

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUZEY ANADOLU FAYI'NIN BATI KISMINDA
ELEKTROMANYETİK VERİ ÜZERİNDEKİ DENİZ
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih UZUNCA

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Levent GÜLEN
Tez Ortak Danışmanı : Doç. Dr. Sabri Bülent TANK

Ocak 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUZEY ANADOLU FAYI'NIN BATI KISMINDA
ELEKTROMANYETİK VERİ ÜZERİNDEKİ DENİZ
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih UZUNCA

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 13/01/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Levent GÜLEN
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Ertan BOL
Üye


Doç. Dr. Bülent ORUÇ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fatih UZUNCA

13.01.2016

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışmanın hazırlanması aşamasında destekleri ve önerileri için danıőman hocalarım Prof. Dr. Levent GÜLEN, Doç. Dr. S. Bülent TANK ve Dr. Tülay KAYA'YA ve manevi desteklerinden dolayı ailem Ferhan UZUNCA ve Fatma UZUNCA'YA sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın hazırlanması aşamasında teknik ve program desteklerinden dolayı Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarına değindiğim tüm araőtırmacılara ve bugünlere erişmemde emeği olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje no: 20145001044) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
MANYETOTELLÜRİK YÖNTEM.....	6
2.1. Kaynak	7
2.2. Teori	8
2.3. Maxwell Denklemleri ve Elektromanyetik Dalga Denklemi	10
2.4. Varsayımlar.....	13
2.5. Empedans Tensörü	14
2.6. Görünür Özdirenç ve Faz	14
2.7. Nüfuz Derinliği.....	16
2.8. Endüksiyon Okları	17
2.9. Boyutluluk	19

BÖLÜM 3.

KURAMSAL MODELLER VE MANYETOTELLÜRİK DÜZ ÇÖZÜM.....	22
3.1. Model Tasarımı İçin İnceleme Alanı.....	23
3.2. Düz Çözüm.....	24
3.2.1. Fark denklemleri	26
3.2.2. Sınır koşulları.....	30
3.3. Düz Çözümde Kullanılan Şablonun Tanıtımı.....	30
3.4. Kuramsal Modeller	33

BÖLÜM 4.

YORUMLAMA, TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	38
4.1. Yorumlama ve Tartışma.	39
4.2. Sonuçlar.....	53
KAYNAKLAR.....	55
EKLER.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Temsili vektör
A	: Amper
B_x, B_y, B_z	: Manyetik endüksiyon bileşenleri, Weber/metre kare (Wb/m^2), Tesla (T)
C	: Yerel heterojenite ve yön bağımlılık parametresi
C	: Coulomb
D	: Elektrik yer değiştirme, Coulomb/metre kare (C/m^2)
d	: Deniz derinliği
E_x, E_y, E_z	: Elektrik alan bileşenleri, Volt/metre (V/m)
$E_{ }, H_{ }$: Yer elektrik doğrultuya paralel bileşen
E_{\perp}, H_{\perp}	: Yer elektrik doğrultuya dik bileşen
E_x^0, H_y^0	: Ortamın yüzeyindeki elektrik alan ve manyetik alan
e^x	: Üstel ifade
F	: Farad
f	: Frekans, hertz (Hz)
H_x, H_y, H_z	: Manyetik alan bileşenleri, Amper/metre (A/m)
H	: Henry
Hz	: Hertz
J_x, J_y, J_z	: Elektrik akı yoğunluğu bileşenleri, amper/metre kare (A/m^2)
k	: Dalga sayısı, dalga yayılım sabiti
L	: Hacimsel bloğun kenar uzunluğu, metre (m)
m	: metre
M_w	: Depremin büyüklüğü
R	: Rotasyon matrisi
S	: Seimens

S_n	: Saniye
T_x ve T_y	: Endüksiyon ok bileşenleri
T_B ve T_F	: Endüksiyon oklarının büyüklüğü ve fazı
t	: Zaman (saniye)
T	: Tesla
V	: Volt
Z	: Empedans, ohm (Ω)
\bar{Z}	: Empedans tensörü
Z_{xy}, Z_{yx}	: Empedans tensör elemanları
Z_{xx}, Z_{yy}	: Empedans tensör elemanları
z	: Derinlik, metre (m)
\bar{Z}^r	: Rotasyona tabi tutulmuş empedans tensörü
μ	: Manyetik geçirgenlik (Magnetic permeability), Henry/metre (H/m)
μ_0	: Serbest ortamın manyetik geçirgenliği, Henry/metre (H/m) ($4\pi \times 10^{-7}$)
ϵ	: Elektrik yüklenebilirlik (electric permittivity), Farad/metre (F/m)
ρ_e	: Elektrik yük yoğunluğu coulomb/metre küp (c/m^3)
ω	: Açısal frekans, Radyan/saniye (R/Sn)
x, y, z	: Kartezyen koordinatlar
Wb	: Weber
δ	: Karakteristik derinlik, metre (m)
σ ve σ_a	: İletkenlik ve Görünür iletkenlik, Seimens/metre (S/m)
ρ ve ρ_a	: Özdirenç ve Görünür özdirenç, ohm-metre (Ω -m)
ϕ	: Faz
θ_0	: Tensör rotasyon açısı
α, β	: Difüzyon denklemlerinin çözümünden çıkan sabitler
d/dt	: Türev operatörü
∇	: Nabla operatörü
\times	: Rotasyonel işareti
\cdot	: Diverjans işareti

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 1.1. Birincil ve ikincil elektrik alanlar, P üst simgesi birincil alan, S üst simgesi ikincil alan (Jiracek ve ark., 1995). 2
- Şekil 1.2. Örnek grafikler. (a), model, (b), modele ait özdirenç eğrileri, (c) ve (d), özdirenç farklılığından dolayı manyetik alandaki değişim, (e), elektrik alan yer elektrik doğrultuya (strike) dik iken akım akışı ve (f), elektrik alan yer elektrik doğrultuya paralel iken akım akışı ve manyetik alan çizgileri (Vozoff, 1972). 3
- Şekil 2.1. Manyetosferin yapısının basitleştirilmiş görünümü (Parkinson, 1983; Ferguson, 1988) 7
- Şekil 2.2. Yıldırım kaynaklı elektromanyetik alan (Bresson, 2013). 8
- Şekil 2.3. (a), manyetik alanın değişimiyle bir elektrik alanın oluşumu, (b), bir elektromanyetik dalga içerisinde yayılım doğrultusuna dik bir düzlemde bir birine dik olan elektrik ve manyetik alanın değişimi (Lowrie, 2003; Oruç, 2012). 9
- Şekil 2.4. Elektromanyetik endüksiyon teorisi, mavi çizgiler birincil ve sarı çizgiler ikincil alanları, pembe çizgiler eddy akımlarını ve mor çizgiler iletici ve alıcıyı temsil etmektedir (Grant ve West, 1965). 10
- Şekil 2.5. Temsili görünür özdirenç ve faz eğrileri. (a) kuramsal model ve (b) A istasyonundan (siyah ters üçgen) elde edilen görünür özdirenç ve faz eğrileri, yeşil renkli özdirenç ve faz eğrisi bir boyut için olup deniz etkisi içermemektedir (Yang ve ark., 2010). 16
- Şekil 2.6. 100 saniye periyoduna karşılık çizdirilmiş temsili gerçek endüksiyon okları (Tank, 2010). 18

Şekil 2.7. Farklı durumlara göre empedans tensörün tasarlanması. Siyah artı ve çarpı işaretleri koordinat sistemini temsil etmektedir. C sembolü yerel heterojenite ve yön bağımlılık parametresini, \perp simgesi elektrik alanın yer elektrik doğrultuya dik olmasını ve \parallel simgesi elektrik alanın yer elektrik doğrultuya paralel olmasını temsil etmektedir (Ritter ve ark., 2005).....	19
Şekil 2.8. Basit bir iki-boyutlu (2B) modelde E-polarizasyon ve B-polarizasyonda elektromanyetik alan bileşenleri (Simpson ve Bahr, 2005).	20
Şekil 3.1. Düz çözüm işleminin ilerleyişi (Oruç, 2012).	22
Şekil 3.2. Deniz etkisi araştırma ve kuramsal model çalışmalarında kullanılan istasyonların konumları. Kare çalışma alanını, siyah ters üçgenler istasyonları, mavi yıldızlar daha önce meydana gelmiş büyük depremleri ve kırmızı çizgiler fayları (Emre ve ark., 2013) göstermektedir. Harita Generic Mapping Tools (GMT) programında oluşturulmuştur.	24
Şekil 3.3. Maxwell Denklemlerinin integral formlarına dayanan fark denklemi geometrisi. “< >” sembolü ortalamalarının alındığını ifade etmektedir (Mackie ve ark., 1993).	27
Şekil 3.4. Modellerin oluşturulmasında kullanılan model ağı (mesh). Siyah ters üçgenler bir profil boyunca konumlandırılmış istasyonları, lacivert dikdörtgen çalışma alanını göstermektedir. İlk istasyonun kıyı çizgisine olan uzaklığı 1,5 km iken, son istasyonun kıyı çizgisine olan uzaklığı 46,5 km’dir.	31
Şekil 3.5. Basitleştirilmiş şekli ile Karadeniz kıyı çizgisi. Siyah ters üçgenler istasyonları göstermektedir.....	32
Şekil 3.6. Model şablonu. ρ , kara öz direncini, d, deniz derinliğini, ζ , fayın eğim açısını, turuncu sürekli çizgi fayı, yeşil noktalı çizgi deniz derinliğinin keskin bir şekilde arttığı modellerdeki deniz tabanını, lacivert sürekli çizgi kıyı şeridini ve siyah ters üçgenler MT istasyonları temsil etmektedir.	33

- Şekil 3.7. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridine 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır. 34
- Şekil 4.1. Homojen model. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. Endüksiyon ok büyüklükleri birim okta göz ardı edilebilecek kadar küçük değerler ile temsil edilmektedir..... 40
- Şekil 4.2. Karşılaştırma 1. (a,b,c), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Hem modellere ait uzak ve yakın istasyon verilerinin karşılaştırması hem de farklı deniz derinliğine sahip modellerin tepkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir. 41
- Şekil 4.3. Karşılaştırma 2. (a,b,c), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Deniz ve kara arasındaki elektrik özdirenç farklılığı daha fazla olduğu durumda hem modellere ait uzak ve yakın istasyon verilerinin karşılaştırması hem de farklı deniz derinliğine sahip modellerin tepkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir..... 44
- Şekil 4.4. Karşılaştırma 3. (a,b,c), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Deniz derinliği 100 metre iken deniz ve kara arasındaki elektrik özdirenç farklılığının arttığı durumda model tepkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir..... 46

- Şekil 4.5. Karşılaştırma 4. (a,b,c), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Deniz derinliği 1000 metre iken deniz ve kara arasındaki elektrik özdirenç farklılığının arttığı durumda model tepkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir. 47
- Şekil 4.6. Karşılaştırma 5. (a, b), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Deniz derinliğinin basamaklı şekilde olduğu durumda model tepkilerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Model 11’de deniz derinliği basamaklı olacak şekilde tasarlanmışken Model 03’de deniz derinliği keskin olacak şekilde tasarlanmıştır..... 48
- Şekil 4.7. Karşılaştırma 6. (a, b), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Fay parametresinin etkisinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Fay özdirenci 5 Ω -m olarak alınmıştır. Fay kalınlığı ve fay derinliği sırasıyla 3 km ve 19 km olarak tasarlanmıştır. Model 11’de fay parametresi bulunmazken Model 17’de fay parametresi bulunmaktadır. İki Modelde de deniz derinliği basamaklı olacak şekilde tasarlanmıştır. 49
- Şekil 4.8. Karşılaştırma 7. (a, b), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Sediman parametresinin etkisinin karşılaştırılması gösterilmektedir. sediman özdirenci 5 Ω -m olarak alınmıştır. Model 20’de sediman parametresi bulunmazken Model 21’de sediman parametresi bulunmaktadır. İki Modelde de deniz derinliği basamaklı olacak şekilde tasarlanmış ve fay parametresi eklenmiştir. 51

Şekil 4.9. Karşılaştırma 8. (a, b), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Homojen yer modeli ve bölgenin jeolojik ve tektonik özelliklerinin dikkate alınarak oluşturulan modelin karşılaştırılması. (a), homojen yer modelinin tepkilerini temsil ederken, (b) deniz derinliğinin basamaklı ve 1500 m olduğu, 5 Ω -m özdirence sahip bir sediman tabakasının bulunduğu ve 1 km kalınlığa, 19 km derinliğe ve 65° eğime sahip fay parametresinin bulunduğu model tepkilerini temsil etmektedir. Ayrıca Model 22'de Karadeniz kıyı şeridi de basit bir biçimde eklenmiştir. Model 22'de p303 MT istasyonu kıyı şeridinde 3,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır. 52

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Oluşturulan modeller ve özellikleri (Modeller için bakınız: Ekler)	35
Tablo 4.1. Karşılaştırma Kılavuzu, ρ , kara özdirenci, d, deniz derinliği, ζ , fay eğimini göstermektedir	38

ÖZET

Anahtar kelimeler: Deniz (Kıyı) Etkisi, Manyetotellürik Yöntem, Kuzey Anadolu Fayı

Manyetotellürik (MT) yöntem derin yapıların elektrik özdirenç değerlerinin saptanmasında iyi sonuçlar verebilmektedir. Yöntemin uygulanması sırasında her jeofizik yöntemde olduğu gibi çeşitli bozucu etkenler bulunmaktadır. Ölçüm noktaları denizden etkilenecek kadar denize yakın ise toplanan verilerde bozulmalar meydana gelebilmektedir. Deniz etkisi (kıyı etkisi, coast effect, sea effect) olarak isimlendirilen bu bozucu etkinin MT veriler yorumlanırken dikkate alınması gerekmektedir. Öyle ki deniz sığ derinliğe sahip olsa bile deniz-kara arasındaki özdirenç farklılığının yüksek olduğu çalışma alanlarında MT tepkisi aşırı bozulmalara maruz kalabilmektedir. Bu çalışmada MT veriler üzerindeki deniz etkisinin boyutlarının belirlenmesi amacıyla Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kısmında Düzce bölgesine tekabül eden alan baz alınarak düz çözüm çalışması yapılmıştır. Bölgenin tektonik yapısı dikkate alınarak oluşturulan modellerde deniz 0,3 Ω -m ve kara çeşitli modellerde 100 Ω -m, 500 Ω -m ve 1000 Ω -m gibi sabit özdirenç kabul edilmiştir. Deniz derinliğinin değişimi, fay, sediman ve Karadeniz kıyı şeridinin basit biçimde eklenmesi gibi parametreler de kullanılmıştır. Modellere ait MT tepkileri üç-boyutlu (3B) düz çözüm kodu ile elde edilmiştir. Yapılan çalışma teorik bir çalışma olup, gerçek veriler kullanılmamıştır. Düz çözümden elde edilen özdirenç eğrileri ve endüksiyon (irgitim, tesir) okları karşılaştırılarak deniz etkisinin boyutu tartışıldı. Deniz derinliği ve deniz-kara sınırındaki özdirenç farklılığının artması ile MT tepkilerinin bozulmalara uğradığı sonucuna ulaşıldı. Deniz etkisinden dolayı TE-modu (**E**-polarizasyonu) özdirenç eğrileri TM-modu (**B**-polarizasyonu) özdirenç eğrilerine göre asıl olması gereken değerden daha büyük oranda farklı görülmektedir. Gerçek endüksiyon okları ise özdirenç eğrilerinin denizden etkilenmeye başladığı periyotlarda yön değiştirme eğilimi göstermiştir. Denize yakın yerlerde yapılan MT çalışmalarında deniz etkisinin MT tepkisinden giderilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, denize yakın noktalarda yapılabilecek MT ölçümlerine dayanacak modeller geliştirildiğinde doğru sonuca ulaşılabilmesi bakımından önemlidir.

INVESTIGATION OF THE SEA EFFECT ON THE ELECTROMAGNETIC DATA IN THE WESTERN PART OF THE NORTH ANATOLIAN FAULT

SUMMARY

Keywords: Sea (Coast) Effect, Magnetotelluric Method, North Anatolian Fault

The Magnetotelluric (MT) method is a geophysical technique that may provide good results for imaging deep electrical structure. There are effects distorting the measurements while MT is being applied similar to other geophysical techniques. If MT stations are close to electrically conductive sea (or coast), they are affected. The distorting effect is called sea effect (coast effect) and it must be removed from MT responses. The MT responses are effected in the areas where the resistivity contrast between sea and land is high even if the sea has shallow depth. In this study, we applied forward modeling to investigate the sea effect on the MT measurements originating from a geometry that is similar to Düzce area near Black Sea. We use constant resistivity value for the sea 0,3 Ω -m and for the land 100 Ω -m, 500 Ω -m and 1000 Ω -m in the models considering the tectonic features in the area. Additionally, we use parameters such as; depth, fault, sediments and coast line of the Black Sea. The three-dimensional MT responses were calculated by a code. This is a theoretical study based on synthetic data. The resistivity curves and induction arrows obtained from models, were compared with each other using templates and the sea effect was discussed. Consequently, when the resistivity contrast between sea-land and the depth of sea are high, MT responses are effected significantly. When compared with TE-mode (**E**-polarization) resistivity curves and TM-mode (**B**-polarization) resistivity curves, TE-mode one has more distortion compared to the latter. Real induction arrows change direction beginning from period when the sea effects on the MT measurements. Therefore, sea effect must be removed from MT responses if the study area is near the sea. This study is important in terms of obtaining accurate results when developing models based on MT measurements in the areas.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

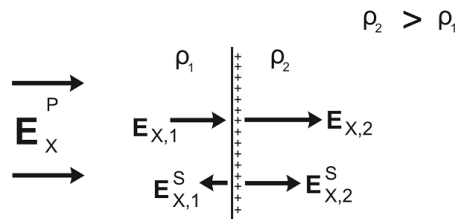
Manyetotellürik (MT) yöntem, çeşitli jeolojik ortamlardaki yeraltı yapılarının elektrik iletkenliğinin belirlenmesinde kullanılan bir jeofizik yöntemdir (Rikitake, 1950; Tikhonov, 1950; Cagniard, 1953). Pasif elektromanyetik yöntemler sınıfına giren MT yöntemi, geniş bir spektrumda gözlemlenebilen birincil jeomanyetik değişimler ve bu değişimlerin endüksiyon prensibine bağlı olarak oluşturduğu ikincil jeomanyetik değişimleri kaynak olarak kullanan bir araştırma tekniğidir (Vozoff, 1972; Simpson ve Bahr, 2005; Tank, 2010). Yöntemin öne çıkan önemli özelliği yeryüzünün sıg derinliklerinden başlayıp bir kaç yüz kilometre derinliklere kadar yeraltı hakkında iyi çözünürlüklü bilgi edinilmesine olanak sağlamasıdır (Vozoff, 1972).

Jeofizik yöntemler sahada uygulanırken çeşitli fiziksel olgulardan (gürültüler, uygulama hataları, bazı jeolojik geometriye sahip kütleler) etkilenirler. MT yönteminin de uygulanması sırasında etkilendiği fiziksel olgular bulunmaktadır. Bu etkiler istasyon civarındaki kültürel gürültüler (rüzgâr, elektrik hatları, boru hatları, hava alanları), yüzeye yakın bölgelerde yer alan ve homojenliği bozan yüksek iletkenliklere sahip küçük yapılar ile karmaşık topografya olarak sıralanabilir. Kültürel gürültüler çeşitli teknikler kullanılarak (Gamble ve ark., 1979; Egbert ve Booker, 1986; Chave ve Thomson, 1989; Egbert, 1997; Chave ve Thomson, 2004) etkili bir şekilde elimine edilebilir. Yüzeye yakın homojenliği bozan etkileri ortadan kaldırmak için ise tensör dekompozisyon teknikleri (Groom ve Bailey, 1989; Groom ve Bahr, 1992; Chave ve Smith, 1994; McNeice ve Jones, 2001) kullanılmaktadır. Çalışma alanının yakınlarında yüksek iletkenliğe sahip deniz ve okyanus gibi yapıların bulunması durumunda MT verileri ayrıca, iletken su kütlesi ve kara arasında bulunan yüksek özdirenç farklılığından kaynaklanan bir etkiye maruz kalır. Bu etki genel olarak deniz etkisi ya da kıyı etkisi (sea effect ya da coast effect) olarak

adlandırılır. Deniz etkisinin MT verilerinden ayırt etmek ve özellikle deniz etkisinin varlığından dolayı derin yapıların iletkenliklerini belirlemek oldukça güçtür (Yang ve ark., 2010).

Deniz etkisi birçok çalışmada araştırılmıştır (Parkinson, 1959; Rikitake, 1959; Parkinson, 1962; Jones, 1983; Singh ve ark., 1995; Pous ve ark., 2002; Santos ve ark., 2006; Constable ve ark., 2009; Han ve ark., 2009; Tank, 2010; Worzewski ve ark., 2010; Key ve Constable, 2011; Kaya ve ark., 2013). Deniz etkisinin düzeltilmesi için ise Santos ve arkadaşları (1999), Santos ve arkadaşları (2001), Koyama (2002), Yang ve arkadaşları (2008), Nam ve arkadaşları (2008), Yang ve arkadaşları (2010) tarafından çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

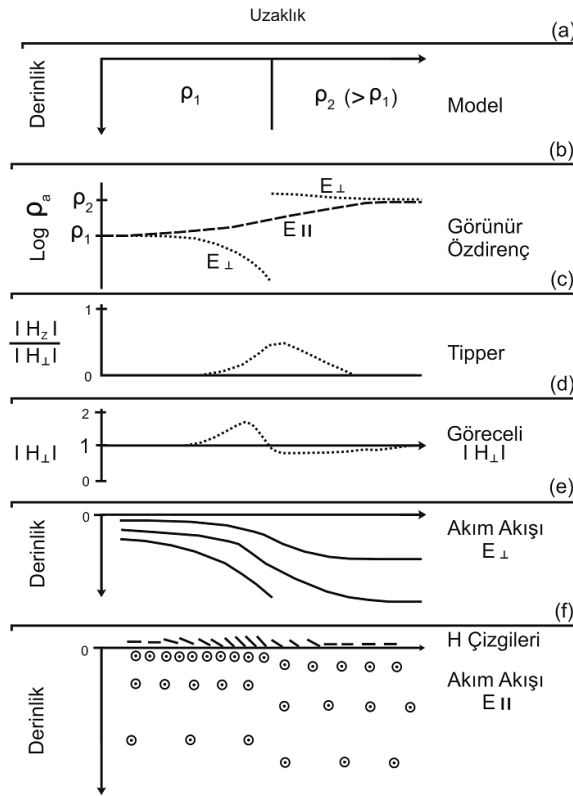
MT istasyonları, yüksek öz direnç farklılığına sahip deniz-kara sınırına yakın bir bölgede ise istasyonlardan toplanan veriler ilgili istasyonların deniz-kara sınırına yakınlıkları oranında etkilenirler (Yang ve ark., 2010). Deniz gibi çok iletken bir yapı ile yalıtkan bir yapıyı ayıran ara yüzeye gelen birincil elektrik alan alternatif yüzey yükleri oluşturur (Şekil 1.1). Yüzey yükleri ikincil elektrik alanları oluşturur. Oluşan ikincil alanlar iletken kısımda toplam elektrik alanı azaltırken, yalıtkan kısımda toplam elektrik alanı artırır (Jiracek ve ark., 1995).



Şekil 1.1. Birincil ve ikincil elektrik alanlar, P üst simgesi birincil alan, S üst simgesi ikincil alan (Jiracek ve ark., 1995).

Elektromanyetik alan yalıtkan kısımda iletken kısma göre daha çok nüfuz derinliğine sahiptir. Başka bir ifade ile akım iletken kısımda yalıtkan kısma göre yüzeye daha yakın akar (Şekil 1.2.e.f). Akımın iletken-yalıtkan sınırına yaklaştıkça yataylığını kaybetmesi (Şekil 1.2.e), bu sınıra yakın belirli bir uzaklıkta bulunan MT

istasyonunda toplanan veriyi etkiler. MT istasyonunun etkilendiği uzaklık iletken kısımda yalıtkan kısma göre daha fazladır (Jones, 1983).



Şekil 1.2. Örnek grafikler. (a), model, (b), modele ait özdirenç eğrileri, (c) ve (d), özdirenç farklılığından dolayı manyetik alandaki değişim, (e), elektrik alan yer elektrik doğrultuya (strike) dik iken akım akışı ve (f), elektrik alan yer elektrik doğrultuya paralel iken akım akışı ve manyetik alan çizgileri (Vozoff, 1972).

Yalıtkan olan kara kısmındaki kıyı etkisi belirli bir frekansta düşey manyetik alanın yatay manyetik alana oranı ile (Şekil 1.2.c) ya da eş değer olan kıyıya yakın yerde okyanusu işaret eden endüksiyon oklarının büyüklükleri ile örneklendirilebilir (Key ve Constable, 2011). İki-boyutlu durumda TE-modu (transverse electric, **E**-polarizasyon) TM-moduna (transverse magnetic, **B**-polarizasyon) göre daha çok etkilenir (Tank, 2010; Key ve Constable, 2011). Okyanus içinde endüklenmiş kıyıya paralel akan akımlar (TE-modu) okyanus kenarında düşey manyetik alan üretirler (Fischer, 1979; Constable ve ark., 2009; Key ve Constable, 2011). Üretilen bu manyetik alan yalıtkan kara kısmında TE-modunu etkileyerek normal değerinden daha fazla bir değerde olmasına neden olur (Fischer, 1979; Constable ve ark., 2009).

Parkinson (1959) denizin jeomanyetik alan üzerindeki etkisini araştırmak için Avustralya Kıtası'nda belirli istasyonlarda jeomanyetik alandaki değişimleri polar diyagramlar kullanılarak saptamış ve denizin jeomanyetik alan üzerindeki etkisini göstermiştir. Denizden uzak olan istasyonlarda jeomanyetik alanda herhangi bir etki olmadığı, buna karşın denize yakın istasyonlarda jeomanyetik alan üzerinde denizin etkisinin olduğu sonucunda varmıştır. Ramaswamy ve arkadaşları (1980) alışmasında Vancouver Adası'nı bir uçtan diğer uca kesen bir profil boyunca dūřey manyetik alan değerlerini incelemiştir. Bu inceleme sonucunda deniz-kara sınırındaki dūřey manyetik alan değerlerinin, diğer değerlere göre yüksek olduğunu saptamış ve bu sınırdaki yüksek özdirenç farklılığının dūřey manyetik alanda artışa neden olduğu sonucuna varmıştır (Ramaswamy ve ark., 1980; Jones, 1983). Yang ve arkadaşları (2010) alışmasında oluşturduğu modelden elde ettiği MT eğrilerini ve deniz etkisini düzelttiği eğrileri karşılaştırmış, yüksek periyotlarda eğrilerin birbiri ile çakışmadığını gözlemlemiş ve deniz etkisinin uzun periyotlarda dikkate alınması gerektiği sonucuna varmıştır. Worzewski ve arkadaşları (2010) Kosta Rika dalma-batma zonunu araştırdığı MT çalışmasında deniz ve karada bir profil boyunca MT lleri almış, deniz-kara sınırına yakın istasyonlardaki eğrilerde özdirenç ve faz değerinde keskin artışlar ve azalışlar olduğunu gözlemlemiştir. Tank (2010) Armutlu Yarımadası'ndaki jeolojik yapıyı dikkate alarak iki ve üç-boyutlu kuramsal modeller oluşturmuş, bu modellerden elde ettiği eğrileri karşılaştırmış, yüksek periyotlarda özellikle TE-modu verisinde bozulmalar olduğunu gözlemlemiştir. Bu alışma sonucunda deniz etkisini belirlemede iki-boyutlu değerlendirme yerine üç-boyutlu değerlendirme kullanılmasını ve iki-boyutlu değerlendirme çalışmalarında sadece TM-modu verisinin kullanılmasının daha doğru olacağı sonucuna varmıştır. Benzer bir alışma Kaya ve arkadaşları (2013) tarafından Marmara Denizi'nde gerçekleştirilmiş ve deniz tabanındaki keskin inişlerden kaynaklanan yüksek özdirenç farklılığının elektrik alanlar oluşturduğu ve oluşan elektrik alanların ikincil manyetik alanları oluşturarak toplanan verileri etkilediği sonucuna varılmıştır. Deniz-kara sınırındaki yüksek özdirenç farklılığının oluşturduğu bu etkiyi Santos ve arkadaşları (2001) alışmasında ele almış, etkinin elektrik alan ve manyetik alan üzerindeki boyutlarını grafikler ile göstermiştir. Elektrik ve manyetik alanların deniz-

kara sınırına yakın olan kısımlarda etkilendiği sonucuna varmıştır (Santos ve ark., 2001).

Derin yapıların özdirenç modellerinden hareketle gömülü süreksizliklerin kestirilmesi tektonik açıdan önem arz eder. MT yöntemi derin yapıların özdirenç değerlerinin saptanmasında iyi sonuçlar verebilmektedir. Bununla birlikte denize yakın bölgelerde yöntemin uygulanması sırasında deniz etkisi dikkate alınmalıdır. Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili olması nedeniyle denize yakın sahalarda yapılacak manyetotellürik çalışmalarda verilerin denizden etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu çalışmada, Deniz etkisini belirlemek için Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kısmında Düzce ve çevresine benzeyen bir geometri baz alınarak Mackie ve arkadaşlarının (1993) kodunu içeren WinGLink programı ile üç-boyutlu düz çözüm çalışması yapılmıştır. Çalışma teorik bir çalışma olup arazi verisi kullanılmamıştır. Basit bir modelden başlanıp Düzce bölgesini temsil eden model yapılarına (faylar, özdirenç değerleri, sediman, basitleştirilmiş kıyı çizgisi) göre oluşturulan modellerden hesaplanan özdirenç eğrileri ve endüksiyon okları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre toplanan verilerin ait olduğu istasyonun deniz-kara sınırına yakınlığı oranında denizden etkilendiği saptanmıştır. Bu çalışmanın amacı ileride yapılacak çalışmalara katkı sağlamaktır.

BÖLÜM 2. MANYETOTELLÜRİK YÖNTEM

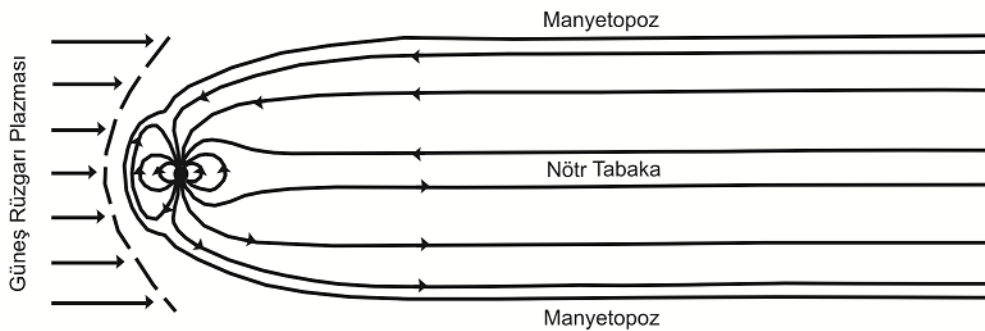
Manyetotellürik (MT) yöntem, yer içinde doğal olarak bulunan birbirine dik elektrik (**E**, koyu yazım vektör olduğunu simgeler) ve manyetik (**B**) alanlardaki dalgalanmaların yüzeyde ölçülmesi ve belirli veri işlem süreçleri ile yer içindeki elektrik özdirenç (iletkenliğin tersi) dağılımının elde edilmesinde kullanılan bir yöntemdir (Simpson ve Bahr, 2005). Jeofizikte ilk olarak 1950'li yıllarda (Rikitake, 1950; Tikhonov, 1950; Cagniard, 1953) tarif edilen yöntem, 1800'lü yılların ortalarında geliştirilmiş Maxwell denklemlerini (Maxwell, 1865) temel alır (Vozoff, 1972). MT yöntemi yer içinde birkaç on metreden, birkaç yüz kilometreye kadar elektrik özdirenç yapısını çözebilir (Simpson ve Bahr, 2005). Çünkü yöntem yer içinde doğal olarak bulunan elektrik ve manyetik alanları kaynak olarak kullanır. Bu nedenle geniş alanlarda ve uzun periyotlarda araştırmaya olanak sağlar (Booker, 2014). MT yöntemde kaynak olarak 10^{-5} Hz ile 10^3 Hz aralığındaki sinyaller kullanılır (Simpson ve Bahr, 2005).

MT yöntemi, jeofizik problemleri çözmede önemli bir yer edinmiştir. Öyle ki Jeotermal sistemler (de Lugao ve ark., 2002; Çağlar ve İşseven, 2004; Arango ve ark., 2009), aktif/pasif volkanlar (Ogawa ve ark., 1998; Aizawa ve ark., 2005), petrol araştırmaları (Constable ve ark., 1998), kabuk yapısı araştırmaları (Wei ve ark., 2001; Wannamaker ve Doerner, 2002; Gürer, 2004; Kaya ve ark., 2009), deniz tabanı çalışmaları (Key ve Constable, 2002; Kaya ve ark., 2013), manto özelliklerinin araştırılması (Jones, 1999; Simpson, 2002) ve aktif fayların araştırılması (Honkura ve ark., 2000; Unsworth ve ark., 2000; Tank ve ark., 2003; Ritter ve ark., 2005; Tank ve ark., 2005; Kaya ve ark., 2009; Tank, 2012; Kaya ve ark., 2013) gibi çok geniş bir kullanım sahası bulunmaktadır.

2.1. Kaynak

Manyetotellürik kaynak güneş rüzgârları ve yıldırım (meteorolojik olaylar) olarak sınıflandırılabilir (Jiracek ve ark., 1995). 1 Hz'den küçük frekansa sahip (1 Sn'den uzun periyoda sahip) elektromanyetik alan güneş rüzgârları ve 1 Hz'den büyük frekansa sahip (1 Sn'den kısa periyoda sahip) elektromanyetik alan yıldırım kaynaklıdır (Simpson ve Bahr, 2005).

Güneş rüzgârları güneş kaynaklı olup proton ve nötron yayılımı yapan sürekli bir plazma akışıdır (Simpson ve Bahr, 2005). Dünya, etrafındaki manyetosferi oluşturan güçlü bir jeomanyetik alana sahiptir. Güneş rüzgârları manyetosferin şeklini değiştirir (Şekil 2.1). Güneş rüzgârı plazması ile jeomanyetik alanın bu etkileşimi ve solar radyasyonun atmosferin üst tabakasındaki iyonlaştırma etkisi manyetotellürik çalışmalarda kullanılan elektromanyetik yayılımı üretir (Chave ve Jones, 2012). Örneğin, artan bir güneş rüzgârı basıncı manyetosferde hızlı bir sıkışmaya (manyetik alan çizgilerinin sıkışmasına, (Şekil 2.1)) neden olup jeomanyetik alanın yatay bileşeninde bir artış sağlar. Manyetosferdeki salınımlar jeomanyetik pulsasyonlar adı verilen küçük ve neredeyse sinüzoidal (sinüs eğrisi şeklinde) jeomanyetik alan değişimleri üretir. Bu salınımlar Dünya yüzeyine ulaşmadan iyonosfer ve manyetosfer arasındaki etkileşim tarafından düzenlenir (Simpson ve Bahr, 2005). Sinyal bu süreçlerden geçerek Dünya yüzeyine ulaşır.



Şekil 2.1. Manyetosferin yapısının basitleştirilmiş görünümü (Parkinson, 1983; Ferguson, 1988)

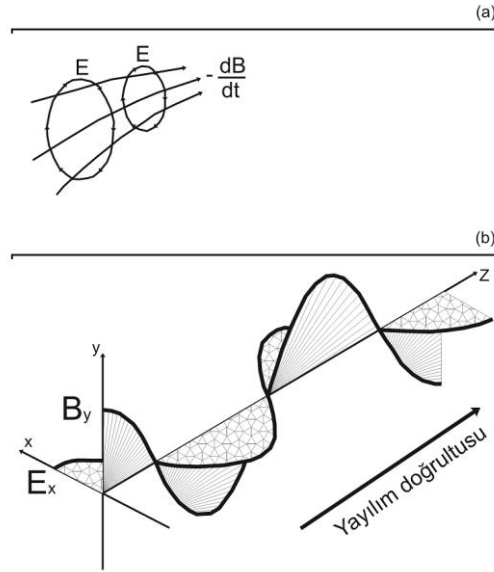
Yıldırım olarak sınıflandırılan elektromanyetik alan (Şekil 2.2), Dünya yüzeyi ve İyonosfer arasında sınırlanmış bölgede meydana gelen şimşeklerden oluşur (Simpson ve Bahr, 2005).



Şekil 2.2. Yıldırım kaynaklı elektromanyetik alan (Bresson, 2013).

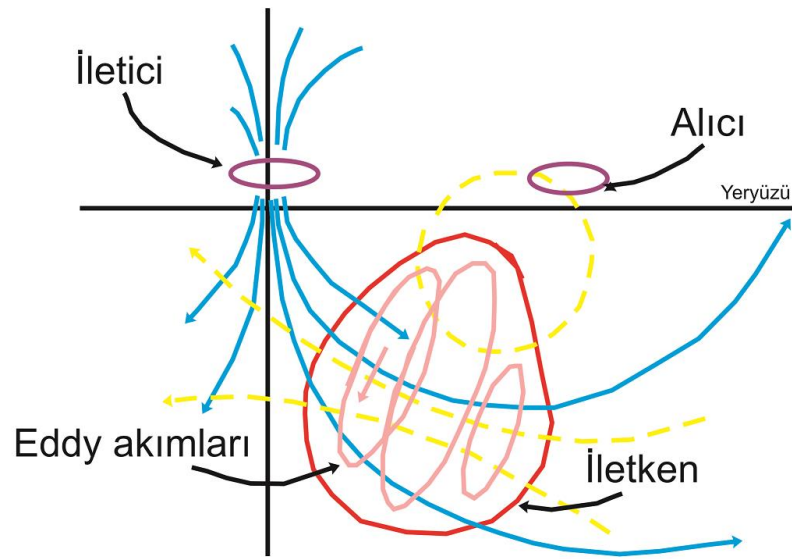
2.2. Teori

Elektromanyetik dalga bir ortamda belirli fiziksel kurallar çerçevesinde yayılır. Manyetotellürik yöntemin doğasını anlayabilmek için elektromanyetik dalganın yapısı bilinmelidir (Kaya, 2007). Elektromanyetik dalgalar, elektrik alan (**E**) ve manyetik alan (**B**) yayılma doğrultusuna dik olduğundan enine dalgalardır (Ünal, 2005). **E** ve **B** aynı fazlı olup birbirlerine dik olarak (Şekil 2.3) yayılırlar (Lowrie, 2003; Ünal, 2005; Oruç, 2012). Elektromanyetik dalgalar zaman (t) ve frekansın (f) fonksiyonudur (Jiracek ve ark., 1995).



Şekil 2.3. (a), manyetik alanın değişimiyle bir elektrik alanın oluşumu, (b), bir elektromanyetik dalga içerisinde yayılım doğrultusuna dik bir düzlemde bir birine dik olan elektrik ve manyetik alanın değişimi (Lowrie, 2003; Oruç, 2012).

Elektromanyetik dalga yeryüzü ve hava ara yüzeyi gibi yüksek özdirenç farklılığına sahip sınırlara geldiğinde enerjisinin çok küçük bir kısmı iletilirken kalan kısmı yansır (Jiracek ve ark., 1995). Şekil 2.4 iletilen elektromanyetik dalganın bir ortamdaki yayılım prensibini göstermektedir. Elektromanyetik endüksiyon teorisine göre ileticiden gelen sinyal ortam içindeki iletken nüfuz eder ve zamana bağlı birincil manyetik alan, iletken ile etkileşime girerek Faraday Yasası'na göre eddy akımlarını oluşturur. Bu akımlar Amper Yasası'na göre birincil alan ile ters yönlü ve zamana bağlı ikincil manyetik alan oluşturur. Yeryüzündeki bir alıcı ile ölçülen elektrik ve manyetik alanlar çeşitli veri işlem yöntemlerine tabi tutularak iletkenin özdirenç değeri hesaplanır (Tikhonov, 1950; Cagniard, 1953; Kaufman ve Keller, 1981; Kaya, 2007).



Şekil 2.4. Elektromanyetik endüksiyon teorisi, mavi çizgiler birincil ve sarı çizgiler ikincil alanları, pembe çizgiler eddy akımlarını ve mor çizgiler iletilici ve alıcıyı temsil etmektedir (Grant ve West, 1965).

2.3. Maxwell Denklemleri ve Elektromanyetik Dalga Denklemi

Maxwell denklemleri (Maxwell, 1865) bir ortamdaki elektrik ve manyetik alanların arasındaki ilişkiyi tanımlar. MKS (SI) birim sistemindeki Maxwell denklemleri,

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_e \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{d \mathbf{B}}{d t} \quad (2.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{d \mathbf{D}}{d t} \quad (2.4)$$

olarak verilmiştir (Chave ve Jones, 2012). Burada, \mathbf{B} , manyetik endüksiyon (Wb/m^2 ya da T), \mathbf{H} , manyetik alan (A/m), \mathbf{D} , elektrik yer değiştirme (C/m^2), \mathbf{E} , elektrik alan (V/m), \mathbf{J} , elektrik akı yoğunluğu (A/m^2) ve ρ_e , elektrik yük yoğunluğu (C/m^3) olarak tanımlanır. Denklem 2.1, elektrik yer değiştirmenin diverjansının elektrik yük

yoğunluğuna eşit olduğunu gösteren elektrik için Gauss yasasını tanımlamaktadır. Denklem 2.2, manyetik tek kutbun bulunamayacağını kanıtlayan manyetik için Gauss yasasını tanımlamaktadır. Denklem 2.3 zamana göre değişen bir manyetik endüksiyonun kendisine zıt yönde ve dik bir düzlemde elektrik alan yarattığını kanıtlayan Faraday yasasını tanımlamaktadır. Denklem 2.4, zamana göre değişen bir elektrik yer değiştirmenin ve elektrik akı yoğunluğunun toplamının, bu düzleme dik bir düzlemde manyetik alan yarattığını kanıtlayan Ampere yasasını tanımlamaktadır (Ward ve Hohmann, 1988; Chave ve Jones, 2012). Maxwell (1865) Ampere ve Faraday'ın açıklamakta zorlandığı elektromanyetik dalga yayılımını bu iki araştırmacının çalışmalarını tamamlayıcı olan Maxwell Denklemleri ile açıklayarak elektromanyetik yayılımın doğasını keşfetmiştir.

Zaman ortamında, elektromanyetik dalga denklemini Maxwell denklemlerinden elde etmek için ilk olarak Denklem 2.3 ve 2.4 rotasyonel işlemine tabi tutulur . Örneğin elektrik alan için,

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) + \nabla \times \left(\frac{d\mathbf{B}}{dt} \right) = 0 \quad (2.5)$$

eşitliği geçerli olur (Ward ve Hohmann, 1988). Burada, \mathbf{B} yerine $\mathbf{B}=\mu\mathbf{H}$ eşitliği yazılırsa,

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} + \nabla \times \left[\frac{d}{dt} (\mu \mathbf{H}) \right] = 0 \quad (2.6)$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} + \mu \nabla \times \frac{d\mathbf{H}}{dt} = 0 \quad (2.7)$$

elde edilir (Ward ve Hohmann, 1988). Burada, μ , manyetik geçirgenlik (permeability) (H/m) parametresidir (Jiracek ve ark., 1995). Basit işlemlerle Denklem 2.7,

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} + \mu \frac{d}{dt} (\nabla \times \mathbf{H}) = 0 \quad (2.8)$$

eşitliğine dönüşür. Denklem 2.4'de \mathbf{J} yerine $\mathbf{J}=\sigma\mathbf{E}$ eşitliğindeki karşılığı ve \mathbf{D} yerine $\mathbf{D}=\varepsilon\mathbf{E}$ eşitliğindeki karşılığı yazılarak Denklem 2.4, Denklem 2.8'de yerine konulur (Ward ve Hohmann, 1988). σ , elektrik iletkenlik (S/m) ve ε , elektriksel yüklenebilirlik (permittivity) (F/m) parametresidir (Jiracek ve ark., 1995). Böylece,

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} + \mu \varepsilon \frac{d^2 \mathbf{E}}{d t^2} + \mu \sigma \frac{d \mathbf{E}}{d t} = 0 \quad (2.9)$$

eşitliği yazılır.

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} \equiv \nabla \nabla \cdot \mathbf{A} - \nabla^2 \mathbf{A} \quad (2.10)$$

vektör eşitliği kullanılarak Denklem 2.9,

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu \varepsilon \frac{d^2 \mathbf{E}}{d t^2} - \mu \sigma \frac{d \mathbf{E}}{d t} = 0 \quad (2.11)$$

olarak elde edilir. Burada \mathbf{A} , temsili bir vektördür (Ward ve Hohmann, 1988). Böylece zaman ortamındaki elektromanyetik dalga denklemi elde edilmiş oldu. Denklemdeki parametreler daha önce açıklanmıştır. Denklem 2.11'de $\frac{d}{d t} = i \omega$ dönüşümü yapılarak frekans ortamındaki elektromanyetik dalga denklemi olan Helmholtz denklemi,

$$\nabla^2 \mathbf{E} + (\mu \varepsilon \omega^2 - i \mu \sigma \omega) \mathbf{E} = 0 \quad (2.12)$$

veya

$$\nabla^2 \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} = 0 \quad (2.13)$$

$$k^2 = (\mu \varepsilon \omega^2 - i \mu \sigma \omega) \quad (2.14)$$

olarak elde edilir (Ward ve Hohmann, 1988). Burada ω , açısal frekans parametresi olup $\omega=2\pi f$ eşitliği geçerlidir. f , frekans (Hz) parametresidir (Jiracek ve ark., 1995). k , karmaşık yayılım sabiti veya ortamdaki dalga sayısı olarak tanımlanır (Jiracek ve ark., 1995). Yer içi şartlar düşünüldüğünde 10^5 Hz'den küçük frekanslarda $\mu\epsilon\omega^2 \ll i\mu\sigma\omega$ ifadesi geçerli olduğundan ya da bir başka deyişle söz konusu frekanslarda iletim akımları yer değiştirme akımlarından çok daha büyük olduğundan denklemlerdeki ikinci dereceden ifadeler ihmal edilebilir. Böylece elektromanyetik dalga denklemi elektrik alan ve manyetik alan için zaman ortamı ve frekans ortamında,

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu \sigma \frac{d \mathbf{E}}{d t} = 0 \quad (2.15)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \mu \sigma \frac{d \mathbf{H}}{d t} = 0 \quad (2.16)$$

$$\nabla^2 \mathbf{E} - i \mu \sigma \omega \mathbf{E} = 0 \quad (2.17)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} - i \mu \sigma \omega \mathbf{H} = 0 \quad (2.18)$$

eşitlikleri ile tanımlanır. Manyetik alan için de benzer şekilde işlemler takip edilebilir (Ward ve Hohmann, 1988). Denklemlerdeki tüm parametreler daha önce tanımlanmıştır.

2.4. Varsayımlar

Yer içinde bir ortamda elektromanyetik endüksiyonu düşünebilmek için bazı varsayımlar yapılmalıdır. Yerin elektromanyetik enerjiyi üretmeyip sadece yaydığı ve soğurduğu kabul edilir. Böyle bir ortamda Maxwell'in genel elektromanyetik denklemleri geçerlidir. Tabakalı ortamda serbest yük sadece süreksizliklerin bulunduğu alanda birikir. Yükler korunumlu ve elektrik akı yoğunluğu, iletkenlik ve elektrik alanın çarpımına eşittir. Bütün alanlar korunumlu ve analitik olarak kaynaktan uzakta varsayılır. İyonosfer tarafından üretilen kaynak alan yeryüzünden

oldukça uzakta olduğundan elektromanyetik alanlar ortam yüzeyine dik olarak çarparlar. Kayaçların elektriksel yüklenebilirlik (permittivity) ve manyetik geçirgenlik (permeability) değerlerindeki herhangi bir değişiklik, kayaçların elektrik iletkenlik değerlerindeki değişim ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. MT yönteminde kullanılan periyotlar için elektriksel yer değiştirme akımları, elektriksel iletkenlik akımlarına göre çok küçüktür, bu yüzden ihmal edilir (Cagniard, 1953; Keller ve Frischknecht, 1966; Simpson ve Bahr, 2005).

2.5. Empedans Tensörü

Manyetotellürik (MT) yöntem, yeryüzünde doğal olarak bulunan birbirine dik elektrik (**E**) ve manyetik (**B**) alanlardaki dalgalanmaların ölçülmesini içeren pasif bir yöntemdir. Birbirine dik yatay elektrik (**E**) ve manyetik (**B**) alan bileşenleri karmaşık empedans tensörü ($\bar{\mathbf{Z}}$) ile birbirine bağlı olup,

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_x/\mu_0 \\ B_y/\mu_0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$$\mathbf{E} = \bar{\mathbf{Z}} \mathbf{B}/\mu_0 \quad (2.20)$$

eşitlikleri geçerlidir (Simpson ve Bahr, 2005). Burada **E**, elektrik alan (V/m), **B**, manyetik endüksiyon (Wb/m² ya da T), μ_0 , serbest ortamın manyetik geçirgenliğini ($4\pi \times 10^{-7}$, H/m) gösterir. Empedans tensörü ($\bar{\mathbf{Z}}$) karmaşık olması nedeni ile hem gerçek hem sanal kısımlara sahiptir (Simpson ve Bahr, 2005).

2.6. Görünür Özdirenç ve Faz

Homojen ve tekdüze (isotropic) bir ortamda bir birine dik elektrik (**E**) ve manyetik (**B**) alanların matematik olarak tanımlamaları,

$$H_y = H_y^0 e^{-i\omega t + (i-1)z/\delta} \quad (2.21)$$

$$\mathbf{E}_x = \mathbf{E}_x^0 e^{-i\omega t + (i-1)z/\delta} \quad (2.22)$$

$$\mathbf{E}_x^0 = (1 - i) \omega \mu \delta \mathbf{H}_y^0 / 2 \quad (2.23)$$

olarak verilir. Burada $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ olarak alınmıştır (Vozoff, 1972). \mathbf{H} , manyetik alan (A/m), \mathbf{E} , elektrik alan (V/m), ω , açısal frekans, t, zaman, z, derinlik ve δ , karakteristik derinlik olarak tanımlanır. “0” olarak belirtilmiş üst simge ise yüzeydeki büyüklük olduğunu belirtmek için kullanılmıştır. Denklem 2.23,

$$\frac{\mathbf{E}_x^0}{\mathbf{H}_y^0} = \frac{(1 - i) \omega \mu \delta}{2} \quad (2.24)$$

olarak düzenlendiğinde elde edilen Denklem 2.24 empedansa eşit olup birimi ohm'dur (Ω). Karakteristik derinlik (δ) ise (Denklem 2.29) Denklem 2.24'de yerine yazıldığında,

$$\mathbf{Z} = (1 - i) \left(\frac{\omega \mu}{2 \sigma} \right)^{1/2} \quad (2.25)$$

eşitliği elde edilir (Vozoff, 1972). $\sigma = 1/\rho_a$, dönüşümü yapıp Denklem 2.25 düzenlendikten sonra görünür öz direnç,

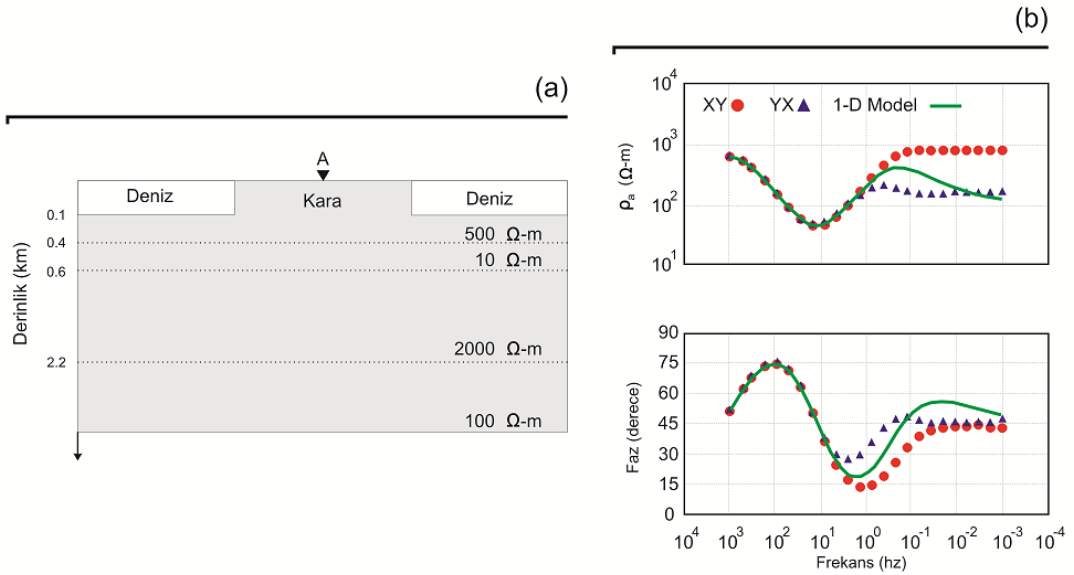
$$\rho_a = \frac{1}{\mu \omega} (\mathbf{Z})^2 \quad (2.26)$$

olarak elde edilir (Vozoff, 1972). ρ (veya σ) \mathbf{E} ve \mathbf{H} değerlerinden hesaplandığı durumda “görünür öz direnç, ρ_a (görünür iletkenlik, σ_a)” olarak tabir edilir. Elbette ρ ve ρ_a birbirleriyle ilişkilidirler fakat net bir şekilde ayırım yapılması gerekir. ρ_a homojen ortamdan ölçülmüş empedans (\mathbf{Z}) değerinden hesaplanmak zorunda olan bir öz direnç değeri iken ρ söz konusu ortamın bir özelliğidir. Dolayısıyla ρ_a parametresi ölçme ile ilişkili bir parametredir (Vozoff, 1972).

Empedans gerçek ve sanal kısımlar içerdiğinden faz bilgisi de içerir. Faz, empedansı tahmin etmede kullanılan önemli bir parametredir (Booker, 2014). Faz,

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Sanal } Z}{\text{Gerçek } Z} \right) \quad (2.27)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır (Simpson ve Bahr, 2005). Şekil 2.5 tabakalı öz direnç modelindeki bir MT istasyonundan (A) hesaplanan görünür öz direnç ve faz eğrilerinin gösterimini örneklemektedir.



Şekil 2.5. Temsili görünür öz direnç ve faz eğrileri. (a) kuramsal model ve (b) A istasyonundan (siyah ters üçgen) elde edilen görünür öz direnç ve faz eğrileri, yeşil renkli öz direnç ve faz eğrisi bir boyut için olup deniz etkisi içermemektedir (Yang ve ark., 2010).

2.7. Nüfuz Derinliği

Denklem 2.15'den Denklem 2.18'e kadar olan denklemler difüzyon denklemleridir ve belirli koşullar altında çözümlendiğinde

$$\alpha = \beta = \left(\frac{\omega \mu \sigma}{2} \right)^{1/2} \quad (2.28)$$

eşitliği elde edilir (Ward ve Hohmann, 1988). Burada, α ve β difüzyon denklemlerinin çözümünden ileri gelen gerçek değere sahip niceliklerdir. Dolayısıyla difüzyon denklemlerinin çözümü ile elde edilen yeni bağıntılar içindeki $e^{-\beta z}$ ifadesinin değeri z terimi büyüdükçe küçülür. Bu nedenle bu ifade elektromanyetik dalga denkleminin sönümünü ifade eder. Bir elektromanyetik dalga bir ortamda belirli bir uzaklıkta e^{-1} değerinde sönümlenir. z 'nin maksimum değeri için bu iki üstel ifade eşitlenerek z değeri yalnız bırakılır. Böylece bir elektromanyetik dalganın bir ortamdaki maksimum nüfuz derinliği metre olarak,

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} \quad (2.29)$$

eşitliği ile tanımlanır (Ward ve Hohmann, 1988). Elektromanyetik dalganın periyodu uzadıkça nüfuz derinliği artar.

2.8. Endüksiyon Okları

Endüksiyon okları, düşey manyetik alanın yatay manyetik alana oranını temsil eden gerçek kısım ve sanal kısım içeren oklardır. Düşey manyetik alan yanal iletkenlik değişiminden meydana geldiği için endüksiyon okları bu iletkenliğin var olup olmadığını belirlemede kullanılabilir. Bunun için iki yaklaşım vardır. Parkinson (1959) yaklaşımına göre endüksiyon okları iletkeni gösterir. Wiese (1962) yaklaşımına göre ise endüksiyon okları yalıtkanı gösterir. Bu oklar bazı kaynaklarda “tipper” terimi ile isimlendirilmiştir. Düşey manyetik alan ve yatay manyetik alan arasında,

$$\mathbf{H}_z(\omega) = [\mathbf{T}_x(\omega) \quad \mathbf{T}_y(\omega)] \begin{bmatrix} \mathbf{B}_x/\mu_0 \\ \mathbf{B}_y/\mu_0 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

eşitliği geçerlidir (Simpson ve Bahr, 2005). Burada, \mathbf{H}_z , düşey manyetik alan (A/m), \mathbf{B}_x , manyetik endüksiyon (Wb/m² veya T), μ_0 , serbest ortamın manyetik geçirgenliğini ($4\pi \times 10^{-7}$, H/m), $\mathbf{T}_x(\omega)$ ve $\mathbf{T}_y(\omega)$, endüksiyon ok bileşenleri

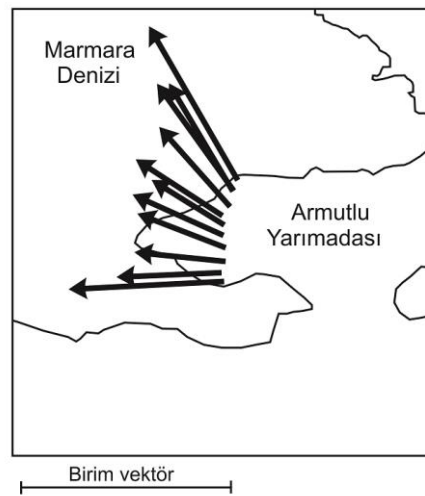
(bilinmeyen karmaşık katsayılar (Vozoff, 1972)) olarak tanımlanır (Simpson ve Bahr, 2005). Endüksiyon oklarının büyüklükleri ve fazı,

$$\mathbf{T}_B = \left(\mathbf{T}_{x_r}^2(\omega) + \mathbf{T}_{x_i}^2(\omega) + \mathbf{T}_{y_r}^2(\omega) + \mathbf{T}_{y_i}^2(\omega) \right)^{(1/2)} \quad (2.31)$$

$$\mathbf{T}_F = \tan^{-1} \left[\frac{\left(\mathbf{T}_{x_r}^2(\omega) + \mathbf{T}_{y_r}^2(\omega) \right)}{\left(\mathbf{T}_{x_i}^2(\omega) + \mathbf{T}_{y_i}^2(\omega) \right)} \right]^{(1/2)} \quad (2.32)$$

şeklinde tanımlanır (Vozoff, 1972). Burada, r ve i indisleri bilinmeyen karmaşık katsayıların gerçek ve sanal kısımlarını ifade etmektedir (Vozoff, 1972).

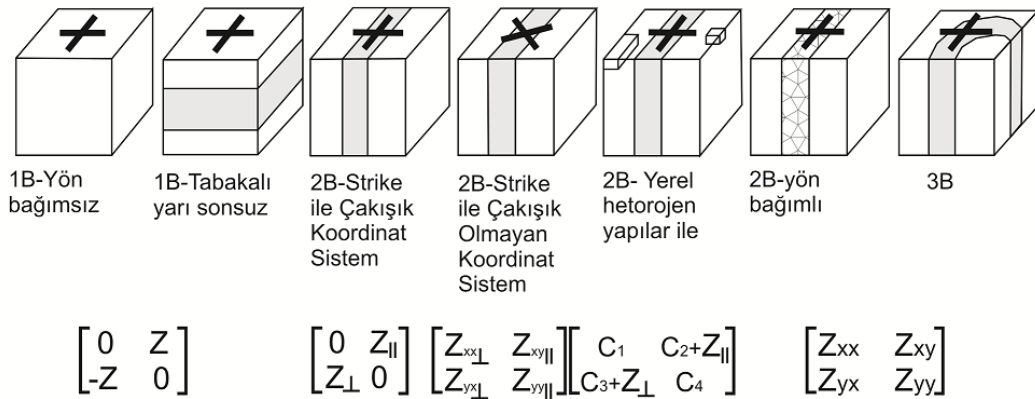
Şekil 2.6 bir profil boyunca konumlandırılmış MT istasyonlardan elde edilen MT tepkisinden hesaplanmış 100 saniye periyoduna karşılık gelen endüksiyon oklarının gerçek bileşenlerinin gösterimini örneklemektedir. Kıyı çizgisine yakın istasyonlardan elde edilen gerçek endüksiyon oklarının büyüklükleri, kıyıya uzak olan istasyonlardan elde edilen gerçek endüksiyon oklarının büyüklüklerine oranla daha yüksektir. Ayrıca endüksiyon oklarının yönleri Parkinson, (1959) yaklaşımına göre iletken Marmara denizini göstermektedir (Tank, 2010).



Şekil 2.6. 100 saniye periyoduna karşılık çizdirilmiş temsili gerçek endüksiyon okları (Tank, 2010).

2.9. Boyutluluk

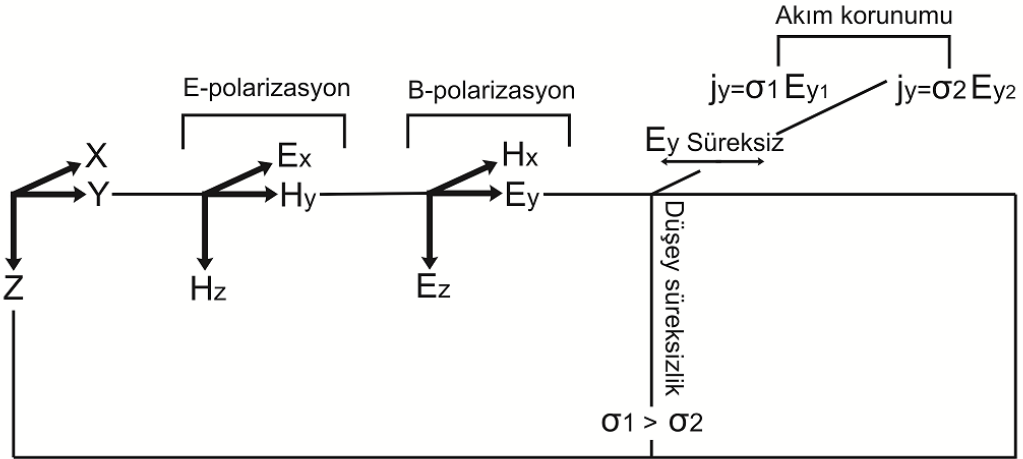
Manyetotellürük verisinin yorumlanmasında en önemli aşamalardan biri de ortamın boyutluluğuna karar vermektir (Chave ve Jones, 2012). Bir-boyutlu (1B) ortamda iletkenlik sadece derinlikle değişir. Bu durumda empedans tensörün köşegen elemanları sıfır olur ve köşegen olmayan elemanlar ise aynı empedans bilgisini taşır (Şekil 2.7). İki-boyutlu (2B) bir ortamda iletkenlik derinlikle değişmesinin yanı sıra yatay bir doğrultuda da değişiklik gösterir. Bu durumda ise empedans tensör fiziksel veya matematiksel olarak rotasyon işlemine tabi tutulduktan sonra köşegen elemanları sıfır, köşegen olmayan elemanları ise farklı empedans bilgisi içerir. Ayrıca ortamda homojenliği bozan yerel birimler veya yön bağımlı birimler de bulunabilir (Şekil 2.7). Heterojenliğe neden olan birimler bulunduğu empedans tensöre bir C sembolü eklenerek söz konusu birimlerin neden olduğu galvanik bozulma temsil edilir. Üç-boyutlu (3B) bir ortamda iletkenlik derinlik ve iki yatay doğrultuda değişiklik gösterir (Şekil 2.7). Bu durumda empedans tensör tüm elemanları ile ele alınır (Ritter ve ark., 2005).



Şekil 2.7. Farklı durumlara göre empedans tensörün tasarlanması. Siyah artı ve çarpı işaretleri koordinat sistemini temsil etmektedir. C sembolü yerel heterojenite ve yön bağımlılık parametresini, \perp simgesi elektrik alanın yer elektrik doğrultuya dik olmasını ve \parallel simgesi elektrik alanın yer elektrik doğrultuya paralel olmasını temsil etmektedir (Ritter ve ark., 2005).

İki-boyutu düşündüğümüzde, bir yatay ekseninde iletkenlik değişimi sıfırdır. İletkenlik değişimi olmayan doğrultu yer elektrik doğrultu (strike) olarak isimlendirilir. Basit bir iki-boyutlu ortam düşündüğümüzde yer elektrik doğrultu x yönünde ise

(Şekil 2.8) TM-modu için akım yer elektrik doğrultu boyunca akar ve \mathbf{E}_x , \mathbf{B}_y , \mathbf{B}_z bileşenleri hariç diğer bileşenler sıfır değerini alır. TM-modu için akım yer elektrik doğrultuya dik olarak akar, ara yüzeyde bir süreksizliğe uğrar ve \mathbf{B}_x , \mathbf{E}_y , \mathbf{E}_z bileşenleri hariç diğer bileşenler sıfır değerini alır (Simpson ve Bahr, 2005).



Şekil 2.8. Basit bir iki-boyutlu (2B) modelde E-polarizasyon ve B-polarizasyonda elektromanyetik alan bileşenleri (Simpson ve Bahr, 2005).

TM-modundaki süreksizlik ise akımın (\mathbf{E}_y) ara yüzeye karşı korunumlu olmasından dolayı iletkenlikteki değişimin elektrik alanın süreksiz olmasına neden olmasıdır. Ara yüzeye karşı akım yoğunluğu

$$\mathbf{J}_y = \sigma \mathbf{E}_y \quad (2.33)$$

eşitliği ile verilir (Simpson ve Bahr, 2005). Uygulamada yatay eksenlerden herhangi biri yer elektrik doğrultu ile kesişmediği durumda empedans tensör elemanlarının tümü bir değer alır. İki-boyutta çalışmak için eksenlerden birinin yer elektrik doğrultu ile kesişmesi gerekir. Bu durumda empedans tensör fiziksel olarak ya da matematiksel olarak rotasyon işlemine tabi tutulur. Böylece eksenlerden biri yer elektrik doğrultu ile mümkün olduğunca çakıştırılmış olur. Empedans tensörde köşegen elemanlar sıfıra yaklaştırılırken köşegen olmayan elemanlar maksimum değer alır (Vozoff, 1972). Matematiksel olarak rotasyon işlemi yapabilmek için bir

açı değeri hesabı yapılmalıdır. Empedans tensördeki köşegen olmayan elemanları maksimum yapabilecek açı değeri (θ_0),

$$\tan(4 \theta_0) = \frac{(\mathbf{Z}_{xx} - \mathbf{Z}_{yy})(\mathbf{Z}_{xy} + \mathbf{Z}_{yx})^* + (\mathbf{Z}_{xx} - \mathbf{Z}_{yy})^*(\mathbf{Z}_{xy} + \mathbf{Z}_{yx})}{|\mathbf{Z}_{xx} - \mathbf{Z}_{yy}|^2 - |\mathbf{Z}_{xy} - \mathbf{Z}_{yx}|^2} \quad (2.34)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır (Swift, 1967; Vozoff, 1972). Empedans tensör ($\bar{\mathbf{Z}}$), açı değeri,

$$\bar{\mathbf{Z}}^r = R \bar{\mathbf{Z}} R' \quad (2.35)$$

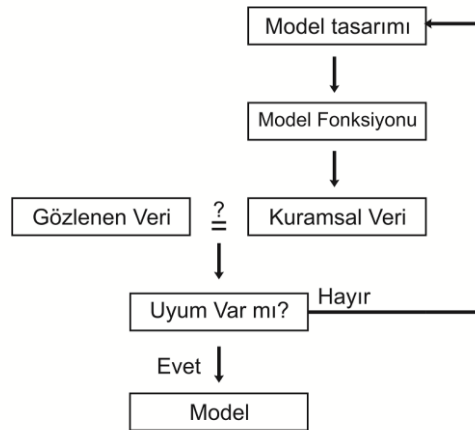
$$R = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) & \sin(\theta_0) \\ \sin(\theta_0) & \cos(\theta_0) \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

eşitliğinde yerine konularak rotasyon işlemine tabi tutulur (Simpson ve Bahr, 2005). Burada $\bar{\mathbf{Z}}^r$, rotasyona tabi tutulmuş empedans tensörü, $\bar{\mathbf{Z}}$, rotasyona giren empedans tensörü ve R, rotasyon matrisini temsil etmektedir (Simpson ve Bahr, 2005).

BÖLÜM 3. KURAMSAL MODELLER VE MANYETOTELLÜRİK DÜZ ÇÖZÜM

Jeofizik yöntemlerde sahadan toplanan verilerin yorumlanabilmesi için sahayı temsil eden varsayımsal bir jeolojik model oluşturulur ve oluşturulan bu modelin tepkisinden elde edilen veriler ile sahadan toplanan veriler karşılaştırılır. Başlangıç modeli olarak tabir edilen teorik modelden, model fonksiyonu ile model yanıtı elde edilmesi düz çözüm olarak adlandırılır (Oruç, 2012).

Başlangıç modelinin tepkisini belirlemek için analitik ve sayısal yöntemler kullanılır. Analitik yöntemler basit şekilli kütlelere yaklaştırılabilen jeolojik yapıları tanımlamada kullanılır. Fakat elektromanyetik yöntemleri de içine alan bazı jeofizik yöntemlerde model tepkisini elde etmek için model fonksiyonu olarak diferansiyel bir bağıntı tanımlanır. Bu bağıntının analitik çözümlenmesi zor ve olanaksız olduğundan sonlu farklar veya sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemler kullanılır. Model fonksiyonu tanımlandıktan sonra model parametreleri kullanılarak hesaplanan kuramsal veriler ile gözlemsel verilerin uyumu ters çözüm işlemi ile sağlanır. Düz çözüm şeması Şekil 3.1’de gösterilmektedir (Oruç, 2012).

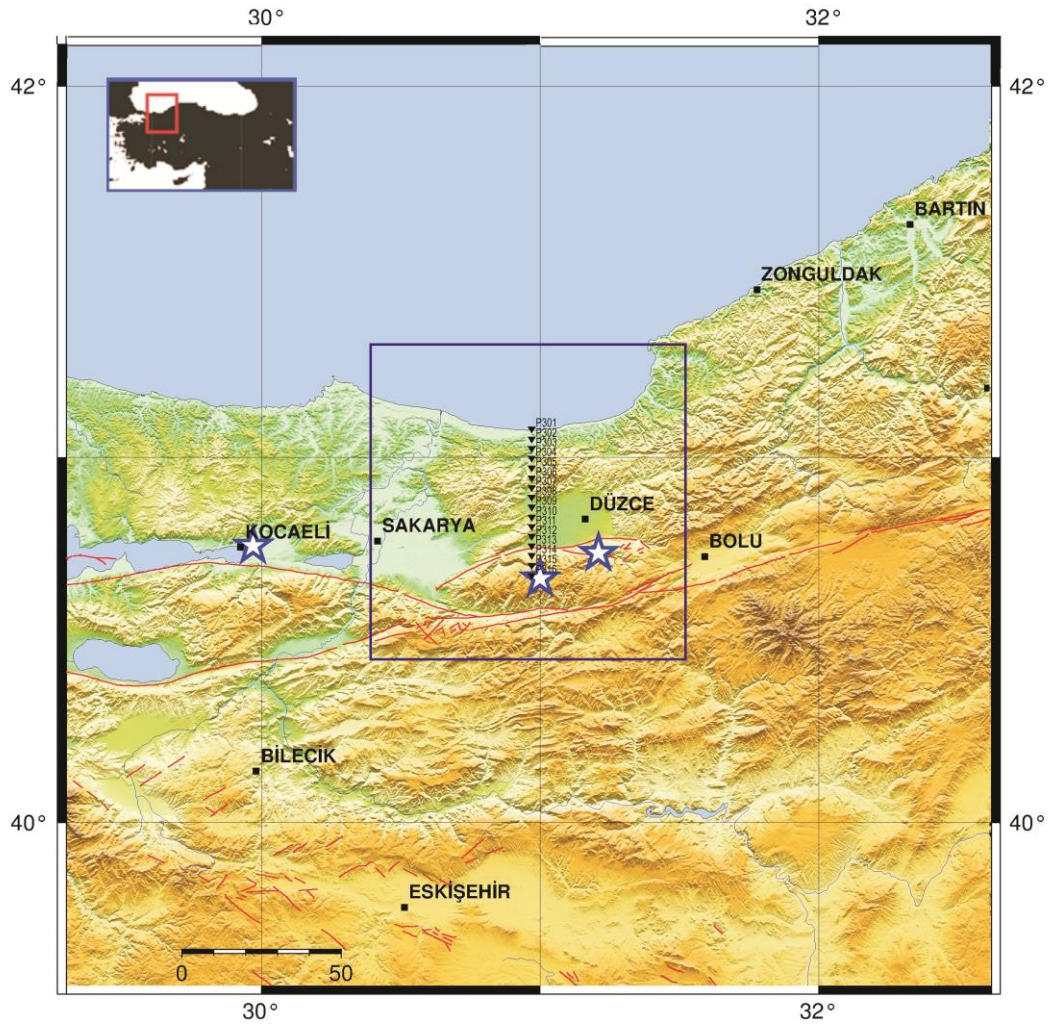


Şekil 3.1. Düz çözüm işleminin ilerleyişi (Oruç, 2012).

3.1. Model Tasarımı İçin İnceleme Alanı

Manyetotellürik yöntemin temel amacı yer içinin özdirenç değişimini saptamaktır. Yöntem bunu yaparken tüm diğer jeofizik yöntemlerde olduğu gibi bazı yer parametrelerinden (galvanik etkiler, küçük ve iletken yerel yapılar ve deniz) etkilenmektedir. Deniz ve okyanuslar gibi, içerdiği yüksek tuz miktarından dolayı yüksek iletkenliğe sahip kütleler manyetotellürik veriler üzerinde ciddi bozulmalara neden olmaktadır. Bu çalışmada Düzce ve çevresine benzeyen bir geometri kullanılmıştır. Bölgenin kuzeyinde de bu şekilde bozulmalara yol açabilecek Karadeniz bulunmaktadır. Karadeniz'den kaynaklanan bu bozulmaların Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kısmındaki Düzce bölgesinde toplanan ya da ileride toplanılacak manyetotellürik veriler üzerindeki olası etkisi araştırılmaktadır. Bunun için Karadeniz'in bir bölümü ve Düzce bölgesini de içine alan geniş bir inceleme alanı belirlenmiştir.

Kuzey Anadolu Fayı sahip olduğu özellikleri nedeniyle üzerinde birçok araştırma yapılan bir yapıdır. Geçmişte çeşitli büyüklüklerde ve yıkıcı depremlere neden olmuştur. En son Düzce depremi ($M_w=7.2$, 1999) ve Gölcük depremi ($M_w=7.5$, 1999) ile gündeme gelen fay özellikle beklenen Marmara depremi ile gündemdeki yerini korumaktadır. Bu nedenle bu yapının çok iyi analiz edilmesi, üzerinde meydana gelmiş depremleri tartışmak ve ileride meydana gelecek depremleri tahmin etmek önem arz etmektedir. Bu da çeşitli bilimsel yöntemlerin yanında MT yöntemi ile de yapılabilir. MT yöntemi ile elde edilen verilerin doğru bir şekilde yorumlanması için Düzce bölgesindeki Karadeniz'den kaynaklanan etkinin boyutlarının bilinmesi gereklidir. Tüm bunlar düşünüldüğünde bu çalışma Düzce bölgesinde ileride yapılacak MT çalışmalarına kaynak teşkil edecektir. Düz çözüm aşamasında sınır problemi ile karşılaşmamak için oluşturulan modelin sınırları oldukça geniş tutulmuştur. Modelin kapsadığı alanı gösterir harita Generic Mapping Tools (GMT) programında oluşturulmuştur (Şekil 3.2). Program Emre ve arkadaşları (2013) tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay Haritası verisini kullanmaktadır.



Şekil 3.2. Deniz etkisi araştırma ve kuramsal model çalışmalarında kullanılan istasyonların konumları. Kare çalışma alanını, siyah ters üçgenler istasyonları, mavi yıldızlar daha önce meydana gelmiş büyük depremleri ve kırmızı çizgiler fayları (Emre ve ark., 2013) göstermektedir. Harita Generic Mapping Tools (GMT) programında oluşturulmuştur.

3.2. Düz Çözüm

Manyetotellürik yöntemde saha verileri ile karşılaştırılmak üzere kuramsal verilerin hesaplanabilmesi için tüm jeofizik yöntemlerde olduğu gibi düz çözüm işlemi yapılır. Düz çözümün ilk aşaması bir başlangıç modeli tanımlamaktır. Bunun için bilinmeyen parametreler (geometri ve fiziksel özellik) belirlenmelidir. Gerçek jeolojik yapılar sonsuz parametreye sahip olduğundan başlangıç modeli belirlenirken en ideal model seçilmelidir. İkinci aşama ise başlangıç modeline ait model fonksiyonu ile kuramsal verileri hesaplamaktır (Oruç, 2012).

Jeofizikte modeli temsil eden model fonksiyonunun analitik olarak çözülmesinin zor olduğu durumlarda sayısal yöntemlerin uygulanması için model tanımlama, analitik çözüme göre farklıdır. Manyetotellürik yöntemi düşündüğümüzde iki-boyutlu çalışmalar için model alansal hücrelere bölünür ve türev yöntemlerinden sonlu farklar veya sonlu elemanlar yöntemleri ile her bir kare veya üçgen hücredeki elektrik ve manyetik alanlar hesaplanır. Üç-boyutlu çalışmalar için ise model hacimsel bloklara bölünür ve her iki yöndeki bloklar dikkate alınarak sonlu farklar veya sonlu elemanlar yöntemi ile elektrik ve manyetik alanlar hesaplanır.

Üç-boyutlu çalışmalar için türev denklemi metodu ve integral denklemi metodu önerilmektedir. İntegral denklemi metodunda bozucu iletken yapının gridlenmesi söz konusu iken türev denklemi metodunda hem bozucu yapı hem de onu çevreleyen ortam gridlenir. İntegral denklemi yöntemi uygulamadaki basit modelli (tabakalı yarı sonsuz bir ortamla sınırlandırılmış anomali) yapısıyla tektonik durumları tam olarak temsil edemediğinden dolayı daha az tercih edilirken türev denklemi yöntemi karmaşık iletkenliğe sahip yapıları daha iyi çözebildiğinden daha çok tercih edilir. Ancak türev denklemi yönteminin çözümü için güçlü bilgisayarlar gereklidir. Sınır koşulları problemleri sonlu farklar ya da sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülür (Simpson ve Bahr, 2005).

Sonlu elemanlar yöntemi, ilk defa (Zienkiewicz ve Cheung, 1965) tarafından kullanılan ve kısmi diferansiyel denklem veya enerji teoremi ile tanımlanan fiziksel bir problemi çözmek için kullanılan sayısal bir yöntemdir (Erdoğan, 2009). Sonlu farklar yöntemi ise zaman ortamında Maxwell denklemlerinin diferansiyel formunu ayrıklaştırmaya yarayan bir yöntem olup ilk defa (Yee, 1966) tarafından kullanılmıştır (Erol ve Balık, 2001). Sonlu farklar yöntemi ile türevi alınabilen bir fonksiyonun birinci, ikinci veya daha yüksek dereceli yaklaşık türevleri sayısal olarak hesaplanabilir (Oruç, 2012).

Bu çalışmada düz çözüm WinGLink programı kullanılarak yapılmıştır. Program Mackie ve arkadaşları (1993) tarafından geliştirilen üç-boyutlu düz çözüm algoritmasını kullanmaktadır. Algoritma Maxwell denklemlerinin integral formlarını

sonlu farklar yöntemi kullanarak çözmektedir. Oluşturulan model çok fazla karmaşık olmadığı durumda integral denklemlerinin çözümü, çok hızlıdır (Mackie ve ark., 1993). Deniz etkisinin belirlenmesi için çalışılan bölge sabit bir iletken olarak girildiğinden (Tank, 2010) bu çalışmada oluşturulan modeller çok karmaşık modeller değildir. Bu algoritma bu nedenle tercih edilmiştir.

3.2.1. Fark denklemleri

Manyetotellürik çalışmalarda düşük frekanslarda iletim akımlarının etkisi yer değiştirme akımlarından çok daha büyüktür. Bu nedenle işlemler sırasında yer değiştirme akımları ihmal edilir. Zaman bağımlı $e^{-i\omega t}$ düşünüldüğünde Maxwell denklemlerinin integral formları mks birim sisteminde,

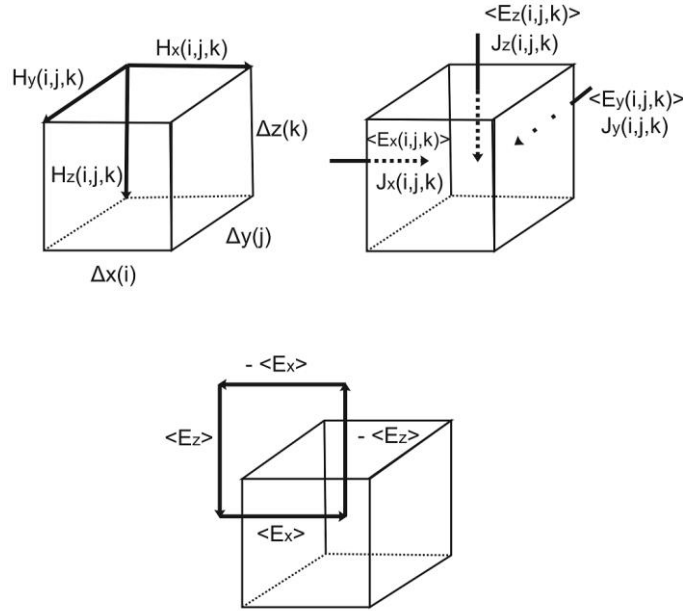
$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = \iint \sigma \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} \quad (3.1)$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \iint i\mu\omega \mathbf{H} \cdot d\mathbf{S} \quad (3.2)$$

olarak verilir (Stratton, 1941; Mackie ve ark., 1993). Burada, \mathbf{H} , manyetik alan (A/m), \mathbf{E} , elektrik alan (V/m), \mathbf{J} , akı yoğunluğu (A/m²), σ (S/m) ve μ (H/m) tensör nicelikleridir (Stratton, 1941; Mackie ve ark., 1993). Geometriyi belirlemek için Denklem 3.1 kullanılarak \mathbf{H} , blokların sınırları boyunca ve $\sigma \mathbf{E}$ 'nin ortalaması ise blokların yüzeylerinin normalleri ile çakışık şekilde tanımlanır. Tanımlamalar bu şekilde yapıldığında Denklem 3.1 için fark denklemlerinden bahsedilebilir. Böylece ikinci dereceden ifadeler yerine birinci dereceden ifadeler ile işlemler daha kolay yapılabilmektedir (Mackie ve ark., 1993).

Tüm model her yönde dikdörtgensel bloklara bölünmüştür. Bu model Yee, (1966) tarafından sonlu farklar için geliştirilen geometriye eşdeğerdir. Her blok öz direnç (ρ (i,j,k)) ve manyetik geçirgenlik ($\mu_0, 4\pi \times 10^{-7}$, H / m) değerine sahiptir. \mathbf{H} , hacimsel blokların sınırları boyunca, \mathbf{E} ve \mathbf{J} yüzeylerin normalleri boyunca ortalamaları

alınarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.3). Burada \mathbf{E} 'nin süreksizliği, integral denklemleri kullanıldığından herhangi bir problem teşkil etmez (Mackie ve ark., 1993).



Şekil 3.3. Maxwell Denklemlerinin integral formlarına dayanan fark denklemini geometrisi. “< >” sembolü ortalamalarının alındığını ifade etmektedir (Mackie ve ark., 1993).

Algoritma ilk olarak iletkenlikte, geçirimsilikte (permeability) ve alan değerlerinde uygun dönüşümü yaparak eşit olmayan gridleri eşitlemektedir (Madden ve Mackie, 1989; Mackie ve ark., 1993). Bunun için bir dönüşüm parametresi tanımlanır. Daha sonra dönüşüm için skala faktörü, dönüştürülmüş iletkenlik ve geçirimsilik (permeability) tensörü oluşturulur. İletkenlik tekdüze (isotropic) olarak varsayılır. Ayrıca geçirimsilik, $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m olarak varsayılır. Bu dönüşüm şartları altında Denklem 3.1 ve 3.2 sabit bir değer olarak elde edilir. Böylece dönüştürülmüş sistemi çözmekle aslında dönüştürülmemiş sistem çözülür. Birbirinden farklı olan $\Delta x, \Delta y$ ve Δz (Şekil 3.3) simetriyi sağlamak için dönüştürülerek, $\Delta x' = \Delta y' = \Delta z' = L$ olarak tanımlanır. Üst simge dönüştürülmüş parametreyi simgelemektedir (Mackie ve ark., 1993).

Şekil 3.3'deki geometri dikkate alındığında Denklem 3.1'in x bileşeni,

$$\begin{aligned} & \{[\mathbf{H}_z(i, j + 1, k) - \mathbf{H}_z(i, j, k)] - [\mathbf{H}_y(i, j, k + 1) - \mathbf{H}_y(i, j, k)]\}L \\ & = \mathbf{J}_x(i, j, k)L^2 \end{aligned} \quad (3.3)$$

olarak elde edilir. Diğer bileşenler de benzer şekilde elde edilebilir (Mackie ve ark., 1993). Burada \mathbf{J} , elektrik akı yoğunluğu (A/m^2) ve L , hacimsel bloğun dönüşüm yapıldıktan sonraki bir kenarının uzunluğudur. i, j ve k ortamın boyutluluğunu simgelemektedir. \mathbf{J} , sürekli fakat \mathbf{E} , bitişik olan diğer dikdörtgen blok farklı öz direnç değerine sahip olduğunda süreksiz. Bu nedenle \mathbf{E} , blok yüzeylerinin normalleri ile çakışacak şekilde tanımlanır. \mathbf{J} 'nin x bileşeni için,

$$\mathbf{E}_x(i, j, k) = \frac{[\rho_{xx}(i, j, k) + \rho_{xx}(i - 1, j, k)]}{2} \mathbf{J}_x(i, j, k) \quad (3.4)$$

eşitliği geçerlidir. Diğer bileşenler de benzer şekilde elde edilebilir (Mackie ve ark., 1993). Burada ρ_{xx} , bloğun sahip olduğu öz direnç değeridir ve ortam x, y, z doğrultularında tekdüze olmadığından (anisotropic) bu değer alt simge ile temsil edilir. Bu durum geçirimsizlik (permeability) içinde geçerlidir. Bu tanımlamalar ile Denklem 3.2'nin bileşenleri,

$$\begin{aligned} & \{[\mathbf{E}_z(i, j, k) - \mathbf{E}_z(i, j - 1, k)] - [\mathbf{E}_y(i, j, k) - \mathbf{E}_y(i, j, k - 1)]\}L \\ & = i\omega \langle \mu_{xx} \rangle \mathbf{H}_x(i, j, k)L^2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} & \{[\mathbf{E}_x(i, j, k) - \mathbf{E}_x(i, j, k - 1)] - [\mathbf{E}_z(i, j, k) - \mathbf{E}_z(i - 1, j, k)]\}L \\ & = i\omega \langle \mu_{yy} \rangle \mathbf{H}_y(i, j, k)L^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} & \{[\mathbf{E}_y(i, j, k) - \mathbf{E}_y(i - 1, j, k)] - [\mathbf{E}_x(i, j, k) - \mathbf{E}_x(i, j - 1, k)]\}L \\ & = i\omega \langle \mu_{zz} \rangle \mathbf{H}_z(i, j, k)L^2 \end{aligned} \quad (3.7)$$

olarak elde edilir. Burada, $\langle \mu_{xx} \rangle$, $\langle \mu_{yy} \rangle$ ve $\langle \mu_{zz} \rangle$ ortalama geçirimsizlik (permeability) parametresidir. “ $\langle \rangle$ ” simgesi ortalama değer olduğunu temsil eder (Mackie ve ark., 1993).

İkinci dereceden denklem sistemlerinin elde edilmesi için elektrik alan (**E**) veya manyetik alandan (**H**) biri cebirsel olarak elenerek ya da birinci dereceden denklem sistemleri çözülerek yapılabilir. Buradaki çözüm birinci dereceden denklem sistemlerinin çözümü şeklindedir. Elektrik alan (**E**) ve manyetik alan (**H**) her bir model bloğunun üst kısmında yüzeyin merkezinden çıkar. Çünkü manyetik alan (**H**) blokların sınırlarında tanımlanır. Ortamın yüzeyinin merkezindeki manyetik alanların (H_{xs} ve H_{ys}) hemen bitişikteki manyetik alanlar ile ortalamaları,

$$H_{xs}(i, j) = \frac{1}{2} [H_x(i, j, ks) + H_x(i, j + 1, ks)] \quad (3.8)$$

$$H_{ys}(i, j) = \frac{1}{2} [H_y(i, j, ks) + H_y(i + 1, j, ks)] \quad (3.9)$$

eşitlikleri ile basitçe alınabilir (Mackie ve ark., 1993). Burada ks, ortamdaki tabakanın üst yüzeyini tanımlar. Elektrik alan (**E**) blok yüzeylerinin normalleri ile çakışacak şekilde tanımlandığından ortamın yüzeyindeki alanların hesaplanmasına daha çok dikkat edilmelidir. İlk olarak ilgili bloğun yüzeyine dik olan akı yoğunluğunun (**J**) ortalama değeri kullanılarak modelin üstündeki bloğun merkezindeki elektrik alan (E_{xc} ve E_{yc}) hesaplanır (Örneğin $J_{xc}(i, j, ks) = [J_x(i, j, ks) + J_x(i - 1, j, ks)]/2$). Daha sonra Denklem 3.5, 3.6 ve 3.7'den,

$$\begin{aligned} E_{xc}(i, j) &= \frac{\rho(i, j, ks)}{\rho(i, j, ks) + \rho(i - 1, j, ks)} E_x(i, j, ks) \\ &+ \frac{\rho(i, j, ks)}{\rho(i, j, ks) + \rho(i + 1, j, ks)} E_x(i + 1, j, ks) \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} E_{yc}(i, j) &= \frac{\rho(i, j, ks)}{\rho(i, j, ks) + \rho(i, j - 1, ks)} E_y(i, j, ks) \\ &+ \frac{\rho(i, j, ks)}{\rho(i, j, ks) + \rho(i, j + 1, ks)} E_y(i, j + 1, ks) \end{aligned} \quad (3.11)$$

eşitlikleri elde edilir (Mackie ve ark., 1993). Daha sonra elektrik alan (**E**), ortamın farklı geometrisine göre ve ayrıca $E_z = 0$ olacak şekilde düzeltilmiş Denklem 3.5,

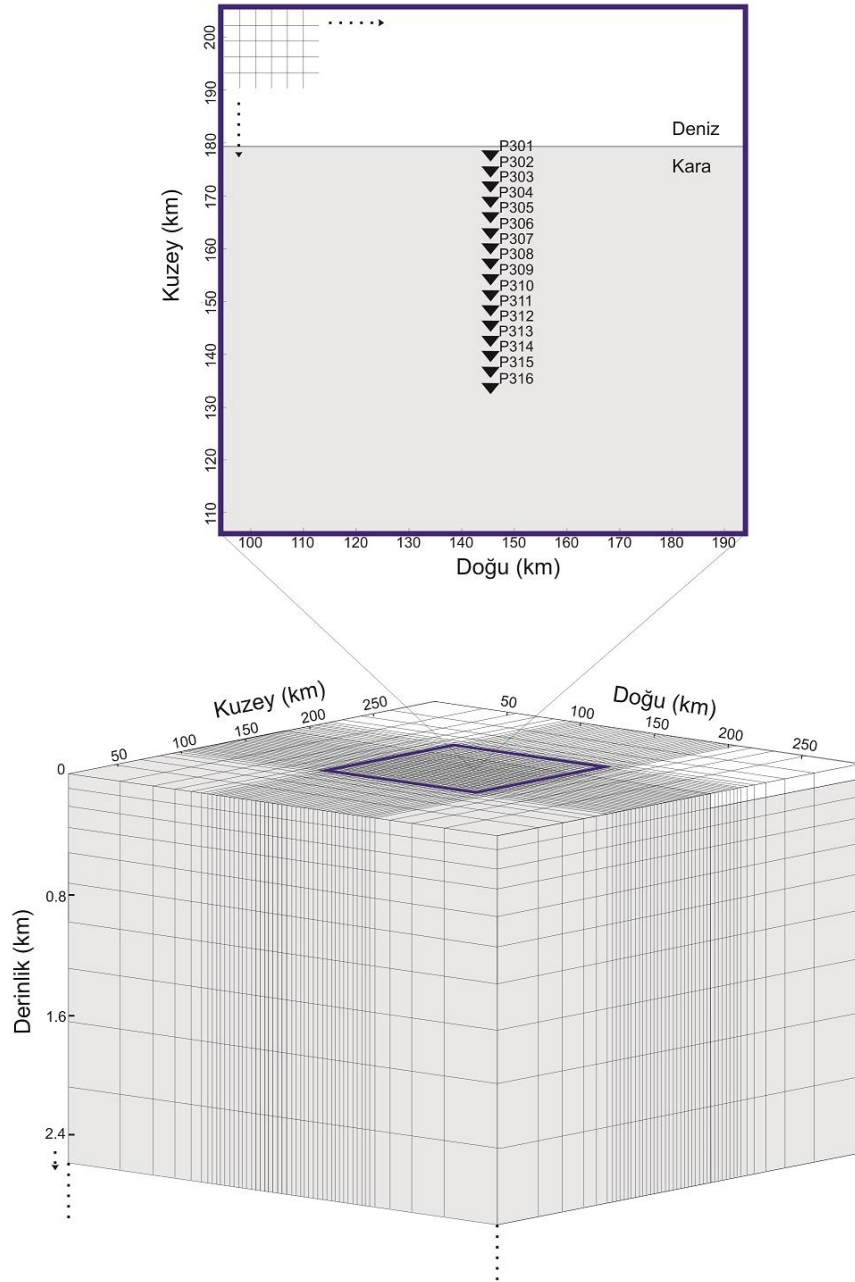
3.6 ve 3.7 kullanılarak yüzeye doğru hesaplanmaya devam edilir. E_z , ortam ile atmosfer arasında yüksek öz direnç farklılığı olduğu için sifıra eşittir (Mackie ve ark., 1993).

3.2.2. Sınır koşulları

Gerçekçi bir üç-boyutlu modelleme ile manyetotellürik tepkiyi hesaplamak için sınır probleminin çözülmesi önemlidir. Modelin yatay doğrultuda periyodik olarak varsayıldığı bir yaklaşım vardır. Bu yaklaşım Fourier Yönteminde (Park, 1983; Mackie ve ark., 1993) ve Rayleigh-FFT (Fast Fourier Transform) yönteminde daha önce kullanılmıştır (Jiracek ve ark., 1989; Mackie ve ark., 1993). Fark denklemlerinde de bu yaklaşım kullanılabilir. Ancak her ne kadar model sınırı üç-boyutlu yapıdan makul derecede uzakta konumlandırılrsa da yapının doğru bir şekilde temsili için hala çözülmesi gereken çeşitli durumlar olabilir. Bunun sıklıkla karşılaşılan nedeni yerel manyetotellürik alanın ölçüm noktasından uzaktaki bölgesel özelliklerden etkilenmesidir. Okyanus-kıta sınırı bu duruma sıklıkla verilen örneklerdendir (Ranganayaki ve Madden, 1980; Mackie ve ark., 1993). Bu algorithmada sınır koşulları problemini üç-boyutlu sınırlara iki-boyutlu modeller yerleştirilerek çözülmektedir (Mackie ve ark., 1993).

3.3. Düz Çözümde Kullanılan Şablonun Tanıtımı

Düz Çözüm için WinGLink programı kullanılmıştır. İnceleme alanını da içine alan geniş bir alanı kapsayacak şekilde bir model ağı (mesh) oluşturulmuştur (Şekil 3.4). İnceleme alanının bulunduğu bölgede küçük hacimsel bloklar yerleştirilirken daha uzak noktalara daha büyük hacme sahip bloklar yerleştirilmiştir. Küçük bloklar yatay düzlemde bir kenarının uzunluğu 3 km olan bir kare ve düşey düzlemde ise derinlik arttıkça artan bir uzunluğa sahip dikdörtgenler şeklinde yerleştirilmiştir. Çalışma alanından uzaklaştıkça hacimsel blokların boyutları arttırılmıştır. Bunun nedeni, model ağının elektrik ve manyetik alanların fazla değişmediği kısımlarında daha fazla hacimsel bloğun olması işlem yükünü arttıracığından çalışma alanından uzaklaştıkça hacimsel blok sayısının azaltılmış olmasıdır (Erol ve Balık, 2001).

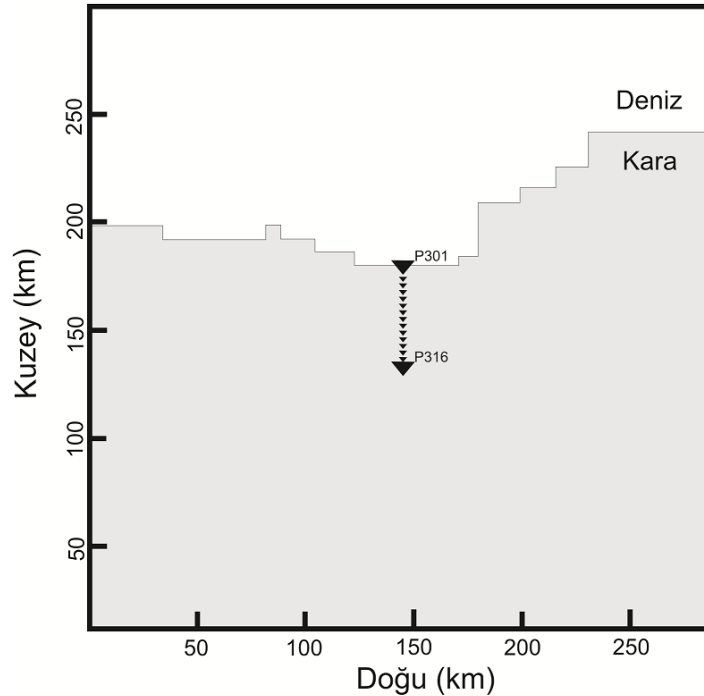


Şekil 3.4. Modellerin oluşturulmasında kullanılan model ağı (mesh). Siyah ters üçgenler bir profil boyunca konumlandırılmış istasyonları, lacivert dikdörtgen çalışma alanını göstermektedir. İlk istasyonun kıyı çizgisine olan uzaklığı 1,5 km iken, son istasyonun kıyı çizgisine olan uzaklığı 46,5 km'dir.

Model ağı, yatayda bir kenarı 300 km uzunluğa sahip olan bir kare alan şeklindedir. Çalışma alanı olarak tabir edilen lacivert alan ise bir kenarı 100 km uzunluğa sahip bir kare şeklinde yerleştirilmiştir. Modelin yaklaşık olarak kuzeye doğru 179. km'sinden itibaren Karadeniz temsili olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.4 ve 3.5).

Oluşturulan modellerde farklı derinlikler belirlenerek Karadeniz temsil edilmiştir. Çalışma alanının ortasına gelen bir konumda kuzey-güney yönlü bir profil boyunca 16 MT istasyon yerleştirilmiştir. Kıyıya en yakın istasyon 1,5 km uzaklığında yerleştirilmişken en uzak istasyon 46,5 km uzaklığında yerleştirilmiştir. Her bir bloğa ilgili modeli temsil edecek şekilde öz direnç değerleri verilmek suretiyle çeşitli modeller oluşturulmuş ve MT istasyonlardan MT verisi elde edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirmeye tabi tutularak her bir istasyona ait öz direnç eğrileri ve endüksiyon okları periyoda karşılık çizdirilmiştir. Bu çalışmada belirli istasyonlara ait MT verileri gösterilmektedir.

Toplamda 22 farklı model oluşturulmuştur. Basit bir modelden başlanıp yeni yapılar eklenerek karmaşık yapıya modellere ait MT verileri elde edilmiştir. Yeni yapılar Düzce bölgesinin tektonik özellikleri baz alınarak eklenmiştir. Başlangıçta kıyı çizgisi düz olarak belirlenmiş daha sonraki testlerde modellere Karadeniz kıyı çizgisi basit bir biçimde eklenmiştir (Şekil 3.5).

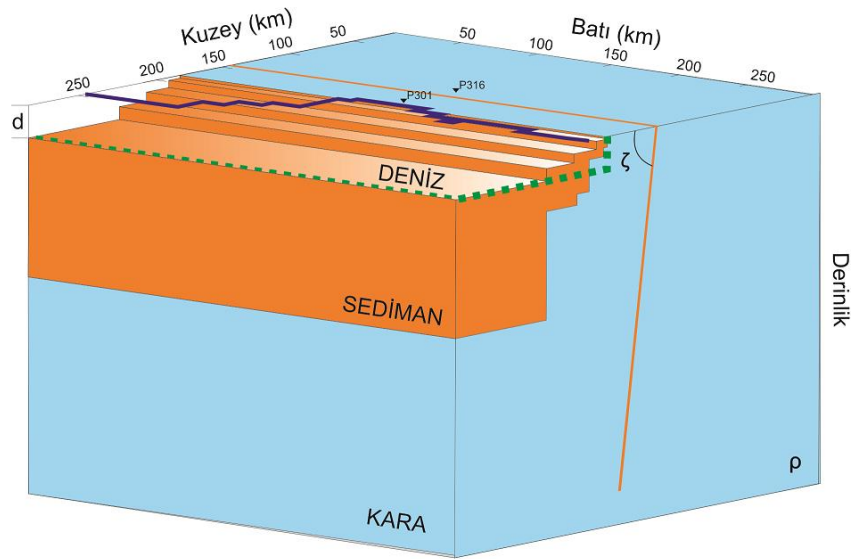


Şekil 3.5. Basitleştirilmiş şekli ile Karadeniz kıyı çizgisi. Siyah ters üçgenler istasyonları göstermektedir.

İleride Düzce bölgesinde yapılacak MT çalışmalara da kaynak teşkil etmesi için çalışma sahası mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın modellenmiş ve böylece Düzce bölgesindeki manyetotellürik çalışmalarda Karadeniz'den kaynaklanan etkinin boyutu daha net ortaya çıkartılmıştır. Okyanusa yakın sahalarda yapılacak bir MT çalışmada farklı okyanus ve kara özellikleri için kıyı etkisini daha iyi ortaya koymak amacıyla modeller basitten karmaşığa çeşitlilik göstermektedir. Farklı modellerin etkisini daha net anlamak için tüm modellerden elde edilen öz direnç eğrileri ve endüksiyon okları karşılaştırılarak incelenmiştir.

3.4. Kuramsal Modeller

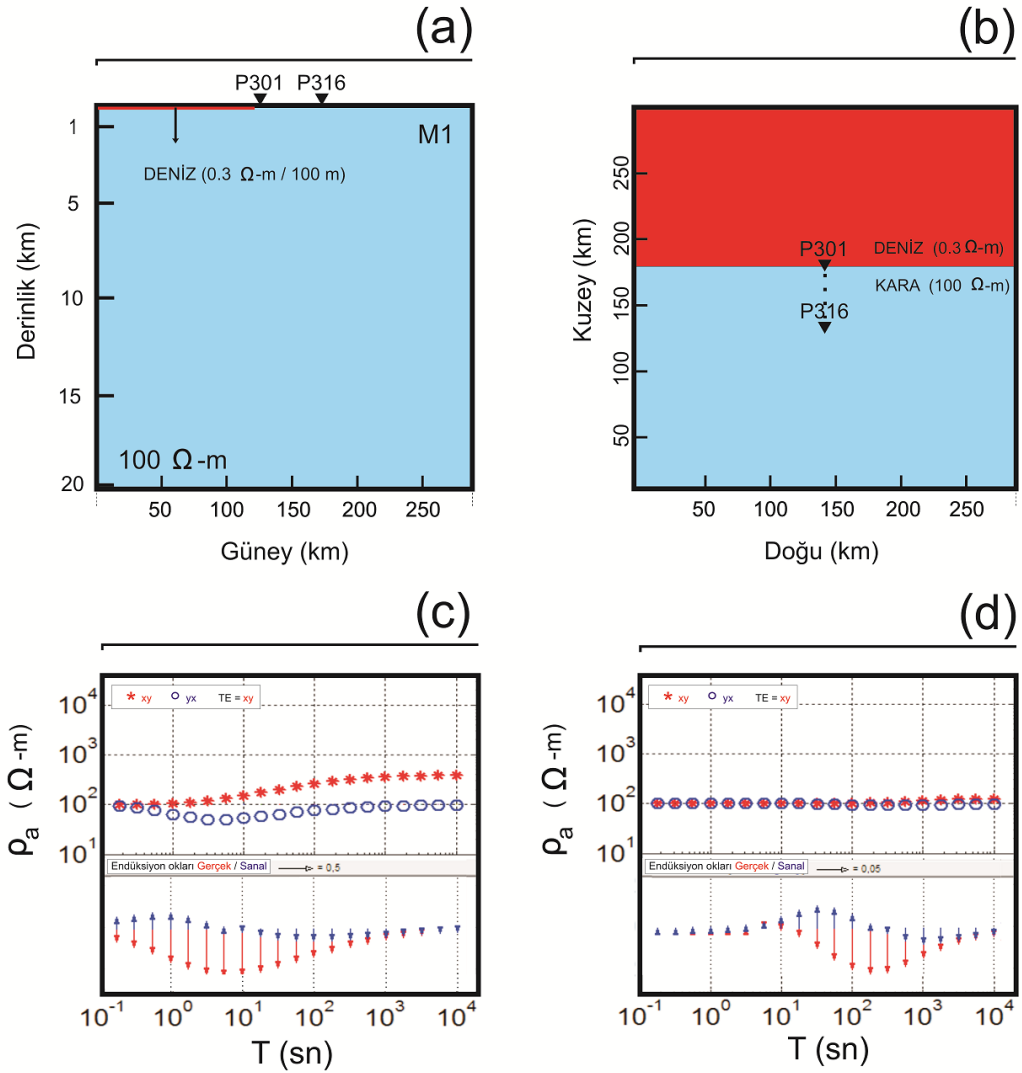
Bu çalışmada, deniz (kıyı) etkisinin MT verilerine olası etkisini araştırmak için düz çözüm çalışması yapılmıştır. Deniz öz direnci sabit kabul edilip deniz derinliği d , kara öz direnci ρ değiştirilmek suretiyle ve ilerleyen modellerde fay, sediman, kıyı şeridi gibi temsili yapılar da eklenerek farklı modeller oluşturulmuştur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Model şablonu. ρ , kara öz direncini, d , deniz derinliğini, ζ , fayın eğim açısını, turuncu sürekli çizgi fayı, yeşil noktalı çizgi deniz derinliğinin keskin bir şekilde arttığı modellerdeki deniz tabanını, lacivert sürekli çizgi kıyı şeridini ve siyah ters üçgenler MT istasyonları temsil etmektedir.

Her bir modelin MT prensiplere göre elde edilen TE ve TM-modu öz direnç eğrileri ve deniz etkisinin araştırılmasında önemli olan endüksiyon oklarının büyüklükleri

(Key ve Constable, 2011) hesaplanmış ve bir diğer modelin tepkileriyle karşılaştırılmıştır. Örneğin basit bir yapıya sahip olan ve deniz derinliğinin keskin bir şekilde arttığı Model 1'den elde edilen öz direnç eğrileri ve endüksiyon okları Şekil 3.7'de gösterilmiştir (Tüm modeller ve modellere ait model tepkileri için bakınız: Ekler). Oluşturulan modellere ait özellikler Tablo 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridine 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.

Tablo 3.1. Oluşturulan modeller ve özellikleri (Modeller için bakınız: Ekler)

Model Özellikleri	100 Ω -m özdirenç	500 Ω -m özdirenç	1000 Ω -m özdirenç
Homojen model	Model H		
100 m derinlik	Model 1	Model 4	Model 7
500 m derinlik	Model 2	Model 5	Model 8
1000 m derinlik	Model 3	Model 6	Model 9
Basamaklı 500 m derinlik	Model 10	Model 12	Model 14
Basamaklı 1000 m derinlik	Model 11	Model 13	Model 15
3 km kalınlıkta fay 500 m derinlik	Model 16		
3 km kalınlıkta fay 1000 m derinlik	Model 17		
1 km kalınlıkta fay 500 m derinlik	Model 18		
1 km kalınlıkta fay 1000 m derinlik	Model 19		
1 km kalınlıkta fay 1500 m derinlik	Model 20		
1 km kalınlıkta fay 1500 m derinlik	Model 21		
5 Ω -m Sediman			
Basitleştirilmiş Karadeniz kıyı şeridi ve 65° eğimli fay	Model 22		

Modeller oluşturulurken ilk olarak Karadeniz kıyı çizgisi doğrusal kabul edilmiştir. Deniz özdirenci sabit 0,3 Ω -m olarak, kara kısmındaki özdirenç değerleri ise çeşitli modellere göre 100 Ω -m, 500 Ω -m ve 1000 Ω -m olarak girilmiştir. Model 1’de kara kısmı 100 Ω -m özdirence ve deniz 100 metre derinliğe sahiptir. Model 2 ve Model 3’de ise deniz derinliği sırasıyla 500 metre ve 1000 metreye yükseltilmiştir. Böylece deniz derinliğinin deniz etkisine katkısı gözlemlenebilmiştir. Özdirenç farklılığı daha fazla olduğu durumda deniz etkisini araştırmak amacıyla Model 4, 5 ve 6’da kara kısmındaki özdirenç değeri 500 Ω -m’ye yükseltilmiştir. Deniz derinliği de sırasıyla 100 metre, 500 metre ve 1000 metre olarak değiştirilerek modellerin tepkisi hesaplanmıştır. Benzer şekilde etkiyi net bir şekilde görebilmek için Model 7, 8 ve 9’da özdirenç farklılığı daha çok arttırılarak kara kısmında 1000 Ω -m özdirence sahip ve deniz derinliğinin sırasıyla 100 metre, 500 metre ve 1000 metre olduğu modellerin tepkisi hesaplanmıştır (Bakınız: Ekler).

Model 9'a kadar oluşturulan modellerde deniz derinliği keskin bir şekilde artmaktadır. Deniz derinliğinin keskin bir şekilde değil de basamaklı olacak şekilde arttığı modeller tasarlanmıştır. Model 10'da deniz derinliği ve kara kısmındaki özdirenç değeri sırasıyla 500 metre ve 100 Ω -m olarak girilmiştir. Model 11'de Model 10'dan farklı olarak deniz derinliği 1000 metreye yükseltilmiştir. Önceki modellerde olduğu gibi Model 12 ve 13'de özdirenç farklılığını arttırmak amacıyla kara kısmındaki özdirenç değeri 500 Ω -m'ye yükseltilmiştir. Deniz derinliği ise sırasıyla 500 metre ve 1000 metre olarak girilmiştir. Deniz derinliği basamaklı olacak şekilde arttığı durumda özdirenç farklılığının etkisini net bir şekilde görebilmek için Model 14 ve 15'de kara kısmı 1000 Ω -m özdirence ve deniz sırasıyla 500 metre ve 1000 metre derinliğe yükseltilmiştir (Bakınız: Ekler).

Model 16 ve 17'de kara kısmı 100 Ω -m özdirence ve deniz derinliği basamaklı olacak şekilde sırasıyla 500 metre ve 1000 metre derinliğe sahiptir. Bunların yanı sıra modellere Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolunu temsil eden bir fay basit biçimde eklenmiştir. Bu nedenle Model 16 ve ilerleyen modellerde fayın bulunduğu kısımda özdirenç değeri 5 Ω -m olarak girilmiştir. Böylece çalışılan bölgenin tektonik yapısına daha yakın bir model oluşturulmuştur. Fakat fay kalınlığı parametresinin etkisinin boyutunu belirlemek amacıyla modellere eklenen faylar ilk olarak 1 km (Ritter ve ark., 2005) yerine 3 km olarak girilmiştir. Model 18 ve sonraki modellerde bu kalınlık parametresi 1 km olarak değiştirilmiştir. Çünkü faylar fay doğrultuları boyunca fayın sağında ve solunda çatlaklara sahiptirler. Bu çatlaklara zamanla dolan meteorolojik sular, fayın yaklaşık 1 km çapında ki özdirenç değerlerinin düşmesine neden olurlar (Ritter ve ark., 2005). Kuzey Anadolu Fayı'nın Düzce bölgesinde ve bu çalışmaya konu olan sahadaki kuzey kolunun Karedere-Düzce segmentinde, Düzce Depremi (1999) sırasında meydana gelmiş çatlaklar bulunmaktadır (Peng ve Ben-Zion, 2004). Deniz derinliği ise 500 metre olarak girilmiştir. Model 19 ve 20'de ise kara kısmındaki özdirenç değeri sabit 100 Ω -m iken deniz sırasıyla 1000 metre ve 1500 metre derinliğe sahiptir (Bakınız: Ekler).

Model 21 ve 22'de Karadeniz'in tabanındaki sediman tabakasının kalınlığı (Robinson ve ark., 1995) da dikkate alınmıştır. Bunun için sediman tabakası basit bir

biçimde modellere eklenmiştir. Sediman özdirenci 5 Ω -m olarak girilmiştir. Deniz derinliği ise 1500 metre olarak girilmiştir. Model 22'de ayrıca Karadeniz kıyı çizgisi (Şekil 3.5) ve fayın eğimi modele basit bir biçimde eklenmiştir. Kuzey Anadolu Fayı'nın eğimi kuzeye doğru yaklaşık olarak 65°'dir (Konca ve ark., 2010). Oluşturulan modellerden özdirenç eğrileri ve endüksiyon okları elde edilmiştir (Bakınız: Ekler). Görsellerin oluşturulmasında WinGLink, Matlab, CorelDRAW ve Generic Mapping Tools (GMT) programlarının çıktıları kullanılmıştır.

BÖLÜM 4. YORUMLAMA, TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Düzce bölgesinde yüksek elektrik iletkenliğe sahip Karadeniz'den kaynaklanabilecek olası deniz etkisini araştırmak için çeşitli kuramsal modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde denizin derinliği (d), karanın özdirenci (ρ), kıyının tipi değiştirilerek ve fay, sediman gibi yapılar da eklenerek bu parametrelerin denizden kaynaklanan bozucu etkiye katkıları karşılaştırılmıştır. Bunun için ikili ve üçlü tablolar kullanılmıştır. Karşılaştırma hem aynı modelde yakın-uzak istasyon verilerinin ilişkisi hem de farklı modellere ait özdirenç eğrileri ve endüksiyon oklarının karşılaştırılması olarak yapılmıştır. Her bir karşılaştırma tablosunda tek bir parametre karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar ve hangi parametrenin incelendiği Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Karşılaştırma Kılavuzu, ρ , kara özdirenci, d , deniz derinliği, ζ , fay eğimini göstermektedir.

Karşılaştırma	İncelenen parametre	Sayfa
1	Uzak istasyon – Yakın istasyon ilişkisi ($\rho=100 \Omega\text{-m}$)	41
1	Deniz derinliğinin artması ($\rho=100 \Omega\text{-m}$)	41
2	Uzak istasyon – Yakın istasyon ilişkisi ($\rho=1000 \Omega\text{-m}$)	44
2	Deniz derinliğinin artması ($\rho=1000 \Omega\text{-m}$)	44
3	Özdirenç farklılığının artması ($d=100 \text{ m}$)	46
4	Özdirenç farklılığının artması ($d=1000 \text{ m}$)	47
5	Deniz derinliğinin basamaklı değişimi ($\rho=100 \Omega\text{-m}$)	48
6	Fay parametresinin bulunması ($d=500 \text{ m}$, $\rho=100 \Omega\text{-m}$ ve $\zeta=90^\circ$)	49
7	Sediman tabakasının eklenmesi ($d=1500 \text{ m}$ ve $\rho=100 \Omega\text{-m}$)	51
8	Homojen model ve tüm parametrelerin bulunduğu model ($d=1500 \text{ m}$)	52

4.1. Yorumlama ve Tartışma

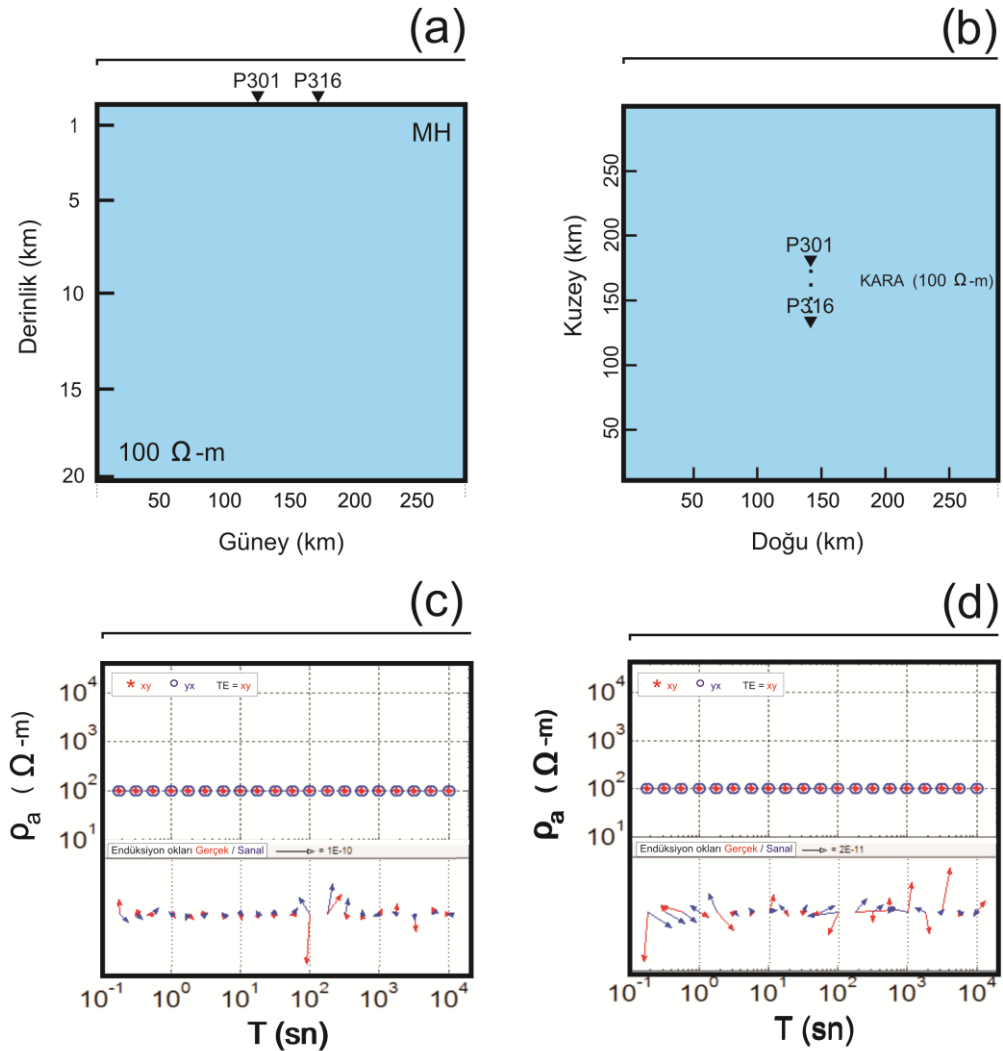
Deniz-kara sınırı gibi yüksek özdirenç farkının bulunmadığı durumda özdirenç eğrileri başlangıçta verilen özdirenç değerlerini göstermesi gerekir. Endüksiyon okları ise büyüklük olarak düşük değerlerde olmalıdır. Fakat modellerde denizin varlığından dolayı oluşan yüksek özdirenç farkının MT özdirenç eğrilerini ve endüksiyon oklarını belirli parametrelere (deniz derinliği, özdirenç, kıyı tipi, fay ve sediman) göre belirli periyotlarda etkilediği saptanmıştır.

Yerin iki-boyutlu olarak incelenmesi durumunda görünür özdirenç denklemindeki (Denklem 2.26) empedans (\mathbf{Z}) parametresi \mathbf{Z}_{xy} ve \mathbf{Z}_{yx} olmak üzere iki farklı değere sahip olur. Dolayısıyla \mathbf{Z} parametresinin, hem $\mathbf{Z}_{xy} = \mathbf{E}_x/\mathbf{B}_y$ bağıntısı ile hem de $\mathbf{Z}_{yx} = \mathbf{E}_y/\mathbf{B}_x$ bağıntısı ile hesaplanması gerekir. Elektrik alan ve manyetik alan deniz-kara sınırına yakın bölgelerde kıyının tipine ve özdirenç farklılığına bağlı olarak belirli oranda etkilenir (Santos ve ark., 2001). \mathbf{Z} parametresi kıyı ekseninin konumuna göre ya normal değerinden fazla ya da normal değerinden düşük olarak hesaplanır. Bunun nedeni yüksek iletkenlik değerine sahip denizin jeomanyetik alan üzerindeki etkisidir (Parkinson, 1959). Ayrıca kıyının konumuna göre yüksek özdirenç farkı ara yüzeyde ikincil elektrik alanları oluşturarak birincil elektrik alanı arttırıcı ya da azaltıcı olarak etkiler (Vozoff, 1972; Jones, 1983). Deniz-kara sınırına yakın bölgelerden toplanan MT verilerinden elde edilen özdirenç eğrilerinin etkilenmesindeki temel fiziksel olgu bu şekildedir. Burada belirleyici parametre kıyı şeridinin yer elektrik doğrultu ile olan ilişkisi, deniz derinliği ve yüksek özdirenç farklılığıdır.

Endüksiyon okları ise düşey manyetik alanın yatay manyetik alana oranı şeklindedir (Simpson ve Bahr, 2005). Deniz gibi iletkenliğin yüksek olduğu yapılarda jeomanyetik alan eddy akımları oluşturur. Oluşan eddy akımları düşey manyetik alanda artışa neden olur. Eddy akımları yatay manyetik alanı düşey konuma getirerek yatay manyetik alanı azaltıp düşey manyetik alanı arttırır (Parkinson, 1959; Ranganayaki ve Madden, 1980; Jones, 1983; Santos ve ark., 2001). Yatay yöndeki manyetik alanlar (\mathbf{B}_x ve \mathbf{B}_y) özdirenç farkının yüksek olduğu deniz-kara sınırından

yüksek oranda etkilenmezler (Santos ve ark., 2001). Böylece düşey manyetik alan yatay manyetik alana oranlanırsa ve belirli periyotlarda çizdirilirse eddy akımlarının etkisi dolayısıyla deniz etkisi karşılaştırılabilir. Deniz-kara sınırına yakın bölgelerden toplanan MT verilerinden elde edilen endüksiyon oklarının etkilenmesindeki temel fiziksel olgu bu şekildedir.

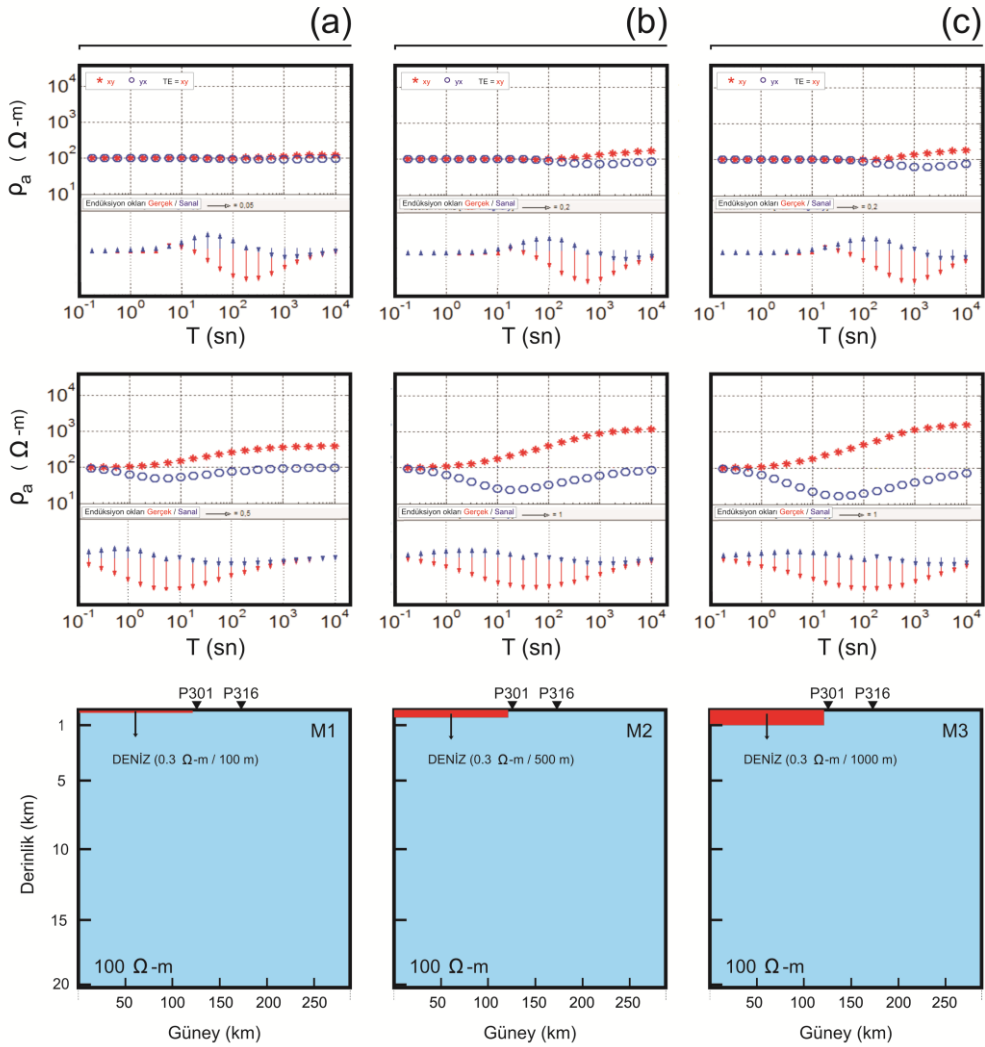
Deniz etkisinin boyutlarının net bir şekilde anlaşılabilmesi için Şekil 4.1’de Model H olarak isimlendirilmiş denizin bulunmadığı model gösterilmektedir. Burada $100 \Omega\text{-m}$ olarak girilen öz direnç değeri ile düz çözümden hesaplanmış elektrik öz direnç



Şekil 4.1. Homojen model. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. Endüksiyon ok büyüklükleri birim okta göz ardı edilebilecek kadar küçük değerler ile temsil edilmektedir.

eğrilerinden elde edilen öz direnç değeri, deniz etkisi olmadığı için herhangi bir bozulmaya uğramamış ve birbirleri ile uyumludur. Endüksiyon okları incelendiğinde ise endüksiyon okları büyüklük olarak birim okta oldukça küçük değerler (1E-10 ve 2E-11 gibi) ile MT tepkisini temsil etmektedir. Fakat denizin varlığı durumunda MT tepkisinde bozulmalar meydana gelebilmektedir.

Şekil 4.2.a'daki (Karşılaştırma 1) modele ait MT verileri incelendiğinde yakın istasyondaki TM-modu öz direnç eğrisi (lacivert daire ile temsil edilen), TE-modu öz direnç eğrisine (kırmızı yıldız ile temsil edilen) göre daha kısa periyotlarda



Şekil 4.2. Karşılaştırma 1. (a,b,c), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyonuna ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyonuna ait model tepkileri gösterilmiştir. Hem modellere ait uzak ve yakın istasyon verilerinin karşılaştırması hem de farklı deniz derinliğine sahip modellerin tepkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir.

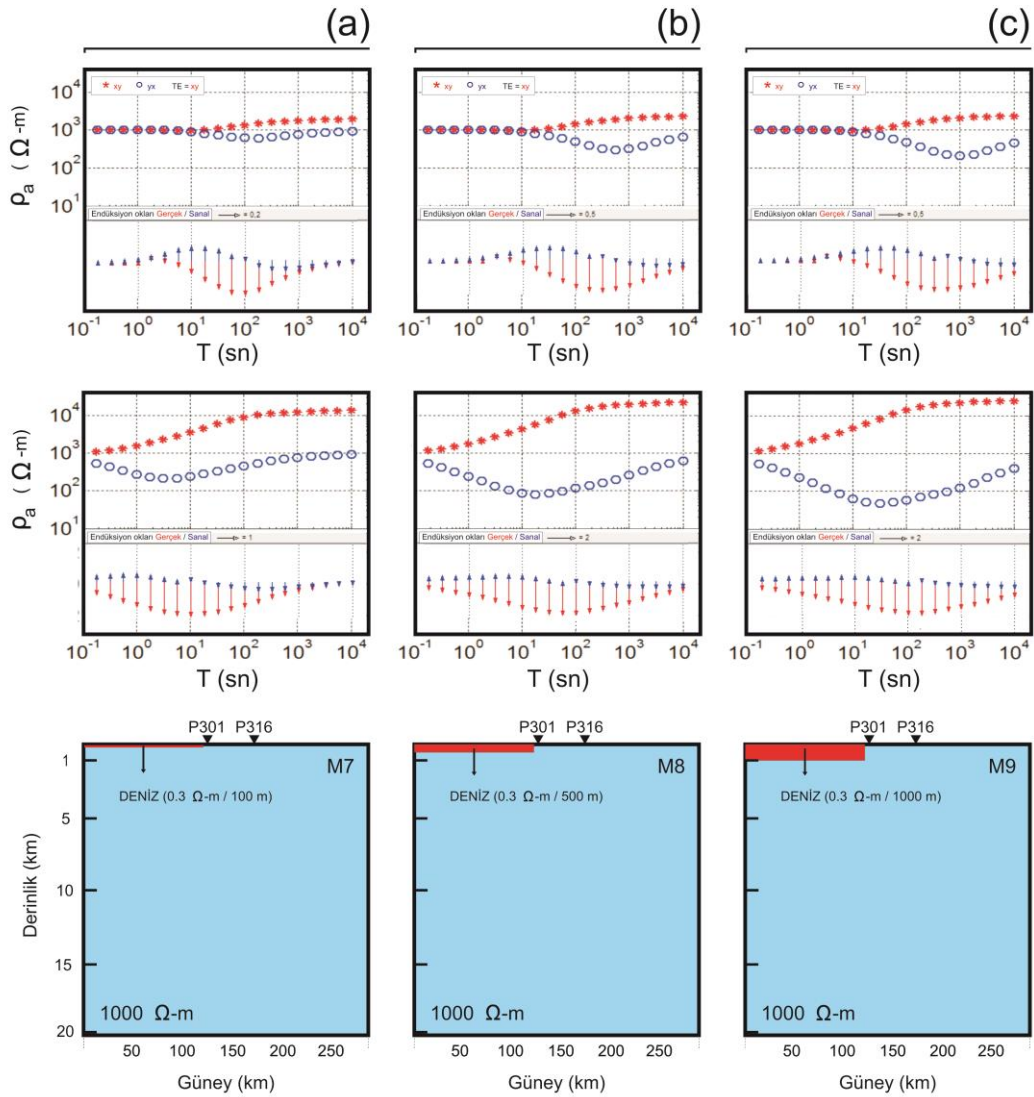
etkilenmeye başlamıştır. Özdirenç eğrileri etkilendikleri periyotlarda birbirlerinden ayrılma eğilimi göstermişlerdir. Buna karşın, uzak istasyonda özdirenç eğrileri arasındaki ayrılma başlangıcı daha uzun periyotlara kaymıştır. Uzak istasyonda etki uzun periyotlarda kendini göstermektedir. Han ve arkadaşları (2009) ve Yang ve arkadaşları (2010) çalışmalarında benzer şekilde periyot uzadıkça özdirenç eğrilerinin etkilenmeye başladığı sonucuna ulaşmışlardır. Bir başka önemli nokta ise aynı modelde yakın istasyonda TM-modu özdirenç eğrisi uzun periyotlarda asıl olması gereken değere dönme eğilimi göstermişken TE-modu özdirenç eğrisi incelenen periyot aralığında asıl olması gereken değerlere dönme eğilimi göstermemektedir. Yaklaşık 10 saniye periyodunda TM-modu özdirenç eğrisi asıl değerine yaklaşmaya başlamış ve yaklaşık aynı periyotta sanal endüksiyon okları yön değiştirmiştir. Uzak istasyon eğrileri incelendiğinde ise deniz etkisi uzun periyotlarda kendini göstermektedir. Yaklaşık 10 saniye periyodunda TE-modu ve TM-modu özdirenç eğrileri birbirlerinden ayrılmaktadır. Bu ayrılma yaklaşık olarak gerçek endüksiyon oklarının yön değiştirdiği periyotta gerçekleşmektedir. Şekil 4.2.a'da uzak istasyona ait gerçek endüksiyon oklarının yaklaşık 5 saniye periyodunda yön değiştirmesi buna örnek olarak gösterilebilir. Uzak ve yakın istasyon verisi karşılaştırıldığında deniz etkisi yakın istasyonda uzak istasyona göre daha kısa periyotlarda kendini göstermektedir. Aynı sonuca Yang ve arkadaşları da (2010) ulaşmıştır. Uzak istasyonda endüksiyon okları ise uzun periyotlara doğru yaklaşık 20 saniye periyodundan 4000 saniye periyoduna kadar büyüklük olarak yüksek değerler göstermektedir. Yakın istasyonda ise endüksiyon oklarının büyüklükleri yaklaşık 0,2 saniye periyodundan itibaren 1000 saniye periyoduna kadar yüksek değerde görülmektedir. Santos ve arkadaşları (2001) çalışmasında endüksiyon oklarını belirli periyotlara göre çizdirmiş ve buradaki sonuca ulaşmıştır. Her iki istasyonda da TM-modu özdirenç eğrisi TE-modu özdirenç eğrisine göre nispeten daha az etkilenmektedir. Tank (2010) çalışmasında aynı şekilde TM-modu özdirenç eğrisinin TE-modu özdirenç eğrisine göre daha az etkilendiği sonucuna varmış ve TM-modu özdirenç eğrisinin kullanımını önermiştir. Fakat hangi özdirenç eğrisinin kullanılması gerektiği ile ilgili kesin bir yargı yoktur. Öyle ki Singh ve arkadaşları (1995) çalışmasında TE-modu eğrisinin kullanımını önermiştir. Burada belirleyici parametre kıyının yer elektrik doğrultu ile olan ilişkisidir. Bu nedenle kıyıya yakın bölgelerde

yapılacak MT çalışmaları için ilk olarak deniz etkisinin belirlenmesi çalışması yapılmalıdır. Genel olarak tüm modellerde uzak istasyondan toplanan veriler üzerindeki etkinin azaldığı görülmektedir. Etki kıyıya yaklaştıkça kendini daha fazla göstermektedir. Benzer şekilde birçok çalışmada (Singh ve ark., 1995; Santos ve ark., 2001; Yang ve ark., 2010) bu sonuca ulaşılmıştır. Kıyı çizgisine yakın bölgelerdeki çalışmalarda (Parkinson, 1959; Han ve ark., 2009; Worzewski ve ark., 2010; Key ve Constable, 2011) kıyıya yakın olan istasyonlardaki özdirenç eğrileri bu çalışmada ulaşılan bu sonuçtan dolayı ya hesaplanamamış ya da eğriler deniz etkisinden yüksek oranda etkilenmiştir.

Deniz derinliğinin değişmesi durumunda deniz etkisinin boyutlarını karşılaştırmak için kara kısmının özdirenç değerinin 100 Ω -m olduğu üç farklı model Şekil 4.2'de (Karşılaştırma 1) gösterilmiştir. Yakın istasyonlar kendi aralarında ve uzak istasyonlar kendi aralarında incelendiğinde TE-modu özdirenç eğrileri ve TM-modu özdirenç eğrileri arasındaki açıklık derinlik arttıkça artmaktadır. TM-modu özdirenç eğrileri incelenen aralıkta yaklaşık 4 saniye periyodunda asıl değerine dönme eğilimi göstermişken TE-modu özdirenç eğrileri böyle bir eğilim göstermemiştir. Dolayısıyla her bir istasyon için TE-modu özdirenç eğrisi iki eğri arasındaki açıklığa daha çok katkı sağlamaktadır. Key ve Constable (2011) çalışmasında benzer bir model kullanmış ve TE-modu özdirenç eğrisindeki bozulmanın TM-modu özdirenç eğrisindeki bozulmadan daha çok olduğu sonucuna varmıştır. Yakın istasyonlardaki endüksiyon okları deniz derinliği 100 metre iken 0,2 saniye ve 1000 saniye periyotlarında büyük değerlere sahiptir. Derinlik arttıkça büyük değerlere sahip endüksiyon okları daha uzun periyotlara doğru genişlemekte ve yaklaşık 300 saniye periyodundan itibaren büyüklük olarak düşük değerlere doğru değiştiği görülmektedir. Uzak istasyonlarda ise kısa periyotlardaki endüksiyon oklarının büyüklükleri uzun periyotlardaki endüksiyon oklarının büyüklüklerine göre daha düşüktür. Uzak istasyonlarda endüksiyon okları yaklaşık 15 saniye periyodu ve 6000 saniye periyodu aralığında büyük değerlere sahiptir. Buradan, uzak istasyonlarda deniz etkisinin uzun periyotlarda kendini gösterdiği anlaşılmaktadır. Özellikle denizin derinliği burada belirleyici parametredir. Bunun sebebi derinlik arttıkça özdirenç farklılığı olan derinlik artmasıdır. Santos ve arkadaşları (2001) çalışmasında

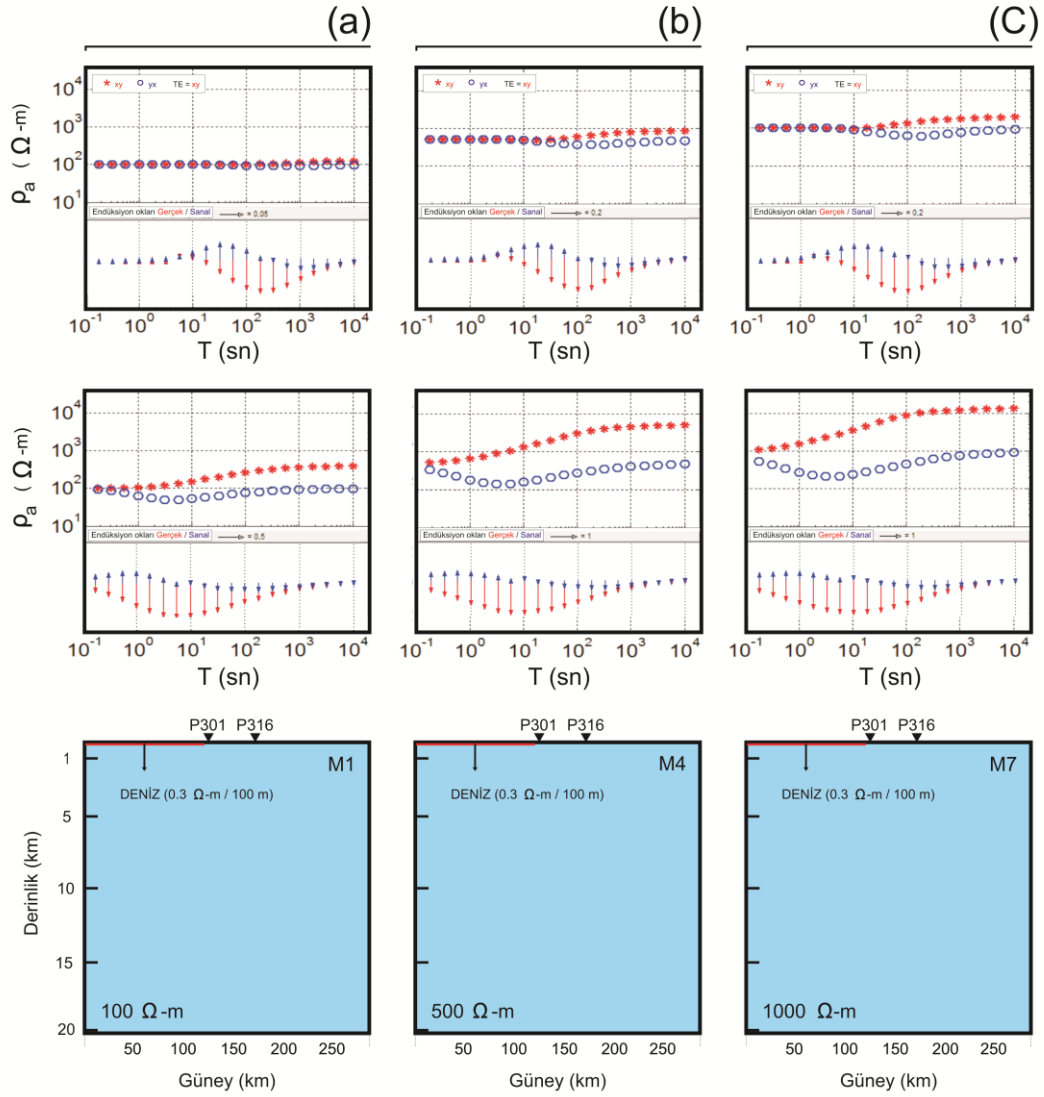
deniz-kara sınırına yakın ve uzak istasyonlardaki endüksiyon oklarını belirli periyotlara göre hesaplamış ve bu çalışmada olduğu gibi deniz-kara sınırına uzak istasyonlardaki endüksiyon oklarının büyüklüklerinin kısa periyotlarda uzun periyotlara göre daha düşük olduğu sonucuna varmıştır.

Özdirenç farklılığının deniz etkisine katkısının ne boyutta olduğunu belirlemek amacıyla Şekil 4.3'de (Karşılaştırma 2), Şekil 4.2'deki (Karşılaştırma 1) modellerin



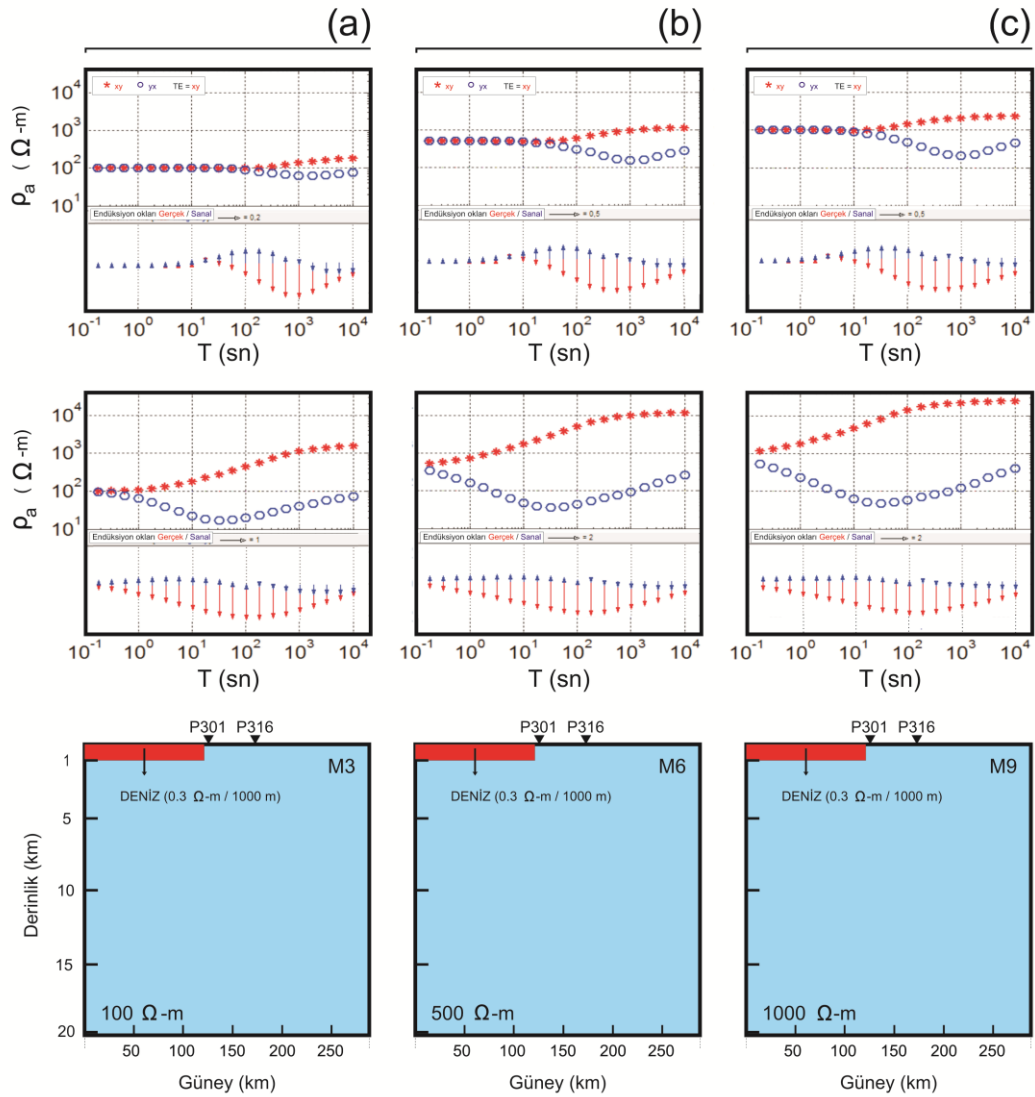
Şekil 4.3. Karşılaştırma 2. (a,b,c) modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyonuna ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyonuna ait model tepkileri gösterilmiştir. Deniz ve kara arasındaki elektrik öz direnç farklılığı daha fazla olduğu durumda hem modellere ait uzak ve yakın istasyon verilerinin karşılaştırması hem de farklı deniz derinliğine sahip modellerin tepkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir.

kara kısmındaki özdirenç değerinin 1000 Ω -m olduğu modeller kullanılmıştır. Böylece deniz özdirenci ile kara özdirenci arasındaki fark oldukça artırılmıştır. Bu durumda yakın istasyonlardaki TM-modu özdirenç eğrisi ile TE-modu özdirenç eğrisi arasındaki fark oldukça artmıştır. Deniz derinliği 100 metre iken uzun periyotlarda TM-modu özdirenç eğrisi asıl değerine yaklaşmışken, deniz derinliğinin artması ile incelenen periyotlarda asıl değerine yaklaşmamıştır. Uzak istasyonlarda ise karşılaştırma yapılan üç modelde de TE-modu özdirenç eğrileri ve TM-modu özdirenç eğrileri arasındaki ayrım gerçek endüksiyon oklarının yön değiştirdiği yaklaşık 2 saniye periyodunda başlamaktadır. Derinlik 100 metre iken yakın istasyondaki endüksiyon okları 1000 saniye periyoduna kadar yüksek değerler ile temsil edilirken derinlik arttıkça endüksiyon oklarının büyük değerleri daha uzun periyotlara doğru genişlemektedir. Uzak istasyonlardaki endüksiyon okları ise 100 metre derinlikte yaklaşık 3 saniye ve 2000 saniye periyot aralığında yüksek değerlere sahipken derinlik arttıkça bu periyot aralığı uzun periyotlara doğru genişlemektedir. Sonuç olarak özdirenç farklılığının daha fazla olması ile özdirenç eğrilerinin bozulması da artmaktadır. Key ve Constable (2011) çalışmasında benzer şekilde özdirenç farklılığı yüksek olduğu durumda derinlik arttıkça TE-modu özdirenç eğrisindeki bozulmanın daha uzun periyotlarda olduğu sonucuna varmıştır. Özdirenç farkı yüksek olduğu durumda deniz derinliğinin değişmesi ile MT verileri bu şekilde etkilenirken Şekil 4.4'de (Karşılaştırma 3) deniz derinliği sabit 100 metre olarak belirlenip özdirenç değerinin değiştirilmesi ile MT verilerinin nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Deniz derinliği sabitken özdirenç farklılığının artması ile TM-modu özdirenç eğrisi, incelenme aralığındaki ilk periyotlardan itibaren asıl değerlerinden daha az değerlerde görülmekteyken orta periyotlardan itibaren asıl olması gereken değerlere doğru gitme eğilimi göstermektedir. Endüksiyon okları incelendiğinde farklı özdirenç sahip modellerin yakın istasyonlarındaki endüksiyon okları özdirenç farklılığı arttıkça büyüklük olarak daha da yüksek değerlerde görülmektedir. Fakat karşılaştırma yapılan üç modelde de sanal endüksiyon okları aynı periyotta yön değiştirmişlerdir.



Şekil 4.4. Karşılaştırma 3. (a,b,c), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Deniz derinliği 100 metre iken deniz ve kara arasındaki elektrik öz direnç farklılığının arttığı durumda model tepkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir.

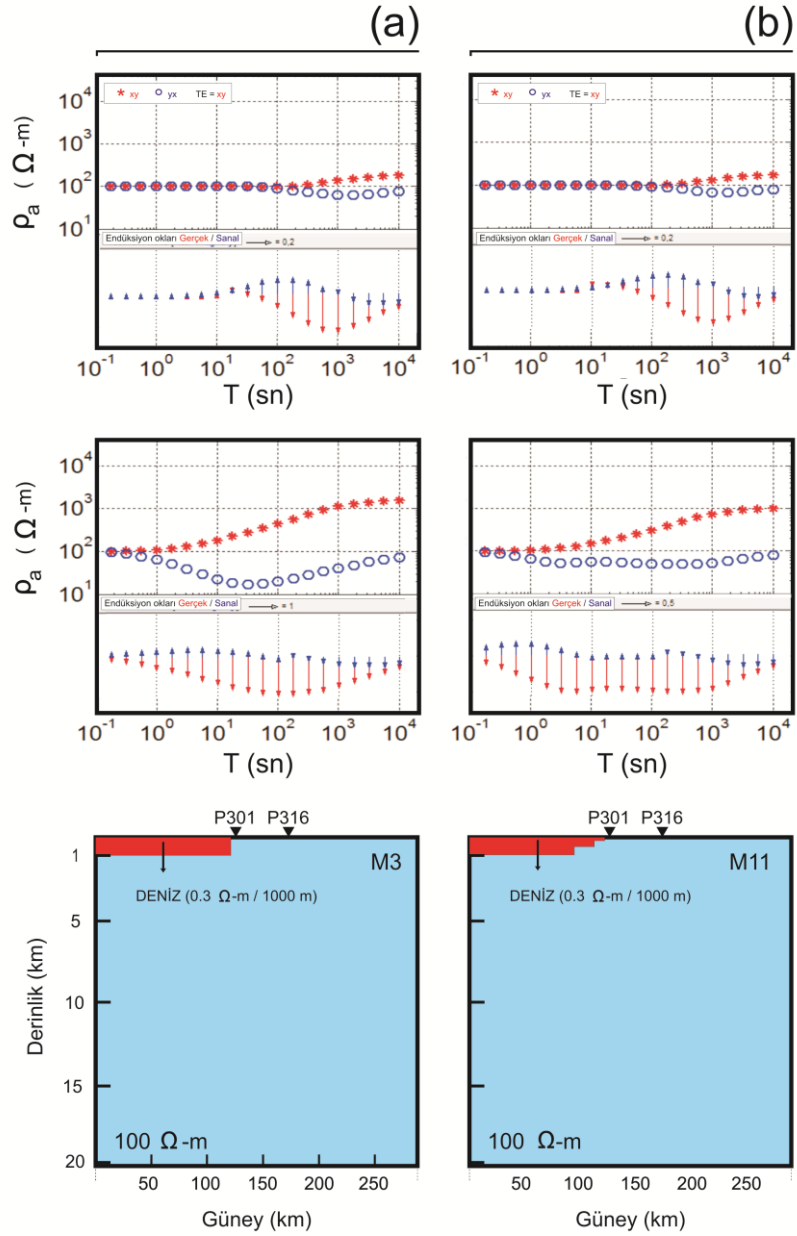
Şekil 4.5’de (Karşılaştırma 4) deniz derinliğinin daha çok artırılıp Şekil 4.4’deki (Karşılaştırma 3) modeller kullanılarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu durumda öz direnç farklılığının hakim olduğu derinlik artırılmış oldu. Öz direnç farklılığı arttıkça TE-modu öz direnç eğrileri ve TM-modu öz direnç eğrileri arasındaki fark daha fazla artmıştır. Derinlik fazla olduğundan dolayı endüksiyon oklarının büyük olduğu periyot aralığı artmıştır.



Şekil 4.5. Karşılaştırma 4. (a,b,c), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Deniz derinliği 1000 metre iken deniz ve kara arasındaki elektrik öz direnç farklılığının arttığı durumda model tepkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir.

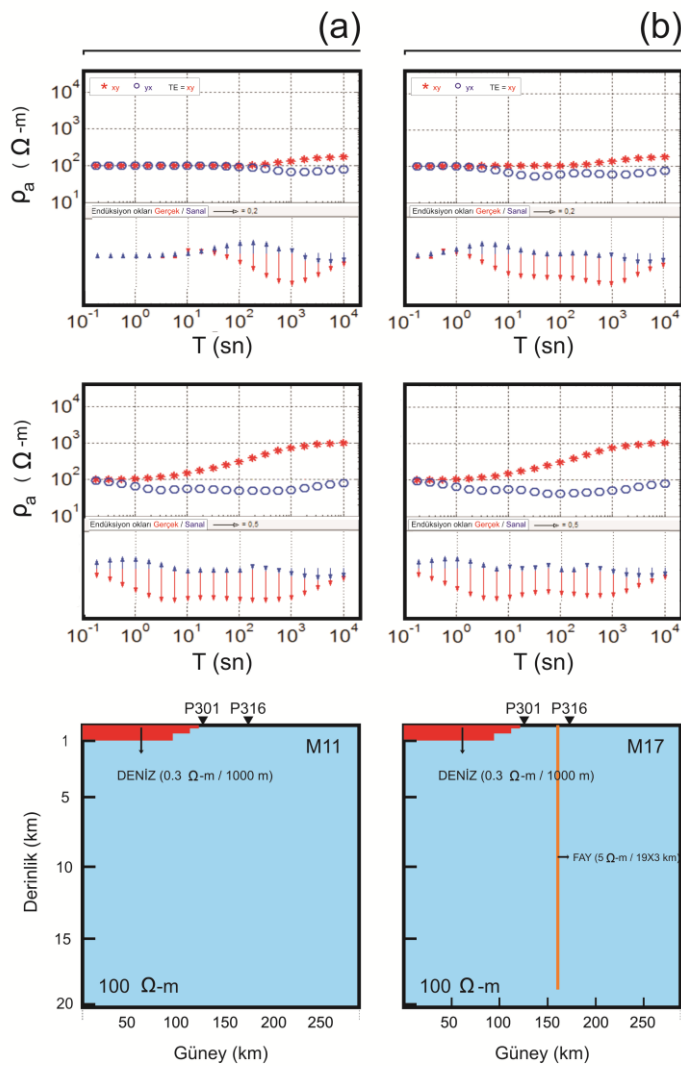
Deniz derinliğinin keskin bir şekilde artması yerine gerçeğe daha uygun olarak basamaklı şekilde artması durumunda deniz etkisini araştırmak amacıyla Şekil 4.6'daki (Karşılaştırma 5) modeller kullanılmıştır. Diğer karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlardan farklı olarak Şekil 4.6.b'deki modelde derinliğin basamaklı olarak artması yakın istasyonlarda TM-modu öz direnç eğrilerinde bir dalgalanmaya neden olmuştur. Yakın istasyonlarda TM-modu öz direnç eğrileri yaklaşık 2 saniye ve 100 saniye periyot aralığında asıl değerine yaklaşma eğilimi göstermiş fakat periyot arttıkça tekrar uzaklaşmış daha sonra tekrar asıl değerine dönme eğilimi göstermiştir.

Yakın istasyonda periyot arttıkça genel olarak eğriler arasındaki fark azalmıştır. Uzak istasyon öz direnç eğrileri arasındaki fark ise derinliğin basamaklı olması durumunda uzun periyotlarda azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum uzak istasyon verilerinde 100 saniye periyotundaki öz direnç değerlerinin karşılaştırılması ile net bir şekilde görülebilir.



Şekil 4.6. Karşılaştırma 5. (a, b), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Deniz derinliğinin basamaklı olduğu durumda model tepkilerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Model 11’de deniz derinliği basamaklı olacak şekilde tasarlanmışken Model 03’de deniz derinliği keskin olacak şekilde tasarlanmıştır.

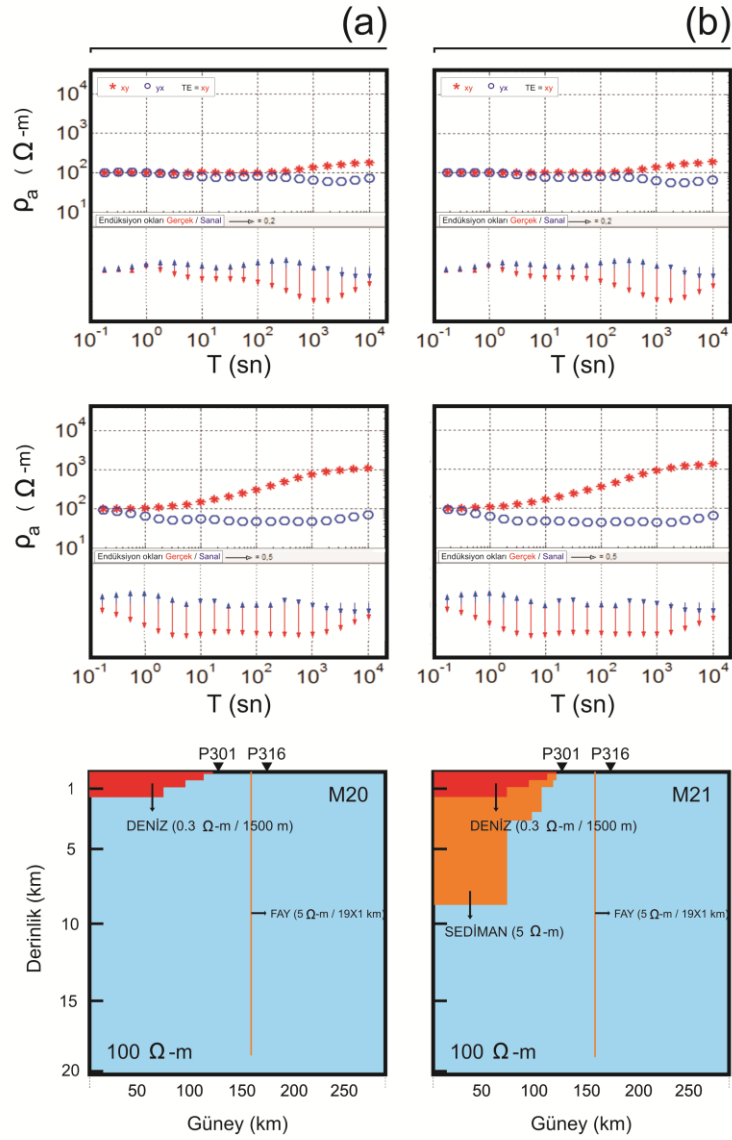
Basamaklı derinlik parametresine ek olarak çalışılan bölgenin tektonik yapısına daha yakın bir model oluşturmak için Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolunu temsil eden bir fay eklenmiş model ve fayın bulunmadığı model Şekil 4.7'de (Karşılaştırma 6) gösterilmektedir. Faylar fay doğrultuları boyunca fayın sağında ve solunda çatlaklara sahiptirler. Bu çatlaklara zamanla dolan meteorolojik sular, fayın yaklaşık 1 km çapında ki öz direnç değerlerinin düşmesine neden olurlar (Ritter ve ark., 2005). Buna karşın, Model 17'de fay kalınlığının deniz etkisindeki boyutunu daha iyi görebilmek için fay kalınlığı 1 km yerine 3 km olarak alınmıştır.



Şekil 4.7. Karşılaştırma 6. (a, b), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyonuna ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyonuna ait model tepkileri gösterilmiştir. Fay parametresinin etkisinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Fay öz direnci 5 Ω -m olarak alınmıştır. Fay kalınlığı ve fay derinliği sırasıyla 3 km ve 19 km olarak tasarlanmıştır. Model 11'de fay parametresi bulunmazken Model 17'de fay parametresi bulunmaktadır. İki Modelde de deniz derinliği basamaklı olacak şekilde tasarlanmıştır.

Deniz-kara sınırına yakın istasyonlardaki özdirenç eğrilerinde belirgin bir fark göze çarpmazken uzak istasyon özdirenç eğrileri incelendiğinde Şekil 4.7.b'deki TM-modu özdirenç eğrisi kısa periyotlara doğru asıl olması gereken değerden daha çok azalma eğilimi göstermiştir. Yaklaşık 2 saniye ve 1000 saniye periyotları arasında, fayın bulunmadığı modeldeki uzak istasyon TM-modu özdirenç eğrisinin aynı periyot aralığındaki değeri ile karşılaştırıldığında özdirenç değerleri azalmıştır. Bu durumda eğriler arası açıklık söz konusu periyot aralığında artmıştır. Yakın istasyon endüksiyon okları incelendiğinde sanal endüksiyon oklarının yönlerinde bir farklılık görülmektedir. Uzak istasyon verilerinden elde edilen sanal endüksiyon oklarında ise belirgin bir farklılık görülmemektedir. Uzak istasyondan elde edilen gerçek endüksiyon okları incelendiğinde fayın bulunmadığı durumda endüksiyon oklarının büyüklüklerinin yaklaşık 10 saniye periyotundan itibaren artmaya başladığı gözlemlenmişken fayın bulunduğu durumda gerçek endüksiyon oklarının büyüklüklerinin arttığı bu periyot daha kısa periyotlara doğru kaymıştır.

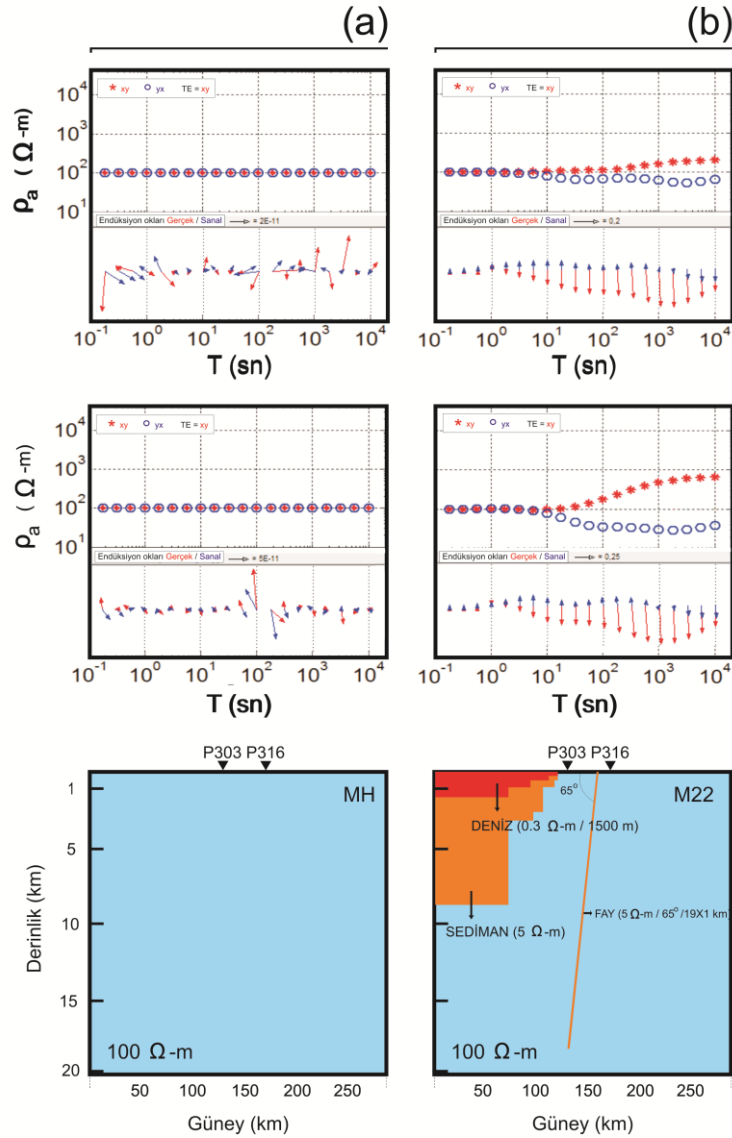
Şekil 4.8'deki karşılaştırmada (Karşılaştırma 7) bir modelde Karadeniz'in tabanındaki sediman (Robinson ve ark., 1995) parametresinin temsil edildiği yapı bulunmakta diğerinde ise bulunmamaktadır. Sediman parametresinin etkisi uzak istasyonlardaki özdirenç eğrileri ve endüksiyon oklarında uzun periyotlarda sınırlı kalmışken yakın istasyon verilerinde durum farklıdır. Yakın istasyonlardaki özdirenç eğrileri yaklaşık 1 saniye periyotundan sonra birbirlerinden bir miktar daha uzaklaşmışlardır. Endüksiyon okları ise uzun periyotlara doğru büyüklük olarak bir miktar daha artmıştır. Yakın istasyona ait sanal endüksiyon oklarının yönlerinde de farklılıklar görülmektedir.



Şekil 4.8. Karşılaştırma 7. (a, b), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyona ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyona ait model tepkileri gösterilmiştir. Sediman parametresinin etkisinin karşılaştırılması gösterilmektedir. sediman öz direnci 5 Ω -m olarak alınmıştır. Model 20'de sediman parametresi bulunmazken Model 21'de sediman parametresi bulunmaktadır. İki Modelde de deniz derinliği basamaklı olacak şekilde tasarlanmış ve fay parametresi eklenmiştir.

Son olarak Şekil 4.9'daki karşılaştırmada (Karşılaştırma 8) homojen model ve Düzce bölgesinin tektonik özellikleri temel alınarak oluşturulmuş son model bulunmaktadır. Model 22 üzerindeki p303 MT istasyonu kıyı şeridinde 3,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyı şeridinde 46,5 km uzaklığındadır. Karadeniz kıyı şeridi basit biçimde eklendiğinden dolayı kıyı şeridinde bir miktar daha uzak istasyon verisi karşılaştırılmıştır. Denizin bulunmadığı durumda öz direnç eğrilerinin kara öz direnci

olan 100 Ω -m değerini göstermesi gerekirken denizin, jeolojik ve tektonik birimlerin bulunması nedeniyle öz direnç eğrileri ve endüksiyon okları söz konusu parametrelerin varlığından dolayı farklılık göstermektedir. Tüm bu parametrelerin tek bir modelde toplandığı durumda elektrik öz direnç eğrileri ve endüksiyon okları üzerindeki etki net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.9. Karşılaştırma 8. (a, b), modeller ve tepkilerini göstermektedir. Alt kısımda p301 MT istasyonuna ait model tepkileri üst kısımda ise p316 MT istasyonuna ait model tepkileri gösterilmiştir. Homojen yer modeli ve bölgenin jeolojik ve tektonik özelliklerinin dikkate alınarak oluşturulan modelin karşılaştırılması. (a), homojen yer modelinin tepkilerini temsil ederken, (b) deniz derinliğinin basamaklı ve 1500 m olduğu, 5 Ω -m öz dirence sahip bir sediman tabakasının bulunduğu ve 1 km kalınlığa, 19 km derinliğe ve 65° eğime sahip fay parametresinin bulunduğu model tepkilerini temsil etmektedir. Ayrıca Model 22'de Karadeniz kıyı şeridi de basit bir biçimde eklenmiştir. Model 22'de p303 MT istasyonu kıyı şeridine 3,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.

4.2. Sonuçlar

Bu alışmada, Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kısmında elektromanyetik veri üzerindeki deniz etkisi teorik olarak araştırılmıştır. Bunun için Düzce bölgesine karşılık gelen alan temel alınarak ve çeşitli teorik modellerler oluşturularak düz zm denemeleri yapılmıştır. Modellerden, zdiren eğrileri ve endüksiyon okları elde edilmiş ve belirli periyotlarda çizilerek karşılaştırılmak suretiyle Karadeniz'den kaynaklanabilecek olası deniz etkisi araştırılmıştır. Deniz-kara sınırına yakın olan istasyonların uzak olan istasyonlara göre belirli periyotlarda daha çok deniz etkisine maruz kaldığı görülmektedir. Yakın istasyonlarda deniz etkisi kısa periyotlardan itibaren hakim olmaya başlarken uzak istasyonlarda deniz etkisinin başlangıcı daha uzun periyotlardadır. Toplanan verilerin, deniz derinliğinin artmasına ve deniz-kara arasındaki özdirenç farklılığının artmasına bağlı olarak değişen bir deniz etkisine, uzak ve yakın istasyonlarda istasyonların deniz-kara sınırına uzaklığı oranında maruz kaldığı görülmektedir. Deniz etkisini, özdirenç farklılığı parametresinin deniz derinliği parametresine nazaran daha fazla kontrol ettiği görülmektedir. Bu durum sığ denizlerde bile özdirenç farklılığı yüksek ise toplanan verilerin deniz etkisine maruz kalacağını göstermektedir. Tüm modellerde incelenen periyot aralığında TE-modu özdirenç eğrisi asıl değerine dönme eğilimi göstermemiştir. Özdirenç farklılığı ve deniz derinliği arttıkça TE-modu özdirenç eğrisi asıl değerinden uzaklaşmıştır. Buna karşın TM-modu özdirenç eğrisi uzun periyotlarda asıl değerine dönme eğilim göstermiştir. Endüksiyon okları ise deniz etkisinin bulunduğu periyotta düşey manyetik alanı arttığından dolayı büyüklük olarak yüksek değerler ile grlmştir. Yakın istasyonlarda endüksiyon okları üzerindeki bu etki geniş bir periyot aralığında görülmüşken uzak istasyonlarda belirli bir periyot aralığında grlmştir. Bu periyot aralığı deniz derinliği arttıkça daha uzun periyotlara kayma eğilimi göstermiştir. Fakat zdiren farklılığının artması ile uzak istasyonda endüksiyon okları üzerindeki bu etkinin değişmediği grlmştir. Tüm modellerde gerçek endüksiyon okları (kırmızı oklar) deniz etkisinin kendini gösterdiği periyotta yn değiştirmişlerdir. Bu periyotta TE-modu özdirenç eğrisi ve TM-modu özdirenç eğrisi arasındaki fark artmaya başlamıştır. Sanal endüksiyon okları (mavi oklar) ise TM-modu özdirenç eğrisinin dalgalanma (eğrinin artması azalması) eğilimi gösterdiği periyotlarda yön

değiştirme eğilimi göstermiştir. Tüm bu sonuçlar MT istasyonun deniz-kara sınırından 46,5 km uzaklıkta olsa bile belirli periyotlarda deniz etkisine maruz kaldığını gösteriyor. Daha yakın istasyonlar daha kısa periyotlarda deniz etkisine maruz kalmışlardır. Bu nedenle Düzce bölgesinde toplanan ya da ileride toplanacak olan MT verilerinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için veriler üzerindeki deniz etkisinin giderilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Aizawa, K., Yoshimura, R., Oshiman, N., Yamazaki, K., Uto, T., Ogawa, Y., Tank, S. B., Kanda, W., Sakanaka, S., Furukawa, Y., Hashimoto, T., Uyeshima, M., Ogawa, T., Shiozaki, I., Hurst, T. 2005. Hydrothermal system beneath Mt. Fuji volcano inferred from magnetotellurics and electric self-potential. *Earth and Planetary Science Letters*, 235: 343-355.
- Arango, C., Marcuello, A., Ledo, J., Queralt, P. 2009. 3D magnetotelluric characterization of the geothermal anomaly in the Lluçmajor aquifer system (Majorca, Spain). *Journal of Applied Geophysics*, 68: 479-488.
- Booker, J. R. 2014. The magnetotelluric phase tensor: A critical review. *Surv Geophys*, 35: 7-40.
- Bresson, T. 2013. Wikipedia.
https://tr.wikipedia.org/wiki/%C5%9Eim%C5%9Fek_ve_y%C4%B1ld%C4%B1r%C4%B1m#/media/File:2013-08-07_04-23-26-foudre-belfort.jpg
[Erişim tarihi: 20.07.2015].
- Cagniard, L. 1953. Basic theory of the magnetotelluric method in geophysical prospecting. *Geophysics*, 18: 605-635.
- Chave, A. D., Jones, A. G. 2012. *The Magnetotelluric Method Theory and Practice*. Cambridge University Press.
- Chave, A. D., Smith, J. T. 1994. On electric and magnetic galvanic distortion tensor decompositions. *J. Geophys. Res.*, 99: 669-682.
- Chave, A. D., Thomson, D. J. 1989. Some comments on magnetotelluric response function estimation. *J. geophys. Res.*, 94: 215-225.
- Chave, A. D., Thomson, D. J. 2004. Bounded Influence estimation of magnetotelluric response functions. *Geophys. J. Int.*, 157: 988-1006.
- Constable, S. C., Orangez, A. S., Hoversten, G. M., Morrison, H. F. 1998. Marine Magnetotellurics for petroleum exploration, Part I. A sea-floor equipment system. *Geophysics*, 63: 816-825.

- Constable, S., Key, K., Lewis, L. 2009. Mapping offshore sedimentary structure using electromagnetic methods and terrain effects in marine magnetotelluric data. *Geophysical Journal International*, 176: 431-442.
- Çağlar, İ., İşseven, T. 2004. Two-dimensional geoelectrical structure of the Göynük geothermal area, northwest Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 134: 183-197.
- de Lugao, P. P., LaTerra, E. F., Kriegshauser, B., Fontes, S. L. 2002. Magnetotelluric studies of the Caldas Novas geothermal reservoir, Brazil. *Journal of Applied Geophysics*, 49: 33-46.
- Egbert, G. D. 1997. Robust multiple station MT data processing. *Geophys. J. Int.*, 130: 475-496.
- Egbert, G. D., Booker, J. R. 1986. Robust estimation of geomagnetic transfer functions. *Geophysics J. R. Astr. Soc.*, 87: 173-194.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. 1/1.125.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-, Ankara, Türkiye.
- Erdoğan, E. 2009. Doğru Akım Öz direnç ve Manyetotellürik Yöntemlerde Sonlu Elemanlar İle İki-Boyutlu Düz Çözümüne Topoğrafya Etkisinin Eklenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Erol, Y., Balık, H. H. 2001. Zaman domeninde sonlu farklar metodu ile tek boyutlu yapılarda elektromanyetik dalga yayılımının simülasyonu. 1. Ulusal Bilişim-Multimedya Konferansı, Elazığ.
- Ferguson, I. J. 1988. The Tasman project of seafloor magnetotelluric exploration. Australian National University, degree of Doctor of Philosophy.
- Fischer, G. 1979. Electromagnetic induction effects at an ocean coast. *Proc. IEEE*, 67: 1050-1060.
- Gamble, T. D., Goubau, W. M., Clarke, J. 1979. Magnetotellurics with a remote reference. *Geophysics*, 44: 55-68.
- Grant, F. S., West, G. F. 1965. Interpretation theory in applied geophysics. McGraw-Hill.
- Groom, R. W., Bahr, K. 1992. Corrections for near surface effects: decomposition of the magnetotelluric impedance tensor and scaling corrections for regional resistivities: a tutorial. *Surv. Geophys.*, 13: 341-379.

- Groom, R. W., Bailey, R. C. 1989. Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion. *J. Geophys. Res.*, 94: 53-68.
- Gürer, A. 2004. Magnetotelluric images of the crust and mantle in the southwestern Taurides, Turkey. *Tectonophysics*, 392: 109-120.
- Han, N., Nam, M. J., Kim, H. J., Lee, T. J., Song, Y., Suh, J. H. 2009. Three-dimensional inversion of magnetotelluric data including sea effects obtained in Pohang, Korea. *Journal of Applied Geophysics*, 68: 533-545.
- Honkura, Y., Işıkara, A. M., Oshiman, N., Ito, A., Üçer, B., Barış, S., Tunçer, M. K., Matsushima, M., Pektaş, R., Çelik, C., Tank, S. B., Takahashi, F., Nakanishi, M., Yoshimura, R., Ikeda, Y., Komut, T. 2000. Preliminary results of multidisciplinary observations before, during and after the Kocaeli (İzmit) earthquake in the western part of the North Anatolian Fault Zone. *Earth Planets Space*, 52: 293-298.
- Jiracek, G. R., Haak, V., Olsen, K. H. 1995. Practical magnetotellurics in a continental rift environment. New York, Elsevier, 103-129.
- Jiracek, G. R., Reddig, R. P., Kojima, R. K. 1989. Application of the Rayleigh-FFT technique to magnetotelluric modelling and correction. *Phys. Earth Planet Int.*, 53: 365-375.
- Jones, A. G. 1983. The problem of current channelling: A critical review. *Geophysical Surveys*, 6: 79-122.
- Jones, A. G. 1999. Imaging the continental upper mantle using electromagnetic methods. *Lithos*, 48: 57-80.
- Kaufman, A. A., Keller, G. V. 1981. *The Magnetotelluric Sounding Method*. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Kaya, T. 2007. Magnetotelluric imaging of Düzce Fault. Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Degree of Master of Science.
- Kaya, T., Kasaya, T., Tank, S. B., Ogawa, Y., Tunçer, M. K., Oshiman, N., Honkura, Y., Matsushima, M. 2013. Electrical characterization of the North Anatolian Fault Zone underneath the Marmara Sea, Turkey by ocean bottom magnetotellurics. *Geophysical Journal International*, 193: 664-677.
- Kaya, T., Kasaya, T., Tank, S. B., Ogawa, Y., Tunçer, M. K., Oshiman, N., Honkura, Y., Matsushima, M. 2009. Asperity along the North Anatolian Fault imaged by magnetotellurics at Düzce, Turkey. *Earth Planets Space*, 61: 871-884.

- Keller, G. V., Frischknecht, F. C. 1966. Electrical methods in geophysical prospecting, Pergamon Press.
- Key, K., Constable, S. 2002. Broadband marine MT exploration of the East Pacific Rise at 9.50 N. *Geophysical Research Letters*, 29: 20-54.
- Key, K., Constable, S. 2011. Coast effect distortion of marine magnetotelluric data: Insights from a pilot study offshore northeastern Japan. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 184: 194-207.
- Konca, A. O., Leprince, S., Avouac, J., Helmberger, D. V. 2010. Rupture Process of the 1999 Mw 7.1 Duzce Earthquake from Joint Analysis of SPOT, GPS, InSAR, Strong-Motion, and Teleseismic Data: A Supershear Rupture with Variable Rupture Velocity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100: 267–288.
- Koyama, T., 2002. A study of the electrical conductivity of mantle by voltage measurements for submarine cables, Tokyo: University of Tokyo.
- Lowrie, W. 2003. *Fundamentals of Geophysics*, Cambridge University Press.
- Mackie, R. L., Madden, T. R., Wannamaker, P. E. 1993. Three-dimensional magnetotelluric modeling using difference equations-Theory and comparisons to integral equation solutions. *Geophysics*, 58: 215-226.
- Madden, T. R., Mackie, R. L. 1989. Three-dimensional magnetotelluric modelling and inversion. *Proc. IEEE*, 77: 318-333.
- Maxwell, J. C. 1865. A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 155: 459-512.
- McNeice, G. W., Jones, A. G. 2001. Multisite, multi-frequency tensor decomposition of magnetotelluric data. *Geophysics*, 66: 158-173.
- Nam, M. J., Kim, H. J., Song, Y., Lee, T. J., Suh, J. H. 2008. Three dimensional topographic corrections of magnetotelluric data. *Geophys J. Int.*, 174: 464-474.
- Ogawa, Y., Matsushima, N., Oshiman, H., Takakura, S., Utsugi, M., Hirano, K., Igarashi, M., Doi, T. 1998. A resistivity cross-section of Usu Volcano, Hokkaido, Japan, by audiomagnetotelluric soundings. *Earth Planets Space*, 50: 339-346.
- Oruç, B. 2012. *Teori ve Örneklerle Jeofizikte Modelleme*. Umuttepe Yayınları.
- Parkinson, W. 1962. The influence of continents and oceans on geomagnetic variations. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 6: 441-449.

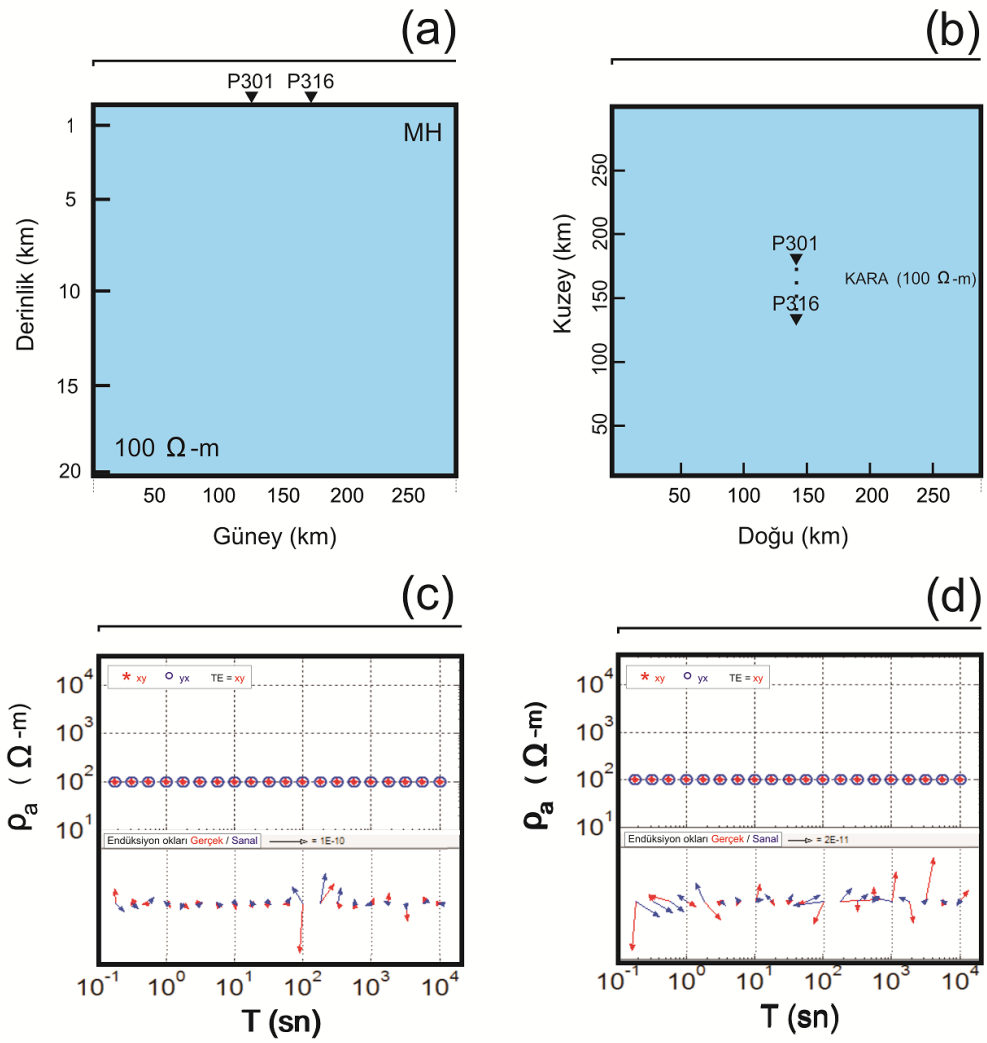
- Parkinson, W. D. 1959. Directions of Rapid Geomagnetic Fluctuations. *The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 2: 1-13.
- Parkinson, W. D. 1983. *Introduction to Geomagnetism*. Scottish Academic Press.
- Park, S. K. 1983. *Three-dimensional magnetotelluric modelling and inversion*, Mass. Inst. of Tech.
- Peng, Z., Ben-Zion, Y. 2004. Systematic analysis of crustal anisotropy along the Karadere–Düzce branch of the North Anatolian fault. *Geophys. J. Int.*, 159: 253–274.
- Pous, J., Heise, W., Schnegg, P., Munoz, G., Marti, J., Soriano, Carles. 2002. Magnetotelluric study of the Las Canadas caldera (Tenerife, Canary Islands): structural and hydrogeological implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 204: 249-263.
- Ramaswamy, V., Jones, F. W., Dosso, H. W., Nienaber, W. 1980. A comparison of numerical Analogue model and field-station vertical magnetic fields for the Vancouver Island region. *Phys. Earth Planet*, 22: 60-67.
- Ranganayaki, R. P., Madden, T. R. 1980. Generalized thin sheet analysis in magnetotellurics, an extension of Price's analysis. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 60: 445-457.
- Rikitake, T. 1950. Notes on the electromagnetic induction within the Earth. *Earthquake Research Institute*, 24: 1-9.
- Rikitake, T. 1959. Anomaly of geomagnetic variations in Japan. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 2: 276-287.
- Ritter, O., Hoffmann-Rothe, A., Bedrosian, P. A., Weckmann, U., Haak, V. 2005. Electrical conductivity images of active and fossil fault zones. *Geological Society, London, Special Publications*, 245: 165-186.
- Robinson, A., Spadini, G., Cloetingh, S., Rudat, J. 1995. Stratigraphic evolution of the Black Sea: inferences from basin modelling. *Marine and Petroleum Geology*, 12: 821-835.
- Santos, F. A. M., Nolasco, M., Almeida, E. P., Pous, J., Mendes-Victor, L. A. 2001. Coast effects on magnetic and magnetotelluric transfer functions and their correction: application to MT soundings carried out in SW Iberia. *Earth and Planetary Science Letters*, 186: 283-295.
- Santos, F. A. M., Pous, J., Almeida, E. P., Queralt, P., Marcuello, A., Matias, H., Mendes-Victor, L. A. 1999. Electrical conductivity of the crust across the Ossa Morena and South Portuguese Zone suture. *Tectonophysics*, 313: 449-462.

- Santos, F. A. M., Trota, A., Soares, A., Luzio, R., Lourenço, N., Matos, L., Almeida, E., Gaspar, J. L., Miranda, J. M. 2006. An audio-magnetotelluric investigation in Terceira Island. *Journal of Applied Geophysics*, 59: 314-323.
- Simpson, F. 2002. Intensity and direction of lattice-preferred orientation of olivine: are electrical and seismic anisotropies of the Australian mantle reconcilable? *Earth and Planetary Science Letters*, 203: 535-547.
- Simpson, F., Bahr, K. 2005. *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press.
- Singh, U. K., Kant, Y., Singh, R. P. 1995. Effect of coast on magnetotelluric measurements in India. *Annali Di Geofisica*, 38: 331-335.
- Stratton, J. A. 1941. *Electromagnetic Theory*. McGraw-Hill Book co.
- Swift, C. M. 1967. A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the south-western United States, MIT.
- Tank, B. 2012. Fault zone conductor in Northwest Turkey inferred from audio frequency magnetotellurics. *Earth Planets Space*, 64: 729-742.
- Tank, B. 2010. Armutlu Yarımadası manyetotellürük verisindeki üç boyutlu deniz etkisinin incelenmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 23(2): 65-72.
- Tank, S. B., Honkura, Y., Ogawa, Y., Matsushima, M., Oshiman, N., Tunçer, M. K., Çelik, C., Tolak, E., Işıkara, A. M. 2005. Magnetotelluric imaging of the fault rupture area of the 1999 İzmit (Turkey) earthquake. *Physics Earth Planetary Interior*, 150: 213-225.
- Tank, S. B., Honkura, Y., Ogawa, Y., Oshiman, N., Tunçer, M. K., Matsushima, M., Çelik, C., Tolak, E., Işıkara, A. M. 2003. Resistivity structure in the western part of the fault rupture zone associated with the 1999 İzmit earthquake and its seismogenic implication. *Earth Planets Space*, 55: 437-442.
- Tikhonov, A. N. 1950. On determining electrical characteristics of the deep layers of the Earth's Crust. *Doklady*, 73: 281-285.
- Unsworth, M., Bedrosian, B., Eisel, M., Egbert, G., Siripunvaraporn, W. 2000. Along strike variations in the electrical structure of the San Andreas Fault at Parkfield, California. *Geophysical Research Letters*, 27: 3021-3024.
- Ünal, B., 2005. *Elektromanyetik Teori*. Gazi Kitapevi.
- Vozoff, K. 1972. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins. *Geophysics*, 37: 98-141.

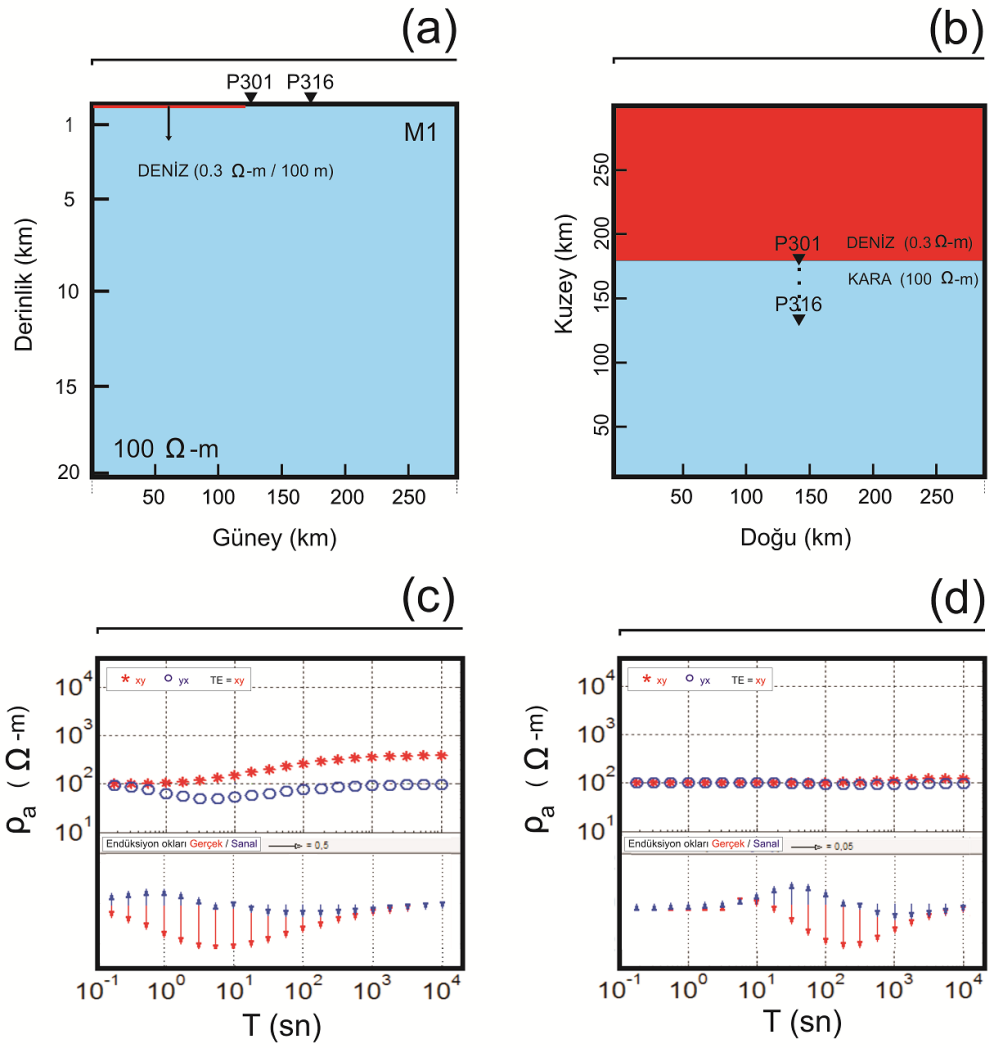
- Wannamaker, P. E., Doerner, W. M. 2002. Crustal structure of the Ruby Mountains and Southern Carlin Trend region, Nevada, from magnetotelluric data. *Ore Geology Reviews*, 21: 185-210.
- Ward, S. H., Hohmann, G. W. 1988. *Elektromagnetic Theory for Geophysical Applications. Elektromagnetic Methods In Applied Geophysics. Theory.* 131-311.
- Wei, W., Unsworth, M., Jones, A., Booker, J., Tan, H., Nelson, D., Chen, L., Li, S., Solon, K., Bedrosian, P., Jin, S., Deng, M., Ledo, J., Kay, D., Roberts, B. 2001. Detection of widespread fluids in the Tibetan Crust by magnetotelluric studies. *Science*, 292: 716-719.
- Wiese, H. 1962. Geomagnetisch Tiefentelluric Teil II: die Streichrichtung der Untergrundstrukturen des elektrischen Widerstandes, erschlossen aus geomagnetischen Variationen. *Geofisica pura e applicata*, 52: 83-103.
- Worzewski, T., Jegen, M., Kopp, H., Brasse, H., Castillo, W. T. 2010. Magnetotelluric image of the fluid cycle in the Costa Rican subduction zone. *Nature Geoscience*, 4: 108-111.
- Yang, J., Lee, C., Yoo, H. 2008. Correction of the sea effect in the magnetotelluric (MT) data using an iterative tensor stripping during inversion. *J. Korean Geophys. Explor.*, 11: 286-301.
- Yang, J., Min, D.-J., Yoo, H.-S. 2010. Sea effect correction in magnetotelluric (MT) data and its application to MT soundings carried out in Jeju Island, Korea. *Geophysical Journal International*, 182: 727-740.
- Yee, K. S. 1966. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Trans. Ant. Prob.*, 14: 302-307.
- Zienkiewicz, O. C., Cheung, Y. K. 1965. Finite Elements in the solution of field problems. *The Engineer*, 507-510.

EKLER

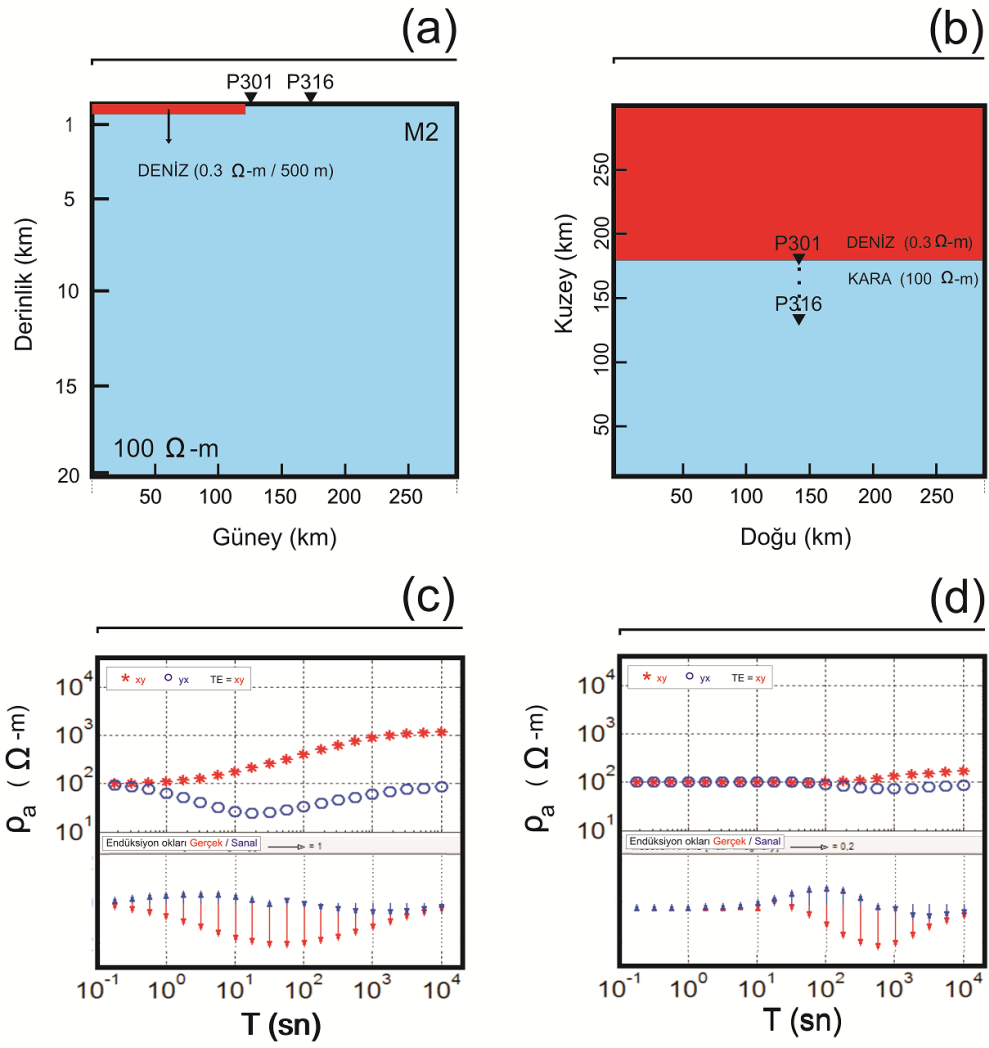
EK A: Oluşturulan modeller ve elde edilen model tepkileri



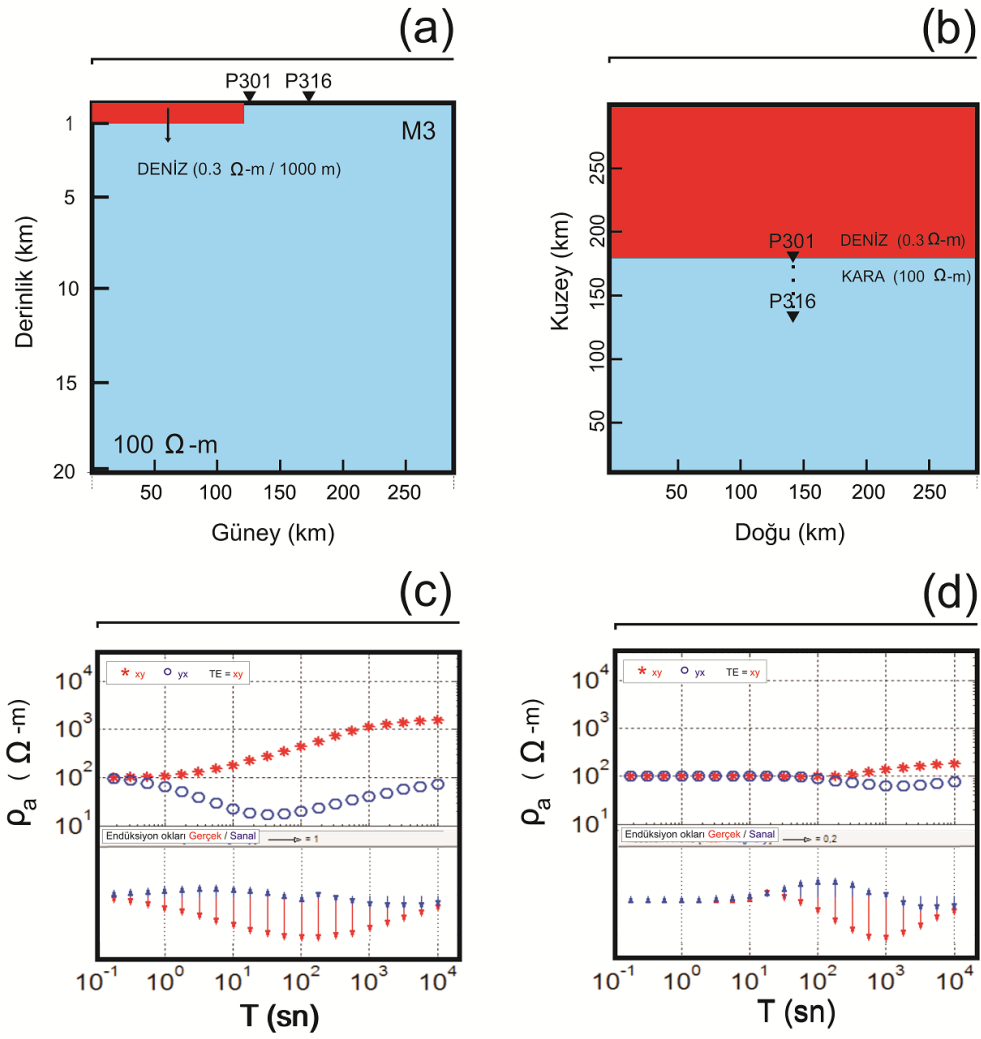
Model MH. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir.



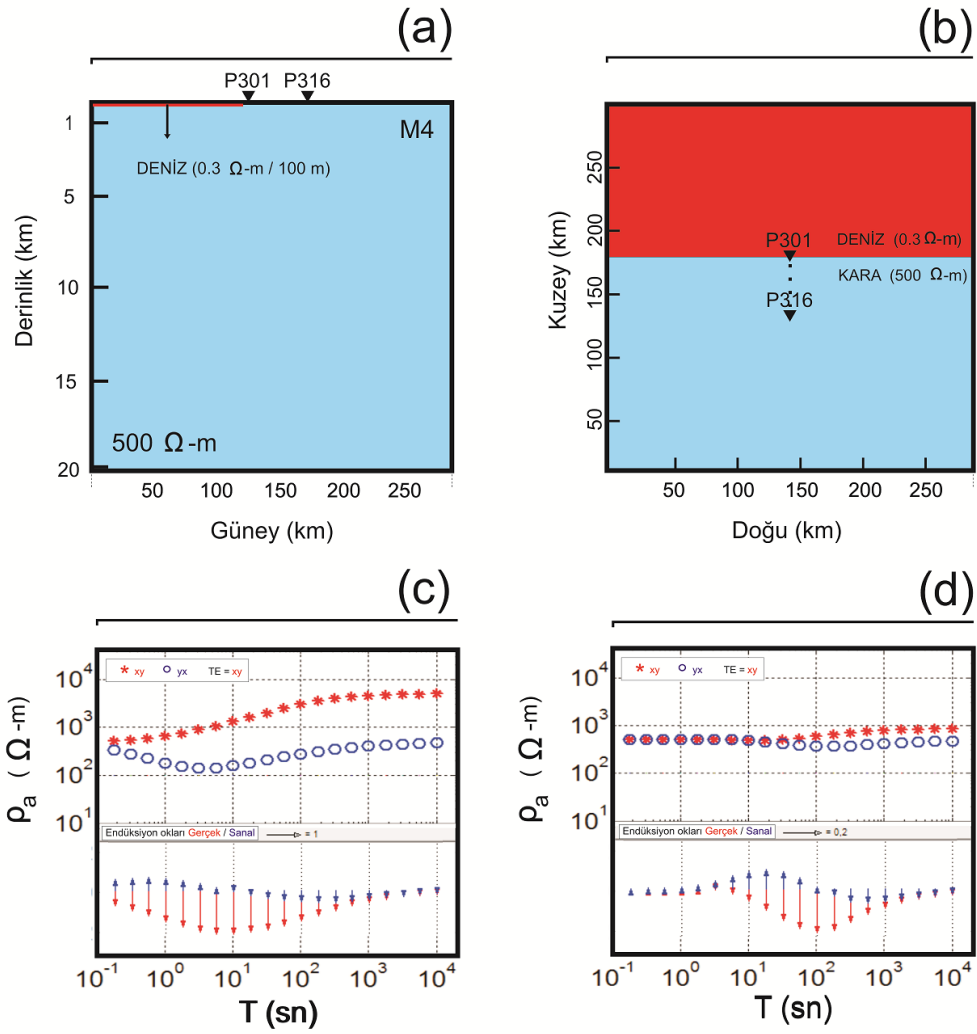
Model 1. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



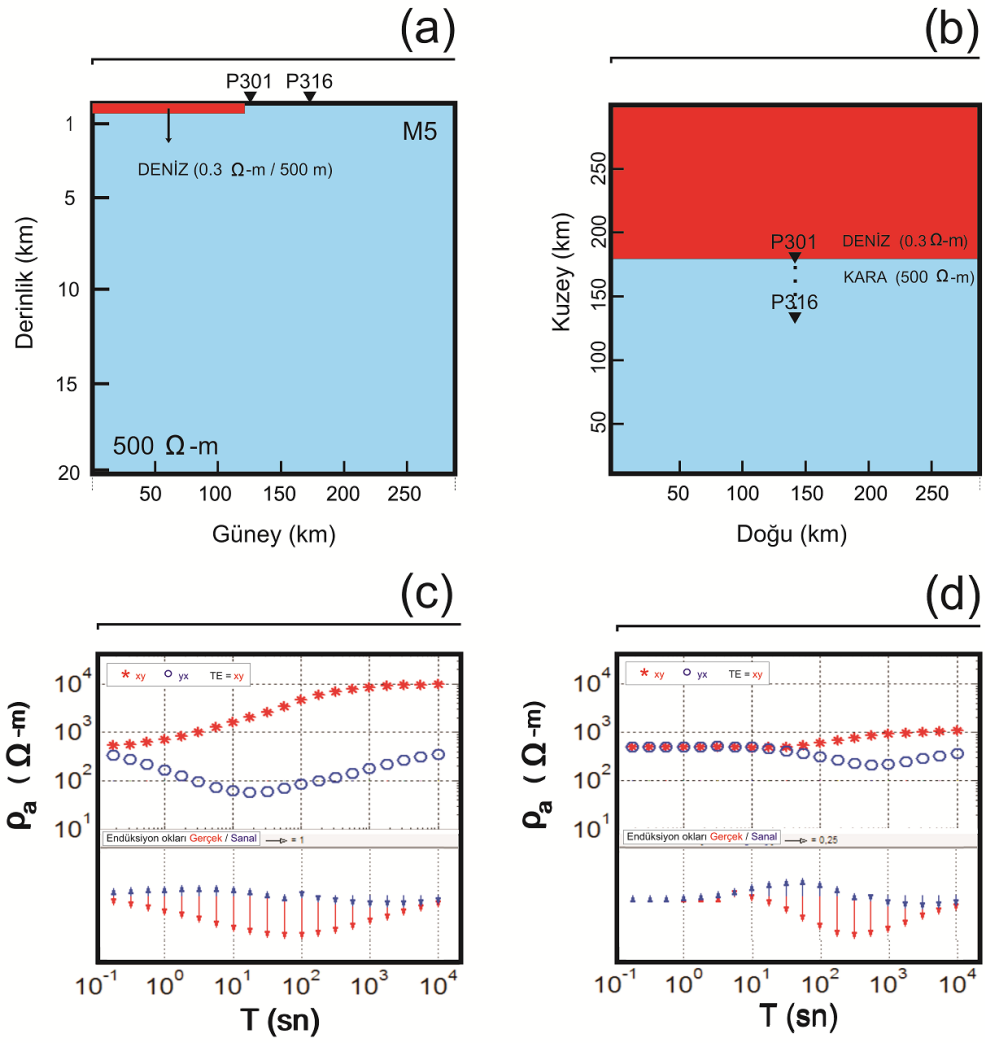
Model 2. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridine 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



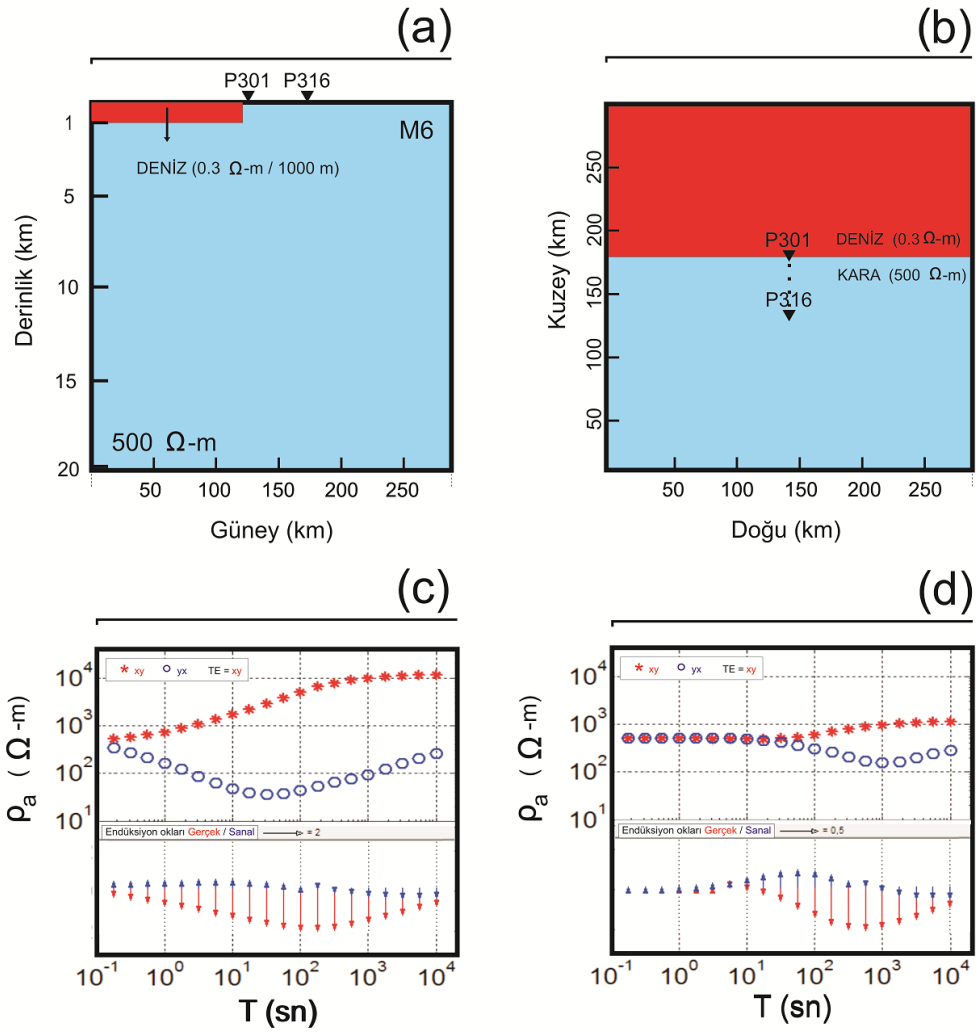
Model 3. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



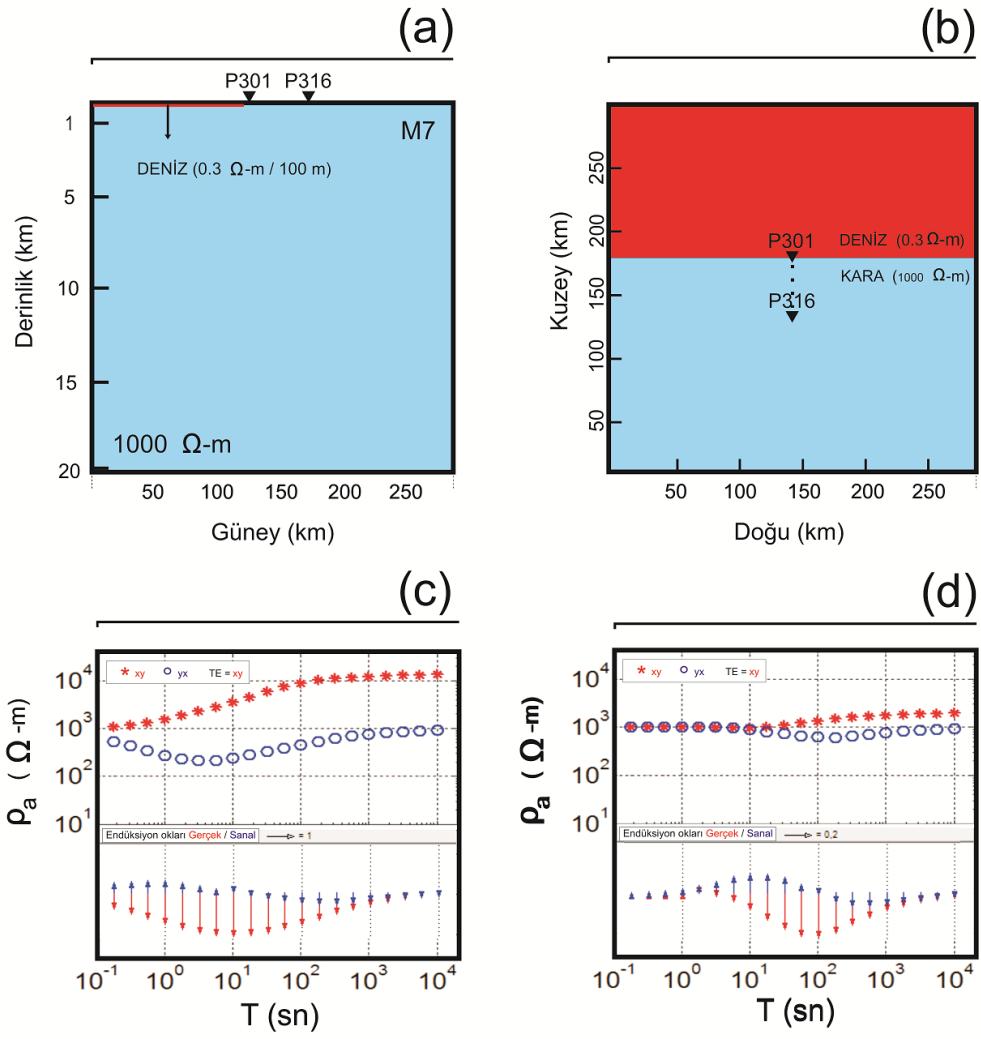
Model 4. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığında.



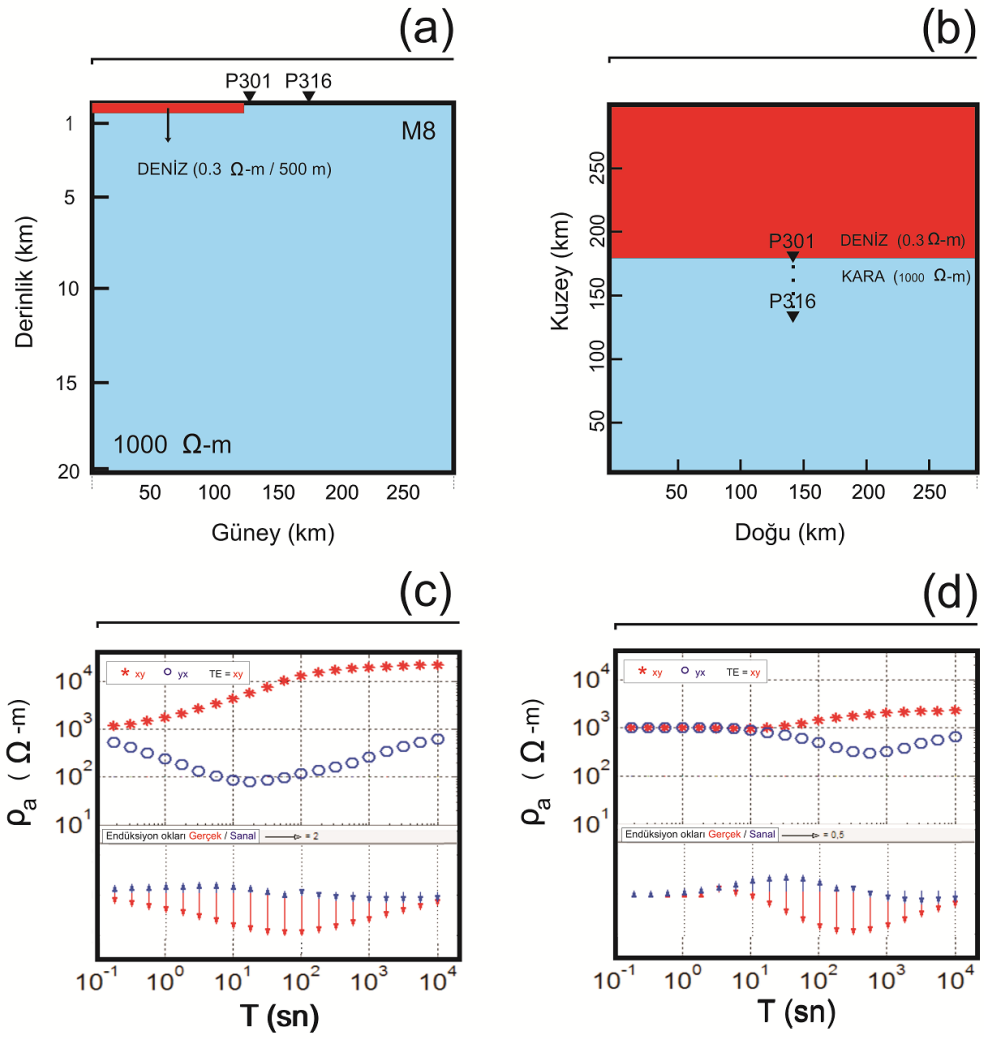
Model 5. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



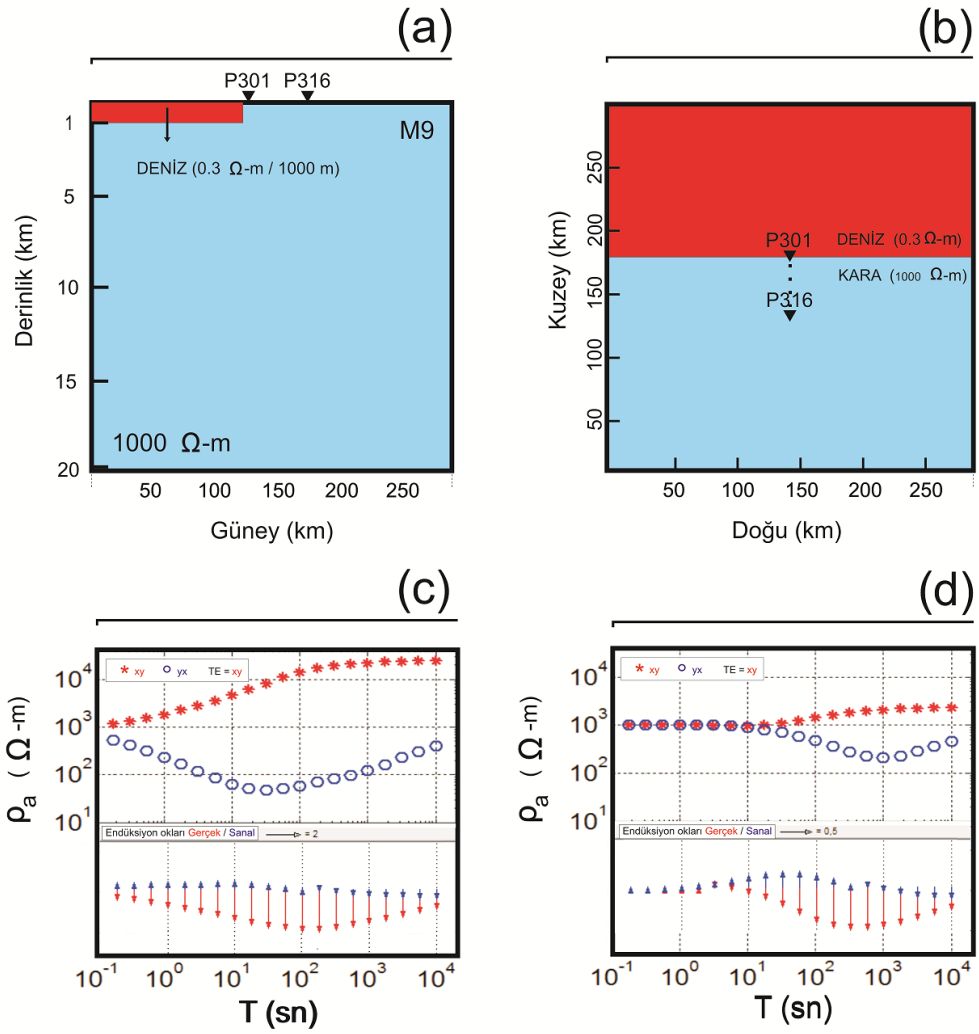
Model 6. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



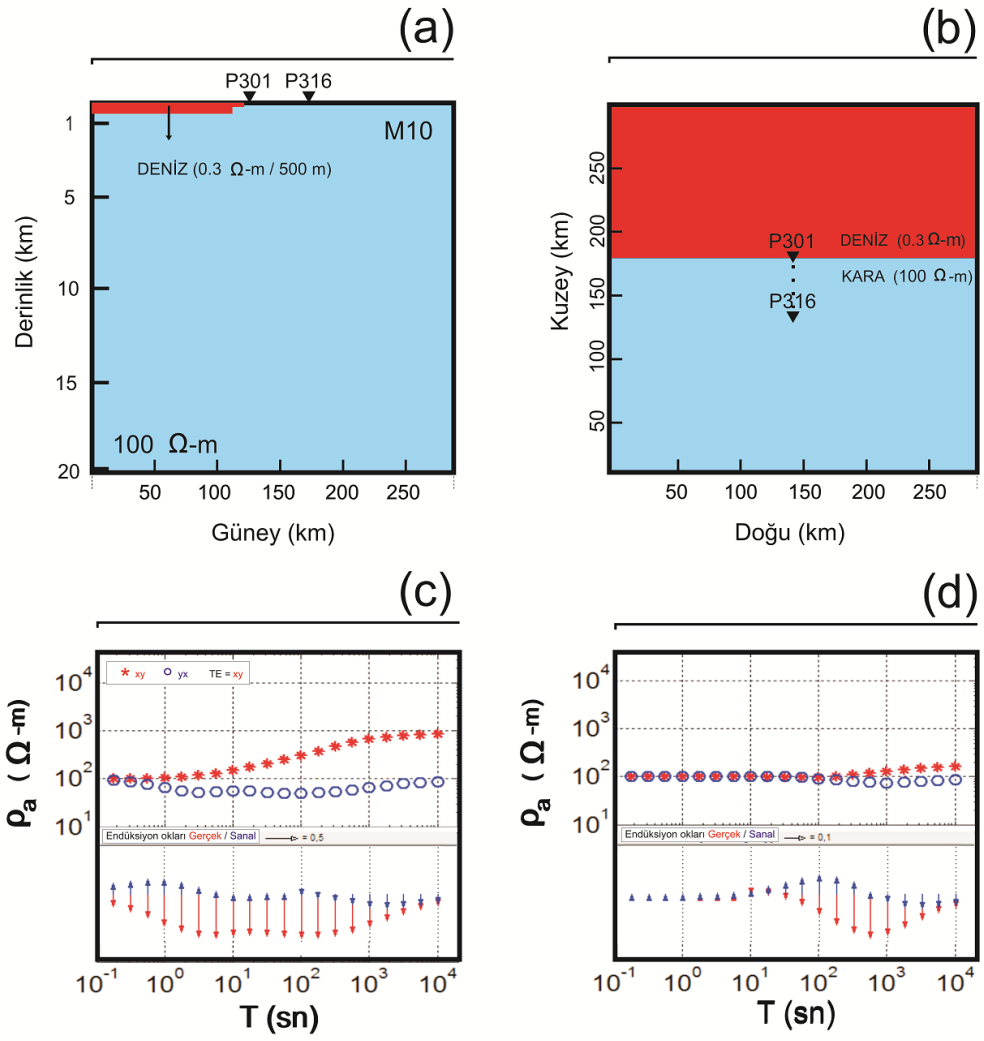
Model 7. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridine 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



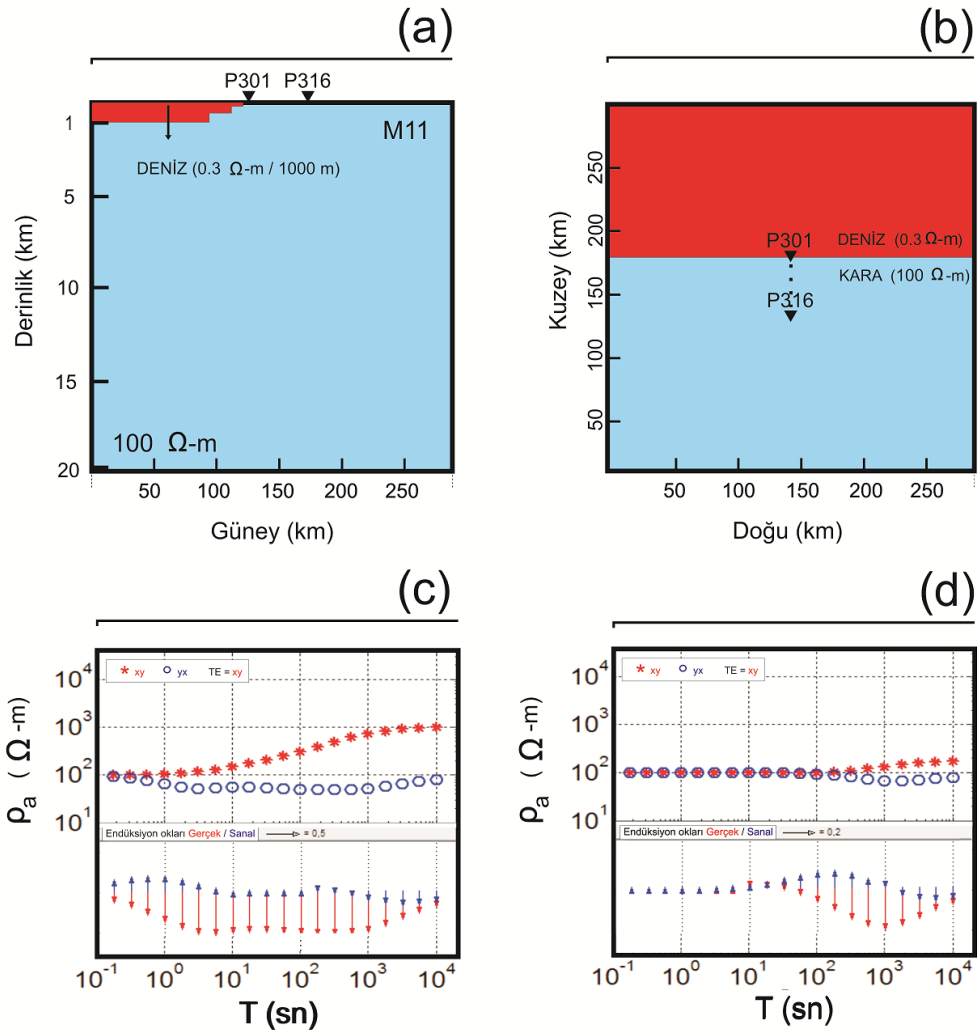
Model 8. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



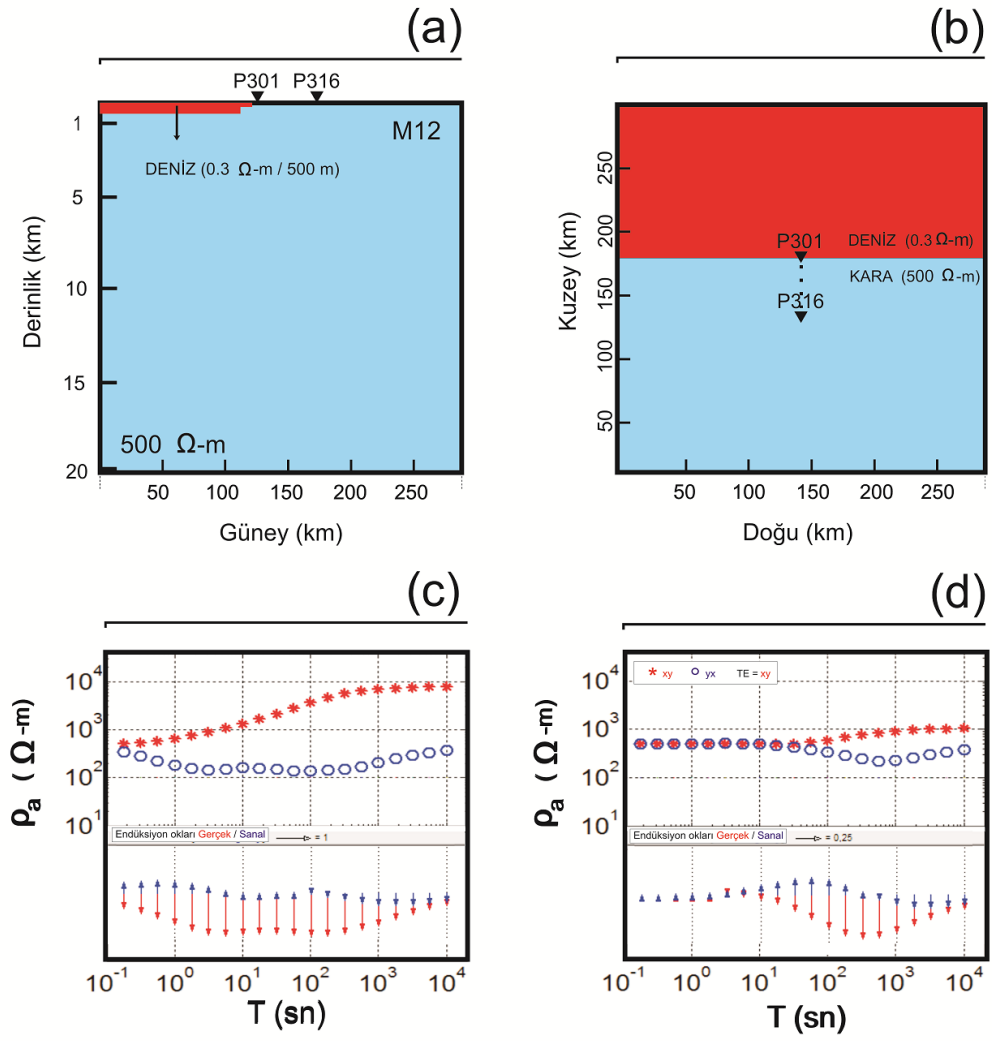
Model 9. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



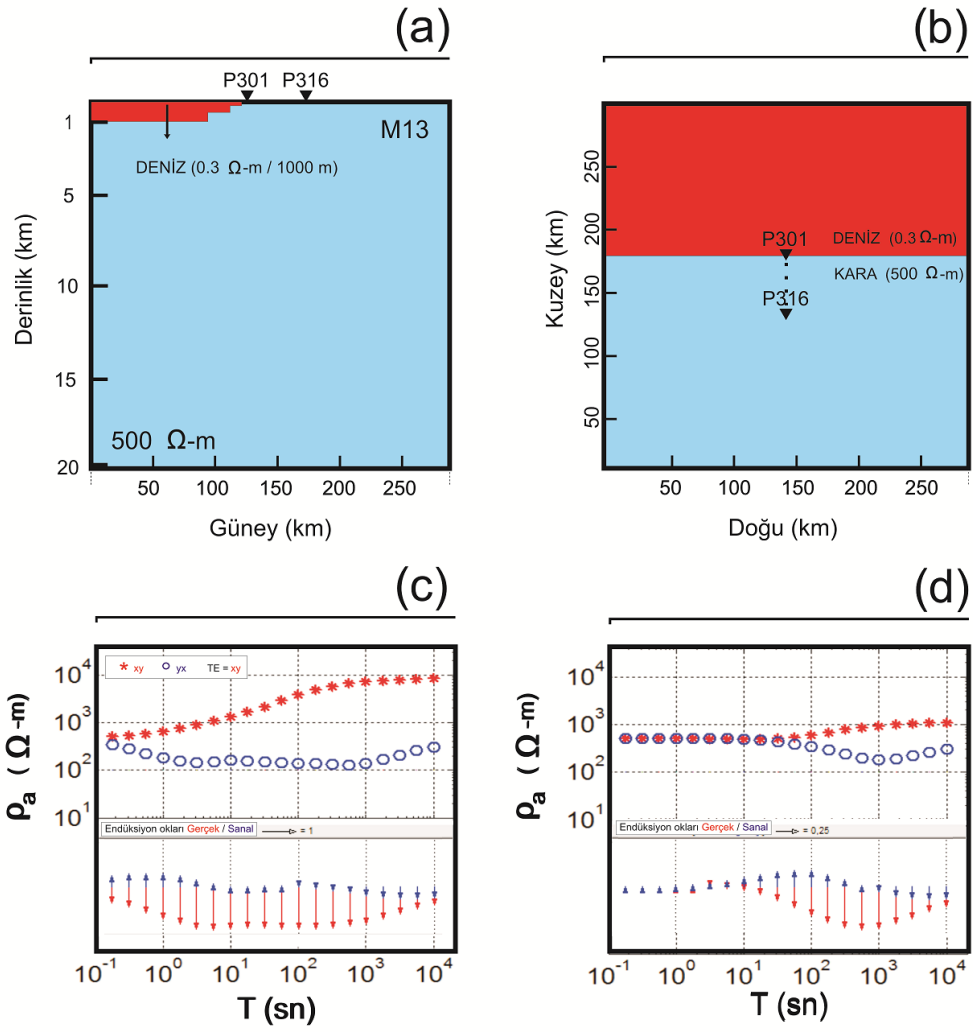
Model 10. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



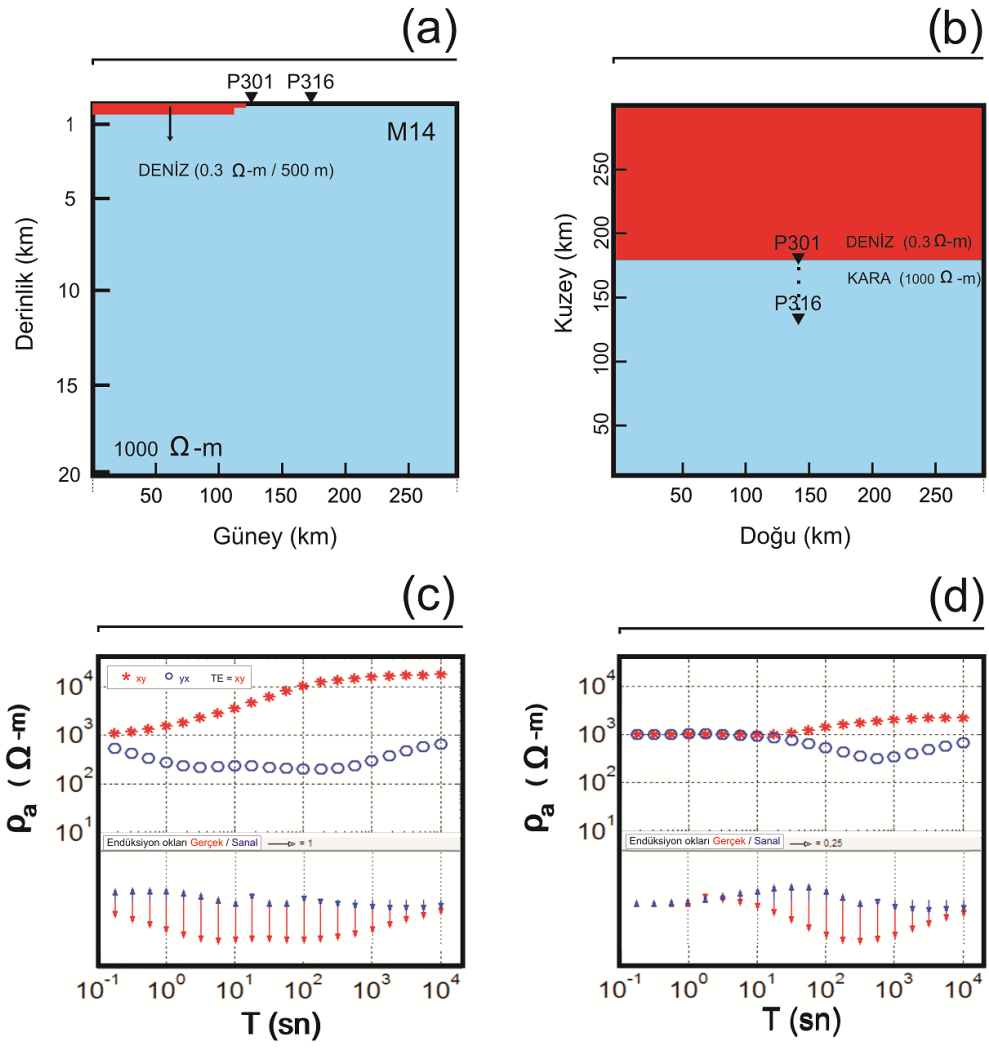
Model 11. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığında.



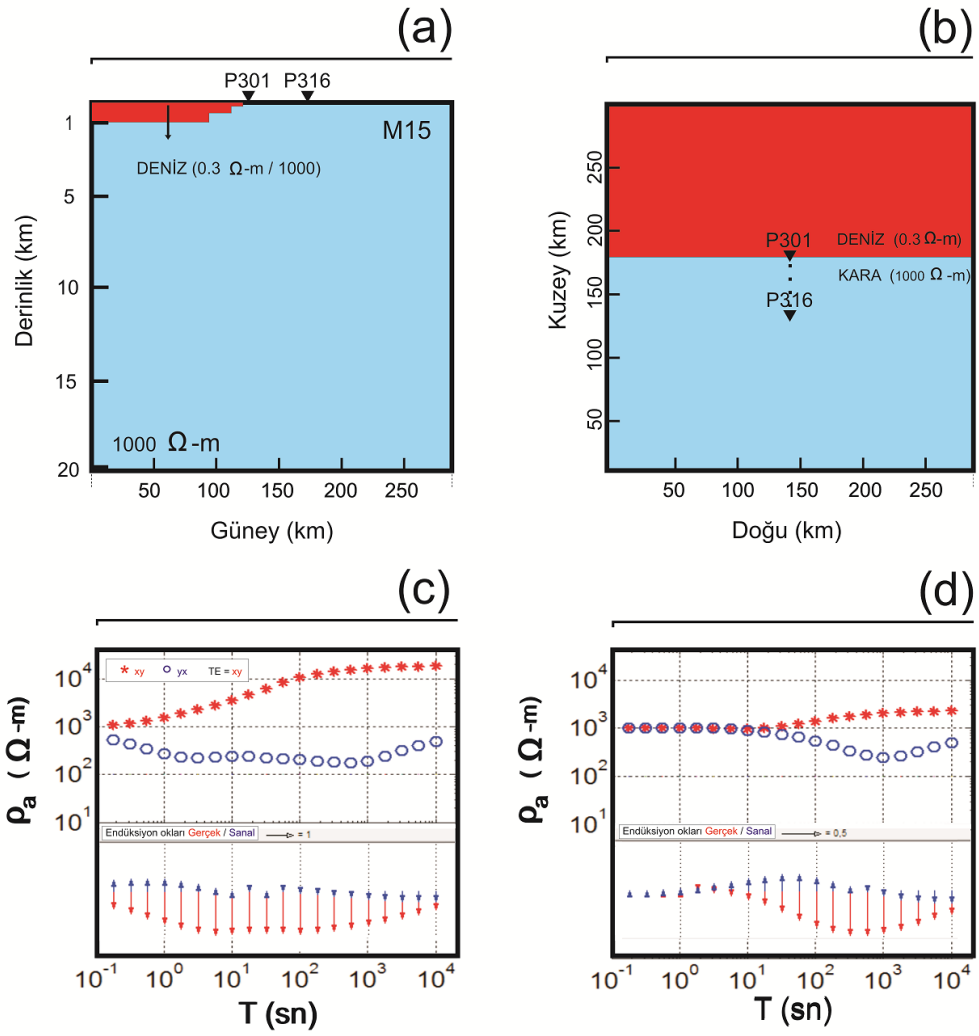
Model 12. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridine 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



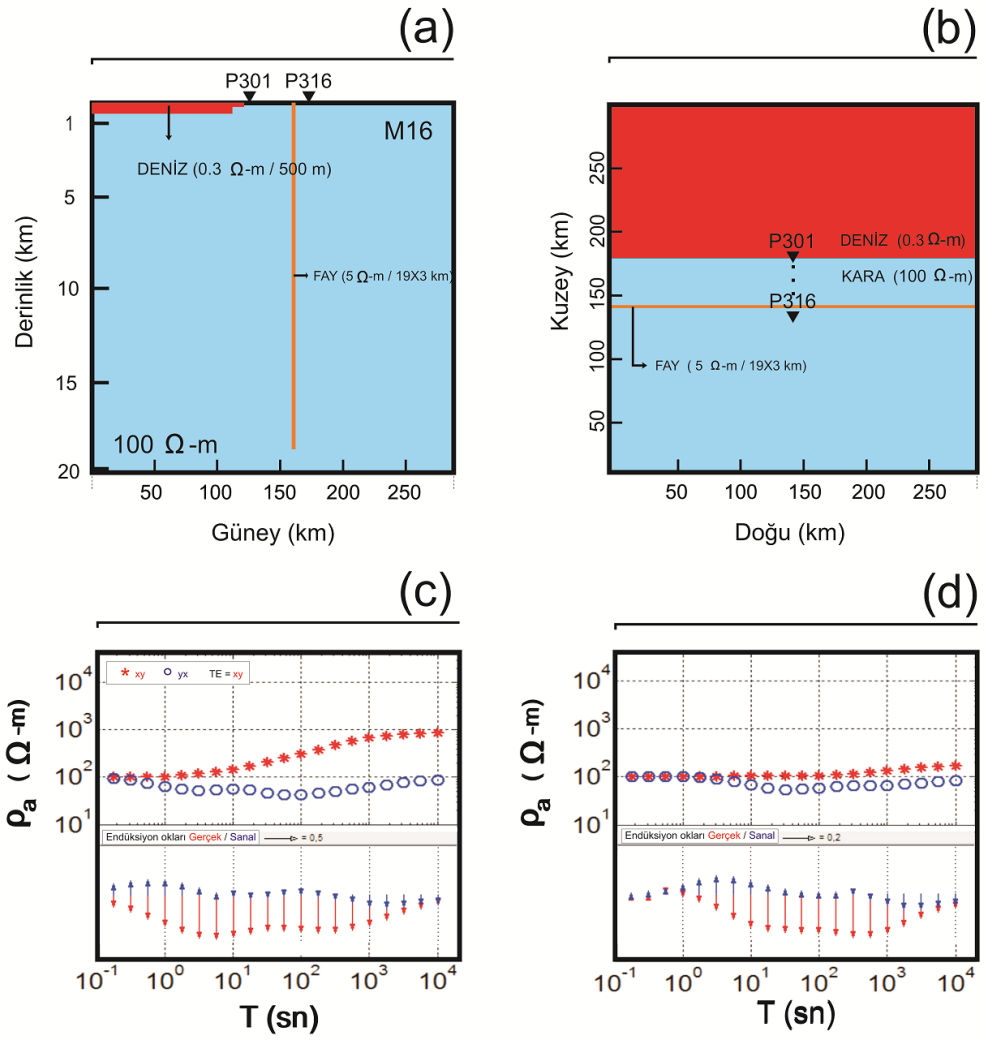
Model 13. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



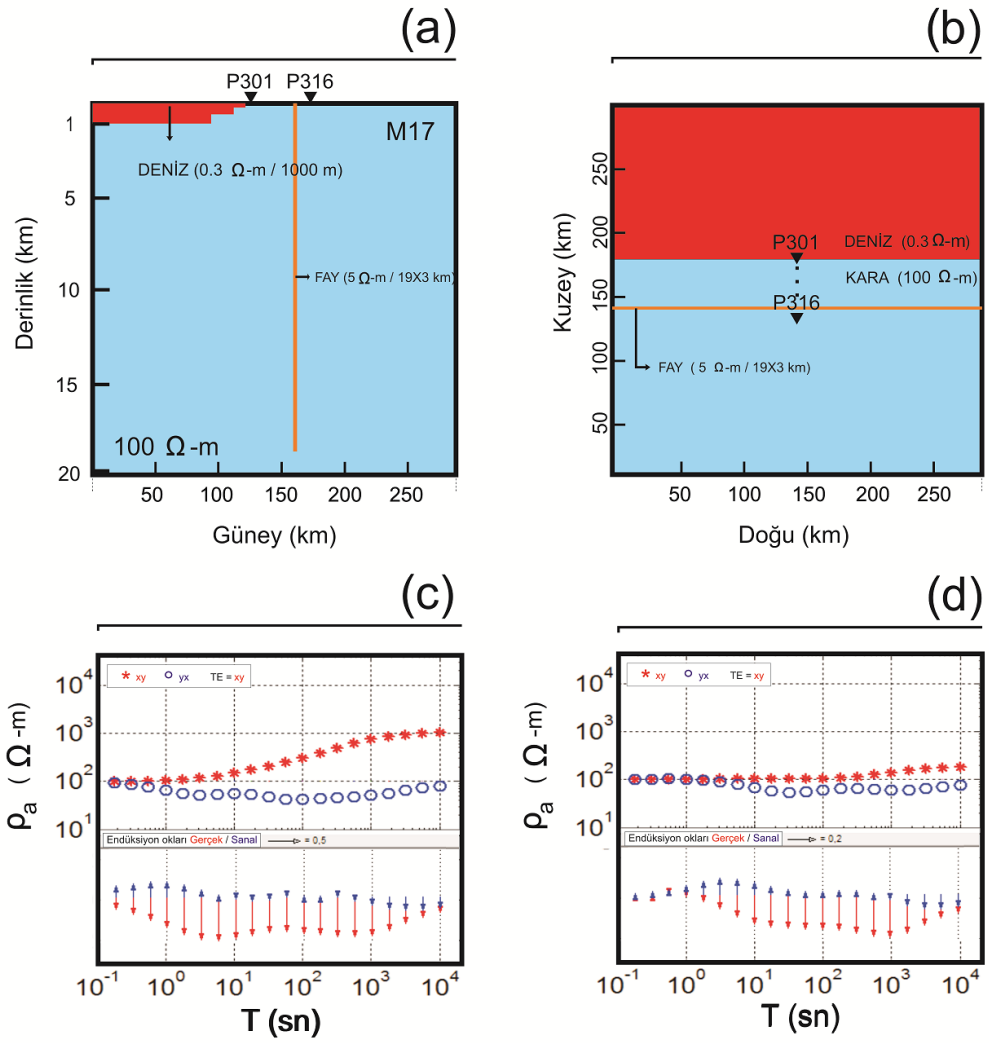
Model 14. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığında.



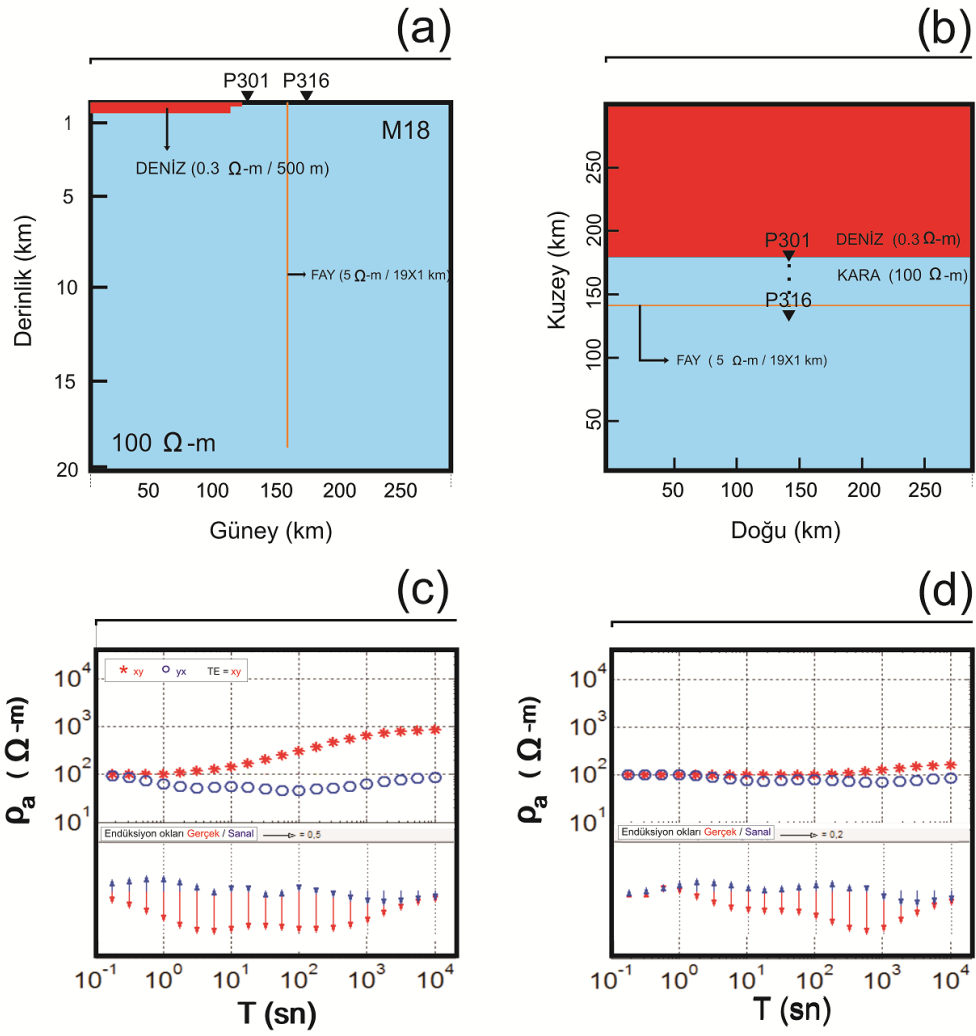
Model 15. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridine 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığında.



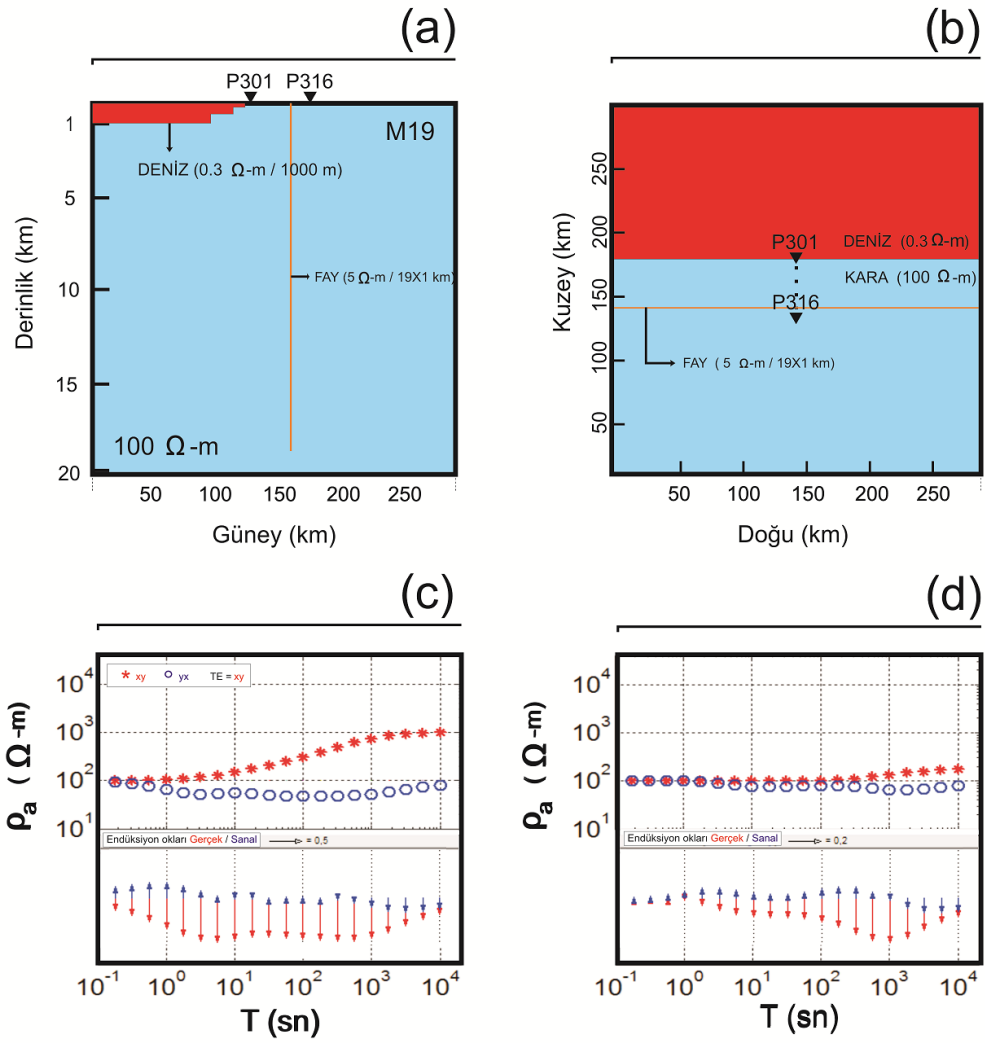
Model 16. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



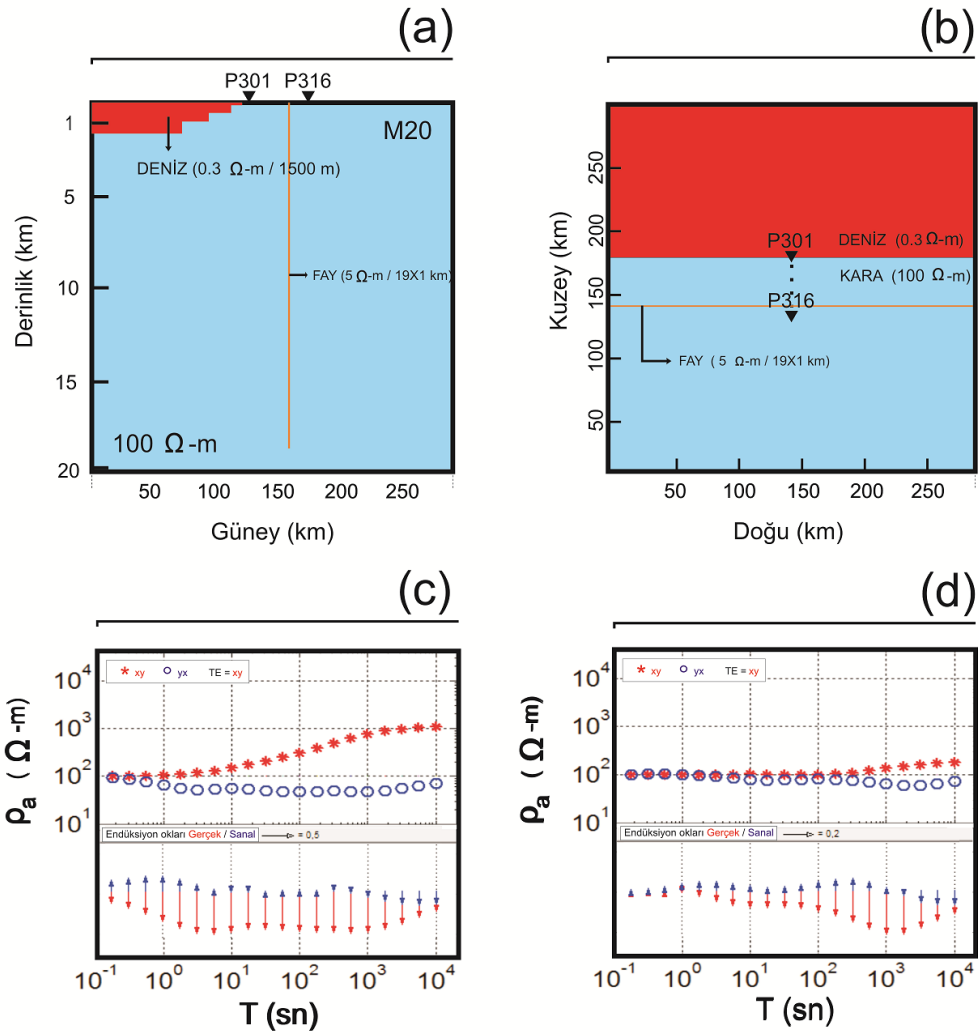
Model 17. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



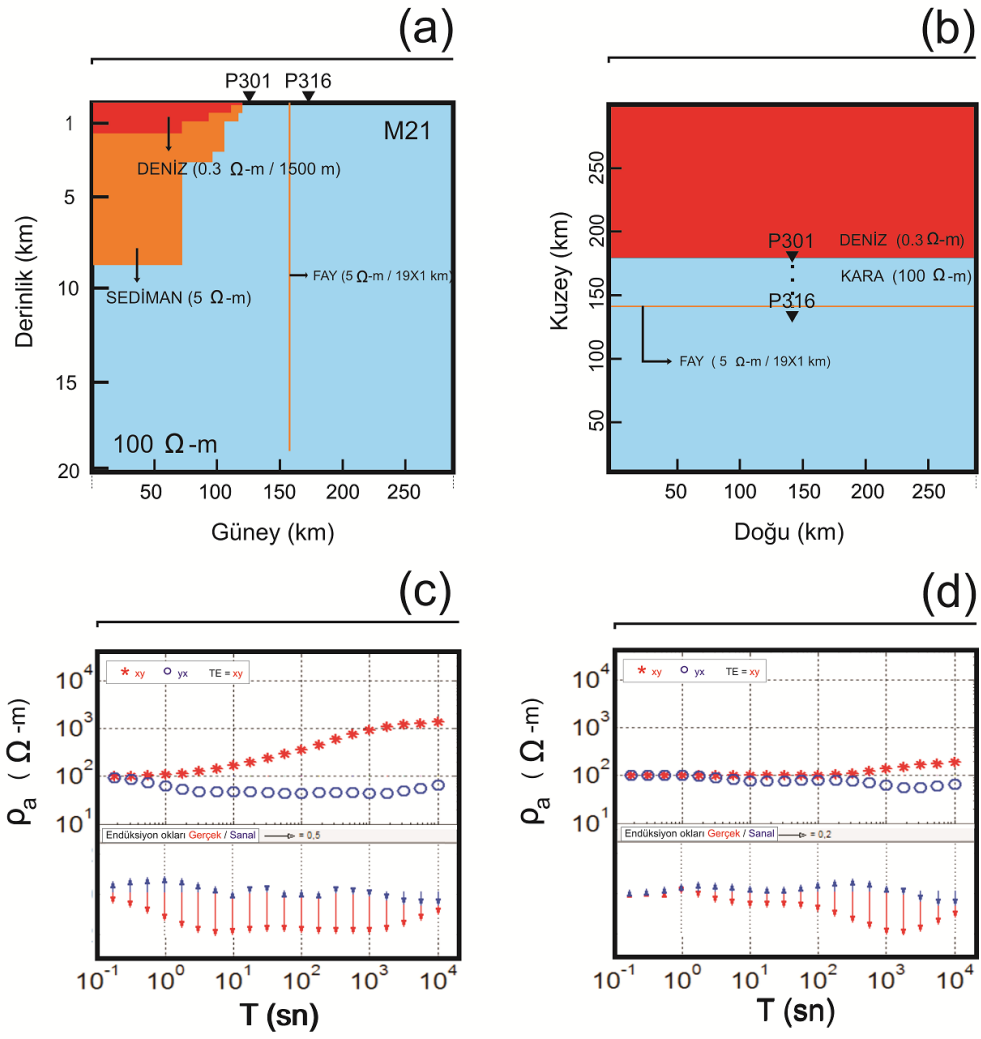
Model 18. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığında.



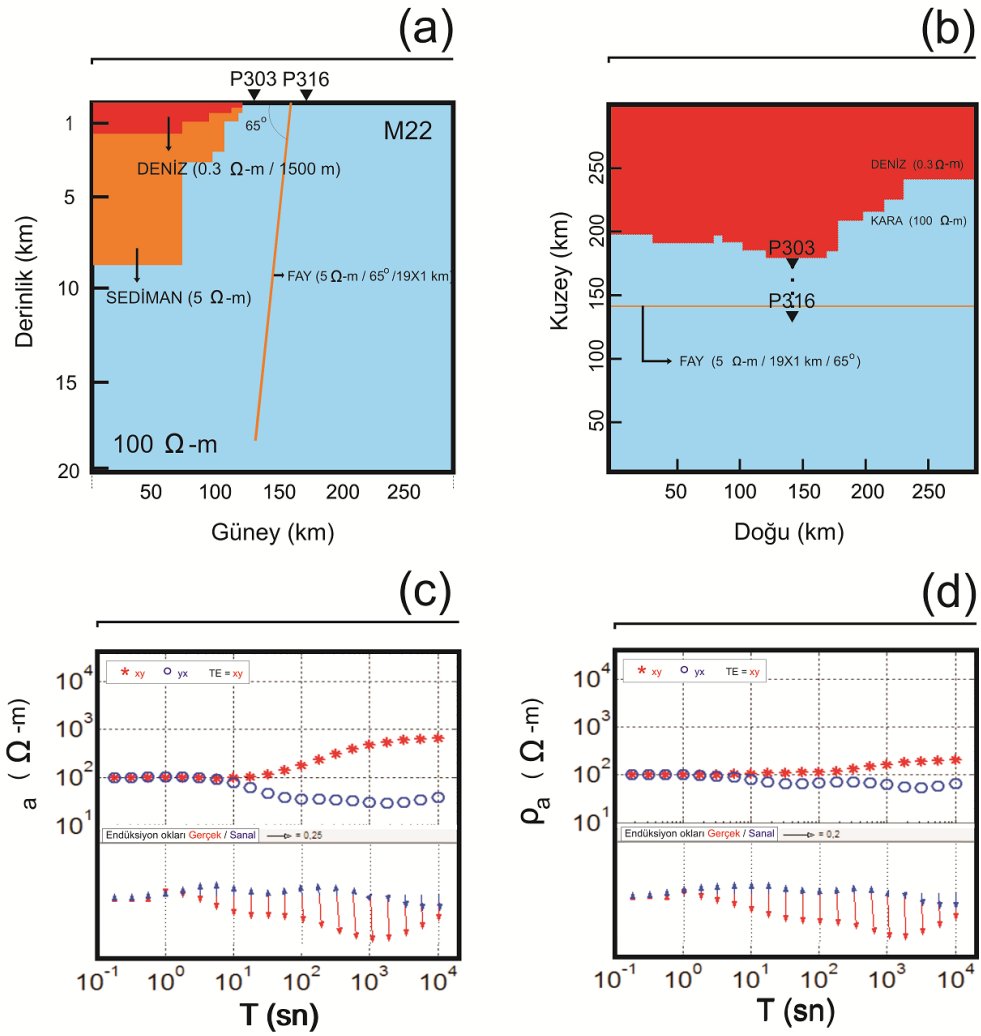
Model 19. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



Model 20. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridine 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığında.



Model 21. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.



Model 22. (a), model kesiti, (b), model üstten görünüm, (c), p301 MT istasyonunun model tepkileri, (d), p316 istasyonunun model tepkileri. Siyah üçgenler istasyonları göstermektedir. p301 MT istasyonu kıyı şeridinde 1,5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46,5 km uzaklığındadır.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih UZUNCA, 09.06.1990'da Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Hendek'te tamamladı. 2008 yılında Hendek Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Süleyman Demirel Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü 2012 yılında bitirdi. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2012 yılından itibaren ağaç sanatı, mobilyacılık ve dekorasyon üzerine çeşitli projelerde yer aldı. Bu süre zarfında çeşitli jeofizik çalışmalara da katıldı. 2015 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığında çalışmaya başladı. Şu anda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İstanbul İl Müdürlüğünde Jeofizik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.