

**GEDİZ – ŞAPHANE (KÜTAHYA)
ARASINDAKİ BÖLGENİN JEOTERMAL ÖZELLİKLERİNİN
JEOFİZİK MANYETOTELLÜRİK ve ÖZDİRENÇ YÖNTEMLERİ İLE
ARAŞTIRILMASI**

**Ali Rıza KILIÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2009

T.C

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEDİZ – ŞAPHANE (KÜTAHYA)

**ARASINDAKİ BÖLGENİN JEOTERMAL ÖZELLİKLERİNİN
JEOFİZİK MANYETOTELLÜRİK ve ÖZDİRENÇ YÖNTEMLERİ İLE
ARAŞTIRILMASI**

Ali Rıza KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2009

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan Prof. Dr. Fikret KAÇAROĞLU

Üye Doç. Dr. M. Emin CANDANSAYAR

Üye Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

.../.../2009

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. Sezai ELAGÖZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEDİZ – ŞAPHANE (KÜTAHYA) ARASINDAKİ BÖLGENİN JEOTERMAL ÖZELLİKLERİNİN JEOFİZİK MANYETOTELLÜRİK ve ÖZDİRENÇ YÖNTEMLERİ İLE ARAŞTIRILMASI

Ali Rıza KILIÇ

Cumhuriyet Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr Cemal KAYA

Jeotermal enerji tükenmeyen ve yenilenebilen bir enerji kaynağıdır. Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli oldukları için yeraltındaki rezervuar kayaları sürekli beslemekte, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça bu kaynakların tükenmesi söz konusu olmamaktadır.

Jeotermal enerji; yerkabuğunun değişik derinliklerinde oluşmuş sıcaklıkları sürekli olarak, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir Yerkabuğunun derinliklerinde varolan ısı kaynağı, henüz soğumasını tamamlamamış bir magma kütlesi veya genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yerkabuğunun derinliklerinde ısınan bu meteorik sular kırık ve çatlak sistemlerinin oluşturduğu yollarla yeryüzüne ulaştıklarında sıcak su kaynakları olarak belirirler. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen ısısından yararlanılan yerin derinliklerindeki sıcak kuru kayalarda Jeotermal enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Jeotermal enerji aramalarında jeofizik yöntemlerin yeri ve önemi büyüktür. Sahadaki sorunları aşma konusunda, temel jeofizik yöntemlerden bir veya birkaçı uygulanarak jeotermal

rezervuarın yeri, derinliği ve yapısıyla ilgili çok önemli bilgiler elde edilmiştir. Özellikle jeotermal alanlardaki formasyonların içerdikleri tuzlu ve sıcak su nedeniyle elektrik özdirenç değerindeki hızlı değişim, elektrik özdirenç yöntemlerinin uygulanma nedenidir. Jeotermal sahalarda, akışkan içeren rezervuarların yerinin ve boyutlarının belirlenmesinde elektrik yöntemler direkt yöntem olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde yakın zamana kadar yürütölen jeofizik araştırmalarda birkaç kilometre derinlik sınırları içindeki bilgiler elde edilebildiğinden, çok daha derindeki ısı kaynağı ile ilgili veriler oluşturulamamıştır. Varlığı belirlenen jeotermal alanların geliştirilmesi ve gömölü jeotermal alanların saptanması için, derin özdirenç yapısını belirlemek için manyetotellürik metod günümüzde etkin olarak kullanılmaktadır.

Manyetotellürik yöntemde, yerin doğal elektromanyetik alanı enerji kaynağı olarak kullanılarak yerin elektriksel özdirenç ölçölür. Kayaçların elektrik iletkenliği poroziteyle, sıcaklıkla, içerdiki suyun tuzluluğu ile kayda değer bir şekilde artar. Kuru kayaçlarda iletkenlik sıcaklıkla doğru orantılı olarak yavaş yavaş artarken, magma çok iletkendir. MT ölçümleri araştırılan jeolojik formasyonların özellikleri hakkında çok önemli ipuçları verir. Kayaç birimleri arasındaki iletkenlik değişiminden dolayı, Manyetotellürik yöntemde, verilerin yorumlanması ile derinlik, büyük stratigrafik birimlerin sınırları gibi jeolojik yapılar açığa çıkarılabildiği gibi özellikle ısı kaynağı araştırmalarında en etkin yöntemlerin başında gelmektedir. Bir çok jeotermal sahada, derinlerde belirlenen düşük özdirençli anomaliler; magma odalarına ya da yarı ergimiş magma kütlelerine yorumlanmış olup, yüksek ısı akılı alanlarla çakıştığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada, Kütahya ili Gediz ve Şaphane ilçeleri arasındaki saha incelenmiştir. Çalışma sahasında, eski yapılan çalışmalara ilaveten yeni yapılan jeotermal amaçlı çalışmalarda belirlenen, mevcut jeotermal verilerin ışığında 3 adet paralel profille araştırılmıştır. Bu profillerde doğru akım özdirenç verileri kullanılarak 1 boyutlu elektrik yapı kesitiyle, sığ özdirenç dağılımı hakkında sonuçlar üretilmiştir. Yine aynı profillerde manyetotellürik veriler kullanılarak 2 boyutlu elektrik yapı kesitiyle, derin özdirenç dağılımı hakkında sonuçlar üretilmiştir. Bu sonuçlarla çalışma sahasının jeotermal potansiyelini arttırmak ve gömölü jeotermal sahaları tespit etmek amacıyla yapılan sondajlarla, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2009,56 sayfa

ANAHTAR KELİMELELER: Jeotermal Enerji, Manyetotellürik, Geçici elektromanyetik.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF GEOTHERMAL FEATURES OF THE REGION BETWEEN GEDİZ - ŞAPHANE(KÜTAHYA) WITH GEOPHYSICAL MAGNETOTELLURIC and RESISTIVITY METHODS

Ali Rıza KILIÇ

Cumhuriyet University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr Cemal KAYA

Geothermal energy is a renewable and boundless source of energy. Due to thermal waters that forms the geothermal fluids are meteoric originated, they continually feed reservoir rocks. Unless overusing, consumption of these resources is out of question.

Geothermal energy can be defined as hot water and steam that contain much more melted minerals, various salts and gas than waters of the earth's surface and their temperatures are always over the regional atmospheric average temperature formed in the different depths of the earth's crust. The source of the heat that exists deep in the earth's crust is related to young volcano or magma that is still not cooled down completely. Deep in the earth's crust these heated meteoric waters emerge as hot ground water resources when they reach to earth's surface running along the ways developed by systems of fractures and faults. In addition to that hot dry rocks that are deep in the earth's crust and benefited from its heat are also regarded as geothermal energy source in spite of containing any of fluids.

The place of Geophysical methods is very important in the geothermal energy investigations. With using one or two of the main geophysical methods to overcome the problems in the field, very important information related to the place, depth and structure of geothermal reservoir have been acquired. Especially in the geothermal regions the formations contain salty

and hot water that makes very rapid change in the resistivity values is the reason of using electrical resistivity methods. In the geothermal fields electrical methods are utilized as pioneer method to define the place and the dimensions of the reservoir that contains fluids. The data of the limits of a few kilometers depth could be acquired but the data related to very deep heat source could not have been constituted with handled geophysical investigations to the near future in Turkey. Magnetotelluric method is utilized effectively to determine covered geothermal fields and develop geothermal fields that their existences have been defined.

In the magnetotelluric method, the Earth's resistivity as an energy source is measured by using natural electromagnetic field of the Earth. Electrical conductivity of the rocks increases significantly with porosity, temperature, salinity of the contained water. While in dry rocks the conductivity increases directly proportional to temperature slowly, magma is very conductive. MT measurements give very important clues about the properties of investigated geologic formations. Due to variations in conductivity in rock formations, in the magnetotelluric method geological structures such as depth, boundary of big stratigraphic formations can be revealed by interpreting data in addition to that it is a leading effective method especially in thermal energy source investigations. Most of the geothermal fields determined with deep low resistivity anomalies are interpreted as magma chamber or partly melted magma body and it is observed that this coincide with high thermal flux fields.

In this study, the region between Gediz and Şaphane districts of Kütahya province has been investigated. The study area has been researched with three parallel profiles towards existing data defined with geothermal purposes by old researches in addition to new researches. Along these profiles results of one dimensional electrical cross-section and shallow resistivity distribution have been produced using direct current resistivity data. Along the same profiles, results of deep resistivity distribution and two dimensional resistivity cross sections have been produced using magnetotelluric data. These results have been compared with the wells that carried out to increase the geothermal potential of study area and identify the covered geothermal fields.

2009, 56 pages

Key Words : Geothermal Energy, Magnetotelluric Method, Transient Electromagnetic Method.

TEŞEKKÜR

Meslek hayatım boyunca; bilgi birikimini, görüş ve tavsiyelerini esirgemeyen ve MTA Genel Mdrlgnde beraber çalışma onuruna eriŐtiĐim, DanıŐmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA' ya sonsuz Őukranlarımı sunarım. Başta Sayın Yrd. Doç. Dr Hüseyin YILMAZ olmak üzere, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederim.

Her zaman mensubu olmaktan onur duyduğum MTA Genel Mdrlgne ve yönetimine, tezime konu olan verilerin toplandığı projede çalıŐan bütün arkadaŐlarım; öneri, eleŐtiri ve katkılarıyla tezimin sonuçlanmasında desteklerini esirgemeyen meslektaŐlarım teşekkür ederim.

ÇalıŐmalarım boyunca, destek ve zverisinden dolayı eŐim Selma ve oğullarım Eray ve Cem' e sevgilerimi sunarım.

Ali Rıza KILIÇ

Ankara, Haziran 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ.....	1
2. YÖNTEMLER VE TEKNİKLER.....	3
2.1. Manyetotellürik (MT) yöntem.....	3
2.1.1. Manyetotellürik Yönteminde Kaynak.....	3
2.1.2. Manyetosferin Yapısı.....	3
2.1.3. Yer Manyetik Alaninin Değişimi.....	5
2.1.4. Empedans Tanımları.....	5
2.2. MT Yöntemde Ölçü Düzeni.....	7
2.2.1. MT Ölçüm Cihazını Oluşturan Araçlar.....	7
2.3. Verilerin İşlenmesi.....	8
2.4. Ayrıştırma Analizi.....	10
2.5. TEM (Transient Electromagnetic Method) Yöntemi.....	12
2.5.1. Araştırma Derinliği.....	13
2.5.2. Görünür Özdirenç Tanımı.....	14
2.5.3. Statik Kayma.....	15
2.5. DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ.....	17
2.5.1. Yöntem.....	17

2.5.1.1. Ölçü Sistemi.....	17
2.5.1.2. Ölçülen Büyüklük - Görünür Özdirenç Kavramı.....	17
2.5.1.3. Elektrod Dizilimleri.....	19
3.İNCELEME ALANININ JEOLJİK VE JEOFİZİK ÖZELLİĞİ.....	20
3.1 Çalışma Sahasının Jeolojisi.....	21
3.1.1. Stratigrafi.....	21
3.1.2. Paleozoyik.....	21
3.1.3. Mesozoyik.....	22
3.1.4. Senozoyik.....	23
3.2. Yapısal Jeoloji.....	26
3.3. İnceleme Alanının Jeotermal Enerji Özellikleri.....	28
3.2 İNCELEME ALANININ JEOFİZİK ÖZELLİKLERİ.....	30
3.2.1. Çalışmaların Gelişimi.....	30
3.2.1.1. Modelleme.....	31
3.2.1.2. P1 Profilinin Değerlendirilmesi.....	34
3.2.1.3. P2 Profilinin Değerlendirilmesi.....	38
3.2.1.4. P3 Profilinin Değerlendirilmesi.....	42
3.2.1.5. Manyetotellürik Seviye Haritalarının Yorumu.....	47
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Manyetosferin yapısı	4
Şekil 2.	Elektromanyetik dalga.E dalganın Elektrik vektörü, H dalganın manyetik vektörü	4
Şekil 3.	Yer manyetik alanın değişimi	5
Şekil 4.	Beş kanallı MT sistemle ölçü almada arazi yerleşim düzeni	7
Şekil 5.	Jeolojik Doğrultu (azimut açısı)	11
Şekil 6.	TEM yönteminde arazi yerleşimi ve Eddy akımlarının akışı	12
Şekil 7.	TEM yönteminde alıcı ve verici dalga biçimi.	13
Şekil 8.	Homojen ortam üzerinde erken ve geç zamanlar için görünür özdirençler.	15
Şekil 9-	MT-201 İstasyonuna ait Sabit Kayma etkisini düzeltilmesi.	16
Şekil 10.	Arazide ölçü sistemi. A ve B akım elektrodları, M ve N gerilim elektrodları. Akım çizgileri noktalı çizgi ve buna dik gerilim çizgileri düz çizgi olarak çizilmiştir.	17
Şekil 11.	112DC VE 122DC İstasyonlarına ait görünür özdirenç eğrisi.	18
Şekil 12.	Çalışma sahasına ait stratigrafik kesit.	25
Şekil 13.	Çalışma alanın jeolojisi	29
Şekil 14.	MT ve TEM için aynı noktada yerleşim.	30
Şekil 15.	Profilleri için döndürme açısı gül diyagramları	31
Şekil 16.	Çalışma alanı stratigrafi – özdirenç kesiti.	33
Şekil 17.	Çalışma alanı MT ve DAÖ lokasyon haritaları	33
Şekil 18.	P1MT profili boyunca 2-B ters çözüm sonucunda elde edilen elektrik yapı kesiti.	35
Şekil 19.	P1MT profili boyunca TE modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.	35
Şekil 20.	P1MT profili boyunca TM modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.	36

Şekil 21.	P1MT profili yorumlanmış elektrik yapı kesiti.	37
Şekil 22.	DCP1 profiline ait görünür özdirenç kesiti.	37
Şekil 23.	DCP1 profiline ait 1 Boyutlu Elektrik yapı kesiti ve yorumu	38
Şekil 24.	P2MT profili boyunca 2-B ters çözüm sonucunda elde edilen elektrik yapı kesiti	39
Şekil 25.	P2MT profili yorumlanmış elektrik yapı kesiti.	40
Şekil 26.	MT profili boyunca TE modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.	40
Şekil 27.	P2MT profili boyunca TM modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.	41
Şekil 28.	DCP2 profiline ait görünür özdirenç kesiti.	41
Şekil 29.	DCP2 profiline ait 1 Boyutlu Elektrik yapı kesiti ve yorumu	42
Şekil 30.	P3MT profili boyunca 2-B ters çözüm sonucunda elde edilen elektrik yapı kesiti	43
Şekil 31.	P3MT profili yorumlanmış elektrik yapı kesiti.	44
Şekil 32.	P3MT profili boyunca TE modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.	44
Şekil 33.	P3MT profili boyunca TM modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.	45
Şekil 34.	DCP3 profiline ait görünür özdirenç kesiti.	45
Şekil 35.	DCP3 profiline ait 1 Boyutlu Elektrik yapı kesiti ve yorumu	46
Şekil 36.	500 metre seviye haritası.	47
Şekil 37.	750 metre seviye haritası .	47
Şekil 38.	1000 metre seviye haritası	48
Şekil 39.	1250 metre seviye haritası.	48
Şekil 40.	1500 metre seviye haritası	48

Şekil 41.	2000 metre seviye haritası	48
Şekil 42.	3000 metre seviye haritası	49
Şekil 43.	4000 metre seviye haritası.	49
Şekil 44.	5000 metre seviye haritası.	50
Şekil 45.	6000 metre seviye haritası.	50
Şekil 46.	7500 metre seviye haritası	50
Şekil 47.	9000 metre seviye haritası	50
Şekil 48.	P1, P2, P3 profillerine ait DAÖ ve MT kesitleri	51
Şekil 49.	P1S Sondaj litoloji logu	52
Şekil 50.	P1S Jeofizik termal logu	52
Şekil 51.	P3S Sondaj litoloji logu.	53
Şekil 52.	P3S Jeofizik termal logu.	53

SİMGELER DİZİNİ

EM	Elektromanyetik
MT	Manyetotellürik
TEM	Transient Elektromanyetik
DAÖ	Doğru Akım Özdirenç
TM	Transverse Manyetik
TE	Transverse Elektrik
σ	Öziletkenlik (Siemens/m)
ρ	Özdirenç (Ohm-m)
μ	Manyetik geçirgenlik (H/m)
μ_0	Boşluğun manyetik geçirgenlik değeri (H/m)
f	Frekans (Hz)
ω	Açısal frekans
H	Manyetik alan şiddeti (A/m)
E	Elektrik alan şiddeti (mV/m)
Z _{xy} , Z _{yx}	Empedans Tensörü
Φ	Faz
b	Manyetik akı yoğunluğu (Weber/metre-kare=Tesla)
j	Elektrik akımının yoğunluğu (A/m)
d	Yer değiştirme akımları (Coulomb/m)
H _x	Manyetik alan x-bileşeni
H _y	Manyetik alan y-bileşeni
H _z	Manyetik alan z-bileşeni

1.GİRİŞ

Jeotermal enerji tükenmeyen ve yenilenebilen bir enerji kaynağıdır. Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli oldukları için yeraltındaki rezervuar kayaları sürekli beslemekte, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça bu kaynakların tükenmesi söz konusu olmamaktadır. Jeotermal enerji; yerkabuğunun değişik derinliklerinde oluşmuş sıcaklıkları sürekli olarak, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Yerkabuğunun derinliklerinde varolan ısı kaynağı, henüz soğumasını tamamlamamış bir magma kütlesi veya genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yerkabuğunun derinliklerinde ısınan bu meteorik sular kırık ve çatlak sistemlerinin oluşturduğu yollarla yeryüzüne ulaştıklarında sıcak su kaynakları olarak belirirler. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen ısısından yararlanılan yerin derinliklerindeki sıcak kuru kayalarda Jeotermal enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Çalışma sahası Kütahya ili Gediz ve Şaphane ilçeleri arasında kalan bölgeyi kapsar. Çalışma alanında bulunan Menderes masifinin jeolojik ve yapısal özellikleri birçok araştırmacının ilgisini çekerek, bu alanda araştırma yapmışlardır. Çalışma alanında Schuiling (1958-1962); İzdar (1971); Ercan ve diğerleri (1978); Akdeniz ve Konak (1979); Bingöl ve diğerleri (1982); Günay ve diğerleri (1982); Erdoğan ve Güngör (1992); Ercan ve diğerleri (1984 ve 1996) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasında, jeotermal enerji aramalarına yönelik de bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, Ünlü (1971); Özbayrak (1984) ve Açıkgöz (1996) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasında ise jeotermal enerji aramalarına yönelik jeofizik çalışmalarda; Karlı (1997), Önder ve Duman (1998) tarafından yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalar neticesinde üç adet jeotermal kuyusu açılmıştır. Çalışma sahasında, son dönemde yapılan jeotermal enerji aramalarına ait çalışmalar ise; detay jeoloji, su kimyası, hidrotermal alterasyon, izotop (Burçak ve diğerleri 2003, 2004, 2005, 2006); jeofizik manyetotellürik (Kılıç ve diğerleri 2004, 2005) ve jeofizik doğru akım öz direnç (Hacısalıhoğlu ve diğerleri, 2004) biçiminde sıralanır.

Türkiye, genç volkanik etkilerin sık rastlandığı orojenik, aktif, tektonik, Akdeniz kuşağında yer almaktadır. Alp orojenezini sırasında şiddetli kırılma tektoniğine uğraması, magmanın yüzeye yaklaşımı ve buna bağlı olarak yerkabuğu içerisine yerleşen magma odaları jeotermal sistemlerin oluşmasında önemli rol oynamıştır. Türkiye’ de jeotermal sistemlerin saptanmasında jeofizik araştırmaların önemi büyüktür. Jeotermal enerji aramalarında, jeotermal alanlardaki formasyonların içerdikleri tuzlu ve sıcak su nedeniyle, elektrik öz direncin hızlı değişimi, jeotermal enerji aramalarında jeofizik-öz direnç yöntemlerinin sıklıkla kullanım nedenidir. Uzun yıllardır

özdirenç yöntemlerinin sıg jeotermal akışkana yönelik uygulamaları ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeofizik elektromanyetik yöntemler, sıg jeotermal araştırmalarda kullanıldığı gibi, jeotermal sistemlerin derin bileşenleri hakkında, özelliklede ısı kaynağı araştırmalarında etkin yöntemlerdir. Son dönemlerde dünyada kullanımı yaygınlaşan Manyetotellürik (MT) yöntemi de, derinlerdeki özdirenç değişimiyle, jeotermal enerji potansiyelinin artırılmasında ve özellikle gömülü jeotermal sahalanın belirlenmesinde sıkça kullanılmaktadır.

Jeotermal enerji aramalarında jeofizik yöntemlerin yeri ve önemi büyüktür. Sahadaki sorunları aşma konusunda, temel jeofizik yöntemlerden bir veya birkaçı uygulanarak jeotermal rezervuarın yeri, derinliği ve yapısıyla ilgili çok önemli bilgiler elde edilmiştir. Özellikle jeotermal alanlardaki formasyonların içerdikleri tuzlu ve sıcak su nedeniyle elektrik özdirenç değerindeki hızlı değişim, elektrik özdirenç yöntemlerinin uygulanma nedenidir. Jeotermal sahalarda, akışkan içeren rezervuarların yerinin ve boyutlarının belirlenmesinde elektrik yöntemler direkt yöntem olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde yakın zamana kadar yürütölen jeofizik araştırmalarda birkaç kilometre derinlik sınırları içindeki bilgiler elde edilebildiğinden, çok daha derindeki ısı kaynağı ile ilgili veriler oluşturulamamıştır. Varlığı belirlenen jeotermal alanların geliştirilmesi ve gömülü jeotermal alanların saptanması için, derin özdirenç yapısını belirlemek için manyetotellürik metod günümüzde etkin olarak kullanılmaktadır.

Çalışma alanı Batı Anadolu gerilmeli tektonik rejiminin etkisi altında olan bir bölgede, bu tektonik rejim etkisiyle kabuk sürekli olarak incelmis ve çok sayıda graben yapısı gelişmiştir. Batı Anadolu bölgesinde yer alan graben yapılarına bağlı büyük fayların jeotermal sistemlerin gelişmesinde etkili olduğu düşünölmektedir. Jeotermal sistemlerin ısı kaynağı yerkabuğu içinde, 7-15 km. derinliklere yerleşmiş 600–900 °C sıcaklıktaki magmatik sokulumlardır. Batı Anadolu bölgesinde yüksek sıcaklıklı birçok jeotermal alan, bu graben yapılarına bağlı olarak gelişmiştir. Çalışma alanında rezervuar nitelikli kayalar, temelde yer alan mermer, şist ve gnaystan oluşarı Paleozoyik yaşlı menderes masifi metamorfiteğine ait birimler olup, bunları kesen genç granit sokulumların, kırık zonlarının oluşturduğu düşünölmektedir. Yine çalışma alanında örtü kayacı, D-B ve KD-GB doğrultulu Grabenleri dolduran Neojen yaşlı killi, marnlı çökellerle tüflerden oluşarı geçirimsiz birimlerin, örtü nitelikli kayaları oluşturduğu düşünölmektedir.

Bu çalışmada, mevcut jeolojik ve jeokimyasal verilerin ışığında belirlenen üç adet profil üzerinde yapılan MT ve DAÖ çalışmaları sonucu modeller oluşturularak graben yapısının belirlenmesi, ısı kaynağı, mevcut jeotermal sistemlerin tanımlanması ve gömülü jeotermal sistemlerin açığa çıkartılması amaçlanmıştır. Üretilen sonuçlar, çalışma sahasında yapılan mekanik sondajlarla karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEMLER VE TEKNİKLER

2.1 Manyetotellürik (MT) Yöntem

Manyetotellürik sözcüğü, manyetik ile ilgili manyeto ve yerküre akımları için kullanılan tellürik sözcüklerinin birleşiminden oluşur. Bu anlamda manyetotellürik, manyetik alan nedeniyle oluşan akımların oluşturduğu değişimleri inceleyen bir yöntem olarak tanımlanabilir. Yöntem, kuramsal ilkeleri Tikhanov (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} – 10^3 Hz aralığında, doğal elektrik ve manyetik alan değişimlerinin ölçülerek yer elektrik özdirenç yapısının belirlendiği bir yöntemdir (Vozoff,1972).

Tikhanov ve Cagniard (1953)' in önerdiği bu yöntem, yerküreyi oluşturan kayaçların iletkenlik değişimlerinden yararlanılarak yerkürenin derin elektrik özdirenç yapısının araştırılmasında yaygın olarak kullanılır.

2.1.1. Manyetotellürik Yönteminde Kaynak

Yerküreyi saran katmanlarda (atmosfer, iyonosfer, manyetosfer) gelişen olayların, yerküre üzerinde yarattığı ani değişikliklere MT değişimler denir. 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. Dolayısıyla bu değişimlere bağlı olarak yerküre katmanları içinde indüklenen elektrik akımları (Eddy-tellürik akımlar) da yerin doğal elektromanyetik alanını oluştururlar (Şekil 1).

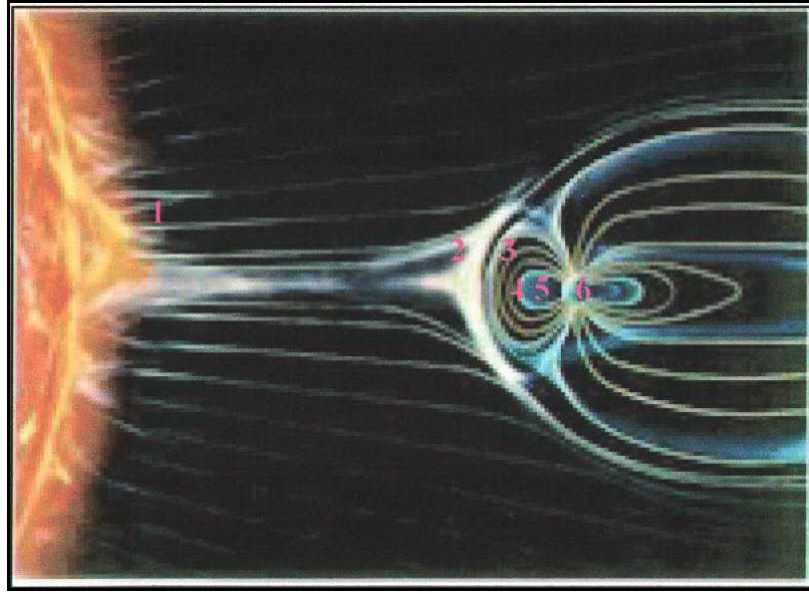
2.1.2. Manyetosferin Yapısı

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

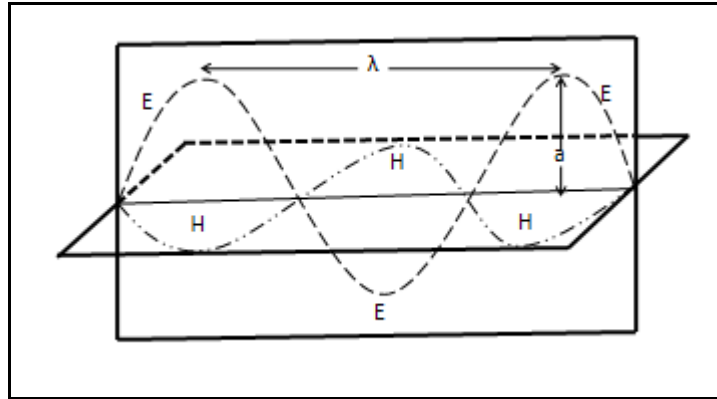
1) 1 Hz'den küçük frekanslardaki EM alanlar, güneşten gelen plazma akışı ile yerkürenin kalıcı doğal manyetik alanının birbirleriyle etkileşiminden oluşurlar. Güneş rüzgârları olarak adlandırılan bu parçacık akışı, yerin kalıcı manyetik alanı üzerinde değişik frekanslarda salınımlara neden olur.

2) 1 Hz'den büyük frekanslardaki EM alan değişimlerini ise genellikle ekvator yakınında gerçekleşen dünya genelindeki yıldırım ve şimşekler oluşturur.

Doğal kaynaklı manyetik alandaki ($10^{-5} - 10^5$ Hz aralığında) değişimler nedeniyle atmosfere göre daha iletken olan yer içinde tellürik akımlar akar. Yer içinde elektrik alandaki değişimler manyetik alandaki değişimlere neden olur. MT yöntemiyle, 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 düzlemedir (Şekil 2).



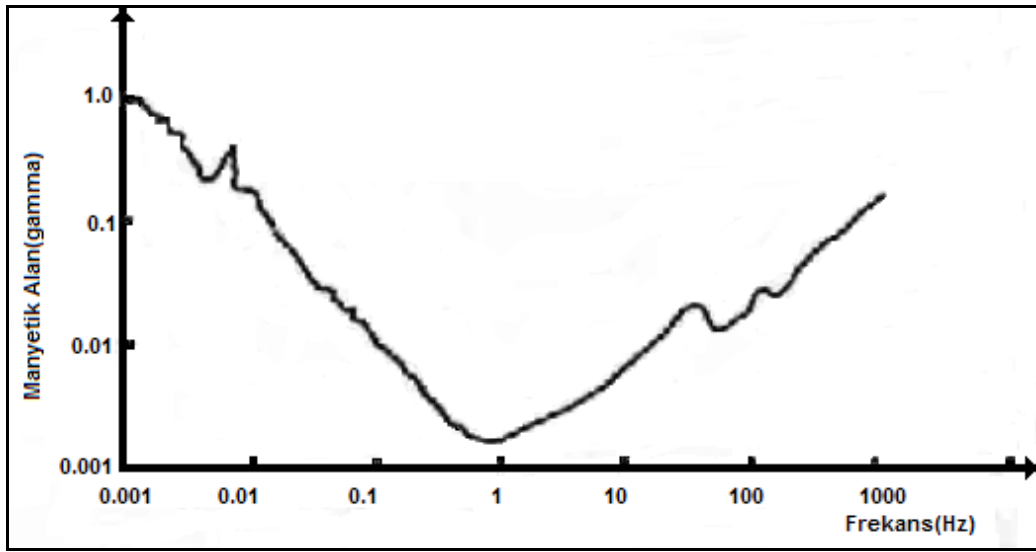
Şekil 1. Manyetosferin yapısı. 1-Güneş rüzgarı, 2-Darbe cephesi, 3-Manyetik alan çizgileri, 4-Plazma, 5-Radyasyon Kuşağı, 6-Yerküre (Keller ve Frischknecht, 1996)



Şekil 2. Elektromanyetik dalga E dalganın Elektrik vektörü, H dalganın manyetik vektörü. Bu iki vektör birbirine dik ve her ikisi de yayılma yönüne diktir.

2.1.3. Yer Manyetik Alanının Değişimi

Yer manyetik alanının değişimi, frekansın bir fonksiyonu olarak incelenirse, en zayıf değişim 1 Hz civarında olduğu görülür (Şekil 3). İyonosfer ve manyetosferde oluşan 1 Hz'in üzerindeki değişimler yere ulaşmadan iyonosfer içinde soğurulurlar. 1 Hz'in altındaki EM dalga ise güneşten gelen yükler ile manyetosfer sınırındaki girişimlerden oluşur ve astenosfer içinde yayılırlar. 1 Hz'den büyük frekanslardaki EM alan değişimlerini ise genellikle ekvator yakınında gerçekleşen dünya genelindeki yıldırım ve şimşekler oluşturur.



Şekil 3. Yer manyetik alanının değişimi (Keller ve Frischknecht 1966).

2.1.4. Empedans Tanımları

Yer içine doğru ilerleyen bir elektromanyetik dalganın yüzey empedansı, yatay elektrik alanın (E) buna dik olan manyetik alana (H) oranı olarak tanımlanır. Doğal elektrik alanın iki bileşeni (E_x, E_y) ve manyetik alanın üç bileşeni (H_x, H_y, H_z) ölçülür. Elektrik alan, iki polarize olmayan elektrod ile ölçülür. Manyetik alan ise indüksiyon bobinleri ile ölçülür.

Elektrik ve manyetik alanların frekans bölgesindeki oranları empedans olarak adlandırılır ve

$$Z_{xy}(f) = \frac{E_x(f)}{H_y(f)}$$

bağıntısı ile verilir. Burada, f frekansı göstermektedir. Empedans karmaşık bir sayı olduğundan, genliği ve fazı izleyen denklemler ile verilebilir:

$$|Z_{xy}(f)| = \frac{|E_x(f)|}{|H_y(f)|}$$

$$\phi_Z(f) = \phi_E(f) - \phi_H(f)$$

Elektrik ve manyetik alan bileşenleri birbirlerine

$$\begin{aligned} E_x &= Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \\ E_y &= Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \end{aligned}$$

bağıntıları ile bağlıdır. Bu denklemler dört eleman içeren empedans tensörü kullanılarak

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix}$$

dizel denklemler ile de ifade edilebilir. Yatay ve homojen katmanlardan oluşan bir ortam (bir boyutlu) üzerinde

$$\begin{aligned} Z_{xx} &= Z_{yy} = 0 \\ Z_{xy} &= -Z_{yx} \end{aligned}$$

koşulları sağlanır.

İki-boyutlu ortamlarda, elektrik alanın yönü yer-elektrik doğrultu boyunca ise, doğrultuya dik yöndeki manyetik alan kutuplanır ve yapıdan etkilenir. TE (Transverse Electric) modu veya E-polarizasyonu olarak adlandırılır. Bu durumda, elektrik alanın yönü, doğrultu yönünü tanımlar ve dik koordinat sistemine göre bu yön x ise,

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y}$$

olarak tanımlanır. Elektrik alan doğrultuya dik ise, manyetik alan lineer olarak polarlanır. Eğer, y doğrultuya dik yön ise, TM (Transverse Magnetic) modu veya H-polarizasyonu

$$Z_{yx} = \frac{E_y}{H_x}$$

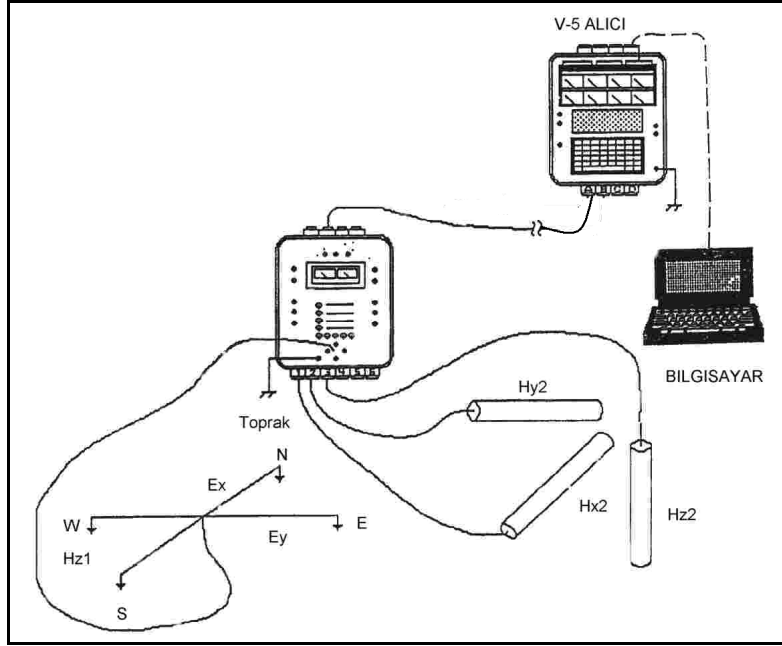
olarak tanımlanır. Z_{xx} ve Z_{yy} bileşenleri ise sıfır olur.

Eksen yönleri önceden bilinemeyeceğinden, MT ölçümleri, manyetik kuzey-güney ve doğu-batı eksen yönlerinde kayıt edilirler. Veri-işlem aşamasında, TE ve TM modlarına ait empedansların bulunması için Z_{xx} ve Z_{yy} tensör elemanlarını minimum yapacak şekilde en küçük kareler yöntemi ile empedans tensörü döndürülür (Swift, 1967).

2.2. MT Yöntemde Ölçü Düzeni

2.2.1. MT Ölçüm Cihazını Oluşturan Araçlar

MT yönteminde manyetik alanın üç bileşeni (H_x , H_y , H_z), elektrik alanın iki bileşeni (E_x ve E_y), birer adet alıcı ve bilgisayardan oluşan sistemle toplanır (Şekil 4). Manyetik alanlar bobin (veya manyetometre), elektrik alanlar ise polarize olmayan potlar ile ($Cu-CuSO_4$ veya $Pb-PbCl$) ölçülür.



Şekil 4. Beş kanallı MT sistemle ölçü almada arazi yerleşim düzeni.

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. Ancak MT yöntem ile arazide ölçü alınırken ölçü almada belli bir düzen vardır.

Arazi koşullarına göre birbirlerinden 50-200 m uzaklıkta bulunan elektrotlar arazi üzerine L veya + oluşturacak biçimde yerleştirilerek MT ölçü alınır. L düzeneğinde ortak elektrot, ortak nokta olarak diğer iki elektrodun her ikisine de bağlanır. Manyetik alan ise etrafı su geçirmez PVC türü bir kaplama ile örtülmüş indüksiyon bobinleri ile ölçülmektedir. MT ölçü 2 veya daha fazla istasyon arasında eş zamanlı olarak elde edilebilir.

Bu çalışmada kullanılan MT ölçüler Phoenix firması tarafından üretilen 5 kanallı, çok amaçlı V-5 adlı alıcı kullanılarak ölçülmüştür. Kanallardan 2 tanesi Elektrik alan bileşenlerini (Ex, Ey), 3 kanal ise Manyetik Alan bileşenlerini (Hx ,Hy, Hz) ölçmede kullanılır. Ölçülen Hz bileşeni jeolojik doğrultu hakkında bilgi almak için kaydedilir. Diğer bileşenler ise yer altı elektrik özdirençleri hakkında bilgi elde etmek için ölçülür.

MT parametreler gerçek zamanda hesaplanırken, zaman serisi verileri alıcı ile bağlantılı bir diz üstü bilgisayar aracılığı ile kayıt edilmektedir. Phoenix marka MT cihazı ölçülerinin ikisi yüksek frekans bandında (320 ve 7.5 Hz arasında değişen frekanslarda), biri de alçak frekans

bandında (6 ve 0.00055 Hz arasında değişen frekanslarda) kayıt edilir. Elektrik alan mV/km ve Manyetik alan, nT cinsinden ölçülen büyüklüklerdir. Yatay düzlemde birbirine dik olan E ve H alanların empedans ile olan ilişkisinden hesaplanan özdirençler ise Ohm-m cinsindedir.

2.3. Verilerin İşlenmesi

MT yöntemde elektrik ve manyetik alanlar zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülürler. Zaman ortamında ölçülen bu verilerin Fourier dönüşümleri alınarak frekans ortamına dönüştürülmeleri yorumlama açısından daha uygundur.

Frekans ortamı veri analizi yapılırken şu yol izlenir;

1. Elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin ayrı Fourier dönüşümü alınır. Bir $x(n\Delta t)$ biçimindeki ayrık verinin Fourier dönüşümü,

$$X(f) = \sum_{n=1}^{N-1} x(n\Delta t) e^{in\Delta t} \quad n=1,2,\dots,N-1 \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır. $X(t)$ dizisinin Fourier dönüşümü olan $X(f)$ 'nin genlik ve faz spektrumu aşağıdaki gibidir,

$$|X(f)| = [(X_g(f))^2 + (X_e(f))^2]^{1/2} \quad (2.2)$$

$$\Phi(f) = \arctanh[-X_g(f)/X_e(f)] \quad (2.3)$$

2. Elektrik ve manyetik alan, her frekanstaki genlik ve faz değerleri biçiminde yazılabilir,

$$X(f) = |X_g(f)| e^{i\Phi_x} \quad (2.4)$$

Yukarıda anlatılanlara benzer olarak elektrik alan ve manyetik alanın Fourier dönüşümü alınırsa,

$$E_x(f) = |E_x(f)| e^{i\Phi_x} \quad (2.5)$$

$$H_y(f) = |H_y(f)| e^{i\Phi_y} \quad (2.6)$$

şeklinde olur. Empedans değeri elektrik alanın manyetik alana oranından,

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y} = \frac{|E_x|}{|H_y|} e^{i(\Phi_E - \Phi_H)} \quad (2.7)$$

olarak bulunur. Empedans karmaşık bir sayıdır. Empedansın genliği,

$$|Z_{xy}(f)| = \left| \frac{E_x(f)}{H_y(f)} \right| \quad (2.8)$$

ve empedansın fazı,

$$\Phi_{xy} = \Phi_x(f) - \Phi_y(f) \quad (2.9)$$

olarak bulunur.

2.4. Ayrıştırma Analizi

Manyetotellürik verilerin yorumlanması araştırılan sahanın, bölgesel ölçekte yer altı 2-B iletkenlik yapısına sahipse, manyetotellürik yöntem elektrik alanı aşağıdaki gibi tanımlamaktadır.

$$E_R = Z_{2D} H_R = \begin{bmatrix} 0 & Z_A \\ -Z_B & 0 \end{bmatrix} H_R \quad (2.10)$$

$$Z_{2D} = \begin{bmatrix} 0 & Z_A \\ -Z_B & 0 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Burada E_R ve H_R sırasıyla yeryüzüne paralel ve 2-B yapıların asal eksenlerine uyan bölgesel elektrik ve manyetik alanlardır. Ayrıca Z_A ve Z_B bölgesel ölçekteki 2-B yapılar için elde edilen empedans dizeyinin elemanlarıdır. Yerel küçük ölçekli yapılar bölgesel tellürik akımların bozulmasına neden olur ve her ne kadar büyük ölçekli bölgesel jeolojik yapılar 3-B değilse de bir ve iki boyutlu anlamlı yorumları önlemektedir. Bu nedenle ölçülen E ve H alanların bölgesel değerleri yerel etkiler tarafından bozulur. Elektrik alan, küçük ölçekli iletken yapılarının

sınırlarında toplanan yerel yükler nedeniyle kuvvetli şekilde bozulabilir. Manyetik alan ise, tellürik akım yoğunluğunun ağırlıklı uzaysal ortalaması olarak tanımlanmasından da anlaşılacağı gibi elektrik alanlara nazaran bozucu etkiden daha az etkilenmektedir ve bu etki Groom ve Bailey (1991) tarafından izleyen bağıntı ile verilmiştir.

$$H = H_R + DE_R \quad (2.12)$$

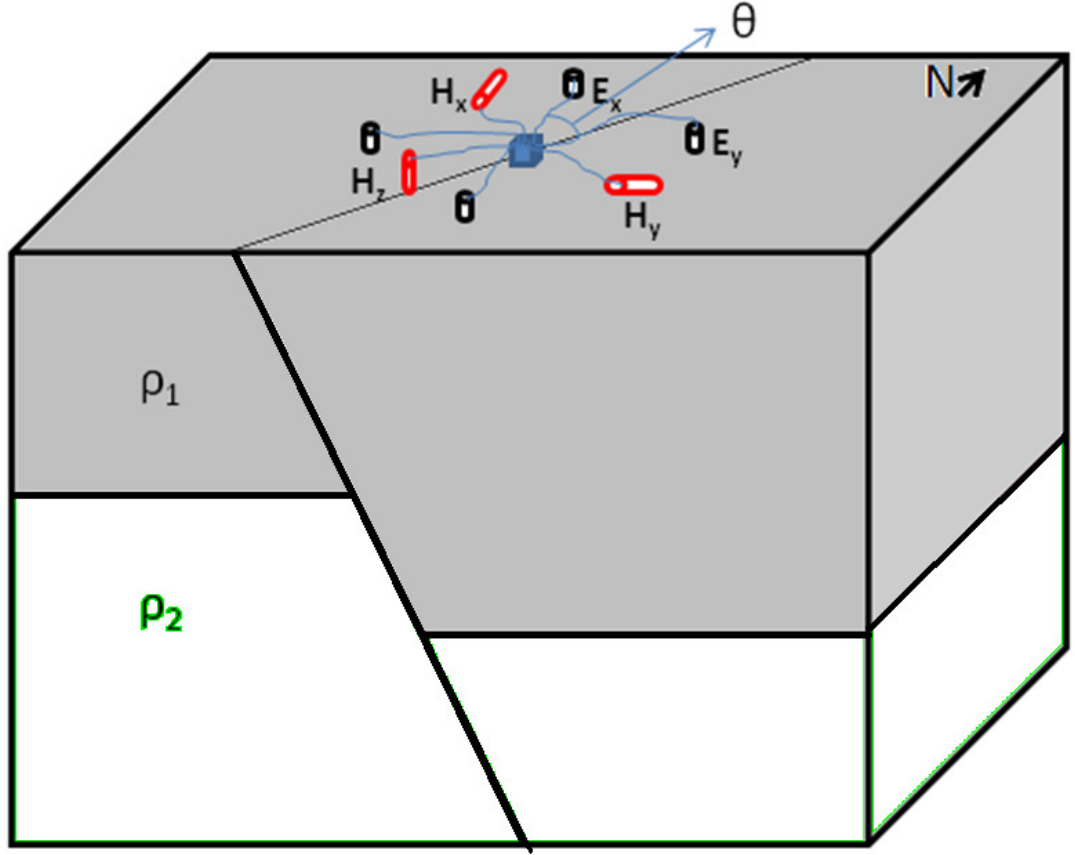
Burada manyetik alan üzerindeki bozucu etki bölgesel elektrik alana bağlı olarak D şeklinde bir tensör ile etki etmektedir. Ancak burada kullanılan D tensörünün elemanları çok küçük olması nedeniyle aşağıdaki kabulü sadeleştirmek amacıyla kullanabiliriz.

$$H = H_R \quad (2.13)$$

Bu tanımlama farklı yazarlar tarafından tartışılmış ve kabul görmüştür (Simith 1995, Dimitriev ve Berdichevsky 1979, Groom ve Bailey 1989). Diğer taraftan ölçülen elektrik alan, bölgesel elektrik alan (E_R) ve distorsiyon veya channeling tensörü şeklinde isimlendirilen C (bozulma tensörü) ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişki Bahr (1988)'e dayanarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$E = CE_R = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 \\ C_3 & C_4 \end{bmatrix} E_R \quad (2.14)$$

Bozulmaya neden olan yapıların indüktif olarak zayıf olması varsayımından dolayı C tensörünün tüm elemanları gerçel (reel) olarak varsayılabilir. Bu durumun geçerliliği birçok araştırmacı tarafından tartışılmıştır (Simith 1995, Dimitriev ve Berdichevsky, 1979, Wannamaker ve diğ, 1984, Bahr, 1988).



Şekil 5. Jeolojik Doğrultu (azimut açısı)

Bir önceki bölümde de değinildiği gibi genellikle kuzey-güney ve doğu-batı doğrultusunda ölçülen elektrik ve manyetik alanlara bağlı olarak ölçülen empedans tensörü de

$$E = Z_m H \quad (2.15)$$

$$Z_m = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada Z_m ölçülen empedans tensörüdür. Bölgesel eksen sisteminde veya asal eksen sisteminde ölçülen empedans tensörü (2.10), (2.13), (2.14) ve (2.15) bağıntıları kullanılarak

$$Z_m = CZ_{2D} \quad (2.17)$$

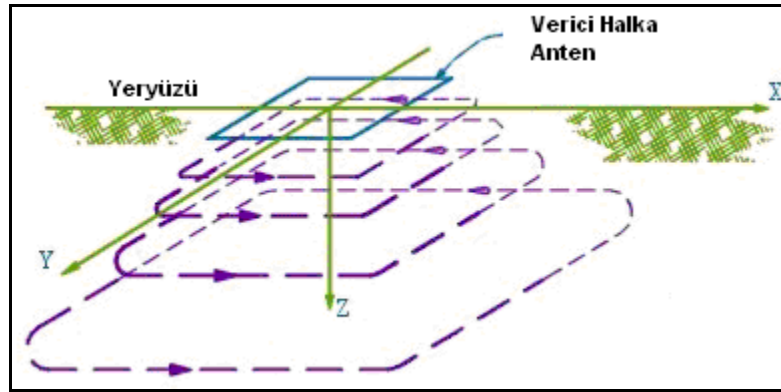
şeklinde veya ölçüm ekseninde

$$Z_m = RCZ_{2D}R^T \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada C bozulma tensörü olarak ifade edilmektedir. R ise döndürme matrisi olarak isimlendirilir ve vektörleri bölgesel asal eksen sisteminden θ açısı ile ölçüm eksen sistemine döndürür (Şekil 5). (2.18) nolu empedans tensör bağıntısı yer altındaki fiziksel modeli açıklamasına rağmen sağ yandaki çarpımdan parametreler tekil (unique) olarak elde edilemez. Bunun nedeni 9 gerçel parametre gerekliliğindedir. Bu parametreler sırasıyla R matrisinin içinde ki döndürme açısı θ , 4 tane reel bozulma tensör elemanı ve 2 karmaşık asal empedans değeridir.

2.5. TEM (Transient Electromagnetic Method) Yöntemi

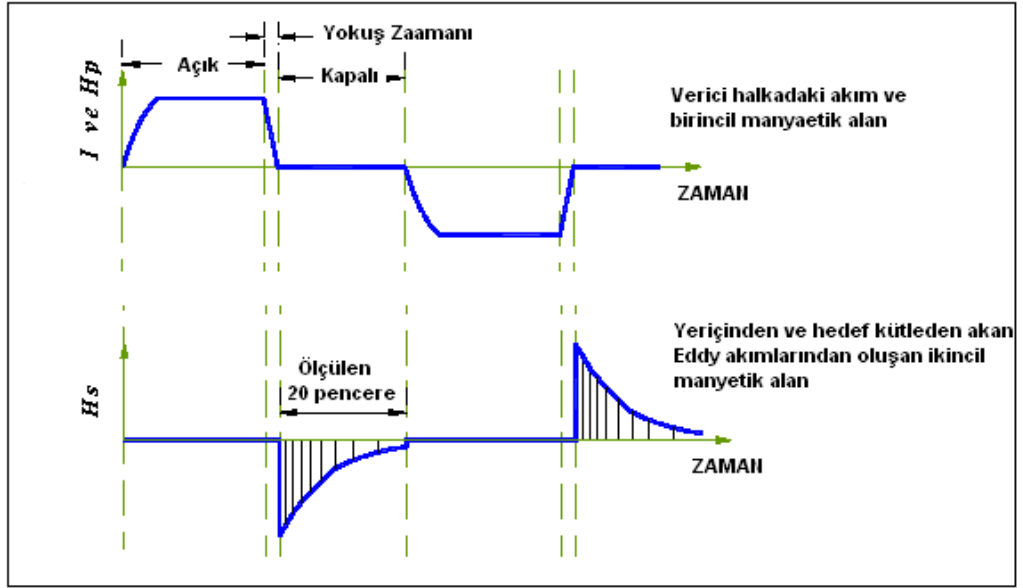
Geçici elektromanyetik yöntemde (Transient Electromagnetic (TEM) Method) ölçüler zaman ortamında yapıldığından zaman ortamı elektromanyetik yöntem (Time Domain Electromagnetic (TDEM) Method) olarak da adlandırılır.



Şekil 6. TEM yönteminde arazi yerleşimi ve Eddy akımlarının akışı

TEM yönteminde ölçü düzeni Şekil 6'da görülmektedir. Dışta çoğunlukla tek kablodan oluşan bir verici halka vardır. Ortada ise çok sarımlı alıcı bobin bulunur. Alıcı bobin alet üreticisi firma tarafından sağlanır. Boyutu ve sarım sayısı sabittir. Verici halkanın boyu ve sarım sayısı isteğe ve araştırma amacına bağlı olarak değiştirilebilir. Eğer sığ yapılar araştırılmak isteniyorsa verici halka boyu birkaç metre, derin yapılar araştırılmak isteniyorsa birkaç yüz metre olur.

TEM yönteminde, vericiden kare dalga biçimli akım uygulanarak birincil manyetik alan yaratılır. Akım kısa bir süre içinde kesilince, birincil manyetik alanın oluşturduğu ikincil alanlar ölçülür (Şekil 6).



Şekil 7. TEM yönteminde alıcı ve verici dalga biçimi.

Alıcı tarafından ölçülen voltaj, akım kesildikten sonra yapıldığından çok küçüktür. Ölçüm sırasında sönüm eğrisinin tümünün okunması yerine seçilen bazı zaman aralıklarında (pencerelerde) kayıt yapılır. İlk pencerenin küçük olması sığ derinliklerin araştırılabileceğini gösterir. Son pencerenin geç zaman aralığında olması ise derin yapıların araştırılması için uygundur.

Alıcı bobin tarafından belli bir zaman aralığında ölçülen V voltajı, manyetik indüksiyon alanının zamana göre türevine,

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{V}{A_r} \quad 2.19$$

bağıntısıyla dönüştürülür. Burada V , alıcıdan okunan voltaj (volt), A_R ise alıcı bobinin etkin alanıdır (m^2) ve sarım sayısı ile bobin alanının çarpımına eşittir.

2.5.1. Araştırma derinliği

TEM yöntemi ile yeraltına indüklenen Eddy akımları zamana bağlı olarak derinlere ve yanlara doğru yayılırlar. Yayılım sırasında zaman arttıkça akım şiddeti azalırken, dalganın yarıçapı büyümektedir. Bu yayılım zamana ve ortamın özelliğine bağlıdır ve hızı,

$$v = \frac{1}{\sqrt{2\sigma\mu_0 t}} \quad 2.20$$

bağıntısı ile tanımlanır. Belli bir zamanda akım yoğunluğunun en büyük olduğu derinlik,

$$\delta_{TEM} = \sqrt{\frac{2t}{\sigma\mu_0}} \quad 2.21$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Bu eşitlikten görüldüğü gibi araştırma derinliği iletken ortamlarda küçük, yalıtkan ortamlarda ise büyüktür. En küçük araştırma derinliği ilk örnekleme zamanına bağlıdır. Araştırma derinliğini arttırmak için son örnekleme zamanını büyütmek gereklidir.

TEM yönteminde zamana göre azalan manyetik alan ölçüldüğünde, zaman uzadıkça sinyal küçülür ve gürültüyle karışır. Araştırma derinliğini ve sinyali güçlendirmek için değişik yollar vardır. Bunlar,

- Ölçü yığılması (stack) yapılarak sinyal gürültü oranı artırılır,
- Yükseltici ön devrelerin kazançları (gain) artırılır,
- Vericiden uygulanan akım artırılır,
- Verici halkanın boyu artırılır.

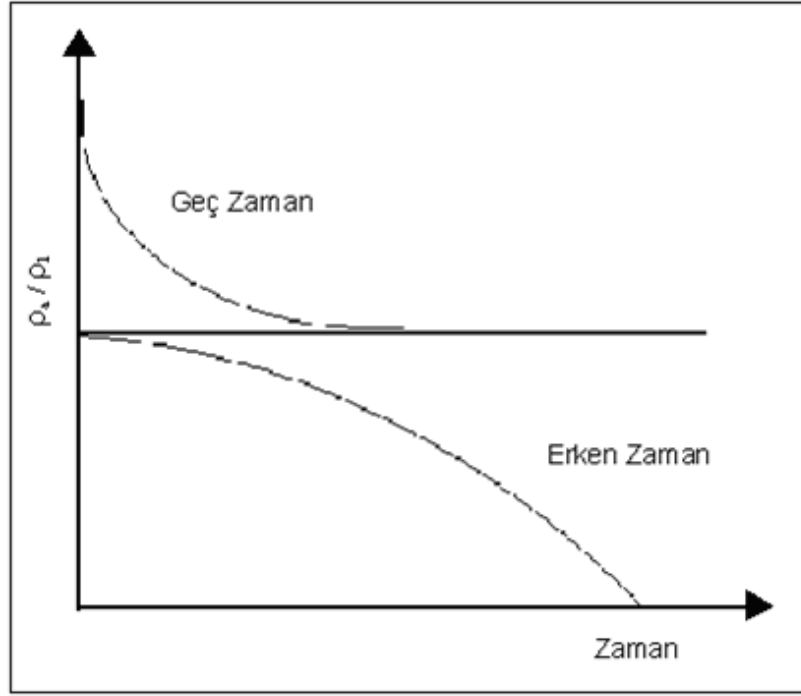
2.5.2. Görünür Özdirenç Tanımı

TEM yönteminde kullanılan bütün zamanlar için tek bir görünür özdirenç analitik yolla hesaplamak imkansızdır. Bundan dolayı, erken zaman (early time) ve geç zaman (late time) olarak tanımlanan iki dilimde asimptotik bağıntılar kullanılarak iki tür görünür özdirenç eğrisi hesaplanır. Bunlar;

$$\rho_a^0 = \frac{\mu a^3}{3It} \left(\frac{I}{2a} - h_2 \right) \quad 2.22$$

$$\rho'_a = \frac{I^{2/3} \mu a^{4/3}}{30^{2/3} \pi^{1/3} t h_z^{2/3}} \quad 2.23$$

biçiminde bulunur. Şekil 10'da homojen ortam için erken ve geç zamanlarda görünür öz direnç asimptotik eğrileri görülmektedir.



Şekil 8. Homojen ortam üzerinde erken ve geç zamanlar için görünür öz dirençler.

2.5.3. Sabit Kayma

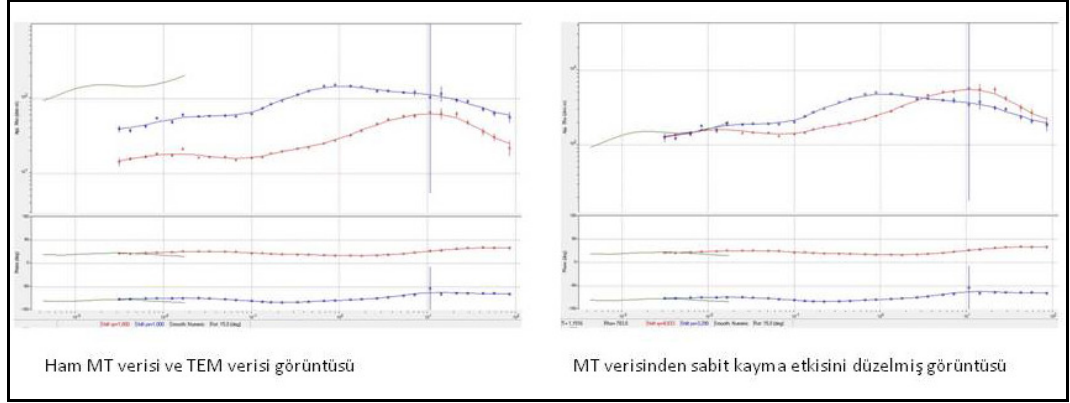
Manyetotelirik (MT) yöntemde, doğal elektromanyetik alanın vektör bileşenleri ölçülür. E ve H elektrik ve manyetik alanın vektör bileşenleri olmak üzere empedans,

$$Z_{xy} = E_x / H_y \quad 2.24$$

olarak tanımlanır. Z empedans tensörünün büyüklüğü, yerin üç-boyutlu öz direnç yapısı tarafından belirlenir.

3-B'lu yapılarda doğru değerlendirme yapılabilmesi için bölgesel MT tepkisinin bilinmesi gerekir. Başka bir deyişle galvanik bozulmaların (galvanic distortion) ölçülen MT verisinden çıkarılması gerekir. Bozulmaya uğramamış (undistorted) MT tepkisi 3-B bölgesel etkiyi tanımlar. Elektrik alan, indüksiyon alan ve galvanik alan olarak ikiye ayrılabilir.

Aşağıdaki örnekte (Şekil 9), MT-201 istasyonuna ait statik kayma etkisinin düzeltilmesi görülmektedir. TEM eğrisi ile MT eğrisinin TE ve TM modları arasında kaymayı düzeltmek için TE modundaki eğriyi 8.80 lik bir kayma etkisi, TM modunda ise 3.29 luk kayma etkisi görülmektedir.



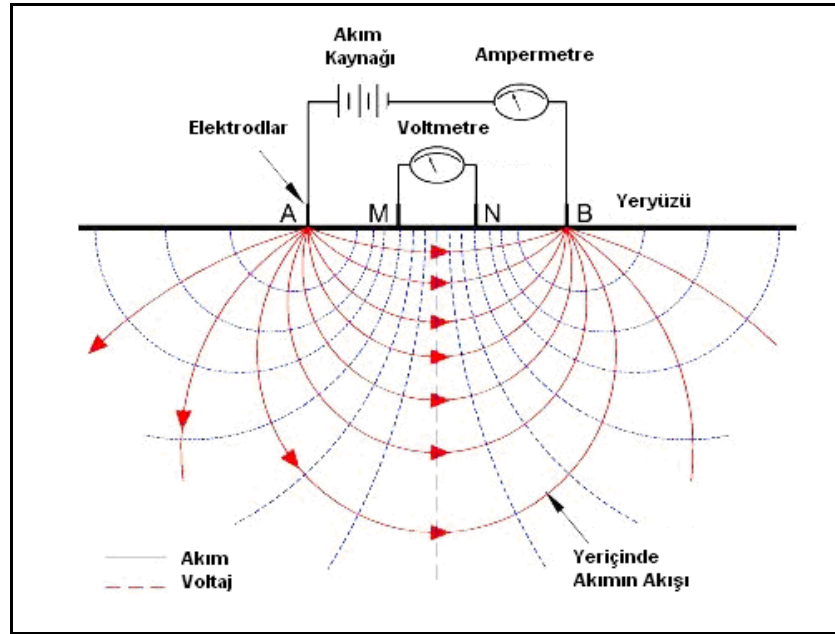
Şekil 9. MT-201 İstasyonuna ait Sabit Kayma etkisini düzeltilmesi.

2.6. Doğru Akım Özdirenç Yöntemi

2.6.1. Yöntem

2.6.1.1. Ölçü Sistemi

DAÖ ölçü düzeni Şekil 10 deki gibi gösterilebilir. Bu düzenekte, bir güç kaynağı (akü), bir akım ölçer (current meter) ve bir gerilim farkı ölçer (voltage meter) gereklidir. Burada, iki noktada yere çakılmış elektrodlar yardımı ile akım uygulanır (A ve B akım elektrodları) ve diğer iki noktada çakılmış elektrodlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (M ve N gerilim elektrodları). Kullanılan elektrodlar genelde paslanmaz çelik'ten yapılmıştır.



Şekil 10. Arazide ölçü sistemi.

A ve B akım elektrodları, M ve N gerilim elektrodları. Akım çizgileri noktalı çizgi ve buna dik gerilim çizgileri düz çizgi olarak çizilmiştir. Burada A' dan (Source) yere verilen akım, yer içinden geçer ve B' ye (Sink) ulaşır. Bu akımdan dolayı, M ve N elektrodlarının arasında oluşan gerilim farkı ölçülür. Ölçülen bu gerilim farkı, tüm elektrodlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik yapısına bağlıdır. Ayrıca elektrodların çakıldığı yerde ölçülen gerilim farkını etkiler.

2.6.1.2. Ölçülen Büyüklük - Görünür Özdirenç Kavramı

DAÖ yönteminde, ölçülen büyüklük gerilim farkıdır. Ölçülen gerilim farkı'ndan (ΔV - milivolt) özdirenç aşağıdaki gibi hesaplanır.

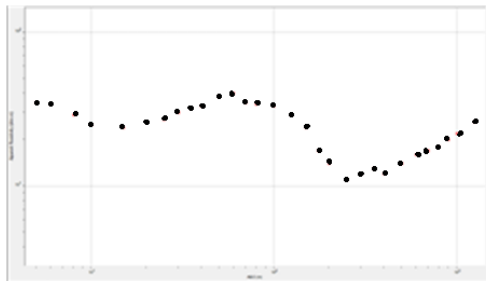
$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.25)$$

Burada I (miliamper), yere uygulanan akım ve k, geometrik faktör olarak bilinir ve aşağıdaki gibi verilir.

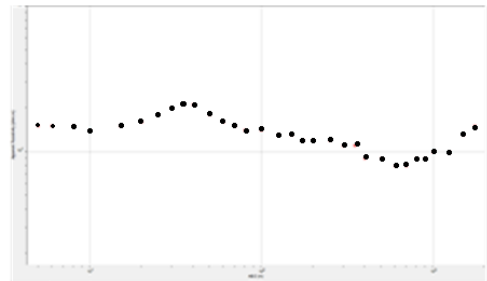
$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (2.26)$$

Dizilim katsayısı, elektrodlar arasındaki uzaklığa bağlıdır, Burada özdirenç bağıntısı tekdüze (homogen) ve izotrop bir ortam için verilmiştir. Fakat gerçekte yer tekdüze değildir ve arazide ölçülen gerilim farkı (ΔV) kullanılarak (2.1) denkleminde hesaplanan özdirenç; Görünür Özdirenç (GÖ) olarak adlandırılır. GÖ, yerindeki jeolojik yapıya, bu yapının özdirencine ve kullanılan elektrod dizilimine bağlıdır (Candansayar , 1997).

GÖ tanımlamasına göre; ortam tekdüze ve yarısonsuz ise ölçülen GÖ ortamın özdirencine eşit olmalıdır. Tabakalı bir ortamda GÖ eğrisi akım elektrodları arasındaki uzaklığın yarısı olan $AB/2'$ nin küçük değerleri için birinci tabakanın özdirencine, büyük değerleri için son tabakanın özdirencine yakınsamalıdır. Ayrıca GÖ, $AB/2'$ nin ara değerlerinde de ara tabakaların özdirencine yakın olmalıdır (Spies and Eggers, 1986; Başokur 1994). Arazide ölçülen gerilim farkları, tekdüze ve izotrop ortama ait olmadığından, bundan sonraki bölümlerde denklem (2.19) ile hesaplanan özdirenç GÖ olarak adlandırılacaktır ($\rho_a = \rho$). Fakat nicel yorumda kullanılan ve fiziksel büyüklük olan özdirenç ise, GÖ verilerinin 1-B, 2-B veya 3-B ters çözümü sonucu elde edilir.



112DC Noktasına ait Görünür Özdirenç Eğrisi



122DC Noktasına ait Görünür Özdirenç Eğrisi

Şekil 11. 112DC ve 122DC noktalarına ait görünür özdirenç eğrisi.

2.6.1.3. Elektrod Dizilimleri

A, B akım ve M, N gerilim elektrodlarının farklı konumlarına göre farklı elektrod dizilimleri önerilmiştir. Aynı yer için farklı elektrod dizilimi ile ölçülen gerilim farkları ve dolayısı ile GÖ değerleri de farklı olmaktadır (Candansayar, 2008). Geleneksel elektrod dizilimleri, elektrodların bir bakışım (simetri) merkezine göre çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Schlumberger, Wenner, dipol-dipol (dipole-dipole) ve pole-dipol (pole-dipole) dizilimleridir. Arazi çalışmalarında dizilim amaca yönelik seçilmektedir. Bu çalışmada Schlumberger dizilimi kullanılarak sondaj ölçüleri yapılmıştır. Sondaj ölçüsü Yerelektrik delgisinde (sondajında) (geoelectric sounding) veya düşey elektrik sondaj olarak da anılmaktadır. Bu ölçü alım tekniğinde, sabit bir nokta bakışım (symmetry) merkezi olacak şekilde, her ölçüm sonucunda bu noktanın iki tarafında elektrodların bir çizgi boyunca açılmasıyla uygulanır. Böylece yerinde düşey yöndeki özdirenç değişimi incelenmeye çalışılır. Bu nedenle yöntem, "Düşey Elektrik Sondajı" (DES) (vertical electrical sounding) olarak da isimlendirilmektedir (Bhattacharya ve Patra, 1968). Bu şekilde ölçülen veri, x-ekseni AB/2 ve y-ekseni ölçülen GÖ (ρ_a) değerleri olacak şekilde çizilir (Şekil 11). Elde edilen eğri, "DES eğrisi" olarak adlandırılır. Şekil 11 de çalışma sahasına ait iki istasyona ait Görünür Özdirenç eğrisi görülmektedir. AB/2 ve ölçülen GÖ değerlerinin çok geniş aralıkta değişmesinden dolayı, genel olarak DES eğrisinde her iki eksen' de logaritmiktir.

DES verileri, yerininin 1-B olduğu kabul edilerek, 1-B ters çözüm yapılır. Ters çözüm sonunda, tabakalı ortama ait özdirenç ve kalınlıklar hesaplanır.

3.İNCELEME ALANININ JEOLojİK ve JEOFİZİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanının da içinde yer aldığı Menderes Masifinde 1940' lı yıllardan beri çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Menderes Masifinin kuzeyinde yer alan çalışma alanında; kömür, jeolojik, endüstriyel hammaddeler, metalik madenler ve jeotermal enerjiye yönelik bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara ait özet bilgiler şunlardır;

Schuiling (1958-1962), Menderes masifindeki gnaysların migmatit cinsinden olup, metamorfize olmuş bir tortul seriye alkali fazlalıklı kuvars - feldispat içeren sıvıların girmesiyle oluştuğunu ifade etmiştir. Yazara göre, bir bütün olarak büyük bir dom şeklinde bir strüktür

meydana getiren gnayslar, sınırdan dışarıya doğru metamorfizma derecesi gittikçe azalan şistler ile çevrelenmiş, şistler de metamorfik boksit yatakları içeren mermerlerle uyumlu olarak örtülmüştür.

İzdar, (1971), Masifin iki metamorfizma geçirdiğini, ilkinin Varistik fazda bittiğini, ikincisinin ise Alpin orojenezle başladığını ileri sürmüştür. Yazar, masifin olası Prekambriyen yaşlı bir çekirdek ile Paleozoyik ve alt Mesozoyik yaşlı metamorfik örtü şistlerinden oluşmuş bir kubbe görünümünde olduğunu, çekirdekte gözlü gnaysların, ince taneli gnaysların, biyotit gnaysların yer aldığını, üzerindeki örtü şistlerinin Alpin metamorfizmanın kazandırdığı yeni bir sistozite ile tamamen silinmiş gibi görünen bir diskordansla geldiğini belirtir.

Ünlü, (1971), İnceleme alanını da içine alan geniş bir alanda jeotermal enerji etüdüne yönelik jeoloji çalışmasında stratigrafik ve tektonik ağırlıklı bir çalışma gerçekleştirmiş, sahada gradyen ve üretim sondaj lokasyonları belirlemiştir.

Gün, (1975), Gediz civarında yaptığı çalışmasında, temeli oluşturan metamorfitlerin üzerine yerleşme yaşı Üst Kretase olan allakton ultramafik kayaçların bulunduğunu, yörede tersiyer birimlerinin miyosen ile başladığını ve Miyosenin genellikle akarsu ortamı nitelikli kaba ve ince taneli detritiklerden oluştuğunu, renkleri bakımından karakteristik olan bu detritiklerin akarsu oluşuklarının değişik evrelerine ilişkin modeller gösterdiklerini saptamışlardır. Yazar, Miyosen detritiklerinin üst düzeylere doğru tuf katkıları da içerdiğini ve tuf ve aglomeralardan oluşan bir volkanik kuşağın, Miyoseni daha üstteki Pliyosenden ayırdığını Pliyosen çökellerinin ise gölsel marn ve kireçtaşları ile ayırtlandığını ifade etmiştir.

İça, (1976), Murat Dağı kaplıcası civarında yaptığı hidrojeolojik etüde yönelik çalışmasında, sahanın hidrojeolojisi ile ilgili yorumlar getirerek sıcak akışkan üretim sondajı önermiştir.

Bingöl, (1977), Çalışma alanında, özellikle Murat Dağı civarında, petroloji ve jeokronoloji ağırlıklı çalışmasında Paleozoyik yaşlı metamorfitleri (Baybuyan form.) ofiyolitik melanj içindeki bloklar olarak yorumlamıştır.

Akdeniz ve Konak, (1979), Çalışma alanının yakın civarını da içine alan bölgenin ayrıntılı stratigrafisini ortaya koymuş, Güneybatı Anadolu bölgesinde geniş bir alan kapsayan Menderes Masifinin gözlü gnays, granitik gnays ve migmatitlerden oluşan bir çekirdek ile çevresini saran örtü şistlerinden oluştuğunu ifade ederek çalışma alanında da gözlenen ofiyolit melanjı Dağardı melanjı olarak adlandırılmış ve Kretase yaşı vermiştir.

Özbayrak, (1984), Gediz civarının jeolojisi ve jeotermal enerji potansiyeli ile ilgili çalışmasında, bölgenin jeotermal enerji açısından olumlu olduğunu belirtmiştir.

Günay ve diğ. (1986), Çalışma alanının özellikle Murat Dağı civarının jeolojisini ayrıntılı çalışarak sahanın stratigrafisi ve tektoniği ile ilgili yorumlar getirmiş, volkanik birimleri ayrıntılı olarak ayırtlamıştır.

3.1 Çalışma Alanının Jeolojisi

3.1.1. Stratigrafi

İnceleme alanın temelinde Paleozoyik yaşlı Menderes Masifine ait çekirdek kayalarını oluşturan gnayslar ile örtü şistleri yer alır. Temeli oluşturan gnayslar çalışma alanı ve yakın civarında yaygın olarak gözlü gnays, granit gnays, ve biyotit gnays olarak gözlenir. Çalışma alanının güney kesiminde temeli, gnayslar oluştururken, kuzeyde Şaphane Dağı bölgesinde çeşitli şistler ile kristalize kireçtaşlarından oluşan örtü şistleri oluşturur. Çalışma alanı içinde bu iki birimin birbiri ile ilişkisi üstteki Tersiyer yaşlı görsel çökeller ile volkanitlerden oluşan örtü nedeniyle gözlenememiştir. Güneyde gnayslar ve kuzeyde de şistler üzerine tektonik dokanakla ofiyolitik melanj napı yer alır. Bu birimleri, KD - GB ve BKB - DGD uzanımlı graben havzalarında çökelen Tersiyer yaşlı çökel ve volkanik kayalar ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar uyumsuzlukla örter (Şekil 12).

3.1.2. Paleozoyik

Gnays (Pzg)

İnceleme alanında gözlü gnayslarla temsil edilirler. Çalışma alanının güneyinde Korkuyu Köyü ve civarında gözlenir. Çalışma alanında, eksen KD-GB doğrultulu ve KD' ya doğru dalımlı bir antiklinal çekirdek oluşturur. Antiklinalin kanatlarında ortalama eğim 20° civarında olup, antiklinal ekseninin ortalama dalımı 5-10° KD şeklindedir. Birim arazide temeli oluşturmakta ve tabanı gözlenememektedir. Temeli oluşturan gnayslar antiklinalin iki kanadı boyunca uzanan KD-GB doğrultulu çekim fayları ile sınırlı bir horst yapısı oluşturur. Horstun iki yanında gelişen grabenlerde ise Tersiyer yaşlı, yer yer volkanik seviyeler bulunduran sedimanlar (Yeniköy formasyonu) çökelmişlerdir.

Sarıcasu formasyonu (Pzş)

Bu birim çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan Şaphane Dağı civarında mostra verir. Menderes Masifinin örtü şistlerinin üst seviyelerini oluşturur. Birimin üzerinde geçişli olarak Triyas - Kretase yaşlı kristalize kireçtaşları bulunur. Akdeniz ve Konak (1979) birim içinde yaş verecek fosile rastlanmadığından stratigrafik ilişkiye göre Üst Paleozoyik alt Triyas yaşını vermişlerdir. Ancak üste geçişli olarak gelen Budağan kireçtaşlarından alınan en büyük yaşın Üst Triyas olması sebebiyle, birimin yaşı, bu stratigrafik ilişkiye göre Üst Paleozoyik-Orta Triyas olarak kabul edilebilir.

3.1.3. Mesozoyik

Budağan Kireçtaşı(Jkb)

Birim çalışma alanında Şaphane Dağ ve Asarteppe civarında yaygın mostralara verir. Şaphane Dağında kalın tabakalı gri - siyah ve beyaz bantlı, dolomitik kokulu, kristalize kireçtaşlarından oluşur. Birimin değişik seviyelerden alınan Paleontolojik örneklere göre Triyas-Kretase yaşını vermişlerdir.

Dağardı Melanjı (Kdm)

Çalışma alanında güneyde Abide kaplıcaları ve Körkuyu civarında kuzeyde ise Şaphane Dağı güneyinde bulunur. Çalışma alanı ve çevresinde , temeli oluşturan metamorfiteğin üzerine gelen allakton ultramafik kayaların, yerleşme yaşının Üst Kretase'dir. Serpantinleşmiş mafik ve ultramafik kayalarla, kristalize kireçtaşı, mermer bloklarından oluşur.

Serpantin (Kdm S)

Serpantinleşmiş mafik ve ultramafik kayalar ile bunlar içinde yer alan değişik büyüklükte kristalize kireçtaşı ve mermer bloklarından oluşur.

Listfenit (Kdm-Lst)

İnceleme alanında Dağardı melanjı içinde daha çok üst seviyelerde Kızılüzüm ve Körkuyu köyleri civarında gözlenen birim köken kayacı muhtemel olarak melanj içindeki kristalize kireçtaşı ve mermerler ile ultramafik kesimlerden oluşan yoğun olarak silisleşme ve karbonatlaşma tipi hidrotermal alterasyona uğramış kayalarla temsil edilir.

3.1.4. Senozoyik

İnceleme alanında Senozoyik daha yaşlı birimler üzerine diskordan olarak gelen Tersiyer yaşlı karasal çökeller, volkanitler ve Kuvaterner alüvyon çökelleri ile temsil edilir.

Yeniköy Formasyonu (Tmy)

Çalışma sahasında geniş alanlarda mostra verir ve yaşı Orta Miyosen Üst Miyosen olarak kabul edilir. Birim tabanda 15-20 m kalınlıkta metamorfik kayalar (kuvarsit, gnays, şist) çakıllarından oluşan iyi yuvarlaklaşmış, kötü boylanmalı ve sıkı silis çimentolu taban konglomerası ile başlar bunların üzerine ince taneli çakıltaşları ve kumtaşları gelir. Daha üstte çakıllı kil, kumtaşları, kıltaşı, siltaşı, bitki sap ve yaprak fosilli şeyl ve bunlarla yanal ve dikey geçişli tuf, tüfit, kıltaşı ara tabakalı konglomera, kumtaşı, siltaşı seviyeleri ile devam eder, marn ve beyaz renkli killi ve yer yer silisli kireçtaşlarıyla son bulur. Birimin en yaygın seviyelerini detritik kesimler (kumtaşı – siltaşı) oluşturur .

Karacahisar Volkanitleri (Tmktf - Tmkβ)

Birim, çalışma alanı ve yakın civarında, Şaphane Dağın doğu, güney ve batısında, Yumrutaş, Üçbaşı, Ayvacık, Karamanca, Şaphane dolaylarında geniş alanlarda mostra verir. Yeniköy formasyonu ile olan stratigrafik ilişkiye göre birimin yaşı Orta-Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Tüf, andezit, dasit ve riyodasitik lavlar (Tmktf)

Birim göreceli olarak altta beyaz, açık pembe renkli yer yer akma bantları olan andezitik dasitik bileşimli tüflerden oluşmakta, bu kesim alt seviyelerde tabakalı olup litik karakterdedir ve içinde bazalt lav parçalarından oluşan bloklar bulundurulur. Birim Yeniköy formasyonu'na ait akarsu gölsel ortamda oluşmuş sedimanlarla yanall ve dikey yönde geçişlidir. Yeniköy formasyonunun çökelleri akarsu ortamında çökelerken ilk volkanik evre ile çıkan kül ve lapilli parçaları yer yer akarsularla Yeniköy formasyonunun çökeline katılıp, tüfit düzeylerini oluşturmuştur.

Bazalt (Tmkβ)

Bazalt lavları çalışma sahasında Şaphane ve İnceğiz köyü civarlarında mostraları vardır. Bazalt lavları Yeniköy formasyonunun üst kesimlerini oluşturan kıltaşı-marn seviyeleri ile kireçtaşları arasında yer alan 15- 20m lik lav seviyeleri halinde görülür. Bu olay çökellemeyle yaşıttan olan volkanizmayla ortama fazla miktarda silis gelişini ve ortamda kireçtaşları ile birlikte çökeldiğini işaret eder.

Hisarcık Formasyonu (TPlh-kt, TPlh-km)

Çalışma alanında Abide Kuzeyinde mostra verir. Genellikle kuzey-kuzeydoğu kesimlerinde Çeltikçi köyü civarında gözlenir, kuzeye ve doğuya doğru yayılım gösterir. Birimin alt seviyesini gölsel kıltaşı, marn ve kireçtaşı oluşturur. Kumtaşı (TPlh-kt) seviyeleri: İri çakıldan kum boyuna değişen tane boyuna sahip malzemedan oluşmuştur. Kıltaşı - marn - kireçtaşı (TPlh-km) seviyeleri: Kil taşı, marn ve yer yer şeyl seviyeleri gözlenir. Ilcasu köyünün kuzeyinde yaygın olarak gözlenir.

Ilıca Lamprofirleri(TPhl)

Birim Orta Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonunu keserek çıkan ve onlar içine sokulan, yarı derinlik kayaçlarından oluşur. Yeniköy formasyonu ile olan dokanağında onların tabaka duruşlarını bozarak, eğimlerini değiştirmektedir. Bu anklavların kenar kısımlarında kontakt metamorfizmadan kaynaklanan silisleşmeler ve pişme (kiremit rengi) gözlenmiştir. Ilıca lamprofirleri Orta-Üst Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonunu keser, bu nedenle stratigrafik ilişkiye göre, Üst Miyosenden genç olacağı düşünülerek birime Pliyosen yaşı verilmiştir.

Payamtepe Volkanitleri (Qpv)

Çalışma alanında Abide-İlçalar, Çeltikçi köyü civarında, ve çalışma alanı güneybatısında Kızılkoltuk civarında mostraları vardır. Siyah-mor renkli, bol boşluklu bazalt ile temsil edilir. Stratigrafik ilişkiye göre (kestiği en genç birimin yaşının Pliyosen olması) ve Paleomanyetizma verilerine göre birime Kuvaterner yaşı verilmiştir.

Taraça Çökelleri (Qtrç)

Abide kuzeyi ve Çeltikçi güneyinde mostra veren, ana vadinin oyularak derinleşmesi ile askıda kalmış eski alüvyon çökellerinden oluşmaktadır. Çakıl, kum boyu malzeme ağırlıklı olmak üzere yer yer blok boyutunda malzeme de içerir.

Traverten (Qtr)

Sıcak su kaynakları çevresinde güncel traverten oluşumları devam etmektedir, ancak haritalanacak boyutlarda yayılıma sahip değildir. Traverten oluşumları kaynak çevresinde koniler şeklinde ilginç görüntüler oluşturur.

Alüvyon (Qal)

Güncel ve eski akarsu vadilerinde gözlenir. Tutturulmamış ya da az tutturulmuş kum, çakıl boyutlu malzemeden oluşmuştur.

3.2. Yapısal Jeoloji

KD- GB Doğrultulu Normal faylar

Alanda bu faylar K 40-50D doğrultulu ve ortalama 65-75° eğime sahiptir. Bunlar Menderes masifine ait gnays ve şistleri keserek Neojen (Miyosen-Pliyosen) yaşlı çökel ve volkanik kayaçların çökelimine uygun graben havzalarını oluşturur. Graben kenar faylarını oluşturan bu faylara bağlı olarak muhtemelen Kuvaterner yaşlı Payamtepe Volkanitlerinin (bazalt) çıkmış olması fayların derinlere kadar inen ve Miyosen-Kuvaterner aralığında aktivitesini devam ettirdiğini gösteren bir delil olarak değerlendirilmiştir. Bu fayların kestiği birimler Menderes Masifinin gnays ve şistleri ile Üst Kretase yaşlı Dağardı melanjidir. Havza kenarında Fay'ın kontrolunda gelişen havzaya Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu çökelirken havza içine doğru paralel doğrultuda gelişen ve Miyosen birimlerini kesen, pliyosen çökellerine havza oluşturan daha genç kırık hatları ve nihayet, Kuvaterner yaşlı bazaltların çıkışını sağlayan daha genç kırıklar gelişmiştir. Bu verilerden fayın oluşumunun Miyosen başı olduğu ve etkinliğini Kuvaterner'e kadar sürdürdüğü söylenebilir. Çalışma alanında ve yakın çevresinde Menderes masifine ait horstları sınırlayan ve Neojen çökel havzalarını oluşturan graben kenar fayları, genel olarak K 40-50D doğrultusunda uzanırlar, bu doğrultudan kuzeye doğru sapma olduğu yerlerde fay oblik karakter kazanır, (K-G doğrultusunda doğrultu atım bileşeni baskın duruma geçer) ve eğimi artarak, 90° 'e kadar yükselir (Şekil 13).

KB-GD Doğrultulu Normal faylar

Çalışma alanında kaplıcalar civarında ve alanın kuzeyinde Şaphane dağ güneyinde yer alan faylar bu doğrultularda uzanırlar. Bu faylar göreceli olarak KD- GB doğrultulu faylardan daha genç faylardır. Kestikleri en genç yapı ve birim KD-GB doğrultulu faylar ve Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonudur. Bu faylara bağlı olarak Ilica Lamprofirleri (Pliyosen?) ile Payamtepe bazalt volkanizmasının (Kuvaterner) çıkmış olması fayın Pliyosen- Kuvaterner döneminde aktif olmuş bir fay olduğunu göstermekte olup, muhtemelen bu fayların yaşının Pliyosen olduğu söylenebilir. Fayın doğrultu ve eğimi kaplıca batısında K 55 B 66-80° KD , çalışma alanı kuzeyinde Şaphane dağ güney ve batısında ise K25-35 B 65-70° GB' dır.

Oblik atımlı normal faylar

Çalışma alanında ve alan dışında doğuda Firdan köyü ile, batıda Karamanca arasında K 60-70 B doğrultusunda uzanan çizgiselliğin arazi gözlemleri uydu görüntüleri, hava fotoğrafı incelemeleri ile muhtemelen doğrultu atımlı sağ yönlü bir fay olduğu düşünülmektedir. Fayın doğrultusu boyunca kestiği en genç birim, doğuda Pliyosen yaşlı Hisarköy formasyonu olup, batıda ise fay, oblik özellik kazanarak kuzey blokun düşmesi ile Hatip oğulları – Karamanca arasında Pliyosen yaşlı birime çökel havzası oluşturur. Bu veriler dikkate alındığında fayın

muhtemelen Pliyosen başında harekete geçen ve Pliyosen esnasında etkinliğini sürdüren oblik özellikli fay olduğu ve muhtemelen sağ yönlü doğrultu atım bileşeni içerdiği düşünülmektedir.

Kıvrımlar

Alanda Paleozoyik yaşlı gnays eksenine KD-GB doğrultulu ve KD' a doğru dalımlı bir antiklinal çekirdek oluşturur. Antiklinalin kanatlarında ortalama eğim 20° civarında olup antiklinal ekseninin ortalama dalımı $5-10^{\circ}$ KD şeklindedir. Antiklinal yapı, iki kanadı boyunca KD-GB doğrultulu çekim fayları ile sınırlanan bir horst yapısı oluşturur.

Yeniköy formasyonuna ait tabakalar yerel olarak, KB-GD ve BKB-DGD doğrultulu ondülasyonlar (antiklinal ve senklinaller) oluşturacak şekilde eğimlenme kazanmışlardır. Genel olarak tabakalar, $K30-40^{\circ}$ B, D-B ve daha $K20-30^{\circ}$ D doğrultuludur, yerel olarak bazı fayları etkisiyle doğrultularda sapmalar görülür. Kıvrımlanmaların aşınma etkisi ile birleştiğinde yerel olarak önemli kalınlık değişmelerine neden olduğu belirlenmiştir.

Ters faylar

Çalışma alanında ters faylar, Üst Kretase yaşlı Dağardı melanjının güneyde yataya yakın ($5-10^{\circ}$) bir hareketle Paleozoyik yaşlı gnayslar ve kuzeyde $15-20^{\circ}$ dokanak eğimi ile Mesozoyik yaşlı kristalize kireçtaşları (Budağan kireçtaşı) üzerine oturduğu tektonik dokanakla temsil edilir. Fayın yaşının, yani melanjın yerleşim yaşının Ü.Kretase (Meastrihtiyen) – Eosen arasında gerçekleştiği belirtilmiştir.

Volkanizma

İnceleme alanında volkanizma faaliyetleri Alt-Orta Miyosen yaşlı (K/Ar) Karacahisar volkanitlerinin oluşumu ile başlar, bu volkanizma ürünleri, gölsel akarsu fasiyesinde gelişmiş Yeniköy formasyonun çökel kayalar ile yanal ve dikey yönde geçişler sunan piroklastik ürünler, bu çökel arasına akmış bazalt lavları ile andezit, dasit, riyodasit ve riyolit lavlarından oluşur. Çökel kayalarla girift durumu ve aşınma nedeniyle düzgün volkanik yapı şekilleri göstermezler, ancak piroklastik bir seviye ile başladıkları ve bunların üzerine akan değişik bileşimde lav çıkışlarıyla devam eden volkanizmanın, birkaç evrede etkinliğini devam ettirdiği, tortul istifli olan tekrarlı ardalanmasından anlaşılmaktadır.

Kendi içinde birkaç volkanizma evresi ile tamamlanan Karacahisar volkanitlerinin oluşumundan sonra ikinci volkanizma evresi Ilica Lamprofirlerinin oluşumuna karşılık gelen evredir. Bu evrede çıkan Lamprofirler dom ve Dayklar şeklinde çıkış özelliğine sahiptir ve KB –GD doğrultulu bir kırık hattını kullanmıştır. Payamtepe volkanitlerinin oluşum evresidir. Bu lamprofirler Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonunu keserek içine yerleşmiş ve bu birime ait kayaları içine anklav olarak

almıştır, bu nedenle lamprofirlerin stratigrafik ilişkiye göre Pliyosen yaşlı olabilecekleri düşünülmektedir.

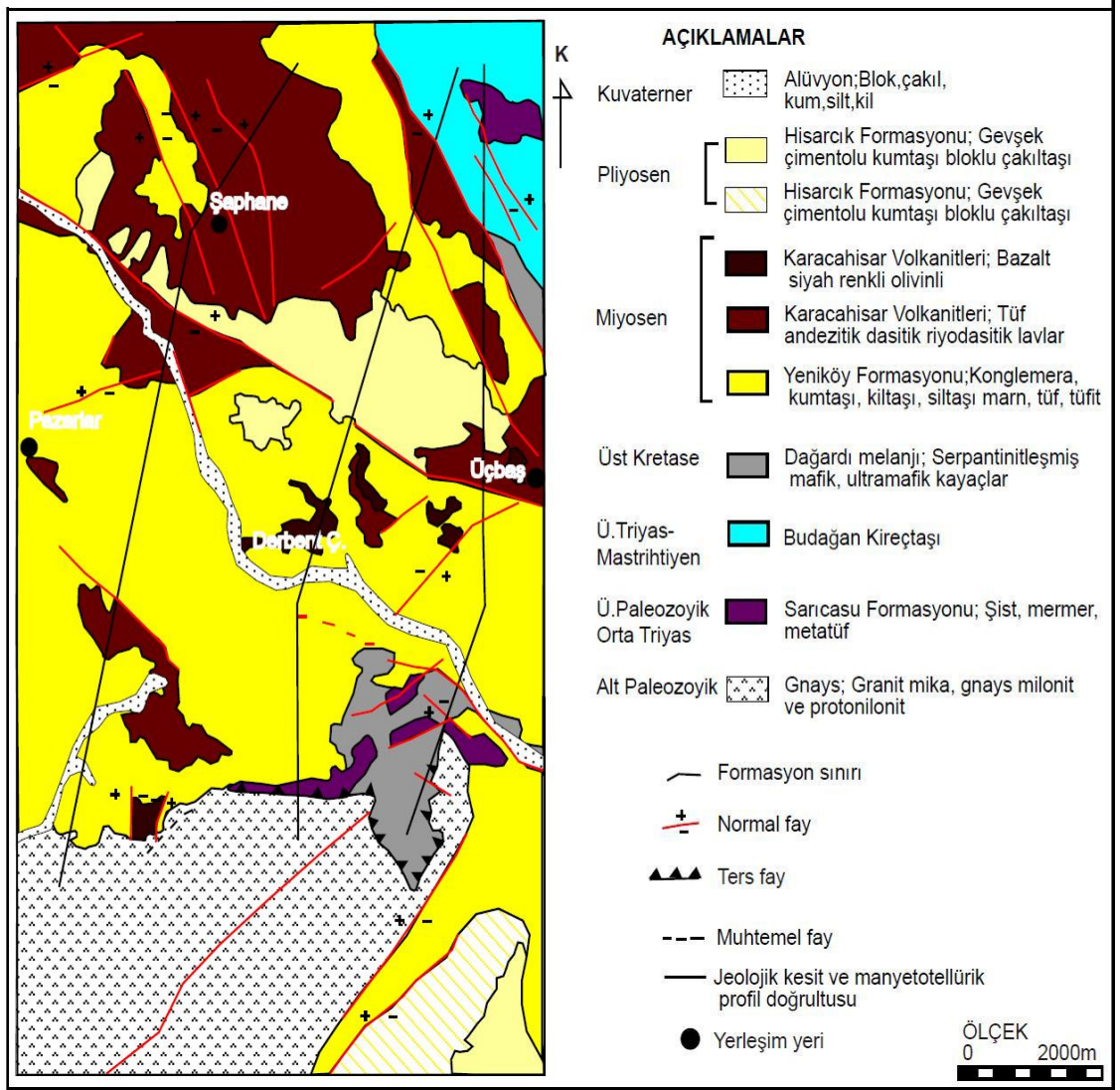
3.3. İnceleme Alanının Jeotermal Enerji Özellikleri

Derinlere inen büyük fay sistemleri: Çalışma alanı, Batı Anadolu gerilmeli tektonik rejiminin etkisi altında olan bir bölgede yer almaktadır. Bu tektonik rejim etkisiyle kabuk sürekli olarak incelmış ve D-B yönlü '8' ve KKD ve GGB doğrultulu '20' adet graben yapısı gelişmiştir. Bu D-B ve KD-GB trendli grabenlerin gelişim zamanları ve birbiriyle ilişkileri konusunda bir fikir birlikteliği henüz mevcut değildir. Bu konudaki tartışmalar D-B gidişli Gediz Grabeni ile KD-GB gidişli Gördes, Demirci ve Selendi grabenleri üzerinde yoğunlaşmıştır. K-G ve D-B trendli grabenler Erken Miyosende başlayan KD-GB yönlü gerilmeler sonucu meydana gelmiştir. Şengör (1987) ise K-G trendli basenlerin D-B trende sahip grabenlerden daha yaşlı olduğunu belirtmiştir. Batı Anadolu bölgesinde yer alan graben yapılarına bağlı büyük fayların jeotermal sistemlerin gelişmesinde etkili olduğu düşünülmektedir. Batı Anadolu bölgesinde yüksek sıcaklıklı birçok jeotermal alan, bu graben yapılarına bağlı olarak gelişmiştir.

Isı kaynağı: Yerkabuğu içinde 6-15 km. derinliklere yerleşmiş, 600–900 °C sıcaklıktaki mağmatik intrüzyonlardır. Bu görüş birçok olay ve sonuçlarla desteklenmiştir. Çalışma sahasındaki volkanik aktivitenin Miyosen Kuvaterner aralığında veya halen devam ettiği alanlarda yer alır.

Rezervuar: Temelde yer alan mermer, şist ve gnaystan oluşan Paleozoyik yaşlı menderes masifi metamorfiteğine ait mermer şist ve gnaysların ve bunları kesen genç granit sokulumlarının kırık zonlarının oluşturduğu düşünülmektedir.

Örtü Kayaç: D-B ve KD-GB doğrultulu Grabenleri dolduran Neojen yaşlı killi, marnlı çökellerle tüflerden oluşan geçirimsiz birimlerin, örtü nitelikli kayaçları oluşturduğu düşünülmektedir.



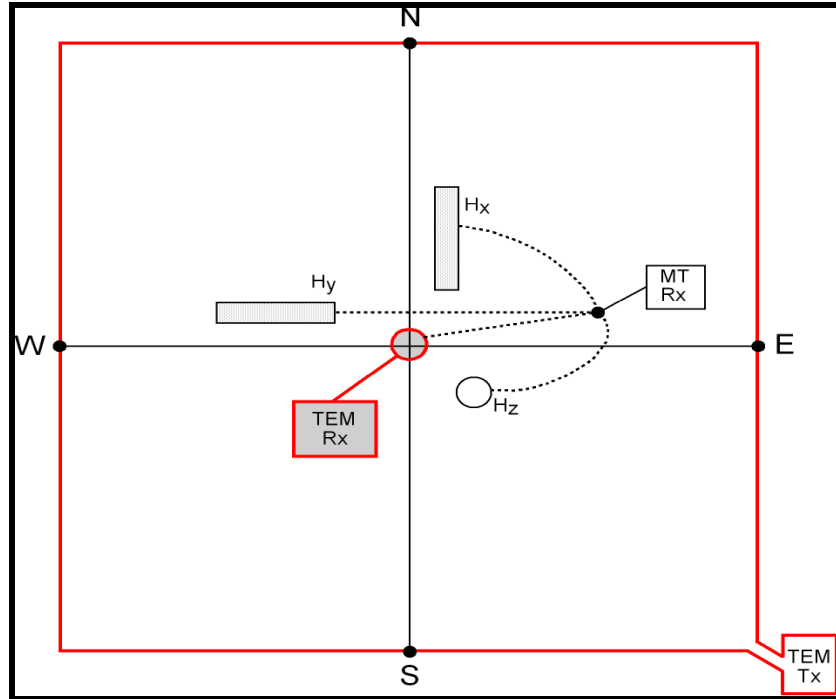
Şekil 13. Çalışma alanının jeolojisi (Burçak (2005)' den sadeleştirilerek alınmıştır).

3.4 İNCELEME ALANININ JEOFİZİK ÖZELLİKLERİ

3.4.1. Çalışmaların Gelişimi

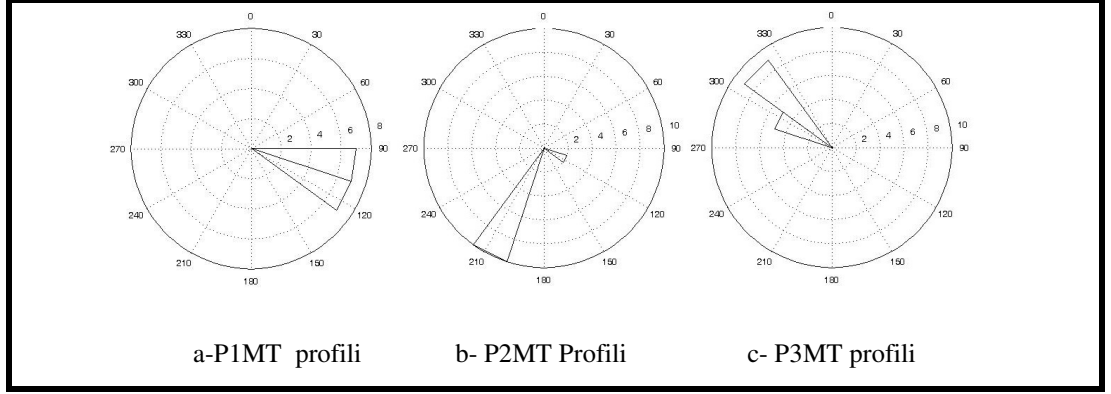
Bu çalışmada MT ölçüsü alınan istasyonlarda, statik düzeltme işleminde kullanılmak üzere TEM ölçüleri de alınmıştır.

Ölçülen zaman serisi manyetotellürik verilerinin Fourier dönüşümleri alınarak, frekans ortamında empedanslar elde edilmiş ve her ölçü istasyonu için EDI standartında dosyalar oluşturulmuştur. Manyetotellürik veriye sabit kayma düzeltmesi uygulamak için kaydedilen Zaman Bölgesi Elektromanyetik (TEM) ölçüleri her istasyonda ve MT yöntemi elektrik alan kabloları açılımı ile aynı alanda ölçülmüştür (Şekil 14). Bu ham veriden, bir istasyon için tek bir veri kümesi (manyetik alanın zamana göre türevi) elde edilmiştir. Bu veriler görünür öz direnç değerlerine dönüştürülmüş ve bir-boyutlu (1-B) model kullanılarak yorumlanmıştır. Böylece, her ölçü istasyonunun altındaki sığ bilgileri elde etmek amacı ile katman öz direnç ve kalınlıkları hesaplanmıştır. TEM verilerinin yorumu ile elde edilen 1-B modellerin parametreleri kullanılarak, kuramsal MT değerleri hesaplanmıştır. Kuramsal 1-B MT empedans değerleri, MT verisinin yüksek frekans aralığını da kapsayacak şekilde hesaplanmıştır. Ölçülen MT görünür öz direnç değerleri, kuramsal veriye yüksek frekanslarda uyum sağlayacak şekilde kaydırılarak, sabit kayma çarpanı bulunur (Şekil 9) .



Şekil 14. MT ve TEM için aynı noktada yerleşim.

Her MT istasyonunda kuzey-güney ve doğu-batı doğrultularında ölçülen yön bağımlı empedans değerleri, ayrıştırma analizi yapılarak Profil 1 için 15 °, Profil 2 için 19° ve Profil 3 için 45° lik açı ile jeolojik doğrultuya paralel ve dik olacak şekilde döndürülmüştür (Şekil 15).



Şekil 15. Profilleri için döndürme açısı gül diyagramları.

MT verisinin TE ve TM modlarına ayrılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Hem jeolojik yapı hakkında genel bilgi edinmek hem de modlara ayırma işlemi kontrol etmek amacı ile TE ve TM modlarına ait görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri yapma-kesitler (pseudo-section) hazırlanmıştır. Yapma-kesitlerde düşey eksen frekans, yatay eksen uzaklık olarak alınarak, görünür özdirenç ve empedans fazı grafiklenmiştir.

3.4.1.1 Modelleme

Yapma-kesitlerin incelenmesi ile yapılan yorum nitel olup, yeraltındaki gerçek özdirenç dağılımının hesaplanması için iki-boyutlu (2-B) ters çözüm işleminin uygulanması ve ölçüm profili boyunca yeraltı yapısını temsil edebilecek 2-B yer elektrik modelinin elde edilmesi gerekmektedir. İki-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.

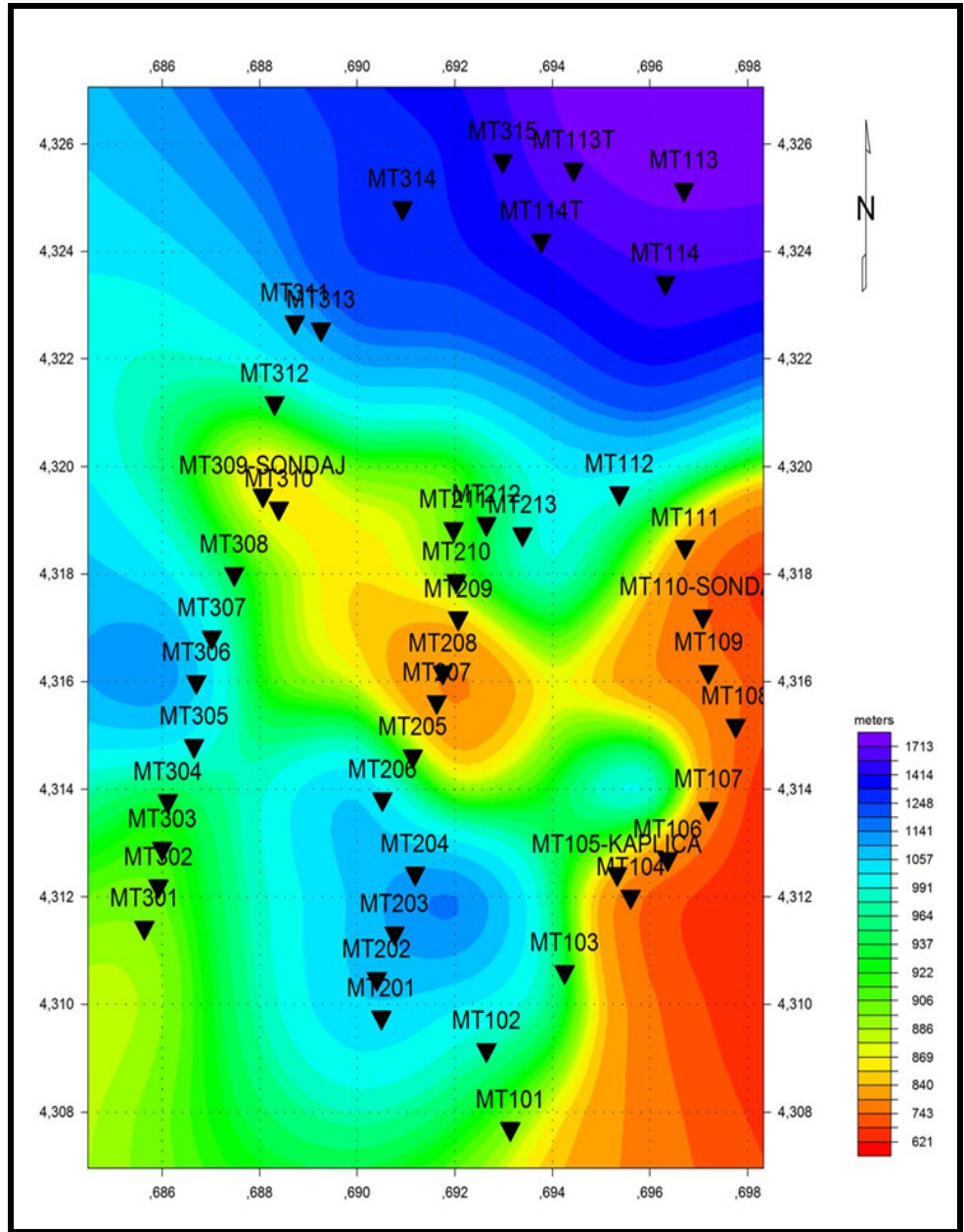
Mackie (1997) tarafından geliştirilen yazılımda, sonlu farklar ağı ile verilen elektrik yapı kesiti üzerinden “Network Analogy” (Madden 1972; Jupp and Vozoff 1977) hesaplama yöntemi ile 2-B model için düz çözüm yapılmaktadır. Sonlu farklar ağında hücrelerin kalınlık ve genişlikleri kullanılan frekanslara ve ölçülen görünür özdirençlere veya kestirilen ortalama ortam özdirençine bağlı 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.

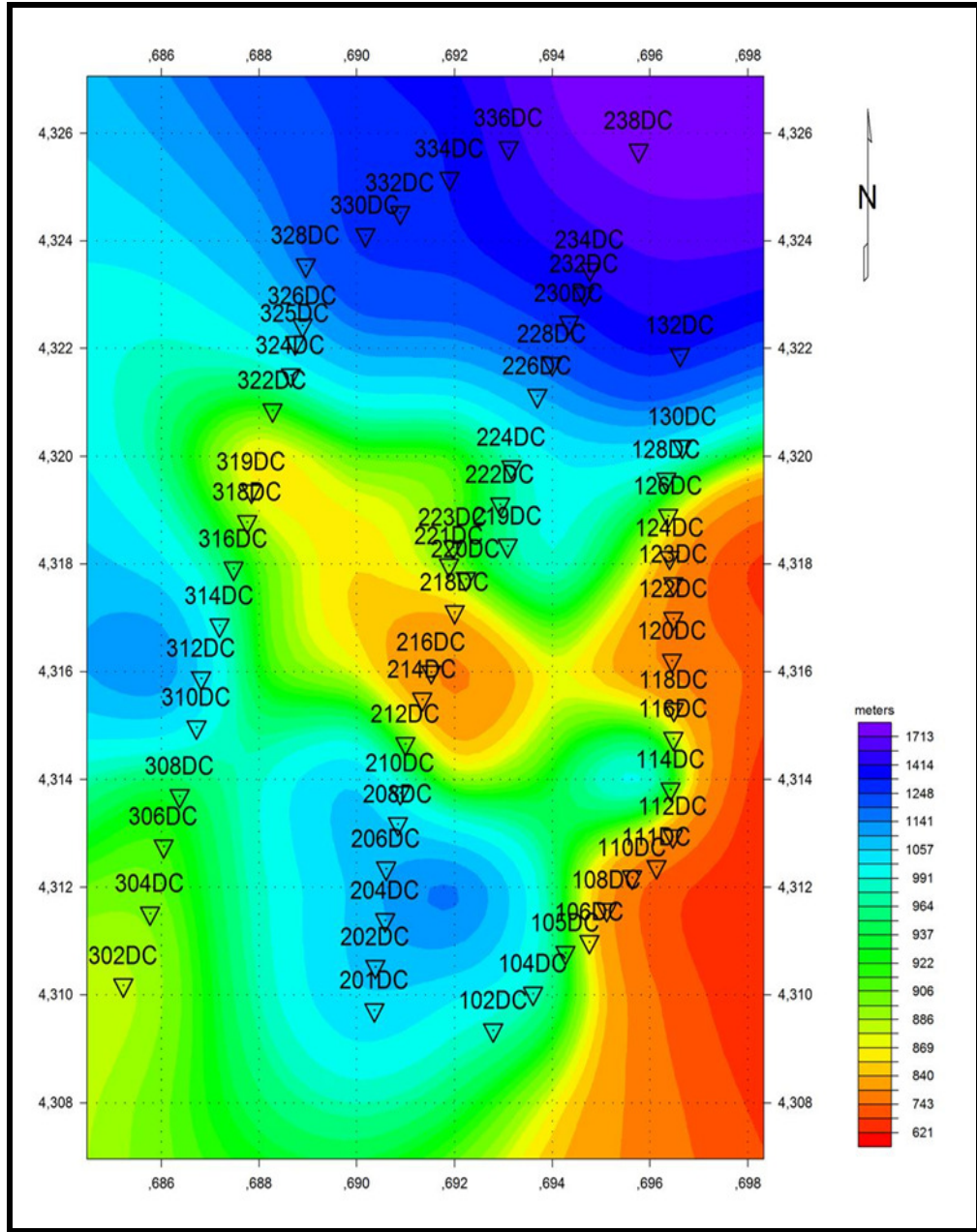
Ters çözüm işleminde parametre olarak ağı oluşturan her bir hücrenin özdirençleri kullanılmaktadır. Çözüm için ise “Non Linear Conjugate Gradient (NLCG)” (Rodi and Mackie 2000) yöntemi kullanılmaktadır. Yöntem kısmi türevler dizeyinin tersinin alınmasını gerektirmediğinden, geleneksel Gauss-Newton veya 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 yumuşatma (smoothing) işleci kullanılmıştır.

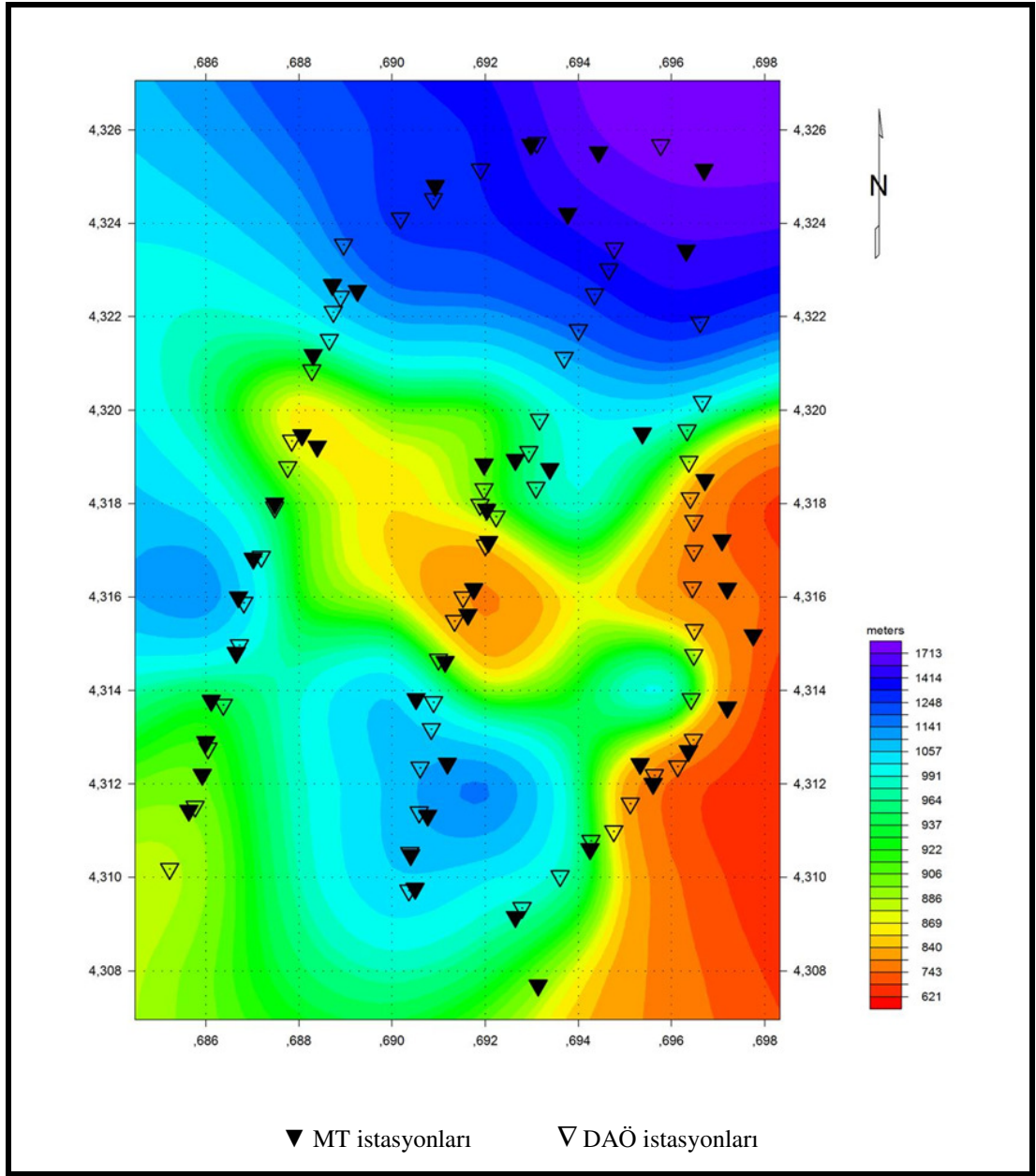
Çalışma sahasında, Jeofizik Manyetotellürik (MT) ve Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemleri kullanılarak arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu her iki jeofizik yöntemde de, özdirenç dağılımı, üç profilde de belirlenerek; sahanın tektonik, jeolojik ve jeotermal potansiyeli hakkında bilgiler üretilmiştir. Çalışma alanının, sığ özdirenç dağılımını DAÖ çalışması, derin özdirenç yapısı MT arazi çalışması yapılarak incelenmiştir. Çalışma sahasında stratigrafik istif ve jeofizik MT çalışmaları sonucunda elde edilen özdirenç kesiti Şekil 16 da verilmiştir. Doğru Akım Özdirenç çalışması sonucunda elde edilen özdirenç yapısıyla benzer ilişki kurulabilir. MT ve DAÖ arazi çalışmalarını gösteren yer bulduru haritaları Şekil 17a,17b ve 17c’de görülmektedir.



Şekil 17 a- MT istasyonları lokasyon haritası



Şekil 17 b- DAÖ istasyonları lokasyon haritası



Şekil 17 c- MT ve DAÖ istasyonları lokasyon haritası

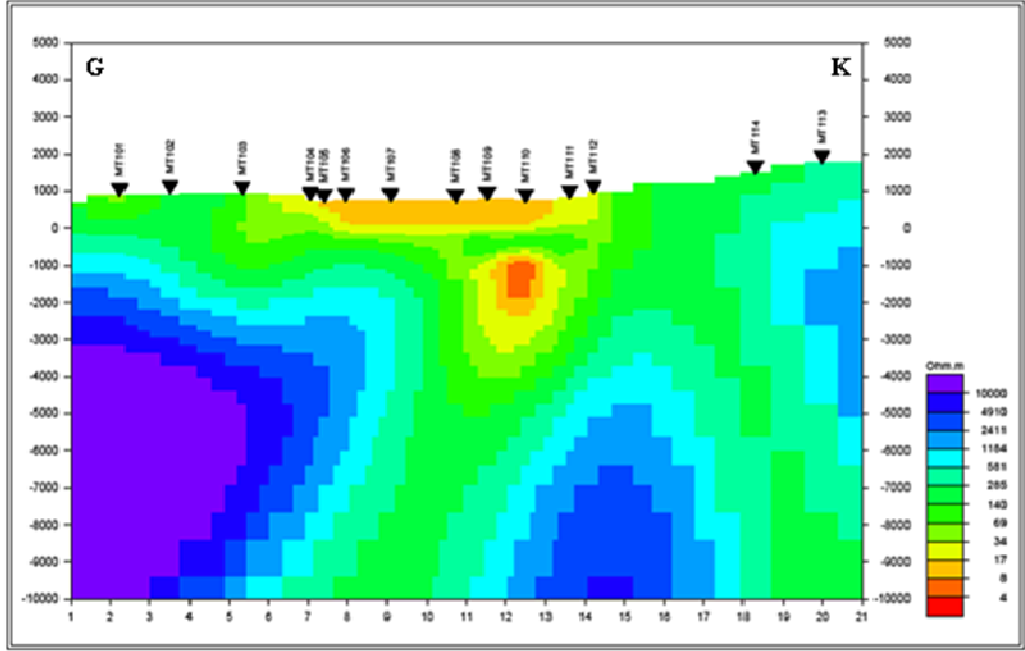
3.4.1.2. P1 Profilinin Değerlendirilmesi

MTP1 profili kuzeyden güneye 21 km uzunlukta olup , 14 adet MT istasyonunda ölçü alınmıştır. Profil, Gediz grabenini kuzeyden güneye geçmekte ve, gömülü jeotermal aktiviteleri belirlenmesi amacıyla mevcut kaplıcaların üzerinden geçmektedir.

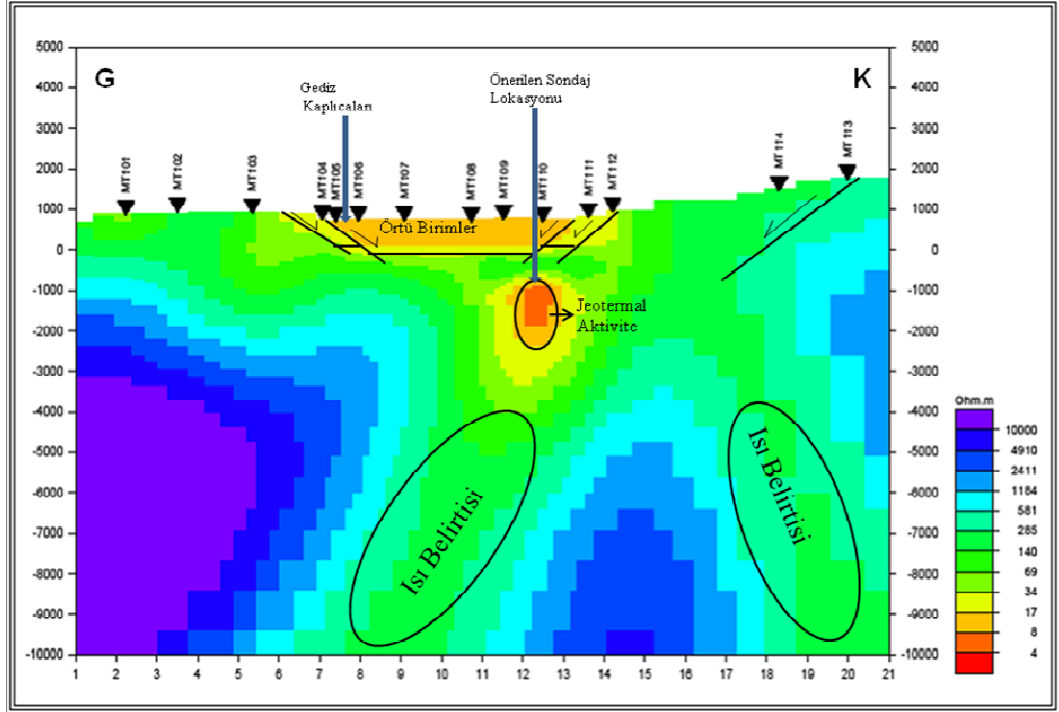
Profil boyunca 14 adet MT istasyonunda 320 Hz- 0.01 Hz (100 sn) frekans aralığında, GÖ ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır. Ters çözümde 75x75 bloktan oluşan model ağı kullanılmıştır. Başlangıç modeli olarak 100 ohm-m homojen yarı sonsuz ortam alınmıştır. Toplam 60 yineleme sonunda % 2.87 RMS hata ile ters çözüm sonucu elde edilmiş 2B özdirenç modeli Şekil 18' de görülmektedir. Bu modelin yorumlanmış hali ise Şekil 18b' de görülmektedir. Şekil 19'da TE ve Şekil 20'de TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri görülmektedir.

Yorumlanan 2B özdirenç modeli (Şekil 18b), kuzeyden güneye incelendiğinde; 113MT ve 114MT nolu istasyonların yüksek özdirençli (69 ohm-m - 581 ohm-m) birimler üzerine geldiği görülmektedir. Bu yüksek özdirençli birimler mafik ve ultramafik kayalar, kireçtaşı ve mermerlere denk gelmektedir. 112MT numaralı istasyon civarındaki özdirenç değişimi grabenin, kuzeyindeki fayları temsil etmektedir. 103MT-104MT numaralı istasyonlar arasındaki özdirenç değişimi ise grabenin güney sınırındaki fayları temsil etmektedir. 104MT ile 112MT numaralı istasyonlar graben sınırlarını temsil etmekte iken, 8ohm-m-34 ohm-m arasındaki özdirenç değişimi grabenin yaklaşık derinliğini vermekte olup; alüvyon, kıltaşı ve marn birimlerine denk gelmektedir. Yine P1MT profilinin güneyinde, 101MT ile 103MT nolu istasyonlar arasında yüksek özdirençli (69 ohm-m – 581 ohm-m arası) yapı, şistli birimleri temsil etmektedir.

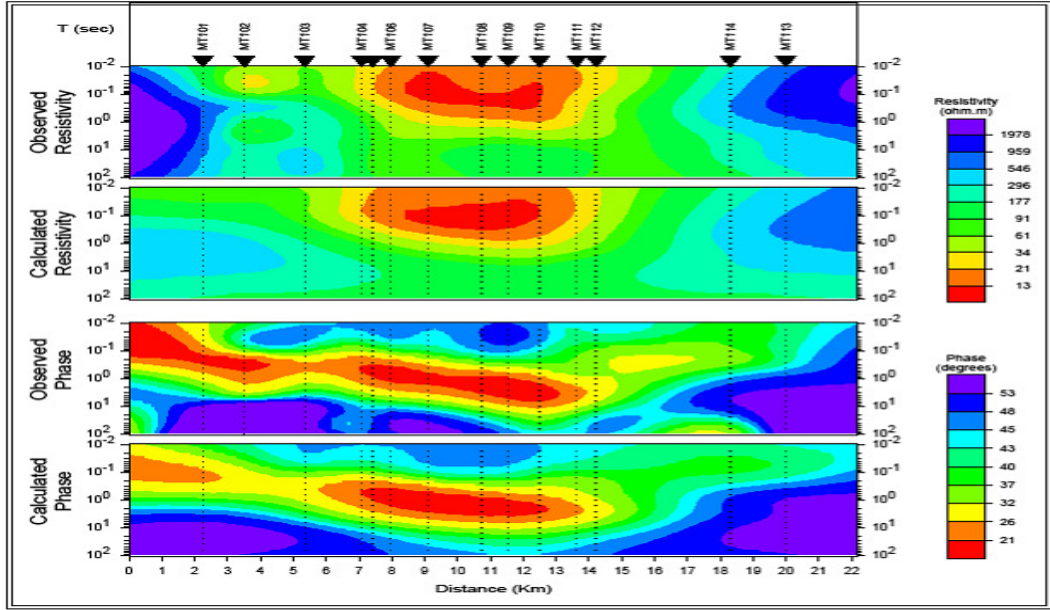
Modelde, etkisi çok daha derinlerden gelen, çok yüksek özdirençli (1184 ohm-m – 10000 ohm-m) yapıyı yaklaşık graben sınırlarından etkileyen birbirinden bağımsız iki derin belirti görülmektedir. Bu iki belirti de daha derinlerden kaynaklanan kabuk içine sokulmuş magmatik bir sokulumun etkisinden kaynaklandığı ve muhtemelen ısı belirtileri olduğu düşünülmektedir. 109MT ve 110MT nolu istasyon hizasına gelen ve yaklaşık 2 km derinde çok düşük (<8 ohm-m) bir anomalinin varlığı dikkat çekmektedir. Bu belirti gömülü bir jeotermal aktiviteyi temsil ettiği düşünülmekte olup; derin ısı anomalileriyle ilişkilidir. Çalışma sahasında, grabenin güney sınırında Gediz Kaplıcaları bulunmaktadır. Gediz Kaplıcaları gerek derin ısı anomalileriyle, gerekse bu jeotermal aktivite ile ilişkilendirilmesi mümkün olup; bu çok düşük özdirençli belirti mekanik bir sondajla sonuçları karşılaştırılmalıdır.



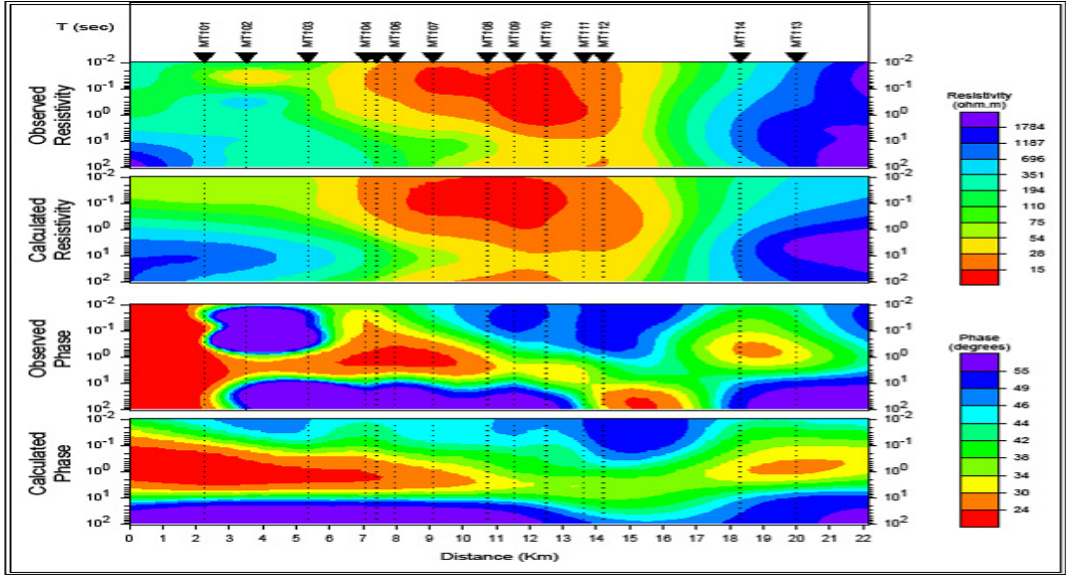
Şekil 18. P1MT profili boyunca 2-B ters çözüm sonucunda elde edilen öz direnç modeli.



Şekil 19. P1MT profili yorumlanmış öz direnç modeli.

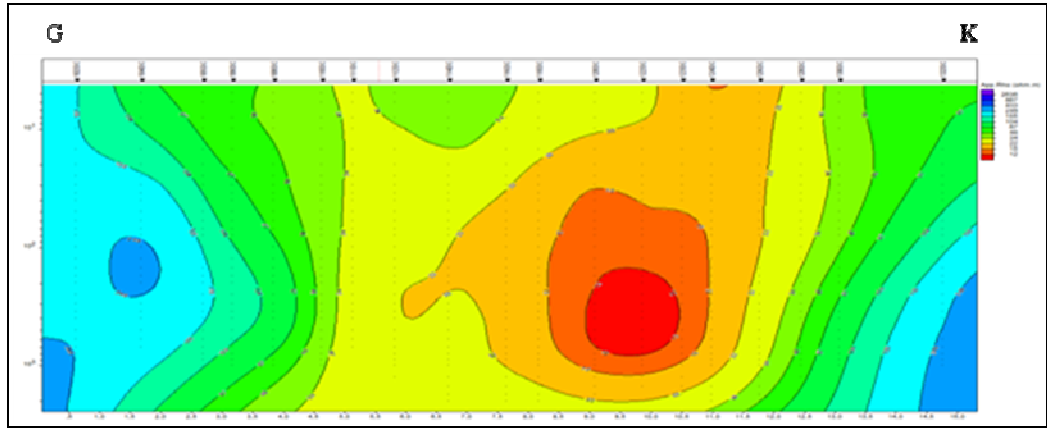


Şekil 20. P1MT profili boyunca TE modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.



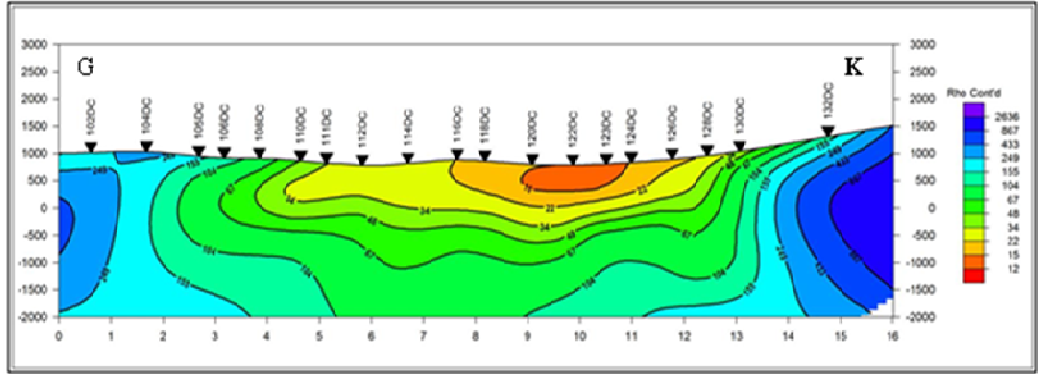
Şekil 21. P1MT profili boyunca TM modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.

P1DC profiline ait görünür özdirenç yapma kesiti (Şekil 22) incelendiğinde; 102DC – 110DC noktaları arası ve 132DC-134DC noktaları arasında yüzeyden derinlemesine doğru yüksek özdirençli birimler ölçülmüştür. Bu yüksek özdirençli birimler çalışma sahasındaki, temel kayacın yüzeylendiğini göstermektedir. 110DC ve 130DC nolu istasyonlardaki özdirenç değişimi graben sınırlarını temsil etmektedir. Profil üzerinde izlenen en düşük özdirençli belirtileri; 122DC ve 124DC nolu istasyon civarında bulunmaktadır. Bu da jeotermal aktiviteyi yansıtabilecek veriler olarak yorumlanabilir.

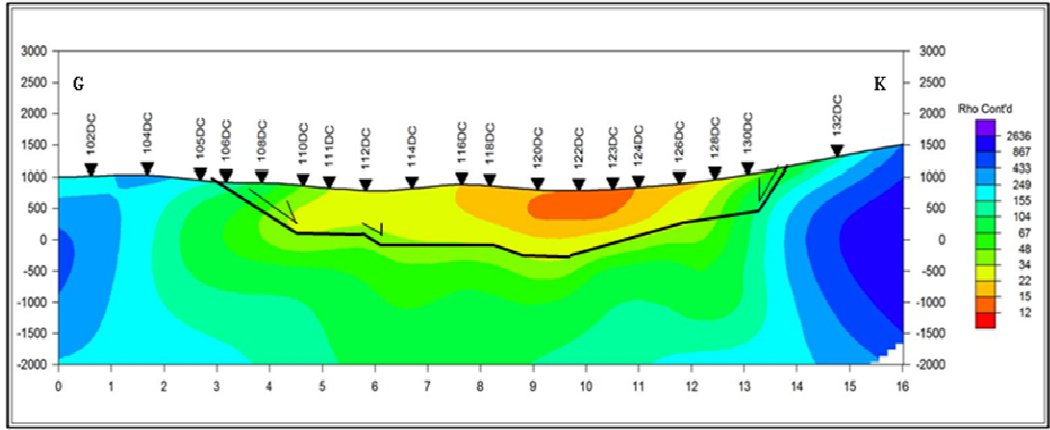


Şekil 22. P1DC profiline ait görünür özdirenç kesiti.

P1DC Profili Kuzey-Güney doğrultusunda olup, profil üzerinde toplam 19 adet DAÖ sondaj ölçüsü alınmıştır. DAÖ verilerinin 1B ters çözüm sonuçları birleştirilerek elde edilen 2B özdirenç görüntüsü Şekil 23’ de verilmiştir. 110DC ile 128DC noktaları arasında kalan bölümünde genel olarak düşük özdirençli (≤ 34 ohm-m) yapılar mevcut grabenini sınırlarını vermektedir. Grabenin kuzey sınırındaki özdirenç değişimi 130DC ve 132DC nolu istasyonlara denk gelmekte olup, grabenin kuzeyindeki sınır fayları temsil etmektedir. 106DC-110DC istasyonları arasına denk gelen özdirenç değişimi ise Grabenin güney sınırındaki faylanmaları temsil etmektedir. Grabenin her iki kanadındaki faylanma ise, çalışma alanındaki jeotermal aktivitenin oluşum mekanizmalarını, bu mekanizmalar sonucunda yüzeylenen ürünleri taşıyan kırıkları ifade etmektedir. P1DC profilinde düşük özdirençli (≤ 34 ohm-m) diye tanımlan özdirenç değişimi ise; örtü birimlerini vermektedir. Daha derinde gözlenen yüksek özdirençli birimler (≥ 48 ohm-m) ise rezervuar özelliğindeki temel kayaları temsil etmektedir.



Şekil 23 a- P1DC profiline ait öz direnç görüntüsü

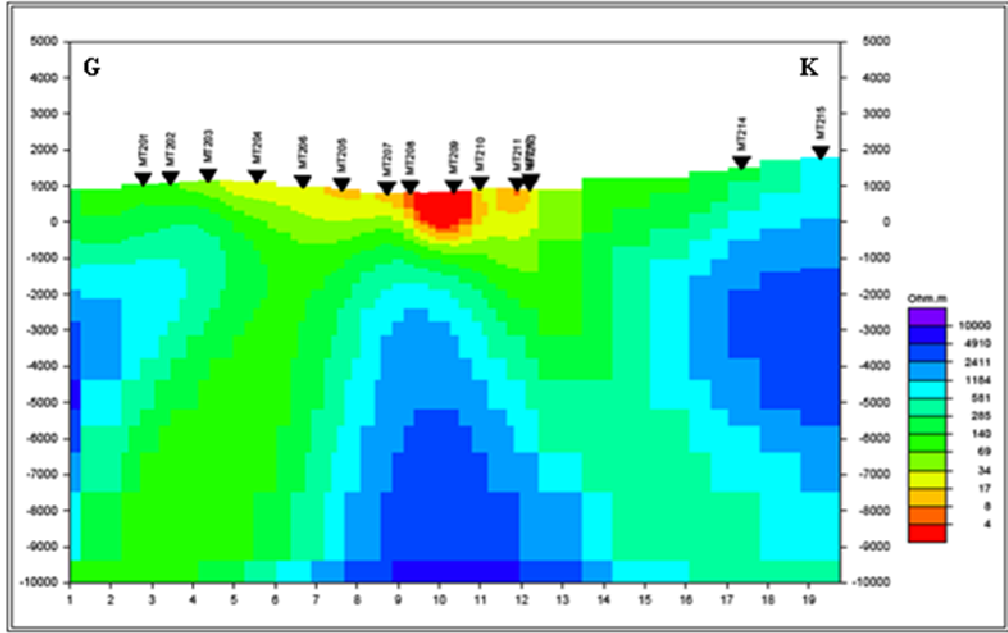


Şekil 23 b- P1DC profiline ait 1B öz direnç kesit yorumu

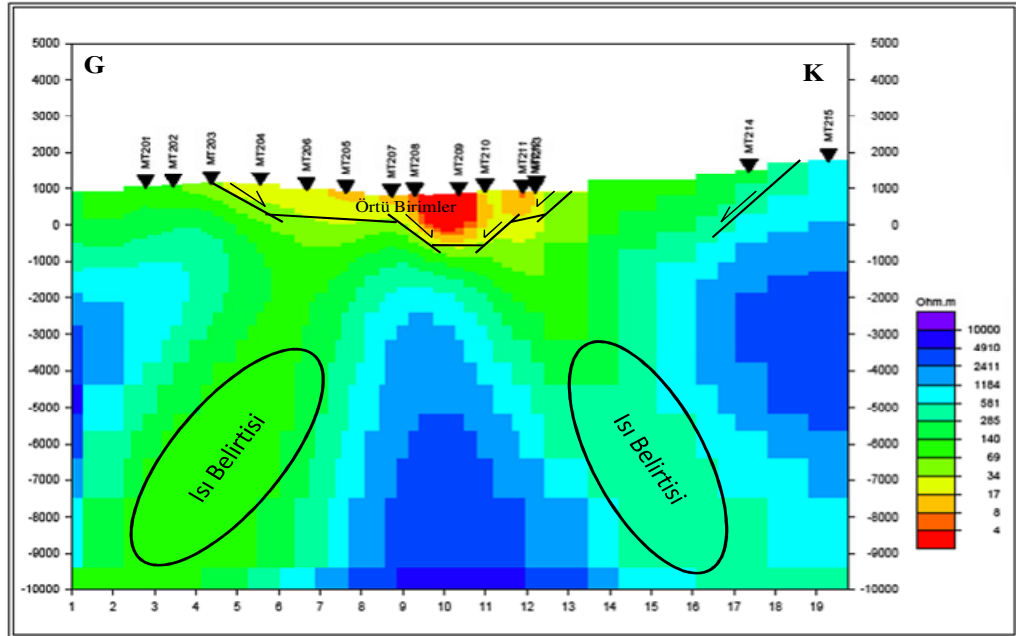
3.4.1.3. P2 Profilinin Değerlendirilmesi

P2MT profili Kuzey-Güney yönlü olup 18 km uzunluktadır ve üzerinde 15 adet MT istasyonunda ölçü alınmıştır. P1 profilinin batısından geçmektedir. P2 profili Gediz grabenini kesmekte olup, P1 profilinde görülen yapıların devamlılığını bu profil boyunca araştırılmıştır.

P2 Profili boyunca MT istasyonlarında 320 Hz- 0.01 Hz (100 sn) frekans aralığında, GÖ ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır. Ters çözümde 75x75 bloktan oluşan model ağı kullanılmıştır. Başlangıç modeli olarak 100 ohm-m homojen yarı sonsuz ortam alınmıştır. Toplam 60 yineleme sonunda % 2.65 RMS hata ile ters çözüm sonucu elde edilmiş 2B öz direnç modeli Şekil 24'de görülmektedir. Bu modelin yorumlanmış hali ise Şekil 25' de görülmektedir. Şekil 26'da TE ve Şekil 27'de TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri görülmektedir.



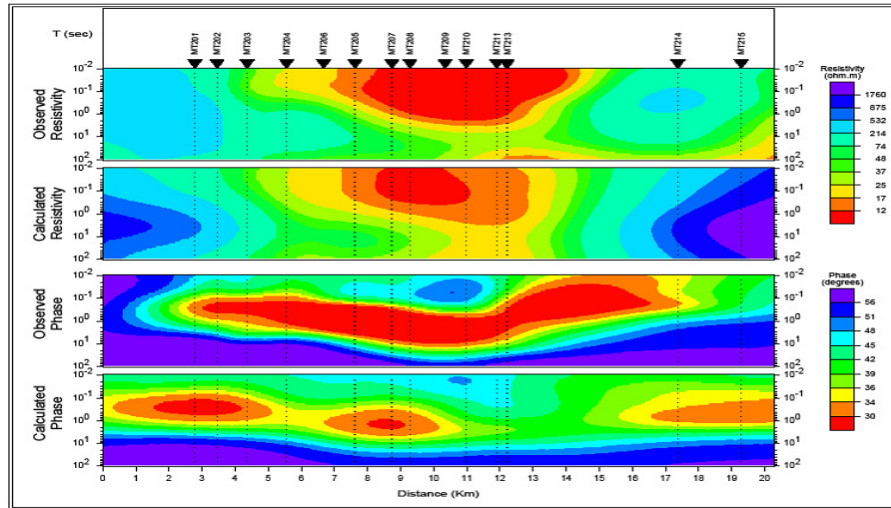
Şekil 24. P2MT profili boyunca 2-B ters çözüm sonucunda elde edilen öz direnç modeli.



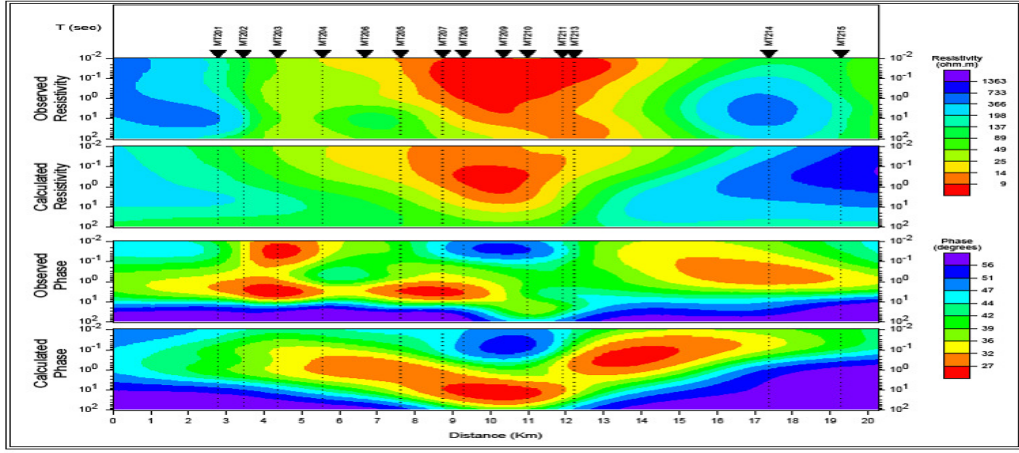
Şekil 25. P2MT profili yorumlanmış öz direnç modeli

MTP2 profili, kuzeyden güneye incelendiğinde (Şekil 25); 214MT ve 215MT nolu MT istasyonlarının yüksek özdirençli (69 ohm-m - 1184 ohm-m) birimler üzerine geldiği görülmekte olup, P1 profili ile uyumludur. Bu yüksek özdirençli birimler mafik ve ultramafik kayalar, kireçtaşı ve mermerlere denk gelmektedir. 212MT ve 213MT istasyonunu civarındaki özdirenç değişimi grabeninin kuzey sınırını temsil etmektedir. Gediz Grabeninin güney sınırı da yaklaşık 203MT numaralı MT istasyonuna denk gelmektedir. 203MT ile 213MT numaralı MT istasyonları graben sınırlarını temsil etmekte iken, düşük özdirenç (≤ 34 ohm-m) grabenin yaklaşık derinliğini vermekte ve alüvyon, kıltaşı ve marnlı birimlerini temsil etmektedir. MTP2 profilinin güneyinde, 201MT ile 203MT nolu MT istasyonları arasında yüksek özdirençli (69 ohm-m – 581 ohm-m arası) değerler ise şistli birimlerle ilişkilendirilmektedir.

MTP1 profili 2 boyutlu özdirenç modelinde, etkisi çok daha derinlerden gelen, çok yüksek özdirençli (2411 ohm-m – 10000 ohm-m) yapıyı yaklaşık graben sınırlarından etkileyen, birbirinden bağımsız iki belirtiyi, Gediz MTP2 profili 2 boyutlu özdirenç modelinde de görülmektedir. Bu iki anomalide daha derinlerden kaynaklanan kabuk içine sokulmuş mağmatik bir etkiden kaynaklandığı düşünülen ısı anomalileridir.

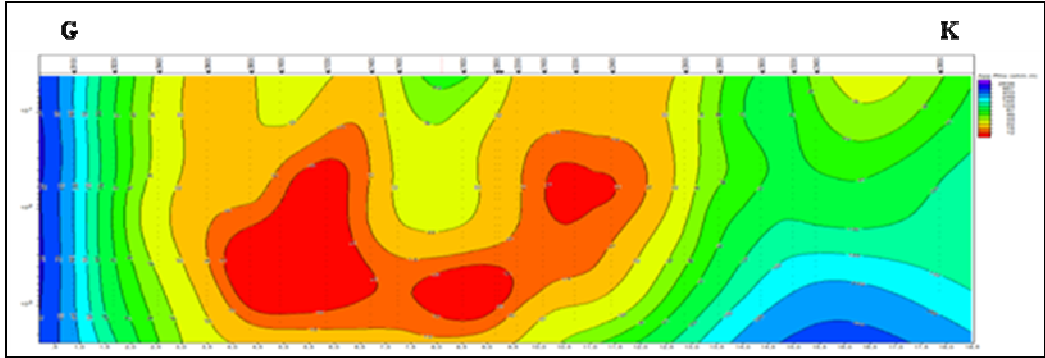


Şekil 26.P2 MT profili boyunca TE modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.



Şekil 27. P2MT profili boyunca TM modu için ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç ve faz yapma kesitleri.

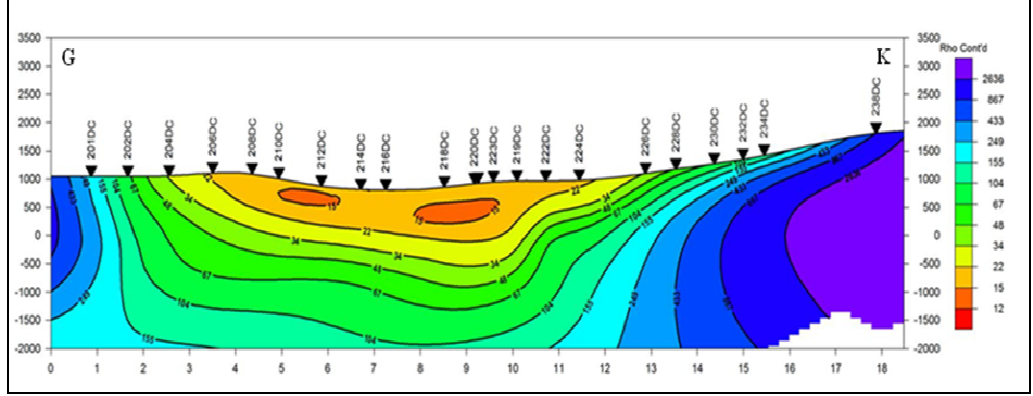
Şekil 28’de verilen P2DC profili görünür özdirenç yapma kesiti incelendiğinde, 208DC-212DC ve 220DC-224DC numaralı istasyonları civarında nispeten düşük özdirençli belirti gözlenmektedir. Bu düşük özdirençli belirti, jeotermal bir aktiviteyi işaret etmektedir. P2 profili üzerinde 204DC ve 228DC nolu istasyonlar civarında özdirenç değişimi de graben sınırlarını vermektedir.



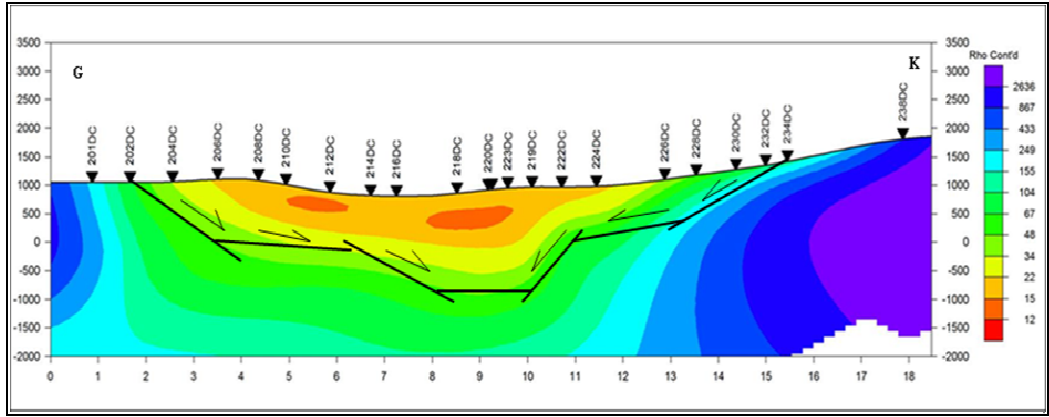
Şekil 28. P2DC profiline ait görünür özdirenç kesiti.

P2DC Profili yaklaşık Kuzey-Güney doğrultusunda olup, profil üzerinde toplam 21adet DAÖ sondaj ölçüsü alınmıştır. DAÖ verilerinin 1B ters çözüm sonuçları birleştirilerek elde edilen 2B özdirenç görüntüsü Şekil 29’da verilmiştir. 201DC-206DC noktaları arasında yüksek özdirençli (34 ohm-m-155 ohm-m) yapı gözlenmektedir. Bu yüksek özdirençli yapı, çalışma sahasında bulunan temel kayacilar temsil etmektedir. 204DC istasyonu civarı, grabenin güney sınırını temsil etmekte olup, bu istasyon civarındaki özdirenç değişimi Grabenini güney sınırındaki fayları temsil etmektedir. Graben P2DC profilinin kuzeyine doğru derinleştiği gözlenmekte olup,

226DC nolu istasyon civarı da grabenin kuzey sınırındır. 226DC nolu istasyon civarındaki özdirenç değişimi yine grabenin kuzey sınırındaki fayları temsil etmektedir. P2DC profiline ait 1B özdirenç kesitinde 34 ohm-m kontör çizgisi graben sınırlarına denk geldiği ve grabenin kuzeyine doğru derinleştiği gözlenmektedir. Grabenin bu profildeki en derin yeri 223DC istasyonu civarına gelmektedir.



Şekil 29a-P2DC profiline ait özdirenç görüntüsü



Şekil 29 b- P2DC profiline ait 1B özdirenç kesit yorumu

3.4.1.4. P3 Profilinin Değerlendirilmesi

P3MT profili Kuzey-Güney yönlü olup, 15 adet MT istasyonunda ölçü alınmıştır. Çalışma sahasının en batısında bulunan profildir. P3 profili Gediz grabenini kesmekte olup, P1 ve P2 profillerinde görülen yapıların devamlılığını bu profil boyunca araştırılmıştır.

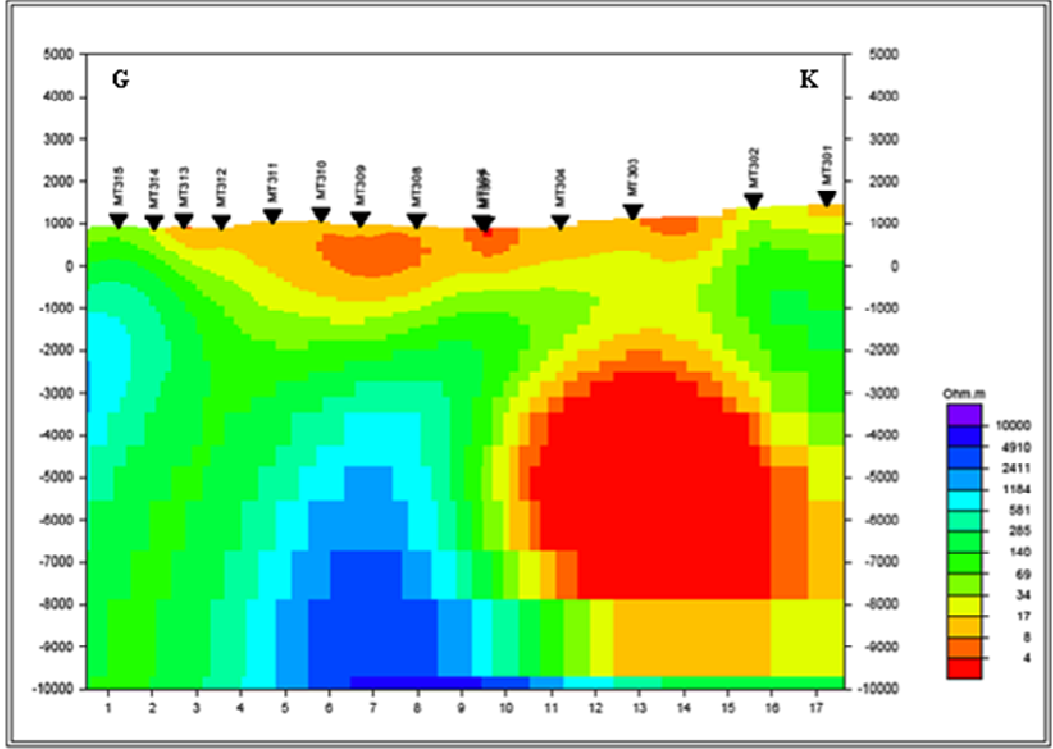
P2 Profili boyunca MT istasyonlarında 320 Hz- 0.01 Hz (100 sn) frekans aralığında, GÖ ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır. Ters çözümde 82x98 bloktan oluşan model ağı kullanılmıştır. Başlangıç modeli olarak 100 ohm-m homojen yarı sonsuz ortam alınmıştır. Toplam 75 yineleme sonunda % 1.63 RMS hata ile ters çözüm sonucu elde edilmiş 2B özdirenç modeli

Şekil 30'da görülmektedir. Bu modelin yorumlanmış hali ise Şekil 31' de görülmektedir. Şekil 32'de TE ve Şekil 33'de TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri görülmektedir.

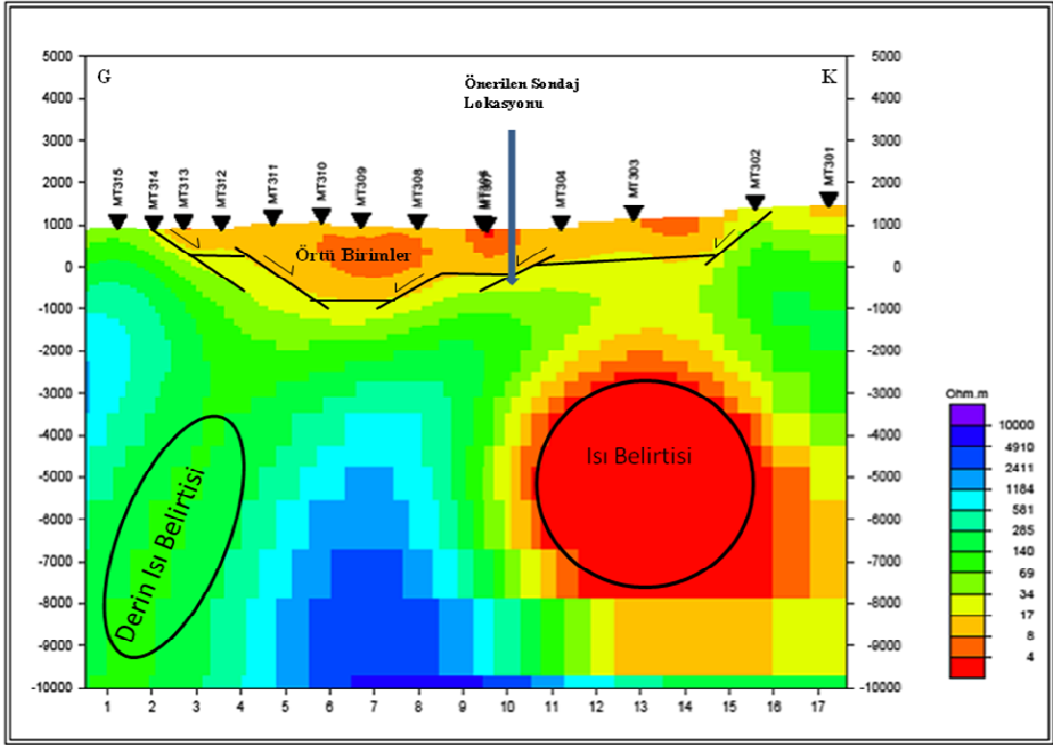
Profil boyunca 14 adet MT istasyonunda 320 Hz- 0.01 Hz (100 sn) frekans aralığında, GÖ ve faz verileri kullanılarak ters çözüm yapılmıştır. Ters çözümde 75x75 bloktan oluşan model ağı kullanılmıştır. Başlangıç modeli olarak 100 ohm-m homojen yarı sonsuz ortam alınmıştır. Toplam 60 yinleme sonunda % 2.87 RMS hata ile ters çözüm sonucu elde edilmiş 2B öz direnç modeli Şekil 18' de görülmektedir. Bu modelin yorumlanmış hali ise Şekil 18b' de görülmektedir. Şekil 19'da TE ve Şekil 20'de TM modu için ölçülen ve modelden hesaplanan görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri görülmektedir.

MTP3 profili boyunca MT istasyonları 320 - 0.01 Hz (100 sn) frekansı aralığında ters çözüm yapılarak oluşan 2 Boyutlu MT modeli 10000 metreye kadar kesitlerde sunulmuştur (şekil 30). P2 profiline ait 2 Boyutlu MT modelinde 82 x 98 lik model ağı, başlangıç modeli 100 Ohm-m'lik homojen ortam kullanılarak 75 adet yinleme yapılmıştır. Modelleme neticesinde % 1,63 lik R.M.S çakışma sağlanmıştır. P2 profili TE ve TM modlarına ait görünür kesitler (şekil 32,33) verilmiştir.

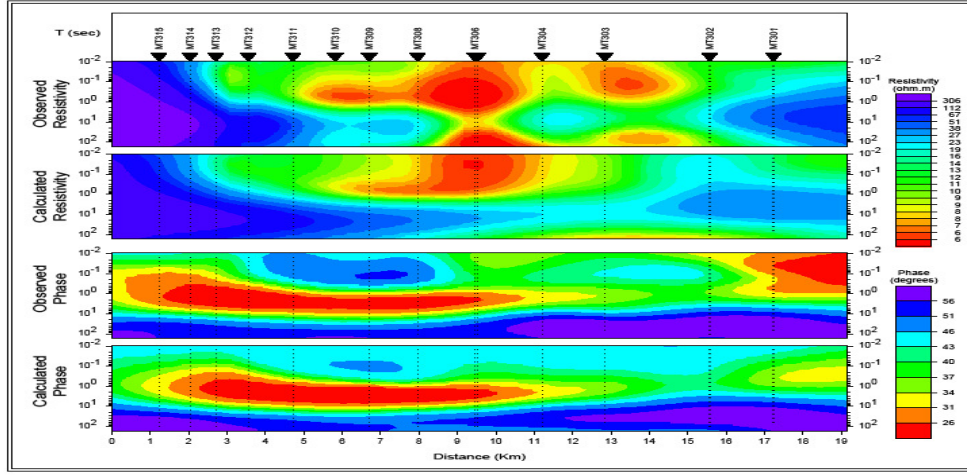
P3MT profili kuzeyden güneye incelendiğinde (şekil 30); 301MT ve 302MT numaralı MT istasyonlarına denk gelen yüksek öz dirençli (69 ohm-m-1184 ohm-m) birimlerin, P1MT ve P2MT profilleri ile uyumlu olduğu ve yine mafik ve ultramafik kayalar, kireçtaşı ve mermerlerle denk geldiği görülmektedir. 315MT, 314MT numaralı MT istasyonlarında ise yine yüksek öz dirençli birimler (69 ohm-m-581 ohm-m arası) yüzeylenmekte olup şistli birimleri temsil etmektedir. Gediz Grabenin kuzey sınırının KJP-302 numaralı MT istasyonu, güney sınırının da KJP-314 numaralı MT istasyonu civarı olduğu görülmekte olup, graben derinliği belirgin şekilde izlenmektedir. Gediz grabeninin sınırlarında görülen, etkisi derinlerden kaynaklandığı düşünülen ve çok yüksek öz dirençli (2411 ohm-m -10000 ohm-m) yapıyı bölen, iki anomali görülmektedir. P3MT profilinin güney sınırındaki anomaliyi derin ısı anomali olarak nitelemek mümkündür. Yine P3MT profilinin kuzeyindeki diğer anomali yüzeye daha yakın olup, çok düşük öz dirençli (<4 ohm-m) yapıyı, henüz sıcaklığını kaybetmemiş bir ısıtıcı kütle olarak değerlendirmek mümkündür. Bu anomali, Gediz grabeninin kuzey sınırına denk geldiği için, çalışma alanının jeotermal gelişimine olumlu yönde destek sağlayacağı düşünülmektedir. Bu belirti civarında uygun bir lokasyonda, sahanın jeotermal potansiyelinin saptanması amacıyla mekanik bir sondaj uygundur.



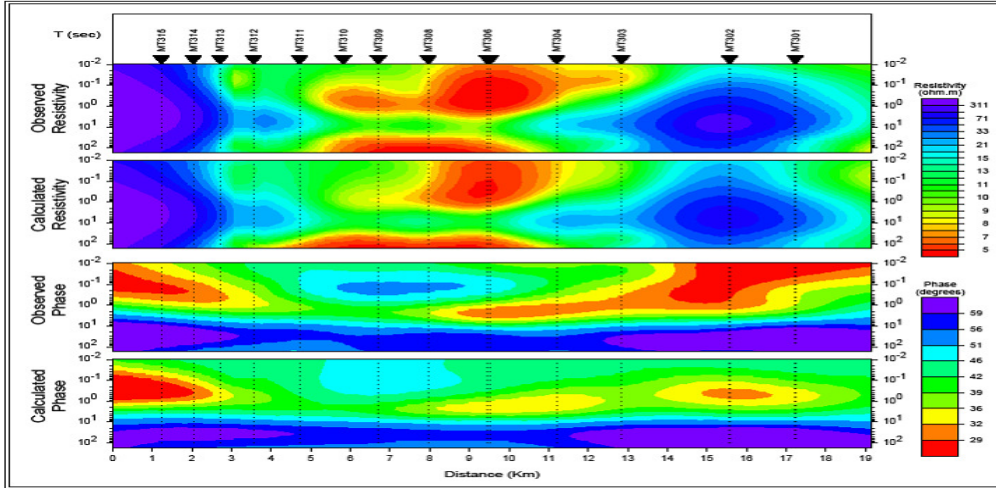
Şekil 30. P3MT profili boyunca 2-B ters çözüm sonucunda elde edilen öz direnç modeli.



Şekil 31. P3MT profili yorumlanmış öz direnç modeli

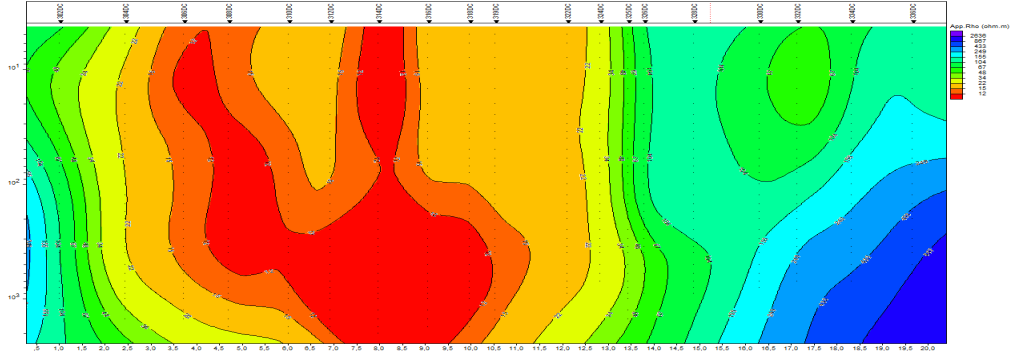


Şekil 32. P3MT profili boyunca TE modu için ölçülen ve hesaplanan görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri.



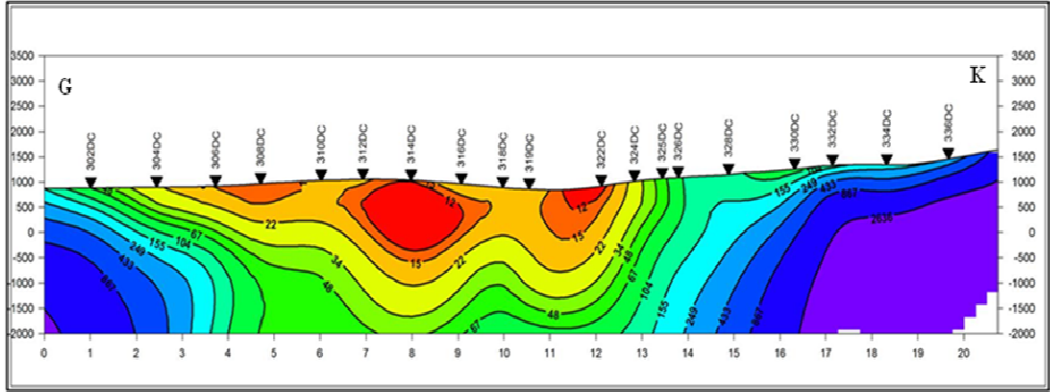
Şekil 33. P3MT profili boyunca TM modu için ölçülen ve hesaplanan görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri.

P3DC profiline ait görünür öz direnç yapma kesiti (Şekil 34) incelendiğinde; düşük öz dirençli belirtilerin varlığı ve öz direnç eğrilerinde gözlenen verilerinin küçük değerlere ulaşması jeotermal aktivitenin emaresi olarak düşünülmektedir. 304DC ve 324DC istasyonlarındaki öz direncin ani değişimi graben sınırlarındaki faylanmanın göstergesidir.

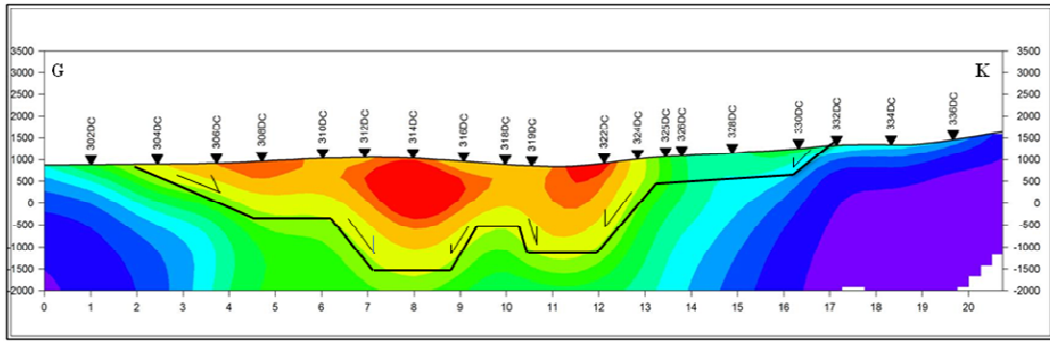


Şekil 34. P3DC profiline ait görünür özdirenç kesiti.

P3DC Profili Kuzey-Güney doğrultusunda olup, profil üzerinde toplam 19 adet DAÖ sondaj ölçüsü alınmıştır. DAÖ verilerinin 1B ters çözüm sonuçları birleştirilerek elde edilen 2B özdirenç görüntüsü Şekil 35'de verilmiştir. 304DC ile 324DC istasyonları arasında düşük özdirençli (<34 ohm-m) birimlerin değişimi grabenin derinliği ile ilişkili olup; grabendeki alüvyon, kıltaşı ve marn birimleri temsil etmektedir. 304DC noktası grabenin güney sınırını temsil etmekte olup, daha düşük açılı bir faylanmayla grabenin derinleştiği görülmektedir. 326DC istasyonu civarı ise grabenin kuzey sınırına denk düşmekte olup graben derinleşmektedir. Temelde ise daha yüksek özdirençli (34 ohm-m-155ohm-m) rezervuar nitelikli birimler gözlenmektedir.



Şekil 35a- P3DC profiline ait öz direnç görüntüsü



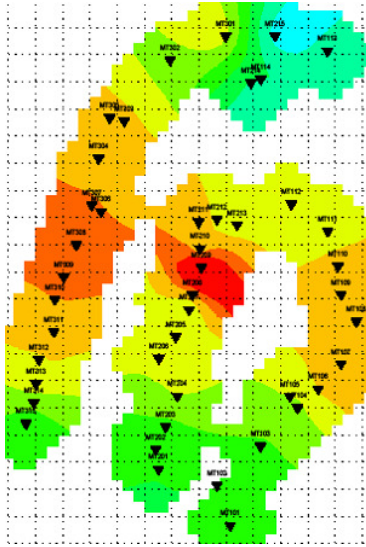
Şekil 35b- P3DC profiline ait 1B öz direnç kesit yorumu

3.4.1.5. Manyetotellürik Özdirenç Seviye Haritalarının Yorumu

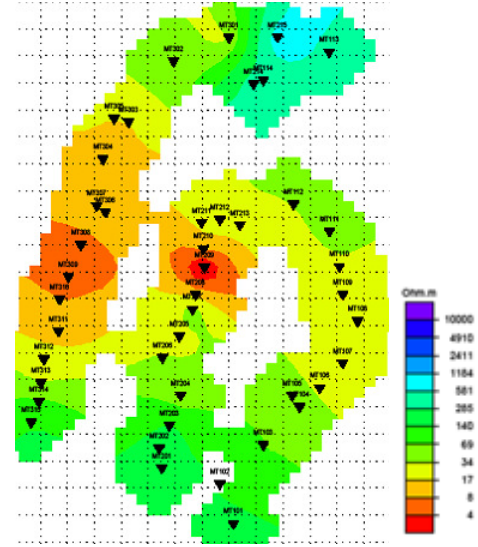
Çalışma sahasında manyetotellürik çalışma yapılan 3 profilde elde edilen 2 boyutlu MT modellerinden, seviye haritaları türetilerek çalışma sahasının belirli seviyelerindeki özdirenç dağılımı hakkında sonuçlar üretilmiştir.

a) 500 metre özdirenç seviye haritası (Şekil 36); Çalışma sahasının kuzey ve güney sınırlarında görülen yüksek özdirençler (34 ohm-m-581 ohm-m) sahaya ait temel birimleri temsil etmekte olup, düşük özdirençli (<34 ohm-m) birimler grabenin bu seviyelerdeki sınırını temsil etmektedir.

b) 750 metre özdirenç seviye haritası (Şekil 37); 750 metre seviye haritasında düşük özdirençli (<34 ohm-m) birimlerin bu seviyelerdeki sınırlarını temsil etmektedir. Çalışma sahasının doğusunda, grabenin daha sık olduğu gözlenmektedir. Özellikle P1MT profilinde daha yüksek özdirençli yapı, P2MT ve P3MT profilinde de düşük özdirençli (<34 ohm-m) birimlerin etkisinin sürmesi, grabenin batıya doğru bir derinleştiğini göstermektedir.



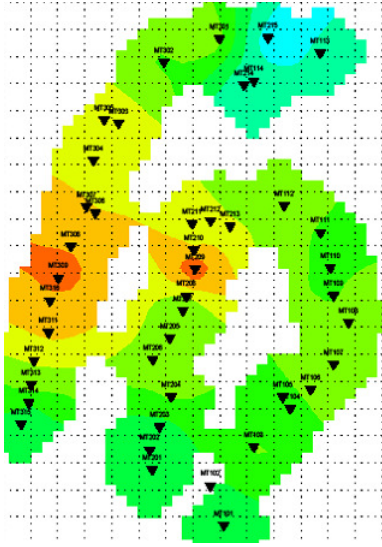
Şekil 36. 500 metre özdirenç seviye haritası



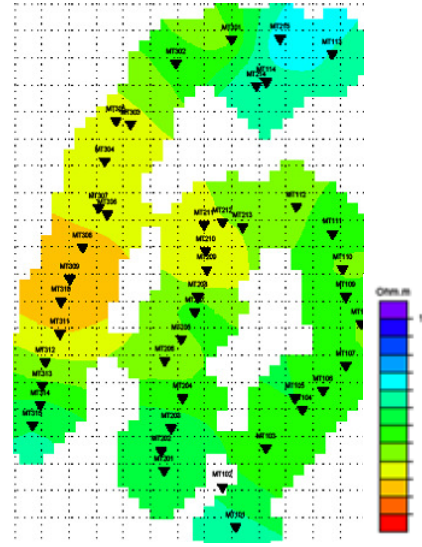
Şekil 37. 750 metre özdirenç seviye haritası

c) 1000 metre özdirenç seviye haritası (Şekil 38); 1000 metre seviye haritasında grabenin doğusunda tamamen yüksek özdirençli bir yapının hakim olduğu görülmektedir. Ama batısında ise düşük özdirençli (<34 ohm-m) yapı grabenin batıda derinleştiğini göstermektedir.

d) 1250 metre özdirenç seviye haritası (Şekil 39); 1250 metre seviye haritasında grabenin genelinde yüksek özdirençli (69 ohm-m - 581 ohm-m) bir yapının hakim olduğu görülmektedir. Bu birimler rezervuar nitelikli kayaları temsil etmektedir.



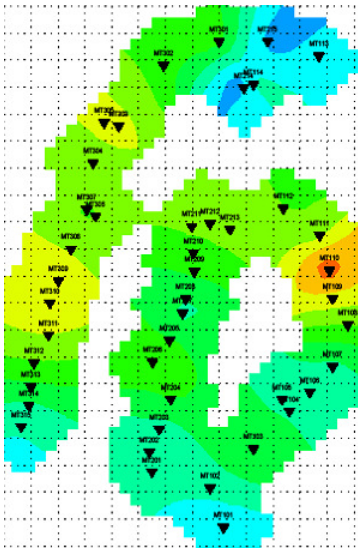
Şekil 38. 1000 metre özdirenç seviye haritası



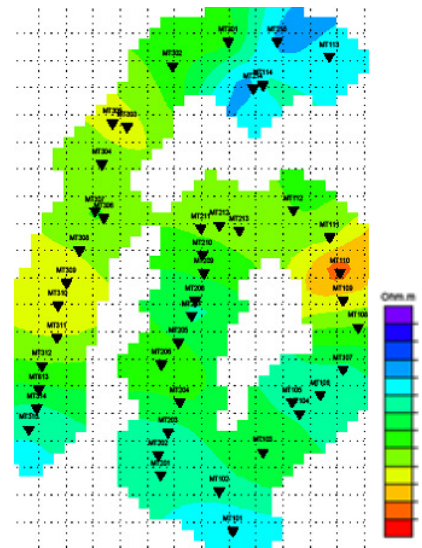
Şekil 39. 1250 metre özdirenç seviye haritası

d) 1500 metre özdirenç seviye haritası (Şekil 40) ; 1500 metre seviye haritasında yüksek özdirençli (69 ohm-m-581 ohm-m) birimler görülmekte olup, grabeni temsil eden düşük özdirençli birimler gözlenmemektedir. MT310 nolu istasyon civarında çok düşük özdirençli (<4 ohm-m) bir anomali ise muhtemel jeotermal bir gösterge olarak yorumlanmaktadır.

e) 2000 metre özdirenç seviye haritası (şekil 41); 2000 metre seviye haritasında da geneline yüksek özdirençli (69 ohm-m-581 ohm-m) birimlerin hakim oldu görülmektedir. 1500 metre seviye haritasında görülen MT310 nolu istasyon civarındaki jeotermal aktiviteyi temsil ettiği düşünülen çok düşük özdirençli (<4 ohmm) anomali daha da belirginleşmektedir.



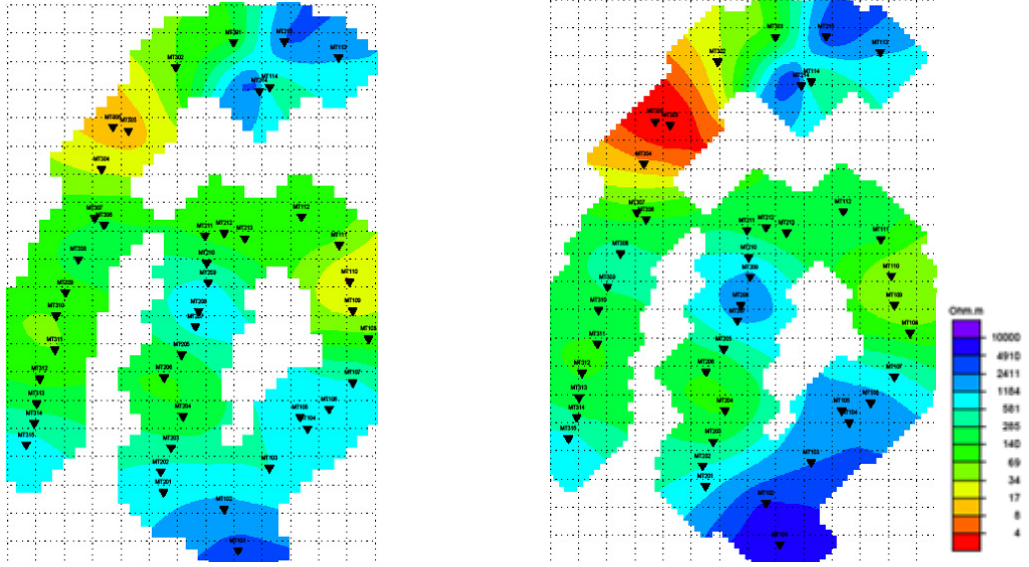
Şekil 40. 1500 metre özdirenç seviye haritası



Şekil 41. 2000 metre özdirenç seviye haritası

d) 3000 metre özdirenç seviye haritası (şekil 42); 3000 metre seviye haritasında 1500 ve 2000 metre seviye haritasında gözlenen MT110 nolu istasyon civarındaki anomali bu seviyede etkisini kaybetmektedir. Genel olarak yüksek ve çok yüksek özdirençli bir yapının varlığı gözlenmektedir. MT303-MT304 nolu istasyonlar civarında bu seviyelerde bir belirti gözlenmektedir.

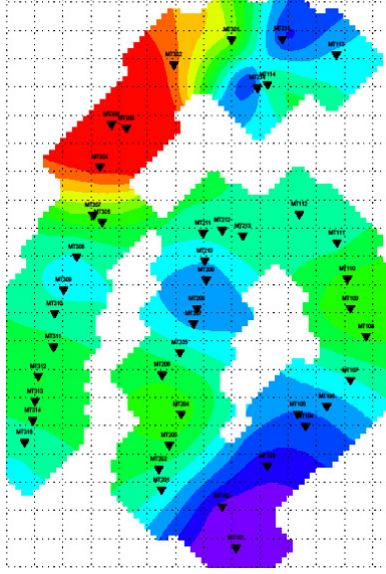
e) 4000 metre özdirenç seviye haritası (Şekil 43); incelendiğinde yüksek ve çok yüksek özdirençli bir yapı devam etmekte olup, MT303-MT304 istasyonlarındaki çok düşük özdirenç (<4 ohm-m) belirti etkinleşmektedir.



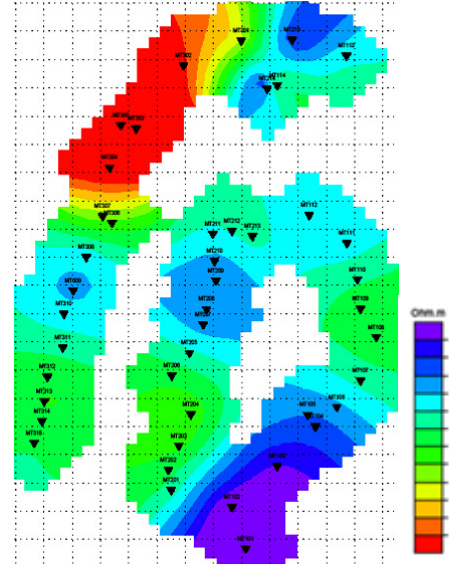
Şekil 42. 3000 metre özdirenç seviye haritası. Şekil 43. 4000 metre özdirenç seviye haritası.

f) 5000 metre özdirenç seviye haritası (Şekil 44); 5000 metre seviye haritasında da çok yüksek özdirençli birimler sahaya hakim olmakta ve MT303-MT304 nolu istasyonlar civarındaki belirti devam etmektedir. Bu belirti; sıcaklığı dolayısıyla özdirenci çok düşük, kısmen ergimeye uğramış, magma kütlesi olarak yorumlanmaktadır.

g) 6000 metre özdirenç seviye haritası (Şekil 45), 6000 metre seviye haritasında da magma kütlesi olarak yorumlanan belirti etkin şekilde görülmekte olup, çok yüksek özdirençli yapı devam etmektedir.



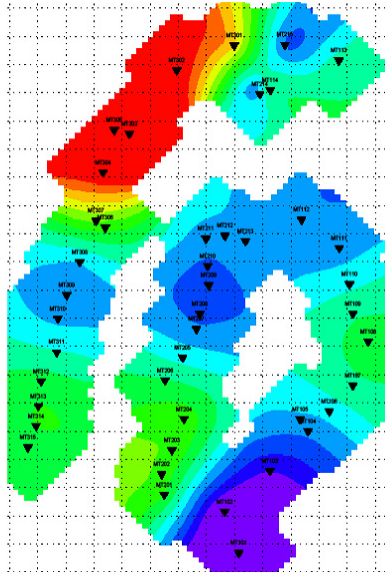
Şekil 44. 5000 metre özdirenç seviye haritası.



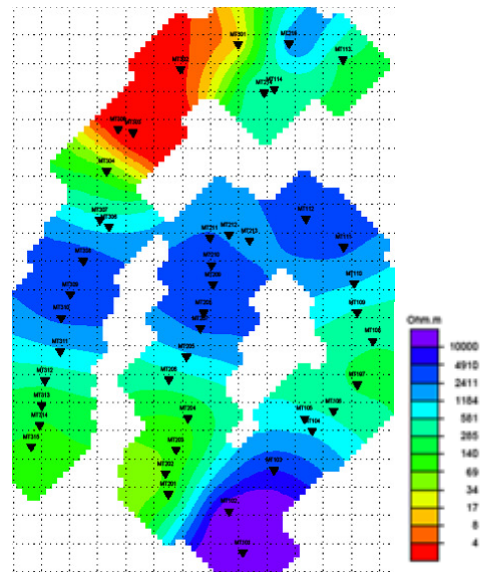
Şekil 45. 6000 metre özdirenç seviye haritası

h) 7500 metre özdirenç seviye haritası (Şekil 46), 7500 metre seviye haritasında, mağma kütleleri olarak yorumlanan belirti daha geniş alanda görülmekte olup, çok yüksek özdirençli yapı devam etmektedir.

ı) 9000 metre seviye haritası (Şekil 47), 9000 metre seviye haritasında da mağma kütleleri olarak yorumlanan belirti etkin şekilde görülmekte olup, çalışma sahasında bulunan ve bu çalışma sonrası önerilen jeotermal amaçlı lokasyonlarla ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 46. 7500 metre özdirenç seviye haritası

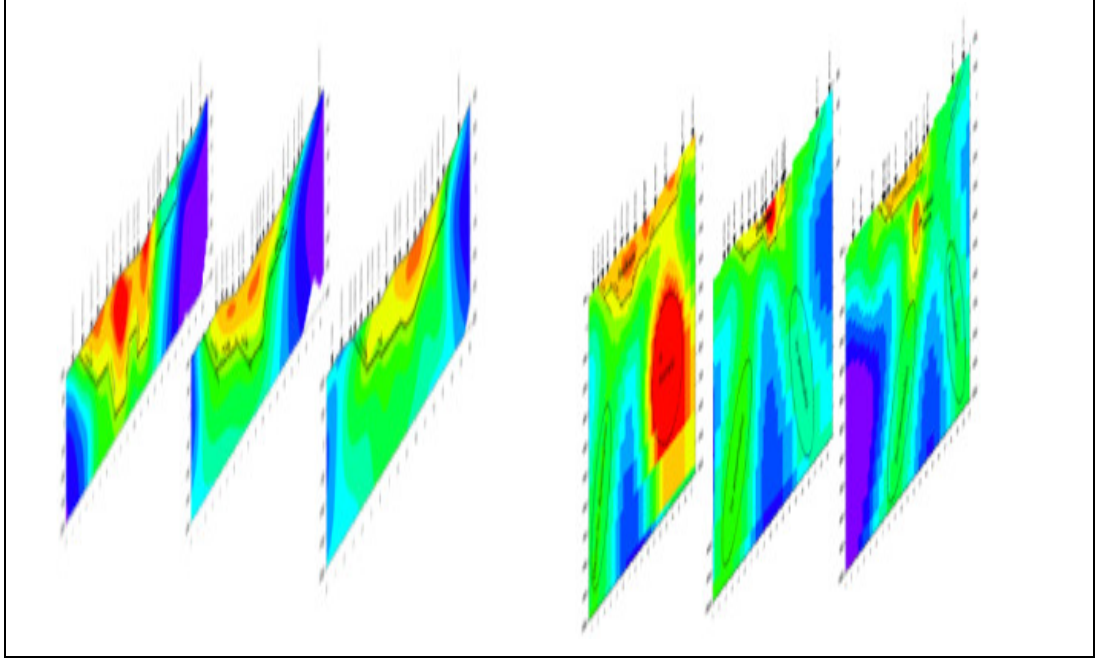


Şekil 47. 9000 metre özdirenç seviye haritası

3.5. MT, DAÖ ve Sondaj Verilerinin Birlikte Yorumu

Yapılan çalışma sonucunda P1, P2, P3 profillerine ait, MT ve DAÖ elektrik yapı kesitleri Şekil 48’de verilmiştir. Çalışma sahasında yapılan 2 adet sondaj yapılmıştır.

Çalışma sahasında jeolojik gözlemlerle gözlenen graben, jeofizik verilerle de modellenmiştir. Grabenin, çalışma sahasında sınırları ve geometrisi belirlenmiş olup, graben doğudan batıya derinleşmekte ve sınırları genişlemektedir. Şekil 48 de görüldüğü gibi 3 ayrı profilde de düşük öz dirençli seviyeler doğudan batıya doğru derinleşmektedir. Gerek çalışma sahasındaki Gediz kaplıcalarında yapılan sondajlar, gerekse bu çalışmanın da baz oluşturduğu veriler ışığında yapılan sondajlara göre; P1S sondajında (şekil 49) yaklaşık 1100 metrelerde girilen temel birimler, P3S sondajında 1350 metredir (şekil 51) .



Şekil 48.P1, P2, P3 profillerine ait DAÖ ve MT Elektrik Yapı Kesitleri.

Çalışma sahasının derin özdirenç dağılımı için yapılan Manyetotellürik çalışma sonucu elde edilen 2 boyutlu yer elektrik modellerinde bir benzerlik görülmekte olup, yaklaşık graben sınırlarında; çok yüksek özdirençli üst kabuğa ait birimleri parçalayan, belirtiler gözlenmektedir. Bu belirtiler etkisi derinlerden kaynaklı magma kökenli olup, çalışma sahasında ve civarında bulunan jeotermal kaynakların ısı kaynağı olduğu düşünülmektedir. Özellikle P3 profili kuzeyine denk gelen 6000 metre civarındaki çok düşük özdirençli yapı; sıcaklık nedeniyle iletkenliği yüksek, kısmen ergimiş bir magmatik sokulum olarak yorumlanmıştır.

Gediz grabeninin kuzey ve güney sınırları sahanın jeotermal potansiyelinin gelişimi için önemli görülmektedir. Özellikle P1 profili kuzey sınırında görülen yaklaşık 1500 metrelere denk gelen çok düşük özdirenç belirtisi, olası bir jeotermal alan olarak yorumlanmıştır. Diğer verilerinde desteklediği bu alanda yapılan jeotermal 1331 metre sondajla bu anomali tetkik edilmiştir. Sondaja ait litoloji (Şekil 49) ve Jeofizik termal logu (şekil 50) verilmiştir. Sonuç olarak; kuyu dibinde 109 °C sıcaklık, 40 l/s debi ve 90 °C akışkan elde edilmiştir.

Çalışma sahasında P3 profili kuzeyinde magmatik bir sokulum olarak nitelendirilen belirti bölgesi civarında jeotermal aktivite gelişmesi muhtemeldir. Bu amaçla diğer verilerde göz önünde bulunarak yapılan 1600 metre sondaja ait litoloji (şekil 51) ve jeofizik termal kuyu logu (şekil 52) verilmiştir. Sondaj neticesinde 105 °C kuyu dibi sıcaklığı, 25 l/s ve 70 °C akışkan elde edilmiştir. Rezervuar nitelikli yüksek özdirençli kayalara sondajda rastlanmaması jeotermal sistemin daha derinlerde etkinleşeceğini göstermekte olup, daha yüksek sıcaklığa ve daha fazla debiye sahip bir lokasyon olduğu görülmektedir.

4.SONUÇLAR

Jeotermal sahalarda örtü kaya kalınlığı, hazne kayanın derinliği ve yönelimi, ısı kaynağının yeri ve boyutlarının belirlenmesinde elektrik ve elektromanyetik yöntemler en etkili jeofizik yöntemlerdir. Ancak, son yıllarda elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak elektromanyetik yöntemler, doğru akım özdirenç yönteminden daha fazla tercih edilmektedir. EM yöntemin tercih edilmesinin bir başka nedeni de iletken yapılara doğru akım özdirenç yöntemine göre daha duyarlı olmasıdır.

Bu çalışma kapsamında Gediz grabenin jeotermal potansiyeli MT yöntemi ile araştırılmıştır. Birbirine paralel üç doğrultu boyunca ölçülen MT verilerinin 2B ters çözümü sonucu elde edilen özdirenç modelleri yorumlanmış ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Graben doğudan batıya doğru derinleşmekte ve sınırları genişlemektedir. Doğuda 1000 metreden başlamakta ve batıya doğru derinliği 1500 metreye yaklaşmaktadır.

- Yaklaşık graben sınırlarında çok yüksek özdirençli üst kabuğa ait birimleri parçalayan, belirtiler gözlenmektedir. Bu belirtiler, magma kökenli olup, çalışma sahasında ve civarında bulunan jeotermal kaynakların ısı kaynağı olarak yorumlanmaktadır.

- Gediz grabeninin kuzey ve güney sınırları sahanın jeotermal potansiyelinin gelişimi için önemli görülmektedir.

MT verilerinin yukarıdaki yorumu sonucu önerilen sondajlardan, 1331 metrede 40 l/s debi, 90°C ve 1600 metrede 25 l/s debi, 70°C akışkan bulunmuştur. Bu sonuçlar MT yönteminin başarısını göstermiştir.

Çalışma bölgesinde DES ölçüsü şeklinde toplanan DAÖ verilerinin 1B ters çözüm sonuçları birleştirilerek 2B özdirenç görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntüler MT verilerinin ters çözümünden elde edilen 2B modeller ile ilişkilendirilmiştir. Ancak DAÖ verilerinden elde edilen bilgiler (<1.5 km) MT yöntemine (<10 km) göre sığ kalmaktadır. Yinede ilk 1.5km' ye kadar olan bölümde benzerlik vardır. Ancak iletken yapı sınırları MT yönteminde daha belirgin olarak görülmektedir.

Çok-disiplinli çalışma gerektiren jeotermal aramalarda jeofizik, jeoloji ve jeokimya çalışmaları ortaklaşa yürütülmelidir. Bu tez çalışması, çok-disiplinli jeotermal aramaların jeofizik kolunda kullanılan Manyetotellürik yöntemin başarısını göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, S., 1996, Gediz Kütahya civarının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. MTA Rap.No: 10453
- Akdeniz, N., ve Konak N., 1979, Simav, Emet, Tavanlı, Dursunbey, Demirci yöresinin jeolojisi, MTA Rap. No: 6547
- Akdeniz, N., Konak, N., 1979, Menderes Masifinin Simav dolayındaki kaya birimleri ve metabazik, metaultramafik kayaların konumu, TJK Bülteni, 22, 175-183 s.
- Akdeniz, N.,Konak N., Bulut, Y., Altınay, A. Ve Bodur, D., 1991, Şaphane–Gediz–Hisarcık–Emet (Kütahya) ve dolaylı Tersiyer havzasının detay jeolojik prospeksiyonu ve kömür olanakları, MTA Rap. No: 9368.
- Başokur, A.T., 2008, Manyetotellürik Yöntemde Temel Kavramlar Kitabı. (<http://geop.eng.ankara.edu.tr/>)
- Bingöl,E., Delaloye, M. ve Ataman, 1982, Granitik Intrusions in western Anatolia: a contribution to the geodynamic study of this area. *Ecloga geol. Helv.* 75/2. 437-446.
- Bingöl, E., 1977, Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi. MTA Dergisi, 86, 14-34.
- Burçak,M., Kılıç, A.R., Hacısalihoğlu, Ö., Beker, K. ve Özkan, H., 2006, MTA Batı Anadolu jeotermal sahaları geliştirme ve ısı kaynağı araştırmaları proje verileri.
- Cagniard, L. 1953, Basic theory of the magnetotelluric method of geophysics prospecting: *Geophysics*, 18, 605-635.
- Candansayar, M. E., 1997, Doğru Akım Özdirenç Yönteminde Modelleme Ve İki-Boyutlu Sığ Yapıların Aranmasında Elektrod Dizilimlerinin Ayrımlılıklarının Karşılaştırılması. Y.Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi (Yayınlanmamış).
- Candansayar, M.E., 2008, Two-dimensional inversion of magnetotelluric data with consecutive use of conjugate gradient and least-squares solution with singular value decomposition algorithms. *Geophysical Prospecting*, Vol. 56, P.141 – 157.
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A. ve Günay, E., 1978, Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi; TJK Bülteni. 21, 97-106.
- Ercan,T., Günay, E. ve Savaşın, Y., 1984, Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel yorumlanması MTA Dergisi, 97/98, 86-101.
- Ercan, T., Satır, M., Sevin, D. ve Türkecan, A., 1996, Batı Anadolu Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayaçlarda yeni yapılan radyometrik yaş ölçümlerinin yorumu. MTA Dergisi, 119, 103-112.
- Erdoğan , B. ve Güngör, T.,1992, Menderes Mafisinin kuzey kanadının stratigrafisi ve tektonik evrimi, TPJD Bülteni, 4/1- Aralık S.9-34

- Günay,E., Akdeniz N., Şaroğlu, F. ve Çağlayan, A., 1986, Murat Dağı – Gediz dolayının jeolojisi, MTA Rap. No: 8046.
- Groom, G.W., Bailey, R.C. 1989, Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion, J. Geophys. Res.4, 1913-1925.
- Hamut., M.N. ve Yücel, B., 1996, Kütahya-Gediz Ilıca GI-1, GI-1/A ,GI-2 Sondajları Kuyu Bitirme Raporu, MTA Rapor No: 10451
- İzdar, K. E., 1971, Introduction to geology and metamorphism of Menderes Massif of western Turkey, Campel A.S., ed., Geology and history of Turkey, Petroleum Expl. Soc. of Lib., Tripoli, 495-500.
- Kaya, C., 2002, Frekans düzgünlenmiş empedans fonksiyonu ile manyetotellürük verilerde statik-kayma düzeltmesi, doktora tezi. Ankara Üni. Fen Bilimleri Enst. Ankara.
- Karlı, R.,1997, Kütahya-Gediz çevresi jeotermal enerji aramaları jeofizik SP ve rezistivite etüdü, MTA Rap. No: 10013
- Öktü.G., 1993, Kütahya –Şaphane İlçesi sınırları içerisinde kalan alanda yapılan sıcaksu ve soğuksu etütleri MTA Rap. No: 9525.
- Önder, I. ve Duman, Ö., 1998, Kütahya-Gediz çevresi, jeotermal enerji aramaları, jeofizik rezistivite etüdü. MTA Rapor No: 10051
- Özbayrak, İ. H., 1984, Abide (Simav-Kütahya) alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA Rap. No: 8747.
- Rodi W. and Mackie R.L. 2001, Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm For 2-D Magnetotelluric Inversion, Geophysics 66, 174-187.
- Schuling, R. D.,1958, Menderes masifine ait bir gözlü gnays üzerinde zirkon etüdü. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 51, 38-42.
- Schuling, R. D.,1962, Türkiye'nin güneybatısındaki Menderes migmatitik kompleksinin petrolojisi, yaşı ve yapısı hakkında, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 58, 71-85.
- Smith, J.T. and Booker, J.R. 1991, Rapid inversion of two- and three-dimensional magnetotelluric data: J. Geophys.Res., 96,3905-3922.
- Smith, J.T., 1995, Understanding telluric distortion matrices: Geophys.J.Int. 122 219-226.
- Şahin, H., ve Erdoğan, H. İ., 2004, Gediz (Kütahya) Belediyesi Jeotermal merkezi ısıtma sistemi için jeotermal enerji aramaları ve rezervuar değerlendirmesine yönelik sonuç raporu. MTA proje verileri.

- Uchida, T. 1997, 2-D inversion of Papua New Guinea magnetotelluric data with smoothness regularization. J. Geomag. Geoelectr., 45, 841-858.
- Ulugergerli, E.U. ve Özürlan, G. 2005, Manyetotellürük Yöntem, Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler Kitabı.
- Ünlü, M. R., 1971, Gediz-Simav- Sındırgı- Bigadiç civarının jeotermal enerji olanakları, MTA Rapor No:4829
- Vozof, K. 1991, The Magnetotelluric Method, İn Nabighian, M.N., Ed.,Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Soc. Expl. Geophys., 2B, 641-711.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Çorum' da doğdu. İlk orta ve lise öğretimini Ankara'da tamamladı. 1990 yılında Ankara Kimya Teknik Lisesi'nden mezun olup aynı yıl MTA Genel Müdürlüğünde Kimya Teknisyeni olarak göreve başladı.

1992 yılında başladığı Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünden mezun olarak, 1996 yılında mezun oldu. 1996 yılından beri MTA Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesinde Jeofizik Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Başta; Jeotermal Enerji Arama Projelerinde, Yerkabuğu Araştırmaları Projeleri olmak üzere birçok projede çeşitli görevlerde bulundu.

Halen MTA Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesinde çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.