

YANAL SÜREKSİZLİKLERİN ARAŞTIRILMASINDA İKİ ELEKTROT VE YARIM-SCHLUMBERGER ELEKTROT DİZİMLERİNİN KULLANILMASI

An Investigation of Lateral Discontinuities By Using Two Electrode and Half Schlumberger Arrays

Mustafa AKGÜN*

ÖZET

Özdirenç yönteminde, yanal yönde süreksizlik oluşturan yapıların (düşey fay ve dayk vd) araştırılması genellikle iki elektrot veya yarım-Schlumberger elektrot dizimleri kullanılarak profil ölçüleri şeklinde yapılır. Verilerin yorumlanmasında ise kuramsal olarak elde edilmiş anomaliler ile arazi verileri karşılaştırılarak yapı parametrelerine ulaşılmaya çalışılır.

Bu tür uygulamalarda kuramsal çalışmalar genellikle görüntü kuramı temel alınarak yapılır. Bu çalışmada görüntü kuramı kullanılarak yapılan çalışmada, profil boyu, yapının yeri ve genişliği, elektrot açıklığı, kayma miktarı ve yansıma katsayısına bağlı olarak çok farklı biçimlerde anomaliler elde edilmiştir.

Bu çalışmada yukarıda tanımlanan parametrelerin görünür özdirenç değerleri ve anomali şekli üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Yapılan kuramsal çalışmalar sonucunda profil boyu, elektrot açıklığı ve ölçü alma aralığındaki değişimlerin görünür özdirenç anomalilerinin biçimini değiştirdiği saptanmıştır. Özellikle arazi çalışmalarında olası en belirgin anomaliyi elde etmek için ölçü al-

ABSTRACT

In the resistivity method lateral discontinuity's (ie. vertical faults and dykes etc.) are usually investigated using the TWO ELECTRODE or HALF SCHLUMBERGER arrays along profiles. Parameters of the subsurface are obtained by comparing theoretical anomalies with observed data during the interpretation.

In such applications, theoretical studies usually based on the image theory. Different type anomalies, which depend on the length of the profile, location and width of the structure, electrode interval, sampling interval and reflection coefficients are obtained using image theory.

In this study, the effects of parameters described above on the apparent resistivity and anomaly forms are analysed in detail. Through the modelling studies, it was determined that profile length, electrode spacing and measurement interval affect the forms of apparent resistivity anomalies. In order to obtain the high-resolution anomaly, narrow measurement intervals should be preferred. In the

ma aralığı küçük seçilmelidir. Diğer bir deyişle, ölçü alma aralığı, elektrot açıklığının 1/3 den fazla olmamalıdır. Ayrıca, Ergili-Bandırma yöresinde bulunan ve geometrisi bilinen Kösemtuğ Tümülüsü üzerinde iki elektrot ve yarım-Schlumberger yöntemleri uygulanarak sonuçları karşılaştırıldığında; yarım-Schlumberger diziliminin yapı ayrımlılığında daha başarılı olduğu görülmüştür.

other word, measurements, interval should not be more than 1/3 of the electrode spacing. Also the two electrode and half Schlumberger methods were applied on the Kösemtuğ Tumulus in region of Ergili-Bandırma, where the geometry known, by the comparison of results the half Schlumberger array was seen to give better parameter resolutions.

GİRİŞ

Günümüzde özdirenç profil ölçümleri, yanal süreksizliklerin (Cheng 1980, Karous and Pemu 1985, Mundry 1984, Schulz and Tezcan 1988) ve özellikle arkeolojik alanlarda gömülü dayk ve benzeri yapıların araştırılmasında başarılı şekilde kullanılmaktadır (Pınar ve Akçığ 1992, Candansayar, E., 1997).

Ülkemizde bu tür yapıların araştırılmasında yaygın olarak iki elektrot veya yarım-Schlumberger dizilim sistemleri profil bazında uygulanmaktadır (Pınar ve Akçığ 1992). Elde edilen görünür özdirenç verilerinin yorumlanmasında, görüntü kuramına bağlı olarak oluşan özdirenç anomalilerinin biçimlerinden yararlanılmaktadır. Görüntü kuramı, çeşitli yayınlarda, düşey fay ve dayk 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 (Telford ve diğ., 1987, Keller ve Frischknecht, 1970 ve Zhdanov ve Keller, 1994).

Bu çalışmada, Telford ve diğ. (1987) ile Keller ve Frischknecht (1970) tarafından verilen bağıntılar yorumlanarak uygulamada kullanılacak; çeşitli dizilim sistemlerindeki anomali biçimleri ve parametre seçim kriterleri belirlenmiştir. Belirleme için önce dayk biçimli yapılar için görüntü kuramı kullanılarak iki elektrot ve yarım-Schlumberger dizilim sistemlerine göre görünür özdirenç bağıntıları oluşturulmuştur. Daha sonra bu denklemler ayrıntılı bir şekilde incelenerek görünür özdirenç değerlerini hangi parametrelerin; diğer bir deyiş-

le L (profil boyu), b (yapı genişliği), a (elektrot açıklığı), dx (ölçü noktaları arasındaki uzaklık) ve k (ortamın özdirenç farklılığına bağlı sabit) değerlerinin nasıl etkilediği ve bu parametrelere bağlı olarak hangi koşulların oluşabileceği araştırılmıştır. Daha sonra daykın genişliği profil boyuna göre çok büyük alınarak aynı irdelemeler fay türü yapılar için yapılmıştır. Böylece arazi çalışmalarında farklı dizilim ve parametrelerin kullanılmasıyla elde edilebilecek görünür özdirenç anomalileri verilmiştir. Daha sonra bu dizilimler ile arazi ölçüleri de alınarak elde edilen sonuçlar kuramsal çalışmalarla birlikte ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Ayrıca Bandırma-Kösemtuğ tümülüsü üzerinde iki elektrot ve yarım-Schlumberger dizilimlerinin birbirine göre sınamaları yapılarak yapı parametrelerindeki ayrımlılıkları karşılaştırılmıştır.

KURAM

Görünür özdirenç bağıntıları

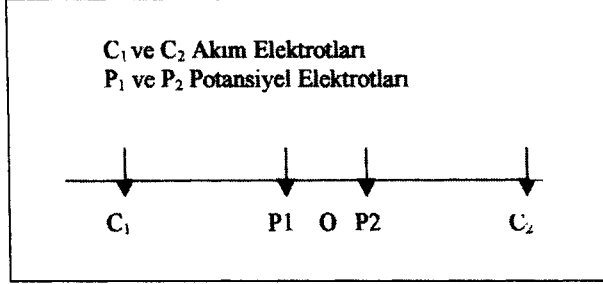
Arazi çalışmalarında herhangi bir dizilim sistemine göre görünür özdirenç değerleri

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} \frac{1}{\left\{\left(1/a_1 - 1/a_2\right) - \left(1/a_3 - 1/a_4\right)\right\}} \quad (1)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanır (Şekil 1). İki elektrot dizilim sisteminde C2 ve P2 elektrotları profil yönüne dik olacak şekilde

$$a_1=a \text{ ve } a_2=a_3=a_4=\infty$$

koşullarına göre yerleştirilir. Ölçü alınırken C₁ ve P₁ elektrotları profil yönünde a aralığı sabit tutularak "dx" aralıklarla kaydırılır. Her ölçü noktasında görünür özdirenç değeri



Şekil 1. Ortak kullanım için elektrot dizilimi.
Figure 1. Electrode array in common use.

$$\rho_a = \frac{2\pi a \Delta V}{I} \quad (2)$$

dır. P_1 noktası ölçü noktası kabul edilerek çizimler yapılır. Benzer şekilde yarım-Schlumberger dizilim sisteminde C_2 akım elektrotu profil yönüne dik olarak uzak bir noktaya yerleştirilir. P_1 - P_2 aralığı a uzaklığına göre çok küçük seçildiğinde görünür öz direnç değerleri için

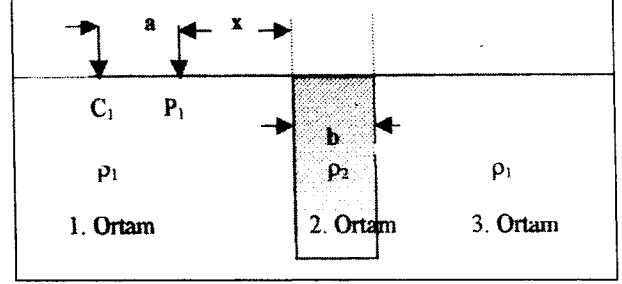
$$\rho_a = \frac{2\pi a^2}{I} \left(\frac{\partial V}{\partial a} \right) \quad (3)$$

bağıntısı verilir (Telford ve diğ., 1987). Ölçülen değer P_1 - P_2 nin orta noktasın atılarak çizimler yapılır. Kuramsal çalışmalarda; görüntü kuramına göre elde edilen ΔV ve $\partial V/\partial a$ değerleri (2) ve (3) bağıntılarında kullanılarak kuramsal görünür öz direnç değerleri elde edilir.

Görüntü Kuramı

Profil ölçümleri, yanal süreksizlik oluşturan bir yapıyı (Şekil 2) araştırmak için herhangi bir dizilim kullanılarak yapıldığında, yanal süreksizlik sınırının etkisi ile oluşabilecek koşullar görüntü kuramıyla açıklanır.

Görüntü kuramına göre, C_1 akım kaynağının M sınırındaki yansımaları nedeniyle dayk içinde C_1 ' görüntüsü oluşur. Benzer şekilde N sınırındaki yansımaları nedeniyle de C_1 ' görüntüsü oluşur. M ve N sınırlarından kaynaklanan bu yansımalar C_1 in görüntüleri olarak sonsuz bir seri şeklinde devam eder (Şekil 2). Bu durumda P_1 noktasında hesaplanacak potansiyel değerleri, C_1 ve P_1 elektrotlarının daykın sınırlarına olan ko-



Şekil 2. Düşey dayk sınırına göre akım elektrotunun görüntüleri.

Figure 2. Images of current electrodes according to vertical dike boundaries.

numlarına bağlı olarak hesaplanır. Bu sistem, dx aralıklarla bir profil boyunca kaydırıldığında C_1 ve P_1 elektrotlarının dayk sınırına göre konumlarına bağlı olarak oluşabilecek koşullara göre potansiyel değerleri (Telford ve diğ., 1987; Keller ve Frischknecht 1970; Zhdanov ve Keller (1994)'de verilen bağıntılar ortak kullanılarak aşağıda verilmiştir. Bağıntılarda ölçü noktası P_1 kabul edilerek görünür öz direnç anomali çizimleri yapılmıştır. Ayrıca bağıntıların tümünde

ρ_1 ve ρ_2 = Ortamların gerçek öz direnci

$$K_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

$$K_{21} = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$$

a = C_1 - P_1 arasındaki uzaklık

b = Dayk genişliği

x = P_1 (ölçü noktası) noktasının fay ve dayk sınırına olan uzaklığı

tanımlamaları geçerlidir. Aşağıda düşey dayk ve fay yapıları için koşullar iki elektrot ve yarım-Schlumberger elektrot dizilimleri için ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yarım-Schlumberger elektrot diziliminde P_1 - P_2 uzaklığı çok küçük alınarak potansiyel elektrotu P_1 olarak kabul edilmiş ve böylece iki elektrot ve yarım-Schlumberger elektrot dizilimleri için koşullar ortak olarak irdelenmiştir.

Düşey Dayk yapısı**a) C₁ ve P₁ elektrotlarının birinci ortamda olması****(1. Koşul)**

Bu koşul profil başlangıcının dayk sınırına olan uzaklığı elektrot açıklığından büyük olduğunda a, b ve dx parametrelerinden bağımsız olarak daima oluşur. Bu durumda P₁ noktasında oluşan potansiyel (Şekil 3a).

$$\Delta V = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{a} + \frac{K_{12}}{2x+a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1-K_{21}^2)K_{21}^{(2n-1)}}{(2x+2nb+a)} + \sum_{u=1}^{\infty} \frac{K_{12}^{(1-K_{21})}K_{21}^{(2n-1)}}{(2nb-a)} \right\} \quad (4)$$

$$\frac{\partial V}{\partial a} = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{a^2} + \frac{K_{12}}{(2x+a)^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1-K_{21}^2)K_{21}^{(2n-1)}}{(2x+2nb+a)^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{12}^{(1-K_{21})}K_{21}^{(2n-1)}}{(2nb-a)^2} \right\} \quad (5)$$

verilir (Keller ve Frischknecht 1970).

b) C₁ elektrotunun birinci ortamda P₁ elektrotunun ikinci ortamda olması (2. Koşul)

Bu koşulun oluşabilmesi için daima dx < a ve a < b olması gerekir (şekil 3b). Bu durumda ölçü noktası daykın içinde olup potansiyel bağıntıları

$$\Delta V = \frac{\rho_2(1-K_{12})}{2\pi} \left[\frac{1}{a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{(2n-1)}}{(2nb-2x+a)} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{2n}}{(2nb+a)} \right] \quad (6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial a} = \frac{\rho_2(1-K_{12})}{2\pi} \left[\frac{1}{a^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{(2n-1)}}{(2nb-2x+a)^2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{2n}}{(2nb+a)^2} \right] \quad (7)$$

dır (Keller ve Frischknecht 1970).

c) C₁ elektrotunun birinci ortamda P₁ elektrotunun üçüncü ortamda olması (3 Koşul)

Bu durum ancak daykın çok ince olması (a >> b) koşulunda geçerli olup (Şekil 3c) potansiyel bağıntıları

$$\Delta V = \frac{I\rho_1(1-K_{12}^2)}{2\pi} \left[\frac{1}{a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{12}^n}{(2nb+a)} \right] \quad (8)$$

$$\frac{\partial V}{\partial a} = \frac{I\rho_1(1-K_{12}^2)}{2\pi} \left[\frac{1}{a^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{12}^n}{(2nb+a)^2} \right] \quad (9)$$

ile ifade edilir. (8) ve (9) bağıntılarına göre bu koşul oluştuğu sürece potansiyel değerleri x değerinden bağımsız olduğu için sabit değer alır (Şekil 3c).

d) C₁ ve P₁ elektrotlarının ikinci ortamda olması (4. Koşul)

Bu koşulun oluşabilmesi için a << b ve dx << a olması gerekir. Bu koşulda ölçü noktası ve akım elektrotlarının her ikisi de daykın içinde kalmaktadır. Oluşan potansiyel değerleri

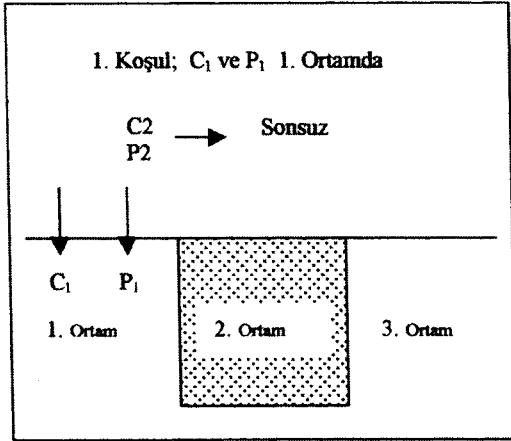
$$\Delta V = \frac{\rho_2 I}{2\pi} \left[\frac{1}{a} + \frac{K_{21}}{2x-a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{(2n-1)}}{(2nb-2x+a)} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{2n}}{(2nb+a)} \right] \quad (10)$$

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

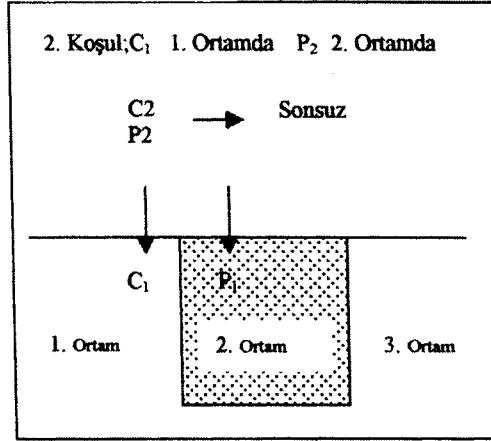
$$\frac{\partial V}{\partial a} = \frac{\rho_2 I}{2\pi} \left[\frac{1}{a^2} + \frac{K_{21}}{(2x-a)^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{(2n-1)}}{(2nb-2x+a)^2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{2n}}{(2nb+a)^2} \right] \quad (11)$$

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

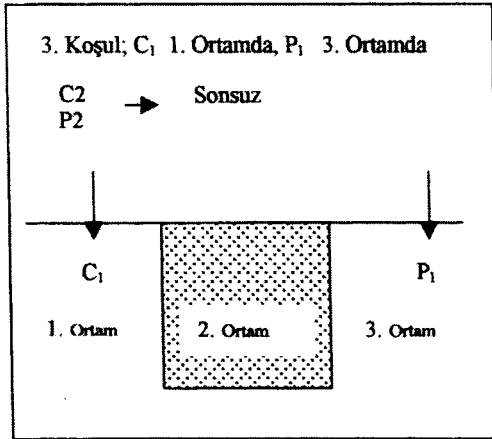
bağıntıları ile tanımlanır (Keller ve Frischknecht 1970).



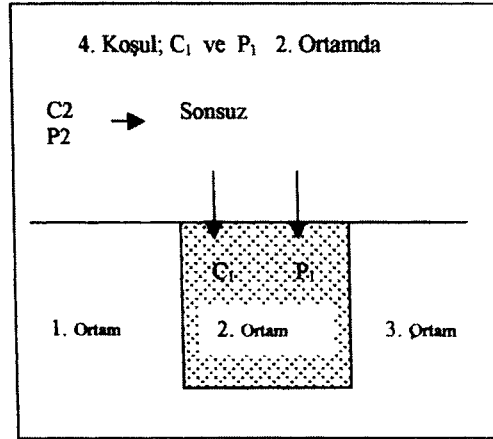
Şekil 3a. C_1 ve P_1 birinci ortamda.
Figure 3a. C_1 and P_1 are in the medium (1).



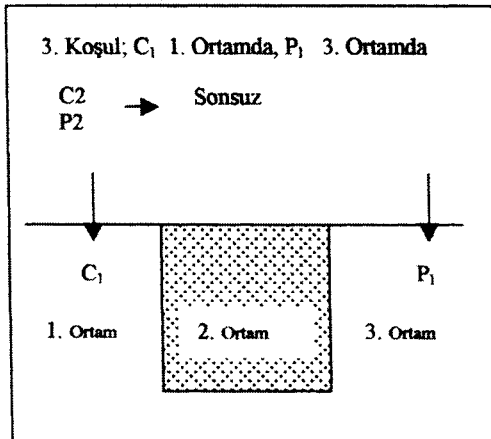
Şekil 3b. C_1 birinci, P_1 ikinci ortamda.
Figure 3b. C_1 is in the medium (1), P_1 is in the medium (2).



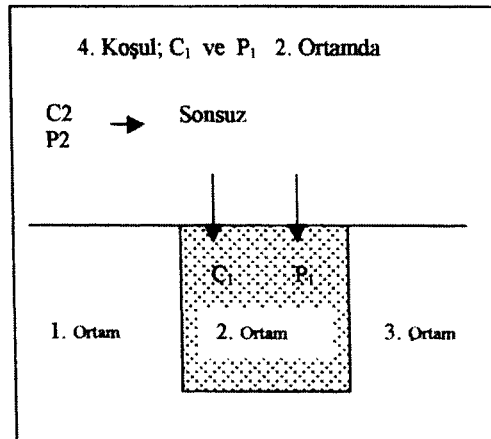
Şekil 3c. C_1 birinci, P_1 üçüncü ortamda.
Figure 3c. C_1 is in the medium (1), P_1 is in the medium (3).



Şekil 3d. C_1 ve P_1 ikinci ortamda.
Figure 3d. C_1 and P_1 are in the medium (2).



Şekil 3e. C_1 ikinci, P_1 üçüncü ortamda.
Figure 3e. C_1 is in the medium (2), P_1 is in the medium (3).



Şekil 3f. C_1 ve P_1 üçüncü ortamda.
Figure 3f. C_1 and P_1 are in the medium (3).

e) C_1 elektrotunun ikinci ortamda ve P_1 elektrotunun üçüncü ortamda olması (5. Koşul)

Bu koşulun oluşabilmesi için $a < b$ ve $dx < a$ koşullarının olması gerekir. Oluşan potansiyel değerleri

$$\Delta V = \frac{\rho_2 I (1 - K_{21})}{2\pi} \left[\frac{1}{a} - \frac{K_{21}}{(2x - a)} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{(2n+1)}}{(2x + 2nb - a)} \right] \quad (12)$$

$$\frac{\partial V}{\partial a} = \frac{\rho_2 I (1 - K_{21})}{2\pi} \left[\frac{1}{a^2} - \frac{K_{21}}{(2x - a)^2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{(2n+1)}}{(2x + 2nb - a)^2} \right] \quad (13)$$

bağıntılarından hesaplanır (Keller ve Frischknecht 1970).

f) C_1 ve P_1 elektrotlarının üçüncü ortamda olması (6. Koşul)

Bu koşul dayk sınırından en az a kadar mesafede başlayıp a , b ve x değerlerine bağlı olmadan daima oluşur. Bu koşulda potansiyel değerleri

$$V = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left[\frac{1}{a} - \frac{K_{12}}{(2x + 2b - a)} - \frac{(1 - K_{21})^2 K_{21}}{(2x - a)} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - K_{21})^2 K_{21}^{(2n+1)}}{(2x + 2nb - a)} \right] \quad (14)$$

$$\left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{12} K_{21}^{(2n-1)} (1 - K_{21})}{(4x + 2nb - a)} \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial a} = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left[\frac{1}{a^2} - \frac{K_{12}}{(2x + 2b - a)^2} - \frac{(1 - K_{21})^2 K_{21}}{(2x - a)^2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - K_{21})^2 K_{21}^{(2n+1)}}{(2x + 2nb - a)^2} \right] \quad (15)$$

$$\left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{12} K_{21}^{(2n-1)} (1 - K_{21})}{(4x + 2nb - a)^2} \right]$$

bağıntılarından hesaplanır (Keller ve Frischknecht

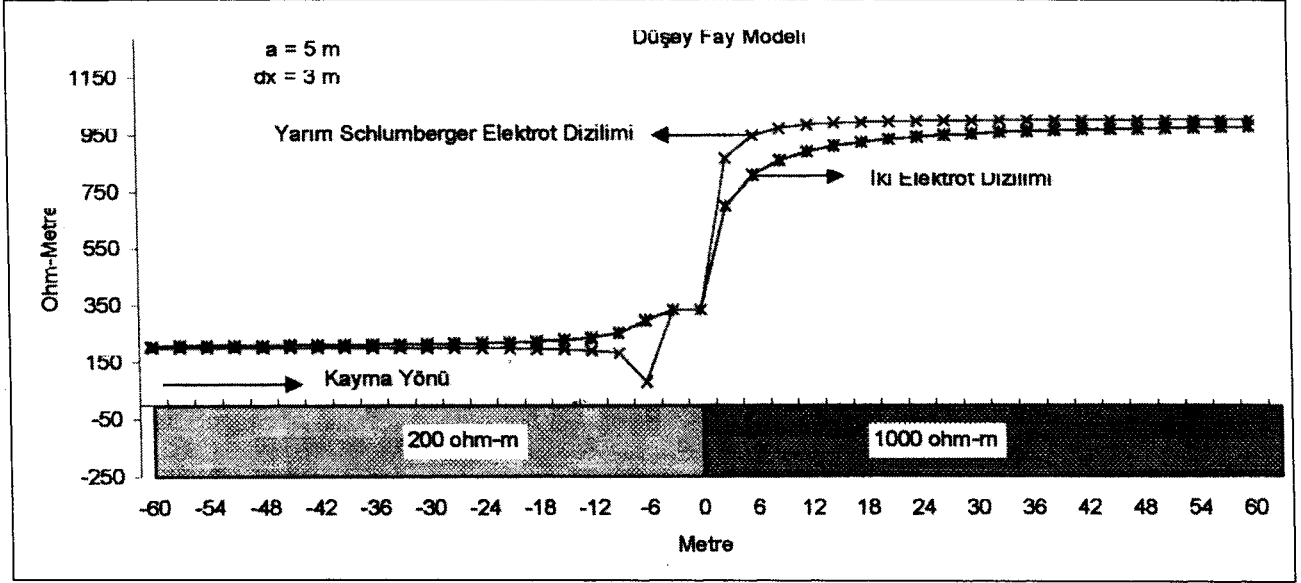
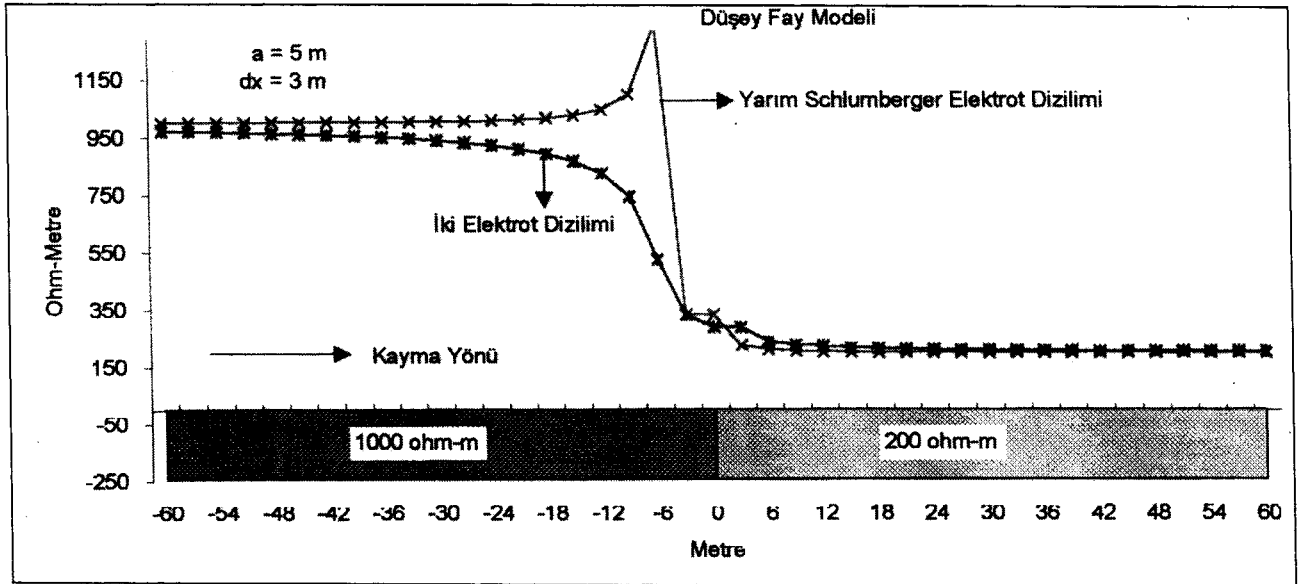
1970). İki elektrot dizilimine göre görünür öz direnç değerleri (4), (6), (8), (10) ve (12) bağıntılarının (2) bağıntısında kullanılması ile elde edilir. Benzer şekilde yarım-Schlumberger elektrot diziliminde oluşan görünür öz direnç değerleri için (5), (7), (9), (11), (13) ve (15) bağıntıları (3) bağıntısında yerine konur. Yarı sonsuz, homojen ve izotrop ortamlarda $a \ll b$ ve $dx \ll a$ koşulları için yukarıda tanımlanan (1), (2), (4), (5) ve (6) koşullarının tümü oluşur ve görünür öz direnç anomalileri (Sheriff, 1987 ve Keller ve Frischknecht 1970) de verilenlere uygun olur. Ancak arazi uygulamalarında özellikle b değeri bilinmediği ve ayrıca ortam yarı sonsuz homojen ve izotrop olmadığından görüntü kuramı koşullarının bir kısmı oluşmaz ve görünür öz direnç anomali biçimleri de klasik olarak verilenlerden farklı olabilir. Bu durumda farklı a , b , L ve dx değerleri için ayrıntılı modelleme çalışmalarının yapılması gerekir.

Düşey fay

Düşey dayk yapısı için oluşturulan bu bağıntılarda dayk genişliği (b) çok büyük alındığında yapı düşey fay sistemine dönüşür (Şekil 4a ve 4b), bu durumda (1), (2) ve (4) koşulları geçerli olur ve kuramsal anomaliler bu bağıntılara göre oluşturulur. Özellikle fay düzleminin yerinin saptanmasında 2. koşul (akım elektrotu 1. ortamda potansiyel elektrotu 2 ortamda) önem kazanmaktadır. Bu koşulun oluşması için arazi çalışmalarında " $dx < a$ " seçimine dikkat edilmesi gerekir. Diğer iki koşul (1. ve 4. koşul) parametrelerden bağımsız olarak daima oluşur.

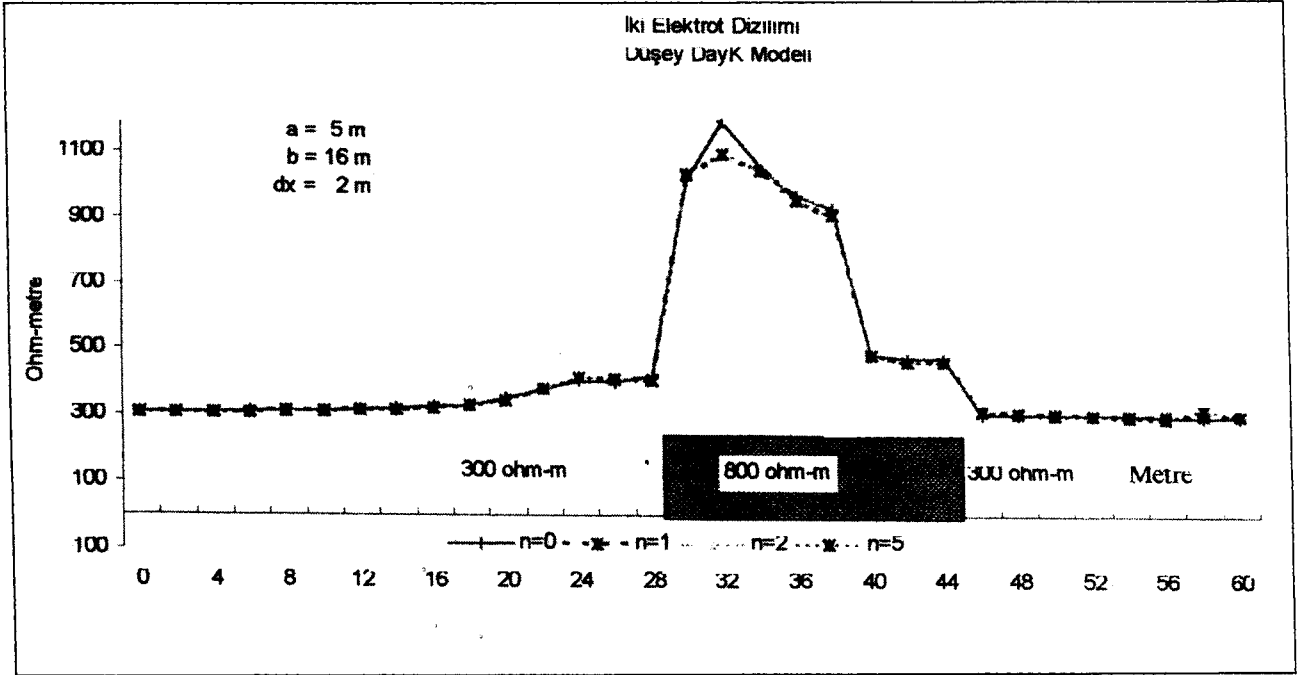
MODEL ÇALIŞMALAR VE KOŞULLARIN İRDELENMESİ

Görüntü kuramına göre, dayk yapısında her iki elektrot diziliminde, genel olarak altı koşul geçerlidir. Fay yapısı için ise 3 koşul geçerlidir. Bu koşulların oluşmasına bağlı olarak da anomali biçimini profil boyu (L), yansıma katsayısı (k), n parametresi, elektrot aralığı (a), dayk genişliği (b) ve kayma miktarı (dx) etkilemektedir. Bu parametreler aşağıda dayk ve fay yapıları için ayrı ayrı incelenmiştir.

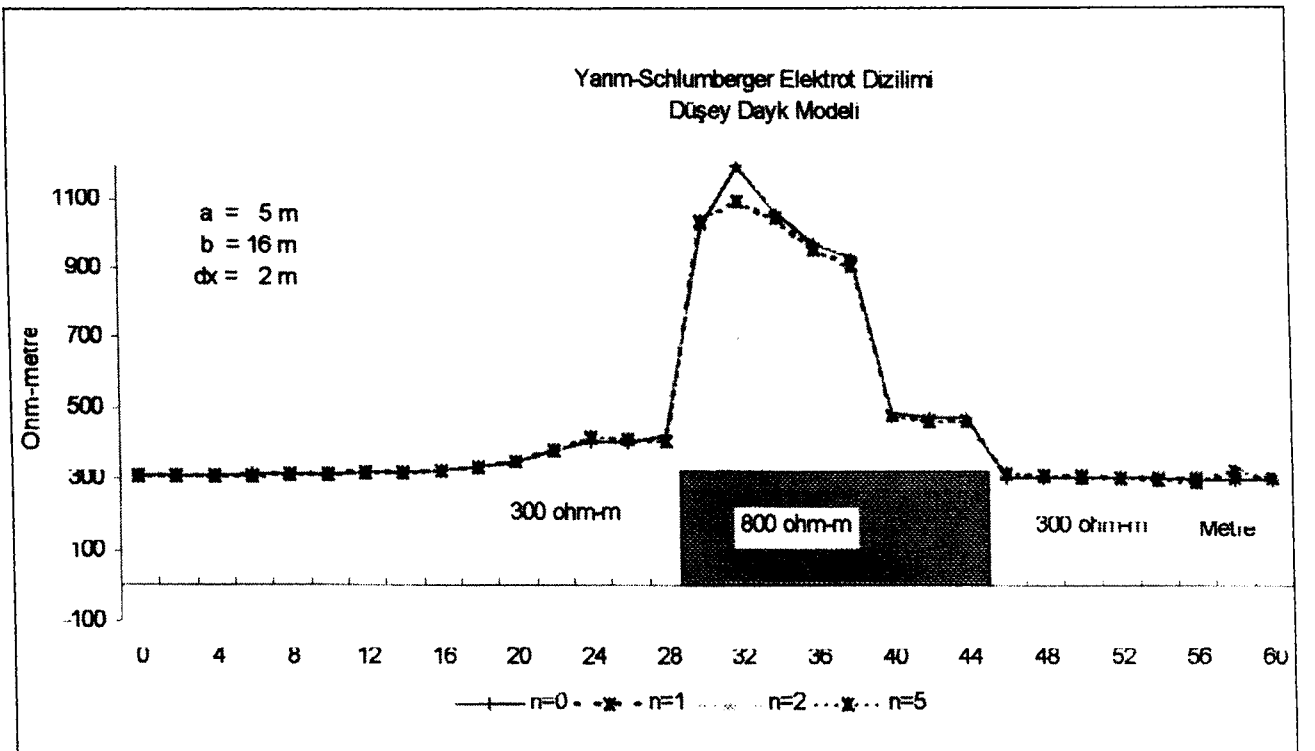
Şekil 4a. Düsey fay yapısı ($\rho_1 > \rho_2$).Figure 4a. Vertical fault ($\rho_1 > \rho_2$).Şekil 4b. Düsey fay yapısı ($\rho_1 < \rho_2$).Figure 4b. Vertical fault ($\rho_1 < \rho_2$).**n parametresi**

Görüntü kuramına göre elde edilen potansiyel bağlantılarında toplam işleminin üst sınırını tanımlayan “n” parametresi 1 ile ∞ arasında değişmektedir. Kuramsal

çalışma için n parametresinin sınırlandırılması gerekir. Yapılan kuramsal uygulamalarda n=2 den sonra anomali biçiminde belirgin değişimler olmadığı saptanmıştır (Şekil 5a ve 5b).



Şekil 5a. İki elektrot diziliminde düşey dayk yapısı için n parametresi.
Figure 5a. The n parameter for the vertical dike in the two-electrode array.



Şekil 5b. Yarı-Schlumberger diziliminde n parametresi.
Figure 5b. The n parameter for the half-Schlumberger array.

Profil uzunluğu (L)

Süreksizlik sınırının etkisinin anomalilerde tam olarak izlenebilmesi için profil boyunun yeterli uzunlukta olması gerekir. Süreksizlik, etkisi süreksizlik sınırından bir elektrot açıklığı kadar uzaklıkta başlamakta ve yine süreksizlik sınırından en az bir elektrot açıklığı kadar mesafede devam etmektedir. Fay ve dayk sınırından kaynaklanan bu değişimlerin tam olarak izlenebilmesi için profil boyunun fay için en az $2a$, dayk için en az $(2a+t)$ olması gerekir.

k parametresi

Bu parametre ortamların gerçek özdirençleri arasındaki büyüklük farkından etkilenmektedir. Fark ne kadar fazla olursa anomali genişliğindeki değişimler o kadar belirgin olur.

b, a ve dx parametreleri

Bu parametrelerdeki değişimler anomali biçimini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle bu parametrelerin ayrıntılı irdelenmesi gerekir. Bu irdelene aşığında dayk ve fay yapıları için ayrı ayrı yapılmıştır.

Düşey Dayk Yapısı

a) $b \gg a$ ve $dx \ll a$ olduğunda, 3 ncü koşul hariç diğer tüm koşullar her iki dizilim için de daima oluşur. Bu durumda yapı hakkında yorum yapmak kolaylaşır (Şekil 6a ve 6b)

b) $b \gg a$ ve $dx > b$ ise 1 ve 6 ncü koşullar her zaman oluşurken, 3 ncü koşul hiçbir zaman oluşmaz. Diğer koşulların oluşma olasılığı düşüktür. Bu durumda süreksizlik sınırı anomalide belirgin değişimler oluşturmadığı için daykın etkisi ölçülerde izlenemez (Şekil 7a ve 7b)

c) $b > a$ ve $dx \gg b$ ise yine 1 ve 6 ncü koşullar her zaman oluşur. 4 üncü koşul hiçbir zaman oluşmaz. 2, 3, ve 5 nci koşulların oluşma olasılıkları da yok denecek kadar azdır. Bu durumda örnekleme aralığı çok büyük olduğu için daykın kenar etkileri anomali üzerinde etki yaratmadığı için anomali düz bir çizgi şeklinde devam eder (Şekil 8a ve 8b).

d) $b < a$ ve $dx \ll b$ olduğunda 1, 2, 3, 5 ve 6 ncü koşullar her zaman oluşurken 4. koşul hiç oluşmaz (Şekil 9a ve 9b).

e) $b < a$ ve $dx > b$ ise yine 1 ve 6 ncü koşullar her zaman oluşurken 4 ncü koşul hiç bir zaman oluşmaz. Diğer koşulların oluşma olasılıkları da çok düşüktür (Şekil 10a ve 10b).

f) $b < a$ ve $dx \gg b$ ise yine 1 ve 6 ncü koşullar her zaman oluşurken diğer koşulların oluşma olasılıkları yok denecek kadar azdır (Şekil 11a ve 11b).

Düşey Fay Yapısı

Fay yapısı için yalnızca a ve dx parametre değişimleri anomali biçimini etkilemektedir. Anomali biçiminden fay yerinin belirlenmesinde özellikle 2 koşulun gerçekleşmiş olması gerekir. Bu koşulun oluşması için;

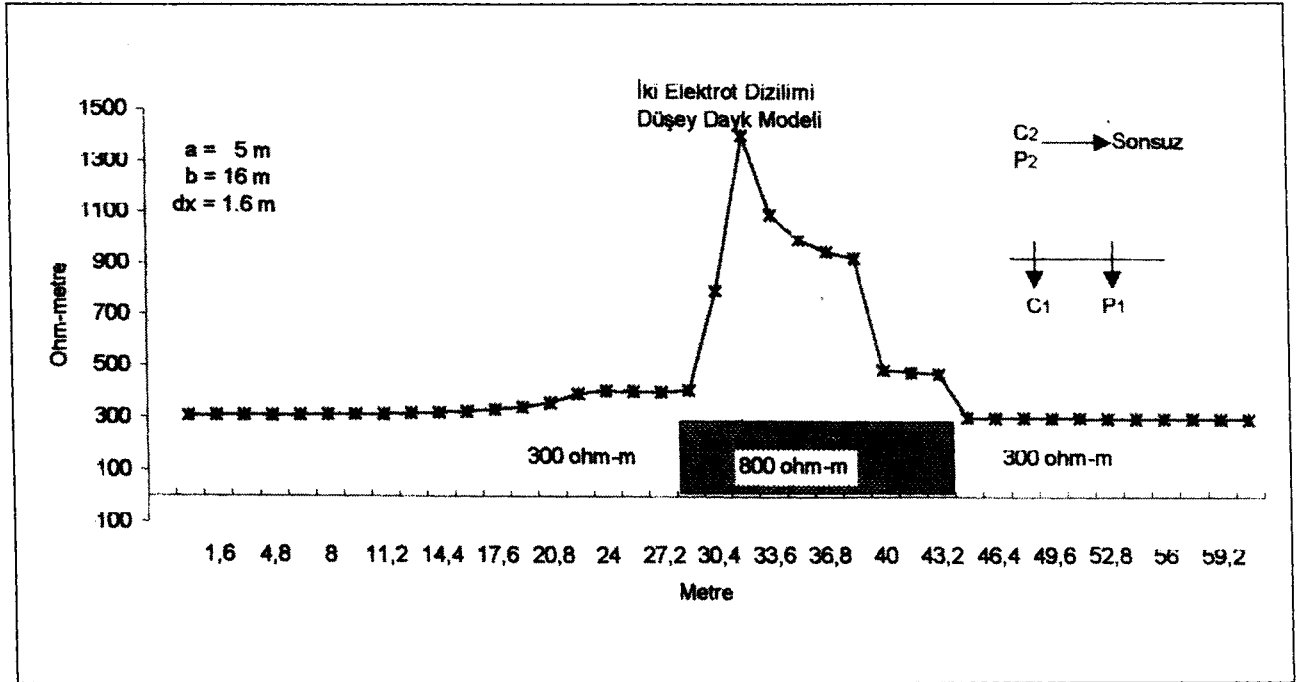
a) $dx < a$ olması sağlanmalıdır. İdealde bu koşul için en az üç ölçü olması gerekir. Bu nedenle dx aralığı, elektrot aralığının en fazla 1/3 ü kadar seçilmelidir.

ELEKTROT DİZİLİMLERİNİN İRDELENMESİ

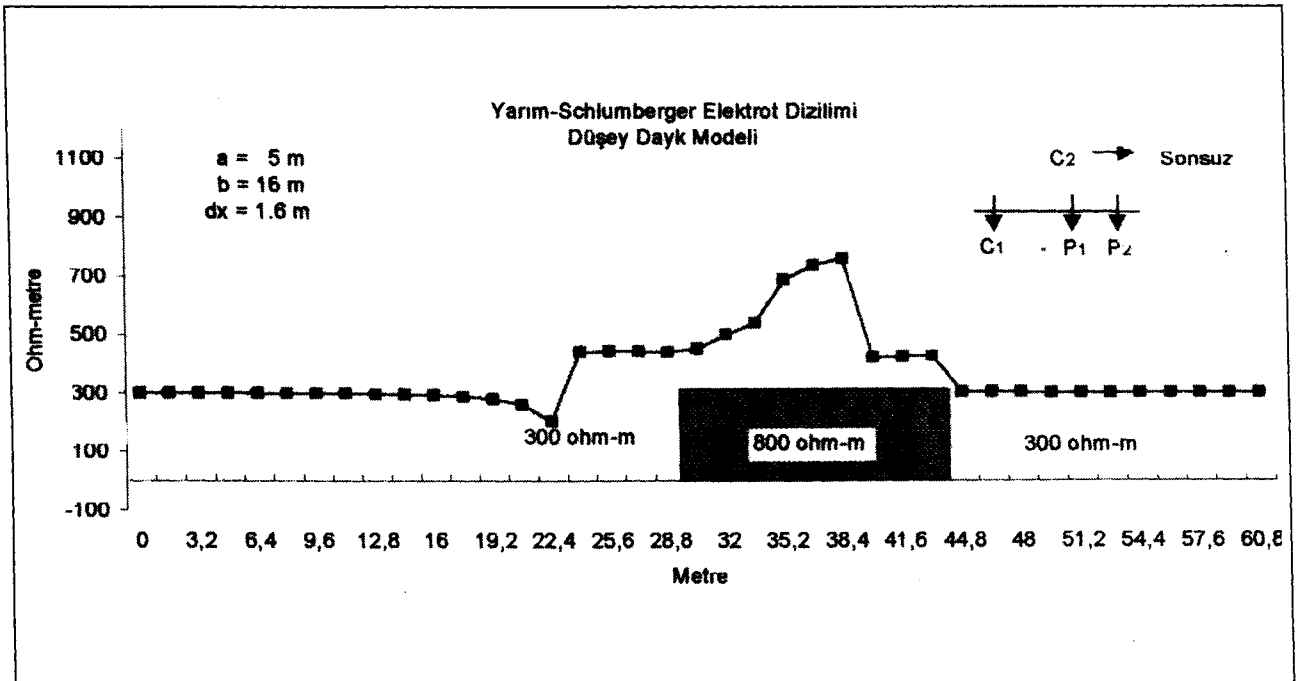
Yapılan kuramsal çalışmalara göre düşey dayk ve fay türü yapıların araştırılmasında, daha kısa boylu profillerde çalışma olanağı olması ve $a > b$ durumunda bile anomaliden daha belirgin yapı ayrımlılığının sağlanması açısından yarım-Schlumberger elektrot diziliminin, iki elektrot dizilimine göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

ARAZİ UYGULAMASI

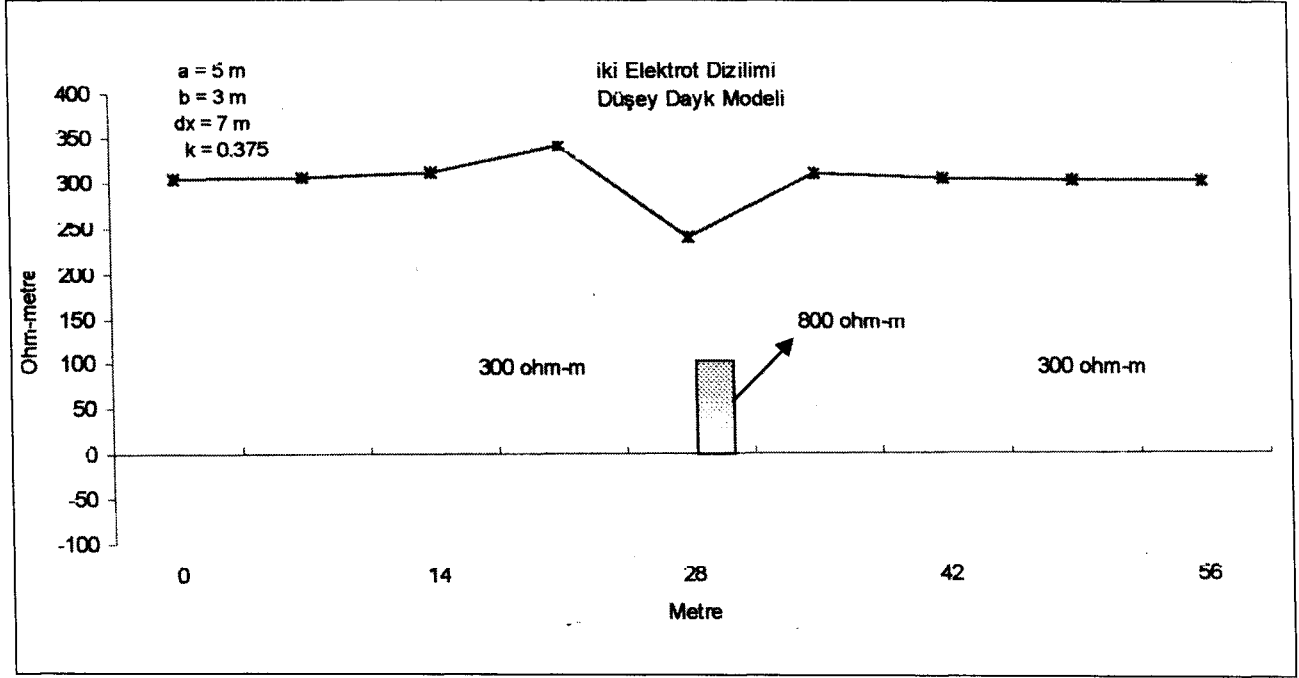
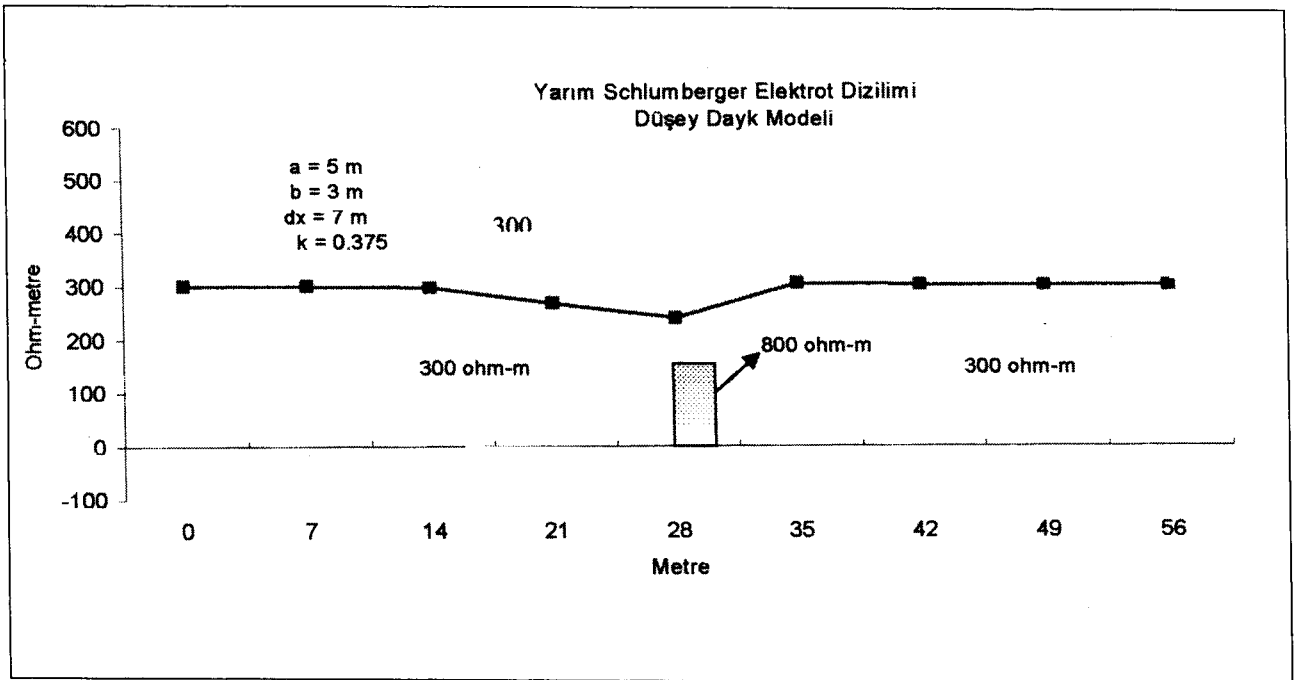
Uygulama için yapısı daha önceden bilinen Ergili - Bandırma yöresinde yer alan Kösemtuğ Tümülsü Seçilmiştir. A-A' profilinde (Şekil 12a ve 12b) yapılan iki elektrot ve yarım-Schlumberger elektrot dizilimleri uygulama sonuçları Şekil 13 ve 14 da görülmektedir. Şekil 13 ve 14 den görüldüğü gibi $a < b$, $dx \ll a$ ve profil boyu da yeterli uzunlukta seçildiği için anomalilerden gerekli yapı ayrımlılığı anomalilerden sağlanmıştır. Ancak anomali biçimleri kuramsal çalışmalarla tam olarak uyum sağlamamaktadır. Bu durum, olasılıkla, ölçüler alınırken tümülüsün içinin boş konumda olmasından ve

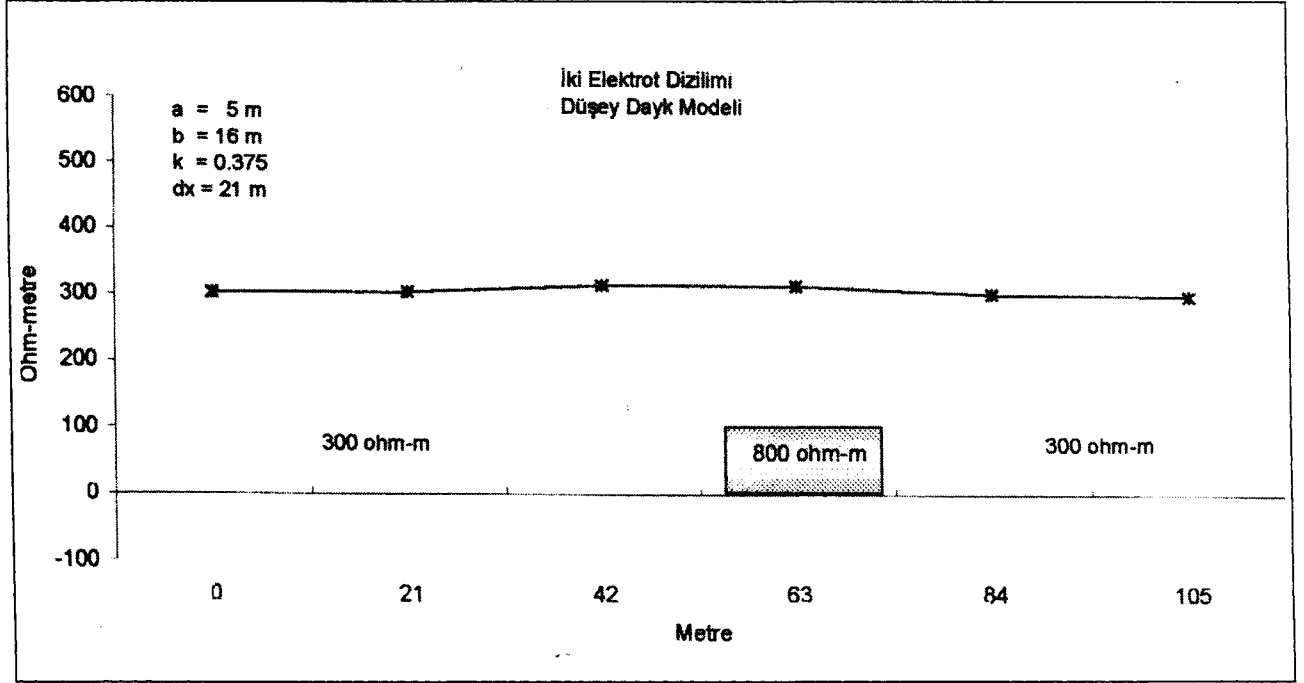


Şekil 6a. İki elektrot dizilimi için $b \gg a$ ve $dx \ll a$.
Figure 6a. $b \gg a$ and $dx \ll a$ for the two-electrode array.



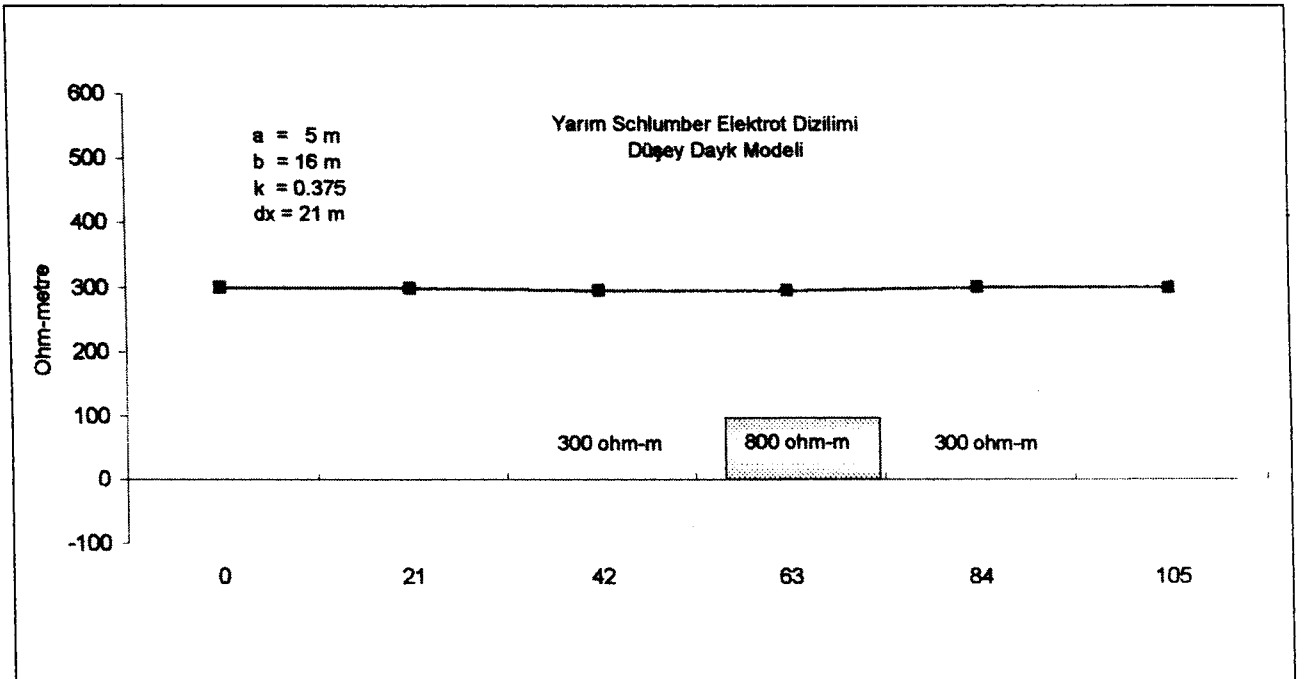
Şekil 6b. Yarım-Schlumberger dizilimi için $b \gg a$ ve $dx \ll a$.
Figure 6b. $b \gg a$ and $dx \ll a$ for the half-Schlumberger array.

Şekil 7a. İki elektrot dizilimi için $b > a$ ve $dx > b$ olması.Figure 7a. The $b > a$ and $dx > b$ for the two-electrode array.Şekil 7b. Yarım-Schlumberger dizilimi için $b > a$ ve $dx > b$ olması.Figure 7b. The $b > a$ and $dx > b$ for the half-Schlumberger array.



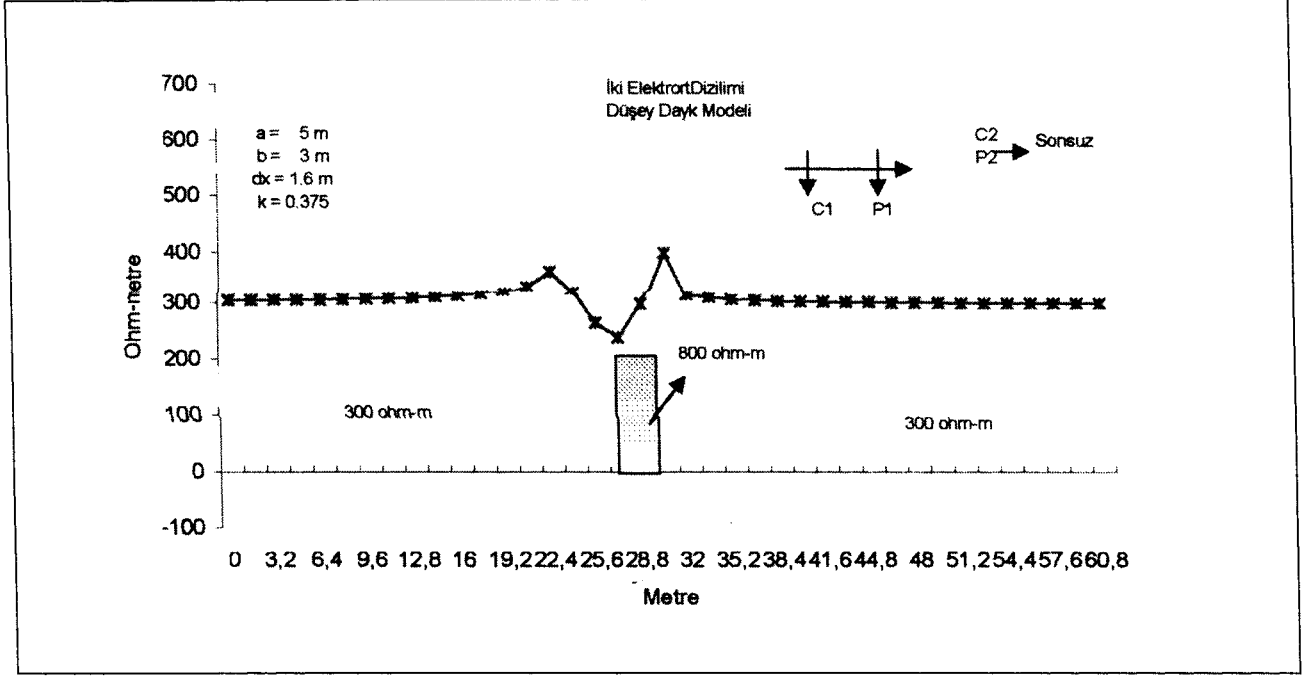
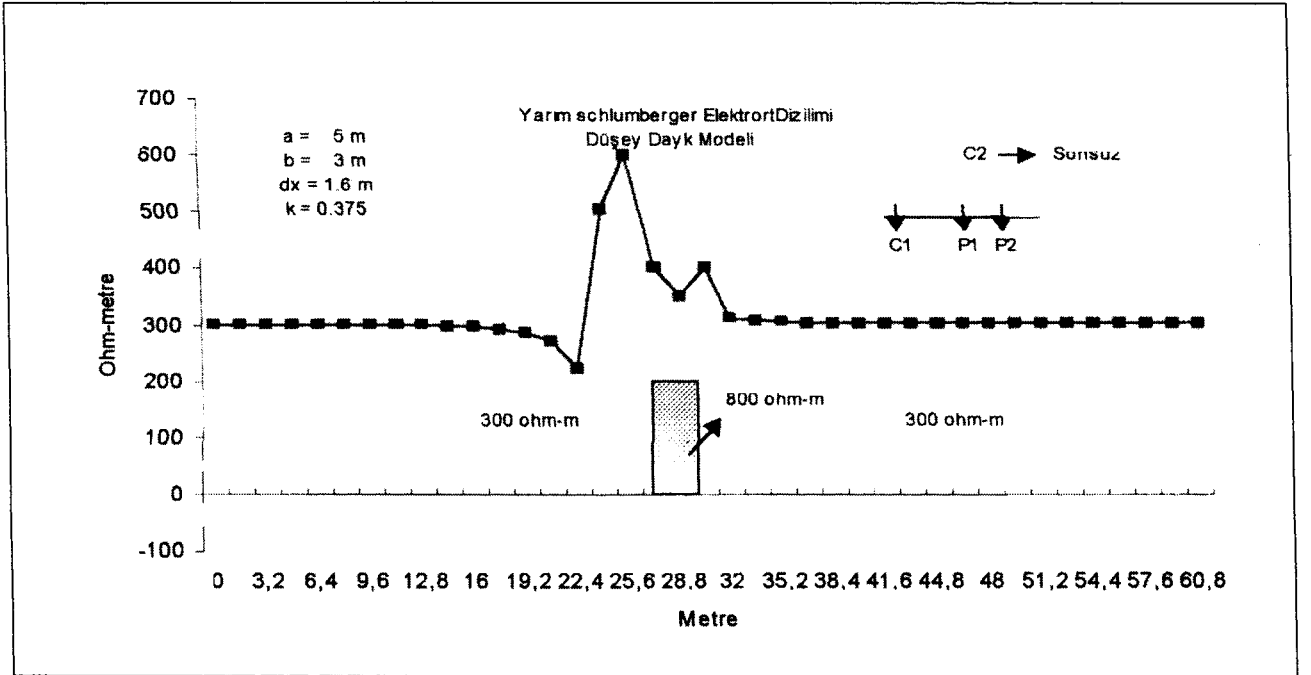
Şekil 8a. İki elektrot dizilimi $b > a$ ve $dx \gg b$ olması.

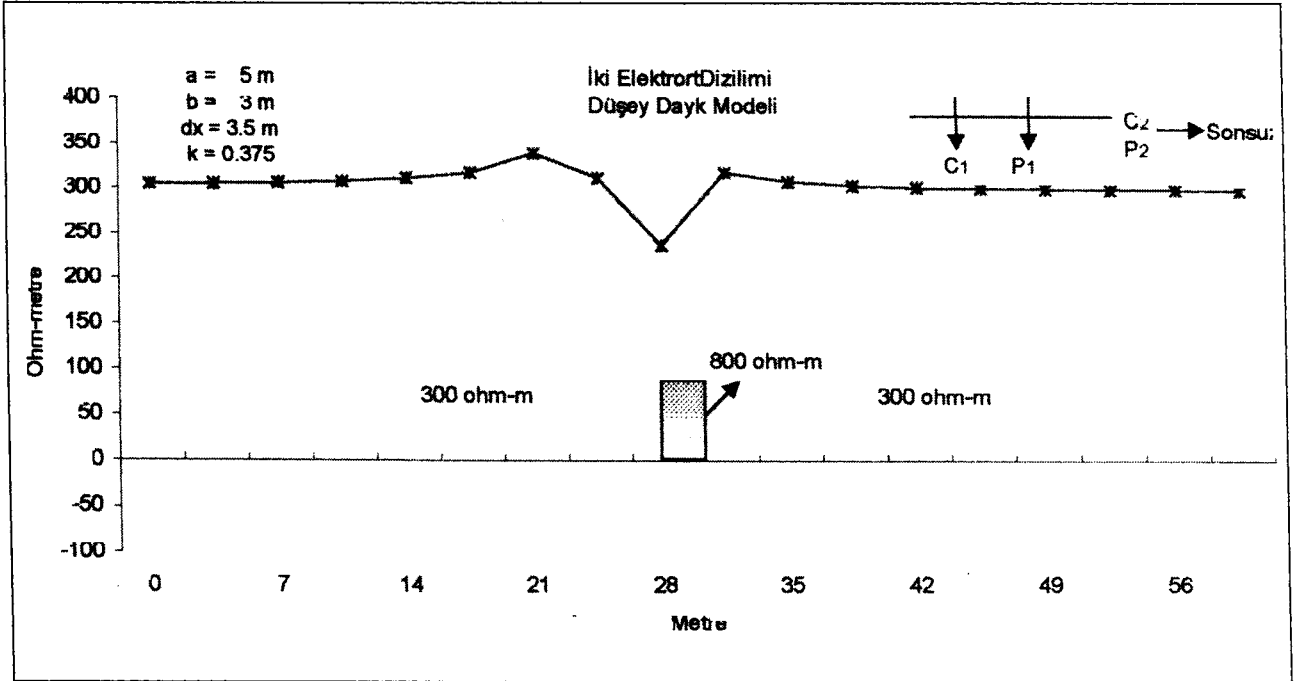
Figure 8a. The $b > a$ and $dx \gg b$ for the two-electrode array.



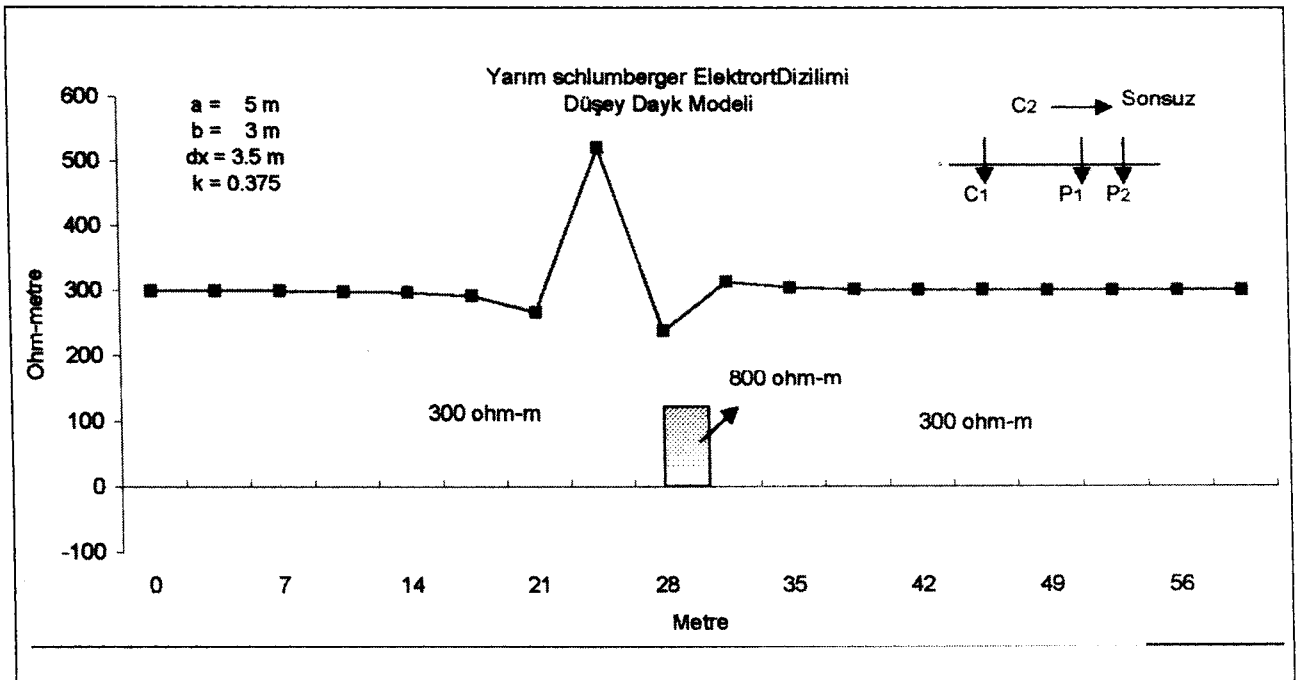
Şekil 8b. Yarım-Schlumberger dizilimi için $b > a$ ve $dx \gg b$ olması.

Figure 8b. The $b > a$ and $dx \gg b$ for the half Schlumberger array.

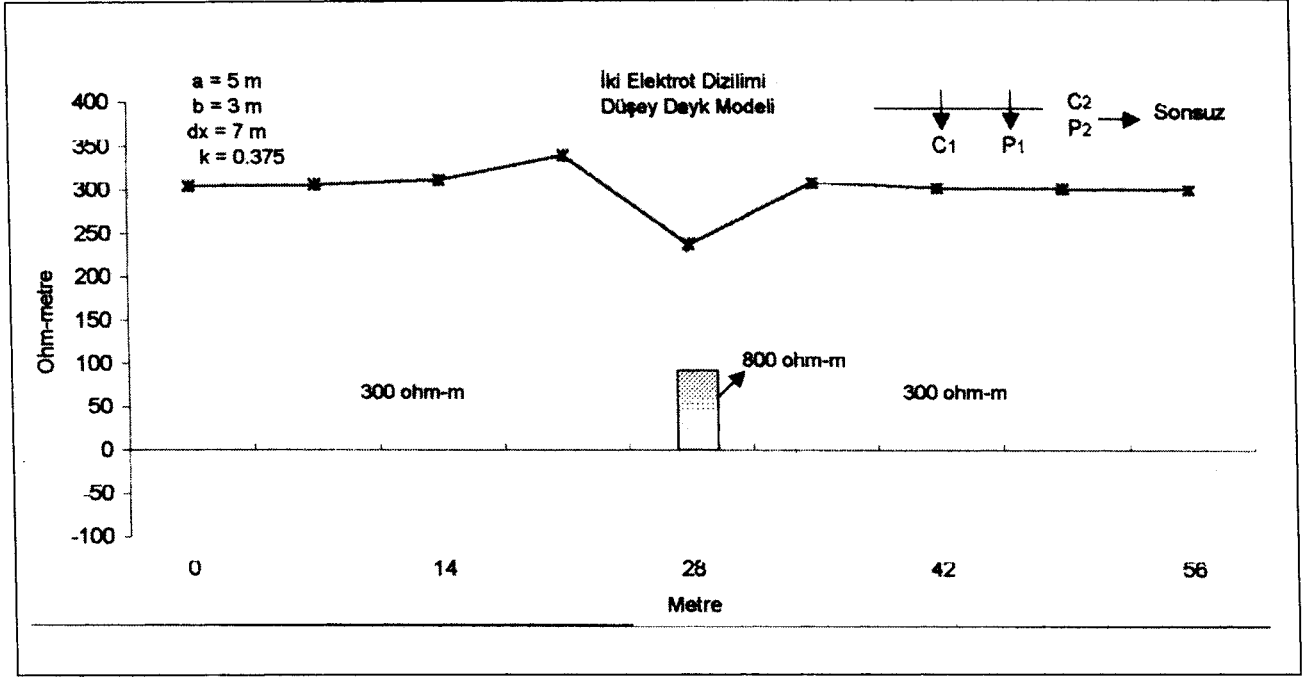
Şekil 9a. İki elektrot dizilimi için $b < a$ ve $dx \ll b$ olması.Figure 9a. The $b < a$ and $dx \ll b$ for the two-electrode array.Şekil 9b. Düşey Dayk Yapısı için $b < a$ ve $dx \ll b$ olması.Figure 9b. The $b < a$ and $dx \ll b$ for the half-Schlumberger array.



Şekil 10a. İki elektrot dizilimi için $b < a$ ve $dx > b$ olması.
Figure 10a. The $b < a$ and $dx > b$ for the two-electrode array.

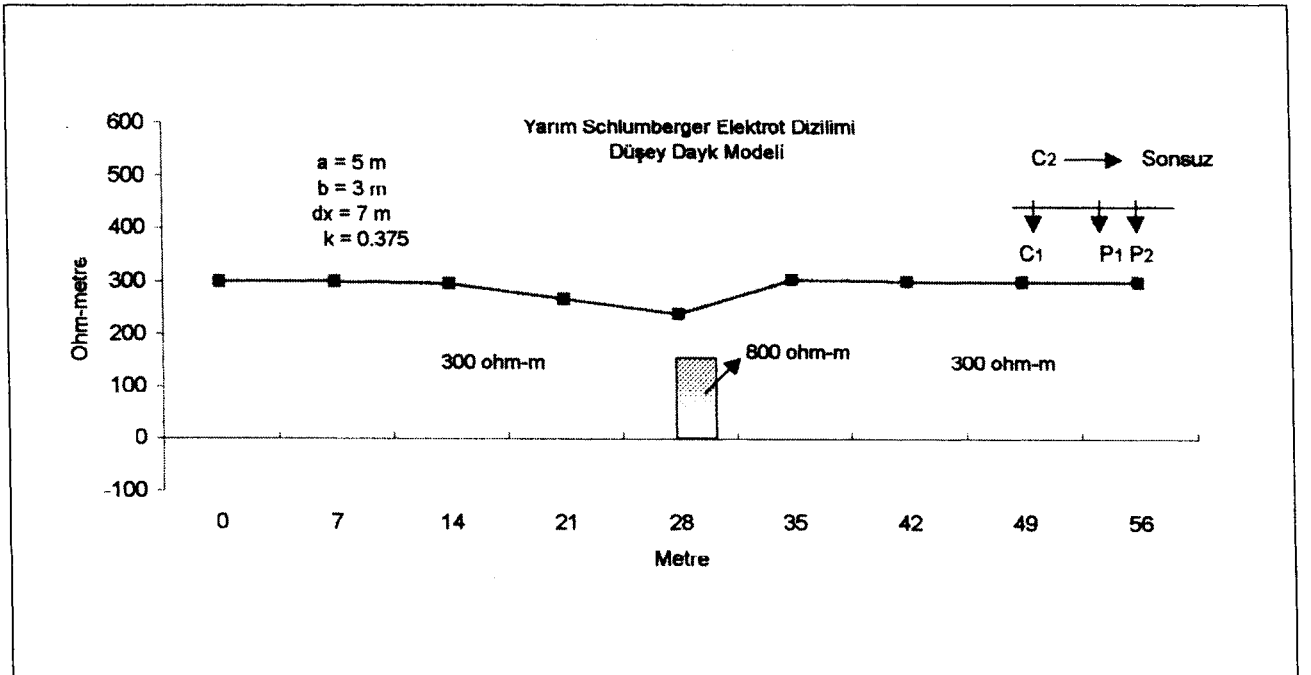


Şekil 10b. Yarım-Schlumberger dizilimi için $b < a$ ve $dx > b$ olması.
Figure 10b. The $b < a$ and $dx > b$ for the half-Schlumberger array.



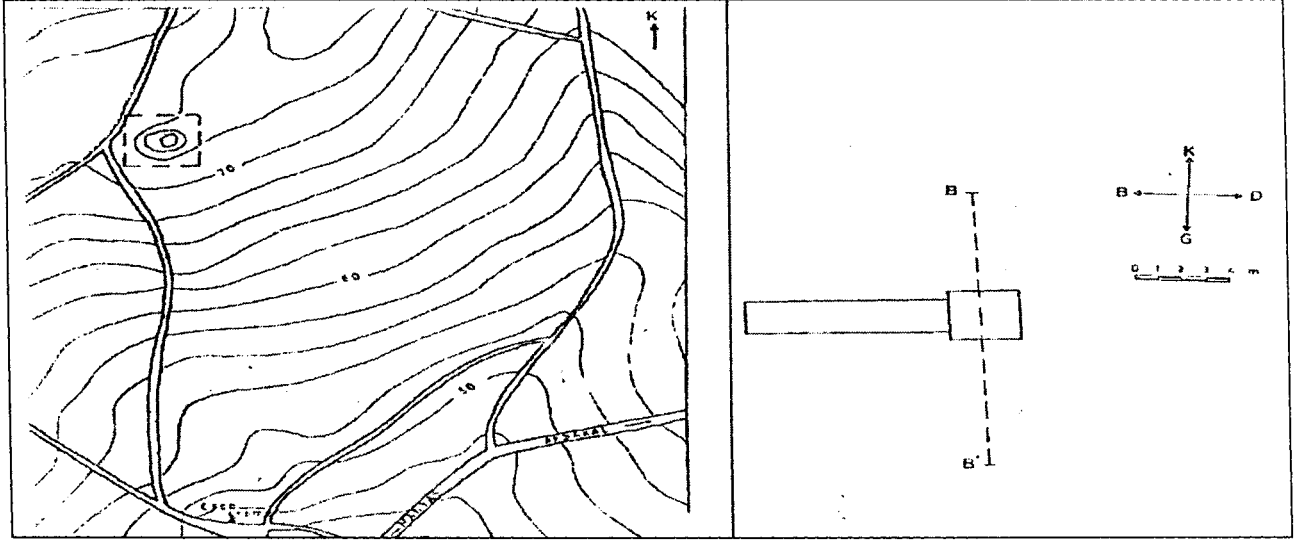
Şekil 11a. İki elektrot dizilimi için $b < a$ and $dx \gg b$ olması.

Figure 11a. The $b < a$ and $dx \gg b$ for the two-electrode array.

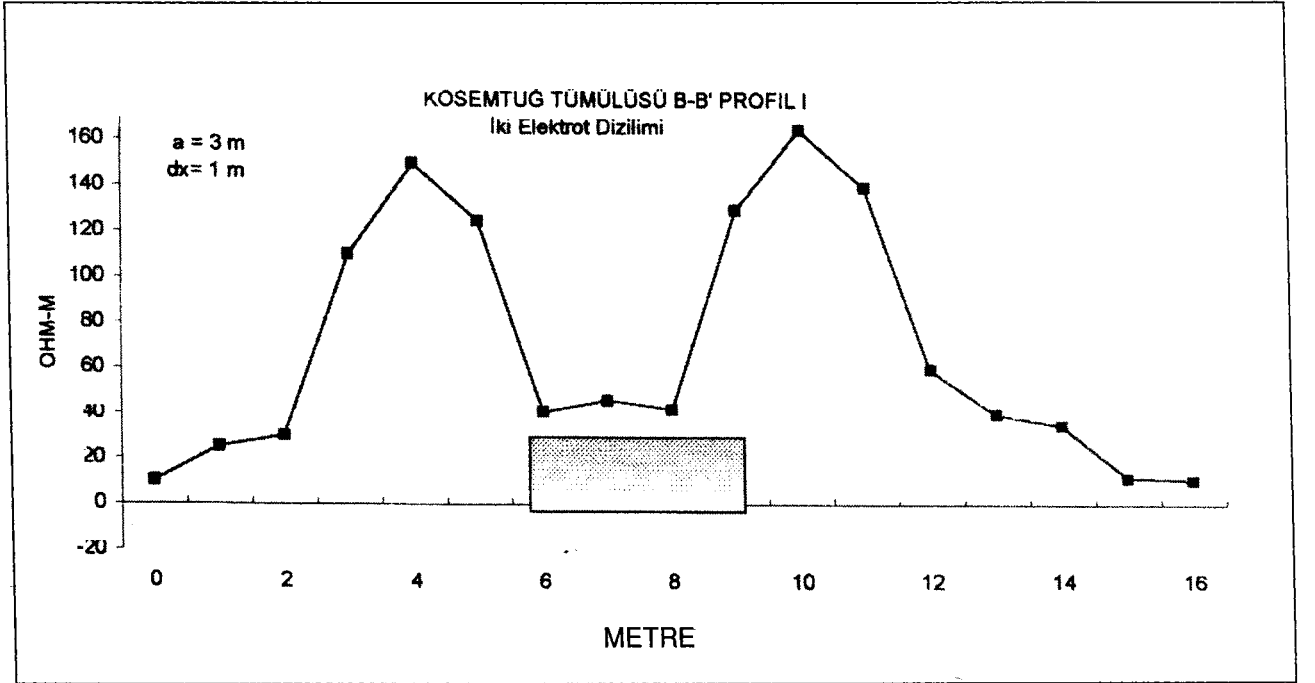


Şekil 11b. Yarım-Schlumberger dizilimi için $b < a$ and $dx \gg b$ olması.

Figure 11b. The $b < a$ and $dx \gg b$ for the half-Schlumberger array.



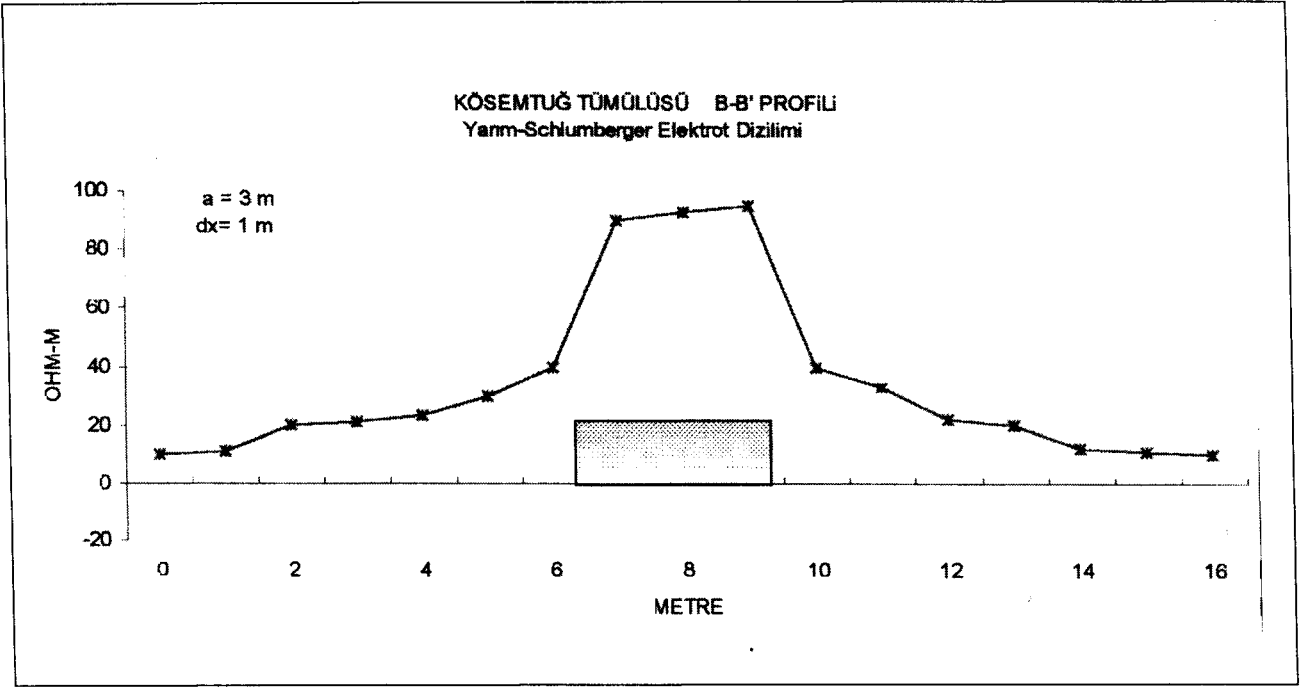
Şekil 12. Çalışma alanı.
Figure 12. The study area.



Şekil 13. B-B' profile üzerinde alınan iki elektrot ölçüsü.
Figure 13. Two-Electrode array measurements over B-B' profile.

yarım-Schlumberger elektrot diziliminde b uzaklığının nın a aralığına göre daha küçük seçilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu ölçülerde, anomali biçimlerinden de

görüldüğü gibi Yarım-Schlumberger elektrot dizilimi, iki elektrot dizilimine göre yapıyı daha kolay tanımlamaktadır.



Şekil 14. B-B' profili üzerinde alınan yarım-Schlumberger ölçüsü.
Figure 14. Half Schlumberger array measurements over B-B' profile.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Düşey fay ve dayk yapısı için görüntü kuramı temel alınarak yapılan kuramsal ve arazi çalışmaları sonucu elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

Görüntü kuramına göre elektrotların süreksizlik sınırına göre konumlarına bağlı olarak farklı koşullar oluşmaktadır. Dayk yapısı için genel olarak altı koşul her iki elektrot diziliminde de geçerlidir. Fay yapısı için ise 3 koşul geçerlidir. Bu koşulların oluşmasına bağlı olarak da anomali biçimini; profil boyu (L), yansıma katsayısı (k), n parametresi, elektrot aralığı (a), dayk genişliği (b) ve kayma miktarı (dx) etkilemektedir. Bununla beraber yarım-Schlumberger elektrot diziliminde C₁-C₂ uzaklığı ile P₁-P₂ aralığının seçimine dikkat edilmesi gerekir. Elektrik alan ölçümlerinin yapılabilmesi için C₁-C₂ >> P₁-P₂ özelliğinin sağlanması gerekir.

Arazi çalışmalarında b ve k parametreleri bilinmediği için L, a ve dx parametrelerinin seçiminde dikkat edilmesi gerekir. Önce yapının jeolojisi ve biçimi hakkında sağlanan ön bilgiler ışığında gerekli model çalışmalar yapılarak kuramsal anomaliler oluşturulmalıdır.

Daha sonra arazide bir veya iki profil üzerinde beklenen anomaliye uygun parametreler (L, a ve dx) kullanılarak test ölçüleri yapılmalı ve çalışma için en uygun L, a ve dx parametreleri saptanmalıdır.

Düşey fay ve dayk türü yapıların araştırılmasında yarım-Schlumberger elektrot dizilimi, iki elektrot dizilimine göre daha kısa profillerde çalışma olanağı sağladığı için daha kullanışlıdır. Ayrıca yarım-Schlumberger elektrot dizilimiyle elde edilen anomalilerin biçiminden yapıyı tanımlamak daha kolaydır.

KAYNAKLAR

- Candansayar, M.E., 1997, Modeling in Direct Current Resistivity Method and Comparison of the Resolution of the Electrode Configurations for Investigation of Two-Dimensional Structures. Ankara University (MSc. Thesis, in Turkish)
- Cheng, Y., W. 1980, Location of near surface faults in geothermal prospect by "the combined head on resistivity profiling method". Proceeding of the New Zealand Geothermal Workshop.

- Karous, M., and Pemu, T.K. 1985, Combined sounding profiling resistivity measurements with the three-electrode arrays. *Geophysical Prospecting* 33, 447-459.
- Keller, V.G., and Frischknecht, F., C. 1970, *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall, Oksford.
- Mundry, E. 1984, Geoelectrical model calculations for two dimensional resistivity distributions. *Geophysical Prospecting* 32, 124-131.
- Pınar, R. Ve Akçığ, Z. 1992, Kösemtuğ Tümlüsü' nün jeofizik yöntemlerle araştırılması, VIII. Arkeomet-ri sonuçları toplantısı, 25-29 Mayıs 1992 Ankara (Ayrı Basım)
- Schulz, R., and Tezkan, B. 1988, Interpretation of resistivity measurements over 2-D structures. *Geophysical Prospecting* 36, 962-975.
- Telford, W. M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A. 1987, *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Zhdanov, M.S., Keller, G.V., 1994, *The Geoelectrical Methods in Geophysical Exploration*. Elsevier-Amsterdam-London-Newyork-Tokyo 1994.