

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL - TUZLA BÖLGESİNİN YERELEKTRİK
SÜREKSİZLİKLERİNİN ELEKTRİK VE ELEKTROMANYETİK
YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Ayça Sultan ARDALI**

Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2005

**İSTANBUL - TUZLA BÖLGESİNİN YERELEKTRİK
SÜREKSİZLİKLERİNİN ELEKTRİK VE ELEKTROMANYETİK
YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Ayça Sultan ARDALI
Enstitü No : 505031406**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Temmuz 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gülçin ÖZÜRLAN
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Tolga YALÇIN
Yrd. Doç. Dr. Turgay İŞSEVEN**

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'ndaki Jeofizik Mühendisliği Programı için Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışma konusunu öneren tez danışmanım, Sayın Doç. Dr. Gülçin ÖZÜRLAN'a, çalışmalarımı başından beri destekleyen tavrı, yüksek lisans öğrenimi ve tezin hazırlanması sırasında göstermiş olduğu yönlendirici ve değerli katkıları için içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışma alanının jeolojik bilgilerine ulaşmamda, jeoloji harita ve kesitlerin hazırlanmasında bana yol gösteren Yrd. Doç. Dr. Tolga Yalçın'a teşekkür ederim.

Tezin oluşum sürecinde arazi çalışmalarına katılan değerli arkadaşlarım Y.Müh. Erşan Türkoğlu, Y.Müh. Volkan Tuncer, Müh. Müge Koray, Y.Müh. Mehmet Recep, Y.Müh. Ümit Avşar, Deniz Erol, Batuhan Çağın'a, abim Elekt.Y.Müh. Arda Ardali'ya, Tuzla bölgesinde yapılan doğru akım öz direnç verilerini sağlayan Tuzla Belediyesi ve Hidrotek firmasına teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen bütün öğretmenlerime ve bugüne kadar her türlü fedakarlığa katlanarak beni yetiştiren, maddi ve manevi desteği sağlayan aileme, teşekkür ederim.

Mayıs, 2005

Ayça Sultan ARDALI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa no</u>
KISALTMALAR	
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	x
2. DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ	1
2. 1 Görünür Özdirencin Hesaplanması	3
3. GEÇİCİ ELEKTROMANYETİK YÖNTEM	5
3. 1 Görünür Özdirencin Hesaplanması	6
3. 2 Araştırma Derinliği	8
4. ÇOK ALÇAK FREKANS ELEKTROMANYETİK YÖNTEM	10
4. 1 Polarizasyon Parametreleri	11
4. 2 Verilerin Süzgeçlenmesi	13
4. 3 Araştırma Derinliği	15
5. İSTANBUL -TUZLA BÖLGESİ YERELEKTRİK SÜREKSİZLİKLERİNİN ELEKTRİK ELEKTROMANYETİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI	17
5. 1 Tuzla Bölgesi Jeolojisi	
5. 2 Tuzla Bölgesinde Uygulanan Jeofizik Yöntemler	20
5. 3 Tuzla Bölgesindeki Jeofizik Verilerin Değerlendirilmesi	23
5. 3. 1 DES ve çok kanallı TEM delgi verilerinin sunumu	25
5. 3. 2 Çok kanallı TEM verilerinin kaydırma eğrileri biçiminde gösterimi ve VLF-EM kaydırma verileriyle ortaklaşa yorumu	26
5. 3.3 DES ve TEM verilerinin yatay katman (ters çözüm) yaklaşımıyla değerlendirilmesi	28
5. 3. 4 VLF-Elektromanyetik kaydırma verilerinin değerlendirilmesi	35
5. 3. 5 Tuzla elektrik ve elektromanyetik verilerinin ortak yorumu	41
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	43
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	48
	51

KISALTMALAR

AC	: Alternating Current
DC	: Direct Current
DES	: Düşey Elektrik Sondaj
EC	: Electrical Conductivity
emk	: Elektromotor Kuvvet
TDEM	: Time Domain Electromagnetics
TEM	: Transient Electromagnetic Method
TOT	: Turn Off Time
VLF-EM	: Very Low Frequency Electromagnetic Method
DAÖ	: Doğru Akım Özdirenç
VES	: Vertical Electric Sounding
HLEM	: Horizontal Loop Electromagnetic Method

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1: VLF verici istasyonları listesi (McNeill ve Labson, 1988).....	11
Tablo 5.1: Tuzla bölgesinde yapılan ölçümler.....	22
Tablo 5.2: TEM-4 ve DES-10 verilerinin ortak ters çözüm sonuçları.....	37
Tablo 5.3: TEM-6 ve DES-14 verilerinin ortak ters çözüm sonuçları.....	38

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Schlumberger elektrot dizilimi. (AB/2, akım elektrotları arasındaki uzaklığın, MN/2 gerilim elektrotları arasındaki uzaklığın yarısını göstermektedir)	5
Şekil 3.1 : TEM yöntemi ile en sık kullanılan dizilim şekilleri. a) Tek halka (Single loop). b) iç içe iki halka (Coincident loop). c) Merkezi halka (In loop). d) Ayrık iki halka (Separate loop), (T _X : Verici (Transmitter), R _X : Alıcı (Receiver)).....	6
Şekil 3.2 : Verici halkadaki akım(a); uyarılan emk (b); kaydedilen gerilim(c) Krivochieva ve Chouteau, 2002).....	7
Şekil 3.3 : Vericideki akım kesildikten sonra uyartım akımlarının zaman ilerledikçe yer içindeki yayını (McNeill, 1990).....	8
Şekil 3.4 : Ölçülen gerilim cevabının zamana bağlı grafiği.....	11
Şekil 4.1 : Yeryüzündeki VLF vericilerinin dağılımı (Milsom, 1996).....	12
Şekil 4.2 : Düşey iletken ve manyetik alan bileşenlerinin görünümü (Milsom, 1996).....	12
Şekil 4.3 : Elektromanyetik dalganın yayını ve verici anten ile jeolojik yapının konumları (Telford, 1998).....	12
Şekil 4.4 : (a) Eğim açısı, θ ve kutuplanma elipsinin elipselliği $e = b/a$ (b) bir kontak üzerinde E- kutuplanmaya bağlı manyetik alan kutuplanma elipsi değişimleri (McNeill ve Labson, 1988'den yeniden çizilmiştir).....	13
Şekil 4.5 : Kutuplanma elipsi parametreleri (Mc Neill ve Labson, 1988)...	14
Şekil 5.1 : Tuzla bölgesindeki jeofizik profillerin ve istasyonların lokasyon haritası.....	19
Şekil 5.2 : Çalışma alanı genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Önal, 1982; Barut, 1993; Seymen, 1995; Canberk, 1997 ve Yalçın, 2005'ten çizilmiştir).....	21
Şekil 5.3 : Tuzla bölgesi jeoloji haritası (Önal, 1982; Barut, 1993; Seymen, 1995; Canberk, 1997 ve Yalçın, 2005 ' ten yeniden çizilmiştir).....	22
Şekil 5.4 : Bölgede A-A' doğrultusu boyunca alınan jeolojik kesit.....	22
Şekil 5.5 : DES andıran kesiti (üstte) ve TEM efektif öz direnç kesiti (Kesitlerdeki soru işaretli bölgelerde ölçü noktası olmadığından bilgi içermemektedir).....	27

Şekil 5.6: Kırıklı granit temel üzerindeki bozunmanın ürettiği elektromanyetik cevaplar. Aşınmış ve derin kırık bölgelerini temsil eden model (a). Kalın örtü tabaka üzerindeki TEM erken zaman tek tepe anomalisi ile kırık bölgesindeki geç zaman çift tepe anomalisi ve kırık bölgesindeki HLEM anomalisi, (Meju ve diğ., 2001) (b).....	29
Şekil 5.7: Düşey kontak üzerinde oluşan VLF-EM gerçel ve sanal bileşen anomalileri (Milsom,1996’dan yeniden çizilmiştir)....	30
Şekil 5.8: Çeşitli zaman pencereleri için tek halka (single-loop) TEM görünür öz direnç profil eğrileri (a) ve ölçülen gerilimin düşey bileşeni (b). Kırmızı renk ile erken zamanlar, mavi renk ile geç zamanlar gösterilmiştir.....	31
Şekil 5.9: A-A’ kesiti üzerindeki profillerin çeşitli frekanslardaki IP ve OP grafikleri (üstte TEM istasyonlarını gösteren A-A’ kesiti).....	32
Şekil 5.10: Çeşitli zaman pencereleri için merkezi halka düzeneğiyle ölçülen çok kanallı TEM profil eğrileri. Ölçülen gerilimin X yönündeki bileşeni (a), Z yönündeki bileşeni (b), X ve Z yönündeki bileşenlerinin birbirine oranı (tipper) (c). (Kırmızı renk ile erken zamanlar, mavi renk ile geç zamanlar gösterilmiştir.).....	34
Şekil 5.11: TEM-4 ve DES-10 noktalarında ölçülen verilerin ortak ters çözümü ve bulunan yer modeli.....	37
Şekil 5.12: TEM-6 ve DES-14 noktalarında ölçülen verilerin ortak ters çözümü ve bulunan yer modeli.....	39
Şekil 5.13: TEM ve DES verilerinin ortak ters çözümünden elde edilen yer elektrik kesiti (altta K1 sondaj kuyu litolojileri gösterilmiştir).....	40
Şekil 5.14: Tuzla – Aydınli bölgesinde ölçülen VLF-EM gerçel (IP) ve sanal (OP) bileşen haritaları.....	42
Şekil 5.15: Organize Deri Sanayindeki VLF-EM profillerinin her üç frekanstaki gerçel (IP) bileşen kontur haritası (üstte); IP verisine Fraser süzgeci uygulanmış değerlerin kontur haritası (altta).....	43
Şekil 5.16: A-A’ doğrultusu boyunca ölçülen DES verilerinin andıran kesiti (a), TEM verilerinin efektif öz direnç kesiti (b) tek halka TEM görünür öz direnç eğrileri (c), 16 kHz frekansındaki VLF-EM verisinin Chouteau süzgeci uygulanarak hesaplanan görünür öz direnç eğrisi (d) ve jeolojik kesit (e).....	45

SEMBOL LİSTESİ

a	: Verici halkanın yarıçapı (m)
$\mathbf{B}$	: Manyetik akı (Weber/m ²)
ΔV	: Gerilim farkı (V)
δ_{eff}	: Yaklaşık derinlik (m)
$\mathbf{E}$	: Elektrik alan şiddeti (mV/m)
$\mathbf{H}$	: Manyetik alan şiddeti (γ)
h	: Katman kalınlığı (m)
I	: Akım (A)
J	: Akım yoğunluğu (A/m ²)
K	: Kuzey
L	: Akım elektrotlarının orta noktaya olan uzaklığı (m)
l	: Gerilim elektrotlarının orta noktaya olan uzaklığı (m)
L_V	: Verici halkanın indüktansı (Henry)
μ	: Manyetik geçirgenlik (Henry/m)
R	: Direnç (Ohm)
$\mathbf{R}$	: Model ayrımlılık düzeyi
r	: Akım kaynağına olan uzaklık (m)
ρ	: Özdirenç (ohm.m)
ρ_a	: Görünür özdirenç (ohm.m)
t	: Gecikme zamanı (s)
V	: Alıcı halkada oluşan gerilim farkı (V)
$\mathbf{V}$	: Parametre özyöney düzeyi
χ	: Çakışma ölçütü
Z	: Empedans
z	: Derinlik (m)
ε	: Dielektrik katsayısı
σ	: İletkenlik (mS/m)
ϕ	: Faz açısı (derece)
ω	: Açısal Frekans (radyan/sn)

İSTANBUL-TUZLA BÖLGESİ YERELEKTRİK SÜREKSİZLİKLERİNİN ELEKTRİK-ELEKTROMANYETİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, İstanbul Tuzla bölgesinin jeolojik yapısını ve stratigrafik özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla jeofizik yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu jeofizik yöntemler, iletkenliğin derinlikle değişimini saptayabilen düşey elektrik sondaj ve elektromanyetik sondaj ile yanall yöndeki öz direnç değişimlerini saptayabilen elektromanyetik kaydırma yöntemleridir. Bölgedeki yer elektrik süreksizliklerinin araştırılması amacıyla elektrik yöntemlerden doğru akım öz direnç yöntemi (DAÖ) ve elektromanyetik yöntemlerden çok kanallı ölçüm alınabilen geçici elektromanyetik yöntem (TEM) ile çok alçak frekans elektromanyetik yöntem (VLF-EM) kullanılmıştır.

Çalışma alanında 20 istasyonda DES (Düşey Elektrik Sondaj), 9 istasyonda TEM ve 28 profil boyunca VLF-EM verileri toplanmıştır. TEM verilerinin yaklaşık derinliğe göre efektif öz direnç kesiti hazırlanarak DES verilerinin görünür öz direnç kesitiyle uyumu incelenmiştir. Tek halka TEM yöntemi kullanılarak ölçülen gerilim değerleri görünür öz dirençlere dönüştürülerek bölgedeki iletkenlik değişimi araştırılmıştır. Çok kanallı bir sistemle merkezi halka TEM yöntemi kullanılarak ölçülen yatay ve düşey bileşen gerilim verileri TEM istasyonları arasındaki uzaklığa göre çizdirilerek bölgedeki süreksizliklerin yerleri araştırılmıştır. Toplanan TEM ve DES verilerinin ortak ters çözümünden elde edilen elektrik kesit ve yer modellerinin bölgenin jeolojisi ile olan uyumu incelenmiştir. VLF-EM verilerinin kaydırma eğrileri çizilmiş ve Fraser süzgeci uygulanarak kontur haritaları hazırlanmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında VLF-EM kaydırma verilerini öz direnç değerlerine dönüştüren Chouteau süzgeci programlanmıştır. Böylece tüm bu değerlendirmeler sonucu bölgedeki iki adet süreksizliğin yeri ile dayk şeklindeki granit sokulumunun sınırları haritalanmıştır.

INVESTIGATION OF GEOELECTRICAL DISCONTINUITIES WITH ELECTRIC AND ELECTROMAGNETIC METHODS IN İSTANBUL-TUZLA REGION

SUMMARY

In this study, geophysical methods were applied to reveal geologic structure and stratigraphic properties of İstanbul Tuzla region. These geophysical methods are vertical electric and electromagnetic soundings which determine the variation of resistivity with depth and electromagnetic soundings that establishes resistivity variation at lateral distance. Direct current resistivity method (DC Resistivity), multi-channel transient electromagnetic method (TEM) and very-low frequency electromagnetic method (VLF-EM) are applied to delineate geoelectric discontinuities in the region.

In the investigation area, VES (Vertical Electric Sounding) measurements at 20 stations, TEM (Transient Electromagnetic Method) measurements at 9 stations and VLF-EM (Very Low Frequency Electromagnetic Method) measurements along 28 profile were carried out. Effective resistivity – effective depth section for TEM data was prepared to obtain the variation of resistivity with depth.

Transient responses which are measured with single loop TEM configuration, are converted to apparent resistivities to investigate resistivity variation. Horizontal and vertical components of voltage response which are measured by multi-channel inloop TEM method, were sketched in order to TEM stations to determine lateral resistivity variations and discontinuities in the region. According to joint inversion results of TEM and VES data, geologic accordance of the obtained models were examined. The raw VLF-EM data are sketched and filtered by Fraser for mapping. Besides Chouteau filter is computed to transform VLF-EM raw data into resistivities. According to all these evaluation two discontinuities and a dyke shaped granite intrusion is mapped in the region.

1. GİRİŞ

Çalışma bölgesi olan Tuzla'da önceden jeolojik çalışmalarla bir adet süreksizliğin yeri belirlenmiş fakat olası veya gömülü olduğu düşünülen iki adet süreksizlik hakkında sadece jeolojik bilgi mevcuttur. Ayrıca İçmeler' deki tuzlu su ve daha kuzeyde Organize Deri Sanayi Bölgesi'nde bir kuyudan çıkan sıcak suyun kaynağını araştırmak için hidrojeolojik çalışmalar yapılmıştır. Bu iki su noktası arasında olası bir ilişkinin varlığını araştırmak amacıyla İçmeler' den Organize Deri Sanayi'ne kadar yaklaşık 8 km'lik profil üzerinde ve çevresinde jeofizik araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında bölgedeki yatay ve düşey yöndeki öz direnç dağılımının araştırılması ve olası süreksizliklerin saptanmasına çalışılmıştır.

İnceleme alanında yer elektrik yöntemlerden doğru akım öz direnç yöntemi, düşey elektrik sondaj (DES) tekniği kullanılarak uygulanmıştır. Elektromanyetik yöntemlerden çok alçak frekans elektromanyetik yöntem (Very Low Frequency Electromagnetic Method - VLF-EM) ve geçici elektromanyetik yöntem (Transient Electromagnetic Method - TEM) kullanılmıştır.

Jeofizik yöntemler içinde geleneksel olarak kullanılan elektrik yöntemler, bir çift elektrot kullanarak yer içine gönderilen doğru akımın yeryüzünde oluşturacağı gerilim farkının, yine bir çift gerilim elektrodu ile ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Akım elektrotları arasındaki mesafenin arttırılması ile akımın daha derinlere inmesi sağlanmaktadır. Düşey elektrik sondaj olarak isimlendirilen bu teknik ile iletkenliğin derinlikle değişimi hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Elektromanyetik yöntemler, yerin değişken manyetik alanlar ile uyartılması ve bu uyartımdan kaynaklanan ikincil manyetik alanların yeryüzünde ölçülmesi ilkesine dayanır. Verici olarak yatay bir halka kullanan geçici elektromanyetik yöntem (Transient Electromagnetic Method - TEM), zaman ortamı ölçüm yapan yöntemlerden biridir.

TEM yöntemi, uyartım sonucu yerde oluşan ikincil alanların yeryüzünde alıcı halkalar ile ölçülmesi şeklinde uygulanır. Araştırma derinliğinin zaman ilerledikçe arttığı bu yöntem ile düşey yöndeki öz direnç dağılımı araştırılmaktadır.

Frekans ortamı VLF-EM yöntemi ise bir profil boyunca yanal yöndeki öz direnç değişiminin araştırılmasında kullanılmaktadır. Çalışma alanında uygulanan yöntemler ile ilgili ayrıntılı bilgiler ilerleyen bölümlerde anlatılmaktadır. TEM yöntemi kullanılarak toplanan çok kanallı kaydırma verileri farklı bileşenlere ait (H_x , H_y , H_z) bilgi içermektedirler ve bu bilgiler ışığında yerelektrik süreksizliklerini haritalamak mümkündür.

Bu tez çalışmasında birbirine göre farklı üstünlükleri bulunan çeşitli jeofizik yöntemler kullanılarak elde edilen veriler, farklı tekniklerle değerlendirilmiştir. DES ve çok kanallı TEM delgi verileriyle yer elektrik kesitleri hazırlanmış, bölgede düşey yöndeki öz direnç değişimi araştırılmıştır. Kıyıya yakın olan İçmeler bölgesinde tuzlu su yayılımından dolayı öz direnç düşüktür. Kıyıdan karaya doğru öz direnç değerleri artarak, bölgenin jeolojisini temsil eden ondülasyonlu yapı kesitlerde de görülmektedir.

Çok kanallı TEM kaydırma verileri uzaklığa bağlı çizilmiştir. Tek halka TEM kaydırma verilerinden düşey bileşen kırık bölgelerinde erken zamanlarda tek tepe anomalisi göstermektedir. Merkezi halka TEM kaydırma verilerinden yatay bileşen ise kırık bölgelerinde zıt geçiş anomalisi üretmektedir. Farklı fiziksel esaslara dayalı ancak aynı parametreye duyarlı elektrik ve elektromanyetik yöntemlerden DES ve TEM yöntemlerinin ortak ters çözümleri yapılarak bölgenin jeolojisiyle uyumu incelenmiştir.

Farklı frekanslarda toplanan VLF-EM kaydırma verilerinin TEM lokasyonlarının da üzerinde bulunduğu bir profil boyunca gerçel bileşeni kırıklar üzerinde zıt geçişler yapmaktadır. Aynı profil üzerindeki bir frekansa ait gerçel bileşen verisine Chouteau süzgeci uygulanarak yanal yöndeki öz direnç değişimi incelenmiştir. Ayrıca bölgede toplanan tüm VLF-EM gerçel bileşen her frekansta konturlanarak iletken ve dirençli bölge sınırları ve arenalaşmış granit sokulumu haritalanmıştır.

2. DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ

Düşey elektrik sondajın amacı yüzeyden yapılan gerilim ölçümleriyle yer altı katmanlarının kalınlık ve öz dirençlerinin saptanmasıdır. Bu amaç için yeryüzüne iki noktadan elektrik alan uygulanır ve diğer iki nokta arasında gerilim farkı ölçülür. Elektrik alanın uygulandığı elektrotlar ‘akım elektrotları’ ve gerilim farkının ölçüldüğü elektrotlar ‘gerilim elektrotları’ olarak adlandırılır. Akım elektrotları arasındaki uzaklığın arttırılması akımın daha derinlere inmesini sağlar ve dolayısıyla daha derinlerin öz direnç özellikleri hakkında bilgi toplanır. Görünür öz direnç değerlerinin, derinliğe bağlı olarak grafiklenebilmesi, akım uçları arasındaki uzaklığın her ölçüm sonunda arttırılması yoluyla bir dizi ölçü alımını gerektirir. Elektrotların ölçüm sırasındaki çeşitli konumlarına göre geliştirilen ölçü alım teknikleri, elektrot açılımları olarak adlandırılır.

Özdirenci ρ olan, sonsuz izotrop bir ortama herhangi bir yerindeki nokta kaynaktan akım verildiğini düşünelim. Kaynaktan R uzaklığındaki noktalarda akım yoğunluğu Ohm Yasası gereğince;

$$J = \frac{E}{\rho} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial V}{\partial R} \quad (2.1)$$

olmalıdır. Burada, J akım yoğunluğu, E elektrik alan, V gerilim, R kaynaktan uzaklıktır. Akım yoğunluğu, akımın geçtiği kesit yüzölçümüne oranı olarak tanımlanır,

$$J = \frac{I}{A} = \frac{\text{Amper}}{m^2} \quad (2.2)$$

Kaynaktan R uzaklığında olan noktaların bir küre yüzeyi oluşturduğu göz önüne alınarak, (2.1) ve (2.2) denklemlerinin sağ yanlarını birbirlerine eşitlenmesi ile gerilim,

$$\frac{I}{4\pi R^2} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial V}{\partial R} \quad (2.3)$$

$$\partial V = -\frac{\rho I}{4\pi R^2} \partial R \quad (2.4)$$

olarak elde edilir. Her iki tarafın integrasyonu, nokta akım kaynağının izotrop ortam için kendisinden R uzaklığında oluşturduğu gerilimi verir:

$$V = \frac{\rho I}{4\pi R} + C \quad (2.5)$$

C integrasyon sabiti kaynaktan çok uzaklarda gerilimin sonlu bir değeri alamayacağından sıfırdır ve gerçekte yeryuvarı hava ile sınırlı olduğundan, ortam yarısız alınıldığında gerilim denklemi

$$V = \frac{\rho I}{2\pi R} \quad (2.6)$$

ile verilmelidir. Akımın verildiği ve gerilimin hesaplandığı noktaların yeryüzünde olması durumunda, yani $z=0$ ve $r=R$ için 2.6) denklemi;

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Düşey elektrik sondajı ölçümlerinde kullanılan yol, A ve B akım elektrotları yardımıyla yere akım vermek, M ve N gerilim elektrotları ile gerilim farkını ölçmektir. İzotrop ve yarısız bir ortam üzerinde (2.7) kullanılarak, M ve N noktaları arasındaki gerilim farkı ,

$$V_M - V_N = \Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir. Bilinen uzaklık değerlerinden, geometrik çarpan olarak adlandırılan k

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (2.9)$$

bağıntısı ile bulunur. Gerçekte yeryuvarı izotrop yarısonsuz ortam yerine karmaşık yapılardan oluşmuştur. Bu nedenle özdirenç bağıntıları yerin gerçek özdirenç değerlerini vermezler. Yer içine verilen akım ve yeryüzünde ölçülen gerilimin yukarıdaki denklemlerde yerine konulmasıyla elde edilen özdirenç değerlerine ‘görünür özdirenç’ denir.

2.1 Görünür Özdirencin Hesaplanması

Teorik olarak arazide düşey elektrik sondaj amacıyla akım elektrotları arasını açtıkça iki potansiyel elektrotu arasında akım akışı nedeniyle oluşan potansiyel farkı ölçülür (Şekil 2.1).

Şekil 2.1 Schlumberger elektrot dizilimi. ($AB/2$, akım elektrotları arasındaki uzaklığın, $MN/2$ gerilim elektrotları arasındaki uzaklığın yarısını göstermektedir) (Türkoğlu,2003’ten yeniden çizilmiştir.)

Geometrik çarpan (2.9) denkleminin bir uygulamasıyla,

$$k = \pi \left(\frac{s^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (2.10)$$

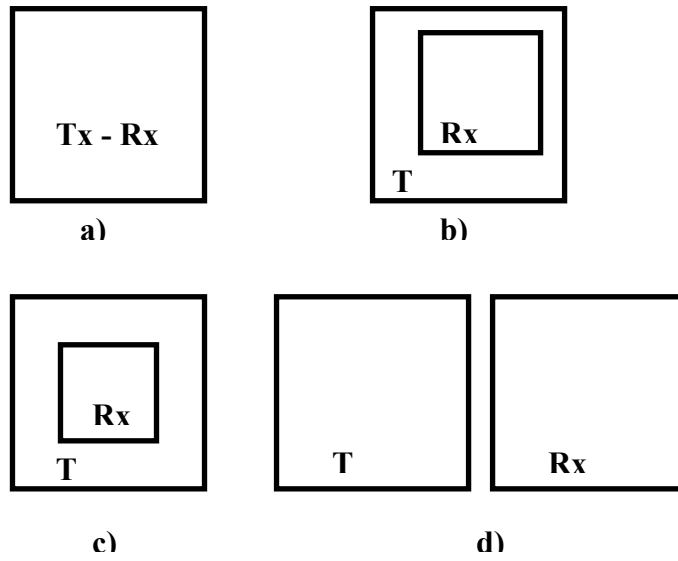
olarak bulunabilir. Burada s , akım elektrotları açıklığının yarısı ve b ise gerilim elektrotları arasındaki uzaklıktır. Görünür özdirenç,

$$\rho_{as} = \pi \left(\frac{s^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \frac{\Delta V}{I} \quad (2.11)$$

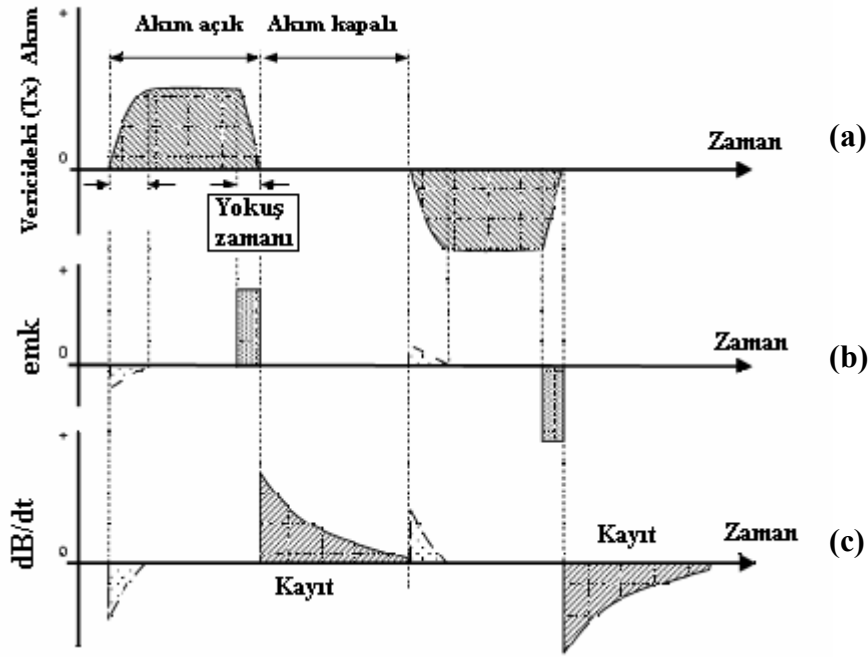
olarak elde edilebilir.

3. GEÇİCİ ELEKTROMANYETİK YÖNTEM

Geçici elektromanyetik yöntem (**T**ransient **E**lectro**M**agnetic - **TEM**) yada zaman ortamı elektromanyetik yöntem (**T**ime **D**omain **E**lectro**M**agnetics- **TDEM**) yapay kaynaklı bir elektromanyetik yöntemdir. Geçici elektromanyetik yönteminde aygıt donanımı bir verici halka ve vericiye bağlı bir alıcı bobinden oluşur. Çalışmanın amacına ve bölgenin jeolojisine bağlı olarak farklı dizilim çeşitleri vardır (Şekil 3.1). Genelde halka boyu birkaç metreden yüzlerce metreye kadar değişir.

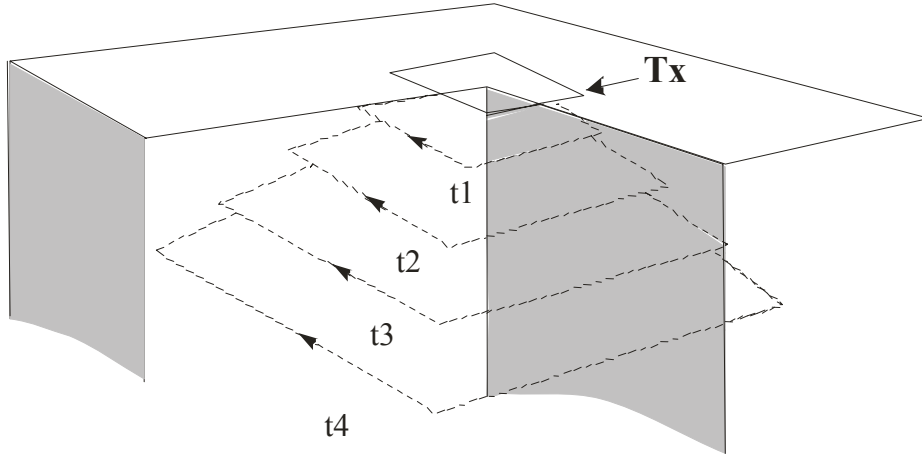


Şekil 3.1 TEM yöntemi ile yapılan ölçümlerde yaygın kullanılan ölçüm düzenekleri. a) Tek halka (Single-loop), b) İç içe iki halka (Coincident-loop), c) Merkezi halka (Central-loop), d) Ayrık iki halka (Separate-loop), (Tx: Verici (Transmitter), Rx: Alıcı (Receiver)).



Şekil 3.2 Verici halkadaki akım(a); uyartılan emk (b); kaydedilen gerilim(c) Krivochieva ve Chouteau, 2002).

Yeryüzüne serilmiş kare halkaya bir güç kaynağı (jeneratör) veya batarya tarafından üretilen güçlü bir akım (1 ile 20 A) gönderilir. Gönderilen akım simetrik kare dalga şeklindedir. Her ikinci çeyrek periyottan sonra gönderilen akım çeyrek periyot kadar ters yönde sıfıra düşer. Verici halkadaki akımın kesilmesi ile halkadaki akımın sıfır değerine düşmesi arasında geçen süre yokuş zamanı (ramp time veya turn off time) olarak bilinir (Şekil 3.2 (a)). Gönderilen akımın sıfır değerine ani düşüşü, Faraday yasasına göre vericinin etrafında akım halkaları oluşturarak sönmölen elektromotor kuvvetin (emk) yeri uyartılmasını sağlar (Şekil 3.3). Yokuş zamanı boyunca akımdaki ani değişim birincil manyetik alanı yaratarak yer içinde iletken ortamlardan geçerken uyartım akımlarının (Eddy currents) akmasına sebep olur. Alıcı bobinde bu akımların sönmölenmesiyle oluşan ikincil manyetik alanın düşey bileşeninin zamana göre türevi ölçölür. Zamanın fonksiyonu olarak ölçölen gerilim değlerleri, alıcı-verici halkaların alanları ve birincil manyetik alanı oluşturan akımın büyüklüğü ile normalize edilerek ikincil alanların içinde oluştukları ortamın öz direncine dönöştürölür.



Şekil 3.3 Vericideki akım kesildikten sonra uyartım akımlarının zaman ilerledikçe yer içindeki yayılımı (McNeill, 1990).

Alıcıdaki gerilimin sönüm karakteri ölçüm ve kayıt süresince zaman aralıklarına bölünerek incelenebilir. Hatta ölçümde bozunmayı azaltmak için gerilimin hızla değiştiği çok dar erken zaman aralıkları, genliğin küçüldüğü geç zamanlar sinyal /gürültü oranını yükseltmek için daha geniştir. Sadece akım kapatıldığı gibi oluşan gerilimler ölçülür. Araştırma derinliğini arttırmak için geç zamanlardaki değişimleri kaydetmek gereklidir.

3.1 Görünür Özdirencin Hesaplanması

Elektrik ve elektromanyetik yöntemlerin değer yorumlanmasında ölçülen gerilimlerin gösterimi için görünür özdirenç kullanılır. Amaç yer elektrik kesitinde özdirencin derinlikle davranışının değişimini belirlemektir. Bu çalışmada kullanılan merkezi halka diziliminde ölçülen her gerilim değeri için iki kesin görünür özdirenç değeri vardır. Bu değerler erken zaman ve geç zaman bağıntılarından elde edilir. Homojen bir ortamın iletkenliğinin merkezi halka için manyetik alan cevabı Hohmann ve Ward (1986) tarafından,

$$h_z = \frac{1}{a^3 \theta^2} \left[\left(\frac{\theta^2 a^2}{2} - \frac{3}{4} \right) \text{erf}(a\theta) + \frac{3a\theta}{2\sqrt{\pi}} e^{-\theta^2 a^2} \right] \quad (3.1)$$

$\theta = (\mu_0 \sigma / 4t)^{1/2}$, erf hata fonksiyonu, μ_0 serbest havanın manyetik geçirgenliği, a verici halkanın yarıçapı olarak verilmiştir. Hata fonksiyonu,

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\xi^2} d\xi \quad (3.2)$$

ise gerilim cevabı Wait (1951)'den

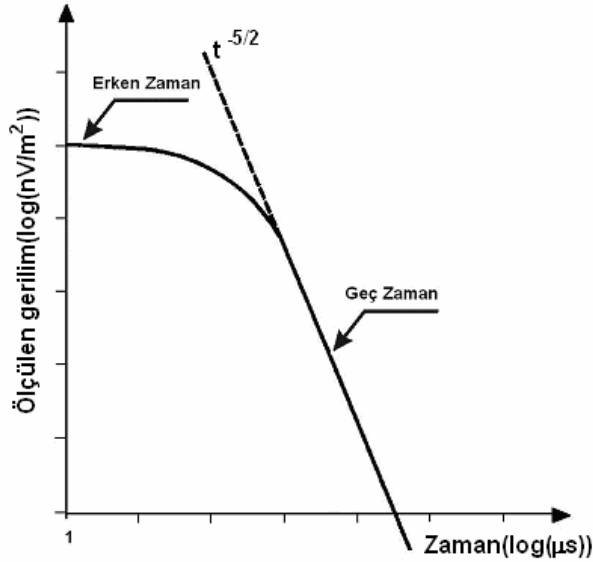
$$V = \frac{mI}{a^3\theta} \left[3erf(a\theta) - \frac{2}{\sqrt{\pi}} a\theta(3 + 2a^2\theta^2) e^{-\theta^2 a^2} \right] \quad (3.3)$$

m alıcı bobindeki turların sayısının alıcının alanı ile çarpımı ki alıcı momenti olarak türetilir. Gerilim için erken ve geç zaman gerilim bağıntıları,

$$V^e = \frac{3mI}{a^3\sigma} \quad (3.4)$$

$$V^g = \frac{I\sigma^{3/2}\mu^{5/2}ma^2}{20\sqrt{\pi}t^{5/2}} \quad (3.5)$$

şeklinde verilir. Ölçülen gerilim cevabı, birincil manyetik alana erken zamanlarda asimtotik olarak yaklaşırken yeryüzünün yüzeye yakın kesimlerinin, geç zamanlarda ise $t^{-5/2}$ ve en alttaki tabakanın öz direncine orantılı olarak değişmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Ölçülen gerilim cevabının zamana bağlı grafiği.

Bu bağıntılar kullanılarak erken ve geç zaman görünür öz dirençleri,

$$\rho_a^e = \frac{a^3 V}{3mI} \quad (3.6)$$

$$\rho_a^g = \frac{I^{2/3} a^{4/3} m^{2/3} \mu_0^{5/3}}{20^{2/3} \pi^{1/3} t^{5/3} V^{2/3}} \quad (3.7)$$

bağıntıları ile bulunur (Spies ve Eggers, 1986). Bu tez çalışması kapsamında Meju(1995)'e göre hesaplanan efektif öz direnç bağıntısı kullanılmıştır.

$$\rho_{eff} = 2.3 \rho_a e^{-(1-\alpha)} \quad (3.8)$$

Buradaki α katsayısı 0.15 değerini almaktadır.

3.2 Araştırma Derinliği

Verici halka üzerindeki akımın kesilmesi ile sıfır değerine düşmesi arasında geçen zaman, yokuş zamanıdır. Yokuş zamanı, halkadaki akım miktarı ve kullanılan telin direnci ile doğru orantılı iken tele uygulanan gerilim değeriyle ters orantılıdır. Dolayısıyla bu parametrelerin büyüklüğünde değişiklik yaparak yokuş zamanı küçültülebilir ve istenen derinliğe ait bilgiler elde edilir.

Araştırma derinliği, gönderilen akımın büyüklüğü ve ortamın öz direnci ile bağlantılı olmasına rağmen aletsel kısıtlamalar nedeniyle belirli bir değerin üzerine çıkarılamaz. Bu nedenle verici halkanın çapı büyütülerek araştırma derinliği kontrol edilebilir. Genellikle elektromanyetik gürültünün olmadığı ve uzun süre veri toplanabildiği sürece araştırma derinliği verici halkanın bir kenarının 1/4'ü ile 4 katı arasında değişir. Ölçülen gerilim değerlerinin efektif öz dirençlere çevrilebilmesi için araştırma derinliği Meju (1995)'nin bağıntıları kullanılarak,

$$\delta_T = \left(\frac{2t\rho}{\mu_0} \right)^{1/2} \quad (3.9)$$

$$\delta_{eff}^{TEM} = \frac{\delta_T}{2.3} \quad (3.10)$$

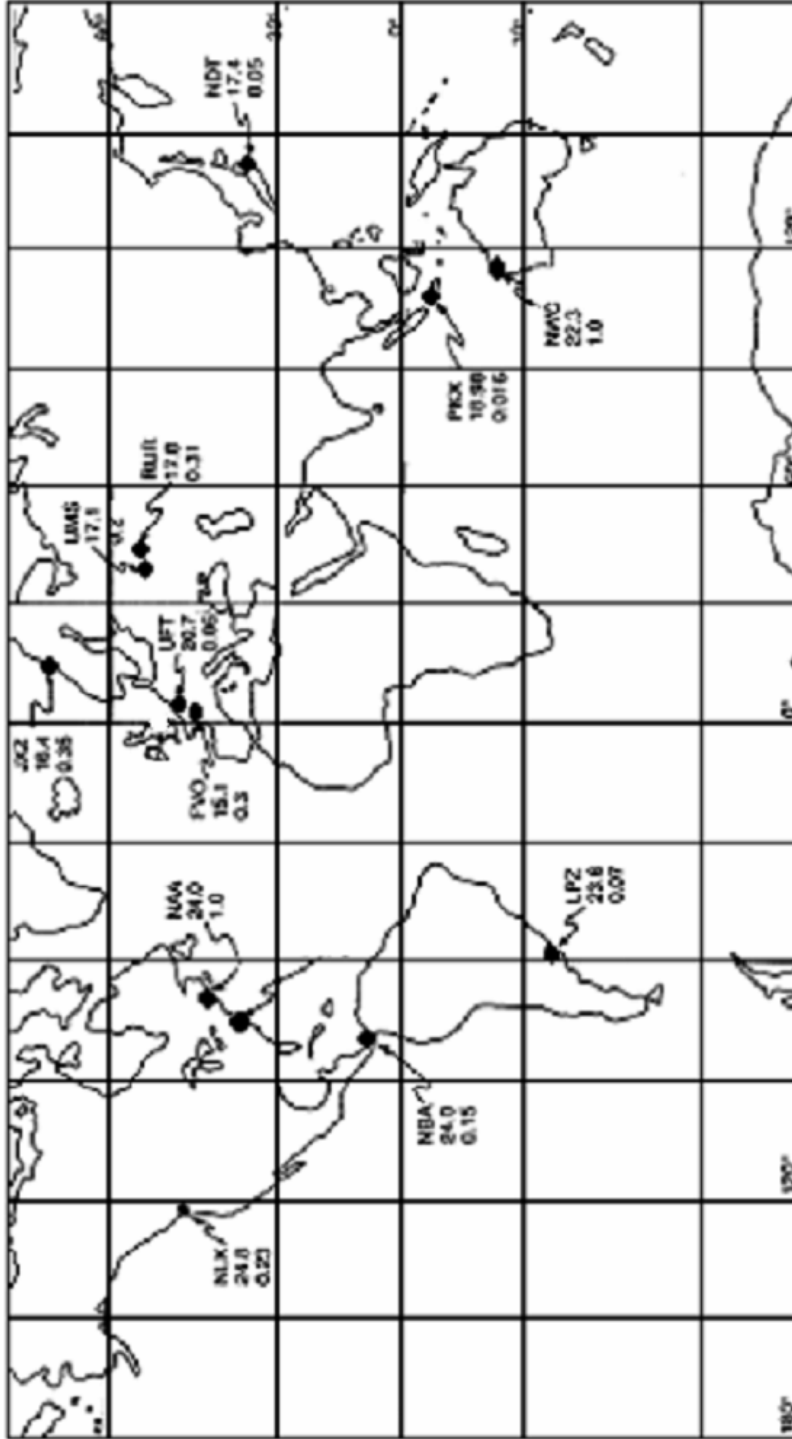
hesaplanabilir. Burada δ_T , öz dirence ve gecikme zamanına bağlı nüfuz derinliğidir. Ancak uygulamada bu derinliğe ulaşmak zor olduğundan δ_{eff} bağıntısı etkin derinliği göstererek daha iyi bir yaklaşım yapılmasını sağlar.

4. ÇOK ALÇAK FREKANS ELEKTROMANYETİK YÖNTEM

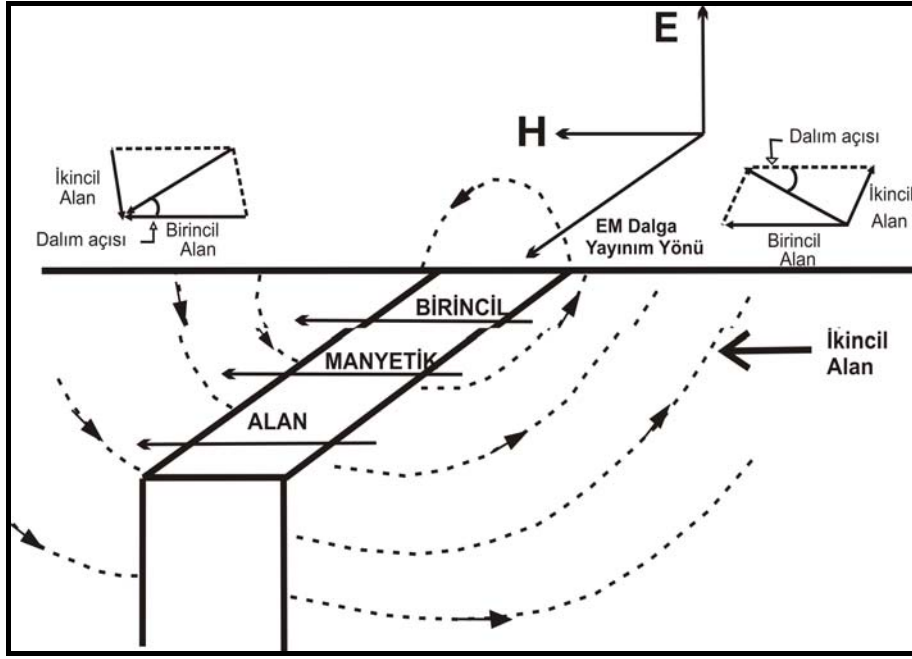
VLF-EM yöntemi, sığ iletken yapıların saptanması ve ortaya çıkarılması, yer altı suyu araştırmaları ve mühendislik jeofiziği çalışmalarında kullanılmaktadır. Yöntem frekans aralığı 15-30 kHz olan haberleşme vericilerinin ürettiği yatay birincil manyetik alanın uyarttığı düşey alanın ölçülmesi esasına dayanır (Şekil 4.1). kullanılan vericilerin listesi ve özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.VLF-EM verisi seçilen bir frekansta, gerçel (IP) ve sanal (OP) düşey manyetik alan bileşen değerlerinin yatay manyetik alanın yüzdesi olarak ölçülmesinden oluşmaktadır. Yeraltındaki iletkenlik değişimleri ile etkileşimdeki manyetik ve elektrik alanlar, ikincil alanları üreterek yeryüzünde ölçülen anomalilerin açıklanmasını sağlayan kaynak alanlardır. Yatay manyetik bileşen (H_x) ve düşey elektrik (E_z) bileşenden oluşan birincil manyetik alan verici antenden ışınal olarak yayılır. Vericiden uzakta, birincil manyetik alan (H_p) araştırma alanı boyunca tek düzedir ve H_y şeklinde ifade edilebilir. Bu birincil alan, yerin iletkenliği ile etkileşiminden yatay elektrik bileşen (E_x) oluşturur (Şekil 4.2).

Tablo 4.1 VLF verici istasyonları listesi (McNeill ve Labson, 1988)

Tanım	Frekans (kHz)	Güç (kw)	Bulunduğu Yer
FUO	15.1	500	Bordeaux, FRANCE
GBR	16.0	750	Rugby, ENGLAND
JXZ	16.4	350	Helgeland, NORWAY
UMS	18.3	1000	Moscow, USSR
NOT	17.4	200	Yosami, JAPAN
NSS	21.4	1000	Annapolis, MD
NWC	22.3	1000	Exmouth, AUSTRALIA
NPM	23.4	512	Pearl Harbour, HAWAİ
NAA	24.0	1000	HICutler, WA
NAU	28.5	100	Aguada, PR

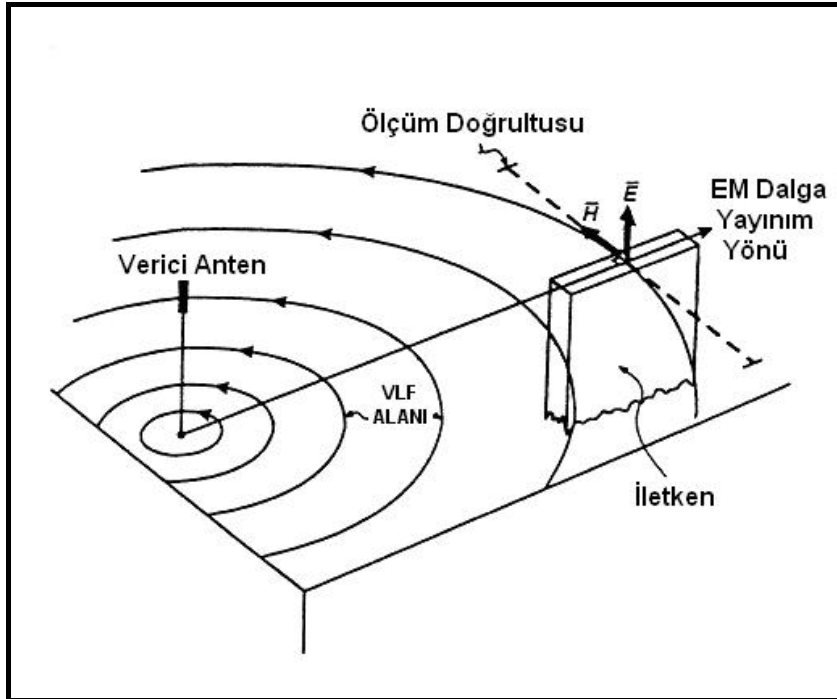


Şekil 4.1 Yeryüzündeki VLF vericilerinin dağılımı (Milsom, 1996).



Şekil 4.2 Düşey iletken ve manyetik alan bileşenlerinin görünümü (Milsom, 1996).

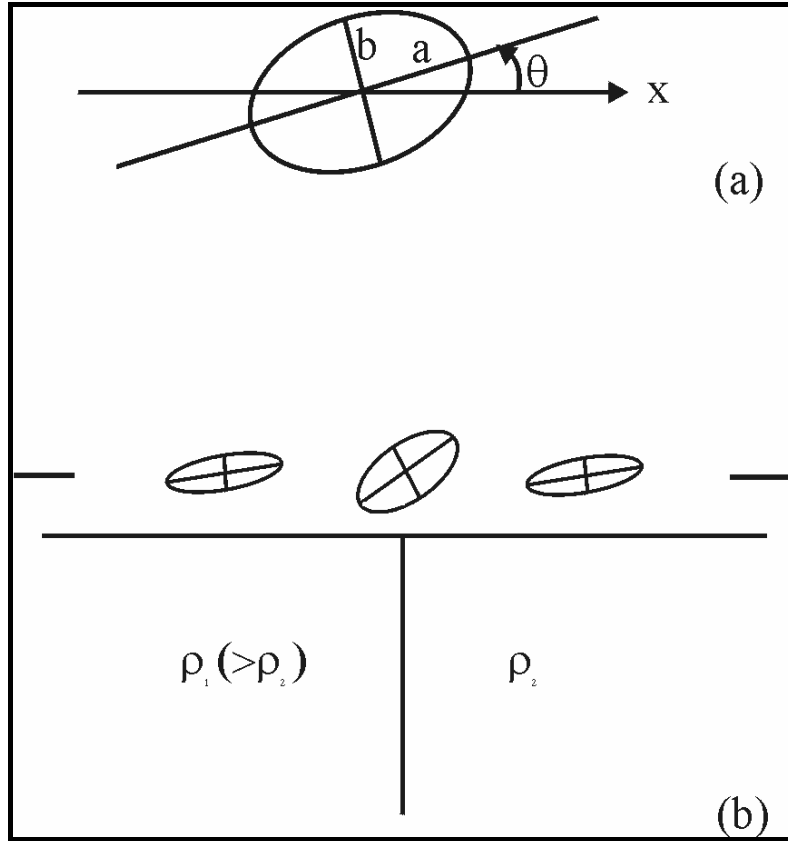
Yeraltındaki iletkenler, yatay manyetik alanın indüklenmesi veya birincil manyetik alanın ortamda akımları galvanik olarak indüklemesiyle ikincil manyetik alanları oluştururlar Şekil (4.3). VLF-EM yöntemi sayesinde düşey manyetik alanla bağlantılı yatay toplam manyetik alanın gerçel ve sanal kısımlarının ölçümü sağlanmış olur (Chouteau ve diğ., 1996).



Şekil 4.3 Elektromanyetik dalganın yayını ve verici anten ile jeolojik yapının konumları (Telford, 1998).

4.1 Polarizasyon Parametreleri

Genelde VLF-EM ölçümlerinde, düşey manyetik alanın gerçel ve sanal bileşenleri ölçülmektedir. Yeraltında düşey bir kontak olması durumunda, kontakta uzakta manyetik alan kutuplanması düzlemseldir. Kontakta yaklaştıkça, düşey manyetik alan ve bileşenleri artarak Şekil 4.3'teki gibi eliptik kutuplanmış manyetik alanı oluşturur (McNeill ve Labson, 1988).



Şekil 4.4 (a) Eğim açısı, θ ve kutuplanma elipsinin elipselliği $e = b/a$ (b) bir kontak üzerinde E- kutuplanmaya bağlı manyetik alan kutuplanma elipsi değişimleri (McNeill ve Labson, 1988'den yeniden çizilmiştir).

Bazı VLF alıcıları da elipsin uzun eksenini a 'nın yatay eksenle yaptığı eğim açısı (θ) ve b/a ile gösterilen kutuplanma elipsinin elipselliğini ölçmektedir (Şekil 4.4). Eğim açısının H_z/H_x oranının gerçel (IP) bileşenine ve elipselliğin sanal (OP) bileşene eşit olduğu bilinmektedir. Düşey manyetik alan H_z ve yatay manyetik alan H_x bileşenleri,

$$H_x = H_p \cos(\omega t) + H_s \cos(\omega t + \phi) \cos(\alpha) \quad (4.1)$$

$$H_z = H_s \cos(\omega t + \phi) \sin(\alpha) \quad (4.2)$$

bağıntılarıyla ifade edilirse, eğim açısı θ Smith ve Ward (1974) tarafından

$$\tan(2\theta) = \frac{2(H_z / H_x) \cos(\phi)}{1 - (H_z / H_x)^2} \quad (4.3)$$

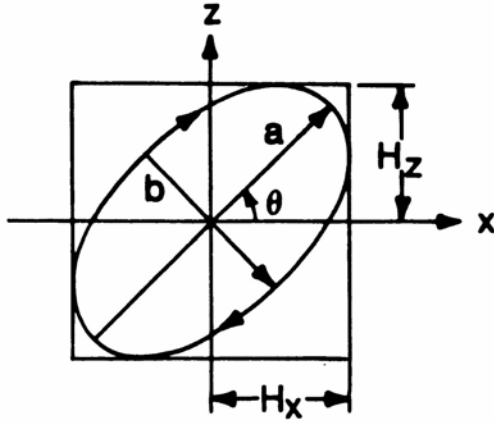
ve polarizasyon elipsinin elipselliği ve yatay manyetik alanın bileşenleriyle ilişkisi,

$$e = \frac{b}{a} = \frac{H_z H_x \sin(\phi)}{H_z e^{i\phi} \sin(\theta) + H_x \cos(\theta)} \quad (4.4)$$

$$\text{Re}(H_z / H_x) = 100x \tan(\theta) \quad (4.5)$$

$$\text{Im}(H_z / H_x) = 100xe \quad (4.6)$$

bağıntılarıyla verilmektedir (McNeill ve Labson, 1988).



Şekil 4.5 Kutuplanma elipsi parametreleri (Mc Neill ve Labson, 1988).

4.2 Verilerin Süzgeçlenmesi

VLF-EM yönteminde, manyetik alanın düşey bileşeninin yatay bileşene oranı olan büyüklüğün gerçel ve sanal bileşenleri ölçülmektedir. VLF-EM verisi grafiklenerek veya konturlanarak ölçüm yapılan alana ilişkin doğrudan nitel bir yorum yapılabileceği gibi veriye süzgeç de uygulanabilir. Fraser (1969) eğim açısı değerlerinin farkını alarak elde edilen basit sayısal bir süzgeçle sıfır geçişini maksimum değere dönüştürmektedir. Süzgeç eğim açısı değerini 90° kaydırarak sıfır geçişlerini en büyük değere dönüştürme, uzun dalga boylarını sönümleme ve verideki gürültüyü azaltma özelliklerine sahiptir. Ayrıca gerçel manyetik alan transfer fonksiyonlarını görünür öz dirence dönüştüren başka bir süzgeç Chouteau ve diğ.(1996) tarafından geliştirilmiştir. Süzgeç, iki boyutlu yer modeli üzerinde yeryüzündeki elektrik alan ve düşey manyetik alan arasındaki yatay türev ilişkisine dayanmaktadır. Alçak geçiş tipindeki süzgeç yüksek frekanstaki gürültüyü azaltırken, verideki öz direnç özelliğini ortaya koymaktadır. Elektrik alan ve manyetik alan ilişkisine dayanan Maxwell denklemi geliştirilerek yeryüzündeki ölçümlerden;

$$\frac{\partial \rho^{1/2}}{\partial y} = (i\omega\mu)^{1/2} \frac{H_z}{H_y} \quad (4.7)$$

H_z düşey manyetik alan ve H_y yatay manyetik alan olmak üzere bu bağıntı kullanılarak öz direnç dönüşümü yapılabilir (Chouteau ve diğ.,1996).

4.3 Araştırma Derinliği

Düşey elektrik kutup tarafından yaratılan manyetik alanın vericiden uzak mesafelerdeki değeri,

$$H = H_M e^{i\omega t} e^{-(i\omega\mu\sigma)^{1/2} z} \quad (4.8)$$

$$H_M = e^{-kz} e^{i\omega t} = H_M e^{-1} e^{i\omega t} \quad (4.9)$$

bağıntısı ile bulunabilir. Bu eşitlikten derinliğe göre genlikteki sönümlenme ve oluşan fazdaki kayma miktarlarını görebiliriz. Burada s , sönüm sabiti ve δ deri kalınlığı veya derinliği (skin depth) olarak tanımlanmaktadır. Yatay elektrik alan ve düşey manyetik alan, derinliğe bağlı e^{-ikz} nin fonksiyonudurlar.

Buradaki k ,

$$k = (-i\omega\mu_0\sigma_1)^{1/2} \quad (4.10)$$

$$= \frac{1}{4}(1-i)(\omega\mu_0\sigma_1)^{1/2} \quad (4.11)$$

$$e^{-ikz} = e^{-(i+1)z/\delta} = e^{-z/\delta} e^{-iz\delta} \quad (4.12)$$

ile gösterilirken, yerin deri kalınlığı

$$\delta = \left(\frac{2}{\mu\sigma_1\omega} \right)^{1/2} \quad (4.13)$$

bağıntısıyla bulunur. Nüfuz derinliği olarak bilinen bu değer,

$$\delta = 503.2 \left(\frac{\rho}{f} \right)^{1/2} \quad (4.14)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada ρ (ohm.m) yerin öz direnci, f (Hz) frekanstır.

5. İSTANBUL -TUZLA BÖLGESİ YERELEKTRİK SÜREKSİZLİKLERİNİN ELEKTRİK - ELEKTROMANYETİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Jeofizik yöntemlerden elektromanyetik yöntemler, yerin elektrik iletkenlik dağılımının belirlenmesi amacıyla elektromanyetik alanların ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Yerin iletkenliğindeki değişim, genel olarak, kayacın yapısı (gözeneklilik, geçirimsizlik vs), kil içeriği, kayacın içerisindeki akışkanın elektrik iletkenliği ve kayacın suya doygunluk derecesi gibi değişkenlere bağlı olarak değişmektedir. Elektromanyetik yöntemler ve elektrik yöntemler kullanılarak iletkenliğin derinlikle olan değişimi incelenebilmektedir. Elektrik ve elektromanyetik yöntemler ile yapılan araştırmalarda elde edilmek istenen, yerin öz direncinin yatay ya da düşey yöndeki değişiminin haritalanmasıdır.

Çalışma alanı olan Tuzla ilçesi Marmara Bölgesinde İstanbul'un Anadolu yakasında olup kuzey batısında Pendik ilçesi, doğusunda Gebze ilçesi ve güneyinde Marmara Denizi bulunmaktadır. Bölgede daha önce İçmeler'deki tuzlu ve sodyumlu su ile Organize Deri Sanayi Bölgesi'ndeki bir kuyudan çıkan 37°C sıcaklığındaki sodyum sülfatlı jeotermal suyun olası ilişkisi hidrojeolojik olarak araştırılmıştır. Bu iki farklı suyun kaynağını açıklamak için bölgedeki jeolojik yapı ve süreksizliklerin belirlenmesi önem kazanmıştır. Bu amaç kapsamında İstanbul Tuzla bölgesinde düşey elektrik sondaj (DES) ve geçici elektromanyetik yöntem (TEM) ölçümleri uygulanarak düşey yöndeki öz direnç dağılımı araştırılmıştır. Çok kanallı tek halka ve merkezi halka TEM ile çok alçak frekans elektromanyetik yöntem (VLF-EM) ölçümleri uygulanarak yatay yöndeki öz direnç değişimi incelenmiştir. Böylelikle bölgedeki yer elektrik süreksizliklerinin yerleri belirlenmiş ve Organize Deri Sanayi'ndeki arenalaşmış granit sokulumu haritalanmıştır. Şekil 5.1 bölgede yapılan jeofizik ölçümlerin yer ve doğrultularını göstermektedir. Bu bölümde, bölgede yapılan daha önceki jeolojik ve jeofizik çalışmalardan elde edilen bilgiler ile bu çalışma kapsamında yapılan jeofizik ölçülerin değerlendirilmesiyle elde edilen bilgiler birlikte değerlendirilmiştir.

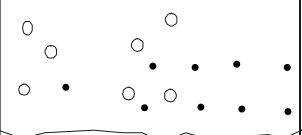
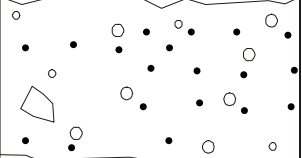
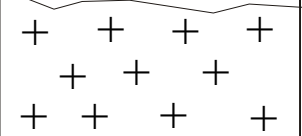
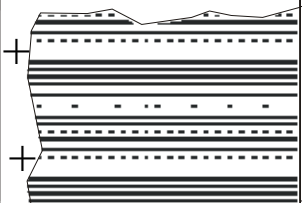
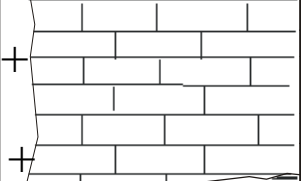
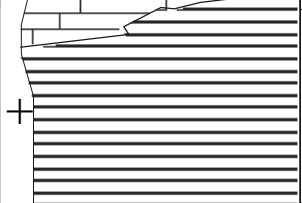
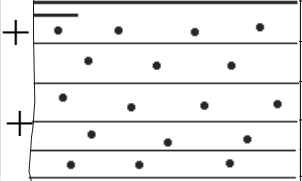
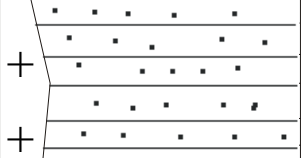
5.1 Tuzla Bölgesi Jeolojisi

Tuzla bölgesinin jeolojisi Önalın (1982); Barut (1993); Seymen (1995); Canberk (1997) ve Yalçın (2005)'teki bilgilerden yararlanılarak hazırlanmıştır. İncelenen birimler litostratigrafik adlama kuralına göre formasyon mertebesinde ele alınmıştır. Tuzla bölgesi genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 5.2'de verilmiştir. Bölgedeki formasyonlar oluşum bakımından aynı grup içinde bulunduklarından, çoğu araştırmacılar bu sedimanter istife 'İstanbul Grubu' adını vermişlerdir.

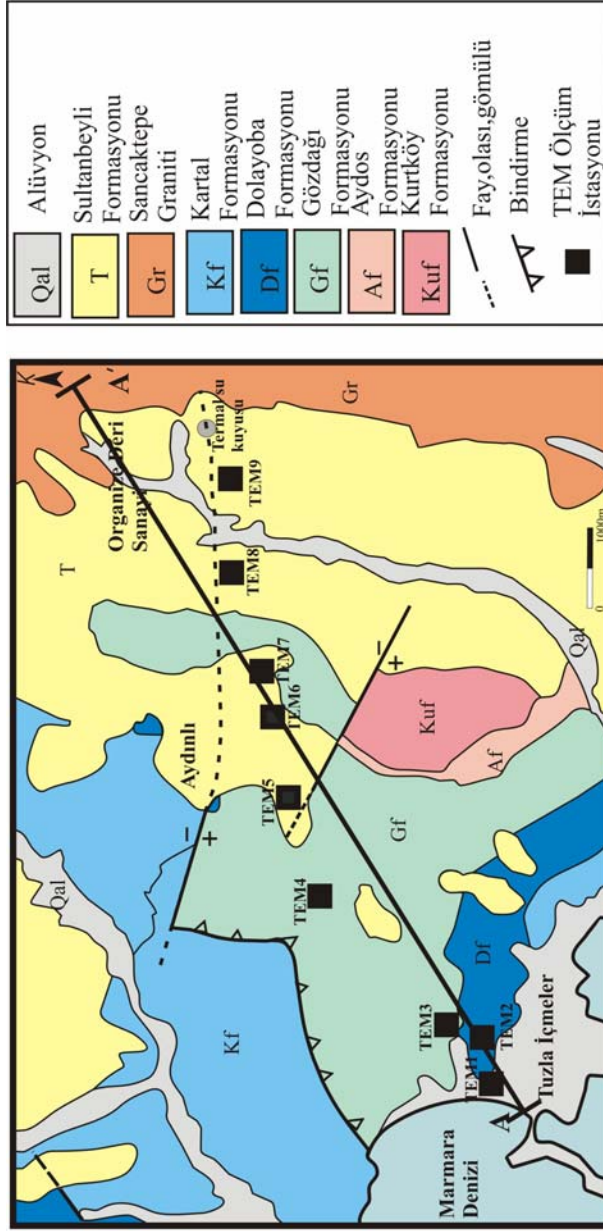
İnceleme alanının temelini alttan mor renkli arkozlardan oluşmuş Kurtköy Formasyonu oluşturur. Alt Ordovisyen yaşlı çakıltası, arkoz ve şeyllerden oluşan Kurtköy Formasyonu kalınlığının 1000 metreden fazla olduğu belirtilmektedir. Kurtköy Formasyonu üstten uyumlu olarak kuvarsitlerden oluşan Aydos Formasyonuna geçer.

Aydos Formasyonu beyaz tonlarında olup, kum boyutunda kuvars taneleri içerir. İnce orta kum boyutundaki tanelerin büyük çoğunluğu kuvars, bazıları da bozuşmuş feldispatlardır. Birim feldispatlı kuvarsit taneli bir yapıya sahip olmakla birlikte silisli hamur nedeniyle geçirimli değildir. Orta Ordovisyen yaşlı bu birimin, kalınlığının yaklaşık 300 m olduğu belirtilmektedir. Aydos Formasyonunda killi ve kısmen kumlu materyalin artması ve havzanın kısmen derinleşip denizel ortama dönüşmesi ile Gözdağ Formasyonu oluşmaya başlar.

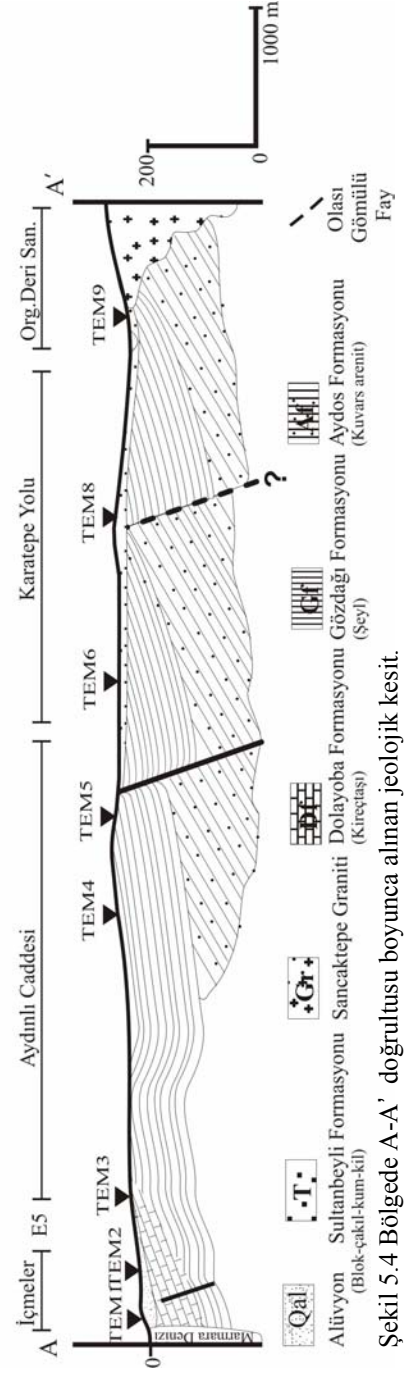
Silüriyen yaşlı silisli ve mikalı şeyl, grovak ve çamur taşlarından oluşan Gözdağ Formasyonunun kalınlığı 0-700 m arasında değiştiği belirtilmektedir. Bu geçirimsiz birimin üzerine uyumlu gelen, sığ denizde, ılıman bir ortamda çökelmiş Dolayoba Formasyonu olarak isimlendirilen geçirimli karstik kireçtaşları gelmektedir. Alt Devoniyen yaşlı bu birim bölgede yaklaşık 500 m kalınlığında bulunmaktadır.

Yaş	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklama
Kuvartener	< 10 m		Alüvyon Blok-çakıl-kum-kil Diskordans
Pleyistosen	> 30		Sultanbeyli Fm. Blok-çakıl-kum-kil Diskordans
Permien			Sancaktepe Graniti Diskordans
Alt-Orta Devoniyen	750		Kartal Fm. Silttaşı, kumtaşı aratabakalı Şeyl
Alt Devoniyen Silüriyen	500		Dolayoba Fm. Kireçtaşı
Silüriyen Orta-Üst Ordovisyen	700		Gözdağı Fm. Şeyl
Orta Ordovisyen	300		Aydos Fm. Kuvarsarenit
Alt Ordovisyen	?		Kurtköy Fm. Arkoz

Şekil 5.2 Çalışma alanı genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Önalın,1982; Barut,1993;Seymen,1995; Canberk,1997 ve Yalçın, 2005 ‘ten çizilmiştir).



Şekil 5.3 Tuzla bölgesi jeolojisi haritası (Önalın (1982); Barut (1993); Seymen(1995); Canberk (1997); Yalçın (2005)'ten çizilmiştir).



Şekil 5.4 Bölgede A-A' doğrultusu boyunca alınan jeolojik kesit.

Dolayoba Formasyonu üzerine uyumlu gelen silttaşı, kumtaşı ara tabakalı şeylden oluşan Kartal Formasyonu genellikle kahve rengidir. Alt-Orta Devoniyen yaşlı bu birimin kalınlığı yaklaşık 750 metredir. Bölgenin doğusunda, kuzeyden güneye doğru yayılım gösteren, ayrılmış granitten oluşan Sancaktepe Graniti bulunmaktadır. Bu birim, Kurtköy, Aydos ve Gözdağ Formasyonlarını keserek yükselmiş, bölgede temel kayayı oluşturan birimlerin yapısal konumlarını etkilemiştir. Temel kaya birimlerinin dokanağı, granitin dokanağına paralel kıvrımcıklar göstermektedir. Bölgede birimler üzerinde diskordan olarak bulunan Sultanbeyli Formasyonu, kil, kum ve çakıldan oluşmaktadır. Sultanbeyli Formasyonu granit dokanağı boyunca kuzeyden güneye doğru yayılım göstermektedir. Tane boyları, geldiği kaynak kayanın cinsine göre kil-silt, kum-çakıl ve seyrek olarak da blok boyutundadır. Birimde, tabana yakın kısımlarda kil görülmektedir. Kötu boylanmalı, az çimentolu olması nedeniyle dağılan bir özelliktedir. Birimde, genellikle düzenli bir katmanlaşma görülmemektedir. Birim, yüzeylendiği çeşitli yerlerde ayrı litolojiyi göstermesine rağmen tane boyları farklılık göstermektedir. Alüvyon, akarsuların ve derelerin bazı kısımlarında örtü niteliğindedir (Önalan, 1981). İnceleme alanında Büyük Dere ve Saz Dere civarında görülmektedir. Kalınlığı yaklaşık 0-10 metre arasındadır. Kum, çakıl, kil ve mil boyutunda malzeme içermektedir (Şekil 5.3). Bölgede ölçümlerin yapıldığı A-A' doğrultusunda alınan jeolojik kesit Şekil 5.4'te görülmektedir.

5. 2 Tuzla Bölgesinde Uygulanan Jeofizik Yöntemler

Çalışma alanında yer elektrik yapısının görüntülenmesi amacıyla kıyıdan karaya doğru uzanan bir profil boyunca, farklı birimlerden oluşan, dolayısıyla öz direnç değişimi gösteren jeolojik yapıyı, aynı fiziksel parametrelere duyarlı fakat farklı çalışma prensiplerine sahip jeofizik yöntemlerden DES, TEM ve VLF-EM yöntemleri kullanılarak ölçümler alınmıştır. Ölçümler yoğun yapılaşmanın elverdiği ve askeri bölgelerin dışında yer alan boş alanlarda yapılmıştır. Yüksek gerilim hatları, otoyollar ve binalardan kaynaklanan gürültüler şehir içinde jeofizik çalışma yapılmasını güçleştirmekte ve veri kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle bu noktalara mümkün olduğu kadar uzak yerler seçilerek ölçümler alınmıştır.

Çalışma alanında yapılan ölçümlerle ilgili bilgiler Tablo 5.1’ de verilmektedir. Toplam 16 istasyon ve 2612 noktada jeofizik ölçümler alınmıştır.

Tablo 5.1 Tuzla bölgesinde yapılan jeofizik ölçümler

Elektrik – Elektromanyetik Ölçümler		
DES	20 istasyon (13 tanesi özel şirketlerden alınmıştır)	
TEM	9 istasyon	
VLF- EM	28 profil	2612 nokta

Bölgede uygulanan DES ve TEM yöntemleri birbirlerine göre çeşitli üstünlükleri nedeniyle tercih edilmiştir. Ölçülerin alındığı alanların geniş DES açılımlarına izin vermemesi nedeniyle bu elektrik sondaj yöntemin ulaşamadığı derinliklere ait bilgiler, daha küçük boş alana ihtiyaç duyması ve daha derinlerden bilgi alması nedeniyle TEM yöntemi kullanılarak sağlanmıştır.

Araştırma derinliği kullanılan frekansa ve ortamın öz direnci ile sınırlı VLF-EM yöntemi büyük alanlarda düşey süreksizlikler hakkında ön bilgi sağlamıştır. Bu yöntem kullanılarak bir doğrultu boyunca belirli aralıklarda yapılan ölçümler ile bölgede her profil boyunca iletkenliğin yanal yönde nasıl değişim gösterdiği araştırılmıştır.

Çalışma alanında İçmeler olarak adlandırılan alan içinde 6 noktada ve Kaymakamlık olarak isimlendirilen alanda 1 noktada olmak üzere toplam 7 noktada DES ölçüsü alınmıştır. DES verileri METZ marka elektrik öz direnç cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Bu ölçümlere ek olarak Hidrotek ve EMA tarafından ölçülmüş DES verileri kullanılmıştır.

Ayrıca Büyük İçme, Kaymakamlık, Aydınlı Caddesi, Mezbaha, Mezarlık, Karatepe Yolu ve Organize Deri Sanayinde olmak üzere toplam 9 noktada TEM ölçüsü alınmıştır (Şekil 5.1).

TEM yöntemi DES yöntemine göre iletken ortamlara daha duyarlı olma, yanal süreksizliklerden etkilenmeme ve geniş açılımların yapılamadığı yerlerde derin yapıların hedeflendiği araştırmalarda oldukça uygundur. TEM verileri SIROTEM MK-3 çok kanallı geçici elektromanyetik cihazı kullanılarak alanı 50x50 m² ve 100x100 m² kare şeklinde verici halkalar ile ölçülmüştür. Veri kalitesini artırmak için, birçok kez (128-256) ölçülen azalım eğrileri (decay curve) üst üste yığılarak (stacking) verilerin ortalaması alınmış böylece gürültü etkisi azaltılmıştır. Ayrıca farklı kazanç (0.1-10) değerlerinde ölçümler tekrarlanmış, yüksek hassasiyet serisi seçilerek, farklı pencere sayıları için 0.008 - 7.18 ms arasında veri toplanmıştır. Fakat değerlendirmede, birincil alanın etkisinin devam ettiği yokuş zamanı içinde kalan kısımlar ile sinyalin bozulmaya başladığı kısımlar atıldıktan sonra elde edilen ve ortalama olarak 0.2 - 5 ms arasında kalan veriler kullanılmıştır.

VLF-EM yöntemi uygulamadaki kolaylığı ile kısa sürede veri toplanması bakımından çalışma alanında en çok kullanılan yöntem olmuştur. Bölgede yaklaşık uzunlukları 100-2000 metre arasında değişen, toplam 28 profil boyunca Scintrex Envi cihazı kullanılarak VLF-EM verisi toplanmıştır (Şekil 5.1). Ölçüm noktası aralıkları her profil için 2 ile 10 metre arasında seçilmiştir. VLF-EM verileri her noktada seçilen üç farklı frekans bandı (16.0 kHz, 23.4 kHz, 28.5 kHz) için toplanmıştır.

5.3 Tuzla Bölgesindeki Jeofizik Verilerin Değerlendirilmesi

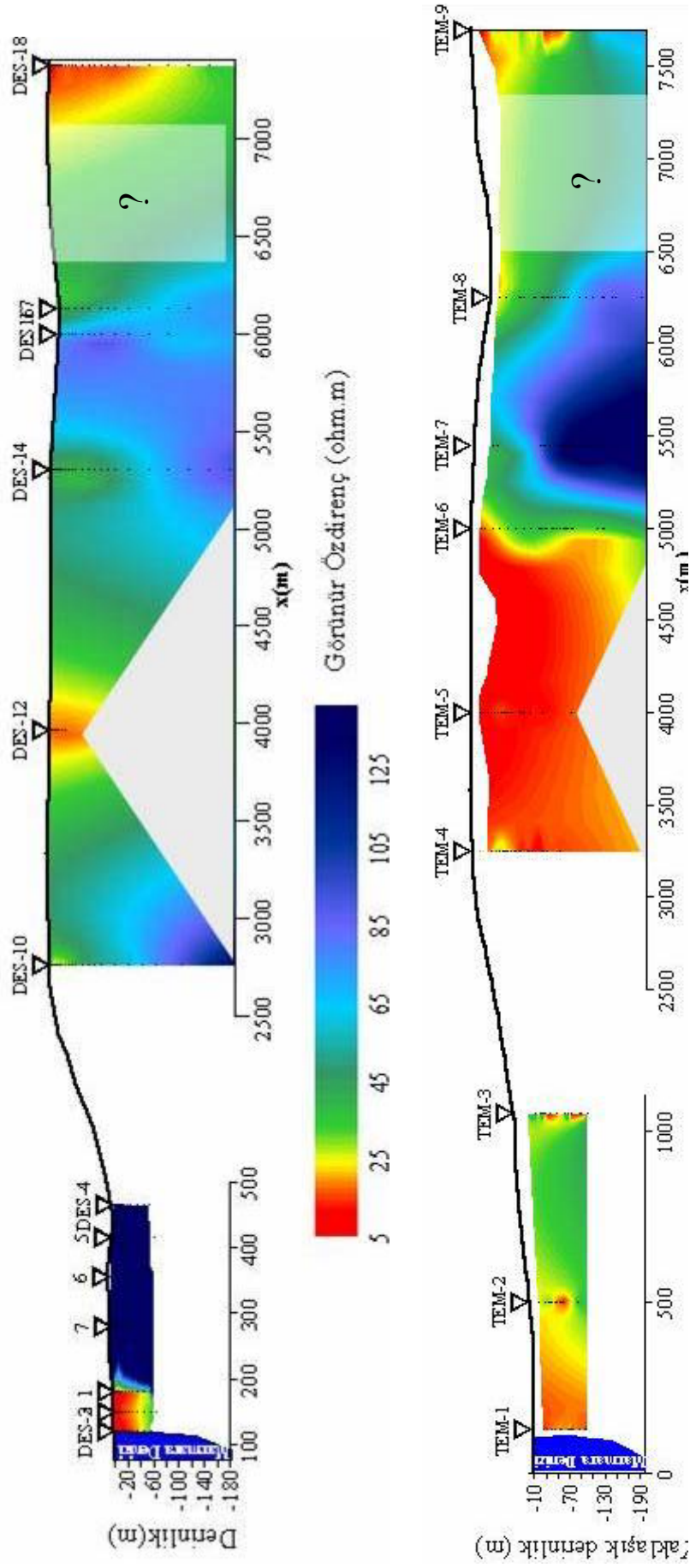
Tuzla bölgesinde düşey ve yanal yöndeki öz direnç dağılımını haritalamak için DES ve TEM delgi sonuçlarına göre görünür öz direnç ve Meju (1995)'e göre hesaplanan yaklaşık derinlik-efektif öz direnç kesitleri hazırlanmıştır. Çok kanallı tek halka ve merkezi halka TEM verileri uzaklığa bağlı çizdirilmiş, aynı doğrultu boyunca toplanan VLF-EM kaydırma verileriyle karşılaştırılarak süreksizliklerin yerleri belirlenmeye çalışılmıştır. DES ve TEM verilerinin ortak ters çözümü sonucu elde edilen katman kalınlıkları ve öz direnç değerlerinden oluşan yerelektrik kesiti oluşturulmuştur. Süreksizliklerle aynı doğrultuda seçilen bir frekansta (16 kHz) VLF-EM kaydırma verilerine Chouteau (1996) süzgeci uygulanarak bölgedeki yatay yöndeki öz direnç değişimi ortaya konmuştur.

5.3.1 DES ve Çok Kanallı TEM Delgi Verilerinin Sunumu

A-A' doğrultusu boyunca ölçülen DES verilerinden oluşturulan andıran kesitler incelendiğinde özdirenç değerlerinin ilk kısımda denizden karaya doğru arttığı, ikinci kısımda 5-125 ohm.m aralıkta değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 5.5). Özellikle denize yaklaşık 120 metre uzaklıkta bulunan İçmeler bölgesinde görünür özdirenç değerlerinin tuzlu su yayılımından dolayı 5-15 ohm.m arasında oldukça düşük değerler aldığı ve daha içlere doğru özdirenç değerleri artarak kamalanma yaptığı görülmektedir. Ayrıca açılımın artmasıyla özdirenç değerlerinin yükseldiği görülmektedir.

Özellikle İçmeler Oteli içinde DES-5 ve DES-7 istasyonlarının bulunduğu noktalarda derinlik arttıkça özdirenç değerlerinin arttığı görülmektedir. Aydınlı Caddesi üzerindeki DES-10 istasyonunda özdirencin 30-120 ohm.m arasında değiştiği görülmektedir. Karatepe Yolu üzerindeki DES-12'de görünür özdirencin düştüğü ve 10-20 ohm.m arasında değerler aldığı görülmektedir. DES-14'te görünür özdirenç değerleri derinlikle artarak 40-125 ohm.m arasında değişmektedir. DES-16 istasyonunda ilk metrelerde yüksek özdirenç değerleri görülürken DES-17 istasyonunda aynı metrelerde daha düşük görünür özdirenç değerleri görülmektedir. Bu DES noktalarında derinlik arttıkça görünür özdirenç değerlerinin de arttığı gözlenmektedir.

Organize Deri Sanayi bölgesinde DES-18 istasyonunda görünür özdirenç değerleri ilk metrelerde 5-25 ohm.m arasında değişmekte ve derinlikle artmaktadır. Şekil 5.5'te Meju (1995)'in efektif derinlik bağıntısı kullanılarak hesaplanan efektif özdirenç kesiti ölçüm olmayan yerler boş bırakılarak iki kısımda çizilmiştir. Hesaplanan TEM kesitinde yaklaşık araştırma derinliği 190 metredir. Kesitlerde yüzeyden 20 metre derinliğe kadar elektriksel bilgi mevcut değildir çünkü bu derinliğe kadar birincil alan etkisinde ölçülen erken zaman verileri ayıklanmıştır. Kesitin ilk kısmında efektif özdirenç değerleri 5-50 ohm.m arasında değişmektedir.



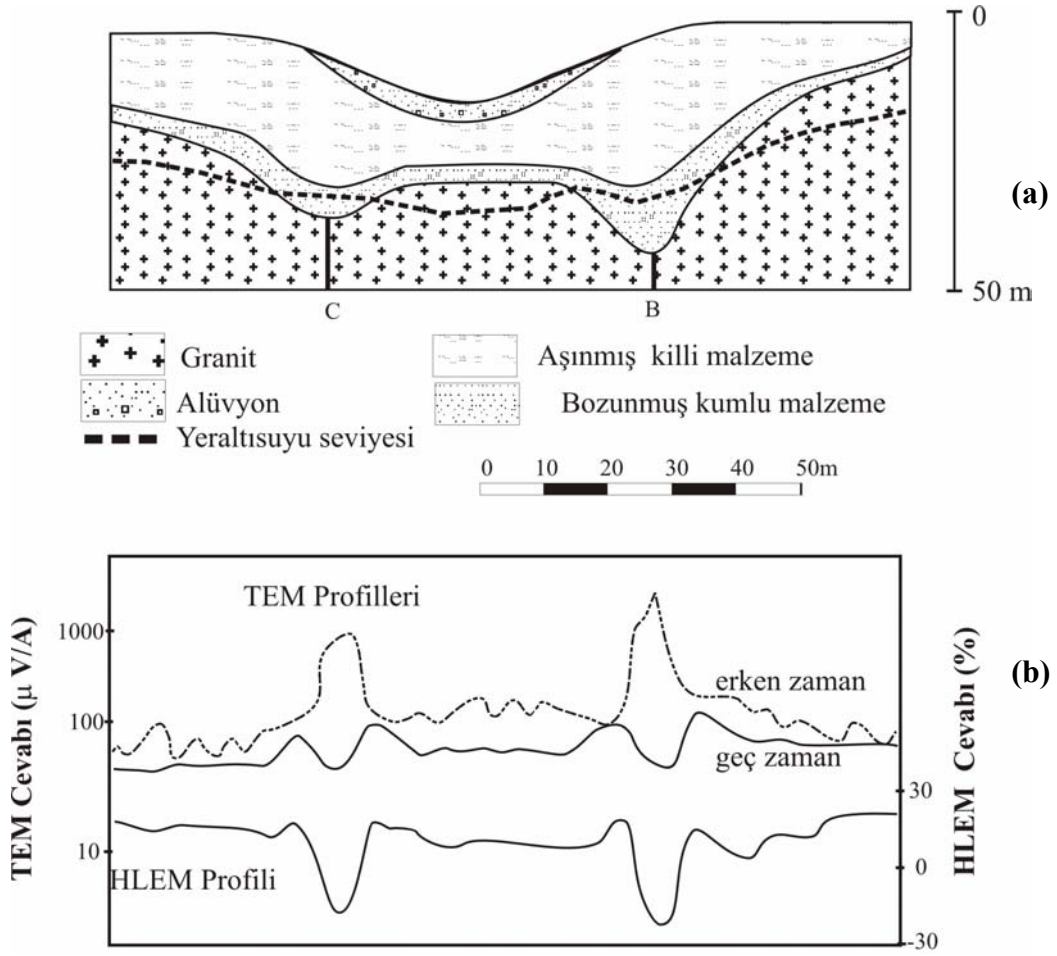
Şekil 5.5 DES andıran kesiti (üstte) ve TEM efektif öz direnç kesiti (altta), (Kesitlerdeki soru işaretli bölgelerde ölçü noktası olmadığından bilgi içermemektedir).

İçmeler bölgesinde tuzlu su yayılımının da etkisiyle TEM-1 istasyonunda üstte 8-20 ohm.m arasında değişen iletken bir tabaka bulunmaktadır. TEM-2 ve TEM-3 istasyonlarında derinlik arttıkça görünür öz direncin artarak 50 ohm.m'ye yükseldiği görülmektedir. Aydınli Caddesi üzerindeki TEM-4 istasyonunda 20-25 ohm.m ve TEM-5 istasyonunda 5-25 ohm.m arasında öz direnç değerleri görülmektedir.

Karatepe Yolu üzerindeki TEM-6 istasyonunda, üstte görünür öz direnç değerleri 20-30 ohm.m arasında değişen bir tabaka altında daha dirençli bir tabaka gözlenmektedir. TEM-7 istasyonunda yaklaşık 30 metre derinlikten sonra görünür öz direnç değerlerinin derinlikle arttığı gözlenmektedir. TEM-8 noktasında bu değişim devam ederek, derinlikle görünür öz direnç değerlerinin arttığı görülmektedir. Yaklaşık 8 km'lik profil üzerinde TEM verileri yapılaşmanın elverdiği ölçüde toplanmaya çalışılmıştır fakat soru işaretli bölgede ölçüm yapılamadığından değerlendirmeye katkısı yoktur. Organize Deri Sanayi içindeki TEM-9 istasyonunda üstte arenalaşmış granit düşük görünür öz direnç değerleri gösterirken, buradaki sıcak su kuyusundan dolayı öz direncin düştüğü düşünülmektedir.

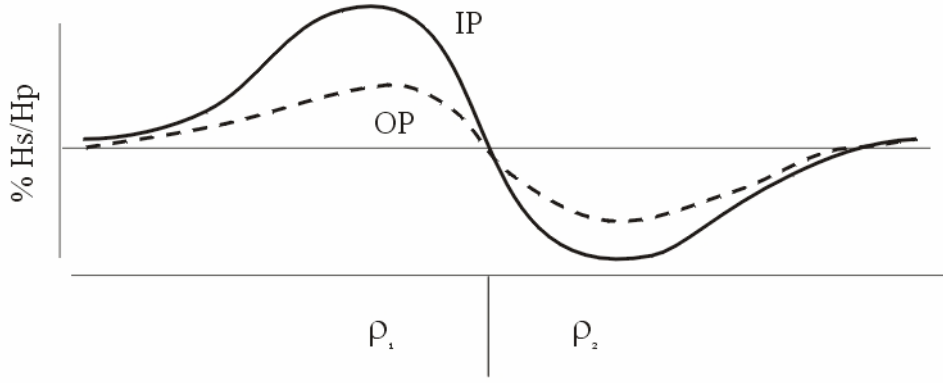
5.3.2 Çok Kanallı TEM Verilerinin Kaydırma Eğrileri Biçiminde Gösterimi ve VLF-EM Kaydırma Verileriyle Ortaklaşa Yorumu

Çalışma bölgesinde kullanılan elektromanyetik yöntemlerin verileri profil verileri biçiminde çizilerek jeolojik yapı ve süreksizlikler hakkında detaylı bilgi sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 5.6'da Meju ve diğ., 2001'den alınan bir örnekte iki süreksizlik üzerinde elektromanyetik yöntemlerden TEM ve HLEM ile ölçülen veriler görülmektedir. Aslında yatay katmanlı ortam yaklaşımıyla kullanılan TEM yöntemi farklı biçimde düşey süreksizliklerin saptanması amacıyla profil ölçümü biçiminde gösterilmiştir. Buna göre erken zamanlarda iletken yapı üzerinde tek halka TEM anomalisi tek tepe şeklinde görülürken, geç zamanlarda derindeki daha iletken kırıklar üzerinde basık çift tepe anomalisi üretmektedirler. Düşey süreksizliklerin saptanması amacıyla kullanılan HLEM verisi TEM profil ölçümü ile büyük bir benzerlik ve uyum göstermektedir. HLEM verisi süreksizlikler üzerinde sıfır geçişi ile birlikte anomali vermektedir.



Şekil 5.6 Kırıklı granit temel üzerindeki bozunmanın ürettiği elektromanyetik cevaplar. Aşınmış ve derin kırık bölgelerini temsil eden model (a). Kalın örtü tabaka üzerindeki TEM erken zaman tek tepe anomalisi ile kırık bölgesindeki geç zaman çift tepe anomalisi ve kırık bölgesindeki HLEM anomalisi (Meju ve diğ., 2001), (b).

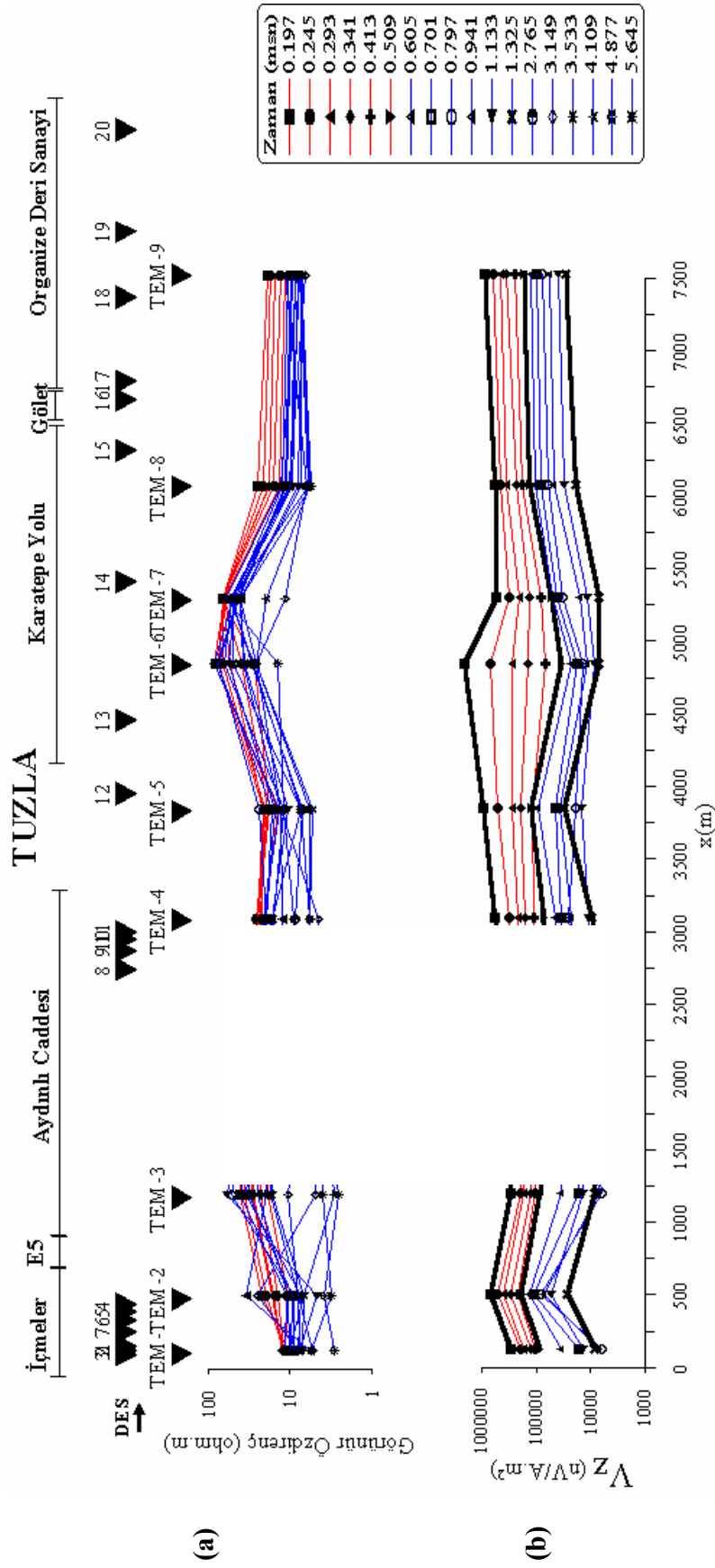
Bu çalışmada benzer bir yaklaşım kullanılarak TEM kaydırma verileri yine düşey süreksizliklerin saptanması amacıyla kullanılan VLF-EM kaydırma ölçümleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 5.7). Dolayısıyla bu çalışmadaki beklentimiz TEM ve VLF-EM kaydırma verilerinin aynı bölgede anomali göstermesidir. Şekil 5.8 (a)'da görünür öz direnç eğrilerinde, TEM-2, TEM-3 ve TEM-7 istasyonlarında erken zamanlarda düşük görünür öz direnç değerleri, geç zamanlarda önce yüksek sonra düşük değerler görülmektedir. Bu görünüm bölgede tabakalı yer yapısını iletken örtü tabaka, ortada dirençli birim ve en altta iletken bir tabaka ile temsil edildiği izlenimi vermektedir.



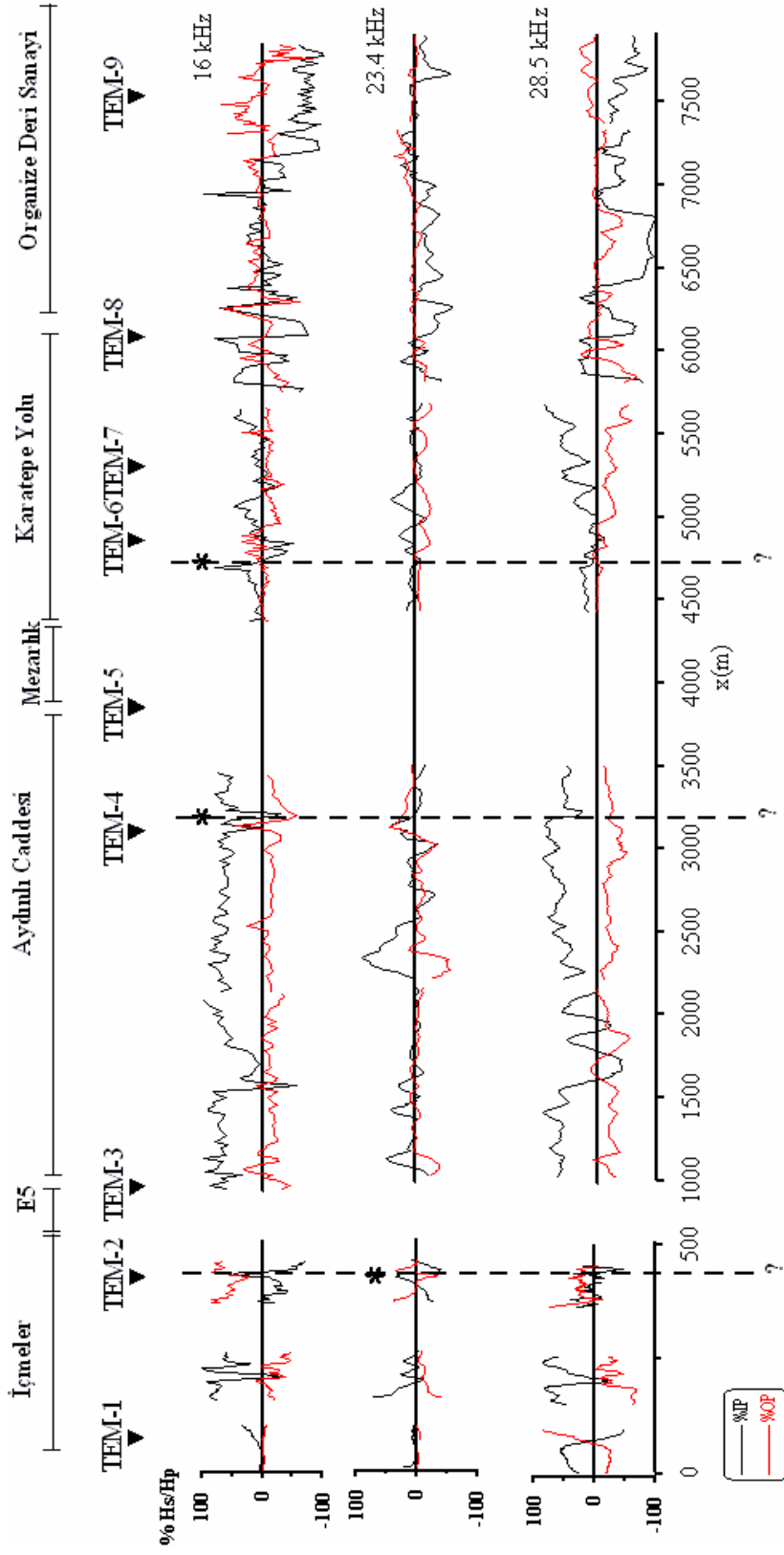
Şekil 5.7 düşey kontak üzerinde oluşan VLF-EM gerçel ve sanal bileşen anomalileri (Milsom, 1996'dan yeniden çizilmiştir).

Ayrıca çeşitli zaman pencereleri için çizilen gerilim eğrilerinde gerilim değerlerine bakıldığında koyu siyah çizgilerle belirginleştirilen erken zamanlarda tek tepe, geç zamanlarda çift tepe anomalisi görülmektedir (Şekil 5.8(b)). Erken zamanlarda TEM-1 istasyonundaki gerilim cevabı TEM-2'den düşük iken TEM-3'te daha da düşmekte, TEM-6'da cevap artarak son istasyonda azalarak sonlanmaktadır. TEM-2 ve TEM-6 istasyonlarında erken zamanlarda yüksek genlikli tek tepe anomalisi kalın örtü tabakayı temsil etmektedir (Meju ve diğ., 2001). TEM-5 istasyonunda erken zamanlardaki kırık bölgesine ait yüksek genlikli anomali geç zamanlarda da görülmektedir. Geç zamanlarda TEM-5 istasyonunda düşük değerlerle asimetrik çift tepe şeklinde anomali görülmektedir. Bu da TEM-5'te iletken tabaka altında kuzeye eğimli iletken kırık bölgesini işaret etmektedir.

A-A' kesiti üzerinde ölçülmüş VLF-EM profillerinin gerçel (IP- siyah) ve sanal (OP- kırmızı) bileşen grafikleri Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Yaklaşık 8 km'lik AA' profili boyunca ölçülen VLF-EM eğrileri üç farklı frekansta çizilmiştir. Bu profil boyunca ölçüm alınamayan kısımlar boşluklar şeklinde bırakılmıştır. Bu şekildeki VLF-EM verisi farklı iletkenlikteki yapıların kontaklarını çok iyi görüntülemektedir. Gerçel (IP) bileşendeki sıfır geçişleri süreksizlikleri veya jeolojik birimlerin sınırlarını gösterdiği düşünülen kesikli çizgiyle işaretlenmiştir. Bu kesikli çizgi üzerine denk gelen TEM istasyonlarının kaydırma eğrilerinde de geç zamanlarda süreksizlik anomalisi olarak belirtilen çift tepe anomalisi ölçülmüştür.



Şekil 5.8 Çeşitli zaman pencereleri için tek halka (single-loop) TEM görünür öz direnç profil eğrileri (a) ve ölçülen gerilimin düşey bileşeni (b). Kırmızı renk ile erken zamanlar, mavi renk ile geç zamanlar gösterilmiştir.

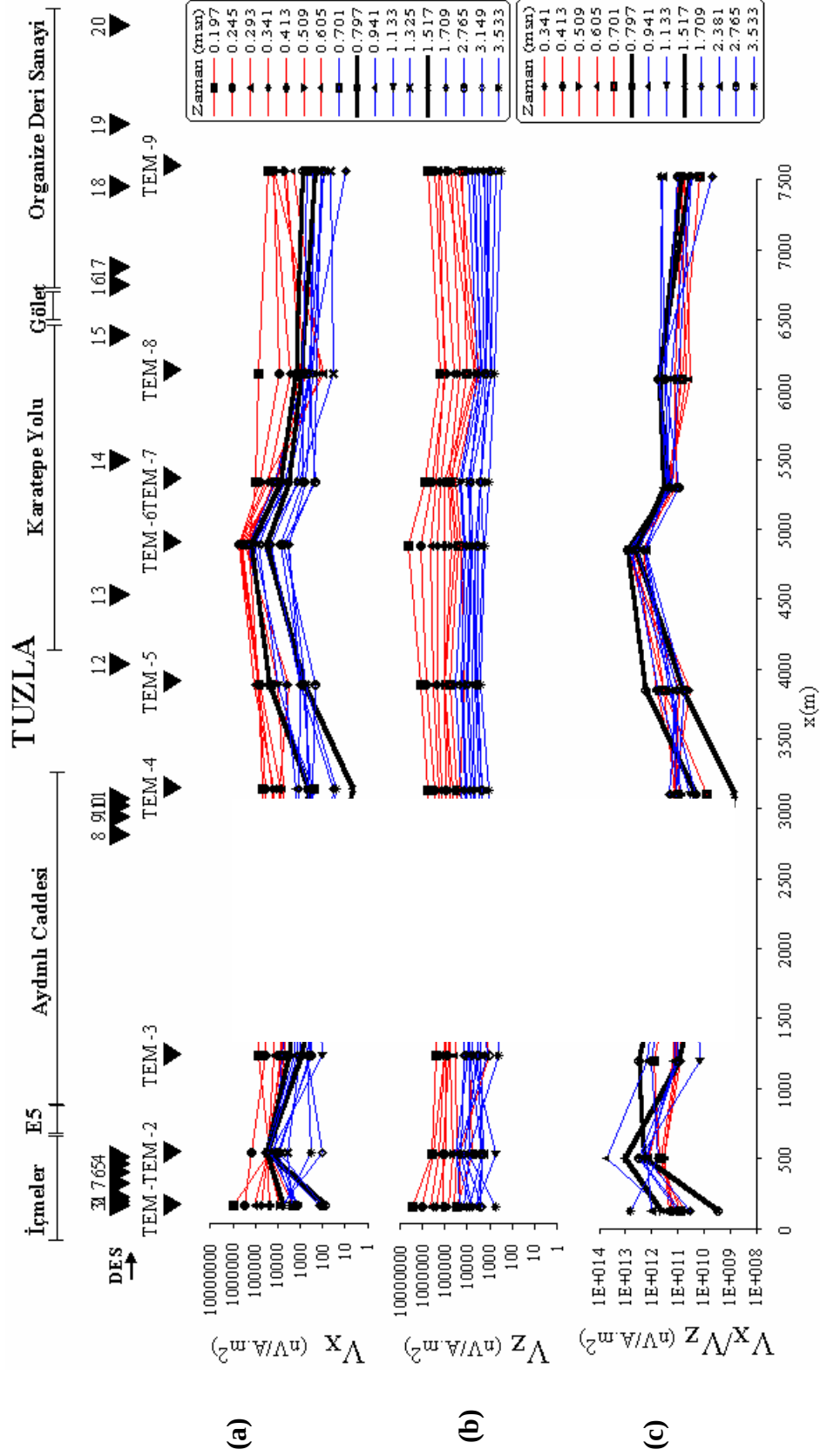


Şekil 5.9 A-A' kesiti üzerindeki profillerin çeşitli frekanslardaki IP ve OP grafikleri (kesikli çizgiler ve soru işaretleri olası kırıkları, yıldızlar sıfır geçişlerini göstermektedir; en üstte ise TEM istasyonlarını gösteren A-A' kesiti yer almaktadır).

Çok kanallı (multi-channel) TEM ölçümlerinde üç bileşen aynı anda ölçülebilmekte, düşey yöndeki iletkenlik değişimlerine duyarlı merkezi halka TEM yöntemi kullanılarak derinlik sondajı bilgisi sağlanabilmektedir. Wilt ve Williams (1989)'da belirtildiği gibi jeolojik süreksizliklerin yakınında, H_z zayıflayarak halkanın merkezinde yapıya doğru yönlenmiş H_x bileşeni ortaya çıkmaktadır. Düşey alan cevabında süreksizlik etkisi, süreksizliğin her iki tarafındaki alan şiddetleri seviyesini arttırmaktadır. Zaman ilerledikçe uzaklık artışına bağlı olarak süreksizlik anomalisinde azalma görülmektedir.

Yatay bileşen süreksizlik etkisi süreksizliğin iletken tarafında tepe anomalisi şeklindedir. Erken zamanlarda tepeler büyük ve süreksizliğe yakındırlar. Süreksizlikten uzakta ve geç zamanlarda etki ortadan kalkar. Merkezi halka TEM yönteminde ölçülen manyetik alanın zamana göre türevi gerilim cevabına eşittir olduğundan süreksizliğe yakın istasyonlarda, süreksizlik etkisi gerilim cevabında erken zamanlarda ortaya çıkmakta ve eğer verici halka süreksizlik kenarını aşarsa bütün azalan eğri (gerilim cevabı) etkilenmektedir. Bu davranış Nabighian'ın sigara halkaları(smoke rings) olarak bilinmektedir (Wilt ve Williams, 1989). Süreksizlikten uzak istasyonlarda, uyarılan akım simetrik halka şeklinde kaynaktan yayılmaktadır. Süreksizlik kenarına akımın bir parçası ulaşırsa, simetri bozulmakta ve daha ileri yayılamamaktadır. Bu durumda düşey bileşene (V_z) ait alan yatay bileşende ortaya çıkmaktadır. Düşey bileşenin zayıflayarak yatay bileşenin (V_x) gelişmesi ölçümün süreksizliğe yakın yapılmasıyla erken zamanlarda artmaktadır.

Bu bilgiler ışığında çok kanallı TEM ölçümlerinden düşey süreksizlikleri saptaması amacıyla her üç bileşenin çeşitli zaman pencerelerine göre gerilim cevapları çizilerek karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 5.10). Merkezi halka düşey bileşen (V_z) gerilim eğrileri 1 saniyeden küçük gecikme zamanlarında (erken zamanlarda) düz bir cevap göstererek örtü tabaka öz direncinin yanal değişimlerden daha az etkilendiğini ortaya çıkarmaktadır (Şekil 5.10(b)). Geç zamanlarda TEM-5 ve TEM-7 istasyonlarında düşük değerler görülmektedir. Daha tanımlayıcı yatay bileşen cevapları TEM-4, TEM-5 ve TEM-7 istasyonlarında zıt geçişler göstermektedir (Şekil 5.10(a)). Bu da süreksizlik bölgelerini gösteren başka bir işarettir. TEM-5 ve TEM-7 istasyonlarında bu oran işaret değişimi göstermektedir ki bu da süreksizlik bölgelerini işaret etmektedir (Şekil 5.10 (c)).



Sekil 5.10 Çeşitli zaman pencereleri için merkezi halka düzeneğiyle ölçülen çok kanallı TEM profil eğrileri. Ölçülen gerilimin X yönündeki bileşeni (a), Z yönündeki bileşeni (b), X ve Z yönündeki bileşenlerinin birbirine oranı (tipper) (c). (Kırmızı renk ile erken zamanlar, mavi renk ile geç zamanlar gösterilmiştir.)

5.3.3 DES ve TEM Verilerinin Yatay Katman (Ters Çözüm) Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi

İnceleme alanında ölçülen DES ve TEM verilerinden yer elektrik yapıyı temsil eden katman kalınlıkları ve gerçek özdirenç değerlerinin elde edilmesi amacıyla ortak ters çözüm tekniği uygulanmıştır. Bu amaçla Şekil 5.3'teki A-A' doğrultusundaki profil üzerinde bulunan TEM-1 ve DES-3, TEM-2 ve DES-4, TEM-4 ve DES-10, TEM-5 ve DES-12, TEM-6 ve TEM-7 ile DES-14, TEM-8 ve DES-16, TEM-9 ve DES-18 verilerinin ortak ters çözümleri yapılmıştır. Bölgede ölçülen verilerin değerlendirilmesi için Türkoğlu (2003) tarafından yazılan DES ve TEM verilerinin ortak ters çözümünü hesaplayan program kullanılmıştır. Ortak ters çözüm işleminde, ölçümler sonucunda elde edilen görünür özdirenç verilerinden oluşturulan arazi eğrileri ile programa başlangıç modeli olarak girilen parametreler (özdirenç ve tabaka kalınlıkları) tarafından oluşturulan model eğriler, aralarında en iyi uyum sağlanana kadar yineleme (iterasyon) işlemi yapılmaktadır. Yineleme işlemi, yineleme sayısının programa girilmesiyle belirlendiği gibi ölçülen eğri ile model eğri arasındaki çakışma ölçütü farkının belirli bir değerin altına inmesi ile de gerçekleştirilebilir. Böylece gerçeğe en uygun yer altı modeli elde edilmeye çalışılmaktadır.

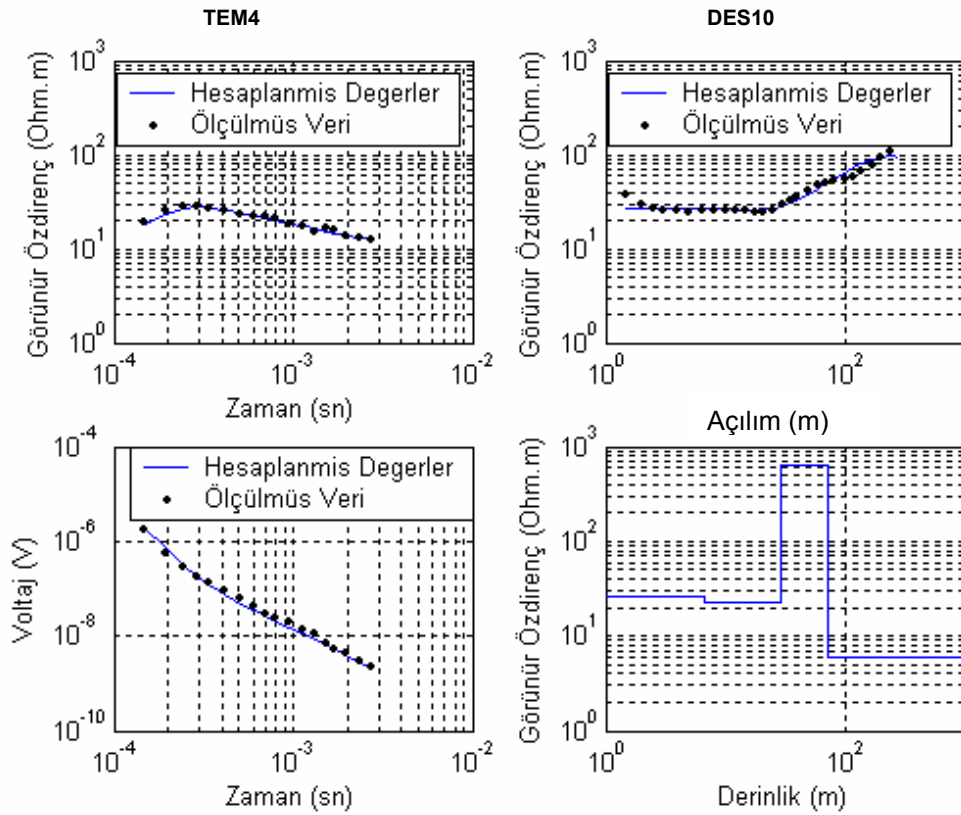
Bölgenin jeolojik yapısı ve ölçülen görünür özdirenç değerleri ile oluşturulan kesitlerden sağlanan bilgilerden ortak ters çözüm uygulaması için iyi bir başlangıç modeli oluşturma amacıyla yararlanılmıştır. DES yönteminde derin yapıları çözmek için kilometrelerce elektrot aralığı kullanmak gerekmektedir ve tabakaların özdirenç-kalınlık çarpımını tek başına bulunamamaktadır. Diğer yandan elektromanyetik yöntemler iletken tabaka parametrelerini iyi çözerken, dirençli tabakalara nüfuz edebilen akımlar az uyarıldıklarından bu yapılara duyarlı değildir. Bu yüzden DES ve TEM yöntemlerinin ortak ters çözümü daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu sayede aynı fiziksel parametreleri ve tabaka kalınlıklarını temsil eden veri kullanılarak zayıf olan yöntem diğeriyle telafi edilebilir.

Bu durumda çözüm modeli başlangıç tahminlerine daha az bağımlı, hata sınırları daha düzeltilmiş ve eşdeğerlik problemi çözülmüş olur. Ters çözüm sonuçlarının güvenilirliğini belirlemek için sönümlenme katsayıları, parametre öz yöneyler dizeyi (V), model ayrımlılık dizeyi (R) ve çakışma ölçütü değerleri incelenmiştir. Aydınli Caddesi üzerinde alınan TEM-4 ve DES-10 noktalarındaki ölçümlerin ortak ters çözüm sonuçları Şekil 5.11 ve Tablo 5.2’ de verilmektedir. Parametre öz yöneyi dizeyi köşegen değerlerinden her biri (V_i) fiziksel parametrelerin logaritmalarının doğrusal birleşimidir. Bu dizey kullanılarak hangi öz değerin hangi parametreyi kontrol ettiği incelenebilir. Sönümlenme katsayısı değeri 0.9’un üstünde ise, o öz değerin kontrol ettiği parametre iyi çözülmüş ve çözüm güvenilir olarak ele alınmaktadır. Sönümlenme katsayısı 0.8’in altında ise o öz değerin kontrol ettiği parametre iyi çözülmemiş ve tam olarak güvenilemez, katsayı 0.1’in altında olursa öz değerin kontrol ettiği parametre hiç çözülememiştir (Raiche ve diğ., 1985). Buna bağılı olarak Tablo 5.2 incelendiğinde V_1 değerinin tam olarak çözüldüğü ve V_2 , V_3 değerlerinin ise oldukça iyi bir çözüme sahip olduğu sönüm katsayısı değerlerine bakılarak söylenebilir. V_7 değerinin 0.8’den küçük olması nedeniyle iyi bir çözüme sahip olmadığı ve bu değerlere tam olarak güvenilmeyeceği görülmektedir.

Ayrıca V_i değerlerinin en büyük olduğu yerdeki değerlere, negatif veya pozitif değerin almasına bakarak çözülen model parametreleri ve birbirleriyle olan ilişkileri belirlenmiştir. Tablo 5.2’de V_3 için altıncı ve ikinci satırdaki değerler yüksek ve aynı zamanda zıt işaretlidirler. Bu sonuca göre çözülen model parametresi ρ_2/h_2 oranı olarak belirlenmiştir. Bunların dışında model ayrımlılık dizeyi (R) değerlerine bakıldığında birinci ve ikinci tabakanın kalınlığının çok iyi bir çözüme sahip olmadığı, diğer tabakaların öz direncinin ve kalınlığının tam olarak çözüldüğü söylenebilmektedir. Ayrıca standart sapma değerlerinin küçük olması ve çakışma ölçütünün küçük bir değerde olması, ortak ters çözüm sonuçlarının güvenilir olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.2 TEM-4 ve DES-10 verilerinin ortak ters çözüm sonuçları

Model Parametreleri	Başlangıç Modeli	Çözüm	TEM-4 ve DES-10 Parametre Öz yöneyleri Dizeyi							(R) Model Ayrıklık Değerleri	Standart Sapma
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7		
ρ_1	40	26	-0,807	-0,399	-0,43	0,04	-0,001	-0,03	0,005	0,99	0,2
ρ_2	20	23	-0,472	0,135	0,687	-0,38	0,006	0,36	0,08	0,99	1,3
ρ_3	100	637	-0,071	0,035	0,145	0,84	0,122	0,49	0,04	0,99	1,4
ρ_4	10	6	-0,078	0,302	-0,141	-0,094	0,932	-0,06	-0,006	0,99	1,2
h_1	10	7	0,007	0,04	-0,1	-0,103	-0,026	0,3	-0,94	0,4	11,2
h_2	15	23	0,135	0,192	-0,5	-0,305	-0,113	0,68	0,31	0,92	4
h_3	25	44	-0,310	0,83	-0,15	0,15	-0,318	-0,25	-0,03	0,99	0,8
Sönüm Katsayısı			1	1	1	1	1	1	0,34		
Çözülen Model Parametresi			$\frac{h_2}{\rho_1}$	$\frac{\rho_2 h_2}{h_3}$	$\frac{\rho_2}{h_2}$	$\frac{\rho_4}{\rho_3}$	$\frac{1}{\rho_3 \rho_4}$	h_1	$\frac{1}{\rho_1 h_1}$		



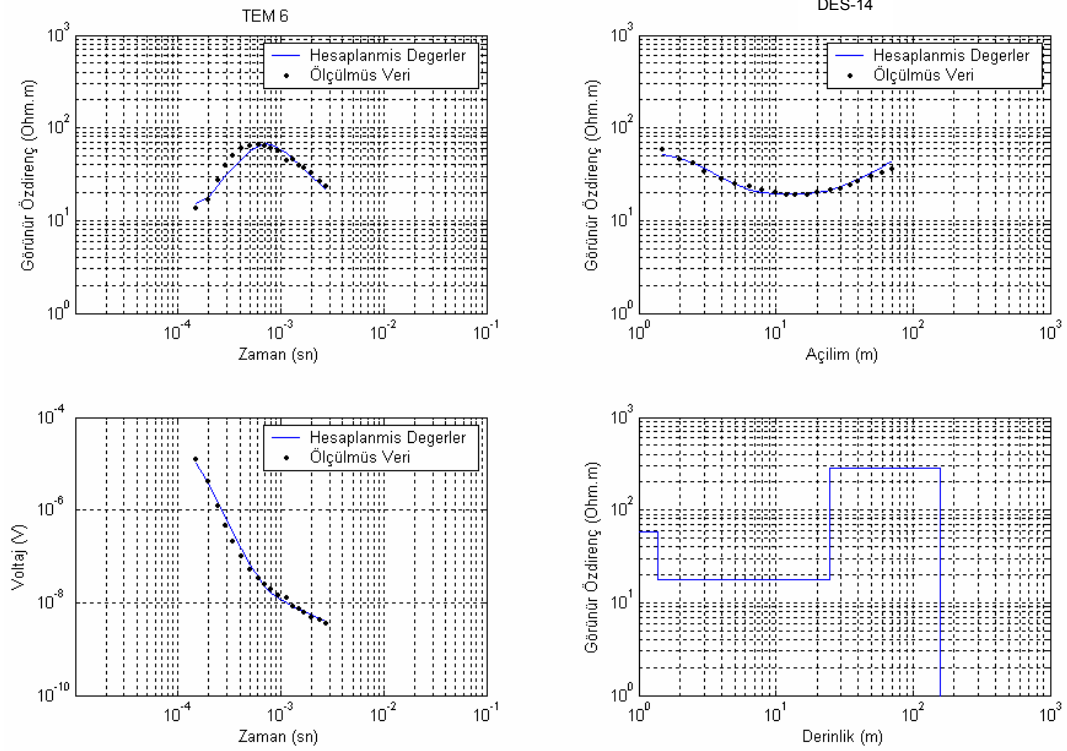
Şekil 5.11 TEM-4 ve DES-10 noktalarında ölçülen verilerin ortak ters çözümü ve bulunan yer modeli.

Karatepe Yolu üzerinde yapılan TEM-6 ve DES-14 ölçümlerinin ortak ters çözümünden elde edilen sonuçlar Tablo 5.3 ve Şekil 5.12’de verilmektedir. Sönüm katsayıları incelendiğinde 6. ve 7. parametrelerin dışındaki değerlerin 1’e yakın olduğu, bu parametrelerin çok iyi çözüldüğü söylenebilir. Ters çözüm sonucunda elde edilen V dizeyi değerleri incelendiğinde V_6 ve V_7 değerlerinin 0.8’den küçük olması nedeniyle iyi bir çözüme sahip olmadığı belirlenmiştir (Tablo 5.3). Model ayrımlılık dizeyi (R) değerlerine bakıldığında ikinci tabaka öz direnci ve kalınlığının tam olarak, üçüncü ve dördüncü tabakanın öz direncinin birbirine bağımlı olarak çözüldüğü görülmektedir.

Tablo 5.3 TEM-6 ve DES-14 verilerinin ortak ters çözüm sonuçları

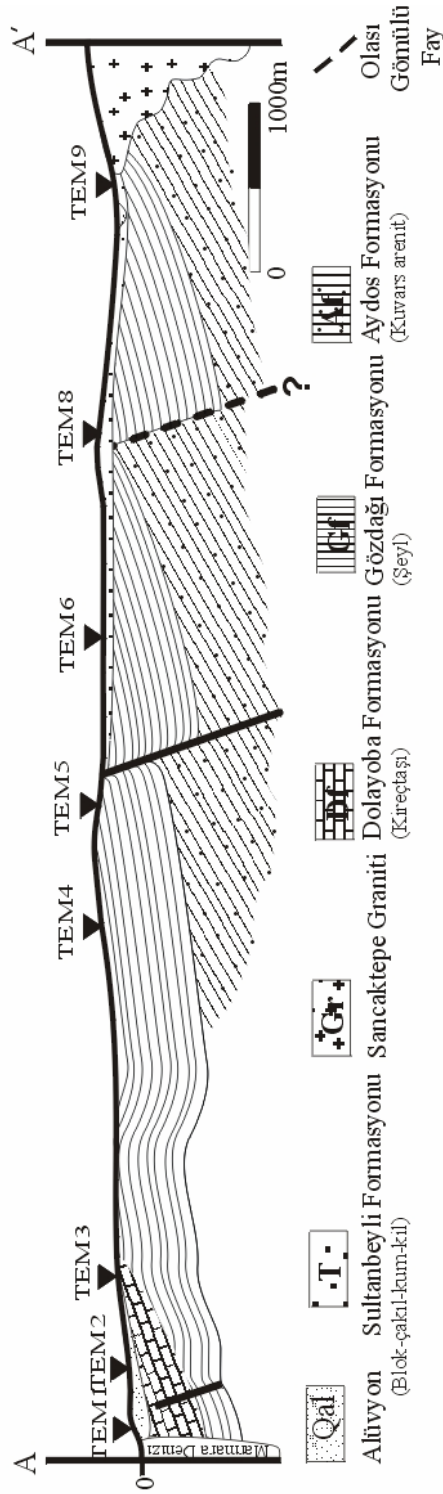
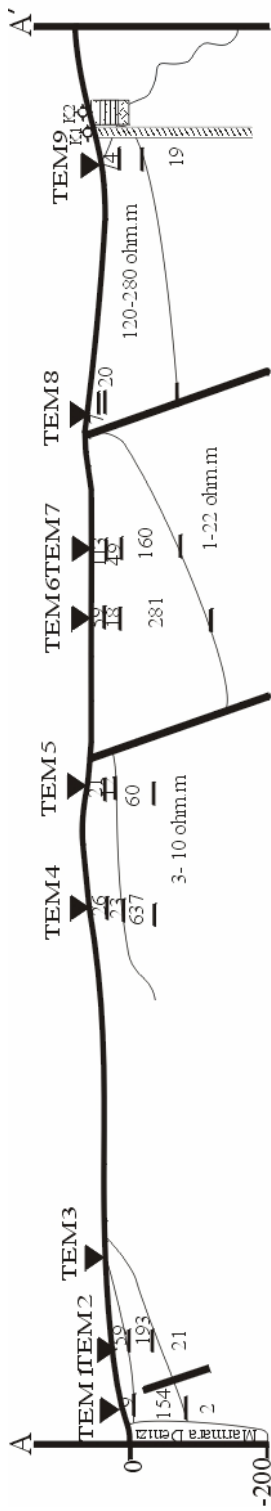
Model Parametreleri	Başlangıç Modeli	Çözüm	TEM-6 ve DES-14 Parametre Öz yöneyleri Dizeyi							(R) Model Ayrımlılık Değerleri	Standart Sapma
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7		
ρ_1	60	59	0,053	-0,011	0,744	0,52	-0,4	0,01	-0,002	0,98	0,65
ρ_2	20	18	0,794	-0,14	0,218	-0,52	-0,16	0,01	-0,011	0,99	0,37
ρ_3	70	281	0,069	-0,02	-0,048	0,07	0,032	0,58	0,803	0,45	3,39
ρ_4	20	1	-0,006	0,05	0,01	-0,03	-0,04	-0,8	0,590	0,51	3,19
h_1	15	1	0,044	-0,01	0,48	-0,008	0,87	-0,03	0,01	0,95	1,15
h_2	35	24	-0,59	-0,04	0,4	-0,006	-0,19	0,1	0,07	0,98	0,60
h_3	45	134	-0,092	-0,98	-0,063	0,094	0,02	-0,06	0,013	0,99	0,25
Sönüm Katsayısı			1	1	1	1	0,94	0,58	0,372		
Çözülen Model Parametresi			$\frac{\rho_2}{h_2}$	$\frac{1}{h_3}$	ρ_1	$\frac{\rho_1}{\rho_2}$	h_1	$\frac{\rho_3}{\rho_4}$	$\frac{1}{\rho_1 h_1}$		

Tuzla bölgesinin yer elektrik yapısının belirlenebilmesi amacıyla A – A’ kesiti üzerinde yer alan TEM ve DES verilerinin ortak ters çözüm sonuçlarına göre bir yer elektrik kesiti oluşturulmuştur (Şekil 5.13). TEM-1 istasyonunda 18 m kalınlığında oldukça düşük öz dirençli alüvyon tabakası altında 154 ohm.m öz dirence sahip Dolayoba Formasyonu yer almaktadır.



Şekil 5.12 TEM-6 ve DES-14 noktalarında ölçülen verilerin ortak ters çözümü ve bulunan yer modeli.

Düşük öz dirençli birimlerin tuzlu suyun yayıldığı alanlar olduğu görülmektedir. TEM-2 istasyonunda 49 m derinlikten sonra Dolayoba Formasyonunun öz direnci 21 ohm.m'ye düşmektedir. TEM-4 istasyonunda 7 m dolgu tabakası altında 23 ohm.m öz dirençli Gözdağ Formasyonu ve altında geçirimsiz kuvarsitlerden oluşan Aydos Formasyonunun yer aldığı düşünülmektedir. TEM-5 istasyonunda sığ kesimlerde düşük görünür öz direnç değerleri gözlenmektedir. TEM-7 istasyonunda üst kesimlerde görünür öz direnç değerleri artarak dirençli yapı sığ kesimlere taşınmıştır. TEM-8 istasyonunda düşük öz dirençli dolgu tabakası altında 20 ohm.m öz dirençli Gözdağ Formasyonu ve altında yüksek öz dirençli Aydos Formasyonu yer almaktadır. TEM-9 istasyonundaki ters çözüm sonuçları ve yakınındaki sıcak suyun olduğu sondaj kuyusu ve araştırma sondajı bilgileri kullanılarak arenalaşmış granitin sığ kesimlerde iletken özellikte olduğu anlaşılmaktadır.

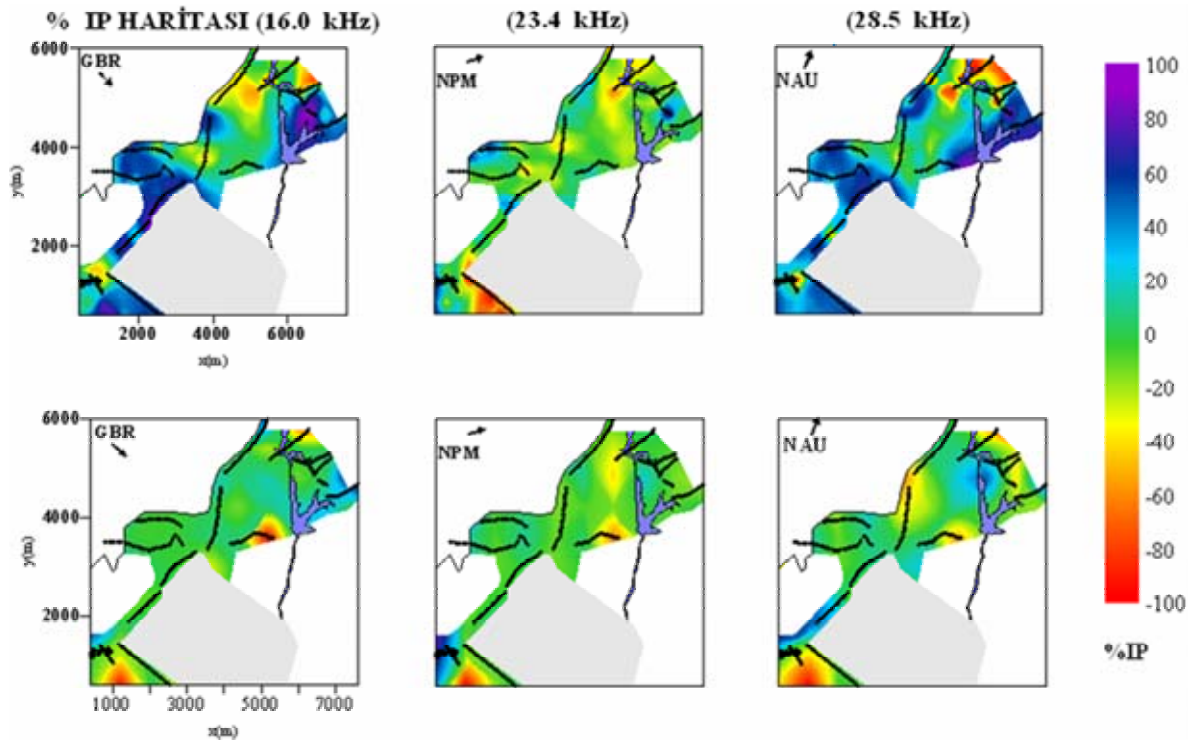
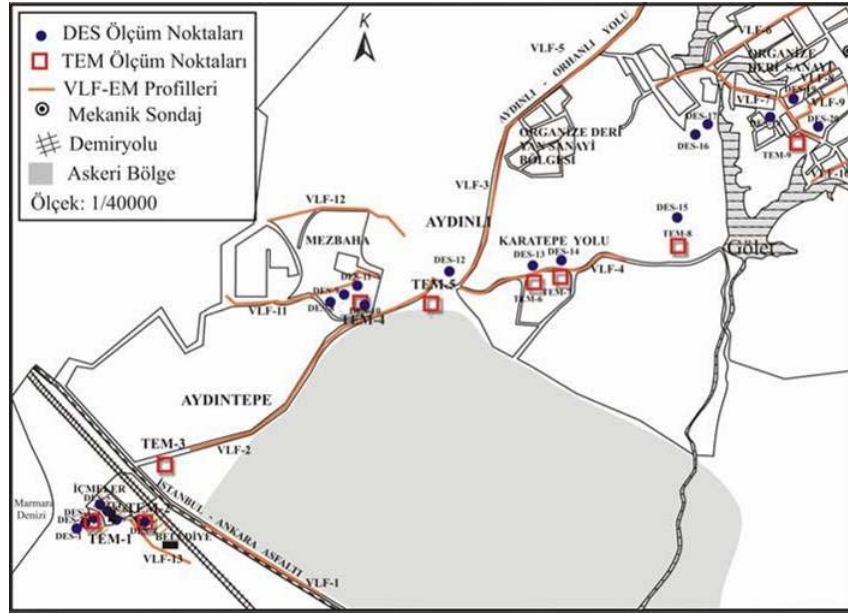


Şekil 5.13 TEM ve DES verilerinin ortak ters çözümünden elde edilen yer elektrik kesiti ve altta jeolojik kesit. (K1 sıcak su kuyusu ve K2 sondaj kuyusu olarak gösterilmiştir).

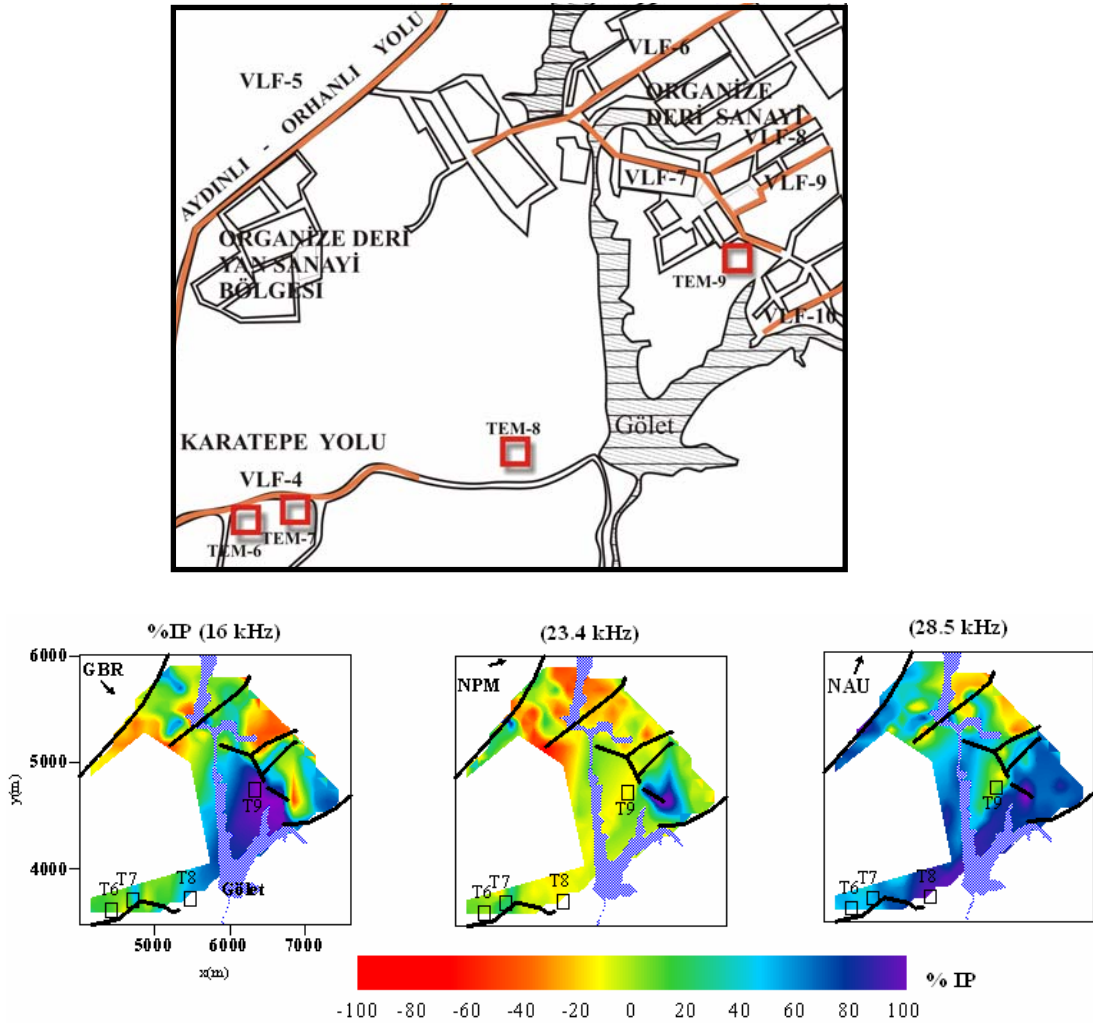
5.3.4 VLF-Elektromanyetik Kaydırma Verilerinin Değerlendirilmesi

Çalışma alanında jeolojik sınırların araştırılmasında kullanılan VLF-EM yöntemiyle verici istasyona ve jeolojik uzanıma dik profiller boyunca ölçümler alınmıştır. Ölçümler şehir içinde yapıldığından yapılaşmanın izin verdiği ölçüde sık yapılmaya çalışılmıştır. Bu ölçümlerden farklı frekans değerlerinin (16.0, 23.4, 28.5 kHz) gerçel (IP) bileşen kontur haritaları çizilmiştir (Şekil 5.14). Buna göre İçmeler' den Organize Deri Sanayi'nin de içinde olduğu bölgenin gerçel (IP) bileşen kontur haritasında zıt işaretli kapanımlar görülmektedir. Bu zıt işaretli kapanımlar farklı iletkenliğe sahip iki ortamı dolayısıyla bölgedeki süreksizlikleri göstermektedir. Organize Deri Sanayinde zıt işaretli değerlerin en çok Gölet'e doğru arttığı görülmektedir. gerçel bileşen haritalarındaki beyaz kısımlar ölçüm yapılamayan yerleri göstermektedir.

Ölçülen gerçel bileşen değerlerine Fraser süzgeci uygulanarak hazırlanan kontur haritalarındaki, iletkenliğin yüksek olduğu süreksizlik bölgelerinde düşük IP değerleri görülmektedir (Şekil 5.14). Aydınli-Orhanlı ve Karatepe yolu üzerindeki negatif kapanımlar bunu desteklemektedir. Organize Deri Sanayinde bulunan VLF-4, VLF-5, VLF-6, VLF-7, VLF-8, VLF-9 ve VLF-10 profillerinin her üç frekansta kontur haritaları hazırlanarak daha detaylı görüntü elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 5.15). Gerçel bileşen verisi konturlanarak elde edilen zıt işaretli kapanımlar iletken ve dirençli bölge sınırlarını, iletken kırmızı bölgeler ise arenalaşmış granit sokulumunu göstermektedir.



Şekil 5.14 Tuzla bölgesi lokasyon haritası (üstte), VLF-EM gerçel (IP) bileşen ve gerçel bileşene Fraser süzgeci uygulanarak hazırlanmış kontur haritaları (altta).



Şekil 5.15 Tuzla bölgesinde KD da bulunan Organize Deri Sanayindeki turuncu çizgilerle gösterilen VLF-EM profillerinin lokasyon haritası (üstte) ve bu profillerin her üç frekanstaki gerçel (IP) bileşen kontur haritaları (altta).

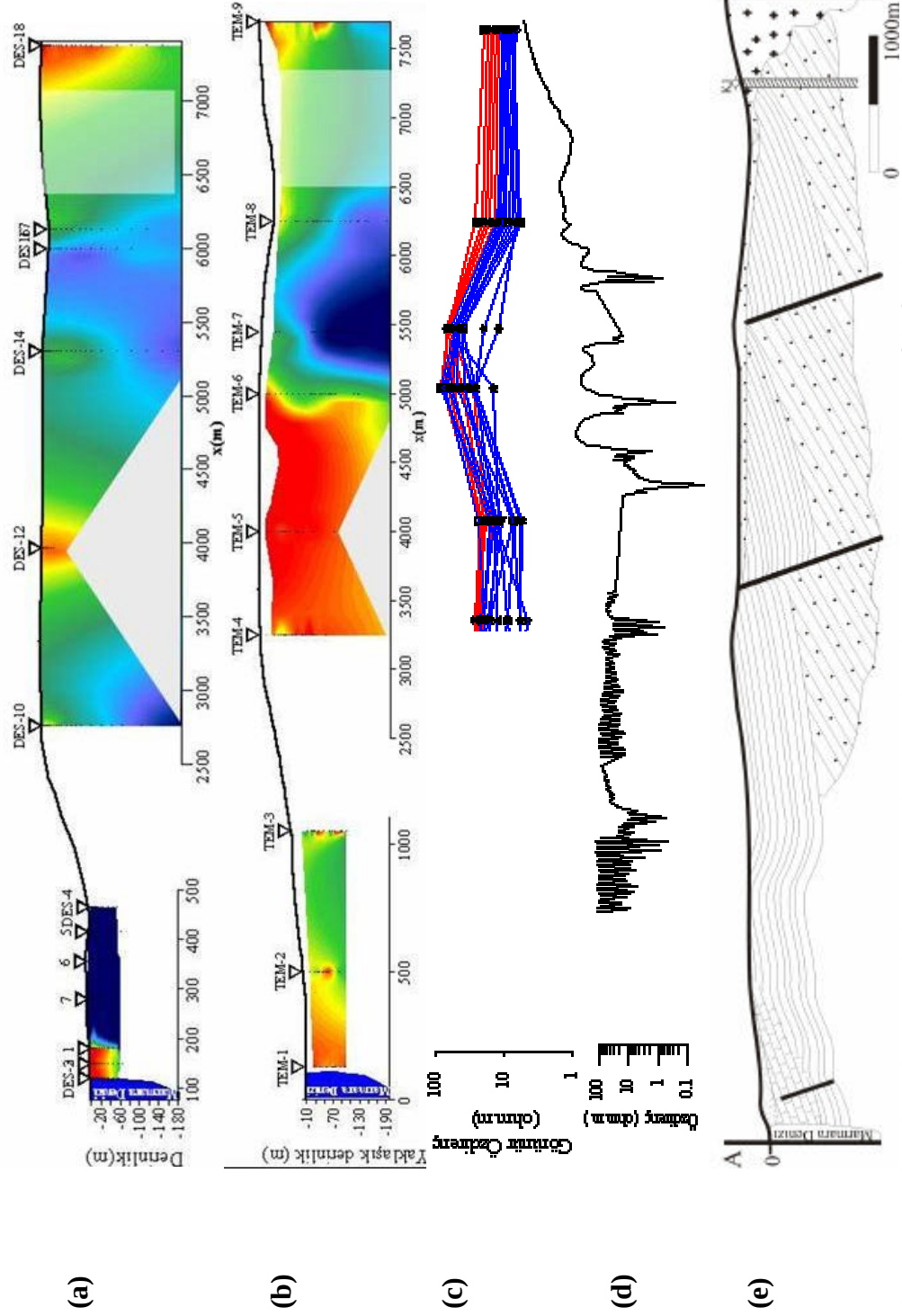
Ayrıca A-A' kesiti üzerinde süreksizliklerle aynı doğrultudaki 16 kHz frekansında ölçülen VLF-EM gerçel bileşen verilerini görünür öz direnç değerlerine dönüştüren Chouteau süzgeci uygulanmıştır. A-A' kesiti üzerindeki VLF-2, VLF-3, VLF-4, VLF-6, VLF-8 ve VLF-10 profillerine Chouteau süzgeci uygulanarak elde edilen öz direnç grafiğinde süreksizlikler üzerinde öz direnç değerlerinde artışlar görülmektedir (Şekil 5.16(d)).

5.3.5 Tuzla Elektrik ve Elektromanyetik Verilerinin Ortak Yorumu

Tuzla bölgesinde yapılan DES ve TEM ölçümlerinin görünür öz direnç ve efektif öz direnç kesitleri, çok kanallı tek halka TEM kaydırma verilerinin görünür öz direnç eğrileri, düşey süreksizliklerle aynı doğrultudaki vericiye ait 16 kHz frekansında ölçülen VLF-EM verilerinin gerçel bileşenine Chouteau süzgeci uygulanarak elde edilen öz direnç eğrileri ve jeolojik kesit Şekil 5.16'da gösterilmektedir.

DES görünür öz direnç kesitinde tuzlu su girişiminden dolayı oluşan kamalanma (Recep,2005) ve kıyıdan karaya doğru öz direnç değerlerinin arttığı gözlenmektedir (Şekil 5.16(a)). Çok kanallı TEM delgi verilerine göre hesaplanan efektif öz direnç kesitinde TEM-1 ve TEM-2 istasyonlarında görülen düşük öz direnç değerleri DES görünür öz direnç kesitinde de yer almaktadır. Bu kısımda tuzlu su sebebiyle öz direnç azalmaktadır. TEM-4 ve TEM-5 istasyonlarında düşük öz direnç değerleri derinlikle artmaktadır. Kesitte sık kesimlerdeki yüksek öz direnç değerleri şeyllerden oluşan Gözdağ Formasyonunu temsil etmektedir. TEM-6, TEM-7 ve TEM-8 istasyonları arasında görülen yüksek öz direnç değerleri derinlikle artmaktadır. Jeolojik kesitte de görüldüğü gibi bu kesimde geçirimsiz kuvarsitlerden oluşan Aydos Formasyonu yer almaktadır. Daha doğuda TEM-9 istasyonunda düşük öz direnç değerleri arenalaşmış granit sokulumunu işaret etmektedir. Bölgedeki jeolojiyi temsil eden ondülasyonlu yapı kesitte de yer almaktadır (Şekil 5.16(b)).

Çok kanallı tek halka TEM görünür öz direnç eğrilerinde geç zamanlarda (mavi çizgi) TEM-5, TEM-6 ve TEM-7 istasyonlarında görülen düşük öz direnç değerleri süreksizlik anomalisidir (Şekil 5.16(c)). Chouteau süzgeci uygulanarak bulunan öz direnç eğrisinde bölgedeki süreksizlikler üzerinde yüksek öz direnç değişimi TEM kaydırma verileriyle benzerlik göstermektedir (Şekil 5.16(d)). Tüm bu değerlendirmeler sonucunda bölgede varlığı bilinen iki adet süreksizliğin ve olası veya gömülü olduğu düşünülen bir adet süreksizliğin yerleri kesinleşmiş ve jeolojik kesite yerleştirilmiştir. Organize Deri Sanayi'ndeki sıcak suyun kaynağı olan dayk şeklindeki granit sokulumu sınırları jeolojik kesitte yer almaktadır (Şekil 5.16(e)).



Sekil 5.16 AA' doğrultusu boyunca ölçülen DES verilerinin andiran kesiti (a), TEM verilerinin efektif öz direnç kesiti (b) tek halka TEM görünür öz direnç eğrisi (c), 16 kHz frekansındaki VLF-EM verisinin Chouteau süzgeci uygulanarak görünür öz direnç eğrisi (d) ve jeolojik kesit (e).

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tuzla bölgesinde olası veya gömülü olduğu düşünülen iki adet süreksizliğin varlığı, İçmeler'deki tuzlu su ve daha kuzeyde Organize Deri Sanayi Bölgesi'nde bir kuyudan çıkan sıcak suyun kaynaklarının ilişkisi bölgenin yeraltı yapısının aydınlatılmasını gündeme getirmiştir. Bu amaçla bölgedeki yatay ve düşey yöndeki özdirenç dağılımının araştırılması ve olası süreksizliklerin saptanmasına çalışılmıştır. Bölgede yapılan DES ve çok kanallı TEM delgi ölçümlerinden öncelikle görünür özdirenç ve efektif özdirenç kesitleri hazırlanmıştır. Çok kanallı TEM kaydırma verilerinin uzaklığa bağlı değişimi incelenmiştir. VLF-EM kaydırma verilerinin farklı frekanslardaki gerçel ve sanal bileşenleri bir profil boyunca çizdirilmiştir. Aynı profil üzerindeki VLF-EM verisinin 16 kHz frekansındaki gerçel bileşenine Chouteau süzgeci uygulanarak yanal yöndeki özdirenç değişimi grafiklenmiştir. Bölgede karmaşık bir jeoloji hakim olduğundan TEM ve DES yöntemlerinin birbirine göre avantajlarından yararlanabilmek için bu verilerin ortak ters çözümü yapılarak bulunan sonuçların yer elektrik kesiti oluşturulmuş ve bölgede yapılan araştırma sondajları da bu kesit üzerinde gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında elektrik ve elektromanyetik yöntemler kullanılarak sondaj ve kaydırma ölçümleriyle Tuzla bölgesinde yatay ve düşey yöndeki özdirenç dağılımı ve yerelektrik süreksizliklerinin haritalanması amacıyla DES ve TEM sondaj verileri ile TEM ve VLF-EM kaydırma verilerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- 1) DES görünür özdirenç kesitine göre İçmeler bölgesinde kıyıdan karaya doğru özdirenç değerlerinin arttığı görülmektedir. Kıyı bölgelerinde tuzlu su nedeniyle çok düşük (<5 ohm.m) özdirenç değerleri görülmektedir. Kıyıdan karaya doğru özdirenç değerleri artmaktadır. TEM yaklaşık derinlik-efektif özdirenç kesitinde ise TEM-4 ve TEM-5 istasyonlarında düşük özdirenç değerleri derinlikle artmaktadır. TEM-6, TEM-7 ve TEM-8 istasyonlarında

sığ kesimlerde özdirenç değerleri yüksektir ve jeolojik kesitteki ondülasyonlu yapı her iki kesitte görülmektedir. TEM-9 istasyonunda sığ kesimlerde arenalaşmış granit sokulumundan dolayı düşük özdirenç değerleri görülmektedir.

- 2) DES ve TEM ortak ters çözüm yer elektrik kesitine göre İçmeler bölgesinde kalınlığı 10-15 m arasında değişen alüvyon dolgu tabakası altında 90 metre derinliğe kadar 150-200 ohm.m özdirence sahip kireçtaşlarından oluşan Dolayoba Formasyonu yer almaktadır. TEM-4 istasyonunda kalınlığı 30 m olan Gözdağ Formasyonu altında Aydos Formasyonunu oluşturan yaklaşık 50 m kalınlığında geçirimsiz kuvarsit ve daha iletken bozunmuş kuvarsarenitler yer almaktadır. TEM-6 ,TEM-7 ve TEM-8 istasyonlarında yaklaşık 25 m kalınlığındaki Gözdağ Formasyonu ve onun altında geçirimsiz Aydos Formasyonu yer almaktadır.
- 3) Çok kanallı TEM tek halka ve merkezi halka kaydırma verileri eğrilerine göre TEM-5, TEM-6 ve TEM-7 istasyonlarında görülen çift tepe anomalileri bölgedeki iki adet süreksizliğin yerlerini göstermektedir.
- 4) VLF-EM kaydırma verilerine Fraser süzgeci uygulanarak bölgedeki iletken ve dirençli bölge sınırları haritalanarak yer elektrik süreksizliklerinin yerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bölgenin doğusundaki dayk şeklindeki arenalaşmış granit sokulumu haritalanmıştır.
- 5) VLF-EM kaydırma verilerini özdirenç değerlerine dönüştüren Chouteau süzgeci kullanılarak bölgedeki süreksizlikler üzerinde özdirenç değerlerinin arttığı görülmektedir.
- 6) Bu çalışmada kullanılan DES delgi verileri ile TEM ve VLF-EM kaydırma verileri bölgedeki yerelektrik süreksizliklerini haritalamada çok iyi sonuçlar üretmiş, elektrik ve elektromanyetik verilerin sonuçlarının jeolojik bilgileri desteklediği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Barut, İ. F.**, 1993. İstanbul Tuzla İçmelerinin Hidrojeolojik İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Canberk, M.**, 1997. Tuzla İçmeler Şifalı Su Kaynaklarında Kirlenme, *Bitirme Çalışması*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, s.48-54.
- Fraser, D. C.**, 1969. Counturing of VLF-EM data, *Geophysics*, **34**, 958 – 967.
- Chouteau, M., Zang, P., and Chapellier, D.**,1996. Computation of apparent resistivity profiles from VLF-EM data using linear filtering, *Geophysical Prospecting*, **44**, 215 – 232.
- Fontes, S. L.,Meju, M. A., Ulugergerli, Germano C., Terra, C. R.**, 2003. The Use of Transient Electromagnetic Method To Locate Aqiferous Fracture-Zones and Karst Features in Carbonate Formations Underneath >100m Overburden in Minas Gerais State, Brazil, *SBGf* 2003.
- Goldman, M. M., Plooy D. A., and Eckard, M.**, 1994. On reducing ambiguity in the interpretation of transient electromagnetic sonding data, *Geophysical Prospecting*, **42**, 3-25.
- Guerin, R., Benderitter, Y.**, 1995. Shallow karst exploraion using MT-VLF and DC resistivity methods, *Geophysical Prospecting*, **43**, 635-653.
- Kaikkonen, P.**, 1979. Numerical VLF modelling, *Geophysical Prospecting*, **27**, 815-835.
- Hohmann, G., and Ward, S. H.**, 1988. Electromagnetic Sounding, in: Nabighian, M. N., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics-Application*, Part B, *Soc. of Expl. Geophysics.*, **1**.
- Kaufman, A. A., and Keller G. V.**, 1983. Frequency and transient soundings, *Elsevier Publishing Company*.
- Karous, M., and Hjelt, S. E.**, 1983. Linear filtering of VLF dip angel measurements, *Geophysical Prospecting*, **31**, 782-794.
- Krivochieva, S., and Couteau, M.**, 2002. Whole space modelling of a layered earth in time domain electromagnetic measurements, *Journal of Applied Geophysics*, **50**, 375-390.

- McCaffrey, R. J., McElroy, W. J., and Leslie, G. A.,** 1995. Exploration of a lignite-bearing basin in Northern Ireland using ground magnetic and VLF-EM methods, *Geophysics.*, **60**, 408-412.
- McNeill, J. D., and Labson, V. F.,** 1988. Electromagnetic Sounding, in: Nabighian, M. N., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics-Application*, Part B, *Soc. of Expl. Geophysics.*, **2**.
- McNeill, J. D. and Labson, V.,** 1991. Geological mapping using VLF Radio Fields. *In* Ward SH, Ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics—Investigations in Geophysics*, Volume 3: *Soc. of Expl. Geophysics*.
- Meju, M. A.,** 1995. Simple effective resistivity-depth transformations for infield or real-time data processing. *Computers and Geosciences.*, **21**, 985-992.
- Meju, M. A., Fenning, P. J., and Hawkins, T. R. W.,** 2000. Evaluation of small-loop transient electromagnetic soundings to locate the Sherwood Sandstone aquifer and confining formations at well sites in the Vale of York, England, *Journal of Applied Geophysics*, **44**, 217-236.
- Meju, M. A., Fontes, S. L., Ulugergerli, E. U., Terra, C. R.,** 2001. A Joint TEM-HLEM Geophysical Approach to Borehole Siting in Deeply Wheatered Granitic Terrains, *Ground Water*, **39**, 554-567.
- Milsom, J.,** 1996. *Field Geophysics*, John Wiley & Sons.
- Önalan, M.,** 1982. Pendik Bölgesi ve Adaların Jeolojisi, *Doçentlik Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Raiche, A. P., Jupp, D. L. B., Rutter, H., and Vozoff, K.,** 1985. The joint use of coincident loop transient electromagnetic and Schlumberger sounding to resolve layered structures, *Geophysics*, **50**, 1618-1627.
- Ranieri, G.,** 2000. TEM-Fast: A useful tool for hydro-geologist and environmental engineers, *Annali di Geofisica*, **43**, 1447 – 1 458.
- Recep, M.,** 2005. İstanbul Tuzla bölgesinde tuzlu su yayılımının jeofizik yöntemlerle araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Seymen, İ.,** 1995. İzmit Körfezi ve Çevresinin Jeolojisi, *İzmit Körfezinin Kuvartener İstifi*, s.1-21, İstanbul.
- Smith, B. R., and Ward, S. H.,** 1974. On the computation of polarization ellipse parameters, *Geophysics.*, **39**, 867-869.
- Spies, B. R., and Eggers, D. E.,** 1986. The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic methods, *Geophysics.*, **51**, 1462-1471.
- Spies, B. R., and Frischknecht, F. C.,** 1988. Electromagnetic Sounding, in: Nabighian, M. N., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics-Application*, Part A, *Soc. of Expl. Geophysics.*, **2**.

- Stewart, M., and Gay, M.C.** 1986. Evaluation of transient electromagnetic soundings for deep detection of conductive fluids: *Ground Water*, **24**, 351-356.
- Telford,** 1998. Applied Geophysics,
- Türkoğlu, E.,** 2003. Geçici elektromanyetik ve doğru akım elektrik özdirenç verilerinin ortak ters çözümü: Avcılar örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wait, J. R.,** 1951. The magnetic dipole over the horizontally stratified earth, *Can. J. Physics*, **29**, 577-592.
- Wilt, M. J., and Williams, J. P.** 1989. Layered Model Inversion of Central-Loop EM Soundings near a Geological Contact, *Exploration Geophysics*, **20**, 71-73.
- Yalçın, T.,** 2005 (hazırlanma aşamasında). İstanbul-Tuzla İçmeler ve Organize Deri Sanayi Bölgesinde Gözlenen Bir Jeotermal Suyun Jeokimyasal Özellikleri

ÖZGEÇMİŞ

Ayça Sultan Ardalı, 1977 yılında Sakarya’da doğdu. İlkokulu, 1988 yılında Fatih İlköğretim Okulu’nda tamamladı. Özel Tercüman Lisesi’nde orta ve lise öğrenimini 1995 yılında tamamlayarak, mezun oldu. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine 1997 yılında başladı. Buradan 2001 yılında jeofizik mühendisi olarak mezun olduktan sonra, aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen bu bölümde öğrenimine devam etmektedir.