

**ZONGULDAK-AKŞEHİR ARASINDAKİ BÖLGENİN KABUK
YAPISININ MANYETOTELLÜRİK YÖNTEMLE ARAŞTIRILMASI VE
BOYUTLULUK ANALİZİ**

**FAHRİYE KAÇMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2009

**T.C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZONGULDAK-AKŞEHİR ARASINDAKİ BÖLGENİN KABUK
YAPISININ MANYETOTELLÜRİK YÖNTEMLE ARAŞTIRILMASI VE
BOYUTLULUK ANALİZİ**

**FAHRİYE KAÇMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2009

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. CEMAL KAYA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

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

Başkan Prof. Dr. Ali YILMAZ

Üye Doç. Dr. M. Emin CANDANSAYAR

Üye Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.../.../2009

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. Sezai ELAGÖZ

ÖZET

ZONGULDAK-AKŞEHİR ARASINDAKİ BÖLGENİN KABUK YAPISININ MANYETOTELLÜRİK YÖNTEMLE ARAŞTIRILMASI VE BOYUTLULUK ANALİZİ

Fahriye Kaçmaz

Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cemal Kaya

2009, 82

Bu çalışmada Kıbrısçık (Zonguldak), Kırbaşı (Bolu), Beypazarı (Ankara), Günyüzü (Eskişehir) - Turgut (Konya) ve Akçakoca (Düzce), Emirdağ (Afyon), Çay (Afyon) bölgesinde iki profil boyunca toplam 174 noktada yaklaşık 3 km aralıklarla ölçülen Manyetotellürik (MT) ve zaman ortamı elektromanyetik (TEM) verileri değerlendirildi.

Ölçülen MT verilerin yorumlanmasında boyutluluğun önemi büyüktür. MT verisi yerelektrik yapılarının boyutluluğunu maskeleyen bozulmalardan etkilenmektedir ve bu yüzden yanlış yorumlar ortaya çıkmaktadır. Doğru bir sonuç elde edebilmek için bu bozulmalar tanımlanmalı ve veriden uzaklaştırılmalıdır. Bu nedenle iyi bir boyutluluk analizi yapılmalıdır.

İki profil boyunca elde edilen verilerden 2-B değerlendirme teknikleri kullanılarak bölgeye ait derin kabuk yapısı araştırıldı. Ayrıca WAL sabitleri kullanılarak yeraltının boyutluluğu hakkında bilgi elde edildi. Gözlemlenen yer elektrik davranışı, alanın jeolojik yapısı ve kabuğu etkileyen deformasyon türü ile MT boyutluluk değişimleri arasındaki ilişki tespit edildi.

Kuzey Batı Anadolu (KBA)'nın MT verisinden elde edilen boyutluluk analizi sonucunda 2B ve 3B yapılar ortaya çıkarıldı. Küçük periyotlarda yüzeye yakın heterojen iletken cisimler nedeniyle boyutluluğun karmaşık olduğu ve yüksek periyotlarda ise 3B yapıların çoğunlukta olduğu görüldü. Ayrıca boyutluluk analizi sonucunda suture zonları yakınlarında boyutluluğun diğer

yerlere göre daha karmaşık olduğu gözlemlendi. Kuzey Anadolu Fayı civarındaki yapıların strike doğrultuları genel olarak K-KD olarak bulundu.

Anahtar Kelimeler: Boyutluluk, empedans tensörü, manyetotellürik, kabuk yapısı

ABSTRACT

MAGNETOTELLURIC INVESTIGATION OF ZONGULDAK-AKSEHIR REGION CRUSTAL STRUCTURE AND DIMENSIONALITY ANALYSIS

Fahriye KAÇMAZ

Master of Science Thesis, Geophysical Engineering Department

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Cemal KAYA

2009, 82 pages

In this study, Magnetotelluric (MT) and Transient Electromagnetic Method (TEM) data which were measured at Kırbaşık (Zonguldak), Kırbaşı (Bolu), Beypazarı (Ankara), Günyüzü (Eskişehir), Turgut (Konya) and Akçakoca (Düzce), Emirdağ (Afyon), Çay (Afyon) regions through two profiles and totally 174 points at 3 km. intervals, were processed.

While interpreting the measured data, importance of dimensionality is great. MT data is effected by the distortions which mask the dimensionality of geoelectrical structures, so wrong interpretations can occur. For having right results, these distortions must be identified and removed from the data. So a good dimensionality analysis must be done. Deep crustal structure of region was investigated with the data which were obtained through two profiles by using 2-D assessment methods. In addition, information about the dimensionality of underground was obtained by using WAL invariant parameters. Relationship between observed geoelectrical behavior, geological structure of area, deformation type which affects the crust and MT dimensionality variations was tried to establish.

After dimensionality analysis which obtained from NWA's MT datas 2B and 3B structures were revealed. High complexity at a short period could be caused by local shallow bodies that cause distortion in the measured data. Also it was observed that near suture zones dimensionality is more complex than other

sites. Near the North Anatolian Fault Zone strike directions were determined as N-NE.

Key Words: Dimensionality, impedance tensor, magnetotelluric, crustal structure

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluŐturulmasında bilgi ve tecrubesini hiçbir zaman esirgemeyen, bana araştırma olanağı sağlayan ve alıŐmamın her aşamasında yakın ilgi ve önerileri ile beni yonlendiren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA'ya en içten teŐekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans öğrenimim boyunca yardımını ve desteğini sürekli yanımda hissettiğim Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin YILMAZ'a teŐekkürlerimi sunarım.

Bu tez alıŐması, 105G145 nolu 'Kuzey Batı Anadolu'nun Kabuk Yapısının Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması' Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle burs sağlayarak beni desteklediği için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK), proje ekibinde bulunan Sayın Doç. Dr. Mehmet Emin CANDANSAYAR'a (Ankara Üniversitesi), MTA jeofizik dairesindeki çalışma arkadaşlarıma teŐekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalıŐmalarımın her safhasında maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen, üzüntümü ve sevincimi benimle paylaşan bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan sevgili aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	iv
1 GİRİŞ.....	1
2 YÖNTEM VE TEKNİKLER.....	4
2. 1 Manyetotellürik Yöntem.....	4
2. 1. 1 MT yöntemin kaynağı.....	4
2. 1. 2 MT yöntemde ölçüm.....	5
2. 1. 3 MT yöntemin temel ilkeleri.....	8
2. 1. 4. Tensörel empedans ve manyetotellürik tensör.....	11
2. 1. 5 MT yöntemde görünür özdirenç bağıntısı.....	13
2. 1. 6 Etkin derinlik.....	15
2. 1. 7 Boyutluluk.....	16
2. 1. 7. 1 1B özdirenç modeli.....	16
2. 1. 7. 2 2B özdirenç modeli.....	18
2. 1. 7. 3 Rotasyon açısı.....	20
2. 1. 7. 4 3B özdirenç modeli.....	25
2. 1. 8 Galvanik bozulma.....	25
3 BOYUTLULUK ANALİZİ.....	29
3.1 MT Yönteminde Kullanılan Temel Rotasyonel Sabitler.....	29
3.2 WAL Parametreleri.....	33
4 KUZAY BATI ANADOLU'DA İKİ PARALEL DOĞRULTU BOYUNCA KABUK YAPISININ MT YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI.	39
4. 1 Kabuk Araştırmalarındaki Öncel Çalışmalar.....	39
4. 2 İnceleme Alanının Jeolojisi.....	40
4. 3 Veri Toplama ve Veri İşlem.....	44
4. 5 Modeller.....	44
5 KBA'DA İKİ PARALEL DOĞRULTU BOYUNCA ÖLÇÜLEN MT	54

VERİLERİNİN BOYUTLULUK ANALİZİ.....	
5.1 KBA'nun MT Verisinden Elde Edilen WAL Sabitleri.....	54
5.2 KBA'nun WAL Boyutluluk Analizi.....	63
5.3 Boyutluluk Kesitleri.....	68
7 SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	85

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

E	Elektrik alan şiddeti (Volt/metre)
H	Manyetik alan şiddeti (Amper/metre)
B	Manyetik akı yoğunluğu (Weber/metre ²)
D	Elektrik akı yoğunluğu (Coulomb/metre ²)
μ	Ortamın manyetik geçirgenliği (Henry/metre)
μ_0	Havanın manyetik geçirgenliği (Henry/metre)
σ	Öziletkenlik (Seimens/metre)
ϵ	Ortamın dielektrik sabiti (Farad/metre)
ϵ_0	Serbest havanın dielektrik sabiti (Farad/metre)
Z	Empedans (ohm)
Z_{xy}, Z_{yx}	Empedans tensörü
M	Manyetotellürik tensör (metre/saniye)
J	Akım yoğunluğu (amper/metre ²)
ω	Açısal frekans (radyan/saniye)
ρ_q	Yük yoğunluğu
θ	Rotasyon açısı
β	Ovallik (ellipticity)
T	Sapma (tipper)
δ	Etkin derinlik (skin depth, metre)
k	Dalga sayısı
f	Frekans (Hertz)
t	Zaman
Φ	Faz (derece)
ρ_a	Görünür öz direnç (ohm/metre)
∇	Gradient operatörü
$\nabla \cdot$	Diverjans operatörü
C	Galvanik distorsiyon matrisi
$\varphi_t, \varphi_s, \varphi_e$	Twist, shear ve anizotropi açıları
G, t, e, s	gain, twist, shear ve anizotropi parametreleri
g_1, g_2	distorsiyon parametreleri
φ_1, φ_2	distorsiyon açıları (derece)
R, R^T	Saat yönündeki rotasyon matrisi ve onun transpozu
S₁, S₂, D₁, D₂	Değiştirilmiş empedanslar (metre/saniye)
$\kappa, \mu, \eta, \Sigma$	Bahr parametreleri
$\zeta_i = \xi_i + \eta_i i$	MT tensörü bileşenlerinin doğrusal bileşimleri (i=1,2,3,4)
d_{ij}	ζ_i ve ζ_j 'den hesaplanan karmaşık parametreler
I1, I2, I3, I4,	WAL rotasyonel sabit parametreleri
I5, I6, I7, Q	WAL rotasyonel sabit parametreleri
$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	Mohr dairesi ilişkili açıları
θ_1, θ_2	WAL kriterlerine göre elde edilen farklı boyutluluk durumları için strike açıları
τ	Eşik değer

1B	1-Boyut
2B	2-Boyut
3B	3-Boyut
3B/2B	Bölgesel 2B üzerinde galvanik bozulma
3B/2B twist	Bölgesel 2B üzerinde galvanik bozulma (sadece twist bileşeni)
3B/2B/1B	Bölgesel 2B veya 1B üzerinde galvanik bozulma (ayırtdilemez)
EM	Elektromanyetik
I	Invariant (Sabit)
KBA	Kuzey Batı Anadolu
MT	Manyetotellürik
RMS	Root mean squares
TÇ	Ters çözüm
TE	Tranverse Electric (Elektrik alan, jeolojik doğrultuya paralel) mod
TM	Tranverse Magnetic (Manyetik alan, jeolojik doğrultuya paralel) mod
WAL	Weaver, J.T., Agarwal, A.K. ve Lilley, FEM.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Kayaçların elektrik iletkenlikleri (Telford ve diğ., 1990 ve Jacosky, 1950'den birleştirilerek alınmıştır)	2
Şekil 2.1 Yer manyetik alanın değişimi (Keller ve Frischknecht, 1966)	5
Şekil 2.2 MT yöntemi arazi düzeneği a)+ şeklinde, b)L şeklinde	6
Şekil 2.3 Ölçü almada kullanılan Phoenix V5 Sistem 2000 cihazı ve ekipmanlar	7
Şekil 2.4 Özdirenç ve etkin derinlik ilişkisi	16
Şekil 2.5 1-Boyutlu ortam	18
Şekil 2.6 Rotasyon Açısı	21
Şekil 2.7 İki boyutlu yapı durumu: a)TE modu, $E(0,E_y,0)$, $H(H_x,0,H_z)$, b) TM modu, $E(E_x,0,E_z)$, $H(0,H_y,0)$ (Kaya, 2002)	24
Şekil 2.8 Üç Boyutlu yapı	28
Şekil 3.1 Gerçel ve sanal mohr daireleri. Mavi daire sanal, kırmızı daire gerçeldir	34
Şekil 4.1 Büyük birlikler ve sutur sınırlarını gösteren doğu Akdeniz bölgesinin tektonik haritası, dolu üçgenler dalım polaritesini gösterir (Okay & Tüysüz, 1999).	40
Şekil EK 4.1 Çalışma alanı jeoloji haritası (1/500000 ölçekli MTA jeoloji haritasından yalınlaştırılmıştır)	77
Şekil 4.2.a Profil-1 boyunca 85 istasyonda ölçülen manyetotellürik verilerden temel veri işlemlerden sonra elde edilen ölçülen ve hesaplanan TE-modu Görünür Özdirenç ve Faz yapma kesitleri.	46
Şekil 4.2.b Profil-1 boyunca 85 istasyonda ölçülen manyetotellürik verilerden temel veri işlemlerden sonra elde edilen ölçülen ve hesaplanan TM-modu Görünür Özdirenç ve Faz yapma kesitleri.	46
Şekil 4.3.a Profil-2 boyunca 90 istasyonda ölçülen manyetotellürik verilerden temel veri işlemlerden sonra elde edilen ölçülen ve hesaplanan TE-modu Görünür Özdirenç ve Faz yapma kesitleri.	47
Şekil 4.3. b Profil-2 boyunca 90 istasyonda ölçülen manyetotellürik verilerden temel veri işlemlerden sonra elde edilen ölçülen ve hesaplanan TM-modu Görünür Özdirenç ve Faz yapma kesitleri	48
Şekil 4.4 Profil-1 boyunca ölçülen MT verilerinin ters çözümü sonucu elde edilen 2B özdirenç modeli	51
Şekil 4.5 Profil -2 boyunca ölçülen MT verilerinin ters çözümü sonucu elde edilen 2B özdirenç modeli	52
Şekil 5.1 $T=0.01$, $T=0.1$, $T=1$, $T=10$, $T=100$ ve $T=1000$ peryotlarındaki Wal sabiti I3 'ün kontür haritaları .	55
Şekil 5.2 $T=0.01$, $T=0.1$, $T=1$, $T=10$, $T=100$ ve $T=1000$ peryotlarındaki Wal sabitlerinden I4 'ün kontür haritaları	57

Şekil 5.3	T=0.01, T=0.1, T=1, T=10, T=100 ve T=1000 peryotlarındaki Wal sabiti I5 'in kontür haritaları	58
Şekil 5.4	T=0.01, T=0.1, T=1, T=10, T=100 ve T=1000 peryotlarındaki Wal sabiti I6 'nın kontür haritaları	59
Şekil 5.5	T=0.01, T=0.1, T=1, T=10, T=100 ve T=1000 peryotlarındaki Wal sabiti I7 'nin kontür haritaları	60
Şekil 5.6	T=0.01, T=0.1, T=1, T=10, T=100 ve T=1000 peryotlarındaki Wal sabitlerinden Q 'nun kontür haritaları	61
Şekil 5.7	WAL sabitleri kriterlerine göre hazırlanan boyutluluk kesitleri a) 1.Profil, b) 2.Profil	67
Şekil EK 5.1	T=0.001s-0.01s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları Oklar strike yönünü belirtir. 3B/2B twist ve 3B/2B tek bir durum olarak (3B/2B) çizildi. Strike yönleri hata değerlerine ters olarak ölçeklendi. Burada . işareti boyutluluğu tanımlanamayan yerleri, + 1B, ● 2B, ⊙ 2B/3B, ○ işareti 1B/2B/3B, ▲ 3B yapı varlığını temsil etmektedir.	79
Şekil EK 5.2	T=0.01s-0.1s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları. (Açıklamalar şekil 29'daki gibidir.)	81
Şekil EK 5.3	T=0.1s-1s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları (Açıklamalar şekil 29'daki gibidir.)	83
Şekil EK 5.4	T=1s-10s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları (Açıklamalar şekil 29'daki gibidir.)	85
Şekil EK 5.5	T=10s-100s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları (Açıklamalar şekil 29'daki gibidir.)	87
Şekil EK 5.6	T=100s-1000s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları (Açıklamalar şekil 29'daki gibidir.)	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Phoenix V5 System 2000 cihazının örnekleme aralıkları	7
Çizelge 3.1 Bahr metodu kriterlerine göre nitelendirilen yerelektrik boyutluluğu ve distorsiyon türleri	31
Çizelge 3.2 Wal sabitleri ve boyutluluk kriterleri	37

EKLER

- EK-4.1: Çalışma alanı jeoloji haritası (MTA Genel Müdürlüğü 2002, 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritası Ankara, Zonguldak Paftalarından yararlanılarak çizilmiştir.) (Kaya vd, 2009)
- EK-5.1: T=0.001s-0.01s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları
- EK-5.2: T=0.01s-0.1s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları
- EK-5.3: T=0.1s-1s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları
- EK-5.4: T=1s-10s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları
- EK-5.5: T=10s-100s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları
- EK-5.6: T=100s-1000s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları

1 GİRİŞ

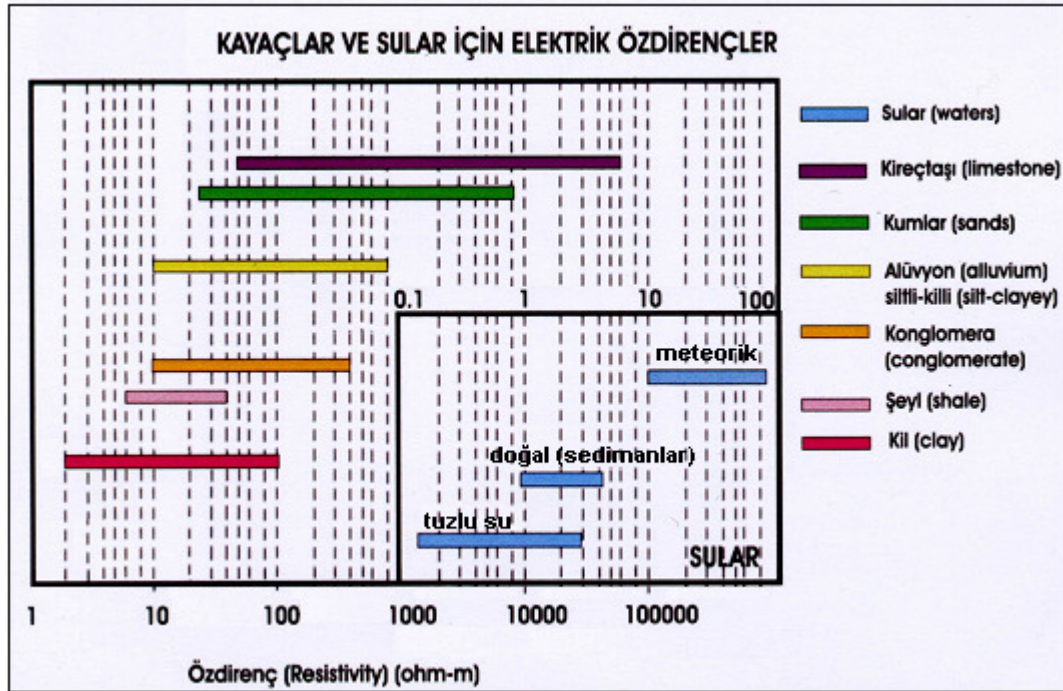
Manyetotellürik (MT) yöntem çoğunlukla 10^{-4} - 10^4 Hz frekans aralığında, doğal elektrik ve manyetik alan değişimlerinin ölçülerek yer elektrik özdirenç yapısının belirlendiği bir yöntemdir (Vozof 1972). Yeraltının elektriksel özelliklerini ortaya çıkararak jeolojik yapının belirlenmesinde kullanılır. Kuramsal ilkeleri Tikhanov (1950) ve Cagniard (1953) tarafından belirlenmiştir. MT yöntemde geniş frekans aralığı kullanıldığından dolayı yerkürenin derin elektrik özdirenç yapısının araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (İlkışık 1980; Ingham vd. 1982; Larsen 1986; Ingham 1988; Kurtz vd. 1993; Gürer 1996; Honkura ve diğ. 2000; Çağlar 2001; Bayrak and Nalbant 2001; Uluggerli vd, 2007; Yılmaz ve Özel, 2008)

Kayaçların elektrik iletkenliği, iletken minerallerin bolluğu ve dağılımı gözeneklerin şekli ve hacmi, gözenek akışkanının iletkenliği gibi petrolojik ve fiziksel parametrelere bağlı olarak değişmektedir (Şekil 1.1). Bu özellikler yerin ilk 100 metresinde yüzey litolojisi, yeraltı suyu içeriği ve tuzluluk, kırık dağılımı ve kil içeriği tarafından belirlenir. Yer kabuğu içinde iletkenlik; sıcaklık, kırılma zonları, grafit ve metalik minerallerin yoğunluğu ve iletkenliği tarafından, mağmada ise; metamorfizma, kısmi ergime derecesi tarafından denetlenir.

Yer elektrik kesitlerinde derinlerdeki iletken yerler sıcak alanlarla ilişkiliyken sığ derinliklerde iletken anomaliler çökeltme havzalarına karşılık gelir. Böylece çökeltme havzalar, volkanik etkinlik bölgeleri ve faylar, özdirenç kesitlerinden kolayca belirlenebilir. Fakat ölçülen -MT verisi yerelektrik yapılarının boyutluluğunu maskeleyen bozulmalardan etkilenmektedir ve bu yüzden yanlış yorumlar ortaya çıkmaktadır. Doğru bir sonuç elde edebilmek için bu bozulmalar tanımlanmalı ve verilerden arındırılmalıdır. Bu nedenle iyi bir boyutluluk analizi yapılmalıdır. Boyutluluk analizi MT çalışmasının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. MT verisi boyutluluğu birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Swift 1967; Berdichevsky ve Dimitriev 1976; Bahr 1988; Bahr 1991; Lilley 1993; 1998a;1998b; Fisher ve Masero 1994; Szarka ve Menveille 1997; Romo et al. 1999; Weaver et al. 2000; Caldwell et. al. 2004). Bu çalışmada boyutluluk analizi, empedans tensöründen elde edilen WAL sabitleri (invariant) (Weaver et al., 2000) ile yapılmıştır.

İnceleme alanı ve çevresi ile ilgili jeolojik bilgiler, Akyol vd 1974; Bingöl vd. 1975; Dill 1976; Şengör ve Yılmaz 1981; Dizer ve Meriç 1983; Şengör vd. 1984; Karey 1986; Okay 1989; Tansel 1989; Tüysüz 1990; Okay ve Mostler 1994; Kozur ve Kaya 1994; Alişan ve Derman 1995; Okay vd, 1995; Monod vd. 1996; Okay 1996; Okay vd. 1996; Okay ve Nonie 1997; Yılmaz vd. 1997; Tüysüz 1999; Okay ve Tüysüz 1999; Levent ve Sherlock vd. 1999; Yiğitbaş vd. 2004; Droop vd. 2005; Okay vd. 2006'da derlenmiştir.

Ülkemizde kabuk kalınlığı önemli değişiklikler sunar. Kabuk kalınlığındaki değişiklikler yeraltı zenginliklerinin oluşumunda ve araştırılmasında önemli bir bilgi kaynağıdır. Yeraltı kaynakları araştırmaları için yer kabuğunun kalınlığının ve yapısının bilinmesi gerekir. Yerkabuğu kalınlığı araştırmalarıyla; petrol basen analizi, hidrotermal maden yataklarının oluşabileceği yerler, levha sınırları, mağma sokulumları, depremlerin oluşacağı bölgelerin ve oluşabilecek deprem şiddetlerinin bilinmesi gibi konularda yararlı bilgiler sağlamaktadır.



Şekil 1.1 Kayaçların elektrik iletkenlikleri (Telford ve diğ., 1990 ve Jacosky, 1950'den birleştirilerek alınmıştır)

Tez kapsamında TUBİTAK “Kuzey Batı Anadolu’nun Kabuk Yapısının Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması” isimli MTA Genel Müdürlüğü’nün müşteri Cumhuriyet Üniversitesi ve Ankara Üniversitesi’nin yürütücü olduğu Proje kapsamında ilk iki profil boyunca ölçülen MT verilerinden çeşitli periyotlar için yeraltının boyutluluğu ve galvanik bozulmalardan (distortion) etkilenip etkilenmediği belirlenmiştir. MT verilerinin (görünür özdirenç ve faz) ters çözümü ile elde edilen yerelektrik modeller (Candansayar vd. 2008), boyutluluk analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bölgedeki jeolojik özellikler de gözetilerek çalışma alanının kabuk yapısı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2 YÖNTEM VE TEKNİKLER

Bu çalışmada 'Kuzey Batı Anadolu'nun Kabuk Yapısının Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması' adlı TÜBİTAK projesi kapsamında, 2007 yılında, ilk iki profil boyunca alınan ölçüler kullanılmıştır. Birinci profil Kıbrısık, Kırbaşı, Beypazarı, Günyüzü, Çeltik, Yunak, Turgut 'tan, ikinci profil ise, Akçakoca, Düzce, Dokurcun Vadisi, Emirdağ, Bolvadin, Çay'dan geçmektedir. Her iki profilde yaklaşık 3 km aralıklarla toplam 174 noktada Manyetotellürik (MT) ve Zaman Ortamı Elektromanyetik (Time Domain Electromanyetic, TEM) ölçüleri alınmıştır.

2.1 Manyetotellürik Yöntem

Bu bölümde MT yöntemin temel özellikleri, temel denklemler, yöntemin esasları ve nasıl uygulanacağı anlatılacaktır.

MT yöntem yerin derinlikle değişen elektrik özelliklerini görüntüleyerek yeraltının jeolojik yapısının ortaya çıkarılmasını sağlayan jeofizik yöntemlerden biridir. Bu yöntemin enerji kaynağı doğal elektromanyetik alandır.

Atmosfer, iyonosfer ve manyetosferde meydana gelen olaylar yer manyetik alanının değişmesine neden olur. Bu değişimler bir iletken gibi davranan yerküre içinde elektrik akımlarının akmasını sağlar ve indüklenen elektrik alanlar ikincil bir manyetik alan üretir. Böylece doğal elektromanyetik alan meydana gelmiş olur. MT yöntem elektrik alanın iki bileşeninin manyetik alanın üç bileşeninin eş zamanlı olarak ölçülmesi esasına dayanır. Kayaçların elektriksel özellikleri işte bu eş zamanlı olarak ölçülen elektrik alan ve manyetik alan bileşenleri arasındaki ilişkiden tespit edilmektedir.

Son yıllarda MT yöntemin kuramında, ölçüm aletlerinde ve yorum tekniklerinde önemli gelişmeler olmuştur. Bu sayede yeraltı jeolojisini yanal ve düşey yönde görüntülemeye daha uygun hale gelmiştir. Sadece kabuk araştırmalarında değil yöntem, aynı zamanda jeotermal alan aramaları (Haak vd. 1989; Başokur vd. 2001; Burçak ve diğ., 2005), jeolojik yapıların ve fayların araştırılması (Bai ve Meju 2003), Petrol ve doğalgaz aramalarında (Watts ve Pinçe, 1998) da kullanılmaktadır.

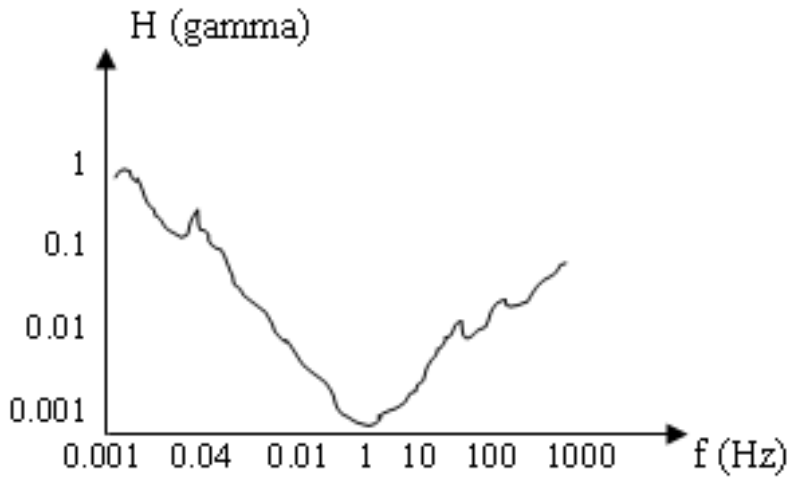
2.1.1 MT yöntemin kaynağı

Yermanyetik alanının Yerküre içinde zamanla değişen doğal elektromanyetik alanın iki önemli kaynağı (iç kaynaklı ve dış kaynaklı) bulunmaktadır. Dış kaynaklı alan

manyetosfer kaynaklıdır ve kısa sürelidir. Bunlar manyetik fırtınalar, körfezler, jetler, manyetik mikropulsasyonlar ve atmosferikler olarak sıralanabilir.

Atmosferik olayların yarattığı iç kaynaklı değişimler ise epoklar, 11 yıllıklar, periyodu 1 yıl olan yıllıklar, mevsimsel değişiklikler, güneşin kendi etrafında dönmesinden kaynaklanan 27 günlükler şeklinde gruplandırılmaktadırlar.

1 Hz civarında doğal elektromanyetik alan çok küçüktür ve 0,2s-2s arası ölü bant olarak adlandırılır. Bu aralıkta düşük genlikli MT sinyalleri elde edilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Yer manyetik alanının değişimi (Keller ve Frischknecht, 1966)

2. 1. 2 MT yöntemde ölçüm

MT yöntemde yeryüzünde yatay doğrultuda yer elektrik alan şiddetinin iki bileşeni (E_x , E_y), manyetik alanın üç bileşeni (H_x , H_y , H_z), zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Manyetik alanı ölçmek için manyetik alan algılayıcıları (bobinler), elektrik alanı ölçmek için elektrik alan algılayıcıları (elektrotlar) kullanılır. Ölçü konumunu belirlemek ve diğer istasyonlarla ölçü zamanını ayarlamak için GPS kullanılır. Elektrik ve manyetik alanlar genellikle manyetik kuzey-güney doğrultusunda ölçülür. Sistem, veri işlem aşamasında belirli bir rotasyon açısına göre matematiksel olarak jeolojik doğrultuya (strike) döndürülür. Ölçü sistemi ölçü noktasının koşullarına uygun olarak L veya + şeklinde yerleştirilebilir (Şekil 2.2).

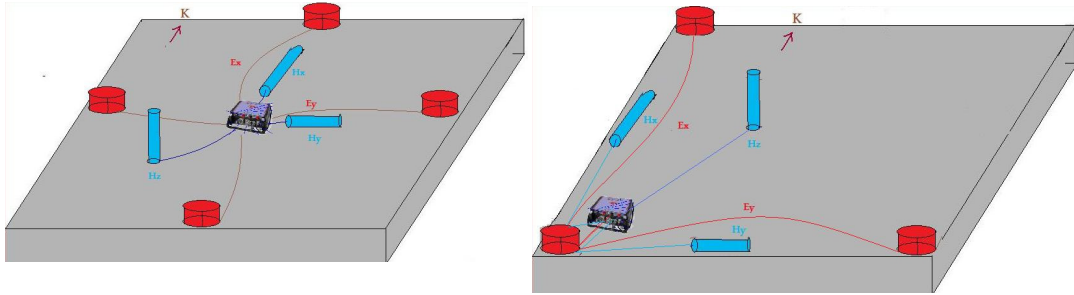
Elektrik alanı ölçmek için dört adet polarize olmayan kuşun-kurşun klorür ($Pb-PbCl_2$) içeren geçirgen seramik kablardan oluşan potansiyel elektrotları kullanılır.

Elektrotlar arası uzaklık arazi koşullarına göre 50m ile 200m arasında değişir. Kuzey-Güney doğrultusundaki elektrotlar E_x , Doğu-Batı doğrultusundakiler ise E_y

olarak adlandırılır. Elektrotlar en az 25 cm derinlikteki içi çamur olan çukurlara yerleştirilir.

Manyetik alan ise çekirdeğinde iletken bulunan indüksiyon bobinleri ile ölçülür. Bu çalışmada kullanılan MTC-50 bobinleri 400 Hz-0.00002 Hz arasına hassastır. Yatay bobinler kuzey ve doğu yönüne paralel olarak yerleştirilirler. Serbest ucu kuzeyi gösterecek şekilde yerleştirilen bobin Hx olarak, serbest ucu doğuyu gösteren bobin ise Hy olarak adlandırılır. Hz olarak isimlendirilen üçüncü bobin mümkün olduğunca hassas şekilde düşey ve bobinin tamamını kapatacak derinlikte bir çukura yerleştirilmelidir.

İyi bir ölçüm alabilmek için enerji nakil hatları, yollar, demir yolları metalik çitler, boru hatları gibi gürültü kaynaklarından uzak, sakin yerlerde ölçü alınmalıdır.



Şekil 2. 2 MT yöntemi arazi düzeneği a)+ şeklinde, b)L şeklinde

Manyetotellürik yöntemde ölçüm, yüksek frekanslar için birkaç saat düşük frekanslar için birkaç gün sürmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında MT ölçümleri için 4 adet Phoenix V5 System 2000 ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.3). Bu sistemde kayıt süresince alçak geçişli filtre kullanılarak verilen bantta veri elde edilmiştir (Çizelge 2.1). Frekans aralığı yaklaşık olarak 400 Hertz ile 0,000129 Hertz' dir. Cihaz akü bağlantısı ile çalışmaktadır. Çıkarılabilir hafıza kartları ile birkaç günlük kesintisiz MT verisi depolayabilir.

Çizelge 2.1 Phoenix V5 System 2000 cihazının örnekleme aralıkları

Bant	Başlangıç Frekansı (Hz)	MT (Hz)	AMT (Hz)
2		-	24000
3	352.94118	2400	2400
4	35	150	150
5	5	15	-

Gürültüyü azaltarak iyi sonuç elde edebilmek için ölçü noktasına uzak bir ölçüm daha kurulur. 50 Hertz şebeke frekansı dışında insan faaliyetlerinden kaynaklanan elektriksel gürültü uzaklıkla birlikte değişir. Doğal manyetik sinyal uzak mesafelerde her ne kadar aynı olma eğilimde olsa da frekans düştükçe değişim de azalır. Bu yüzden sistemlerden biri uzak gürültüsüz bir yere yerleştirilerek uzak-karşılaştırma 'remote-reference' istasyonu olarak tayin edilebilir. Farklı yerlerden toplanan veriler yerel gürültülerin önemli ölçüde bastırılması için birlikte işlenir.



Şekil 2. 3 Ölçü almada kullanılan Phoenix V5 Sistem 2000 cihazı ve ekipmanlar

2. 1. 3 MT yöntemin temel ilkeleri

Manyetotellürük değerdendirmelerde doğal elektromanyetik dalğanın yer içinde yayılımı ilkeleri kullanılarak yeri oluşturan kayaçların özdirençleri ve yeraltı yapısı bulunabilir. Elektromanyetik alan Ampere, Faraday ve Coulomb gibi bilim adamlarının deneysel çalışmaları sonucunda bulunan ve Maxwell tarafından biraraya getirilen denklemlerle açıklanmaktadır. Bu denklemler zaman ortamında,

$$\nabla_x \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t \quad (\text{Faraday Yasası}) \quad (2.1)$$

$$\nabla_x \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t \quad (\text{Ampere Yasası}) \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (\text{Manyetik alan için Gauss Yasası}) \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v \quad (\text{Elektrik alan için Gauss Yasası}) \quad (2.4)$$

olarak tanımlanır. Bu dört denklem sırasıyla, değışken manyetik alanın elektrik alan ürettiğini (Faraday' ın İndüksiyon Yasası), yüklerin ve değışken elektrik alanların manyetik alan ürettiğini (Ampere-Maxwell Yasası), elektrik alanın elektrik yükler tarafından oluşturulduğunu (Gauss Yasası) ve manyetik alanın kaynağının, manyetik yük olmadığını gösterirler.

Faraday ve Ampere kanunları ile yer yapıları arasındaki bağıntı ilişkilendirici denklemlerle ifade edilebilir. Bunlardan birincisi elektrik alan ve akım yoğunluğu arasındaki ilişkidir,

$$\mathbf{J} = \sigma \cdot \mathbf{E} \quad (2.9)$$

diğer bağıntı, elektrik alan ve yer değıştirme akımı arası ilişkidir,

$$\mathbf{D} = \varepsilon \cdot \mathbf{E} \quad (2.10)$$

son olarak da manyetik alan ile manyetik akı yoğunluğu arasındaki ilişki

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} \quad (2.11)$$

ile verilir.

Frekans ortamında Maxwell denklemleri,

$$\nabla_x \mathbf{E} + i\omega\mu\mathbf{H} = 0 \quad (2.5)$$

$$\nabla_x \mathbf{H} - (\sigma + i\epsilon\omega)\mathbf{E} = 0 \quad (2.6)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (2.7)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (2.8)$$

ile tanımlanmaktadır.

Yukarıda tanımlanan σ , ϵ , μ terimleri frekansa bağlı olarak değişmezler. Değişken olma özelliklerinden yararlanarak jeofizik yöntemlerde parametre olarak kullanılırlar. Yeri oluşturan kayaçların öziletkenlikleri 10^{-4} Seimens/m' den küçük ve dielektrik geçirgenlikleri 10^{-11} Farad/m civarında olduğundan, 100 kHz' den küçük frekanslarda $\sigma \gg \epsilon\omega$ olduğunda (quasi-statik limit), yer değiştirme akımı ihmal edilebilir. Ortamın manyetik geçirgenliği (μ) yerine serbest havanın manyetik geçirgenliği ($\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Henry/m) ve ortamın dielektrik sabiti (ϵ) yerine serbest havanın dielektrik sabiti (ϵ_0) ($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m) kullanılabilir. Quasi-statik limit şartları kullanıldığında (2.5), (2.6), (2.7) ve (2.8) eşitlikleri;

$$\nabla_x \mathbf{E} = -i\omega\mu\mathbf{H} \quad (2.12)$$

$$\nabla_x \mathbf{H} = \sigma\mathbf{E} \quad (2.13)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (2.14)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (2.15)$$

şekline gelir.

(2.5) denkleminin her iki tarafının rotasyoneli alınır,

$$\nabla_x \nabla_x \mathbf{E} + i\omega\mu \nabla_x \mathbf{H} = 0 \quad (2.16)$$

Burada $\nabla_x \mathbf{H}$ yerine (2.6) denklemi konursa,

$$\nabla_x \nabla_x \mathbf{E} + i\omega\mu(\sigma + i\omega\epsilon)\mathbf{E} = 0 \quad (2.17)$$

olur. Matematiksel işlemler yapılır, vektörlerin $\nabla_x \nabla_{xa} = \nabla \nabla \cdot a - \nabla^2 a$ özelliğinden yararlanır ve $\nabla \cdot E = 0$ (2.14) denklemi kullanılırsa,

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

Elektrik alan dalga denklemi elde edilir. Benzer şekilde (2.6) denkleminde verilen Ampere yasası kullanılarak ,

$$\nabla^2 \mathbf{H} + (\epsilon\mu\omega^2 - i\mu\sigma\omega)\mathbf{H} = 0 \quad (2.19)$$

Manyetik alan dalga denklemi elde edilir.

$$k^2 = \epsilon\mu\omega^2 - i\mu\sigma\omega \quad (2.20)$$

biçiminde tanımlanırsa

$$\nabla^2 \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} = 0 \quad (2.21)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} + k^2 \mathbf{H} = 0 \quad (2.22)$$

elektromanyetik dalga denklemi çifti daha sade bir şekilde bulunmuş olur. k dalga boyunun tersidir ve dalga sayısı olarak adlandırılır. Frekansın düşük olduğu yöntemlerde (Manyetotellürük yöntem) k 'nın sanal kısmı gerçel kısmından çok büyük olacağından ($i\mu\sigma\omega \gg \mu\epsilon\omega^2$), yerdeğiştirme akımı ihmal edilebilir. Bu durumda $k^2 = i\mu\sigma\omega$ bağıntısı ile verilir ve difüzyon denklemi adını alır.

Zaman ortamı elektromanyetik dalga denklemleri ise,

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = 0 \quad (2.23)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = 0 \quad (2.24)$$

şeklinde yazılır. Quasi-statik şartları göz önünde tutularak yer değiştirme akımları ihmal edilirse, MT yönteminde, Maxwell denklemleri ve malzeme denklemleri kullanılarak elde edilen aşağıdaki iki

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = 0 \quad (2.25)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = 0 \quad (2.26)$$

biçiminde yalın olarak yazılabilir.

2. 1. 4 Tensörel empedans ve manyetotellürük tensör

Manyetik alanın zamana göre değişimi, düzlem dalganın manyetik bileşeninin değişimi olarak alınır, manyetik alandaki değişimlerle yerkürenin öz direnci ile yerkürede indüklenen gerilimin değişimi arasındaki ilişki hesaplanabilir. Elektrik alan bileşenlerinden birinin, ona dik yöndeki manyetik alan bileşenine oranı elektromanyetik dalga empedansı olarak bilinir ve her bir bileşeninden ($Z_{xx}, Z_{xy}, Z_{yy}, Z_{yx}$) her bir frekans için bir görünür öz direnç ve faz hesaplanabilir (Vozoff, 1972).

Verileri zaman ortamından frekans ortamına aktarmak için ayrık fourier dönüşümleri,

$$X(f) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n\Delta t) e^{-i\omega n\Delta t} \quad (2.27)$$

ile yapılır. Arazide zaman ortamında ölçülen E ve H değerlerinin frekans ortamındaki genlik ve fazları

$$\mathbf{E}_x(f) = |\mathbf{E}_x(f)| e^{-i\phi_{E_x}(f)} \quad (2.28)$$

$$\mathbf{H}_y(f) = |\mathbf{H}_y(f)| e^{-i\phi_{H_y}(f)} \quad (2.29)$$

bağıntıları ile verilir. Buradan empedans bağıntısı

$$Z_{xy} = \frac{|\mathbf{E}_x(f)|}{|\mathbf{H}_y(f)|} e^{i(\phi_{E_x} - \phi_{H_y})} \quad (2.30)$$

olarak tanımlanır. Empedans gerçel ve sanal yanı olan karmaşık bir sayıdır ve empedansın genliği elektrik ve manyetik alanların genlikleri oranına eşittir:

$$|Z_{xy}(f)| = \left| \frac{\mathbf{E}_x(f)}{\mathbf{H}_y(f)} \right| \quad (2.31)$$

Empedansın fazı da elektrik ve manyetik alanların fazları farkına

$$\phi_{Z_{xy}} = \phi_{\mathbf{E}_x} - \phi_{\mathbf{H}_y} \quad (2.32)$$

Eşittir. Elektrik ve manyetik alan bileşenleri birbirlerine,

$$\begin{aligned} E_x &= Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \\ E_y &= Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \end{aligned} \quad (2.33)$$

bağıntıları ile bağlıdır. Bu denklem dört eleman kapsayan empedans tensörü kullanılarak;

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} \quad (2.34)$$

dizayn denklemleri ile de ifade edilebilir. Alan bileşenleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için H yerine B kullanılarak, Manyetotellürik tensör 'M' (m/s) aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{xx} & M_{xy} \\ M_{yx} & M_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \end{pmatrix} \quad (2.35)$$

Burada $\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu_0$ 'dır. Bu tezde empedans tensörü yerine manyetotellürik tensör ifadesi kullanılacaktır. M, Z cinsinden,

$$\mathbf{M} = \mathbf{Z} / \mu_0 \quad (2.36)$$

ile ifade edilmektedir. MT tensörü de empedans gibi karmaşık bir sayıdır ve kartezyen şekli,

$$M_{ij} = \text{Re}(M_{ij}) + i.\text{Im}(M_{ij}) \quad (2.37)$$

dir. Polar biçimde ise,

$$M_{ij} = |M_{ij}| e^{i\varphi} \quad (2.38)$$

olarak gösterilir.

2. 1. 5 MT yöntemde görünür özdirenç bağıntısı

Homojen izotrop yer için zaman ortamında dalga denklemi dik koordinat sisteminde aşağıdaki gibi verilir:

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}_x}{\partial z^2} = \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}_x}{\partial t}, \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}_y}{\partial z^2} = \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}_y}{\partial t}, \quad (2.41)$$

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}_z}{\partial z^2} = \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}_z}{\partial t}, \quad (2.42)$$

x yönündeki bir elektrik akımı için elektrik alanın x' e ve y' ye göre türevleri alındığında Ey, Ez sıfır olur ve buradan elektrik alan bileşeni Ex, z derinliğine ve t zamanına bağlı olarak ifade edilir:

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}_x}{\partial z^2} = \mu \frac{\partial \mathbf{E}_x}{\partial t} \quad (2.43)$$

Bu denklemin çözümü için $k = (i\mu\sigma\omega)^{1/2}$ olarak alınır ve A, B' nin sabit olduğu kabul edilirse, elektrik alan bileşeni

$$\mathbf{E}_x = A e^{kz} + B e^{-kz} \quad (2.44)$$

biçiminde yazılabilir. $\exp(i\omega t)$ zaman faktörü olarak alınırsa,

$$\mathbf{E}_x = (Ae^{kz} + Be^{-kz})e^{i\omega t} \quad (2.45)$$

denklemini yazılabilir. 1. Maxwell denkleminde yararlanılarak,

$$\frac{\partial \mathbf{E}_x}{\partial z} = -i\omega\mu \mathbf{H}_y \quad (2.46)$$

yazılabilir ve manyetik alan denklemini aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$\mathbf{H}_y = -\frac{k}{i\omega\mu} (Ae^{i\omega t+kz} + B^{i\omega t-kz}) \quad (2.47)$$

Homojen yarı sonsuz ortam için 2.46 ve 2.47 bağıntılarında z sonsuza gittiğinden $A = 0$ olduğu görülür. Buna göre bağıntılar yeniden düzenlenir ise

$$\mathbf{E}_x = Be^{-kz} \quad (2.48)$$

$$\mathbf{H}_y = -\frac{k}{i\omega\mu} Be^{-kz} \quad (2.49)$$

elde edilir. Elektrik alanın manyetik alana oranı dalga empedansı olarak tanımlanmaktadır. 2.48 ve 2.49 bağıntılarının birbirine oranı homojen ortam için empedans bağıntısını verir. Düzlem dalga yayılımında empedans frekansa ve ortamın elektrik özelliklerine bağlıdır.

$$Z = i\omega\mu / k \quad (2.50)$$

$$k = (i\omega\mu\sigma)^{1/2} = (1+i)(\omega\mu\sigma / 2) \quad (2.51)$$

olarak alınır ve 2.50 bağıntısını yeniden yazarsak homojen izotrop ortam için dalga empedansı

$$Z = (\omega\mu / \sigma)^{1/2} e^{i\pi/4} \quad (2.52)$$

olarak bulunur. Empedansın birimi ohm' dur. Homojen ortamlarda empedansın fazı ($\Phi_z = 45^\circ$) sabittir. Dalga empedansı bağıntısında, iletkenlik yerine özdirenç yazılır ve bağıntıdan çekilir ise;

$$\rho = \frac{-i}{\omega\mu} Z^2 \quad (2.54)$$

elde edilir. Bu denklemden bulunan özdirenç homojen ortam için gerçek özdirenci verir. Özdirencin birimi ohm.m 'dir. Çok tabakalı bir ortamda görünür özdirenç tanımlaması yapılır ve (2.54) denkleminin genliği yazılırsa,

$$\rho_{a_{ij}} = \frac{1}{\omega\mu} |Z|^2 \quad (2.55)$$

MT yöntemde geleneksel olarak kullanılan Cagniard (1953) görünür özdirenç bağıntısı elde edilmiş olur. MT tensörü kullanarak görünür özdirenç,

$$\rho_{a_{ij}} = \frac{\mu_0}{\omega} |M_{ij}|^2 \quad (2.57)$$

olarak tanımlanabilir. Yeraltındaki yapıların iletkenliği hakkında ek bilgi sağlayan faz ise,

$$\Phi_{ij} = \arctan \left(\frac{\text{Im}(M_{ij})}{\text{Re}(M_{ij})} \right) \quad (2.58)$$

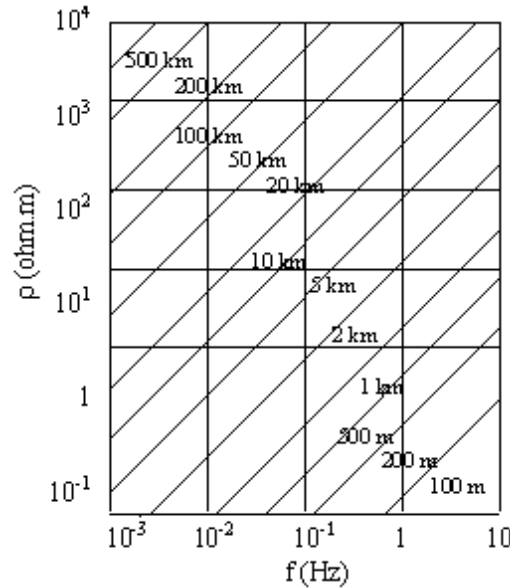
ile verilir.

2. 1. 6 Etkin derinlik

Elektromanyetik dalganın şiddetinin 1/e ye düştüğü derinliğe etkin derinlik (skin depth) denir (Jones, 1983) ve aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\delta = 503(\rho / f)^{1/2} \quad (2.59)$$

denklemlerle bulunur. Burada δ : etkin derinlik (m), f: frekans (Hertz), ρ : özdirençtir (ohm.m). Etkin derinlik frekansın ve iletkenliğin bir fonksiyonudur (Şekil 2.4). Yeryüzünde herhangi bir noktada MT alan ölçülür ve bu alanın empedansı hesaplanırsa etkin derinliğe kadar olan ortamın iletkenliği hakkında bilgi toplanabilir.



Şekil 2. 4 Özdirenç ve etkin derinlik ilişkisi

2. 1. 7 Boyutluluk

Empedans tensörü ve Manyetotellürik tensörün bileşenleri arasındaki ilişkiler, elektrik iletkenliğin uzaysal dağılımına bağlı olarak belirli ifadelerle indirgenebilir. Bu uzaysal dağılımlar yer elektrik boyutluluğu olarak bilinir ve 1B, 2B veya 3B olarak sınıflandırılabilirler.

2. 1. 7. 1 1B özdirenç modeli

Ortamın özdirenci z yönünde yatay tabakalar halinde değişiyorsa (Şekil 2.5) bu duruma yatay tabakalı ortam ya da 1B ortam denir. İletkenlik yalnızca z yönünde değiştiğinden

EM dalga denklemlerindeki $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ ve $\frac{\partial^2}{\partial y^2}$ terimleri sifira eşit olur. Bunun sonucunda elektromanyetik dalga denklemleri (2.25 ve 2.26),

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} - \mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (2.60)$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial z^2} - \mu\sigma \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (2.61)$$

biçiminde yazılır. Frekans ortamında EM dalga denklemleri,

$$\frac{\partial^2 H}{\partial z^2} - i\omega\mu\sigma H = 0 \quad (2.62)$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} - i\omega\mu\sigma E = 0 \quad (2.63)$$

olarak verilir. Bir boyutlu ortamda MT tensörünün diyagonal elemanları sıfırdır, diğer bileşenleri ise zıt işaretli olarak birbirine eşittir:

$$\begin{aligned} M_{xx} &= M_{yy} = 0 \\ M_{xy} &= -M_{yx} \neq 0 \end{aligned} \quad (2.64)$$

Dizey şeklinde frekansa bağlı olarak

$$M_{1D}(\omega) = \begin{pmatrix} 0 & M(\omega) \\ -M(\omega) & 0 \end{pmatrix} \quad (2.65)$$

ile tanımlanır. Bununla ilişkili olarak verilen frekansta eğer ortam homojen ve yatay tabakalanmışsa $\rho_{xy} = \rho_{yx}$ birbirine eşit olur.

$$\rho_{xy} = \rho_{yx} = \frac{\mu_0}{\omega} |M|^2 \quad (\Omega m) \quad (2.66)$$

Faz ise ;

$$\Phi = \arctan \left(\frac{\text{Im}(M)}{\text{Re}(M)} \right), \quad (2.67)$$

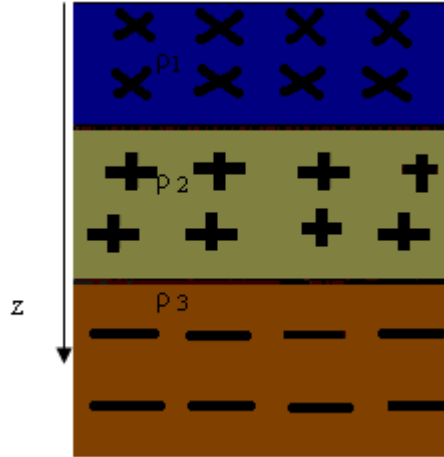
$$\Phi_{yx} = \Phi_{xy} - \pi$$

olur.

Belirli bir iletkenliğe ($\sigma (= 1/\rho)$) olan yarı sonsuz homojen bir yer için MT tensör, (2.65) denklemindeki şeklini alır ve

$$\text{Re}(M) = \text{Im}(M) = \sqrt{\rho\omega/2\mu_0} \quad (2.68)$$

olur. Görünür özdirenç ortamın özdirencine eşittir. Faz 45° dir.



Şekil 2. 5 1B ortam

2. 1. 7. 2 2B özdirenç modeli

Yeraltı özdirenci bir yatay yön (y) boyunca sabit iken diğer düşey (z) ve yatay (x) yönde değişiyorsa, bu duruma 2B özdirenç modeli denir. Özdirencin sabit olduğu yer elektrik doğrultusu jeolojik doğrultu olarak bilinir. Homojen yarı sonsuz bir kırık jeolojik doğrultuya örnek olarak verilebilir. Kırık bölgesinin özdirencinin her iki tarafından da farklı olduğunu düşünürsek kırık bölgesi bir jeolojik doğrultu tanımlamaktadır ve çevresi ile arasında özdirenç farkı olan bu yapıya jeofizik mühendisliğinde elektriksel uzanım (strike) ismi verilir. Strike doğrultusunun MT

araştırmalarında kullanılan ölçüm düzlemindeki y eksenine paralel olduğu ($x \equiv x'$ ve $\theta=0$) ve iletkenliğin z ve x yönlerinde değiştiği varsayılır (şekil 8). Bu durumda elektomanyetik dalga denklemlerinde sadece $\frac{\partial^2}{\partial y^2}$ ifadeleri sıfıra eşit olur ve elektomanyetik dalga denklemleri,

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial z^2} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = 0 \quad (2.69)$$

$$\frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial z^2} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = 0 \quad (2.70)$$

biçiminde verilir. düşey ve yatay manyetik alan bileşenleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$H_z = T_{zx} H_x + T_{zy} H_y \quad (2.71)$$

burada T, Tipper (Wiese-Parkinson Matrix) olarak adlandırılır. Tipper, düşey manyetik alanın yatay manyetik alan cinsinden tanımlanmasında kullanılan bir vektörel büyüklüktür. Bu denklem aşağıdaki gibi dizey denklemi ile de ifade edilebilir.

$$H_z = \begin{bmatrix} T_{zx} & T_{zy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad (2.72)$$

Burada T_{zx} ve T_{zy} manyetik transfer fonksiyonu olarak adlandırılan kompleks katsayılardır (Ting ve Hogman, 1981). 2-B yapılarında süreksizlik x yönünde ise $T_x = 0$, y yönünde ise $T_y = 0$ olur. Dolayısıyla x'yönünde jeolojik doğrultulu 2-B bir yapı verildiğinde yukarıdaki denklem aşağıdaki gibi basitleştirilebilir.

$$H_z = T_{zy}' H_y \quad (2.73)$$

2 veya 3 boyutlu durumda T'nin değeri 0,5 ile 1 arasındadır. Tipper manyetik alanın H_z vektörünü yatay düzlemin dışına doğru eğen bir büyüklüktür (Vozoff, 1991).

Ölçülen H_z ve T_i kullanılarak yatay bileşenlerden elde edilen H_z değerlerinin karşılaştırması yapılarak ek bilgi sağlanır (Jupp ve Vozoff, 1977; Vozoff, 1991).

Yanal değişim yoksa 1B ortamda $H_z=0$ olur. Bu durumda 1B ortamda $T=0$ 'dır. Genel olarak 2-B ortam için gürültüsüz bir veride T_x ve T_y aynı fazda olacaklardır. Bu durumda T_y/T_x oranı gerçel bir sayıdır ve faz açısı $\phi = \arctan(T_y/T_x)$ olur.

Tipper yanal iletkenlik değişimlerine duyarlıdır ve indüksiyon okları olarak bilinen vektörlerle temsil edilebilir (Parkinson, 1959; Schmucker, 1970). Genellikle okların yönü akım konsantrasyonunun olmadığı yeri (yüksek rezistivite) işaret eder. Jeolojik doğrultuyu belirlemek için de kullanılabilir. Yer elektrik doğrultusundaki belirsizliği çözmeye yardımcı olması yanı sıra tipper iletkenliğin nerede arttığını gösterir (Vozoff, 1991). İki boyutlu yapılarda tipperin yönü yapının yer elektrik doğrultusuna dik olmalıdır. Bununla beraber 3-B yapılar için tipper yönü değişir ve iletkenliğin olmadığı yeri işaret eder (Ting ve Hoohman, 1981).

Yüksek frekanslarda sapma genliği daha büyüktür ve konturlar iletken cismin sınırının dışına doğru yönelirler (Ting ve Hohmann, 1981).

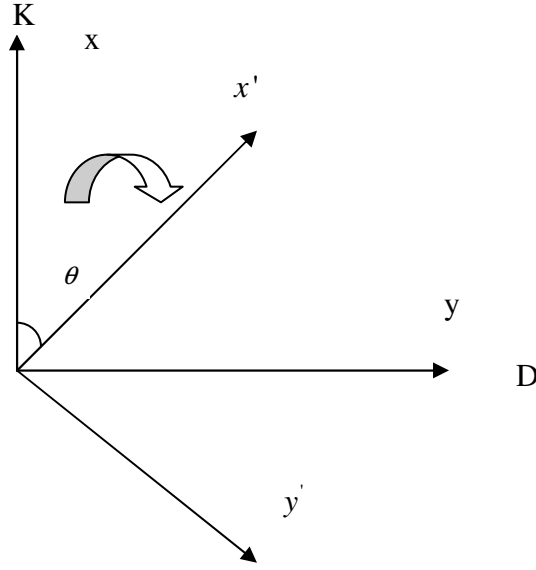
Düşey manyetik alanın yatay manyetik alana oranı karmaşık bir sayı olduğundan T_x ve T_y 'den tipperin genliği ve fazı aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$T = \sqrt{|T_x|^2 + |T_y|^2} \quad (2.74)$$

$$\phi = \frac{|T_x|^2 \phi_{T_x} + |T_y|^2 \phi_{T_y}}{|T_x|^2 + |T_y|^2} \quad (2.75)$$

2. 1. 7. 3 Rotasyon açısı

Jeolojik doğrultunun arazi çalışması esnasında bilinmemesi MT yönteminin uygulama sorunlarından biridir. Bu yüzden arazi uygulamalarında empedans tensörü ölçüm eksenleri genellikle manyetik KG ve DB doğrultularında seçilir. Daha sonra sistem matematiksel olarak jeolojik doğrultuya dik veya paralel oluncaya kadar döndürülür. Döndürme açısı (θ) manyetik kuzey ile elektriksel uzanım doğrultusu (saat yönüne doğru) arasındaki açıyı gösterir (Şekil 2. 6).



Şekil 2. 6 Rotasyon Açısı

θ açısını bulmak için Swift's çözümleri kullanılır. Bu durumda

$$|Z_{xx}|^2 + |Z_{yy}|^2 \quad (2.76)$$

değerini en küçük yapan bir θ açısı aranır. Basit işlemler sonunda

$$4\theta = \tan^{-1} \left[\frac{(Z_{xx} - Z_{yy})(Z_{xy} - Z_{yx}) + (Z_{xx} - Z_{yy})(Z_{xy} - Z_{yx})}{|Z_{xx} - Z_{yy}|^2 - |Z_{xy} - Z_{yx}|^2} \right] \quad (2.77)$$

değeri elde edilir (Swift, 1967; Vozoff 1991). Bu bağıntıdan elde edilen açı ideal koşullarda elektriksel uzanımın doğrultusunu verecektir. θ değiştikçe Z'_{xx} ve Z'_{yy} sıfıra yaklaşıyorsa; ölçüm yönleri yer elektrik doğrultusu ile aynı yöndedir. Eğer empedans bileşenlerden biri jeolojik doğrultuya (x-yönü) dik diğeri de paralel ise $\rho_{a_{xy}}, \rho_{a_{yx}}$ eğrilerinin isimleri sırasıyla $\rho_{a_{TE}}, \rho_{a_{TM}}$ olur.

E alan vektörünü θ açısı kadar saat yönünde döndürürsek E alan vektörü E' olur ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{pmatrix} Ex' \\ Ey' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Ex \\ Ey \end{pmatrix} \quad (2.78)$$

veya $E' = RE$ olur. Aynı şekilde $H' = RH$ olur ve $Z' = RZR^T$ olur. Burada R ,

$$R = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2.79)$$

olarak tanımlanır. R^T R 'nin transpozudur ve

$$R^T = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2.80)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Arazide ölçüm aşamasında elde edilen empedansın döndürme işlemi sonunda elde edilen değerine eşit olduğu kabul edilir (Vozoff, 1991).

Döndürme işleminden sonra empedans elemanları aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$Z'_{xx}(\theta) = \frac{Z_{xx} + Z_{yy}}{2} - Z_0 \left(\theta - \frac{\pi}{4} \right) \quad (2.81)$$

$$Z'_{yy}(\theta) = \frac{Z_{yy} + Z_{xx}}{2} + Z_0 \left(\theta - \frac{\pi}{4} \right) \quad (2.82)$$

$$Z'_{yx}(\theta) = \frac{Z_{yx} - Z_{xy}}{2} + Z_0(\theta) \quad (2.83)$$

ve

$$Z_0 \text{ ise, } Z_0(\theta) = \frac{Z_{xx} + Z_{yy}}{2} \cos 2\theta - \frac{Z_{xx} - Z_{yy}}{2} \sin 2\theta \quad (2.84)$$

Elde edilecek empedanslar elektrik ve manyetik alanların ölçüm doğrultusuna bağlı olarak E' nin jeolojik doğrultuya paralel olduğu TE ve H' in jeolojik doğrultuya paralel olduğu TM modu biçimlerine ayrılırlar (Şekil 2.7). TE modu için manyetik

alanın y bileşeni ile elektrik alanın x ve z bileşeni, TM modu için ise manyetik alanın x ve z bileşeni, elektrik alanın ise y bileşeni sıfır kabul edilir.

TE modu için Maxwell denklemleri,

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = \sigma E_y \quad (2.85)$$

$$-\frac{\partial E_y}{\partial x} = -i\omega\mu H_z \quad (2.86)$$

$$-\frac{\partial E_y}{\partial z} = -i\omega\mu H_x \quad (2.87)$$

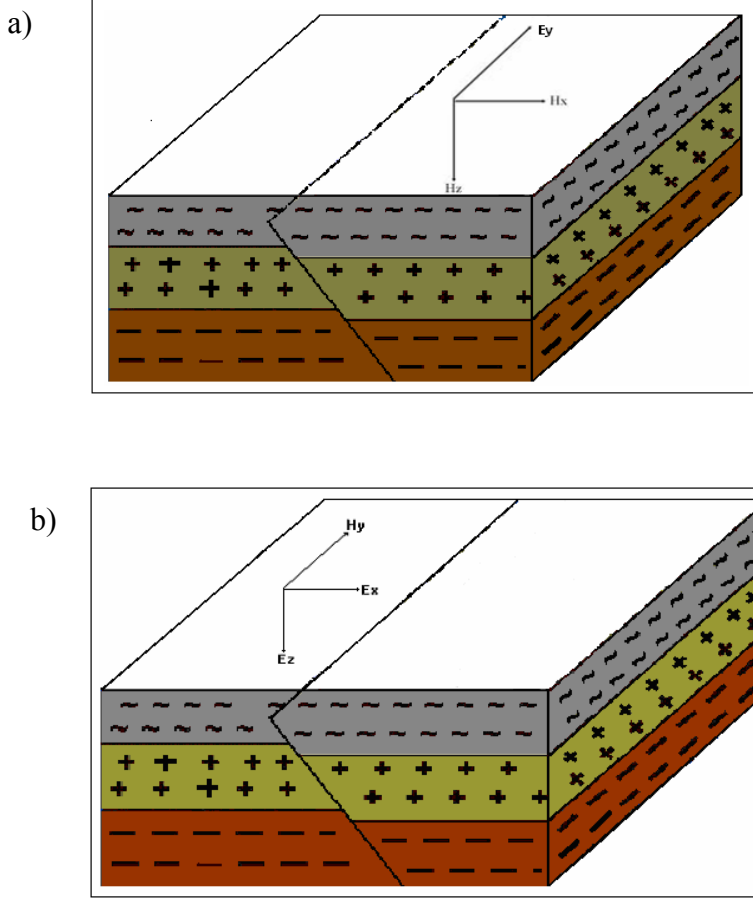
şeklinde verilir.

TM modu Maxwell denklemleri aşağıdaki gibi verilir.

$$-\frac{\partial H_y}{\partial z} = \sigma E_x \quad (2.88)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} = \sigma E_z \quad (2.89)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -i\omega\mu H_y \quad (2.90)$$



Şekil 2. 7 İki boyutlu yapı durumu: a)TE modu, $E(0,E_y,0)$, $H(H_x,0,H_z)$, b) TM modu, $E(E_x,0,E_z)$, $H(0,H_y,0)$ (Kaya, 2002)

İki ayrı durumda da alanların kutuplanması ve yapıdan etkilenmesi farklı olduğundan eğer x ya da y eksenlerinden biri elektriksel uzanım boyunca ise MT tensör nondiyagonaldır ve

$$M_{xx} = M_{yy} = 0 \text{ ve } M_{xy} \neq -M_{yx} \quad (2.91)$$

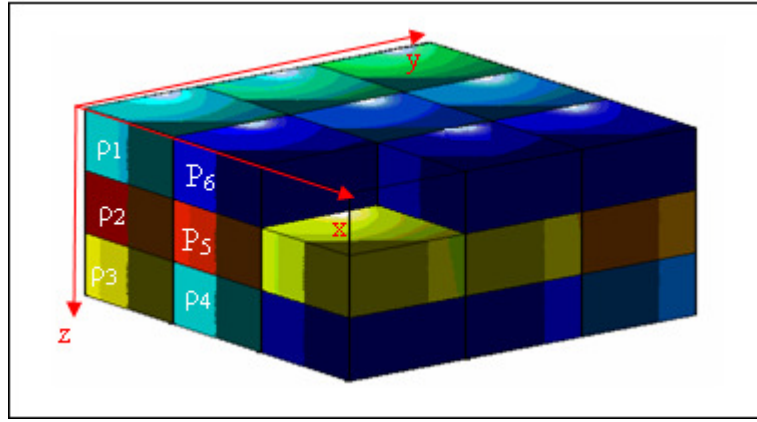
$$M_{2D}(\omega) = \begin{pmatrix} 0 & M_{xy}(\omega) \\ M_{yx}(\omega) & 0 \end{pmatrix} \quad (2.92)$$

olarak tanımlanır. xy ve yx için GÖ ve faz değerleri farklıdır (2.57), (2.58) denklemlerinden hesaplanabilir.

2. 1. 7. 4 3B öz direnç modeli

Yeraltı öz direnci tüm yönler boyunca ($\sigma = \sigma(x, y, z)$) değişiyorsa (Şekil 2.8), bu durumda yeraltı üç boyutludur denir. Gerçeğe en çok uyan yer yapı modelidir. Maxwell denklemleri iki moda ayrılmaz. MT tensörünün tüm bileşenleri sıfırdan farklı değerler alır.

$$M_{xx} \neq M_{yy} \neq 0 \quad \text{ve} \quad M_{xy} \neq M_{yx} \neq 0 \quad (2.93)$$



Şekil 2. 8 3B yer elektrik modeli

2. 1. 8 Galvanik bozulma

Manyetotellürik yöntemde bozulmalar, etkin derinlik ve araştırma derinliğinden çok küçük heterojenlikler veya sığ yerel cisimler tarafından üretilir. Bu cisimler çalışılan alandaki MT ölçüleri değiştiren akımlara ve yük dağılımına neden olur (Kaufman, 1988; Chave ve Smith, 1994). Bozulmalar galvanik veya indüktif olabilir. İndüktif bozulma akım dağılımı tarafından oluşturulur ve periyotla azalan küçük bir genliği vardır. $(\sigma) \gg \omega \epsilon$ Quasi-statik limit durumunda bu bozulmalar ihmal edilebilir (Berdichevsky and Dimitriev, 1976). Galvanik distorsiyon bir elektromanyetik alan anomalisi üreten sığ cisimlerin yüzeyinde toplanan yük dağılımları tarafından oluşturulur ve frekanstan bağımsızdır.

Manyetik alan atmosferik olaylar nedeni ile oluştuğundan hızlı değişimler göstermez ve yer içinde öz direnç değişimlerine, elektrik alana kıyasla daha az duyarlıdır.

Elektrik alan yer içinin yapısına ve öz direncine bağlıdır ve hızlı değişir. Bu nedenle galvanik distorsiyon elektrik alan anomalisi olarak ele alınır.

MT tensörü üzerindeki bu elektrik alan etkisi matematiksel olarak frekanstan bağımsız 2x2 boyutlu bir matris 'C' ile temsil edilir (Berdichevsky and Dimitriev, 1976).

$$C = \begin{pmatrix} C_1 & C_2 \\ C_3 & C_4 \end{pmatrix} \quad (2.94)$$

C' nin bileşenleri bozulmaya uğrayan cisim ve etrafını saran ortam arasındaki öz direnç farklılığına (kontrast), cismin konumuna ve geometrisine bağlıdır (Jiracek, 1990). MT tensör bozulma alanları ve bölgesel ölçüm için aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$M_m(\omega) = C.M_R(\omega), \quad (2.95)$$

Burada M_m ölçülen tensör ve M_R bölgesel yapıya karşılık gelen bölgesel tensördür. Galvanik distorsiyon etkileri bölgesel ortamın boyutluluk tipine bağlıdır. 1B ortamda galvanik distorsiyon tüm frekanslar boyunca görünür öz direnç için sabit bir yerdeğiştirmeye neden olur. Buna sabit kayma (statik shift) denir ve bu durum fazı etkilemez. Sonuç olarak eğer bozulma, θ açısıyla döndürülmüş 2B bir tensörü etkilerse öz direnç de etkilenir. 2B bir yer için, ölçüm ekseninin yapıya paralel veya dik olmasına göre, statik kayma gözlenmektedir. Statik kayma MT analizinin önemli problemlerinden biridir. MT yönteminin kendi içinde bu problemi çözmek için analitik veya sayısal bir yol yoktur. Sabit kayma problemini ortadan kaldırmak için birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bunlar; değişmez (invariant) ve determinat empedans tanımları (Berdichevsky ve Dimitriev, 1976), eğri kaydırma yöntemi (Andrieux ve Wightman, 1984; Sternber ve diğ., 1984, 1985; Pellerin ve Hohman, 1988), istatistiksel ortalama alma (Berdichevsky ve diğ., 1980; Jones, 1988), uzaklık ortamı süzgeçleme yöntemi (Berdichevsky ve diğ., 1989; Bostick, 1986; Torres-Verdin ve Bostick, 1989), bozulmuş tensörü bulma (Schmucker, 1970; Larsen, 1977; Bahr, 1977; Groom ve Bailey, 1989) sayısal modelleme (deGroot-Hedlin, 1991, 1995), doğru akım öz direnç (Romo ve diğ., 1977; ve Spitzer 2001) yöntemleridir.

Sabit kaymayı düzeltmek için genelde TEM yöntemi kullanılır. Bu tez çalışmasında da sabit kayma düzeltmesi için TEM yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ileriki konularda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

MT yöntemin amacı distorsiyon cisimlerini değil bölgesel yapıyı araştırmak olduğundan çeşitli ayrışım yöntemleri ile bozucu etkileri MT ölçümlerden uzaklaştırmak gerekir. 2B MT tensörünün galvanik distorsiyondan etkilendiğini varsayan Groom-Bailey (1989) MT tensör ayrışımı için aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$M_m = R_\theta \cdot C \cdot M_{2D}(\omega) \cdot R_\theta^T \quad (2.96)$$

$$C = g \underline{TSA} \quad (2.97)$$

Burada C, bozma tensörü (distortion tensor), g, yerin genlik faktörü (gain), A, yönbağımlılık (anizotropi) veya ayırma tensörü, S, makaslama (shear) tensörü, T, döndürme (twist) tensörü, M_m , ölçülmüş MT tensörü, M_{2D} , iki boyutlu gerçek MT tensördür.

Smith (1995) ise iki kazanç (gain) parametresi (g_1, g_2) ve 2 bozulma (distorsiyon) (ϕ_1, ϕ_2) kullanarak,

$$C = \begin{pmatrix} g_1 \cos \phi_1 & -g_2 \sin \phi_2 \\ g_1 \sin \phi_1 & g_2 \cos \phi_2 \end{pmatrix} \quad (2.98)$$

eşitliğini ortaya koymuştur, her iki parametre gurubu arasındaki ilişki,

$$g_2 = g(1 \pm s), \quad (2.99)$$

$$\phi_2 = \phi_1 \pm \phi_e \quad (2.100)$$

olarak verilir. Burada, ϕ_1 , twist açısı, ϕ_e , shear açısı, s, shear açısının tanjantıdır.

Bu ayrışım metotlarının amacı, bölgesel MT tensör bileşenlerini ve yer elektrik doğrultusunu belirleyebilmek için lineer denklem sistemlerini çözmektir. Birçok durumda verinin galvanik distorsiyondan etkilenip etkilenmediğini fark etmek mümkün

değildir. Bu bilgiyi elde etmek için MT tensöründen elde edilen sabitleri kullanarak boyutluluk analizleri yapılmalıdır.

3 BOYUTLULUK ANALİZİ

Boyutluluk analizi ile MT verisi 1, 2 veya 3 boyutlu olarak yorumlanabilmektedir. Yeraltındaki yapıların boyutluluğunu tespit etmek için kullanılan birçok yöntem vardır ve bunlar genellikle dönel sabitleri (rotational invariants) esas alırlar. Swift (1967), Berdichevsky ve Dimitriev (1976), Bahr (1988), Bahr (1991), Lilley (1993, 1998a, 1998b) ölçülmüş MT tensöründen hesaplanan parametreler grubunu kullanarak boyutluluk sınıflaması yapmışlardır. Ranganayaki (1984), Ingham (1988), Park ve Livelybrooks (1989) empedansın ortalamasını kullanarak 1B yapıları ortaya çıkarmışlardır. Swift (1967), MT verisi ile yapıların 2B olup olmadığını araştırmıştır. Bahr (1988), 3B yapıları ve ölçülen MT verilerinin, küçük yerel anomalilerin neden olduğu bozuşmalardan (distorsiyonlardan) etkilenip etkilenmediğini araştırmıştır. Fischer ve Masero (1994), empedans tensörünü tanımlayan elemanları kullanarak 7 bağımsız 1 tane bağımlı sabit önermişlerdir. Szarka ve Menvielle (1997), MT tensörünün rotasyonel özelliklerini detaylı olarak irdeleyerek boyutluluk analizinde kullanmak üzere MT tensör sabit grubu oluşturmuşlardır. Romo ve diğ. (1999), 2 ve 3 boyutlu tepkileri tanımlamak için manyetik transfer fonksiyonundan (tipper) elde edilen sabit parametrelerini kullanmıştır. Weaver ve diğ. (2000), MT tensöründen elde ettikleri dönel (rotasyonel) sabitleri kullanarak yerelekrik boyutluluğu tanımlaması yapmışlardır. Caldwell ve diğ. (2004) MT tensörünün gerçel ve sanal kısımları arasındaki ilişkiyi kullanarak MT faz tensörü kavramını ortaya atmıştır. Bu tez kapsamında boyutluluk analizi, Weaver ve diğerleri (2000)' nin önerdiği dönel sabitler kullanılarak yapılmıştır.

3.1 MT Yönteminde Kullanılan Temel Rotasyonel (Dönel) Sabitler

MT empedans tensörünün rotasyonel özellikleri beş bağımsız değişken içeren 2x2 lik karmaşık bir tensör matrisinden oluşmaktadır.

$$M = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{xy} \\ M_{yx} & M_{yy} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Manyetotellürik yöntemde üç temel rotasyonel sabit vardır (Berdichevsky ve Dimitriev, 1976; Vozof, 1991). Bunlar yukarıda verilen MT tensörü bileşenlerinden elde edilirler:

$$S_1 = M_{xx} + M_{yy} \quad (3.2)$$

$$D_2 = M_{xy} - M_{yx} \quad (3.3)$$

$$\det M = M_{xx}M_{yy} - M_{xy}M_{yx} \quad (3.4)$$

Burada birinci sabit, manyetotellürük tensörün köşegen bileşenlerinin toplamından elde edilmiştir ve ‘trace’ olarak adlandırılır. İkinci sabit, köşegen olmayan bileşenler arasındaki farka eşittir. Üçüncü sabit ise MT tensörün determinantıdır. Diğer rotasyonel sabitler, bu üç temel sabitin fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedirler. Örneğin Szarka ve Menvielle (1997) bu üç karmaşık sabiti ayrıştırarak, ilk iki sabitten dört tane (Re (S₁), Im (S₁), Re (D₂), Im (D₂)), üçüncü sabitten üç tane (det (Re(M)), det(Im(M)) ve Im(det(M)) olmak üzere yedi adet rotasyonel sabit önermişlerdir.

MT veri için boyutluluğun ölçüsü empedans çarpıklık (skew) parametresi ile de elde edilmektedir (Vozof, 1972). Bu parametre de yine rotasyonel sabitlerin fonksiyonu olarak verilir:

$$\kappa = \frac{|S_1|}{|D_2|} \quad (3.5)$$

Üç boyutluluğu tanımlayan bir parametredir ve 1-boyutlu ve 2-boyutlu ortamlar için Skew sıfırdır. 3B ortam için Skew sıfırdan farklıdır.

MT ölçülerin 3-boyutlu değerlendirilmesinde köşegen (diyagonal) elemanların en küçükleme yöntemi ile 2-Boyutlu yapıların doğrultu eksenlerini ve çarpıklık (skew) katsayıları ile de iki boyutluluktan olan sapmalar bulunabilmektedir (Swift, 1967).

Bahr (1991), yerelektrik boyutluluk türlerini ve bozulma (distorsiyon) tiplerini sınıflamak için dört tane rotasyonel sabit önermiştir. Bu parametreler değiştirilmiş empedans (Vozof, 1991) tensöründen türetilmiştir ($Z = \mu_0.M$):

$$S_1 = Z_{xx} + Z_{yy} \quad (3.6)$$

$$S_2 = Z_{xy} + Z_{yx} \quad (3.7)$$

$$D_1 = Z_{xx} - Z_{yy} \quad (3.8)$$

$$D_2 = Z_{xy} - Z_{yx} \quad (3.9)$$

Bahr parametrelerinin ilki Swift (1967) çarpıklık değeridir. Daha önce de tanımlandığı üzere,

$$\kappa = \frac{|S_1|}{|D_2|} \quad (3.10)$$

olarak verilir. 2-B ortamda $S_1=0$ olacağından $\kappa=0$ olur. Eğer κ , 0.1'den küçükse ya MT tensörün bozulmaya uğramadığını ve 1-B Tikhonov-Cagniard (Tikhonov, 1950; Cagniard, 1953) yer modelini temsil ettiğini gösterir ya da 2-B model tanımı yapılır (Bahr,1991). Galvanik bozulma varlığında κ , 1'den büyük değerler alır. $[A, B] = \text{Re}(A) \cdot \text{Im}(B) - \text{Re}(B) \cdot \text{Im}(A)$ olmak üzere Bahr parametrelerinin ikincisi,

$$\mu = \frac{([D_1, S_2] + [S_1, D_2])^{1/2}}{|D_2|} \quad (3.11)$$

bağıntısı ile verilir. μ , MT tensör bileşenleri arasındaki faz ayrımının bir ölçümüdür. μ 'nün sifıra eşit olması, 1-B yer yapısı içindeki galvanik distorsiyon varlığını belirtir. Sıfırdan farklı olduğunda ise 2-B yapı içindeki galvanik bozulmayı veya 3-B yapı tanımlar. Rotasyonel sabitlerden elde edilen bir diğer Bahr parametresi de bölgesel skew η 'dür:

$$\eta = \frac{([D_1, S_2] - [S_1, D_2])^{1/2}}{|D_2|}, \quad (3.12)$$

η , galvanik bozulmanın büyüklüğünü tanımlar, $\eta < 0.1$ olduğunda bölgesel yapının 2-boyutluluğa yaklaştığını belirtir (Bahr, 1988). Eğer η , 0.3' den büyükse bölgesel iletkenliğin 3-B olduğunu belirtir. Bahr parametrelerinin dördüncüsü Σ 'dir. Bu parametre aşağıdaki formülle elde edilir.

$$\Sigma = \frac{(D_1^2 + S_2^2)}{D_2^2} \quad (3.13)$$

Galvanik bozulma varlığında Σ , 1'den büyük değerler alır. Σ 'nın 0.1'den küçük olduğu durumlarda 1-B, büyük olduğu durumlarda ise 2-B yapı tanımlamaktadır.

Bahr (1991)'e göre yerelektrik boyutluluğunun türünü belirleyen parametrelerin eşik değerleri ve distorsiyon türleri aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 Bahr (1991) metodu kriterlerine göre nitelendirilen yerelektrik boyutluluğu ve distorsiyon türleri

Durum	Bahr Parametre Değerleri	Boyutluluk / Distorsiyon Türü
1	$\kappa < 0.1; \Sigma < 0.1$	1B
2	$\kappa < 0.1; \Sigma > 0.1$	2B
3	$\kappa > 0.1; \mu = 0$	3B/1B
4	$\kappa < 0.1; \mu \neq 0; \eta < 0.05$	3B/2B
5	$\kappa > 0.1; \mu \neq 0; \eta > 0.3$	3B

Çizelge 3 incelendiğinde 1B ortamda, κ ve Σ 'ın değerinin 0.1'den küçük olduğu görülmektedir. κ , 0.1'den küçük, Σ ise 0.1'den büyük ise ortam 2B'dur. Eğer κ , 0.1'den büyük μ de sıfıra eşitse bu ortam galvanik distorsiyondan etkilenen 1B ortamı temsil etmektedir. Galvanik distorsiyondan etkilenen 2B ortamda κ , 0.1'den küçük, η , 0.05'den küçük ve μ 'nün değeri 0'dan farklı olur. κ , 0.1'den büyük, η , 0.3'den büyük ve μ sıfırdan farklı ise ortam 3B'dur.

2 -Boyutlu durumlarda strike açısı,

$$\tan(2\theta) = \frac{[S_1, S_2] - [D_1, D_2]}{[S_1, D_2] + [S_2, D_2]} \quad (3.14)$$

bağıntısı ile verilir ve MT tensörünün her bir sütunu için faz değerleri aynıdır. Bu nedenle θ faz duyarlı yer elektrik doğrultusu açısı olarak adlandırılır.

Literatürde Bahr parametreleri bazen yanlış kullanılmıştır. Örneğin 3B durum için $\eta > 0,3$ gerekli şart iken (Ledo et al.,2002 b) $\eta < 0,3$ olduğunda ortam 2B'dur anlamına gelmemektedir (Simpson ve Bahr, 2005).

3. 2 WAL Parametreleri

Weaver ve diğ. (2000), MT tensöründen rotasyonel sabit parametrelerini (WAL sabitleri) üreterek yeraltının boyutluluğu hakkında bilgi elde etmeyi amaçlamışlardır. WAL sabitleri karmaşık bir sayı olan MT tensörünün gerçel ve sanal kısımlarının ayrıştırılmasıyla elde edilen karmaşık (complex) parametrelerin doğrusal bileşimleri $\zeta_i = \xi_i + \eta_i i$ ($i=1,4$) ile bulunmuştur. Bu karmaşık parametreler,

$$\zeta_1 = (M_{xx} + M_{yy}) / 2, \quad (3.15)$$

$$\zeta_2 = (M_{xy} + M_{yx}) / 2, \quad (3.16)$$

$$\zeta_3 = (M_{xx} - M_{yy}) / 2, \quad (3.17)$$

$$\zeta_4 = (M_{xy} - M_{yx}) / 2 \quad (3.18)$$

olarak verilmektedir. Buradan MT tensör,

$$M = \begin{pmatrix} \zeta_1 + \zeta_3 & \zeta_2 + \zeta_4 \\ \zeta_2 + \zeta_4 & \zeta_1 - \zeta_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_1 + \xi_3 & \xi_2 + \xi_4 \\ \xi_2 - \xi_4 & \xi_1 - \xi_3 \end{pmatrix} + i \begin{pmatrix} \eta_1 + \eta_3 & \eta_2 + \eta_4 \\ \eta_2 + \eta_4 & \eta_1 - \eta_3 \end{pmatrix} \quad (3.19)$$

ile tanımlanmaktadır. Böylelikle WAL sabitleri aşağıdaki gibi verilir:

$$I_1 = (\xi_1^2 + \xi_4^2)^{1/2} \text{ (m/s)}, \quad (3.20)$$

$$I_2 = (\eta_1^2 + \eta_4^2)^{1/2} \text{ (m/s)}, \quad (3.21)$$

$$I_3 = \frac{(\xi_2^2 + \xi_3^2)^{1/2}}{I_1}, \quad (3.22)$$

$$I_4 = \frac{(\eta_2^2 + \eta_3^2)^{1/2}}{I_2}, \quad (3.23)$$

$$I_5 = \frac{\xi_4 \eta_1 + \xi_1 \eta_4^2}{I_1 I_2}, \quad (3.24)$$

$$I_6 = \frac{\xi_4 \eta_1 - \xi_1 \eta_4}{I_1 I_2} = d_{41}, \quad (3.25)$$

$$I_7 = (d_{41} - d_{23}) / Q. \quad (3.26)$$

d_{ij} ve Q parametreleri ξ_i, η_i değişkenlerine ve yukarıda tanımlanan diğer sabitlere bağlıdır ve

$$d_{ij} = \frac{\xi_i \eta_j - \xi_j \eta_i}{I_1 I_2}, \quad (i=1, \dots, 4 \text{ ve } j=1, \dots, 4) \quad (3.27)$$

$$Q = \left[(d_{12} - d_{34})^2 + (d_{13} + d_{24})^2 \right]^{1/2}. \quad (3.28)$$

olarak tanımlanır. WAL rotasyonel sabitleri Mohr Diyagramında gösterilebilirler. Mohr diyagramında yatay eksen, MT tensörünün M_{11} bileşeni ile dikey eksen ise M_{12} bileşeni ile temsil edilir (Şekil 3.1) .

Bu şekilde $P_1(\text{Re}(M_{11}), \text{Re}(M_{12}))$ ve $P_2(\text{Im}(M_{11}), \text{Im}(M_{12}))$, M_{11} ve M_{12} 'nin gerçel ve sanal kısımlarını gösterir. C ve D noktaları sırasıyla (ξ_1, ξ_4) ve (η_1, η_4) koordinatlarına yerleştirilmiştir. P_1 ve P_2 , gerçel ve sanal mohr dairelerini tanımlamaktadır. Bu dairelerin yarıçapları $(\xi_2^2 + \xi_3^2)$ ve $(\eta_2^2 + \eta_3^2)$ 'dir ve merkezleri C ve D'dir. I_1 ve I_2 , C ve D'nin konum vektörleridir, $I_1 = |OC|$ ve $I_2 = |OD|$. I_3 ve I_4, γ ve δ açılarının sinüsleridir ve $I_3 = \sin \gamma$ ve $I_4 = \sin \delta$ biçiminde yazılırlar I_5 ve I_6 ise $I_5 = \sin(\beta + \alpha)$ ve $I_6 = \sin(\beta - \alpha)$, θ_1 ve θ_2

$$\tan(2\theta_1) = -\frac{\xi_3}{\xi_2} \quad \text{ve} \quad \tan(2\theta_2) = -\frac{\eta_3}{\eta_2} \quad (3.29)$$

olarak tanımlanmaktadır. θ_1 ve θ_2 , ölçüm eksenlerinin döndürülmesiyle elde edilen açılardır.

Q ise $\overline{CP_1}$ ve $\overline{DP_2}$ nin kesişiminden elde edilen ψ ve $\alpha, \beta, \delta, \gamma$ açılarından elde edilir:

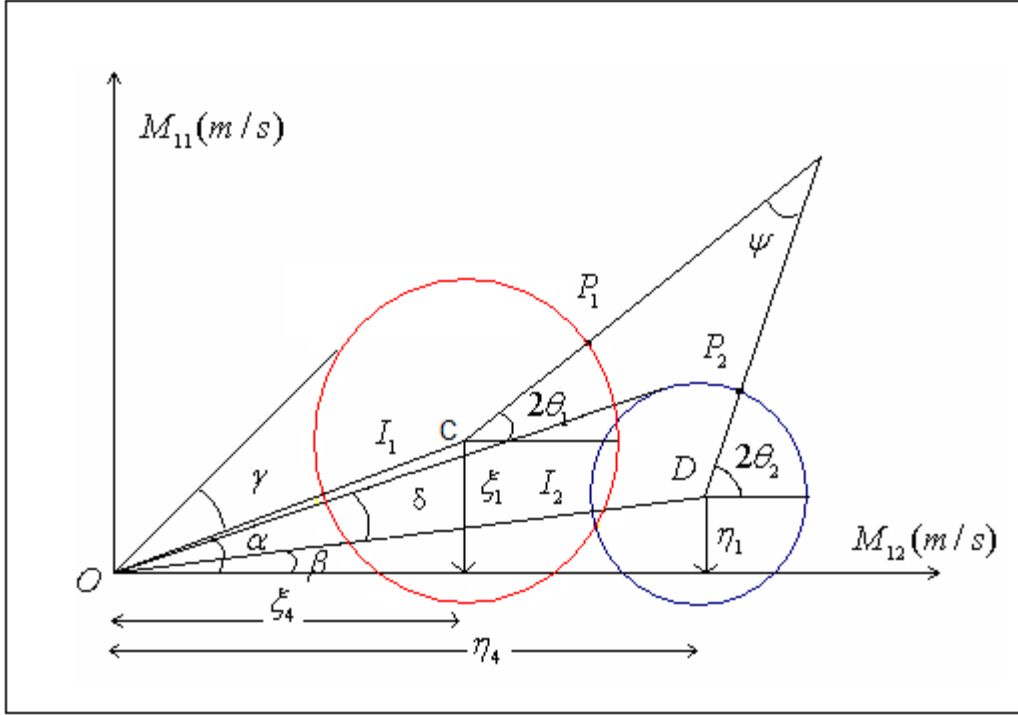
$$Q = (\sin^2 \gamma + \sin^2 \delta - 2 \sin \gamma \sin \delta \cos(\beta - \alpha - \psi))^{1/2}$$

I_1 ve I_2 sabitleri 1-B bir yerin öz direncinin ve fazının bulunmasını sağlar:

$$\rho_{1D} = \mu_0 \frac{(I_1^2 + I_2^2)}{\omega}, \quad (3.30)$$

$$\varphi_{1D} = \arctan\left(\frac{I_2}{I_1}\right) \quad (3.31)$$

I_3, I_4, I_5, I_6, I_7 ve Q sabitlerinin galvanik distorsiyon ve boyutluluk tespiti için gerekli şartları (Weaver et al., 2000) aşağıda verilmiştir.



Şekil 3. 1 Gerçel ve sanal mohr daireleri. Mavi daire sanal, kırmızı daire gerçeldir (Marti,2006)

1. durum (1B ortam):

M_{xx} ve M_{yy} 'nin sıfıra eşit olduğu ve $M_{xy} = -M_{yx}$ olduğu ortamda bir periyot için bir tane gerçel bir tane sanal değer olacağından Mohr dairelerinde 1B gösterim M_{12} eksenindeki iki nokta şeklinde olacaktır. Görünür öz direnç ve faz (3.30 ve 3.31) denklemlerinden doğrudan elde edilebilir. I_1 ve I_2 hariç diğer tüm sabitler ($I_3 - I_7$ ve Q) sıfıra eşit olur.

2. durum (2B ortam):

Merkezleri M_{12} ekseninde olan biri gerçel biri sanal iki tane daire ile temsil edilir. Yer elektrik doğrultusu boyunca P_1 ve P_2 , M_{12} eksenindedir. Bu yüzden θ_1, θ_2 'nin her ikisi de sifıra eşittir. $\overline{CP_1}$ ve $\overline{DP_2}$ paralel olacağından ψ açısı sifıra eşit olur. α ve β açıları sifirdan farklı olduğundan 2-B ortamda I_3 ve I_4 sifirdan farklı, I_5 ve I_6 ise sifirdır. Eğer Q çok küçük ise ($I_3 \approx I_4$ olduğunda) I_7 tanımsız olmasına rağmen sifır olarak kabul edilebilir.

Dört farklı durumda gruplandırılan WAL sabitlerine göre 1B ve 2-B ortam galvanik distorsiyondan etkilenebilir.

3. durum (3B/2B twist):

Elektrik alanının bir twist tarafından üretilen galvanik distorsiyondan etkilendiği 2-B bir ortamdır. Bu durumda galvanik distorsiyon parametreleri $g_1 = g_2$ ve $\phi_1 = \phi_2$ ($e = 0$ ve $t \neq 0$) olan bir matris tarafından tanımlanır. M_{11} 'in değerleri genellikle 0'dan farklıdır ve Mohr dairelerinin merkezleri M_{12} ekseninde değildir. α ve β açıları aynı değerde olduğundan \overline{OC} ve \overline{OD} aynı yönelimdedir. γ ve δ açılarının değerleri birbirinden farklı ve θ_1 ve θ_2 birbirine eşittir ($\overline{CD_1}$ ve $\overline{DP_2}$ paraleldirler). Dolayısıyla $\psi = 0$ 'dır. Bu nedenle I_3, I_4, I_5 ve Q sifirdan farklı, I_6 ve I_7 sifıra eşittir.

4. durum (3B/2B):

2B bir ortamda galvanik distorsiyonun genel durumudur. Mohr daireleri herhangi bir özel düzen izlemez (merkezi M_{12} ekseninde dışındadır, γ ve δ , ve α ve β 0'dan farklıdır), yalnızca θ_1 ve θ_2 birbirine eşittir. Sonuç olarak tüm (I_7 hariç) sabitler sifirdan farklıdır.

3 ve 4 durumları için distorsiyon parametreleri ϕ_1 ve ϕ_2 aşağıdaki formüllerden elde edilebilir.

$$\tan(2\theta_3) = \frac{d_{12} - d_{34}}{d_{13} + d_{24}} \quad (3.32)$$

$$\tan(\phi_1) = \frac{\operatorname{Re} M'_{yy}}{\operatorname{Re} M'_{xy}} = \frac{\operatorname{Im} M'_{yy}}{\operatorname{Im} M'_{xy}} \quad (3.33)$$

$$\tan(\phi_2) = \frac{\operatorname{Re} M'_{xx}}{\operatorname{Re} M'_{yx}} = \frac{\operatorname{Im} M'_{xx}}{\operatorname{Im} M'_{yx}} \quad (3.34)$$

5. durum (3B ortam):

3B ortam için tanımlanan MT tensörü için Mohr dairelerinin şekli daha önceki tanımların hiç birinde yer almaz. Burada tüm parametreler sıfırdan farklıdır. Bununla beraber MT tensörünün galvanik distorsiyondan etkilenip etkilenmediğini ayırt etmek mümkün değildir.

6. durum (3B/1B2B diag):

Diyagonal bir MT tensörünün sonucu olan, 1-B veya 2-B yapılarda galvanik distorsiyon varlığı durumudur. Bu köşegen olmayan bir matris tarafından tanımlanan çok özel bir durumdur. Mohr daireleri merkezi M_{12} yerine M_{11} ekseninde olan 2-B ortamlardakine benzerdir. 2-B bir ortamda olduğu gibi WAL sabitleri değerleri aynıdır bu yüzden 5 durumu sadece $\xi_4 = 0$ şartı ile 3 durumundan ayırt edilebilir. Yer elektrik doğrultusu, θ_D , aşağıdaki formül kullanılarak elde edilebilir:

$$\tan(2\theta_D) = \frac{\xi_2}{\xi_3} = \frac{\eta_2}{\eta_3} \quad (3.35)$$

7. durumu (3B/1B2B):

E ve B kutuplanmalarında eşit fazlı 1-B veya 2-B ortamlardaki galvanik distorsiyon varlığı durumudur. Bu iki durum ayırt edilemez fakat ikincisinde (2-B ortamındaki distorsiyon) yer elektrik doğrultusunu belirlemek mümkün değildir. Mohr daireleri 3a durumundaki ($\gamma = \delta$) gibidir. Sonuç olarak, $I_3 = I_4$ ve I_5 sıfırdan farklıdır, Q ise sıfırdır. $I_3 = I_4$ ve $\psi = 0$, $Q = 0$ 'dır. I_7 ise tanımsızdır.

Gerçek veri ile kullanıldığında WAL kriterlerindeki en önemli problem, diğer kanıtların (MT tensörün diyagonal bileşenlerinin durumu, farklı periyotlar ve yerlerdeki strike açısı) modelleme için 1-B veya 2-B yorumunun geçerli olduğunu önermesine rağmen yerelektrik boyutluluğunun 3-B olarak bulanabilmesidir.

Çizelge 3.2 WAL sabitleri ve boyutluluk kriterleri

Durum	I_3 - I_7 ve Q Değerleri	Yerelektrik Boyutluluğu	WAL Sabitleri
1	$I_3 = I_4 = I_5 = I_6 = 0$	1B	$I_1 = (\xi_1^2 + \xi_4^2)^{1/2}$ $I_2 = (\eta_1^2 + \eta_4^2)^{1/2}$
2	$I_3 \neq 0$ veya $I_4 \neq 0$; $I_5 = I_6 = 0$; $I_7 = 0$ veya $Q = 0$ ($\xi_4 \neq 0$ ve $\eta_4 \neq 0$)	2B	$I_3 = \frac{(\xi_2^2 + \xi_3^2)^{1/2}}{I_1}$ $I_4 = \frac{(\eta_2^2 + \eta_3^2)^{1/2}}{I_2}$
3	$I_3 \neq 0$ veya $I_4 \neq 0$; $I_5 \neq 0$; $I_6 = 0$; $I_7 = 0$	3B/2B galvanik distorsiyon (sadece twist) tarafından etkilenen 2B durum	$I_5 = \frac{\xi_4 \eta_1 + \xi_1 \eta_4^2}{I_1 I_2}$
4	$I_3 \neq 0$ veya $I_4 \neq 0$; $I_5 \neq 0$; $I_6 \neq 0$; $I_7 = 0$	3B/2B 2B bir yapı üzerindeki galvanik distorsiyon varlığının genel durumu	$I_6 = \frac{\xi_4 \eta_1 - \xi_1 \eta_4}{I_1 I_2}$
5	$I_7 \neq 0$	3B (galvanik distorsiyon tarafından etkilenmiş ya da etkilenmemiş)	$I_7 = (d_{41} - d_{23}) / Q$
6	$I_3 \neq 0$ veya $I_4 \neq 0$; $I_5 = I_6 = 0$; $Q = 0$ veya $I_7 = 0$ ($\xi_4 = 0$ ve $\eta_4 = 0$)	3B/1B2B diagonal 1B veya 2B yapılarda galvanik distorsiyon varlığı	$Q = [(d_{12} - d_{34})^2 + (d_{13} + d_{24})^2]^{1/2}$
7	$I_3 \neq 0$ veya $I_4 \neq 0$; $I_5 \neq 0$; $I_6 = 0$; $Q = 0$	3B/1B2B 1B veya 2B yapılarda galvanik distorsiyon varlığı	$d_{ij} = \frac{\xi_i \eta_j - \xi_j \eta_i}{I_1 I_2}$

4 KUZEY BATI ANADOLU'DA İKİ PARALEL DOĞRULTU BOYUNCA KABUK YAPISININ MT YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

4.1 Kabuk Araştırmalarındaki Öncel Çalışmalar

Kabuk ve üst mantonun elektriksel iletkenliğinin görüntülenmesi için (Orange 1989, Vozoff 1972) ve geniş ölçekli tektonik çalışmalarda (Jones 1992, Wannamaker vd. 1994, Chen vd. 1996, Unsworth vd. 1999) teknolojinin de gelişmesiyle jeofizik araştırmalar özellikle MT yöntemin kullanımı gittikçe artmıştır. Türkiye'de MT yöntemle derin jeolojik yapıların araştırılması ilk olarak İlkışık (1980) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü ve Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nün ortak çalışması olan ve Aliğa civarının jeotermal enerji olanaklarının MT yöntemiyle araştırılması projesi kapsamında Aliğa ve dolayının mantoya kadar olan kesiminin kabuk yapısı incelenmiştir. Bölgede alt kabuk-üst kabuk sınır derinliği yaklaşık 12 km, yaklaşık 85 km kalınlığındaki katman ise üst kabuk+manto olarak yorumlanmış ve astenosferin üst sınırının da yaklaşık 100 km derinde olabileceğini düşünülmüştür (Başokur vd. 2001).

Kaya ve diğ., (2007)' de Karasu (Sakarya)-Karadere, Mihaliççık-Haymana-Gülündere-Korkuteli yerleşim yerlerinden geçerek Kuzey Anadolu fay zonunu kesen MT profili boyunca ölçüler alınmıştır. Buna göre inceleme alanında alt kabuk kalınlığı belirlenerek Mohorovicic (Moho) süreksizliği belirlenmiştir.

Bayrak ve Nalbant (2001)'de Türkiye'nin batısındaki İzmir-Ankara Sütur Zonu (İASZ), Bornova Filiş Zonu ve Menderes Masifi'nden geçen geniş bant MT verisi ile derin ve sığ kabuk yapılarını görüntülemişlerdir.

Çağlar (2001), 500 s'den yukarıdaki periyotlarda 20 istasyonda, İstanbul, Sakarya ve Bornova zonlarından geçen bir hat boyunca bölgenin tektoniğinin anlaşılmasına katkıda bulunmak için elektrik özdirenç değişimini araştırmak için Anadolu'nun kuzey batısının kabuk yapısını incelemiştir.

Ulugergerli ve diğ. (2007) yer elektrik kesitlerinde daha derindeki iletken yerlerin sıcak alanlar ile ilişkili olduğunu ve sığ derinliklerde yüksek özdirenin büyük yapılarla ilişkiliyken iletken anomalilerçökel havzalara denk geldiğini belirtmişlerdir.

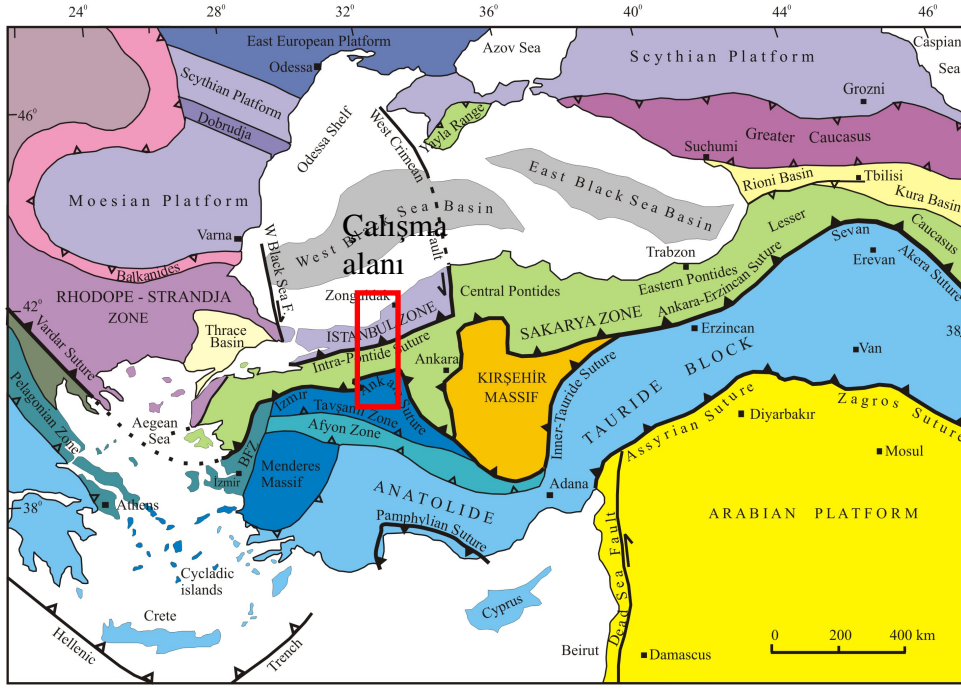
Elmas and Gürer (2001) çalışmasında Marmara Bölgesinin doğusundaki jeolojik arazi gözlemleri ve MT verileri karşılaştırılmıştır.

Yüksel (2004) moho süreksizlik yüzeyinin derinliğinin Adapazarı ve dolayında 30 km'den başlayıp Isparta ve Göller Bölgesinde 35-40km derinliğe ulaştığı ve Antalya dolayında (Akdenizde) tekrar inceleyerek ortalama 32 km'ye ulaştığını hesaplamıştır.

Türkiye'de yapılan MT yöntemi ile ilgili diğer çalışmalar ise MTA'nın Türkiye Yerkabuğunun Araştırılması Projesi (Kaya, 1994), İlkışık (1981), Başokur vd. (1995), Bayrak vd. (2000), Kaya ve Kılıç (2005), Kaya ve diğ., (2008) , Candansayar ve diğ., (2008) şeklinde sıralanabilir.

4. 2 İnceleme Alanının Jeolojisi

Türkiye'de, Istranca, İstanbul ve Sakarya zonları, Torid-Anatolid Bloku, Kırşehir Masifi ve Arap Platformu olmak üzere 6 ana litosferik parça bulunduğu genel kabul görmektedir (Şengör ve Yılmaz 1981; Şengör vd. 1982; Okay 1989; Okay vd. 1994). Şekil 4.1'de Türkiye ve dolayının ana kıtasal parçaları ve suture zonları görülmektedir. Istranca, İstanbul ve Sakarya zonları ise Avrasya'ya benzerliklerinden dolayı klasik olarak Pontidler'e dahil edilir. Bunlar İzmir-Ankara-Erzincan Süturu'yla Kırşehir Masifi ve Torid-Anatolid Bloku'ndan ayrılır. Torid-Anatolid Bloku ise Bitlis-Zagros Süturu boyunca Arap Platformu ile sınırlanır. Sakarya ve İstanbul zonları arasındaki levha sınırında Intra-Pontid Süturu bulunur. Torid-Anatolid Bloku, Arap Platformu'ndan Bitlis Suture Zonu'yla ayrılır. Diğer yandan Kretase yaşlı metamorfik ve granitik kayalardan oluşan Kırşehir Masifi ise kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan Süturu ile Sakarya Kıtası'ndan ve tartışmalı İç Toros Süturu ile de güneyde Anatolid-Torid Bloku ile dokanak halindedir. MT ölçülerinin alındığı noktaların oluşturduğu profiller, kuzeyden güneye doğru sırasıyla İstanbul Zonu, Intra-Pontid Süturu, Sakarya Kıtası, İzmir-Ankara Suture Zonu ve Torid-Anatolid Bloku (Tavşanlı Zonu)'nu geçmektedir (Ek-4.1).



Şekil 4.1 Büyük birlikler ve sutür sınırlarını gösteren doğu Akdeniz bölgesinin tektonik haritası. Dolu üçgenler dalım polaritesini gösterir (Okay ve Tüysüz, 1999; Okay Güncüoğlu 2004).

İstanbul Zonu

Kuzeybatı Anadolu'da Karadeniz'den Araç-Daday-İnebolu'ya kadar uzanan bölge İstanbul Zonu (Okay, 1989) olarak bilinmektedir. Şengör ve Yılmaz (1981), Şengör vd. (1984), Tüysüz (1990), İstanbul Zonu'nun bölgeye Dogger öncesinde yerleşmiş bir nap olduğunu, Okay vd. (1995) Kretase'de Moesia platformundan koparak bugünkü yerine yerleştiğini, Yılmaz vd. (1997) Sakarya Kıtası ve Istranca Zonu ile bir araya gelmesinin Paleo-Tetis ve onun devamı olan Intra-Pontid Okyanusu'nun Triyas sonu ile Kretase arasındaki kapanması sonucunda olduğunu ve Tüysüz (1999) ise İstanbul Zonu'nun doğu ucunun İntra-Pontid Süturu ile sınırlandığını belirtmişlerdir.

İstanbul Zonu'nda tabanda Prekambriyen bir temel bulunmaktadır. Bu temelin üzerine transgresif olarak Ordovisyen-Alt Karbonifer yaşlı kesintisiz bir tortul dizi oturmaktadır. Alt Karbonifer çökelleri, İstanbul yakınlarında Namuriyen'de kalın türbiditlere geçen Vizeyen yaşlı pelajik kireçtaşı ve radyolaryalı çörtlerden oluşurken, doğuda Zonguldak yakınlarında Vizeyen yaşlı sığ denizel karbonatlar Namuriyen-Westfaliyen yaşlı paralik kömürlü diziler tarafından örtülür (Dill 1976; Kerey 1986). Bu birimler, üste doğru Üst Triyas yaşlı gösel marn ve kireçtaşlarına geçen (Akyol vd.

1974; Alişan ve Derman 1995) Alt Triyas yaşlı karasal kökenli alacalı kumtaşı ve çakıltaşları tarafından uyumsuz olarak örtülür.

İnceleme alanını da kapsayan İstanbul Zonu'nun batı kesminde Jura ve Alt Kratese'de çökelme yoktur ve Üst Kratese-Paleosen yaşlı kırıntılı, karbonat ve andezitik volkanik kayalar, Paleozoyik-Triyas yaşlı kayaları uyumsuz olarak üzerlerler (Dizer ve Meriç 1983; Tansel 1989). İstanbul Zonu'nun kuzey bölümünde yüzeyleyen Senoniyen yaşlı andezitik lavlar, dayklar ve küçük asidik intrüzyonlar Intra-Pontid Okyanusu'nun kuzeye doğru yitimi sırasında oluşmuşlardır (Okay ve Tüysüz 1999). Bu birimler, Eosen ve daha genç birimlerce uyumsuz olarak örtülürler.

Sakarya Zonu

Kuzeyde yer alan Sakarya Zonuna ait istifin gözlenebilen en alt kesimini, metabazit arakatlı ve albit – muskovit – klorit - kuvarşist, fillit ve metakonglomera aralanması oluşturur (Kulaksız 1981). Bu tanımlamaya göre birim daha çok Karakaya Karmaşığı kapsamındaki Nilüfer Birimine (Okay v.d., 1991) benzerlik göstermektedir. Alttaki ofiyolitik kayalar üzerine bindirmeli bir dokanakla gelen birimi aynı kompleks kapsamındaki metamorfik olmayan olistostromal çökeller üstler. Triyas yaşlı bu temel üzerine ise açılı uyumsuzlukla ve altta karasal kırıntılılarla başlayan Üst Jura – Alt Kretase yaşlı neritik yer yer yarı pelajik kireçtaşları (Bilecik Kireçtaşı) gelmektedir. Rojay ve Süzen (1997)' e göre Ankara güney batısında Üst Jura – Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının üzerinde gelişen Kretase yaşlı eklenir melanj kaması niteliğindeki karışık, üste doğru Malm – Alt Kretase yaşlı kireçtaşı olistolitleri bulunduran Senomaniyen – Turoniyen pelajik killi karbonat ve klastik aralanmasına geçer. Bu birimi kırmızı karasal çökellerle başlayan Maastrichtiyen yaşlı çeşitli kırıntılı kayalar örter ve üste Maastrichtiyen yaşlı resifal karbonatlar gelir. Bunların da üzerinde uyumsuzlukla yer alan Paleosen yaşlı kayalar volkaniklastik ve kırıntılılarla temsil edilir. Ancak Maastrichtiyen – Lütisiyen zaman aralığında Haymana – Polatlı havzasında daha farklı bir stratigrafik dizilim gözlenmektedir.

Anatolid-Torid Bloku

Çalışmanın başlatıldığı alanın güneyinde yer alan Anatolid – Torid Bloğu kendi içinde bazı alt zonlara ayrılmaktadır. Örneğin Okay (1984), Eskişehir – Balıkesir arasında kalan ve YB/DS metamorfizması geçirmiş olan kuşağı Tavşanlı zonu, inceleme alanı içinde kalan kesimi Afyon Zonu adı altında inceler. Özcan ve diğerleri (1989) ise

Menderes Masifi'nin dışında tutulan bu zonları Kütahya - Bolkar Kuşağı olarak tanımlar. Araştırmacılara göre inceleme alanını kısmen kapsayan çalışmalarında Kütahya – Bolkar Kuşağının temelini Karbonifer – Permien yaşlı İhsaniye Metamorfik Karmaşığı oluşturmaktadır. Bu temel üzerinde uyumsuzlukla gelen ve taban çakıltıyla başlayan Skitiyen yaşlı Kıyır formasyonu, çeşitli özelliklerde dolomitik ve rekristalize kireçtaşı bant ve mercekli, alacalı renkli çeşitli kırıntılı kayalardan meydana gelir. Üzerinde yer alan Triyas-Üst Kretase yaşlı çeşitli karbonat kayalarını Gökçeyayla formasyonu, bunlarında üzerine geçişli gelen Üst Kretase – Alt Paleosen yaşlı olististromal çökelleri ise Çöğürler formasyonu olarak adlandırılmıştır. Gerek Çöğürler formasyonu içinde blok ve gerekse nap şeklinde gözlenen çeşitli ofiyolitik kayaları ise Kınık ofiyoliti adı altında incelemiştir. Ancak Göncüoğlu v.d., (2003), aynı alandaki Erken Triyas kayalarını Ardıçlı formasyonu olarak tanımlarlar ve üste gelen Gökçeyayla formasyonunu ikiye ayırarak Orta Triyas-Alt Jura yaşlı neritik kireçtaşları ile dolomitleri Loras formasyonu, Kretase yaşlı pelajik çörtlü kireçtaşı, çört, kalın türbidit vb. kayaları Midas formasyonu olarak ayırtlar.

Yeniol (1979), Yunak dolayında yaptığı çalışmada Çöğürler formasyonunun YB/DS metamorfizması geçirdiğini saptamıştır. Benzer YB/DS metamorfitler Sivrihisar dolayında ofiyolitik kayalar tarafından tektonik olarak üzerlenir. Sivrihisar yöresinde gözlenen ve Kulaksız (1981) tarafından Güney Metamorfitleri kapsamında izlenen eklojit bloklı YB/DS metamorfizması geçirmiş kayalar Okay (1984)' in tanımladığı Tavşanlı Zonu'ndaki eş yaşlı kayalara büyük benzerlik gösterir. Aynı şekilde Kınık ofiyolitinin metamorfik eşlenikleri Sivrihisar kuzeyinde gerek metamelanj ve gerekse Karakaya karmaşığına ait kayalarla tektonik ilişkili olarak bulunmaktadır.

Özcan v.d., (1989)' ne göre, tüm bu birimler üzerine uyumsuzlukla ve aşamalı olarak gelen Üst Paleosen – Alt Eosen çökel istif (Hanköy formasyonu) altta bej renkli algi kireçtaşları ile başlar. Üste doğru daha çok karasal nitelikli şarabi renkli kırıntılılarla devam eden birim, en üstte sarımsı yeşil renkli çamurtaşı, siltaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı ve yumrulu kireçtaşı araldanmasına geçer. Ortalama 80 m. kalınlık sunan birim alt kesimi kıyı yakını sığ denizel ortamı, üste doğru sığ denizin karasal etkinlik altında kalan delta düzlüğü, örgülü nehir ortamı, en üstte ise resif gerisi lagün fasiyeslerini temsil etmektedir.

Gerek Sakarya Zonu ve gerekse Anatolid – Torid Bloku'na ait tüm kaya birimleri Alt – Orta Miyosen ve Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı akarsu ve gölsel çökelleri tarafından aşıl uyumsuzlukla örtülmektedir. Kalınlıkları değişken olan bu çökelere

yer yer asidik veya orta bileşimli lav ve piroklastik arakatkıları eşlik eder. Bu bölüm, Kaya vd. (2007)'den özetlenerek alınmıştır.

4.3 Veri Toplama ve Veri İşlem

Bu çalışmada TÜBİTAK 'Kuzey Batı Anadolu'nun Kabuk Yapısının Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması' Projesi kapsamında iki doğrultu boyunca ölçülen MT verileri ve aynı yerlerde statik düzeltme işleminde kullanılmak üzere ölçülen TEM verileri kullanılmıştır.

Ölçülen zaman serisi manyetotellürik verilerinin Fourier dönüşümleri alınarak, frekans ortamında empedanslar elde edilmiş ve her ölçü istasyonu için EDI (Electrical Data Interchange) standartında dosyalar oluşturulmuştur. Manyetotellürik veriye statik kayma düzeltmesi uygulamak için kaydedilen Zaman Bölgesi Elektromanyetik (TEM) ölçüleri her istasyonda ve MT yöntemi elektrik alan kabloları açılımı ile aynı alanda ölçülmüştür. Bu ham veriden, bir istasyon için tek bir veri kümesi (manyetik alanın zamana göre türevi) elde edilmiştir. Bu veriler görünür öz direnç değerlerine dönüştürülmüş ve 1-B model kullanılarak yorumlanmıştır. Böylece, her ölçü istasyonunun altındaki sığ bilgileri elde etmek amacı ile katman öz direnç ve kalınlıkları hesaplanmıştır.

Ölçülen MT görünür öz direnç değerleri, kuramsal veriye yüksek frekanslarda uyum sağlayacak şekilde kaydırılarak, sabit kayma çarpanı bulunmuştur. Hem jeolojik yapı hakkında genel bilgi edinmek hem de modlara ayırma işlemini kontrol etmek amacı ile TE-TM modlarına ait görünür öz direnç ve faz yapma kesitleri (pseudo-section) hazırlanmıştır. düşey eksen frekans, yatay eksen uzaklık olmak üzere, görünür öz direnç ve empedans fazı yapma kesitleri hazırlanmıştır.

4.6 Modeller

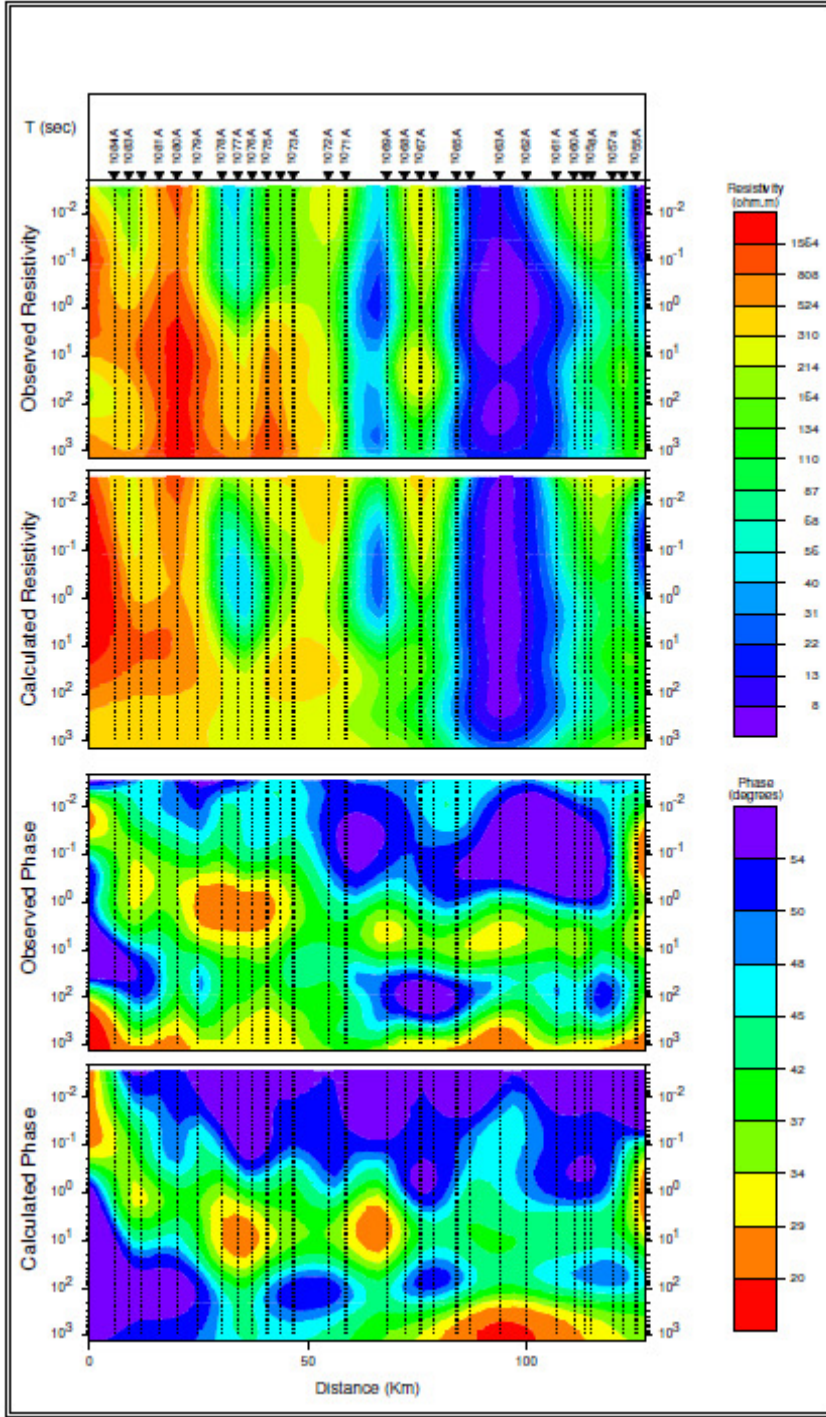
İki doğrultu boyunca ölçülen MT verilerinin 2B ters çözümleri sonucu 2B öz direnç modelleri elde edilmiştir. Profil 1 boyunca 1035 nolu istasyon dışında toplam 83 istasyonda, 320–0.0005 Hz frekansları (0.003125–2000 sn) arasındaki veriler kullanılmıştır. Ters çözüme TE- ve TM-modu GÖ ve faz değerleri ile "tipper" değerleri sokulmuştur. Homojen ortam (100 ohm.m) ile başlanan ters çözüm işleminde 101 yineleme sonucu ölçülen veri ile hesaplanan veri arasındaki karekök ortalama (RMS) hata %21.2' den %5.06 değerine düşmüştür. Ters çözüm sonucu elde edilen 2B öz direnç

modeli Şekil 19' de görülmektedir. Bu bölüm Candansayar ve diğ.2008 tarafından hazırlanan 105G145 no'lu TÜBİTAK Projesi 5. gelişme raporundan alınmıştır.

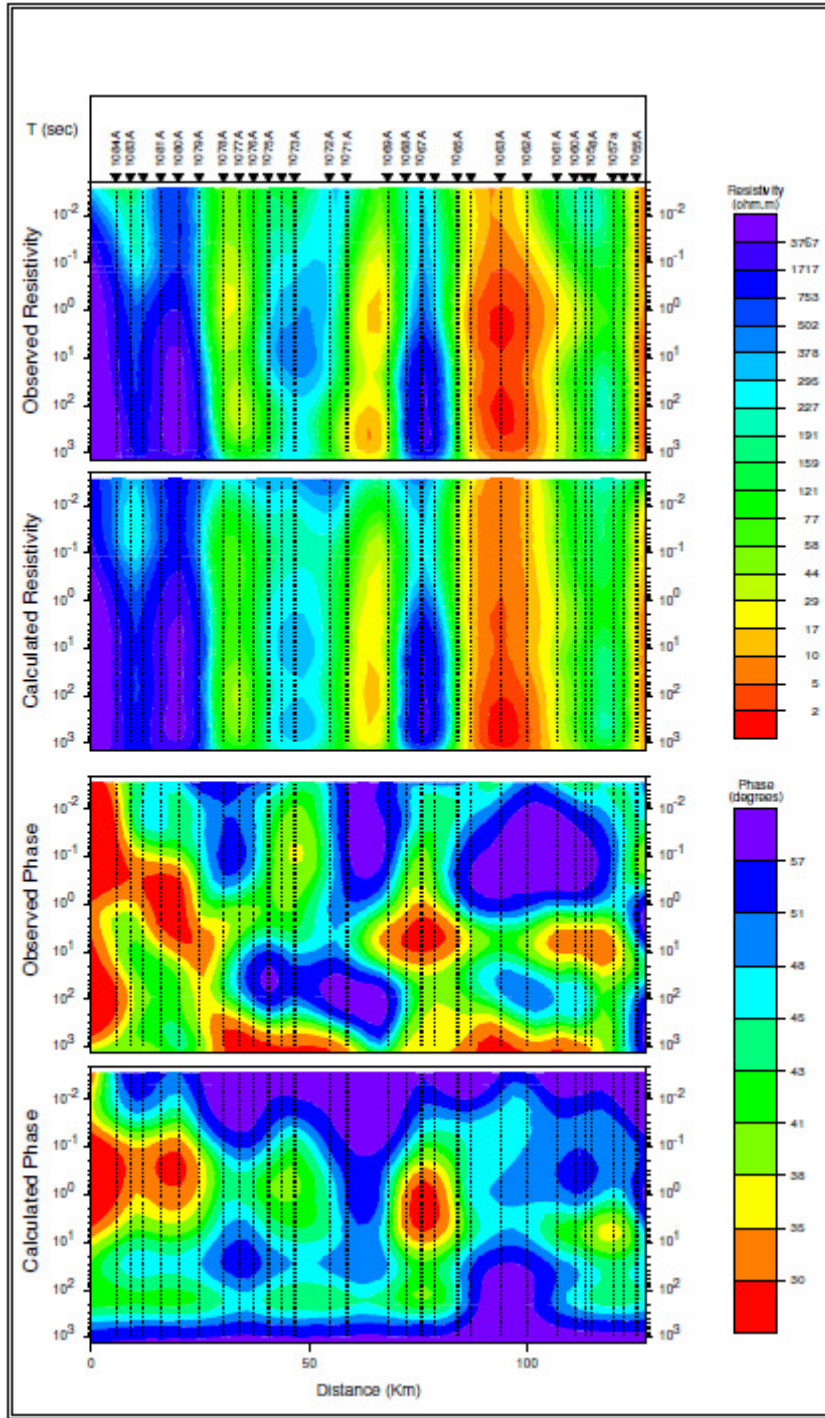
Profil-2 boyunca 2003, 2018, 2043, 2075, 2079 ve 2080 nolu istasyonlardaki veriler gürültü nedeniyle ters çözüme sokulmamıştır. Bunların dışında toplam 84 istasyonda, 320-0.0066 Hz frekansları (0.003125- 1500 sn) arasındaki veriler kullanılmıştır. Bu doğrultu üzerinde ilk 20 istasyon verisi eski aletle 1000 sn periyoduna kadar veri ölçülmüş. Bunun dışında yaklaşık 56 nolu istasyona kadar olan bölümde ise ölçüler yaklaşık 16–18 saat uzunluğundadır. Bu nedenlerle doğrultu boyunca ters çözümde kullanılan verileri ilk 1500 sn. periyoduna kadar olan bölümü kullanılmıştır. Ters çözüme TE-modu (Şekil 4.2.a, Şekil 4.5.b) ve TM-modu (Şekil 4.3. a, Şekil 4.3.b) GÖ ve faz değerleri sokulmuştur. Homojen ortam (100 ohm-m) ile başlanan ters çözüm işleminde 110 yineleme sonucu ölçülen veri ile hesaplanan veri arasındaki RMS hata 23.37' den 10.38 değerine düşmüştür. Ters çözüm sonucu elde edilen 2B öz direnç modeli Şekil 20' de görülmektedir.

Düzgünleştirici parametresi (tau-regularization parameter) seçimi ters çözüm probleminde önemlidir. Bu çalışmada “cooling” yöntemi kullanılmıştır. Yani değer başlangıçta 10000 seçilmiş ve her 10 yinelemede değiştirilmiştir (tau=10000, 1000, 100, 50 ve 10). Bu değer 10 değerini aldıktan sonraki yinelemelerde sabit tutulmuştur.

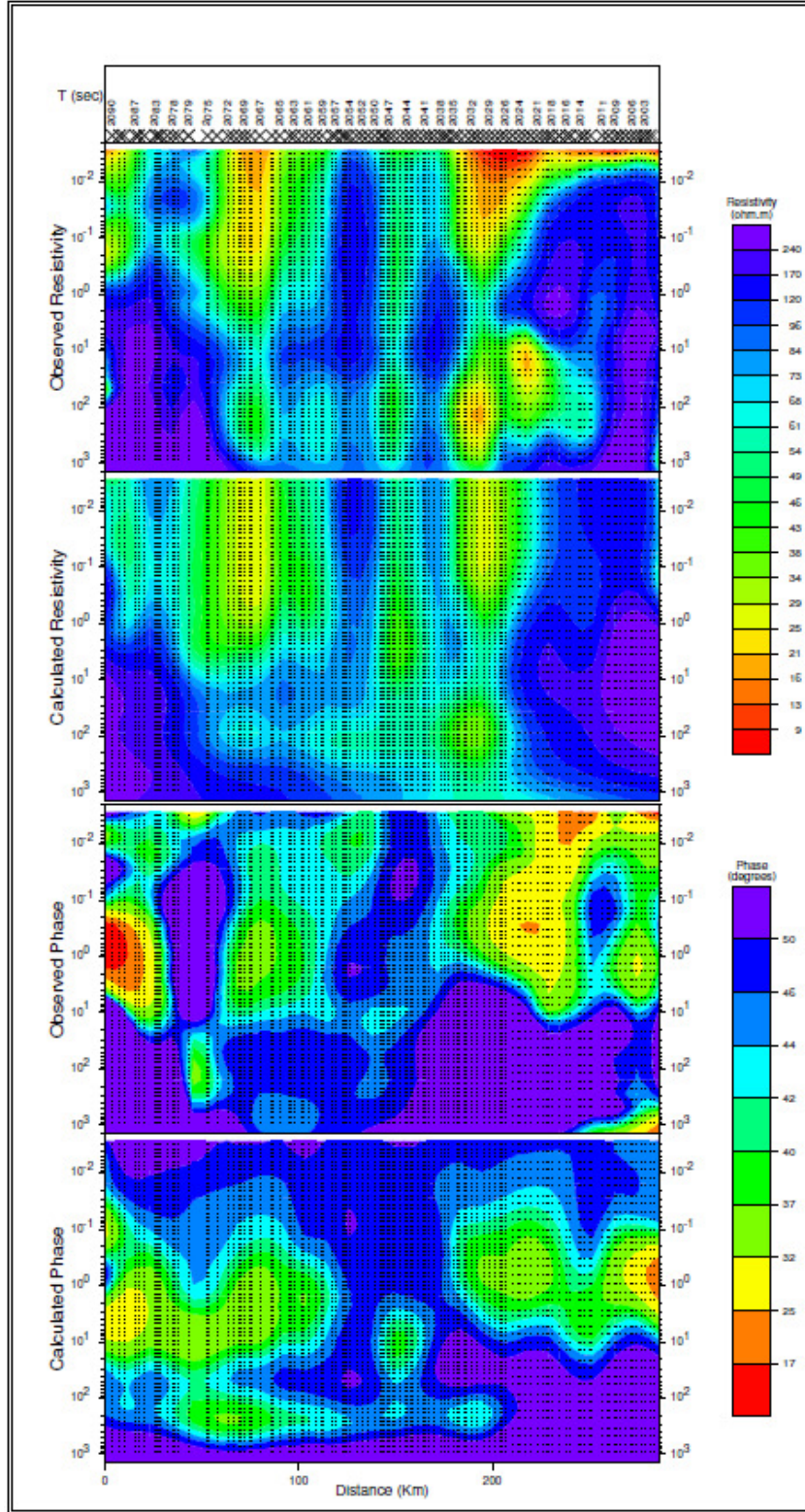
Şekil 19 ve 20' de sunulan Profil–1 ve Profil–2'ye ait 2B öz direnç modelleri karşılaştırıldığında birbirleri ile uyumlu oldukları görülmektedir. Her iki modelinde üzerinde bilinen başlıca jeolojik zonların (güneyden başlayarak; Anatolid-Torid bloğu, Ekaylı zon, Sakarya Zonu, KAFZ ve İstanbul zonu) sınırları gösterilmektedir. Zonların sınırları ile öz direnç modelinin uyumu görülmektedir. Ayrıca her iki model içinde beyaz çizgi ile gösterilen bölüm ise tahmini üst kabuk sınırıdır. Buna göre doğrultu–1 boyunca güneyde kabuk kalınlığı yaklaşık 25 km' den başlamakta, Mihaliççık-Bolu arasında 18–25 km arasında değişmekte ve kuzeye doğru 20km' ye kadar incelmektedir. Profil–2 boyunca ise kabuk kalınlığı güneyde 30 km' den başlamakta ve genel olarak doğrultu sonuna doğru en kuzeyde 25 km' ye kadar incelmektedir.



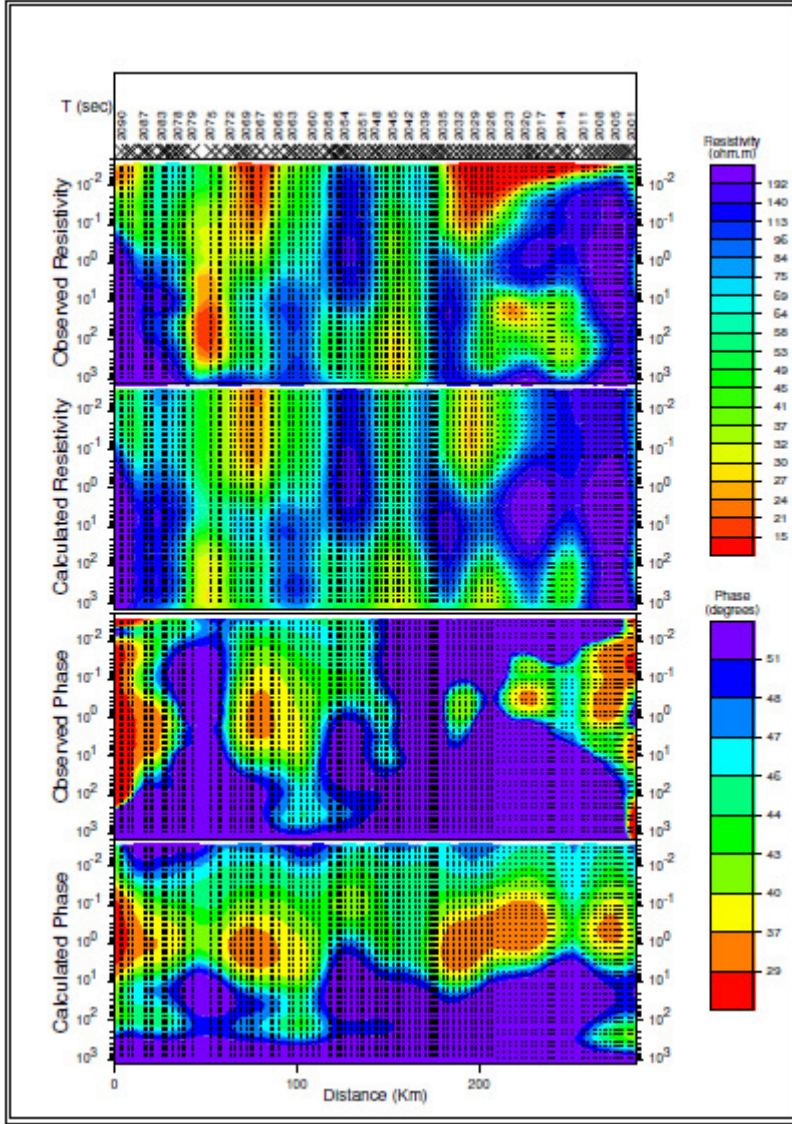
Şekil 4.2.a Profil-1 boyunca 85 istasyonda ölçülen manyetotellürük verilerden temel veri işlemlerden sonra elde edilen ölçülen ve hesaplanan TE-modu Görünür Özdirenç ve Faz yapma kesitleri.



Şekil 4.2.b Profil-1 boyunca 85 istasyonda ölçülen manyetotellürük verilerden temel veri işlemlerden sonra elde edilen ölçülen ve hesaplanan TM-modu Görünür Özdirenç ve Faz yapma kesitleri.



Şekil 4.3.a Profil-2 boyunca 90 istasyonda ölçülen manyetotellürik verilerden temel veri işlemlerden sonra elde edilen ölçülen ve hesaplanan TE-modu Görünür Özdirenç ve Faz yapma kesitleri.



Şekil 4.3.b Profil-2 boyunca 90 istasyonda ölçülen manyetotellürük verilerden temel veri işlemlerden sonra elde edilen ölçülen ve hesaplanan TM-modu Görünür Özdirenç ve Faz yapma kesitleri

Doğrultu-1 Boyunca 2B Özdirenç Modelinin Yorumu

Şekil 4.4' de görülen 2B özdirenç modeli Kozlu'dan başlamaktadır ve alttaki Paleozoyik istif yüksek özdirençlidir. 1078 nolu istasyona kadar benzer özellikteki istif devam eder ve 1078–1077 nolu istasyonları arasındaki nispeten düşük özdirençli kesim yukarıda bahsedilen yüksek özdirençli bloğu alttan yay şeklinden sınırlar. 1078–1075 nolu istasyonlar arasında kalan yüksek özdirençli yapı ise, yüzeye çıkan Paleozoyik istifinin karşılığıdır. Her iki yüksek özdirençli yapının üzerinde yer alan Geç Kratese yaşlı çökeller ve volkanitler ile Devrek havzasındaki Geç Kratese-Eosen yaşlı çökeller düşük özdirençli yapısıyla dikkat çekmekte ve yukarıda değinilen Paleozoyik istifle arasında ince sayılabilecek düşük özdirençli bir zon geçilmektedir. Daha güneydeki 1075–1070 nolu istasyonlar arasında, yüzeyleyen metamorfik ve granitik kayalar yüksek özdirençli davranışları ve yaklaşık 10–12 km kalınlığında kabuk yapısı ile dikkati çekmektedir. Sünnice masifine karşılık gelen bu yapı keskin bir sınırla sonlanır. 1068–1069 nolu istasyonlar arasındaki kesim KAFZ ve paralelindeki İntra-Pontit süturunu işaret eder. Bu zonun altında 20–30 km derinliğindeki çok düşük özdirençli belirti bölgesi KAFZ ile ilişkili olası magma odası olabilir. KAFZ'nun güneyinden Mihalıçık'a kadar olan kesimde ise altta Sakarya Kıtası'na ait yüksek özdirençli kayalar ve üzerindeki Neojen yaşlı düşük öz dirençli çeşitli kayalar gözlenmektedir. Sakarya kıtası parçalı bir yapısal özellik sunar. Özellikle 1063–1065 nolu istasyonları arasında derinlerde (yaklaşık 10 km' den sonra) belirginleşen çok düşük özdirençli belirti, Galatya masifindeki volkanizmanın çıkış merkezlerinden biri olarak yorumlanmıştır. Keza, Kırbaşı güneyinde 1050–1046 nolu istasyonlar arasında bu özellikler daha sığ ve daha küçük belirti şekliyle görülmekte olup bu bölgede yüzeyleyen granitoidlerle ilgili olabilir.

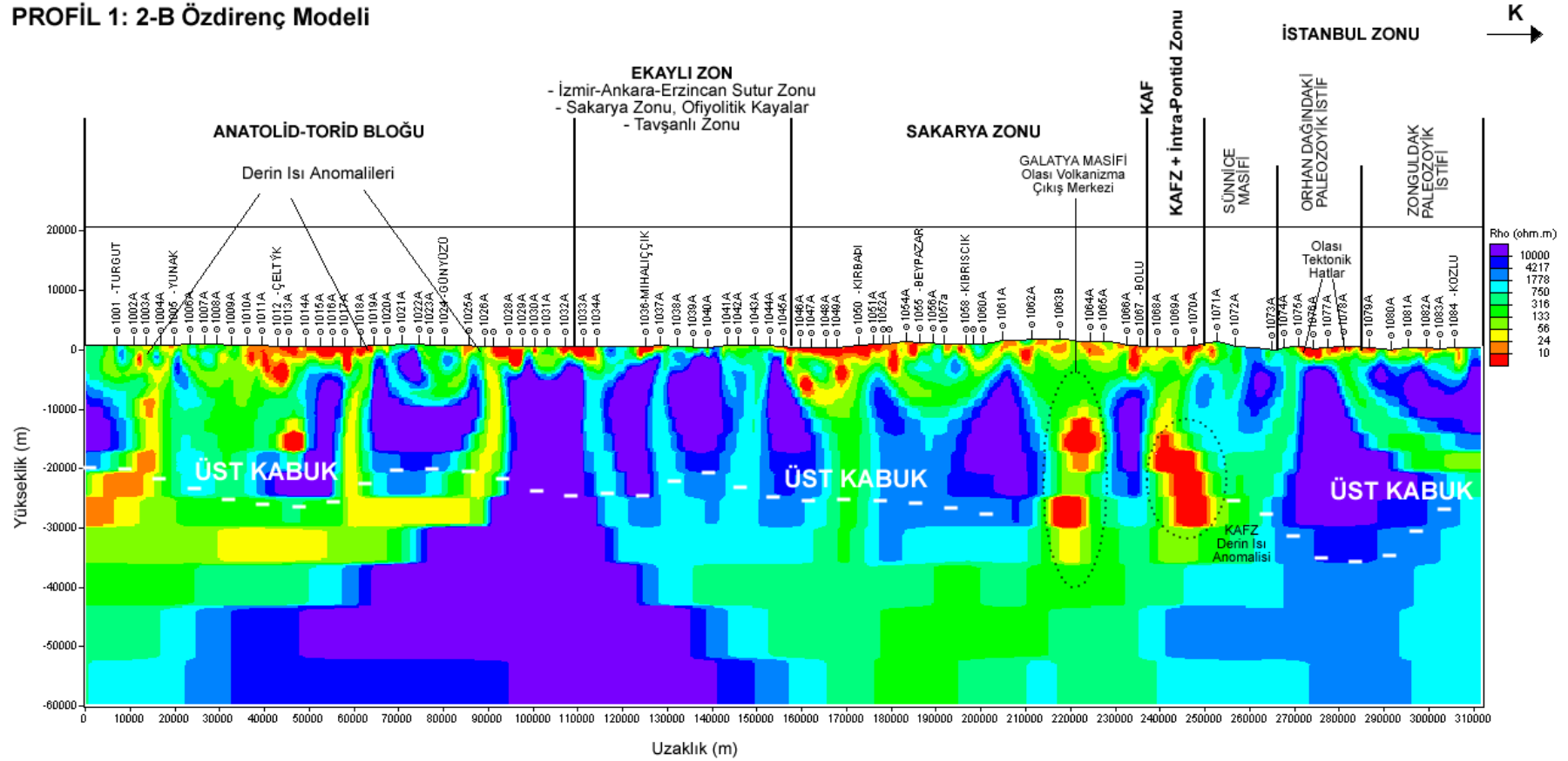
1045–1033 nolu istasyonlar arasında Sakarya Zonu ve Anatolit-Torid Bloğu (Tavşanlı Zonu) ile ofiyolitik kayalar ekaylı bir yapı oluşturur. Granitik sokulumların da eşlik ettiği yüksek özdirençli bu zon aynı zamanda İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu'nu işaret etmektedir. Oldukça kalın bir kabuk yapısına sahip olan zonun güneyinde ise Anatolid-Torid Bloğu'na ait Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı kayalar yüksek özdirençli ve nispeten ince bir kabuk yapısına sahiptir. Ancak, Günyüzü' nün kuzeyinde ve güneyinde, ayrıca Yunak civarında mevcut olan çok düşük / düşük özdirençli yapı,

Anatolit-Torid Bloğu'nu parçalara böler. Sakarya Zonu ve Anatolit-Torid Bloğu üzerindeki Neojen örtü düşük özdirençli yapısı ile dikkat çekmektedir.

Doğrultu-2 Boyunca 2B Özdirenç Modelinin Yorumu

Akçakoca'dan başlayan Profil-2 de (Şekil 4.5), Profil-1 için yapılan yorumda değinilen aynı zonlar ve yapısal hatlar kesilmektedir. Bu doğrultu için özdirenç modeline bakılırsa, Akçakoca-Dokurcun vadisi arasındaki kesimde İstanbul Zonu kat edilir. Akçakoca ile 2086 nolu istasyonu arasındaki yüksek özdirençli yapı Paleozoyik yaşlı istifi temsil eder. Düzce dolayında saptanan ve güneye dalımlı yüksek özdirençli belirti ise Profil-1 de görülen Sünnice masifinin batıdaki devamıdır. Bu iki kütle arasındaki (2086 ve 2084 nolu istasyonlar arasında) güneye dalımlı, düşük özdirençli bir belirti görülmektedir. Bu belirti birinci doğrultuda 1074 ve 1075 nolu istasyonlar arasına denk düşen düşük özdirençli belirti ile ilişkili olmalıdır. Bu kesitte KAFZ, Düzce ve Dokurcun fayları olmak üzere iki kola ayrılır. Aradaki Almacık Dağı'nda metamorfik ve metaofiyolitik kayalar yüksek özdirenç göstermektedir. Dokurcun'dan geçen güney kol, aynı zamanda İnter-Pontid Sütur Zonu ile çakışmakta ve bu durum kesitte açık biçimde izlenebilmektedir. Sütur Zonu'nun güneyinde yer alan Sakarya Zonu (2072 ile 2042 nolu istasyonlar arasında) özdirenç dağılımında parçalı bir yapı göstermekte ve güneyindeki (2042 ile 2033 nolu MT istasyonları arasındaki) göreceli düşük özdirençli kesim ise İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu'nuna karşılık gelmektedir. Çiçek yapısını andıran bu zon içerisinde görülen düzensiz dağılmış halde yüksek özdirençli yapılar bu düşünceyi güçlendirmektedir. 2032 nolu istasyondan itibaren Anatolit-Torid Bloğu'na girilmektedir. Bu blokta oldukça kalın olan kabuktaki Paleozoyik-Mesozoyik temel yüksek özdirençli belirti, Neojen örtü ise düşük özdirençli karakter gösterir. 2030 ve 2013 nolu istasyonlarda görülen ve derinlerde " U " harfi benzeri şekilde birleşen, nispeten düşük özdirençli zon, dikkati çekmektedir. Bolvadin Çay arasında gözlenen yapısal değişimler Sultan Fayının geometrisi ile ilgilidir.

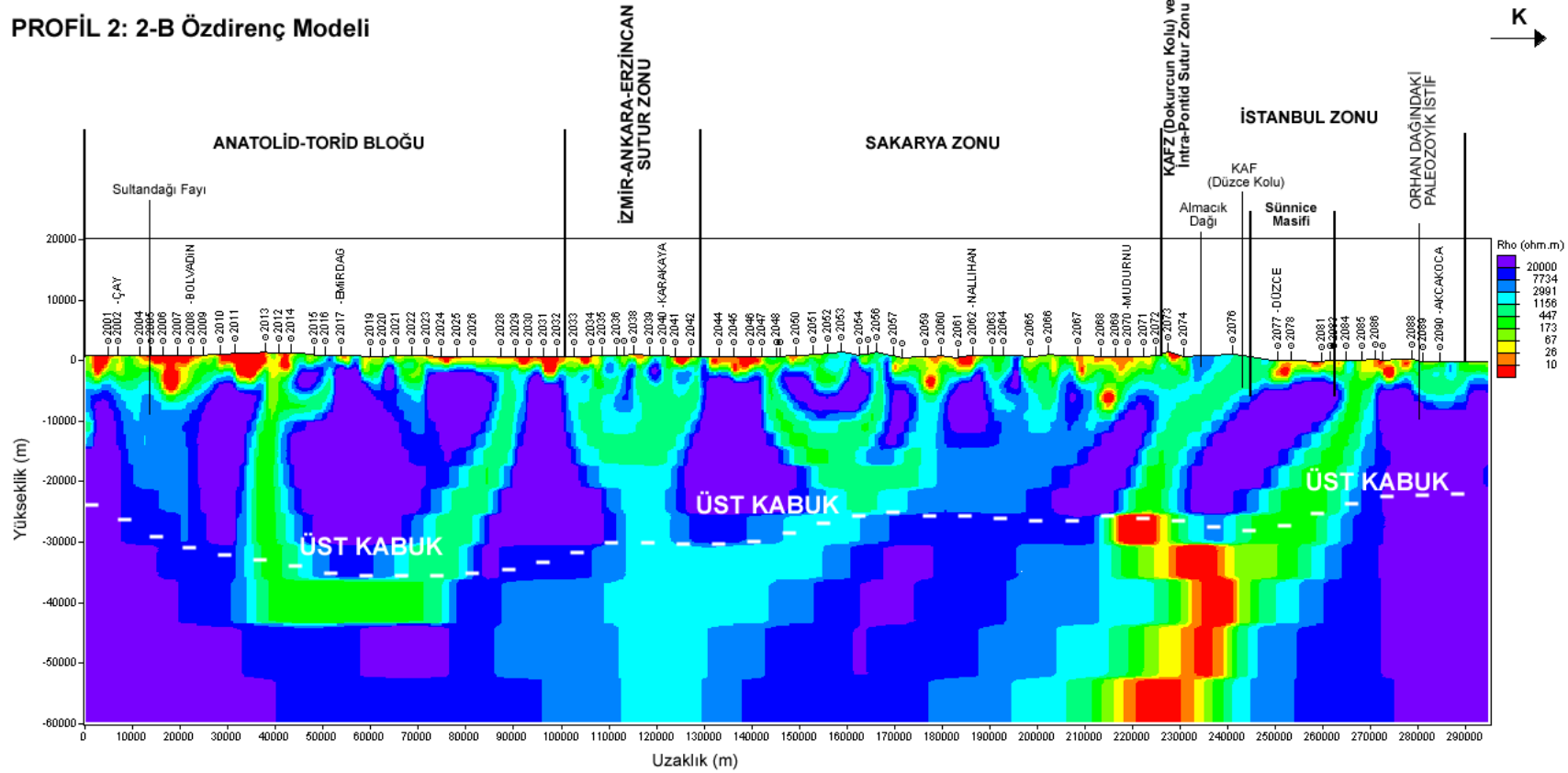
PROFİL 1: 2-B Özdirenç Modeli



Şekil 4.4 Profil-1 boyunca ölçülen MT verilerinin ters çözümü sonucu elde edilen öncel 2B özdirenç modeli

(Candansayar vd. 2009)

PROFİL 2: 2-B Özdirenç Modeli



Şekil 4.5 Profil -2 boyunca ölçülen MT verilerinin ters çözümü sonucu elde edilen öncel 2B özdirenç modeli (Candansayar vd. 2009)

5. KBA'DA İKİ PARALEL DOĞRULTU BOYUNCA ÖLÇÜLEN MT VERİLERİNİN BOYUTLULUK ANALİZİ

Weaver ve diğ. (2000) tarafından geliştirilen WAL sabitlerinin I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7 ve Q (WAL sabitleri) değerleri, yer elektrik doğrultuları ve distorsiyon parametreleri, her bir istasyon için 80 frekansta hesaplanmıştır. Farklı konumlarda ve farklı periyotlardaki WAL sabitleri değerlerinin profillerdeki dağılımını gösteren haritalar oluşturulmuştur. Ayrıca bunlara ek olarak farklı periyotlar için profil 1 ve profil 2 boyunca 174 istasyondaki boyutluluk türleri haritalanmıştır. Böylelikle farklı derinliklerdeki WAL sabitlerinin dağılımını gösteren kontür haritaları oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Son olarak düşey eksen periyot yatay eksen uzaklık olmak üzere WAL sabitleri kullanılarak yapma kesitler oluşturulmuştur.

5.1 KBA'nun MT verisinden elde edilen WAL sabitleri

KBA'nun MT verisi ile her bir ölçüm için logaritmik periyot bantlarında elde edilen WAL sabitlerinin değişimi ve onların boyutluluk tespitinde kullanılan değerlerini göstermek için kat haritası (şekil 5.1-5.6) şeklinde kontürlanmıştır. Aşağıdaki şekiller $T=0.01$, 0.1 , 1 , 10 , 100 , $1000s$ gibi sabit periyotlardaki WAL sabitleri kontür haritalarını göstermektedir.

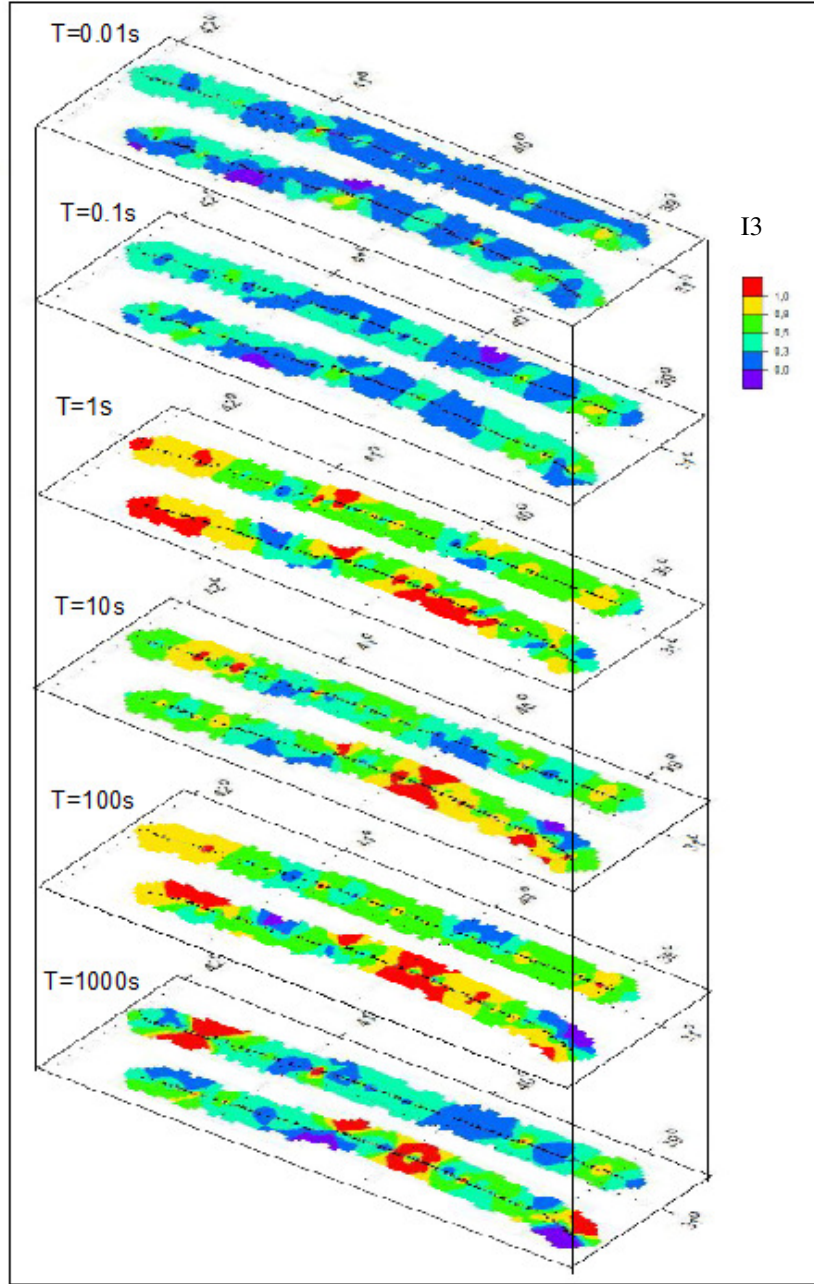
Şekil 5.1, logaritmik dönemler için I3'ün değişimini göstermektedir. Bu şekle göre $T=0.01s$ ve $T=0.1s$ 'de I3 her iki profil boyunca genelde küçüktür. $T=1s$ haritasında I3 1. Profilin kuzeyinde ve 2. Profilin ortalarında yüksek değerli iken, diğer yerlerde küçük değerlidir. $T=1s$, $T=10s$ ve $T=100s$ ' de I3'ün değerleri genelde yüksektir. $T=1000s$ 'de 1. Profilin kuzeyinde ve 2. Profilin ortalarında yüksek diğer yerlerde ise I3 değerleri küçüktür.

Şekil 5.2, logaritmik dönemler için hazırlanmış kat haritalarında I4 değerlerinin değişimini göstermektedir. $T=0.01s$, $T=1s$ ve $T=10s$ periyotları için 2. Profilin ortalarında I4 değerleri yüksektir. Bu periyotlarda 1. Profilde değerler genelde küçüktür. $T=0.1 s$ 'de her iki profilde de I4 değerleri küçüktür. $T=1000s$ için I4 değerleri 2. Profilin genelinde yüksek iken 1. profilin kuzeyinde düşmektedir.

I5'in belirtilen sabit periyotlardaki değişimi (Şekil 5.3) incelendiğinde, ilk üç haritada değerlerin genelde yüksek olduğu diğer haritalarda ise giderek arttığı gözlenmektedir. Şekil 5.4' de 1. Profil ve 2. Profil boyunca I6'nın değişimi görülmektedir. Bu şekle göre $T=0.01s$, $T=0.1s$ ve $T=1s$ 'de I6 değerleri her iki profil

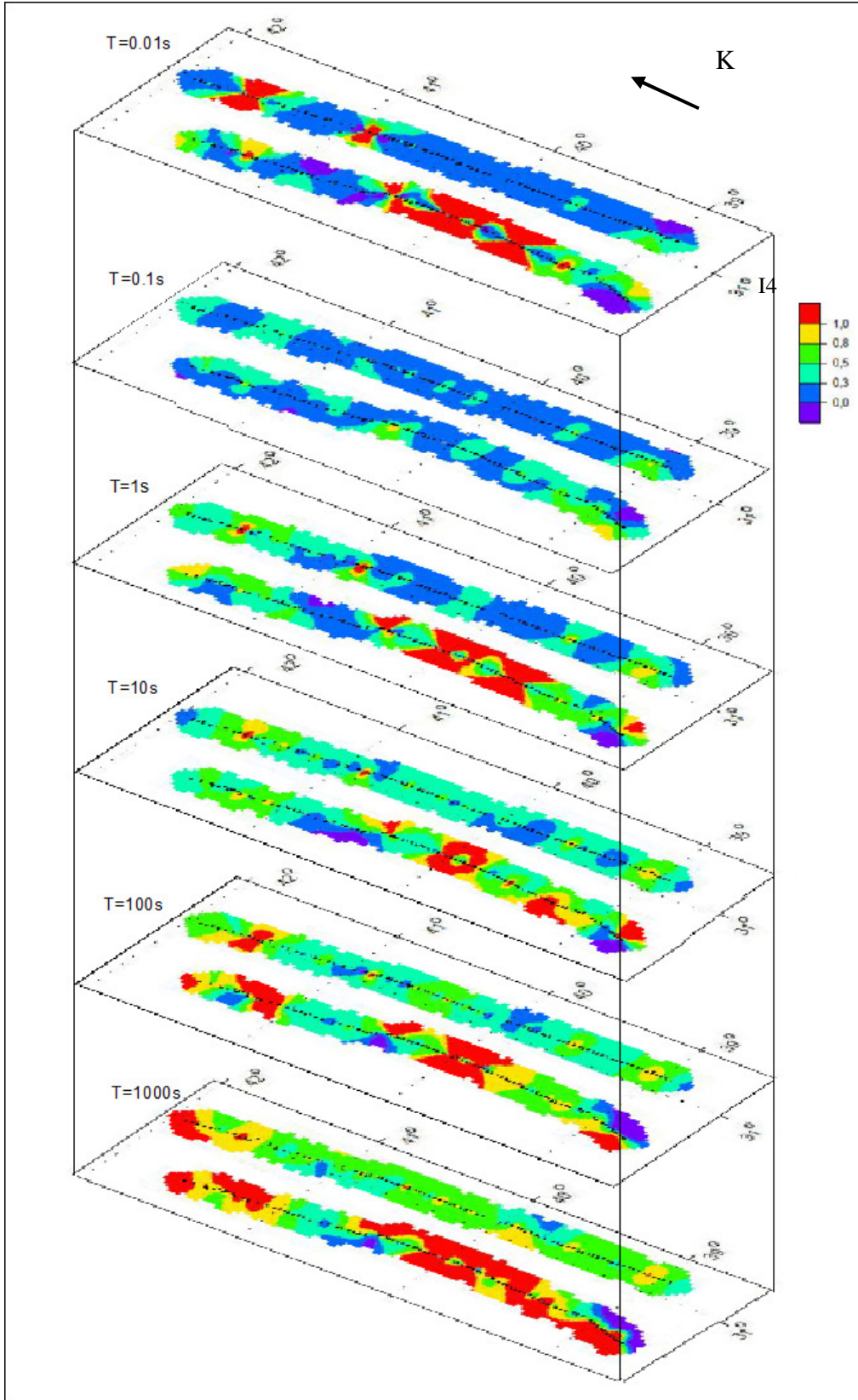
boyunca genelde küçüktür. $T = 10s$ ve $T = 100s$ haritalarında ise I_6 değeri 1. ve 2. Profilin kuzeyinde artmaktadır. $T = 1000s$ haritasında I_6 değeri 1. ve 2. Profilin hem kuzey hem de güneyinde artarken orta bölümünde genel olarak küçüktür.

Şekil 5.5’de 1. profil ve 2. profil boyunca belirli sabit periyotlarda I_7 değerinin değişimi gösterilmektedir. $T = 0.01s$ ve $T = 0.1s$ ’de I_7 değerlerinde her iki profil boyunca değişim gözlenmektedir. $T = 1s$ ’de I_7 değerinin 1. ve 2. Profilin güneyinde genelde büyük olduğu kuzeye doğru gidildikçe değerlerin azaldığı gözlenmekle birlikte 2. Profilin kuzeyinde I_7 değerleri yine artmaktadır. $T = 10s$, $T = 100s$ ve $T = 1000s$ ’de I_7 değerleri genelde yüksektir fakat $T = 100s$ ’de 2. Profilin kuzeyinde I_7 değerleri küçüktür.

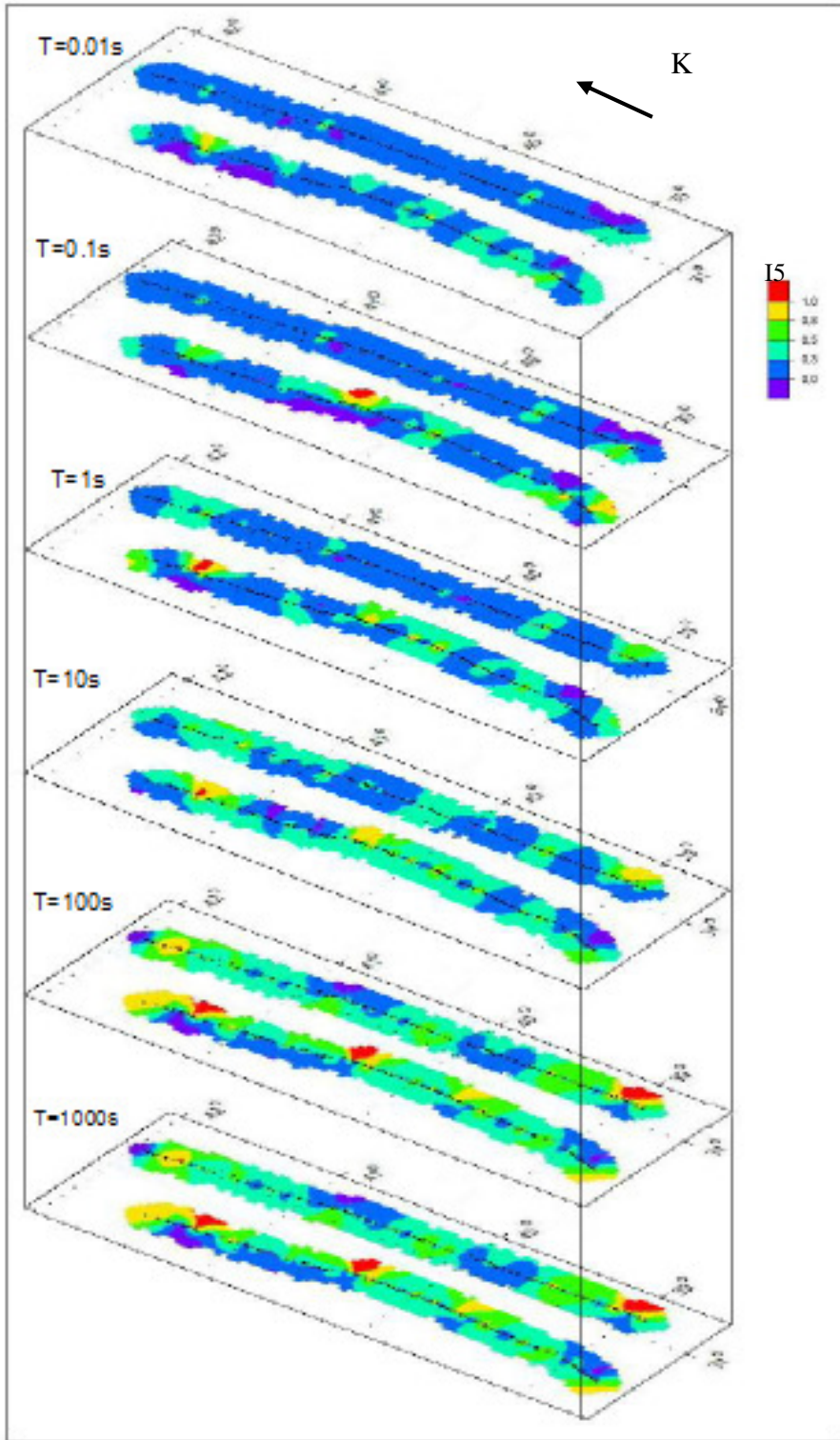


Şekil 5.1 T=0.01, T=0.1, T=1, T=10, T=100 ve T=1000 periyotlarındaki WAL sabiti I3 'ün kontür haritaları .

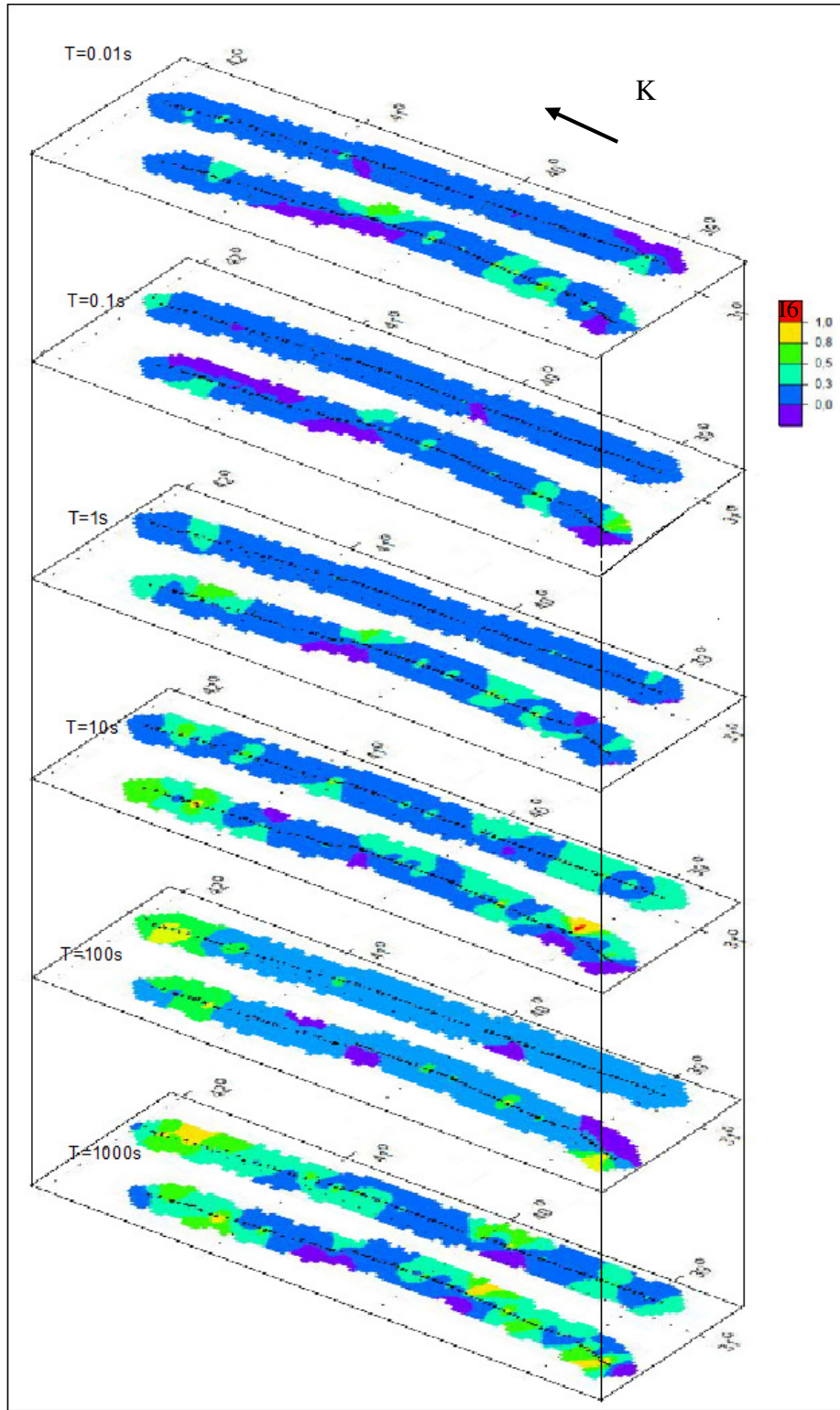
Şekil 5.6' de 1. Profil ve 2. Profil boyunca Q'nun değişimi görülmektedir. Bu şekle göre $T=0.01s$ 'de 1. Profilin kuzeyi yüksek diğer yerler küçük değerlidir. 2. profilin ortalarında Q değerleri yüksek diğer yerlerde küçüktür. $T=0.1$ 'de Q değerleri 1. Profil boyunca küçüktür, 2. Profilin kuzeyi küçük, diğer yerler yüksek değerlidir. $T=1s$ 'de $T=0.01s$ 'deki dağılıma benzer bir dağılım vardır. $T=10s$ 'de 1. Profil genelde küçük değerlidir. 2. profilin kuzeyi yüksek değerlidir. $T=100 s$ ve $T=1000s$ 'de 1. Profil genelde küçük değerlidir. Q değerleri $T=100s$ ' de 2. Profilin kuzeyinde ve iç kesimlerde yüksek iken diğer yerlerde düşüktür. Q $T=1000s$ 'de 2.profil boyunca genelde yüksek değerlidir.



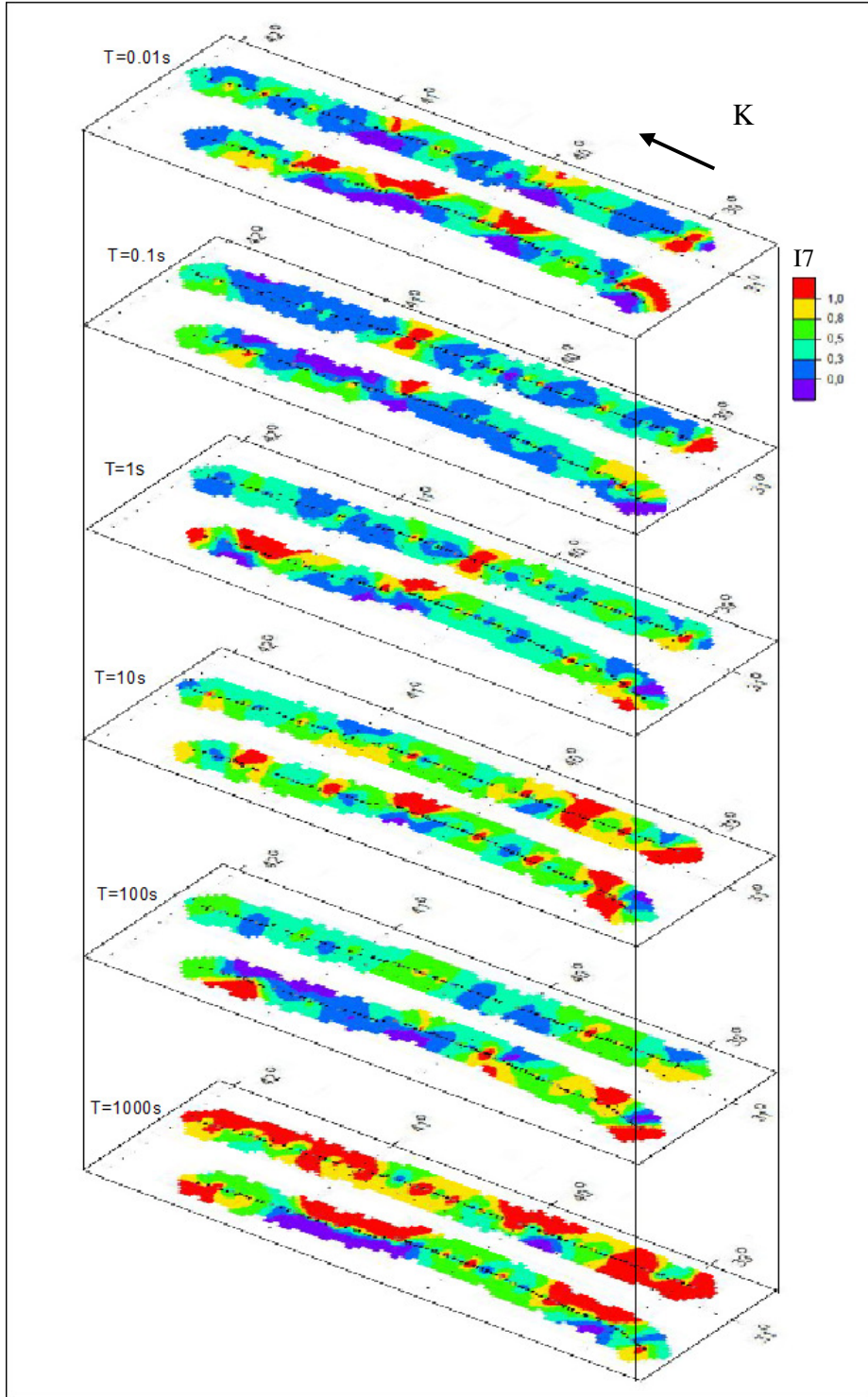
Şekil 5.2 $T=0.01$, $T=0.1$, $T=1$, $T=10$, $T=100$ ve $T=1000$ periyotlarındaki WAL sabiti I_4 'ün kontür haritaları



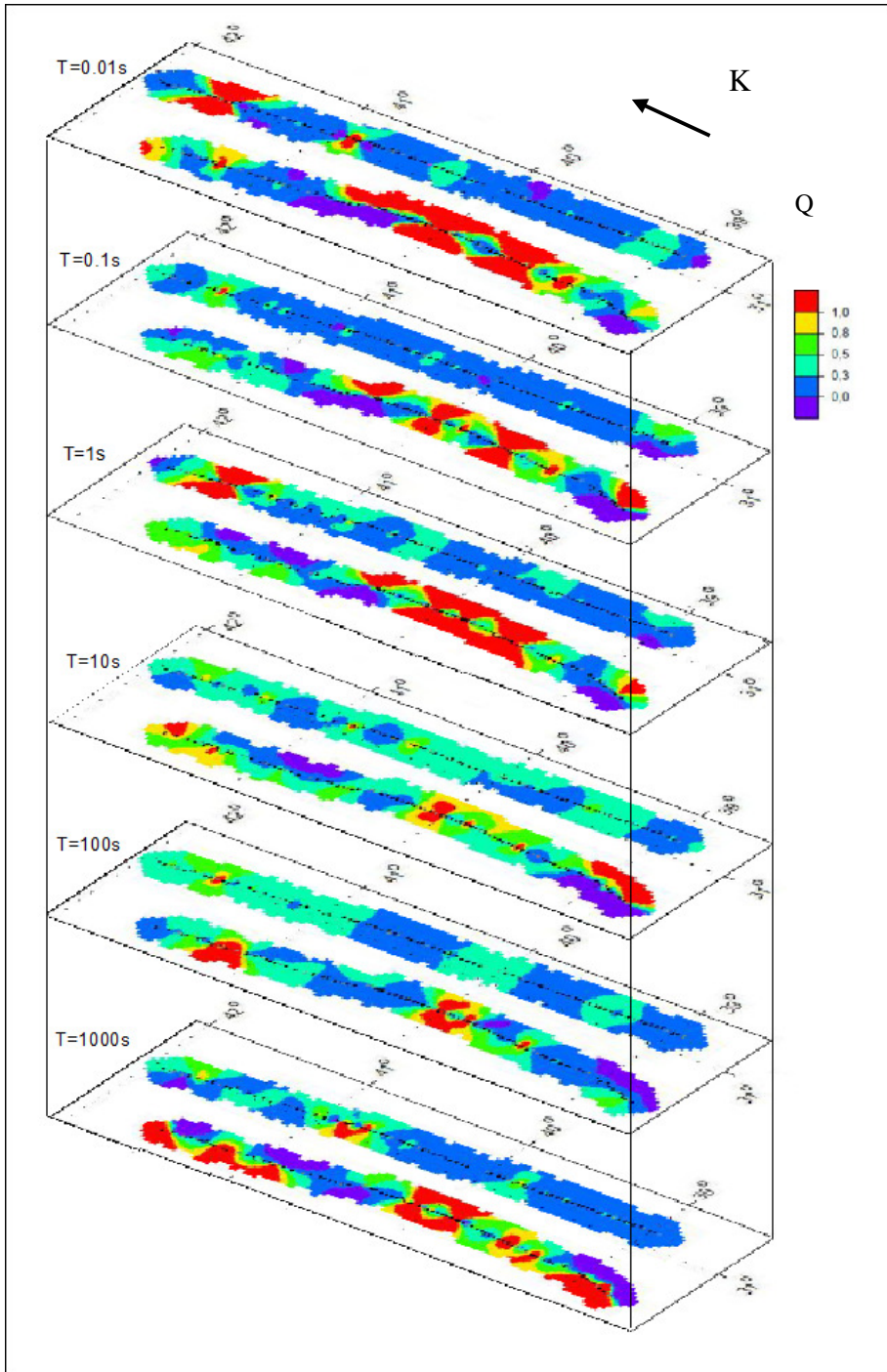
Şekil 5.3 $T=0.01$, $T=0.1$, $T=1$, $T=10$, $T=100$ ve $T=1000$ periyotlarındaki WAL sabiti I_5 'in kontür haritaları



Şekil 5.4 $T=0.01$, $T=0.1$, $T=1$, $T=10$, $T=100$ ve $T=1000$ periyotlarındaki WAL sabiti I_6 'nın kontür haritaları



Şekil 5.5 $T=0.01$, $T=0.1$, $T=1$, $T=10$, $T=100$ ve $T=1000$ periyotlarındaki WAL sabiti $I7$ 'nin kontür haritaları .



Şekil 5.6 $T=0.01$, $T=0.1$, $T=1$, $T=10$, $T=100$ ve $T=1000$ periyotlarındaki WAL sabiti Q 'nin kontür haritaları .

5.2 KBA'nun WAL Boyutluluk Analizi

Bu bölümde Marti (2006)'nin çalışmasına benzer olarak her bir istasyon için tüm periyotlarda boyutluluk analizi yapılmıştır. Boyutluluğu belirlemede WAL (Weaver vd., 2000) sabitleri için $\tau = 0.15$ ve $\tau_0 = 0.1$ eşik değerleri kullanılmıştır. Çünkü WAL sabitleri hiçbir zaman tam olarak sıfıra eşit olmaz (Weaver vd., 2000). Sonuçları logaritmik periyot bantlarında gruplandırılarak boyutluluk haritaları elde edilmiştir. 2B ve 3B/2B boyutlu bölgeler için ortalama yer elektrik yönleri standart sapmaları ile birlikte çizilmiştir. Yer elektrik doğrultuları hata değerlerine ters orantılı olarak ölçeklendirilmiştir. Kısa periyotlarda ölçülen veride distorsiyona neden olan yerel sığ cisimlerin varlığından dolayı boyutluluk karmaşıklığı vardır. Uzun periyotlarda boyutluluk kısa periyottakilere göre daha az karmaşıktır.

Bu hesaplamada WAL kriterleri dikkate alınmıştır. Diğer metotlar arasından WAL sabitlerinin kullanılmasının nedeni MT tensöründen elde edilen tüm bilgilerin kullanılması ve böylece boyutluluk tanımı sağlanmasıdır. Örneğin faz tensörü, (Caldwell et al., 2004) boyutluluk tanımı için MT tensörü tarafından sağlanan bilgilerin yarısını kullanmaktadır.

1.Band (0.001-0.01)

1. ve 2. Profiller boyunca 0.001 sn ile 0.01sn periyotları arası için yapılan boyutluluk analizleri EK-5.1'de verilmiştir. Aşağıdaki bölümde boyutluluk durumu 1. ve 2. Profil için ayrı ayrı anlatılacaktır.

Profil-1

EK-5.1 incelendiğinde 1. bantın (0.001-0.01sn) genel olarak 3B'luk ve 2B'luk ile temsil edildiği görülmektedir. Ayrıntılı olarak incelendiğinde güneyde Torid-Anatolid Bloğu üzerinde bulunan Turgut (Konya) civarındaki ilk on MT istasyonunda KD-GB yönlü 3B /2B ve 2B yapılar bulunmaktadır. Çeltik civarında 1010-1020 noktaları arasında ise ortam 1B 'dur. Torid-Anatolid Bloğu ile Sakarya Kıtası arasında İzmir-Ankara Sütur Zonunda yapılar 3B/2B/1B durumunu göstermektedir. 1035 ve 1036 noktalarında KD-GB yönelimli 2B yapılar mevcuttur. Kuzeye doğru gidildikçe 3B/2B, 3B, 1B yapılar bulunmaktadır. Çeltikçi fay zonu yakınlarında bu fay zonuna yaklaşık paralel KD-GB yönelimli 2B yapılar gözlenmektedir. Kıbrısık'ın güney batısı 1B'dur. Kuzeye doğru gidildikçe Bolu yakınlarında boyutluluk yine karmaşılaşır. Burada 1B

ve 3B, KD-GB yönelimli 3B/2B ve 2B yapılar göze çarpar. Bu bölüm Sakarya Kıtası ile İstanbul Zonu arasında bulunan İntrapontit Süturuna denk gelmektedir. Birinci Profilin en kuzeyinde Devrek ve Zonguldak civarında yer yer 1B ve K-G yönlü 3B/2B yapılar bulunmakla birlikte bazı yerlerde 3B yapılar yer almaktadır.

Profil-2

EK-5.1’de ikinci profil incelendiğinde haritanın en güneyinde Torid-Anatolid bloğunun üzerindeki MT istasyonları 3B yapılar üzerindedir. İç kısımlarda 2028-2036 noktalarının altında boyutluluk 1B olup Eskişehir fay zonu civarında değişim gözlenmektedir. Bu bölgede 3B, 3B/2B/1B yapılar bulunmakta ve ayrıca farklı yönelmiş faylar ve kıvrımlardan dolayı kaynaklandığı düşünülen farklı yönlü 2B ve 3B/2B yapılar yer almaktadır. Beylikova civarı ve Mihaliççık ‘ın doğusu 1B’dur. 2050-2058 noktaları arasında 3B yapılar bulunmaktadır. Nallıhan’ın güneybatısında 3B, 3B/2B/1B,1B yapılar ve D-B uzanımlı 3B/2B yapılar mevcuttur. Bu bölgede boyutluluğun önemli ölçüde değiştiği göz önüne alınırsa İzmir-Ankara suture zonu ile örtüştüğü düşünülebilir.

2062-2066 noktaları arasında farklı açılı fakat genel olarak KD-GB yönelimli 3B/2B yapılar bulunmaktadır. Kuzey Anadolu Fay zonu civarında 3B, 1B, KD-GB yönlü 2B yapılar mevcuttur. Daha kuzeyde, Karadere Kaynaşlı Mengen Alt Fay Zonu ile Akçakoca arasında 3B yapılar vardır.

2.Band (0.01-0.1s)

1. ve 2. Profiller boyunca 0.01 sn ile 0.1s periyotları arası için yapılan boyutluluk analizleri EK-5.2’de verilmiştir. Aşağıdaki bölümde boyutluluk durumu 1. ve 2. Profil için ayrı ayrı anlatılacaktır.

Profil-1

Profil 1 boyunca EK-5.2’ de güneyden kuzeye doğru 1001-1084 ölçüm noktaları için T=0.01-0.1s periyot bandında WAL parametrelerinden elde edilen boyutluluk analizi sonuçları gösterilmektedir. Bu şekil incelendiğinde profilin en güneyindeki 1001-1008 noktaları arasında 2B yapılar bulunmaktadır. Bu yapılar ayrıca K19D ve K46D yönlerine doğru uzanmaktadır. 1009 ile 1020 noktaları arasında kalan kısımda K46 D ve K82D yönlü 2B yapılar ve 1B yapılar yer almaktadır. 1020-1025 noktaları arasında yapılar 3B’ dur.1025-1037 noktaları arasındaki yapıların çoğu 1B’dur. 1038-1045

istasyonları arasında genel olarak 3B yapılar bulunmakla birlikte K65D ve K26D yönlü 3B/ 2B yapılar da yer almaktadır.1046-1065 noktaları arasında genel olarak boyutluluk 3B/2B 'dur. Bu yapıların yer elektrik doğrultuları güneyden kuzeye doğru K32D ve K83D arasında değişmektedir. 1065-1072 arasındaki noktalarda yapılar 1B, 3B/2B ve 3B dur.1072, 1073 ve 1074 noktaları altında K71D yönlü 2B yapılar vardır.

Profil-2

EK-5.2'de profil-2'nin en güneyindeki 2001-2008 ölçüm noktaları arasındaki yerlerde galvanik distorsiyondan etkilenip etkilenmediği anlaşılamayan 3B yapılar bulunmaktadır.2008-2014 noktaları arasındaki noktalarda boyutluluk 3B/2B/1B ve 2B 'dur. 2014-2029 noktaları arasındaki yerler genel olarak 3B'dur. 2028-2035 noktaları arasında tamamen 1B yapılar bulunmaktadır. 2035-2045 noktaları arasında 3B yapılar vardır. Fakat 2042 ölçüm noktası yakınlarında K81D yönlü 3B/2B yapılar bulunmaktadır. 2045-2050 noktaları arasında 1B yapılar vardır. 2050-2060 noktaları arasında 3B, K54D yönlü 2B, K20D yönlü 3B/2B yapılar ve 3B/2B/1B yapılar olduğu görülmektedir. 2060-2076 noktalarının yer aldığı bölgede K25D yönlü 3B/2B yapılar, K71D yönlü 2B yapılar ve yer yer 1B yapılar bulunmakla beraber bölgeyi genel olarak 3B yapılar temsil etmektedir. 2. Profilin en kuzeyinde İstanbul zonu üzerinde bulunan tüm noktaların boyutluluğu 3B'dur.

3.Band (T=0.1-1s)

1. ve 2. Profiller boyunca 0.1 sn ile 1s periyotları arası için yapılan boyutluluk analizleri EK-5.3'de verilmiştir. Aşağıdaki bölümde boyutluluk durumu 1. ve 2. Profil için ayrı ayrı anlatılacaktır.

Profil-1

EK-5.3'e göre 3. Bantta 1.Profilin en güneyindeki Torid Anatolid Blok'unun üzerindeki ilk 1001-1012 noktaları arasında ortam 3B' dur.1012-1020 noktaları arasında ortam temel olarak 1B'dur fakat 2013 ve 2014 noktalarda K78D yönlü 2B yapılar bulunmaktadır. 1020-1027 noktaları arasında ortam genel olarak 3B'dur. 2027-2040 noktaları arasında 1B ve 3B yapılar bulunmaktadır. 1040-1066 noktaları arasındaki yerlerin boyutluluğu 1B, K60D yönünde 2B yapı, K50D yönünde 3B/2B, 3B, 3B/2B/1B yapılar üst üste binmiştir. 1066-1073 noktaları arasında genel olarak K55D yönlüdür. 3B/2B yapılar bulunmaktadır. Fakat 1072 noktası 2B olup bu yapı K73D yönlüdür.

İstanbul zonunda bulunan profilin en kuzeyindeki 1073-1084 noktaları arasında 3B yapılar vardır.

Profil-2

EK-5.3'e göre 3. bantta en güneydeki 2001-2012 noktaları arasında genel olarak 3B yapılar yer almakla birlikte yer yer 2B ve 3B/2B yapılar da mevcuttur. 2012-2039 noktaları arasında 3B yapılar vardır. 2039, 2040, 2041 noktalarında K35D yönlü 3B/2B yapılar bulunmaktadır. 2042, 2043, 2044 noktaları 3B olup 2045, 2046, 2047 noktaları 1B'dur. 2047-2065 noktaları arasında genel olarak 3B yapılar bulunmaktadır. 2065-2070 noktaları arasında K60D yönlü 3B/2B yapılar bulunmaktadır. 2070-2090 istasyonlarında 3B yapılar yer almaktadır.

4. Band (T=10-100s)

1. ve 2. Profiller boyunca 1 sn ile 10s periyotları arası için yapılan boyutluluk analizleri Şekil EK-5.4'de verilmiştir. Aşağıdaki bölümde boyutluluk durumu 1. ve 2. Profil için ayrı ayrı anlatılacaktır.

Profil-1

EK-5.4'e göre 4. Bantta 1. Profilin geneli 3B'dur. Kuzeye gidildikçe bu 3B yapıların arasında K60D yönlü 2B yapılar ve K56D yönlü 3B/2B yapılar yer almaktadır.

Profil-2

EK-5.4'de profil 2 boyunca güneyden kuzeye doğru 2001-2090 ölçüm noktaları için T=1-10s periyot bandında WAL parametrelerinden elde edilen boyutluluk analizi sonuçları gösterilmektedir. Buna göre 4. Bantta 2. Profil genel olarak 3B'dur.

5. Band (T=10-100s)

1. ve 2. Profiller boyunca 10 sn ile 100 sn periyotları arası için yapılan boyutluluk analizleri EK-5.6'da verilmiştir. Aşağıdaki bölümde boyutluluk durumu 1. ve 2. Profil için ayrı ayrı anlatılacaktır.

Profil-1

EK-5.6'da 1001-1023 noktaları arasında 3B yapılar yer almaktadır. 1023-1029 noktaları arası K46D açılı 2B yapılar ile, 1029-1075 noktaları arası yapılar genel olarak 3B 'dur ve az miktarda K66D yönlü 3B/2B yapılar göze çarpmaktadır. 1075-1078 noktaları arasında 3B/2B ve K61D yönlü yapılar vardır. 1. profilin en kuzeyindeki 1078-1084 noktaları arasında yerler 3B'dur.

2.Profil

EK-5.6'da profil 2'nin en güneyindeki ilk 21 noktada boyutluluk 3B ve 3B/2B/1B 'dir. Fakat ölçüm noktalarının büyük çoğunluğunda boyutluluk tespiti yapılamamıştır. 2021-2027 noktaları arası 3B iken 2027-2031 arasındaki noktalarda 3B ve K24D yönlü 3B/2B yapılar bulunmaktadır. 2031-2039 noktaları arasında yapılar 3B'dur. 2041-2046 noktaları arasında K24D yönlü 3B/2B ve 3B yapılar yer almaktadır. 2046-2065 noktaları arasında boyutluluk genel olarak 3B'dur. Bu 3B yapıların arasında bazı noktalarda K21D yönlü 2B yapılar bulunmaktadır. 2065, 2066, 2067 noktalarında K35D yönlü 3B/2B yapılar vardır. 2068- 2071 noktaları arasındaki yapılar 3B'dur. 2072, 2074, 2075 noktaları altında K68D yönlü 3B/2B ve 2B yapılar vardır. En kuzeydeki 2090'a kadar olan diğer noktalar genel olarak 3B'dur.

6.Band (T=100-1000s)

1. ve 2. Profiller boyunca 100 sn ile 1000 sn periyotları arası için yapılan boyutluluk analizleri EK-5.6'da verilmiştir. Aşağıdaki bölümde boyutluluk durumu 1. ve 2. Profil için ayrı ayrı anlatılacaktır.

1.Profil

EK-5.6'da 1. Profilin ilk 3 noktasında 3B yapılar bulunmaktadır. 1004-1009 noktaları arasında 3B/2B mi yoksa 3B/1B olduğu ayırt edilemeyen yapılar vardır.1009-1021 noktaları arasında 3B yapılar yer almaktadır. 1021-1027 noktaları arasında K51D yönlü 2B ve 3B/2B/1B yapılar bulunmaktadır. 1027-1039 arasındaki noktalarda yapılar 3B'dur. 1039, 1040 ve 1044, 1045 noktalarında 70° KD yönlü 3B/2B ve 2B yapılar bulunmaktadır. En kuzeydeki 1084'e kadar diğer tüm noktaların boyutluluğu 3B'dur.

2.Profil

EK-5.6' da profil 2 boyunca güneyden kuzeye doğru 2001-2090 ölçüm noktaları için T=100-1000s periyot bandında WAL parametrelerinden elde edilen boyutluluk analizi sonuçları gösterilmektedir. Bu haritaya göre 2. Profilin güneyindeki bazı noktalarda boyutluluk belirlenememiştir. Sadece bazı noktalarda belirlenebilmiştir ve genelde hata oranı yüksek bazı 2B yapılar ve 3B gözlenmektedir. 2023-2048 noktaları arasındaki yapılar genelde 3B olup bazı yerlerde 3B/2B/1B yapılar da bulunmaktadır. 2048-2056 noktalarında boyutluluk 3B/2B/1B olup 2056-2066 noktaları arasındaki yerlerde 3B ve 3B/2B/1B olarak değişmektedir. 2066'nın kuzeyindeki tüm noktalarda genelde 3B'luk gözlenmektedir.

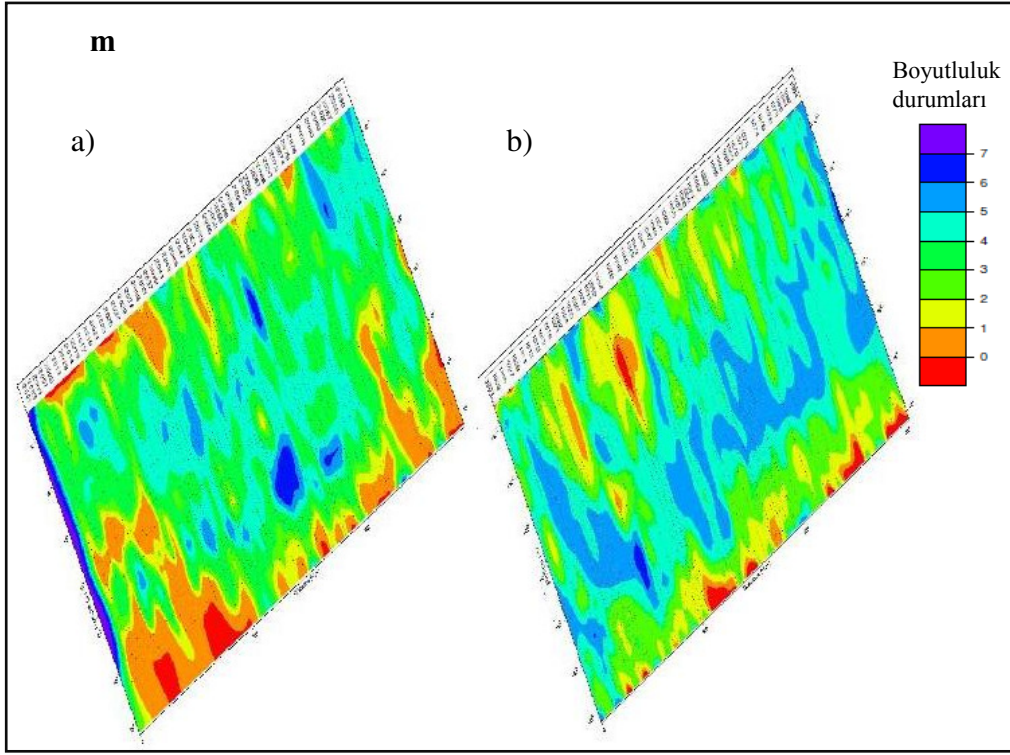
5.3 Boyutluluk Kesitleri

KBA'da 2 profil boyunca 174 istasyonda ölçülen MT verileri 80 periyot için bölüm üçte anlatılan WAL sabitleri hesaplanmıştır. Ölçülen 174 MT verisi için 80 periyotta WAL kriterlerine göre boyutluluk durumları elde edildi ve bu değerler WinGlink programında düşey eksen periyot yatay eksen uzaklık olmak üzere kontürlanarak boyutluluk kesitleri elde edildi. Şekil 5.7, Profil 1 ve Profil 2 boyunca periyota ve uzaklığa göre boyutluluk değişimlerini vermektedir.

Şekil 5.7 incelendiğinde 1. profil 0.01-1 s periyotları arasındaki derinliğe düşen yapılar 2B ve 1B dur. 1-100s arasındaki periyotlarda genel olarak 3B ve 3B/2B yapıların etkisi görülmektedir. 100-10000s periyotları arasında ise yapılar 1B ve 2B'dur.

2.Profilde de 1.Profildekine benzer bir boyutluluk dağılımı vardır. 0.01-1 s periyotları arasında yapılar genelde 2B ve 1B'dur. 1-100s arasındaki periyotlarda genel olarak 3B ve 3B/2B boyutluluk görülmektedir. 100-10000s periyotları arasında ise boyutluluk 1B ve 2B'dir.

Aşağıdaki kesitler incelendiğinde her iki profilde de kesitlerin düşey yönde üç kısma ayrıldığını söylemek mümkündür.



Şekil 5.7 WAL sabitleri kriterlerine göre hazırlanan boyutluluk kesitleri, düşey eksen periyot, yatay eksen uzaklıktır a) 2.Profil, b)1.Profil.

7 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

- KBA'da iki profil boyunca ölçülen MT verisinden WAL sabitlerinin I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7 ve Q (WAL sabitleri) değerleri, yer elektrik doğrultuları ve distorsiyon parametreleri, her bir istasyon için 80 frekansta hesaplanmıştır.
- Tüm ölçüm noktaları için logaritmik periyotlardaki WAL sabitleri değerlerinin profillerdeki dağılımını gösteren haritalar hazırlanmıştır.
- Logaritmik periyot bantları için profil-1 ve profil-2 boyunca 174 istasyondaki boyutluluk türleri haritaları hazırlanmıştır.
- Düşey eksen periyot yatay eksen uzaklık olmak üzere WAL sabitleri kullanılarak yapma kesitler oluşturulmuştur.
- KBA'da iki doğrultu boyunca ölçülen MT verisinden elde edilen boyutluluk analizi sonucunda 2B ve 3B yapılar ortaya çıkarılmıştır. MT verisinin 2B değerlendirmesinde 3B olarak tespit edilen yerlerin daha dikkatli yorumlanması gerekmektedir.
- Küçük periyotlarda yüzeye yakın heterojen iletken cisimler nedeniyle boyutluluğun karmaşık olduğu ve yüksek periyotlarda ise 3B yapıların çoğunlukta olduğu görülmüştür.
- Ayrıca boyutluluk analizi sonucunda kenet zonları yakınlarında boyutluluğun diğer yerlere göre daha karmaşık olduğu gözlemlendi.
- Kuzey Anadolu Fayı dolayındaki yapıların uzanımların genelde K-KD olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akyol, Z., Arpat, E., Erdoğan, B., Göger, E., Şaroğlu, F., Şentürk, İ., Tütüncü, K. and Uysal, Ş., 1974. Geological map and explanatory text of the region Cide-Kurucaşile (in Turkish). Mineral Research and Exploration Institute, Turkey, Ankara.
- Bai and Meju, 2003. Deep structure of the Longling–Ruili fault underneath Ruili basin near the eastern Himalayan syntaxis: insights from magnetotelluric imaging, *Tectonophysics* 364 (2003), pp. 135–146.
- Başokur, A.T., İlkışık, O.M., Tokgöz, T., Kaya, C., Ulugergerli, E.U., Gürer, A., Duvarcı, E., Bilgin, T.R., Çınar, A., Konak, N., Bayrak, M., Pekşen, E., Karlık, G., 1995. Ulusal Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Araştırma Programı: Manyetotellürik Yöntem ile Ege Bölgesi Kabuk Yapısının araştırılması, Proje No:YDABÇAG-230/G, Aralık, Ankara.
- Başokur, A.T., Ulugergerli, E.U., Kaya, C., Candansayar, E., Koçak, A., Madarasi, A., Warga, G., Wesztergom, V., Duvarcı, E., Kılıç, A.R., Szarka, L., 2001. Aliğa Jeotermal Sahasının Manyetotellürik Yöntem ile Araştırılması 2000-07-05-021 No’lu Projesi, Ankara Üni. Araştırma Fonu Kesin Raporu, Mayıs 2001, Ankara.
- Bayrak, M., İlkışık, O.M., Kaya, C., Başokur, A.T., 2000. Magnetotelluric data in western Turkey: Dimensionality analysis using Mohr circles, *J. Geophys. Res.* 105, 23391-23401.
- Bayrak, M., Nalbant, S. S., 2001, Conductive crust imaged in western Turkey by MT, *Geophysical research letters*, 28,3521-3524
- Bahr, K., 1988, Interpretation of the magnetotellüric impedance tensor: regional induction and local tellüricdistorsion. *J.Geophys.*, 62, 119-127
- Bahr, K., 1991. Geological noise in magnetotellüric data : a classification of distortion types, *Phys. Earth planet. Inter.*, 66, 24-38.
- Berdichevsky, M. N. and Dmitriev, V. I., 1976, Basic principles of interpretation of magnetotellüric sounding curves, In:Goelectric and Geothermal studies, Ed.: Adam, A. Budapest, Akademiai Kiado, 165-221.
- Bostick, F. X., 1977. A simple Almost Exact Method of MT Analysis, Workshop on Electrical Methods in Geothermal Exploration, Snowbird, Utah: U.S. Geological Survey Contract, 14-08-001-6-359.
- Brewitt-Taylor, C.R. and Weaver, J.T., 1976. On the finite-difference solution of two-dimensional induction problems, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 47, 375-396.
- Burçak, M., Kaya, C., Kılıç, A.R. and Akdogan, N. 2005: Exploration of the Heat Source and Geothermal Possibilities of the Aksaray Region, Central Anatolia, Turkey:Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005
- Candansayar, M. E., Kaya, C., Gürer A., Kılıç, A. R., Dikmen, Ü., Kadioğlu, Y. K., Ulugergerli, E. U., Akın U., Arslan S., Konak, N., Yılmaz, H., Başokur, A. T., Demirci, İ., Erdoğan, E., Kaçmaz, F., Özyıldırım, Ö., Okay, H., Kaypak, B., 2008. NW_Anatolia_CSGM Project: an investigation of N-W Anatolian Crust Structure by using Geophysical Methods. IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth Short Abstract 19th Workshop Beijing, China.

- Candansayar, M. E., Kaya, C., Güner, A. 2008. Kuzey Batı Anadolu'nun kabuk yapısının jeofizik yöntemlerle araştırılması, 105G145 nolu TÜBİTAK Projesi 5. Dönem gelişme raporu, Ankara.
- Cagniard, L., 1953. Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting, *Geophysics*, 18, 605-635.
- Caldwell, T.G., Bibby, H.M., Brown, C., 2004. The Magnetotelluric Phase Tensor, *Geophys. J. Int.*, 158, 457-469.
- Chave, A.D ve Smith, J.T., 1994. On the electric and magnetic galvanic distortion tensor decomposition. *J. Geophys. Res.*, 99, 4669-4682.
- Çağlar, İ., 2001. Electrical resistivity structure of northwestern Anatolia and its tectonic implications for the Sakarya and Bornova zones, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 125, 95-110.
- Fischer, G. And Masero, W., 1994. Rotational properties of the magnetotelluric impedance tensor, the example of the Araguainha impact crater, Brazil, *Geophys. J. Int.*, 119, 548-560.
- Groom, R. and Bailey, R., 1989, Decomposition of the magnetotelluric impedance tensor in the presence of the local three-dimensional galvanic distortion, *J. Geophys. Res.*, 94, 1913-1925.
- Güner, A., 1996, Deep conductivity structure of the North Anatolian Fault Zone and the Istanbul Sakarya Zones along the Gölpazarı-Akçaova profile, Northwest Anatolia, *International Geology Review*, 38, 727-73
- Haak, V., Ritter, O., and Ritter, P., 1989, Mapping the geothermal anomaly on the island of Milos by magnetotellurics, *Geothermics*, 18, 533, 546.
- İlkışık, O.M., 1980. Manyetotellürik Yöntemle Trakya'da Yer kabuğunun Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- İlkışık, O.M., 1981. Investigation of the earth crust in the Thrace Basin, using magnetotelluric method, *İ.Ü. Yerbilimleri Dergisi*, 2, 307-319, İstanbul.
- Jiracek, G., 1990. Near-surface and topographic distortions in electromagnetic induction, *Survey in Geophysics*, 11, 163-203.
- Jones, A. G., 1983, On the equivalence of the Niblett and Bostick transformation in the Magnetotelluric method. *J. Geophysics*, 53, 73-74.
- Jones, A.G., 1992. Electrically conductivity of the continental crust in Fountain, D.M., Arculus, R.J., and Kay, R.W., Eds., *Continental lower crust*, Elsevier Science Publ. Co. Inc., 81-43.
- Jones, A. G., 1988. Static-shift of magnetotelluric data and removal in a Sedimentary basin environment: *Geophysics*, 53, 967-978.
- Jupp, D.B.L., and Vozoff, K., 1977. Two-dimensional magnetotelluric inversion, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 50, 333-352.
- Kaufmann, A.A., and Keller, G.W., 1981. *The magnetotelluric sounding methods*, Elsevier Scientific Publ. Co.
- Kaya, C., 1994. MTA Genel Müdürlüğü'nün Yer kabuğu ve Isı Akısı Projesi, Ankara.

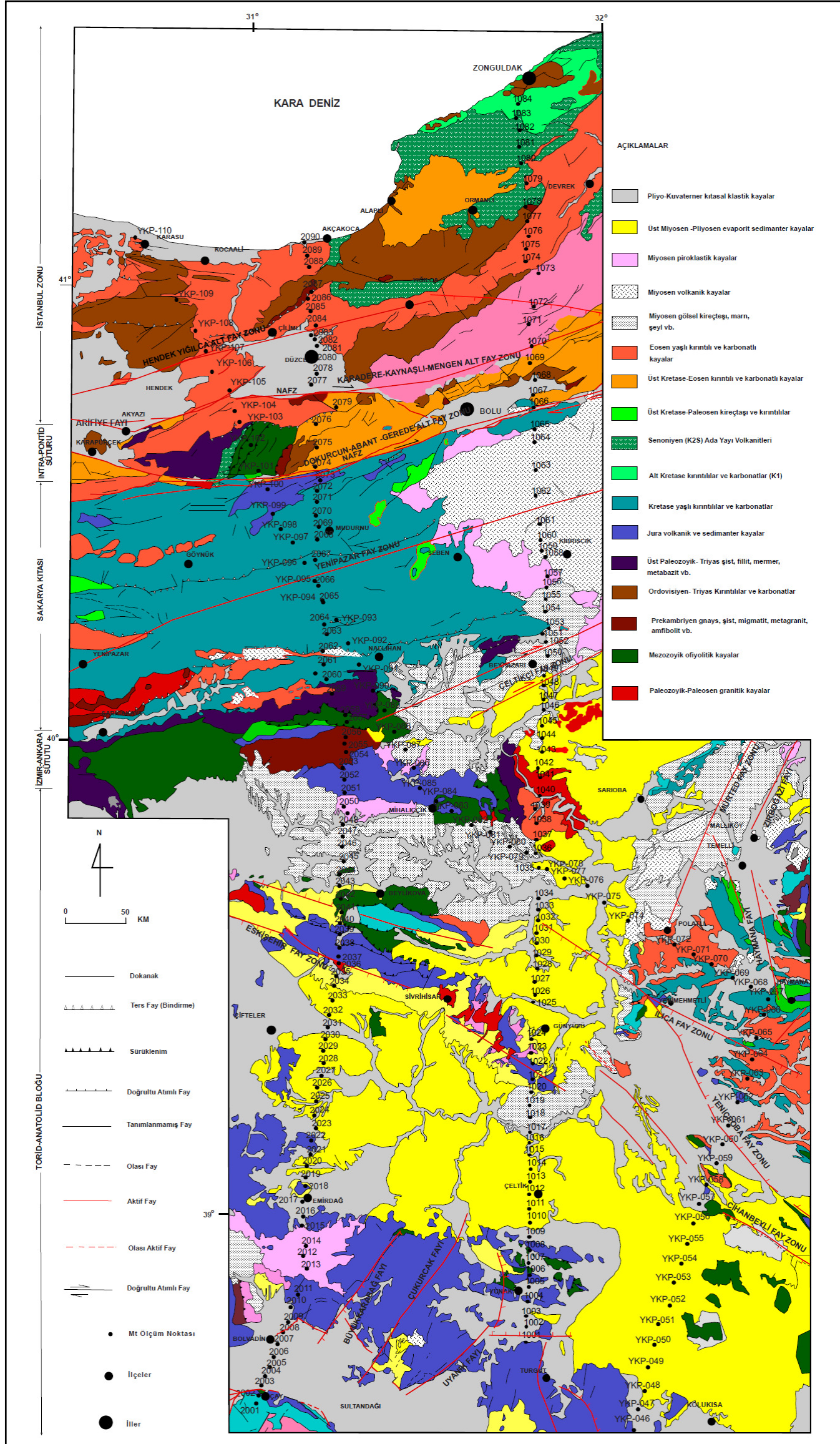
- Kaya, C., 2002. Frekans düzünlenmiş empedans fonksiyonu ile manyetotellürük verilerde statik-kayma düzeltmesi, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, 104s, Ankara.
- Kaya, C. and Kılıç A. R., 2005. Türkiye Yer kabuğu Araştırma Projesi Jeofizik Raporu (Manyetotellürük ve Gravite). General Directorate of Mineral Research and Exploration(MTA) Report No:10845 Unpublished in Turkish
- Kaya, C., 2007. Polatlı-Nallıhan-Karasu arsındaki bölgenin derin kabuk yapısının manyetotellürük yöntemle araştırılması projesi, No:105Y026, 83s, Sivas.
- Kaya, C., 2008. Deep crustal structure of Northwestern Part of Turkey (submitted to tectonophysics)
- Kaya, C., Candansayar, M. E., Kılıç, A. R., Gürer A., Dikmen, Ü., Yılmaz, H., Kadioğlu, Y. K., Uluggerli, E. U., Akın U., Arslan S., Konak, N., Başokur, A. T., Demirci, İ., Erdoğan, E., Kaçmaz, F., Özyıldırım, Ö., Okay, H., Kaypak, B., Okay H., 2008. NW_ ANATOLIA_ CSGM Project: an investigation of N-W Anatolian Crust Structure by Using Geophysical Methods: Profile 1
- Kurtz, R.D., Craven, J. A., Niblett, E.R. and Steven, R.A., 1993. The conductivity of the crust and mantle beneath the Kapuskasing Uplift: Electrical anisotropy in the upper mantle, *Geophys. J. Int.*, 113, 483-498.
- Larsen, J.C., 1986. Removal of local surface conductivity effects from low frequency mantle response curves, in Vozoff, K., Ed., *Magnetotelluric methods: Soc. of Expl. Geophys.*, 706-708. (Reprinted from *Acta Geodaet., Geophys. et Montanist. Acad. Sci. Hung.*, 12, 183-186 (1977)).
- Ledo, J., Gabas, A. and Marcuello, A., 2002a. Statik shift levelling using geomagnetic transfer functions. *Earth Planets Space*, 54, 493-398.
- Ledo, J., Queralt, P., Marti. A. and Jones, A.G., 2002b. Two-dimensional interpretation of three-dimensional magnetotellürük data: an example of limitations and resolution , *Geophys. J. Int.*, 150, 127-139.
- Lilley, F.E.M., 1993a, Mohr circles in magnetotelluric interpretation (i) simple static shift; (ii) Bahr's analysis: *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 45, 833-839.
- Lilley, F.E.M., 1993b, Three-dimensionality of the BC87 magnetotelluric data set studied using Mohr circles: *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 45, 1107-1113. Lilley, F.E.M., 1993c, Magnetotelluric analysis using Mohr circles: *Geophysics*, 58, 1498-1506.
- Lilley, F.E.M., 1998a, Magnetotelluric tensor decomposition: Part I, Theory for a basic procedure: *Geophysics*, 63, 1885-1897.
- Lilley, F.E.M., 1998b, Magnetotelluric tensor decomposition: Part II, Examples of a basic procedure: *Geophysics*, 63, 1898-1907.
- Madden, T.R., 1972. Transmission systems and network analogies to geophysical forward and inverse problems, ONR Technical Report 72-3.
- Meju, M. A., 2005. Simple relative space-time scaling of electrical and electromagnetic depth sounding arrays: implications for electrical static shift removal and joint DC-TEM data inversion with the most-squares criterion, *Geophysical Prospecting*, 53, 463-479.

- Ogawa, Y., 2002. On two-dimensional modeling of magnetotelluric field data. *Surveys in Geophysics*, 23, 99-273.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth and M. Séranne), Geological Society, London, Special Publication 156, 475–515.[3]
- Orange, A.S., 1989. Magnetelluric exploration for hydrocarbons, *Inst. Elect. and Electron. Eng. Proc.*, 77, 287-317.
- Park, S. W. ve Livelybrooks, D.W., 1989. Quantative interpretation of rotationally invariant parameters in magnetotellurics, *Geophysics*, 54, 1483-1490.
- Parkinson, W. D., 1959. Direction of rapid geomagnetic fluctuations. *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 2: 1-14.
- Raiche, A. P., 1983, Comparison of apparent resistivity functions for transient electromagnetic methods. *Geophysics*, 48, 787-789.
- Ranganayaki, R. P., 1984, An interpretative analysis of magnetotelluric data: *Geophysics*, 49, 1730-1748.
- Rodi, W.L and Mackie, R.L., 2001. Nonlinear conjugate gradient algorithm for 2-D magnetotelluric inversion, *Geophysics*, SEG, 66, 174-187.
- Romo, J. M., Gomez-Trevino, E. And Esparza, F. J., 1999. An invariant representation of the magnetic transfer function in magnetotellurics, *Geophysics*, 64, 1418-1428.
- Smith, J. T., 1995. Understanding telluric distortion matrices, *Geophys. J. Int.*, 122, 219-226.
- Smucker, U., 1970. Anomalies of geomagnetic variations in the southwestern United States. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. Calif. Press*, 13.
- Spies, B. R. and Eggers, D. E., 1986 The use and misuse of apparent Resistivity in electromagnetic methods: *Geophysics*, 51, 1462-1471.
- Swift, C. M., 1967. A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States, Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Szarka, L. and Menville, M., 1997. Analysis of rotational invariants of the magnetotelluric impedance tensor, *Geophys. J. Int.*, 129, 133-142.
- Tank, S. B., Honkura, Y., Ogawa, Y., Tunçer, M.K., Matsushima, M., Çelik, C., Tolak E. And 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 Planet Space*, 55, 437-442.
- Tikhonov, A.N., 1950. On determining electrical characteristics of the deep layers of the earth's crust, *Dokl. Akad. Nauk.*, 73, 295-297.
- Tikhonov, A.N., 1965, Mathematical basis of the theory of magnetotelluric soundings, *USSR Comput. Math. Phys.*, v.5, p.207.
- Tikhonov, A.N. and Arsenin, V.Y., 1977. *Solutions of ill-posed problems*, V.H. Winston and Sons.
- Tournerie, B., Chateau, M. and Marceotte, D., 2004. Estimation and removal of the MT static shift effect using geostatistical methods, 17th International Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth. Hyderabad (India).
- Ulugergerli, E. U., Seyitoğlu, G., Başokur, A.T., Kaya, C., Dikmen, U. and Candansayar, M. E., 2007. The Geoelectrical structure of Northwestern Anatolia, Turkey, *Pure Appl. Geophys.*, 164, 999-1026.

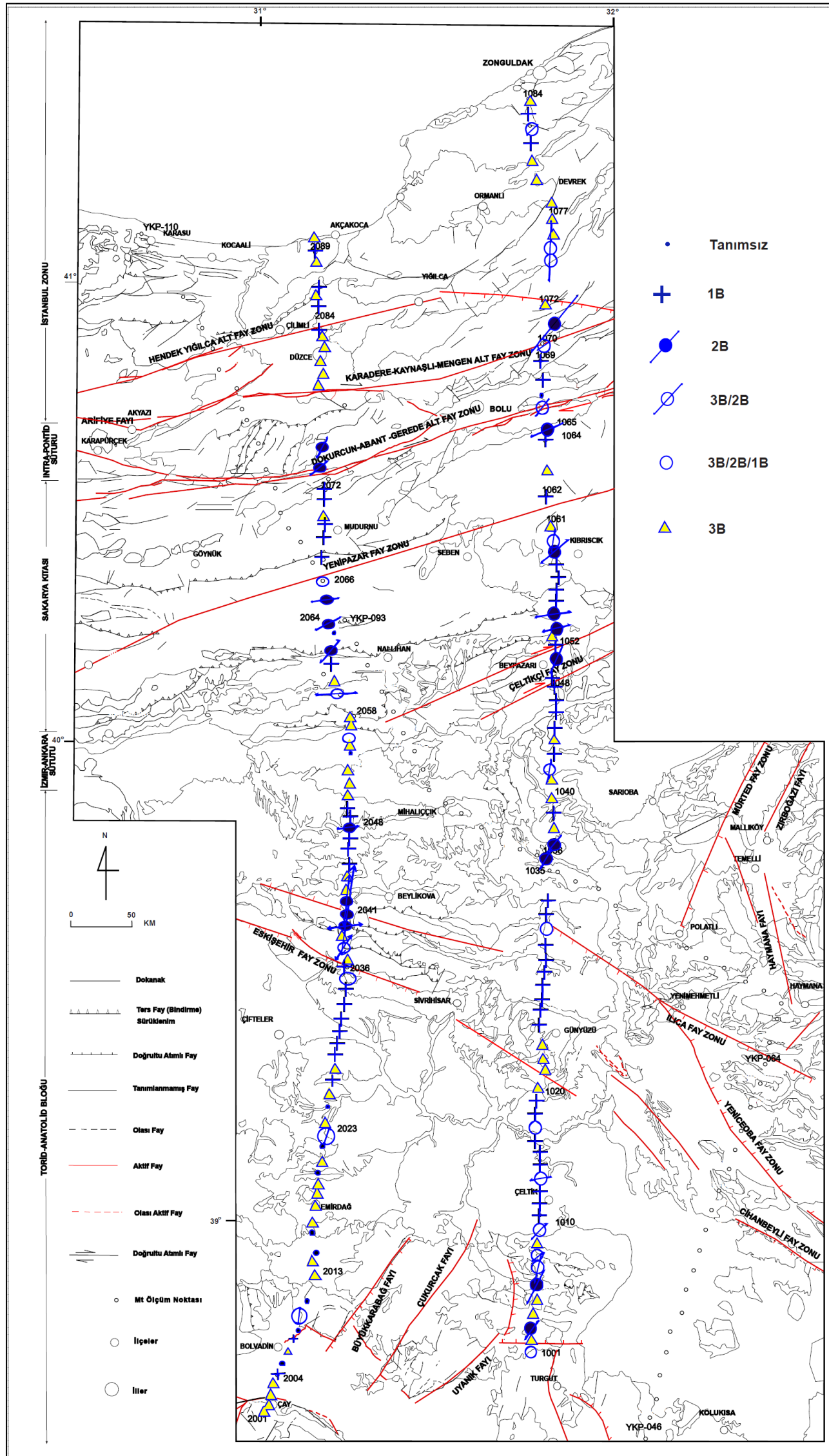
- Unsworth, M., Egbert, G.D. and Booker, J.R., 1999. High-resolution electromagnetic imaging of the San Andreas Fault in Central California, *J. Geophys. Res.*, 104, 1131-1150.
- Vozoff, K., 1972. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins, *Geophysics*, 37, 98-141.
- Vozoff, K., 1991, The Magnetotelluric method, in: Nabighian M. N, (Ed)., *Electromagnetic methods in Applied geophysics*, V:2 SEG publication No 8.
- Wannamaker, P.E., Stodt, J.A. and Rijo, L., 1987. A stable finite element solution for two-dimensional magnetotelluric modelling, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 88, 277-296.
- Wannamaker, P.E., Booker, J.R., Filloux, J.H., Jones, A.G., Jiracek, G.R., Chave, A.D., Tarits, P., Waff, H.S., Egbert, G.D., Young, C.T., Stodt, J.A., Martinez, M.G., Lwaw, L.K., Yukutake, T., Segawa, J.S., White, A., and Green, A.W. Jr, 1994. Magnetotelluric observations Across the Juan de Fuca subduction system in the EMSLAB Project, *J. Geophys. Res.*, 94, 14 111-14 125.
- Ward, S. H ve Hohmann, G.W., 1987. Electromagnetic theory for geophysical applications. (ed. M.N. Nabighan) *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, 131-311, SEG, Tulsa.
- Watts, D. M. ve Pinçe, A., 1998, Petroleum exploration in over thrust areas using magnetotellurics and seismic data, *Proceedings, 12th International Petroleum Congress and Exhibition of Turkey*, METU Convention Center, Ankara.
- Yılmaz, H. ve Özel, S., 2008. Crustal Structure of the Eastern Part of Central Anatolia (Turkey), *Turkish Journal Earth Sciences*, Vol.18, pp.169-185.
- Yüksel, F. A., 2004. Batı Anadolu bouguer gravite anomalilerinin süzgeçlenmesi ve yer kabuğu kalınlık dağılımının incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11,1-13.
- Zhang, P., Roberts, R.G. and Pedersen, L.B., 1986, Magnetotelluric strike rules: *Geophysics*, 52, 267-278.

EKLER

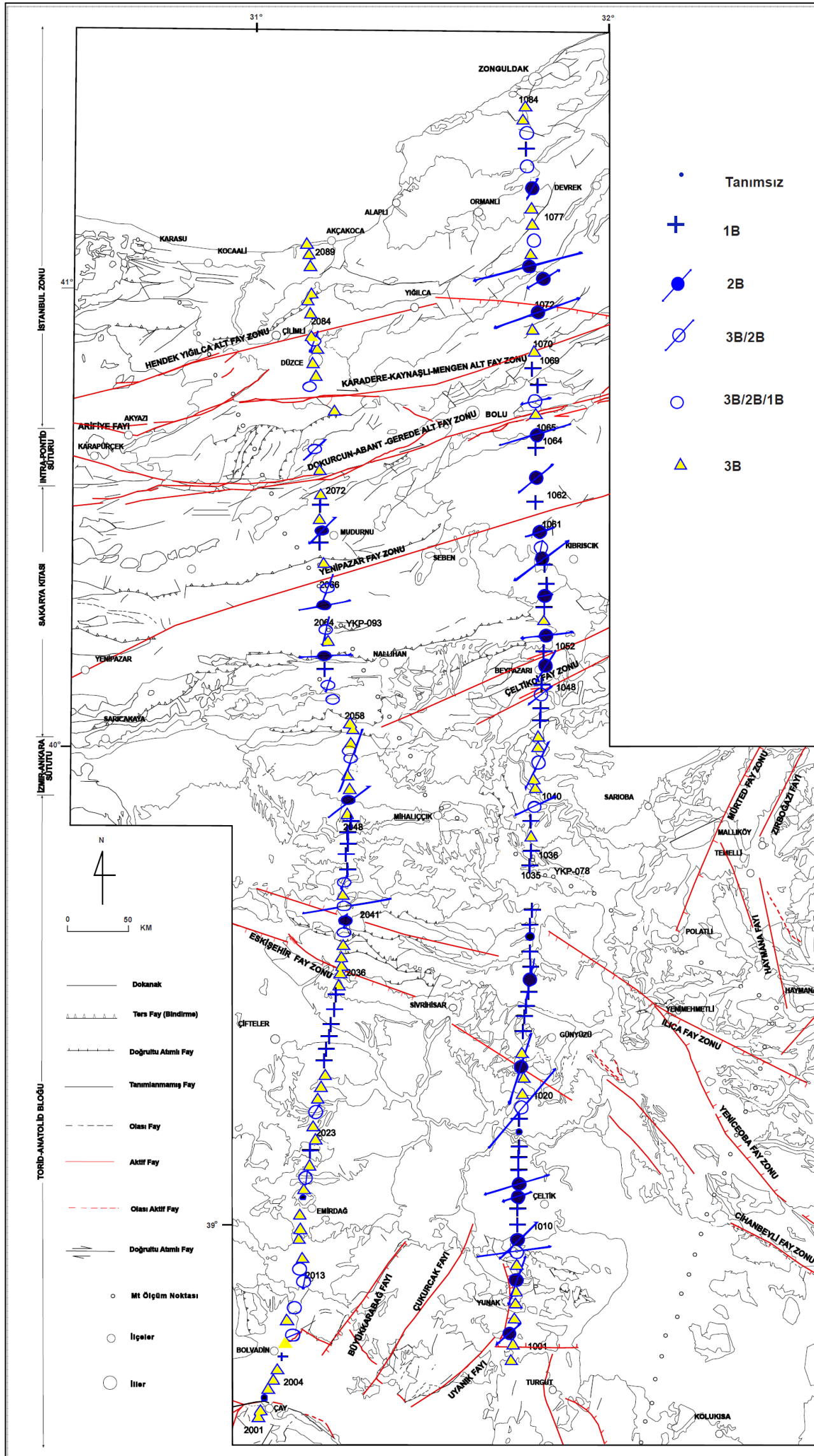
EK-4.1: Çalışma alanı jeoloji haritası (MTA Genel Müdürlüğü 2002, 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritası Ankara, Zonguldak Paftalarından yararlanılarak çizilmiştir.) (Kaya vd, 2009)



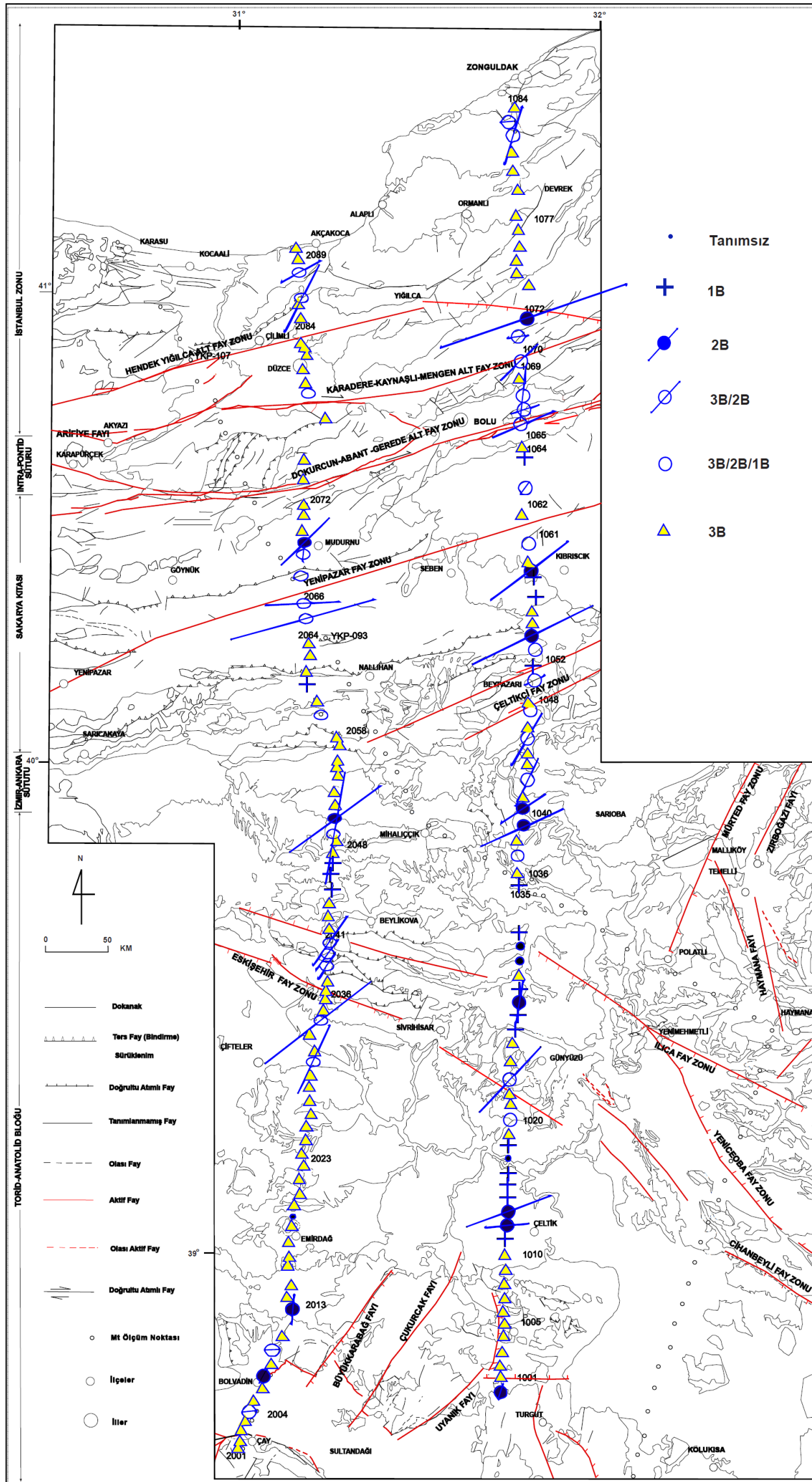
EK-5.1: T=0.001s-0.01s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları. Oklar strike yönünü belirtir. 3B/2B twist ve 3B/2B tek bir durum olarak (3B/2B) çizildi. Strike yönleri hata değerlerine ters olarak ölçeklendi. Burada . işareti boyutluluğu tanımlanamayan yerleri, + 1B, ● 2B, ⊕ 3B/2B, ○ 3B/2B/1B, ▲ işareti ise 3B yapı varlığını temsil etmektedir.



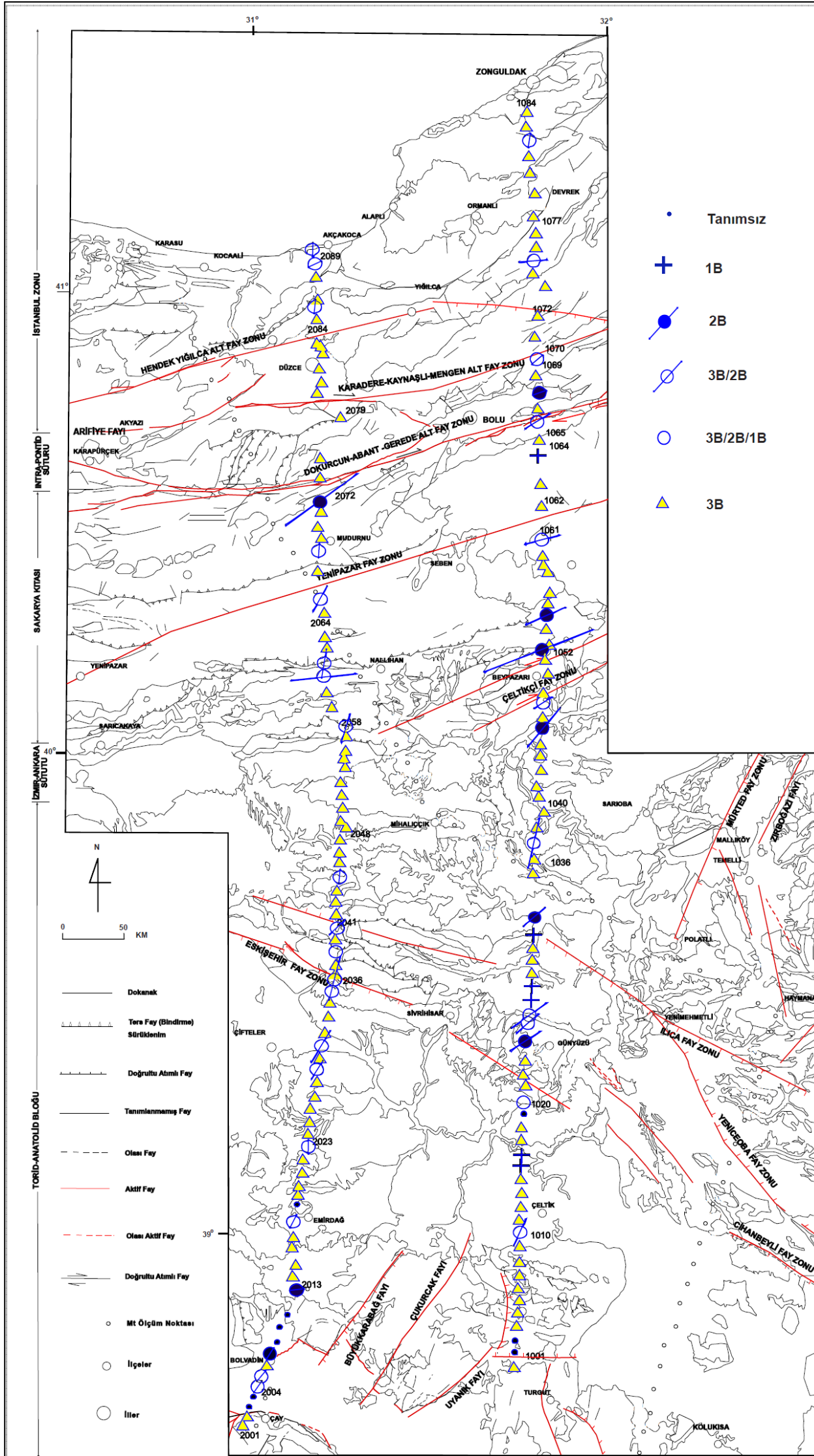
EK-5.2: T=0.01s-0.1s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları. (Açıklamalar EK-2'deki gibidir.)



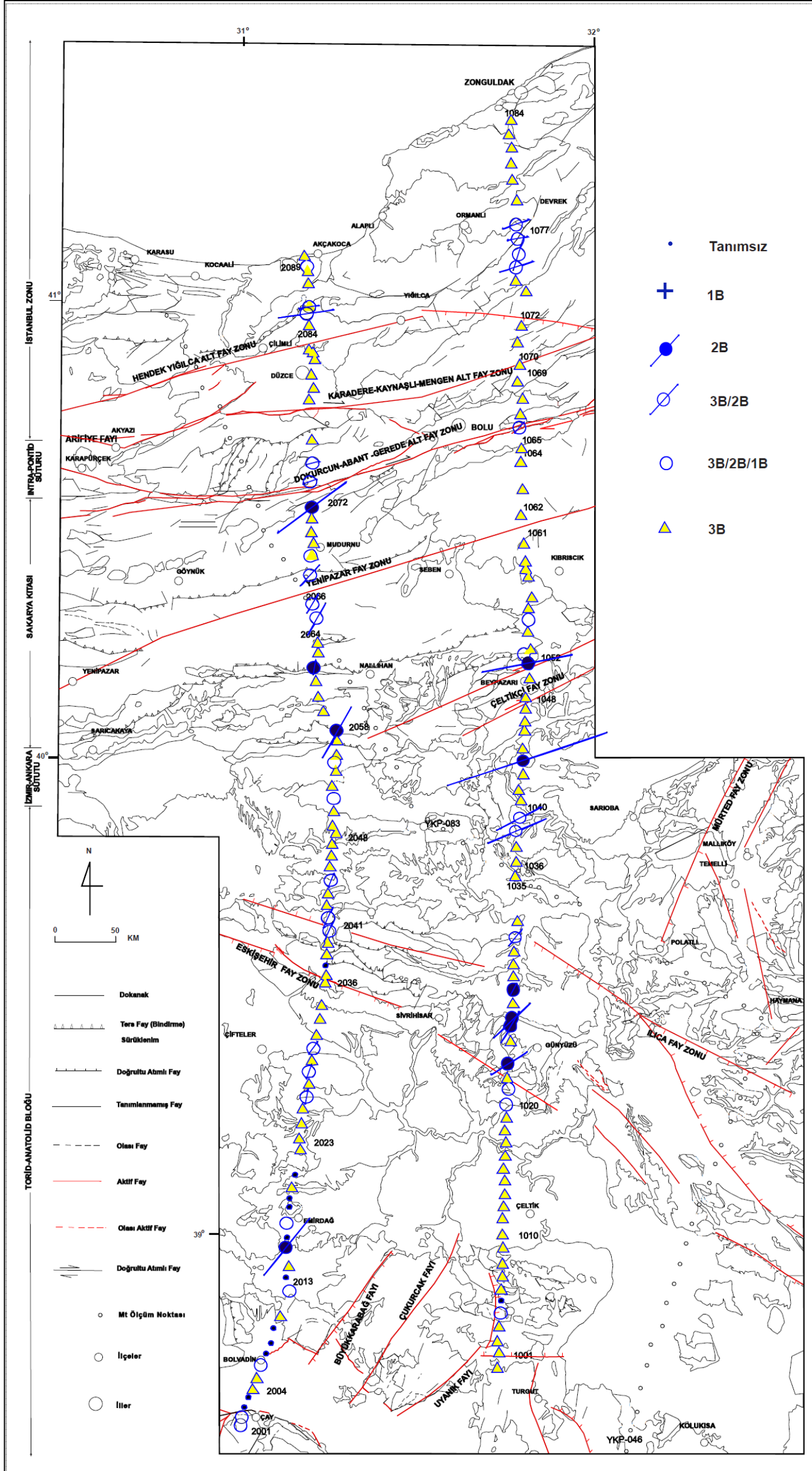
EK-5.3: T=0.1s-1s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları (Açıklamalar EK-2'deki gibidir.)



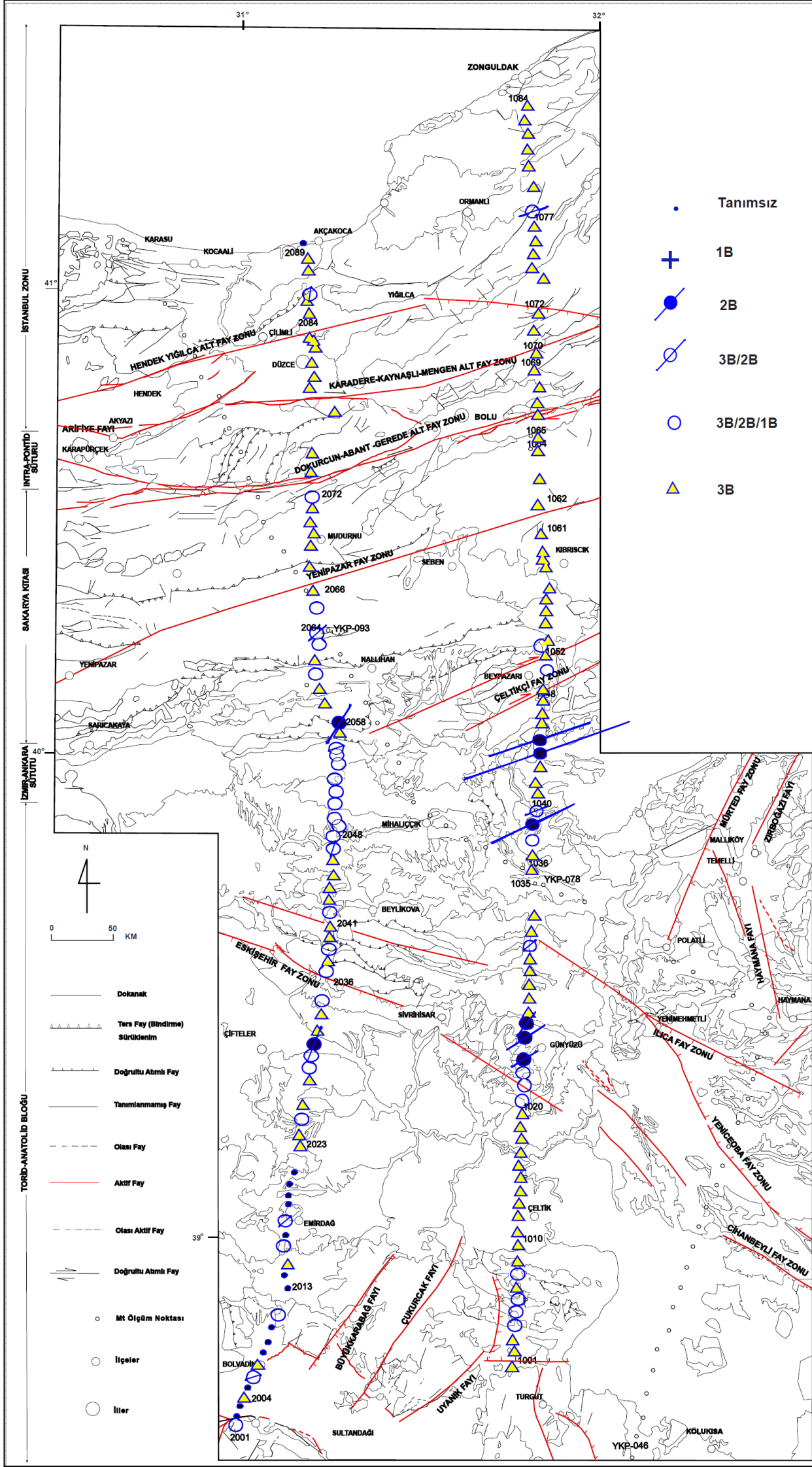
EK-5.4: T=1s-10s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları (Açıklamalar EK-2'deki gibidir.)



EK-5.5: T=10s-100s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları (Açıklamalar EK-2'deki gibidir.)



EK-5.6: T=100s-1000s Bandında KBA'nun boyutluluk analizi sonuçları (Açıklamalar EK-2'deki gibidir.)



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı

Doğum Yeri ve Tarihi

Medeni Hali

Yabancı Dil

İletişim Adresi

E-posta Adresi

Fahriye KAÇMAZ

Çanakkale, 22/10/1982

Bekar

İngilizce

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,
58140-Sivas

fkacmaz@cumhuriyet.edu.tr

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise

Lisans

Yüksek Lisans

Çan Lisesi, 2000

Cumhuriyet Üniversitesi, 2005

Cumhuriyet Üniversitesi, 2009

İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi

Araştırma görevlisi, 2007-