.13' te görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, özdirenç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Profil boyunca düşük özdirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük özdirençli(10-14ohm.m) bu birim, alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir. Horst üzerinde kalan profilde örtü birim içerisinde, 1212-111, 1210-1209, 1208-1207, 1207-1206, 1205-1204,1204-1203, 1203-1202 MT noktaları arasında muhtemel faylar görülmekte ve derinlikleri yüzeyden itibaren yaklaşık 1500 metre derine kadar uzanmaktadırlar.

Düşük özdirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m özdirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları(jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Derin profili incelendiğinde, profilin en alt seviyesinde temel birim ise Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pegm), şist (peş) ve mermerlere (pembr), karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır.



Şekil 4.13. KG11 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

4.4.1.2. Doğu-batı profillerinin yorumu

Çalışma sahasında, doğu-batı yönünde 2 adet profilde ki MT ölçüleri, Gediz Grabenine paralel oluşturularak modellenmiştir. Bunun sonucunda grabenin içinde öz direnç değişimleri incelenerek muhtemel ısıtıcı olabilecek iletken anomaliler belirlenmeye çalışılmıştır.

4.4.1.2.1. DB1 profili

DB1 profili boyunca 17 adet istasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür öz direnç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.14) Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 74x143 hücreli model ağ kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 2.78 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B öz direnç modeli (sığ ve derin), TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.14'te görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde, kuzey-güney profillerine göre düşük öz dirençli (10-14 ohm.m) örtü birim, içerisinde sıcaklık etkisiyle daha kalın iletken birimler yüzeyden itibaren derinlere doğru dalmaktadır (702-602 MT noktaları arasında). Bu iletken birimler, alüvyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı(pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir.

DB1 profilinde ölçü noktalarının tümü graben içerisinde kalmakla birlikte örtü birim içerisinde, 1002-902, 902-802, 702-602, B7-B6, B2-B1 MT noktaları arasında muhtemelen sıyrılma fayları görülmektedir. Bu fayların derinlikleri yüzeyden itibaren yaklaşık 3000-3500 metre derinlere kadar uzanmaktadır. Düşük öz dirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m öz dirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları(jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Graben sistemlerindeki jeotermal sahalarda düşük özdirençli zonlar da altere killerden ziyade, ince taneli tortul bir istifin özelliğinden kaynaklanmakta ve bu tür yerler grabenin görece derin kesimlerine işaret eder. Bu tür sahalarda faylar ve özellikle bir birini dike yakın doğrultularda kesen fayların kesiştiği bölgeler jeotermal arama açısından hedef bölgelerdir (Cumming, 2009). Sığ kesitte, 702 ile 602 MT noktaları arasında 2500 metre derindeki düşük özdirençli (<14 ohm.m), zon halen sıcaklığını koruyan bir kütle olup bu kısımlar jeotermal enerji açısından hedeflenmesi gereken jeotermal sondaj lokasyonudur.

Bargu vd. (1991)' tarafından Büyük Menderes Grabeni ve Küçük Menderes Grabeninin yapısal özelliklerini açıkladıkları çalışmada, graben içi, graben sistemine benzer erken orta miyosen havza oluşumlarını kontrol eden KB-KD gidi li eski graben çökelim alanlarının olduğunu anlatmaktadırlar. Gediz Grabeninde kalan çalışma sahasındaki DB1 profilindeki 702-602 MT istasyonlar arasında kalan yaklaşık 2500 metre kalınlıktaki kütlenin de graben içi graben sistemlerindeki çökelim alanı olarak yorumlanmıştır.

Derin profil incelendiğinde, temel birim Prekambriyen ve Paleozoyik ya lı migmatit, gnays (p gm),  ist (p  ) ve mermerlere (p mr), karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır.



Şekil 4.14. DB1 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür özdirenç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür özdirenç ve faz kesiti

4.4.1.2.2. DB2 profili

DB2 profili boyunca 10 adet istasyonda 10000 Hz-0.001 Hz frekans aralığında, görünür öz direnç ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 4.15). Başlangıç modeli olarak 100 ohm.m homojen yarı sonsuz ortam ve 73x144 hücreli model ağı kullanılmıştır. Ters çözüm sonunda % 1.99 karekök (RMS) hata ile ters çözüm sonucu elde edilen, 2B öz direnç modeli (sığ ve derin) TE ve TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri Şekil 4.15’ te görülmektedir.

Sığ yapı profili incelendiğinde öz direnç değişimleri ve süreksizlikler yapı kesitinde gösterilmiştir. Kuzey-güney profillerine göre DB2 profilinde, düşük öz dirençli (10-14 ohm.m) örtü birim, içerisinde sıcaklık etkisiyle daha kalın iletken birimler yüzeyden itibaren derinlere doğru dalmaktadır (704-604 MT noktaları arasında). Bu iletken birimler alivyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23-k) ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı(pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir.

DB2 profilin de ölçü noktalarının tümü graben içerisinde kalmakla birlikte örtü birim içerisinde, 1004-904, 904-804, 804-704, 204-104 MT noktaları arasında muhtemel faylar görülmektedir. Bu fayların derinlikleri yüzeyden itibaren yaklaşık 2500-3000 metre derinlere kadar uzanmaktadırlar.

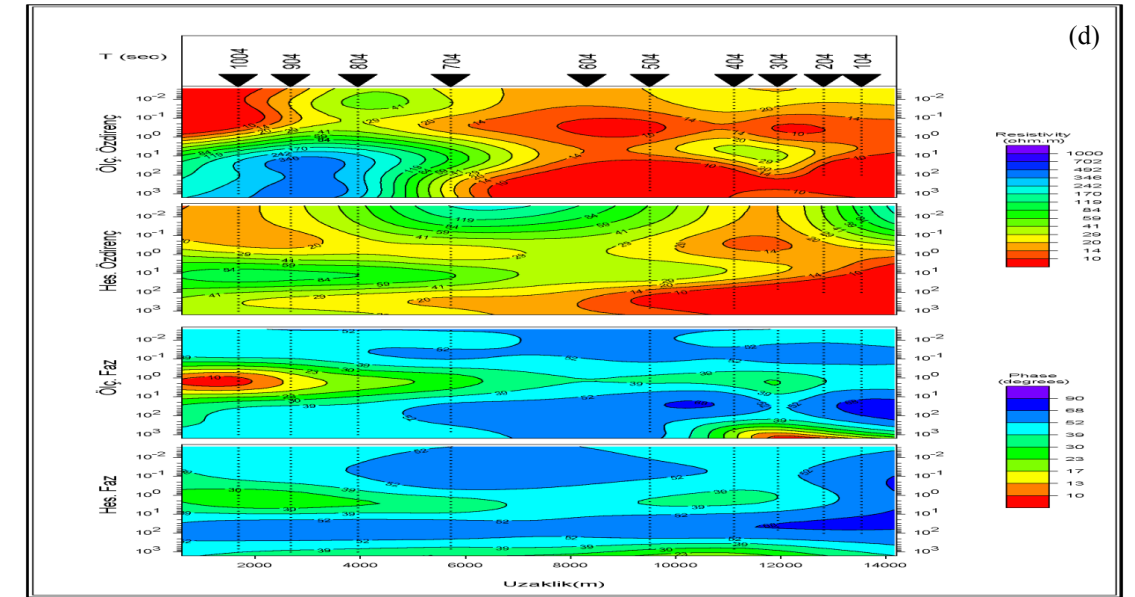
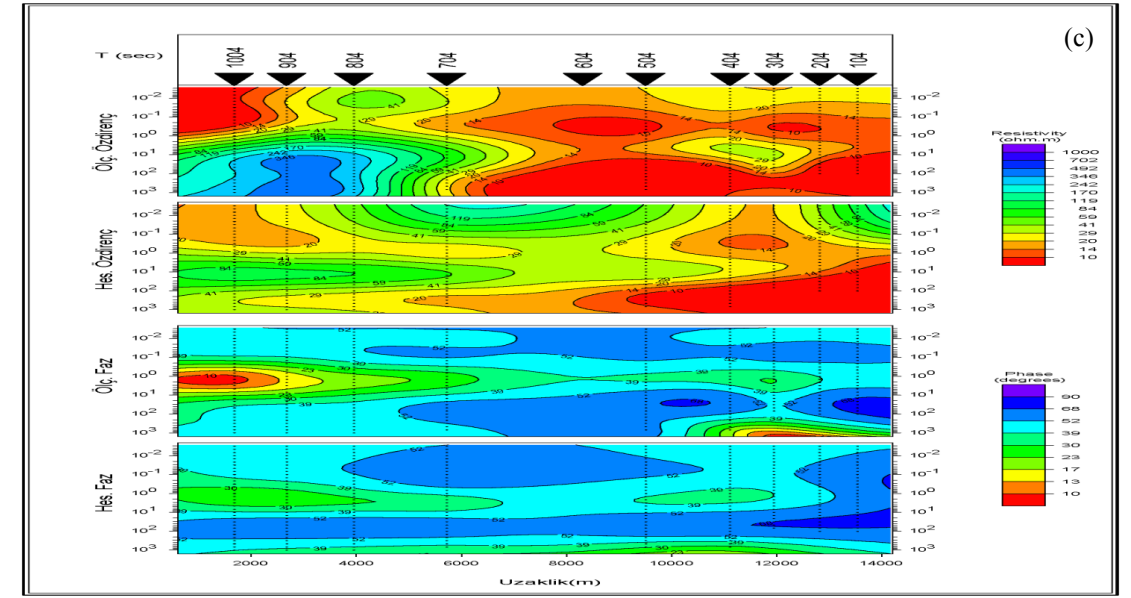
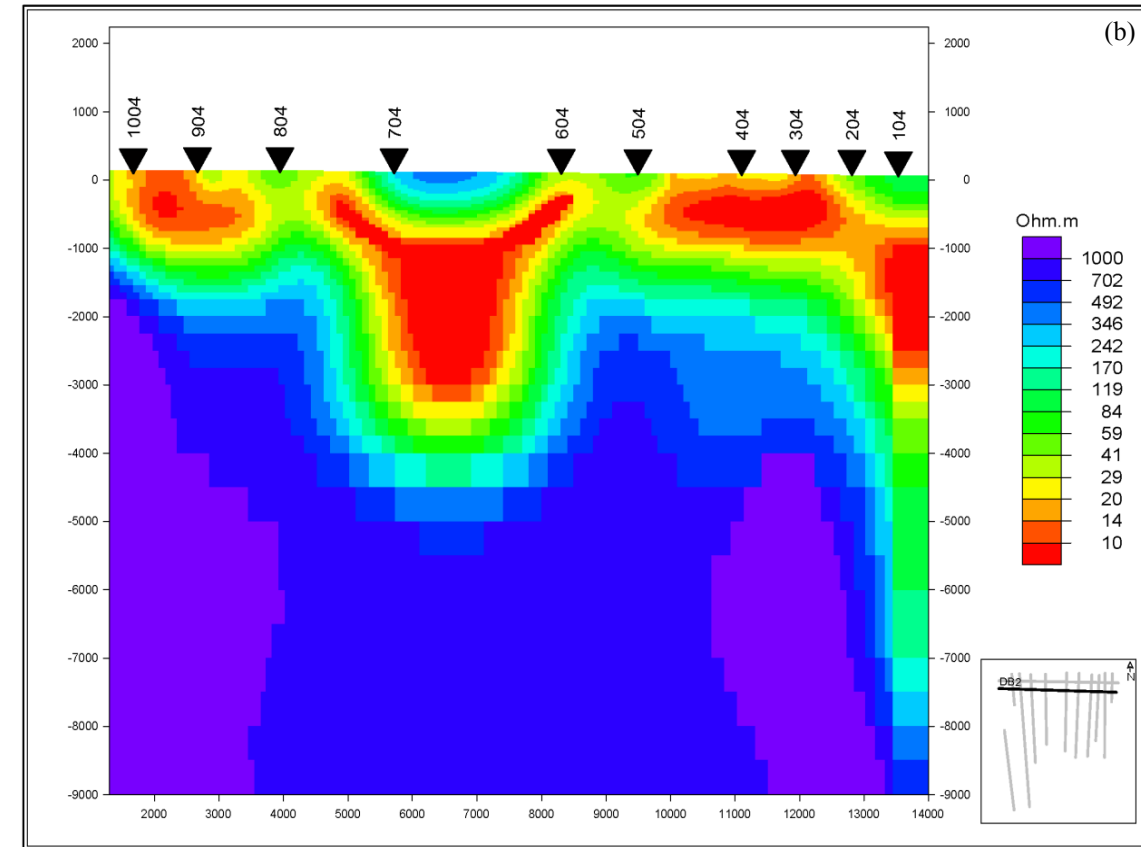
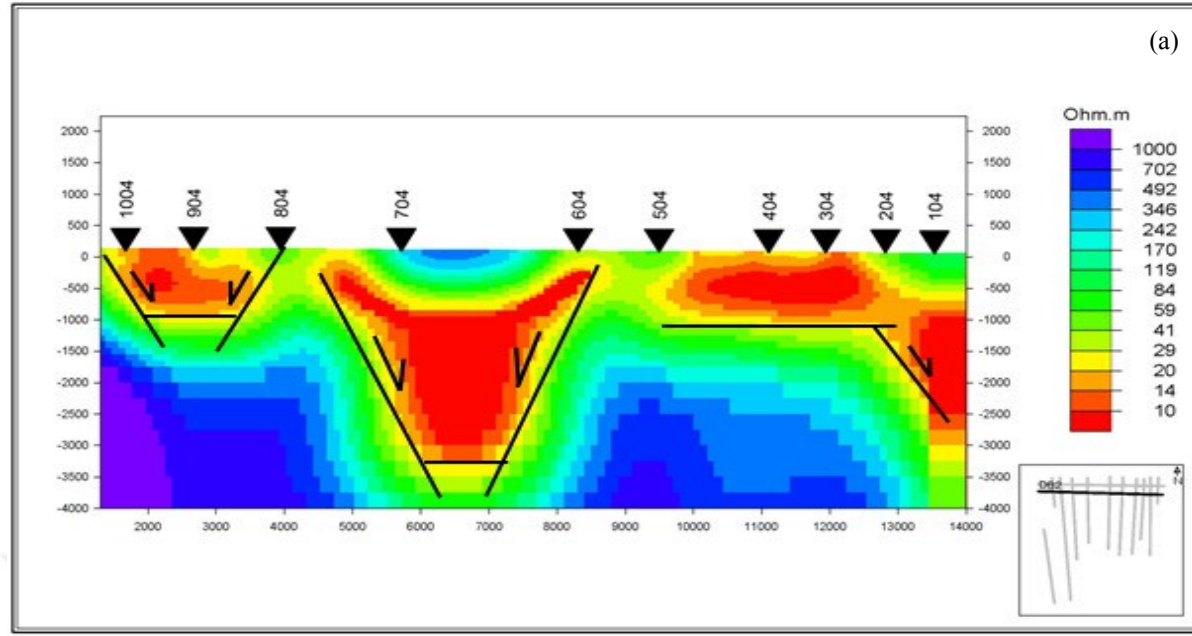
Düşük öz dirençli örtü birimin altında yer alan 29-170 ohm.m öz dirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Bargu vd. (1991)’ tarafından Büyük Menderes Grabeni ve Küçük Menderes Grabeninin yapısal özelliklerini açıkladıkları çalışmada, graben içi, graben sistemine benzer erken orta miyosen havza oluşumlarını kontrol eden KB-KD gidişli eski graben çökelim alanlarının olduğunu anlatmaktadırlar. Gediz Grabeninde kalan çalışma sahasındaki DB2 profilindeki 704-604 MT istasyonlar arasında kalan yaklaşık 3000 metre kalınlıktaki kütleinin de graben içi graben sistemlerindeki çökelim alanı olarak yorumlanmıştır.

Graben sistemlerindeki jeotermal sahalarda düşük özdirençli zonlar da altere killerden ziyade ince taneli tortul bir istifin özelliğinden kaynaklanmakta ve bu tür yerler grabenin görece derin kesimlerine işaret eder. Bu tür sahalarda faylar ve özellikle bir birini dike yakın doğrultularda kesen fayların keşiştiğı bölgeler jeotermal arama açısından hedef bölgelerdir (Cumming, W. 2009).

Buna göre çalışma sahasında şekil 4.16 (a) da ki sığ kesitte, 704 ile 604 MT noktaları arasındaki kalan kısımda, derinde sıcaklığını koruyan bir iletken kütle olup bu kısımlar jeotermal enerji açısından hedeflenmesi gereken bir sondaj lokasyonudur.

Derin profili incelendiğinde, profilin en alt seviyesinde temel birim ise Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pgm), şist (peş) ve mermerlere (p mr), karşılık gelmektedir. Temel birimler yüksek özdirençlerle (240-1000 ohm.m) profilin en alt seviyesinde yer almaktadır.



Şekil 4.15. DB2 profili 2B Elektrik Yapı Kesiti, (a) Sığ yapı (b) Derin yapı (c) TE ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti, (d) TM ölçülmüş ve hesaplanmış görünür öz direnç ve faz kesiti

4.4.2. Seviye haritaları

Manyetotellürik (MT) seviye haritaları, iki boyutlu modelleme sonucu hesaplanan profillerden gerçek derinlik ve öz dirençler kullanılarak oluşturulmuştur. Toplamda 13 adet profilde elde edilen 2 boyutlu öz direnç modellerinden hesaplanan öz dirençlerin kat (seviye) haritaları türetilerek, çalışma sahasındaki litolojilere ait öz direnç dağılımı hakkında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

0 metre seviye haritası incelendiğinde (Şekil 4.16), Yüzeye yakın etkilerin gözlemlendiği seviyede, profillerin kuzey uçları ile güney uçlarında düşük öz dirençli (<14 ohm.m) anomaliler yer almaktadır. Bu düşük öz dirençli anomaliler kuzeyde sıcak su etkisi ile çökelen alivyon (Q-21-k) içerisindeki killi birimlerinden kaynaklanmaktadır. Güney de ise Üst Pliyosen+Alt-Orta miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellerden kaynaklanmaktadır.

250 metre seviye haritası incelendiğinde (Şekil 4.17), düşük öz dirençli (<14 ohm.m) birimler 0 metre seviyesiyle aynıdır. Yüzeye yakın birimler ile birlikte yer alan yüksek öz dirençli (17-348 ohm.m) temel birimlerin etkisi, 512, 312, 212 no' lu MT istasyonları civarında kapanım yaparak belirmiştir.

Bu anomaliler grabenin ortasında 170-348 ohm.m öz direnç değerlerinde yer almakta ve orta-üst paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5), birimlerine karşılık gelmektedir.

500 metre seviye haritası incelendiğinde (Şekil 4.18), Profillerin orta kesiminde 908, 909, 611, 510, 511, 312 no'lu MT istasyonları arasında Menderes Masifi metamorfitlelerine ait temel birimler kapanım yaparak oldukça belirginleşmiştir. Bu birimler prekambriyen ve paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pçgm), şist (pçş) ve mermerlere (pçmr) karşılık gelmektedir. Kuzey ve güneydeki düşük öz dirençli (<14 ohm.m) anomaliler ise Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellerden kaynaklanmaktadır.

750 metre seviye haritası incelendiğinde (Şekil 4.19), profilin ortasındaki temel birimlerin yayılımı artmaktadır. Bu seviye deki jeolojik birimler 500 metre seviyesindeki birimler ile aynıdır.

1000 metre seviye haritaları incelendiğinde (Şekil 4.20), Bu seviyede grabenin kuzeyinde ve güneyinde düşük öz dirençli (<14 ohm.m) örtü birimleri devam etmektedirler. Grabenin ortasında doğu-batı yönünde, Menderes Masifi metamorfizmine ait temel birimler yüksek öz direnç (242-1000 ohm.m) değerleriyle daha geniş bir alanı kaplamıştır. Bu birimler Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pegm), şist (peş) ve mermerlere (pembr) karşılık gelmektedir.

1250 metre seviye haritaları incelendiğinde (Şekil 4.21), Düşük öz dirençli (<14 ohm.m) kapanım sahanın kuzeydoğusuna doğru azalarak ilerlemektedir. Bu alandaki anomali, sıcaklığın etkisiyle kuzeydoğuya doğru sınırlanmaktadır. Güneye doğru kalan alanlarda, Menderes Masifi metamorfizmine ait, temel birimlerden Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pegm), şist (peş), ve mermerler (pembr) hakimdir.

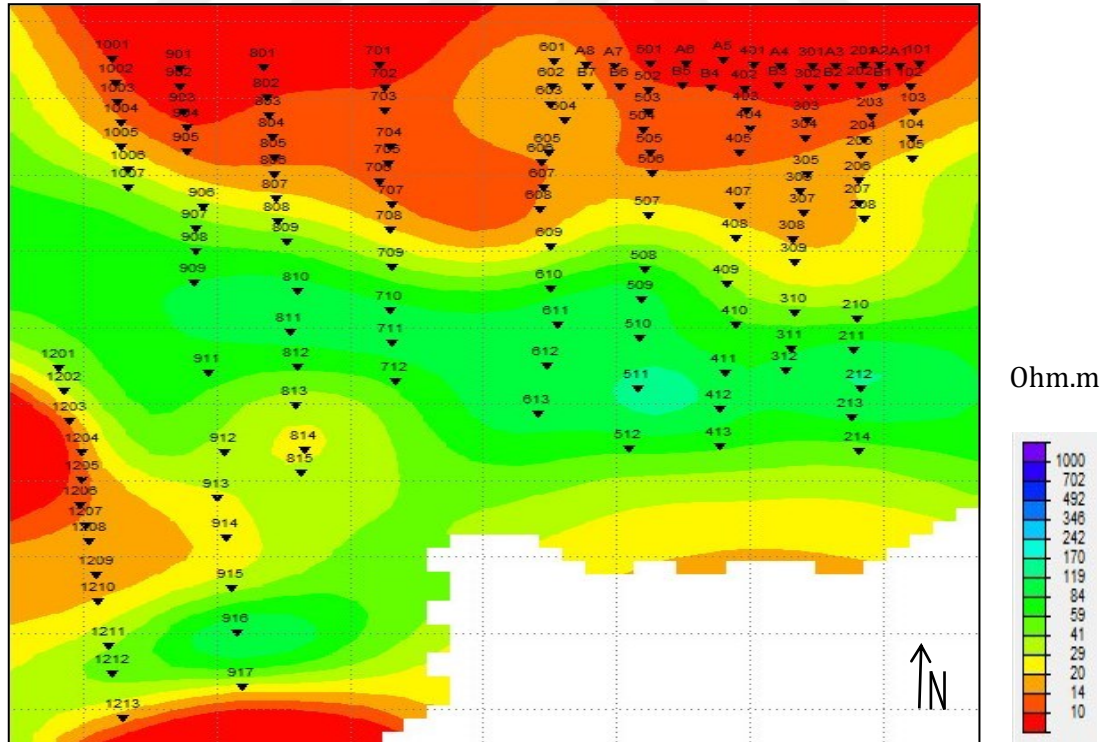
1500 metre seviye haritaları incelendiğinde (Şekil 4.22), 1250 metre seviyesindeki yapılar aynı şekilde devam etmektedir.

1750 metre seviye haritaları incelendiğinde (Şekil 4.23), düşük öz dirençli (<14 ohm.m) örtü biriminin etkisi son derece azalmaktadır. Örtü birimi son olarak 1750 metre seviyesinde azda olsa sahanın kuzeydoğusunda etkisini düşük öz direnç değerleriyle göstermiştir. Bu ise çalışma sahasında örtü biriminin kalınlığının 1500-1750 metre aralığında değiştiğini göstermektedir.

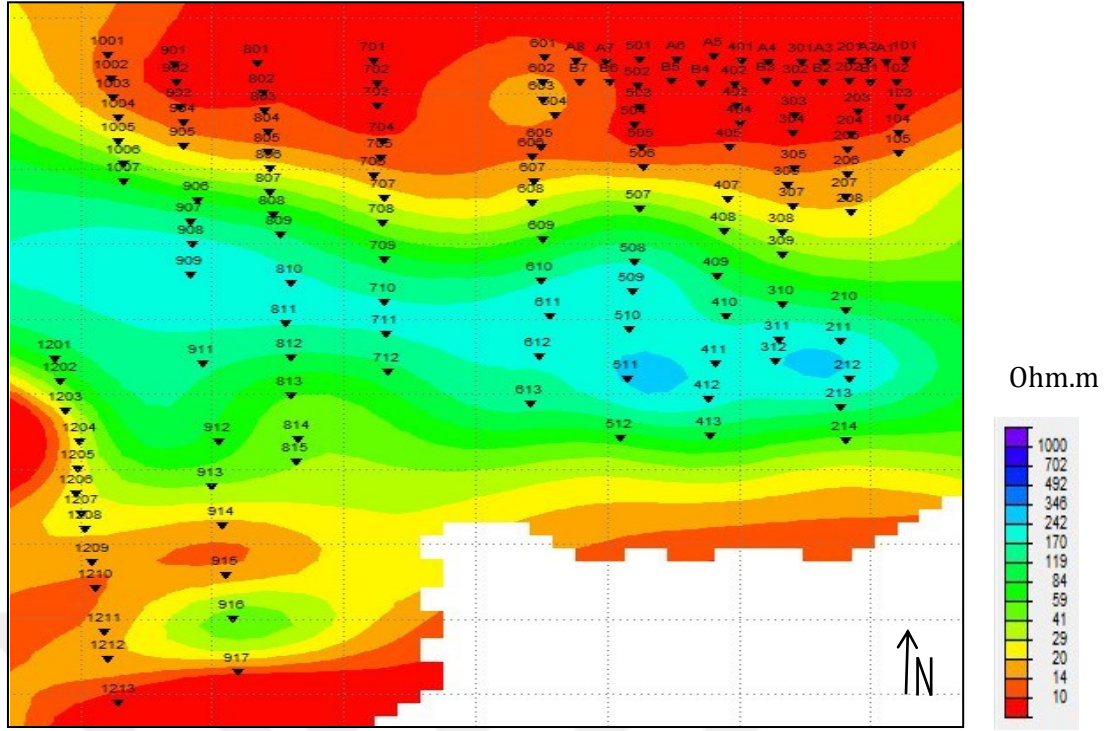
2000, 2500 ve 3000 m. seviye haritaları incelendiğinde (Şekil 4.24, 4.25, 4.26), Grabenin ortasında Menderes Masifi metamorfizmine ait temel birimler yüksek öz direnç (240-1000 ohm.m) değerleriyle görülmektedir. Bu seviyelerde kuzey-güney profillerinin ortalarında horst-graben sınırları belirginleşmiş olup temel birim sınırları tamamen ayırt edilmektedir.

4000 ve 5000 m. seviye haritaları incelendiğinde (Şekil 4.27, 4.28), düşük öz dirençli anomaliler sahanın kuzeydoğusu dışında yok olmuş ve yüksek öz dirençli (240-1000 ohm.m) temel birimler sahanın geneline yayılmıştır. Temel birimler, Menderes Masifi metamorfizmlerine ait Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pçgm), şist (pçş) ve mermerlere (pçmr) karşılık gelmektedir.

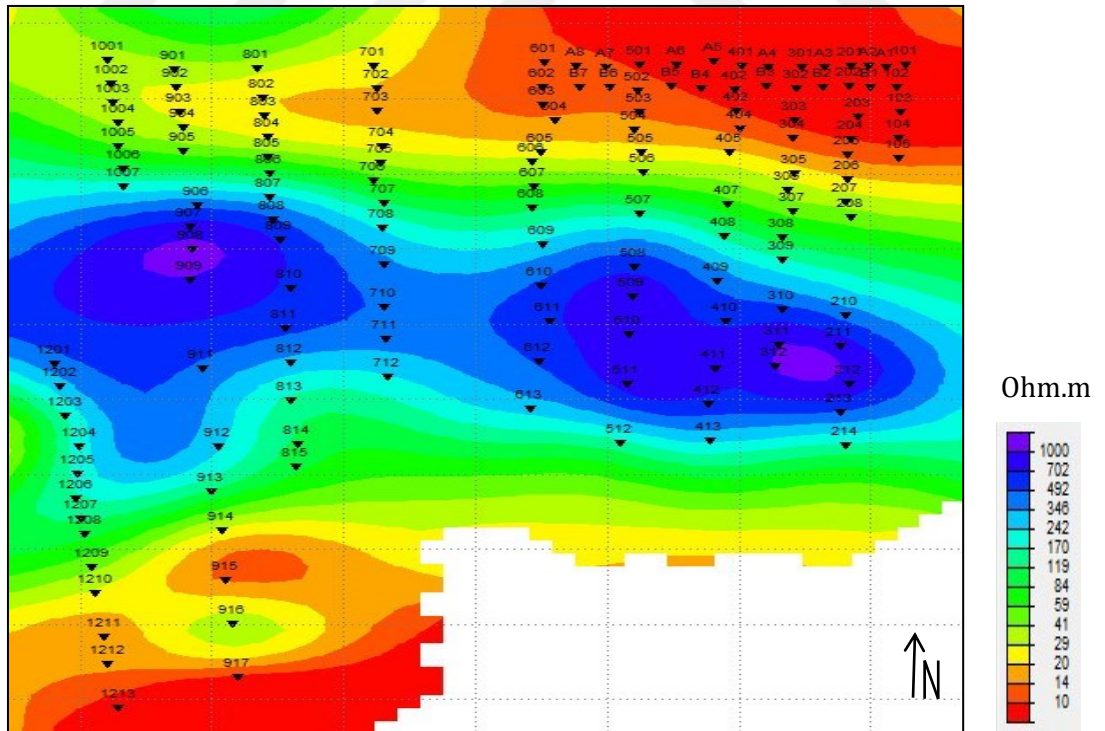
6000, 7500, 10000 m. seviye haritaları incelendiğinde (Şekil 4.29, 4.30, 4.31); sahanın kuzeydoğusunda düşük öz dirençli (<14 ohm.m) bir iletken anomali görülmektedir. Bu anomali derinlerden gelen bir ısı akısının belirtisi olup ısıtıcı niteliğindedir. Derinlerde kapanım şeklindeki bu tür anomali veren kesimlerde yüksek sıcaklık elde etmek mümkündür. Sahanın kuzeydoğusunda 6000 metrelerde başlayan iletken kapanım 7500 ve 10000 metrelerde de devam etmektedir. Diğer kalan alanların tümünü, Menderes Masifi metamorfizmlerinden Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pçgm), şist (pçş) ve mermerler (pçmr) kaplamıştır.



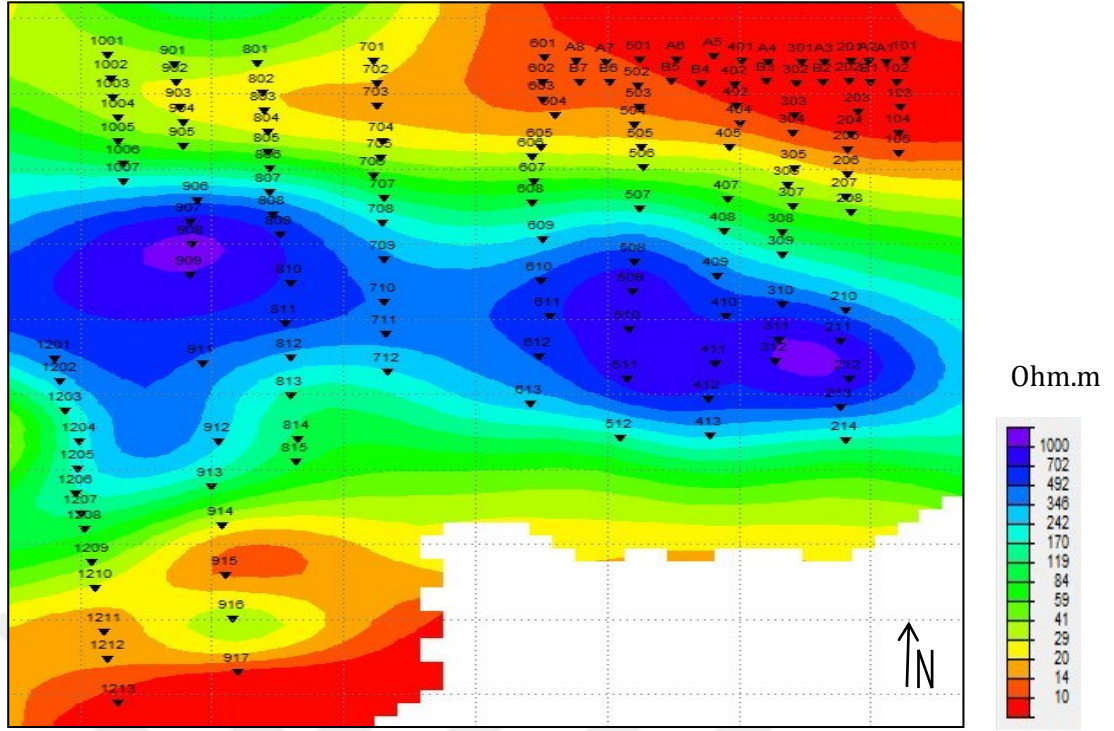
Şekil 4.16. 0 metre seviye haritası



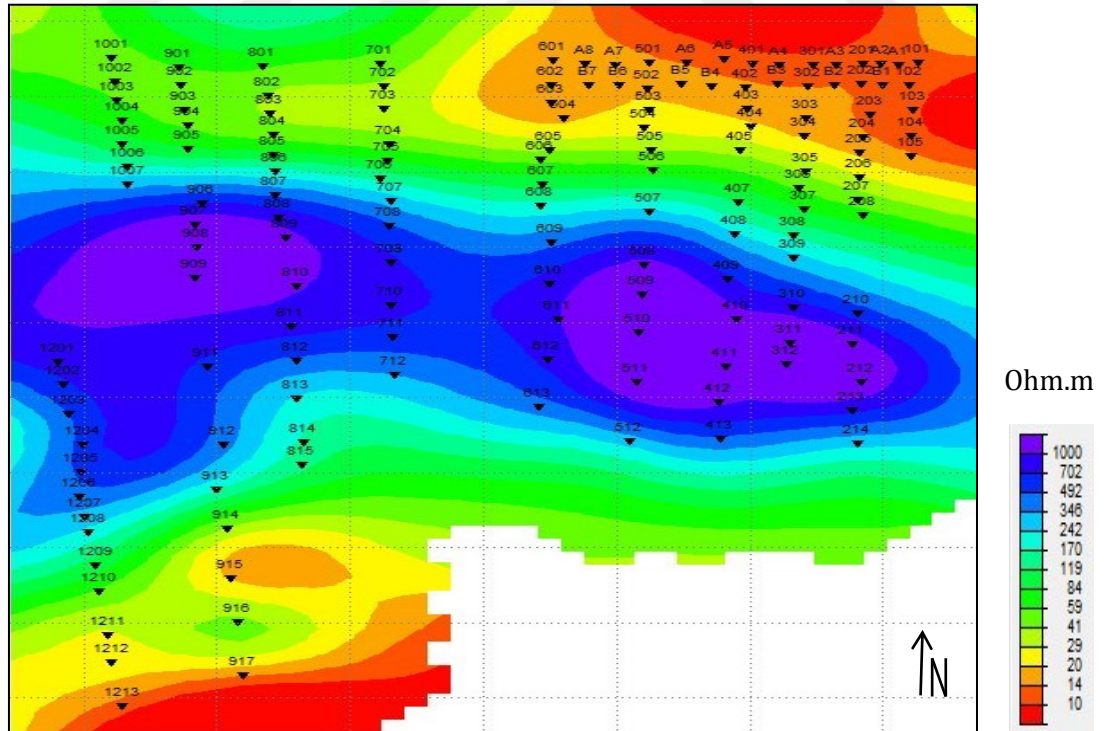
Şekil 4.17. 250 metre seviye haritası



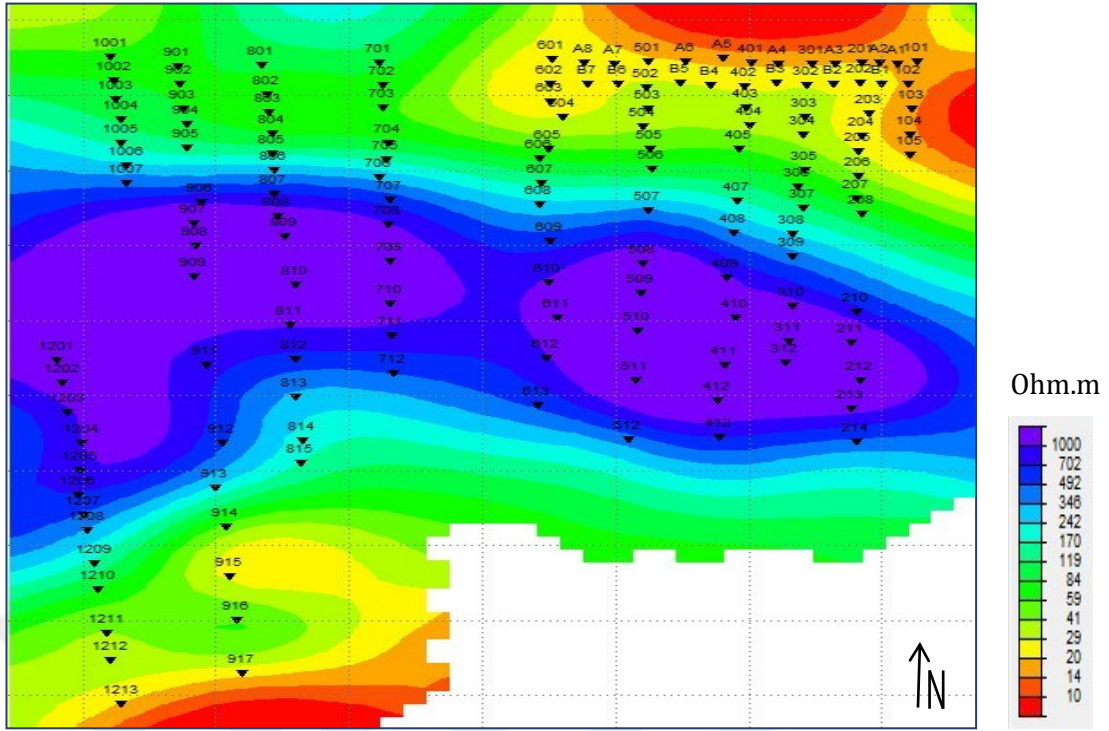
Şekil 4.18. 500 metre seviye haritası



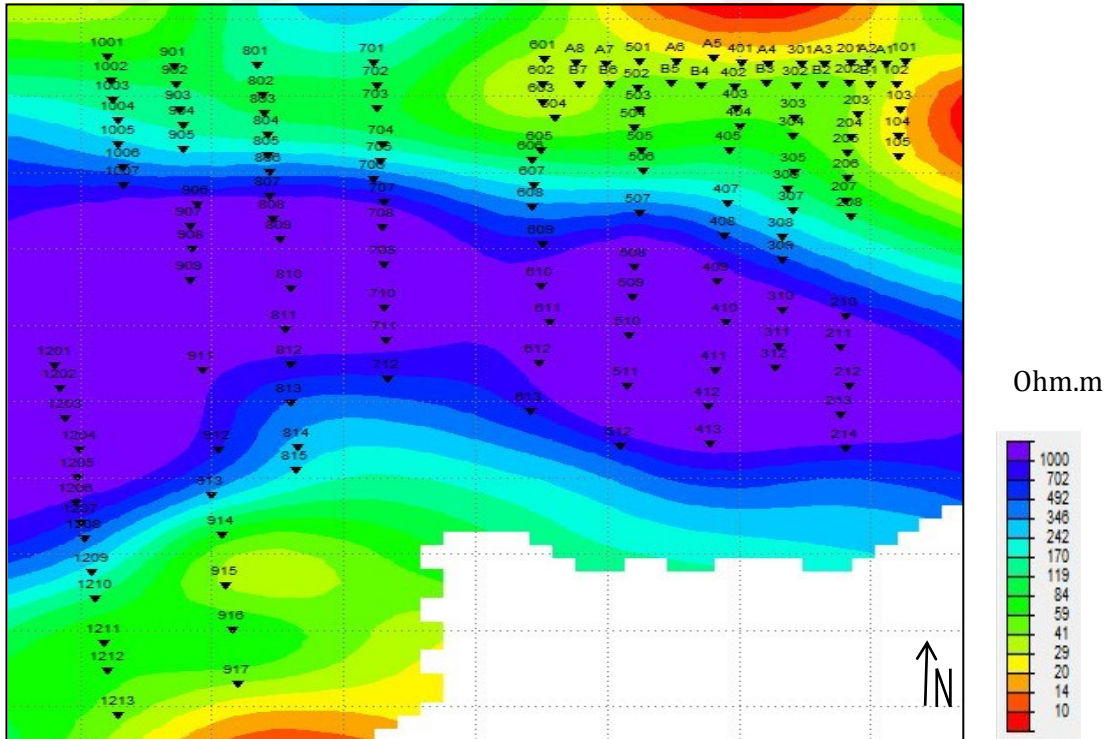
Şekil 4.19. 750 metre seviye haritası



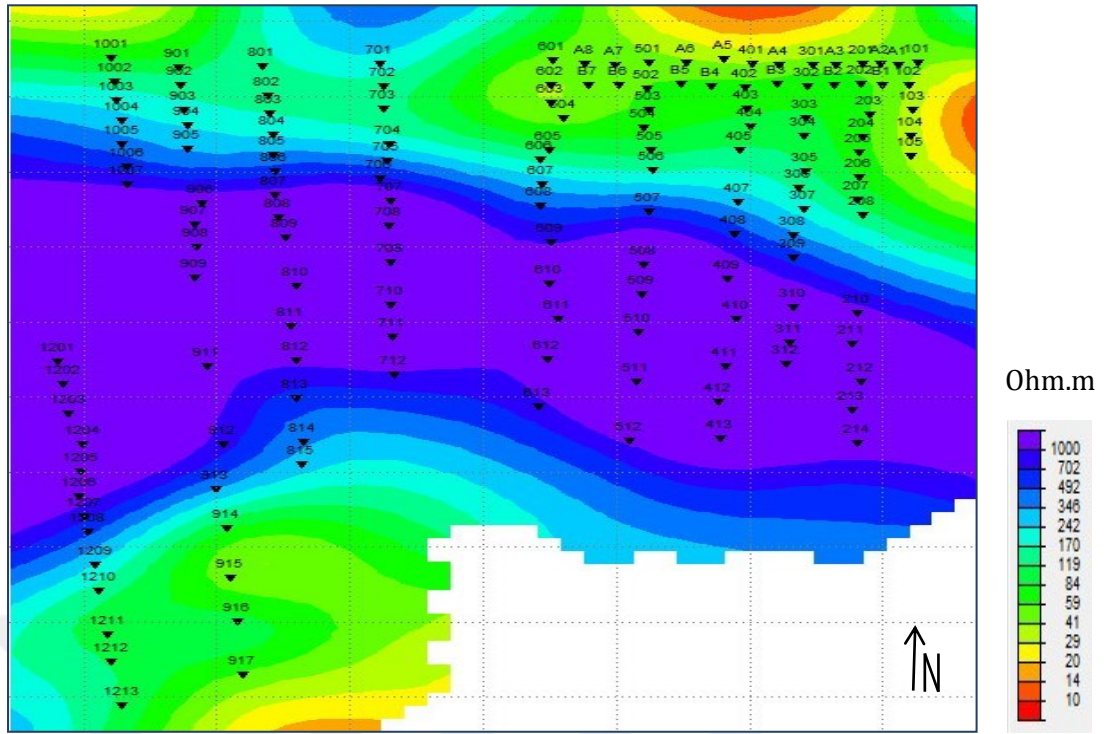
Şekil 4.20. 1000 metre seviye haritası



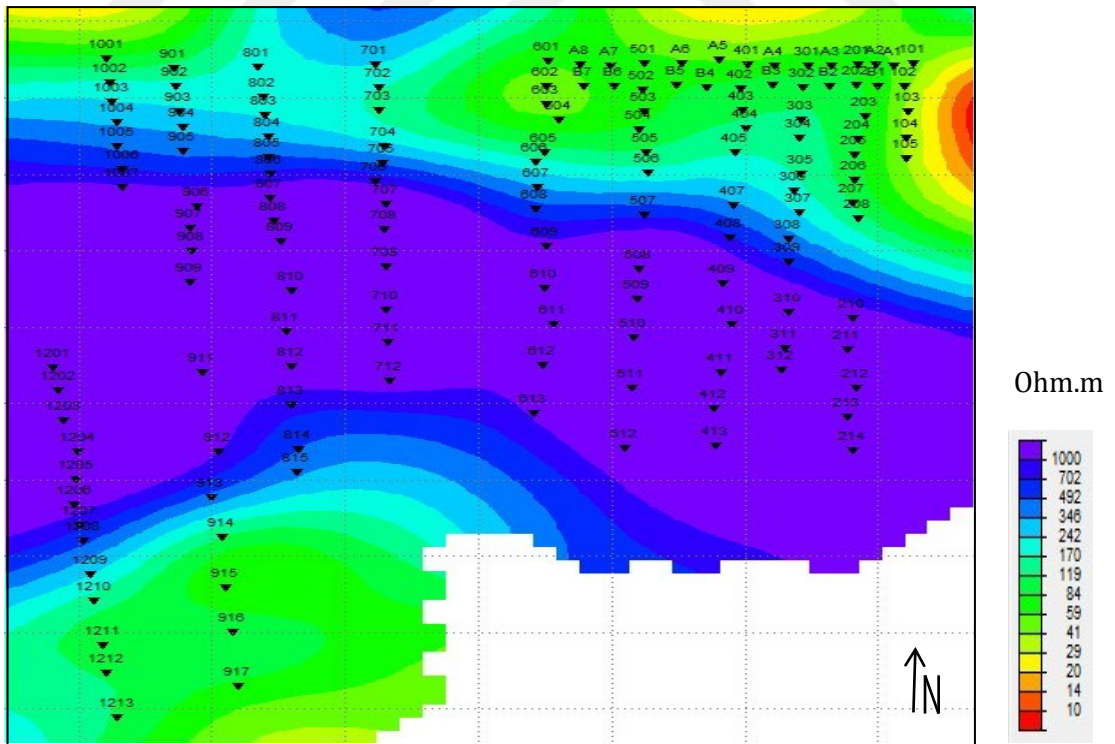
Şekil 4.21. 1250 metre seviye haritası



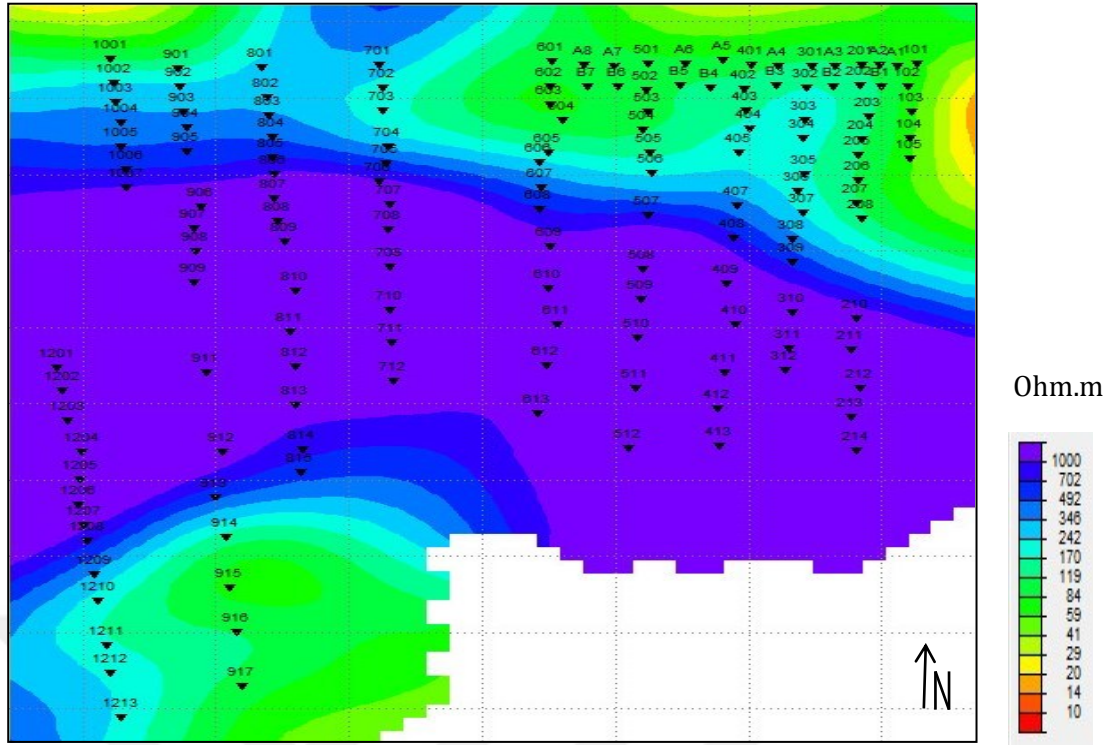
Şekil 4.22. 1500 metre seviye haritası



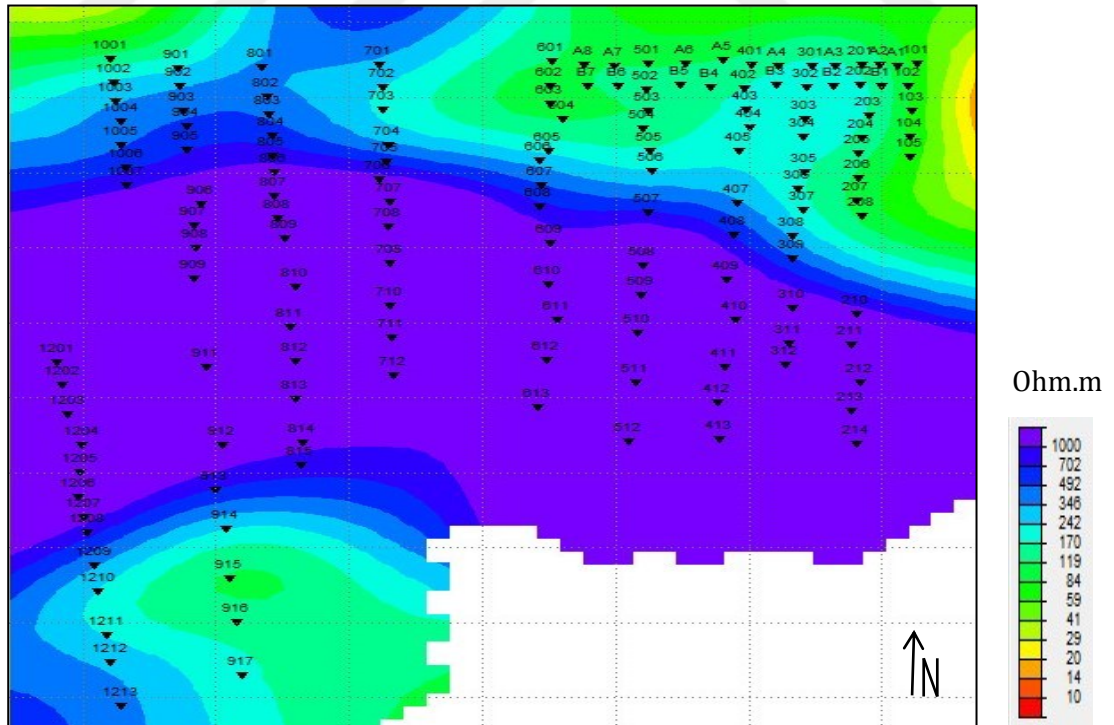
Şekil 4.23. 1750 metre seviye haritası



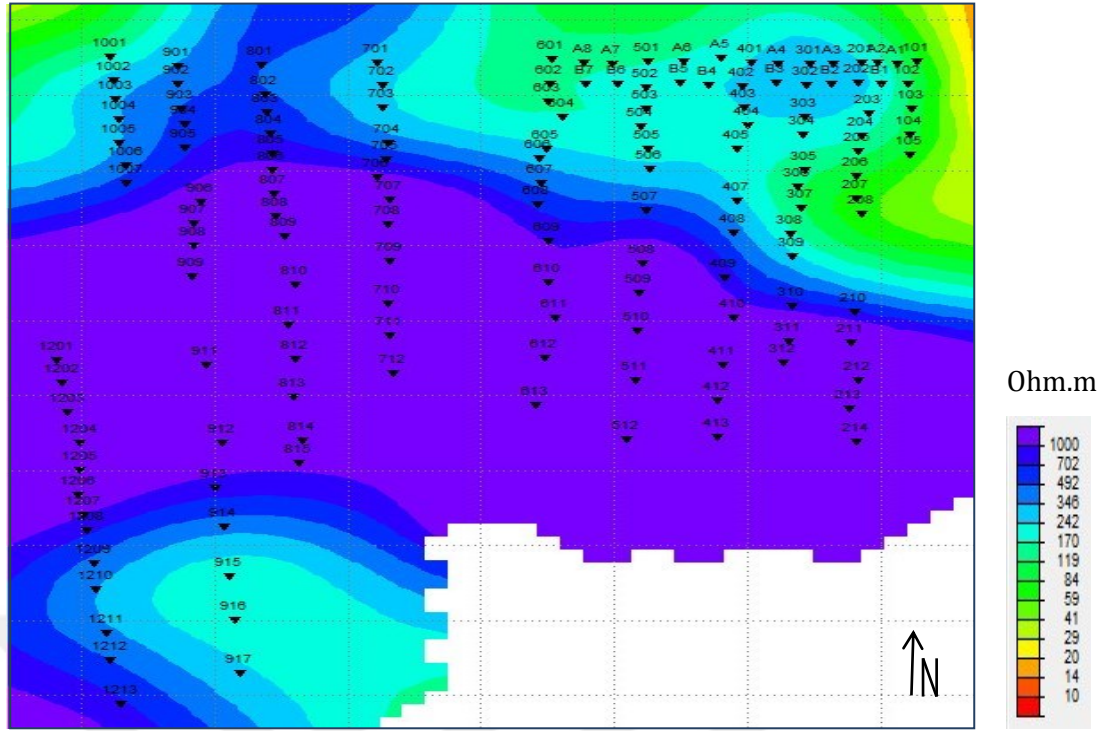
Şekil 4.24. 2000 metre seviye haritası



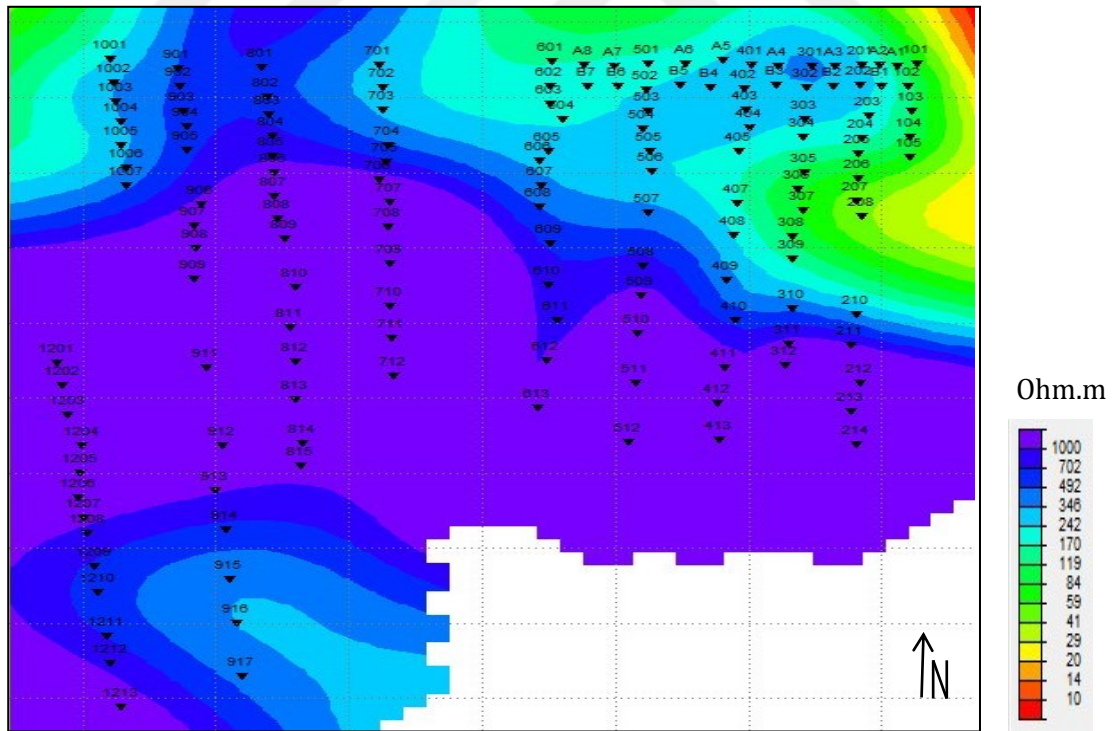
Şekil 4.25. 2500 metre seviye haritası



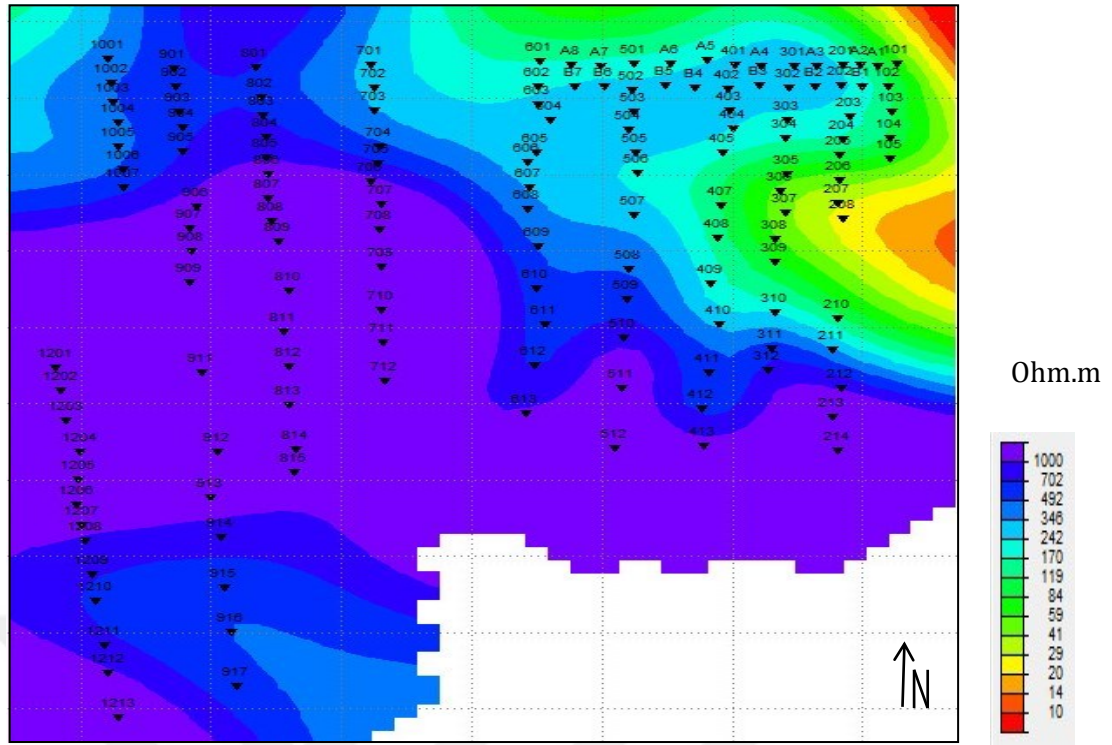
Şekil 4.26. 3000 metre seviye haritası



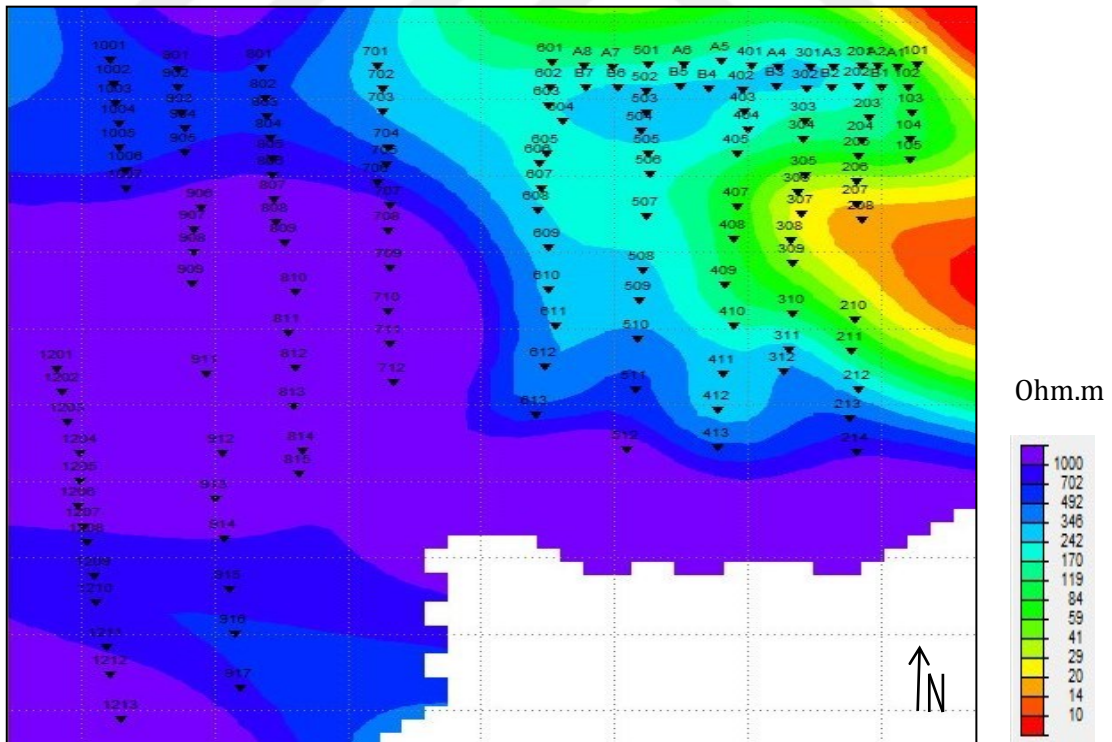
Şekil 4.27. 4000 metre seviye haritası



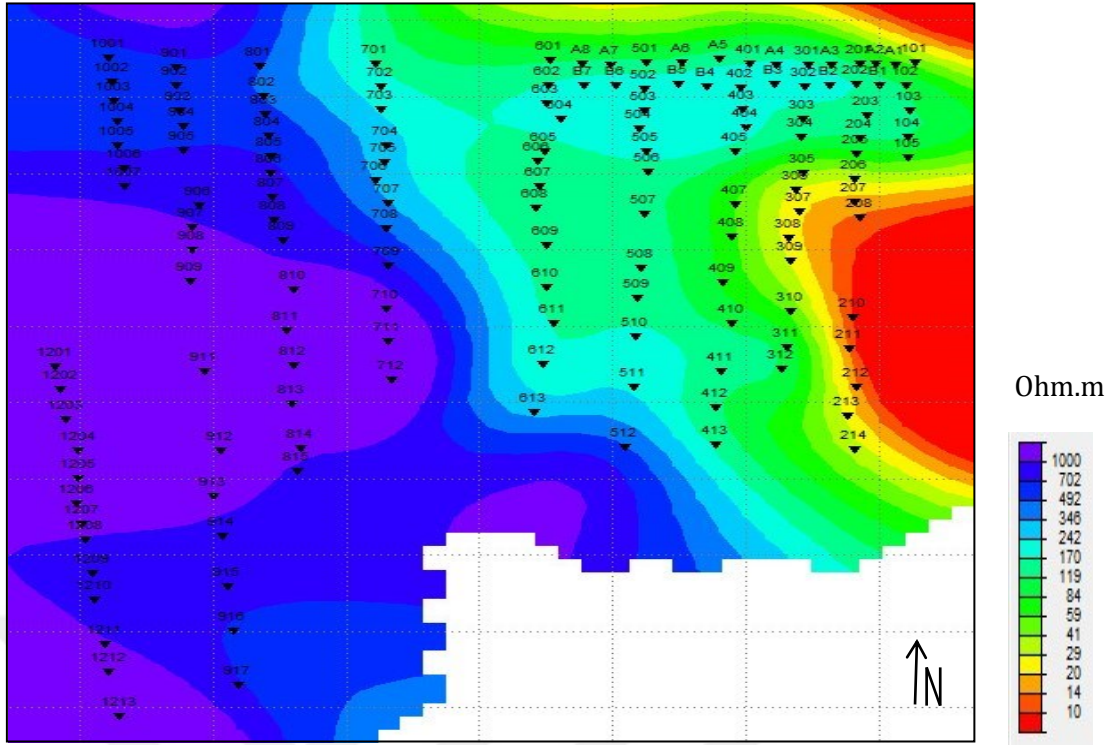
Şekil 4.28. 5000 metre Seviye haritası



Şekil 4.29. 6000 metre seviye haritası



Şekil 4.30. 7500 metre seviye haritası



Şekil 4.31. 10000 metre seviye haritası

Profillerin iki boyutlu modellenmesi sonucunda oluşturulan kat (seviye) haritalarının tümünün bir arada dizilimiyle, jeotermal sahadaki jeolojik birimlerin derin ve sıg öz direnç dağılımı, örtü ve temel birimlerin geometrisi, taban topografyası, ısı kaynağı (iletkenlik), tektonik hatlar (graben sınırları) ve derinlerden yüzeye yükselmekte olan ısı dağılımı hakkında bilgi edinilir.

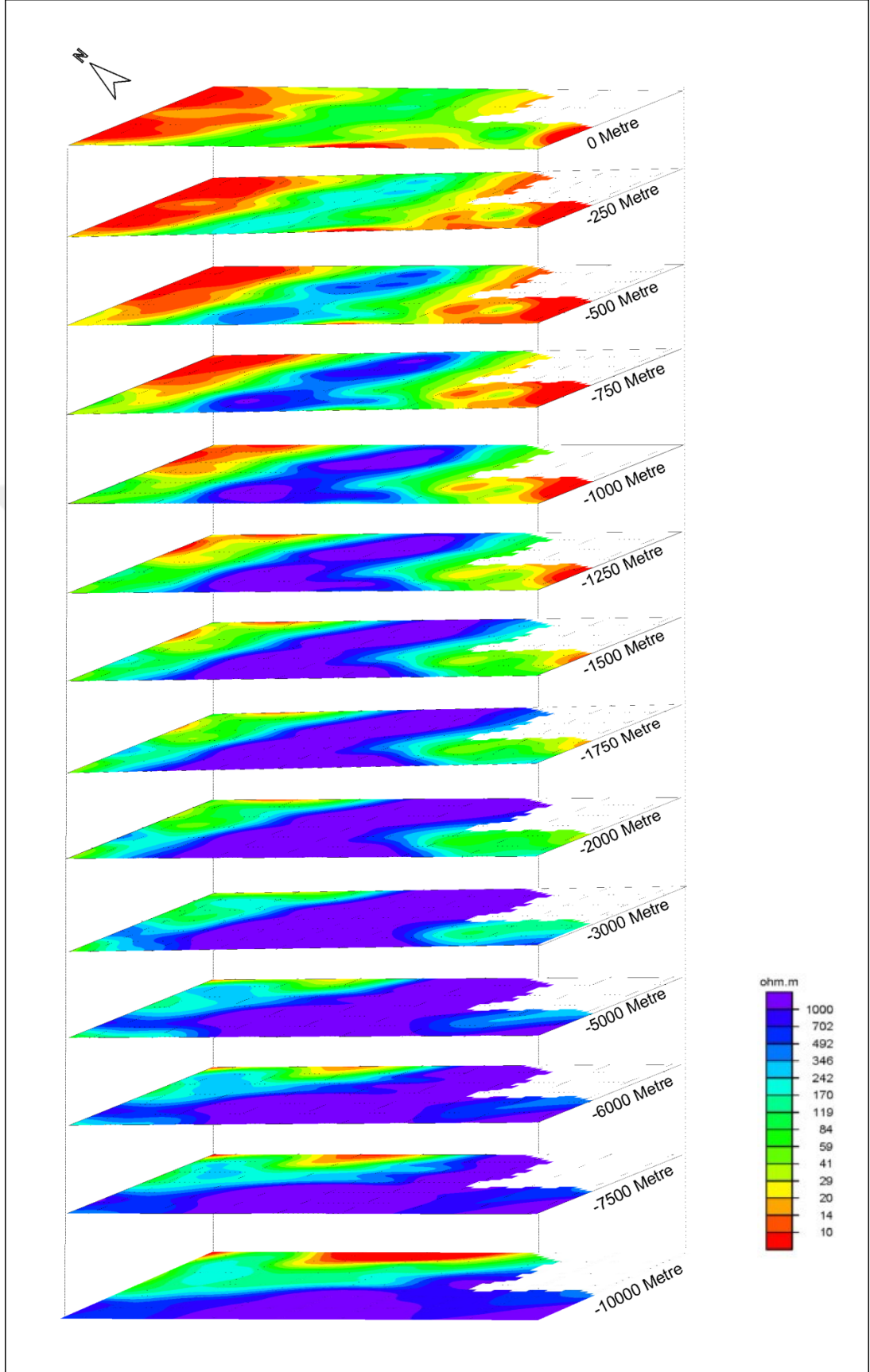
İki boyutlu manyetotellürik seviye (kat) haritaları incelendiğinde (Şekil 4.33), düşük öz dirençli (kırmızı ve yeşil renkli) ve yüksek öz dirençli (mavi ve mor renkli) alanların birleşim yerleri Gediz Grabeninin sınırlarını göstermektedir. Düşük öz dirençli (<14 ohm.m) iletken örtü birim, 1500 metrede sahanın batı ve doğu kesimlerinde belirgin bir şekilde yayılırken, 1750 metre seviyesinde etkisi iyice azalmaktadır. Buda çalışma sahasında çalışma sahasında örtü birim kalınlığının 1500-1750 metreler arasında değiştiğini ifade edebilir.

6000, 7500 ve 10000 metre derin temel seviye haritalarında görülen düşük öz dirençli (<14 ohm.m) anomaliler, temelde yüksek ısı akısının var olduğunu göstermektedir. Bu ısı anomalileri derinlerden yukarıya doğru çıkarak sahanın

kuzeybatısı ile kuzeydoğusuna doğru yayılmaktadır. Ancak Gediz Grabenin’de kalan, kuzey profillerinde (KG1, KG2, KG3, KG5, KG7) derinlerde ısı anomalileri var olması nedeniyle çalışma sahasında jeotermal enerji elde edilebilecek alan kuzeydoğuya doğru sınırlanmıştır.

Seviye (kat) haritalarının yorumlanması sonucunda, yüksek ısı akısına sahip sahada yüksek sıcaklıkta jeotermal enerji elde etmek için sahanın kuzeydoğusunda araştırma sondajları yapılmalıdır. Sondaj derinlikleri maksimum 2000 metre olarak planlanmalıdır.





Şekil 4.32. İki boyutlu (MT) seviye (kat) haritaları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Salihli, Turgutlu arasında kalan çalışma sahasında, Gediz Grabeni yer almaktadır. Grabene ait fay sistemlerinde yüksek entalpili termal suların bulunduğu bilinmektedir. Jeotermal sistemlerde termal akışkanların dolaşımı nedeniyle öz direnç değerleri değişmektedir. Bu değişime duyarlı olan jeofizik yöntemlerden (MT) yöntem çalışma sahasında uygulanmıştır.

Bu çalışmada manyetotellürik verilerin 2B değerlendirilmesi sonucunda sahanın kavramsal modeli oluşturulmuştur. Kavramsal modelde jeotermal sistemin elemanlarından, ısı kaynağının yeri ve boyutları, ısıyı taşıyan akışkanların bulunduğu rezervuar derinliği, örtü kaya kalınlığı, hazne kaya derinliği ve yönelimi ile bölgenin tektonik yapısı hakkında bilgiler ortaya konulmuştur. Bu bilgiler neticesinde yüksek sıcaklıklı termal akışkanı elde etmek için muhtemel sondaj lokasyonları ve derinlikleri belirlenmiştir.

Bu çalışma ile araştırma derinliğinin frekansa bağlı olduğu manyetotellürik yöntem ile jeotermal sahalarda, çok derinlerden (8-10 km) bilgi alınabileceği gösterilmiştir.

Geçmiş yıllarda kaynak, artezyen vb. gibi belirti veren, jeotermal sahalarda elektrik yöntemlerden doğru akım öz direnç (rezistivite), doğal potansiyel (SP), indüksiyon polarizasyon (IP) gibi sığ derinliklerden cevap veren yöntemler uygulanmıştır. Günümüz de iki ve üç boyutlu bilgiler veren ve arazide kolaylıkla uygulanabilirliği nedeniyle elektromanyetik yöntemlerden manyetotellürik (MT) yöntem jeotermal sahalarda sıkça tercih edilmektedir. Elektrik yöntemlerden klasik öz direnç yöntemlerinde, yeraltı araştırma derinliğinin sığ (1000-2000 m.) olması ve özellikle iletken sahalarda örtü ve temel birimin alt sınırının ayırt edilememesi nedeniyle derinlerden bilgi veren manyetotellürik (MT) yöntem jeotermal enerji araştırmalarında birincil yöntem olarak uygulanmaktadır.

Çalışma sahasında yapılan değerlendirmeler sonucunda orijinal arazi verileri (görünür öz direnç ve faz) ile iki boyutlu modelleme sonucunda, hesaplanan görünür öz direnç ve faz değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bu da modellemelerin iyi yapıldığının bir göstergesidir.

11 adet kuzey-güney ve 2 adet doğu-batı yönünde, toplamda 13 adet profil iki boyutlu ters çözüm sonucunda modellenmiştir. Düşük hata payları (RMS) ile elde edilen iki boyutlu modellemeler sonucunda grabenin çalışma sahası içinde kalan kısmının geometrisi belirlenmiş ve Gediz Grabeni'ne ait muhtemel faylar kesitlere işlenmiştir. Bunun sonucunda kesitlerde, örtü kaya görevi yapan düşük öz dirençli (<14 ohm.m) alüvyonal birimler içerisindeki karasal çökellerin alt sınırları çizilerek ayırt edilmiştir.

Çalışma sahasındaki profillerin üst seviyelerinde düşük öz dirençli (<20 ohm. m) iletken örtü birim yer almaktadır. Düşük öz dirençli(10-14ohm.m) bu birim, alüvyon ve yamaç molozu (Q-21-k,Q-23k), ile birlikte, Üst Pliyosen+Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı, (pl-2-k, pl2-19-k, m3pl-20-k, m1m2-18-k, m1m2-7-k) birimlerinden oluşan karasal çökellere karşılık gelmektedir.

Düşük öz dirençli örtü birimin altında yer alan, 29-170 ohm.m öz dirençli birim ise Orta-Üst Paleozoyik yaşlı mermer (pz2mr), şist (Pzş), Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (jk-8-5) birimleri ile temsil edilir.

Profillerin en alt seviyesinde temel birim ise Menderes Masifi metamorfizmlerinden Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı migmatit, gnays (pegm), şist (peş) ve mermerlere (p mr), karşılık gelmekte ve yüksek öz direnç (240-1000 ohm.m) değerleri sergilemektedir.

Kuzey-güney profillerinden; KG1, KG2, KG3, KG5, KG7 profillerinin derin kesimlerinde iletken ısı anomalileri tespit edilmiştir. KG1 profilinde 101-103, KG2 profilinde 206-211, KG3 profilinde 303-309, KG5 profilinde 501-506, KG7 profilinde 701-707 istasyonları arasında görülen bu anomaliler, Gediz Grabeni'ndeki jeotermal sistemlerin ısı kaynağını oluşturan alt kabuktan üst kabuğa doğru yükselen derin kökenli bir ısı akısının varlığını işaret etmektedir.

Doğu-batı yönündeki DB1 ve DB2 profillerindeki düşük öz dirençli (iletken) kalın örtü birimler, karasal çökeller ile birlikte sıcak suların etkisiyle oluşmuştur. Bu düşük öz dirençli kalın örtü birim, DB1 profilinde 602-702, DB2 profilinde 604-804 istasyonları arasında kalmaktadır.

Doğu-batı yönündeki DB1 ve DB2 profillerinde düşük öz dirençli kalın örtü birimler içerisinde muhtemel termal sular dolaşarak sıcak su rezervuarlarını oluştururlar. Rezervuar niteliğindeki bu yapılar DB1 profilinde 602-702, DB2 profilinde 604-804 istasyonları arasında kalmaktadır.

Ülkemizde graben sistemlerindeki fayların kesişim noktalarından yüksek sıcaklıkta akışkan elde edildiği bilinmektedir. Çalışma sahasında Gediz Grabeni'ndeki fayların kesim yerleriyle birlikte derinlerdeki iletken ısı anomalileri hedeflenerek sondajlar yapıldığında, bu sahada yüksek sıcaklıklı akışkan elde etmek mümkün olacaktır.

2B, MT yapı kesitlerinde elde edilen süreksizlikler, jeoloji haritasındaki (Şekil 3.11) süreksizlikleri de doğrulamaktadır. Diğer yandan Gediz Graben sistemine ait yüzeyde mostra vermeyen bir çok süreksizlikler tespit edilmiştir.

Jeotermal etkinliğin olduğu volkanik sahalarda rezervuarın üstündeki alterasyona uğramış yoğun killi birimler düşük öz direnç değerleri vermektedirler. Sondaj yerleri olarak, akışkanın yukarı doğru hareket ettiği bölgeler olarak yorumlanan, alivyon içerisindeki kil şapkalarının incelendiği düşük öz dirençli alanlar seçilmiştir. Çalışma sahasında önerilen muhtemel sondaj lokasyonları Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Çalışma sahasında önerilen muhtemel sondaj lokasyonları

Profil Adı	MT, Ölçü istasyonlarında önerilen 1. Sondaj Lokasyonu	Derinlik (m)	MT, Ölçü istasyonlarında önerilen 2. Sondaj Lokasyonu	Derinlik (m)
KG1	102-103	1750		
KG2	205-206	1000	208-210	750
KG3	304-305	1000	307-308	1000
KG5	506-507	1250		
KG7	702-703	1000	705-706	750
DB1	602-702	1750	702-802	1750
DB2	504-604	1750	704-804	1750

Seviye haritalarına göre çalışma sahasında genel olarak düşük özdirençli (<14 ohm.m) örtü birimin kalınlığı, 1500-1750 metre arasında değişmektedir.

6000, 7500, 10000 m. seviye haritalarında görüleceği üzerine derinlerden yukarıya doğru bir ısı yayılarak, sahanın kuzeydoğusuna doğru düşük özdirençli (<14 ohm.m) iletken anomaliye neden olmuştur. Bu anomali derinlerden gelen bir ısı akısının belirtisi olup ısıtıcı olarak yorumlanmıştır. Sahanın kuzeydoğusunda 6000 metrelerde başlayan düşük özdirençli iletken kapanım 7500 ve 10000 metre seviyelerinde de devam etmektedir.

Araştırma sahasına ait derin seviyelerdeki düşük özdirençli zonlar yüzeye doğru süreksizlikler ile birlikte yaklaşmaktadır. Bu sahada sıcaklığın yüzeye doğru taşınım sistemi ile ilerlediği söylenebilir.

Çalışma sahasında jeotermal enerji potansiyelinin yüksek olduğu alan, kuzeydoğuya doğru sınırlandırılmıştır. Sonuç olarak sahanın kuzeydoğusundaki derin seviyelerde görülen iletken anomaliler bu sahanın kuzeydoğuya doğru geliştirilebileceğini göstermektedir. Ayrıca kuzey-güney profillerinde derinlerdeki iletken ısı anomalilerinin varlığı bu görüşü desteklemektedir.

Bu sahada yapılacak sondajlardan sonra istenilen yüksek sıcaklıkta termal akışkan elde edilirse bölgede elektrik enerji üretimi, konut ısıtmacılığı, seracılık ve termal turizme katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Archie, G.E., 1942. The electric resistivity log as an aid in determining some Reservoir characteristics. Trans. Am. Inst. Min. Metal. Petr. Eng., 146, 54-62.
- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Ayşe, D., Tekin Z., 2005. Türkiye Jeotermal Envanteri. MTA Envanter Serisi:201, Ankara.
- Arslan, S., Darıcı, M., Karahan, Ç., 2001. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir, 21-28.
- Bargu, S., Turgut, M., 1991. Büyük Menderes ile Küçük Menderes Grabenleri arasındaki Bölgenin Miyosen Sonrası Yapısal Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yer Bilimleri Dergisi, 1-2, 3.
- Başokur, A.T., 2003. Maden Aramalarında Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler, 40s. Erişim Tarihi: 23.06.2017. <http://kitaplar.ankara.edu.tr/dosyalar/pdf/364.pdf>.
- Başokur, A.T., 2008. Manyetotellürik Yöntemde Temel Kavramlar. Erişim Tarihi:12.06.2017. <http://kitaplar.ankara.edu.tr/dosyalar/pdf/363.pdf>
- Başokur, A.T., 2009. Manyetotellürik Yöntem ve Jeotermal Aramalarda Kullanımı. TMMOB Jeotermal Kongresi, Ankara, 217-231.
- Bingöl, E., 1977. Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi. Erişim Tarihi:12.03.2017. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/111138>
- Burçak, M., 2013. Kızgın kuru kaya (HDR:Hot Dry Rock) ve Geliştirilebilir Jeotermal Sistemler (Enhanced Geothermal Systems) Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni. Erişim Tarihi:13.04.2017. http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013_15/69.pdf.
- Cagniard, L., 1953. Basic Theory Of The Magneto-Telluric Method Of Geophysical Prospecting. Geophysics, 18, 605-635.
- Canik, B., 2000. Jeotermal Enerji. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Döner Sermaye İşletme Yayınları, No:159, 7.
- Caldwell, T.G., Biby., H.M Brown., C.2004, The magnetotelluric phase tensör Geophysical journal international 158(2):457-463
- Christopherson, K.R., 2001. Applications of magnetotellurics to petroleum exploration Papua New Guinea: A model for frontier areas Geophysics: The Leading Edge of Exploration, 21-27s.

- Cumming, W., 2009., Geothermal Resource Conceptual Model Using Surface Exploration Data, Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, SGP-TR-187.
- Çirkin, B., 2007. Jeotermal Aramalarında Manyetotellürik Yöntemin Kütahya-Gediz-Şaphane Sahasına Uygulanması. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Niğde.
- De Groot-Hedlin, C., Constable, S., 1990. Occam's Inversion To Generate Smooth, Twodimensional Models From Magnetotelluric Data. Geophysics, 55, 1613-1624.
- Demirci, 2009. Sonlu Farklarda Üçgen Gridler Kullanarak Doğru Akım Özdirenç ve Manyetotellürik İki Boyutlu Ters Çözümüne Topografya Etkisinin Eklenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s. Ankara.
- Demirtaş, R., Özdemir, A., Arabacı, F., Şahin, B., 2013. Salihli-Bozdağ (Manisa-İzmir), 3305436-3305437-3305469 No'lu Jeotermal Ruhsat Alanları Jeolojik Etüt Raporu. 71s.
- Dinçer, Y., 2007. Petrol Arama Amaçlı Ölçülen Manyetotellürik Verilerinin Sönümlü En Küçük Kareler ve Quasi-Newton Yöntemi İle İki Boyutlu Melez Ters Çözümü. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 49s, Ankara.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Göktaş, F., Yıldırım C., 2005. İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. MTA Derleme No:10754.
- Emre, T., Sözbilir, H., 1995. Field Evidence for Metamorphic Core Complex, Detachment Faulting and Accommodation Faults in the Gediz and Büyük Menderes Grabens, Western Anatolia, Proc. of International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region.
- Emre, T., 1996. Gediz Grabeni'nin Tektonik Evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 3 (2), 1-18.
- Elder, J.W. 1965. Physical Proces in Geothermal Area: In Terrestrial Heat Flow Geop. Monog. Serie. Am Geop 8, 211-238.
- Erden, F., 1965. Salihli-Manisa Gravite Etüdü. MTA Raporu:3931 Yayınlanmamış, Ankara.
- Green, A.M. 2003. Magnetotelluric Crustal Studies In Kenai, Alaska, Department Of Geophysics Colorado School Of Mine, Masters Thesis, Colorado.
- Groom, G.W., Bailey, R.C. 1989, Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in hepresence of local three-dimensional galvanic distortion, J. Geophys. Res. 4, 1913-1925.

- Geothermal Education Office. 2017. Erişim Tarihi: 07.04.2017.
<http://geothermaleducation.org/GEOpresentation/sld003.htm/sld005.htm/sld006.htm>.
- Geothermal Resource. 2017. Erişim Tarihi: 24.10.2017.
<https://www.boprc.govt.nz/media/509060/geothermal-processes-volcanic-useful-for-ppt.jpg>
- Gönülalan, U., Çavaş H., Güreli O., Tufan Seyfullah., 2009. Jeofizik Yöntemlerin Jeotermal Enerji Aramalarındaki Önemi. TMMOB Jeotermal Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara, 263-279.
- Gürer, A., 2007. Türkiye’de Manyetotellürik Yöntem: Tarihçesi ve Gelişimi. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yer Bilimleri Dergisi, 20 (2), 51-62.
- Gürsoy, T., 1981. Turgutlu-Alaşehir Gravite Jeotermal Etüt Raporu. MTA Derleme No:6695. Yayınlanmamış. Ankara.
- Gülay, A., 1970. Manisa Salihli, Caferbeyli- Köseli-Trabl, Kurşunlu-Allahdiyen-Gökköy-Çamur Banyoları-Üçtepeler Yöreleri Rezistivite Raporu. MTA Derleme No:4853. Yayınlanmamış. Ankara.
- Hakyemez, Y., Göktaş F., Erkal, T., 2013. Gediz Grabeninin Kuvaterner Jeolojisi ve Evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni 56-2s. Erişim Tarihi: 26.07.2017.
http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/72a55f8faa64518_ek.pdf?dergi=T%D
- Jupp, D.B.L., Vozoff, K., 1977. Two-Dimensional Magnetotelluric Inversion. Geophys. J. R. Astr. Soc., 50, 333-352.
- Karamandere, İ.H., 1971. Turgutlu-Salihli (Manisa İli) Arası Gediz Nehri Güneyinin, Jeoloji, Hidrojeoloji ve Jeotermik Etüdüne Ait Rapor. MTA Derleme No:4684.
- Karlı, R., Öztürk, S., Destur, M., 2006. Türkiye Isı Akısı Haritaları Hazırlanması Projesi Raporu. MTA Derleme No:10937.
- Kaufmann, A. A., ve Keller, G.W., 1981. The Magnetotelluric Sounding Methods, Elsevier Scientific Publ. Co.
- Kaya, C., Başokur, A.T., 2007. Aliğa Jeotermal Sahasının Manyetotellürik Yöntem İle Araştırılması. TMMOB Jeotermal Kongresi, 21-24 Kasım 2007, Ankara, 231-247.
- Kaya, C., 2002. Frekans Düzgülenmiş Empedans Fonksiyonu ile Manyetotellürik Verilerde Statik Kayma Düzeltmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 104s, Ankara.
- Keller, G.W., Frischknecht, F.C., 1966. Electrical Method and in Geophysical Prospecting, Pergamon Press, London 23-32.

- Kılıç, F. Ç., Kılıç, M. K. 2013. Jeotermal Enerji ve Türkiye. Mühendis ve Makina, 54 (639), 45-56.
- Koçak, A., 2001. Türkiye’de Jeotermal Enerji Aramaları ve Potansiyeli, 3. TMMOB Enerji Sempozyumu, 5-7 Aralık 2001, Ankara, 217-232.
- Mackie, R.L., Rieven, S., Rodi, W., 1997. Users manual and software documentation two dimensional inversion for magnetotelluric data: M.T. Earth Resources Lab.Report.
- MTA, 2016. Harita arşiv raporları. MTA Yayınları, 135s, Ankara.
- Maden Tetkik Arama (MTA), 2017a. Erişim Tarihi:07.04.2017. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita/images22.jpg>.
- Maden Tetkik Arama (MTA) 2017b. Erişim Tarihi:07.04.2017. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita/images10.jpg>.
- Maden Tetkik Arama (MTA) 2017c. Erişim Tarihi:07.04.2017. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita/images/TürkiyeIsıAkisiHarita.jpg>.
- Madden, T.R., Mackie R.L., 1989. 3D magnetotelluric modelling and inversion Proc.ie.77.
- Mackie, R. L., Rieven, S., Rodi, W., 1997. Users Manual and Software Documentation for Two-dimensional Inversion of Magnetotelluric Data.Massachusetts Institute of Technology, Earth Resources Laboratory Cambridge, MA.
- Mwakirani, R., Simuyu, C., Gichira J., 2012. Aplication of Transient Electromagnetics in Static Shift Correction for Magnetotelluric Date Case Study: Paka Geothermal Prospect in Kenya. GRC Transaction, 36, 2012.
- Öngür, T., 2005. Jeotermal Sahalarda Jeolojik ve Jeofizik Arama, İlke ve Stratejileri. Jeotermal Enerji Semineri Kitabı, 23, 38. TMMOB, MMO Yayın No: E/2005/393-2.
- Özgüleş, E., 2011. Jeotermal Alanların Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması: Bir Uygulama Örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 74s, Isparta.
- Özen-Balaban, T., Tarcan G., 2009. Caferbey ve Sart-Çamur (Salıhlı), Jeotermal Alanlarının Hidrojeokimyasal İncelenmesi, Türkiye Jeoloji Bülteni. 53, 3. Erişim Tarihi: 10.04.2017 http://dergipark.gov.tr/download/article_file/1288073
- Özdemir, A., 2007. Jeotermal Enerji ve Elektrik Üretimi. Jeofizik Bülteni, 55, 300-310. 52-3.

- Özürlan, G., Ulugergerli, E.Ü., 2005. Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler. Birsan Yayınevi, 250s, İstanbul.
- Parlaktuna, M., 2007. Jeotermal Sistem Tipleri. Erişim Tarihi:07.04.2017. <http://hidrojeoloji.blogcu.com/jeotermal-sistem-tipleri/2238073>.
- Pellerin, L; Hohmann, G.W. 1990, Transient Electromagnetic Inversion: A Remedy For Magnetotelluric Static-Shift. Geophysics, 55, 1242-1250.
- Rodi, W. L., 1989. Regularization and Backus-Gilbert estimation in nonlinear inverse problems: Application to magnetotelluric data. 77.
- Rodi, W.L and Mackie, R.L., 2001. Nonlinear Conjugate Gradient Algorithm For 2-D Magnetotelluric Inversion, Geophysics, SEG, 66, 174-187.
- Serpen, Ü., 2003. Yüzey Arama Teknikleri, Jeotermal Enerji Semineri Kitabı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, 21-30. Erişim Tarihi. 12.04.2017. <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/00000724.pdf>
- Serpen, Ü., Aksoy, N., Öngür, T., 2009. Türkiye’de Jeotermal Enerji Endüstrisinin Güncel Durumu, TMMOB Jeotermal Kongresi, 23-25 Aralık 2009, Ankara, 55-58.
- Tarcan, G., 2002. Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, Jeotermal Su Kimyası, 212. ErişimTarihi:21.03.2017. <http://debis.deu.edu.tr/userweb//gultekin.tarcan/dosyalar/Gultekin%20Tarcan-Jeotermal%20Su%20Kimyas%20fd%20notlar%fd.pdf>
- Tikhonov, A.N., 1950. On Determining Electrical Characteristics of the Deep Layers of the Earth’s Crust. Dokl. Akad. Nauk., 73, 295-297.
- Tikhonov, A.N., Arsenin, V.Y., 1977. Solutions Of Ill-Posed Problems, V.H. Winston and Sons. 43.
- Üçer, A., 2005. Jeotermal Aramalarda Jeofizik, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Semineri, Kurs Notları, Ankara.
- Vozoff, 1972. The Magnetotelluric Method in The Expolaration of Sedimentary Basins, Geophysics, 37, 98-141.
- Vozoff, 1991. The Magnetotelluric Method, In Nabighian, M.N., Ed., Electromagnetic Methods In Applied Geophysics: Soc. Expl. Geophys., 2B,641-711.
- Yücel, M., Demir, K., 2011. Manisa-Salihli Acıdere, Gökköy ve Kargın Ruhsat Sahaları Jeotermal Enerji Aramaları, Jeofizik (Jeoelektrik) Etüdü. MTA Rapor No:11387.
- Zhdanov, M.S., Fang, S., 1996. 3-D Quasi Linear Electromagnetic Inversion. Radio Science, 31.

- Wannamaker, P.E., Stodt, J.A., Rijo, L., 1986. Two-Dimensional Topographic Responses In Magnetotelluric Modelled Using Finite Element. *Geophysics*, 11, 2131-2144.
- Wannamaker, P.E., Stodt, J.A.; Rijo, L., 1987. A Stable Finite Element Solution For Two-Dimensional Magnetotelluric Modelling. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 88, 277-296.
- Xiao, W., 2004. Magnetotelluric Exploration in the Rocky Mountain Foothills, Alberta. Department of Physics University of Alberta, f Physics University of Alberta.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Akın ADIGÜZEL
Doğum Yeri ve Yılı : Denizli, 1974
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : Almanca
E-posta : akin.adiguzel@mta.gov.tr/aadgzl@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Muharrem Hasbi Koray Lisesi,1991
Lisans : SDÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği

Mesleki Deneyim

SDÜ Mühendislik, Mimarlık Fakültesi	1992-1996
Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü	1998-2018 (halen)

Yayınları

Adıgüzel, A., Kamacı, Z.; 2016. Tuz Gölü Fayı'na ait Acıpınar ve Tuz Gölü Segmentlerinin Jeofizik Yöntemler ile Araştırılması ve Sahanın Jeotermal Potansiyeli. 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 164-165, Ankara

Adıgüzel, A., Kamacı, Z., 2017. Exploration With Magnetotelluric Method of Geothermal Area In Gediz Graben Southern(Salihli, Sart, Yeniköy, Akçapınar). International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET). Oct. 27-29, 2017. Bildiri Özleri Kitabı 2s. Bitlis.