

DOĞRU AKIM VE İP METOTLARI HAKKINDA TEORİK VE TATBİKİ KISA BİLGİLER

Ergün TEMİZ

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara

JEOELEKTRİK ÖLÇÜ METOTLARININ TEORİSİ

Yeryüzü çeşitli minerallerden meydana gelmiştir. Bu mineraller kendi aralarında fiziki ve kimyevî özellikleri dolayısıyla, birbirlerinden ayrılırlar. Jeofiziğin jeoelektrik bölümünde gaye, arzın bu mineral özelliklerinden faydalanarak, arz içindeki cevherli zonları, fayları veya tektonik hadiseleri bulup çıkarmaktır. Şimdi bu bölümün teorisine biraz değinmek lâzım gelecektir.

Şayet yeryüzünden, yeriçine akım iletecek iki iletken çubuk sokulup, devreye de (bu iletken iki çubuk arasına) çok hassas bir ampermetre bağlanacak olursa, ampermetrenin ibresinin saptığı görülür. Bu olay, yeriçindeki «thermo» olaylarından veya yukarıda bahsedilen minerallerin fizikî ve kimyevî özelliklerinden meydana gelir. Arzın kendi içinde fizikî, kimyevî veya thermo olayları vasıtasıyla meydana gelen bu çok küçük akım (mili amper) yerkabuğu tabakaları veya cevherleşme hakkında kafi bilgi veremez. Bu nedenle yere (arza) tarafımızdan akım vermek suretiyle, arz tabakaları ve maden cevherleri hakkında bilgiye sahip olmak mümkündür. Bunun için akım kaynaklarından istifade de edilir. Bunlardan bazıları: piller, akümülatörler (nikel-demir akümülatörleri), jeneratörler vb. dir.

Jeneratörlerden çıkan alternatif akımlar regülatörler vasıtasıyla çok küçük frekansa indirilebildiğinden, hesaplarda, elde edilen akım bir doğru akım gibi muamele görür. Bilindiği gibi, jeneratörlerden alternatif akım elde edilir. Bazı jeoelektrik metotlarında doğru akımdan, bazılarında ise alternatif akımdan istifade edilir. Bunun için de akımın frekansı mühimdir. Frekans çok küçükse doğru akım, frekans büyükse alternatif akım olarak nazarı dikkate alınıp, hesaplar ona göre yapılır.

Elde edilen akımı yeriçinden geçirebilmek için iki adet iletken olan E_1 , E_2 elektrotuna ve yere verilen akım dolayısıyla meydana gelen potansiyel farkını ölçmek için de yine iki adet S_1 , S_2 sondalarına, kabloları, ampermetre ve voltmetreye ihtiyaç vardır.

Böylece akım kaynağından E_1 , E_2 elektrotlarıyla yeriçine akım verilip, S_1 ve S_2 sondalarıyla de meydana gelen potansiyel farkı dv ölçülür. Ohm kanunundan istifade edilerek g_s , tabakanın görünür özdirenci hesaplanır. Yeraltındaki her tabakanın kendine has görünür özdirenci g_s olduğundan, her tabakanın geçirgenliği başka başkadır. İşte bu g_s ve $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ den faydalanılarak, yeraltındaki cevherli zonlar ve tektonik yapısal hesaplanarak bulunur. Homogen ve izotrop bir yerde çalışmak hem kolay ve hem de zahmetsizdir. Fakat tabiatın kendine has özelliğinden dolayıdır ki, böyle homogen ve izotrop çalışma sahası bulmak zordur. Fakat çok az inhomogen ve anizotrop olan yerler, yaklaşık olarak homogen ve izotrop olarak kabul edilebilir.

FORMÜLLERİN HESAPLANMASINA KISA BİR BAKIŞ

$$\left. \begin{array}{l} I = \text{Akım şiddeti} \\ V = \text{Potansiyel (gerilim)} \\ R = \text{Direnc} \\ \rho = \text{Özdirenc (rezistivite)} \end{array} \right\} \text{Ohm kanunu}$$

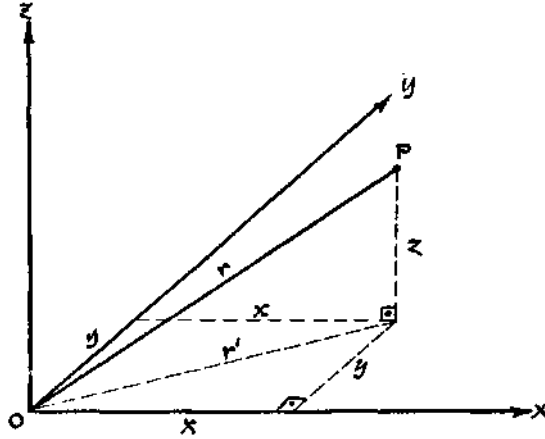
\vec{E} = Elektrik alan şiddeti
Elektro dinamikte

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho_0} \vec{E} \text{ Elektrik akım yoğunluğu} \dots\dots\dots (1)$$

$$\vec{E} = -\frac{1}{\rho_0} \text{grad } V \dots\dots\dots (2)$$

$$\vec{j} = -\frac{1}{\rho_0} \text{grad } V \dots\dots\dots (3)$$

Şimdi \vec{j} (akım yoğunluğu) açıkça yazılırsa,
kartzik koordinat sistemine göre x, y, z Şekil 1 de



Şek. 1

$$\left. \begin{aligned} \vec{j}_x &= \frac{1}{\rho_0} \vec{E}_x = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial v}{\partial x} \\ \vec{j}_y &= \frac{1}{\rho_0} \vec{E}_y = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial v}{\partial y} \\ \vec{j}_z &= \frac{1}{\rho_0} \vec{E}_z = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial v}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

Buradan görülüyor ki, bir doğru akım gelişigüzel sınırlanmış jeolojik cisimden girer ve çıkar ((+) ve (-) lerden). Böylece yukarıdaki (4) formülleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\text{div grad } V = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{div grad } V = 0 = \nabla \cdot \nabla V = \nabla^2 V = \nabla V = 0 \dots\dots\dots (6)$$

(6 dan)

$$\boxed{\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0} \dots\dots\dots (7)$$

Yukarıdaki (7) denklemi «laplace» diferansiyel denklemdir.

Δ = Bu nabladır ve bir vektördür.

$$\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z} \dots\dots\dots (8)$$

i, j ve k birim vektörleridir.

$$\Delta V = i \frac{\partial v}{\partial x} + j \frac{\partial v}{\partial y} + k \frac{\partial v}{\partial z} = \text{grad } V \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{div grad } V = \nabla \cdot \nabla V = \Delta V = 0$$

$$\text{div } V = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \dots\dots\dots (9a)$$

veya

$$\text{div } V = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \dots\dots\dots (9b)$$

öyle ise formül (5) i türetilim.

$$\text{div grad } V = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right) \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{div grad } V = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \dots\dots\dots (10a)$$

$$\nabla \cdot \nabla V = \nabla^2 V = \Delta V = 0 \quad \underline{\text{Laplace denklemi}} \dots\dots\dots (11)$$

Genel formül (5) ve (6) böylece elde edilmiştir.

$$\text{Div grad } V = \nabla \cdot \nabla V = \nabla^2 V = \Delta V = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots (12)$$

İlerideki bölümlerde formüller vektör analizleriyle değil, Ohm kanunundan istifade edilerek cebirsel yollarla çözülmüştür.

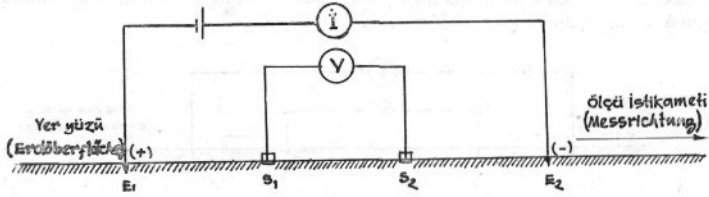
JEOELEKTRİK ÖLÇÜ METOTLARI

- Ekipotansiyel metodu
- Direnç (rezistivite) metodu
- Potansiyel oran metodu
- Sondaj kuyusunda Strata metodu (borulanmamış sondaj kuyularında ölçü metodu)
- IP metodu (indüksiyon polarizasyon metodu)

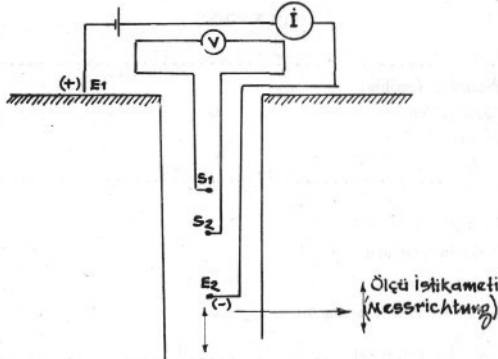
Konu direnç (rezistivite) ölçü metodu olduğundan, bu ölçü çeşitlerinin daha doğrusu rezistivite ölçü metotlarının kaç şekilde kullanılabildiğini gösterelim.

REZİSTİVİTE ÖLÇÜ METOT ŞEKİLLERİ

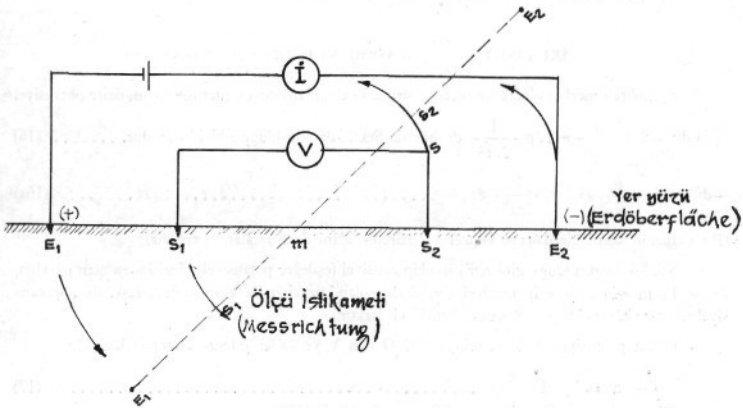
- Elektrot ve sondaların horizontal (yeryüzüne paralel) kaydırma (translasyon) suretiyle yapılan ölçüler (Şek. 2).
- Vertikal kaydırma suretiyle yapılan ölçüler, sondaj kuyularında alınan ölçüler, kuyu loğları (Şek. 3).
- Elektrot ve sondaların orta noktası sabit tutularak, elektrot ve sondalar 360° kendi etrafında döndürülmek suretiyle alınan ölçüler (döndürme sondajı) (Şek. 4).



Şek. 2 - Elektrot ve sondaların translasyonu.

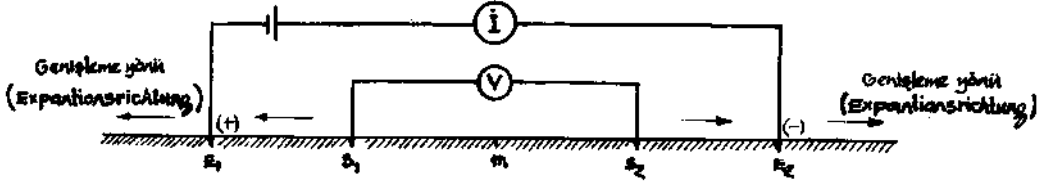


Şek. 3 - Sondaj kuyularında rezistivite ölçüsü.



Şek. 4 - Döndürme sondajı.

4. Elektrot ve sondaların tekrar orta noktası sabit tutularak elektrot ve sondalar profil boyunca açılarak alınan ölçüler (derin sondaj) (Şek. 5).



Şek. 5 - Derin sondaj ölçüsü (sattıhtan aşağı doğru derinlik tespit metodu).

OHM KANUNU

$$V = \dot{I} \cdot R \dots\dots\dots (13)$$

V = Potansiyel (gerilim)

\dot{I} = Akım şiddeti

R = Direnç

$$R = \rho \frac{l_1}{q} \dots\dots\dots (14)$$

ρ = Özdirenç (rezistivite)

l_1 = İletkenin uzunluğu

q = İletkenin kesiti

(14) teki formül (13) te yerine konursa,

$$V = \dot{I} \cdot \rho \frac{l_1}{q} \text{ Potansiyel} \dots\dots\dots (15)$$

(15) Bir iletkendeki potansiyeli (gerilimi) gösteriyor.

İKİ SONDA S_1 ve S_2 ARASINDAKİ POTANSİYEL FARKI

E_1 noktası merkez olmak üzere yüz altındaki ekipotansiyel çizgilerinin yarım daire potansiyel farkı $dv = \dot{I} \cdot \rho \cdot \frac{l}{q} = \dot{I} \cdot \rho \frac{1}{2\pi r^2} dr$ burada Şekil 6 da görüldüğü gibi $l = dr$ olur. (16)

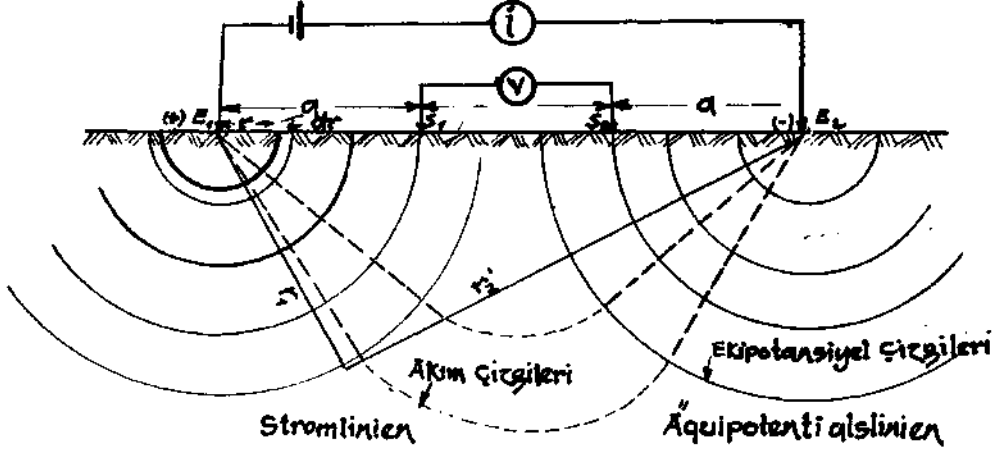
$$-dv = \dot{I} \cdot \rho \cdot \frac{l}{q} = \dot{I} \cdot \rho \frac{1}{2\pi r^2} \cdot dr \dots\dots\dots (16a)$$

(Bir iletkenin kesiti bir daireye benzer ve dairenin alanı da $S = \text{alan} = \pi r^2$ dir).

Şekil 6 da görüldüğü gibi r, E_1 in ekipotansiyel (eşdeğer potansiyel) çizgisinden olan uzaklığı, r ise E_1 in ikinci bir ekipotansiyel çizgisinden olan uzaklığı ile r arasındaki fark, $dv =$ potansiyelin noktadan noktaya değişmesi halindeki farktır.

Bütün potansiyeli bulmak için, dv yi 0 dan V ye kadar integre etmemiz lâzımdır.

$$\int_0^V -dv = \dot{I} \rho \int_0^r \frac{dr}{2\pi r^2} \dots\dots\dots (17)$$



Şek. 6

$$\left| -V \right|_0^v = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left| -\frac{1}{r} \right|_0^r$$

$$V = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \dots \dots \dots (18)$$

Bulunan $V =$ potansiyel, bütün sahayı veya iletkeni kaplayan bütün bir potansiyeldir (gerilim).

İKİ POL (KUTUP) ARASINDAKİ POTANSİYEL

$$-dv = I \frac{\rho}{2\pi} dr$$

Formül (16) ve Şekil 5 te görüldüğü gibi iletkenin uzunluğu l yerine dr olur. $l = dr$

$$- \int_{v_1}^{v_2} dv = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2}$$

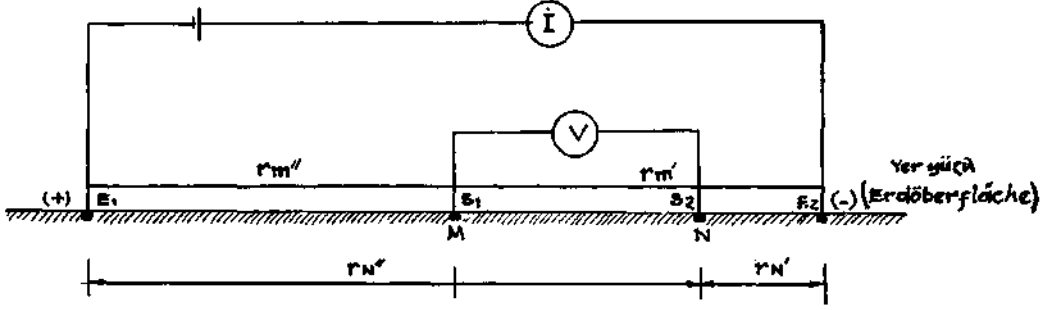
$$\left| -V \right|_{v_1}^{v_2} = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left| \frac{1}{r} \right|_{r_1}^{r_2}$$

$$-V_1 + V_2 = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$V_2 - V_1 = \Delta V = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \dots \dots \dots (19)$$

Şekil 7 de nasıl hesaplandığı görülmektedir. M' de (S_1 sondasında) potansiyel,



Şek. 7

$$V_M = \frac{i}{2\pi} \rho \left(\frac{1}{r_{m''}} - \frac{1}{r_{m'}} \right) \dots \dots \dots (20)$$

N de (S_2 sondasında) potansiyel ise,

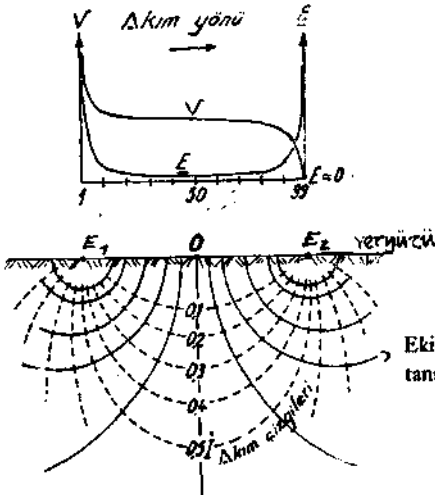
$$V_N = \frac{i}{2\pi} \rho \left(\frac{1}{r_{n''}} - \frac{1}{r_{n'}} \right) \text{ dir.} \dots \dots \dots (21)$$

V_M ve V_N nin farkları alınacak olursa (M ve N noktaları arasındaki potansiyel farkı) :

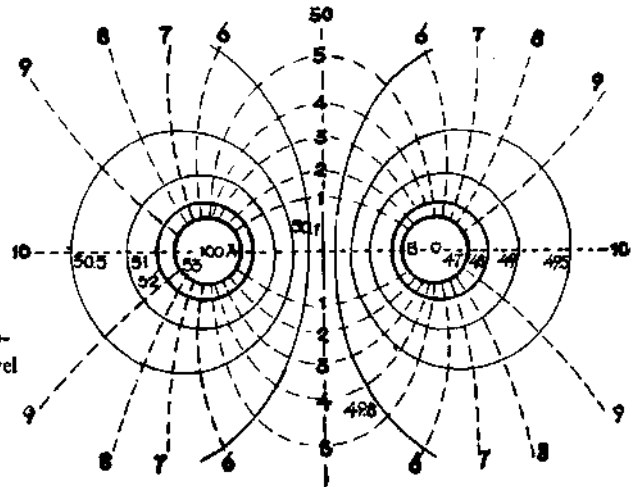
$$V_M - V_N = \Delta V = \frac{i}{2\pi} \rho \left(\frac{1}{r_{m''}} - \frac{1}{r_{m'}} - \frac{1}{r_{n''}} + \frac{1}{r_{n'}} \right) \text{ olur.} \dots \dots \dots (22)$$

ELEKTROT VE SONDALARIN DİZİLİŞİ

Yeriçine akım verilince, bu sahada bir ekipotansiyel (eşdeğer potansiyel) çizgiler meydana gelir. Bunlar akım çizgilerine veya akım çizgileri ekipotansiyel çizgilerine diktirler. Bu ekipotansiyel çizgileri vasıtasıyla potansiyel bulunur (Şek. 8 ve 9).



Şek. 8 - (Haalck'tan).

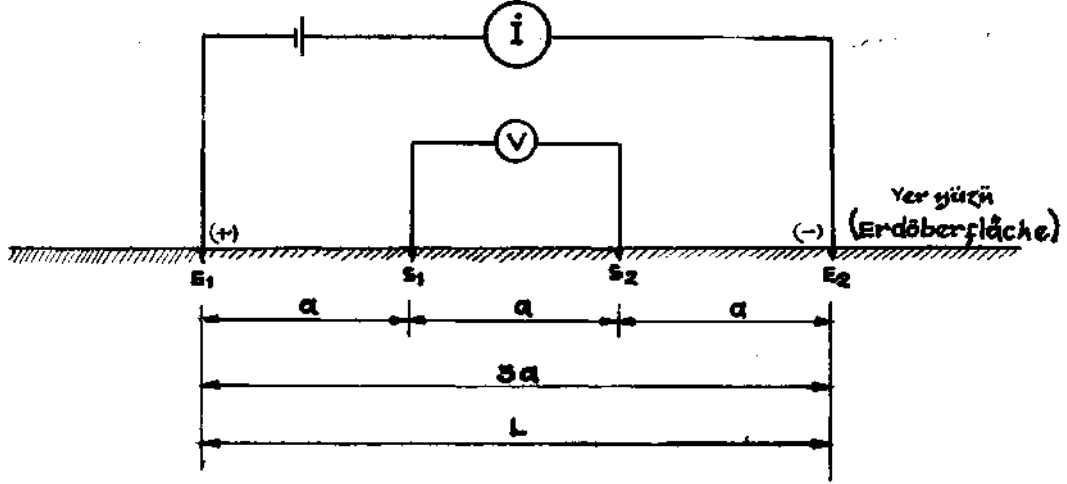


Şek. 9 - (Haalck'tan).

Rezistivite ölçü metotları için, elektrot ve sondaların diziliş ve terkipleri hakkında birçok metotlar vardır. Burada yalnız üç metottan bahsedilecektir.

1. Wenner Metodu

Wenner metodunda elektrot → sonda → sonda → elektrot aralıkları «a» birbirine eşittir. Bütün aralık uzunluğu Şekil 10 da görüldüğü gibi $3a = L$ dir.



Şek. 10 - (Bütün literatürlerde $3a=L$ ile gösterilir).

Şimdi formül (22) den istifade edilip Wenner metodu için potansiyel farkı ΔV bulunabilir.

$$V_1 - V_2 = \Delta V = \frac{I}{2\pi} \rho_s \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = \frac{I}{2\pi} \rho_s \frac{1}{a} \quad (23)$$

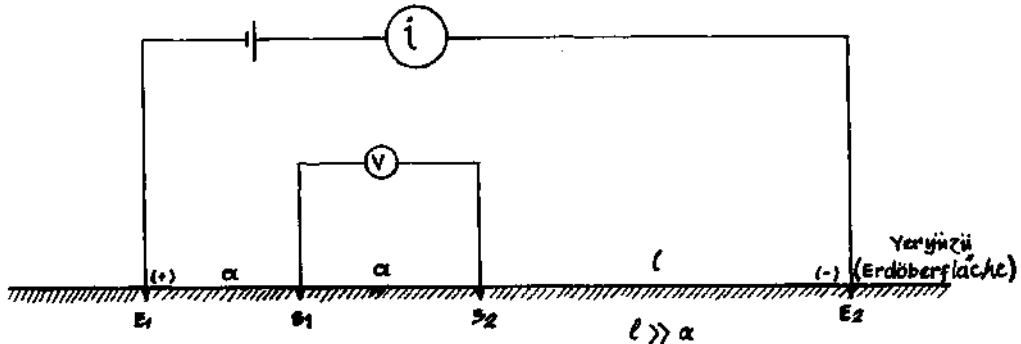
ρ_s = Zahirî rezistivite = Görünür rezistivite

$$\rho_s = \frac{\Delta V}{I} 2\pi a = \text{Wenner formülü} \quad \dots \dots \dots (24)$$

2. Tek Pol metodu

Tek Pol metodu daha çok dar vadilerde kullanılır. Bunun için de yalnız ve yalnız Şekil 11 de görüldüğü gibi E_2 elektrotu çok uzak yere konmalıdır, $l \gg a$

O zaman (22) deki formül aşağıdaki durumu alır.



Şek. 11 - Tek Pol rezistivite ölçme metodu.

$$V_1 = \frac{I}{2\pi} \rho_s \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{l-a} \right) \dots \dots \dots (26)$$

$$V_2 = \frac{I}{2\pi} \rho_s \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{l-2a} \right) \dots \dots \dots (27)$$

$$V_1 - V_2 = \frac{I}{2\pi} \rho_s \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{l-a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{l-2a} \right) \dots \dots \dots (28)$$

$l-a \approx l-2a$ olacağı kabul edilirse

$$\Delta V = \frac{I}{2\pi} \rho_s \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{l-a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{l-a} \right) \dots \dots \dots (29)$$

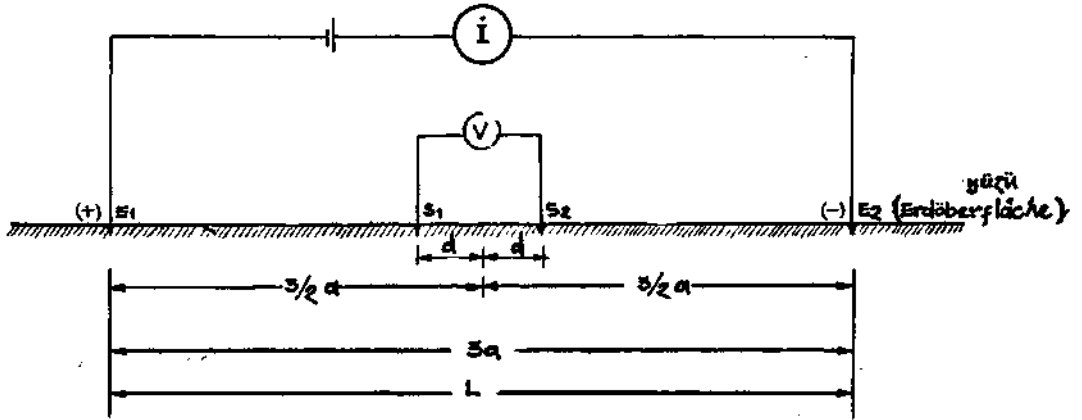
$$\Delta V = \frac{I}{2\pi} \rho_s \left(\frac{1}{2a} \right) \dots \dots \dots (30)$$

$$\boxed{\rho_s = \frac{\Delta V}{I} 4 \pi \cdot a} \dots \dots \dots (31)$$

Bu metoda Tek Pol ölçü Metodu denir.

3. Schlumberger metodu

Schlumberger ölçü metodu Wenner metodunda olduğu gibi, aynı sistem üzerinden yürütülür. Fakat Schlumberger'de Şekil 12 de görüldüğü gibi, elektrotlar arasındaki mesafe, sondalar arasındaki mesafeden çok büyüktür.



Şek. 12 - Schlumberger metodu.

Tekrar (22) deki formüle geri dönelim.

$$r''_m = \frac{3}{2} a - d$$

$$r''_N = 3/2 a + d$$

$$r'_m = 3/2 a + d$$

$$V'_N = 3/2 a - d$$

Bu değerler (22) de yerine konur.

$$V_m - V_N = V_1 - V_2 = \Delta V = \frac{I}{2\pi} \rho_s \left(\frac{1}{3/2 a-d} - \frac{1}{3/2 a+d} - \frac{1}{3/2 a+d} + \frac{1}{3/2 a-d} \right) \dots\dots\dots (32)$$

(22) formülü sadeleştirilirse,

$$\Delta V = \frac{I}{2\pi} \rho_s \frac{1 \delta d}{q a^2 - 4 d^2}$$

2 d << 3 a olduğundan (33a)

$$\Delta V = \frac{I}{2\pi} \rho_s \frac{16 d}{q a^2} \dots\dots\dots (33b)$$

$$\boxed{\rho_s = \frac{\Delta V}{I} \pi \cdot \frac{9}{8} \cdot \frac{a^2}{d}} \dots\dots\dots (34)$$

Schlumberger formülü.

HORIZONTAL İKİ TABAKA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Rezistivite S₁ ve S₂ olan iki horizontal tabaka düşünölsün, üstteki tabakanın kalınlığı h₁ ve suya doymuş kumlu bir tabaka olsun. Bunun altındaki tabaka ise, sert bir tabaka ve kalınlığı alta doğru sonsuza uzansın. Böylece Wenner metoduna göre bu şekilde iki tabakayı inceleyecek formölü eleştirelim.

$$V_A - V_B = \frac{I \rho_1}{2\pi q} \left[1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K^n \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{4 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} \right) \right] \dots\dots\dots (35)$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \dots\dots\dots (36)$$

K, (+1) ile (-1) arasında bütün değerlerde olabilir. Şayet yer homogen (tabakalar arasında bir fark yoksa) ise, o zaman K=0 olur. Veya nerede K=0 ise, orada yer homogendir. Bu demektir ki, hiç bir zaman orada iki tabaka mevcut değildir.

$$V_A - V_B = \Delta V = \frac{I \cdot \rho_1}{2\pi a} \left[1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} O(\dots\dots\dots) \right]$$

$$\rho_s = \frac{\Delta V}{I} \cdot 2\pi a \quad (\text{Görünür rezistivite})^* \dots\dots\dots (37)$$

(37) deki formöl, Wenner'e göre görünür rezistiviteyi bulmak için kullanılan formölden başka bir şey değildir.

* Görünür rezistivite ρ_s ölçü esnasında alınan rezistivitedir. Yani ölçölen tabakanın hakiki rezistivitesi olmayıp görünür (zahiri) bir rezistivitedir.

(35) ve (37) formülleri birbirlerine bölünürse,

$$\frac{\rho_s}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K^n \frac{1}{\sqrt{1 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{4 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} \dots \dots \dots (38)$$

yukarıdaki formül (38) ile, ρ_s in ρ_2 e oranı bulunur.

Schlumberger metoduna göre ρ_s / ρ_1 oranı ise aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\rho_s}{\rho_1} = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} K^n \frac{1}{\left[1 + \frac{4}{a} \left(2n \frac{h}{a}\right)\right]^{3/2}} \dots \dots \dots (39)$$

Tek Pol metodu için ρ_s / ρ_1 ise,

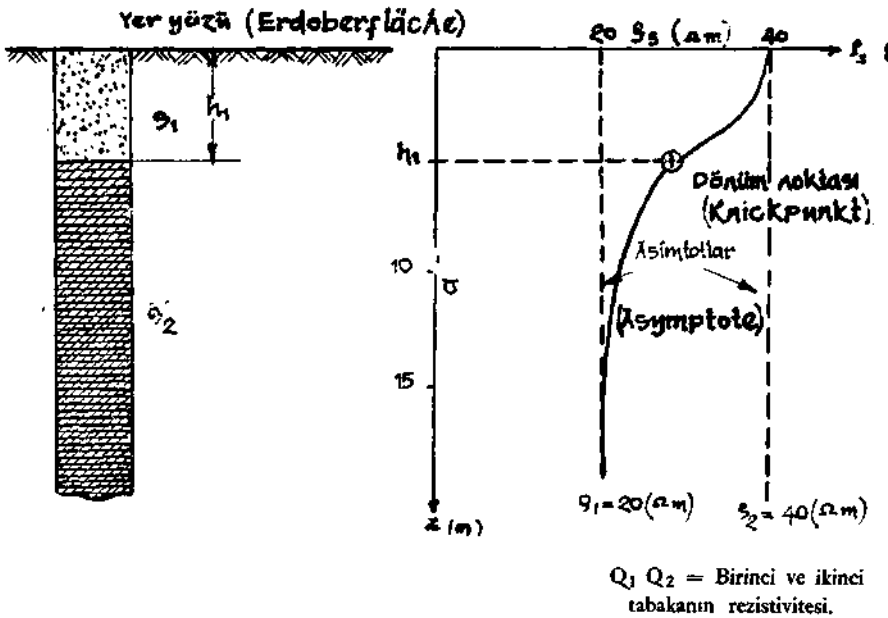
$$\frac{\rho_s}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K^n \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4}{q} \left(2n \frac{h_1}{a}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{4 + \frac{4}{q} \left(2n \frac{h_1}{a}\right)^2}} \right] \dots \dots (39a)$$

h_1 umumiyetle h vasıtasıyla elde edilir.

İKİ TABAKA PROBLEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tabakaların tespiti için, birçok metotlar vardır. Burada çok kullanılan metotlar analiz edilip, incelenecektir.

a) Wenner metoduna göre, arazide ölçülen ρ_s görünür rezistivite değerleri bir kartezik koordinat sisteminde apsis ve a değerleri (**elektrot \rightarrow sonda \rightarrow elektrot aralığı**) aşağı doğru alman Z ordinatına metre olarak konulur. Böylece aşağı doğru bir eğri elde edilir (Şek. 13). Bu eğrinin dönüm noktasının Z ordinatındaki değeri h_1 derinliğini ve ρ_s eğrisinin asimtotlarının apasisteki değerleri ρ_1 ve ρ_2 (hakikî rezistivite) değerlerini verir.

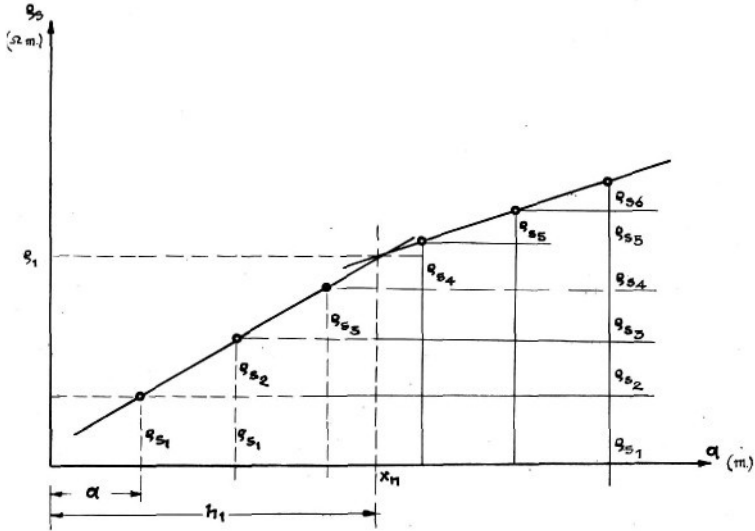


Şek. 13

Yalnız burada nazan dikkate alınacak nokta şudur ki, eğer elektrot aralıkları küçük alınacak olursa görünür resistivite ρ , üst tabakanın hakikî resistivitesi ρ_1 e takriben eşit olur. Çünkü elektrot aralıkları küçük alındığından, ρ_1 e ikinci tabakanın resistivitesi ρ_2 tesir etmez. Elektrot aralıkları büyük alınrsa $(L)h_1$ bu sefer görünür resistivite ikinci tabakanın hakikî resistivitesi olan ρ_2 ye yaklaşır. Buna göre küçük elektrot aralıklarında elde edilen $\rho_s \approx \rho_1$ ve büyük elektrot aralıklarında elde edilen $\rho_s \approx \rho_2$ olur.

b). Bu değerlendirmede Wenner metoduyla ölçülen değerler alınmalıdır. Yine bir kartezik koordinat sisteminde apsise a mesafe (m), ordinata ise arazide ölçülen ρ görünür resistivite değerleri taşınır. Bu tarz h derinliğini göstermek için, aşağıda anlatılacak duruma dikkat edilmelidir.

İlk ahnan ölçüde, a değeri apsiste ve ρ_s değeri ordinatta gösterilir. İkinci ölçüde yine apsiste a değeri, ordinata ise ölçülen yalnız ρ_s değeri değil, $\rho_{s1} + \rho_{s2}$ değeri gösterilir. Üçüncü, dördüncü ve n inci ölçüde daima ölçülen ρ , değerine bir evvelkiler eklenip, öyle ordinatta gösterilir. Elde edilen eğrinin kırılma nokta sının apsis değeri h değeri verir (Şek. 14).



Şek. 14

EĞRİLERİN ÇAKIŞTIRMA VEYA KARŞILAŞTIRMA METODU

Teorik abakların elde edilmesi için bundan evvelki paragraflarda gerekli formüller hesaplanarak zemin hazırlanmıştı. Asıl bu işlemi 1930 yılında Stefanescu, nokta şeklinde bir akım kaynağının meydana getirmiş olduğu potansiyeli ve bunun dağılımını Laplace denklemiyle (11) çözmüştür. Stefanescu matematiksel bu çözümünde, Weber'in bir formülünü kullanarak Hankel'in integralinin yardımıyla başarıya ulaşmıştır. Teorik olarak abak elde etmek için bu formülleri daha izahlı olarak A. Bentz I sayfa 803 ve Haalck II sayfa 53 te bulmak mümkündür.

Teorik abaklar, her metot ve her tabaka miktarları için ayrı ayrı alınan değerlerden elde edilerek p_i eğrilerine hemen hemen uyumluluk gösterirler. Bu uyumluluk neticesinde ve (41) deki formüller yardımıyla 1. tabakanın arzu edilen p_1 , h_1 ile ikinci tabakanın p_2 değerleri bulunur.

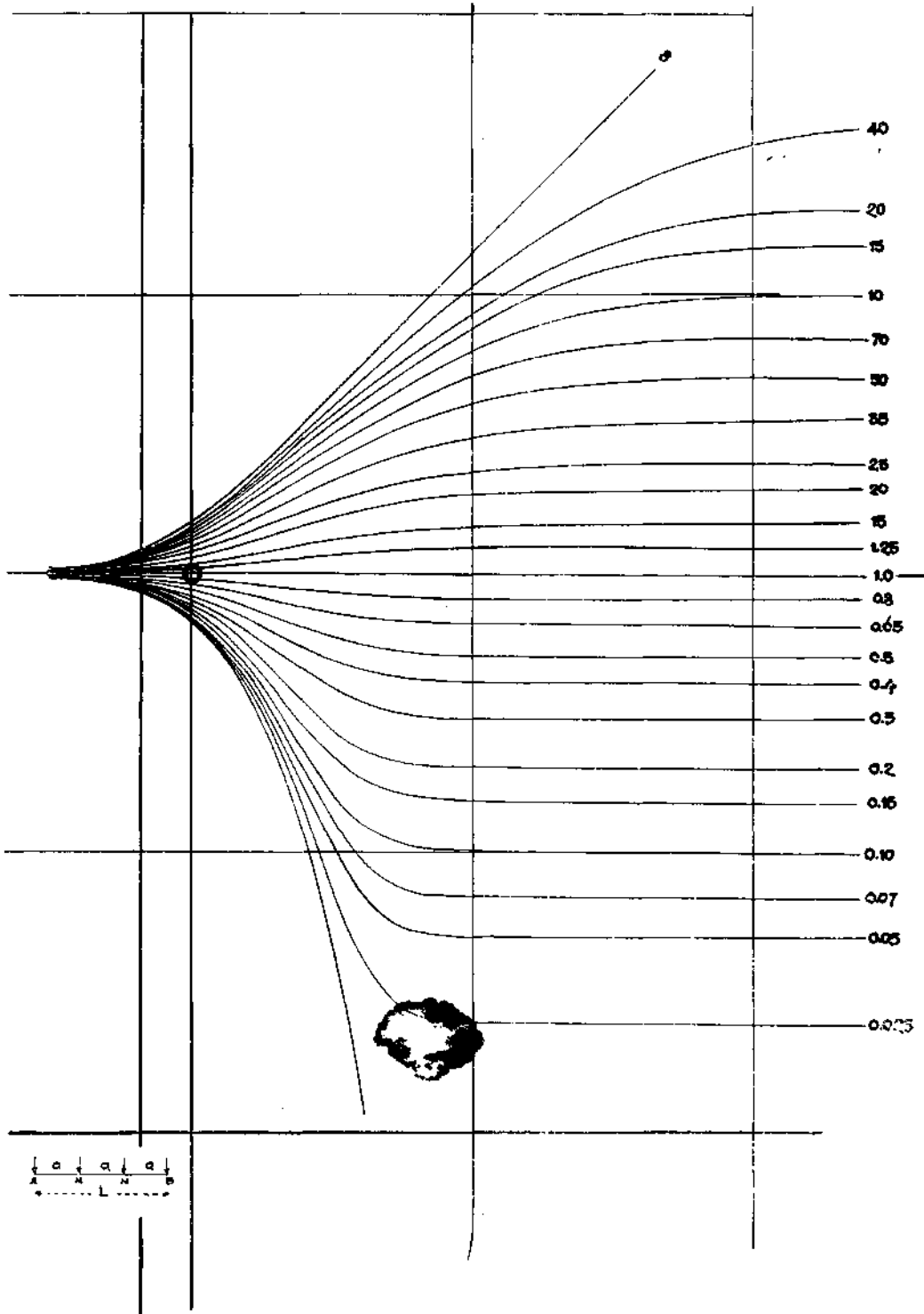
$$\mu = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad \mu_1 = \frac{\rho_3}{\rho_1} \text{ ve } v = \frac{m_2}{m_1} \dots\dots\dots (41)$$

$m_1, m_2 =$

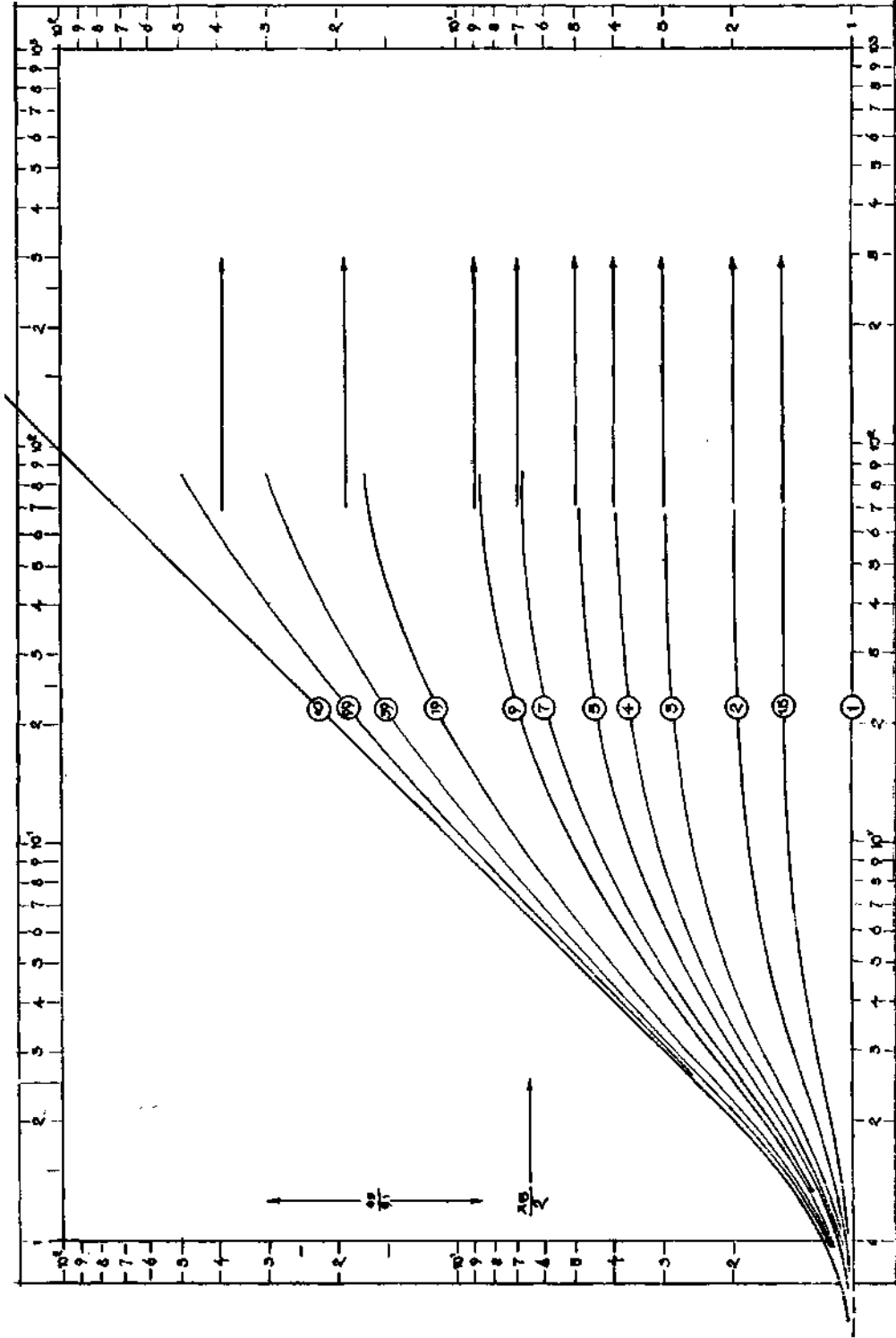
μ

$$\frac{\rho_3}{\rho_1}$$

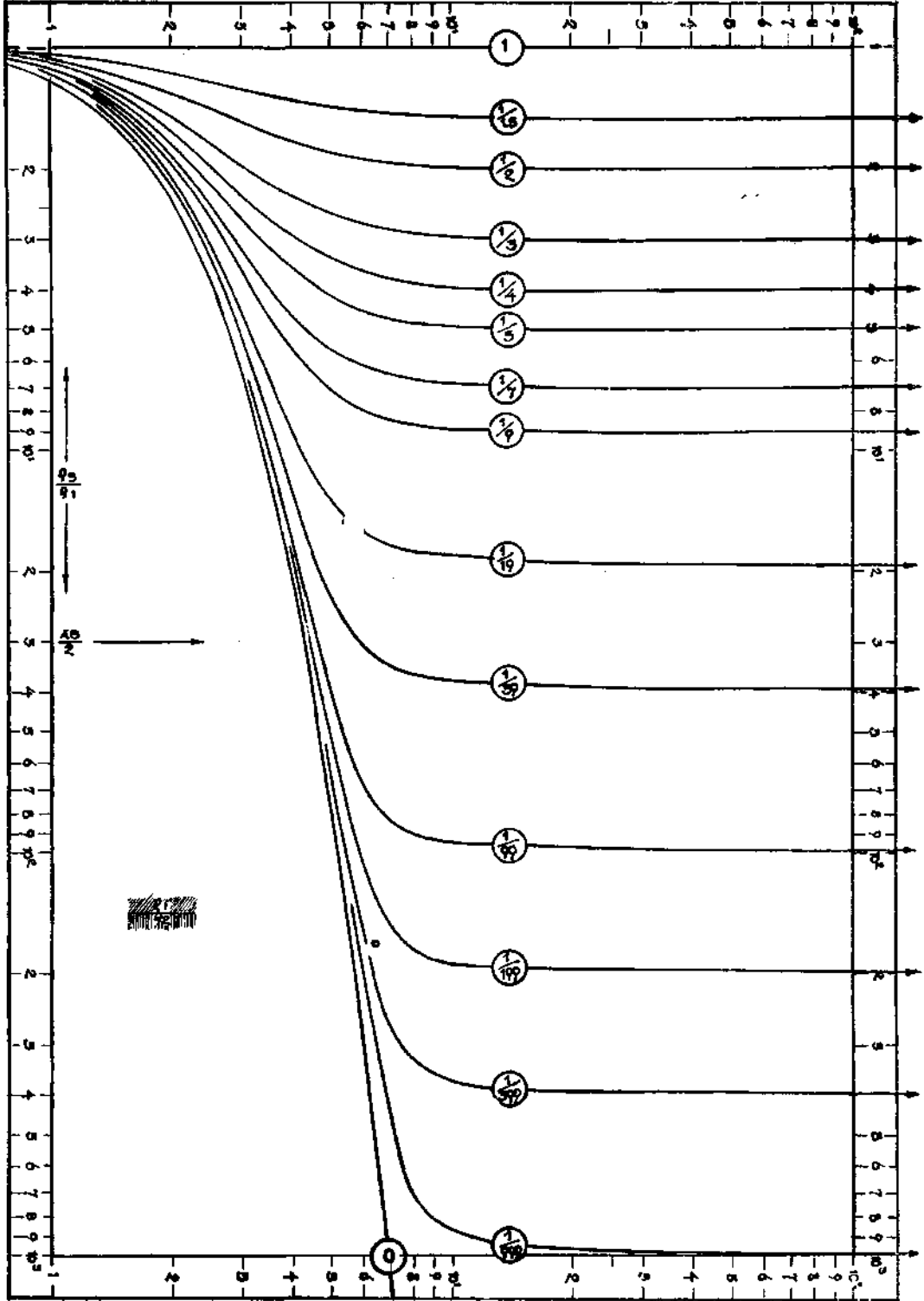
$$\frac{a}{h} \text{ (a = elektrot } \longrightarrow)$$



Şek. 15 - WENNER çift tabaka abağı.



Şek. 16 - Schlumberger metodu için 1. abak. (daireler içindeki rakamlar $\frac{Q_2}{Q_1}$ oranıdır.)



Şek. 16 a - Schlumberger metodu için 2. abak. (daireler içindeki rakamlar $\frac{Q_2}{Q_1}$ oranıdır).

kestiği noktalar) p_2 yi verir. Böylece aranan h_1 değeri metre p_1 ve p_2 hakiki rezistivite değerleri de Ohm metre olarak bulunur. Bu enterpretasyonun daha iyi anlaşılması için ilişikte arazide ölçülerek elde edilen hakiki değerlerle bir misal verilip, konunun daha iyi anlaşılmasına çalışılmıştır (Şek. 17).

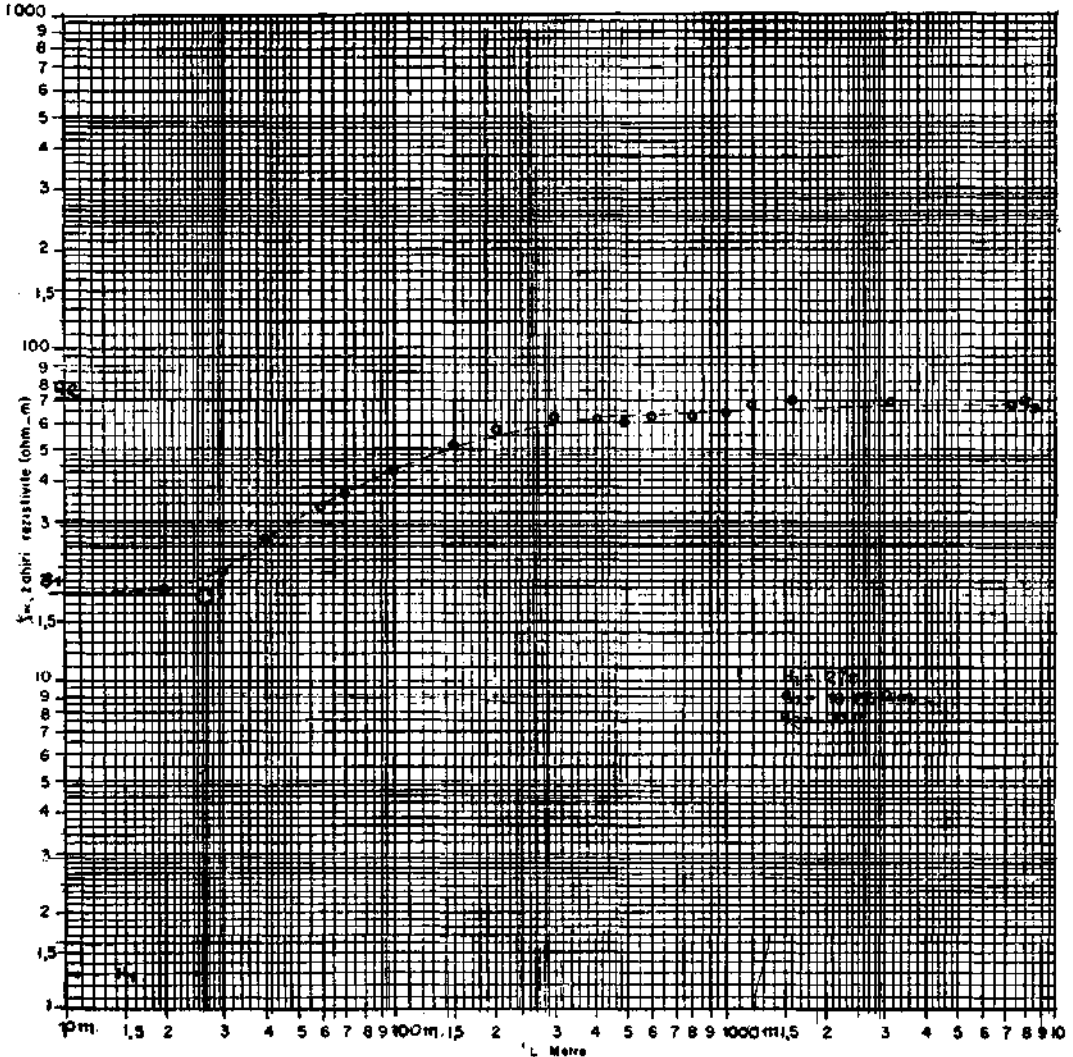
Schlumberger metodunda ise yine p_s değerleri $L/2$ ye (L = iki elektrot arasındaki uzaklık) bağlı olarak çift logaritmik transparent kâğıda (ordinatı $\frac{\rho_s}{\rho_t}$ Ohm metre ve apsisi ise $L/2$ metre

M. T. A. ENSTİTÜSÜ

Die Kurve der elektrischen Tiefensondierung Elektrik Sondaj Grafiği

Messgebiet
Eröd Bölgesi : Äyaz
Punkt № :
Nokta No. :
Höhe des Punktes
Nokta Kotu :

Datum
Tarih :
Messrichtung
Açılış Yönü : N-S
Die Art der Messung
Açılım cinsi : Wenner



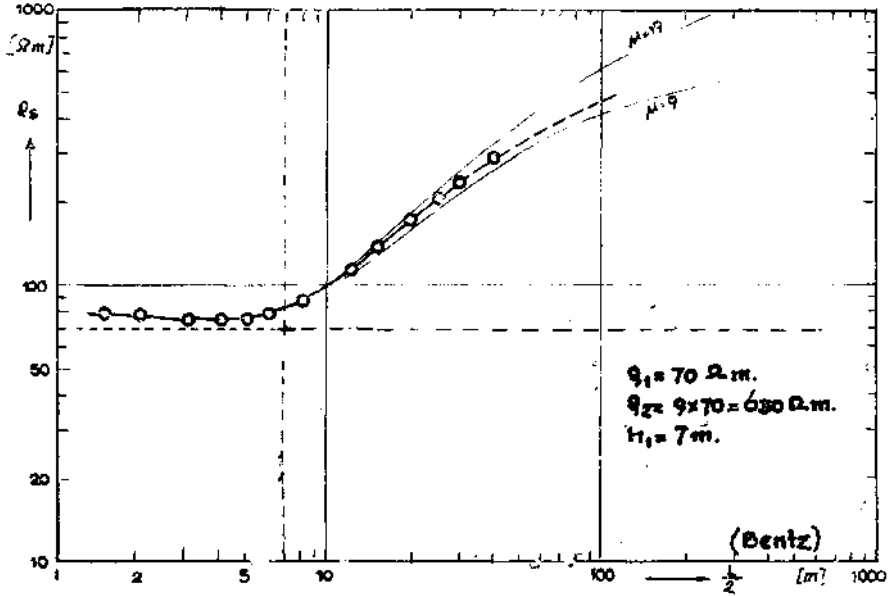
Şek. 17

olan ρ_s eğrisi çizilir. Elde edilen bu $\rho_s(L/2)$ eğrisi Schlumberger metoduna göre teorik olarak hesaplanmış abak üzerine oturtulur. Dikey ve yatay eksenler birbirine paralel olarak kaydırılarak abak üzerindeki eğrilerin ρ_s eğrisine uyumlu olanı bulunup, p_1 değeri ordinatta ve h_1 değeri de apsis üzerinde okunur.

Şayet ρ_s eğrisi abak üzerinde hiç bir eğriye uymayıp, iki eğri arasına geliyorsa, ρ_s eğrisi hangisine daha yakınsa o eğri alınıp formül (41) den istifade edilerek p_1 , p_2 ve h_1 bulunur. Şekil 18 de bir misal verilip, işlemin nasıl yapıldığı gösterilmiştir. ρ_s eğrisi $\mu=q$ eğrisine daha yakındır. Öyle ise in dönüm noktasının alt teğeti ordinata $p_1=70$ Ohm metre ve apsisde $h_1=7$ metre olarak bulunur. P_1 değeri (41) formülünde yerine konup yaklaşık olarak p_2 değeri elde edilir.

$$\mu = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$\mu = q$, $\rho_1 = q\Omega m$. Bu değerleri yukarıdaki formülde yerine koyarsak, $\rho_2 = 70 \times 7 = 630$ Ohm metre bulunur.



Şek. 18

ÜÇ TABAKA DURUMU

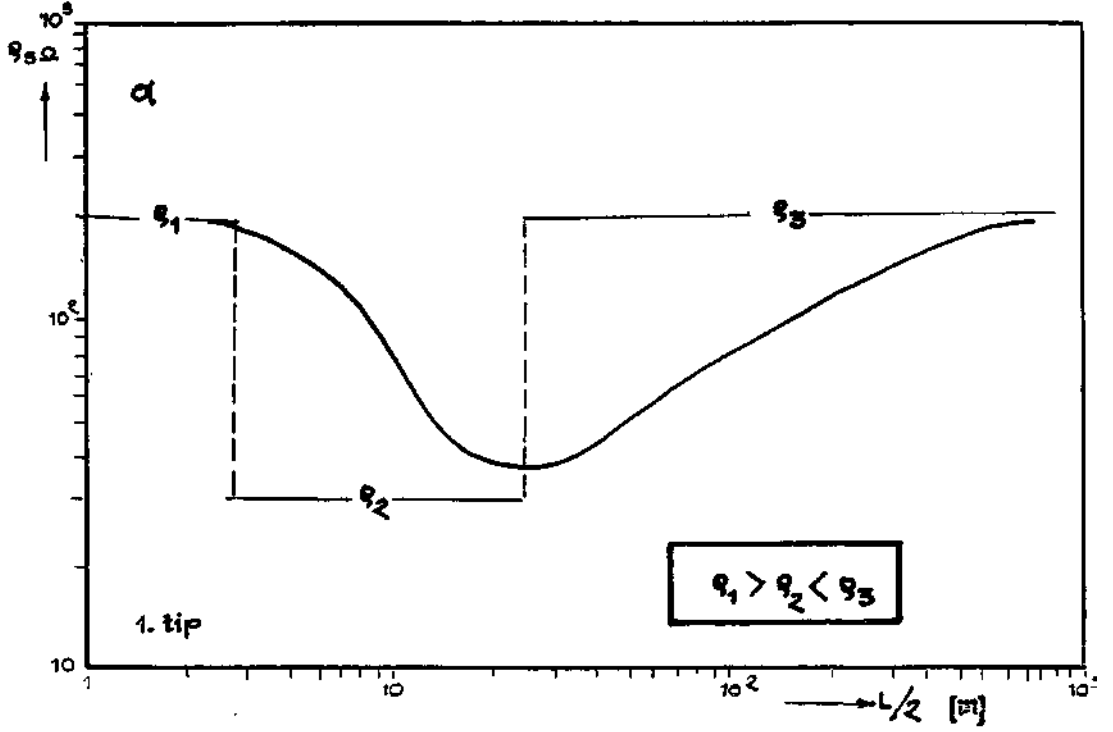
Eğer arazide üç tabaka durumu var ise, bu da aynen iki tabaka problemi gibi çözülebilir. Fakat burada matematiksel analiz biraz daha fazla ve karışıktır. Bunun için Hummel ve Tölge tarafından hesaplanarak hazırlanmış birçok abaklar vardır. Bu abakları, hemen hemen jeoelektrikle ilgili literatürlerde bulmak mümkündür. Yalnız burada, böyle bir etüdü yürüten elemanlara kolaylık olsun diye P_1 , P_2 ve P_s ün farklı olduğu 4 tip durum grafiği ve abakları ilişikte sunulmuştur.

Ölçü esnasında ya p_1 den faydalanarak veya abaklardaki yardımcı noktalardan istifade edilerek üç tabaka problemi çözülmeye çalışılır.

a) 1 inci tip (minumum tip): İki az iletken tabaka arasında iyi iletken bir tabaka bulunma durumu. Şekil 19 ve buna ait abak 19a

$$\rho_1 \} \rho_2 \} \rho_3$$

Misal: İki kil tabakası arasında kum tabakasının bulunması hali.



Şek. 19

b) 2 nci tip (çift yükselen tip): Üst tabakadan aşağı doğru rezistiviteyi artıran tabakaların durumu. Şekil 20 ve buna ait abak 20a

$$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$$

Misal: Kalkerin, şist ve çözülen balçık ile örtülü olma hali.

c) 3 üncü tip (çift azalan tip): Aşağı tabakadan yukarıya doğru rezistiviteyi artıran tabakaların durumu. Şekil 21 ve buna ait abak 21a

$$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$$

Misal: Bir tabakanın kuru kum, 2 nci tabakanın da sulu kum olarak killi tabakanın üstünde olma hali.

d) 4 üncü tip (maksimum tip): iki iyi iletken tabaka arasına kötü iletken bir tabaka girmiş olma durumu. Şekil 22 ve buna ait abak 22a

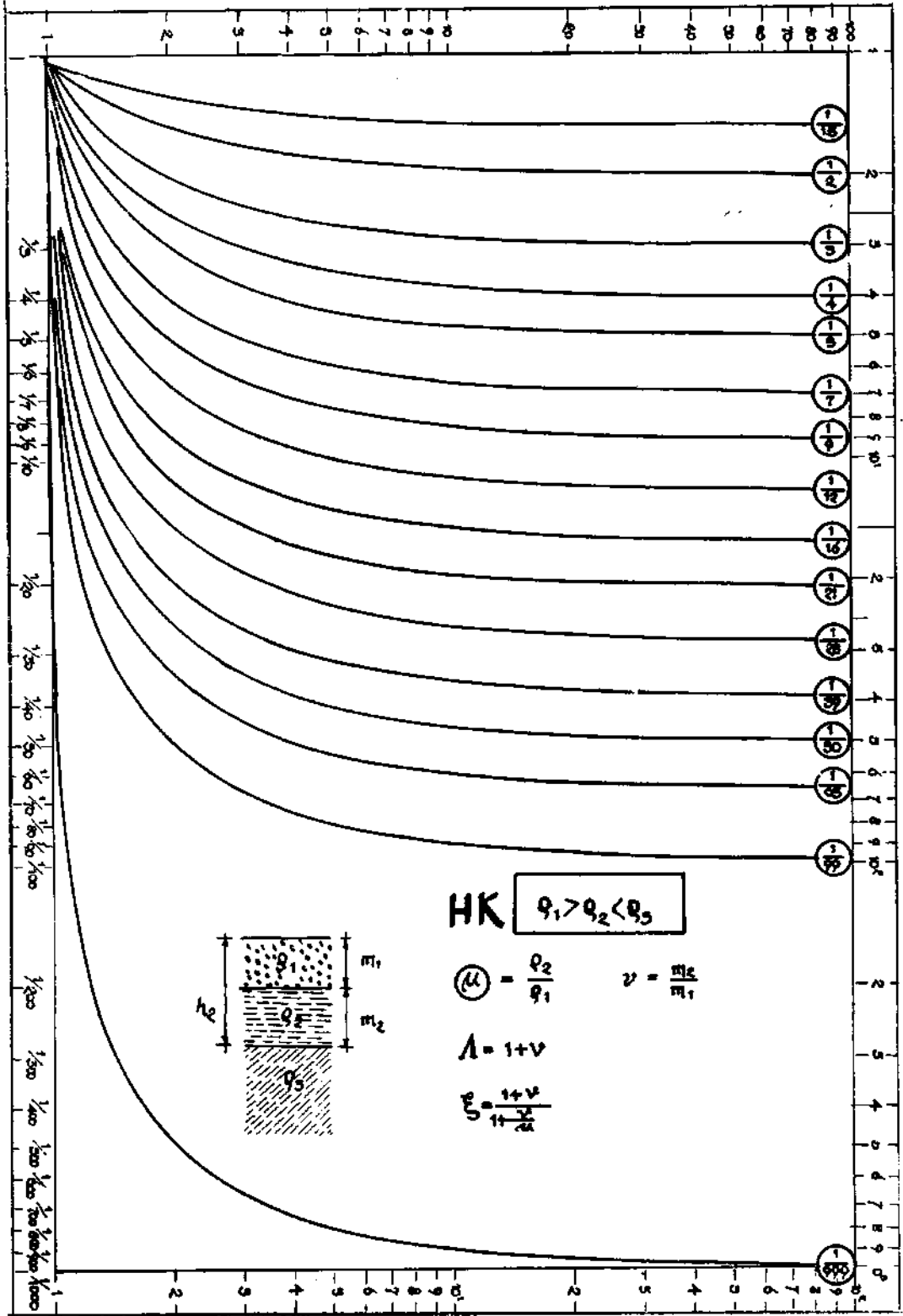
$$\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$$

Misal: Çakıllı tabakanın, çamurlu balçık tabakası ile (üstte) killi tabaka arasında olma hali.

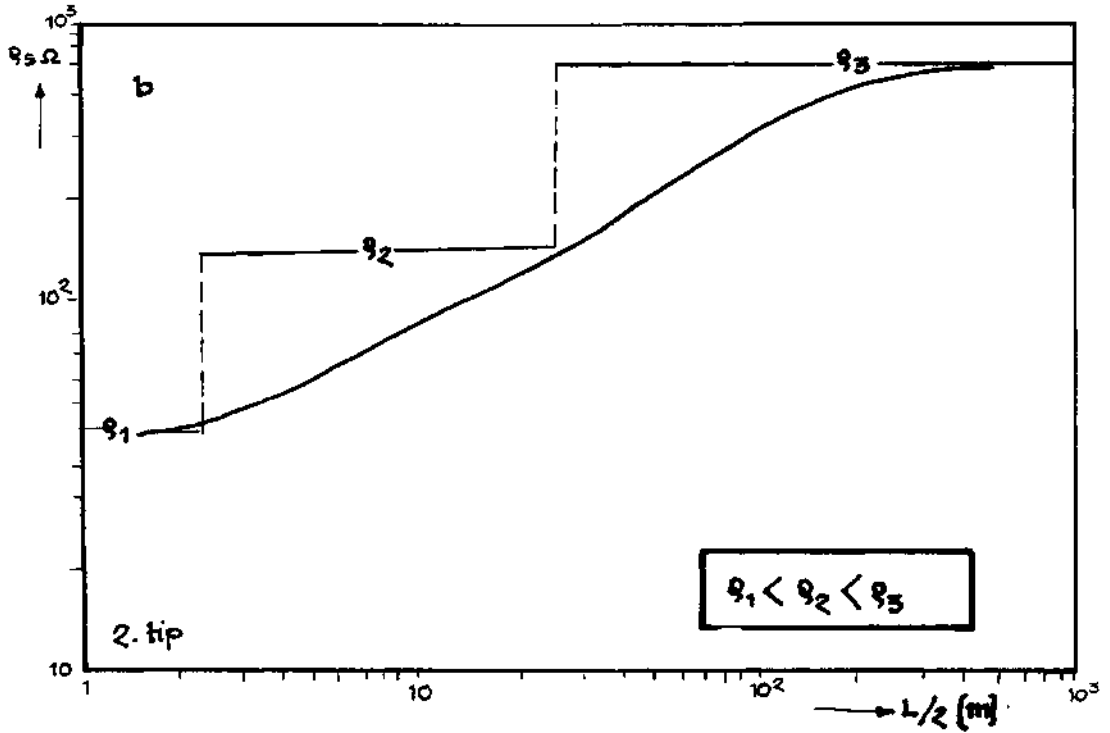
NETİCE

Şimdiye kadar anlatılanlar sayesinde öğrenildi ki, jeoelektirik rezistivite metodu ile;

- Jeolojik yapı
- Jeolojik tektonik yapıları
- Tabakaların rezistiviteyi
- Tabakaların derinlikleri rahatlıkla hesaplanabilir.



Şek. 19 a - Üç tabaka metodu için 1. tip abak.



Şek. 20

Bu durumda jeofiziğin bu bölümü, jeolojinin çözemediği problemlere hemen hemen cevap verecek durumdadır.

IP ÖLÇÜLERİ HAKKINDA KISA BİLGİLER

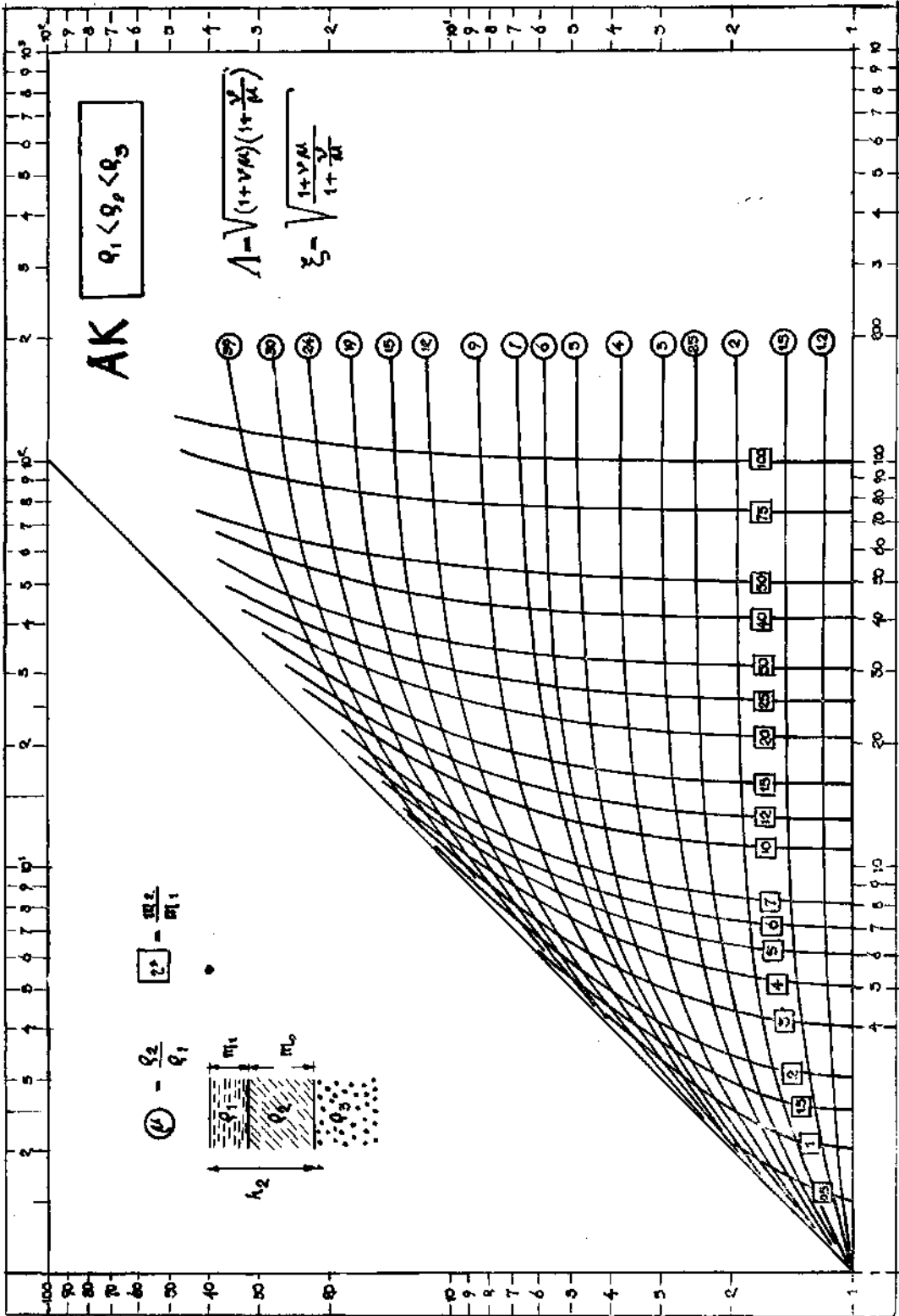
A. IP demek indüksiyon polarizasyondur. Fizikte bilindiği gibi bir iletkenin akım geçirildiği zaman, etrafında bir manyetik alan meydana gelir. Akım kesilince, bu manyetik alan dolayısıyla, içinden akım geçirilen iletkenin bir indükleme (indüksiyon akımı) meydana gelir. Bu indüksiyon akımının polarizasyonu dolayısıyla bir potansiyel meydana getirir. Burada asıl anlatılmak istenilen gaye, bu fizikî olaydan istifade edip, yeraltında iletkenliği bulunan maden yataklarını bulmaktır. Teknik alanda geliştirilen IP cihazları ile bu gaye bugün gerçekleştirilmiştir. (Bilhassa bakır, grafit, kurşun, çinko madenleri ile pirit ve manyetit etütlerinde IP metodu çok başarılı olmaktadır.)

B. Burada kısaca IP metodu anlatılmaya çalışılmıştır.

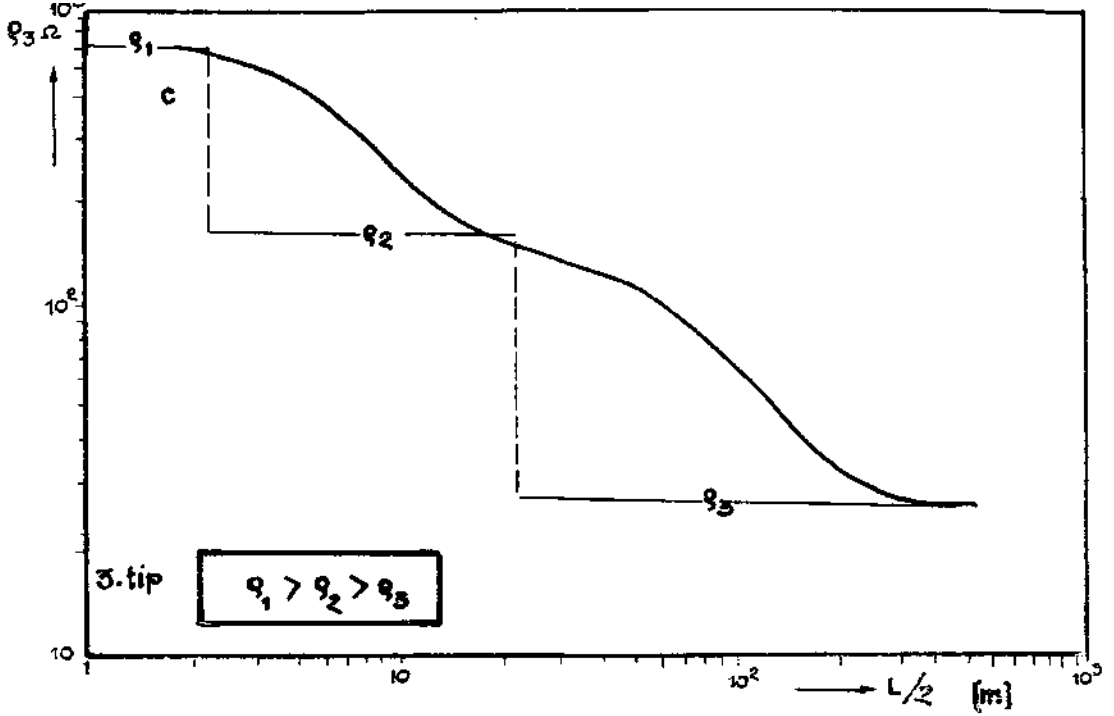
1) Jeolojik detayı çalışılmış ve emaresi görülen veya ihtimal verilen yerde (maden yatağı ihtimal edilen yerde), mostraya dikey profiller belirli bir uzaklıkla atılır (10 metre ile 200 metre arasında). (Şek. 1). Eğer alınan ölçüler iyi bir anomali (cevher oluşumuna dair) veriyorsa, anomali olan bu yerlerden geçmek üzere, paralel profillere birkaç dikey profil atılır.

2) Lüzumlu olan aletler: a) Jeneratör b) IP cihazları (akım verici, potansiyel farkı ölçen aletler) c) Elektrotlar d) Sondalar e) Kablolarda f) Klipsler g) Telsizler h) Kuru piller (1.5 volt).

3) Elektrot ve sondalar eşit aralıklarla açılıp, yere sokulur, n faktörüne göre $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$ eşit aralığı muhafaza edecek şekilde n faktörünün değerine göre ölçü istikametinde ileriye götürülür (Şek. 2).



Şek. 20a - Üç tabaka metodu için 2. tip abak.



- 4) Ölçü, cevherli tabakanın dalımının aksi istikametinde alınmaya başlanır.
- 5) Jeneratör, 0.3 frekanslı akım verince, bu doğru akım olarak kabul edilir.
- 6) Beş veya yukarı frekanslar için, jeneratörün vermiş olduğu akım, artık bir doğru akım değil, alternatif bir akımdır.

C. Alınan ölçülerin değerlendirilmesi

1) Elde edilen ölçüler neticesinde, tabakanın rezistivitesi (özdirenci) hesaplarla elde edilip (formüllere bak), rezistivite anomalisi çizilir.

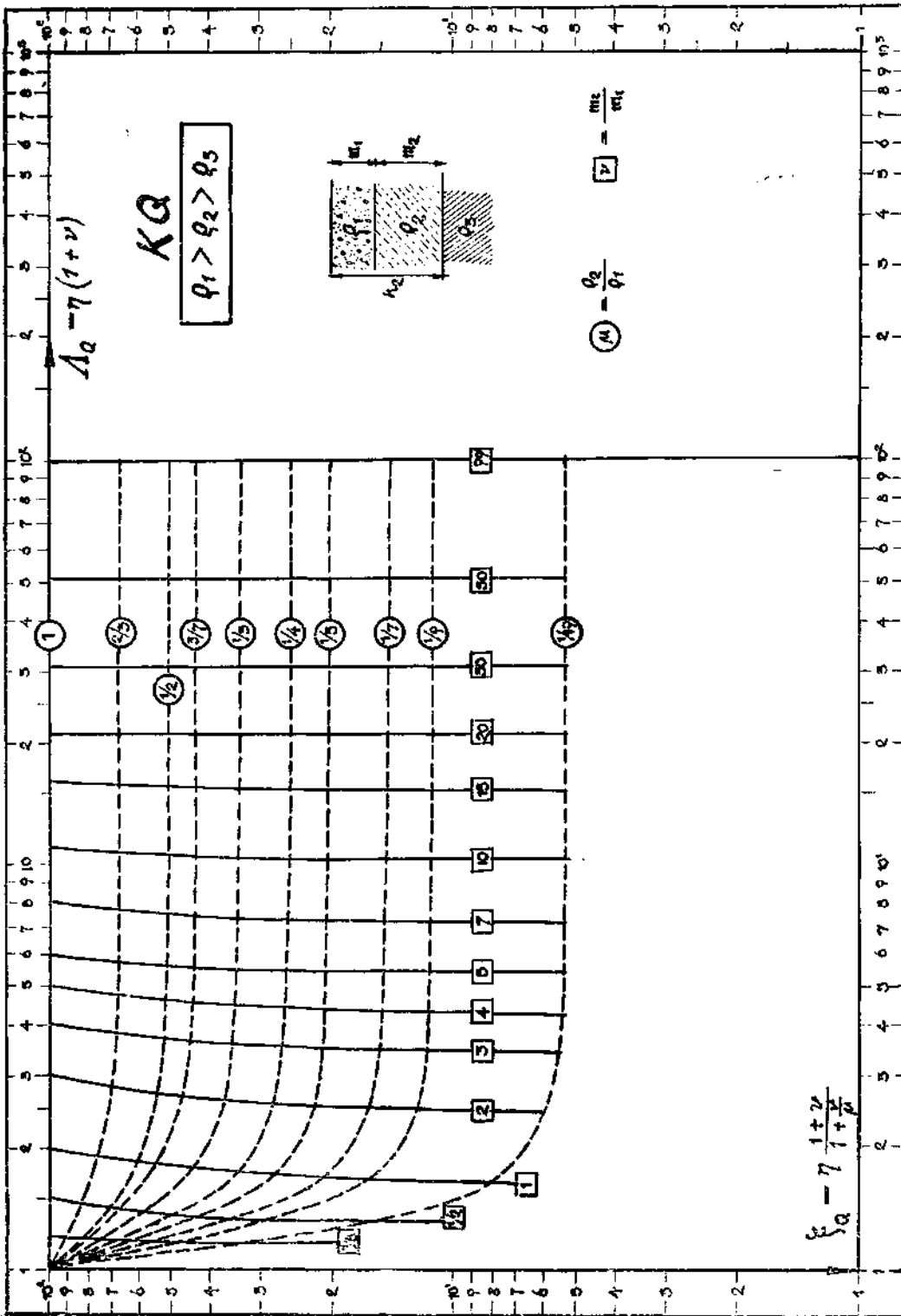
2) Sonra frekans efekti bu sonuçlarla elde edilir, bununla anomali haritası çizilir. IP ölçülerinde neticeye varmak için, çift akım kullanılır. Bunun için, jeneratörden çıkan akım alternatif akım olduğundan, doğru akım elde etmek için, çok küçük frekans seçilir (Meselâ 0.3 frekansı gibi).

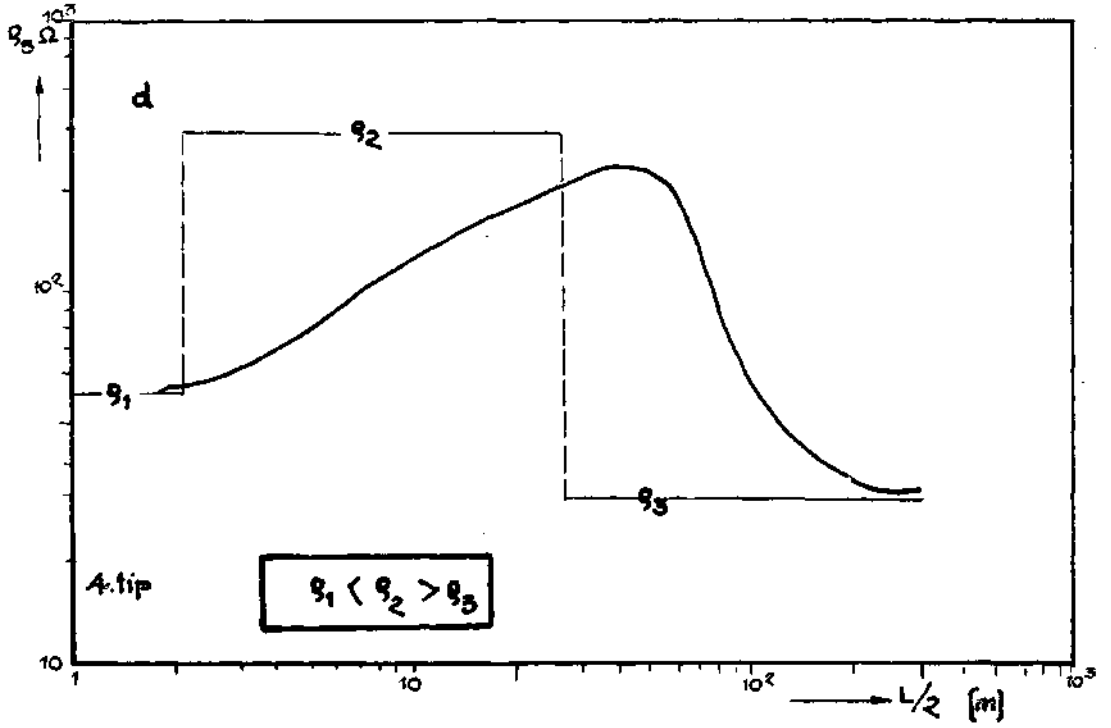
Yukarıda bahsetmiş olduğumuz gibi beş ve yukarı frekanslar için, jeneratörden çıkan akımlar bir doğru akım değil, alternatif akımdır. Bu çift ölçü (çift frekans) almamızın sebebi PAC ve PDC rezistivitelefini ilişikteki formüllerle elde etmek içindir.

3. Formüller sayesinde, tabakanın metal faktörü hesap edilip, bununla anomali haritası çizilir.

Asıl önemlisi, cevherin iletkenliği olan yeri tespit etmektir. Bunun için rezistivite, frekans efekti ve metal faktör anomalisi haritaları çizilip, rezistivitesi çok düşük fakat buna karşılık metal faktörü yüksek olan noktalar bulunur. Bu da, ölçülerimiz neticesinde, iletkenliği olan cevherli zonun gerekli sondaj yerini bulup tespit etmek demektir.

Yukarıda bahsedilen durumu daha iyi aydınlatmak için Balya'nın Altıparmaklar mevkiinde alınan hakiki değerlerle iki profil sunulmaktadır.





Şek. 22

FORMÜLLER

V = Potansiyel (gerilim) = voltmetre

I = Akım = ampermetre

R = Direnç = ohmmetre

ρ = Özdirenç (rezistivite)

a = Açılım uzunluğu = metre

n = Faktör

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

Ohm kanunu

$$R = \rho \cdot \frac{l}{Q}$$

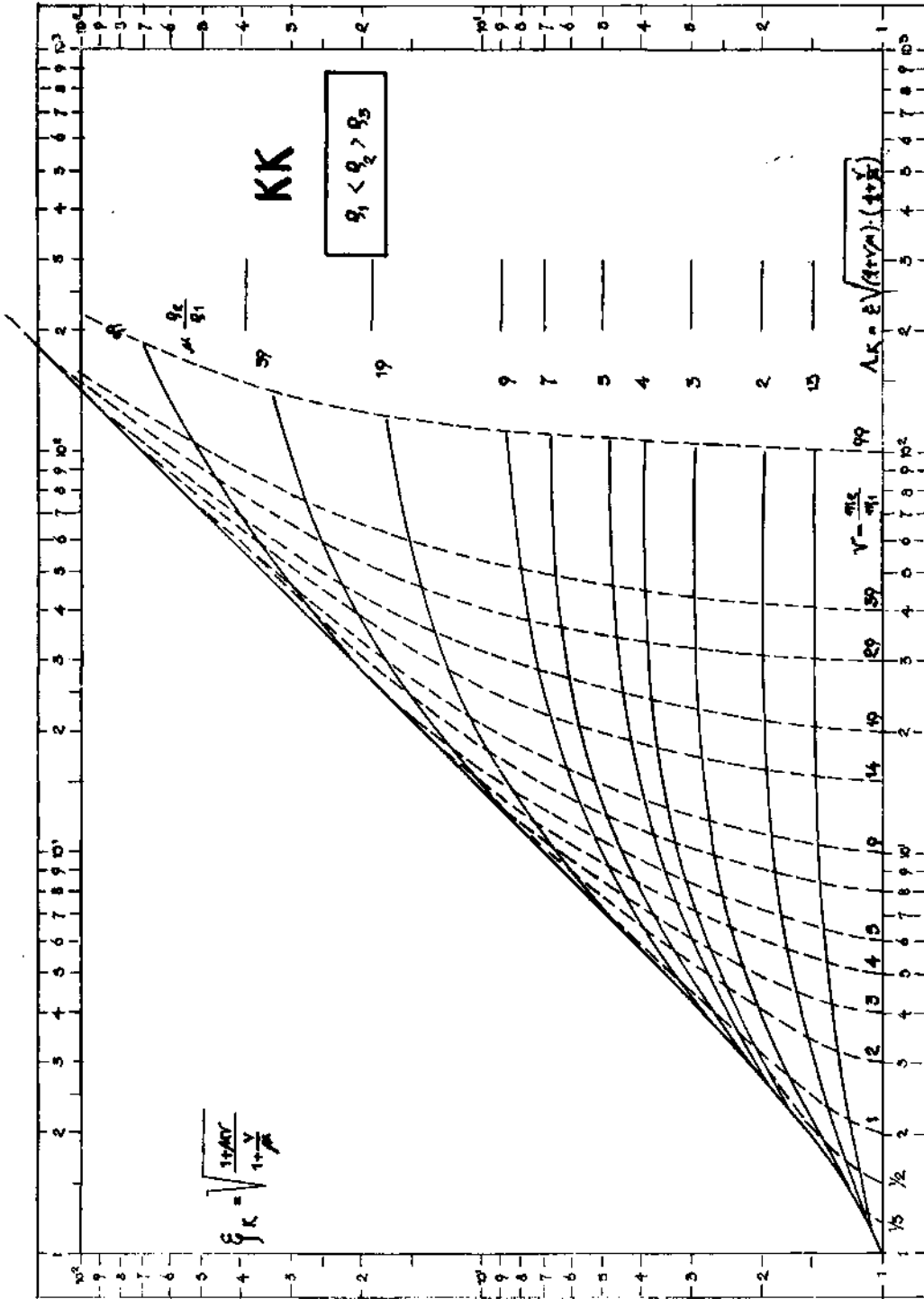
l = İletkenin uzunluğu

Q = İletkenin çapı

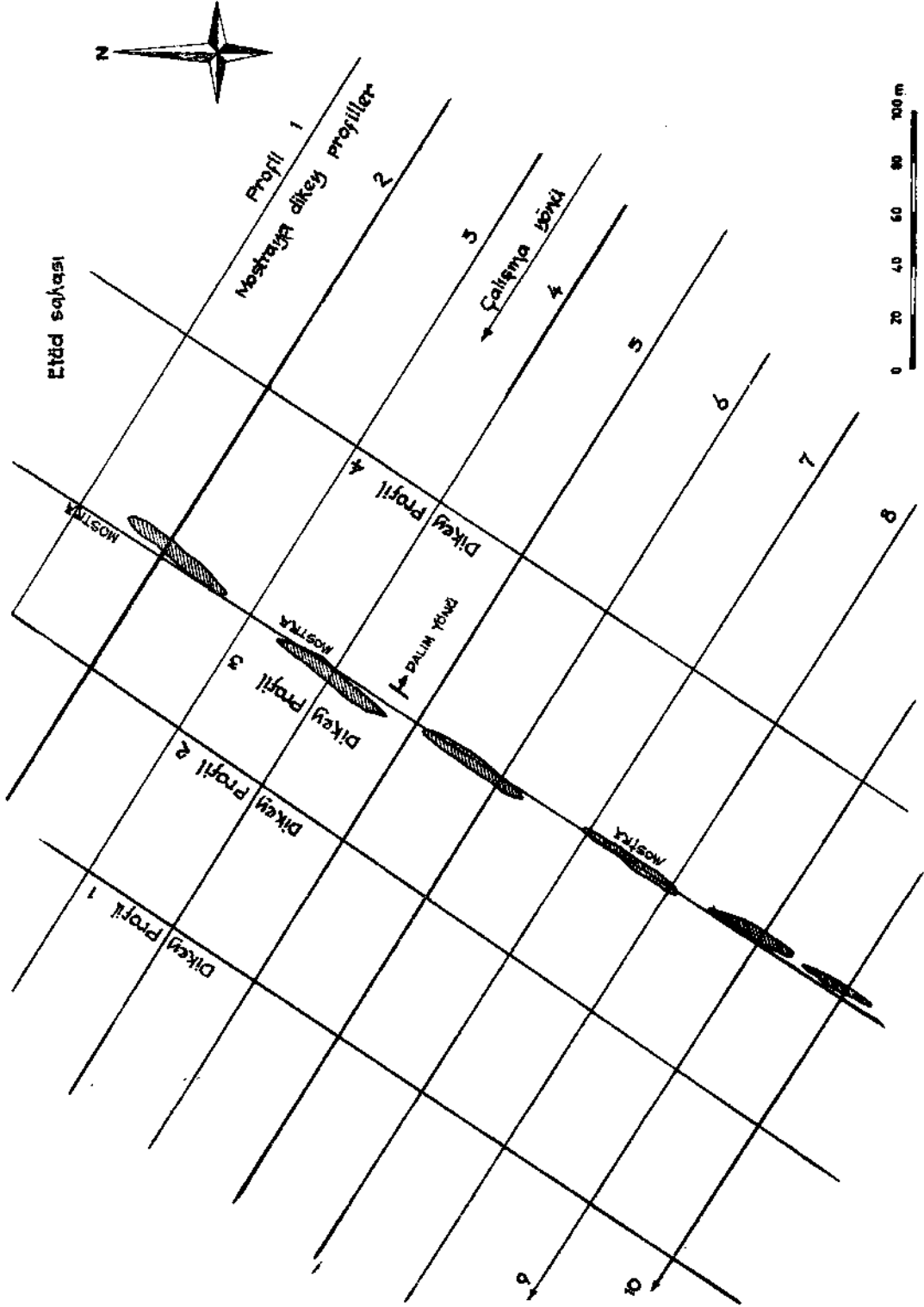
$$\rho = \frac{Q}{l} \cdot \frac{V}{I} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\rho = \frac{Q}{l} \cdot \frac{dv}{I} \cdot K_n \cdot \frac{dv}{I} \quad dv = \text{gerilim farkı} \quad \dots \dots \dots (4)$$

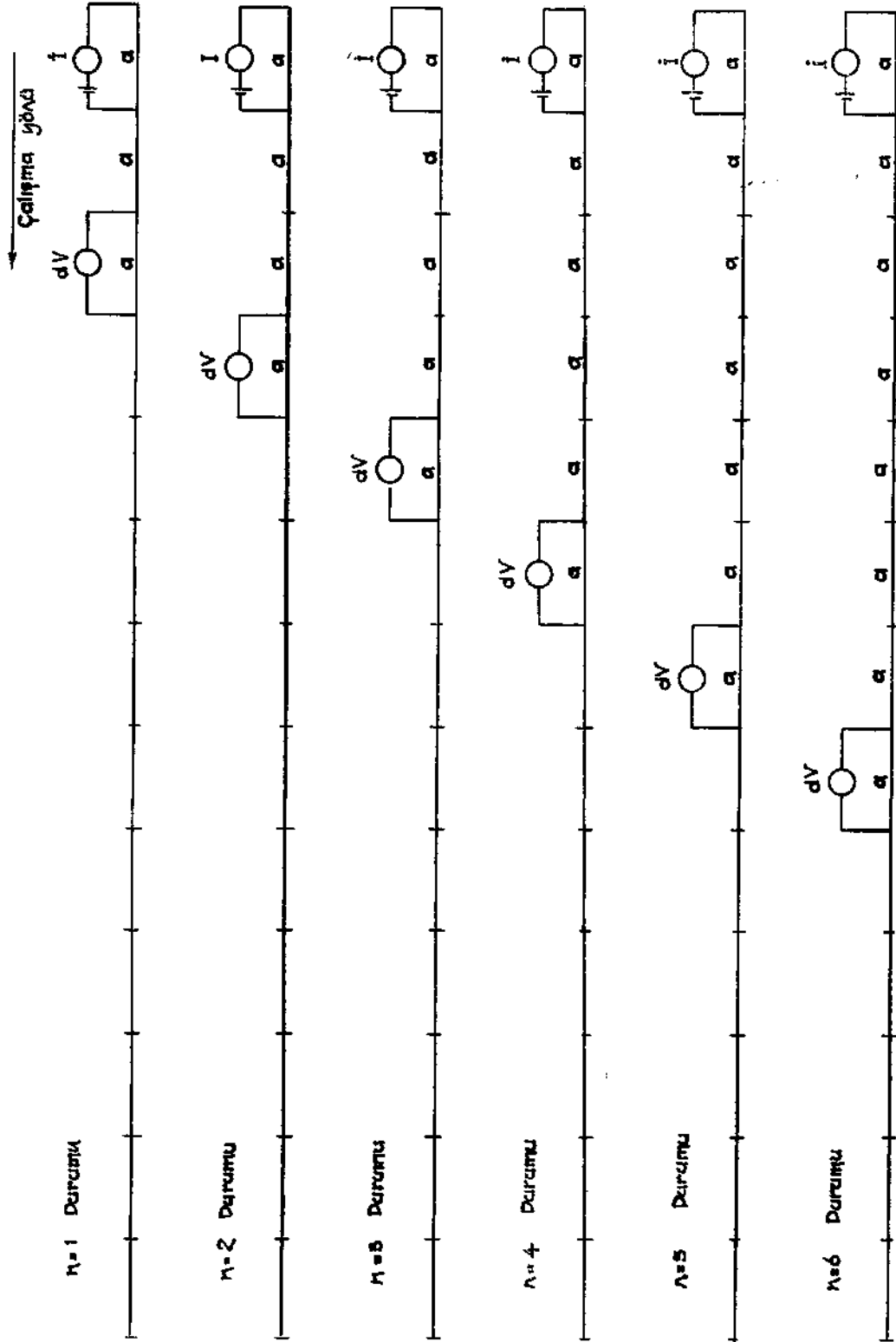
$$\int_{V_1}^{V_2} dv = V_1 - V_2 = \Delta V$$



Şek. 22a - Üç tabaka metodu için 4. tip abak.



Şek. 23



Şek. 24 - n - faktörünün durumları.

$$kn = \pi \text{ a.n. } (n+1) (n+2) \dots\dots\dots (5)$$

$$g = \pi \text{ a.n. } (n+1) (n+2) \frac{dV}{I} \dots\dots\dots (6)$$

$$\rho_{DC} = \text{Doğru akım rezistivitesi} = \rho_{(0.3 \text{ Hz})} = \pi \text{ a.n. } (n+1) (n+2) \frac{dv}{I} \dots\dots\dots (7)$$

$$\rho_{AC} = \text{Alternatif akım rezistivitesi} = (\rho_{5 \text{ Hz}}) = \pi \text{ a.n. } (n+1) (n+2) \frac{dV}{I} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Frekans efekt} = FE = \frac{\rho_{DC} - \rho_{AC}}{\rho_{AC}} \cdot 10^2 \text{ (yüzde frekans efekt)} \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{Metal faktör} = MF = \frac{FE}{DC} \cdot 10^3 \dots\dots\dots (10)$$

Derinlik formülü

$$\boxed{h = a + \frac{(n-1)}{3} \cdot 2 \cdot a} \dots\dots\dots (11)$$

Yayına verildiği tarih, 6 mart 1973

LİTERATÜR

ACUN, N. (1959): Arazide yapılan temel zemini etütleri. *Teknik Univ. Yayınl.*
Band II.

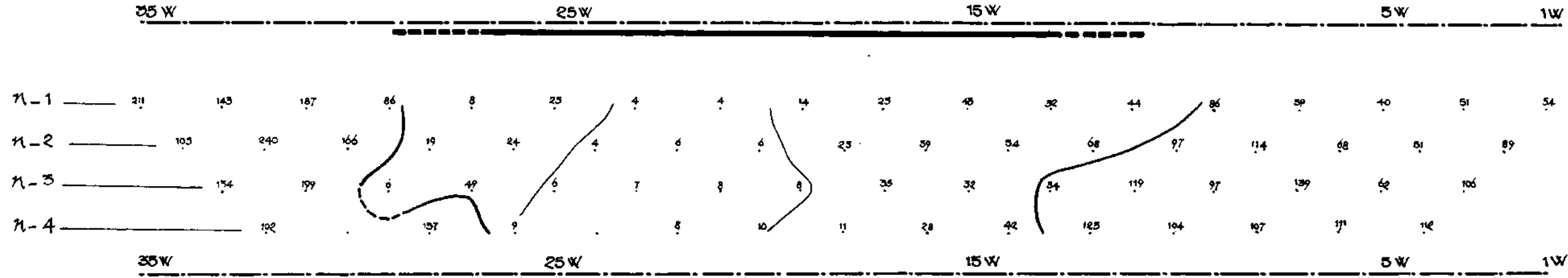
BENTZ, A. (1961): Lehrbuch der angewandten Geologie.
Band I.

HAALCK, H. (1958): Lehrbuch der angewandten Geophysik.

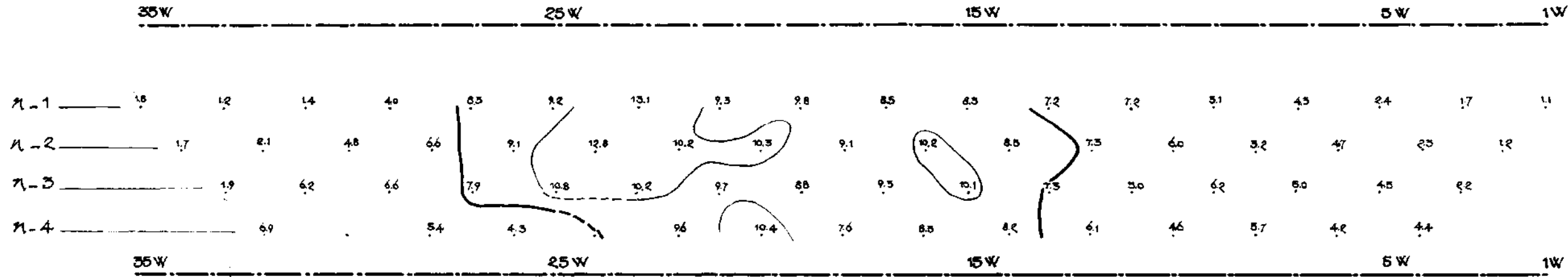
HUND, F. (1957): Theoretische Physik.
Band II.

MENZEL, H. (1960): Jeoelektriğin ölçme metotları yaz sömestirisi 1960 da Clausthal-Zellerfeld. Teknik Üniversite-
sinde Prof. H. Menzel tarafından okutulan ders notları.

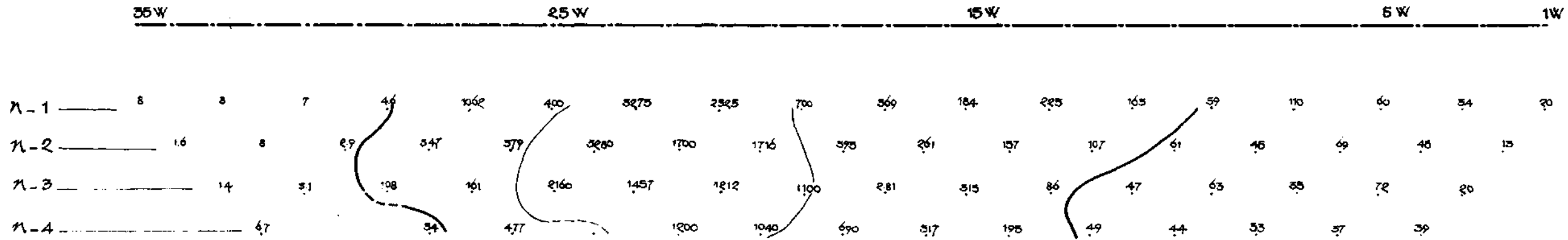
SOROKIN, W.L. (1953) Lehrbuch der geophysikalischen Methoden zur Erkundung Erdölvorkommen.



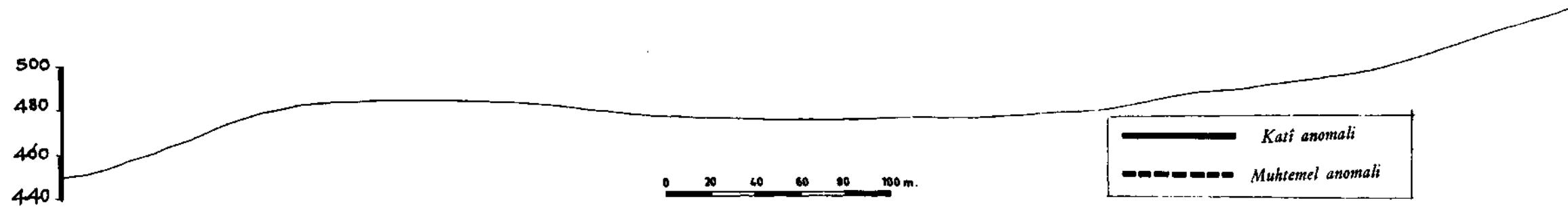
Q(0.5) Ω m.



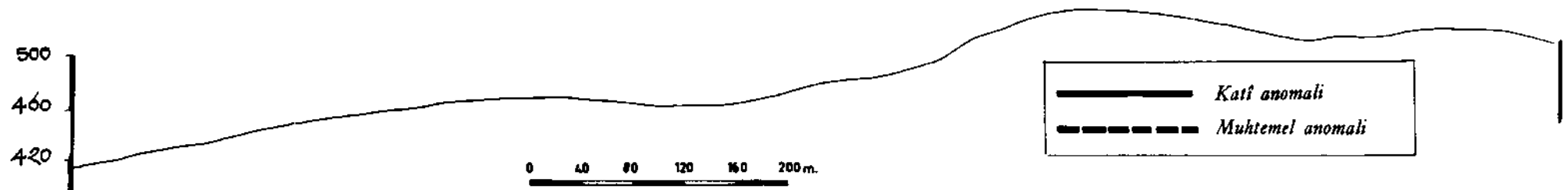
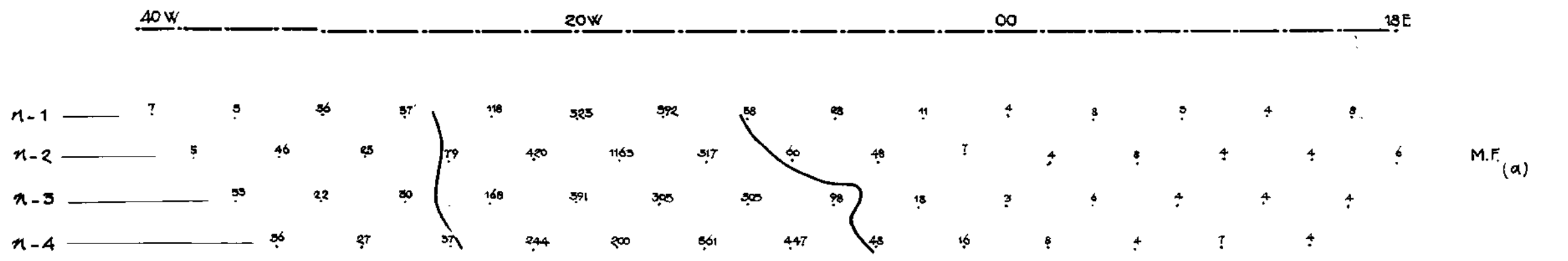
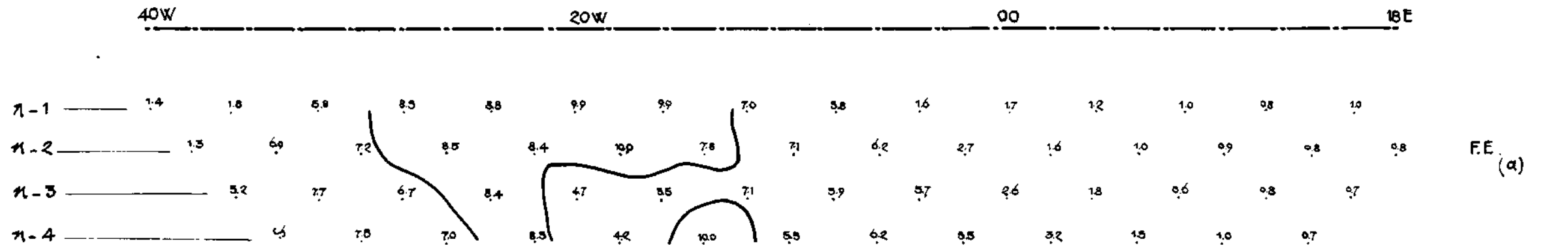
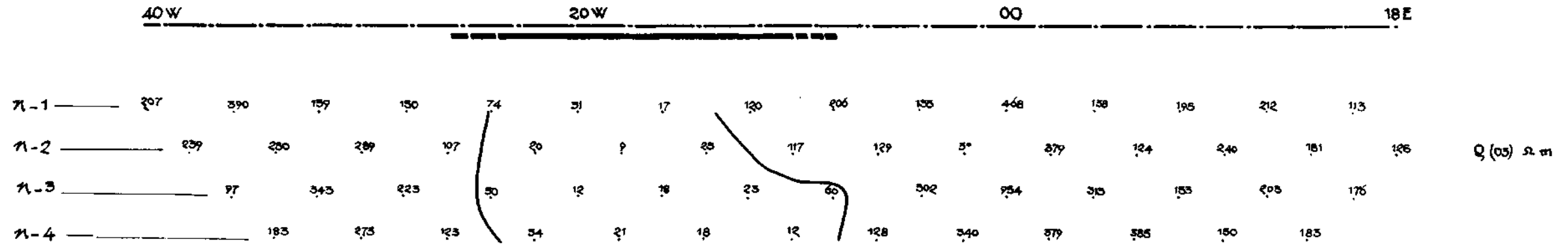
F.E. (a)



M.F. (a)



Şek. 25 - Saha : Altıparmaklar; Profil : 240 N; E. Açılımı: 40 m



Şek. 26 - Saha : Altıparmaklar; Profil : 160 N; E. Açılımı : 80 m