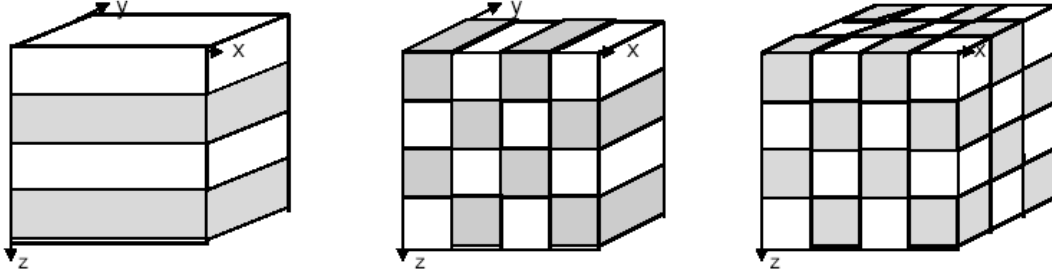


(Şekil 5.1.1.c) ve sonuçta x-y düzleminde istenen elektrod dizilimi için istenen elektrod mesafelerinde GÖ' ler hesaplanır. Bu GÖ değerleri ile paralele doğrultular boyunca birçok yapma-kesit verisi elde edilebilir.



Şekil 5.1.1. 1-B iletkenlik modeli (a), 2-B iletkenlik modeli (b), 3-B iletkenlik modeli (c) (Candansayar, 1997' den alınmıştır).

Modelleme yapabilmek için modeli tanımlayan bir matematiksel bağıntı gereklidir. 1-B modellemede bu bağıntı

$$\phi = \frac{I}{2\pi} \int_0^{\infty} T(\lambda) J_0(\lambda a) d\lambda$$

şekindedir (Koefod, 1970). Burada I yere uygulanan akım, $T(\lambda)$ dönüşük özdirenç fonksiyonu, $J_0(\lambda a)$ sıfırıncı dereceden birinci cins Bessel fonksiyonu ve ϕ ise gerilimdir. Denklem (1.1) ile ilgili ayrıntılı olarak Başokur' a (1984) bakılabilir. 2-B modellemede ise kullanılan bağıntı,

$$-\nabla(\sigma(x, z) \cdot \nabla \phi(x, y, z)) = I \delta(x - x_s) \delta(y) \delta(z)$$

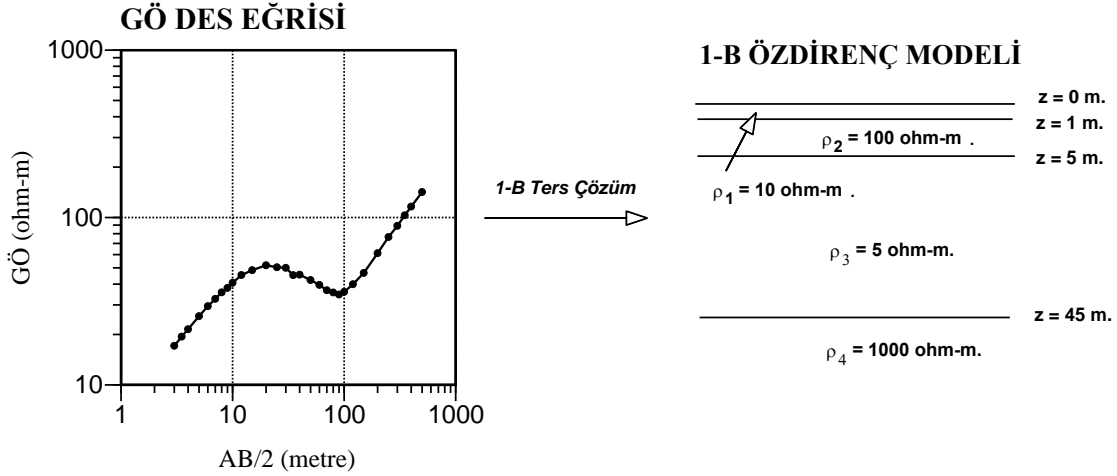
şeklinde tanımlanan Poisson denklemdir. Ayrıntı için Candansayar' a (1997) bakılabilir. 3-B modellemede ise (1.2) denklemi

$$-\nabla(\sigma(x, y, z) \cdot \nabla \phi(x, y, z)) = I(x, y, z)$$

şeklinde yazılır. Denklem (1.2) ve (1.3)' de kullanılan değişkenler izleyen bölümlerde verilmiştir. Yukarıda yazılan model bağıntıları sınır koşulları kullanılarak çözülür.

6. DAÖ VERİLERİNİN 1-B YORUMLANMASI VE 2B-YAPILARIN ETKİSİ

Bir noktada ölçülmüş DES verisi bize düşey yönde özdirenç değişimi hakkında bilgi verir. Bu nedenle bir tek DES verisi ile 1-B yorum yapılabilir. Bu verilerin nicel yorumunun yapılabilmesi için, verilere 1-B ters çözüm uygulanmalıdır.



Şekil 5.1. GÖ DES eğrisi ve 1-B ters çözüm sonucu elde edilen 1-B özdirenç modeli.

DES verilerinin 1-B ters çözümünde, yerinin özdirenç' e göre kendi içinde homojen ve izotrop katmanlardan oluştuğu varsayılır. Bu varsayım' a göre DES GÖ verilerine uygulanan ters çözüm sonucu bu tabakalara ait özdirenç ve kalınlıklar hesaplanır (Şekil 5.1). Bu konuda ayrıntılı bilgi için Inman(1975), Başokur' a (1984,1990,1999) bakılabilir. 1B ters çözüm yapan programlara günümüzde ücretsiz olarak internet sayfalarından ulaşılmaktadır. Örneğin, ülkemizde yaygın olarak kullanılan Prof.Ahmet T.Başokur' un IPES6 isimli programına "http://www.eng.ankara.edu.tr/geophysical_eng " veya "<http://jeofizik.ankara.edu.tr>" adreslerinden ulaşılabilir.

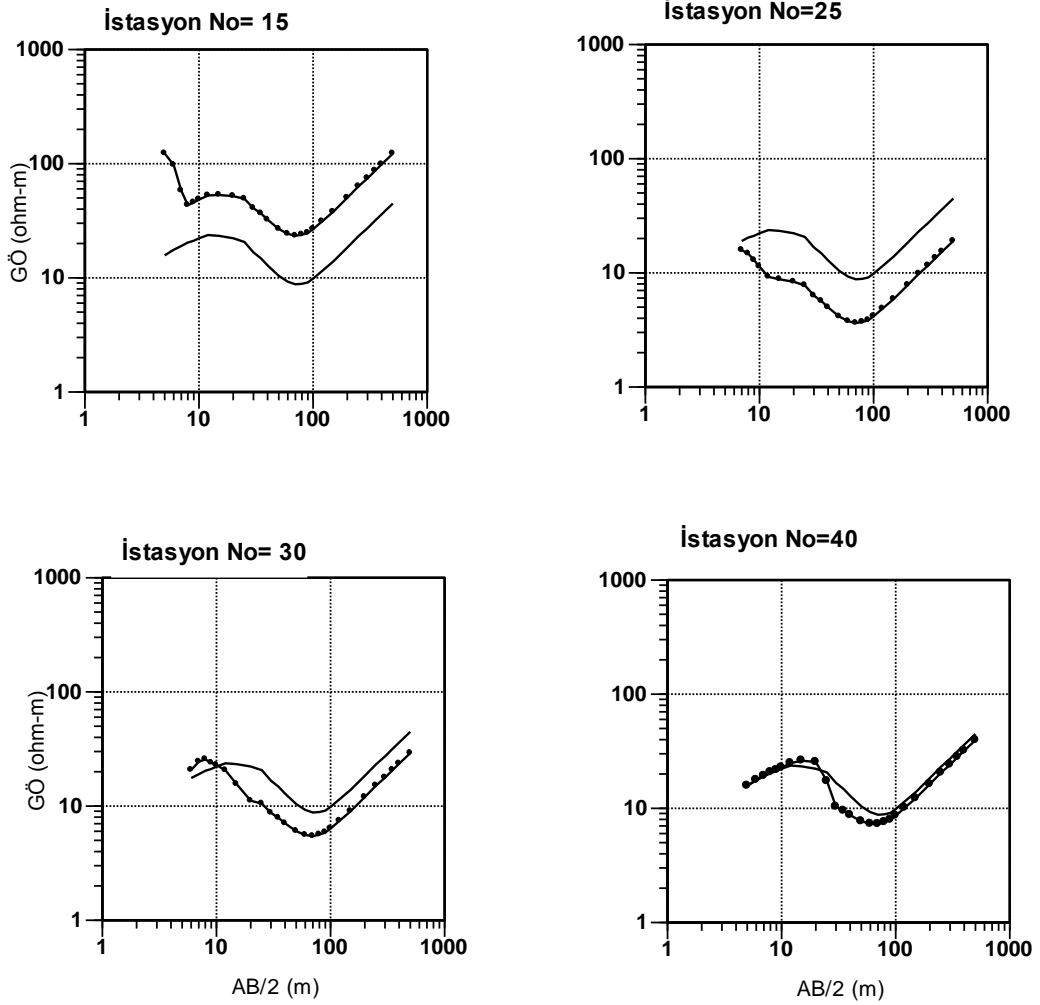
1-B yorumda yüzeye yakın küçük ölçekli 2-B ve 3-B' lu yapıların etkisi düşünülmelidir. İletkenliği çevresine göre çok küçük veya büyük olan bu tip yapılar, ölçülen GÖ DES verilerini büyük oranda değiştirirler. Bu yapıların etkisinden dolayı, DES eğrilerinin 1-B yorumlanması sırasında ortamda olmayan ince tabakalar bulunabilir. Yada tabakaların özdirenç değerleri olduğundan çok büyük yada küçük hesaplanabilir. Bu durum, uygulamacıların çok karşılaştıkları ve 1-B yorumda hata yapmalarına sebep olan önemli bir konudur.

Bu problemi daha açık anlatmak için Şekil 5.2' deki modeli ele alalım. Burada, tabakalı ortamda, yüzeye yakın küçük ölçekli bir yapı görülmektedir. Cismin eni 5 ve boyu ise 2 metre' dir. Cismin özdirenç ile tabakaların kalınlıkları ve özdirençleri ise şekil üzerinde yazılmıştır. Önce bu cismin olmadığı tabakalı durum (1-B) için Schlumberger elektrod dizilimine göre DES GÖ değerleri hesaplanmıştır. Bu cismin olması durumunda (2-B) ise 15, 20, 30 ve 40. metrelerde yine aynı dizilim için GÖ DES değerleri hesaplanmıştır.

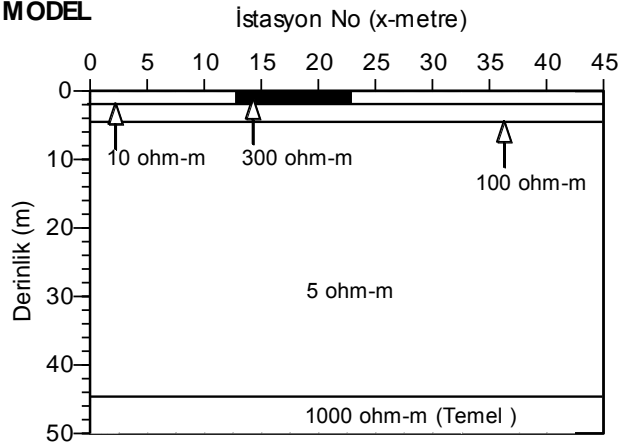
1-B model için hesaplanan GÖ DES eğrisi düz çizgi ve cismin olması durumu için hesaplanan DES eğrileri ise yuvarlak işaretli eğrilerdir. Tabakalı ortam için çizilen DES eğrisinin 4-tabakalı modeli temsil ettiği görülmektedir. Fakat cismin olması durumunda çizilen DES eğrilerine bakıldığında, özellikle cisme yaklaştıkça saçılmalar görülmektedir. Bu cismin varlığından habersiz olunduğunda, bu eğriler 5-tabakalı olarak değerlendirilebilirler. Ayrıca tam cismin üstünde (15 no' lu istasyon), 2-B model için hesaplanan DES eğrisinin, diğer eğriye paralel olarak yukarı doğru kaydığı görülmektedir. Bu etki, Manyetotellürik yönteminde olduğu gibi DAÖ yönteminde de kayma etkisi' nin (Shift effect) olduğunu göstermektedir.

Bu etkinin sebebi SKK' deki negatif ve pozitif katkı bölgeleri kavramları kullanılarak açıklanabilir. 15 no' lu istasyonun tam altında özdirenci, çevresine göre yüksek olan bir yapı vardır. Bu yapı gerilim elektrodları arasında kalmaktadır ve ölçülen GÖ değerlerini kendi özdirenci doğrultusunda artırmıştır. Bütün AB/2 değerleri için alınan ölçülerde, bu cisim gerilim elektrodları arasında kaldığından tüm DES eğrisi yukarı doğru sığramıştır. 20 no' lu istasyonda ise cisim A akım elektrodunun solunda, yani pozitif katkı bölgesinde kaldığından ve bu az da olsa ölçülen değeri artırmıştır. Diğer tüm AB/2 değerleri için ise, cisim A-akım ve M-gerilim elektrodu arasında, yani negatif katkı bölgesinde kalmıştır. Bu nedenle, ölçülen GÖ değeri, bu cismin özdirencinin tersi yönünde değişmiştir. Yani tüm eğride aşağı doğru bir kayma görülmüştür. 20 no' lu istasyondaki kaymış veriye 1-B ters çözüm yapılması durumunda, tabakaların kalınlıkları ve özdirençleri, gerçek değerinden çok farklı hesaplanacaktır. Özellikle 1-B yorum yapan uygulamacıların bu konuya önem vermeleri gerekmektedir.

1-B ve 2-B Modellerden Hesaplanan GÖ DES Eğrileri



2-B MODEL



Şekil 5.2. Tabakalı ortam (1-B) (sürekli eğri) ve örtü tabakasına gömülü özdirer yüksek küçük bir cismin olması durumunda (2-B) (yuvarlak sembol' lü e hesaplanan GÖ DES eğrileri ve 2-B model.

6.1. Schlumberger Elektrod Dizilimi ile Sondaj Ölçüsü Alma ve Değerlendirme

Düşey yönde yerinin özdirenç yapısını araştırma amaçlı uygulanan DAÖ yönteminde daha çok DES yöntemi kullanılır. Bu yöntemin uygulanmasında ise yaygın olarak Schlumberger elektrod dizilimi kullanılır. Bu dizilim için geometrik faktör ve GÖ bağıntıları tekrar aşağıdaki gibi verilebilir.

$$k = \frac{\pi}{4} \overline{MN} \left[\frac{\overline{AB}^2}{\overline{MN}^2} - 1 \right], \quad \rho_a = k \frac{\Delta\phi}{I}$$

Burada $\Delta\phi$ ölçülen gerilim farkı (milivolt) ve I ise yere uygulanan akımdır (mili Amper). GÖ' in birimi ise ohm-m dir. Hesaplanan GÖ değeri log-log kağıtta yerine konur ve yeni $\overline{AB}/2$ değeri için ölçüye geçilir. Bu konu çok önemlidir. Arazide, işçilik hataları, elektrodlar arası uzaklığın yanlış belirlenmesi ve benzeri yanlışlıkları kontrol etmek için GÖ değeri log-log kağıda işaretlenmeden bir sonraki $\overline{AB}/2$ konumuna geçilmemelidir. Arazide yapılan yanlışlık, arazide düzeltilmelidir.

Tablo 6.2' de genel olarak DES ölçüsü almada kullanılan Schlumberger elektrod dizilimi için bir örnek ölçü karnesi görülmektedir. Bu dizilimde, elektrik alanın ölçüldüğü varsayılmaktadır. Bu nedenle, Schlumberger diziliminde dikkat edilmesi gereken en önemli konu; akım elektrodları arasındaki mesafenin, gerilim elektrodları arasındaki mesafenin en az 5 katı olmasıdır ($\overline{AB} \geq 5\overline{MN}$) (Bhattacharya ve Patra, 1968, Sayfa 8).

Kuramsal olarak elektrik alan ölçülmek istendiğinden \overline{MN} mesafesinin çok küçük olması gerekir. Fakat uygulamada, $\overline{AB}/2$ mesafesi artırıldıkça, artık gerilim farkı aletin ölçemeyeceği kadar küçülür bu durumda \overline{MN} mesafesi artırılır. Arazide bunu artırırken; örneğin \overline{MN} nin ilk değerinde ardarda iki $\overline{AB}/2$ mesafesi için ölçüler alınır. Daha sonra \overline{MN} mesafesi artırılır ve bir önceki $\overline{AB}/2$ mesafeleri için tekrar ölçü alınır. Bunun sebebi ise, ölçü alımı tamamlandıktan sonra, veri işlem aşamasında, sabit \overline{MN} değerleri için çizilmiş GÖ eğrilerini birleştirmektir.

Bunu daha açık göstermek için, Tablo 6.3' de görülen arazide Schlumberger dizilimi için ölçülmüş GÖ değerlerini ele alalım. Bu değerler kullanılarak çizilen GÖ DES eğrileri Şekil 6.1' de görülmektedir. Burada görüldüğü gibi farklı \overline{MN} değerleri için GÖ eğrileri parçalı durumdadır. Bu verinin yorumu için parçalı bu eğrileri birleştirmek gerekmektedir. Bu eğriler birleştirilirken önce soldan ilk iki parça ele alınır. Bu eğrilerden soldaki sabit kalır ve bunun sağındaki parça diğerine paralel olarak kaydırılarak bu iki eğri birleştirilir. Kaydırma işlemi yapılırken akım elektrodlarının sabit bir konumu için iki \overline{MN} mesafesi için GÖ değerleri vardır. Bu GÖ değerlerinin oranlarına bakılır. Örneğin \overline{MN}' nin büyük değeri için ölçülen GÖ' in, \overline{MN}' nin küçük değeri için ölçülen GÖ' e oranı hesaplanıyorsa, \overline{MN}' nin

büyük değeri için ölçülen GÖ değerleri, bulunan oran değerine bölünür. Eğer ardarda iki nokta için akım elektrodlarının sabit değerleri için, iki farklı \overline{MN} değerlerinde GÖ ölçülmüş ise, iki oran değeri bulunacaktır. Bu durumda ise, \overline{MN} ' nin büyük değeri için ölçülen GÖ değerleri, bu iki oran değerinin geometrik ortalamasına bölünerek kaydırma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem Tablo 6.1' de açıklanmaktadır. Bu şekilde, sağdaki eğri soldaki ile birleştirilmiş olur (Şekil 6.1b).

Tablo 6.1. Farklı MN değerleri için ölçülen eğrilerin üst üste çakıştırılması

AB/2	MN	GÖ (ohm-m)	Oranlar	Geometrik Ortalama
5	0.5	17.3	$O1=20.1 / 17.3 = 1.16$	$G.Ort. = \sqrt{O1.O2}$
5	1	20.1		
6	0.5	21.0	$O2=23.2 / 21=1.1$	
6	1	23.2		

Daha sonra birleştirilen bu eğrinin sağındaki ilk parça' da aynı şekilde birleştirilir. Tüm eğriler tek eğri haline gelinceye kadar bu birleştirme işlemine devam edilir. Sonuçta Şekil 6.2' deki gibi sürekli bir eğri elde edilmiş olur. Nicel yorum için ise elde edilen bu sürekli GÖ DES eğrisine 1-B ters çözüm uygulanır. Ters çözüm sonucu, ölçü alınan nokta altındaki tabakalı ortama ait özdirenç ve kalınlıklar hesaplanmış olur.

Elde edilen bu sürekli eğrilerin değerlendirilmesinde, eskiden belli tabakalı modeller için hesaplanmış model eğrileri kullanılırdı (Mooney ve Wetzel, 1956; LaCampagnie, Geophysique, 1963). Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisine bağlı olarak, DES verilerinin yorumlanmasında 1-B ters çözüm tekniği bir standart olmuştur.

6.2. Ölçü Karnesi Nasıl Hazırlanır?

DAÖ yönteminde, DES ölçüsü genellikle Schlumberger elektrod dizilimine göre alınır. Bu dizilim ile DES ölçüsü alınırken, elektrodlar logaritmik olarak açılır. Elektrodların doğrusal değil de logaritmik açılmasının sebepleri;

- 1- Doğrusal açılımda, çok fazla ölçü alınması gerekecektir. Örneğin AB/2=2' metreden başlayarak AB/2=100 metreye kadar açarak ölçü alalım. Ardışık iki AB/2 değeri arasındaki artım sabit 2 metre oldun. Bu durumda 51 (100/2+1) farklı AB/2 açıklığı için ölçü almak gerekecektir.
- 2- DAÖ yönteminde ölçülen büyüklük yarım küre hacminin cevabıdır. Elektrod açıklığı arttıkça yarım küre çapı büyüyecektir ve bu yarım küre içinde kalan farklı özdirençli birimlerin toplam katkısı olan gerilim farkı ölçülecektir. Yani, büyük elektrod açıklıkları için, örneğin AB/2=90m ve AB/2=92 metre için ölçülen gerilim farkı değerleri arasındaki fark alet hassasiyetinin altında kalabilecektir. Örneğin bu iki gerilim farkından elde edilen GÖ değerleri arasındaki fark ihmal edilecek kadar küçük olacaktır.

Ölçü karnesi hazırlanırken, öncelikle bir logaritmik dönemde kaç farklı AB/2 değeri için ölçü alınacağına (M-örnekleme sayısına) karar verilir. Genelde bir logaritmik dönemde örnekleme sayısı M=8 -10 aralığında seçilir. Bu durumda örnekleme aralığı (d) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D=10^{1/M}$$

Schlumberger dizilimi için ölçü karnesi hazırlarken akım elektrodları arası mesafenin (AB) en az gerilim elektrodları arasındaki mesafenin (MN) beş katı olmalıdır ($AB > 5 \cdot MN$) (Van Nostrand ve Cook, 1966). Bu mesafenin teoride sonsuz küçük olması istenmektedir. Ancak pratikte AB mesafesinin, MN mesafesine göre çok büyük seçilmesi, bazı durumlarda aletin duyarlılığından küçük gerilim fark değeri ölçülmesine neden olabilir. Bunu engellemek için genelde AB mesafesinin, MN mesafesine göre şu aşağıdaki aralıkta olmasına dikkat edilir.

$$15 - 40(\overline{MN}) > \overline{AB} > 5\overline{MN}$$

Genel olarak yukardaki açıklamaya göre bir ölçü karnesi hazırlamak için aşağıdaki program parçası kullanılabilir (Kutu 6.2).

Kutu 6.2. Schlumberger Elektrod Dizilimi için DES ölçü karnesi hazırlayan program parçası.

```
% -----  
% Schlumberger Dizilimi için DES Ölçü karnesi  
% JFM 316 Elektrik Yöntemler  
% Ankara Üniversitesi (27.02.2014- MEC)  
% -----  
clear all, close all, clc  
m=10; %örnekleme oranı-bir logaritmik döneme düşecek veri sayısı  
d=10^(1/m); % örnekleme aralığı  
AB_MAX=1000; %Açılmak istenen en büyük AB/2 değeri (metre)  
AB_MIN=2; %Açılmak istenen en küçük AB/2 değeri (metre)  
AB(1)=AB_MIN; MN(1)=AB/5; i=1;  
while AB(i)<AB_MAX  
    i=i+1;  
    AB(i)=AB(i-1)*d;  
    MN(i)=MN(i-1);  
    if AB(i)>20*MN(i);  
        MN(i+1)=MN(i)*5; MN(i+2)=MN(i); MN(i+3)=MN(i)*5;  
        AB(i+1)=AB(i); AB(i+2)=AB(i+1)*d; AB(i+3)=AB(i+2);  
        i=i+3;  
    end  
end  
AB2=round(AB); MN2=MN;  
k(1,:)=pi/4*MN.*(AB.*AB)./(MN.*MN)-1); % ---Geometrik Faktör-K  
size(k), size(MN)  
display('No AB/2 (m) MN/2 (m) k (m)')  
[(1:i)' AB2' MN2' k']
```

Tablo 6.2. Schlumberger dizilimi ölçü karnesi.

SCHLUMBERGER ELEKTROD DİZİLİMİ ÖLÇÜ KARNESİ

TARİH: .../.../20...

ÇALIŞILAN ALAN:

PROFİL NO :

ÖLÇÜYÜ ALAN :

KOORDİNAT :

AÇIKLAMA :

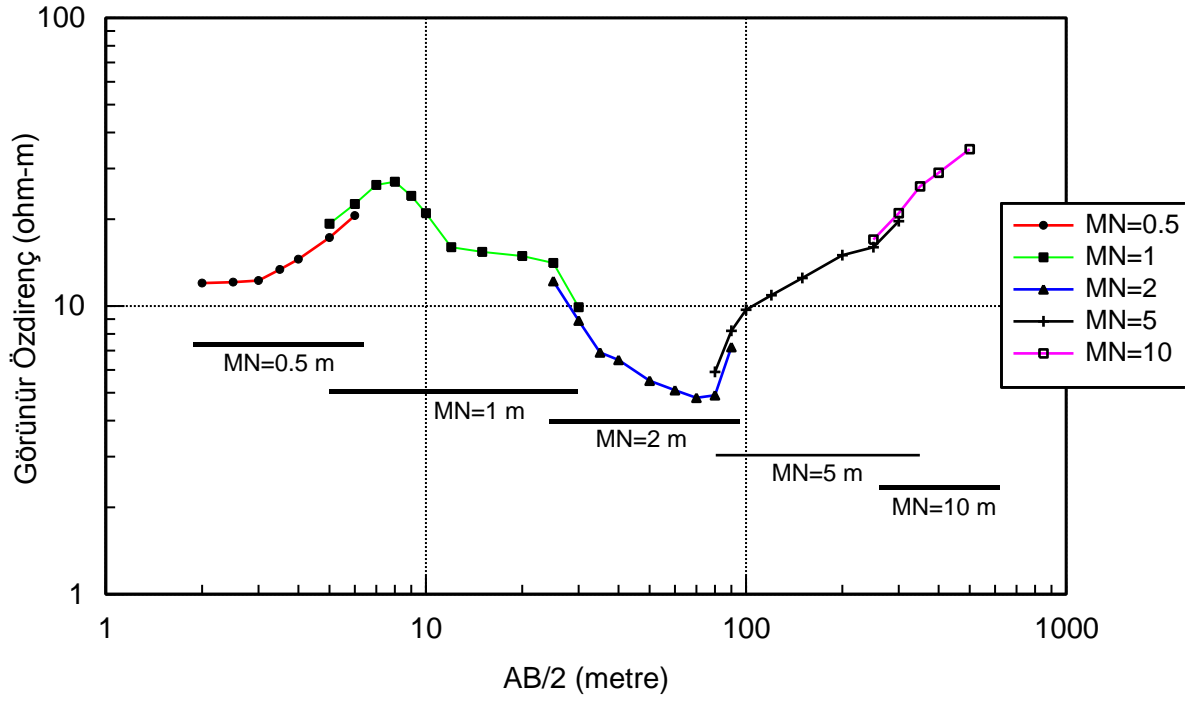
No	AB/2(m)	MN/2(m)	K(m)	I (mA)	Att	Ver.	Skala	ΔV	ρ_a
1	2	0.4	7.5						
2	3	0.4	19.4						
3	4	0.4	31.0						
4	5	0.4	49.2						
5	6	0.4	78.2						
6	8	0.4	124.2						
7	10	0.4	197.0						
8	10	2	37.9						
9	13	0.4	312.4						
10	13	2	61.0						
11	16	2	97.5						
12	20	2	155.5						
13	25	2	247.4						
14	32	2	393.0						
15	40	2	623.8						
16	50	2	989.5						
17	50	10	190.4						
18	63	2	1569.2						
19	63	10	306.3						
20	80	10	490.1						
21	100	10	781.3						
22	126	10	1242.8						
23	159	10	1974.4						
24	200	10	3133.7						
25	200	50	589.0						
26	252	10	4971.2						
27	252	50	956.5						
28	317	50	1539.0						
29	399	50	2462.1						
30	502	50	3925.2						
31	632	50	6243.9						
32	796	50	9918.9						
33	1002	50	15743.4						

$$K = \frac{\pi}{4} MN \left[\frac{AB^2}{MN^2} - 1 \right]$$

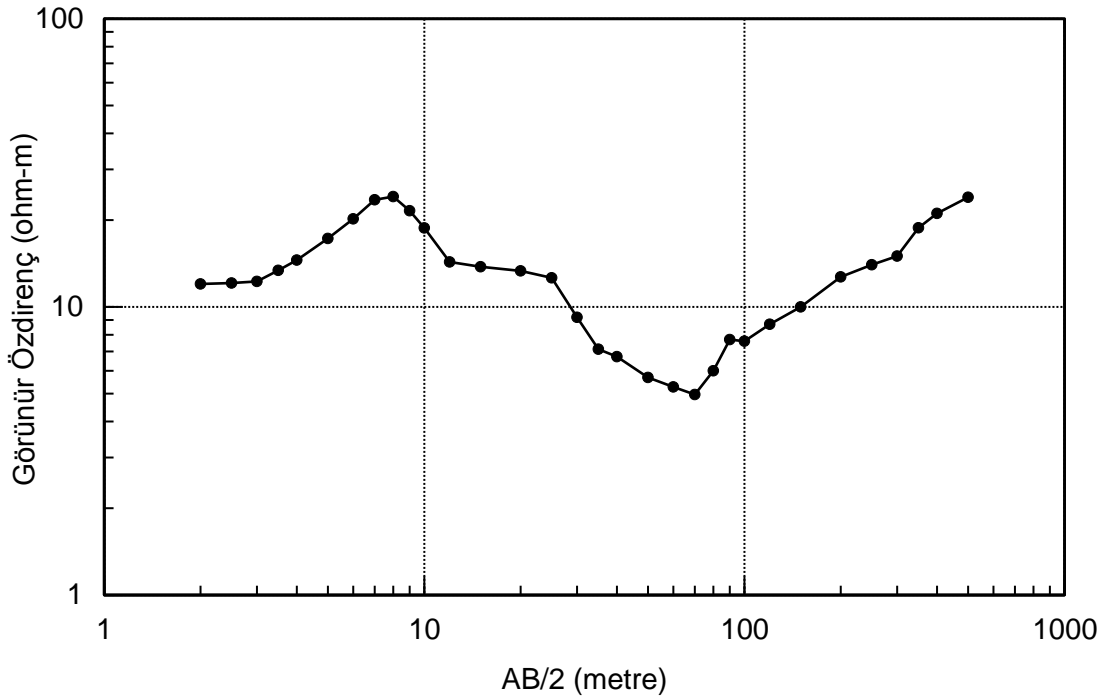
$$\Delta V = \frac{Sakala * Att}{10 * Verniye}$$

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

(a)



(b)



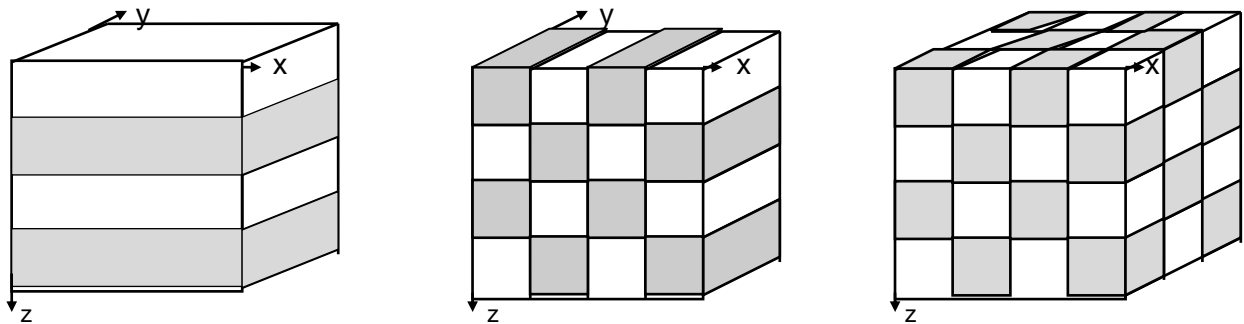
Şekil 6.1. (a) Farklı \overline{MN} mesafeleri için çizilmiş Schlumberger GÖ DES eğrileri. Düz çizgi eğrilerin kaydırılması ile bulunan DES eğrisi. (b) Elde edilen GÖ DES eğrisi.

7. DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNDE 2B ve 3B MODELLEME VE TERS ÇÖZÜM

7.1. Modelleme

Modelleme, varsayılan bu modelin jeofizik tepkisinin matematiksel bir bağıntı ile tanımlanması ve bu bağıntı yardımıyla ölçülmesi beklenen değerleri sayısal olarak hesaplamak şeklinde tanımlanabilir.

Ölçülen jeofizik verilerin yeterliliğine göre nitel yorum yapılırken yerçi 1-B, 2-B veya 3-B bir model ile ifade edilir. Bu modelin jeofizik tepkisi ise ters çözümde kuramsal veri olarak kullanılır. DAÖ verilerinin 1-B modellemesinde, iletkenlik dağılımına göre yerçinin homojen ve izotrop katmanlardan oluştuğu varsayılır (Şekil 2.1.a) ve sonuçta istenilen elektrod dizilimi için GÖ düşey elektrik sondajı verileri hesaplanır. 2-B modellemede ise yerçinin iletkenliğinin x ve z yönünde değişen y yönünde sabit kalan bloklardan oluştuğu varsayılır (Şekil 2.1.b) ve sonuçta GÖ yapma-kesit verileri hesaplanır. 3-B modellemede ise yerçi, iletkenliğe göre kendi içinde homojen ve izotrop küpler' den oluştuğu varsayılır (Şekil 2.1.c) ve sonuçta x-y düzleminde istenene elektrod dizilimi için GÖ' ler hesaplanır.



Şekil 1.1-B iletkenlik modeli (a), 2-B iletkenlik modeli (b), 3-B iletkenlik modeli (c).

Modelleme yapabilmek için modeli tanımlayan bir matematiksel bağıntı gereklidir. 1-B modellemede bu bağıntı

$$\phi = \frac{I}{2\pi} \int_0^{\infty} T(\lambda) J_0(\lambda a) d\lambda \quad (7.1)$$

şeklinde (Koefod, 1970). Burada I yere uygulanan akım, $T(\lambda)$ dönüşük öz direnç fonksiyonu, $J_0(\lambda a)$ sıfırıncı dereceden birinci cins Bessel fonksiyonu ve ϕ ise gerilimdir. Denklem (1.1) ile ilgili ayrıntılı olarak Başokur' a (1984) bakılabilir. 2-B modellemede ise kullanılan bağıntı,