



**ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ İLE FAY VE DAYK  
TÜRÜ SÜREKSİZLİKLERİN BELİRLENMESİ  
VE SÜZGEÇLERİN KULLANIMI**

**Selda ALTUNCU**

**Yüksek Lisans Tezi  
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISPARTA 2001**

**Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

T.C  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ İLE FAY VE DAYK TÜRÜ SÜREKSİZLİKLERİN  
BELİRLENMESİ VE SÜZGEÇLERİN KULLANIMI

106057

SELDA ALTUNCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

106057

ISPARTA, 2001

# ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ İLE FAY VE DAYK TÜRÜ SÜREKSİZLİKLERİN BELİRLENMESİ VE SÜZGEÇLERİN KULLANIMI

**Selda ALTUNCU**

Uygulamalı Jeofizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 103 s., 2001.

**Anahtar Kelimeler:** Dayk, duvar, arkeojeofizik, öz direnç, wenner dizilimi, süzgeç katsayıları.

Arkeoloji; eski uygarlıklara ait maddi kalıntıları kullanarak tarihin bilinmeyen yönlerini aydınlatan bir bilim dalıdır. Türkiye de tarihi zenginlikler açısından oldukça verimli bir ülkedir. Ve bu uygarlıklara ait kalıntıların çıkarılması gerekmektedir. Geçmişin bilinmesi açısından bu kalıntıların çıkarılması büyük önem taşımaktadır.

Arkeolojik araştırmalarda jeofizik yöntemler yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü jeofiziğin arkeolojide kullanılması ile gömülü kalıntıların yerleri daha çabuk ve çok daha az masrafla belirlenerek arkeolojik kazılara zaman ve ekonomik katkılar sağlanmaktadır. Bu bağlamda, bir arkeolojik kazı çalışmasına katkı sağlamak amacıyla Tarsus Cumhuriyet Alanında öz direnç çalışması gerçekleştirilmiştir.

Yeraltındaki duvarlar jeolojik olarak dayka benzetilebilir. Yani yanal olarak bir süreksizlik vardır. Wenner dizilimi kullanılıp elektrot aralığı 1m, kaydırma miktarı 0.5m, alınmıştır. Daha sonra veri işlem aşamasında yer modelleri kurularak kuramsal veriler elde edilmiştir ve araziden ölçülen görünür öz direnç değerleri de kullanılarak dekonvolüsyon yoluyla süzgeç katsayıları bulunmuştur. Bulunan süzgeç katsayıları arazi verileri konvolüsyon sonucu ham verideki gürültüler atılmıştır. Böylece uygulama alanı için gürültüleri bastırıp yeraltındaki duvarların belirlenmesini sağlayacak veriye ulaşılmıştır.

Jüri : Prof. Dr. A. Ergun Türker  
Prof. Dr. Levent ZOROĞLU  
Yrd. Doç. Dr. M. Ali Kaya

## **DETERMANATION OF AS FAULT AND DIKE STRUCTURE BY MEANS OF RESISTIVITY METHOD AND USE OF FILTERS**

Applied Geophysical Branch, M.s.C Thesis, 103 pg., 2001.

**Key Words:** Dike, Wall, Archaeogeophysics Resistivity, Wenner Array, Filter Coefficients.

Archaeology is the scientific study that tries to reveal unknown aspects of ancient civilizations by using historical remains. Turkey is rich in historical ruins and this needs to be excavated. To understand the past, it's crucial to excavate these ruins.

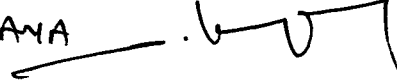
Geophysics methods have been widely used in archaeological research. With the wide-scale use of geophysical methods in archaeology, it is now possible to excavate the ruins with a low cost in a short time, and thus providing time and money. A resistivity study for this purpose conducted in Cumhuriyet Square in Tarsus, Turkey.


The underground walls looks like dike geologically. That is, there is a horizontal discountinuity. Wenner type array was used, and the distance of electrodes was 1m and the amount of slide was 0.5m. During the data analysis, theoretical data were obtained with the help of ground models. Filter coefficients were found by deconvolution of apparent resistivity values measured in the square. The filter coefficients with ground data, the noise in row data was reduced . Thus, data to determine walls underneath the earth were obtained.


Jüri : Prof. A. Ergun TÜRKER  
Prof. Levent ZOROĞLU  
Assoc. M. Ali KAYA

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından UYGULAMALI JEOFİZİK ANA BİLİM DALI'nda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ Olarak kabul edilmiştir.

Danışman : U. Doç. Dr. M. Ali KAYA 

Üye : Prof. Dr. Levent ZOROĞLU 

Üye : Prof. Dr. A. Ergün CÜRKER 

Üye :

ONAY

Bu tez S.D.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu 28.../02.../2001 tarih ve  
05/03...ksayılı kararınca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından  
06.../04/2001... tarihinde kabul edilmiştir.

  
S.D.Ü FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR .....	v
SİMGELER DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1.GİRİŞ .....	1
1.1. Arkeojeofiziğin Tanımı .....	4
1.1.1 Arkeolojide Jeofiziğin Önemi .....	5
1.1.2. Arkeojeofizikle Sağlanan Katkılar .....	6
1.1.2.1. Kalıntı Arama .....	7
1.1.2.2.Kalıntı Kurtarma .....	7
1.1.2.3.Kalıntı Yaşı Belirleme .....	8
1.1.3. Arkeojeofiziğin Kullanım Alanları .....	8
1.1.4. Arama Yönteminin Seçimi .....	9
1.1.5. Arkeojeofizikte Kullanılan Jeofizik Yöntemler .....	5
1.1.5.1. Hava Fotoğrafları ve Modern Dijital Görüntü Sistemleri.....	15
1.1.5.2. Manyetik Yöntem .....	16
1.1.5.3. Özdirenç Yöntemi .....	17
1.1.5.4. Arkeomanyetizma .....	17
1.1.5.5. Elektromagnetik (EM) Ölçümler .....	18
1.1.5.6. Gravite Yöntemi .....	18
1.1.5.7. Sismik Yöntemler .....	19
1.1.5.8. Yer Radarı (Georadar) Yöntemi .....	20
1.1.6. Türkiye’de Arkeojeofizik .....	21
1.2. Özdirenç Yöntemi .....	23
1.2.1. Dizilim türleri .....	24
1.2.1.1 Wenner Dizilimi .....	26

1.2.1.2 Schlumberger Dizilimi .....	27
1.2.1.3 Çift Dizilimler .....	29
1.2.1.4 Yarım Schlumberger Dizilimi .....	31
1.2.1.5 Yarım Wenner Dizilimi .....	31
1.2.1.6 İki Elektrod Dizilimi .....	31
1.2.2 Uygulama Teknikleri .....	32
1.2.2.1 Döndürme Ölçümleri .....	33
1.2.2.2 Düşey Elektrik Sondajı .....	34
1.2.2.3 Yatay Kaydırma .....	35
1.3. Veri İşlem ve Jeofizikteki Önemi .....	37
1.4. Konvolüsyon .....	48
1.5 Dekonvolüsyon.....	53
1.5.1 Deterministik Evrişim.....	59
1.5.2 İstatistiksel Evrişim.....	60
1.5.2.1 Dalga Biçimi Evrişim.....	60
1.5.2.2 Ön kestirmeli Evrişim.....	62
1.5.2.3 İğnecikleştirme Evrişim.....	63
2. MATERYAL VE METOD .....	67
2.1. Araştırma Yeri .....	67
2.2. Araştırma Alanın Jeolojisi .....	68
2.3. Araştırma Alanındaki Özdirenç Uygulamaları .....	69
3. BULGULAR .....	78
3.1. Süzgeç Katsayılarının Elde Edilmesi .....	81
4. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	89
5. KAYNAKLAR .....	90
ÖZGEÇMİŞ .....	92
EKLER .....	93
EK-1 .....	93
EK-2 .....	98

## ÖZET

Arkeoloji; eski uygarlıklara ait maddi kalıntıları kullanarak tarihin bilinmeyen yönlerini aydınlatan bir bilim dalıdır. Türkiye de tarihi zenginlikler açısından oldukça verimli bir ülkedir. Ve bu uygarlıklara ait kalıntıların çıkarılması gerekmektedir. Geçmişin bilinmesi açısından bu kalıntıların çıkarılması büyük önem taşımaktadır.

Arkeolojik araştırmalarda jeofizik yöntemler yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü jeofiziğin arkeolojide kullanılması ile gömülü kalıntıların yerleri daha çabuk ve çok daha az masrafla belirlenerek arkeolojik kazılara zaman ve ekonomik katkılar sağlanmaktadır. Bu bağlamda, bir arkeolojik kazı çalışmasına katkı sağlamak amacıyla Tarsus Cumhuriyet Alanında öz direnç çalışması gerçekleştirilmiştir.

Yeraltındaki duvarlar jeolojik olarak dayka benzetilebilir. Yani yanal olarak bir süreksizlik vardır. Wenner dizilimi kullanılıp elektrot aralığı 1m, kaydırma miktarı 0.5m, alınmıştır. Daha sonra veri işlem aşamasında yer modelleri kurularak kuramsal veriler elde edilmiştir ve araziden ölçülen görünür öz direnç değerleri de kullanılarak dekonvolüsyon yoluyla süzgeç katsayıları bulunmuştur. Bulunan süzgeç katsayıları arazi verileri konvolüsyon sonucu ham verideki gürültüler atılmıştır. Böylece uygulama alanı için gürültüleri bastırıp yeraltındaki duvarların belirlenmesini sağlayacak veriye ulaşılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Dayk, Duvar, Arkeojeofizik, Öz direnç, Wenner Dizilimi, Süzgeç Katsayıları



## ABSTRACT

Archaeology is the scientific study that tries to reveal unknown aspects of ancient civilizations by using historical remains. Turkey is rich in historical ruins and this needs to be excavated. To understand the past, it's crucial to excavate these ruins.

Geophysics methods have been widely used in archaeological research. With the wide-scale use of geophysical methods in archaeology, it is now possible to excavate the ruins with a low cost in a short time, and thus providing time and money. A resistivity study for this purpose conducted in Cumhuriyet Square in Tarsus, Turkey.

The underground walls looks like dike geologically. That is, there is a horizontal discountinuity. Wenner type arragement was used, and the distance of electrodes was 1m and the amount of slide was 0.5m. During the data analysis, theoretical data were obtained with the help of ground models. Filter coefficents were found by deconvolution of apparent resistivity values measured in the square. The filter coefficents with ground data, the noise in row data was reduced . Thus, data to determine walls underneath the earth were obtained.

**KEY WORDS:** Dike, Wall, Archaeogeophysics Resistivity, Wenner Arrangement, Filter Coefficents.

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin gerçekleşmesinde katkılarından dolayı aşağıda adı geçen kişilere içtenlikle teşekkür ederim.

Yrd. Doç. Dr. M. Ali Kaya tez konusunu önererek, arazi verilerini sağlamış ve bir çok yayına ulaşmamı sağlamıştır.

Arş. Gör. Şenol Özyalın, yaptığı programları paylaşarak katkıda bulunmuştur.

Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezinde part-time olarak görev yapan Cem Destici, Olcay Çakmak, Özgür Çetin adlı öğrenciler, tezimin yazım aşamasında yardımcı olmuşlardır.

Uzman Murat Kacal ,Bilgi İşlem Dairesi Personeli, gerekli bilgisayar programları açısından destek olmuştur.

Türkiye Petrolleri'nden Katibe Aytun içerik konusunda bazı kaynaklara ulaşmamı sağlamıştır.

Arş. Gör. Osman Uyanık uygulama alanı hakkında bilgi edinmemi sağlamıştır.

**SİMGELER DİZİNİ**

$a$	Elektrot aralığı
$C_1-C_2$	Akım elektrotları
$D$	Araştırma derinliği
$e^{\gamma}$	Sönüm faktörü
$I(w)$	Aletin transfer tepki fonksiyonu
$I$	Akım
$K$	Geometrik faktör
$Q(w)$	İncelediği dalganın dağılım-yayınım fonksiyonunun fourier spektrumu
$\rho$	Gerçek öz direnç
$\rho_a$	Görünür öz direnç
$\frac{\sin x}{x}$	Etkiye neden olan faktörün fonksiyonu
$U(w)$	Kaynak zaman fonksiyonu
$X_n$	Girdi sinyali
$\Delta x$	Örnekleme aralığı
$\Delta V$	Potansiyel
$Y_n$	Çıktı sinyali

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>	
Şekil 1.1.1.	İdeal arkeojeofizik çalışma planı	14
Şekil 1.2.1	Wenner diziliminin genel gösterimi	26
Şekil 1.2.2.	Schlumberger diziliminin genel gösterimi	28
Şekil 1.2.3.	Gerilim kolu ve akım kolunun gösterimi	29
Şekil 1.2.4.	Dipol dizilimlerinin genel gösterimi	30
Şekil 1.2.5.	İki elektrot dizilimi	32
Şekil 1.5.1.	Sismik kaynaktan iğne biçiminde çıkan dalganın dönüşümü	53
Şekil 1.5.2.	Zaman ve frekans ortamlarında bir kaynak üretilen $\delta(t)$ dalgacığına yerin tepki yanıtları	54
Şekil 1.5.3	Bir düzeneğin giriş-çıkışının kalıp gösterilişi	55
Şekil 1.5.4.	Birbirinin tersi olan iki düzeneğin ardışık kullanılmasının sonucu	56
Şekil 2.1.1.	Tarsus Cumhuriyet alanı içindeki çalışma bölgesi	67
Şekil 2.1.2.	Roma yolunun kuzey ve kuzeydoğu bölümü	67
Şekil 2.3.1.	Araştırma alanındaki öz direnç uygulaması	69
Şekil 2.3.2.	Tarsus Roma Yolu kuzeyi öz direnç çalışması bulduru Haritası (a=1m. için)	70
Şekil 2.3.3	Tarsus Roma Yolu kuzeyi öz direnç çalışması bulduru Haritası (a=2m. için)	71
Şekil 2.3.4a.	T. Cumhuriyeti alanı öz direnç 4. Profil a=1m grafikleri	72
Şekil 2.3.4b.	T. Cumhuriyeti alanı öz direnç 4. Profil a=2m grafikleri	72
Şekil 2.3.4c.	T. Cumhuriyeti alanı öz direnç 5. Profil a=1m grafikleri	73
Şekil 2.3.4d.	T. Cumhuriyeti alanı öz direnç 5. Profil a=2m grafikleri	73
Şekil 2.3.4e.	T. Cumhuriyeti alanı öz direnç 6. Profil a=1m grafikleri	74
Şekil 2.3.4f.	T. Cumhuriyeti alanı öz direnç 6. Profil a=2m grafikleri	74
Şekil 2.3.4g.	T. Cumhuriyeti alanı öz direnç 7. Profil a=1m grafikleri	75
Şekil 2.3.4h.	T. Cumhuriyeti alanı öz direnç 7. Profil a=2m grafikleri	75
Şekil 2.3.5.	Tarsus Roma yolu Wenner açılımı a=1m görünür öz direnç kat haritası	76
Şekil 2.3.6.	Tarsus Roma yolu Wenner açılımı a=2m görünür öz direnç kat haritası	77
Şekil 2.3.7.	Tarsus Roma yolu Wenner açılımı a=1m görünür öz direnç kat haritası (İdeal verilere göre)	79
Şekil 2.3.8.	Tarsus Roma yolu Wenner açılımı a=2m görünür öz direnç kat haritası (İdeal verilere göre)	80
Şekil 3.1.1.	Dayk modelinin düşey kesiti	81
Şekil 3.1.2	Dayk sınırlarındaki Akım ve Potansiyel elektrotlarının 6 farklı durumu	82
Şekil 3.2.1.	4.Profil a=1m için arazi ve kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması	85
Şekil 3.2.2.	4.Profil a=2m için arazi ve kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması	85
Şekil 3.2.3.	5.Profil a=1m için arazi ve kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması	86

Şekil 3.2.4.	5.Profil $a=2m$ için arazi ve kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması	86
Şekil 3.2.5.	6.Profil $a=1m$ için arazi ve kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması	87
Şekil 3.2.6.	6.Profil $a=2m$ için arazi ve kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması	87
Şekil 3.2.7.	7.Profil $a=1m$ için arazi ve kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması	88
Şekil 3.2.8.	7.Profil $a=2m$ için arazi ve kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması	88



**ÇİZELGELER DİZİNİ**

Çizelge 1.1.4.1. Fiziksel Özelliklerine Göre Arkeolojik Kalıntıların Sınıflandırılması ve Önerilen Uygun Jeofizik Yöntemler	12
Çizelge 1.1.4.2 . Arkeolojik Araştırmalarda Kullanılan Jeofizik Yöntemler	13



## 1. GİRİŞ

Bir çok önemli uygarlığı barındıran Türkiye prehistorik ve historik döneme ait kalıntılar bakımından dünyanın en zengin ülkelerindedir. Şu an batı ülkelerindeki müzeler ve özel koleksiyon salonları, Anadolu kökenli binlerce eserle doludur. Tümülüsler anıt niteliğinde önemli tarihsel değerlerimizdir. Türkiye'nin sit alanlarının çok az bir bölümü belirlenmiştir. Araştırılması ve ortaya çıkarılması gereken birçok tarihi alan vardır.

Türkiye' deki bu tarihi alanların arkeolojik yöntemlerle araştırılması, belirlenmesi ve kazılarla ortaya çıkarılması oldukça uzun zaman dilimlerine yayılabilmektedir. Bu alanların araştırılması ve belirlenmesinde zaman almayan ve kalıntılara hasar vermeyen yöntemler kazılara büyük bir kazanç sağlamaktadır.

Bilindiği gibi, arkeolojik kazılar çoğunlukla yüzey araştırmalarının verilerine göre yürütülmektedir. Yüzeyde bulunan ve araştırılan tarihsel döneme ait her türlü eser parçası, yeraltında bulunan örtülü eser konusunda yeterince bilgi verebilmektedir. Fakat bu eser ya da parçaların insan eliyle veya doğal koşullarla yerlerinden uzaklaştırılması veya onlara hasar verilmesi araştırmacıların gözlemlerini, eserin bulunduğu yer ve derinliği açısından güçleştirmektedir.

Diğer taraftan, yüzeyden yürütülen jeofizik araştırmalar, arkeolojik kalıntıya herhangi bir hasar vermeden eserin yeri ve derinliğini belirleyerek arkeolojik kazıya yön vermektedir. Jeofizik yöntemlerle arkeolojik yapılar araştırılırken yöntemin seçilmesine özen gösterilmeli, arkeolojik yapıya uygun jeofizik yöntem seçilmelidir. Yani arkeolojik yapı-jeofizik yöntem ilişkisi doğru kurulmalıdır (Kaya, 1997).

Özdirenç yöntemi ile mimari kalıntıların yoğunluğu ve derinliği konusunda veriler elde edilebilirken, bu yapıların kalıntılarıyla birlikte bulunan taşınabilir eserlerin (heykel-mermer, metal objeler, pişmiş toprak malzeme) yoğunluğunun var olup olmadıklarının saptanması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Özdirenç yöntemi arkeojeofizikte manyetikten sonra ikinci sırada kullanılmaktadır. Özdirenç yönteminde akımın yere verildiği uçlar akım elektrotu, gerilimin ölçüldüğü uçlar gerilim elektrotu ve elektrotların birbirlerine göre konumları da elektrot dizilimi olarak tanımlanmakta olup elde edilen belirtinin şeklini ve büyüklüğünü etkilemektedir. Elektrot dizilim türü kadar araştırmayı yürütme tekniği de amaca uygun belirlenmelidir. Bu araştırma teknikleri eğer bir yapının zemin derinliğinin bulunması veya zeminin üzerinde yer alan moloz kalınlığının belirlenmesi gibi derinlere doğru araştırma yapmayı veya yapının derinliğini ortaya koymayı amaçlıyor ise Düşey Elektrik Sondajı (DES) olarak tanımlanmaktadır. Eğer derinlemesine değil yanal yönde bir süreksizlik varsa ve bu araştırılmak isteniyorsa Yatay Kayma Tekniği olarak tanımlanmaktadır. Bu genel uygulamalar dışında, bir sahanın belirli bir derinlik seviyesi için özdirenç değişimini belirlemek amacıyla haritalama tekniği de uygulanmaktadır. Bunlara en yaygın kullanılanlardan örnek; sırasıyla, iki elektrot ve Schlumberger , Yarım Wenner ve Yarım Schlumberger gibi üç elektrotlu açılımlar ile  $\alpha$ ,  $\beta$  ve gamma gradient elektrot dizilimleri olarak sıralanabilir (Kaya vd., 1997).

Günümüzde özdirenç kayma ölçümleri yanal süreksizliklerin ve bu bağlamda arkeolojik alanlardaki gömülü duvar ve benzeri yapıların araştırılmasında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Cheng, 1980; Mundry, 1984; Karous and Penu, 1985; Schulz ve Tezcan, 1988; Pınar ve Akçığ, 1992; Candansayar, E., 1997).

Bu tür yapıların araştırılmasında yaygın olarak iki elektrot veya yarım-Schlumberger dizilimleri profil bazında uygulanmaktadır (Pınar ve Akçığ, 1992). Bu dizilimlerin yanısıra Wenner ve dipol-dipol dizilimleri de başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Elde edilen görünür özdirenç verilerinin yorumlanmasında, görüntü kuramına bağlı olarak elde edilen özdirenç anomalilerin biçimlerinden yararlanılmaktadır. Görüntü kuramı, çeşitli yayınlarda, bir yapının biten köşesi veya duvar yapıları için genel olarak tanıtılmış, genel bağıntıları verilmiş ancak değişik dizilim türleri için kuramsal ayrıntı ve özdirenç anomali biçimini etkileyen parametrelerin (yapının yeri ve genişliği, dizilim türü, elektrot aralığı, profil boyu ve ölçü aralığı vd. ) dizilim



türlerine göre ayrıntılı incelenmesi verilmemiştir (Keller ve Frischknecht, 1970; Telford ve diğ., 1987; Zhdanov ve Keller 1994).

Bu çalışmada da öz direnç kayma ölçümleri uygulanmış ve dizilim türü olarak Wenner kullanılmıştır.

Arkeojeofizikte ölçümlerde kullanılan elektrot dizilimlerinde büyük açılımlar gerekmemektedir. Çünkü araştırılan yapının derinliği sığ derinlikte olmaktadır. Ayrıca kayma miktarları da küçüktür. Çünkü örnekleme aralığı genelde gömülü yapıların bulunmasına sebep olan küçük dalga boylu anomalileri kayıt etmek için 0.5 m veya 1m olarak seçilmektedir. Bu çalışmada Wenner dizilimi kullanılmış ve elektrot aralığı 1m kaydırma miktarı 0.5 m olarak seçilmiştir.

Tarsus Cumhuriyet Alanında yapılan çalışmalarda Arkeologlardan gerekli bilgiler alınarak ölçü noktaları belirlenmiştir. Uygulamada bulunan görünür öz direnç değerleri duvarları temsil edecek yer modelleri kurularak kuramsal veriler elde edilmiştir. Kuramsal veriler ile arazi görünür öz direnç verileri dekonvolüsyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem sonucunda süzgeç katsayıları bulunmuş ve bu katsayılar arazi verileri ile konvolüsyon yapılarak gürültüsüz gerçek veriye ulaşılmaya çalışılmıştır.

Bütün bu işlemlerdeki amaç; Uygulama alanında oluşan gürültüleri veya bozucu etkileri ortadan kaldırarak yapının yerini ve şeklini tam olarak belirleyebilmektir. Böylece uygulama alanında veri işlem teknikleri de uygulanmış olmaktadır.

### 1.1 Arkeojeofiziğin Tanımı

Uygulamalı jeofizik yöntemlerin, gömülü arkeolojik yapıların yer ve durumlarını ortaya koymak amacıyla uygulanması arkeojeofizik olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle arkeolojik kalıntıların aranmasını amaçlayan jeofizik dalı arkeojeofizik olarak tanımlanmaktadır (Kaya,1999). Sözü edilen arkeolojik yapıların derinliği ve büyüklüğü birkaç cm den birkaç m ye dir. Bu yapılar genellikle depolama çukurları, ev temelleri, duvarlar, ocaklar, fırınlar ve diğer yanmış nesnelere oluşan “prehistorik” temeller ya da kale duvarları, tiyatro, stadyum, tapınak, büyük bina temelleri, cadde, sokak ve ev kalıntıları gibi “tarihsel” temellerden oluşmaktadır (Drahor, 1991).

Boyut olarak jeofiziğin geleneksel hedeflerine göre oldukça sığ ve küçük olan arkeolojik yapıların yeni teknolojinin getirdiği olanaklarla aranması kolaylaşmıştır. Arkeolojik araştırmalarda jeofiziğin kullanımının yaygınlaşmasında temel etmenlerin başında jeofiziğin çözüm gücünün artmasını sayabiliriz. Bu yaygınlaşma bilgi birikimini arttırmış ve arkeolojik amaçlar için özel ölçüm aygıtları ve sayısal analiz teknikleri geliştirilmiştir. Bunların sonucunda da “ archaeological geophysics” olarak adlandırılan yeni bir alt bilim dalı doğmuştur. Böylece, kazı planlarının yapımı için ön bilgi sağlanması ve kazıların daha çabuk ve çok daha az masrafla gerçekleştirilmesi olanaklı olmuştur.

Bilindiği gibi, geniş ölçekli arkeolojik araştırmalarda uzaydan çekilen hava fotoğrafları, jeomorfolojik araştırmalar vb. yöntemler etkin olarak kullanılmakta ve alan sınırlanabilmektedir. Fakat sınırlanmış alanın ayrıntısını görmede arkeolojik araştırmalar, çoğunlukla, yüzeyden yapılan araştırmalara dayanmaktadır. Yüzeyde bulunan ve araştırılan tarihsel döneme ait her türlü eser parçası, yeraltında bulunan gömülü eser konusunda yeterince bilgi vermektedir. Fakat bu eser yada parçaların insan eliyle yerlerinden uzaklaştırılması veya hasar verilmesi araştırmacıların gözlemleri eserin bulunduğu yer açısından, güçleştirmektedir. Bu nedenle yapılan araştırma sondajlarından sonuç alınamamakta ve zaten güç koşullarda yürütülen arkeolojik kazılar zamanda ve ekonomik harcamalarda büyük kayıplara

uğramaktadır. Ayrıca yüzey araştırmalarının verilerinden yararlanarak eserin derinliğini öngörmek de oldukça güç olmaktadır .

Diğer taraftan sınırlanan alanın ayrıntısı, yüzeyde yürütölen jeofizik çalışmalarla belirlenirken arkeolojik esere herhangi bir hasar vermeden eser yeri ve derinliği ile durumu da ortaya konabilmektedir (Kaya, 1997). Bölüm 1.1.1'de değinileceği gibi sığ derinliklerde yer altı yapısı ayrıntılı bir şekilde belirlenebilmektedir.

### 1.1.1 Arkeolojide Jeofiziğin Önemi

Arkeoloji; eski uygarlıklara ait insan etkinliklerinin maddi kalıntlarına ya da bunlarla ilgili verilere dayanarak tarihin bilinmeyen yönlerini aydınlatan bir bilim dalıdır. Birinci dünya savaşında uçaklarda çekilen hava fotoğrafları büyük bir önem taşımaktadır. Arkeologlar bu savaştan kısa bir süre sonra hava fotoğraflarını incelemeye aldıklarında ulaşamadıkları yerlerde arkeolojik önem taşıyan duvarları, istihkam bölgelerini, yolların izlerini taşıyan kalıntıları farketmişlerdir .

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra ileri batı toplumlarında, tarihin ve çevrenin korunması doğrultusunda büyük bir duyarlılık gelişmiştir. Gelişen bu duyarlılığın sonuçlarından biri de arkeolojik alanların bozucu etkisi olmayan yöntemlerle aranmasıdır. Aslında arkeologlar, kazıların içerdiği birçok sorunun farkındadırlar. Bu yüzden antik yapıya hasar vermeyen yada en az veren yöntemlere gereksinim vardır. Bunlardan biri de hiç kuşkusuz ki Jeofiziktir. Yeraltının görüntölenmesi jeofizik aygıtları kullanılarak 0-5 metre derinliklerde ayrıntılı, 5-10 metre derinlik arasında iyi, 10 ile 50 metrede orta ve 50-100 metre arasında kaba olarak belirlenir. Uygun jeofizik yöntem, kalıntının en belirgin fiziksel özellik ayrılığına duyarlı olandır. Yöntem ve uygulanış biçimi, kalıntının bulunabilirliğini etkiler. Jeofiziğin, kazıyı yönlendirmesiyle; arama zamanından ve giderlerde tutum yapılır, ayrıca arkeolojik alana zarar vermeden kalıntıya ulaşılabilir (Ercan, 1999 ).

Günümüzde artık birçok bilim dalının birbiriyle iç içe olması arkeoloji ve jeofiziği de yansımıştır. Günümüz toplumlarının prehistorik ve historik kültürel sanat eserleriyle

kentlerin korunması doğrultusunda geliştirdiği duyarlılık, arkeoloji bilimine; antik yapı kalıntılarının araştırılmasında bozucu etkisi olmayan ve yüksek ayrımlılık sunan jeofizik yöntemlerin girmesine neden olmuştur.

Böylece jeofizik yöntemlerin büyük çoğunluğu, kısmen bilinen ya da bilinmeyen arkeolojik alanlar üzerinde geniş bir uygulama olanağı bulmaya başlamıştır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra gelişen duyarlılığın sonucunda; arkeolojik alanların araştırılmasında jeofizik yöntemlerin kullanılmasına yönelik çalışmalar 1940'lı yılların sonlarında özellikle 1950'li yılların başlarında Kuzey Amerika ve İngiltere'de başlamıştır. Wynn (1999)'a göre bu konuda bilinen ilk çalışma, 1946 yılında Atkinson tarafından İngiltere'de özdirenç yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Manyetik yöntemin ilk uygulaması ise 1957 yılında Belshe tarafından yapılmış ve bu çalışmaları Oxford Üniversitesi'nden Aitken, vd (1958)' in yaptığı çalışmalar izlemiştir. Özdirenç ve manyetik uygulamaları sismik kırılma yöntemi (Carson, 1962) ve elektromanyetik yöntemlerin başarılı uygulamaları (Scollar, 1962) ile etkisel kutuplaştırma yöntemini (Aspinall ve Lynn, 1968) ilk uygulamaları izlemiştir. Fakat arkeojeofizik araştırmalarda esas başarı, 1970 'li yılların başlarından itibaren georadarın kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Diğer jeofizik yöntemler ise; izleyen yıllarda gelişen teknoloji ile ve konu üzerinde çalışan grupların teknolojiye hızlı bir biçimde sahip çıkmalarıyla, kullanım alanına girmişlerdir.

Türkiye'de ise bu çalışmalar 1968 yılında Keban Projesi kapsamında Ali Yaramancı başkanlığında yürütülen çalışmayla başlamıştır. Tarih zenginliği bakımından en önemli ülkelerden biri olan Türkiye'de arkeojeofizik çalışmaların önemi küçümsenmeyecek ölçüdedir. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte arkeolojik alanlara, jeofizik yöntemlerin uygulanması gittikçe artmaktadır. Günümüzdeki jeofizik çalışmalardan birkaç örnek; Metropolis Arkeojeofizik Çalışmaları (Drahor,1991), Ahmetli- Çiflikkırı Tümülüsü Özdirenç araştırması (Drahor, 1991). Ayrıca Başokur(1992), Pınar ve Akçığ (1992), Drahor ve Kya (1995 ve 2000) Türkiye'deki çalışmalara örneklerdir.

### **1.1.2 Arkeojeofizikle Sağlanan Katkılar**

Ercan (1999)'a göre; Arkeolojide jeofizik yöntemler, uygulama alanı olarak kalıntı arama, kalıntı kurtarma, kalıntı yaşı belirleme olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

#### **1.1.2.1 Kalıntı Arama**

Kalıntı arama kendi içinde ;

- Yerleşim yerinin belirlenmesi için bölgesel,
- Belirlenen yerleşim yeri için içinde sürdürülen ayrıntılı çalışmalar olmak üzere ikiye ayrılır.

Çoğunlukla uygulamalar halihazırda belirlenen yerleşim alanlarında, kazı izlencesini yönlendirici, yerel yüksek ayrımlı jeofizik yöntemlerle yer altı haritalamaları biçimindedir. Bölgesel yerleşim yerlerinin bulunmasında kullanılan yöntemler ise; hava ya da uzaydan çekilen fotoğraflar yakın kızılötesi çekimler ya da sayısal imgeleme (imargery) yöntemleridir. Kalıntıların derine gömülü olduğu ya da yersel ve politik koşullar nedeniyle yaklaşılamayan yerlerde Isısal Kızılötesi (Thermal Infrared) yöntemleri uygulanmaktadır. Elektrik , Elektromagnetik (EM), Georadar, Radiometrik, Magnetik arkeojeofizikte en çok kullanılan yüzey arama yöntemleridir.

#### **1.1.2.2. Kalıntı Kurtarma**

Geleneksel arkeolojik kazılar, daha önce insanın yaşadığını belli eden, yüzeyde kalıntılar içeren ya da yerleşim üzerine tarihsel bilgilerin ya da jeofizik belirteçlerin olduğu yerlere araştırma çukurları ya da delmeler yaparak sürdürülmektedir. Kazının amacı; daha sonraki deneyler, istatistik çalışmalar ve diğer buluntularla ilgili üç boyutlu ilişkiyi belirlemek üzere kültürel ve biyolojik belgelerin derlenmesidir.

Bu üç boyutlu ilişki;

Kazı Yeri: Seçilen bir alanda yüzey belirteci içersin ya da içermesin kazının nereden başlayacağı sorundur. Her yana çakma ya da delme yaparak yitirilen zaman ve artan

giderler arkeologları mutlu etmemektedir. Yönlendirmenin, kazı öncesi, jeofizik ölçümlerle belirlenmesi hedefe daha kısa sürede, daha ekonomik varmak için tercih edilir.

**Kazı Süresi:** Arkeologlar için üzücü yan, yıllarca gömülü olarak korunan eserlerin kazı ile yüzeye çıkararak bozulması, küflenmesi, yağma edilmesi ya da birbirlerine göre konumlarının değiştirilmesidir. O nedenle, kazının zarar vermeden, birbirleri ile ilişkili yerlerde başlanıp bitirilmesi istenir.

**Eski Yerleşim Alanının Yeni Kullanıma Açılması:** Günümüzde ise, insanlık, gerek çevrecilerin baskısı ile gerekse yasalarla arkeolojik alanların yerlerinin belirlenmesi ve bu gibi yerlerin tümüyle yitirilmeden korunmaya alınmasına özen göstermektedir. Jeofizik yöntemlerin uygulanmasıyla eski bina temelleri, daha önce toprak ya da kaya içine kazılan yerler, boş odalar, gömüler, taş, kil ve kireç ocakları, gömülü sütunlar, çöp döküm alanları, eski kentler, kolay, çabuk ve ekonomik olarak bulunabilmektedir.

### **1.1.2.3. Kalıntı Yaşı Belirleme**

Arkeomagnetizma kapsamındaki bu işlemde kil ve kireç ocağından toplanan örneklerin son yakma zamanında kazandıkları yerin o günkü mıknatıslanma yönünün, yer magnetik alanının seküler değişim tarihçesine göre olduğu yere bakarak uygarlığın son bulduğu tarih belirlenebilmektedir.

### **1.1.3. Arkeojeofiziğin Kullanım Alanları**

Arkeolojide jeofizik çalışmalar izleyen konularda yapılmaktadır:

- Tümülüs Araştırmaları
- Höyük araştırmaları
- Gömüt alanının belirlenmesi (Toprak altı- kaya mezarı)
- Arkeolojik kalıntıların yaşlarının belirlenmesi (archaeo-magnetism).
- Fırın ve ocak yerleri

- Kazıyı yönlendirerek ve sınırlayarak kalıntıya zarar vermeden ulaşma
  - Uygarlığı son bulduran ve yersarsıntısı oluş zamanı belirlenmesi
  - Mezarların içindeki hazinelerin yerinin belirlenmesi
  - Metalik kalıntıların , yerleri ve derinliklerinin saptanması
- sayılabilir.

Jeofizikten beklenen ise gömü ya da kalıntının;

- Yeri
- Derinliği
- Boyutunun belirlenmesidir.

#### **1.1.4. Arama Yönteminin Seçimi**

Arkeolojik bir alanda jeofizik çalışmalara başlamadan önce alanla ilgili arkeolojik, jeolojik ve jeomorfolojik bilgilerin elde edilmesi gereklidir. Ve orada çalışma yapmış arkeologdan bilgi alınması önemlidir. Bu bilgilerin elde edilmesinden sonra bazı alanlarda test ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Ayrıca alandan toplanan toprak ve diğer kültürel malzemelerin laboratuvarlarda duyarlılık (susceptibility), iletkenlik (conductivity) ölçümlerinin ve jeokimyasal analizlerinin yapılması, yapılacak jeofizik çalışma açısından büyük bir önem taşımaktadır. Yapılan bu ön çalışmalardan sonra, alanın jeofizik araştırma planı ortaya çıkarılmalıdır. Bu plan doğrultusunda yapılan çalışmaların sonuçlarına bağlı olarak, belirlenen yerlerde test kazıları yapılmalıdır. Bu aşamaların daha sistematik izlenebilmesi için şöyle bir akış diyagramı sunulabilir (Şekil 1.1.1).

Aranan kalıntının; yapılışında kullanılan gercin fiziksel özellikleri, yan kayaç ya da gömülü tortulun türü, arama alanının yüzey koşulları (yükselti, iklim, yer yapısı ) arama amacına en uygun jeofizik yöntem ya da yöntemlerin seçilmesini belirlemektedir (Çizelge 1.1.4.1 ve 1.1.4.2).

## Yöntemin Uygulanışı

Jeofizik uygulamalar dört türde yapılabilir (Ercan,1999).

- İmge Çekimi (photo,Remote Sensing)
- Tarama (Haritalama)
- Kaydırma (Profilling)
- Delgi (Sounding)

Bu ölçümler ya yere bir im (sinyal) vererek tepkisini ölçme (etkin) ya da doğrudan doğruya yerden sinyalleri ölçme (edilgen) biçiminde sürdürülür.

A .İmge Çekimleri; havadan helikopter ya da uçakla alınan jeofizik ölçümler ile uydu fotoğrafları ve uzaktan algılamayı kapsar. Görüntü, sıcaklık, ışık, ısın, soğurma, yansıtma ve gaz salgılama özelliklerine dayanan bu uygulama ile çok geniş alanlar taranarak, kentsel yerleşim alanları, tortul genişleme yerleri, eski nehir yatakları, volkanizma gibi bölgesel bilgiler edinilir.

B. Tarama çalışmaları; yer altı kalıntılarının izlerinin yüzeydeki yansımaları belirlemek için yapılır. Bu çalışmalar; yüzeyden yere değişmez bir nokta ya da noktalardan im (sinyal) vererek, yeraltının tepkisinin, ölçü noktalarında haritalanmasını içerir. Tarama çalışmaları ne denli sık aralarla yapılırsa, yeraltının sanal görüntüsü o denli ayrıntılı belirlenir. Antik kent içi çalışmalarda; odalar, duvarlar, kiler, ocak, kuyu, boşluk, silah deposu, darphane, metal döküm yeri gibi kalıntılar böyle aranır.

C. Kaydırma çalışmaları; sinyal verici (Tx) ve alıcısının (Rx) ve ölçü noktasının bir doğrultu boyunca kaydırılarak, o doğrultuyu kesen arkeolojik kalıntıyı yakalamak ve kalınlığını, yerini, eğimini belirlemek amacıyla kullanılır. Su yolu, künk, sur duvarı, yapı temeli, boyuna devrik sütunlar, taş döşemeli yollar gibi kalıntıları kaydırma uygulaması ile belirlenir.



D. Delgi alışmaları; gömülü kalıntının derinliğini ve kalınlığını belirlemek için kullanılır. stte anlatılan yöntemlerle yeri belirlenen olası kalıntı yansımasının üzerine ölçü düzeneği konur. Düzenekte, merkez sabit tutulur ve verici-alıcı aralığı açılarak ya da sinyal frekansı azaltılıp çoğaltılarak sinyal kalıntıya hiçbir zarar vermeden, derinlik bilgisi edinildiğinden buna sanal delgi (jeofizik delgi)de denir. Sondaj yapmadan ve giderinden tutum yapmayı sağlar. abukluğu nedeniyle başvurulur. Ancak, derine indikçe bilgilerdeki ayrıntı azalır. Elektrik delgi, sismik yansıma, yeraltı radarı, elektromagnetik delgi bunlara örnek olarak verilebilir. Hyklerde kültür katları ve tabanı derinliği, örtü toprak kalınlığı, kapalı odanın tavan ve taban derinliği, iinin dolu ya da boş olması, ana kaya derinliği, ilksel yer yükseltisi, tortul kalınlığı, yer altı suyu derinliği gibi özellikler böyle belirlenir.

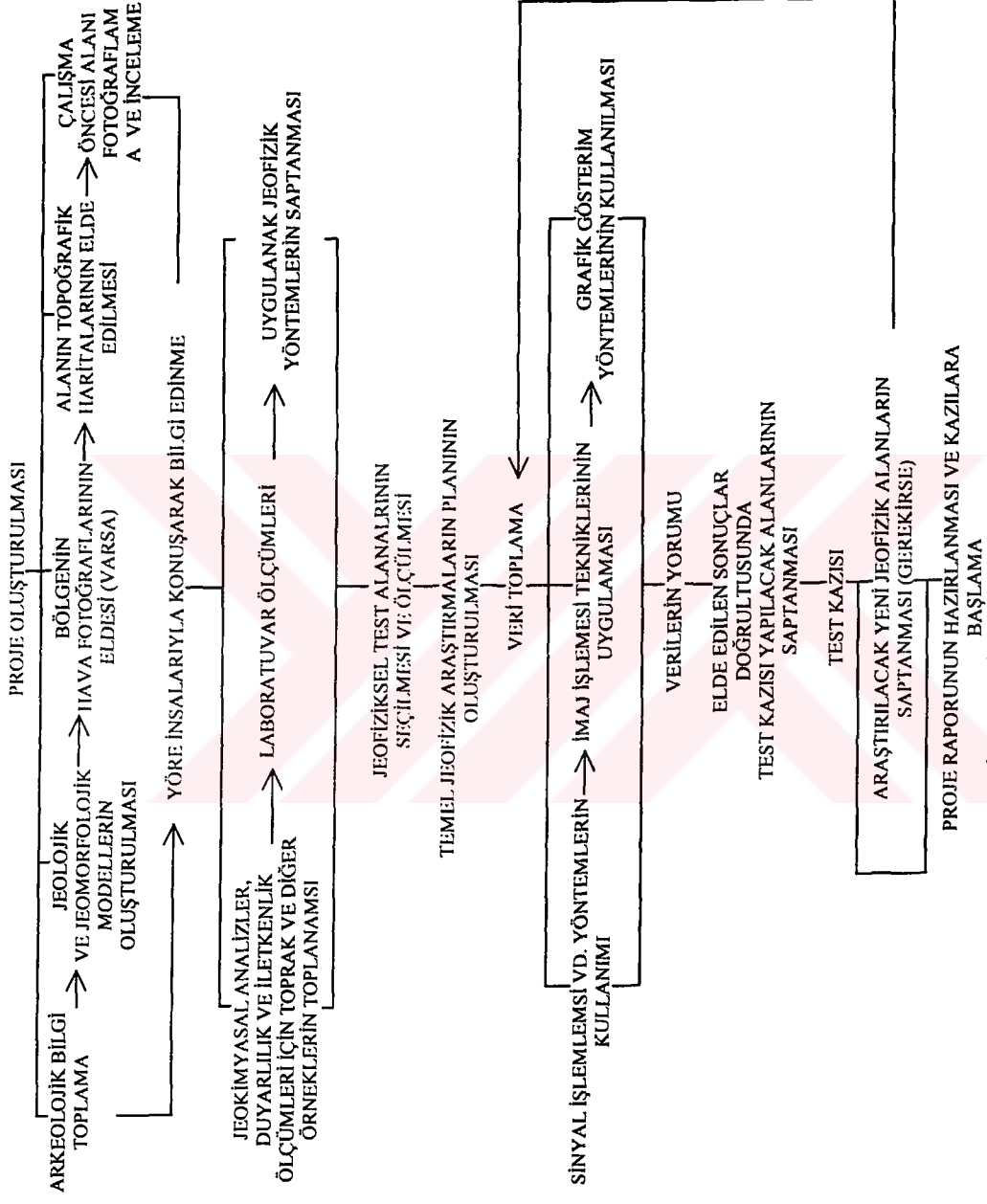
Anlatılan yöntemlerden biri ya da birkaçıyla yeraltından böylece toplanan bilgiler, kat haritaları, yapma kesitler ve yer altı arkeojeofizik kesitler şeklinde sunulabilir.

ÖZELLİK	DEĞİŞTİRGEN	JEOFİZİK YÖNTEM
AĞIR VE HAFİFLER (Duvar, Sur/Boş Oda, Dromos)	Yoğunluk d	GRAVİTE SİSMİK
İLETKEN ve DİRENÇLİLER (Metal, Altın, Gümüş Takı/Kaya, Kültür Tabanı, Kil dolgu)	Özdirenç p	ELEKTRİK ELEKTROMAGNETİK POLARİZASYON
RADTOAKTİF OLANLAR ve OLMAYANLAR (Kil, İnsan Kemigi/Kireçtaşı, Mermer)	Radyasyon r	RADYOMETRE SPEKTROMETRE KUYU LOGU
MIKNATISLANABİLİR ve OLMAYANLAR (Demir alet, Silah/Kil, Dolomit)	Mıknatıslanma Duyarlılığı k	MAGNETİK ELEKTROMAGNETİK
POLARİZE OLANLAR ve OLMAYANLAR (Saçılmış küçük taneli madenler/Metaller)	Elektrik Durağanlığı k Dielektrik Durağanlığı e	SP IP
SES HIZI GEÇİRİMİ YÜKSEK ve DÜŞÜK OLANLAR (Taş yapılar/Kömür, Kil)	Hız v	SİSMİK
ISIL İLETKENLİĞİ YÜKSEK ve DÜŞÜK OLANLAR (Metalik/Asbest, Kömür)	Isı İletkenlik t	TERMOMETRE UZAKTAN ALGILAMA KUYU LOGU
YANSITICILAR ve SOĞURUCULAR (Metalik/Absorbant)	Işık Yansıtma y	UZAKTAN ALGILAMA
GAS SALGISI OLANLAR ve OLMAYANLAR (Bitüm, Kömür)	Gas yayma g	GAS ÖLÇER RADONMETRE

Çizelge 1.1.4.1. Fiziksel Özelliklerine Göre Arkeolojik Kalıntıların Sınıflandırılması ve Önerilen Uygun Jeofizik Yöntem(Ercan, 1999).

ARAMACILIK	UZAKTAN ALGILAMA	MİKROGRAVİTE	GRAVİTE TÜRBYE	MAGNETİK	ELEKTRİK ÖZDİRİNCİ	ELEKTROMAGNETİK	YERALTI RADARI	SICAKLIK ÖLÇER	TİTREŞİM ÖLÇER	SİBİK	RADYONÜETRI GAMMA	POLARİZASYO N
ANTİK YERLEŞİM ALANLARIN BULUNMASI	XXXXX			XXX	X							
YANGIN ALANLARI VE BERAMİK OCAKLARI				XXXXX								
UYGANLIK YAŞI				XXXXX								
KENT OTURUM PLANI	XX			XXXXX	XX		XX	XX	XXXX	X		
YATIR GİRİŞ YERİ		XXX		X	XXXXX	XX	XX	XX	XXXX			
OBALAR, BOĞDOLU		XXXXX		XXXXX	XXX	XX	XXX	XXX	XXXXX	XXX		
EKİN(KÜLTÜR) KATI KALINLIĞI					XXXXX	XXXXX	XXXXX	XX	XX	XXXX		
ALTIŒ-ÖMÖR-BAKIR TAKI GERECİLER VE ÖMÖ						XXXXX	XXX	XX				X
DEMİR, METAL GERECİLER				XXXXX		XXX	XX				XXXX	X
KEBİK, ÖMÖT			XX		X							
KÜÇÜK METAL PARÇALAR						XXXXX					XXXX	XX
ÜST ÖRTÜ KALINLIĞI		XXX		X	XXXXX	XX	XXXX			XXXXX		XX
YERLEŞİM TABAN BİÇİMİ		X		X	XXXXX	XX	XXXX			XXXXX		XX
YERALTIYU YER VE DERİNLİĞİ	XX				XXXXX	XXXXX	XXX					XXXX
İNĞALERÖ, KANAL, MAÖ, A, B, C, D, RUM		XXXXX		XXX	XXXXX	XX	XXX	XXX	XXXX	XX		XX
HÖYÜK ARAŞTIRMALARI	XX	XXX		XXXX	XXXXX	XXX	XXX	XX	XX	X	XX	X
YER ALTI METAL BOĞAZLILIK YERER VE KÖNİLER		X		XXXX		XXXXX	XXXXX					
YAPILARIN YATAY VE DİRENİKLİK UZANIMLARI		XXXXX		XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	XXX	XXX	XX	
TANJİL DOLGU AYRIMI		XX		XXX							XXXXX	
DENEZ ÖLÇÜLT SÜ İÇİ ARAHALLARI			XXX	XXX	X		XXXX			XXXX		
ESKİ MADEN ÖCMEKLERİ	XX		XX	X	XX	XXXX	X				X	XXXX

Çizelge 1.1.4.2. Arkeolojik Araştırmalarda Kullanılan Jeofizik yöntemler (Ercan, 1999)



ŞEKİL 1.1.1. İdeal arkeojeofizik çalışma planı (Drahor, 1991)

### 1.1.5 Arkeolojide Kullanılan Jeofizik Yöntemler

Jeofizik en genel halde yer altı yapılarının röntgenini çeken bir bilim dalı olarak tanımlanabilir. Bu tanımlamayı yaşamın güncel konusu olan tıp biliminin dahiliye, röntgen-ultrason-tomografi ile de açıklamak mümkündür.

Nasıl ki insan vücudu ile ilgili bir tanıyı kesin teşhise dönüştürebilmek bu üçlünün ortak ögesi olan röntgen-ultrason ve tomografi ile olanaklı ise yer altı sorunlarının da kesin bir çözüme ulaştırılabilmesi ancak jeofizik uygulamalar sonucu olanaklıdır.

Arkeoloji'de kullanılan en yaygın jeofizik yöntemler şöyledir:

#### 1.1.5.1 Hava Fotoğrafları ve Modern Dijital Görüntü Sistemleri

Muhtemelen arkeolojik sitelerde uygulanan ilk aletsel yöntem, alan fotoğraflarıdır. Bu da ilk defa İngiltere'de 1.Dünya Savaşından sonra kullanılmaya başlanmıştır. Arkeologlar çok uzun zaman bu yöntemi kullanmışlardır, hatta hala kullanılmaktadır. Çünkü yöntem , kazma işlemi başlamadan uygulandığı ve bilgi verdiği için kullanışlı görülmüştür. Alansal fotogrametrik yöntemler zemin çeşitleri ve ekin farklılıklarını ayırt etmede yardımcı olmuştur. Zemin renklerindeki farklılıklar, nem içeriği, yapının işaret ettiği gömülü duvarlar veya eski kültürlerin tarım aktiviteleri gibi ortamdaki değişimler görülebilmektedir. Bu metodun tipik uygulaması, alçaktan uçan bir uçakla veya balonla yapılabilir. Çekilen fotoğraflar incelenir. Fotoğraflar, yerin çıplak gözle görülemeyen birçok özelliğini verir. Bu da arkeologlara kazıya nerede başlayacakları hakkında fikir verebilmektedir.

Airborne ve Spaceborne dijital görüntü sistemleri ile 1960'larda küçük başarı sağlayan denemeler yapılmıştır. Arkeolojik sitelerin araştırılmasında kullanılmaya çalışılan bu yöntemde görüntülerin çözünürlüğünün çok küçük olduğu görülmüştür. Elbert ve Berlin (1984), görüntülerin bazen toprak formlarını ve bitki tiplerini ayırt edebildiğini bulmuşlardır. Landsat verileriyle Kuzey Arizona'da 700 yıl önce terk edilmiş sürülü alan görüntüsü yakalamıştır.

Amerika Jeolojik araştırmalar ve NASA; mineral kaynaklarının haritalanması araştırmalarında uçak dijital görüntü sistemlerini kullanmışlardır. Bu metodun diğer yöntemlere göre daha yüksek znrle sahip bir yöntem olduğu bilinmektedir.

Fakat arkeolojik uygulamalarda kullanılan bu yöntemde yeterli olmamıştır. Thermal yöntemler (yer ve airborne ), arkeoloji biliminde kullanım açısından büyük yer tutmaktadır. Bunlar yerdeki sıcaklık değişimlerini içermektedir. (Bener ve Brodkey,1984). Termal yöntemler; gömülü taş bloklar, mesela ortamın termal enerjisine göre termal enerjisini farklı oranlarda kaybetmiş olan yapılar günlük ve gecelik termal oranlarda anomali yaratmaktadır. Spesifik uygulamalar olarak Peru, Mısır ve çevrelerinde eski istihkam yerleri ortaya çıkmıştır. Perisset ve Tabbagh (1981) dijital görüntü sistemini arkeolojik alanlarda uygulayarak ispat etmişlerdir (Wynn, 1999).

### 1.5.2 Manyetik Yöntem

Manyetik yöntem, arkeojeofizik araştırmalarda en yaygın kullanılan jeofizik yöntemdir. Bu yöntem ilk defa 1950'lerde kullanılmaya başlanmıştır. Yeraltındaki birimlerin farklı mıknatıslanma duyarlılığına sahip olmaları özelliğinden yararlanarak, yüksek mıknatıslanma duyarlıklılı cisimleri belirleyebilmektedir. Yüksek manyetik süseptibilite, ortamın daha az olan manyetizmasında kendini belli eder. Manyetometreler, toprağın içerdiği manyetik değişimleri %0.1 den daha az duyarlılıkla meydana çıkarmaktadırlar. Arkeolojik alanlarda bulunan demirden yapılmış her türlü malzeme ve pişmiş kil, bunların ocak veya fırınları gibi yapıları da sahip oldukları ısıl kalıntı mıknatıslanma nedeniyle manyetik araştırmalarda çok iyi belirti vermektedir. Bu ve benzeri malzemelerin insanlık tarihi boyunca, farklı amaçlarla da olsa kullanıldığı bilindiğine göre herhangi bir arkeolojik alanda bulunma olasılığı da yüksektir. Bu da manyetik yöntemi, arkeolojik alanlarda en çok kullanılan yöntem durumuna getirmiştir (Kaya, 1996).

Toprakta gömülü malzemeler manyetik sseptibilitenin önceki değerinde değişimler yaratırlar. Gömülü malzemeler lokal olarak oksidasyona uğradıklarından manyetik

olarak boşluklar yaratmaktadır. Jeofizikçiler bu durumdan yararlanarak Kuzey Amerika 'daki Büyük Ova'nın asıl yerlilerinin eski yerleşim yerlerinin büyük ölçekli haritalarını yapmışlardır (Weymouth ve Huggins 1985). Avrupa'da Romalılar zamanındaki sitelerin haritalanmasında da kullanmışlardır (Scollar 1986).

Diğer taraftan manyetometrelerin taşınabilir özellikte olması nedeniyle arazi çalışmalarının çok hızlı ve az personel ile yürütülmesi de bir diğer tercih nedeni olmaktadır. Drahor ve Kaya (2000) yöntemi uygulayarak başarılı sonuçlar almışlardır.

### **1.1.5.3 Özdirenç Yöntemi**

Elektrik özdirenç yöntemi, manyetik yöntemden sonra arkeojeofizikte en yaygın kullanılan yöntemdir. Verici olarak tanımlanan bir kaynak yardımıyla yere iki noktadan elektrik akımı verilmesi ve diğer iki nokta arasındaki gerilim farkının bir alıcı yardımıyla ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Yöntemin ayrıntısı Bölüm 1.2'de verilmiştir.

### **1.1.5.4 Arkeomanyetizma**

Arkeologlar ve fizikçiler; Kuzey Amerika, Britanya ve Güney Avrupa'da eski tarihlerle yapılmış olan ocak ve fırınların tespiti ve adlandırılmasında bu yöntemi kullanmışlardır (Wolfman 1984, Tarling 1986). Bu örnekler dikkatlice incelendiğinde bu ocak ve fırınların duvar ve tabanları gözlenebilmiştir.

Bu tespitler, malzemenin manyetik skalasının değişimi ve duyarlılığının saptanmasıyla yapılabilmektedir. İnceleme yapmak için deklinasyon, inklinasyon ve eski yer yüzeyinin duyarlılığı gibi ölçüler gerekmektedir. Günümüzde bu proses radyokarbon 14 metotları ile yapılmaktadır.

Ayrıca kil ve demirden yapılmış malzemeler, yapıldığı zamandaki yer magnetik alanın yönünü kazanmakta ve şiddetini de etkilemektedir. Bu gibi malzemelerde

mıknatıslanma yönlerini bulup, bunu yer magnetik alanının hangi tarihte, hangi yönde olduğunu gösteren çizelgelerle karşılaştırarak araştırılan uygarlığın yaşını öngörmek de olanaklıdır (Arkeomagnetizma) (Ercan,1999).

#### **1.1.5.5 Elektromagnetik (EM) Yöntemler**

Elektrik yöntemler içinde yer alan ve hem yapay hem de doğal kaynaklı olan bir diğer yöntem, elektromanyetik (EM) yöntemlerdir. Özellikle iletken yapıların araştırılmasında kullanılan yöntem, ilke olarak bir kablodan dalgalı akım (AC) geçirilmesi ile bu kabloya dik doğrultuda oluşan manyetik alan (Hp) ve bunun yer altında bir iletkeni etkilemesine dayanmaktadır. Oluşum ilkesi gereği, EM yöntemler, yeraltındaki her türlü iletken yapıya karşı duyarlı olduğu için son 35 yıldır arkeojEOFizik'te yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaya, 1999).

Arkeolojik amaçlı elektromanyetik çalışmalarda genellikle slingram tekniğinde çalışan aletler kullanılır. Henüz tümüyle okside olmamış eski metalik parçaların, eski ocak gibi magnetik belirti veren yerlerin, aynı işareti veren güncel metalik çöplüklerden ayırt edilmesinde, mezar içlerinde metalik parça olup olmadığını anlamada kullanılmaktadır.

#### **1.1.5.6 Gravite Yöntemi**

Arkeolojik araştırmalarda kullanılan jeofizik yöntemlerden biri Gravite dir. Yöntem, geleneksel uygulamalarında, yeraltında bulunan kayaçların yoğunluk farklılığından yararlanarak yer altı yapısını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Eğer kayaçlar arasında bir yoğunluk ve şekil farklılığı var ise bunların yeryüzünde oluşturacağı anomali gravite ölçümlerinde bir belirti şeklinde ortaya çıkacaktır. Arkeolojik eserlerin boyut olarak çok küçük ve çok sığ olmaları, yoğunluk farkı olsa bile, yeryüzünde oluşturacakları gravite alanının, normal alan dağılımından çok az sapmasına neden olur. Bu nedenle gravite yönteminin arkeolojik alanlara uygulanması sınırlıdır (Wynn, 1986). Bazı araştırmacılar, Gravite yönteminin; Sit alanı sınırları, yer altı



boşlukları, gömülü odaların ve tümülüslerin, yer, boyut ve derinliklerinin araştırılmasında kullanılabileceğini belirtmiştir (Ercan, 1999 ve Kaya, 1999).

#### 1.1.5.7 Sismik Yöntemler

Yeraltına yollanan ses dalgalarının gidiş-geliş zamanını ölçmeye dayanır. Tarihte bu metot, ilk başlarda ağır bir malzemeye yere vurularak yapılır, boşluklar ve farklı yapıdaki toprağın verdiği tepkiler incelenirdi. Türlü uygulamalarda sismik kırılma yöntemi çok az başarılı olmuştur. Ancak 20 ile 3000 Hz arasında taramalı sinyal üretilen sarsıntıların yansımalarını algılayan sonik spektroskopi (Carebelli, 1966), özellikle boşlukların bulunmasında başarılı olmuştur. Bu yöntemde kaynak yere 20 Hz —3000 Hz frekans aralığında sonik enerji gönderir.

Rezonans etkileri; geniş bant aralığında akselerometre veya duvara çakılmış jeofon ile meydana çıkarılır. Tipik olarak, katı duvarın düşük doğal rezonans frekansı (5 Hz -20Hz) tekdüze ortamda yükselir.

Ses-yansıtma yöntemi ise deniz ortamında batık kentlerin, gemilerin, deniz çökellerinin yer ve kalınlıklarını bulmada kullanılır. Sismik yansıtma yöntemleri, maliyet ve uygulama sınırlandırmaları nedeniyle daha az kullanılmaktadır.

Yüksek ayrımlı sismik ölçüler; arkeolojide kullanılan yüksek ayrımlı sismikte, yere sarsıntı üretici ile yollanan dalganın frekansı 3.5 kHz ile 7 kHz arasında değişir. Ölçülerin maliyeti diğer jeofizik yöntemlere göre pahalı olduğundan seyrek olarak ve genellikle denizde kullanılmaktadır.

Sismik yansıtma metotlarından (örnek olarak sonar) deniz uygulamalarında çok iyi çalıştığı bilinmektedir. Bu teknikle denizaltında gömülü sedimanlar kolaylıkla ortaya çıkarılmaktadır. Sismik yansıtma yöntemi; oyukları, homojen kaya kütlelerini veya eski tarihi taş yapıları ortaya çıkarmakta da kullanılır. Bir örnek olarak bu yöntemle, Machpelah'ta bugünkü İsrail'de gömülmüş eski İbrani Peygamber; eski cami/sinagog altında bir boşlukla bulunmuştur (Dolphin, 1984). Sismik yansıtma

metotları, Mısır'daki Giza Piramitlerinden Kefren'de boşluk ve kırıkların bulunmasında kullanılmıştır (Dolphin, 1981).

Jeofizikçileri arkeolojik uygulamalarda kırılma yöntemini küçük başarılarla denemeye çalıştılar (Carson, 1962; Aitken, 1974; Dolphin, 1985). Kırılma metodu, derinlikle artan hızlara sahip tekdüze tabakaların haritalanmasında iyi bir şekilde çalışmaktadır. 3 boyutlu objeler, mesela gömülü siteler, taş buluntular aramaya çalışılırsa, bu metod daha az kullanışlı ve yorumu daha zor hale gelmektedir. Sismik kırılma çalışmaları yapay dolgu kalınlığının ve ilksel topoğrafyanın yanal hız süreksizliklerinin belirlenmesinde de yardımcı olmuştur.

Brizzolari vd (1992), Roma yakınlarında sığ bir derinlikte yer alan arkeolojik yapıları sismik tomoğrafi tekniği ile araştırmışlardır. Manyetik ve öz direnç yöntemlerinin de uygulandığı araştırmada belirtiler, çok az farklılıkla, aynı yerlere karşılık gelmiştir.

#### **1.1.5.8 Yer Radarı (Georadar) Yöntemi**

1970 ortalarında arkeolojik çalışmalarda Ground Probing Radar denilen yeni bir metod ortaya çıktı. Bu yöntemin orijinali, savaş zamanında kullanılan düşman mevzilerini keşif için bulunmuştu (Moffat, 1974; Morey, 1974; Cook, 1974; Vickers ve Dolphin, 1975; Ulriksen, 1982).

Yer altı radarı (GPR) arkeolojide kullanılan en yeni elektromagnetik aygıttır. Georadar, yüksek frekanstaki EM dalgaların yeraltında yansımalarının kaydedilmesi ilkesine dayanmaktadır. Arkejeofizik araştırmalarda, arkeolojik alanın gerçeğine çok yakın bir şekilde belirleyebildiği görülmüştür (Vaughan, 1986).

Radar aleti yeryüzü üzerinde elektromanyetik sinyaller üreterek ve alıcı antenin sahip olduğu bant genişliğine bağlı olarak, değişik jeoelektrik özellikli katman sınırlarından yansıyan sinyalleri kayıt eder. Yansıma profillerinin kaydı tek kanal sismik profillemeye benzer. Günümüzde aletlerin hızla gelişimiyle (örneğin SIR

aletleri), yüksek ayrımlılıkta veri toplama ve sürekli profillemeye olanağı ortaya çıkmıştır. Bu aletlerin en büyük yararlarından biri de, sinyal genişliğinin değiştirilmesiyle arama derinliklerinin denetlenebilmesidir.

Ancak ortamın killi ve nemli olması, etki derinliğini hızla azaltmaktadır. Bunun dışında yapıların yerlerini derinlik bilgisiyle birlikte vermesi ise, radar'ın en büyük yararlarıdır. Ancak bir arkeolojik araştırmada finanse edilemeyecek kadar pahalı bir sistem olduğu belirtilmektedir (Wynn, 1986).

GPR metodunun zayıflığı; kil tabakalarının altında normal geçiş yapamamasındandır. Ekipman çok pahalı ve verilerin yorumu karmaşık ve zor olmaktadır. Sık sık, yanlış antenlerin kullanımı önemli özelliklerin güç anlaşılmasına veya tamamen kayıp olmasına neden olabilir. Düşük frekanslı anten kullanmak zayıf rezolüsyona veya çok yüksek frekanslı anten kullanmak aşırı atenuasyona neden olur. Uygulamanın başlangıcında ve radar verilerinin sinyal proseslerinde zaman harcanmaktadır.

Bu yöntemle, doğal toprak, toprak cinsleri ve mezar sütunları tespit edilebilir. Bu yöntem bazen, metal parçacıklar veya hava boşluklarını saptamada da çok iyi sonuç vermektedir.

### **1.1.6 Türkiye' de Arkeojeofiziğin Önemi**

Bir çok önemli uygarlığa beşiklik etmiş olan Türkiye prehistorik ve historik bakımından dünyanın en zengin ülkelerindedir. Bu kadar önemli olan tarihi alanlarına yeterince önem verilmemesi Türkiye için hem maddi hem manevi kayıptır. Bugün Türkiye' de birçok kaçak kazıların yapıldığı, kazılardan elde edilen tarihi eserlerin yurtdışına çıkarıldığı, bunun da Türkiye için büyük bir kayıp olduğu bilinmektedir.

Bu konuda Drahor (1998) Türkiye'deki arkeolojik sit alanlarının güncel konumunu ve sorunlarını şöyle tanımlanmaktadır.

- Türkiye tarihsel yağmanın en fazla olduğu ülkelerden biridir ve tüm batı ülkelerindeki müzelerin ve özel koleksiyon salonları, çoğu Anadolu kökenli binlerce eserle süslenmektedir.
- Türkiye, teknolojiyi dışardan transfer eden bir ülkedir ve teknoloji gelişiminin kendi iç dinamiği yoktur. Bu durum alt yapısı önceden hazırlanmış bir ilerlemeyi ortadan çıkarmaktadır. Bu olaydan çok etkilenen ve büyük zarar gören tarihsel alanlarımız; kentsel büyüme, otoyol, baraj, büyük turizm kompleksi ve konutların istilası altındadır. Böylece birçok kültür daha incelemenden , bir daha geri gelmemek üzere yok olmaktadır.
- Türkiye'nin sit alanlarının çok az bir bölümü belirlenmiştir ve bu konuda büyük bir kargaşa vardır. Eğer Türkiye'de arkeojeofizik yöntemlere gereken önem verilir ve etkin uygulama olanağı yaratılırsa, sağlanacak yararlar şöyle sıralanabilir:
  - Kazıların jeofizik araştırma yapılan alanlara kaydırılması ile kazı maliyetlerinde önemli bir azalma olacaktır. Ayrıca kazılması gerekli alanların belirlenmesi, daha hızlı kazı yapma olanağını ortaya çıkaracaktır.
  - Arkeolojik sit alanlarının daha kesin saptanarak, bu alanların Kültür Bakanlığı tarafından kamulaştırılması ve korunması kolaylaşacaktır. Ayrıca sit alan dereceleri sağlıklı belirlenecektir.
  - Tümülüsler birer anıt niteliğinde önemli tarihsel değerlerimizdir.

Bu değerleri kurtarmak ve kaçak kazıları engellemek için jeofizik çalışmalara acil olarak gereksinim vardır. Bu amaçla Kültür Bakanlığının katkısıyla başlatılacak Türkiye tümülüsleri araştırma projesiyle yoğun araştırmalara başlanacak , kaçakçılığa önemli bir darbe vurulacaktır.

Türkiye' deki tarihi alanların arkeolojik yöntemlerle araştırılması, belirlenmesi ve kazılarla ortaya çıkarılması oldukça uzun zaman dilimlerine yayılabilmektedir. Bu

nedenle bu alanların daha kısa süreli, hızlı ve yok edici olmayan yöntemlerle araştırılması büyük bir kazanç sağlar. Bu noktada jeofizik yöntemlerin önemi ortaya çıkar. Eğer günümüzde Batı toplumlarında tarihi alanlara verilen değer, gelişen ve uygulanan jeofiziksel yöntemler Türkiye’de uygulanırsa birçok kaçak kazıların önüne geçilebileceği ve bu eserlerin yurtdışına kaçırılması bir ölçüde engellenebileceği bilinmektedir. Tabii ki bu gelişmelerin sağlanabilmesi için de gerekli yasal düzenlemelerin ve gerekli maddi desteğin sağlanarak bu bilimlerin gelişmesine olanak sağlamalıdır.

## 1.2 Özdirenç Yöntemi

Dünyada yaygın olarak kullanılan, yapay kaynaklı yöntemdir. Yer altı yapılarının elektrik akımını farklı iletmeleri yani farklı elektriksel özellik göstermeleri özdirençte farklılıklara neden olmakta ve böylece yer altı yapısı yorumlanmaktadır(Kaya 1999). Özellikle DC özdirenç yöntemi ekonomik olması ve kullanım kolaylığı nedeni ile birçok jeolojik problem çözümü için tercih edilir.. En sık kullanıldığı alanlar;

- Yeraltı suyu araştırmaları
- Mineral araştırmaları
- Stratigrafi (yerkabuğu katmanlarının düzeni) tayini
- Kum, çakıl ve kayaç araştırmaları
- Kırılma zonları veya boşlukların yer tayini vb..dir.

Arkeojeofizikte ise manyetik yöntemden sonra en çok kullanılan yöntemdir.

1. Sit alanlarının sınırlarını belirlemede
2. Gömülü kalıntıların yerlerini, derinliklerini, geometrilerini belirleme ve eski kent planını görüntülemeye
3. Tümülüslerin yapısını çıkarma ve kazı yönlendirmede
4. Yeraltında gömülü boş odaların yer ve boyutlarını belirlemede

5. Eski su yolları ve yer altı su yollarının donanımını belirlemede kullanılmaktadır.

Arkeolojik amaçlı özdirenç çalışmalarında; duyarlı, yüksek ayrımlılığa sahip, hızlı ölçü alabilen aletlere gereksinim vardır. Ayrıca aletlerin ölçüm sırasında değme gerilmeleri, değme dirençleri, elektrot uçlaşması ve doğal yerküre akımlarından da etkilenmemesi gerekmektedir. Bu tür etkileri gidermek için araştırmalarda genellikle AC aletler kullanılır. Ancak AC aletlerin verici frekanslarından oluşan kaymalar; nem, sarsıntı ve sıcaklık farkının alıcı kalibrasyonunu bozması ve devre elemanlarının doğrusal olmaması gibi özellikleri önemli bir olumsuzludur.

Arkeolojik aramalarda küçük elektrot aralıkları kullanıldığından, indüklenmiş elektrik alan hızla azalır. Bu etkiyi gidermek için hızlı ve kısa sürede ölçüm yapabilen aletler gereklidir (ms'ler düzeyinde veri okuyabilen).

Sit Amaçlı Özdirenç Çalışmalarında yapıyı haritalandırmanın en iyi yolu, yatay özdirenç taramalarıdır (Kaydırma). Bu teknikte; veriler gridlere uygun olarak toplanacağından, düzenli bir haritalandırma sağlanmış olur. Profiller, alanda beklenen arkeolojik yapıya uygun olarak oluşturulur. Alınan kayıtlar incelendikten sonra, uygun dizilim ve araştırma derinliği saptanır. Wenner ve Schlumberger dizilimleri duvar yada çukur biçimli bir yapı üzerinde W ve M biçimli belirtiler üretmektedirler.

### 1.2.1 Dizilim Türleri

Elektrotların ölçüm sırasındaki konumlarına göre geliştirilen ölçü alım teknikleri, elektrot dizilimleri olarak adlandırılır. Özdirenç ölçümleri, herhangi bir ya da birden çok kaynağın iki nokta (bir çift) arasında oluşturduğu gerilim ayrılığı  $\Delta V$  'nin algılanmasını içerir. Ölçüm için kullanılan dizgenin yeryüzünde dizilimi amaca göre değişebilir. Çalışılan yer, tekdüze ve yarı-sonsuz ortam ise böyle bir ortamın özdirenci, ölçülen  $\Delta V$  gerilimi ve bu gerilimi yaratan I akım türü cinsinden ;

$$\rho = K (\Delta V/I) \quad (\text{Ohm-metre})=(\text{metre}) (\text{Volt})/(\text{Amper}) \quad (1.2.1)$$

dir.

Bağıntıda yer alan  $K$  kullanılan dizilimin türüne ve boyutuna göre değişen dizilim katsayısıdır. Bu bağıntıda yer alan  $K$  ve  $I$  denetimli birimler, ölçü alıcının koşullara göre seçebileceği uygun değerler olmasına karşın  $\Delta V$  gerilimi böyle bir dizilim ve böyle bir  $I$  akımına karşın ortamın gösterdiği gerilim ya da tepkidir. Eğer ortam varsayılabilecek uygun olarak tekdüze olsa idi, bulunan  $\rho$ , ortamın gerçek özdirenci olacaktı. Ancak böyle ideal koşulları içeren bir ortamın varlığına yeryüzünde rastlanmamıştır. Ortamda yanıl düzensizlikler olabileceği gibi düşey yönde de düzensizlikler olabilir. Bu nedenle  $\Delta V$  karmaşık bir ortamın tepkisi ve  $\rho$  da böyle bir ortamın gerçek değil görünür özdirenci olacaktır. Görünür özdirenç  $\rho$  yu gerçek özdirençten ayırt etmek için  $\rho_a$  simgesi kullanılmaktadır. Böylelikle karmaşık ortamın tekdüze ortamdaki sapması anlaşılabilir olur.

$$\rho_a = K \cdot (\Delta V_a / I) \quad (1.2.2)$$

Her dizilim için aynı bağıntı kullanılır. Değişen tek şey dizilim türü ve büyüklüğünü gösteren  $K$  dizilim katsayısıdır. Dizilimler yer ile iletim büyüklüğü sağlayan bağıntıların sayısı ve birbirlerine göre konumlarına göre ayrı ad alırlar. Dizilimde kullanılan gerilim uçları arası azaldıkça gerilim düşeceğinden, çok duyarlı ölçü aygıtları yada gerilimi arttırmak için tek akım kaynağı kullanmada yarar vardır. Gerilim bağıntılarının dar olması durumunda, yere metal çubuklarla bağlı olunması durumlarda, çubuklar yer içine gerilimi dizilim aralığının 1/5 den daha derin sokulmalıdır. Bu dizilimlerin bir kısmı;

-Wenner Dizilimi

-Schlumberger Dizilimi

-Dipol Dizilimleri

-Yarım-Wenner Dizilimi

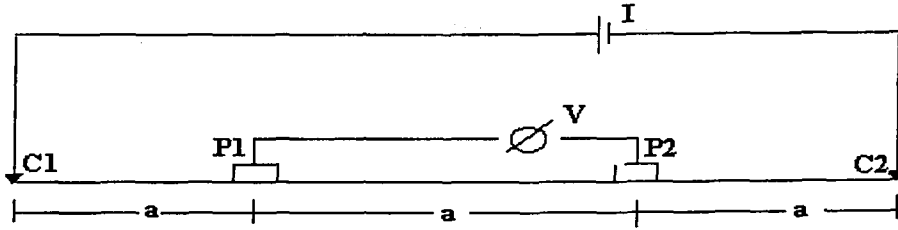
-Yarım- Schlumberger Dizilimi

-İki Elektrot Dizilimi

olarak sayılabilir.

### 1.2.1.1 Wenner Dizilimi

Wenner diziliminde iki akım ve iki gerilim elektrodu bulunur. Kullanılan dört ayak aynı doğrultuda, a aralığı ile yerleştirilir.



Şekil 1.2.1. Wenner diziliminin genel gösterimi

Alışıla gelen ölçüm düzeni uyarınca, dıştaki iki ayaktan yere akım verilir. İçte yer alan iki bağlantıdan ise verilen I akımının yarattığı gerilim alanı (ortam tepkisi) ölçülür.

Wenner açılımı için görünür öz direnç;

$$\rho_{aw} = K_w \cdot (\Delta V / I) \quad (1.2.1.1.1)$$

$\Delta V$  değeri;

$$\Delta V = \left( \frac{\rho I}{2\pi} \right) \cdot \left[ \left( \frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} \right) - \left( \frac{1}{C_1 P_2} - \frac{1}{C_2 P_2} \right) \right] \quad (1.2.1.1.2)$$

şeklindedir. K dizilim katsayısı (geometrik faktördür) olup,

$$K_w = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) - \left( \frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \right] = 2\pi \quad \text{dır.} \quad (1.2.1.1.3)$$

Özdirencin yatay yöndeki değişimi inceleniyorsa düzen olduğu gibi sağa yada sola doğru her ölçümde a kadar kaydırılarak belli bir alan belli bir doğrultuda taranır.



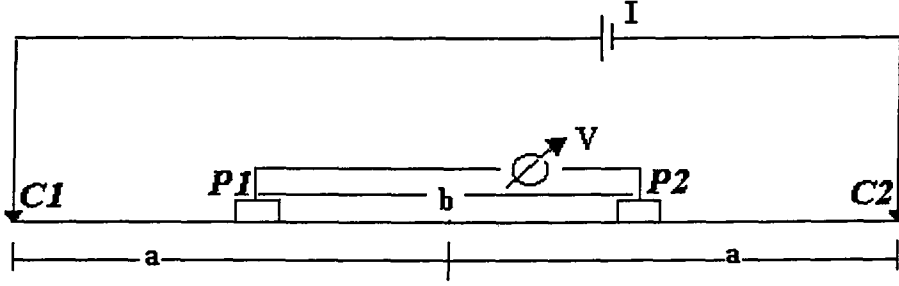
Eğer özdirençin boyuna değil de düşey yönde değişimi incelenmek istenirse, dizilimin orta noktası başlangıç durumunda tutulur. Ancak  $a$  aralığı  $\Delta a$  aralıklarla artırılır. Derin wenner diye adlandırılan bu düzende her bir ölçü için ayakların tümünün yer değiştirmesi gerekir. Bağlantıların yer değiştirmesi nedeniyle ölçümler yatay süreksizliklerden etkilenebilecekleri gibi, elektrolitsel çözelti olarak bakılan yer ile, elektrot gözü ile bakılan akım teli arasında her kez denge geriliminin oluşması için belli bir süre beklemek gerekecektir. Çok büyük açılımlarda ölçüler süreksizliklerden oldukça etkileneceklerinden dıştaki akım ayakları gerilim, içteki gerilim ayakları akım ayakları gibi kullanılabilir. Özdirenç yönteminin “değiş-tokuş” (recip-rocity) ilkesi olarak adlandırılan bu kurama göre her iki durumda da aynı özdirenç değerinin elde edilmesi beklenir. O nedenle her dizilim için aynı kuram geçerlidir.

Wenner dizilimin temel ilkesi iki nokta arasındaki gerilim ayrılığı  $\Delta V'$  yi ölçmektir. Gerek yatay yönde gerekse düşey yönde çalışmalarda ayaklar arası uzaklık her zaman eşit tutulur. Düşey incelemelerde  $a$  aralığı arttıkça etkin derinlik artar, eğer düzen aynı  $a$  dizilim için gezdirilir ise incelenen derinlik her yerde aynıdır.

Wenner diziliminde potansiyel elektrotları arasındaki mesafe fazla olduğu için yanıl etkilere karşı (fay,dayk vb.) daha duyarlıdır. Bu nedenle yatay kayma çalışmaları için daha uygun olduğu söylenir (Keçeli 1993).

### 1.2.1.2 Schlumberger Dizilimi

Schlumberger türü dizilimde tüm bağlantılar bir doğrultu boyunca sıralanmıştır. İçte yer alan gerilim bağlantıları arası “b” ve dıştaki akım bağlantılarının her birinin dizgenin orta noktasından uzaklığı “a” ile gösterilir.  $P_1$ - $P_2$  gerilim bağlantıları arası  $C_1$ - $C_2$  akım bağlantılarına göre oldukça küçük seçildiğinden böyle bir dizge ile akım bağlantılarının orta noktasındaki elektrik alan değeri bulunabilir. Saptanan elektrik alanın yönü dizilim doğrultusuna uygundur.



Şekil 1.2.2. Schlumberger diziliminin genel gösterimi

Elektrik alanın ölçülebilmesi için  $b$  aralığı oldukça küçük seçilmelidir.

$$0.1a < b < 0.4a \quad (1.2.1.2.1)$$

Görünür özdirenç bağıntısı;

$$\rho_{as} = (\Delta V / I) \cdot \pi \cdot a^2 / (b - b/4) \quad (1.2.1.2.2)$$

$$\rho_{as} = (E / I) \cdot 2 \cdot \pi \cdot a^2 \quad (1.2.1.2.3)$$

Özdirençin derinlikle değişimini incelemeye  $b$  aralığı değiştirilmeden  $a$  aralığı her iki yana açılır ve ölçüm  $a$  nin değişkeni olarak bulunur. Ancak  $b$  çok büyük olduğundan büyük  $a$  değerleri için  $P_1$ ,  $P_2$  aralığındaki gerilim, kullanılan gerilim ölçerin duyarlılığının altına inebilir. Bu gibi durumlarda son 3-4 ölçüm bu  $b$  değeri için yinelenir,  $a$  aralığı  $b$  nin 20-50 katı uzunluğa eriştiğinde  $b$  aralığı bir ölçüde arttırılabilir. En çok kullanılan değeri  $(0.1a)$  çevresindedir.  $b$  ve  $a$ 'nın küçük değerleri için yüzeye yakın süreksizliklerin yaratacağı sapmaların ortalamasını almak amacıyla birkaç  $I$  akımı için ölçüm yinelenmelidir. Ve akım uçları  $a$  nin 1/5'inden daha derine indirilmemelidir.

Schlumberger Diziliminin üstünlükleri;

1-Gerilim bağlantıları aralığı her 4-5 ölçüde bir değiştirilir. Bu nedenle daha az işçilik gerektirir. Akım bağlantıları çok uzakta olsa bile gerilim bağlantıları ölçüye çok yakındır.(a:5 km ise b:500 metredir).

2-Schlumberger ile gerilim bağlantılarına yakın yerel düzensizliklerin görünür öz direnç üzerindeki etkileri saptanabilir.

3-b arttırılınca öz direnç değeri yukarı ya da aşağı doğru bir kayma yapar. Bu kayma noktası başlangıç olmak üzere akım bağlantıları arası açıldıkça eğri yolunu yukarda sürdürür.

4-Wenner'e göre Schlumberger yöresel düzensizliklerden daha az etkilenir.

5-Wenner'e göre etkin derinliği daha fazladır.

### 1.2.1.3 Çift Dizilimler ( (Dipole Arrays), Kol-Kol Dizilimleri)

Çift dizilimlerde akım ve gerilim bağlantıları bir çift yaparlar. Ancak bunlar birbirleri içlerinde yer almazlar. Bağlantı aralıkları oldukça dar olan akım ve gerilim birimlerinin her birine kol denir. Böyle iki kutup (bir çift) içeren ölçü dizgelerine çift dizilimler denir.



Şekil 1.2.3. (a) Gerilim kolu, (b) Akım kolu

Akım elektrotları çifti akım dipolü ve potansiyel elektrotları çifti potansiyel dipolü olarak adlandırılır.

Başlıca dipol dizilimleri;

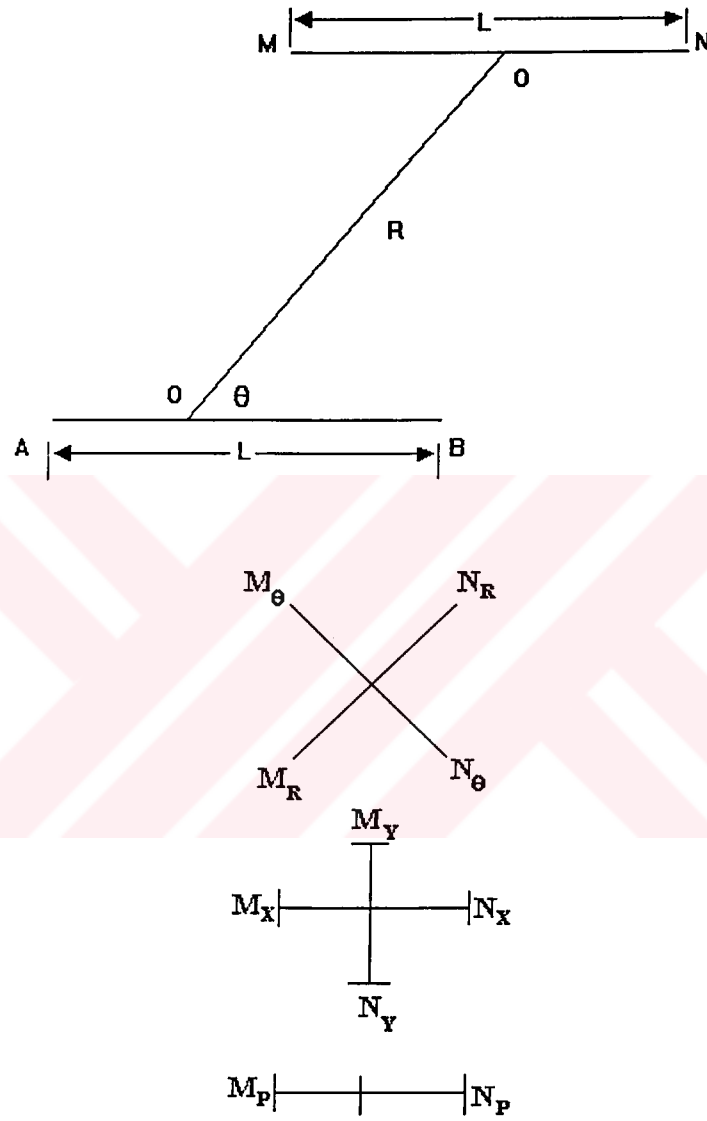
-Kol-kol (Polar dipol)

-Dönen kol (Rotating dipole)

-Karşılıklı çift (Equatorial dipole)

-Bakışsız Yanyana Çift (pole-dipole)

-Birer Bağlantılı çift (Simple pole)



Şekil 1.2.4. Dipol Dizilimlerinin Genel Gösterimi

#### 1.2.1.4 Yarım -Schlumberger Dizilimi

Eğer Schlumberger diziliminde akım bağlantılarından biri sonsuza alınırsa ( $r=20a$ ) tek akım kaynağının etkisinde kalan dizgeye Lögner (Yarım Schlumberger) dizilimi denir.

Bu dizilim için akım-gerilim elektrotlarının değiş-tokuş ilkesi geçerli değildir. Lögner düzenlemesinin dizilim katsayısı Schlumbergerin 2 katıdır.

$$K=2\pi r^2/b \quad (1.2.1.4.1)$$

Görünür özdirenç ise,

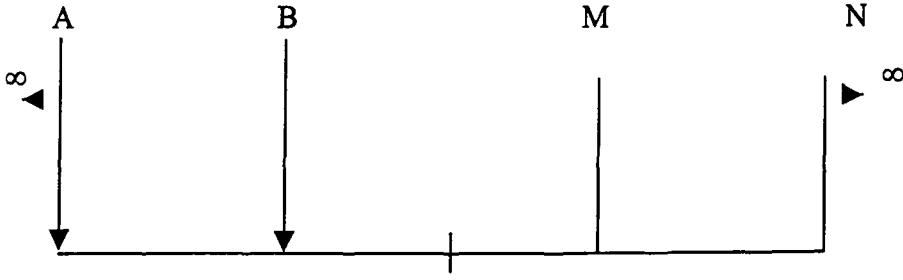
$$\rho_a=(2\pi r^2/b).\Delta V/I \quad (1.2.1.4.2)$$

#### 1.2.1.5 Yarım Wenner Dizilimi (Bakışsız Wenner Dizilimi)

Akımın yatay süreksizliklerden daha az etkilenmesi ve gerilimi büyük yapmak amacıyla akım bağlantılarından biri sonsuza götürülür. Özdirenç yöntemlerinde sonsuz uzaklık kavramı, bir akım ayağının, diğerinin orta noktaya olan uzaklığının en az 20 katı öteye konulmasıdır. Yanal süreksizliklerin tespitinde çok yararlı sonuçlar vermektedir (Keçeli, 1993).

#### 1.2.1.6 İki elektrot Dizilimi

Akım elektrotlarından ikisi diğer ikisinden büyük bir uzaklıkta sabittir ve elektrotların hepsinin aralıkları da farklı olabilir. Yanal süreksizlikler için çok idealdir. Yarım Wenner ve yarım Schlumberger açılımına eşdeğerdir.



Şekil 1.2.5. İki Elektrot Dizilimi

### 1.2.2 Uygulama Teknikleri

Süreksizlik, yerin fiziksel özelliklerinden birinin sürekliliğinin kesintiye uğramasıdır. Bu kesinti düzlem yada yamuk bir yüzey boyunca oluşmuş ise bu yüzeye süreksizlik yüzeyi ve bu yüzeyin yeryüzünde izdüşümüne ise süreksizlik yüzey izi denir. Süreksizlik düzleminin yatay düzlem ile yaptığı açığa süreksizlik eğim yada yatım açısı denir. Süreksizlik yüzeyi, yatay eksenlerden birine dik olursa, buna yatay süreksizlik, düşey eksene dik olursa düşey süreksizlik, bunlardan hiçbiri ise yatık süreksizlik adını alır. Süreksizlik yüzey izinin yatay eksenlerden biri ile yaptığı açığa süreksizlik yüzey iz doğrultusu denir (Ercan,1982).

Duyarlı olduğu fiziksel değişirgenin türüne bağlı olarak türeyen jeofizik yöntemler, bu değişirgenin süreksizliğe uğradığı yerlerin belirlenmesini içerir. Sözelimi manyetik yöntemler manyetik özellikli; çekim yöntemleri yoğunluk, sismik yöntemler hız, doğru akım yöntemleri öz direnç, dalgalı akım (elektromanyetik) yöntemler, öz direnç ve manyetik geçirgenlik, uçlaşma (polarization) yöntemleri basınç, sıcaklık, iletkenlik, dielektrik katsayısı ayrılık sınırlarını araştırır.

Her yöntemin kendine göre bir düzeneği ve algılama biçimleri vardır. Doğal kaynaklı yöntemlerde ;

-Tellürik

-Manyetotellürik

- Doğal uçlaşma
- Afmag
- Deprem sismolojisi
- Gravite-Manyetik

uyarıcı kaynağın kökü doğanın süre giden olaylarına dayanır. Yapay kaynaklı yöntemler ise doğa olaylarının andıran uyarıcı yapay olarak başlatılmasını öngörür (Patlatma sismiğı, geçici ve sürekli elektromanyetik, yapay uçlaşma gibi). Doğal kaynaklı yöntemlerde, kaynağın gözlem noktasına sonsuz uzaklıklı ve enerjisinin sonsuz olması büyük dalga boylu değişimler incelenmesine ve bu nedenle sinyal çok derinliklerde bilgilerin yüklü olması nedeni ile de yer yapısının derin bölgelerindeki süreksizliklerin araştırılmasını sağlar. Yapay kaynaklı yöntemlerde kaynak gözlem noktasından sonlu uzaklıkta, gücü ve üretilen dalga boyu sınırlı olduğundan ancak belirli derinliğe değin yer yapısının ortaya çıkmasında kullanılabilir.

Yapay doğru akım özdirenç yöntemlerinde kullanılan uygulama teknikleri (ölçü alma düzeni) şunlardır:

- Döndürme ölçümleri (Çembersel Görünür Özdirenç Ölçümleri)
- Açma Ölçümleri (Düşey Görünür Özdirenç Ölçümleri)
- Kaydırma Ölçümleri (Yatay Görünür Özdirenç Ölçümleri)

### 1.2.2.1 Döndürme Ölçümleri

Dizilimin serim doğrultusunu akım uçlarından biri yada dizilim çevresinde DB açısı ile döndürürsek, açısız dönmenin değişkeni olarak görünür özdirençin değişimini incelemeyi içerir. Tüm döndürme açıları için L dizilim boyu değiştirilmez. Bu tür ölçümler yapının yatay yönde yön bağımlılığını ve yerel yapısal süreksizliklerin yerlerini, uzanım doğrultusunu ve eğimlerini bulmak için yapılır. Döndürme ölçümleri özellikle ayrıntılı çalışmalarda ve süreksizliğin yerinin kabaca bilindiğı durumlarda kullanılır.

### 1.2.2.2 Düşey Elektrik Sondajı (Açma Ölçümleri)

Yeryüzünde bir x doğrultusu boyunca serilen bir dizilimde dizilim uçlarının dizilim orta noktasına göre dışa doğru belli aralıklarla açılması biçiminde sürdürülmektedir. Bu yolla dizilim boyu gittikçe artacağından akımların yer içinde girdikleri derinlikte gitgide büyüyecektir. Her dizilim arttırımı için akım geçişine derindeki ek bir direnç katılımı ile karşı durulacağından, yüzeyden ölçülen gerilim öz direncin derinlikle değişimini yansıtır biçimde değişecektir. L dizilim boyu değiştikçe akımın indiği d derinliği değiştiğinde açma ölçümleri derinliğin öz direnç değişimini incelemeye kullanılır. Öz direnç değerlerinin derinliğe bağlı olarak grafiklenebilmesi, akım uçları arasındaki uzaklığın her ölçüm sonunda arttırılması yoluyla bir dizi ölçü alımını gerektirir. Yine bu nedenle açma ölçümleri en çok düşey süreksizliklerin yer ve derinliklerini, kalınlıklarını ve çevresinin öz direncini bulmada kullanılır. Özetle; düşey elektrik sondajının amacı yüzeyden yapılan potansiyel ölçümleriyle yer altı katmanlarının derinlik ve öz direnç değerlerinin saptanmasıdır.

### 1.2.2.3 Yatay Kaydırma

Belli bir derinlik için öz direncin bir doğrultu boyunca değişimini inceleyen uygulama tekniğine Yatay Tarama, Yatay Öz direnç Çalışması ya da Yanal Dizilim Kaydırma Yöntemi denir. Yüzeyden verilen akımın indiği derinlik; dizilim türüne, verilen akımın genliğine, akım uçlarının aralanmasına, yapıdaki öz direnç aralanmasına bağlı olduğundan, çalışma alanında ölçü alınan tüm doğrultular boyunca; dizilim türü, verilen akımın genliği, akım uçları aralığı hep aynı kalmalıdır (Ercan, 1991).

Ölçüler herhangi bir dizilim türünü seçerek yapı uzanımına dik doğrultular boyunca, gerilim ve akım uçlarının göreceli uzaklıkları bozulmaksızın dizilim orta noktasının her adımda  $\Delta x$  kadar kaydırılmasıyla alınır. Okunan gerilimden,  $\rho_a = K \cdot \Delta V / I$  bağıntısına göre görünür öz direnç hesaplanıp, gerilim uçlarının orta noktasına atanır.



Ölçüler birbirine koştur doğru tular boyunca  $\Delta x$  aralıklarla alınır ve gözlem noktalarına  $\rho_a$  görünür özdirenç değ erleri atanır. Eş it değ er iç eren noktaları birleştiren kapanımların çizilmesiyle, yukarıdaki etmenlere bağı lı olarak, ortalama bir  $d$  derinliğinde kaydırma doğru ltusu boyunca görünür özdirenç haritası ele geçer. Böyle bir haritada kapanımlar genellikle ölçü alma doğru ltusuna uygun olarak uzanırlar. Harita üzerindeki süreksizlikler, yapısal ya da özdirenç süreksizliklerini simgelerler.

Ölçülen  $\rho_a$  görünür özdirenç değ erleri kaydırma doğru ltusu boyunca  $\Delta x$  aralıklarla doğru sal eksenlere çizilirse, o doğru ltu ve ortalama bir  $d$  derinliği boyunca özdirençteki değ iş imi elde edilir. Belirti eğ risi üzerindeki değ iş mezlik yapının  $d$  derinliğindeki sürekliliğini, belirtisel değ iş imler ise süreksizliği gösterir. Bu belirtinin biçimi dizilimin türüne göre ayrı biçimler alır. Belirtiyi kaçırmamak ya da daha belirginleştirmek için  $\Delta x$  örnekleme aralığı beklenen belirti dalga boyunun en çok  $1/5$  büyüklüğünde alınmalıdır.

Yatay görünür özdirenç ölçümleri en çok dizilim kayma doğru ltusunun, araştırılan yapının uzanım doğru ltusunu kestiği yatay süreksizliklerden etkilenir. Ancak ölçülerden akımın girdiği derinliğe değ in yer alan düşey süreksizliklerin (katmanlı yapı) etkisi de yer alır. Düşey süreksizliklerin kaydırma doğru ltusu boyunca biçimlerini koruduğu varsayılırsa, eğ ri üzerinde değ iş im salt yatay süreksizliklerden kaynaklanır. Ne var ki böyle özel koş ullar pek ender oluş ur. O nedenle her gözlem noktasında elde edilen değ erin hem yatay ve hem de düşey süreksizlikten oluş uabileceğini unutmamak gerekir.

Yer alan süreksizlik biçimleri üzerine önbilgi edinmek için;

- a) Yer yapısal (jeolojik) bilgilere başvurulmalı
- b) Yatay ve düşey görünür özdirenç süreksizlik düzlem kesitleri çıkarılmalı ve,
- c) Diğ er jeofizik yöntemlerin bulgularından yararlanılmalıdır.

Süreksizlikler üzerinde ölçülen yatay görünür öz direnç belirtilerinin biçimlerini etkileyen bir çok etmen vardır. Bunlardan birkaçı şunlardır;

- I. Dizilim türü (Schlumberger, Wenner, Kol-nokta, vs.)
- II. Dizilimin bakışık (smetri) olup olmadığı
- III. Kayma yönünde akım ucunun önde ya da geride olması
- IV. Akım ve gerilim uçlarının ayırma aralığının süreksizlik genişliğine oranı
- V. Ölçü alma (örnekleme) diğer bir deyişle dizilimi kaydırma (sürme) aralığı.
- VI. Dizilimin kayma doğrultusunun süreksizlik yüzey iziyle yaptığı açı
- VII. Süreksizlik biçimi ve öz direnci
- VIII. Süreksizliğin yatıklığı

Yatay görünür öz direnç eğrilerinin değerlendirilmesi eğri biçimine bakılarak yapılır. Eğri üzerindeki inip çıkımların simgesel görünüşlerine göre yatay görünür öz direnç eğrisinden çıkarılabilecek yapısal değişkenler:

- a) Süreksizlik yüzey izinin yeri
- b) Süreksizlik ayırma çizgisinin eğimi
- c) Süreksizliğin her iki yanının gerçek öz direnç değerleri
- d) Süreksizliğin biçimi ve boyutlarıdır.

### 1.3 Veri İşlem Ve Jeofizikteki Önemi

Yer bilimlerinin iki temel disiplini olan jeoloji ve jeofizik arasında, amaçları aynı olmakla birlikte, temelde önemli bir fark vardır. Jeolojide genel olarak çeşitli olaylar sonucu ortaya çıkan olguların (mineralojik, petrografik, volkanolojik, morfolojik, yapısal, v.b. ) gözlemleri yapılmakta; daha sonra da bunların nedenleri ve sonuçlarına ilişkin kestirmelere gidilmektedir. Tüm bu işlemler sırasında jeolog ile yeryuvarı arasında tek yönlü bir iletişim söz konusudur. Örneğin, yeryuvarı kazandığı yapılar yada bileşimindeki özellikler nedeniyle birtakım bilgiler iletmekle birlikte, bunlar jeolog tarafından gözlenip doğru biçimde yorumlanabildikleri sürece iletilmiş bilgiler konumuna girebilirler. Bu nedenle bu tür iletişimi pasif iletişim olarak niteleyebiliriz..

Jeofizik incelemelerin bir bölümünde de yer ile tek yönlü bir iletişim varsa da bu, jeolojide olduğu gibi pasif bir iletişim değil, aksine, aktif bir iletişimdir. Yani, yerin yine tek yönlü olarak ilettiği bilgilerden bir bölümü, doğasında var olan birtakım fiziksel alanlardır. Örneğin, yerin bir mıknatıslık alanı vardır ve bu süreç, belki de yerin çekirdeğinin oluşumundan bugüne dek süregelmekte ve evrene sürekli biçimde imler (sinyaller) iletmektedir. Ki yer içinde var olan doğal elektrik akımları sürekli bilgi kaynaklarıdır, algılanabilirler, işlenebilirler; taşıdıkları bilgiler öğrenilebilir niteliktedirler. Başka bir doğal alan da yerin çekim alanıdır; zaman ve uzayda değişimler gösterir. Kuşkusuz bu türden tek yönlü iletişim araçlarının sayısını arttırmak olanaklıdır. Bunların tümü hem zaman, hem de uzaklık boyutunda değişimler gösterirler. Bu değişimlerin bir bölümü gürültülü olmakla birlikte, önemli bir kısmı bilgi taşırlar (Canitez,1984).

Jeofizikte yer iletişiminin başka bir biçimi de iki yönlü iletişimdir. Bu tür imde yer, bir kaynak ile uyarılır. Örneğin, sismik prospeksiyonda bu uyarı, yada dürtü, yere ağır bir cisim düşürmek, yeri bir titreşim kaynağı ile sarsmak, yada bir patlayıcı kullanmakla olabilir. Kuşkusuz yer bu uyarıyı yanıtızsız bırakmayacak, buna bir tepki gösterecektir. Yer bu yanıtı yine algılanabilir niteliktedir ve bilgi taşır. İki yönlü iletişimin başka bir örneğinde, yere elektrik akımı verilerek yerin buna tepkisi

ölçülür. Başka bir iletişimi, örneğin yeri elektromanyetik dalgalarla ışınlayarak sağlayabiliriz. Yerin fiziksel özelliklerine bağlı olarak bu tür ışınlamaya da tepkisi farklı olacaktır. Bu tepki de yine bilgi taşıyıcı ve algılanabilir niteliktedir.

Yer ile olan bu iletişim sonucu elde edilen bilgilerden kimi zaman yer için genel yapısı (anatomisi) elde edilmeye çalışılır. Kimi zaman ise yerin normalden farklı olan yönlerine ilişkin belirtiler (anomali) elde edilmeye çalışılır. Buna da bir benzetme ile, yerin patolojik yapısının saptanması gözü ile bakabiliriz. Bu yönleri ile jeofizikçinin yeryuvarı incelemesini bir hekimin hastasını muayene etmesine benzetebiliriz. Örneğin jeofizikte tek yönlü iletişimleri, söz gelimi yerin mıknatıslık, yer çekimi, yer elektriği gibi doğal alanlarının gözlenmesini hekimin hastasını muayene etmesine benzetebiliriz. Zira sözünü ettiğimiz yöntemlerde yer bir şeyler anlatmakta, jeofizikçi ise bunları dinlemektedir. Hekim nasıl bunların kimilerinin anlamlı belirtiler, kimilerinin de duygusal olarak abartılmış, yada gerçek dışı şeyler olduğunu deneyimi ile saptayabilirse, jeofizikçi de yerin kendisine verdiği verilerin içindeki gerçek bilgileri bilgi taşımayan gürültülerden arındırıp, onları işlemek ve yorumlamak zorundadır.

İki yönlü iletişimi ise hekimin, hastalığın özelliklerine göre, hastasına uyguladığı fiziki muayeneye benzetebiliriz. Örneğin yere vurarak ölçtüğümüz sismik prospeksiyon, hekimin hastasının sırtına yada karın boşluğuna parmağı ile vurarak verdiği sesi dinlemesine benzetebiliriz. Elektro-kardiyografi, elektro-ensafalografi gibi kayıtları da jeofizikte yer akımları, mikrotremorlar, yer mıknatıslık alanı gibi değişimlerin kaydedilerek işlenmesi ve yorumlanmasına benzetebiliriz. Jeofizikteki elektromanyetik alanla ışınlama da hekimlikteki X-ışınları (röntgen) incelemesi ile eşdeğerli olarak düşünülebilir.

Buraya değin özetle jeofizikte genel olarak yer yuvarı ile sürekli bir iletişim içinde olduğu, başka bir deyişle devamlı olarak bilgi alışverişi içinde olduğumuzu vurgulamaya çalışılmıştır. Bu bilgiler algılanabildiği, yani bir kayıt aygıtı ile kaydedebildikleri, yada örnekleme yolu gözlenebildikleri sürece verileri (data) oluştururlar (Canitez,1984).

Gözlemsel verilerin tümüne “bilgi” olarak bakmamak gerekir. Genel olarak gözlemsel veriler

$$X(t) = s(t) + n(t) \quad (1.3.1)$$

bağıntısı ile gösterilebilecek niteliktedir. Yani üzerinde bilgi taşıyan  $s(t)$  bileşeni, ile bilgi taşımayan, yada en azından istediğimiz nitelikteki bilgiyi taşımayan  $n(t)$  bileşeninden oluşurlar. Verilerin bilgi taşıyan  $s(t)$  bileşenine im (signal) adı verilir. Bilgi taşımayan  $n(t)$  bileşeni ise gürültü (noise) olarak nitelendirilmektedir. Bu yönü ile de jeofizikte, başka benzeri uygulamalarda olduğu gibi, temel sorunlardan biri, gürültü içindeki gizlenmiş, bilgi taşıyan imleri ortaya çıkarmaktır.

Sinyal- gürültü ilişkilerinin önemli olduğu başka benzeri uygulamalı bilim dallarının çoğundan farklı olarak, jeofizikte sinyal gerek kökenleri gerekse nitelikleri bakımından çok çeşitlidir. Yine çoğu başka bilim dalında karşılaşılanlardan farklı olarak, jeofizik verilerinin önemli bir kesiminde imin biçimi önceden bilinemez. Özellikle denetimli bir kaynağın kullanıldığı jeofizik yöntemlerde sinyal ile gürültüyü birbirinden ayırma, uygulamada karşılaşılan önemli bir sorundur.

Jeofizik verilerin işlenmesinde karşılaşılan başka önemli bir sorun da çoğu jeofizik verilerinin durağan (stationary) olmayışdır. Verilerin önemli bir bölümü belirli bir zaman başlangıcına bağlıdır ve istatistik özelliklerini zaman içinde değiştirirler. Uzaklık ortamında gözlenen veriler de benzeri niteliklere sahiptirler.

Özetle değinmek gerekirse, anlamlı sonuçlara ulaşabilmek için, jeofizik verilerin yukarıda vurgulanan özellikleri nedeniyle titizce işlenmeleri gerekmektedir.

Yapılan gözlemler ve titiz incelemeler yeryuvarının doğrusal bir dizge (sistem) gibi davrandığını göstermektedir. Doğrusal bir dizgede girdi ile çıktı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Örneğin,  $x(t)$  girdisine karşı dizgeden  $y(t)$  gibi bir çıktı alınıyorsa, a .  $x(t)$  girdisine karşın dizgenin çıktısı a .  $y(t)$  olacaktır. Doğrusal dizgelerde bir girdiye ilişkin bir ve yalnızca bir çıktı vardır.

Yeryuvarının doğrusal dizge gibi davranma özelliği, jeofizikte yer ile iki yönlü iletişim olanağı sağlamaktadır. Bunlar, yukarıda belirtildiği gibi, yerin bir kaynak aracılığıyla uyarılması sonucu yerin gösterdiği tepkinin algılanması biçimindeki yöntemlerin uygulanmasından oluşmaktadırlar.

Doğrusal dizge gibi davranan yeryuvarının başka bir özelliği de dizgenin zamanla değişmezliğidir. Her ne kadar yerin fiziksel özelliklerinden bir bölümü değişen yamulma (strain) koşulları altında zamanla zayıf değişmeler gösterebiliyorsa da, bunlar çoğu zaman önemsenmeyecek ölçüdedirler. Bu durumda dış koşullar değişmediği sürece, yere bir uyarı ne zaman yapılırsa yapılsın, aynı yanıt alınacak demektir. Örneğin, aynı bir yerde koşullar değişmediği sürece, yapılacak her öz direnç ölçümünden aynı sonuç alınacaktır. Bu yönü ile de uyarı – algılama biçimindeki gözlemlere bir sürecin örnek fonksiyonunu saptama gözü ile bakabiliriz.

Jeofizik problemlerde temel sorun, verinin çözümlemesini yaparak jeolojik yapıyı elde etmektir. Jeofizikte bu amaca ulaşabilmek için birbirinden farklı iki yaklaşım uygulanır. Bunlardan birincisi tanımsal yaklaşım olup problemler iki değişik yolla çözülebilir. Bunlardan birincisi düz problem çözümü olarak bilinir. Düz problem çözümü genellikle yinelemeli bir çözümlemeyi gerektirir. İşe jeolojik yapıya ilişkin bir varsayımla, yada başka bir deyişle yapı taslaklama ile başlanır. Çözümlemenin ikinci aşaması jeolojik taslağa uyacak fiziksel taslağın kurulması, yani bir benzeşimin yapılmasıdır.

Fiziksel taslağın kurulması jeolojik problemi “tanımsal” konuma getirir; zira bu yolla problem matematik bir bağıntı ile tanımlanabilir duruma gelmiş olur. Bu bir analitik bağıntı, bir tümlene denklemi yada diferansiyel denklem olabilir. Bu sonuncusu, problemin özelliğine göre, başlangıç ve sınır koşullarının belirlenmesini gerektirir. Bunların dışında, problemin çözümü için gerekli değişgenlerin (parametreler) saptanması gereklidir. Bunların bir bölümü de jeolojik taslağın geometrisini belirleyen değişgenlerdir. Kimilerine ilişkin başka kaynaklardan edinilmiş kesin değerler bulunabilirse de, önemli bir kesimi için başlangıçta kestirmeler yapmak zorunlu olabilir.

Bu yolla tanımlanan problemin çözümünden beklenen, gözlemsel olarak saptanmış jeofizik belirtiyeye uyan bir kuramsal değerdir. Ancak, seçilen değişkenler yada yapılan varsayımlarda yanlıgılar yer alıyorsa, işlem, jeoloji taslağı, buna bağılı olarak ta değişkenleri iyileştirerek çözümü yinelemektir. Bu işlem gözlemsel belirti ile en iyi uyum sağlıyana dek sürdürülür. Kolayca anlaşılacağı gibi, bu tür problem çözümlerinde verinin jeolojik bir yapının belirtisi olduğı ve matematiksel bir bağıntı ile tanımlanabileceğı, yani rasgele bir veri olmadığı varsayılmaktadır.

Dikkat edilirse tanımsal yaklaşımlarda gözlemsel veri yalnızca tanımsal değerlerle karşılaştırılmakta, bu aşamada veri üzerinde herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Bununla birlikte tanımsal veriler rasgele bileşenleri de içerirler. Bunlar verinin tanımlanamayan ve önkestirilemeyen bölümleridir. Bu nedenle, jeofizik problemlerin tanımsal yaklaşımla çözümünde, taslaklama öncesinde veri içersinde rasgele bileşenlerin (gürültülerin) ayıklanması gerekebilir. Bu süreç içinde ise veriye bir takım işlemlerin uygulanması zorunludur.

Tanımsal yaklaşım ile problem çözümünün ikinci türü, jeofizikte “evrik problem çözümü” (inversion) olarak bilinir. Burada izlenen yol düz problem çözümünün tersi olan yoldur; gözlemsel veriden kalkarak jeolojik taslağı ulaşılmaya çalışılır.

İlke olarak yinelemeli düz çözüme göre daha hızlı ve gerçek jeolojik taslağı olabildiğince yaklaşmayı sağlayacak gibi görünse de, evrik problem çözümlerinin de oldukça önemli sorunları vardır. Burada veri bütünü ile tanımsal varsayılıp çözüm yöntemlerinde yalnızca girdi olarak kullanılıyor, bunlara bir veri işlem yöntemi uygulanamıyorsa da, gözlemsel verinin bütünü ile tanımsal olmaması nedeniyle, düz problem çözümlerinde olduğu gibi, rasgele bileşenlerin ayrılması için bir ön-işleme tutulması gerekebilir. Gürültü sorunu, evrik problem çözümlerinde, düz problem çözümlerine oranla çok daha önemlidir.

Kısaca özetleyecek olursak, tanımsal yaklaşımda ister düz, ister evrik problem çözüm yöntemleri uygulansın, veri tümü ile tanımsal olduğunda, jeolojik yapıya ulaşmak amacıyla yapılan işlemlerde veri yalnızca bir girdi olarak, yada kuramsal

sonuçlarla karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Problemin çözümü için yapılan işlemler sayısal çözümleme işlemleridir. Yine vurgulamak gerekir ki, verinin kendisi tanımsal nitelikte olduğu sürece veri üzerinde bir işlem yapmak söz konusu değildir.

Jeofizik problemlerin çözümünde uygulanan ikinci temel yaklaşım türü de tanımsal olmayan (nondeterministic) yaklaşımdır. Hemen hemen tüm uygulamalı bilimlerde olduğu gibi, jeofizikte de tanımsal olmayan yaklaşımların uygulanışı daha yaygındır. Bunun başta gelen nedenlerinden biri, özellikle uygulamalı jeofizikte gözlenen verilerin, içerdikleri gürültü nedeniyle, tanımsal olmayışlarıdır. Rasgele gürültülerin tanımlanabilmesi için sonsuz sayıda değişgenin belirlenmesine gerek vardır. Bu ise uygulamada imkansızdır. Bu tür veriler ancak istatistik özellikleri ile tanımlanabilirler ve incelenebilirler. Bu tür incelemeler için gerekli işlemler, tanımsal yaklaşımın tersine, doğrudan veri üzerinden yapılmaktadır.

Jeofizik veriler genellikle gürültü içerdiklerinden, verileri üzerinde yapılan işlemlerin büyük bir bölümü sinyal içindeki gürültüyü ayıklamak oluşturur. Zira verinin bilgi içeren bölümü sinyal, bilgi içermeyen bölümü ise gürültü oluşturmaktadır. Uygulanan veri işlemlerde amaç, verinin içerdiği bilgileri olabildiğince alabilmektir. Kimi zaman gürültü içindeki sinyalleri ayıklamakta bir sayısal süzgeç uygulaması olabilmektedir. Frekans süzgeçlemesinin gürültü bastırmada başarılı olabilmesi için sinyal spektrumunu ile gürültü spektrumunun frekans bantlarının ayrılmış olması gerekir. Gürültünün geniş bantlı, yada beyaz gürültü niteliğinde olması durumunda ise frekans süzgeçlemesi başarısız olacaktır.

Jeolojik yapıların jeofizik belirtileri çoğu zaman çeşitli olayların yığışımından (süperpozisyon) oluşmuşlardır. Bu tür veriler bir evrişim tümlemesi ile (convolution) gösterilebilirler. Örneğin bir yansıma sismogramı katman sınırlarındaki yansıma katsayılarından oluşan değerlerle bir kaynak dalgacığının evrişiminden oluşmuş gibi düşünülebilir. Buna eklenen gürültü, tekrarlı yansımalar, kırınımlar, vb. etkenler sismogramın görünümünü daha da karıştırır. Fazla olarak, yer içinde ilerleyen kaynak dalgacığı, soğurulma (absorption) nedeniyle yüksek frekanslı bileşenlerini yitirir ve istatistik özellikleri zamanla değişir. Evrişimler sonucu gerçek yapıyı



simgelemekten uzak duruma gelen sismogramdan bu etkilerin giderilerek jeolojik yapının elde edilmesi jeofiziğin çok önemli sorunlarından biridir. Ters evrişim (deconvolution) adı verilen bir işlemle bu sorun çözülebilir ve verilere uygulanabilen bir veri-işlem yöntemidir

Beyaz gürültü içinde yer alan sinyallerin frekans süzgeçleri ile ayıklanması güç olmaktadır. Bu tür sinyal bant sınırlı olduğundan sinyalin frekans bandının dışında kalan gürültü bileşenleri frekans süzgeçleri ile süzülebilirse de, aynı band içinde kalanları bu yolla temizlemek olanaksızdır. Böyle durumlarda gürültü içinde yer alan sinyali belirginleştirmenin bir yolu, sinyal/gürültü oranını arttırıcı süzgeçlerin uygulanmasıdır. Uyum süzgeçlemesi (matched filtering) adı verilen bu işlem sırasında sinyal enerjisini çıktı sinyalin orta noktasında toplayacak biçimde bir süzgeç uygulanır. Gürültünün özilişkisi bilindiğinde benzer işlemi ilişkili gürültü için de yapmak olanaklıdır.

Tanımsal olmayan yaklaşım süreci içinde veriye çok sık uygulanan işlemlerden biri de verinin özilişki, yada özdeğişinti (autocovariance) fonksiyonunun hesaplanmasıdır. Periyodik, geçici yada rasgele verilerin özilişki fonksiyonları farklı özellikler gösterirler. Bu nedenle özilişki fonksiyonu izleyen bölümde ayrıntılarıyla incelenecek olan veri türlerini ayırmada önemli rol oynar.

Durağan verilerde özilişki fonksiyonu zamanın fonksiyonu değildir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi, jeofizik verilerin çoğu belirli bir zaman başlangıcına bağımlıdır ve istatistik özellikleri zaman içinde değişirler. Başka bir deyişle, durağan değildirler. Özilişki, verilerin durağanlıklarını incelemede çok önemli bir araçtır. Blackman ve Tukey (1958) özilişki fonksiyonunun Fourier dönüşümünün bir zaman dizisinin güç yoğunluğu spektrumuna eşit olduğunu göstermişlerdir. Çoğu zaman Fourier spektrumundan yararlanarak hesaplanan güç yoğunluğu spektrumuna yeğlenen bu yöntem, verilerin frekans ortamındaki çözümlenmelerinde (özellikle rasgele verilerde) çok sık uygulanan bir veri-işlem yöntemidir.

Jeofizik verilerin çözümlenmesinde amaç, gözlemler yolu ile elde edilen veriler içindeki bilgileri olabildiğince tam ve doğru olarak alabilmektir. İster zaman ortamında, isterse uzaklık ortamında gözlenmiş olsunlar, bilgi taşımayan gürültülerin eklenmiş olmasıyla, bilgi taşıyan imler gizlenmiş durumdadırlar. Zaman yada uzaklık ortamı çözümlene yöntemleri ile bunların ancak bir bölümü algılanabilir. Çoğu zaman bilgiler frekansa bağımlı olarak değişirler. Her frekansa ilişkin genlik ve faz bilgilerinin fiziksel anlamları vardır. Bu bilgileri zaman ortamında elde etmek olanaksızdır. Bu durumda zaman ortamında gözlenmiş olan verilerin frekans ortamına aktarılması, yani fourier spektrumlarının hesaplanması gerekir.

Gözlemsel verilerin spektrum çözümlenmesi jeofizikte en çok uygulanan veri-işlem yöntemleri arasında yer alır. Spektrum çözümlenmesi yalnız tanımsal olmayan yaklaşımlarda değil, örneğin deprem sismolojisi gibi daha çok tanımsal yaklaşımlarla çözüme gidilen problemlerde de kuramsal spektrumlarla karşılaştırmak amacıyla çok yaygın biçimde kullanılmaktadır. Örneğin, cisim dalgalarının genlik spektrumlarının köşe frekansı ile kaynak boyutları, çok alçak frekanslardaki spektral genliklerden sismik moment, belirli frekanslardaki genliklerin azimutla değişiminden yayını örtüsü ve buna bağlı olarak kaynak parametreleri saptanmaya çalışılır. Ayrıca, spektrum oranlarından soğurulma, odak derinliği ve deprem kaynağının ilerlemesi gibi gerek ortam, gerekse kaynağa ilişkin bilgiler elde edilmeğe çalışılır. Spektrum çözümlenmesinin özellikle deprem sismolojisine uygulanmasına ilişkin ayrıntılı bilgiler ve geniş bir kaynakça için Bath (1974)e başvurulabilir.

Spektrum çözümlenmeleri uygulamalı jeofiziğin de çok çeşitli alanında kullanılmaktadır. Örneğin, manyetotellürik yöntem uygulamasında tellürik ve manyetik alan bileşenlerinin çeşitli frekanslardaki genlikleri saptanarak yer içinin iletkenliği hakkında bilgiler elde edilebilir (İlkışık, 1980).

Uzaklık ortamında ölçülmüş verilerin de spektrum çözümlenmesi yapılabilir. Ancak, bu durumda frekans yerine dalga sayısı ortamına aktarım söz konusudur. Gravite ve manyetik alan verilerinin spektrumlarından yararlanarak anomaliyi veren cismin derinliğine ilişkin bilgiler edinmek olanaklıdır (Sanver, 1974).

Arazide yapılan ölçümler sonucu elde edilen jeofizik verilerin bir bölümü iki boyutlu verilerdir. Bu tür verilerin incelenmesinde veri-işlem yöntemleri iki boyutlu olarak uygulanırlar. Bir boyutlu süzgeçlerin sorunlarına ek olarak, iki boyutlu verilerin süzülmesinde ışınsal bakışımı süzgeçlerin düzenlenmesi gerekmektedir.

Veri-işlem yöntemlerinin tümünü her veriye uygulamak olanaksızdır. Bu nedenle üzerlerinde işlemler yapılacak verilerin çeşitli türlerini ve bunların her birinin özelliklerini iyi bilmek gerekir.

Çoğu zaman gözlemsel verilere uyan bir ampirik bağıntı bulunmak istenir. Yada, gözlemsel verilerin bağlı bulunan kuramsal bağıntının değişkenleri (parametreleri) kestirilmek istenir. Gözlemsel verilere en iyi uyan bağıntıların saptanması işlemine “Yaklaştırma” adı verilir. Bu bir doğru, bir düzlem olabileceği gibi, n’ inci dereceden bir polinom, bir üstel bağıntı yada bir trigonometrik bağıntı olabilir. Gözlemsel değerlerle yaklaştırılan bağıntı arasındaki uyumun ölçütü olarak çoğu kez yanılgi enerjisi kullanılır. Yani, kuramsal değerlerle gözlemsel değerler arasındaki farkların kareleri bu yaklaşımın derecesini belirlemede kullanılır. Yanılgi enerjisini en küçük yapma işlemi “En küçük Kareler Yöntemi” olarak bilinir.

Gözlemsel verilere sık uygulanan işlemlerden bir başkası da iç değerleme (interpolation) dir. Bilindiği gibi jeofizikte çoğu zaman gözlemler eşit olmayan aralıklarda yapılabilmektedir. Bu, uzaklık boyutunda olduğu gibi, zaman boyutunda da geçerli olan bir sınırlamadır. Buna karşın, ister zaman, ister uzaklık ortamında olsun, çoğu veri işlem yöntemi uygulamasında eşit aralıklarla örneklenmiş verilere gereksinme vardır. İç değerlemede en yaygın biçimde kullanılan yaklaşım “Sonlu Farklar” (Finite differences) yaklaşımıdır. Sonlu farklar iç değerlemenin dışında analitik olarak çözümü güç bazı problemlerin çözümü, düzgün geometriye sahip olmayan yapıların modellenmesi, türevlerin hesaplanması, analitik uzanım, ısı iletimi vb. problemlerin çözümünde çok geniş bir uygulamaya sahiptir.

Gözlemsel veriler kökenleri değişik olabilen bir takım gürültüleri içerirler. Bunlar verinin bilgi taşımayan bileşenleridir. Gerçek bilgileri bunlardan arıtılabilmesi için

gürültülerin bastırılması, başka bir deyişle verilerin yuvarlatılması gerekir. Çoğu uygulayıcının birkaç noktalı bir işleç ile verisini kayan ortalama yolu ile yuvarlattığı gözlenmektedir. Ancak, özen gösterilmediğinde bu tür işleçler, bir yandan gürültüyü bastırırken bir yandan da veriye gerçek dışı bilgiler eklenmektedirler.

Verilere uygulanan zaman ortamı işlemlerin en önemlilerinden biri “ilişki” dir. Bir zaman dizisinin kendisi ile ilişkilendirilmesi (autocorrelation) öz ilişki yada iki zaman dizisinin çapraz ilişkisi (cross correlation) çok çeşitli amaçlarla kullanılır.

Gözlemsel zaman verileri çoğu kez bir aygıtla kaydedilmektedirler. Her aygıtın da belirli bir duyarlık aralığı vardır ve bu, frekansın fonksiyonudur. Açık deyişle, her aygıt algıladığı sinyalin çeşitli frekanslardaki genliklerini farklı oranlarda büyültüp küçülterek kaydeder, yani onları ağırlıklandırır. Kayıt dizgesinin bu özelliğine onun dönüşüm fonksiyonu adı verilir. Bu durumda aygıtın kaydettiği sinyal, gerçek sinyalden farklı bir sinyaldir. Frekans ortamındaki bu ağırlık fonksiyonu ile çarpma işlemi zaman ortamında bir ters çevrilme, kayma, çarpma, toplama işlemi biçiminde tanımlanır ve “evrişim” (convolution) adını alır. Yapay kaynaklı jeofizik uygulamalarında da yere verilen uyarı sinyali yer tarafından başka bir sinyale dönüştürülür. Algılanan sinyal, kaynak dalgacığı ile yeri simgeleyen bir ağırlık fonksiyonunun evrişiminden oluşmaktadır. Hemen hemen her jeofizik yöntem uygulamasında evrişim işlemi ile karşılaşılır. Zamanla değişmeyen her doğrusal dizgenin giriş-çıkışı arasında bir evrişim işlemi vardır.

Daha yukarılarda kısaca değinildiği gibi, bir jeofizik sinyal içindeki bilgilerin tümünü zaman ortamında açık seçik görebilmek, ayıklayabilmek ve işleyebilmek kolay olmayabilir. Bu gibi durumlarda verinin zaman ortamından frekans ortamına aktarılması gerekir. Bu yolla verinin kendi frekans bandı içindeki özelliklerini inceleyebilmek olanaklıdır. Bu tür aktarımlarla elde edilen verilere “spektrum” adı verilir. Aktarılan parametrenin özelliğine göre spektrum, genlik spektrumu, faz spektrumu, güç yoğunluğu spektrumu adlarını alır.

Buraya kadar Jeofizikte Veri İşlemden neyin anlaşılması gerektiği ve ne tür işlemlerin söz konusu olduğu Canitez (1984)'den yararlanılarak anlatılmaya çalışılmıştır.



### 1.4 Evrişim (Konvolüsyon)

Bir analog sinyalin eşit  $\Delta t$  aralıklarıyla genliklerin örneklemeinden oluşan sinyale “sayısal sinyal” denir.

Sinyal zamanın bir fonksiyonu ise, böyle bir sinyalin örneklemeinden oluşan sayısal sinyale ayrık zaman serisi adı verilir.

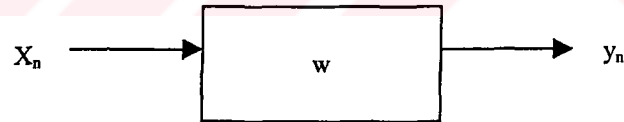
ZAMAN	0	1	2	3	4	5	6	7
GENLİK	1	-2	0	2	1	0	-1	0

$$X(t) = (1, -2, 0, 2, 1, 0, -1, 0, \dots)$$

Değerini taşıyorsa genlik bölümünde yer alan sayılar ayrık zaman serisini oluşturmaktadır.  $\Delta t = 1$  ise 3 sn.’deki değeri 2’dir. Bu genlik değeri bir vektörle gösterilebilir.

Bu nedenle bazen zaman dizileri alt indislerle ifade edilirler.

$$X_n = (1, -2, 0, 2, \dots)$$



$x_n$  dizisi  $w$  gibi bir karakutuya girerse o karakutunun özelliklerine uygun olarak bir  $y_n$  çıktısı elde edilebilir. Örneğin süzgeçleme de durum böyledir. Süzgece giren sinyal bir takım değişikliklere uğrayarak değişik bir sinyal olarak çıkar. Elde edilen çıktıya süzgecin Impuls tepkisi adı verilir. Bu nedenle bu diziyeye süzgecin impuls tepki fonksiyonu adını verilmektedir.

$y_n$  çıktı sinyali,  $x_n$  girdi sinyali ile  $w_m$  impuls tepki fonksiyonunun konvolüsyonundan ibarettir. Konvolüsyon bir katlama işlemidir.

$$y_n = x_n * w_n$$

(1.4.1)

( Çıktı = Girdi \* impuls tepki Fonk.)

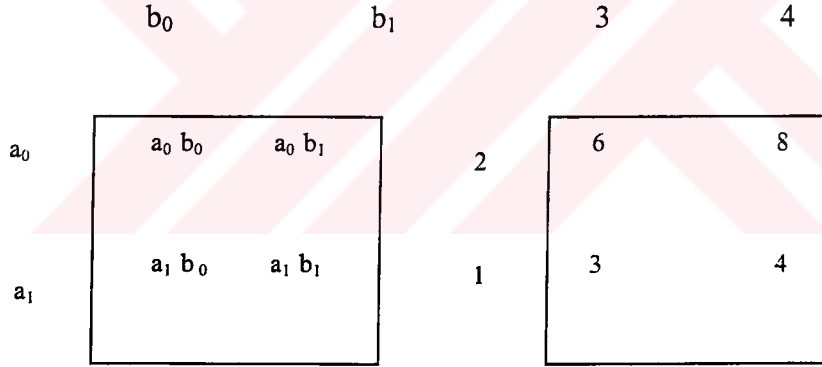
Sayısal sinyallerin konvolüsyonunda intregal işlemi toplama işlemine dönüştür.  
Sonlu sinyallerle uğraşıldığından bu sinyal,

$$y_z = \sum_{i=0}^m v_i \cdot x_{z-i} , \quad 0 \leq z \leq m+n \quad (1.4.2)$$

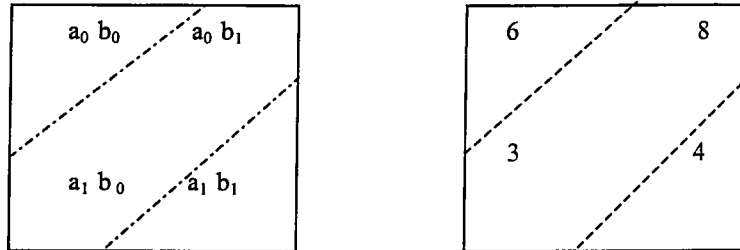
Konvolüsyon,

- Katlama işlemi
- Kaydırmalı çarpım
- İki polinomun çarpımı olarak yapılabilir.

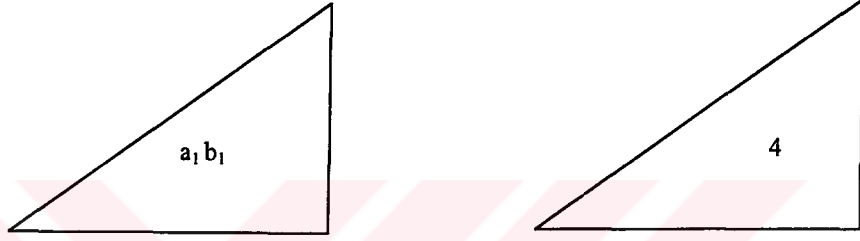
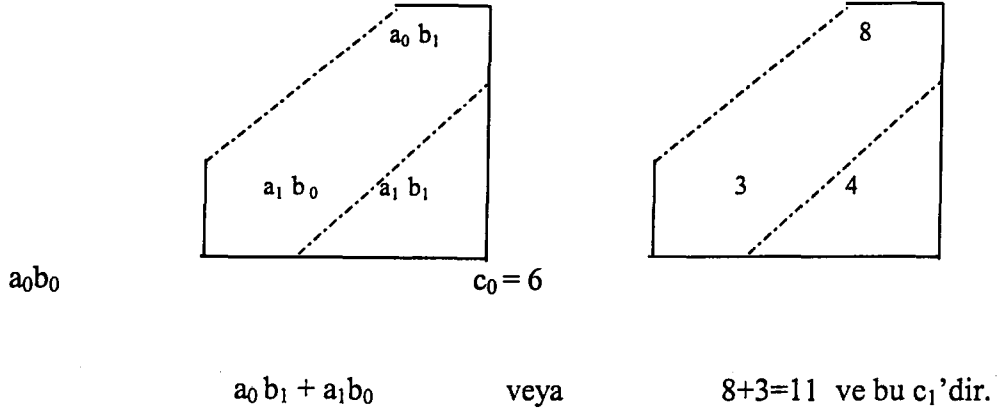
Katlama İşlemi ;



Bu veriler aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere çarpılır,



Konvolüsyon serilerini bulurken yukarıdan aşağıya doğru toplarız.

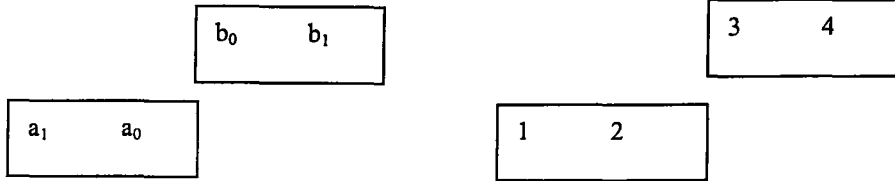


En son değer ise  $c_2$ ' dir. Böylece konvolüsyon serisi elde edilir.

$$(c_0, c_1, c_2) = (a_0 b_0, a_0 b_1 + a_1 b_0, a_1 b_1) = (6, 11, 4)$$

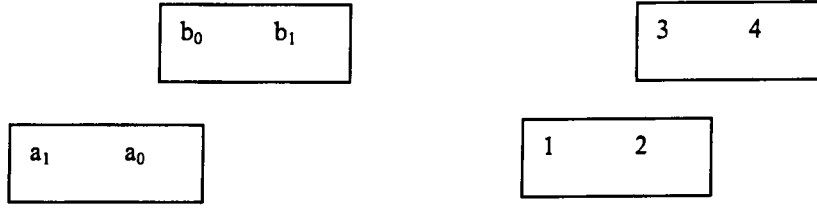
Kayırmalı Çarpım ;

Sinyallerin biri ters çevrilir ve her birinin 1. ci elemanları karşı karşıya gelene dek kaydırılır.



$c_0$ ' ı elde etmek diğer sinyale doğru kaydırılır ve





Karşı karşıya gelen elemanlar çarpılır.

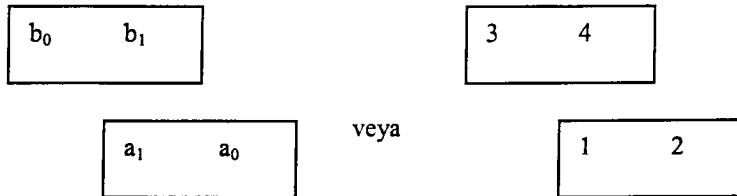
$$c_0 = a_0 b_0 = 2 \times 3 = 6$$

$c_1$ ' i elde etmek için kaydırma işlemine devam edilir.



$$c_1 = a_0 b_1 + a_1 b_0 = 2 \times 4 + 1 \times 3 = 11$$

sonuçta  $c_2$  'i elde etmek için kaydırma yapılır.



$$c_2 = a_1 b_1 = 1 \times 4 = 4$$

**Konvolüsyon Serimiz ;**

$$(c_0, c_1, c_2) = (6, 11, 4)$$

İki polinomun çarpımı olarak konvolüsyonda öncelikle iki serinin  $z$  dönüşümü yapılır.

$$b = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_n)$$

Polinom şekli,

$$B(z) = b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + \dots + b_n z^n$$

Böylece  $b$  sinyali  $z$ 'in bir polinomu olarak gösterilmiş olur. Polinomun katsayıları sinyalimizin genliklerini verir. Konvolüsyon burada polinomun çarpımları şeklindedir.

$$A(z) = a_0 + a_1 z$$

$$A(z) = 2 + z$$

veya

$$B(z) = b_0 + b_1 z$$

$$B(z) = 3 + 4z$$

Polinomların çarpımıyla,

$b_0 + b_1 z$	$3 + 4z$
$a_0 + a_1 z$	$2 + z$
$a_0 b_0 + a_0 b_1 z$	$6 + 8z$
$a_1 b_0 z + a_1 b_1 z^2$	$3z + 4z^2$
$a_0 b_0 + (a_0 b_1 + a_1 b_0) z + a_1 b_1 z^2$	$6 + 11z + 4z^2$

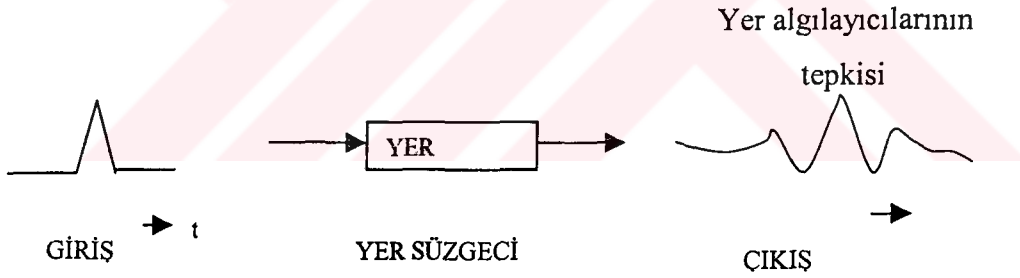
Sonuç polinomu,

$$C(z) = a_0 b_0 + (a_0 b_1 + a_1 b_0) z + a_1 b_1 z^2 = 6 + 11z + 4z^2$$

$$c_0 = a_0 b_0 = 6, \quad c_1 = a_0 b_1 + a_1 b_0 = 11, \quad c_2 = a_1 b_1 = 4$$

### 1.5 Ters Evrişim (Dekonvolüsyon)

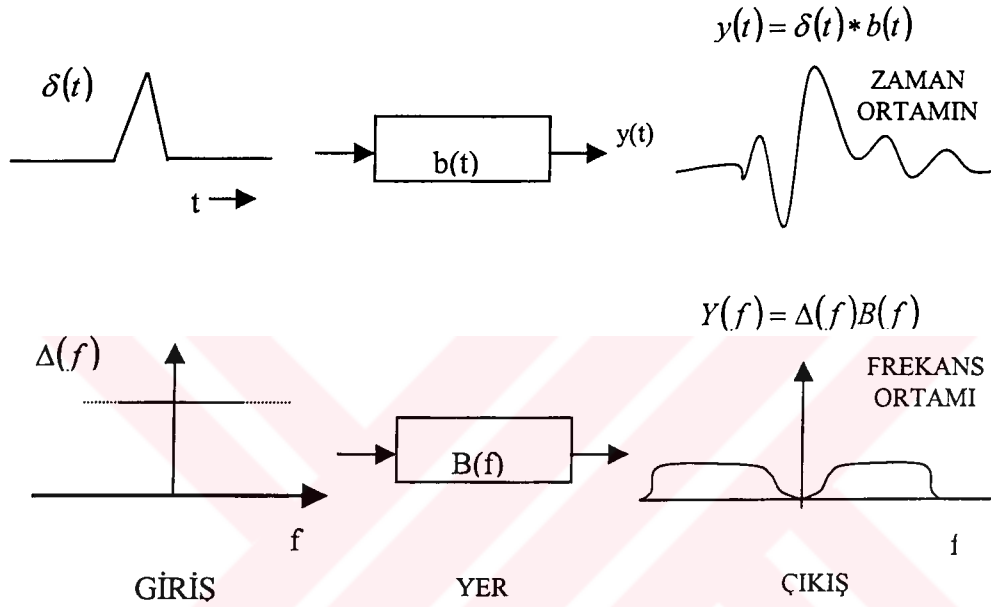
Dekonvolüsyon, daha önceden bir sinyale uygulanmış olan konvolüsyon etkilerini ortadan kaldırmak demektir. Jeofizik de kaydedilen her sinyal orjinal sinyal olmayıp mutlak konvolüsyona uğramış demektir. Bu arada sismikte yerkabuğu da aynı işleme yani konvolüsyona neden olur. Sinyaller aynı zamanda filtrelenmiştir. Dekonvolüsyon bir tür filtreleme işlemidir. Dekonvolüsyona ters (inverse) süzgeçlemede denir. Son yıllarda, sismik yansıma veri işlem yöntemleri arasında belkide en başarılı ve yararlı olarak uygulanan yöntem dekonvolüsyondur. Dekonvolüsyonun amacı, yerin sismik dalgacık üzerindeki süzgeçleme etkisinin karşılanması veya giderilmesidir. Örneğin bir patlama sonucu yere verilen sismik enerji zaman ortamında Şekil 1.5.1' deki gibi bir "iğne" (spike) ye benzer. Yine aynı şekilde gösterildiği gibi, yer içinden geçen bir dalgacık sismik dalgacık denilen yüksek frekansları sönümlenmiş ve genişlemiş bir biçimde algılanır.



Şekil 1.5.1. Sismik kaynaktan "iğne" biçiminde çıkan dalga yerin algılayıcı düzeneklerin etkisinden kalıcılığı daha uzun olan bir dalgacığa dönüşür.

Bilindiği gibi giriş delta fonksiyonuna  $\{\delta(t)\}$  yakın özelliktedir ve spektrumu bütün frekanslarda ( $-\infty$  dan  $+\infty$  a) eşit genliktedir. Bu tür spektruma 'beyaz' spektrum da denir. Yansıma verilerinde elde edilen sismik dalgacıkların frekansı yaklaşık 20-100 Hz arasındadır. Demek ki, bu dalgacıkların spektrumunu delta fonksiyonu spektrumuna yaklaştırmak, yani 'beyazlaştırmak', yansıma dalgacıklarını delta

fonksiyonuna yaklaştırmak demek olacaktır. Sismik dalga yer katmanlarından geçerken özellikle yüksek frekanslar yutulup ‘beyaz’ spektrumlu giriş  $\delta(t)$  dalgacığı çıkışta ‘band’ sınırlı bir dalgacık olur. Yani, zaman ortamında boyu uzamış, frekans ortamında daralmıştır. şekil 1.5.2’ de yukarıdaki değinimler özetlenmiştir.



Sekil 1.5.2. Zaman ve frekans ortamlarında bir kaynak üretilen  $\delta(t)$  dalgacığına yerin tepki yanıtları

Gerçekte yer içinde soğurulan (absorption) yüksek frekansları geri verme olanağı yoktur. Ancak, ters süzgeçleme ile, hiç değilse, belirli frekans aralığında ‘beyaz’ spektrum elde etme olanağı vardır. Bu ‘beyaz’ frekans aralığı ne kadar geniş olursa zaman ortamında o kadar dar dalgacık elde edilir.

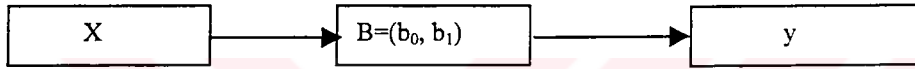
Dekonvolüsyon veya ters süzgeçleme işlemi, yerin  $b(t)$  tepki fonksiyonu  $b=(b_0, b_1)$  gibi 2 boyunda bir dalgacık olarak düşünülürse daha kolayca açıklanabilir (Robinson, 1967a).

Bir  $b=(b_0, b_1)$  alınsın. Bu dalgacık indirgenerek  $b_0=1$  ve  $b_1=k$  yapılırsa,

$$b = (b_0, b_1) = (1, k)$$

Dalgacığı elde edilir.  $b = (1, k)$  dalgacığında  $b=(b_0, b_1)$  dalgacığı kadar çoğulcudur(geneldir). Burada  $k$  kompleks olabilir.

Bu düzeneğın  $x$  girişine çıkışı  $y$  olsun (Şekil 1.5.3).



Şekil 1.5.3 Bir düzeneğın giriş-çıkışının kalıp gösterilişi

$$y = b*x$$

veya,

$$y_t = b_0 x_t + b_1 x_{t-1} = x_t + kx_{t-1} \quad (1.5.1)$$

Eğer  $x$  girişi bilinmez ve  $y$  çıkışı (sismik iz ) bilinirse,  $b$  düzeneğı de bilindiğında  $x$  girişi hesaplanabilir. Bu ters çözüme dekonvolüsyon denir.

Dekonvolüsyon probleminin çözümü  $b$  nin tersi olan bir  $b^{-1}$  düzeneğinin bulunması demektir. Yani,

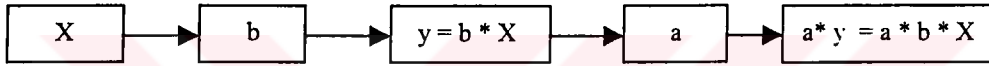
$$b^{-1} * b = \delta \quad (1.5.2)$$

olmalıdır. Burada  $\delta$  - fonksiyonu,

$$\delta = (1, 0, 0, \dots)$$

olan bir dalgacık olarak tanımlanır.  $\delta$  sıfır zamanında birim iğnedir. Herhangi bir  $x$  için  $\delta * x = x$  dir.

Yazmada kolaylık için  $b^{-1}$  yerine  $a$  yazılsın. Yani  $a$  ile  $b$  birbirinin tersidir. Şekil 1.5.4' de özetlendiği gibi bir  $x$  girişi birbirinin tersi



Şekil 1.5.4. Birbirinin tersi olan iki düzeneğin ardışık kullanılmasının sonucu

Olan iki düzeneğten geçirilirse sonuçta yine  $x$  elde edilir.

Kısaca özetlenirse,

$$a * b = (a_0, a_1, a_2, \dots) * (1, k) = (1, 0, 0, 0, \dots) \quad (1.5.3)$$

Yani  $b$  yi sıfır zamanında birim iğne yapacak biçimde bir  $a = (a_0, a_1, a_2, \dots)$  dalgacığı aranmaktadır.  $Z^{-1}$  dönüşümü kullanılırsa, (1.5.3) bağıntısı,

$$(a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots) (1 + kz) = 1 \quad (1.5.4)$$

olarak yazılabilir. Buradan,

$$(a_3 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots) = \frac{1}{(1 + kz)} \quad (1.5.5)$$

olur. Bu bağıntının sağ tarafındaki bölme işlemi yapılırsa,

$$\frac{1}{1 + kz} = 1 - kz + k^2 z^2 - k^3 z^3 + k^4 z^4 - \dots \quad (1.5.6)$$

bulunur. Burdan,

$$b^{-1} = a = (a_0, a_1, a_2, \dots) = (1, -k, k^2, -k^3, \dots) \quad (1.5.7)$$

elde edilir. Burdan,

$$a_t = \begin{cases} 0 & , t = -1, -2, -3, \dots \\ (-k)^t & , t = 0, 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (1.5.8)$$

olur. Bu sonuç,  $b$ , düzeneğinin tersi olan  $b_t^{-1} = a_t$ , düzeneğinin sonsuz uzunlukta olduğunu gösterir.

Örneğin  $k=0.5$  olsun.  $b = (1, 0.5)$  olur ve küçük -gecikmeli bir dalgacıktır.

$a * b = \delta$  olup olmadığı araştırılsın.  $a_t = (-k)^t, t = 0, 1, 2, \dots$  olduğundan  $a = (1, -0.5, 0.25, -0.125, \dots)$  olur. Kayan şeritler kullanılarak  $\delta = a * b$  hesaplanırsa,

0.5	1
-----	---

1	-0.5	0.25	-0.125
---	------	------	--------

$$\delta_0 = 1, \quad \delta_1 = -0.5 + 0.5 = 0, \quad \delta_2 = 0.25 - 0.25 = 0, \dots$$

olur. İşleme devam edilirse geri kalan  $\delta_t$  değerlerinin de sıfır olduğu görülür.

İkinci bir örnek olarak  $k=2$  alınsın.  $b=(1,2)$  olur ve en büyük gecikmeli bir dalgacıktır.

$$a=(-k)^t = (1, -2, 4, -8, 16, -32, 64, -128, \dots) \text{ olur.}$$

$a*b$  hesaplanırsa  $\delta = a*b$  koşulunun sağlandığı görülür. Ancak burada  $a=b^{-1}$  düzeneğinin katsayıları gittikçe büyümektedir. Uygulamada  $a$ 'nın boyutunu sonlu kılmak zorunluğu vardır. Eğer her hangi bir  $t$  zamanında sonraki  $a$  katsayıları alınmaz ise büyük bir 'budama' hatası doğar. Burada  $a$  operatörünün genliği zamanla artmaktadır. Demek ki  $a$ 'nın enerjisi sınırlı değildir, yani  $a$  düzeneği durağan değildir.

Bu iki örnekten şu çoğulcu sonuç özetlenebilir: Eğer  $|k| < 1$  ise  $a$  durağan,  $|k| > 1$  ise  $a$  durağan değildir. Yani,  $b=(1,k)$  en küçük -gecikmeli ise tersi  $a=b^{-1}$  durağan bir dalgacıktır. Eğer  $b=(1,k)$  en büyük-gecikmeli ise tersi  $a=b^{-1}$  durağan değildir.

$a$ 'nın  $a = (a_0, a_1, a_2, \dots)$  dalgacığı biçiminde (yani  $t < 0$  için  $a_t = 0$ ) olması durumunda bu durağan olmayış engellenemez. Ancak  $a = (a_0, a_1, a_2, \dots)$  dalgacığı yerine  $a = (\dots, a_{-3}, a_{-2}, a_{-1})$  karşı dalgacığı  $b$  nin tersi olarak alınırsa  $b=(1,k)$  en büyük -gecikmeli ( $k > 1$ ) dalgacığının tersi  $b^{-1} = a$  durağan olur (Robinson, 1967). Bu durumda  $a$  düzeni uygulaması  $x$  giriş verisinin gelecekteki değerlerine uygulanır. Yani fiziki olarak gerçekleştirilemeyen gir düzenektir. Bu tür düzenekler giriş verisi gerektiği kadar geciktirilerek gerçekleştirilebilirler. Uygulamada işlenecek verinin tamamı elde olduğunda bir sorun doğmaz. Eğer fiziki olarak bir aygıt düzenlemek gerekirse aygıt içine giriş verisini gerektiği kadar geciktiren bir zaman-geciktirme birimi eklenir.



Eğer ilk konvolüsyon karışık-gecikmeli b dalgacığı veya düzeneğı ile olmuş ise bu tür b nin tersi  $b^{-1} = a = (\dots, a_{-2}, a_{-1}, a_0, a_1, a_2, \dots)$  biçiminde bütün zamanlarda (geçmiş, şimdiki ve gelecek) bileşenleri olan bir düzenektir.

Dekonvolüsyon iki grupta incelenir;

### 1.5.1. Deterministik Evrişim (Dekonvolüsyon)

Deterministik dekonvolüsyonun uygulanabilmesi için konvolüsyona giren tüm operatörlerin katsayılarının (parametrelerinin ) bilinmesi gerekir. Örnek olarak bir deprem sismogramı alınıp bunun spektrumu incelenir.

$$S(w) = K \cdot U(w) \cdot Q(w) \cdot \frac{\sin x}{x} \cdot E(w) \cdot e^{-\gamma} \cdot I(w)$$

Zaman ortamında çarpımlar konvolüsyon olarak bulunur.

K	Geometrik faktör
U(w)	Kaynak zaman fonksiyonu
Q(w)	İncelediğimiz dalganın dağılım-yayınım fonksiyonunun Fourier spektrumu (hareketin geometrisi ile ilgilidir).

$\frac{\sin x}{x}$	Etkiye neden olan faktörün foksiyonu
--------------------	--------------------------------------

E(w)	Ortamın transfer fonksiyonu
------	-----------------------------

$e^{-\gamma}$	Sönüm faktörü
---------------	---------------

I(w)	Aletin transfer (tepki) fonksiyonu
------	------------------------------------

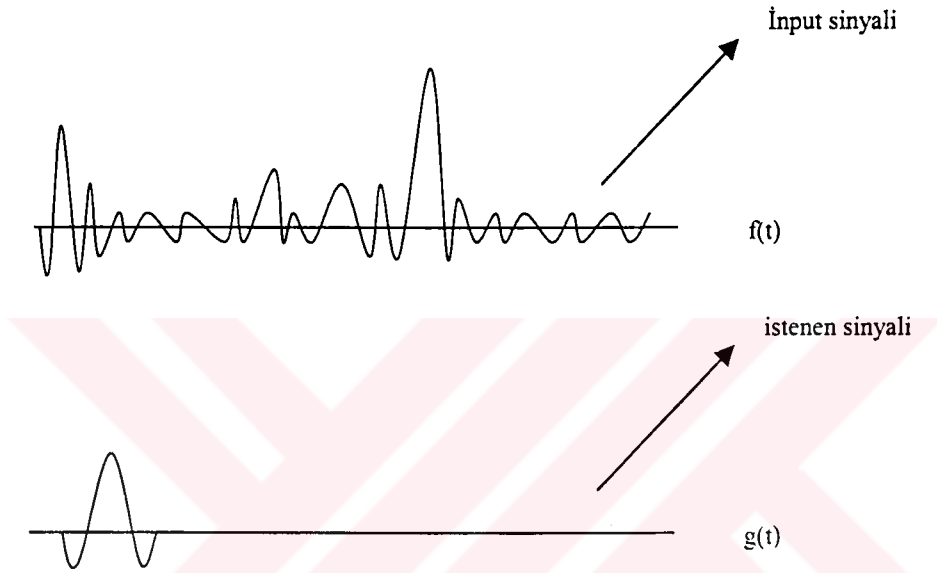
Eğer tüm parametreler biliniyorsa, dekonvolüsyon deterministiktir. S(w) spektrumu I(w) ya bölünürse aletten gelen etki yok olur. K, Thomson –Haksel yöntemi ile bulunur.

Sentetik sismogram elde etmek istersek Ters Fourier Dönüşümü almak gerekir (zaman ortamına geçilir).

### 1.5.2. İstatistiksel Evrişim (Dekonvolüsyon )

Jeofizikte kullanılan dekonvolüsyon istatistiksel olup istatistiksel dekonvolüsyon aşağıdaki bölümlerde incelenmektedir.

#### 1.5.2.1 Dalga Biçimi Evrişim (Dekonvolüsyon)



Öyle bir operatör elde edeceğiz ki  $f(t)$  ile konvolüsyonu bize  $g(t)$  yi versin. Bu operatörü bulmak için yapacağımız işleme dalga biçimi dekonvolüsyon adı verilir.

Operatörün düzenlemesini görelim;

$$t=I, f(I), f(I+1)$$

Operatörü düzenlerken dikkat edilmesi gereken nokta, beklenen çıktı ile gerçek çıktı farkının min olması gereğidir. Gerçek çıktı sinyali ;

$$p^-(I) = \sum_{k=0}^N h(k)f(I-k), \quad k=0,1,2,\dots,N$$

$h(k)$ ..... Dekonvolüsyon işlemi yapacak operatör.

$$\sum_{I=I_1}^{I_2} (\rho(I) - \rho^-(I))^2 = \Sigma^2$$

minimum koşulunu sağlayan  $h(k)$  katsayıları dekonvolüsyon işlemini yaparken yararlanacağımız operatörler olacaktır.

$\delta(I)$  yerine önceki değerini yazarsak;

$$\sum_I (g(I) - \sum_{k=0}^N h(k) \cdot f(I-k))^2 = \Sigma^2 = \text{minimum}$$

$g(I)$  = Beklenen çıktı

Normal denklemleri bulmak için  $h(k)$ ' ya göre kısmi türev alınacaktır. ((n+1) tane denklem elde edilecektir). Bu işlemi bir tanesi için yazacak olursak;

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial h(m)} = \sum_I g(I) f(I-m) - \sum_{k=0}^N h(k) \sum_I f(I-k) - f(I-m) = 0$$

$$m=0,1,2,\dots,N$$

Bu ifade;

$$Ofg(m) - \sum_{k=0}^N h(k) a(k-m) = 0 \text{ olsun}$$

$$a(0)h(0) + a(1)h(1) + a(2)h(2) + a(3)h(3) + a(4)h(4) = Cfg(0)$$

$$a(1)h(0) + a(0)h(1) + a(1)h(2) + a(2)h(3) + a(3)h(4) = Cfg(1)$$

$$a(2)h(0) + a(1)h(1) + a(0)h(2) + a(1)h(3) + a(2)h(4) = Cfg(2)$$

$$a(3)h(0) + a(2)h(1) + a(1)h(2) + a(0)h(3) + a(1)h(4) = Cfg(3)$$

$$a(4)h(0) + a(3)h(1) + a(2)h(2) + a(1)h(3) + a(0)h(4) = Cfg(4)$$

denklemlerini matris olarak gösterelim.

$$\begin{array}{c}
 \left| \begin{array}{ccccc}
 a(0) & a(1) & a(2) & a(3) & a(4) \\
 a(1) & a(0) & a(1) & a(2) & a(3) \\
 a(2) & a(1) & a(0) & a(1) & a(3) \\
 a(3) & a(2) & a(1) & a(0) & a(1) \\
 a(4) & a(3) & a(2) & a(1) & a(0)
 \end{array} \right| \cdot \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} h(0) \\ h(1) \\ h(2) \\ h(3) \\ h(4) \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} cfg(0) \\ cfg(1) \\ cfg(2) \\ cfg(3) \\ cfg(4) \end{array} \right| \\
 \downarrow \\
 \text{süzgeç katsayıları}
 \end{array}
 \end{array}$$

Teoplitz matrisi

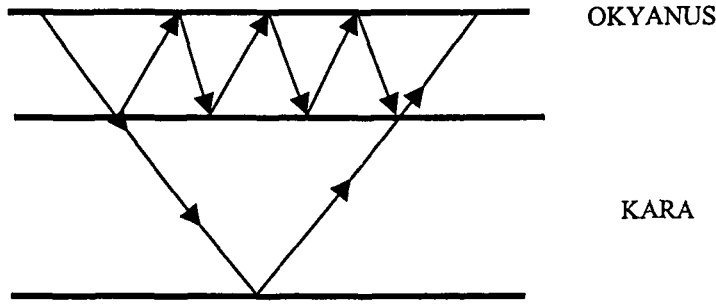
$$h = A^{-1}C,$$

Yukarıdaki kare matris simetriktir, bu matrise Teoplitz Matris'i denir. Teoplitz Matrisinin avantajı, bilgisayar belleği açısından önemlidir. Şayet ilk satır biliniyorsa, bellekte bu kadarı saklanır. Bu matrisin çözümü için Levinson Algoritması kullanılır. Ayrıca Robinson'dan Eureka Algoritması da kullanılır.

### 1.5.2.2. Önkestirmeli ( Predictive) Evrişim Dekonvolüsyon

Bir zaman serisinin önceki değerlerine bakarak gelecekteki değerlerini saptamaya Önkestirme denir. Bu bir tür Extrapolasyon' dur.

- a) Gelişigüzel izlerin hiçbiri önceden kestirilemez. Gürültü bir sismogramın önceden kestirilemeyen kısmıdır.
- b) Eğer tabaklar gelişigüzel ise buradan yansıyarak gelen sinyaller gelişigüzeldir ve kestirilemez.
- c) Ancak bir sismogramda periyodik bileşenler tekrarlı yansımalar ve reverberasyonlardır. Tabaka yüzeyinde birkaç defa yansıyan gelen dalgalardır.



Reverberation; yansıma sayısı ile orantılıdır ve bunların zaman içinde dağılımları periyodiktir ve önceden kestirdiklerimiz bunlardır. Eğer bunları temizlersek sismogram esas kayıtlardan ve gürültülerden oluşur. Sismik prospeksiyonda bu periyodik özelliklerin temizlenmesi işlemine Dereverberation denir.

### 1.5.2.2. İğnecikleştirme Evrişim (Dekonvolüsyonu )

İğnecikleştirme süzgeçlerinde iki yol vardır:

Dalga Biçimi Yaklaşım ile İğnecikleştirme

Dalga biçimindeki bağıntı;

$$\sum_{k=0}^N h(k)a(k-m) = cfg(m)$$

Bu yaklaşımı yapabilmek için bu bağıntıda düşünülen dalga bir spike şeklinde seçilmelidir. Bir spike şeklinde seçmek için ilk elman sıfırdan farklı, diğer elmanları bir kolon matrisi denklemin sağ tarafına yazmamız gerekecektir o halde bağıntı

$$\begin{bmatrix} a(0) & a(1) & a(2) & \dots & a(N) \\ a(1) & a(0) & a(1) & \dots & a(N-1) \\ a(2) & a(1) & a(0) & \dots & a(N-2) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a(N) & a(N-1) & \dots & \dots & a(0) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} h(0) \\ h(1) \\ h(2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ h(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cfg(0) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

şeklinde olur. Bu çıktıya süzgeç dersek verimizi bundan geçirirsek çıktı iğnecikler şeklinde olacaktır.

Önkestirme Yoluyla İğneleştirme de matris denkleminde  $l=1$  alalım. Böylece bir  $N$  noktalı operatör elde etmeğe çalışalım. Matris denkleminiz:

$$\begin{bmatrix} a(0) & a(1) & \dots & a(N-1) \\ a(1) & a(0) & \dots & a(N-2) \\ a(2) & a(1) & \dots & a(N-3) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a(N-1) & a(N-2) & \dots & a(0) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} P(0) \\ P(1) \\ P(2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a(1) \\ a(2) \\ a(3) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a(N)0 \end{bmatrix}$$

operatör elde ederken  $N+1$  yerine  $N$  nokta elde etmeye çalıştık. Bu nedenle operatörün boyu sıfırdan başlayıp  $N-1$  e kadar geldi. Burada operatör boyu  $N'$  dir.  $P'$  leri dekonvolüsyon operatörü olarak kullanmak için  $(-)$  ile çarpmak gereklidir.  $N$  noktadan ibaret olan operatör boyu 1 uzatılırsa ve ilk operatörün katsayısı 1 alınırsa, operatör:

$$[1, -P(0), -P(1), -P(2), \dots, P(N-1)] \text{ olur.}$$

Bu taktirde bizim matrisimiz:

$$\begin{bmatrix} a(0) & a(1) & a(2) & \dots & a(N) \\ a(1) & a(0) & a(1) & \dots & a(N-1) \\ a(2) & a(1) & a(0) & \dots & a(N-2) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a(N) & a(N-1) & \dots & \dots & a(0) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -P(0) \\ -P(1) \\ -P(2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ -P(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(0) \\ y(1) \\ y(2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y(n) \end{bmatrix}$$

↓  
operatör boyu bir eleman uzadı

yukarıdaki çarpma işlemi sonucu olan  $y$  çıktıları ;

$$y(0) = a(0) - \sum_{k=0}^N p(k).a(k+1)$$

$$y(1) = a(1) - \sum_{k=0}^N p(k).a(k)$$

$$y(2) = a(2) - \sum_{k=0}^N p(k).a(k-1)$$

$$y(N) = a(N) - \sum_{k=0}^N p(k).a(k+1-n)$$

Daha önce yazdığımız bağıntılar

$$\sum p(k).a(k) = a(1)$$

$$\sum p(k).a(k-1) = a(2)$$

$$\sum p(k).a(k+1-m) = a(n)$$

Bunları yerine koyarsak

$$y(0) = a(0) - \sum_{k=0}^{N-1} p(k).a(k+1)$$

$$y(m) = 0, m = 1, 2, 3, \dots, N$$

Bu bize sıfır kayması dışındaki bütün değerlerin sıfır olduğunu gösterir. Bu durumda yani matrisimiz:

$$\begin{bmatrix} a(0) & a(1) & a(2) & \dots & a(N) \\ a(1) & a(0) & a(1) & \dots & a(N-1) \\ a(2) & a(1) & a(0) & \dots & a(N-2) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a(N) & a(N-1) & \dots & \dots & a(0) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ -P(0) \\ -P(1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ -P(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(0) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

Sonuç olarak bize eğer prediktif dekonvolüsyon kullanarak ve  $L=1$  olarak yaptığımız sonuç, iğnecikleştirme dekonvolüsyonuna eşit olacaktır. Dekonvolüsyon işlemini yapmak için mutlaka bir matris denklemini çözmek gerekmez. İstatistiksel dekonvolüsyon daha başka şekillerde de yapılabilir. Ancak amaca en uygun dekonvolüsyon yöntemi seçilmelidir.

Dekonvolüsyon işleminin bu çalışmada da uygulama mantığı aynıdır. Arazi verileri daha önce bahsedildiği gibi karakutudan çıkış verisi ( $y_n$ ), kuramsal verilerde giriş verisi ( $x_n$ ) olarak uygulanmıştır. Dekonvolüsyon işlemi sonucunda bulunan da süzgeç katsayılarıdır. Uygulamada dalga biçimli dekonvolüsyon uygulanmıştır.

Kaya(1998) tarafından Tarsus Cumhuriyet Alanında Özdirenç yöntemi uygulanmıştır. Bu uygulamadan elde edilen görünür özdirenç değerleri arazi verileri olarak tezde bahsedilmiştir. Tezde bahsedilen kuramsal veriler, gerek arazi verilerine gerekse alanın havadan çekilmiş fotoğraflarına bakılarak üretilmiştir. Elde edilen kuramsal veriler ve arazi verileri arasında ters evrişim(dekonvolüsyon) işlemi yapılmış ve araziye ait süzgeç katsayıları elde edilmiştir.

Elde edilen süzgeç katsayıları ile arazi verileri arasında evrişim(konvolüsyon) işlemi uygulanmış ve o alan için arzu edilen verilere ulaşılmıştır. Elde edilen yeni veriler gürültülerden arındırılmış verileridir.



## 2.1 Araştırma Yeri

Antik çağda Kilikya Bölgesinin başkenti olan Tarsus'ta kentin merkezinde yer alan Cumhuriyet alanında 1993 yılında başlatılan arkeolojik kazılara katkı amacıyla arkeojeofizik araştırma yürütülmüştür.



Şekil 2.1.1. Tarsus Cumhuriyet alanı içindeki çalışma bölgesi

Tarsus Cumhuriyet Alanı içinde yer alan kazı alanında (Resim 2.1.1) arkeojeofizik araştırma, Roma Yolunun kuzey ve Kuzeydoğu bölümünde (Resim 2.1.2) kuzey güney doğrultusunda 15 m. ve doğu-batı doğrultusunda 33m. uzunluklu bir dikdörtgen ( $15 \times 33 \text{ m}^2$ ) alanda yürütülmüştür.



Şekil 2.1.2. Roma yolunun kuzey ve kuzeydoğu bölümü

Araştırma alanının şehir merkezinde olması, bir başka deyişle çevredeki modern yapılar, gerilim hatları ve onları taşıyan direkler, kazı alanını çevreleyen tel örgüler, kent içi taşıt trafiği gibi yüksek miktarda ses duyarlılığı gösteren kaynakların varlığı nedeniyle manyetik yöntem uygulanamamıştır. Çünkü bu tür yapılar, arkeolojik eserden kaynaklanan manyetik belirtiyi bastırarak engellemekte buna karşılık kendi etkileri egemen olmaktadır. Bu gürültü kaynakları nedeniyle diğer jeofizik yöntemlerin uygulanmasına karar verilmiştir. Ve çözüm gücünün yüksek olması nedeniyle öz direnç yöntemi uygulanmıştır.

## 2.2 Araştırma Alanının Jeolojisi

Buradaki jeoloji araştırma alanının 8-10 m. derinlikteki yer yapısını yansıtmaktadır. Yanal doğrultuda süreksizlik oluşturan duvarlar, varolan açmalarda incelenmiştir. Bu incelemede duvarların üst seviyelerinde, zaman zaman 0.5-1 m. derinliğe kadar çok iri olmayan karbonat oranı yüksek kil taşlarının kullanıldığı görülmüştür. Araştırma alanında esas mimariyi ortaya koyacak olan, üst seviyelerinde karbonatlı kil taşlarının kullanıldığı duvarlardır. Duvarları saran malzeme ise molozdur. Kireçtaşı gibi elektriksel olarak çok dirençli yapı malzemelerinin duvarlarda kullanılması jeofizik araştırmanın başarısını yükselten bir etkidir. Kil taşları ise kireçtaşları ile karşılaştırıldığında elektriksel olarak çok daha az dirençlidir ve bu nedenle araştırma alanındaki duvar belirtilerinin, kendisini saran moloza göre, çok yüksek genlikli belirti vermeyeceği öngörülmektedir. Ayrıca Tarsus nemli fakat çok sıcak bir iklime sahip olduğu için açma kenarlarında veya yüzeyde, duvarları oluşturan bloklar veya onu saran moloz ortamında herhangi bir nem belirtisi gözlenmemiştir. Mimariide kullanılan duvarlar çok büyük bloklar halinde olmasına karşılık çalışma alanında çok büyük olmayan farklı boyutlarda yer almıştır.

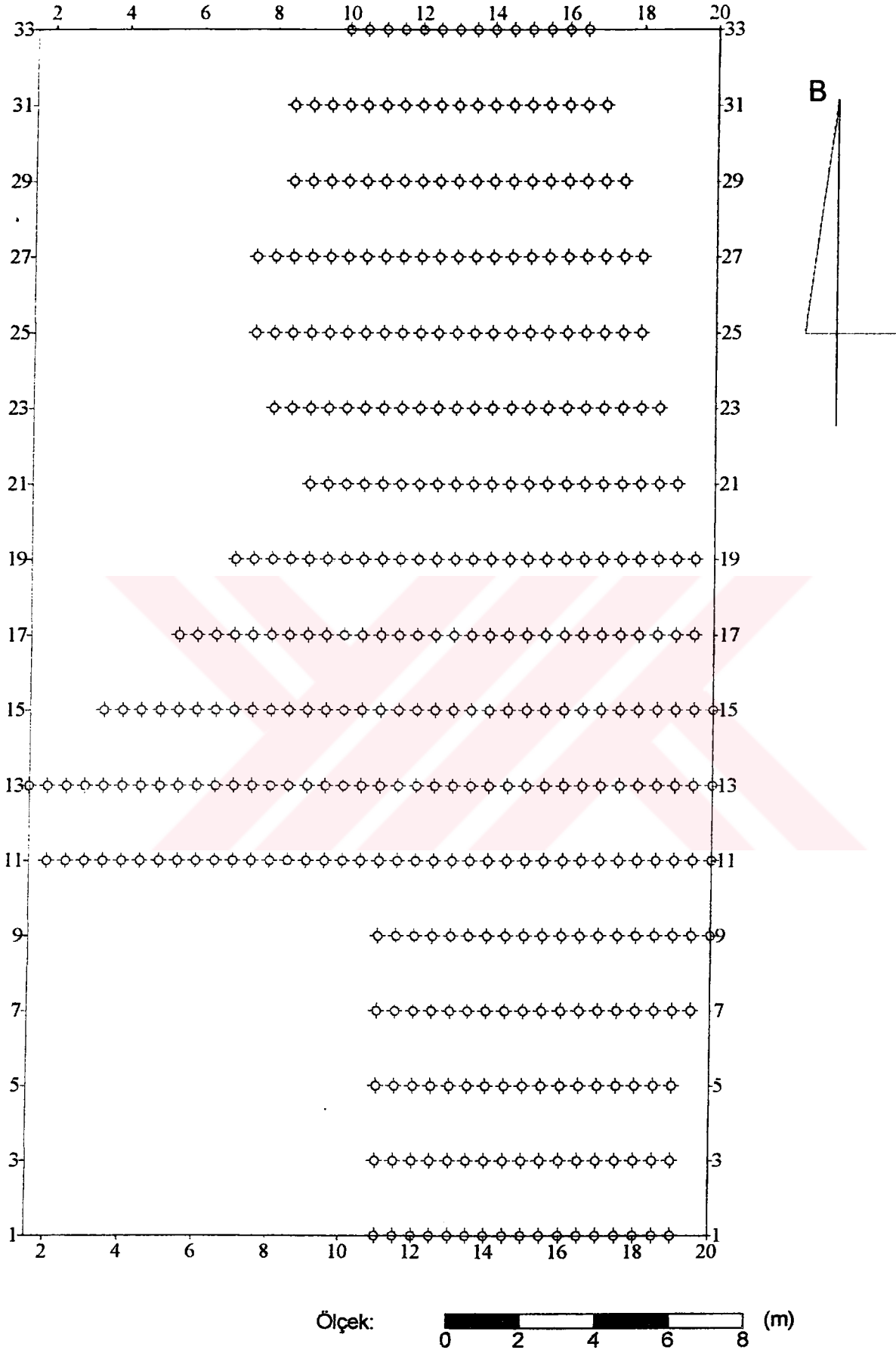
### 2.3 Araştırma Alanındaki Özdirenç Uygulamaları

Araştırma alanında özdirenç uygulaması yapılmıştır. Uygulama Şekil 2.3.1 de gösterilmektedir. Duvarların üst derinliği, ölçü alanı civarındaki açmalarda, 0.20m ile 0.5 m arasında olup genişliği de 0.5 m civarındadır. Bu nedenle Wenner Dizilimi uygulanarak  $a=1m$ ,  $a=2 m$  elektrot aralıkları ile yeterli araştırma derinliğine ulaşılabileceği ve duvar genişliğinin 0.5m olması nedeniyle kayma aralığını  $x=0.5 m$  almakla duvarların yerlerinin belirlenebileceği varsayılmıştır.

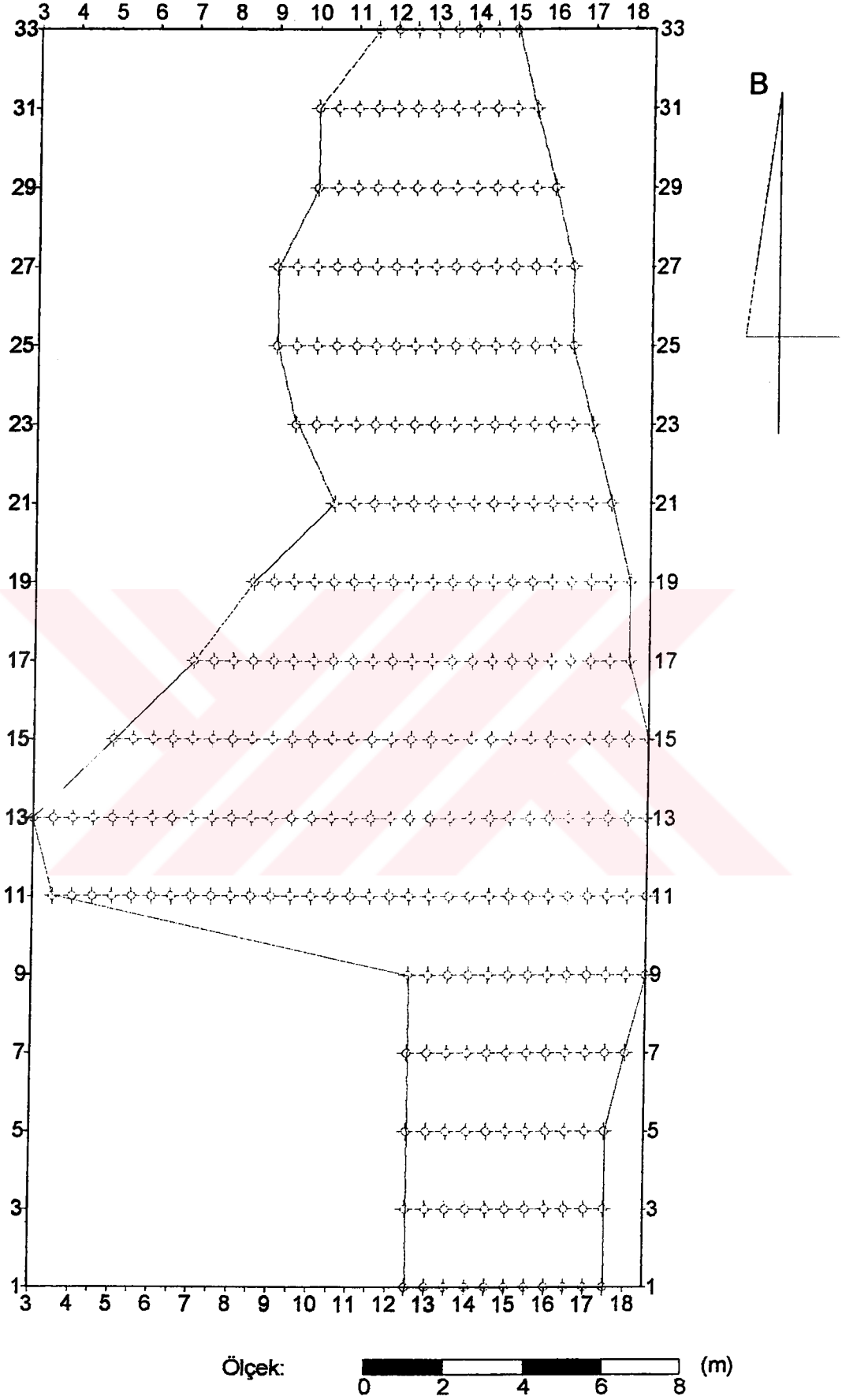
Görünür Özdirenç verileri iki şekilde sunulmuştur; grafik ve görünür özdirenç kat haritaları. Çalışma alanının yer bulduru haritası ( $a=1m$  için) Şekil 2.3.2’de  $a=2m$  için Şekil 2.3.3’de verilmiştir. Haritadaki 4,5,6,7 profilleri için grafikler şekil 2.3.4’de verilmiştir. Grafikte yatay eksen uzaklık (metre) ve dikey eksen görünür özdirençtir (ohm-m). Grafik ile her bir çalışma profili için yanal yöndeki görünür özdirenç dolayısıyla yapı değişimleri belirlenmektedir. Görünür özdirenç kat haritaları da (contour map), belirli bir elektrot açılımına ait  $a$  değeri dolayısıyla araştırma derinliği için araştırılan duvarların yanal devamlılığını göstermektedir.  $a=1$  ve  $a=2 m$  için görünür özdirenç kat haritaları şekil 2.3.5 ve 2.3.6’ de verilmektedir.



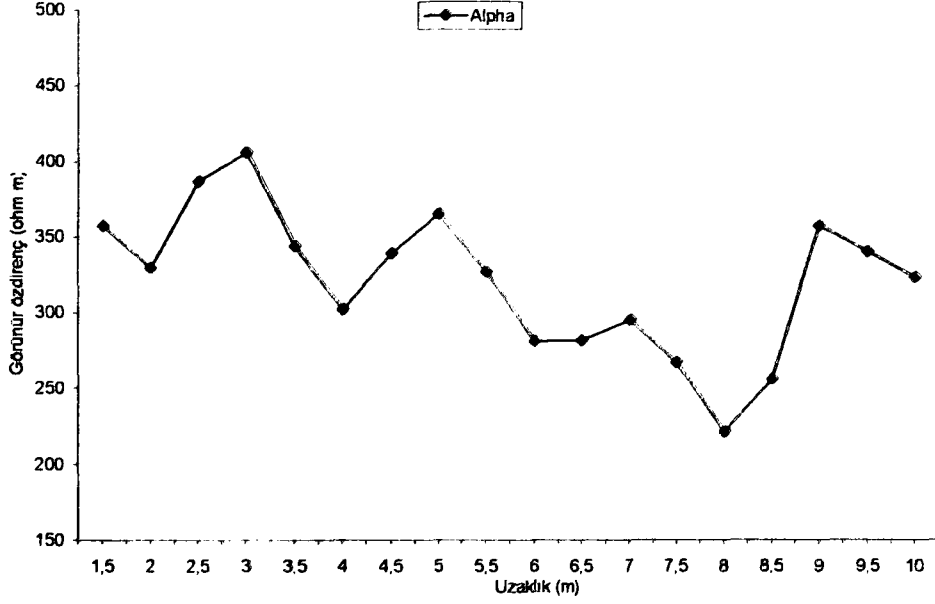
Şekil 2.3.1. Araştırma Alanındaki Özdirenç Uygulaması (Kaya.1998)



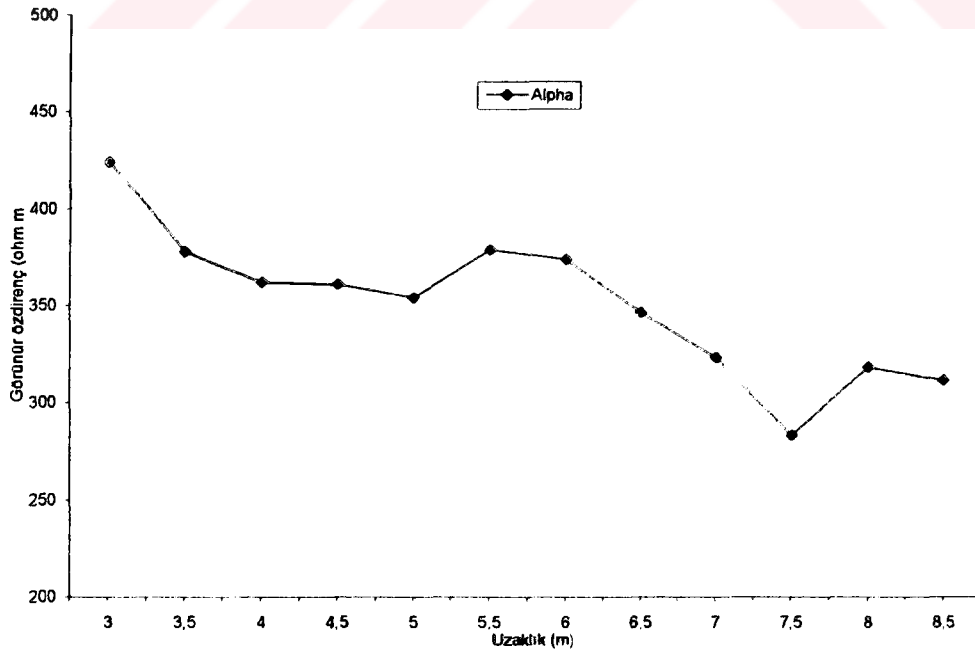
Şekil 2.3.2 Tarsus Roma Yolu Kuzeyi Özdirenç Çalışma Bulduru Haritası (a=1 m) (Kaya, 1998).



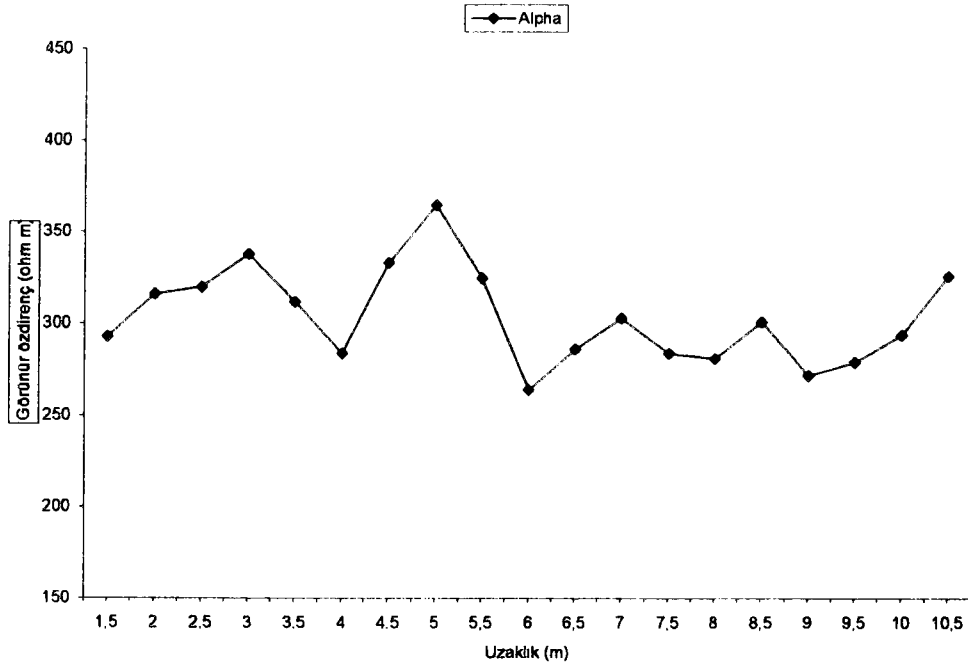
Şekil 2.3.3 Tarsus Roma Yolu Kuzeyi Özdirenç Çalışma Bulduru Haritası (a=2 m) (Kaya, 1998).



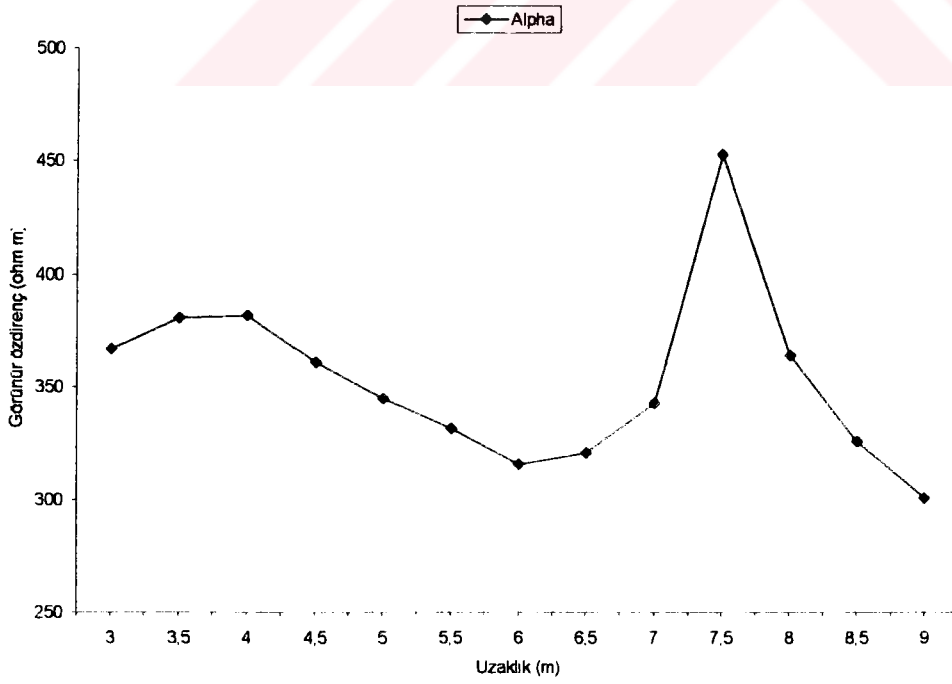
Şekil 2.3.4.a.T.Cumhuriyet Alanı öz direnç 4.profil a=1m grafikleri (Kaya,1998)



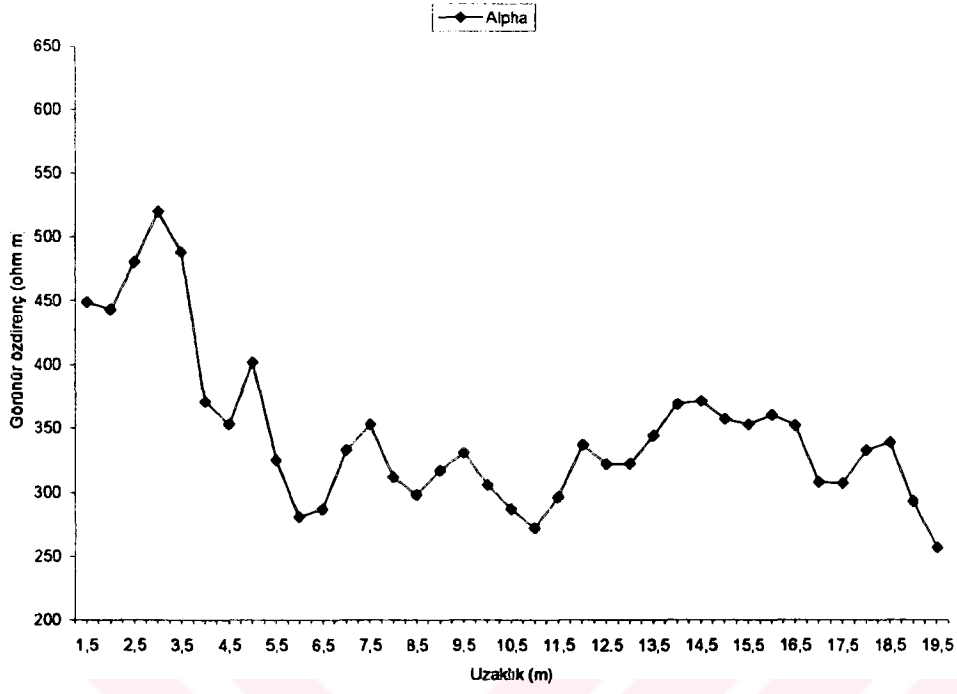
Şekil 2.3.4.b.T.Cumhuriyet Alanı öz direnç 4.profil =2m grafikleri (Kaya,1998)



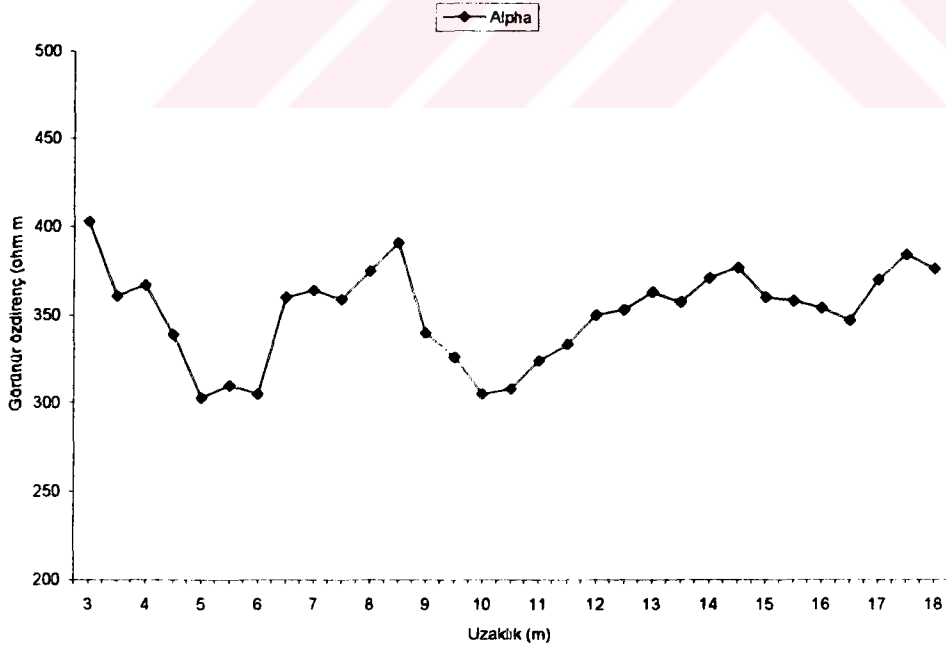
Şekil 2.3.4.c. T.Cumhuriyet Alanı öz direnç 5. profil a=1m grafikleri (Kaya, 1998)



Şekil 2.3.4.d. T.Cumhuriyet Alanı 5. profil a=2 m grafikleri (Kaya, 1998)

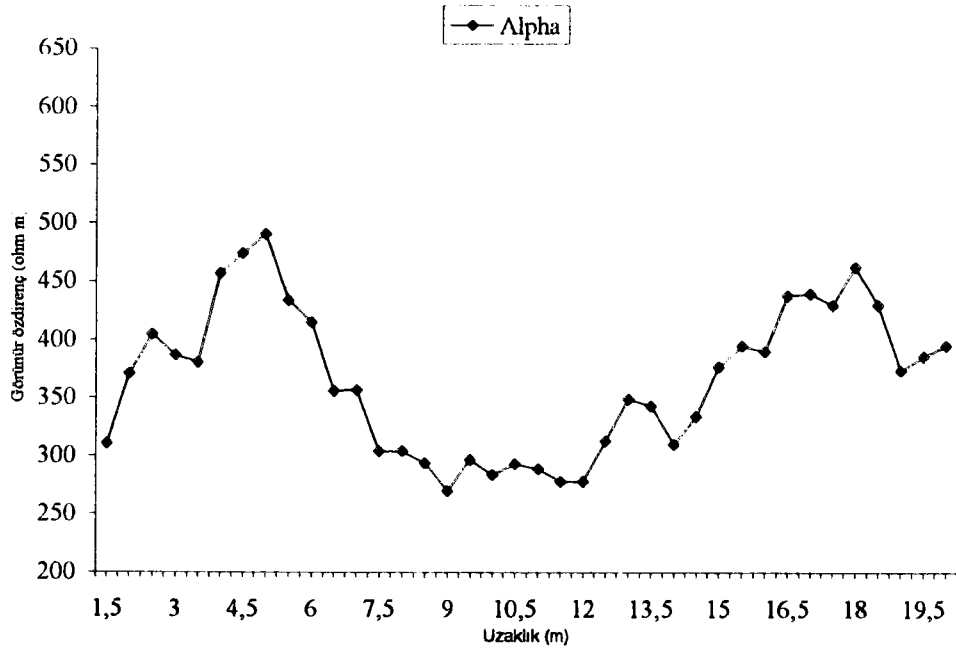


Sekil 2.3.4.e.T.Cumhuriyet Alanı 6. profil a=1 m grafikleri (Kaya,1998)

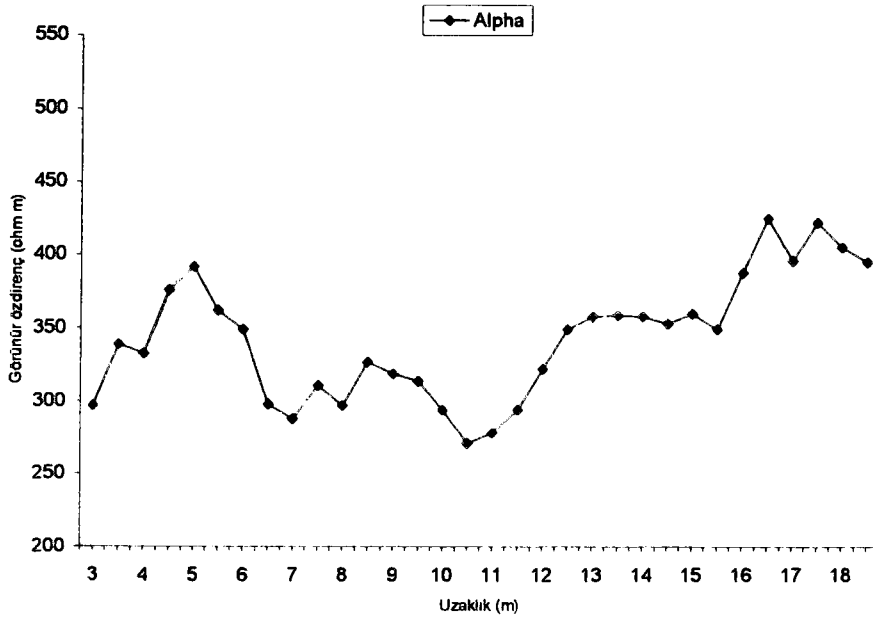


Sekil 2.3.4.f.T.Cumhuriyet Alanı 6. profil a=2 m grafikleri (Kaya,1998)

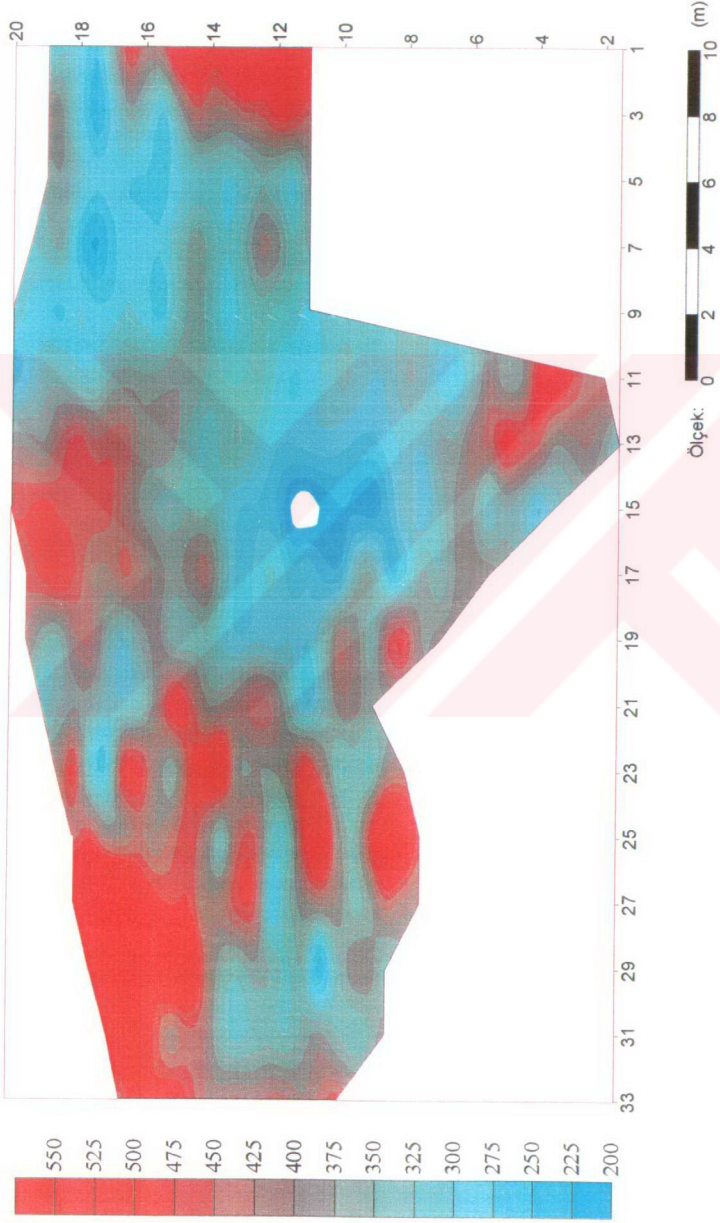




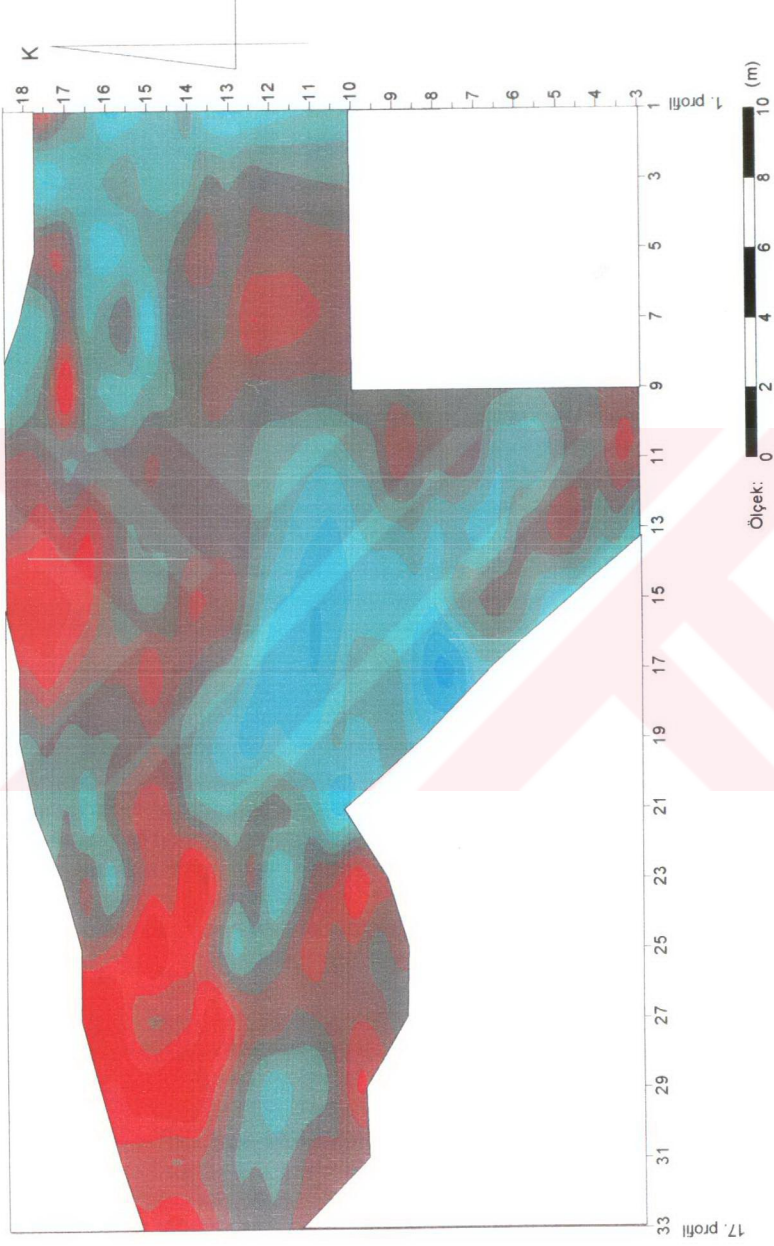
Sekil 2.3.4.g.T.Cumhuriyet Alanı 7.profil a=1 m grafikleri(Kaya,1998)



Sekil 2.3.4.h.T.Cumhuriyet Alanı 7.profil a=2 m grafikleri (Kaya,1998)

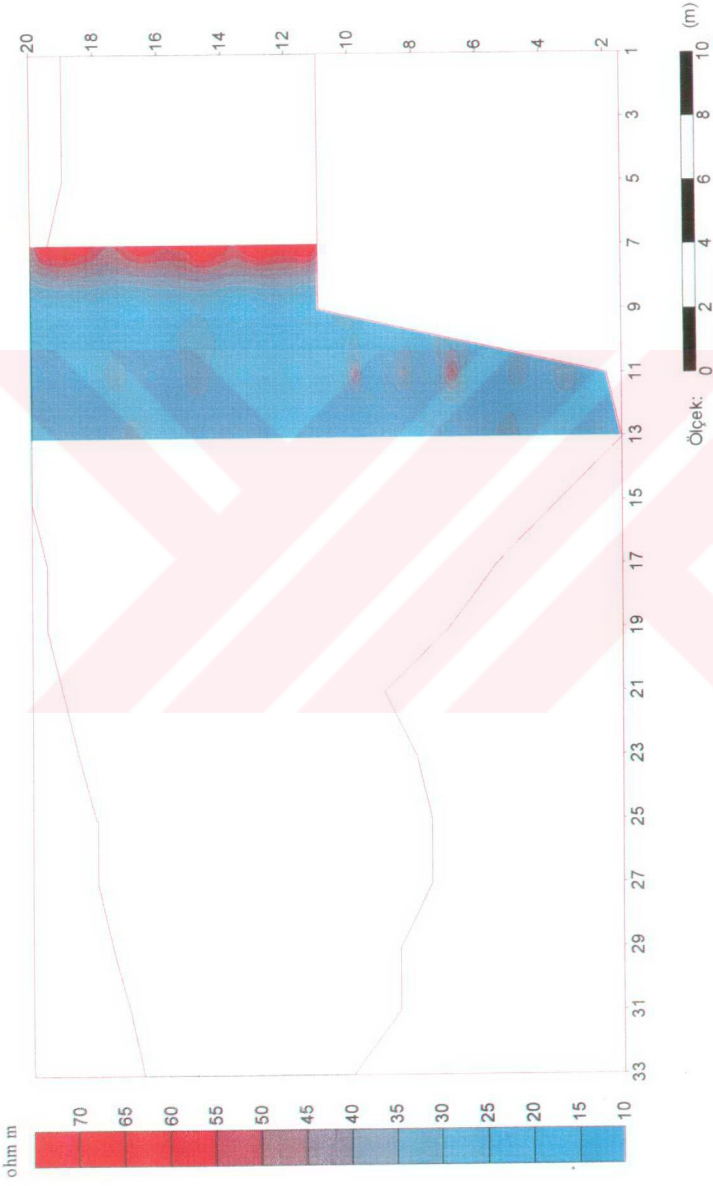


Şekil 2.3.5. Tarsus Roma Yolu Wenner açılımı a=1 m görüntür özldirenç haritası (Kaya, 1998)

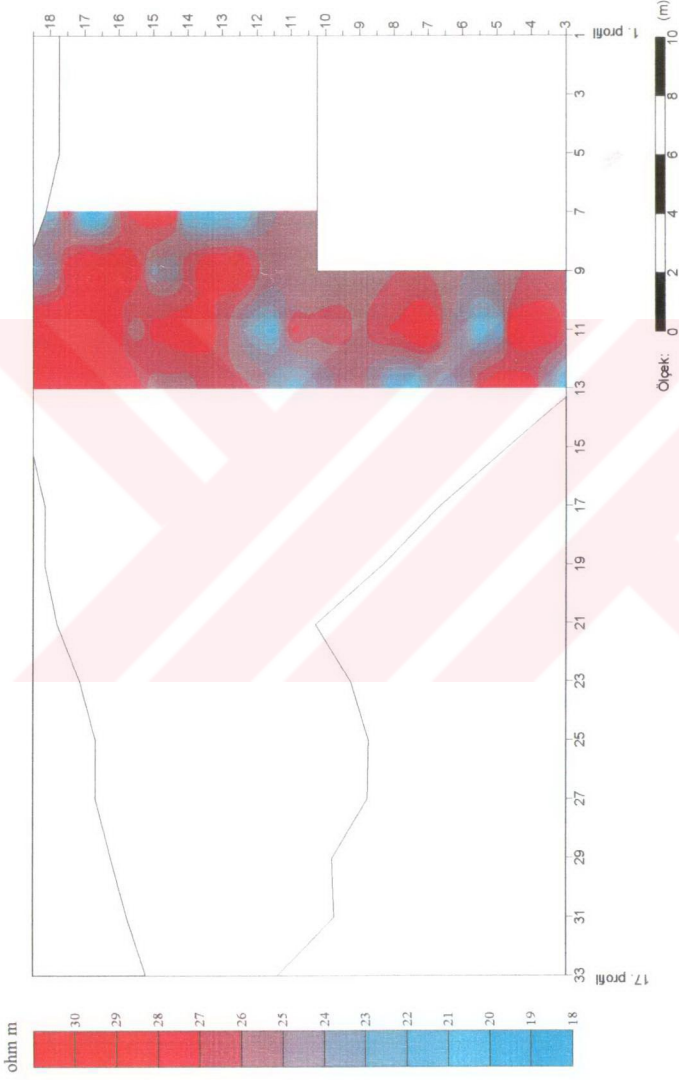


Şekil 2.3.6 Tarsus Cumhuriyet Alanı Werner açılımı a=2 m görüntü özizrenç haritası (Kaya, 1998)

Şekil 2.3.2'de Tarsus Roma Yolunda yapılan çalışmanın bulduru haritası sunulmuştur. Haritada görüldüğü gibi K-G yönünde profiller alınmış ve profiller üzerinde 0.5m aralıklı ölçü noktaları yerleştirilmiştir. 1. ve 9. profiller arası ile 11 ve 17.profiller arası arkeologlar tarafından kazılmıştır. Şekil 2.3.4 ve Şekil 2.3.5'de sunulan görünür özdirenç haritasında bu yapılar açıkça görülmektedir. Kırmızı renk yüksek özdirenç işaret etmektedir ve Bulduru haritasında görülen yapılar ile çakışmaktadır. Dayk tipi yapılar W ve M tipi anomaliler üretmektedir. Sunulan grafiklere bakıldığı zaman da bu tip anomalilere rastlamak mümkündür. Bu grafikler arazide elde ettiğimiz verilerdir. Kuramsal veriler kullanılarak  $a=1m$  için ve  $a=2m$  için de görünür özdirenç kat haritası çizilmiştir. Şekil 2.3.7 ve 2.3.8'de kuramsal veriler kullanılarak çizilmiş görünür özdirenç kat haritası bulunmaktadır. Kat haritası 4.5.6.7. profiller için çizilmiştir. Bu veriler yani arazi verisi ile kuramsal veri dekonvolüsyon işlemine tabi tutularak süzgeç katsayılarına elde edilmiştir. Bu süzgeç katsayıları arazi verileri ile konvolüsyona tabi tuttuğumuzda yapının yeri ve şekli gürültülerden arındırılmış bir şekilde daha açık olarak görülmektedir.



Şekil 2.3.7. Tarsus Roma Yolu Wenner açılımı a=1 görünür öz direnç haritası (İdeal verilere göre) ve Bulduru haritası

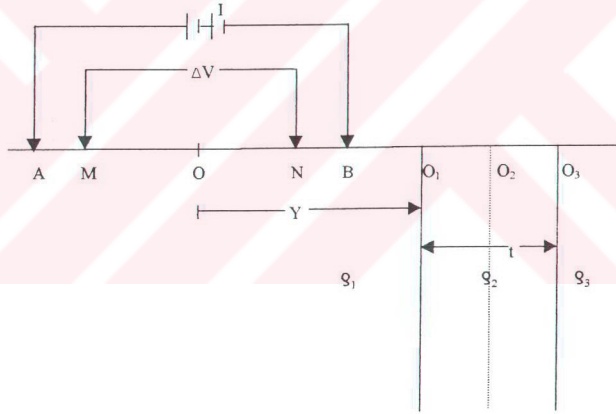


Şekil 2.3.8. Tarsus Roma Yolu Wenner açılımı a=2 görünür öz direnç haritası (İdeal verilere göre) ve Buldurun haritası.

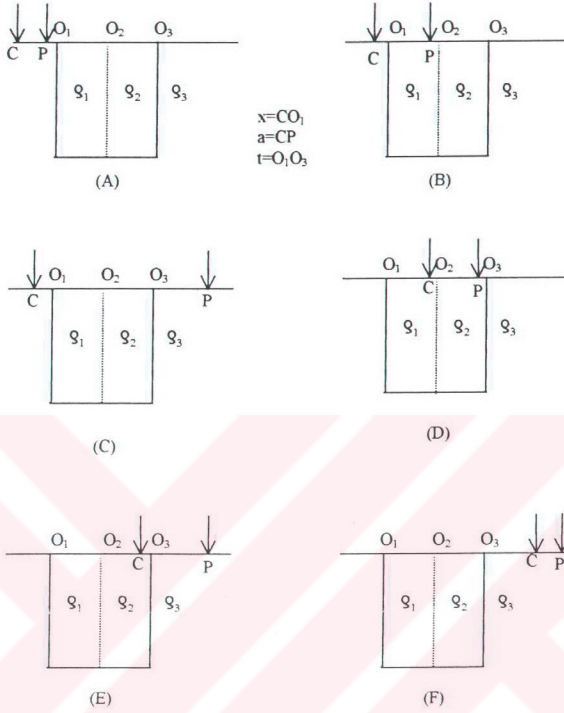
### 3.1 Süzgeç Katsayılarının Elde Edilmesi

Süzgeç Katsayılarının elde edilmesi için Özyalın (1997)'nin yaptığı Dekonvolüsyon Programı kullanılmıştır. Programda arazi verileri ve kuramsal veriler dekonvolüsyon işlemine tabi tutularak süzgeç katsayıları bulunmuştur. Kuramsal verilerin elde edilmesi için de Chunduru (1991) tarafından yapılmış programda dayk türü yapılar için görüntü kuramını kullanılmış ve kuramsal verilere ulaşılmıştır. Program Ek1'de sunulmaktadır.

Dayklar için görüntü kuramının esası şudur:



Şekil 3.1.1.1 Dayk Modelinin Düşey kesiti. AMNB tipik dört elektrot dizilimlerinin gösterimi.  $O_1$ - $O_3$  dayk genişliği.  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  ortamın özdirençleridir



Şekil 3.1.2. Dayk sınırlarında Akım ve Potansiyel elektrotlarının 6 farklı durumu( $t$ =dayk kalınlığı)



P= M veya N

C= A veya B dir.

Akım ve Potansiyel elektrotlarının birbirlerine göre konumlarına göre 6 farklı potansiyel bağıntısı geliştirilmiştir (Khmelevsky, 1970).

a) Bu koşulda Potansiyel(P) ve Akım (C) akım elektrotları daykın solundadır.

Bu durumda P<sub>1</sub> noktasında oluşan potansiyel (Şekil A).

$$V = Ib_1 \left\{ \frac{1}{a} + \frac{K_{12}}{(2x-a)} + (1 - K_{12}^2) K_{23} \times \left[ \frac{1}{(2t+2x-a)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(K_{23} \times K_{21})}{[2(n+1)r+2x-a]} \right] \right\}$$

b) P elektrodunun daykın üzerinde C elektrodunun daykın solunda olması durumu

$$V = Ib_2 (1 - K_{12}) \left\{ \frac{1}{a} + \frac{K_{23}}{(2t+2x-a)} + \sum_{n=1}^{\infty} (K_{23} \times K_{21}) \times \left\{ \frac{1}{(a+2nt)} + \frac{K_{23}}{2(n+1)r+2x-a} \right\} \right\}$$

c) C daykın solunda P daykın sağında olması durumu

$$V = Ib_3 (1 - K_{12}) (1 - K_{23}) \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(K_{23} \times K_{21})}{(2nt+a)} \right]$$

d) C ve P'nin daykın üzerinde olması durumu

$$V = Ib_2 \left\{ \frac{1}{a} + \frac{K_{21}}{(2x+a)} + \frac{(K_{23} \times K_{21})}{(2t+a)} + \frac{K_{23}}{(2r-2x-a)} + \frac{(K_{23} \times K_{21})}{(2t-a)} + \sum_{n=1}^{\infty} (K_{23} \times K_{21})^n \left\{ \frac{K_{21}}{(2nt+2x+a)} + \frac{K_{23} \times K_{21}}{[2(n+1)r-a]} + \frac{K_{23}}{[2(n+1)r-2x-a]} \right\} + \frac{K_{23} \times K_{21}}{[2(n+1)r-a]} \right\}$$

e) C daykının üzerinde P'nin daykın sağında olması durumu

$$V = Ib_3(1 - K_{23}) \left\{ \frac{1}{a} + \frac{K_{21}}{(2x + a)} + \sum_{n=1}^{\infty} (K_{23} \times K_{21})^n \left[ \frac{1}{2nt + a} + \frac{K_{21}}{(2nt + 2x + a)} \right] \right\}$$

f) C ve P'nin dayın sağında olması durumu

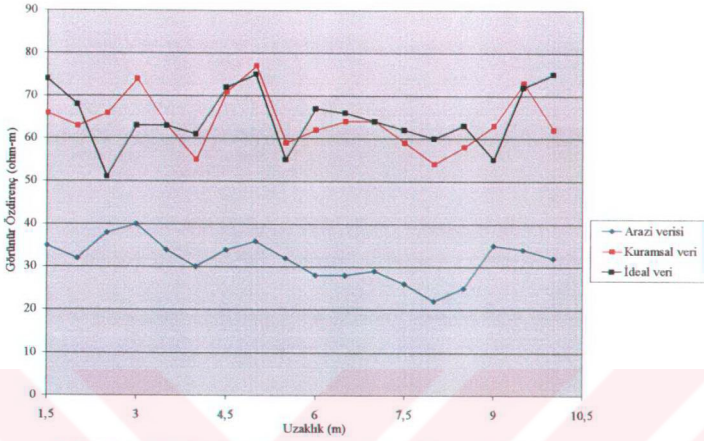
$$V = Ib_3 \left\{ \frac{1}{a} - \frac{K_{23}}{[2(x-t) + a]} + K_{21}(1 - K_{23}^2) \left[ \frac{1}{(2x + a)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(K_{23} * K_{21})^n}{(2nt + 2x + a)} \right] \right\}$$

$$K_{ij} = \frac{(b_i - b_j)}{(b_j + b_i)}; i, j = 1, 2, 3, \dots$$

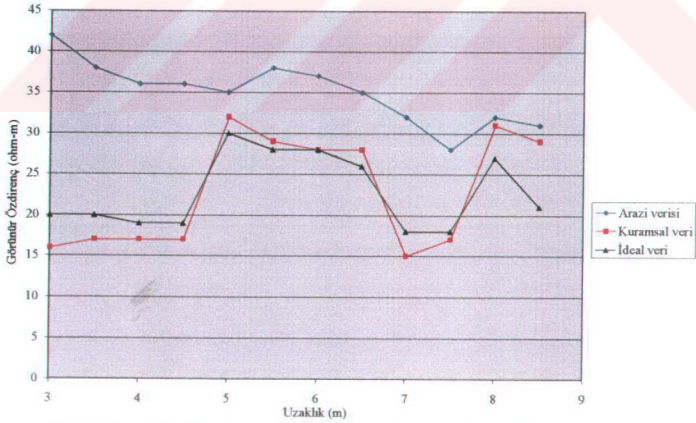
Arazi verilerine göre çizilen yatay eksen uzaklık düşey eksen görünür özdirenç olan grafikler, benzer şekilde kuramsal verilere göre çizilecektir. Yukarıdaki 6 durum gözönüne alınarak yazılan programda kuramsal gerçek özdirençler girilerek kuramsal görünür özdirenç değerleri elde edilmiş ve grafikler benzer şekilde edilmiştir.

Şekil 3.2'de arazi verisi, kuramsal veri ve gürültüsüz gerçek veri yani ideal veri için grafikler sunulmuştur. Arazi verisi daha önce de belirtildiği gibi kuramsal veriler ile dekonvolüsyon işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen süzgeç katsayıları ile arazi verilerine tekrar konvolüsyon uygulanmıştır. Böylece veriye veri işlem uygulayarak gürültülerden arındırmaya çalışılmıştır.

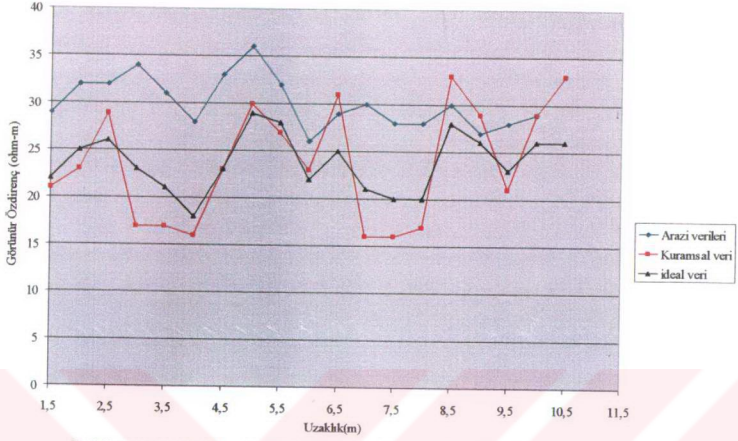
Program çıktılarını farklı özdirenç değerleri için Ek 2' de verilmektedir.



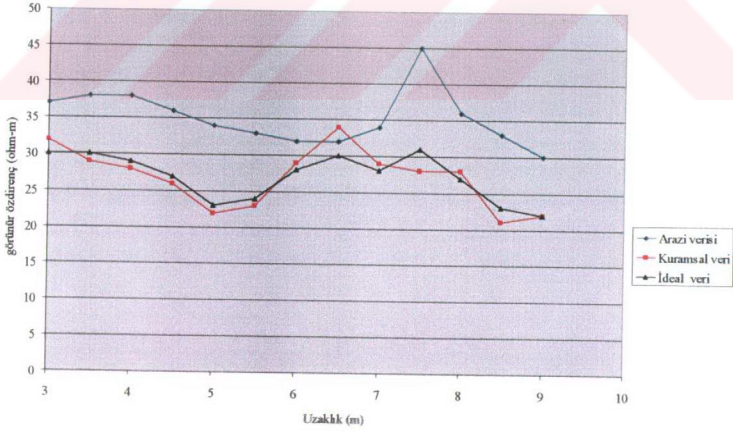
Şekil 3.2.1.4. Profil a=1 m için Arazi ve Kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması



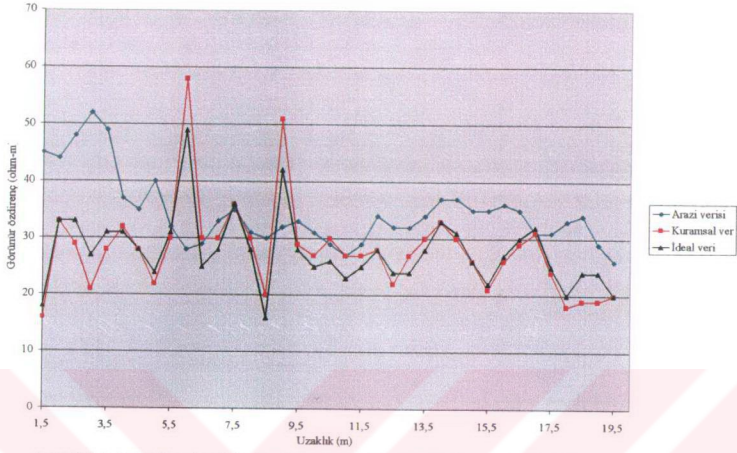
Şekil 3.2.1.4. Profil a=2 m için Arazi ve Kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması



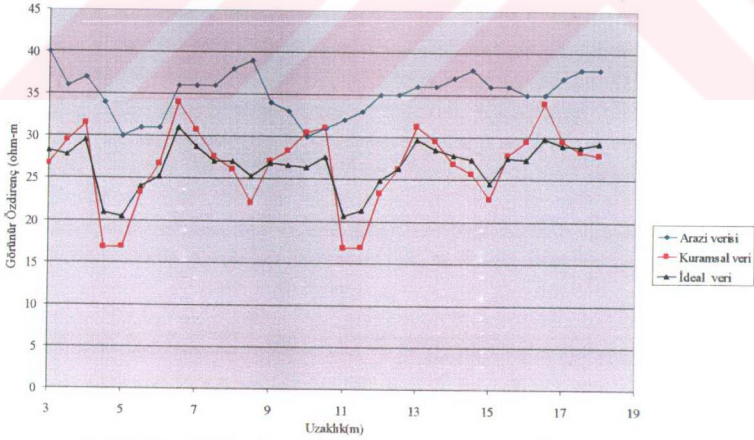
Şekil 3.2.1.5. Profil a=1 m için Arazi ve Kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması



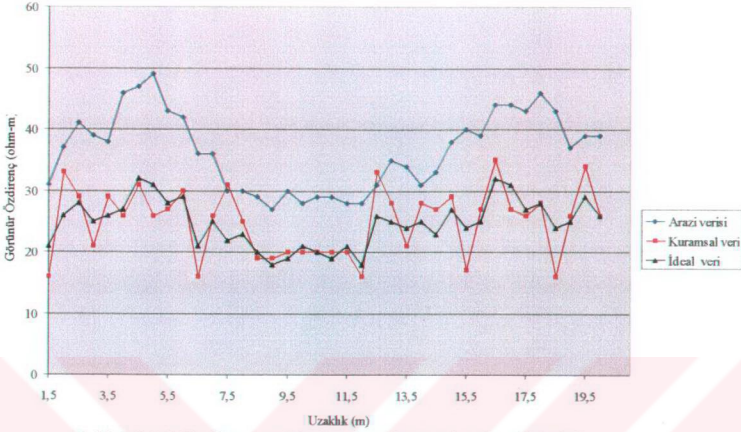
Şekil 3.2.1.5. Profil a=2 m için Arazi ve Kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması



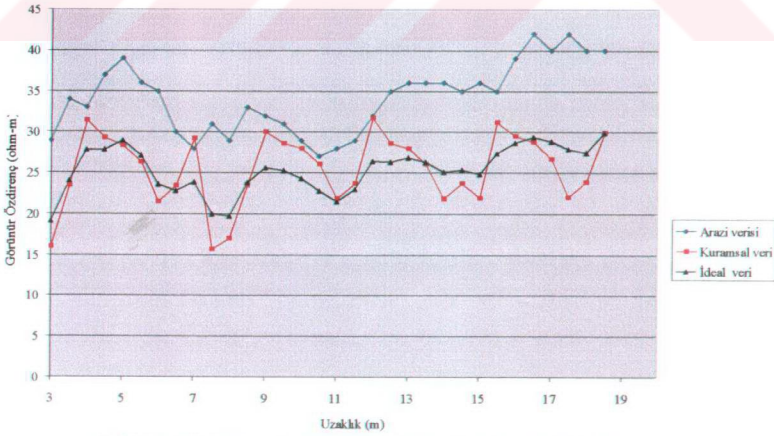
Şekil 3.2.1.6. Profil  $a=1$  m için Arazi ve Kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 3.2.1.6. Profil  $a=2$  m için Arazi ve Kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 3.2.1.7. Profil a=1 m için Arazi ve Kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 3.2.1.7. Profil a=2 m için Arazi ve Kuramsal veri grafiklerinin karşılaştırılması

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bilindiği gibi bir jeofizik araştırma başlıca 3 aşamayı kapsamaktadır. Bunlar veri toplama, veri işlem ve yorumlamadır. Arkeolojik amaçlı jeofizik araştırmalar çoğunlukla 0-5 m aralığını kapsadığından yapı-yöntem ilişkisine göre doğru jeofizik yöntem ve doğru uygulama şekli seçilebilirse yer yapının gerçeğine çok yakın belirtilerini elde etmek mümkündür.

Bu genel olarak doğru olmasına karşılık araştırma yapılan alanda jeofizikte gürültü olarak tanımlanabilecek jeolojik yapılar araştırılan yapının belirlenmesini engeller. Bu durumda anlaşılacağı gibi sadece veri toplama ile arkeolojik yapıyı ortaya koymak mümkün olmamaktadır.

Tarsus Cumhuriyet Alanında karbonatlı kil taşları ana mimaride kullanılmış belirli seviyelerde çok büyük bloklar halinde olmasına karşılık araştırma alanında çok büyük olmayan farklı boyutlarda yer almıştır. Mimariyi saran moloz yapısı içinde bu duvarlar tek tek belirlenememiş fakat duvar olabilecek alanlar çok geniş belirtiler şeklinde kendini göstermiştir. Mimaride yer alan duvarları daha belirginleştirmek amacıyla bu araştırmada veri işlem tekniklerine başvurulmuştur.

Duvar belirtilerini güçlendirmek için arazi verilerinin süzgeç katsayıları ile evrişimi (konvolüsyon) gerektiğinden öncelikle süzgeç katsayılarının belirlenmesi gerekmiştir. Bu amaçla kuramsal olarak elde edilen duvar belirti verileri ile arazi verileri ters evrimleştirilmiş (dekonvolüsyon) ve süzgeç katsayıları elde edilmiştir. Bu süzgeç katsayılarının arazi verileri ile evrişimi sonucu elde edilen belirtiler duvarları daha iyi temsil edecek şekilde gürültülerden arındığı gözlenmiştir.

Sonuçta; yapılan uygulamanın başarılı olduğu görülmüştür. Kuşkusuz her araştırmada bu tür veri işlem tekniklerinin uygulanması araştırmının başarısını yükseltecektir.

## 5. KAYNAKLAR

- Akgün, M., (1998). Yanal Süreksizliklerin Araştırılmasında İki Elektrot ve Yarımların Kullanılması. Jeofizik Dergisi, 12/1-2, 3-5s, İzmir.
- Akçığ Z., Pınar R., 1992. Arkeolojide Jeofizik Yöntemler, VIII. Arkeometri Sonuçları Toplantısı Bildiriler Kitabı, 13-38, Ankara.
- Başokur, T., (1984). Düşey Elektrik Sondajı. Türkiye Petrolleri, 261s. Ankara.
- Başokur, A.T., (1992). Magnesia Ad Mendrum (Ortaklar) Argavlı Tümülüsünde Jeofizik Araştırmalar, VIII. Arkeometri Sonuçları Toplantısı Bildiriler Kitabı, 71-80, Ankara.
- Baysal, E., (1984). Sismik Veri İşlem. Türkiye Petrolleri, 521s. Ankara.
- Carabelli, E., (1966). A New Tool for Archaeological Prospection The Sonic Spectroscope for The Dedection of Cavities, Prosp. Arch., 1, 25-35.
- Canitez, N., (1984). Jeofizikte Veri İşlem. İstanbul Teknik Üniversitesi, Teknik Üniversite Matbaası, 296s. İstanbul.
- Drahor, M.G., (1991). Metropolis Arkeojeofizik Çalışmaları. T.C. Kültür Bakanlığı, VIII. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, 81-86s, İzmir.
- Drahor, M.G., (1991). Arkeolojik Alanlarda Jeofiziksel Prospeksiyonun Önemi. T.C Kültür Bakanlığı, IX. Araştırma Sonuçları Toplantısı, Çanakkale.
- Drahor, M.G., Hesse A., Kaya, M.A., (1995). Sinop Amfora Atölyeleri Üzerinde Manyetik Çalışmaları, Jeofizik, 1-2, 7-12, Ankara.
- Drahor, M.G., Kaya, M.A., İlkışık M., Bayrak, M., (1995). Acemhöyük'ten Manyetik ve E.M Sonuçlar, XI. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, Ankara.
- Ercan, A., (1982). Elektrik Özdirenç Yöntemi, Elektrik Delgiler, İstanbul.
- Ercan, A., (1982). Elektrik Özdirenç Yöntemi, Elektrik Kaydırma, İstanbul.
- Ercan, A., (2000). Kazı Öncesi Arkeolojik Aramalarda Yeraltının Görüntüsünün Çekilmesi. İdol (Arkeoloji ve Arkeologlar Derneği Dergisi)9, 14-21s, Ankara.
- Ergin, K., (1981). Uygulamalı Jeofizik. İstanbul Teknik Üniversitesi, Teknik Üniversite Matbaası, 256s. İstanbul.
- Kaya, A., (1998). Türkiye'de Arkeojeofizik. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bitirme Tezi (yayınlanmamış), 27s, İstanbul.



- Kaya, M.A., Keçeli, D.A., Özyalin S., Uyanık, O., Çınar, K., Kalyoncuoğlu, Y., (1997). Pisidia Antiocheia'sı Roma Hamamı. Pisidia Antiocheia Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 50- 60s, Yalvaç Müzesi, Yalvaç.
- Kaya, M.A., (1998). Tarsus Cumhuriyet Alanı Arkeojeofizik Araştırma Raporu (yayınlanmamış).
- Raghu, K.C., Nagendra, R., Patangay, N.S., (1991). A Fortran Program For Computing Apparent Resistivity Over An İninitely Deep Outcropping Vertical Dike. Vol, 17, 1395-1408, United Kingdom.
- Wynn, J.C., Sherwood, S.I., (1984). The Self Potential (SP) Method an Inexpensive Reconnaissance and Archaeological Mapping Tool: Journal of Field Archaeology, 11, 195-204.
- Wynn, J.C., (1997). A Review of Geophysical Methods Used in Archaeology.
- Young, C.T., Droege D.R., (1986). Archaeological Applications of Resistivity and Magnetic Methods at Fort Wilkings State Park, Michigan, Gephysics, 51, 3, 568-575.
- Zoroğlu, L., (1996). Tarsus Cumhuriyet Alanı 1994 Yılı Kazı Çalışmaları, XVII. Kazı Sonuçları Toplantısı-II, Ankara.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selda ALTUNCU

Doğum Yeri : Turgutlu

Doğum Yılı : 1976

Medeni Hali : Bekar

### Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1991-1993 Turgutlu Lisesi

Lisans 1993-1997 Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık  
Fakültesi Jeofizik Mühendisliği.

Yabancı Dil: İngilizce

### İş Deneyimi:

1997-2000: Milli Eğitime Bağlı İlköğretim Okullarında ve Özel Dershanelerde  
Sözleşmeli İngilizce Öğretmenliği.

2000- : Süleyman Demirel Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi



**EKLER**

## EK-1

```

COMMON B1,B2,B3,T
      BIG=10E10
      PI2=8.*ATAN(1.)
      WRITE(*,10)
10     FORMAT(2X,'ENTRY OF INPUT PARAMETERS BEGINS')
      WRITE(*,20)
20     FORMAT(2X,'ENTER FIRST CENTRE POSITION (YF),STATION
      * SPACING (DY) AND NUMBER OF OBSERVATION POINTS (NP)!',2X)
      READ(*,*) YF,DY,NP
      WRITE(*,30)
30     FORMAT(2X,'ENTER REZISTIVITIES, FROM LEFT TO RIGHT
      * (B1,B2,B3) AND DIKE THICKNESS (T) !',2X)
      READ(*,*) B1,B2,B3,T
      WRITE(*,40)
40     FORMAT(2X,'ENTER DISTANCES "AO" AND "AM"',2X)
      READ(*,*) CR,P
      WRITE(*,50)
50     FORMAT(2X,'ENTER 1 IF "AN" IS FINITE',2X)
      READ(*,*) ICODE
      Q1=BIG
      IF(ICODE.NE.1) GO TO 70
      WRITE(*,60)
60     FORMAT(2X,'ENTER THE DISTANCE "AN" ',2X)
      READ(*,*) Q1
70     WRITE(*,80)
80     FORMAT(2X,'ENTER 1 IF "AB" IS INFINITE',2X)
      READ(*,*) ICODE
      Q2=2.*BIG
      IF(ICODE.EQ.1) GO TO 100
      WRITE(*,90)
90     FORMAT(2X,'ENTER THE DISTANCES "AB" ',2X)
      READ(*,*) Q2
100    WRITE(4,110)
110    FORMAT(10X,'OUTPUT PARAMETERS')
      WRITE(4,120) P,CR,Q1,Q2
120    FORMAT(2X,'AM=',2X,F8.2,2X, 'AO=',2X,F8.2,2X, 'AN=',
      * 2X,E13.6,2X, 'AB=',2X,E13.6)
      WRITE(4,130)
130    FORMAT(5X,'ERROR=0.001',5X,'NMAX=100')
      WRITE(4,140) B1,B2,B3,T
140    FORMAT(4X,'B1=',2X,F11.3,2X,'B2=',2X,F11.3,2X,'B3=',
      * F11.3,2X,'T=',2X,E13.6)
      W1=P-Q2
      W2=Q1-Q2
      G=PI2/(1./ABS(P)-1./ABS(Q1)+1./ABS(W2)-1./ABS(W1))
      Y=YF-DY
      WRITE(4,150)
150    FORMAT(4X,'DISTANCE (Y) ',4X, 'APP.RSSTY')
      DO 170 I=1,NP

```

```

Y=Y+DY
X=Y-CR
XX=X
CALL PROCESS(X,P,V1)
CALL PROCESS(XX,Q1,V2)
Z=Y-CR+Q2
ZZ=Z
CALL PROCESS(Z,W1,V3)
CALL PROCESS(ZZ,W2,V4)
C INTERMEDIATE COMPUTATION VARIABLES ARE V1,V2,V3,V4
C VOLTAGES FOR DIFFERENT CURRENT AND POTENTIAL ELECTRODE
C PAIRS VIZ., (AM), (AN), (BM), (BN) RESPECTIVELY.
APRES=G*(V1-V2-V3+V4)/PI2
C OUT PUT PARAMETERS ARE "Y" - COORDINATE OF CONFIGURATION
C REFERENCE POINT "O" W.R.T THE LEFT BOUNDARY OF THE DIKE
C AND "APRES" THE CORRESPONDING APPARENT RESISTIVITY.
WRITE(4,160) Y,APRES
160 FORMAT(5X,F6.2,5X,F10.4)
170 CONTINUE
STOP
END

SUBROUTINE PROCESS(X,P,VP)
COMMON B1,B2,B3,T
C THIS SUBROUTINE IDENTIFIES THE CASE CORRESPONDING TO
C EACH CURRENT POTENTIAL ELECTRODE LOCATION AND COMPUTES
C THE CORRESPONDING VALUE OF THE POTENTIAL.
R1=B1
R2=B2
R3=B3
A=P
C IF(P.GE.O) GO TO 10
C ALL THE TWO-ELECTRODE CASES CONSIDERED IN THE TEXT
C ASSUME THAT THE POTENTIAL ELECTRODE IS ALWAYS TO
C THE LEFT OF THE CURRENT ELECTRODE. OTHERWISE THE DIKE
C BOUNDARIES AND ACCORDINGLY THE LEFT AND RIGH
C RESISTIVITIES ARE INTERCHANGED BEFORE
C PROCEEDING WITH THE COMPUTATION.
R3=B1
R1=B3
A=ABS(P)
X=T-X
C ERROR DETERMINES THE ACCURACY OF THE INFINITE SUM.
10 ERROR=0.001
AK12=(R2-R1)/(R2+R1)
AK23=(R3-R2)/(R2+R3)
AK21=-AK12
AK32=-AK23
C=1-AK12
C1=1-AK23*AK23
C2=1-AK23
C3=1-AK21
C4=AK23*AK21
IF(X) 20,20,130
20 IF(X+A) 30,30,60
C CASE 1 (REFER FIG 2.a)
30 S=0.0
X=ABS(X)
NMAX=100

```

```

DO 40 N=1,NMAX
E1=C4**N
E2=(2*(N+1)*T+2*X-A)
T1=E1/E2
CALL SUMINF(T1,S,ERROR,INDEX)
IF (INDEX.EQ.2) GO TO 50
40 CONTINUE
50 S1=1/A
G2=2.*X-A
S2=AK12/G2
G4=(1-AK12*AK12)*AK23
G5=2.*T+2.*X-A
S3=G4/G5
VP=R1*(S1+S2+S3+G4*S)
RETURN
60 IF (X+A-T) 70,70,100
C CASE 2 (REFER FIG 2.B)
70 S=0
X=ABS(X)
DO 80 N=1,NMAX
E3=A+2*T*N
E4=1/E3
E5=(2.*(N+1)*T+2.*X-A)
E6=AK23/E5
E7=C4**N
T2=E7*(E4+E6)
CALL SUMINF(T2,S,ERROR,INDEX)
IF (INDEX.EQ.2) GO TO 90
80 CONTINUE
90 S4=1/A+AK23/(2*T+2*X-A)
F10=R2*C
VP=F10*(S4+S)
RETURN
C CASE 3 (REFER FIG 2.c)
100 S=0
X=ABS(X)
DO 110 N=1,NMAX
E8=C4**N
E9=2*N*T+A
T3=E8/E9
CALL SUMINF(T3,S,ERROR,INDEX)
IF (INDEX.EQ.2) GO TO 120
110 CONTINUE
120 E10=R3*C*C2
VP=E10*(1/A+S)
RETURN
130 IF (X-T) 140,140,210
140 IF (X-T+A) 150,150,180
C CASE 4 (REFER FIG 2.d)
150 S=0
X=ABS(X)
DO 160 N=1,NMAX
E11=C4**N
E12=2*N*T+2*X+A
S6=AK21/E12
E13=2*(N+1)*T+A
S7=C4/E13
E14=2*(N+1)*T-2*X-A
S8=AK23/E14

```

```

E15=2*(N+1)*T-A
S9=C4/E15
T4=(S6+S7+S8+S9)*E11
CALL SUMINF(T4,S,ERROR,INDEX)
IF(INDEX.EQ.2) GO TO 170
160 CONTINUE
170 G6=AK21/(2*X+A)
G7=C4/(2*T+A)
G8=AK23/(2*T-2*X-A)
G9=C4/(2*T-A)
S10=G6+G7+G8+G9
S11=1/A
VP=R2*(S11+S10+S)
RETURN
C CASE 5 (REFER FIG 2.e)
180 S=0
X=ABS(X)
DO 190 N=1,NMAX
E16=C4**N
E17=1/(2*N*T+A)
E18=AK21/(2*N*T+2*X+A)
T6=E16*(E17+E18)
CALL SUMINF(T6,S,ERROR,INDEX)
IF(INDEX.EQ.2) GO TO 200
190 CONTINUE
200 E19=AK21/(2*X+A)
E20=1/A
E21=R3*C2
VP=E21*(E20+E19+S)
RETURN
C CASE 6 (REFER FIG 2.f)
210 S=0
X=ABS(X)
DO 220 N=1,NMAX
E22=C4**N
E23=2*T*N+2*X+A
T7=E22/E23
CALL SUMINF(T7,S,ERROR,INDEX)
IF(INDEX.EQ.2) GO TO 230
220 CONTINUE
230 E24=AK23/(2*(X-T)+A)
E25=1/A
E26=1/(2*X+A)
VP=R3*(E25-E24+(S+E26)*AK21*C1)
RETURN
END

SUBROUTINE SUMINF(TC,SC,ERROR,INDEX)
C USUALLY ALL THE INFINITE SUMMATIONS ARE CARRIED OVER
C 100 TERMS.INDEX IS A DEVICE TO TERMINATE THE
C INFINITE SUM AFTER OBTAINING THE REQUIRED DEGREE OF
C ACCURACY.A VALUE OF 2 FOR INDEX STOPS THE INFINITE
C SUM. TC IS THE VALUE OF THE CURRENT TERM AND SC IS THE
C VALUE OF THE CURRENT SUM.
INDEX=1
SN=ABS(SC)*ERROR
IF(ABS(TC).LE.SN) INDEX=2
SC=SC+TC
RETURN

```

END

**EK-2**

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01  
 ERROR=0.001 NMAX=100  
 B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.700000E+00  
 DISTANCE (Y) APP.RSSTY  
 -2.00 15.7862 -1.50 16.9077  
 -1.00 17.0011 -0.50 23.5231  
 0.00 30.6756 0.50 28.9764  
 1.00 28.2734 1.50 26.2179  
 2.00 21.7017

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01  
 ERROR=0.001 NMAX=100  
 B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.400000E+00  
 DISTANCE (Y) APP.RSSTY  
 0.00 30.8852  
 0.50 28.1309  
 1.00 27.7842

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01  
 ERROR=0.001 NMAX=100  
 B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.500000E+00  
 DISTANCE (Y) APP.RSSTY  
 -2.50 21.4740  
 -2.00 22.8920  
 -1.50 29.5210  
 -1.00 16.8229  
 -0.50 16.9829

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01  
 ERROR=0.001 NMAX=100  
 B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.500000E+00  
 DISTANCE (Y) APP.RSSTY  
 -0.75 16.0818



-0.25	23.4997		
0.25	30.2189		
0.75	26.6202		
1.25	23.1043	1.75	30.6071
2.25	16.0854		

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.500000E+00

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

-1.00	16.0165	-0.50	16.9829
0.00	33.3441	0.50	28.9618
1.00	21.1682	1.50	28.5105

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.700000E+00

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

0.00	32.3022	0.50	28.9764
1.00	28.2734	1.50	26.2179
2.00	21.7017	2.50	23.5510
3.00	29.6405		

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.500000E+00

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

-0.50	34.0623	0.00	29.5223
0.50	28.3790	1.00	27.9288
1.50	20.7081	2.00	22.0093

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.500000E+00

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

-0.50	16.1655	0.00	33.3441
0.50	28.9618	1.00	21.1682
1.50	28.5105		

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01  
 ERROR=0.001 NMAX=100  
 B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.300000E+00  
 DISTANCE (Y) APP.RSSTY  
 0.00 31.7404 0.50 28.0913  
 1.00 21.8586 1.50 30.1138

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01  
 ERROR=0.001 NMAX=100  
 B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.200000E+01  
 DISTANCE (Y) APP.RSSTY  
 0.00 58.4695 0.50 30.3371  
 1.00 29.7829 1.50 36.1510  
 2.00 29.7408 2.50 20.0016  
 3.00 51.3596 3.50 28.6919  
 4.00 27.2727 4.50 30.1730

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01  
 ERROR=0.001 NMAX=100  
 B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.150000E+01  
 DISTANCE (Y) APP.RSSTY  
 -1.50 26.5295 -1.00 27.9711  
 -0.50 22.5067 0.00 26.7371  
 0.50 30.3829 1.00 33.0529  
 1.50 30.4989 2.00 25.8238  
 2.50 21.1573 3.00 25.5164  
 3.50 28.8895 4.00 31.5402  
 4.50 24.4820 5.00 18.1047  
 5.50 19.0640 6.00 19.4414  
 6.50 19.6280

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01  
 ERROR=0.001 NMAX=100  
 B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.150000E+01  
 DISTANCE (Y) APP.RSSTY

-3.00	26.8164	-2.50	29.5528
-2.00	31.5262	-1.50	16.8728
-1.00	16.9575	-0.50	23.4677
0.00	26.8148	0.50	34.0958
1.00	30.8357	1.50	27.6755
2.00	26.1604	2.50	22.2518
3.00	27.1438	3.50	28.4569
4.00	30.5684		

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.120000E+01

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

-2.00	31.1701	-1.50	16.8845
-1.00	16.9720	-0.50	23.4859
0.00	26.8382	0.50	31.3968
1.00	29.5739	1.50	26.9743
2.00	25.7493	2.50	22.7917
3.00	27.9144	3.50	29.5897

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.500000E+00

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

-0.50	34.0623	0.00	29.5223
0.50	28.3790	1.00	27.9288

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.500000E+00

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

-0.50	16.1655	0.00	33.3441
0.50	28.9618	1.00	21.1682
1.50	28.5105		

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.800000E+00

DISTANCE (Y)	APP.RSSTY		
0.00	25.5302	0.50	31.3856
1.00	26.3305	1.50	26.9035
2.00	30.0247	2.50	16.0439
3.00	25.7633	3.50	30.9486
4.00	25.1245	4.50	18.7552
5.00	19.3321	5.50	19.5811
6.00	19.7112	6.50	19.7879
7.00	19.8372	7.50	19.8707

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.500000E+00

DISTANCE (Y)	APP.RSSTY		
-0.50	16.1655	0.00	33.3441
0.50	28.9618	1.00	21.1682
1.50	28.5105		

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 1.00 AO= 1.50 AN= 0.200000E+01 AB= 0.300000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.100000E+01

DISTANCE (Y)	APP.RSSTY		
-1.50	26.6883	-1.00	29.5924
-0.50	16.9371	0.00	26.7829
0.50	34.7377	1.00	27.2281
1.50	25.9293	2.00	28.4155
2.50	15.9517	3.00	25.7124
3.50	34.2163	4.00	25.9287

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.800000E+00

DISTANCE (Y)	APP.RSSTY		
-1.00	16.0253	-0.50	23.5149
0.00	31.4093	0.50	29.3366
1.00	28.4773	1.50	26.3367
2.00	21.5362	2.50	23.4021
3.00	29.2224		

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.600000E+00

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

-1.50	15.7517	-1.00	17.0078
-0.50	23.5317	0.00	30.0538
0.50	28.6592	1.00	28.0913
1.50	26.1129	2.00	21.8586
2.50	23.7030		

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.000 T= 0.600000E+00

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

0.00	31.7404	0.50	28.6592
1.00	28.0913	1.50	26.1129
2.00	21.8586	2.50	23.7030

## OUTPUT PARAMETERS

AM= 2.00 AO= 3.00 AN= 0.400000E+01 AB= 0.600000E+01

ERROR=0.001 NMAX=100

B1= 20.000 B2= 80.000 B3= 20.800 T= 0.700000E+00

DISTANCE (Y) APP.RSSTY

-0.50	21.9122	0.00	31.2223
0.50	29.5189	1.00	28.8167
1.50	26.7010	2.00	22.0924
2.50	23.9344	3.00	29.9578