KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEÇİCİ ELEKTROMANYETİK YÖNTEM İLE TERMAL İLÇESİ VE CİVARININ SIĞ KESİMLERİNİN ÖZDİRENÇ YAPISININ ARAŞTIRILMASI

ESER EREN

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEÇİCİ ELEKTROMANYETİK YÖNTEM İLE TERMAL İLÇESİ VE CİVARININ SIĞ KESİMLERİNİN ÖZDİRENÇ YAPISININ ARAŞTIRILMASI

ESER EREN

Doç. Dr. Ertan PEKŞEN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Dr. Öğr. Üyesi Metin AŞCI
Jüri, Kocaeli Üniversitesi .....

Dr. Öğr. Üyesi Ayhan KESKİNSEZER
Jüri, Sakarya Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih:21.01.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinde, uygulanmasında ve tamamlanmasında gösterdiği destek ve ilgiden dolayı danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ertan PEKŞEN'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Metin AŞCI ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ayhan KESKİNSEZER'e sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmalarımda desteğini esirgemeyen arkadaşım Arş. Gör. Dr. İsmail DEMİRCİ'ye teşekkür ediyorum.

Yoğun çalışma dönemlerimde desteklerini gördüğüm aileme ve bu yoğun temponun tüm yoğunluğu ve sıkıntılarını aşmamda, maddi manevi her anımda yanımda olan annem Zehra Sema EREN, babam Mustafa EREN, eşim Dilek ÇİMEN EREN'e ve kızım Ecem İlke EREN'e sonsuz teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 117Y184 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ocak – 2021 Eser EREN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
GİRİŞ 1
1. GEÇİCİ ELEKTROMANYETİK YÖNTEM 3
1.1. Elektromanyetik Teori 3
1.1.1. Maxwell denklemleri 3
1.1.2. Elektromanyetik dalga denklemleri 5
1.1.3. Elektromanyetik dalga denklemlerinin çözümü 7
1.2. Yöntemin Fizik Esası 11
1.3. Geçici Elektromanyetik Kuram 13
1.4. Yokuş Zamanının Etkisi 17
1.5. Görünür Özdirenç 19
1.6. Araştırma Derinliği 20
2. TERS ÇÖZÜM 22
2.1. En Küçük Kareler Yöntemi 23
2.1.1. Tekil değer ayrışımı yöntemiyle en küçük kareler çözümü 25
2.1.2. Sönümlü en küçük kareler yöntemi 25
2.1.3. Ağırlıklı sönümlü en küçük kareler çözümü 26
3. TERMAL İLÇESİ VE CİVARINDAKİ GEÇİCİ ELEKTROMANYETİK YÖNTEM UYGULAMASI 28
3.1. İklim 30
3.2. Jeomorfoloji 30
3.3. Jeoloji 30
3.3.1. Pamukova metamorfitleri 32
3.3.2. Taşköprü formasyonu 32
3.3.3. Bakacak formasyonu 32
3.3.4. İncebel formasyonu 32
3.3.5. Sarısu formasyonu 33
3.3.6. Fıstıklı graniti 34
3.3.7. Kılıç formasyonu 34
3.3.8. Yalakdere formasyonu 34
3.3.9. Kireç taşı üyesi 34
3.3.10. Kuvaterner çökeller 34
3.4. Arazi Çalışmaları 35
3.4.1. Veri işlem çalışmaları 35
3.4.2 Verilerin değerlendirilmesi 39
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 55
KAYNAKLAR 57
EKLER 59

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 81
ÖZGEÇMİŞ 82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Elektrik/manyetik alanın (a) zamana göre ve (b) uzaklığa göre değişimi. 8
Şekil 1.2. Tekdüze yarı sonsuz ortam için (100Ωm) 50m yarıçaplı dairenin merkezinde meydana gelen manyetik alan ve türevinin davranışı 10
Şekil 1.3. TEM yöntemi verici sinyalleri ve alıcıya kaydedilen sinyal 12
Şekil 1.4. Geçici elektromanyetik yöntemde kullanılan ölçü dizilimleri; a) ayrık halka, b) merkezi halka, c) iç içe iki halka, d) tek halka. 13
Şekil 1.5. Basit tabakalı ortam 13
Şekil 3.1. Yalova Termal yer bulduru haritası 28
Şekil 3.2. Termal ilçesi ve dolayının jeoloji haritası. 31
Şekil 3.3. Çalışma alanındaki TEM ölçülerinin lokasyonları 36
Şekil 3.4. (a) GDP 3224 alıcı ünite, (b) GGT-10 verici ünite, (c) alıcı bobin 36
Şekil 3.5. Arazideki ölçü dizilimi 37
Şekil 3.6. 5 nolu TEM verisi 37
Şekil 3.7. 5 nolu TEM verisi tabaka sayısı 38
Şekil 3.8. 5 nolu TEM verisinin ters çözüm sonucu 38
Şekil 3.9. Ölçü noktalarının birimlerdeki dağılımı 39
Şekil 3 10. Jeolojik birimlerin isimleri. 40
Şekil 3.11. Z= 0 m seviye haritası. 41
Şekil 3.12. Z= 25 m seviye haritası. 42
Şekil 3.13. Z= 50 m seviye haritası. 43
Şekil 3.14. Z= 80 m seviye haritası. 44
Şekil 3.15. Z= 110 m seviye haritası. 45
Şekil 3.16. Z= 165 m seviye haritası. 46
Şekil 3.17. Z= 200 m seviye haritası. 47
Şekil 3.18. 3 boyutlu özdirenç seviye haritası (güney-batı yönünden görünüm). 48
Şekil 3.19. 3 boyutlu özdirenç seviye haritası (kuzey-doğu yönünden görünüm). 49
Şekil 3.20. Mekanik sondajın konum ve litoloji bilgileri 50
Şekil 3.21. Sondaj kesiti (doğu-batı). 51
Şekil 3.22. Sondaj kesiti ile 3B kesitin karşılaştırılması. 52
Şekil 3.23. 3 boyutlu jeolojik görünüm. (güney-batı) 53
Şekil 3.24. 3 boyutlu jeolojik görünüm. (kuzey-batı) 53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_0 : Katmanlı ortamda çekirdek fonksiyonu
A_R : Alıcı halkanın etkin alanı,(m^2)
A_T : Verici halkanın etkin alanı, (m^2)
b : Manyetik akı yoğunluğu, (magnetic induction) [Wb/m^2]
d : Dielektrik yerdeğiştirme, (dielectric displacement current) [C/m^2]
e : Elektrik alan şiddeti, (electric field intensity) [V/m]
h : Manyetik alan şiddeti, (magnetic field intensity) [A/m]
I : Uygulanan akım, (A)
j : Elektrik akım yoğunluğu, (electric current density) [A/m^2]
p : Laplace değişkeni
P : Katman kalınlıkları
q : Elektrik yük yoğunluğu, (electric charge density) [C/m^3]
r : Uzaklık
t : Zaman
T : Sıcaklık
ε : Ortamın dielektrik permitivitesi
μ : Ortamın manyetik geçirgenliği
σ : Ortamın iletkenliği
ω : Açısal frekans
δ_T : Nüfuz derinliği

Kısaltmalar

MT : Manyetotellürik
MTA : Maden Tetkik ve Arama
MATLAB : Matrix Laboratory (Sayısal Hesaplama Yazılımı)
TEM : Transient Electromagnetic Method (Geçici Elektromanyetik Yöntem)
TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

GEÇİCİ ELEKTROMANYETİK YÖNTEM İLE TERMAL İLÇESİ VE CİVARININ SIĞ KESİMLERİNİN ÖZDİRENÇ YAPISININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Jeofizik; depremleri inceleyen, yeraltı kaynaklarını, arkeolojik ve kültürel kalıntıları arayan, fizik yasaları gereğince matematik ve jeolojiyi kullanarak yeraltının yapısının anlaşılmasını sağlayan, yeraltını görüntüleyerek araştıran ve dinamik davranışlarını belirleyen bir bilim dalıdır. Elektromanyetik yöntemler, yer içerisindeki doğal kaynakların yerlerinin tespit edilmesinde, yer altının sığ ve derin bölgelerinin araştırılmasında sıklıkla kullanılan bir jeofizik yöntemdir. Özellikle sığ derinliklerdeki iletkenlerin saptanmasında elektromanyetik yöntemler başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Termal ilçesi sahip olduğu termal kaynak nedeniyle uzun yıllardır sağlık ve turizm sektörlerinde hizmet vermektedir. İlçede devlete ve özel sektöre ait birçok termal tesis bulunmaktadır. Bölgede jeotermal kaynağın kullanımından olduğu düşünülen birçok sismik aktivite meydana gelmektedir. Bu sismik aktivitelerin en yükseği ve en dikkat çekeni 2014 yılının Ağustos ayında olan deprem etkinliğidir. Söz konusu bu dönemde bölgede bulunan deprem istasyonlarınca büyüklüğü 1 ile 4 arasında değişen 6219 adet deprem kaydedilmiştir. Bu çalışma kapsamında depremlerin meydana geldiği Termal ilçesi ve civarında 36 noktada TEM ölçüsü alınmış, ölçülen verilere JOINTEM programı ile ters çözüm uygulanmış, ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç ve derinlik değerleri kullanılarak MATLAB programında yazılan kod yardımı ile çalışma alanının 2 boyutlu ve 3 boyutlu özdirenç seviye haritaları elde edilmiş, elde edilen seviye haritaları bölgenin jeolojisi ile ilişkilendirilerek bölgenin sığ kesimlerinin özdirenç yapısı ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 1B TEM**,** Geçici Elektromanyetik Yöntem, Özdirenç.

INVESTIGATION OF THE SHALLOW-RESISTIVITY STRUCTURE OF TERMAL DISTRICT AND VICINITY WITH TRANSIENT ELECTROMAGNETIC METHOD

ABSTRACT

Geophysics; It is a branch of science that studies earthquakes, searches for underground resources, archaeological and cultural remains, enables understanding of the structure of the underground using mathematics and geology in accordance with the laws of physics, researches the underground by imaging and determines its dynamic behavior. Electromagnetic methods are a geophysical method that is frequently used in determining the location of natural resources in the ground and in the investigation of shallow and deep underground regions. Electromagnetic methods are applied successfully, especially in detecting the conductors at shallow depths. Thermal district has been serving in health and tourism sectors for many years due to its thermal resources. There are many thermal facilities belonging to the state and private sector in the district. Many seismic activities occur in the region, which are thought to be due to the use of geothermal resources. The highest and most noteworthy of these seismic activities is the earthquake activity in August 2014. During this period, 6219 earthquakes varying between 1 and 4 were recorded by the earthquake stations in the region. TEM measurement was taken at 36 points in the Termal district where the earthquakes occurred and its vicinity, the inverse solution was applied to the measured data with the JOINTEM program, using the resistivity and depth values obtained as a result of the inverse solution with the help of the code we wrote in the MATLAB program. 2-dimensional and 3-dimensional resistivity level maps of the study area were obtained, and the resistivity structure of the shallow parts of the region was revealed by associating the obtained level maps with the geology of the region.

Keywords: 1D TEM, Transient Electromagnetic Method, Resistivity.

GİRİŞ

Jeofizik yöntemler; maden, su, petrol, arkeolojik yapı aramaları ve zemin parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan bir bilim dalıdır. Elektrik, gravite, sismik, manyetik ve elektromanyetik yöntemler gibi farklı jeofizik yöntemler yer altını modelleyerek sorunların çözümünde son derece önemlidir. Son yıllarda Ülkemizde yer altı kaynaklarını arama çalışmalarının artması jeofizik yöntemlere olan önemi arttırmıştır. Mekanik sondajın maliyetinin yüksek olması yer altı kaynaklarının yerinin belirlenmesinde bu yöntemin kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu sebepten dolayı mekanik sondaj yerine maliyeti çok daha uygun olan jeofizik yöntemlerin kullanımı artmıştır (Candansayar, 2005).

Elektromanyetik yöntemler, yer altında bulunan doğal kaynakların yerlerinin belirlenmesinde, yer altının sığ ve derin bölgelerinin araştırılmasında sıklıkla kullanılan bir jeofizik yöntemdir. Yöntemin hem yer üstünden hem de havadan ölçü alabilme imkânı veriyor olması ve elektromanyetik yöntemler dışında başka bazı jeofizik yöntemlerin yerine kullanılabilmesi, elektromanyetik yöntemlerin hem kuramsal hem de aletsel düzeyde ve uygulamada kullanım alanlarını zenginleştirmiştir. Özellikle sığ derinliklerdeki iletkenleri saptanmasında elektromanyetik yöntemler başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Tezkan, 1982).

Jeofizikte yapay kaynaklı bir elektromanyetik yöntem olan Geçici Elektromanyetik Yöntem sağlamış olduğu yüksek çözünürlülük, uygulama aşamasındaki kullanım üstünlüğü, yapı-yöntem ilişkisi anlamında farklı ölçü dizilimleri ile talep edilen sonuçları elde etme olasılığını arttırması sebebi ile yer altının hem derin hem de sığ kesimlerinin araştırılmasında sıklıkla kullanılan bir elektromanyetik yöntemdir. TEM yöntemi yer altının iletkenlik değişiminin belirlenebilmesi için yapay bir kaynaktan yer içerisine uygulanan elektrik akımının aniden kesilmesi sonucu meydana gelen indüksiyon akımlarının zamana bağlı olarak yer içine nüfuz etmesi esasına göre çalışmaktadır. İndüksiyon akımları nedeni ile oluşan manyetik alandaki zamana bağlı değişimlerin ölçülmesi, veri işlemlerin yapılması ve değerlendirilmesi sonucunda ölçü

alanının derinlik özdirenç bilgileri elde edilir.

Yalova ilinin Termal ilçesi sahip olduğu termal kaynak nedeniyle uzun yıllardır sağlık ve turizm sektörlerinde hizmet vermektedir İlçede devlete ve özel sektöre ait birçok termal tesis bulunmaktadır. Bölgede jeotermal kaynağın kullanımından olduğu düşünülen birçok sismik aktivite meydana gelmektedir. Bu sismik aktivitelerin en yükseği ve en dikkat çekeni 2014 yılının Ağustos ayında olan deprem etkinliğidir. Söz konusu bu dönemde bölgede bulunan deprem istasyonlarınca büyüklüğü 1 ile 4 arasında değişen 6219 adet deprem kaydedilmiştir.

Bu çalışma kapsamında depremlerin meydana geldiği Termal ilçesi ve civarında 36 noktada TEM ölçüsü alınmış, ölçülen verilere JOINTEM programı ile ters çözüm uygulanmış, ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç ve derinlik değerleri kullanılarak MATLAB programında yazmış olduğumuz kod yardımı ile çalışma alanının 2 boyutlu ve 3 boyutlu özdirenç seviye haritaları elde edilmiş, elde edilen seviye haritaları bölgenin jeoloji ile ilişkilendirilerek bölgenin sığ kesimlerinin özdirenç yapısı ortaya çıkarılmıştır.

1. GEÇİCİ ELEKTROMANYETİK YÖNTEM

Geçici Elektromanyetik Yöntem yer altındaki iletkenliğin değişiminin belirlenmesi için yapay kaynaktan yer içerisine uygulanan elektrik akımının belirli zaman aralığında kesilmesi sonucu ortaya çıkan uyartım (induction) akımlarının zamana bağlı yayınımı prensibine göre çalışır. Zamana bağlı değişen elektromanyetik alana maruz kalan malzemeler üzerinde bir elektromotor kuvvet (emk) indüklenmektedir. Oluşan elektromotor kuvvet, elektromanyetik alanın ortadan kalkması durumunda ortamın özelliklerine bağlı olarak azalmaktadır. Azalan elektromotor kuvvet ortamda zamana bağlı azalan manyetik bir alan oluşmasına neden olur. Zamanla değişen bu manyetik alanın bir alıcı yardımı ile kaydedilebilmesi yer altının yerelektrik yapısı durumu hakkında bilgi edinmemize yardımcı olmaktadır (Özürlan ve Ulugergerli, 2005).

Geçici elektromanyetik yöntem 1950'li yıllarda Amerika, Kanada ve Rusya'da sıcak su, doğalgaz, petrol aramalarında ilk olarak kullanılmıştır. Daha sonra yöntemin geliştirilmesi ile birlikte maden yataklarının yerlerinin belirlenmesi (Buselli ve O'Neill, 1977), süreksizlik ve kırıkların belirlenmesi (Kalscheuer ve diğ., 2007), jeolojik yapıların belirlenmesi (Jorgensen ve diğ., 2005), çevre jeofiziği problemleri (Frischknecht ve Raab, 1984) gibi bir çok farklı jeofizik problemlerin üzerinde uygulanmaya başlanmıştır.

1.1. Elektromanyetik Teori

1.1.1. Maxwell denklemleri

Ortamda ilerleyen elektromanyetik dalgalar ile ortaya çıkan alanlar arasındaki ilişki Maxwell denklemleri ile tanımlanabilmektedir. Maxwell denklemleri ampirik eşitliklerdir ve Amper ve Faraday gibi araştırmacıların çalışmaları sonucu ortaya çıkmıştır (Ward ve Hohmann, 1988). Zaman ortamında elektromanyetik kuramı meydana getiren denklemler;

$$\nabla * \vec{e} + \frac{\partial \vec{b}}{\partial t} = 0 \qquad (1.1)$$

$$\nabla * \vec{h} + \frac{\partial \vec{d}}{\partial t} = \vec{j} \tag{1.2}$$

$$\nabla . \vec{b} = 0 \tag{1.3}$$

$$\nabla . \vec{d} = 0 \tag{1.4}$$

olarak verilmiştir. Bu denklemlerde, b; manyetik akı yoğunluğunu [Wb/m^2], e; elektrik alan şiddetini [V/m], j; elektrik akım yoğunluğunu [A/m^2], h; manyetik alan şiddetini [A/m], q; elektrik yük yoğunluğunu [C/m^3] ve d; dielektrik yerdeğiştirmeyi [C/m^2] ifade etmektedir. Maxwell'in 1. eşitliği olan Faraday yasasına göre, zamana bağlı olarak değişen manyetik alan bu alana dik yönde bir elektrik alan meydana getirmektedir. Amper Yasası Denklem (1.2)'de verilmiştir ve manyetik alanların elektrik akım yoğunluğuna dik olarak meydana geldiğini ve toplam akımın yer değiştirme ve iletim akımlarının toplamından meydana geldiğini belirtmektedir. Denklem (1.3) ve (1.4)'de elektrik yer değiştirme ve manyetik akı yoğunluğu tanımlanmaktadır. Denklem (1.3) kapalı bir yüzeyden çıkan toplam manyetik akının sıfır olduğunu ifade etmektedir. Denklem (1.4)'de yer değiştirme akımlarının diverjansının elektrik yük yoğunluğu ile aynı olduğunu ve bu söz konusu yüklerden kaynak olarak elektrik alan çizgilerinin meydana geldiği ifade etmektedir. Ancak yer iletken olduğu için Denklem (1.4)'ün sağ tarafında olması gereken yük yoğunluğu bu denklemde yazıldığı gibi sıfır olarak kabul edilebilir.

Zaman ortamında ifade edilen yukarıdaki birbirleri ile bağımsız olan denklemler Fourier dönüşümü yardımı ile frekans ortamında malzeme denklemleri ile çözümlenebilirler:

$$\vec{D} = \varepsilon(\omega, \vec{E}, \vec{r}, t, T, P, ...).\vec{E} \tag{1.5}$$

$$\vec{B} = \mu(\omega, \vec{H}, \vec{r}, t, T, P, ...).\vec{H} \tag{1.6}$$

$$\vec{J} = \sigma(\omega, \vec{E}, \vec{r}, t, T, P, ...).\vec{E} \tag{1.7}$$

Bu denklemlerde ε ortamın dielektrik permitivitesi, μ ortamın manyetik geçirgenliği,

σ ortamın iletkenliğini; sıcaklığın (T), elektrik alan şiddetinin ($\vec{E}$), basıncın (P), açısal frekansın (ω), zamanın (t) ve uzaklığın ($\vec{r}$) fonksiyonu halinde tanımlanmaktadır (Ward ve Hohmann,1988).

Bütün ortamlar doğrusal, yön bağımsız ve tekdüze olmakla beraber sıcaklık, zaman ve basınçtan bağımsız olan elektrik özelliklerinin etkisi altında olduğu varsayımı ve ortamın manyetik geçirgenlik değerinin boşluğunkine eşit olduğu varsayımı yapılarak malzeme denklemleri;

$$\vec{d} = \varepsilon \vec{e} \tag{1.8}$$

$$\vec{b} = \mu \vec{h} \tag{1.9}$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{e} \tag{1.10}$$

şeklinde yazılabilmektedir.

1.1.2. Elektromanyetik dalga denklemleri

Elektromanyetik dalga denklemleri, manyetik alan ve elektrik alanın yer içerisinde ne şekilde ilerlediğini gösteren Maxwell denklemlerinden türetilen denklemlerdir. Denklem (1.1) ile (1.2)'nin her iki tarafının dönergeleri (rotasyonları) ve bunlarla beraber Denklem (1.8), (1.9), (1.10) malzeme denklemleri kullanılarak;

$$\nabla * \nabla * \vec{e} - \mu \nabla * \frac{\partial \vec{h}}{\partial t} = 0 \tag{1.11}$$

$$\nabla * \nabla * \vec{h} - \varepsilon \nabla * \frac{\partial \vec{\varepsilon}}{\partial t} = \sigma \nabla * \vec{e} \tag{1.12}$$

denklemleri elde edilmektedir. Burada elektrik ve manyetik alanların türevi alınabilir. Dönel işleci ile türev işleci yer değiştirebilir. Denklem (1.11) ve (1.12) bu durumda;

$$\nabla * \nabla * \vec{e} - \mu \nabla * \frac{\partial}{\partial t}\left(\nabla * \vec{h} \right) = 0 \tag{1.13}$$

$$\nabla * \nabla * \vec{h} - \varepsilon \frac{\partial}{\partial t}\left(\nabla * \vec{e} \right) = \sigma \nabla * \vec{e} \tag{1.14}$$

şeklini almaktadır.

$$\nabla * \nabla * \vec{a} = \nabla \nabla . \vec{a} - \nabla^2 \vec{a} \tag{1.15}$$

Yukarıdaki özdeşlik kullanılarak tekdüze ortamlar için $\nabla . \vec{e} = 0$ ve $\nabla . \vec{h} = 0$ tanımları göz önünde bulundurularak Denklem(1.13) ve (1.14);

$$\nabla^2 \vec{e} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{e}}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{e}}{\partial t} = 0 \tag{1.16}$$

$$\nabla^2 \vec{h} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{h}}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{h}}{\partial t} = 0 \tag{1.17}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklem (1.16) ve (1.17) ile tanımlanan denklemler, zaman ortamı için elektrik alan ve manyetik alanların yayılımını açıklayan denklemlerdir.

Zamana bağlı dalga denklemleri Fourier dönüşümleri yardımı ile frekans ortamında;

$$\nabla^2 \vec{E} + \left(\mu\varepsilon\omega^2 - i\omega\mu\sigma \right) \vec{E} = 0 \tag{1.18}$$

$$\nabla^2 \vec{H} + \left(\mu\varepsilon\omega^2 - i\omega\mu\sigma \right) \vec{H} = 0 \tag{1.19}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Söz konusu denklemler Helmholtz denklemleri olarak isimlendirilmektedir. Denklemlerde parantez içerisinde bulunan ifadeler yer değiştirme akımları ile iletim akımları arasındaki farkı belirtmektedir. Dielektrik katsayısının etkisi düşük frekanslarda (<100 kHz) göz ardı edilebilecek kadar az olduğundan, Denklem (1.18) ve (1.19),

$$\nabla^2 \vec{E} - i\omega\mu\sigma \vec{E} = 0 \tag{1.20}$$

$$\nabla^2 \vec{H} - i\omega\mu\sigma \vec{H} = 0 \tag{1.21}$$

şeklini almaktadır. Zaman ortamına geçmek için Denklem (1.20) ve (1.21)'in Ters Fourier dönüşümü alınırsa;

$$\nabla^2 \vec{e} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{e}}{\partial t} = 0 \tag{1.22}$$

$$\nabla^2 \vec{h} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{h}}{\partial t} = 0 \tag{1.23}$$

elektromanyetik difüzyon denklemleri elde edilmektedir.

1.1.3. Elektromanyetik dalga denklemlerinin çözümü

Ward ve Hohmann (1988) ikinci dereceden doğrusal diferansiyel denklem olan dalga denklemlerinin çözülmesi amacıyla iki bölümden meydana gelen çözüm önermiştir. Düzlem dalgalar için zaman bağımlı ω açısal frekansında sinüzoidal bir dalga ($e^{i\omega t}$) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\vec{e} = \vec{e}_0^{+} e^{-i(kz-\sigma t)} + \vec{e}_0^{-} e^{i(kz+\sigma t)} \tag{1.24}$$

$$\vec{h} = \vec{h}_0^{+} e^{-i(kz-\sigma t)} + \vec{h}_0^{-} e^{i(kz+\sigma t)} \tag{1.25}$$

Bu denklemlerde $k = \alpha - i\beta$ şeklinde ifade edilmektedir ve $\alpha = \beta = (\omega\mu\sigma/2)^{1/2}$ şeklinde tanımlanmaktadır. Denklem (1.24)'de bulunan $\vec{e}_0^{+}$ ve $\vec{e}_0^{-}$ ifadeleri, t=0 zamanında z ekseninin negatif ve pozitif ekseninde yayınan elektrik alanın genliğini ifade etmektedir. Pozitif y ekseninde dalganın yayındığı düşünülürse;

$$\vec{e} = \vec{e}_0^{+} e^{-i\alpha z} e^{-\beta z} e^{i\omega t} \tag{1.26}$$

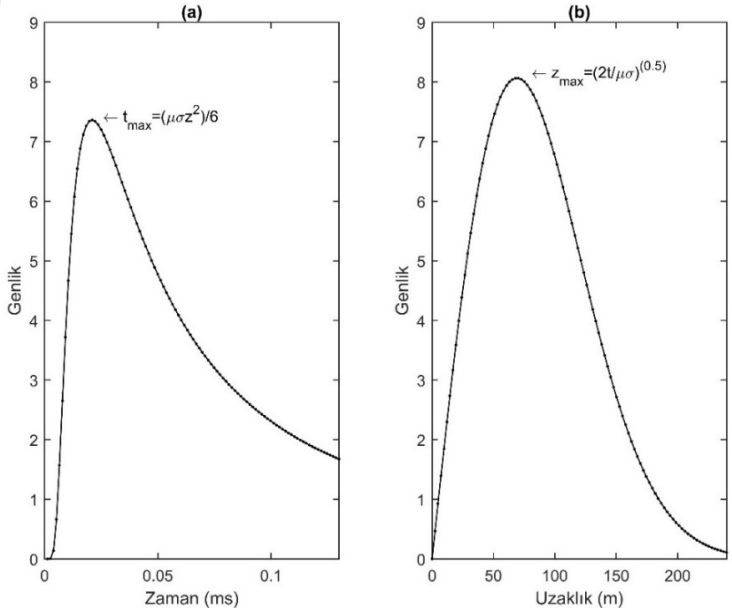
$$\vec{h} = \vec{h}_0^{+} e^{-i\alpha z} e^{-\beta z} e^{i\omega t} \tag{1.27}$$

denklemleri elde edilir. Elektromanyetik dalganın sönümü, dalga yayınım mesafesiyle üstel olarak azalmakta ve $e^{-\beta z}$ terimi ile gösterilmektedir. Elektromanyetik dalganın mevcut genliğinin (yüzeydeki genlik değerinin) 1/e'sine düştüğü derinlik;

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega\mu\sigma}\right)^{1/2} = 503.2\left[\frac{1}{f\sigma}\right]^{1/2} \tag{1.28}$$

nüfuz derinliğini (skin depth) ifade etmekte ve söz konusu ifade elektromanyetik dalganın sönümünün ortamın iletkenliği ve de frekansı ile ilişkili olduğunu göstermektedir. İkinci olarak Denklem (1.24) ve (1.25)'in pozitif kısımlarına Fourier dönüşümü uygulayarak çözüm üretilmektedir. Yüzeyde, elektrik alanın ve manyetik alanın zamana göre türevinin davranışını tanımlayan denklem aşağıdaki gibidir.

$$\begin{pmatrix} \vec{e} \\ \vec{h} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{e}_0^{+} \\ \vec{h}_0^{+} \end{pmatrix} \frac{(\mu\sigma)^{1/2}}{2\pi^{1/2} t^{5/3}} e^{-\pi\sigma z^2/4t} \tag{1.29}$$



Şekil 1.1.Elektrik/manyetik alanın (a) zamana göre ve (b) uzaklığa göre değişimi.

Yukarıdaki şekillerde elektrik/manyetik alanların uzaklık ve zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 1.1a'da da belirtildiği gibi 100Ωm özdirenç değerinde bir ortam için, manyetik alanın en yüksek genliğe ulaştığı değer, Denklem (1.29)'un

zamana göre türevinin sıfıra eşitlenmesi ile Denklem (1.30) şeklinde ifade edilmektedir;

$$t_{max} = \frac{\mu\sigma z^2}{6} \tag{1.30}$$

Şekil 1.1b'deki grafikte görüldüğü gibi 0.03ms için, manyetik alanın en yüksek değerde olduğu derinlik değeri olan nüfuz derinliği(penetration depth), Denklem (1.29) un uzaklığa göre türevinin sıfıra eşitlenmesiyle,

$$z_{max} = \left(\frac{2t}{\mu\sigma}\right)^{1/2} \tag{1.31}$$

eşitliğiyle elde edilmiştir.

Akım yoğunluğunun maksimum olduğu değerde elektromanyetik dalganın yer içine doğru hareket hızı, Denklem (1.31) in zamana göre türevi alınarak,

$$V = \frac{dz_{max}}{dt} = \frac{1}{(2\mu\sigma t)^{1/2}} \tag{1.32}$$

şeklinde elde edilmektedir. Denklem (1.31)'e bakıldığında nüfuz derinliği $t^{1/2}$ ile orantılıdır. Frekans ortamında nüfuz derinliğinin ifadesi olan Denklem (1.18) ile Denklem (1.31) eşdeğer olup bu değer $1/\omega^{1/2}$ ile orantılıdır.

Geçici elektromanyetik yöntemde, değişken akım için farklı kaynaklar kullanılabilmektedir. Uygulamalarda pratik olması açısından kare şeklinde verici kullanılırken, kuramsal yapılan çalışmalarda hesaplamanın kolay olması sebebi ile daire halka verici kullanılır. Dairesel şekildeki halkanın merkez noktasında gerçekleştirilen ölçümler için tek düze olan ortamda manyetik alan şiddetinin düşey bileşen değeri,

$$h_z = \frac{1}{2a}\left[\frac{3}{\sqrt{\pi\theta a}}e^{-\theta^2 a^2} + \left(1 - \frac{3}{2\theta^2 a^2}\right)\mathrm{erf}(\theta a)\right] \tag{1.33}$$

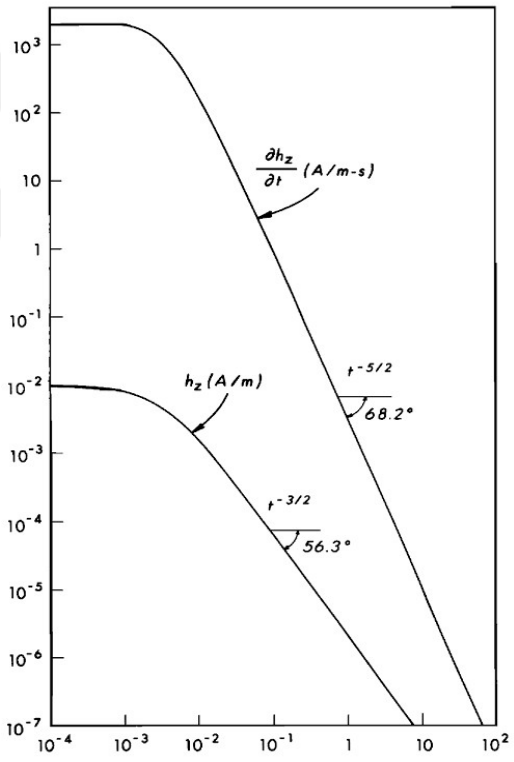
denklemiyle ifade edilir (Ward ve Hohmann, 1988).

Denklemde "erf" ifadesi hata fonksiyonudur $\mathrm{erf}(z)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-x^2}dx$ ve $\theta=\sqrt{\frac{\mu_0\sigma}{4t}}$ şeklinde verilmiştir.

Denklem (1.33)'de tanımlanan ifadenin zamana göre türevi, yani dairesel olan halkanın merkez noktasındaki manyetik alanın düşey bileşeninin zamanla sönümü Ward ve Hohmann tarafından,

$$\frac{\partial h_z}{\partial t}=-\frac{I}{\mu_0\sigma a^3}\left[3\mathrm{erf}(\theta a)-\frac{2}{\pi^{1/2}}\theta a\left(3+2\theta^2a^2\right)e^{-\theta^2a^2}\right] \tag{1.34}$$

şeklinde verilmiştir.



Şekil 1.2. Tekdüze yarı sonsuz ortam için (100Ωm) 50m yarıçaplı dairenin merkezinde meydana gelen manyetik alan ve türevinin davranışı (Ward ve Hohmann, 1988).

Denklem (1.33) ve (1.34) ile tanımlanan manyetik alanın türevinin ve düşey bileşeninin zamana göre değişimi şekil 1.2'de verilmiştir. Geç zamanlarda manyetik alan şiddeti $t^{-3/2}$'yle sönümlenir ve de manyetik alan türevi $t^{-5/2}$'yle azalmaktadır.

Denklem (1.33) ve (1.34)'de bulunan θ, geç zamanlar için çok küçük değer almaktadır. Bundan dolayı iki bağıntıda daha basit olarak aşağıdaki yaklaşımlar yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$h_z \approx \frac{I\sigma^{3/2}\mu_0^{3/2}a^2}{30\pi^{1/2}} t^{-3/2} \tag{1.35}$$

$$\frac{\partial h_z}{\partial t} \approx \frac{I\sigma^{3/2}\mu_0^{3/2}a^2}{20\pi^{1/2}} t^{-5/2} \tag{1.36}$$

Manyetik alanın düşey bileşeninin zamana göre türevi TEM yönteminde uygun bir alıcı bobin veya halka yardımı ile ölçülmektedir. Bundan dolayı manyetik akı yoğunluğu ve manyetik alan şiddeti arasında bulunan yapısal ilişkiden yararlanılarak

$$b_z \approx \frac{I\sigma^{3/2}\mu_0^{5/2}a^2}{30\pi^{1/2}} t^{-3/2} \tag{1.37}$$

$$\frac{\partial b_z}{\partial t} \approx \frac{I\sigma^{3/2}\mu_0^{5/2}a^2}{20\pi^{1/2}} t^{-5/2} \tag{1.38}$$

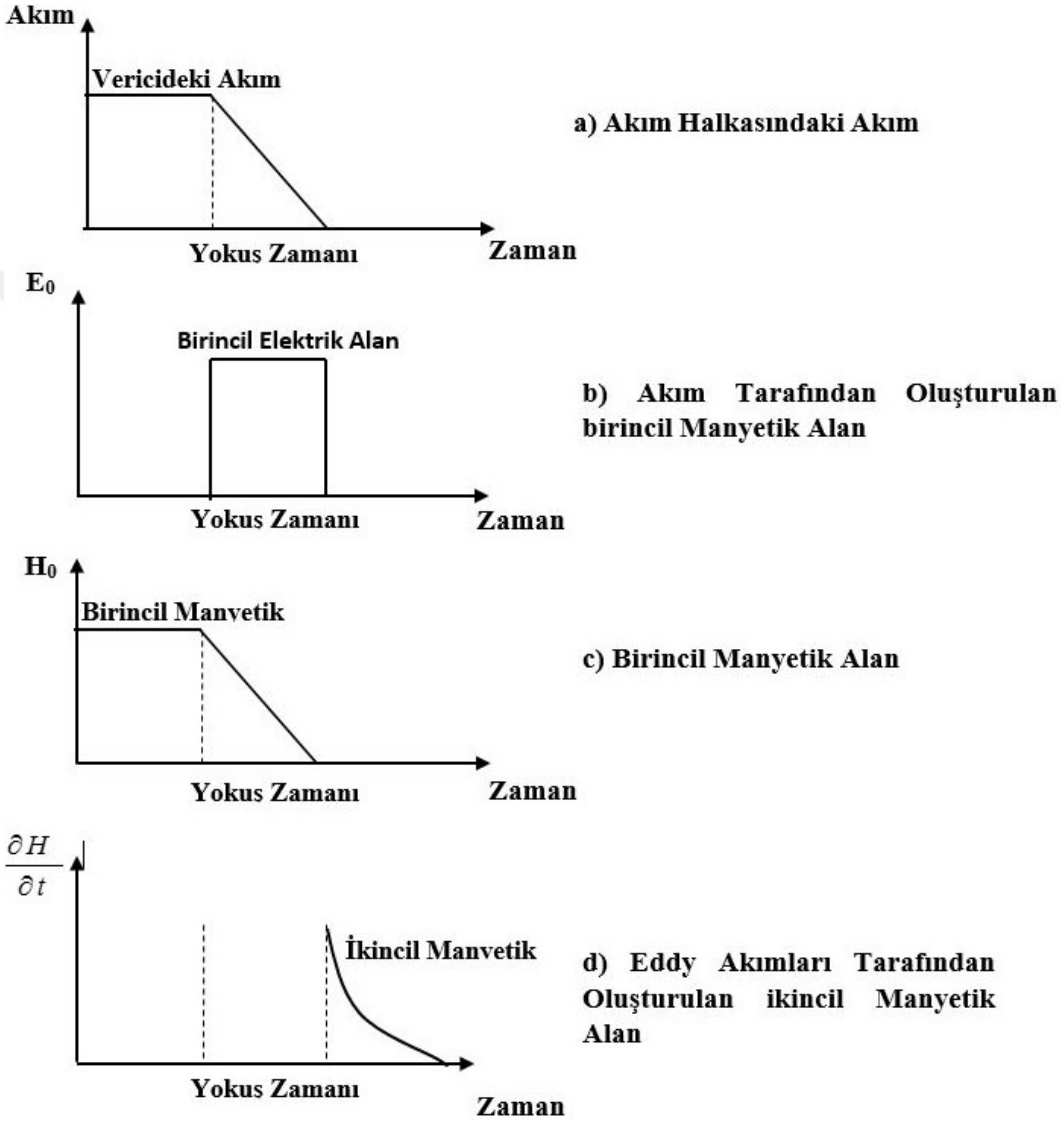
denklemleri elde edilir.

1.2. Yöntemin Fizik Esası

Geçici Elektromanyetik Yöntem(TEM), verici olarak kullanılan iki ucu topraklanmış elektrik kutup veya belli bir geometrik şekilde bulunan iletken bir tele bir kaynaktan verilen akımın belli bir süre sonunda kesilmesiyle meydana gelen birincil manyetik alanın yer altında meydana getirdiği elektromanyetik alanların ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Bir halkadan verilen değişken akım sonucu oluşan zamana bağlı manyetik alan ortamda iletken bir yapı olduğu zaman birincil manyetik alana dik yönde uyartım (Eddy) akımlarının oluşmasına neden olur. Bu akımlar verici halkaya uygulanan akımın kesilmesinden dolayı sönümlenir ancak bir anda sıfır değerine ulaşmaz. Verilen akımın kesilmesi ile akımın sıfıra ulaşması için geçen zamana yokuş zamanı (ramp time) denilmektedir.

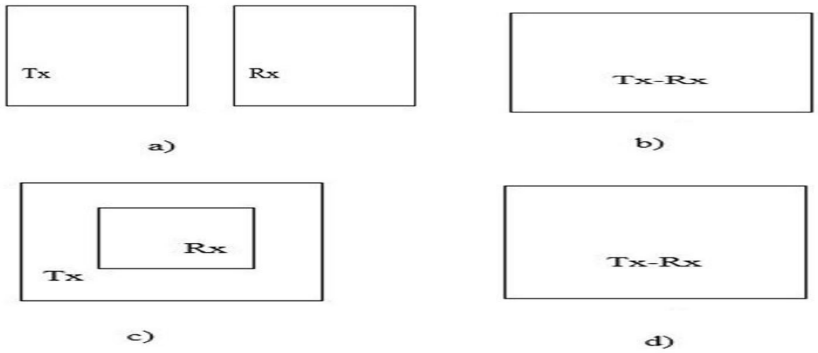
Akım sönümlenirken kendilerini meydana getiren alana ters yönde ikincil manyetik alanların oluşmasına sebep olurlar. Oluşan bu akımlarda zamana bağlı değişen uyartım

akımları gibi zaman içerisinde sönümlenmektedir. Söz konusu sönümlenme, uyartım akımlarının içerisinde oluştuğu birimin veya yapının derinliği, özdirenci, büyüklüğü gibi değişkenlere göre yavaş ya da hızlı olmaktadır. Oluşan bu ikincil manyetik alan uygun alıcılar yardımı ile zamanın fonksiyonu olarak ölçülebilmektedir (McNeill, 1990).



Şekil 1.3. TEM yöntemi verici sinyalleri ve alıcıya kaydedilen sinyal.

Genel olarak TEM yönteminde ölçü alım dizilimi bir alıcı ve bir verici birimden meydana gelmektedir. Diğer jeofizik yöntemlerde olduğu gibi TEM yönteminde de araştırma amacına ve araştırma alanının jeolojisine göre farklı ölçü dizilimleri kullanılmaktır.



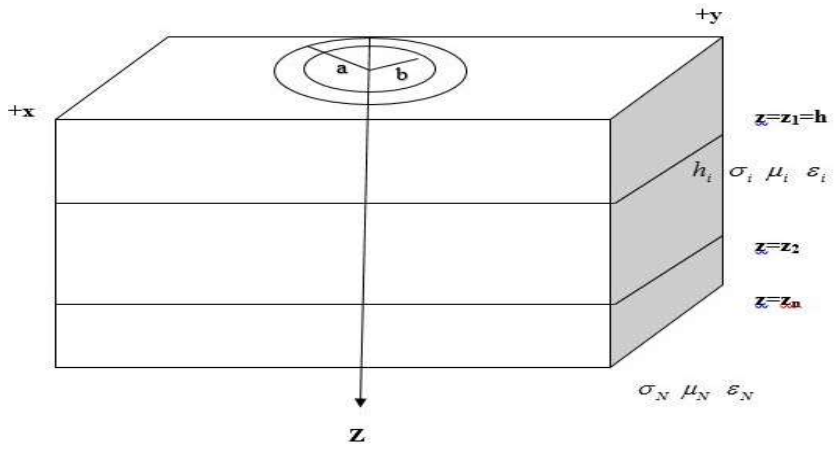
Şekil 1.4.Geçici elektromanyetik yöntemde kullanılan ölçü dizilimleri; a) ayrık halka, b) merkezi halka, c) iç içe iki halka, d) tek halka.

Uygulamada genel olarak kullanılan dizilimler şunlardır;

- Tek halka; akım verilirken verici olarak kullanılan halka akımın kesilmesinden sonra alıcı olarak kullanılır.
- Çift halka; alıcı ve verici olarak kullanılan halkalar ayrı ayrı iki halkadır.
- Merkezi halka; verici olarak kullanılan büyük bir halka içerisine yerleştirilen halka alıcı görevini görür. Bu ölçüm düzeneği kullanarak iletkenin yeri iyi şekilde bulunmakta, düşey ve yatay yönde yüksek çözünürlüklü veriler toplanmaktadır.
- Ayrık halkalar; iki farklı halka alıcı ve verici ünite olarak kullanılır.

1.3. Geçici Elektromanyetik Kuram

Basit bir tabakalı ortamda, başka bir kaynağın ve yanal süreksizliklerin olmadığını varsayarak koordinat sisteminin merkezine (z=0), a yarıçapında h yüksekliğinde bir halka yerleştirelim (Şekil 1.5).



Şekil 1.5.Basit tabakalı ortam.

Şekil 1.5'deki modelde yarıçap değeri a olan verici bir halka (Tx) tarafından yarıçapı b olan yüzeyde bulunan alıcı bir halka (Rx) üzerinde meydana gelen elektrik alan;

$$E(\omega)=\frac{1}{2}i\omega\mu aI\int_0^{\infty}\left\{A_0(P,\omega,\lambda)e^{s_0\left(z+z^1\right)}+B_0(P,\omega,\lambda)e^{-s_0\left(z-z^1\right)}\right\}J_1(\lambda a)J_1(\lambda r)d\lambda \quad (1.39)$$

bağıntısı ile tanımlanmaktadır (Knight ve Raiche, 1982).

Alıcının j'inci katmanda bulunduğu durumlarda Denklem (1.39);

$$E(\omega)=\frac{1}{2}i\omega\mu aI\int_0^{\infty}\left\{A_j(P,\omega,\lambda)e^{s_j(z)}+B_j(P,\omega,\lambda)e^{-s_j(z)}\right\}J_1(\lambda a)J_1(\lambda r)d\lambda \quad (1.40)$$

şeklinde verilmektedir.

(1.40) Denkleminde daha önceki denklemlerde açıklanan değişkenlerin yanı sıra $S_0=\lambda, s_j=\left(\lambda^2-i\omega\mu\sigma_j\right)^{1/2}$, P; katman özdirençlerini ve kalınlıklarını içeren dizey, $A_0(P,\omega,\lambda)$ ve $B_0(P,\omega,\lambda)$ katmanlı ortama ait çekirdek bağıntıları olup, sınır koşulları ile çözülecektir. Ayrıca σ_j, J'inci katman iletkenlik I; vericideki akım değeridir. Alıcı halkada oluşan gerilim;

$$V=2\pi b.E(\omega) \quad (1.41)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Buradan empedans ifadesi ($Z=V/I$);

$$Z(p)=\pi\mu ab\int_0^{\infty}A_0(P,p,\lambda)J_1(\lambda a)J_1(\lambda b)d\lambda \quad (1.42)$$

bağıntısıyla tanımlanmaktadır. Zaman ortamında çözüme ulaşabilmek için Denklem (1.42)'ye Ters Laplace dönüşümü uygulanır. Empedans t>0 için;

$$Z(t)=\pi\mu ab\int_0^{\infty}L^{-1}\left\{A_0(P,p,\lambda)\right\}J_1(\lambda a)J_1(\lambda b)d\lambda \quad (1.43)$$

olarak verilmektedir (Knight ve Raiche, 1982). Denklem (1.43)'de p, Laplace değişkenidir. Denklem çözümü, Graver-Stehfest yöntemi (Knight ve Raiche, 1982)

veya doğrusal süzgeçler kullanılarak yapılan ters Hankel dönüşümü (Anderson, 1979) ile yapılabilmektedir. Katmanlı bir ortama ait A_0 çekirdek fonksiyonunun çözümü aşağıdaki sınır koşulları kullanılarak yinelemeli olarak yapılabilir.

a) Elektrik alanlar ve manyetik alanlar tabaka sınırlarında sürekli olmalıdırlar;

$$E_j = E_{j+1} \text{ ve } \frac{\partial E_j}{\partial z} = \frac{\partial E_{j+1}}{\partial z}$$

Denklem (1.40)'a uyguladığımız zaman,

$$A_j e^{s_j d_j} + B_j e^{-s_j d_j} = A_{j+1} e^{s_{j+1} d_j} + B_{j+1} e^{-s_{j+1} d_j} \quad \text{ve}$$

$$s_j \left(A_j e^{s_j d_j} - B_j e^{-s_j d_j} \right) = s_{j+1} \left(A_{j+1} e^{s_{j+1} d_j} - B_{j+1} e^{-s_{j+1} d_j} \right) \text{ şekline dönmektedir.}$$

b) Derinliğin $z=\infty$ durumunda elektrik alan ve manyetik alan değerleri sıfır olmaktadır.

Elektrik alan için, $E_j = e^{-2 s_j h_j}$ ve $F_j = \frac{E_j \left(R_j F_{j+1} \right)}{1 + R_j F_{j+1}}$ tanımları yapılarak A_0 değeri elde edilebilir. Bu denklemde h_j katman kalınlıklarını gösterirken R_j, j'inci katmandaki yansıma katsayısıdır ve $R_j = \frac{s_j - s_{j-1}}{s_j + s_{j+1}}$ bağıntısıyla verilebilir. Yüzeye yakınlaştıkça manyetik alan ve elektrik alan değerleri en yüksek değerlerini almaktadırlar. N katmanlı bir ortam için sınır koşulları uygulanılarak $F_{N+1} = 0$ ve $F_N = R_N F_N$ olarak verilebilir. A_0 yüzey değeri yineleme bağıntısı ile elde edilir.

$$A_0 = \frac{R_0 + F_1}{1 + R_0 F_1} \tag{1.44}$$

Denklem (1.43) değişken dönüşümlerinin yapılması ile yinelemeli şekilde hesaplanabilir. Dönüşüm değişkeni olarak kullanılan p değeri yerine dönüşüm değişkeni olarak q değişkeni kullanılmaktadır ve $q = \frac{\mu \sigma_1 p}{\lambda^2}$ olarak ifade edilmektedir.

Hesaplamaların hızlı bir şekilde yapılabilmesi amacıyla aşağıdaki tanımlamalar yapılırsa,

$$\zeta = \lambda a, \quad K_j = \frac{\sigma_j}{\sigma_1}, \quad H_j = \frac{h_j}{a}, \quad \tau = \frac{t}{\sigma_1 \mu a^2}$$

R_j ve E_j,

$$R_j = \frac{\gamma_j - \gamma_{j+1}}{\gamma_j + \gamma_{j+1}} \tag{1.45}$$

$$E_j = e^{-2xg_j} H_j \tag{1.46}$$

şeklinde yazılabilir. Zaman ortamı empedans ifadesi gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra,

$$Z(t) = \frac{\pi b}{\sigma_1 a^2} \int_0^{¥} G\left(\xi^2 \tau, \xi H_j, K_j\right) J_1(\xi) J_1(\xi b/a) \xi^2 d\xi \tag{1.47}$$

şeklinde tekrardan yazılabilir. Denklem (1.47)'de G, A_0'ın q'ya göre ters Laplace dönüşümünü ifade etmektedir. Alıcı ile verici olarak kullanılan halkaların iç içe iki halka diziliminde aynı büyüklükte olmasından dolayı Denklem (1.47),

$$Z(t) = \frac{\pi b}{\sigma_1 a} \int_0^{\infty} G\left(\xi^2 \tau, \xi H_j, K_j\right) \left[J_1(\xi)\right]^2 \xi^2 d\xi \tag{1.48}$$

denklemi şeklinde gösterilebilir. Merkezi halka dizilimi için $J_1(\xi b/a) \sim \frac{1}{2} \xi b/a$ yaklaşımı kullanılarak,

$$Z(t) = \frac{A_R}{2\sigma_1 a^3} \int_0^{\infty} G\left(\xi^2 \tau, \xi H_j, K_j\right) J_1(\xi) \xi^3 d\xi \tag{1.49}$$

empedans denklemi elde edilmektedir.

Denklem (1.49)'daki A_R değeri alıcı olarak kullanılan halkanın etkin alanını ifade etmektedir.

1.4. Yokuş Zamanının Etkisi

Bu bölüme kadar kaynak olarak kullanılmakta olan akımın basamak fonksiyon olması durumu ele alınmıştır. Teorik olarak yapılan çalışmalarda akımın basamak fonksiyonu şeklinde kesildiği kabul edilirken uygulamalarda yokuş zamanı etkisi de hesaplamalara eklenmektedir. Denklem (1.43) ile verilen empedans denklemi genelleştirilirse;

$$Z(t) = -\pi\mu ab \int_0^\infty L_p^{-1}\left\{I(p)\,pA_0(P,p,\lambda)\right\} J_1(\lambda a)\,J_1(\lambda b)\,d\lambda \tag{1.50}$$

gibi yazılabilir (Raiche, 1984). Denklem (1.50)'de I(p) ifadesi normalize edilerek Laplace dönüşümü yapılmış kaynak fonksiyonunu ifade etmektedir. Özel durumlarda yerin basamak fonksiyonuna gösterdiği tepkiyi gözlemlerken, $I(p)= -p^{-1}$ olur.

Ölçüm düzeneğinin ikisi içinde $Q(\xi,K)$ gibi bir geometrik faktör tanımıyla Denklem (1.50) daha genel bir şekilde;

a) Tek halka ölçü düzeneği,

$$Q(\xi,K) = J_1^2(\xi) \tag{1.51}$$

Alıcı olarak düşey dipol kullanılırsa,

$$Q(\xi,K) = \frac{A_R}{2A_T}\,\xi\,J_1(\xi)\,J_0(K,\xi) \tag{1.52}$$

gibi tanımlanabilmektedir. Denklem (1.52)'de A_T verici halkanın etkin alanını, A_R alıcı halkanın etkin alanı ifade etmektedir. r alıcı ile verici merkezleri arasındaki uzaklık olmak üzere K=r/a şeklindedir. Merkezi halka düzeneği kullanılırken r=0 olduğundan $J_0(K,\xi) = 0$ değerini almaktadır. Bu durumda Denklem (1.52);

$$Q(\xi,K) = \frac{A_R}{2A_T}\,\xi\,J_1(\xi) \tag{1.53}$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Bu durumda Denklem (1.50) ile verilen empedans değeri;

$$Z(t) = -\pi\mu ab\int_0^{\infty} L_p^{-1}\left[I(p)pA_0\right]Q(\xi,K)\,d\xi \tag{1.54}$$

şeklinde yazılabilmektedir. Uygulanan akım yokuş fonksiyonu şeklinde kesilmesi durumunda;

$$I(t) = \begin{cases} 1 & t < t_1 \\ \dfrac{t_2 - t_1}{t_2 + t_1} & t_1 < t < t_2 \\ 0 & t < t_2 \end{cases} \tag{1.55}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklem (1.55)'in Laplace dönüşümü;

$$L_p\left[I(t)\right] = \frac{1}{p}\left[1 - \frac{e^{-pt_1}}{\delta p} + \frac{e^{-pt_2}}{\delta p}\right] \tag{1.56}$$

şeklindedir. Denklem (1.56)'da, $\delta = t_2 - t_1$ değerinde olup, Denklem (1.54);

$$Z(t) = -\pi\mu ab\int_0^{\infty}\left[G_0(t) + G_1(t) + G_2(t)\right]Q(K,\xi)\,d\xi \tag{1.57}$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (1.57)'de, $G_0 = L_p^{-1}(A_0)$, $G_1 = L_p^{-1}\left[p^{-1}A_0e^{-pt_1}\right]$, $G_2 = L_p^{-1}\left[p^{-1}A_0e^{-pt_2}\right]$ olarak tanımlanmaktadır. $t > t_1$ durumunda G_0 ihmal edilebildiğinden Denklem (1.57) üst taraftaki eşitlikler kullanılarak,

$$Z(t) = \pi\mu a\int_0^{\infty} L_p^{-1}\left[A_0\left(\frac{1 - e^{-\delta p}}{\delta p}\right)\right]Q(K,\xi)\,d\xi \tag{1.58}$$

şeklinde yeniden yazılabilmektedir. Denklem (1.58)'de bulunan ters Laplace dönüşümü Gaver-Stehfest tekniği yardımı ile hesaplanır. Fakat sayısal hesaplama sırasında meydana gelen zorlukların ortadan kaldırılması için Denklem (1.59)'da verilen ifade Denklem (1.58)'de ilgili yere konulduğunda Denklem (1.60) elde edilir.

$$F(t,\xi) = -L_p^{-1}\left|\frac{A_0}{p}\right| \tag{1.59}$$

$$Z(t) = \frac{\pi\mu a}{\delta}\int_0^{\infty}\left[F(t-\delta,\xi) - F(t,\xi)\right]Q(K,\xi)d\xi \tag{1.60}$$

(p,t) ile $\left(q,\xi^2\tau\right)$ dönüşüm çiftleri yer değiştirilerek, q'ya göre Ters Laplace dönüşümü alınmaktadır;

$L_q^{-1}\left[f(p)\right]=\frac{\xi^2}{\sigma\mu a^2}F\left(\xi^2\tau\right)$ ve $F\left(\xi^2\tau\right)=-L_q^{-1}\left|\frac{A_0(p)}{p}\right|=-L_q^{-1}\left|\frac{A_0(q)}{q}\right|$. Burada, q'ya göre ters Laplace operatörü L_q^{-1} ile gösterilmektedir. $\alpha=\delta/t$ tanımı kullanılarak, $\tau'=(t-\delta)/\sigma\mu a^2=(1-\alpha)\tau$ ve $G\left(\xi^2\tau,\alpha,P\right)=F\left(\xi^2\tau'\right)-F\left(\xi^2\tau\right)$ eşitlikleri elde edilmektedir. İç içe iki halka ölçü düzeneği ve merkezi halka ölçü düzeneği için alıcı halkalarda meydana gelecek empedanslar sırasıyla;

$$Z(t)=\frac{\pi\mu a}{\delta}\int_0^\infty G\left(\xi^2\tau,\alpha,P\right)J_1^2(\xi)\,d\xi \tag{1.61}$$

$$Z(t)=\frac{\pi\mu a}{2\delta}\frac{A_R}{A_T}\int_0^\infty G\left(\xi^2\tau,\alpha,P\right)J_1(\xi)\xi\,d\xi \tag{1.62}$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

1.5. Görünür Özdirenç

TEM yönteminde arazide elde edilen gerilim değerlerinin zamanın fonksiyonu şeklinde çizdirilmesiyle yerelektrik yapısıyla ilgili bilgiler elde edilmektedir. Fakat uygulamada elde edilen gerilim eğrileri yerelektrik yapısına ait bilgiler tanımlamasına rağmen doğru şekilde yorumlama yapabilmek için yeterli değildir. Bundan dolayı toplanan gerilim değerlerinin görünür özdirenç değerlerine dönüştürülmesi daha doğru değerlendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Zaman ve gerilime bağlı görünür özdirenç değerlerinin $t\to 0$ ve $t\to\infty$'a olacak şekilde iki değişik çözümü vardır (Kaufman ve Keller, 1983). Söz konusu farklı iki özdirenç değerleri, erken zaman (early-time apparent resistivity) ve geç zaman görünür özdirenç (late-time apparent resistivity) olarak adlandırılırlar ve asimptotik erken zaman ve asimptotik geç zaman bağıntılarıyla,

$$\frac{\partial b}{\partial t}\approx V^{\text{erken zaman}}=\frac{3mI\rho}{a^3} \tag{1.63}$$

$$\frac{\partial b}{\partial t}\approx V^{\text{geç zaman}}=\frac{I\rho^{-3/2}\mu_0^{5/2}ma^2}{20\sqrt{\pi}t^{5/2}} \tag{1.64}$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

Denklem (1.63) ve (1.64)'den görünür özdirenç ifadesi çekilirse,

$$\rho_a^{\text{erken zaman}} = \frac{a^3 V}{3mI} \tag{1.65}$$

$$\rho_a^{\text{geç zaman}} = \frac{I^{2/3} a^{4/3} m^{2/3} \mu_0^{5/3}}{20^{2/3} \pi^{1/3} t^{5/3} V^{2/3}} \tag{1.66}$$

asimptotik özdirenç denklemleri elde edilmiş olur (Kaufman ve Keller, 1983). Bu denklemlerde m alıcı halkanın etkin alanını ifade etmektedir. Bununla beraber tüm zamanlar için bir tek görünür özdirenç eğrisi (all-time resistivity cure) hesaplanabilmesi için doğrudan manyetik alan değerlerinin kullanılmasıyla sayısal bir yaklaşım geliştirilmiştir. Söz konusu işlem ölçülen gerilim değerlerinin entegrasyonu ile elde edilmekte ve bir doğrultu boyunca elde edilen bütün zaman eğrileri ortama ait ilk kalitatif değerlendirme için kullanılabilmektedir.

Üstte gösterilen özdirenç formülleri cihazları üreten firmaların kullandığı bazı referanslar ile farklı biçimde tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada geç zaman görünür özdirenç ifadesi;

$$\rho_a^{\text{geç zaman}} = \left(\frac{I A_T A_R}{V} \right)^{2/3} \left(\frac{1}{t} \right)^{5/3} * 6.3219 \text{x} 10^{-3} \tag{1.67}$$

bağıntısı kullanılmıştır. Burada I (amper) uygulanan akım, μ (volt) ölçülen voltaj,

A_T (m^2) verici etki alanı ve A_R (m^2) alıcı etki alanını göstermektedir. Denklem (1.67)'den hesaplanan görünür özdirençlerin birimi ohm.m dir

1.6. Araştırma Derinliği

Araştırma derinliği ile ilgili olarak TEM yönteminde de jeofizikte kullanılan diğer yöntemlerdeki gibi kesin bir şey söylemek kolay değildir. TEM yönteminde araştırma derinliği, verici olarak kullanılan halkaya uygulanmakta olan akıma ve ölçü alınan ortamın özdirenç yapısına bağlı olmasına rağmen ölçü alımında kullanılan aletlerdeki kısıtlamalar sebebiyle vericiye uygulanabilen akım belirli bir değerin üstüne çıkamamaktadır. Bu sebeplerden dolayı, yeterince uzun süre ve gürültüsüz veri

toplanabildiğinde araştırma derinliğinin, verici olarak kullanılan halkanın bir kenarının uzunluğunun 1/10'u ile 3 katı arasında değiştiğini söyleyebiliriz (Ranieri, 2000).

TEM yöntemi verilerinin hızlı bir şekilde yorumlanabilmesi amacıyla aşağıdaki derinlik bağıntıları kullanılabilmektedir (Meju, 1995).

$$\delta_T = \left(\frac{2t\rho}{\mu_0} \right)^{1/2} \tag{1.68}$$

$$\delta_{eff}^{TEM} = \frac{\delta_T}{2.3} \tag{1.69}$$

Yukarıdaki denklemlerde δ_T özdirenç ve gecikme zamanına bağlı nüfuz derinliğini ifade etmekte olup ancak uygulama sırasında söz konusu bu derinliğe ulaşmak oldukça zordur. Bu sebepten dolayı δ_{eff} ifadesi etkin derinliği ifade etmekte ve bu şekilde daha iyi bir yaklaşım ile hızlı bir yorum yapılmasını kolaylaştırmaktadır.

2. TERS ÇÖZÜM

Matematiksel bağıntılar yardımı ile ön kestirim yaparak belirlenen parametrelerden kuramsal verilerin hesaplanması ve model parametrelerinin değişik değerler için yinelenerek ölçülen veriye en yakın kuramsal verinin elde edilmesine düz çözüm ismi verilmektedir. Ters çözüm işlemi ile verilerden geometrik ve fiziksel parametreler elde edilmektedir. Ters çözüm parametre ve veri arasındaki ilişkiye göre doğrusal ve doğrusal olmayan olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir. Veri ve parametre arasındaki ilişki doğrusalsa ters çözümün bir kez uygulanmasıyla bir çözüm elde edilebilir ve çözüm tektir. Parametre ve veri arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması durumunda, model yanıtının birden fazla kez hesaplanması gerekmektedir. Her yinelemede elde edilen model parametreleri kendinden sonra yapılacak olan yineleme işleminde başlangıç değeri olarak kullanılır ve yinelemeler bittiğinde çözüm de elde edilmiş olur. Yineleme işlemenin durdurulmasında farklı yöntemler kullanılsa da başlangıçta yineleme sayısının belirlenmesi, ölçülen ve kuramsal veriler arasındaki hata oranının kabul edilebilir bir değer altına düşmesi ve yinelemeler arasındaki çakışmadaki değişimin belirli bir değerin altına düşmesi en fazla tercih edilen yöntemlerdendir.

Doğrusal olmayan ters çözüm işleminin sonucu tek olmayıp kullanılan veride bulunan gürültüye, başlangıç modeline ve kullanılmakta olan matematiksel denklemlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bundan dolayı gürültü oranı az bir veri grubu, doğru bir başlangıç modeli, veri ve parametre arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde ifade eden matematiksel bağıntı, doğru sonuç elde edilmesinde önemlidir. Fakat ters çözümün duraylılığı farklı başlangıç modelleri, gürültü oranı farklı veri grupları kullanılarak denenmeli, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalıdır.

TEM yöntemi için genel olarak kullanılan bir boyutlu ters çözüm algoritmalarının yanında iki boyutlu ve üç boyutlu modelleme çalışmaları da yapılmaktadır (Sugeng, 1998; Auken ve diğ., 2008).Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte hem düz çözüm hem de ters çözüm algoritmaları üç boyutlu olarak düzenlenmeye başlamıştır. Ancak

bir boyutlu yapılan modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin iki boyutlu ve üç boyutlu modelleme çalışmalarında başlangıç modeli olarak kullanılıyor olması bir boyutlu modellemenin hala daha önemli olduğunu göstermektedir.

2.1. En Küçük Kareler Yöntemi

Hata oranını sıfır veren ve tek bir çözümü olan problemlere doğrusal problem denir (Menke, 1984). Gözlemsel veri grubuyla bilinmeyen model parametreleri arasındaki doğrusal ilişki,

$$y_i = A_{ij} x_j \tag{2.1}$$

şeklinde verilebilir. Denklem (2.1)'de, A_{ij} model parametreleri ile veri arasındaki matematiksel ifadeyi, x_j (j=1,…..,m) model parametrelerini, y_i (i=1,…..,n) gözlemsel verileri ifade etmektedir. Denklem (2.1)'in tersi alınarak,

$$x_j = A^{-1}{}_{ij} y_i \tag{2.2}$$

şeklinde doğrudan model parametreleri elde edilebilir. Fakat jeofizik yöntemlerdeki birçok problemde de olduğu gibi geçici elektromanyetik yöntemde de parametre ve veri grubu arasındaki ilişki doğrusal olmadığından dolayı belirlenen başlangıç değeri civarında, birinci dereceden Taylor serisine açılarak doğrusal olmayan ifade doğrusallaştırılabilir. Herhangi bir f fonksiyonunun x_j^0 civarında Taylor açılımı,

$$f\left(x_j\right) \cong f\left(x_j^0\right) + \frac{\partial f\left(x_j^0\right)}{\partial x_j}\left(x_j - x_j^0\right) + R\left(x_j - x_j^0\right) \tag{2.3}$$

şeklinde verilebilir. Denklem (2.3)'de $R\left(x_j - x_j^0\right)$ yüksek dereceli türevleri ifade etmektedir. Yüksek dereceli türevin ihmal edilmesi durumunda,

$$f\left(x_j\right) - f\left(x_j^0\right) = \left[\frac{\partial f\left(x_j^0\right)}{\partial x_j}\right]\left[x_j - x_j^0\right] \tag{2.4}$$

şeklinde ifade elde edilmektedir ve bu ifade de Denklem (2.1)'e benzemektedir.

Doğrusal hale dönüştürülen Denklem (2.4) daha genel bir biçimde yazılırsa,

$$y_i^{göz.} - y_i^{kur.} = \sum_{j=1}^{m} \frac{\partial f_i\left(x_j^0\right)}{\partial x_j}\left(x_j - x_j^0\right) \qquad i = 1,.....,n \tag{2.5}$$

elde edilir. Denklem (2.5) en genel ifade ile (i=1,…….n, j=1……..m için),

$$\Delta y_i = A_{ij}\Delta x_j \tag{2.6}$$

şeklinde yazılır. Denklem (2.6)'da A(nxm); model parametrelerine göre kısmi türevlerden meydana gelmekte ve kısmi türevler dizini adını almaktadır. Δy(nx1); gözlemsel veriler ve kuramsal veriler arasındaki farkı, Δx(mx1); model parametrelerine uygulanan düzeltmeleri içeren serilerdir.

Elektromanyetik yöntemlerde model parametreleri büyüklük olarak çok geniş aralıkta değişmesine karşın gözlemsel veri üzerindeki etkileri doğrusal değildir. Bu sebepten dolayı parametrelerin ve veri grubunun logaritmalarının alınarak işlemlerin yapılması doğrusal olmayan problemleri doğrusallaştırmaktadır. Bu işlemler aynı zamanda fiziksel olarak mümkün olmayan negatif büyüklüklerin (Sismik hız, yoğunluk, özdirenç, tabaka kalınlığı vb.) hesaplanmasının önüne geçmektedir.

Veri sayısı ile model parametreleri sayısının aynı olması durumunda (n=m) denklem düzenekleri tam tanımlı (exact determined) olarak adlandırılmaktadır.

$$\Delta x = \Delta y A^{-1} \tag{2.7}$$

Denklem (2.7)de A^{-1}, (nxm) Jacobian matrisinin tersini ifade etmektedir. Veri sayısının model parametreleri sayısından fazla olması durumunda, (n >m) denklem düzenekleri fazla tanımlı (overdetermined) olarak adlandırılır ve kısmi türevler dizeyinin karesi doğrudan alınamaz. Veri sayısının model parametreleri sayısından az olması durumunda (n<m) ise eksik tanımlı (underdetermined) denklem sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Jeofizik mühendisliği problemlerinde genellikle gözlem sayısı parametre sayısında fazla olmaktadır. Belirtilen problem fazla ya da eksik tanımlı ise Jacobian matrisinin tersinin alınabilmesi amacıyla yalancı ters matris (pseudo inverse) kullanılmaktadır.

$$H = \left(A^T A\right)^{-1} A^T \tag{2.8}$$

Denklem (2.8)'de H ifadesi Denklem (2.7)'de A^{-1} ifadesi yerine konularak ters çözüm işlemi gerçekleştirilir.

2.1.1. Tekil değer ayrışımı yöntemiyle en küçük kareler çözümü

A dizeyinin tersi alınabilmesi için en küçük kareler yönteminde determinantın sıfırdan farklı olması gerekmektedir. Kısmı türevler dizeyinin determinantının sıfıra yakın veya sıfır olması durumunda Tekil Değer Ayrışımı yöntemi, dikdörtgen bir dizey olan Jacobian dizeyini, üç dizeyin çarpımı olarak ifade eder ve bunlar üzerinde gerçekleştirilen işlemler ile A dizeyinin tersinin alınması gerçekleşmiş olur. Tekil değer ayrışımı yönteminin diğer bir avantajı da model parametrelerinin çözünürlülüğü ve veri ayrımlılığı için direkt bilgi vermesidir. Aşırı tanımlı (over determined) bir denklem düzeneği bulunması durumunda A dizeyinin tersi,

$$B = V\Lambda^{-1}U^T \tag{2.9}$$

şeklinde hesaplanır (Jackson,1972). Denklem (2.9)'da U(nxm) dizeyi veri özyöneylerini ve V(mxm) dizeyi ise parametre özyöneylerini içermektedir. Λ (m xm) dizeyinin köşegeni parametre özdeğerlerini (λ_j) içeren dizeydir. V dizeyi ise hangi parametrenin hangi özdeğer ile ilişkili olduğunu gösterir, U dizeyi verilerin birbiri ile olan bağımlılığını ve çözüme olan katkısını ifade etmektedir.

2.1.2. Sönümlü en küçük kareler yöntemi

Ters çözümde kullanılan veri grubunun, model parametrelerinin hepsini aynı kararlılıkla çözebilmesi için yeterli miktarda bilgiyi içermediği durumlarda, öz değeri küçük olan model parametrelerinin gösterdiği büyük salınımlardan ötürü sistem kararsız bir davranış gösterir ve çözümden uzaklaşır. Lanczos ters çözüm tekniğinde sistemi kararsız hale getiren sıfır veya en küçük özdeğerler düzenekten çıkarılarak işlemin kararlı hale gelmesi sağlanır. Her yineleme işleminde kuramsal ile gözlemsel veri arasında çakışma oranı izlenerek sistemden çıkarılan özdeğerler tekrar sisteme eklenerek optimum bir sonuç elde edilmeye çalışılır. Küçük özdeğerlerden dolayı oluşan duyarsızlık sorununun ortadan kaldırılması için en çok tercih edilen yollardan

bir diğeri de Marquardt-Levenberg algoritmasıdır ve denklem düzeneğinin özdeğerlerine β gibi küçük bir değer eklenerek denklem düzeneğinin kararlı hale gelmesi sağlanmaktadır (Lines ve Treitel,1984).

$$\Delta x = \nu\left(\Lambda + \beta^2 I\right)^{-1} U^T \Delta_y \tag{2.10}$$

Sisteme dâhil edilen sayının büyük özdeğerler üzerinde çözüme etki edecek bir ağırlığının bulunmaması ve küçük özdeğerlerden dolayı oluşan salınımları sönümleyecek bir değer olması istenir. Sönüm sayısı büyük seçilir ise düzenek küçük adımlar ile fazla yineleme yaparak çözüme ulaşmaktadır (en dik iniş yöntemi). Çok küçük bir sönüm sayısı seçilir ise (Gauss-Newton yöntemi) çözüm çok hızlı olmasına rağmen özdeğerlerin çok küçük olası durumunda düzenek çözümden uzaklaşabilmektedir (Başokur,2001). Bu sebepten dolayı en iyi çözüme ulaşabilmek için başlangıç olarak makul sönüm sayısı alınması gerekmektedir. Doğru β sayısı, kuramsal veriyle ölçülen veri arasındaki çakışma ölçütünü arttırmayacak kadar büyük, model parametreleri üzerinde maksimum değişimi yapabilecek kadar küçük olmalıdır. Kısaca en büyük adımlar ile çözüme yaklaşmak için gerekli olan β değeri en ideal değerdir.

2.1.3. Ağırlıklı sönümlü en küçük kareler çözümü

Gözlemsel veriler daima bir hata içerirler. İçerdikleri hata miktarının tersi ile orantılı olarak çözüme katkı sağlamaları beklenmektedir. Bununla beraber model parametreleri için de bir değişim aralığı bulunabilir. Söz konusu bu durumda Denklem (2.6) ,

$$\begin{bmatrix} \dfrac{y_1^{gözlemsel} - y_1^{kuramsal}}{\sigma_1} \\ \vdots \\ \dfrac{y_n^{gözlemsel} - y_n^{kuramsal}}{\sigma_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\tau_1}{\sigma_1}\dfrac{\partial f_1}{\partial x_1} & \cdots & \dfrac{\tau_m}{\sigma_1}\dfrac{\partial f_1}{\partial x_m} \\ \vdots & & \vdots \\ \dfrac{\tau_1}{\sigma_n}\dfrac{\partial f_n}{\partial x_1} & \cdots & \dfrac{\tau_m}{\sigma_n}\dfrac{\partial f_n}{\partial x_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dfrac{x_1 - x_1^0}{\tau_1} \\ \vdots \\ \dfrac{x_m - x_m^0}{\tau_m} \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

şeklinde yazılmaktadır.

Denklem (2.11)'de σ verilerin ve τ model parametrelerinin hata oranlarını ifade etmektedir. İstenilen bir model parametresinin hata oranı düşük girilerek dar bir aralıkta salınım yapmasına izin verilebilir. Aynı şekilde bunun tersi uygulanarak istenilen bir model parametresinin geniş bir aralıkta değişmesi sağlanabilmektedir.

3. TERMAL İLÇESİ VE CİVARINDAKİ GEÇİCİ ELEKTROMANYETİK YÖNTEM UYGULAMASI

Jeotermal enerji çevre dostu, ucuz ve yenilenebilir bir yer altı kaynağıdır. Ülkemizin coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle tektonik bir yapı üzerinde bulunduğundan jeotermal açıdan oldukça zengin durumdadır. Ülkemiz sınırları içerisinde farklı noktalarda 1000 civarında, doğal olarak çıkan ve farklı sıcaklık değerlerinde jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Potansiyeli yüksek olan bölgelerin %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesinde,%5'i Doğu Anadolu'da ve geri kalan %1'i diğer bölgelerde bulunmaktadır. Bu kaynakların %90'ı düşük ve orta sıcaklık değerinde olup doğrudan uygulamalar olan termal turizm, ısıtma, çeşitli endüstriyel uygulamaları gibi faaliyetler için uygun olup geriye kalan %10luk kısım dolaylı uygulamalar olan elektrik enerjisi gibi uygulamalar için elverişlidir (www.mta.gov.tr).



Şekil 3.1. Yalova Termal yer bulduru haritası.

Yaptığımız bu çalışmada çalışma alanı olarak seçilen Termal İlçesi, Ülkemizin kuzey batısında bulunan Marmara Bölgesinin güneyinde yer alan Yalova İli sınırları içerisinde kalmaktadır (Şekil 3.1). Yalova il merkezine 12 km uzaklıkta bulunan ilçe hem yüzölçümü hem de nüfus olarak Yalova ilinin en küçük ilçesidir. Termal ilçesi,

Üvezpınar ve Gökçedere mahalleleri ile Yenimahalle ve Akköy mücavir alanlarından meydana gelmektedir. 2019 TUİK verilerine göre ilçenin nüfusu 6903'tür. Termal ilçesine ulaşım son derece kolaydır. İşlek bir hat olan ve devamlı olarak gidiş dönüş olanağı bulunan Yalova-Termal karayolunun yanı sıra Termal-Çınarcık yolu da ulaşım kolaylığı sağlamaktadır. İlçenin batısında Çınarcık ilçesi, doğusunda Yalova il merkezi, Kuzeyinde Marmara Denizi ve güneyinde Bursa ili bulunmaktadır.

Termal ilçesi sahip olduğu termal kaynak nedeniyle uzun yıllardır sağlık ve turizm sektörlerinde hizmet vermektedir İlçede devlete ve özel sektöre ait birçok termal tesis bulunmaktadır. Bölgede jeotermal kaynağın kullanımından olduğu düşünülen birçok sismik aktivite meydana gelmektedir. Bu sismik aktivitelerin en yükseği ve en dikkat çekeni 2014 yılının Ağustos ayında olan deprem etkinliğidir. Söz konusu bu dönemde bölgede bulunan deprem istasyonlarınca büyüklüğü 1 ile 4 arasında değişen 6219 adet deprem kaydedilmiştir.

TUBİTAK tarafından desteklenen 117Y184 nolu 1001 projesi kapsamında deprem aktivitesini oluşturan etkenleri ortaya çıkarmak amacıyla bölgede Geçici Elektromanyetik, Yöntem, Manyetotellürik Yöntem ve Gravite ölçüleri alınmıştır. Toplanan tüm verilerden üst kabuğun özdirenç, sismik hız ve yoğunluk değerleri modellenerek kabuğun zayıf ve kırılgan olmasına ve deprem potansiyelinin artmasına neden olabilecek manto yükselimleri gibi derin jeotermal aktiviteler görüntülenecektir ve bu aktiviteler ile deprem fırtınaları arasındaki ilişkiler söz konusu parametrelerin yanal ve düşey dağılımına bağlı olarak değerlendirilecektir.

Bu çalışma kapsamında bölgede yapılan diğer yöntemler ile birlikte kullanılarak deprem aktivitesini oluşturan etkenleri ortaya çıkarmak için Yalova ili Termal ilçesi ve civarının sığ kesimlerinin özdirenç yapısının belirlenmesi amacıyla çalışma alanında 36 noktada geçici elektromanyetik yöntem ölçüsü alınmıştır. Toplanan verilere JOINTEM programı ile ters çözüm uygulanmış, MATLAB programında yazmış olduğumuz kod ile ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç ve derinlik değerlerinden 2 boyutlu ve 3 boyutlu özdirenç seviye haritaları elde edilmiştir. Elde edilen seviye haritaları bölgenin jeoloji ile ilişkilendirilerek bölgenin özdirenç yapısı elde edilmiştir. Son olarak bölgede yapılan mekanik sondaj sonuçları ile elde ettiğimiz sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.1. İklim

Termal ilçesinin iklimi karasal iklim ile Karadeniz iklimi özelliklerini taşımaktadır. Yazları sıcak ve az miktarda yağışlı, kışları soğuk geçmektedir. Yıllık sıcaklık ortalaması 15^0C'dir. Marmara Bölgesinin en fazla yağış alan illeri arasında Yalova ili de yer almaktadır. Yağışlar genel olarak sonbahar ve ilkbahar aylarında olur. Yalova İlinde kar yağışı kış mevsiminde olmaktadır. Yıllık kar ile örtülü gün sayısı 1-10'dur. Dolu olayı ve kırağı olayı genellikle İl genelinde görülmemektedir. Yıl içerisindeki toplam güneşlenme süresi 2200-2400 saattir. Kuraklık indisi verilerine göre Termal ilçesinde yarı nemli-nemli iklim tipi gözlemlenmektedir. Tüm mevsimlerde hâkim rüzgârın yönü kuzeydoğudur.

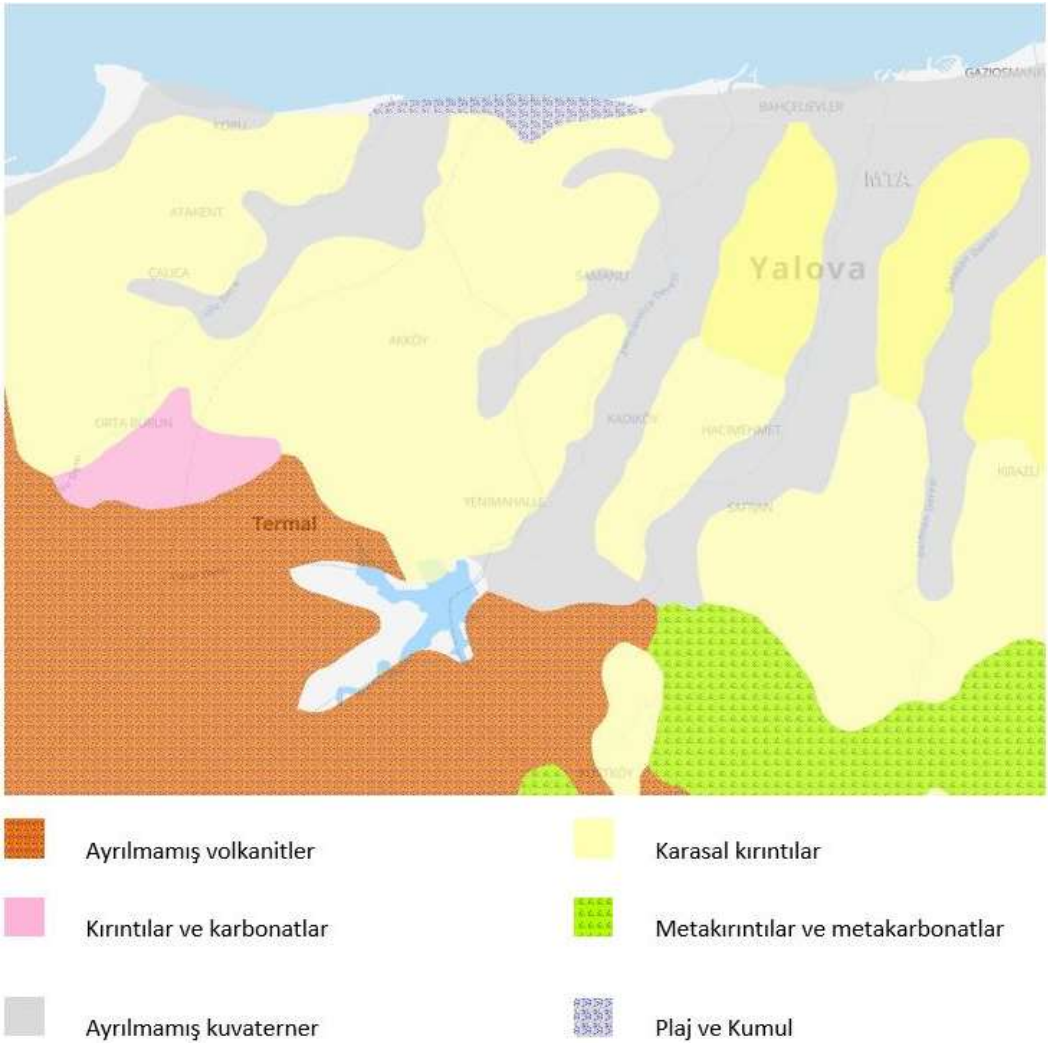
3.2. Jeomorfoloji

Çalışma alanı Armutlu Yarımadası'nı meydana getiren Doğu-Batı uzanımlı ve tektonik kökenli Samanlı Dağları silsilesinin kuzeybatı kısmında bulunmaktadır. Söz konusu Samandağı kuşağı Kuzey Anadolu Fay zonunun kuzey ve güney kısımları arasındaki yükselim alanına denk gelir. Samanlı Dağ kütlesi batı kısımda Çınarcık ilçesi, doğu kısmında Sakarya Nehri arasında, kuzey kısmından Marmara Denizi'nin çukurlukları ve İzmit Adapazarı koridoru tarafından sınırlanmıştır. İzmit'in doğu kısmında Kuvaterner yaşlı çökellerin düzlediği koridor tabanı ile dik yamaçlar ile tanınan yüksek kütle arasında keskin bir morfolojik uyumsuzluk gözlenir. Güney kısmında Samanlı Dağları ile Marmara Denizi yükselimi arasında eğimi az ve basık morfolojili düzlükler bulunmaktadır. Yalova ve Çınarcık arasında Marmara Denizi kıyılarına kadar olan düzlükler, güneydeki dağlık kütleyle Marmara Denizi arasında Doğu-Batı uzanımlı bir kuşak meydana getirir. Çınarcık civarlarında dik falezler bulunmaktadır. Yalova'nın doğusunda ise düzlükler ile deniz arasında kıyı ovaları bulunmaktadır. Termal ilçesi kıyı ovalarından meydana gelen düzlükler ile dağ eteği düzlükleri üzerine kurulmuştur.

3.3. Jeoloji

Bölgeyi temeli Paleozoyik yaşlı kuvarslı şist, grovak, fillit ve kalkşistlerle temsil edilen şistler meydana getirmektedir. Bu birimlerin üzerine Permo-Karbonifer oldukları düşünülen kristalize kireçtaşları oturur. Daha üst birimlerde çakıl taşı, marn,

kumtaşı ve kil ardalanmalı Eosen birim bulunur. İstif Neojen yaşlı çakıl taşı, linyitli marn ve gölsel kireç taşları ile devam etmektedir. En genç birim Kuvatern yaşlı alüvyonlardır.



Şekil 3.2. Termal ilçesi ve dolayının jeoloji haritası (http://yerbilimleri.mta.gov.tr).

Çalışma alanı Kuvaterner Çökeller ile Orta Eosen Yaşlı Sarısu Formasyonundan meydana gelmektedir. Yalova İli ve çevresinde bulunan bölgenin temelini örten sedimanter ve volkano-sedimanter birimler Alt Triyas yaşlı Taşköprü, Üst Kratese yaşlı Bakacak, Üst Paleosen- Orta Eosen yaşlı İncebel, Eosen yaşlı Sarısu formasyonlarıdır. Fıstıklı Granodioriti bölgeye Eosen döneminde yerleşmiştir. Daha üst bölgede ise Sarmasiyen yaşlı Kılıç formasyonu, Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Yalakdere formasyonu ve Pleyistosen yaşlı seki çökelleri ile güncel alüvyonlar yer almaktadır.

3.3.1. Pamukova metamorfitleri

Prekambriyen-Alt Paleozoik yaşlı Pomukova Metamorfitleri bölgenin temelini oluşturmaktadır. Söz konusu birimde gnaysik granit, amfibolit, amfibolşist vardır. Bunun yanı sıra metagrovak, metavolkanit, kuvarsit ve sleyt birimleride gözlemlenir. Taşköprü formasyonu temel birim üzerine düzensiz şekilde yerleşmiştir.

3.3.2. Taşköprü formasyonu

Taşköprü formasyonu bölgenin doğu kısmında bulunan Taşköprü civarında yüzeyler. Formasyon kumtaşı, çakıl taşı ve silt taşlarından meydana gelir. Bu birimler kırmızı, mor, grimsi renktedir. Hidrotermal olarak, kırık ve çatlaklarda pirit, kalko pirit gibi cevher mineralleri gelişmiştir. Bununla beraber bazı çatlaklar yer yer kuvars dolguludur. Formasyon içerisinde genellikle demir oksit ve hematit çimentolu kimi zaman klorit çimentolu grovak özellikli kumtaşı ile silttaşı sıklıkla gözlemlenen kaya türlerindendir. Söz konusu kayalar mika pullarıda içermektedir. Dereceli şekilde kumtaşına geçilir. Üst Paleosen Orta Eosen yaşlı İncebel formasyonu ve Maestrihtiyen yaşlı Bakacak formasyonunca uyumsuzlukla örtülür.

3.3.3. Bakacak formasyonu

Maestrihtiyen yaşlı formasyon kumtaşı, silt taşı ve çakıl taşlarından oluşur. Söz konusu birimler mor, grimsi ve kırmızı renktedir. Üst Paleosen Orta Eosen yaşlı İncebel formasyonu Bakacak formasyonun üzerinde bulunmaktadır.

3.3.4. İncebel formasyonu

Bölgenin batı bölümünde kısıtlı alanlarda yüzeyler. İncebel formasyonu, üzerlediği formasyonlar çakıllardan meydana gelir ve aşındırdığı birimlerin rengine göre değişik renklerdedir. Gri, Mor, kahverengi ya da sarı renkli olarak, taban çakıl taşından başlayarak, kumtaşı, çamur taşı, marn kil taşı, silt taşı ardalanması ile devam etmektedir.

Alt birimlerde 50-100 metre kalınlığında çakıl taşı ve kum taşının bulunduğu bölüm vardır. Kum taşları hem derin hem de sığ denizel fosiller içeren limanalı, derecenmeli ve tane desteklidir. Söz konusu birim bol kuvars taneli, metamorfik ve volkanik kaya parçalı türbitik çökellerdir. İncebel formasyonu aşağıdan yukarıya doğru köşeli kuvars taneli, kireç taşı ve çamur taşı ardalanmasından meydana gelen bir istif şeklinde devam

etmektedir. Bazı alanlarda açık renkli tüf ve daha az oranda andezitik aglomeralardan meydana gelen volkanik düzeyler gözlemlenir. Formasyonda bulunan mavi, yeşil, beyaz, mavimtırak beyaz, yeşilimtırak beyaz, renklerde gözlemlenen tüfler, incebel formasyonunun üyesidir. Söz konusu birim Vitrofirik kristal tüf olarak tanımlanır ve cam hamur içerisinde, ortaklas, plajiyoklas, kuvars, hornblend bulunmaktadır. Birim Üst Paleosen-Orta Eosen olarak kabul edilmektedir. Birimin kalınlığı yaklaşık olarak 1000 metre olarak kabul edilmektedir. Sarısu formasyonu İncebel formasyonunun üstünde geçişli olarak bulunmaktadır.

3.3.5. Sarısu formasyonu

Orta Eosen Yaşlı olan Sarısu Formasyonu çoğunlukla Çınarcık İlçesinin güneybatısında ve Termal İlçesi civarında görülmektedir. Eosen (Lütesiyen-İpresiyen) yaşlı olan birim koyu yeşil, kahverengi, sarı ince kaba taneli tüf, andezitik lav, aglomera ve orta tabakalı volkanik kumtaşı ile ara düzeyler şeklinde lav, tüf ve çakıl taşı litolojilerinden meydana gelmektedir. Çakıl taşları köşeli kuvars çakılarından meydana gelmekte ve tane destekli ve bağlayıcı malzeme oranı düşük bir yapıdadır. Çamur taşları, kalker konkresyonlu, kum ve çakıl boyu kuvars taneli, çamur taşı niteliğindedir. Kireç taşları, nümmülitli, kuvars taneli istif taşı türündedir. Plastik kayaçlar, kaba ya da ince taneli tüf ve lapilili tüf içerisinde çeşitli boyutta andezitik tüf veya kayaç parçalarından meydana gelir. Bazı tabakalarda ise iri andezitik bloklu, plaj çakıl taşı ve çakıllı niteliğinde malzeme bulunur. Proklastik kayaçlar ile ardalanan ortalama 5 metre lav akıntıları istif içerisinde yer alır. Lav akıntıları piroksen, pilajiyoklas ve hornblend fenokristalli andezitik volkanik kayaçlardan meydana gelir. Tüflerse camsı bir hamur içerisnde volkan camı, pilajiyoklas, fluidal dokulu volkanik kayaç parçaları ihtiva eder. Sulu plastik akıntılar sebebi ile oluşmuş simetrik ya da normal derecelenmeli lahar çökelleri proklastik çökel yüzeylerini kazıyarak çok düzensiz uyumsuzluk düzlemleri meydana getirir. Üst seviyelerde gözlemlenen bazalt daykları söz konusu bu istifi keser. Sarısu formasyonu Orta Eosen döneminde gelişen volkanik ada yayı ürünü olarak değerlendirilir. Metamorfik kayaçlarla birim uyumsuzluk göstermektedir.

3.3.6. Fıstıklı graniti

Bölgenin genellikle güneybatısında yüzeylenen formasyon Eosen (Lütesiyen-İpresiyen) yaşlıdır. Gri renkli bazen açık sarı renkli olan formasyon yer yer ayrışmıştır. Masif ve sert görünümü vardır.

3.3.7. Kılıç formasyonu

Miyosen Sarmasiyen Ponsiyen yaşlı bir formasyondur. Kil taşı, kumtaşı, silt taşı, çakıl taşı ve marn ardalanmalı bir birimdir. Bitki kırıntıları ve jips ile bol kavkılı olarak gözlemlenir.

3.3.8. Yalakdere formasyonu

Bölgenin kuzeyinde geniş alanlar kaplayan Yalakdere Formasyonu piyosen yaşlıdır. Yeşil, kırmızı, sarı, kirli sarı renkli olan formasyon, çapraz tabakalanmalı, gevşek tutturulmuştur, düşey geçişli ve orta boylanmalı olan kumtaşı, çakıl taşı, kil taşı, silt taşı ve çamur taşı birbirleri ile geçişlidir. Bu birimlerde farklı yerlerde kireç taşına rastlanır. Çakıl taşı içerisinde genellikle yuvarlaklaşmış olan çakıllar genellikle orta boylanmalıdır. Söz konusu birim genel olarak kıvrımlı ve kırıklıdır. Yalak dere formasyonu inceleme alanının büyük bir bölümünü kaplamaktadır ve miyosen yaşlıdır. Formasyon akarsu ve yelpaze deltası çökellerinden meydana gelmektedir.

3.3.9. Kireç taşı üyesi

Bölgenin batısında ve Çiftlikköy ve Çınarcık arasında bulunan bölgede yüzeylenir. Gri, bej, beyaz renkli kireçtaşlarından meydana gelen formasyon Yalakdere formasyonunun üzerinde bulunmaktadır. Birim yer yer yataya yakın tabakalanma gösterir ve masiftir. Kalınlığı değişken olup yer yer 100 metreye kadar erişen kireç taşları içerisinde gastropod ve lamelli kavkılar gözlenir.

3.3.10. Kuvaterner çökeller

Kuvaterner birimleri Altınova ile Yalova arasında kıyı ve kıyı ardındaki düzlükler arasında, temel kayadan meydana gelen yamaç eteklerinde, dağınık halde küçük yüzeyler halinde gözlemlenir ve kıyı, akarsu ve denizel ortamlarda çökelmiş çökel topluluklarından meydana gelir. Morfolojik olarak denizel çökellerden meydana gelen seki dolguları 3-5 metre ve 8-70 metre kotlarında basamaklar oluşturur. Bölgede farklı

yaşlarda iki seki çökel topluluğu olması sebebi ile bunlar alt ve üst seki çökelleri olarak tanımlanmıştırlar.

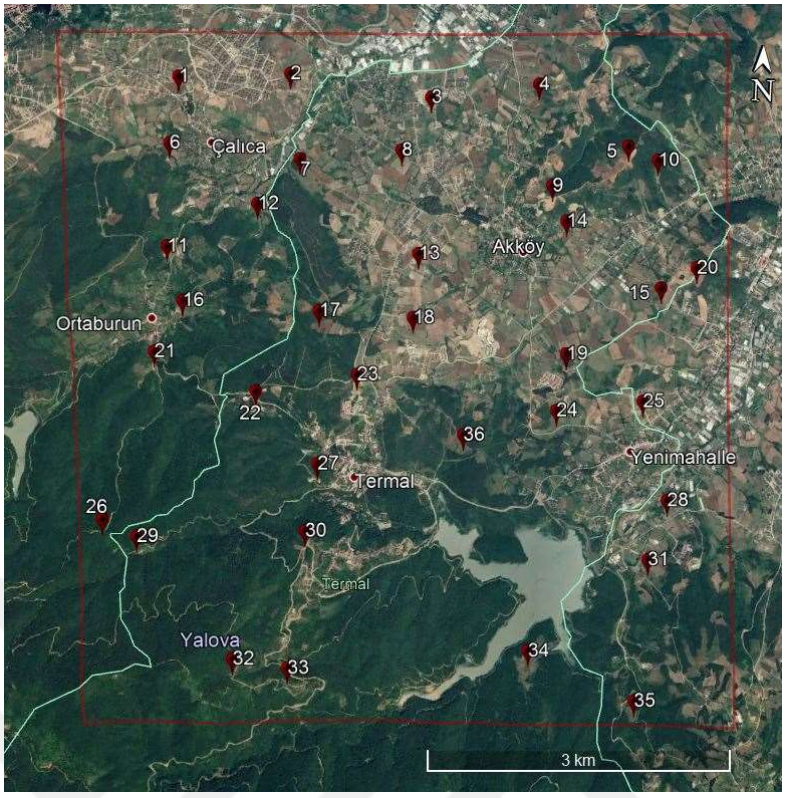
Sekiler dışında bulunan tutturulmamış çökellerden meydana gelen Holosen Birimleri kıyıda deniz, deniz-akarsu, karadaysa akarsu ortamında depolanmıştır. Düşey yönde birbirine geçişli olan bu birimler daha yaşlı kayalar üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Denizel kökenli olan bu birimler kıyı boyunca kıyı kordonu, plaj, bataklık ve kıyı düzlüğü çökellerinden meydana gelir.

3.4. Arazi Çalışmaları

Yapmış olduğumuz bu çalışmamızda araştırama alanımız olan Yalova İli Termal İlçesi ve civarının sığ kesimlerinin özdirenç yapısı tespit edilmiştir. Bu kapsamda çalışma alanında 36 noktada TEM verileri toplandı ve toplanan verilere JOINTEM programı kullanılarak ters çözüm uygulanmıştır. JOİNTEM programı sonucu elde edilen özdirenç ve derinlik değerleri kullanılarak MATLAB programında yazmış olduğumuz bir kod yardımı ile araştırma alanının 2 boyutlu ve 3 boyutlu özdirenç seviye haritaları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bölgede yapılan mekanik sondaj verileri karşılaştırılmıştır.

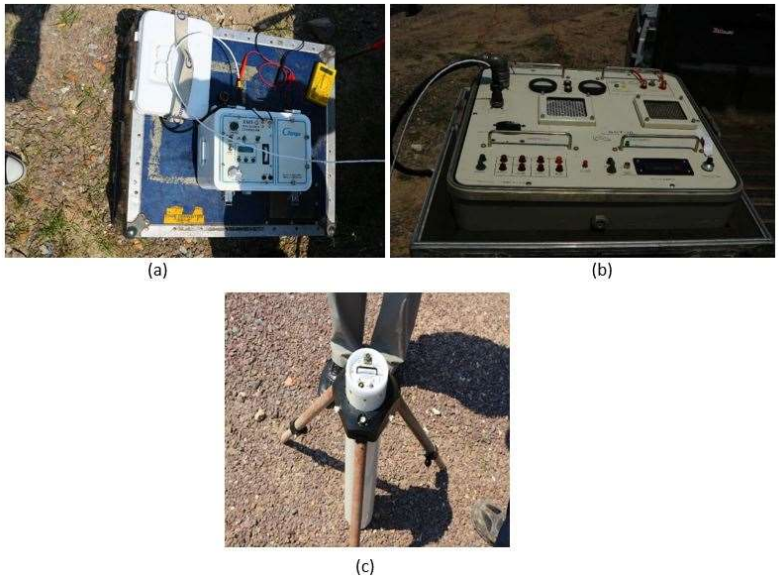
3.4.1. Veri işlem çalışmaları

Arazi çalışmalarına başlamadan önce araştırma alanında gözlemsel incelemeler ve literatür incelemeleri yapılmış ve araştırma alanında 40 noktada TEM ölçüsü alınması planlanmıştır. Ancak şekil 3.1'deki yer bulduru haritasında da görüldüğü gibi bölgenin topoğrafya ve bitki örtüsü özelliklerinden dolayı bazı ölçü noktalarına ulaşılmasında ve ölçü alımında sorunlar yaşanmıştır. Özellikle bölgenin güney batı kısmında bitki örtüsünün sık olması hem ölçü noktasına ulaşımda hem de ölçü alımında sorun yaşanmasına sebep olmuştur. Bu sebeplerden dolayı daha önceden planlanan 4 noktada ölçü alınamamış bu noktalar planlamadan çıkarılarak geriye kalan 36 noktadan TEM ölçüsü alınmıştır. Ölçümlere ait lokasyon bilgileri şekil 3.3'te verilmiştir. Ölçü noktalarına ulaşım genel olarak orman yollarından gerçekleştirilmiştir. Belirlenen ölçü noktasına ulaştıktan sonra alanın ölçü alımına uygun hale getirilmesi amacıyla işlemler yapılmış ve daha sonra ekipmanlar sahaya kurularak ölçü alım işlemleri gerçekleştirilmiştir.

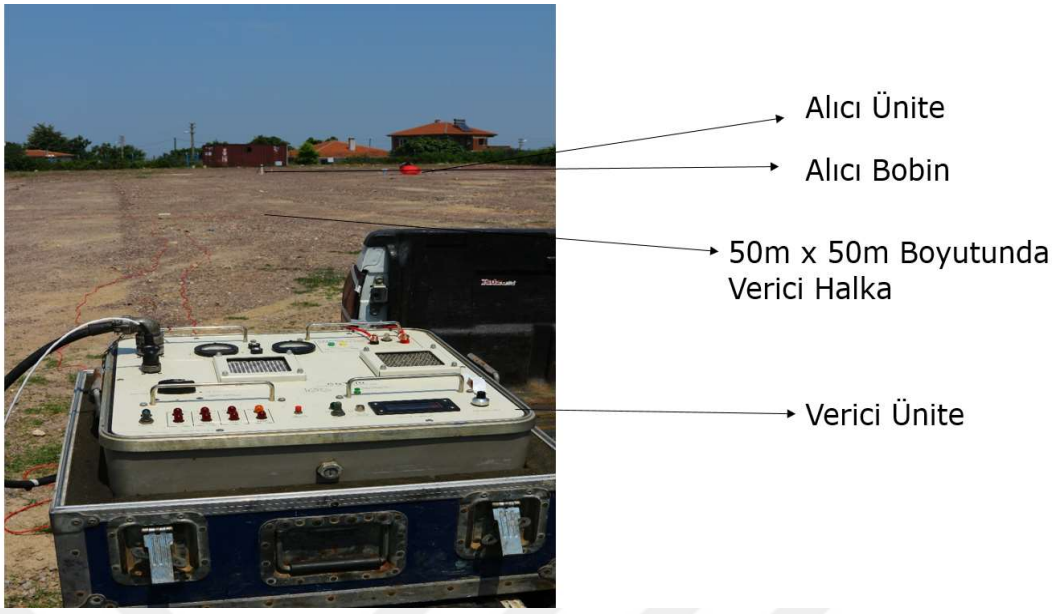


Şekil 3.3. Çalışma alanındaki TEM ölçülerinin lokasyonları.

Çalışmada TEM ekipmanı olarak Zonge firmasının GDP 3224 alıcısı ünitesi ve GGT-10 verici ünitesi kullanılmıştır (Şekil 3.4). Arazide ölçü alım dizilimi olarak merkezi halka dizilimi kullanılmıştır. Verici halka, 50m x 50m boyutlarında kare şeklindedir ve alıcı bobin verici halkanın orta noktasında bulunmakta olup 100 sarım içermektedir.

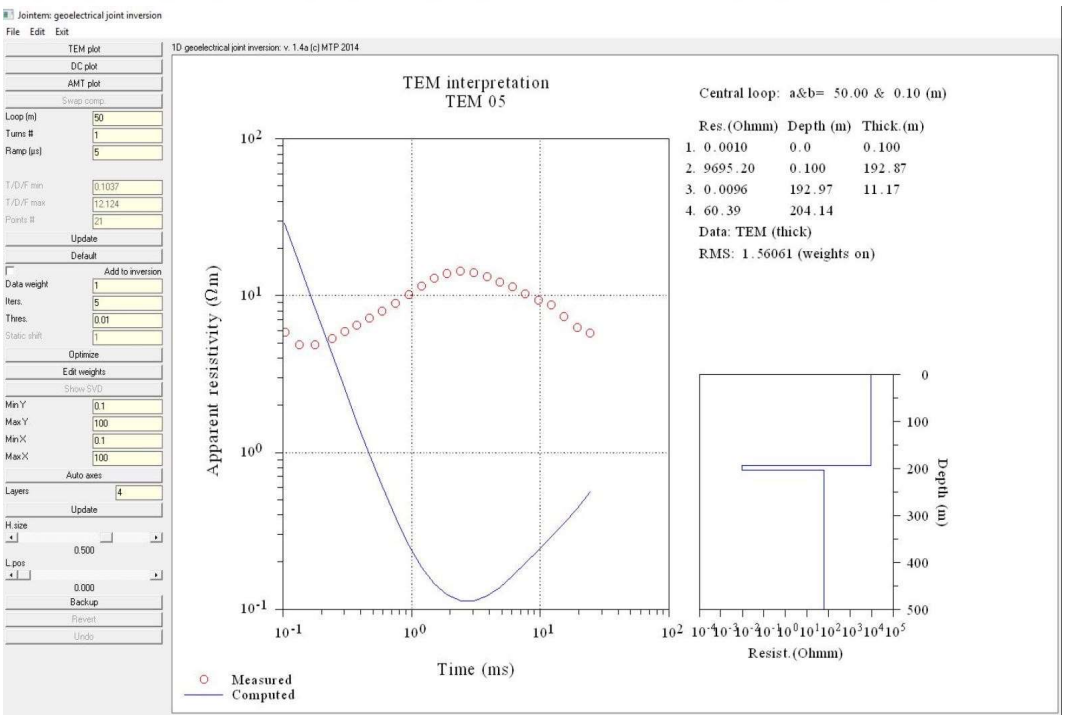


Şekil 3.4. (a) GDP 3224 alıcı ünite, (b) GGT-10 verici ünite, (c) alıcı bobin.



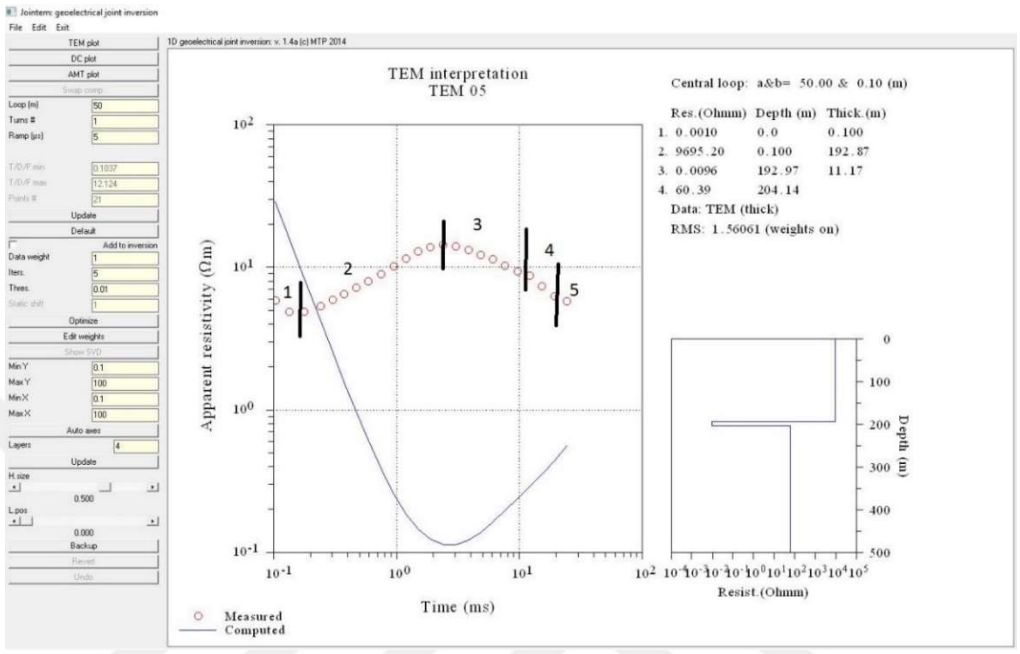
Şekil 3.5. Arazideki ölçü dizilimi.

Arazi çalışmalarının sona ermesinin ardından elde edilen veriler ile veri işlem aşamasına geçilmiştir. Araziden toplanan ham verilerde dış etmenlerden dolayı bulunan istenmeyen kısımlar (gürültüler) atılmıştır. Ardından toplanan verilere JOİNTEM programı ile ters çözüm işlemleri gerçekleştirilmiştir.



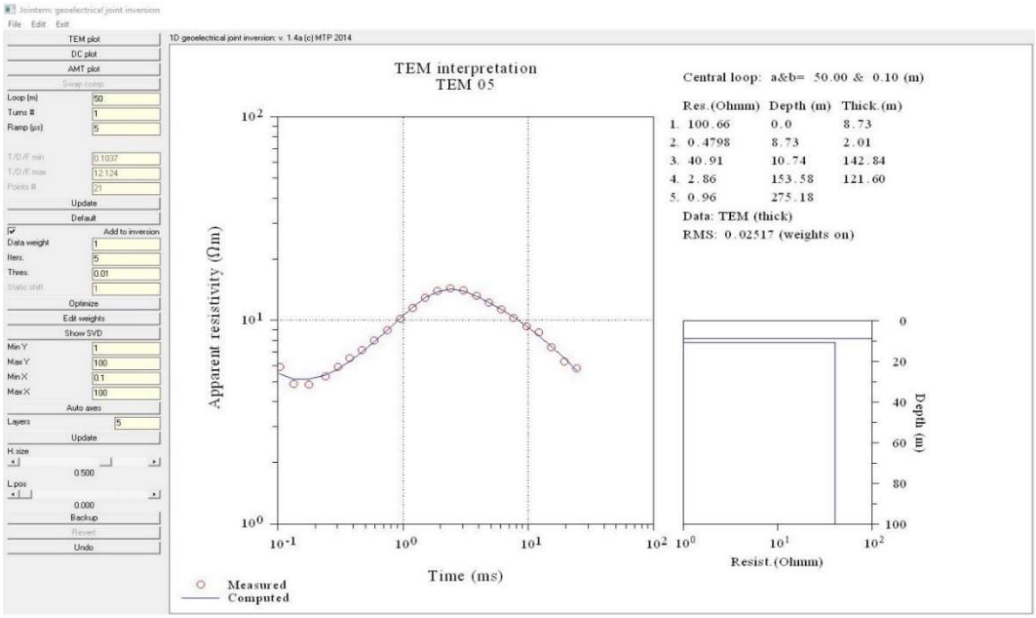
Şekil 3.6. 5 nolu TEM verisi.

Şekil 3.6’da 5 nolu TEM verisinin özdirenç eğrisi görülmektedir. Özdirenç eğrisindeki eğim değişimlerinden tabaka ön kestirimi yaparak ölçülen özdirenç ve hesaplanan özdirenç eğrilerinin çakışmasını sağlıyoruz.



Şekil 3.7. 5 nolu TEM verisi tabaka sayısı.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi özdirenç eğrisindeki eğimin değişiminden ortamın 5 tabakalı olduğu belirlenmiş ve veriye ters çözüm işlemi uygulanmıştır.



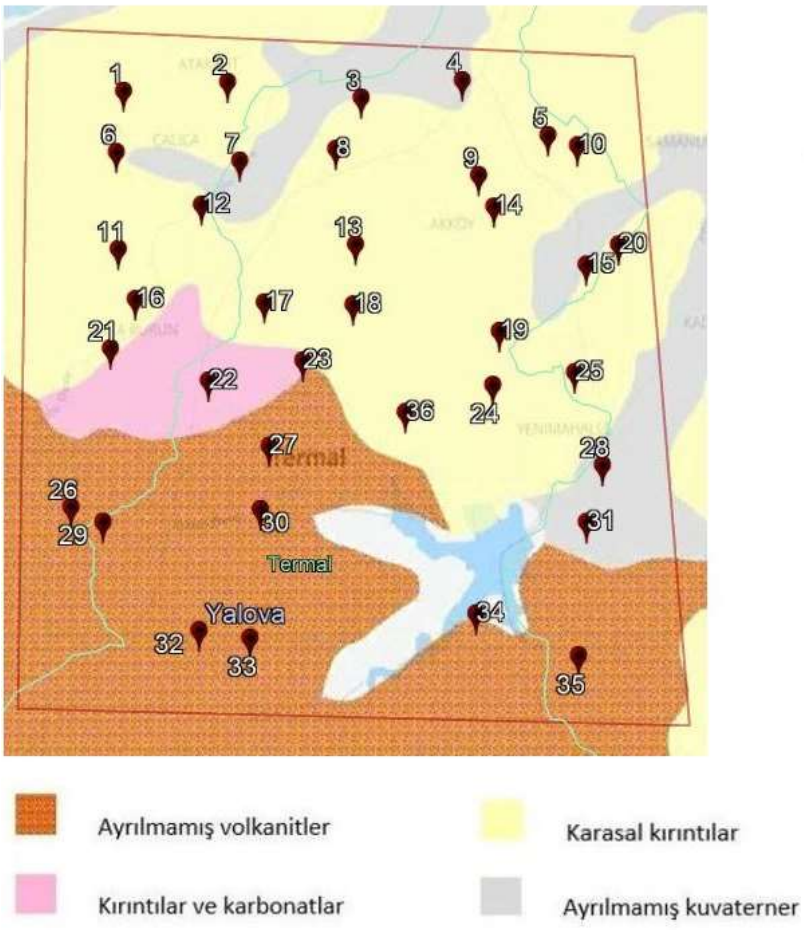
Şekil 3.8. 5 nolu TEM verisinin ters çözüm sonucu.

Şekil 3.8'de ters çözüm işlemi sonucu ölçülen ve hesaplanan eğrilerin çakıştığını görmekteyiz. Sonuçların güvenilirliği açısından ters çözüm işleminde hata oranının (RMS) %10'nun altında olmasına dikkat edilmiştir. Geriye kalan 35 noktadaki TEM verilerinin ters çözüm sonuçları ekler kısmında verilmiştir.

Ters çözüm sonucu elde ettiğimiz özdirenç ve derinlik bilgilerini kullanarak MATLAB programında yazmış olduğumuz kod ile yatay ve düşey yönde özdirenç seviye haritaları elde edilmiştir. Elde edilen özdirenç seviye haritalarından bölgenin özdirenç yapısının yatay ve düşey yöndeki değişimi bölgenin jeolojisi de göz önünde bulundurularak incelenmiştir.

3.4.2 Verilerin değerlendirilmesi

Ters çözüm sonucu elde ettiğimiz 2 boyutlu seviye haritalarını değişen derinlik değerlerine göre yorumladık.



Şekil 3.9. Ölçü noktalarının birimlerdeki dağılımı.

Çalışma alanında gerçekleştirilen TEM çalışmasında, TEM etüt noktaları, farklı jeolojik birimlerin bulunduğu lokasyonlara dağılmıştır (Şekil 3.9). Çalışma alanının kuzey kısmında karasal kırıntılılar, alüvyonlar bulunmaktadır. Güneybatıya doğru ise kırıntılar, karbonatlar ve volkanitler bulunmaktadır. Bu birimlerin jeoelektriksel özelliklerine göre kuzey kısımlarda düşük rezistivite, güneyinde ise yüksek rezistivite değerleri beklenmektedir. Alüvyonal birimlerin tane boyutları büyüdükçe rezistivite değerlerinde yükselme beklenmektedir.



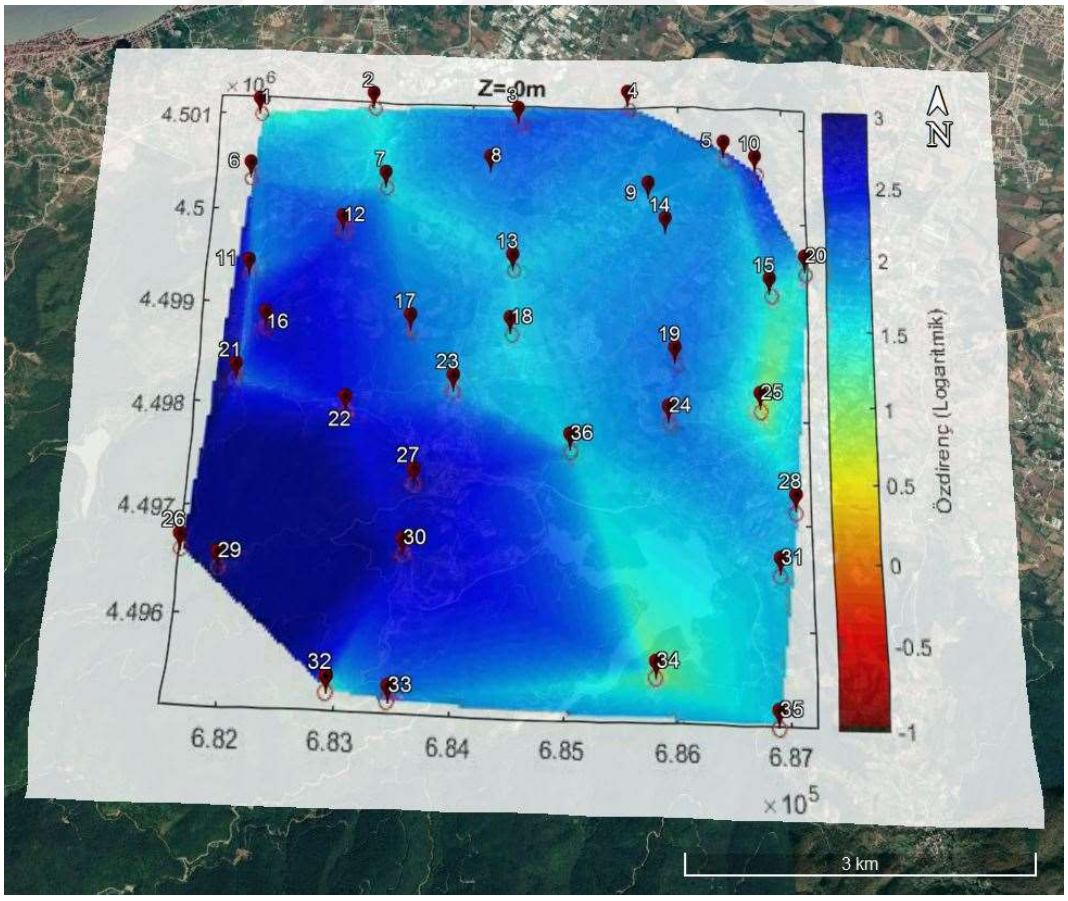
Şekil 3 10. Jeolojik birimlerin isimleri.

Bölgenin jeoloji hakkında yapmış olduğumuz literatür çalışmalarında MTA'nın jeoloji haritasında "ayrılmamış volkanitler" olarak adlandırılan birimin " Altere Andezit", karasal kırıntılılar olarak adlandırılan birimin "çakıltaşı-az marnlı çakıltaşı" ayrılmamış kuvarterner olarak adlandırılan biriminde alüvyon birim, "kırıntılılar ve karbonatlar" olarak adlandırılan birimin gölsel kireçtaşı olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.10).

Şekil 3.11'de verilen 2 boyutlu özdirenç seviye haritaları incelendiğinde çalışma alanında yüzeyde genel olarak yüksek özdirenç değerlerinin gözlemlendiği görülmektedir.

Özellikle çalışma alanının güney batısında özdirenç değerlerinin 1000 ohm metrelere kadar yükseldiği, çalışma alanının geri kalan yerlerinde özdirenç değerlerinin 100 ohm metre civarında olduğu gözlenmiştir.

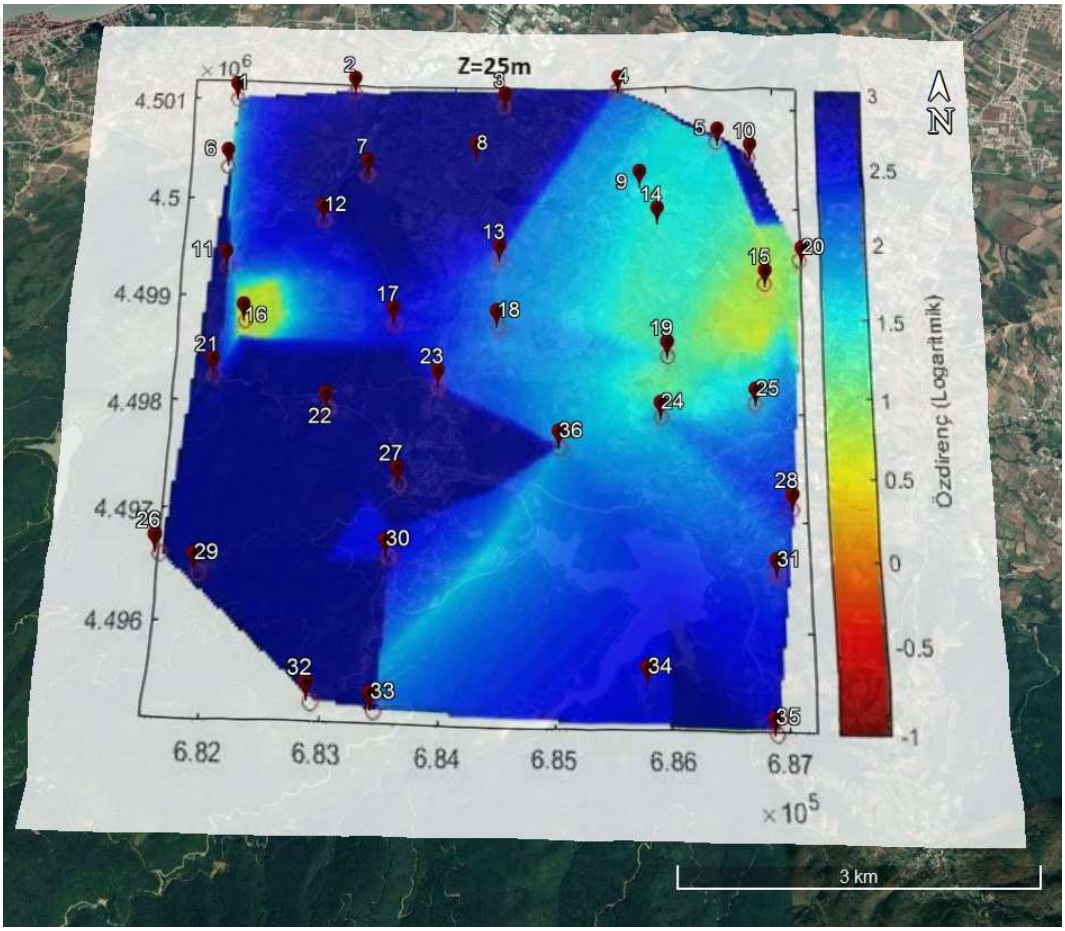
Jeolojik yapı göz önüne alındığında çalışma alanının güneyinde gözlemlenen yüksek özdirençli yapıların andezit birimden, güney batı bölümünde güney doğu bölümüne göre daha düşük özdirenç değerlerinin gözlenmesinin sebebinin bölgede bulunan baraj gölü ve civarındaki su kaynaklarından kaynakladığı, çalışma alanının kuzey kısmında gözlemlenen ve güney kısma göre kısmen daha düşük özdirenç değerine sahip birimin örtü toprak alüvyon birimlerden kaynaklandığı, yine yer yer özdirenç değerlerinin düştüğü yerlerin yüzey sularından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.11. Z= 0 m seviye haritası.

Şekil 3.12'de verilen 25 metre derinlikteki seviye haritası incelendiğinde; çalışma alanının özellikle güney doğu ve kuzey batı kısmındaki özdirenç değerlerinin bir önceki seviyeye göre yükseldiği, diğer yerlerde çok büyük değişiklikler olmadığı gözlemlenmiştir.

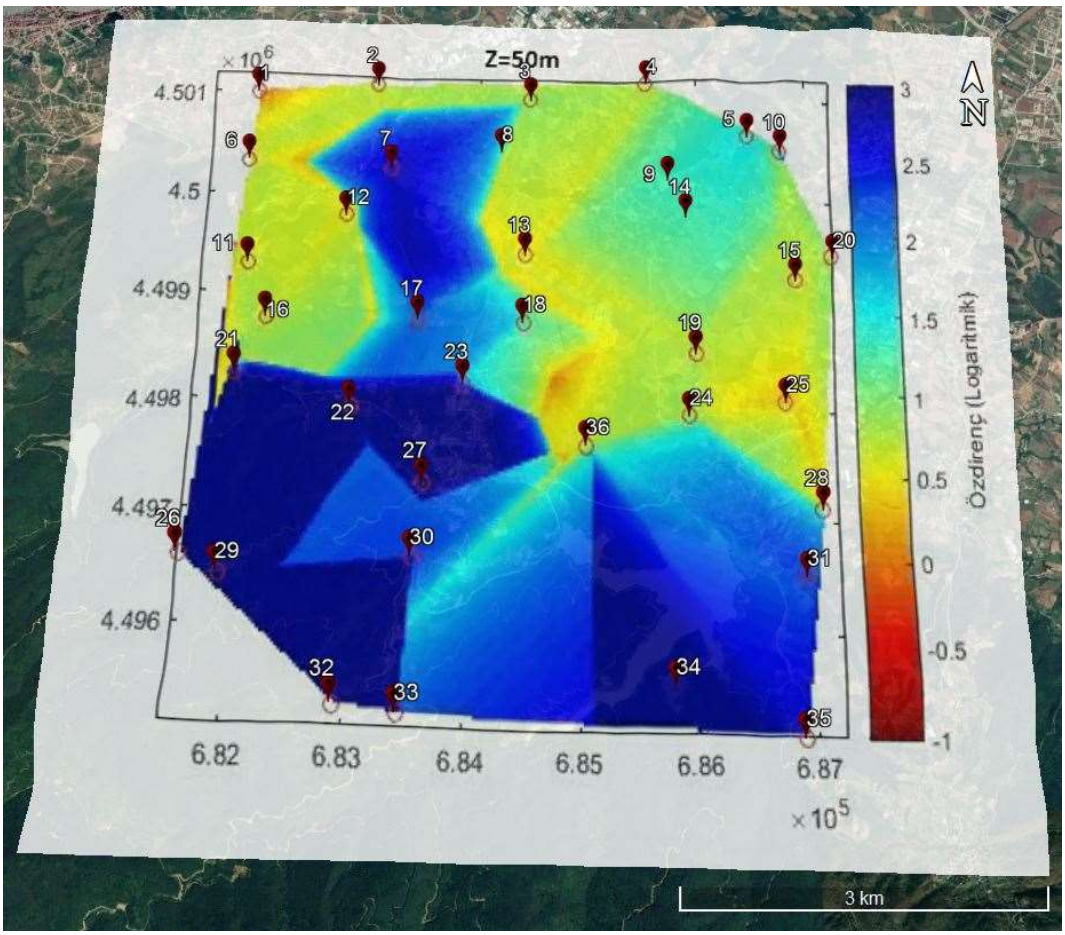
Çalışma alanının güneyin bulunan yüksek özdirençli birimin andezin birimden, çalışma alanının güney doğusunda yüzeye göre yükselen özdirenç değerinin nedeninin yüzey sularının etkisinin azalmasından kaynaklandığı, çalışma alanının kuzey bölümündeki yüksek özdirençli yapıların az marnlı çakıllı birim ile dere ve akarsu yatakları civarındaki alüvyonlu birimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.12. Z= 25 m seviye haritası.

Şekil 3.13'te verilen 50 metre derinlikteki seviye haritası incelendiğinde; çalışma alanının güney kısmındaki yüksek özdirenç değerlerinin bu derinlikte de devam ettiği, çalışma alanının kuzey bölümünde ise özdirenç değerlerinin bir önceki seviyeye göre azaldığı gözlemlenmiştir.

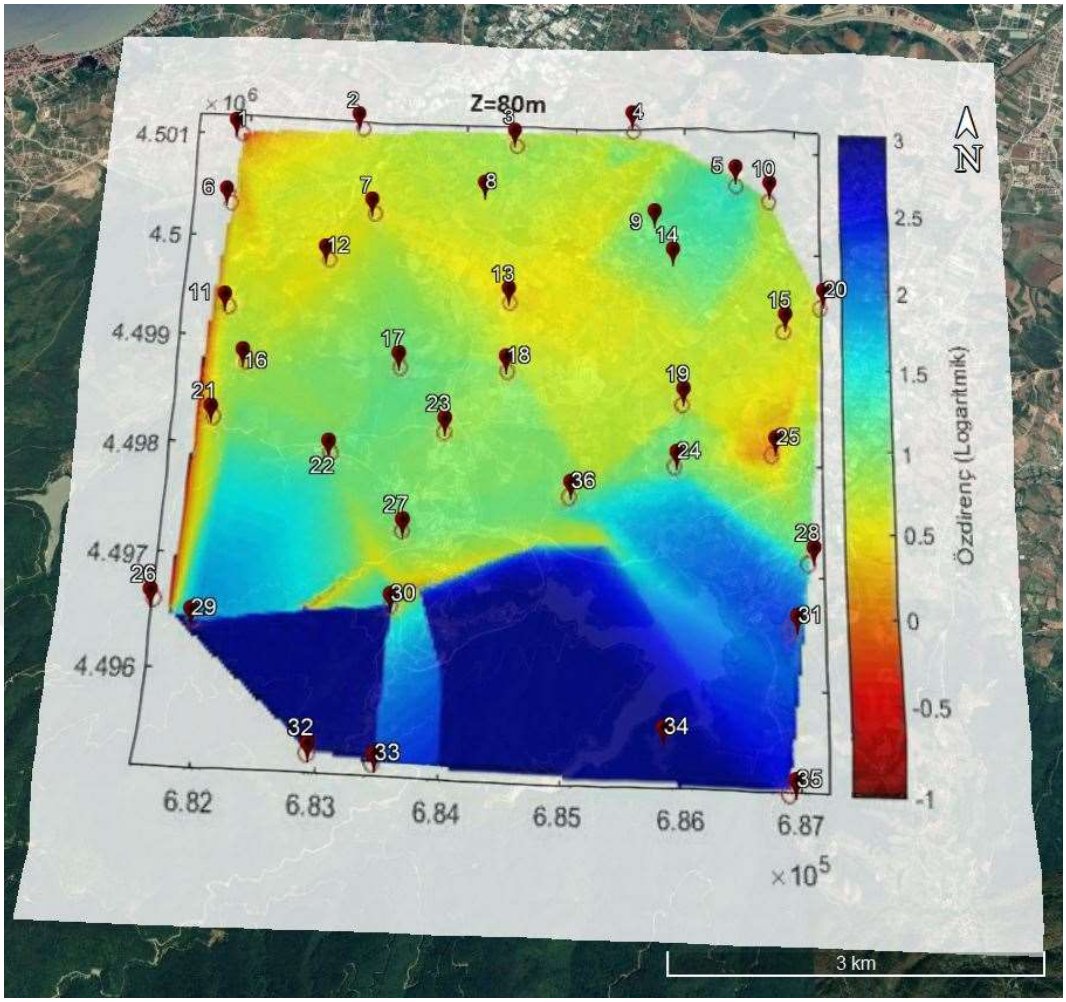
Çalışma alanının güney kısmında gözlemlenen yaklaşık 100-1000 ohm metre özdirence sahip yüksek özdirençli birimin andezit birim, araştırma alanının kuzey kısmında gözlemlenen yaklaşık 1-10 ohm metre özdirence sahip birimin içerdiği marn oranı artmış olan marnlı çakıllı birim olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.13. Z= 50 m seviye haritası.

Şekil 3.14'te verilen 80 metre derinlikteki seviye haritası incelendiğinde; çalışma alanının güneyindeki 100-1000 ohm metre özdirenç değerlerinin bu seviyede de devam ettiği ancak bir önceki seviyeye göre kapladığı alanın özellikle çalışma alanının güney batısında azaldığı, araştırma alanının kuzeyinde bir önceki seviyedeki 1-10 ohm metre özdirenç değerlerinin bu seviyede de devam ettiği ancak kuzeyden güneye doğru ilerledikçe özdirenç değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir.

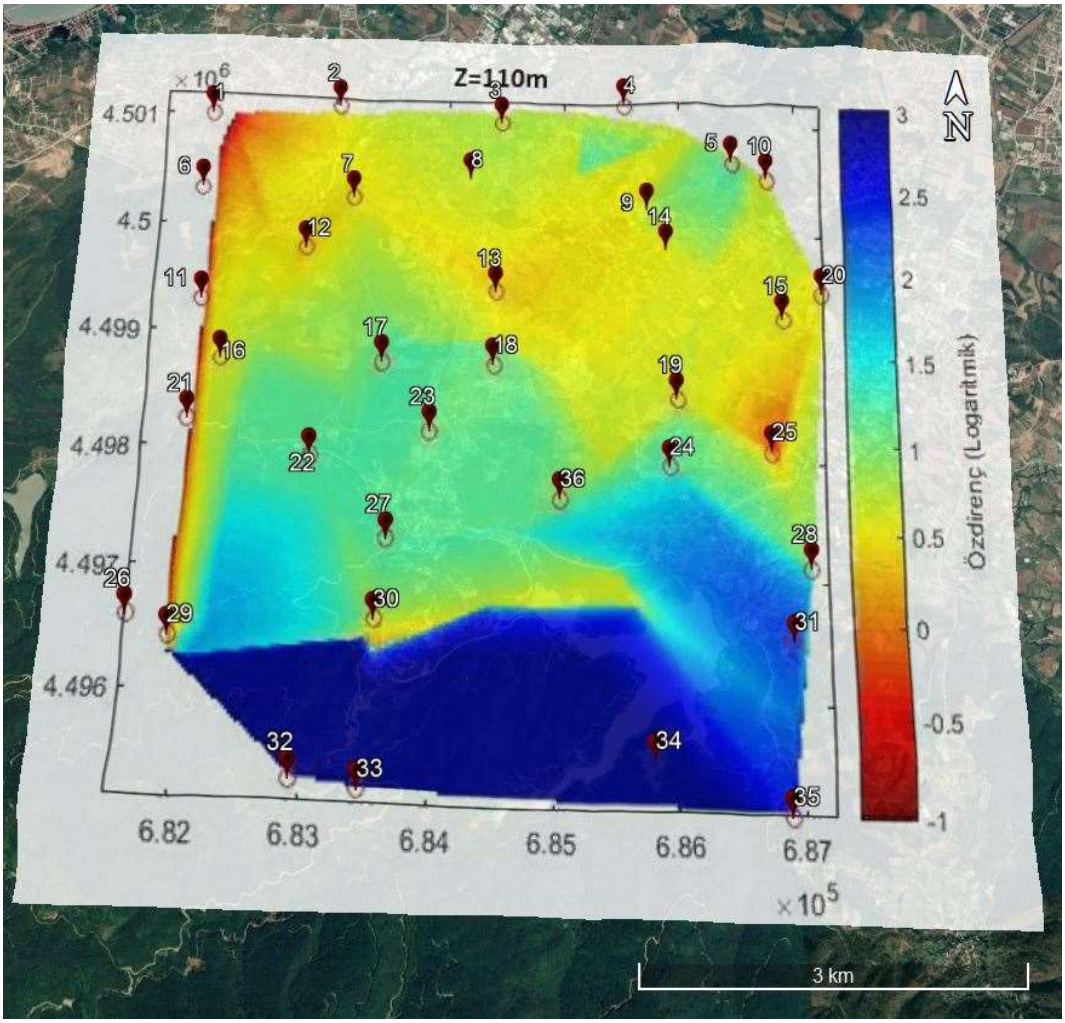
Çalışma alanının güneyindeki yüksek özdirençli birimin andezit birim, çalışma alanının kuzeyinde bulunan 1-10 ohm metre özdirenç değerine sahip birimin marn içeriği yüksek marnlı çakıltaşı birim olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.14. Z= 80 m seviye haritası.

Şekil 3.15'te verilen 110 metre derinlikteki seviye haritası incelendiğinde; çalışma alanının güneyindeki 100-1000 ohm metre özdirenç değerlerinin bu seviyede de devam ettiği, çalışma alanının kuzeyinde özdirenç değerlerinin bir önceki seviyedeki gibi 1-10 ohm metre değerlerinde olduğu, çalışma alanının kuzeyinden güneyine doğru ilerledikçe bu özdirenç değerlerinin yükselerek 3-100 ohm metre değerine kadar yükseldiği gözlenmektedir.

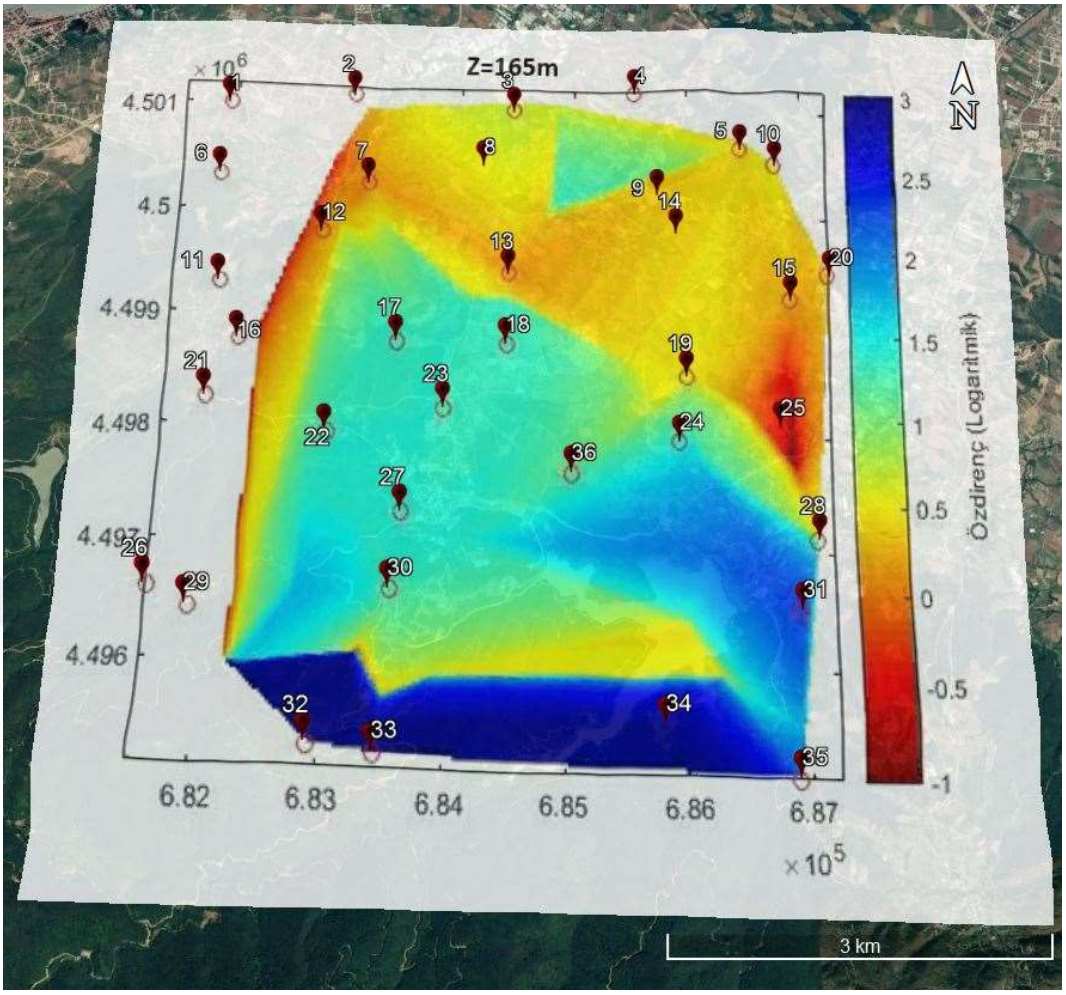
Çalışma alanının güneyindeki 100-1000 ohm metre özdirence sahip birimin andezit birim, çalışma alnının kuzey kısmında gözlemlenen 1-10 ohm metre özdirenç değerlerine sahip birimin marn içeriği yüksek marnlı çakıl taşı birim, özellikle kuzeyden güneye doğru ilerledikçe özdirenç değerlerindeki artışın daha belirgin olduğu ve bu yükselmenin sebebinin marnlı çakıltaşı biriminden yavaş yavaş çıkılarak daha özdirenci daha yüksek olan bir birime geçildiği düşünülmektedir.



Şekil 3.15. Z= 110 m seviye haritası.

Şekil 3.16'da verilen 165 metre derinlikteki seviye hartası incelendiğinde; çalışma alanının güneyinde gözlemlenen 100-1000 ohm metre özdirenç değerlerinin bu derinlikte de devam ettiği ancak alanın azaldığı, çalışma alanının kuzeyinde özdirenç değerlerinin azalarak 0.1- 1 ohm metre değerlerine kadar düştüğü, çalışma alanının kuzeyinden güneyine doğru ilerledikçe özdirenç değerlerinin artarak 100-100 ohm metre değerlerine kadar yükseldiği gözlenmiştir.

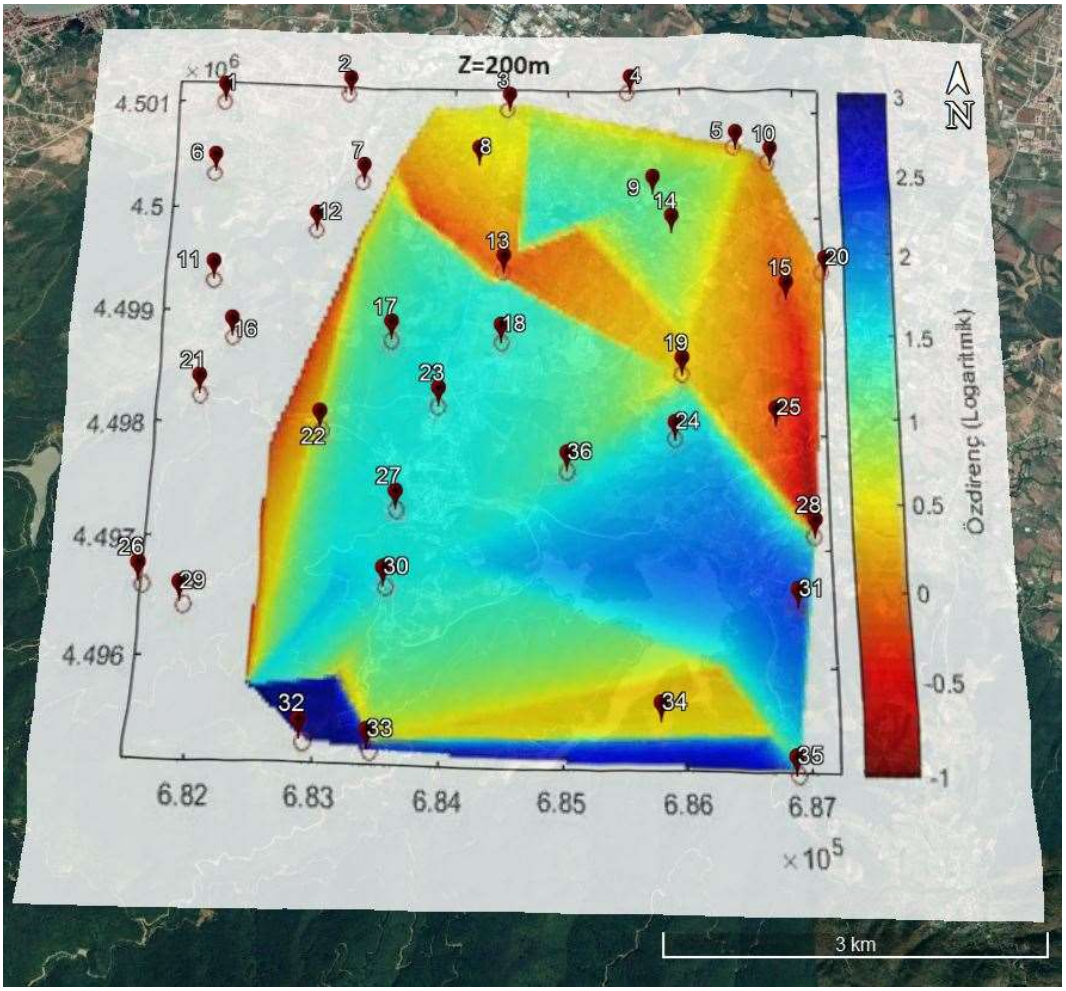
Çalışma alanının güneyindeki 100-1000 ohm metre özdirenç değerine sahip birimin andezit birim, kuzey doğru ilerledikçe özdirenç değeri daha düşük olan birimin altere zonlarında marn ve kil bulunan andezit birim, çalışma alanının kuzeyinde bulunan 0.1-1 ohm metre özdirenç değerine sahip birimin kil ve marn birim olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.16. Z= 165 m seviye haritası.

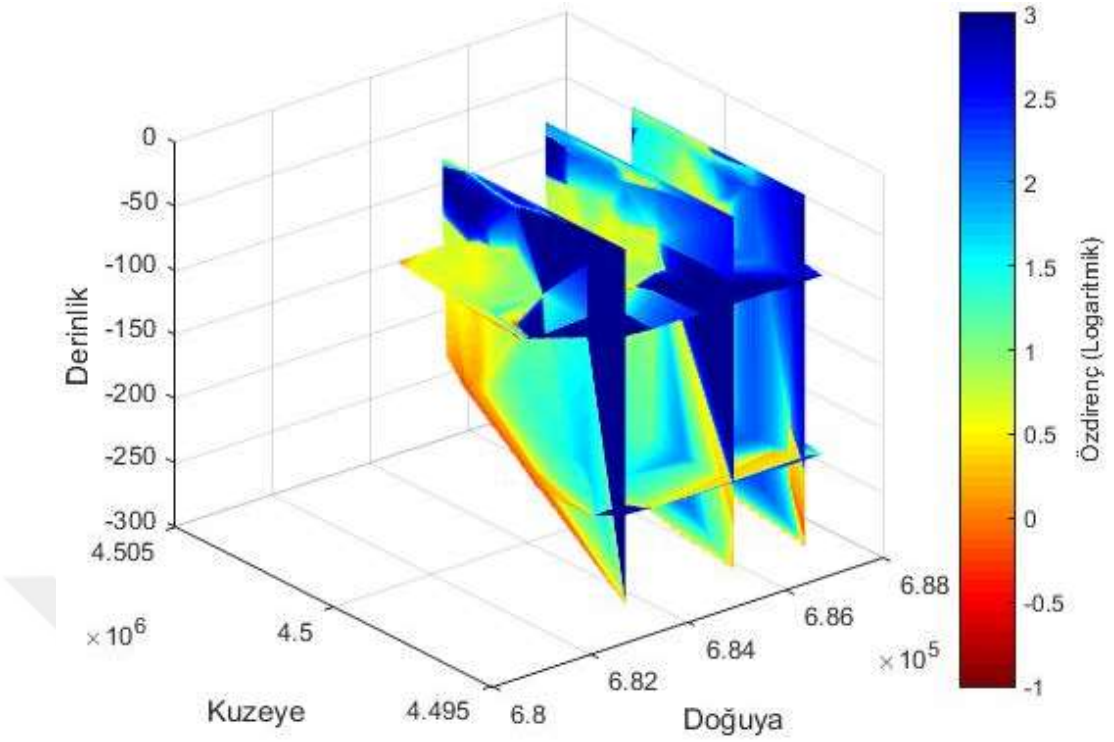
Şekil 3.17'de verilen 200 metre derinlikteki seviye haritası incelendiğinde; çalışma alanının genelinde 10-100 ohm metre özdirenç değerleri gözlenmektedir. Sadece çalışma alanının kuzeyinde ve kuzey doğusunda 0.1-1 ohm metre özdirenç değerleri gözlenmektedir.

Çalışma alanının güneyinde gözlemlenen 100-1000 ohm metre özdirenç değerlerinin masif andezit birimlerden, araştırma alanında bölgenin güneyinden kuzeyine doğru ilerledikçe azalan özdirenç değerlerinin andezitin altere zonlarında buluna kil ve marndan, çalışma alanının kuzey ve kuzey doğusunda gözlemlenene 0.1-1 ohm metre özdirenç değerlerinin kil ve marn birimden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.17. Z= 200 m seviye haritası.

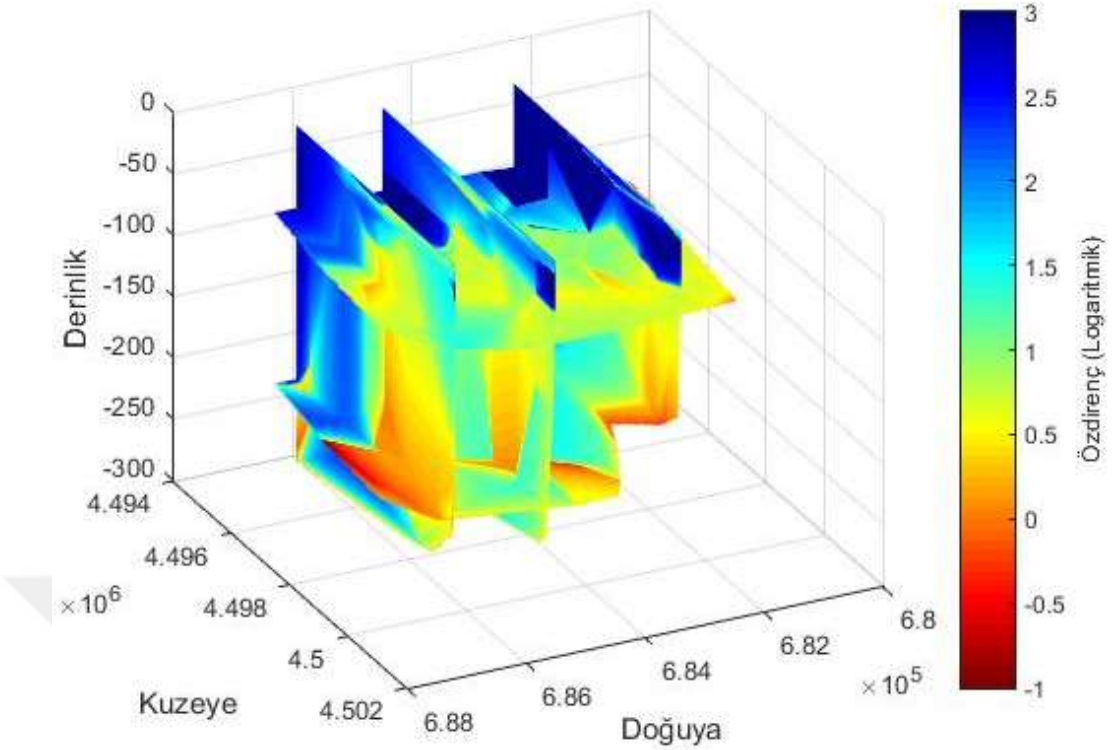
Çalışma alanında düşey yöndeki özdirenç değişimini daha iyi gözlemleyebilmek amacıyla ters çözüm işlemi sonucu elde ettiğimiz özdirenç ve derinlik bilgilerini kullanarak MATLAB programında yazdığımız kod yardımı ile 3 boyutlu özdirenç derinlik haritaları oluşturduk. Şekil 3.18'deki 3 boyutlu seviye haritası incelendiğinde çalışma alanının güneyinde gözlemlenen 100-1000 ohm metre özdirenç değerlerinin yüzeyden başlayarak derine doğru incelerek yaklaşık 200-250 metre derinliğe kadar devam ettiği, çalışma alanının kuzey batısında yaklaşık 50 metreye kadar gözlemlenen 100-1000 ohm metre özdirenç değerlerinin 50 metre derinlikten sonra azaldığı ve yaklaşık 1-10 ohm metre değerlerini aldığı, çalışma alanının kuzey batısında yaklaşık 100 metre derinlikten sonra özdirenç değerlerinin 1-10 ohm metre değerine kadar düştüğü ve bu değerlerin kuzeyden güneye doğru derinleşerek devam ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.18. 3 boyutlu özdirenç seviye haritası (güney-batı yönünden görünüm).

Bölgenin jeolojisini de göz önüne aldığımızda çalışma alanının güneyinde gözlemlenen 100-1000 ohm metre özdirenç değerine sahip birimin altere andezit birim olduğu ve birimin 200-250 metrelere kadar devam ettiği, derinliğin artması ile altere zonlara dolan killi ve marnlı birimler nedeniyle özdirenç değerlerinin yüzeydeki değerlere göre düştüğü, çalışma alanının kuzeyinde gözlemlenen ve 50 metreye kadar devam eden 100-1000 ohm metre özdirence sahip birimin az marnlı çakıl taşı birim olduğu birimin yaklaşık 100-120 metre derine kadar devam ettiği ancak derinlik arttıkça marn oranının artmasından dolayı özdirenç değerinin düştüğü, 100-120 metre derinlikten sonra yükselen özdirenç değerinin altere zonlarında marn ve kil bulunana andezitten kaynaklandığı, yaklaşık 150 metre derinlikten sonra çalışma alanının kuzeyin güneyine doğru devam eden 1-10 ohm metre özdirencin bölgedeki killi ve marnlı yapılardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 3.19'daki 3 boyutlu seviye haritası incelendiğinde çalışma alanının kuzeyinde yüzeyde gözlemlenen 100-1000 ohm metre özdirenç değerinin yaklaşık 50 metreye kadar devam ettiği, bu derinlikten itibaren özdirenç değerinin düştüğü ve yaklaşık 200-250 metre derinlikte 0.1-1 ohm metre değerini aldığı gözlenmiştir.



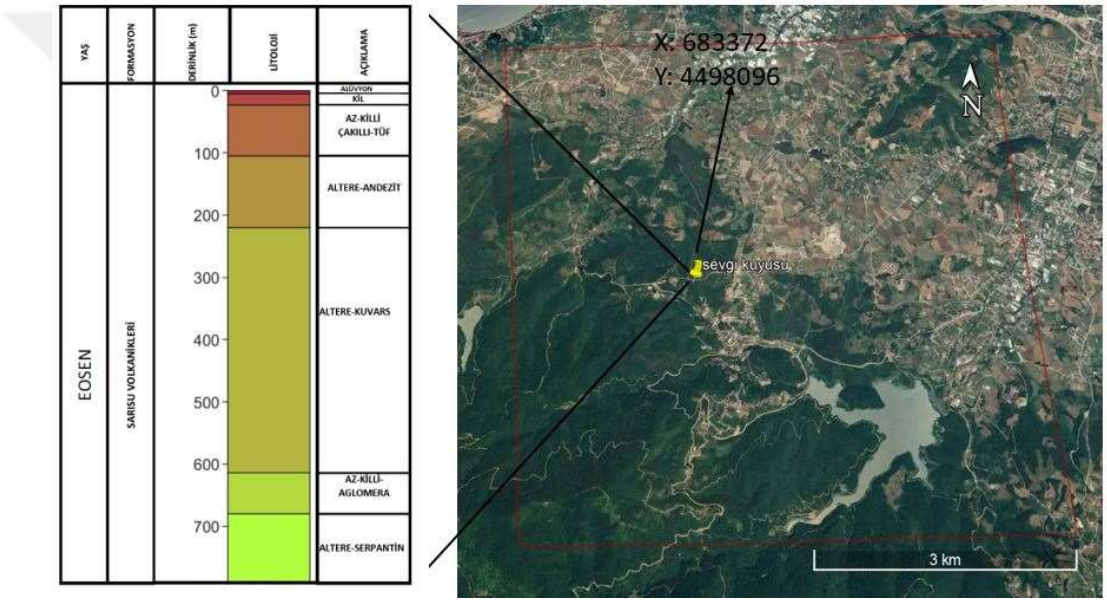
Şekil 3.19. 3 boyutlu özdirenç seviye haritası (kuzey-doğu yönünden görünüm).

Bölgenin jeolojisini de göz önüne aldığımızda çalışma alanının kuzeyinde yüzeyden 50 metre derine kadar devam eden 100-1000 ohm metre özdirenç değerine sahip birimin az marnlı çakıl taşı, bu birimin 50 metre derinlikten sonra yaklaşık 120-150 metreye kadar devam ettiği ancak içerdiği marn oranının artmasından dolayı özdirenç değerinin 1-10 ohm metre değerine kadar düştüğü, 100-120 metre derinlikten sonra altere andezit birim başladığı ancak andezitin altere zonlarında bulunan marn ve kil sebebi ile özdirenç değerlerinin 0.1-1 ohm metre değerine kadar düştüğü ve bu altre andezit birimin 120-150 metre derinlikten sonra yaklaşık 200-250 metreye kadar devam ettiği düşünülmektedir.

2 boyutlu ve 3 boyutlu özdirenç seviye haritalarının sonuçlarını özetleyecek olursak, çalışma alanının güneyinde görülen yüksek rezistivite değerleri volkanik ve karbonatlar ile uyumludur. Kuzey kısımda görülen ortalama-yüksek rezistivite değerleri ise karasal kırıntılar ve büyük taneli alüvyonal birimlerden kaynaklanmaktadır. Tamamlanan ölçü değerlerine göre hazırlanan seviye haritalarında, rezistivite değerleri bölge jeolojisi ile genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada son olarak elde etmiş olduğumuz seviye haritaları ile bölgede yapılmış olan mekanik bir sondaj verilerini karşılaştırdık. Çalışma alanımız sınırları içerisinde Termal Belediyesince X:683372 ve Y:4498096 koordinatlarında sıcak su araması amacıyla ”Sevgi Kuyusu” isminde bir adet sondaj yapılmıştır.

Bölgede yapılan mekanik sondajda yüzeyden yaklaşık 20 metreye kadar alüvyon ve kil, 20 metreden 100 metre derinliğe kadar az killi çakıllı tüf, 100-200 metre arasında altere andezit, 200-600 metre arasında altere kuvars, 600-700 metre arasında az killi altere aglomera, 700-800 metrelerde ise altere serpantin birimleri kesilmiştir (Şekil 3.20).

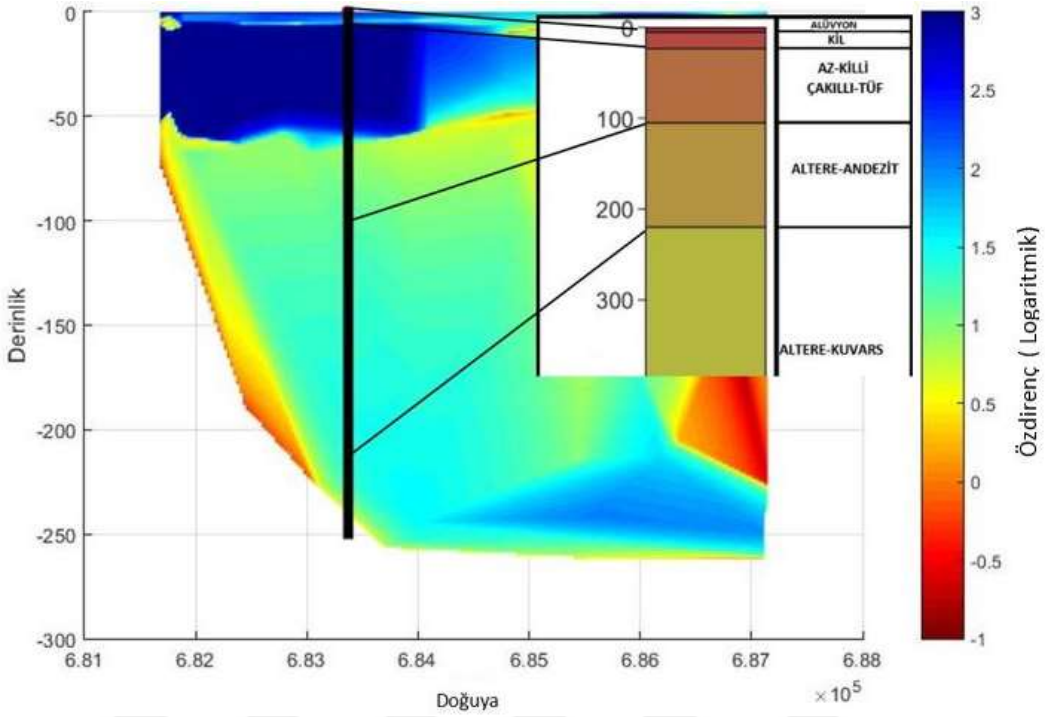


Şekil 3.20. Mekanik sondajın konum ve litoloji bilgileri.

Çalışmamız kapsamında almış olduğumuz TEM verilerinden yaklaşık 200-250 metre derinliğe kadar bilgi alınabildiğinden mekanik sondajın bu derinlikleri ile sonuçlarımızı karşılaştırma. Elde ettiğimiz 3 boyutlu özdirenç haritasından sondaj noktasının olduğu yerden doğu- batı ve kuzey-güney yönünde iki kesit alarak sonuçları karşılaştırdık.

Şekil 3.21’de gösterilen doğu batı kesitinde sondaj noktasının bulunduğu noktada verimizde yüzeyden yaklaşık 10 metre derinliğe kadar 30-100 ohm metre özdirence sahip birim olduğu 10- 60 metre arasında 1000 ohm metre özdirençli birim 60 metre derinlikten sonra özdirenç değerinin yaklaşık 100 metreye kadar 10 ohm metrelere

kadar düştüğü ve 100 metreden sonra öz direnç değerinin tekrar yükselerek 30-100 ohm metre değere yükseldiğini görüyoruz.

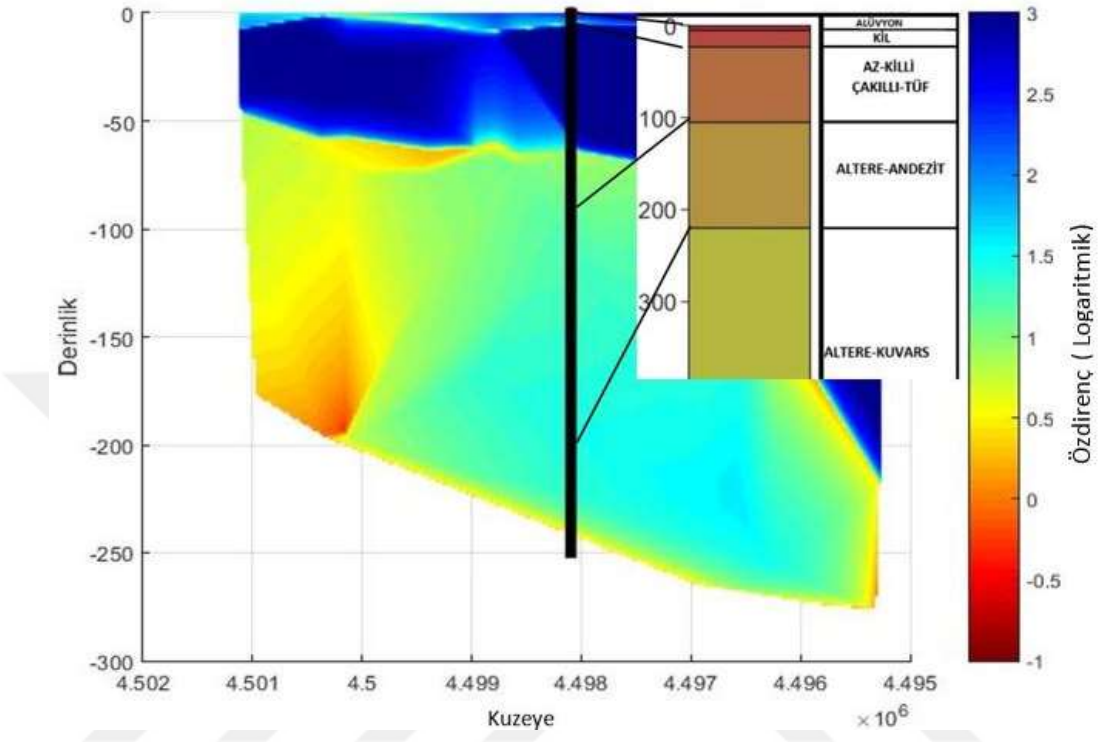


Şekil 3.21. Sondaj kesiti (doğu-batı).

Burada ilk 10 metredeki yüksek özdirençli birimin örtü toprak ve alüvyon ile killi alüvyondan kaynaklandığını, 10-60 metre arasındaki 1000 ohm metre özdirence sahip birimin çakıl taşı birimden, özdirencin derine doğru düşmesinin çakıl taşı birimi içindeki killi marnlı birim oranının artmasından, yaklaşık 100 metre derinlikten sonra özdirenç değerinin tekrar artmasını andezitin birimin altere zonlarına dolmuş kilden dolayı olduğunu söyleyebiliriz.

Şekil 3.22'de gösterilen kuzey güney kesitinde sondaj noktasının bulunduğu noktada verimizde yüzeyden yaklaşık 10 metre derinliğe kadar 30-100 ohm metre özdirence sahip birim olduğu 10- 60 metre arasında 1000 ohm metre özdirençli birim 60 metre derinlikten sonra özdirenç değerinin yaklaşık 100 metreye kadar 10 ohm metrelere kadar düştüğü ve 100 metreden sonra öz direnç değerinin tekrar yükselerek 30-100 ohm metre değre yükseldiğini görüyoruz. Burada ilk 10 metredeki yüksek özdirençli birimin örtü toprak ve alüvyon ile killi marnlı alüvyondan kaynaklandığını, 10-60 metre arasındaki 1000 ohm metre özdirence sahip birimin çakıl taşı birimden, özdirencin derine doğru düşmesinin çakıl taşı birimi içindeki killi marnlı birim

oranının artmasında, yaklaşık 100 metre derinlikten sonra özdirenç değerinin tekrar artmasını andezitin birimin altere zonlarına dolmuş kilden dolayı olduğunu söyleyebiliriz.

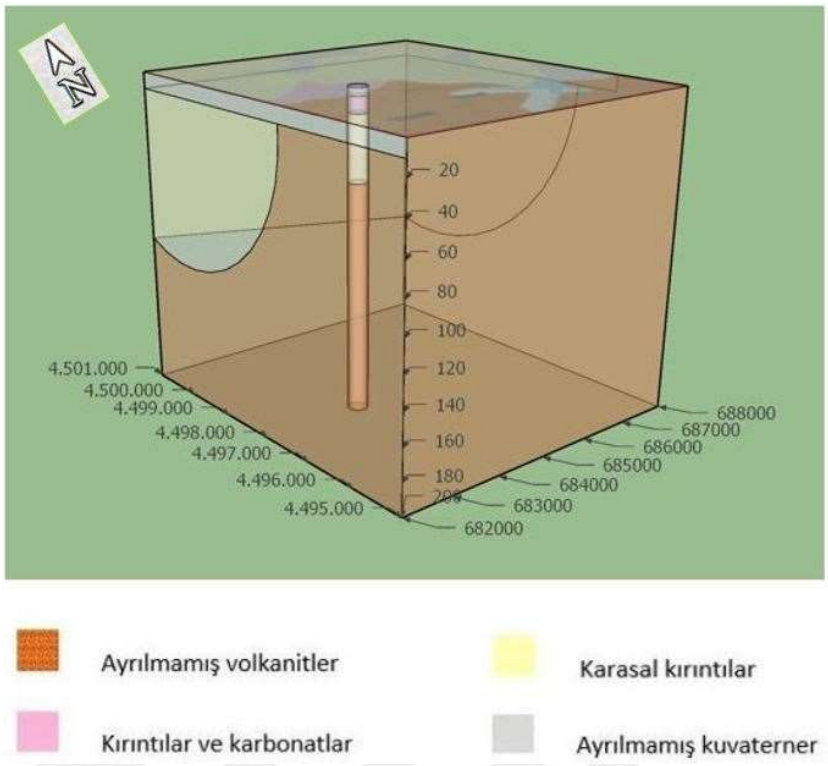


Şekil 3.22. Sondaj kesiti ile 3B kesitin karşılaştırılması.

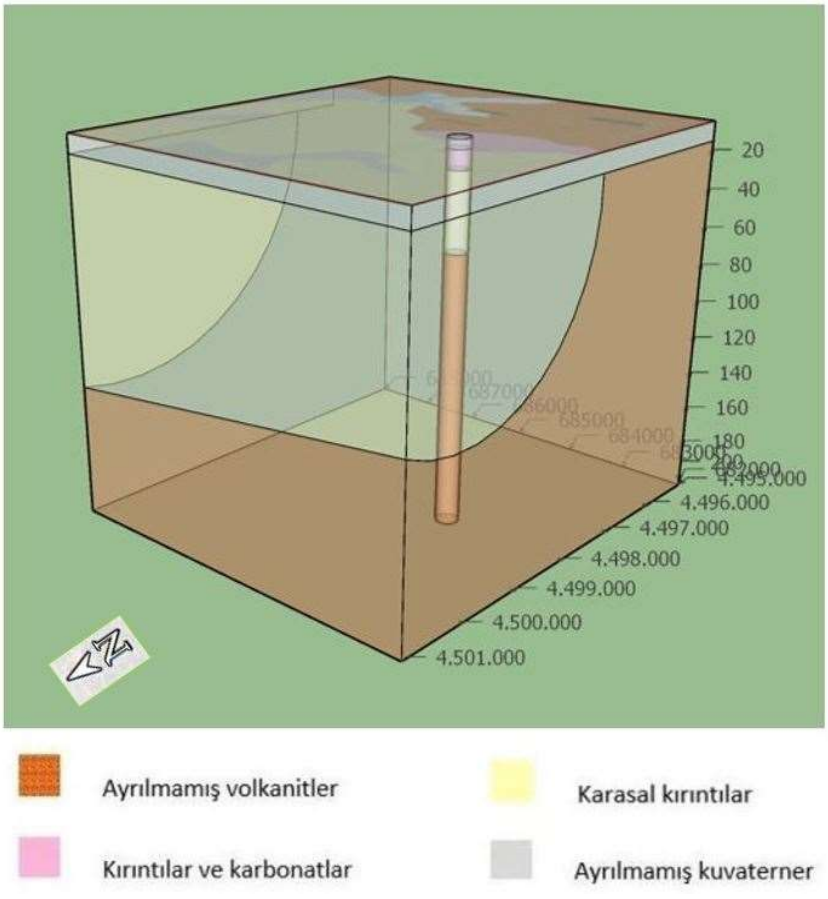
Elde ettiğimiz sonuçlar ile mekanik sondaj verilerindeki geçiş bölgeleri ve derinlikleri birbiri ile örtüşmekte olduğundan çalışmamızın bölgenin özdirenç yapısını doğru olarak ortaya koyduğunu söyleyebiliriz.

Yapmış olduğumuz çalışma sonunda, arazi çalışması sonucu elde ettiğimiz veriler, bölgede yapılan mekanik sondaj verileri ve bölgenin jeolojisi eşleştirilerek çalışma alanının yaklaşık 3 boyutlu jeolojik modeli oluşturulmuştur.

Şekil 3.23 te verilen 3 boyutlu model incelendiğinde, çalışma alanımızın güney kısmında yüzeyde bulunan altere andezit birim 200 metre derinliğe kadar devam etmekte olduğu, bölgenin kuzey batısında yüzeyde yaklaşık 10 metre alüvyon birim bulunurken bu birimin altında yaklaşık 130 metre derinliğe kadar marnlı çakıl taşı olduğu, 130 metreden 200 metreye kadar altere andezit birim bulunduğu görülmektedir.



Şekil 3.23. 3 boyutlu jeolojik görünüm. (güney-batı).



Şekil 3.24. 3 boyutlu jeolojik görünüm. (kuzey-batı).

Şekil 3.24’te verilen 3 boyutlu model incelendiğinde, çalışma alanımızın kuzey kısmında yüzeyde bulunan alüvyon birimin yaklaşık 10 metre derinliğe kadar devam etmekte olduğu, bu birimin altında yaklaşık 130 metre derinliğe kadar marnlı çakıl taşı olduğu, 130 metreden 200 metreye kadar altere andezit birim bulunduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında deprem fırtınasının meydana geldiği Yalova ili Termal ilçesi ve civarının sığ kesimlerinin özdirenç yapısının belirlenmesi amacıyla 36 noktada TEM ölçüsü alınmıştır. Toplanan verilere JOİNTEM programıyla ters çözüm işlemi uygulanmış ve elde edilen özdirenç ve derinlik değerlerinden MATLAB programında yazılan bir kod yardımı ile bölgenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu özdirenç seviye haritaları oluşturulmuştur. Bölge jeolojisi de dikkate alınarak elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve sonuçların doğruluğunun kontrol edilebilmesi amacıyla bölgede daha önce yapılmış olan bir sondaj verisi ile karşılaştırılıştır. Elde ettiğimiz sığ kesimlerin özdirenç değerleri bilgisi öncelikli olarak 200 m derinliklere kadar bölgenin özdirenç ve derinlik yapısını ortaya çıkarmıştır. Bölgenin jeoloji haritası ile korele ettiğimizde elde edilen değerlerle bölgedeki alüvyon içeren ve TEM sonuçlarında iletken olan kısımlar haritalanmıştır.

Yapmış olduğumuz çalışma sonucunda sonuçlar şu şekildedir;

1. Projeye konu olan deprem aktivitesinin meydana geldiği Termal ilçesi ve civarının sığ kesimlerinin özdirenç yapısı ortaya konulmuştur,
2. Termal ilçesinde bulunan jeotermal kaynağın depolandığı rezervuarın boyutları tam olarak bilinmemektedir. Yapmış olduğumuz çalışma sonucu elde ettiğimiz sığ bölgelerin özdirenç yapısı bölgedeki akiferlerin(yer altında su içeren geçirimli jeolojik formasyon) yer altındaki üç boyutlu dağılımı hakkında bilgi verdiğinden ileride rezervuarların boyutlarının belirlenmesinde yapılabilecek çalışmalar için bir kaynak oluşturulmuştur,
3. Bölgenin hem turizm hem de sismik aktivite potansiyelinin fazla olması sebebi ile bölgede yapılacak daha sonraki çalışmalar için yaptığımız bu çalışma referans bir çalışma olmuştur,

4. Proje kapsamında kullanılan diğer bir yöntem olan MT yöntemindeki statik kayma gürültüsünü gidermek için gerekli olan veriler elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Akartuna M., Armutlu Yarımadasının Jeolojisi, *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri*, 1968, **20**, 42-58.

Anderson W. L., Numerical Integration of Related Hankel Transforms of Orders 0 and 1 by Adaptive Digital Filtering, *Geophysics*, 1979, **44**(7), 1287-1305.

Auken E., Christianson A. V. E., Jacobsen L. H., Sørensen K. I., A Resolution Study of Buried Valleys Using Laterally Constrained İnversion of TEM Data, *Journal of Applied Geophysics*, 2008, **65**, 10-20.

Bargu S., Sakıc M., Armutlu Yarımadasında Kretase Paleosen İlişkisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 1987, **30**, 41-48.

Buselli G., O'Neill B., SIROTEM: A New Portable İnstrument for Multichannel Transient Electromagnetic Measurements, *Exploration Geophysics*, 1977, **8**, 82-87.

Candansayar M. E., Doğru Akım Özdirenç Yöntemi, Mühendislik Jeofiziği Uygulamaları, *Jeofizik Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, 53-114, 2005.

Ertekin C., Armutlu Yarımadası Kuzey Kesiminin Jeolojisi, Genç Tektoniği ve Bölgenin Jeotermal Kaynakları, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 2007, 177857.

Frischknecht F.C., Raab P.V., Time-Domain Electromagnetic Soundings at The Nevada Test Site, *Geophysics*, 1984, **49**(7), 981-992.

Göçmez B. D., Jeolojik Faktörlerin Kentsel Planlamaya Etkisi: Yalova Termal Yerleşmesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 166506.

Işık H. B., Yalova Termal Kaynakların Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007, 178629.

Jackson D. D., Interpretation of Inaccurate, Insufficient and Inconsistent Data, *Geophysical Journal of The Royal Astronomical Society*, 1972, **28**(2), 97-109.

Jorgensen F., Sandersen P.B.E., Auken E., Lykke-Andersen H., Sorensen K., Contributions to The Geological Mapping of Mors, a Study Based on a Large-Scale Tem Survey, *Bulletin of The Geological Society of Denmark*, 2005, **52**, 53-75.

Kalscheuer T., Commer M., Helwig S. L., Hördt A., Tezkan B., Electromagnetic Evidence for an Ancient Avalanche Caldera Rim on The South Flank of Mount Merapi, Indonesia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2007, **162**(1-2), 81-97.

Kaufman A. A., Keller G. V., *Frequency and Transient Soundings*, Elsevier Publishing, Amsterdam, 1983. Knight J. H., Raiche A. P., Transient Electromagnetic Calculations Using The Gaver - Stehfest İnverse Laplace Transform Method, *Geophysics*, 1982, **47**(1), 47-50,.

Kıyan D., Geçici Elektromanyetik ve Doğru Akım Özdirenç Yöntem Verilerinin Occam Ters Çözümü ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 252124.

Lines L., R., Treitel S., A Review of Least-Squares İnversion and İts Application to Geophysical Problems, *Geophysical Prospecting*, 1984, **32**(2), 159-186.

McNeill J. D., Use of Electromagnetic Methods for Groundwater Studies, *Geotechnical and Environmental Geophysics*, DOI: 10.1190/1.9781560802785.ch7.

Meju M. A., Simple Effective Resistivity-Depth Transformations for Infield or Real-Time Data Processing, *Computers and Geosciences*, 1995, **21**(8), 985-992.

Menke W., *Geophysical Data Analysis: Discrete İnverse Theory*, 3rd ed., Academic Press, New York, 1984.

Önder F., Göncüoğlu M. C., Armutlu Yarımadasında (Batı Pontidler) Üst Triyas Konodontları, *MTA Dergisi*, 1989, **109**, 147-152.

Özürlan G., Ulugergerli E., *Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.

Pirttijärvi M., *Joint İnterpretation Of Electromagnetic And Geoelectrical soundings using 1-D Layered Earth Model*, University of Oulu Department of Physics, Oulu, 2010.

Raiche A. P., The Effect of Ramp Function Turn-Off on The Tem Response of Layered Earth, *Exploration Geophysics*, 1984, **15**, 37-41.

Ranieri G., TEM-Fast: A Useful Tool for Hydro-Geologist and Environmental Engineers, *Annali di Geofisica*, 2000, **43**, 1447-1458.

Sugeng F., Modelling The 3D TDEM Response Using The 3D Full-Domain Finite-Element Method Based on The Hexahedral Edge-Element Technique, *Exploration Geophysics*, 1998, **29**, 615-619.

Tezkan B., Geçici Elektromanyetik Yöntem, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 1982, **21**, 27-43.

URL – 1: http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx (Ziyaret tarihi: 1 Mayıs 2020).

URL – 2: https://mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari. (Ziyaret tarihi: 1 Mayıs 2020).

Ward S. H., Hohmann G. W., Electromagnetic Theory for Geophysical Applications, *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, 1988, **1**, 131-311.

EKLER

Ek-A Ölçü Lokasyonları

Tablo A.1. Termal İlçesi'ndeki TEM ölçüm istasyonlarının kot ve koordinatları.

İstasyon Adı	*Kuzey (WGS84)*	*Doğu (WGS84)*	*Kot (m)*
Referans	4490581,21080	679629,26320	398,00
TEM-MT-02S	4501116,36790	683035,94780	59,00
TEM-MT -07S	4500274,30950	683191,51450	47,00
TEM-MT -12S	4499795,96090	682801,99930	58,00
TEM-MT -03S	4500976,66140	684462,26300	67,00
TEM-MT -08S	4500420,30030	684207,51720	125,00
TEM-MT-13S	4499407,23200	684446,88300	117,00
TEM-MT-04S	4501186,21990	685532,98510	49,00
TEM-MT-09S	4500172,35900	685731,91590	149,00
TEM-MT-14S	4499841,68140	685901,68390	70,00
TEM-MT-05S	4500616,71280	686457,62700	157,00
TEM-MT-10S	4500512,79250	686772,64890	40,00
TEM-MT-15S	4499242,95500	686892,56510	65,00
TEM-MT-17S	4498770,65610	683500,53720	135,00
TEM-MT-18S	4498766,63530	684438,64110	119,00
TEM-MT-23S	4498164,83350	683925,75380	186,00
TEM-MT-16S	4498775,41000	682134,27310	116,00
TEM-MT-21S	4498249,24460	681891,51280	116,00
TEM-MT-22S	4497931,43080	682936,41770	198,00
TEM-MT-19S	4498518,66320	685990,33230	99,00
TEM-MT-20S	4499465,66060	687230,46670	96,00
TEM-MT-24S	4497949,63080	685934,57190	53,00
TEM-MT-25S	4498101,46830	686793,12630	38,00
TEM-MT-28S	4497132,15880	687106,30510	33,00
TEM-MT-31S	4496531,54950	686951,06560	47,00
TEM-MT-30S	4496591,12460	683526,19570	239,00
TEM-MT-32S	4495315,36130	682924,34800	377,00
TEM-MT-33S	4495251,28810	683458,15960	324,00
TEM-MT-01S	4500996,85160	681930,39390	112,00
TEM-MT-06S	4500338,69640	681877,38640	61,00
TEM-MT-11S	4499305,20890	681935,24400	82,00
TEM-MT-26S	4496572,52910	681536,66740	298,00
TEM-MT-27S	4497256,96330	683597,40760	198,00
TEM-MT-29S	4496423,87220	681878,26300	247,00
TEM-MT-34S	4495552,43930	685815,62350	120,00
TEM-MT-35S	4495140,69630	686896,35290	144,00
TEM-MT-36S	4497642,00000	685020,00000	107,00

Ek-B Seviyelerin Özdirenç Derinlik Bilgileri

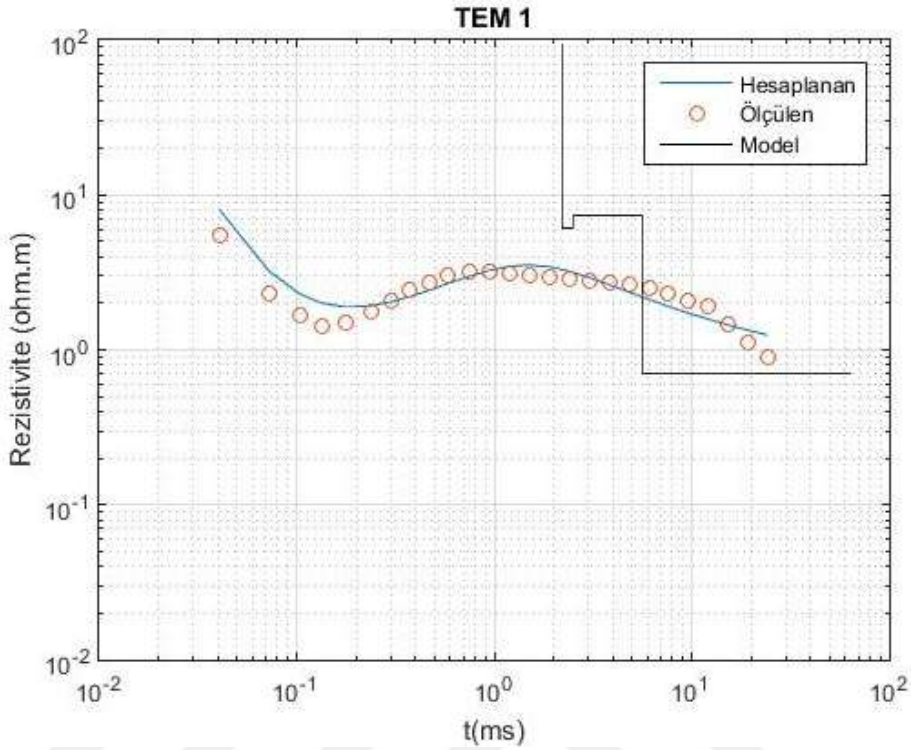
Tablo B.1. Seviyelerin özdirenç derinlik bilgileri.

Ölçü Noktası		1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye	5. Seviye	6. Seviye	7. Seviye
TEM 1	**Özdirenç**	20,4	24,21	158,17	0,7025	0,03		
	Derinlik	0,00	2,92	5,45	45,3	99,93		
TEM 2	**Özdirenç**	3,10	66	1123,9	5,9			
	Derinlik	0,00	7	8,4	46,2			
TEM 3	**Özdirenç**	171,48	1,33	3034,89	8,31	3,52		
	Derinlik	0,00	8,43	13,83	49,51	236,96		
TEM 4	**Özdirenç**	118,8	108,4	0,5	23,2	232	6,3	
	Derinlik	0,00	9,6	10,7	13,5	15	38,8	
TEM 5	**Özdirenç**	83,7	143,4	3,4	41,1	2,6		
	Derinlik	0,00	0,8	1,4	16,9	166,8		
TEM 6	**Özdirenç**	10,42	0,532	45,01	0,9669	5,28		
	Derinlik	0,00	6,62	9,41	44,39	50,65		
TEM 7	**Özdirenç**	4,00	1574	2,44	4,04	0,51		
	Derinlik	0,00	29,48	59,65	78,35	190,12		
TEM 8	**Özdirenç**	21,50	149,3	5,3	180,9	0,1	7106,9	
	Derinlik	0,00	1,8	2,8	26,3	75,6	77	
TEM 9	**Özdirenç**	19,90	165	2,6	0,1			
	Derinlik	0,00	56,8	83,6	131			
TEM 10	**Özdirenç**	236,70	3,87	87,8	2437,79	7,76	0,86	
	Derinlik	0,00	2,49	12,12	13,45	55,31	219,17	
TEM 11	**Özdirenç**	1,89	19,19	336,23	106,87	5,24		
	Derinlik	0,00	12,28	13,89	26,31	36,47		
TEM 12	**Özdirenç**	228,30	216,1	2,9	872,4	4		
	Derinlik	0,00	3,1	5,6	14,6	48		
TEM 13	**Özdirenç**	51,50	124,3	4,1	158,9	3,6	0,4	32,5
	Derinlik	0,00	1,6	2,8	14,8	45,2	216,1	241,42
TEM 14	**Özdirenç**	435,25	1,32	691,63	4,88	87,63	0,91	
	Derinlik	0,00	4,97	10,44	42,52	137,59	162,06	
TEM 15	**Özdirenç**	24,80	49,2	0,9	7,6	0,6		
	Derinlik	0,00	0,2	0,3	1,7	201		
TEM 16	**Özdirenç**	512,50	182,9	968,2	0,5	5,3		
	Derinlik	0,00	1,3	2,5	9,8	12,5		
TEM 17	**Özdirenç**	116,56	0,918	448,91	1,05	12,15		
	Derinlik	0,00	8,24	12,74	65,55	72,84		
TEM 18	**Özdirenç**	42,70	132,7	54,1	0,6	135,1	1,1	5,8
	Derinlik	0,00	2,3	3,5	13	16,1	54,9	63

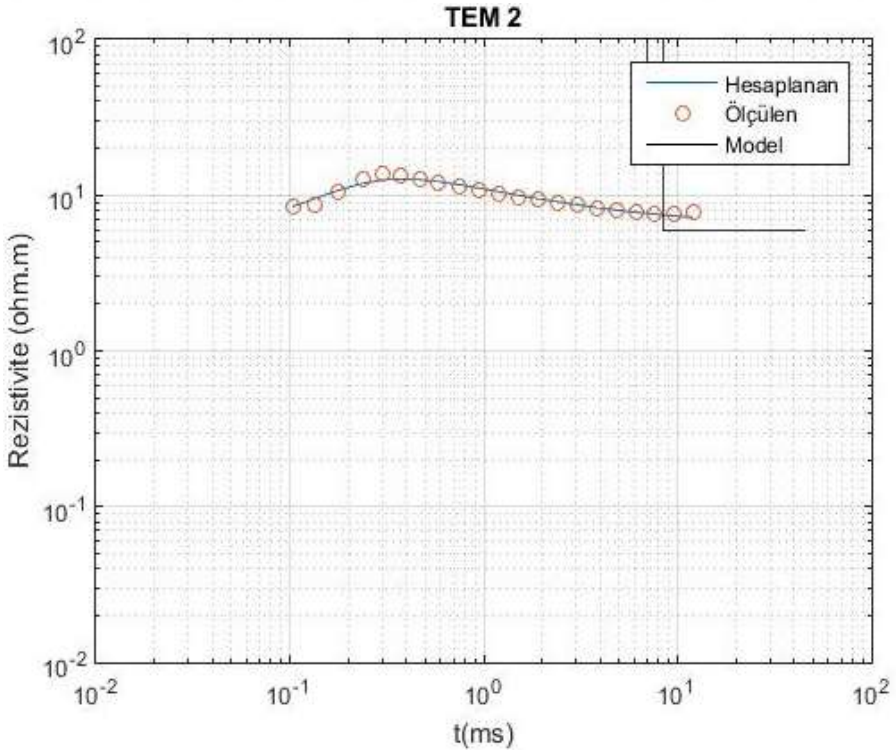
Tablo B.1. (Devam) Seviyelerin özdirenç derinlik bilgileri

Ölçü Noktası		1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye	5. Seviye	6. Seviye	7. Seviye
TEM 19	**Özdirenç**	122,30	173,9	5	24,1	5,9	2,5	
	Derinlik	0	0,6	1,2	17,3	45,2	205,1	
TEM 20	**Özdirenç**	31,4	114,2	1,1	14,3	3,7	0,5	
	Derinlik	0	5,1	7,2	10	130,3	256,2	
TEM 21	**Özdirenç**	108,1	10,1	0,7	431,5	0,8	8	
	Derinlik	0	5	7,1	10	58,6	65,3	
TEM 22	**Özdirenç**	302,9	135,4	1,5	4307,4	9,5		
	Derinlik	0	3,5	4,8	9,9	68,2		
TEM 23	**Özdirenç**	71,98	145,4	1,01	326,64	4,71		
	Derinlik	0	2,34	4,29	6,45	58,48		
TEM 24	**Özdirenç**	109,7	535,1	2,2	159,8	4,5	22,3	
	Derinlik	0	2,3	5,5,	15,5	31,2	152,4	
TEM 25	**Özdirenç**	6,46	2,9	74,19	2,09	0,5239	0,08	
	Derinlik	0	4,52	14,31	46,46	101,37	142,98	
TEM 26	**Özdirenç**	1741,16	0,304	41021	0,08			
	Derinlik	0	5,81	8,97	60,87			
TEM 27	**Özdirenç**	585,4	392,6	1,4	7855,9	8,9		
	Derinlik	0	3,7	5,8	10,7	69,6		
TEM 28	**Özdirenç**	58,02	97,83	5,09	261,61	2,45	13,59	0,04
	Derinlik	0	3,24	3,91	26,94	48,4	68,75	205,88
TEM 29	**Özdirenç**	2662,48	0,475	25446	0,0191	79,52		
	Derinlik	0	3,55	7,59	74,76	76,98		
TEM 30	**Özdirenç**	500	0,318	38,73				
	Derinlik	0	85,96	247,29				
TEM 31	**Özdirenç**	55,776	101,2	0,013	208,69	200		
	Derinlik	0	12,14	14,62	14,7	241,54		
TEM 32	**Özdirenç**	12,6	43,35	0,7098	26002	0,64		
	Derinlik	0	0,078	0,16	1,45	277,15		
TEM 33	**Özdirenç**	91,9	184,4	3853,8	2,8			
	Derinlik	0	95,1	97,5	206,8			
TEM 34	**Özdirenç**	0,0039	2,96	427,62	10370,4	436,1	529,24	0,03
	Derinlik	0	0,007	0,142	6,98	64,005	201,06	222,5
TEM 35	**Özdirenç**	0,001	607,3	2,64	0,18			
	Derinlik	0	0,001	220,77	274,64			
TEM 36	**Özdirenç**	46,17	0,527	130,21	1,11	5,6		
	Derinlik	0	8,08	10,53	44,65	51,08		

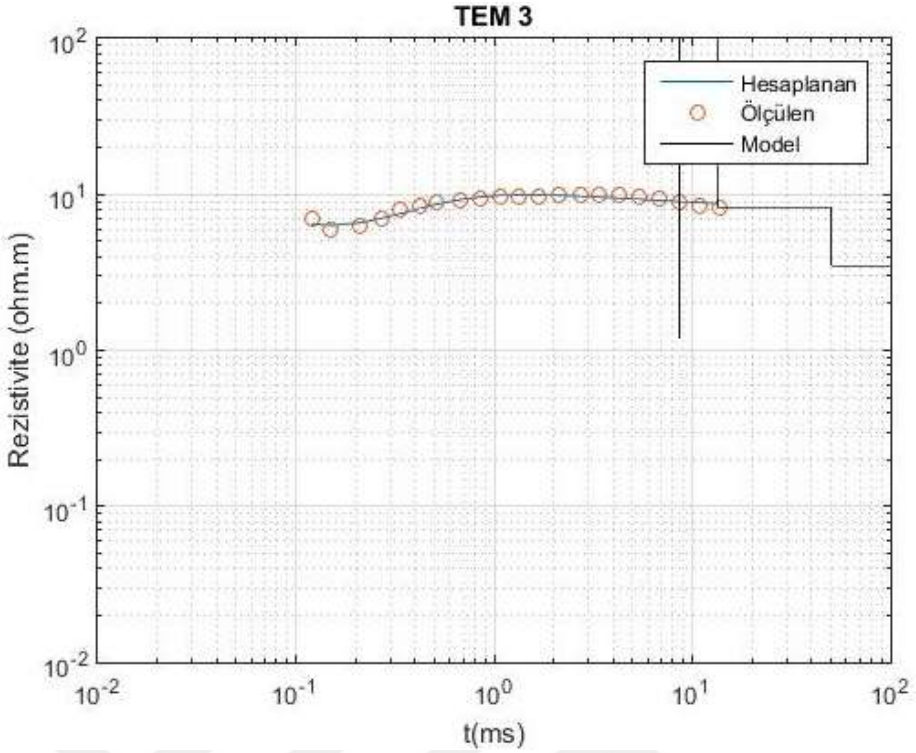
Ek-C JOINTEM Programı Ters Çözüm Sonuçları



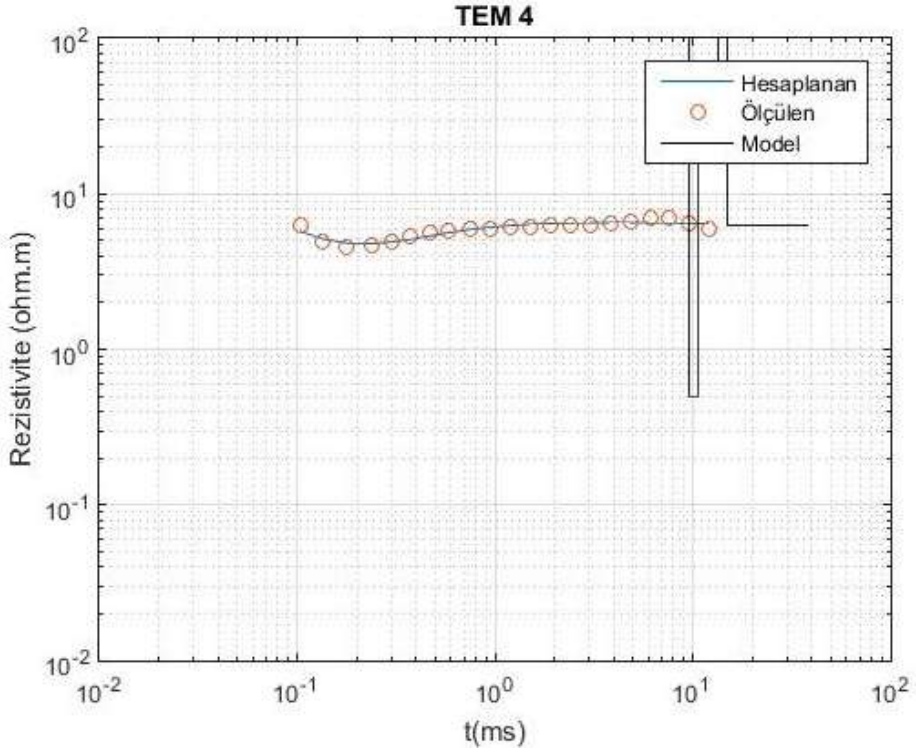
Şekil C.1. 1 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: %7.9).



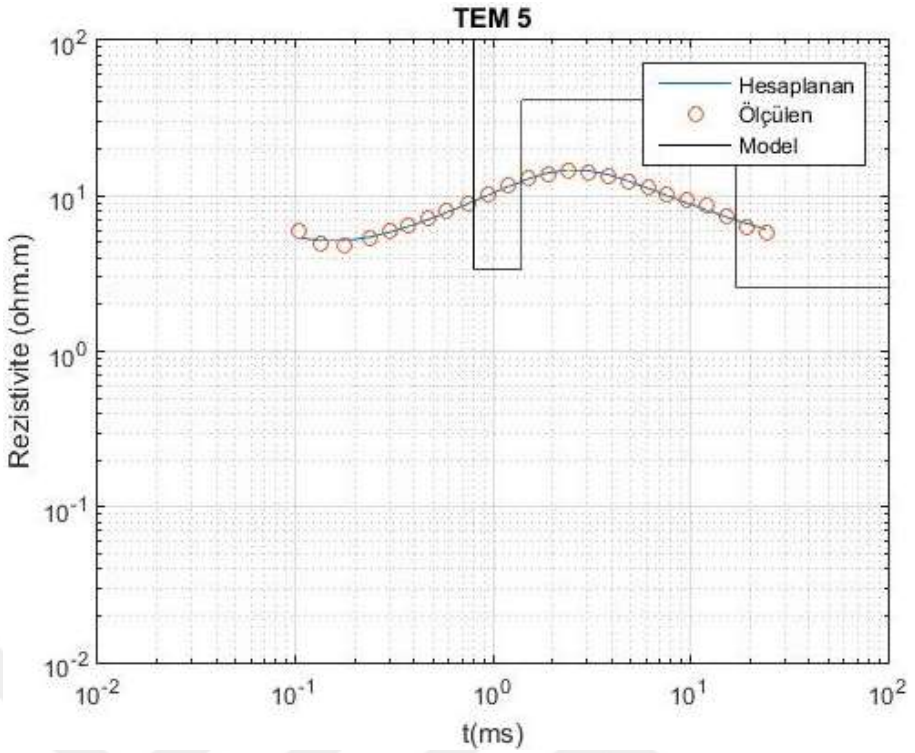
Şekil C.2. 2 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 6.7).



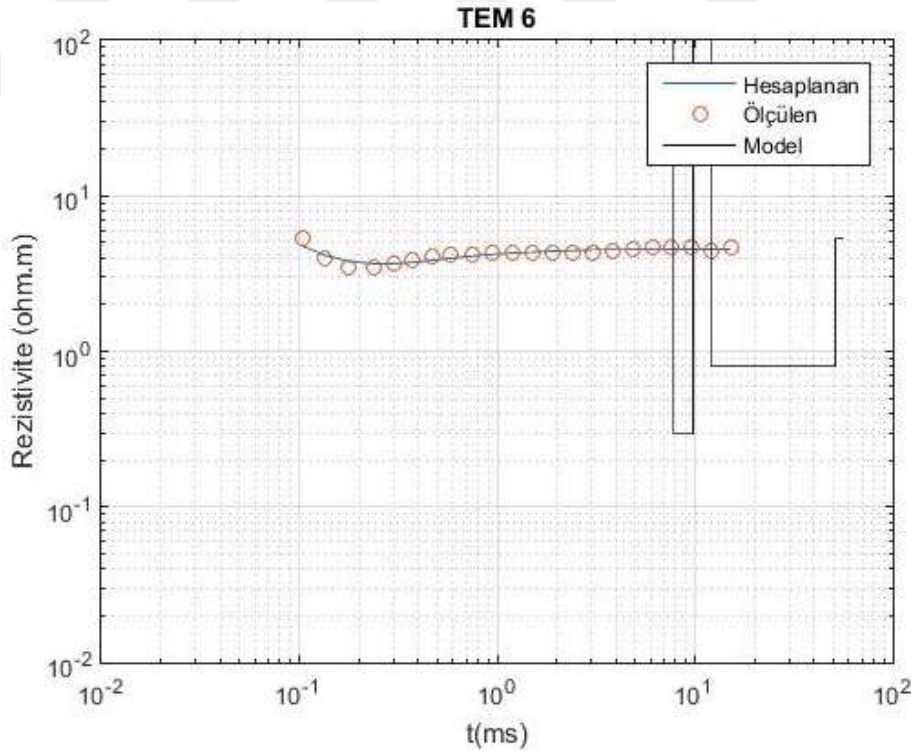
Şekil C.3. 3 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 7.4).



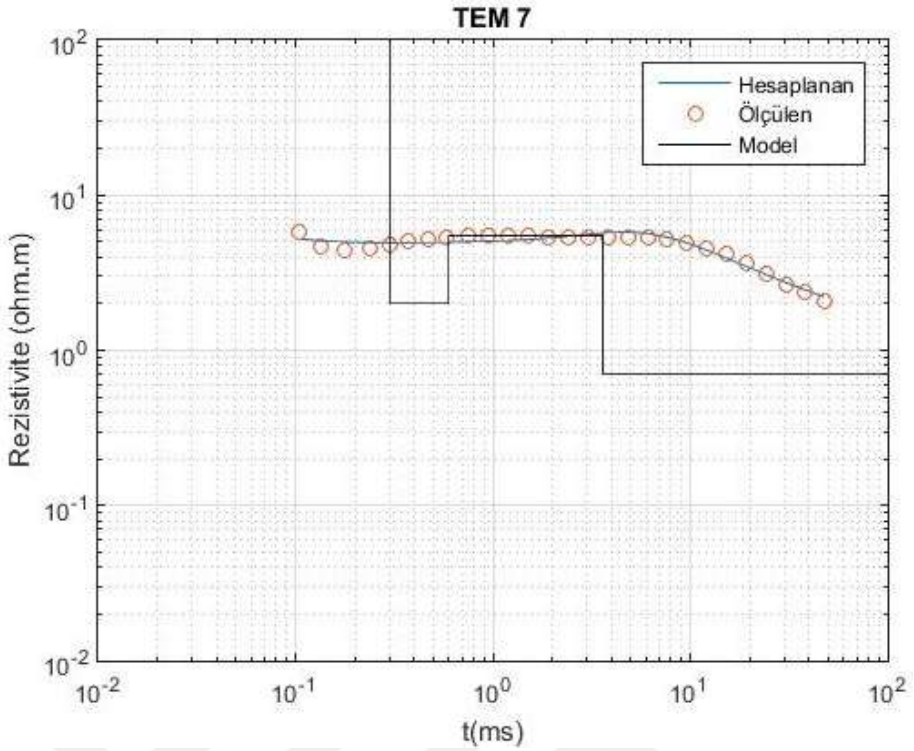
Şekil C.4. 4 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 6.9).



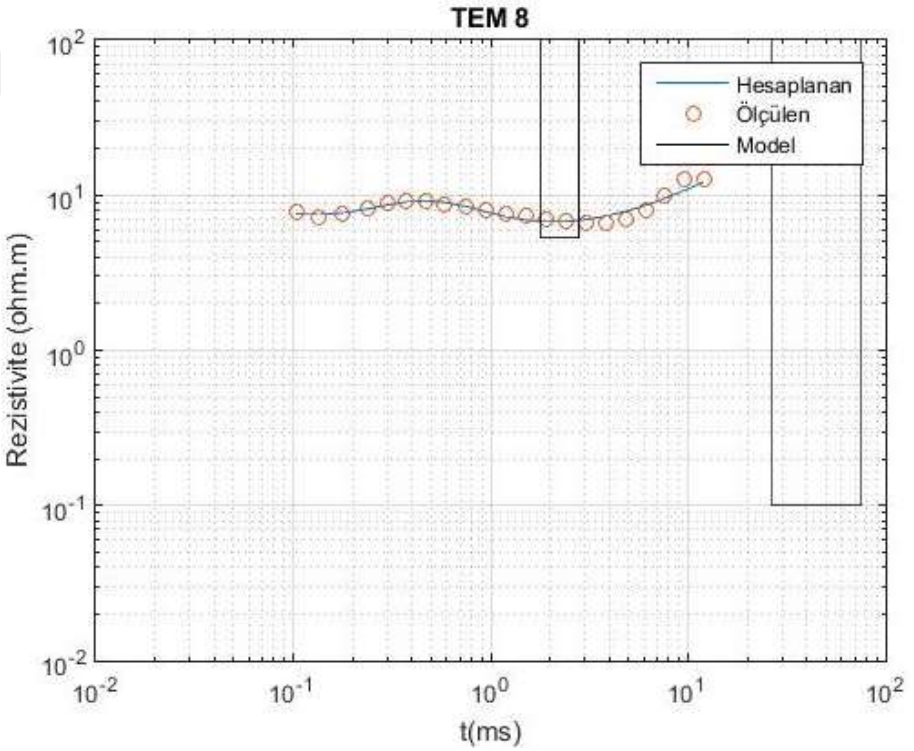
Şekil C.5. 5 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 3.6).



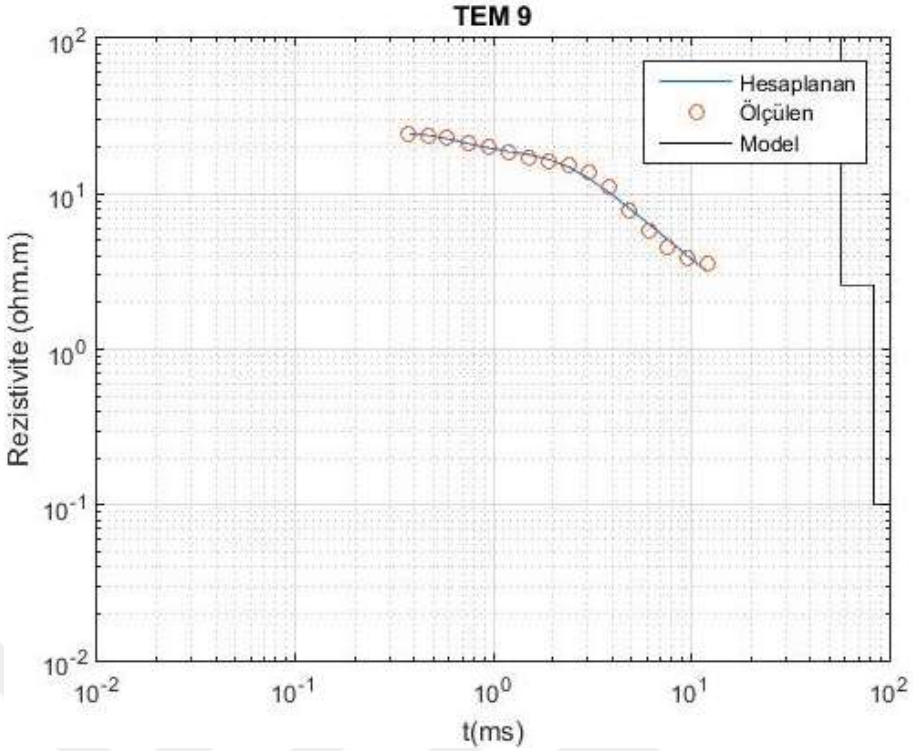
Şekil C.6. 6 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 7.9).



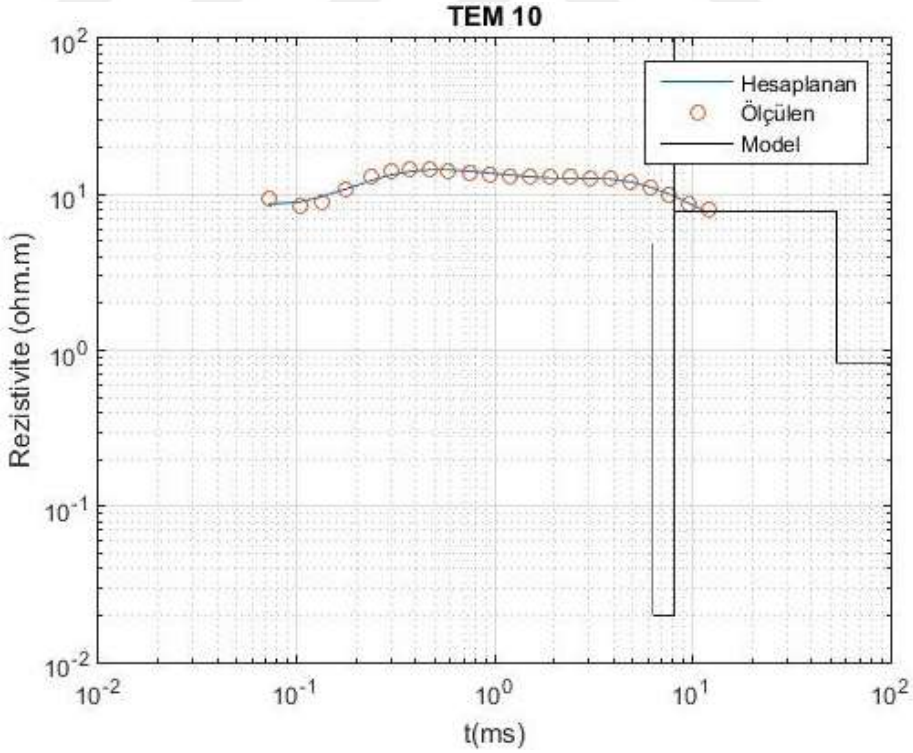
Şekil C.7. 7 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 5.7).



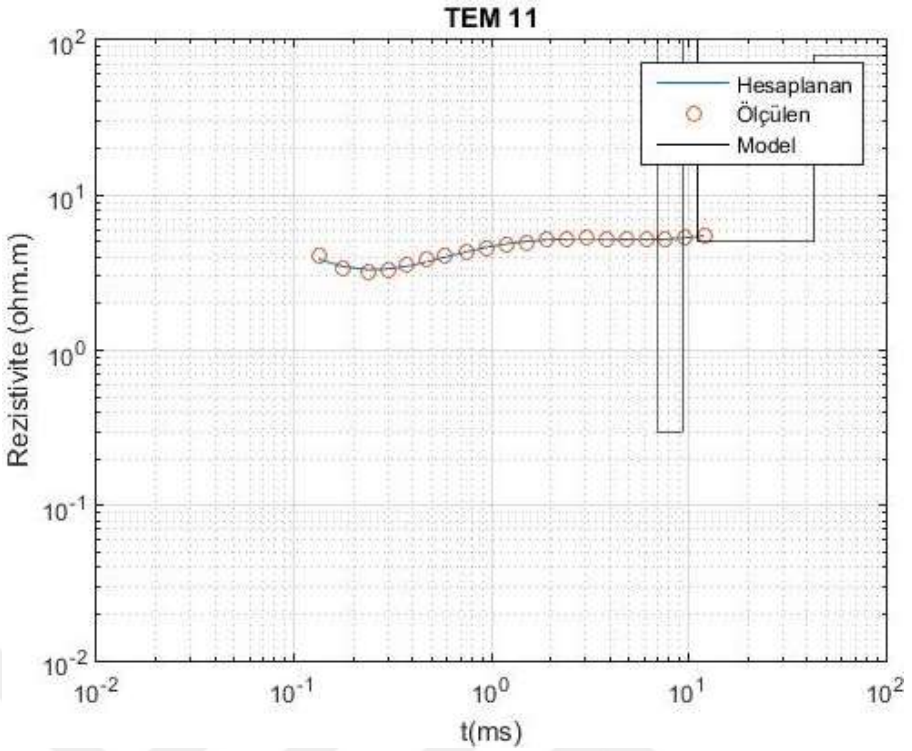
Şekil C. 8. 8 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 8.0).



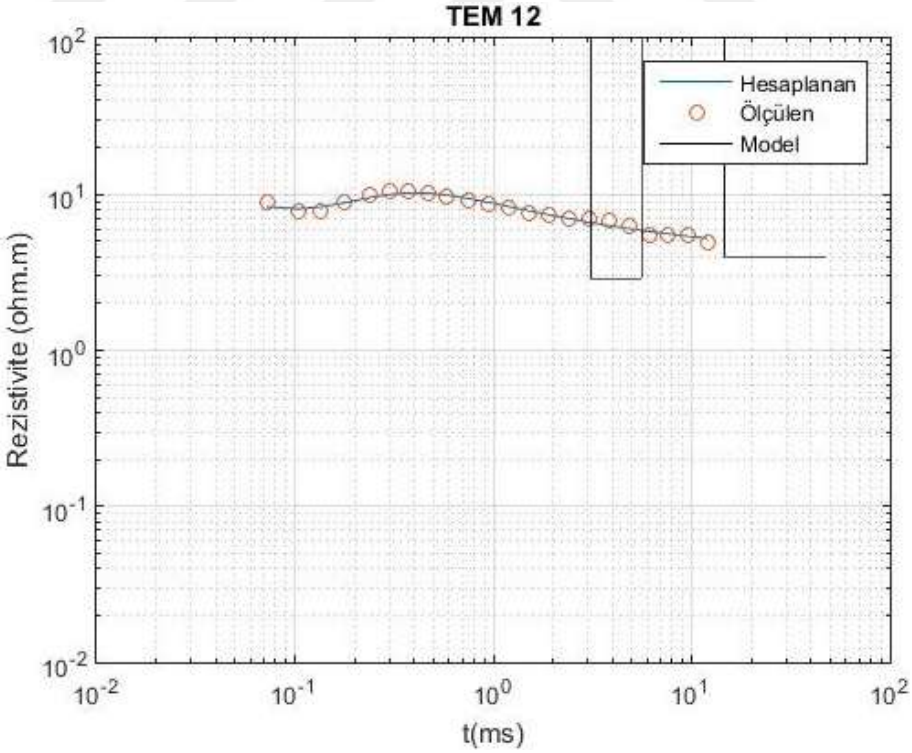
Şekil C.9. 9 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 3.1).



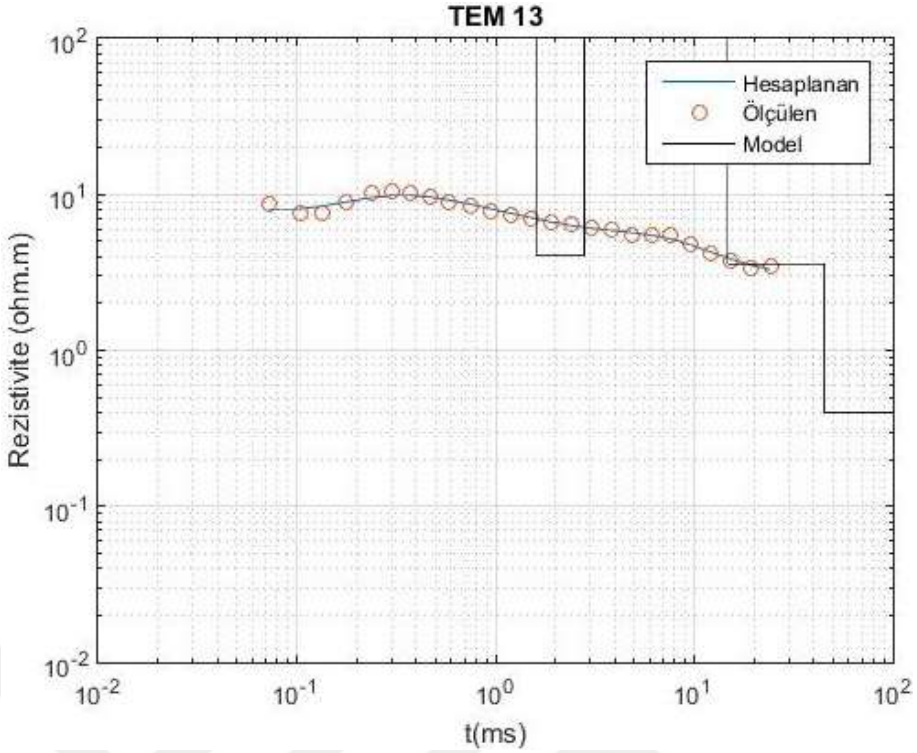
Şekil C.10. 10 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 6.8).



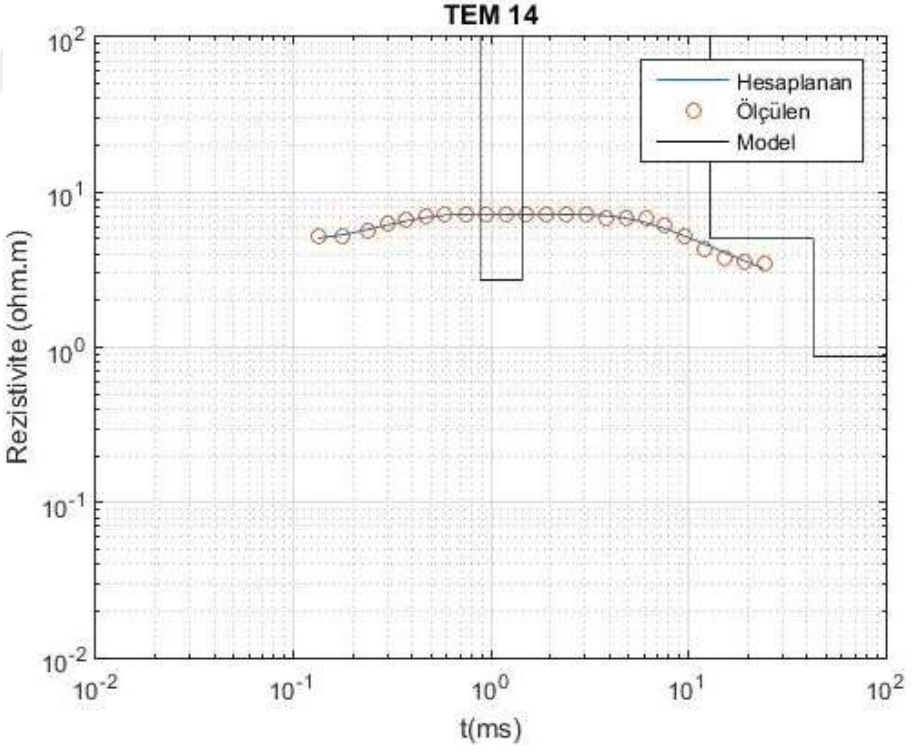
Şekil C. 11. 11 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 4.7).



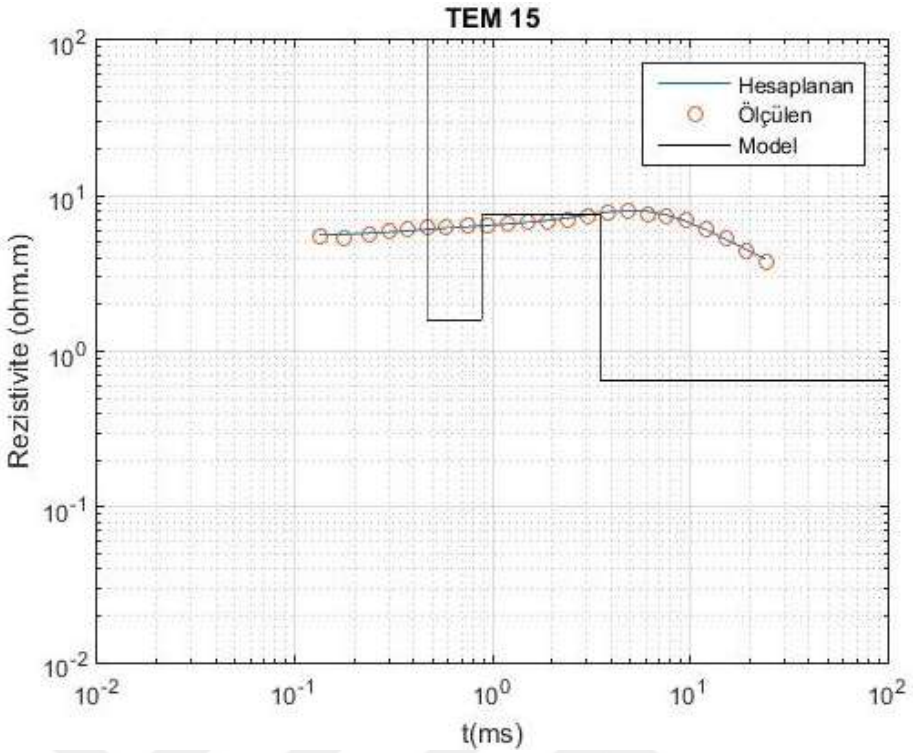
Şekil C. 12. 12 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 5.5).



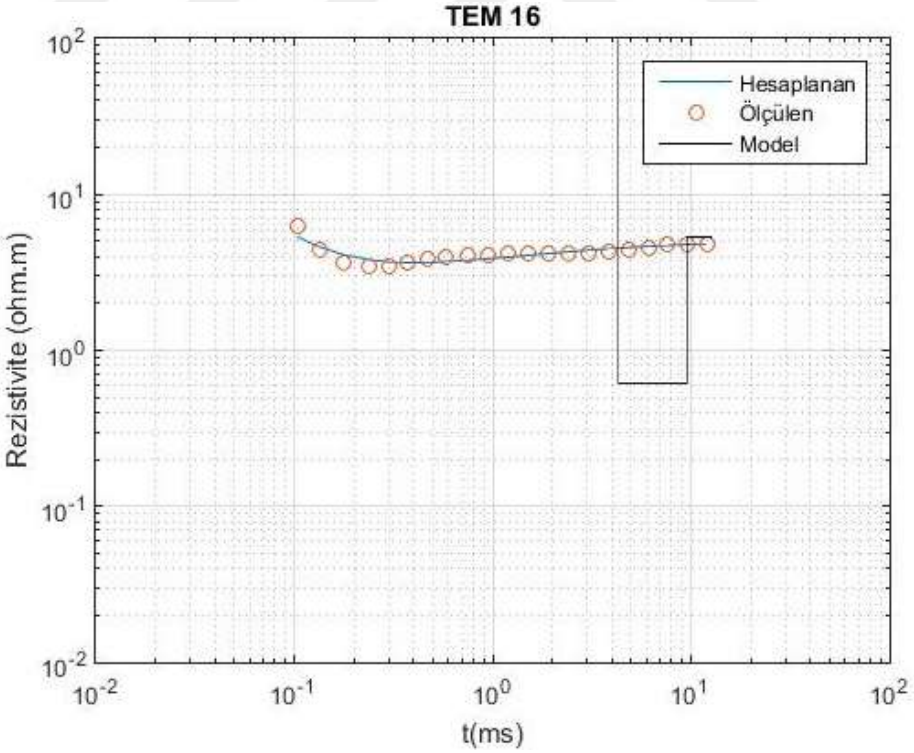
Şekil C.13. 13 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 6.9).



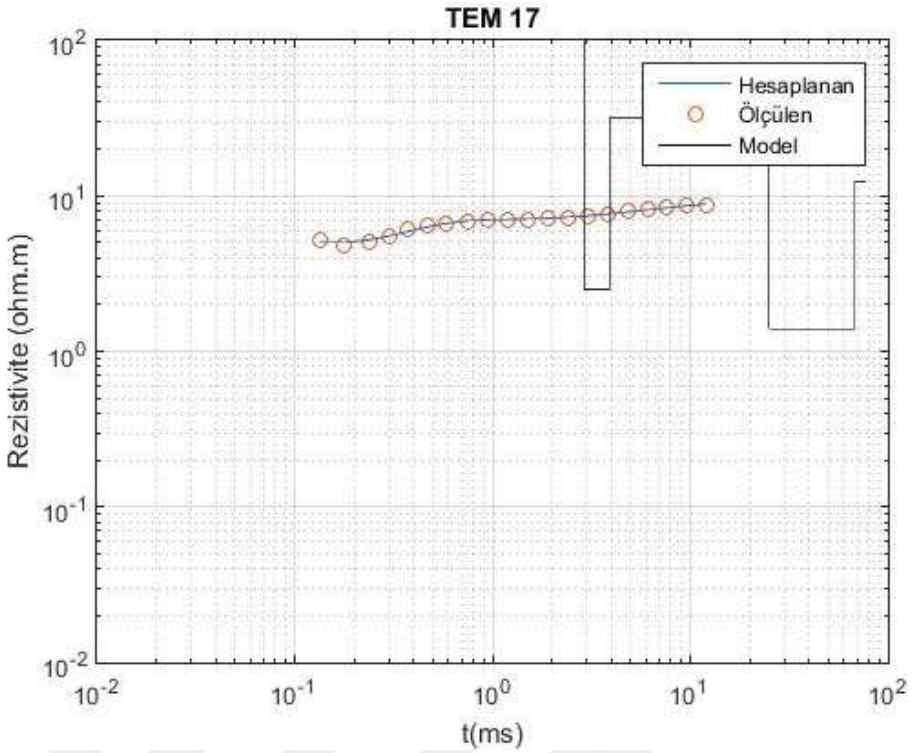
Şekil C.14. 14 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 8.5).



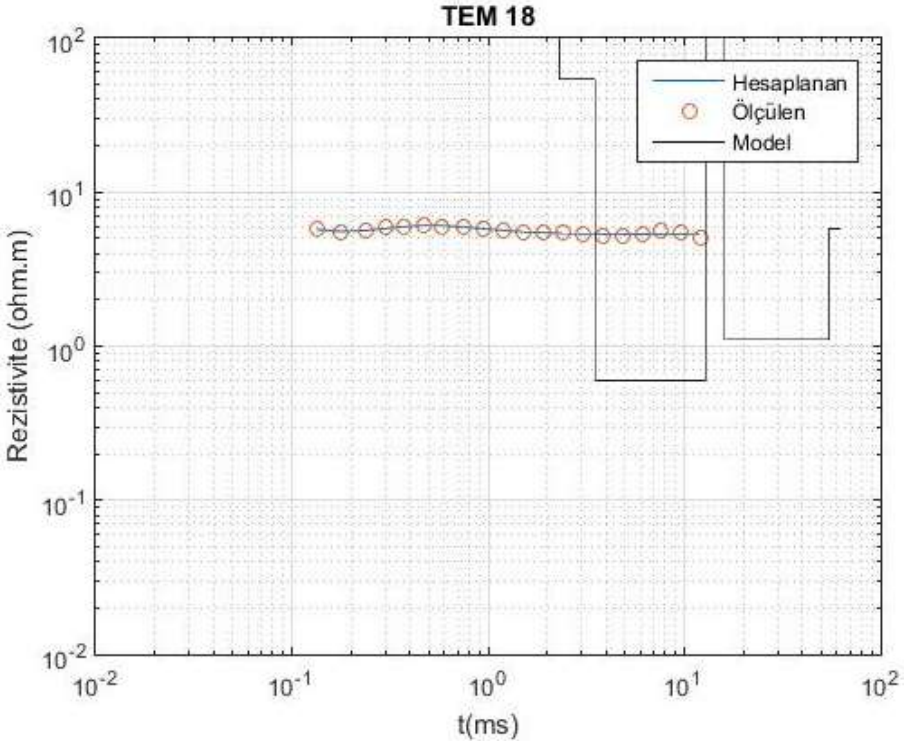
Şekil C.15. 15 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 2.7).



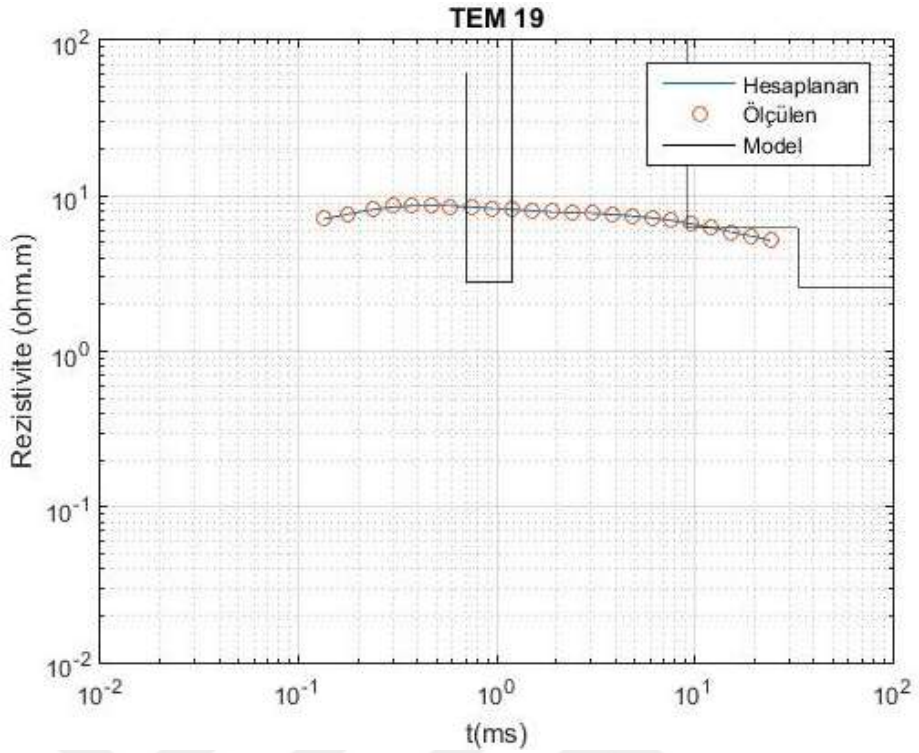
Şekil C.16. 16 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 9.6).



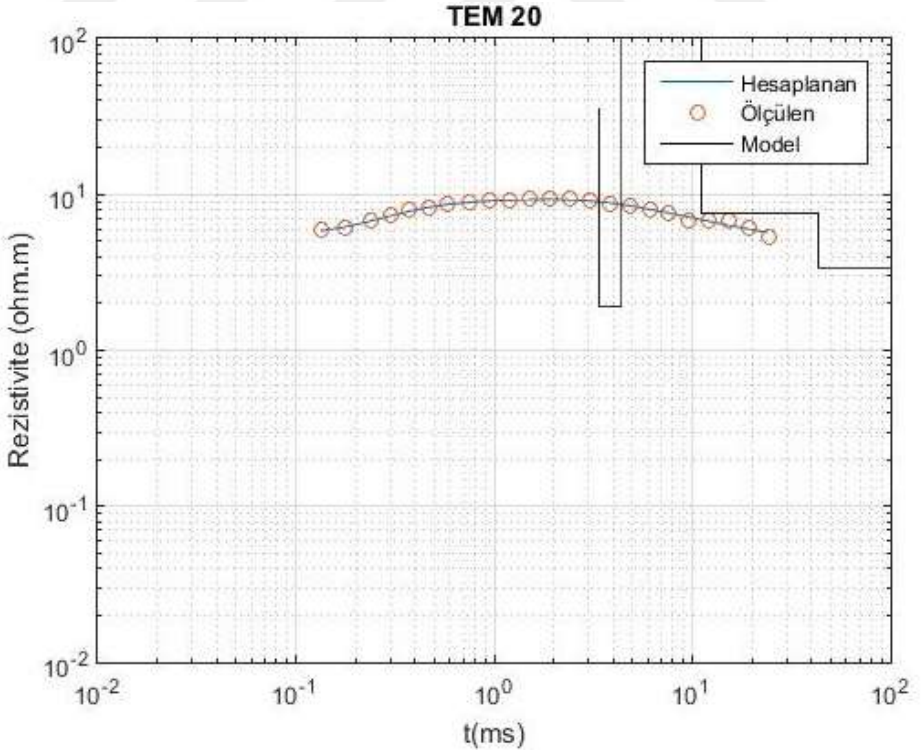
Şekil C.17. 17 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 3.2).



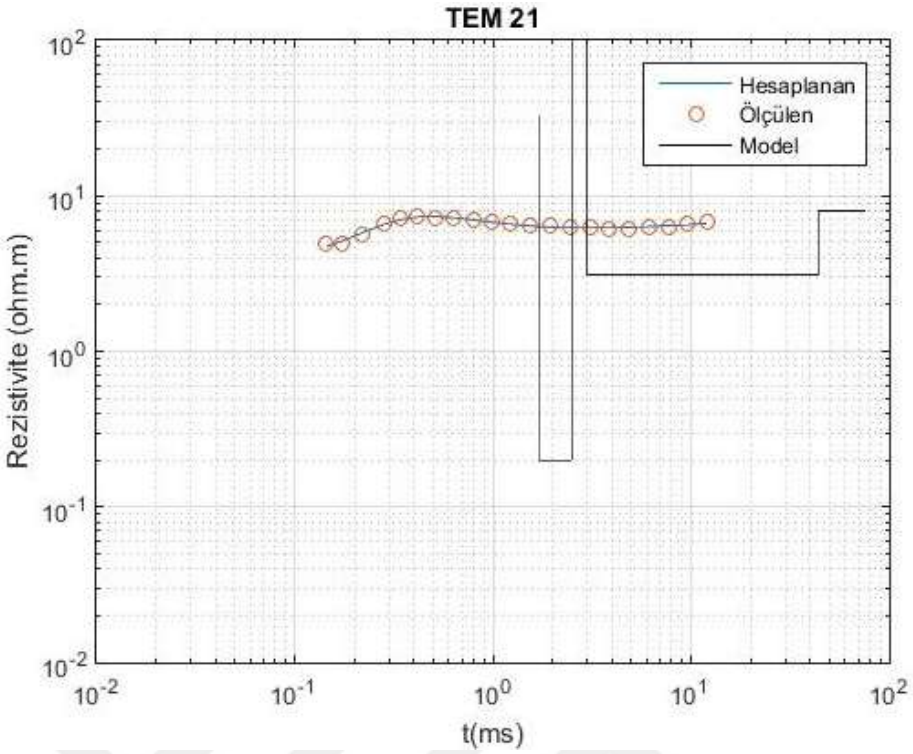
Şekil C.18. 18 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 8.1).



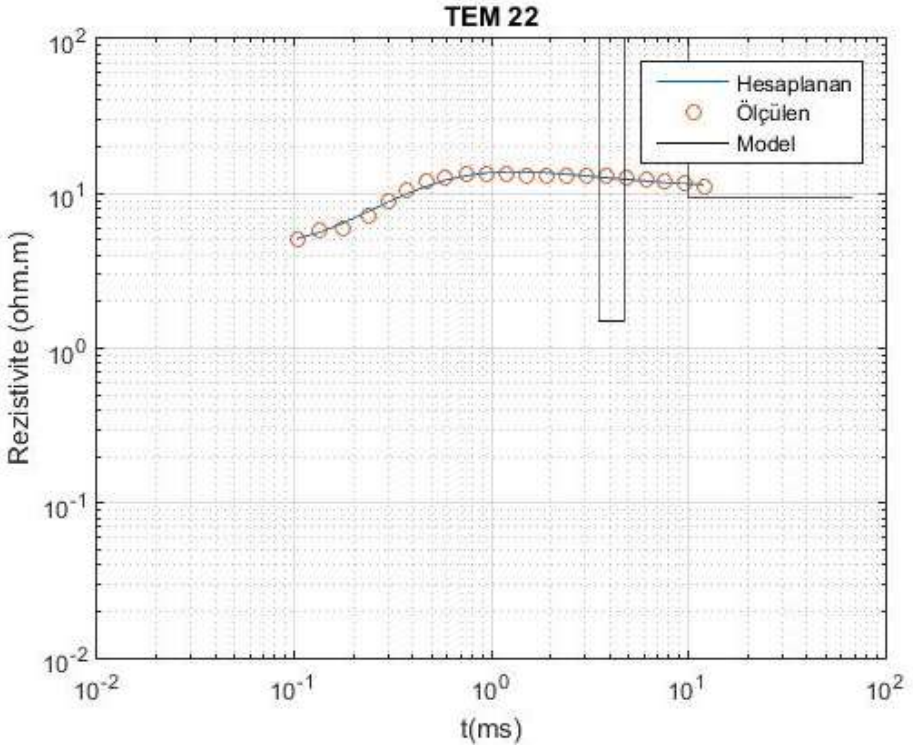
Şekil C.19. 19 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu(RMS: % 3.4).



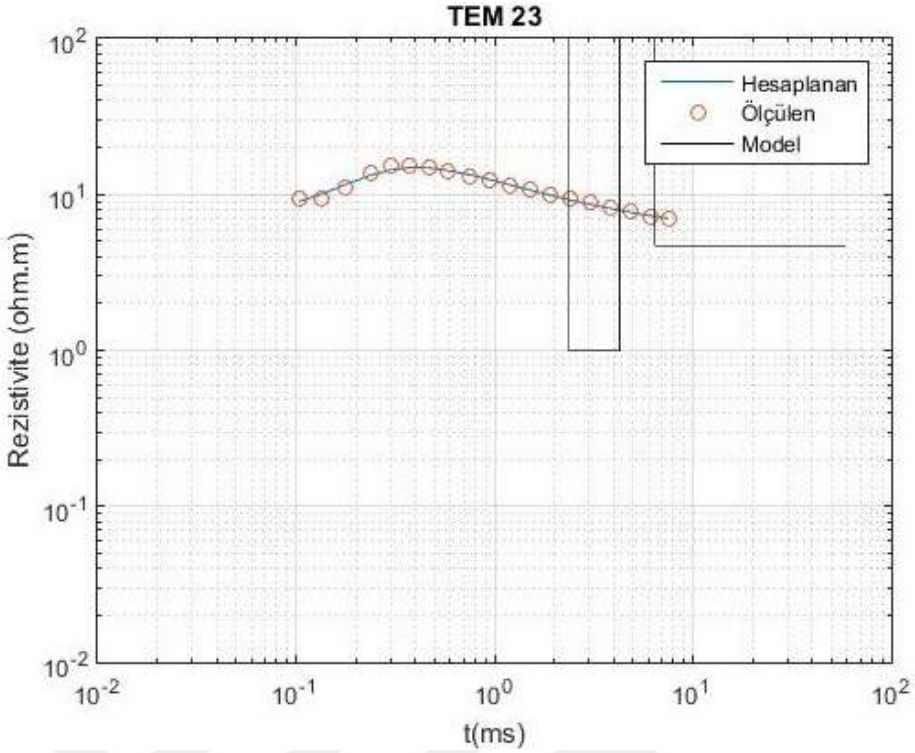
Şekil C.20. 20 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 7.0).



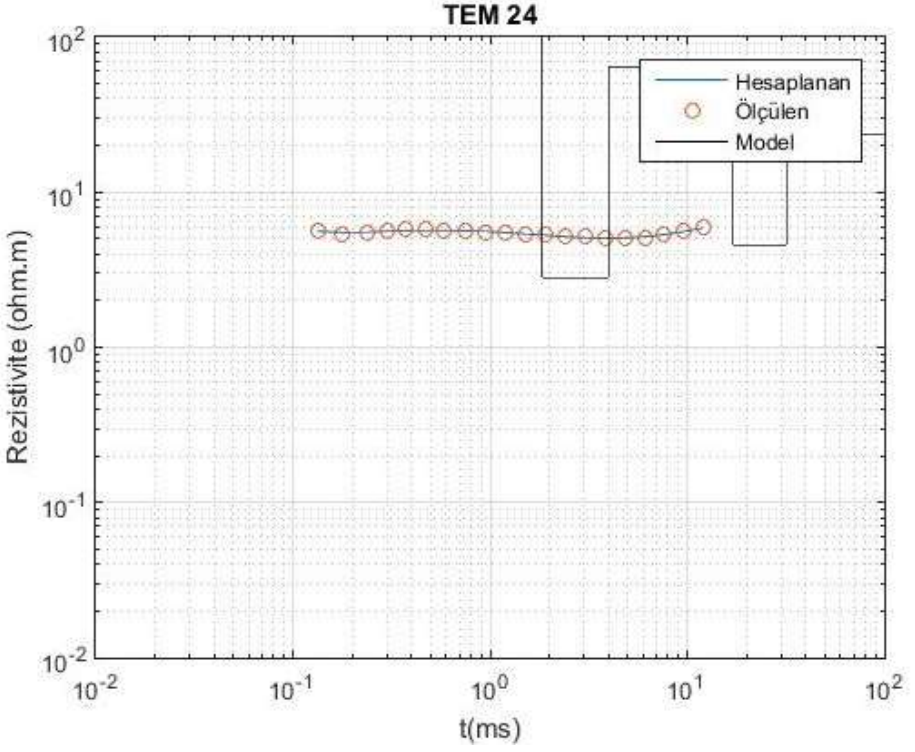
Şekil C.21. 21 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 9.8).



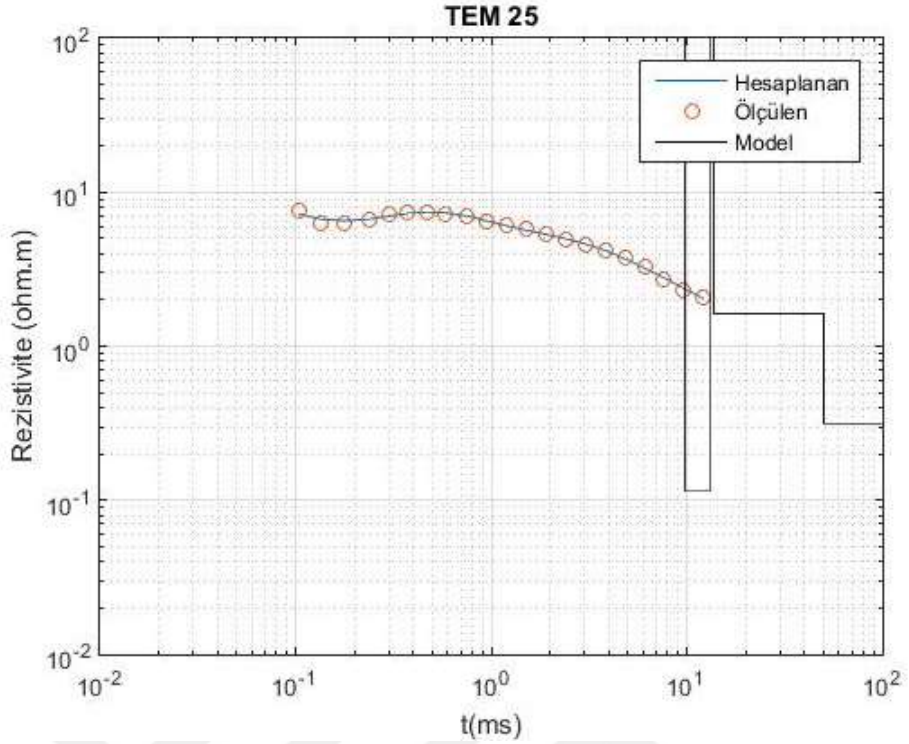
Şekil C.22. 22 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 7.1).



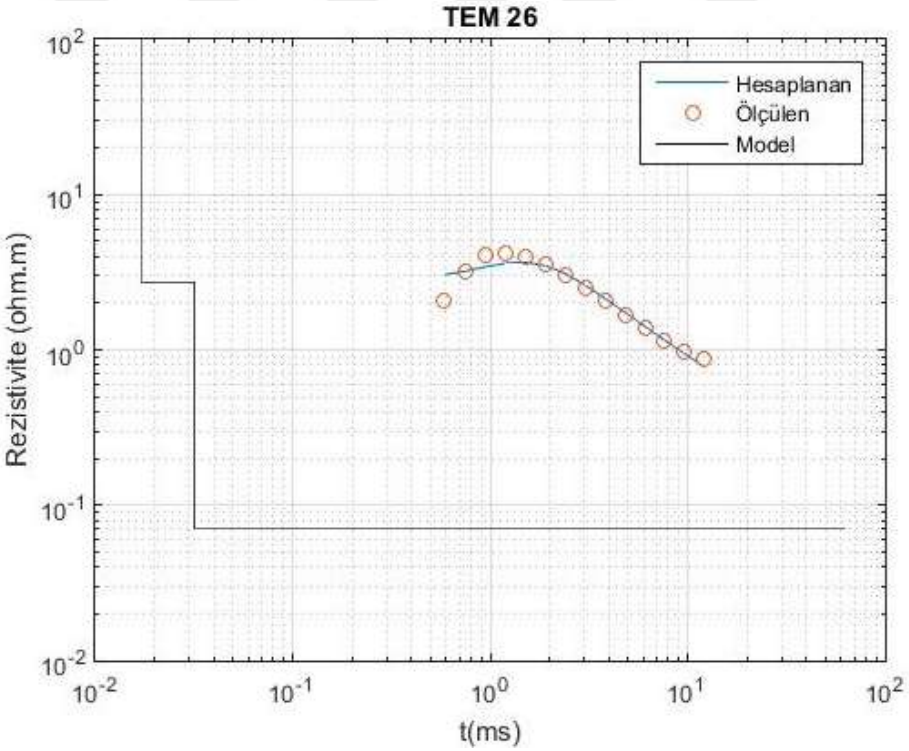
Şekil C.23. 23 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 5.3).



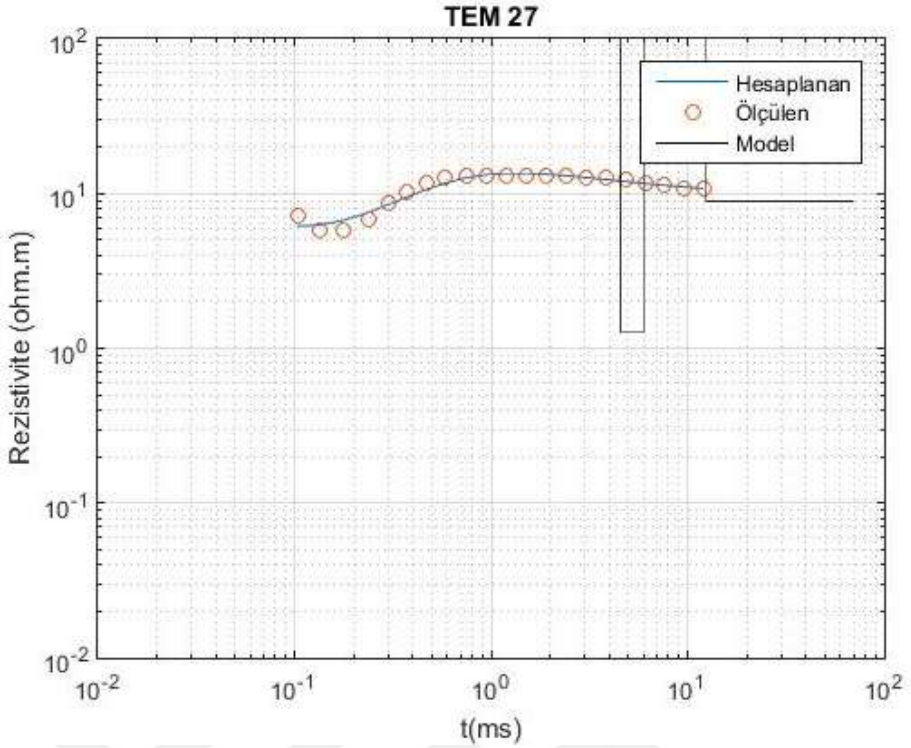
Şekil C.24. 24 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 9.9).



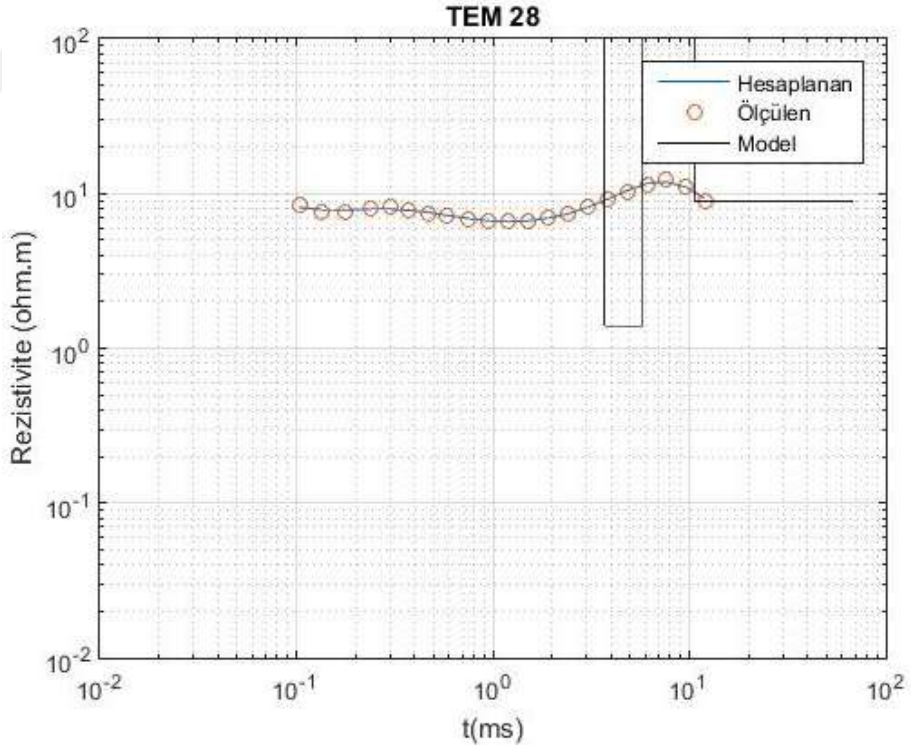
Şekil C.25. 25 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 2.4).



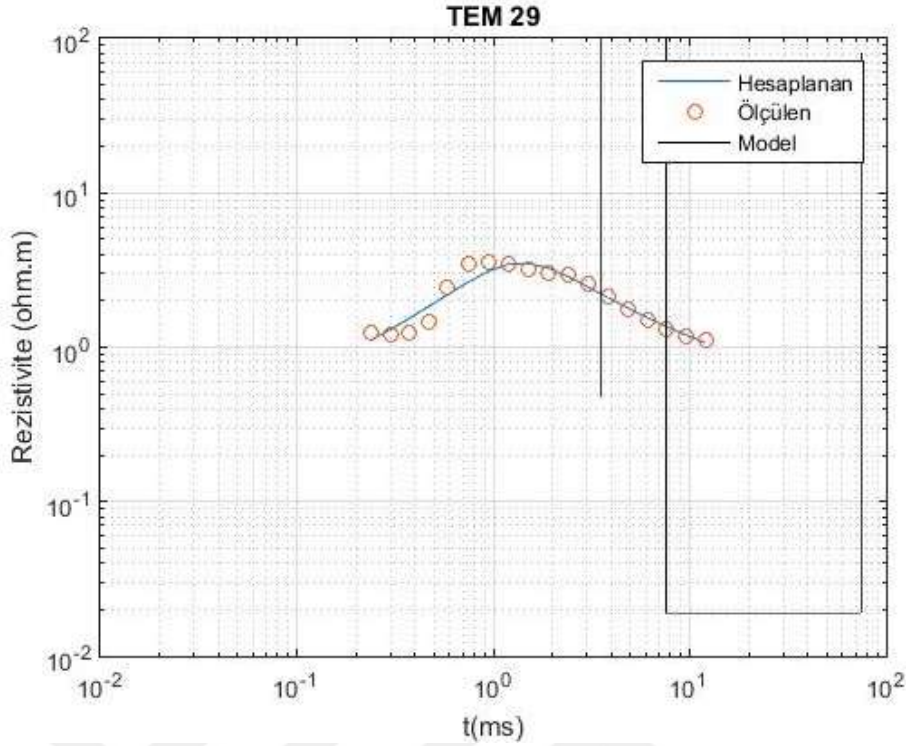
Şekil C.26. 26 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 4.2).



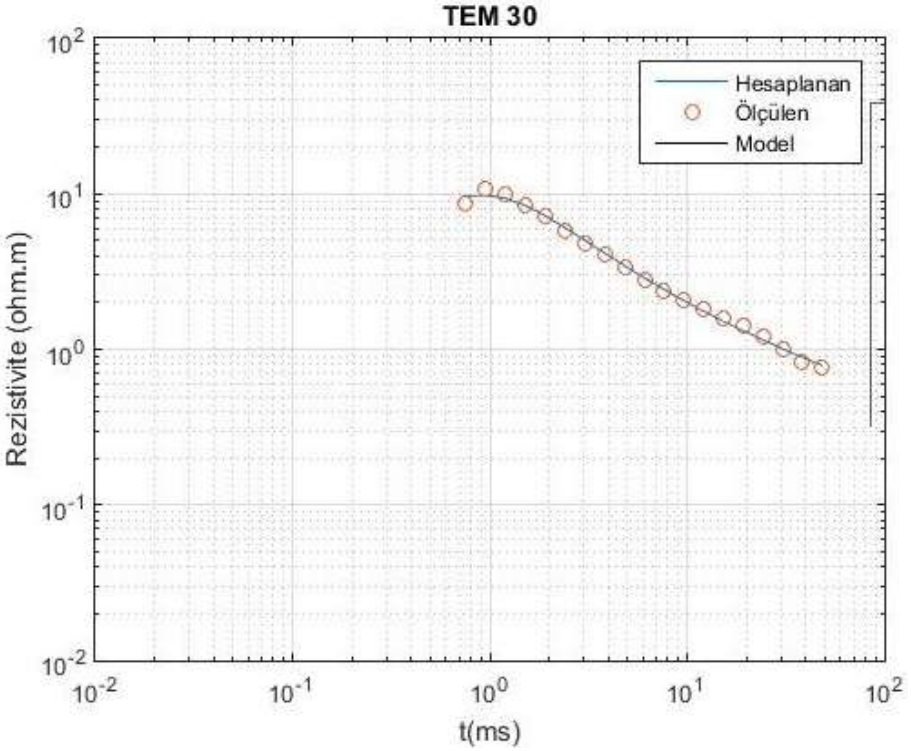
Şekil C.27. 27 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 7.9).



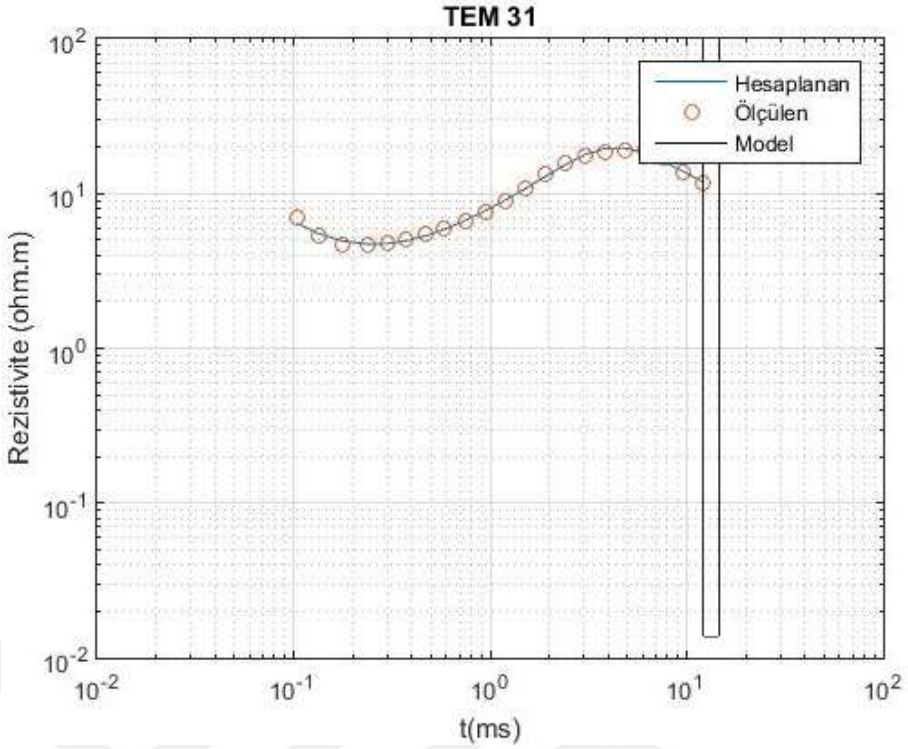
Şekil C.28. 28 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 3.7)



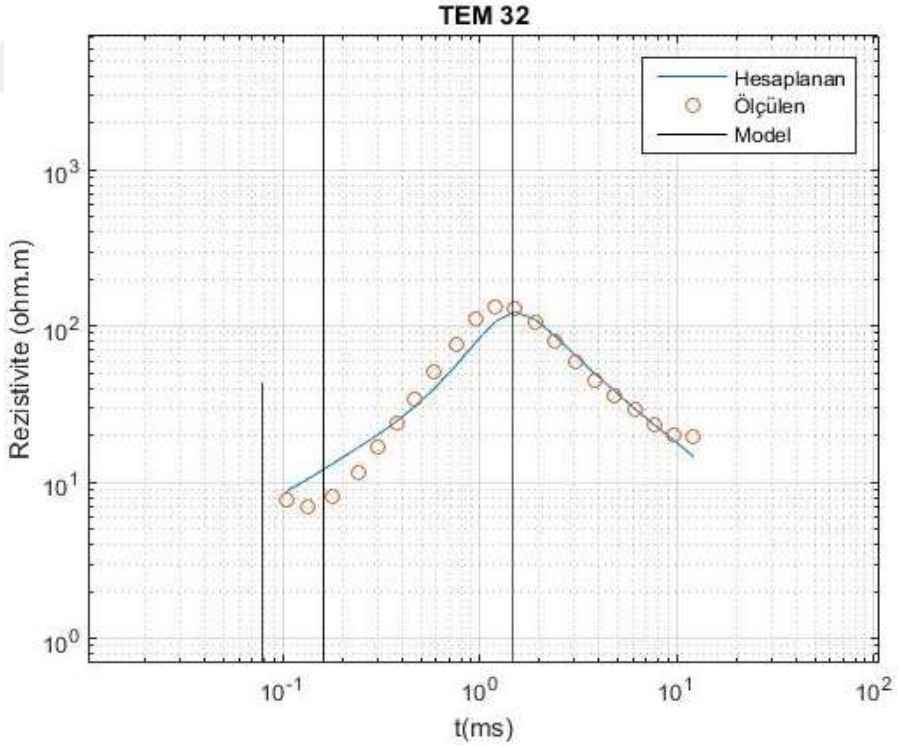
Şekil C.29. 29 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 8.7)



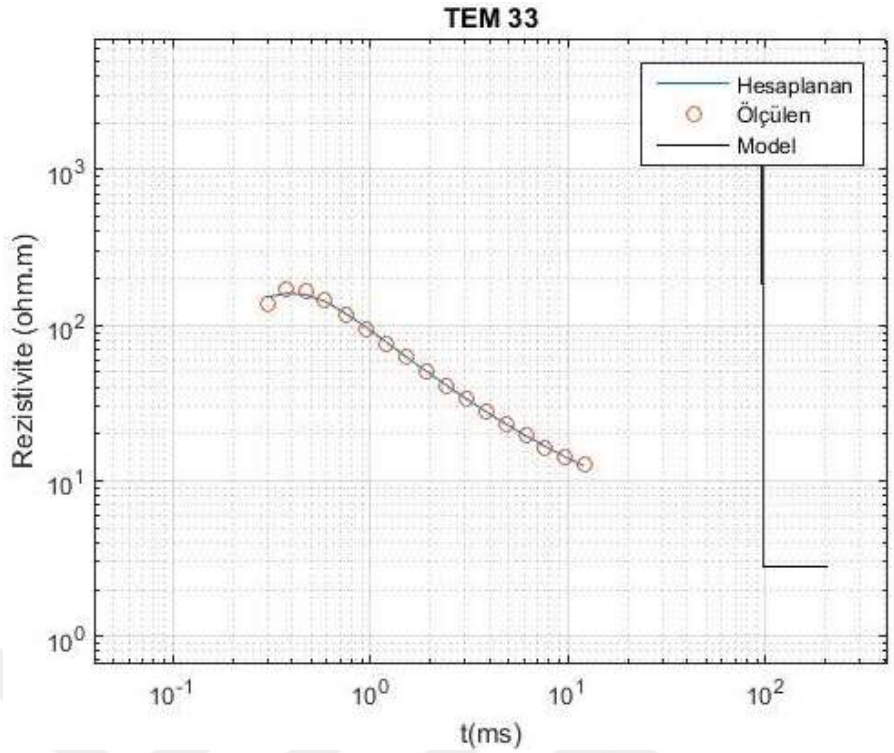
Şekil C.30. 30 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 2.6)



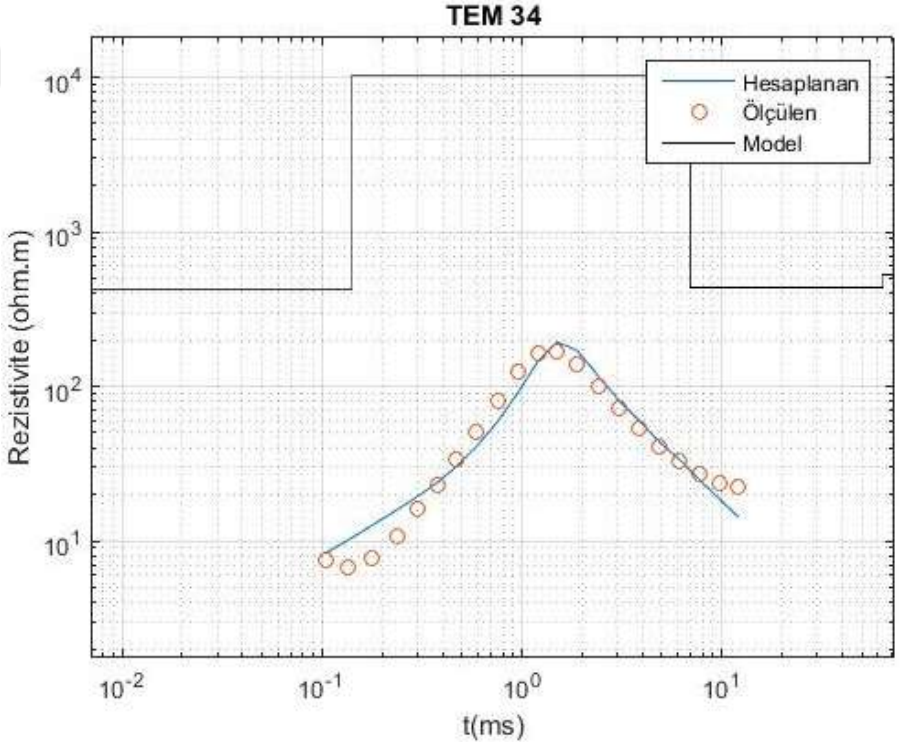
Şekil C.31. 31 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 2.4)



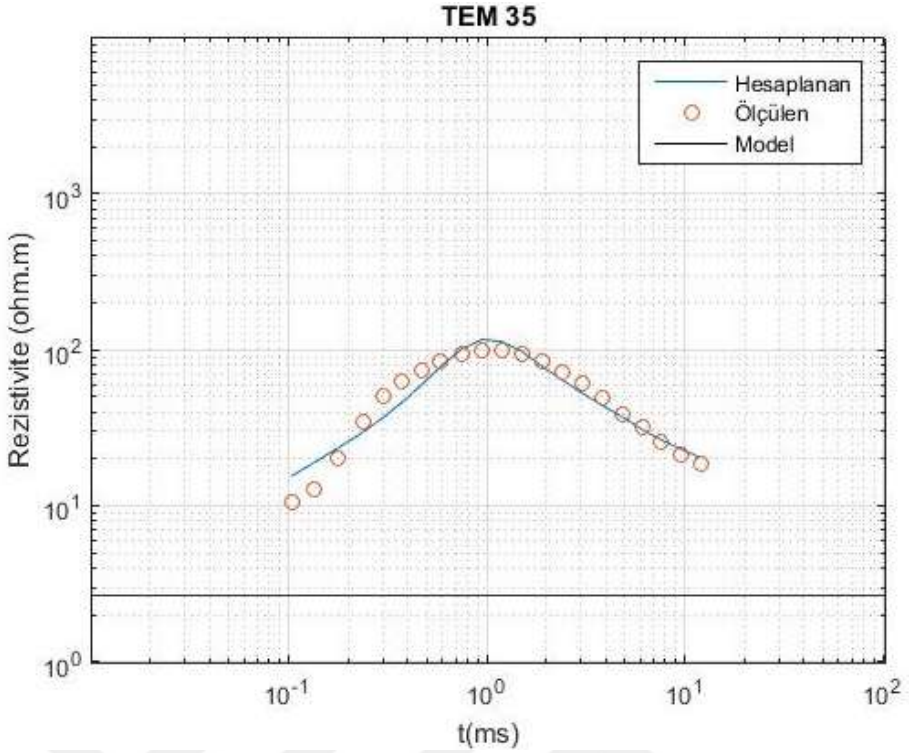
Şekil C.32. 32 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 6.7).



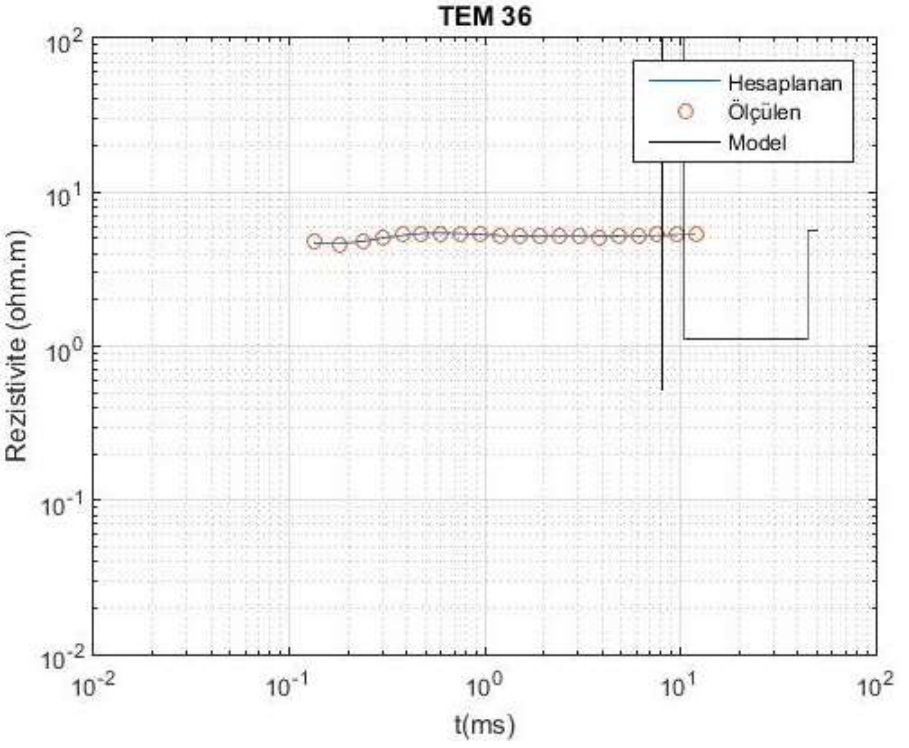
Şekil C.33. 33 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 0.9).



Şekil C.34. 34 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 8.8).



Şekil C. 35. 35 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 8.2)



Şekil C. 36. 36 nolu TEM ölçüsünün ters çözüm sonucu (RMS: % 8.9).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Çimen Eren D., Balun B., **Eren E**., Çanga Y.Ü., Teknolojik Afetlerin Gelişiminde Özel Bir Alan: Kimyasal Kökenli Kazalar, *Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 2-4 Mart 2016.

Balun B., Genç G., Erbay G., **Eren E**., Ulusal Düzey Türkiye Afet Müdahale Planı (Tamp) Alt Uzantısına Bir Örnek: "Taşkın" Olayı Kapsamında Karabük Afet Müdahale Planı (Karabük Tamp) Yeteneklerinin Test Edilmesi, *4. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, Rize Türkiye, 21-24 Kasım 2016.

Eren E, Pekşen E., Geçici Elektromanyetik Yöntem İle Termal İlçesi Ve Civarının Sığ Kesimlerinin Özdirenç Yapısının Araştırılması , *4. Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, Kayseri, Türkiye, 16-17 Ekim 2020.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini Misak-ı Milli İlköğretim Okulu'nda, ortaöğrenimini Safranbolu Anadolu Lisesi ve lise öğrenimini ise Ankara Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2002 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında lisans derecesini aldı. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

2011 yılından beri Karabük İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde Jeofizik Mühendisi olarak çalışmaktadır.