

VADİLERDE KULLANILACAK BİR REZİSTİVİTE METODUNUN İNKİŞAFI VE ETÜDÜ; BU METODUN AZDAVAY TAŞKÖMÜR HAVZASINA TATBİKİ VE NETİCELERİN SİSMİK, WELL LOGGING VE JEOLJİ İLE KORELÂSYONU

Mehmet Y. DİZİOĞLU

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara

ÖZET. - Evvelâ iki dimansiyonlu vadilerde kullanılacak bir rezistivite metodunun inkişafına lüzum olduğu belirtilmiş ve metodun inkişafı için muhtelif hal yolları aranmıştır. Bu hal tarzları içinde model tecrübelerle yapılanı tercih edilerek, bu tercihin sebepleri izah edilmiş ve tecrübe hatalarının bir analizi yapılmıştır. Vadilerin geometrik şekillerini hesaba katan bir K faktörü ithal edilmiş ve bu faktörün muhtelif tip vadiler ve muhtelif tip elektrot pozisyonları için varyasyonu etüd edilmiştir. Metodun istikameti tefrik kudreti ayrıca incelenmiştir.

Bundan sonra, inkişaf ettirilen bu metod Azdavay Karbonifer bölgesinde muhtelif formasyonların kalınlık ve cinslerinin tayıni ve fay arama mevzularında kullanılmış ve neticeler bilinen jeoloji ve bilâhara aynı bölgede yapılan well logging ve sismik etüdlere neticeleriyle mukayese edilmiştir.

GİRİŞ

Sömi-infinet vasatlar için inkişaf ettirilmiş birçok jeofizik metodları, vadilere ve arızalı arazilere tatbik edilirken büyük müşkülâtla karşılaşmaktadır. Vadilerde bu müşkülâtın sebepleri şunlardır :

1. Vadi içindeki ölçülerin mahdut bir saha içinde yapılması gerekir.

2. Anomaliyi veren süreksizlik vadinin herhangi bir tarafında olabilir. Kullanılan tekniğin, ölçülen anomaliden süreksizliğin istikametini çıkaracak kudrette olması lâzımdır.

3. Vadilerin taban ve kenarlarında, umumiyetle jeofizik ölçülere tesir edecek maddelerin bulunması. Meselâ, vadilerin tabanında umumiyetle akarsu veya su birikintileri, bunun altında da kum ve çakıl bulunur. Su ise, bilhassa elektrik ölçülerinde, süreksizliğin vereceği anomaliyi azaltır.

Jeofizik metodlarından, elektromanyetik metodu, vadi içerisinde gayet küçük bir sahaya tatbik edilmezse vadi kenarlarının ve tabanının tesirine mâruz kalır. Tabanın kondüktivitesi yüksek ise, bu tesir fazla olur. Refleksiyon-sismik metodu vadi boyunca tatbik edilirse de, tabandaki gayrimuayyen kalınlıktaki kum ve çakıl formasyonu dolayısıyla, vadi boyunca tecezzi tabakasının (weathered layer) gayet iyi incelenmesi ve hattâ bu maksatla ayrı bir refraksiyon etüdü yapılması icabeder.

Umumiyetle kırık ve çatlak olan vadi kenarları anormal bir şekilde manyetik polarizasyon arzederler ve dolayısıyla manyetik ölçülere gayrimuayyen tesirler icra

ederler. Dik kenarlı vadilerde alınan gravimetrik ölçülere kenarların tesirini gidermek üzere, gayet hassas topografik tashihler tatbik etmek icabeder.

Rezistivite metodlarına gelince : Bu metodlar, halihazırdaki vaziyetlerinde, vadilere tatbik edilemezler. Zira, vadi içerisindeki herhangi bir nokta sömi-infininit veya infinit bir vasat içinde olarak telâkki olunamaz. Halbuki şimdiye kadar bulunan ve inkişaf ettirilen metodlar yalnız bu iki tip vasata kabili tatbiktirler. Bu itibarla vadinin tesirini gözönünde tutacak ayrı bir rezistivite metodunun inkişafına lüzum vardır.

Yapılan literatür araştırmalarında, bu bapta pek az röşerş yapıldığı anlaşılmıştır. Esasen bu sahada literatür pek az ve dağınıktır. Bu mevzuya mütaallik literatür içerisinde en önemlisi 1929 da «A.I.M.E.. Geophysical Prospecting» mecmuasında W. O. Hotchkiss, W. J. Rooney ve J. Fisher tarafından yazılan «Earth Resistivity Measurements in the Lake Superior Copper Country» isimli yazıdır. Bu yazıda, madenin içerisindeki bir galerinin tavanında bulunan bir tabakanın kalınlığını bulmak için yapılan rezistivite ölçülerinden bahsedilmektedir. Bu etütte Wenner usulü kullanılmış ve elektrotlar galeri boyunca yayılmıştır. Ölçülen V ve I kıymetleri

$$\rho_a = 2 \pi a \frac{V}{I} \quad \text{ve} \quad \rho_a = 4 \pi a \frac{V}{I}$$

formüllerine tatbik edilmiş (a = elektrot açıklığı) ve elektrot açıklığıyla değişen iki zahirî rezistivite münhanisi elde edilmiştir. Derinlik hesapları için bu iki münhaninin bir enterpolâsyonunun kullanılması düşünölmüşse de, son münhaninin yeri belli olmadığından bu yapılamamış ve ancak çok büyük elektrot açıklıklarındaki ölçüler hesaba katılmıştır. Bu misalden görölüyor ki, galerinin buutlariyle ölçülen V , I , a ve rezistivite kıymetleri arasındaki münasebet belli olmadığından, etüdülerinin kısmı âzami boşa gitmiştir.

Esasen yazar, Türkiye'nin muhtelif taraflarında yaptığı rezistivite etüdülerinde, aynı müşkülâtla karşılaşmış ve ilk olarak 1951 de Konya ovasındaki bir vadi-de bir su napı meselesini tetkik etmek üzere böyle bir metodun inkişafına başlamıştır. Daha sonra Azdavay taşkömür havzasında aynı zorluklarla karşılaşmış ve o vakte kadar ve daha sonra, gerek sahada ve gerek laboratuvarda inkişaf ettirilen metod bu etüde tatbik edilmiş ve tatmin edici neticeler alınmıştır.

Bu tez iki kısımdan ibarettir:

1. Birinci kısımda muhtelif tip vadilerde kullanılabilen bir rezistivite metodunun inkişafı ve etüdü yapılmış ve aynı zamanda bu metodun istikameti tefrik kudretincelenmiştir.

2. İkinci kısımda ise, inkişaf ettirilmiş olan bu metod vâdili olan Azdavay taşkömür havzasında bünye ve fay meselelerine tatbik edilmiştir. Elde edilen neticeler, aynı havzada yapılmış olan sismik ve well logging etüdüleriyle beraber mütalâa edilmiş ve bu üç metodla elde edilen neticeler bilinen jeoloji ve kuyu maktalariyle korele edilmiştir.

Kısım I.**VADİLERDE KULLANILACAK BİR REZİSTİVİTE METODUNUN
İNKİŞAFI VE ETÜDÜ****L I. Metodun inkişaf tarzı ve kullanılan teknik.**

Bir vadi veya arızalı bir araziye yerleştirilen elektrotlar ne sömri- infinit bir vasat üzerine ve ne de infinit bir vasat içine konulmuş sayılamazlar. Bu halde Wenner'in , , m

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad \text{veya} \quad \rho_a = 4\pi a \frac{V}{I} \quad \text{formülleri cari olamazlar.}$$

Zira, birinci formül sömi-infinite ve diğeri de infinite vasatlarda Wenner metodu ile yapılan Ölçülerde, zahiri rezistivite (ρ_a), potansiyel (V), akım (I) ve elektrot mesafesi (α) aralarındaki münasebetleri gösterirler.

Bununla beraber ispat edilebilir ki: homojen bir vasatın rezistivitesi, bu vasat içerisine yerleştirilmiş 4-elektrot sistemi vasıtasıyla ölçüldüğü takdirde

$$\rho = K \cdot \pi \cdot a \cdot \frac{V}{I} \quad \text{formülü ile tâyin edilebilir. Bu formülde :$$

K = elektrotların içinde bulunduğu açıklığın dimansiyonlarına bağlı bir faktör

a = bir uzunluk (elektrot açıklığı gibi)

V = potansiyel elektrotları arasındaki potansiyel farkı

I = akım elektrotlarından geçen akımdır.

Bu teorem şöyle ispat edilebilir :

İzotropik ve homogen vasatlarda daimî akım distribüsyonu öyledir ki, kutuplarda olmamak şartıyla potansiyel her noktada Laplace muadelesini

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad \text{tahkik eder.}$$

Sınırlarda voltaj gradiyanının tanjansiyel mürekkebi ile akımın sınıra dik istikametteki mürekkebinin devamlı olmaları lâzımdır.

Yani:
$$\frac{\partial V_1}{\partial t} = \frac{\partial V_2}{\partial t}$$

ve
$$\frac{I}{\rho_1} \cdot \frac{\partial V_1}{\partial n} = \frac{I}{\rho_2} \cdot \frac{\partial V_2}{\partial n}$$

Burada V_1 ve V_2 sınırın her iki tarafındaki potansiyeller; ρ_1 ve ρ_2 her iki tarafın rezistiviteleri ; ve $\frac{\partial}{\partial t}$, $\frac{\partial}{\partial n}$ de sınır sathına tanjansiyel ve dik istikametlerdeki kısmi türevleri gösterirler.

Bir kutbun hemen civarında, bu kutuptan R kadar uzaklıkta V potansiyeli

$$V = \frac{\rho \cdot I}{4\pi R}$$

formülü ile tâyin edilir.

Şimdi farzedelim ki / bir cismin büyüklüğünü belli eden bir buut olsun. Küçük mikyastaki model tecrübelerinde bu buut I' ne inecektir ve cismin bütün diğer hakikî dimansiyonları da /'// nispetinde küçülmüş olacaklardır.

Bütün koordineleri / cinsinden ölçersek :

$$\xi = \frac{x}{l}, \quad \eta = \frac{y}{l}, \quad \zeta = \frac{z}{l}$$

yukardaki muadeleler şu şekillere girmiş olurlar :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial \zeta^2} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial V_1}{\partial \nu} = \frac{\partial V_2}{\partial \nu}$$

$$\frac{I}{q_1} \cdot \frac{\partial V_1}{\partial \nu} = \frac{I}{q_2} \cdot \frac{\partial V_2}{\partial \nu}$$

$$V = \frac{q \cdot I}{4\pi l} \cdot \frac{1}{r} \dots\dots\dots (2)$$

olur. Burada $\tau = l/l$, $\nu = n/l$ ve $r = R/l$ dir.

(1) den görüleceği veçhile, potansiyelin umumi ifadesi

$$V = f_1 \left(\frac{x}{l}, \frac{y}{l}, \frac{z}{l} \right)$$

dır.

Potansiyel, rezistivite ve akım ile direkt olarak mütenasip olduğundan,

$$V = q \cdot \frac{I}{l} \cdot f_2 \left(\frac{x}{l}, \frac{y}{l}, \frac{z}{l} \right)$$

Kutba çok yakın noktalarda, potansiyel (2) formülünün şeklini alacağından,

$$V = q \cdot \frac{I}{4\pi l} \cdot f_3 \left(\frac{x}{l}, \frac{y}{l}, \frac{z}{l} \right) \dots\dots\dots (3)$$

olur. x, y ve z nin küçük kıymetleri için

$$f_3 \longrightarrow \frac{1}{r}$$

olur.

Potansiyel elektrotlarında potansiyellerin V_1 ve V_2 ve bu elektrotların koordinelerinin (x_1, y_1, z_1) ve (x_2, y_2, z_2) olduklarını farzedersek,

$$V_1 - V_2 = \Delta V = q \cdot \frac{I}{4\pi l} \cdot \left\{ f_3 \left(\frac{x_1}{l}, \frac{y_1}{l}, \frac{z_1}{l} \right) - f_3 \left(\frac{x_2}{l}, \frac{y_2}{l}, \frac{z_2}{l} \right) \right\}$$

olur. Sağ tarafı $\frac{\alpha}{\alpha}$ ile çarparak,

$$q = \pi \cdot \alpha \cdot \frac{\Delta V}{I} \cdot K$$

olur. Burada
$$K = \frac{4l}{a} \cdot \frac{1}{f_3\left(\frac{x_1}{l}, \frac{y_1}{l}, \frac{z_1}{l}\right) - f_3\left(\frac{x_2}{l}, \frac{y_2}{l}, \frac{z_2}{l}\right)}$$

dır. Bu suretle yukarda zikredilen teorem ispat edilmiş olur. Formül (3) aynı zamanda mikyas dahilinde küçültülmüş modeller üzerinde yapılan rezistivite ölçülerinin hakiki eb'attakiler üzerinde yapılmış gibi neticeler vereceğini göstermektedir. Zira $\frac{qI}{l}$ faktörünün kıymeti hakiki ebattaki gibi tutulursa, model tecrübesinde aynı potansiyel distribüsyonu mevcut olur.

Meselâ yarım silindir şeklinde bir vadinin semi-infinitle ve üniform bir vasatta yereldiğini ve elektrotların da vadinin üst kıyısı boyunca yereldiğini farzedelim. Elektrotların Wenner sistemine göre sıralandığını kabul edersek, potansiyel elektrotları arasındaki V potansiyel farkı,

$$V = \frac{2qI}{4\pi l} \left\{ f_3\left(\frac{a}{l}, 0, 0\right) - f_3\left(\frac{2a}{l}, 0, 0\right) \right\}$$

veya

$$V = \frac{qI}{\pi a} \cdot \frac{a}{2l} \left\{ f_3\left(\frac{a}{l}, 0, 0\right) - f_3\left(\frac{2a}{l}, 0, 0\right) \right\}$$

dır. Bu formülde, koordinat orijininin birinci akım elektrodunda yereldiği ve x mihverinin de vadi boyunca olduğu farzedilmiştir.

Herhangi bir elektrot açıklığı için $a//$ kıymeti sahada ve model tecrübeye aynı olduğu için,

$$q = \pi a \cdot \frac{V}{I} \cdot K \quad \text{olur.}$$

Burada

$$K = \frac{1}{a/2l} \left\{ f_3\left(\frac{a}{l}, 0, 0\right) - f_3\left(\frac{2a}{l}, 0, 0\right) \right\}$$

dır.

Vasat homojen değilse, bu ifade zahiri rezistiviteyi verecektir.

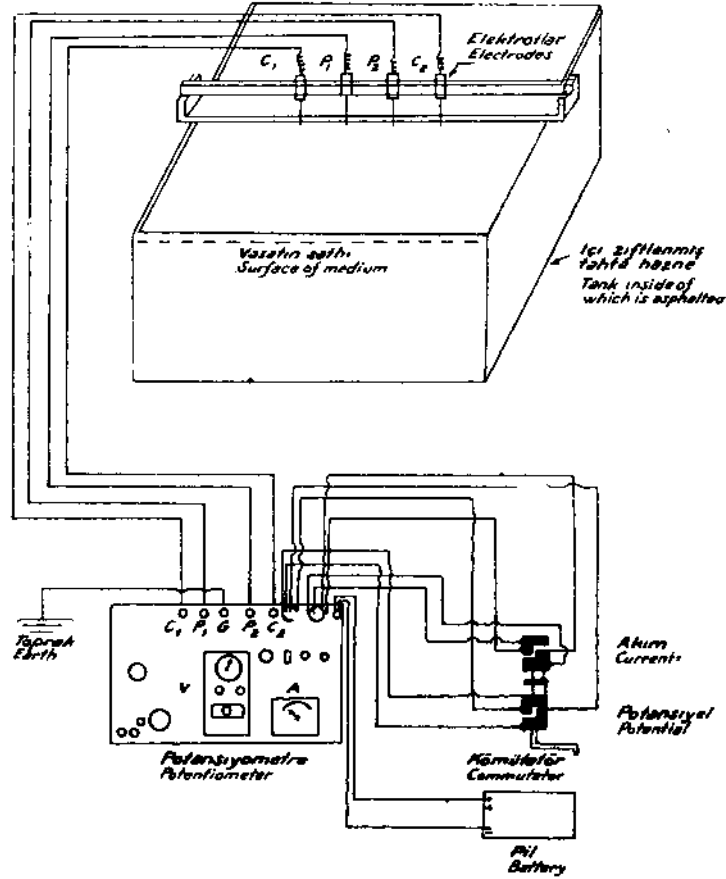
Muhtelif tip iki dimansiyonlu vadilerde kullanılacak metodun ve tefsir şekillerinin inkişafı için evvelâ muhtelif tip vadi modeller üzerinde rezistivite tecrübeleri yapılmış ve her tip için muhtelif elektrot vaziyetlerinde K faktörünün kıymetleri tâyin edilmiştir. Bundan sonra, böylece bulunan rezistivite formülleri sahada en fazla rastlanan jeolojik bünyeler için etüd edilmiştir. Bu etüdlere bilhassa arazide yapılacak rezistivite ölçülerinin tefsirinde faydalı olacaktır.

Burada şunu da ilâve etmek yerinde olur : yukarda bahsedilen meseleler rijid olarak matematikle de halledilebilirler ve böyle bulunan kıymetler de tecrübe hatalarından ari olurlar. Fakat 3 dimansiyonlu potansiyel meselelerin halli oldukça uzun ve karışıktır ve aynı zamanda nümerik hesabı yapılamayacak kadar muğlâk ifadelerle netice bulurlar. Halbuki model tecrübelerin icra tarzı ve tekniği daha basittir ve tecrübelerden doğacak hataların kıymetlendirilmesi mümkündür. Bu itibarla model tecrübelerle istenilen usulün inkişafı, meselenin tamamen matematikle hal yoluna tercih edilmiştir.

I. 2 Model tecrübelerde kullanılan aletler ve malzeme.

Kullanılan aletler tecrübeye hazır bir vaziyette şematik olarak Şekil 1 de gösterilmiştir.

Sömi-infinitt vasatı meydana getirmek için içi ziftle tecrit edilmiş tahtadan bir su haznesi inşa edilmiş ve içerisi muayyen rezistivitede NaCl solüsyonu ile doldurulmuştur. Modeller bu vasat içerisine istenilen pozisyonda konmuşlar ve üzerlerinde Geophysical Instrument Co. nin imal ettiği aletle Wenner-Gish-Rooney tipinden rezistivite ölçüleri yapılmıştır.



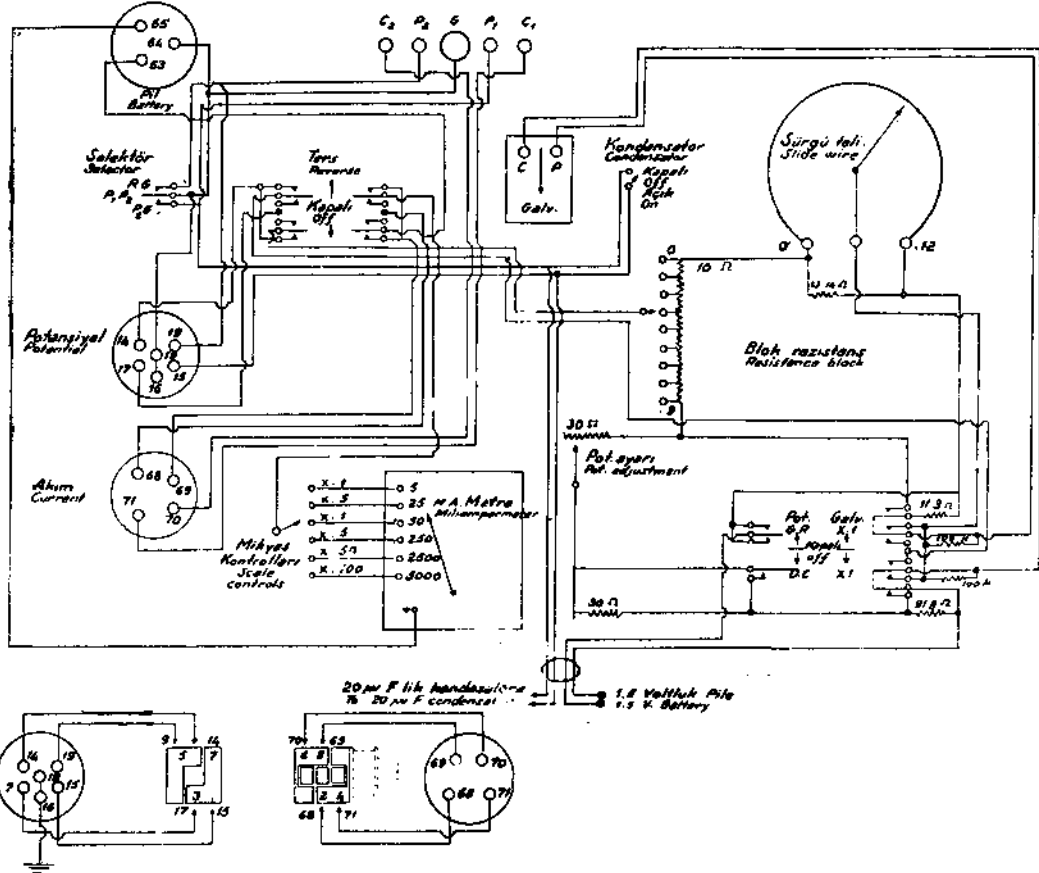
Şek. 1 - Tecrübelerde kullanılan alet ve devrenin şeması

Kullanılan elektrotlar 12 cm uzunluğunda ince madenî çubuklardır (gümüş veya alüminyum). Nokta kutuplar hasil etmek üzere, akım elektrotlarının uçları sivri olarak yapılmıştır. Haznedeki vasatın sathındaki potansiyel hatlarına iyi temas etmek için de potansiyel elektrotlarının uçları hat şeklinde yontulmuş ve bu hat uçlar her tecrübeye civardaki potansiyel hatlarına paralel olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Böylece istenilen potansiyel farklarını ölçme hataları azaltılmıştır.

Elektrotlar haznenin üstünde uzanan iki paralel demir çubuk üzerinde kayan dört sürgü vasatıyla aynı hat boyunca oynatılabilir. Bütün takımın hazne

üzerinde ileri ve geri gidebilmesi için tertibat da yapılmıştır. Elektrotlar madeni sürgülerden ebonit yüzükler vasıtasıyla tecrit edilmiştir.

Kullanılan jeofizik potansiyometresinin devre şeması Şekil 2 de gösterilmiştir. Bu potansiyometre sıfırdan 1.12 volta kadar olan potansiyel farklarını 0.5 mv kadar bir hassasiyetle ölçebilmektedir. Alette P_1 , G ve P_2 terminallerine tatbik edilecek potansiyel farklarından herhangi birisini seçecek anahtarlar mevcuttur. Alet nül prensibi üzerine inşa edilmiş ve nül noktası optik bir galvanometre ile tâyin edilmektedir. Potansiyometrenin potansiyel devresine istenildiği zaman seri olarak 20 mikroyaradlık bir kondansatör ithal edilebilmekte ve böylece dışardan gelen parazit D.C. potansiyeller ve Wenner-Gish-Rooney ölçülerinde antisimetrik pozisyon tesirleri yok edilebilmektedir. Bu potansiyometre komütatörle çalışabilirdiği gibi aynı zamanda D.C. potansiyel ölçüleri de yapabilmektedir.



Şek. 2 - Derin Gish - Rooney rezistivite metodu için devre şeması

Rezistivite ölçülerinde kullanılacak akımı ölçebilecek bir D.C. miliampermetresi de potansiyometre ile aynı kutuya konmuştur (Şekil 2). Bu miliampermetrenin üzerinde 50 taksimat olup her taksimat, mikyas anahtarının muhtelif vaziyetlerinde 0.1, 0.5, 1, 5, 50, 100 mA'ye tekabül etmektedir. Böylece 0.1 mA den 5 Ampere kadar muhtelif değerde akımlar ölçülebilir. Polarizasyonu potansiyellerini ölçülerden ifna etmek için elle döndürülen bir çift-komütatör (20-30 R.P.S.), Şekil 1 de görüldüğü gibi, ölçü devresine ithal edilmiştir.

I. 21. Vasat haznesinin planlanması ve buutlarının tâyini.

4-elektrot sistemiyle haznenin içinde bulunan bir vasatın sathında yapılan rezistivite ölçülerine, haznenin kenarları ve tabanı tesirler icra edecektir. Bu tesir, elektrot açıklığı arttıkça çoğalacaktır. Bu itibarla, haznenin büyüklüğünü ve şeklini ve yapılmasında kullanılacak malzemeyi tâyin ederken,

- a) kullanılacak olan elektrot konfigürasyonunu
ve b) kullanılacak olan en büyük elektrot açıklığını, tecrübelerden istenilen hata miktarı ile beraber mütalâa etmek lâzımdır.

Bu tezdeki model tecrübeler için Wenner konfigürasyonunun kullanılmasına ve en büyük elektrot açıklığının da 12 cm olmasına karar verilmiş ve haznenin sonsuz büyük rezistiviteli bir maddeden yapıldığı ve şeklinin de dik dörtgen olduğu farzedilerek bazı preliminere hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplarda aynı zamanda elektrot konfigürasyonunun merkezinin haznenin merkezinde ve elektrot hattının da bir kenara paralel olduğu kabul edilmiştir. Bu tesiri hesaplamak için tek bir formül olmadığından, tesirler üçe ayrılarak hesaplanmıştır :

1. Hazne tabanının tesiri,
2. Haznenin elektrot hattına paralel kenarlarının tesiri,
3. Haznenin elektrot hattına dik kenarlarının tesiri.

1. Hazne tabanının tesirini hesaplamak için, iki tabaka-rezistivite formülü (2) kullanılmıştır :

$$\varrho_a = \varrho_1 \left[1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{k^n}{\left[1 + 4n^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right]^{1/2}} - \frac{k^n}{\left[4 + 4n^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right]^{1/2}} \right\} \right]$$

veya

$$\varrho_a = \varrho_1 \left\{ 1 + F_1(a, h) \right\}$$

Burada ϱ_a rezistiviteleri ϱ_1 ve ϱ_2 ve kalınlıkları h ve ∞ olan iki tabakanın Wenner usulüyle ölçülmesi neticesinde bulunan zahiri rezistivitesidir; k ise $\frac{\varrho_2 - \varrho_1}{\varrho_2 + \varrho_1}$ oranına eşittir.

Hazne tabanının rezistivitesi $\varrho_2 = \infty$ olduğundan $k = 1$ dir.

Teorik olarak bu formül vasatın sonsuz geniş olması halinde tatbik edilirse de, ilk aproksimasyonla $\varrho_1 \cdot F_1(a, h)$, hazne tabanının tesiri olarak alınabilir.

2. Aynı formül ile ($k = 1$), rezistiviteleri sonsuz birbirine paralel iki sömi-infinet plân arasında kalan Q_1 rezistiviteli diğer bir sömi-infinet vasatın sathında, iki plândan aynı uzaklıkta ve elektrot hattı bu plânlara paralel şekilde konmuş Wenner sistemindeki 4 elektrotla zahiri rezistivite bulunabilir. Bu teorem imaj usulü ile ispat edilebilir.

Şu hald (a, l) formülü ile ($l =$ elektrot hattının bir kenardan uzaklığı) elektrotlara paralel iki kenarın vereceği anomali takriben hesaplanabilir.

3. Elektrot hattına dik olan kenarlardan her birinin tesiri o kenarın ve vasatın sömi-infinitt oldukları kabul edilerek bulunabilir. Bunun için, imaj metodu kullanılarak aşağıdaki zahiri rezistivite formülü çıkarılmıştır :

$$\varrho_a = \varrho_1 \left[1 + \frac{4b}{a} \cdot \left\{ \frac{1}{4 \left(\frac{b}{a} \right)^2 - 4} - \frac{1}{4 \left(\frac{b}{a} \right)^2 - 1} \right\} \right]$$

$$\varrho_a = \varrho_1 \cdot (1 + F_2) \dots \dots \dots (1)$$

Bu formülde : a = elektrot açıklığı

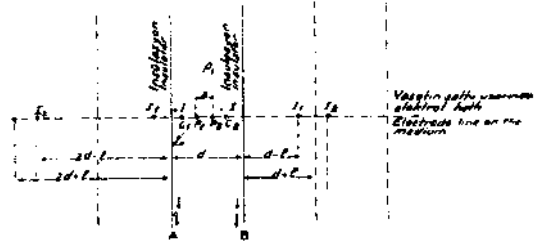
b = elektrot sistemi merkezinin kenardan uzaklığı

ϱ_1 = vasatın rezistivitesi

ϱ_a = zâhiri rezistivite.

Şu halde elektrot hattına dik iki kenarın vereceği anomali takriben $2 F_2 \cdot \varrho_1$ dir. Bu kenarların anomalilerini ayrı ayrı hesap etmekle yapılan takribiyet hakkında bir fikir edinebilmek için, her iki kenarın sonsuz sayıdaki imajlarının zahiri rezistiviteye tesirini inceliydim.

Şekil 3. ten görüleceği veçhile, imajları şöyle sıralayabiliriz :



Şek. 3 - İmaj distribüsyonu

A kenarının solundaki	I_1	in A dan mesafesi	l
»	»	»	»	$2d - l$
»	»	»	»	$2d + l$
»	»	»	»	$4d - l$
»	»	»	»	$4d + l$
»	»	»	»	$nd - l$
veya	I_n	(n çift)»	»	$(n-1)d + l$

B kenarının sağındaki	I_1	in B den mesafesi	$-d$
»	»	»	»	$d + l$
»	»	»	»	$3d - l$
»	»	»	»	$3d + l$
»	»	»	»	$5d - l$
»	»	»	»	$5d + l$
veya	I_n	(n çift)»	»	$(n-1)d + l$
	I_n	(n tek)»	»	$nd - l$

Bir çift I_n in (n çift) P_1 ve P_2 elektrotları arasında husule getireceği potansiyel farkı V_n şudur :

$$V_n = \frac{\varrho_1 \cdot I}{2 \pi} \left\{ \frac{1}{(nd-l) + l + a} - \frac{1}{(nd-l) + l + 2a} + \frac{1}{(n-1)d + l + l + 2a} - \frac{1}{(n-1)d + 2l + a} \right\}$$

$$l = \frac{I}{2} \cdot (d - 3a)$$

olduğuna göre,

$$V_n = -\frac{q_1 \cdot I}{2\pi} \cdot \frac{6a^2 \cdot n \cdot d}{(n^2 d^2 - a^2)(n^2 d^2 - 4a^2)}$$

Bir çift I_n (n tek) P_1 ve P_2 arasında tevlit ettiği V_n potansiyel farkı şudur :

$$V_n' = \frac{q_1 \cdot I}{2\pi} \left\{ \frac{I}{(n-1)d+l+l+a} - \frac{I}{(n-1)d+l+l+2a} + \frac{I}{nd-l+l+2a} - \frac{I}{nd-l+l+a} \right\}$$

$$V_n' = \frac{q_1 \cdot I}{2\pi} \cdot \frac{6nd a^2}{(n^2 d^2 - a^2)(n^2 d^2 - 4a^2)}$$

Şu halde I ve I' e ait olan bütün imajların P_1 ve P_2 arasında tevlit ettiği potansiyel farkı şudur :

$$V_t = (-1)^{n+1} \cdot \frac{q_1 \cdot I}{2\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6nd a^2}{(n^2 d^2 - a^2)(n^2 d^2 - 4a^2)} + \frac{q_1 I}{2\pi} \cdot \frac{I}{2a}$$

Netice itibariyle I ve $-I$ kutuplarının P_1 ve P_2 arasında husule getirdikleri bütün potansiyel farkı $2 V_t$ dir. $q_a = 2\pi a \frac{V}{I}$ formülü ile

$$q_a = q_1 \left\{ I + 2 (-1)^{n+1} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6nd a^3}{(n^2 d^2 - a^2)(n^2 d^2 - 4a^2)} \right\} \text{ dir.}$$

Buradan,

$$F_2' = (-1)^{n+1} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6nd a^3}{(n^2 d^2 - a^2)(n^2 d^2 - 4a^2)}$$

Şimdi $2 F_2'$ ile $2 F_2$ (Formül 1) nin birbirleriyle nümerik olarak mukayesesi bize takribiyetten mütevellit hatayı verecektir.

Kullanılacak en büyük elektrot açıklığı olan $a = 12$ cm ve 100 cm uzunluğundaki bir hazne ($d = 100$ cm) için :

$$2 F_2 = 2 \times 0.01120$$

$$2 F_2' = 2 (0.01120 - 0.001205 + 0.000384 - 0.000162 + 0.000083 - \dots) \text{ dir.}$$

Burada görüleceği gibi, $2 F_2'$ serisindeki terimlerin kıymetleri çok seri bir şekilde küçülmektedir. Filhakika, $\frac{d}{a}$ nın büyük kıymetleri için,

$$F_2' = (-1)^{n+1} \cdot \frac{6a^3}{d^3} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \text{ dir.}$$

Yukardaki iki kıymetin mukayesesinde, $2 F_2$ deki hatanın (aprosimasyondan mütevellit hata) :

$$\frac{0.001}{0.0112} = \% 9$$

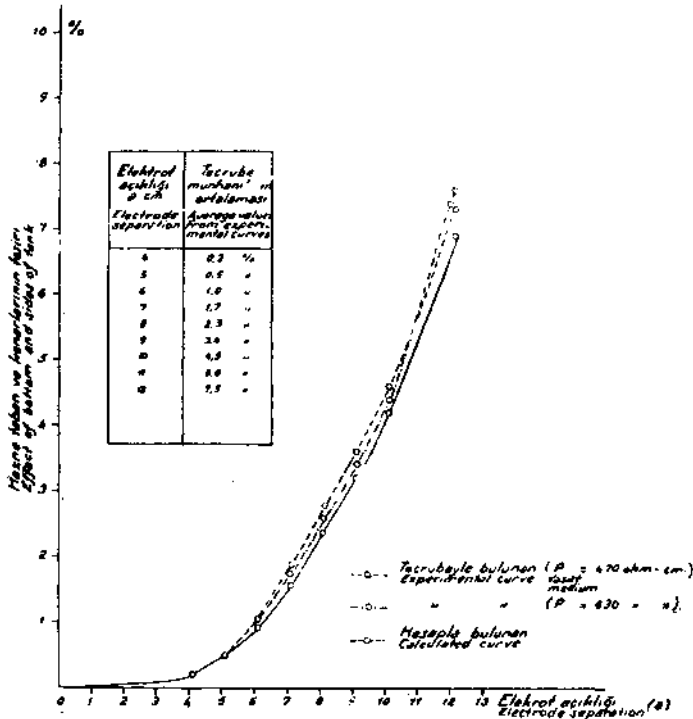
dan daha küçük olduğu görülür. Bu hata en büyük elektrot açıklığı içindir. Elektrot açıklığı küçüldükçe hata miktarı da küçülecektir. Netice itibariyle hazne

kenarlarının ve tabanının rezistivite ölçülerine olan mecmu tesir takriben $F_1 \{ F_1 (a, h) + 2 F_2 + F_1 (a, l) \}$ dir. Takribi yüzde tesir ise parantez içinde olan ifadedir.

Bu tesir muhtelif elektrot açıklıkları ve muhtelif eb'atta hazneler için hesaplanmıştır. Neticeler Tablo I de gösterilmiştir. Bu tablodan görüleceği gibi, en büyük tesir haznenin tabanından gelmektedir. Ve $b = l$ olduğunda, aynı elektrot açıklığında, elektrot hattına dik olan kenarların tesiri, diğer kenarlarından fazladır.

TABLO I

a elektrot açıklığı cm	$F_1 (a, h)$		$2 F_2$		$F_1 (a, l)$			$F_1 (a, h) + 2 F_2 + F_1 (a, l)$ muhtelif hazne eb'adları		
	h=hazne derinliği h=30cm	h=35 cm	b= $\frac{90}{2}$ cm	b= $\frac{100}{2}$ cm	l= $\frac{80}{2}$ cm	l= $\frac{90}{2}$ cm	l= $\frac{100}{2}$ cm	35 x 90 x 90 cm ³	35 x 100 x 90 cm ³	35 x 100 x 100 cm ³
4		0.0012		0.00039 x 2	0.00				0.0020	
6		0.0040		0.0013 x 2	0.0018				0.0084	
8		0.0088		0.00317 x 2	0.005				0.0200	
10	0.029	0.0200	0.009 x 2	0.0063 x 2	0.012	0.0092	0.0164	0.047	0.0418	0.039
12		0.0318		0.0112 x 2	0.015				0.069	



Şek. 4 - Hazne taban ve kenarları için tashiş münhanileri

ha yüksek olduğundan bu yüzde değeri ehemmiyetsizdir.

3) Daha büyük bir haznenin içine muhtelif cisimler yerleştirmek ve her defasında elektrot açıklıklarını ölçmek çok daha müşküldür.

Netice olarak 35 x 100 X 90 cm³ eb'adındaki hazne tecrübeler için seçilmiştir. Bu seçmedeki sebepler şunlardır :

1) K faktörünün tayininde 8 cm. den büyük elektrot açıklıklarına lüzum görülmemiştir. Bu açıklıkta ise hata ancak % 2 dir. Bu da gayemize kifayet eder.

2) 11-12 cm elektrot açıklıkları diğer bazı tecrübeler için kullanılmıştır. Bu açıklıkta hata % 6 kadar yüksekse de, bu gibi tecrübelerde absöü rezistivite kıymetlerinden ziyade rölativ rezistivite kıymetlerinin ehemmiyetli olduğundan ve bulunan anomali de kenar tesirlerinden çok da-

Hazne seçilen eb'ada göre yapıldıktan sonra içerisi NaCl solüsyonu ile doldurulmuş ve başka hiçbir cisim içeriye koymadan solüsyonun rezistivitesi muhtelif elektrot açıklıklarıyla ölçülmüş ve bu suretle kenarların ve tabanın hakikî tesirleri bulunmuştur. Bu ölçüler solüsyonun konsantrasyonu değiştirilerek tekrar edilmiştir.

Tecrübe ile elde edilen tesirlerle, teorik olarak hesaplananlar Şekil 4. te gösterilmişlerdir.

Bu grafiklerden görüleceği veçhile, teorik münhani, tecrübi münhaniyi gayet yakından takibetmektedir.

İki defa bulunan tecrübi değerlerin ortalamaları alınmış ve bu değerler bundan sonraki tecrübelerde kenar ve taban tesirlerinin izalesi için kullanılmıştır. Hazne içindeki vasatın hakikî rezistivitesi 3-4 cm elektrot açıklığıyla tâyin edilmiştir. Bu açıklıkta tank kenarlarının tesiri ihmal edilecek kadar küçüktür.

L 3. K faktörünün tâyini.

Yukarda izah edildiği gibi, sömi-infinnit ve homojen bir vasat içindeki iki dimansiyonlu bir vadi boyunca yerleştirilen Wenner sistemindeki elektrotlarla, vasatın rezistivitesi ölçüldüğü takdirde,

$$\varrho = K \pi a \frac{V}{I} = K \pi a R$$

formülü caridir.

Bu formülden

$$K = \varrho / \pi a R$$

bulunur.

Şu halde, model tecrübeler vasıtasıyla bir vadinin K faktörünü tâyin etmek için, vadinin mikyas dahilinde küçültülmüş bir numunesi rezistivitesi sonsuz olan bir maddeden yapılarak haznedeki vasat içine yerleştirilir. Bu yerleştirme öyle yapılır ki, vadinin üst kenarları vasatın sathına temas eder. Elektrotlar vadi boyunca muhtelif vaziyetlerde konarak rezistivite ölçüleri yapılır ve F , I ve a kıymetleri tâyin olunur. Bu kıymetler de yukardaki formüle konarak K faktörü tâyin edilir.

Model tecrübelerle K faktörünün tâyininde kullanılan elektrot mesafesinin seçilişinde iki mühim faktör rol oynamıştır :

- 1) Elektrot açıklığı küçüldükçe ölçülen V ve a kıymetlerinde hata miktarları fazlaşmıştır. V deki bu hata miktarının yükselişindeki sebepler şunlardır:
 - a. elektrot açıklığı küçüldükçe ekipotansiyel hatlar birbirlerine daha fazla yaklaşmış olurlar,
 - b. vasatın model vadi ile olan temas hattındaki irregülaritelerin tesiri artar. (a) daki hata ise elektrotların kalınlıklarından doğar.
- 2) Elektrot açıklığı büyütüldükçe de hazne taban ve kenarlarının V ye tesiri daha artar.

Bu itibarla optimum bir elektrot açıklığının seçilmesi icabetmiştir. Bu açıklığın, yapılan tecrübeler neticesinde 5-8 cm arasında olduğu sabit olmuştur. Zira, bu açıklıkta V iyi bir sıhhatle ölçülebilmekte ve hazne kenarlarının ölçülen rezistiviteye tesiri % 2 den az olmaktadır.

K faktörünün model tecrübelerle tâyininde şu usul tatbik edilmiştir :

1) Haznenin içindeki vasatın seviyesi, kenar tesirlerinin bilindiği yüksekliğe ayarlanmıştır.

2) Model vadi vasata konmadan evvel vasatın hakikî rezistivitesi 4 cm lik elektrot açıklığıyla tâyin edilmiştir.

3) Bundan sonra model vadi yukarda tarif edildiği gibi vasata yerleştirilmiş ve elektrot sistemi vadinin muhtelif yerlerinde vasatla temas ettirilerek her elektrot açıklığında 5 adet F ve 5 adet d / kıymeti ölçülmüştür.

Ortalama $\frac{V}{I}$ hesaplanarak

$$K = \frac{\rho (1 + r_a \%)}{\alpha \pi \frac{V}{I}}$$

formülünde yerine konmuş ve K hesaplanmıştır. Bu formülde

ρ = vasatın hakikî rezistivitesi,

$r_a = \alpha$ elektrot açıklığında vasatın zahirî rezistivitesinin, hakiki rezistivitesinden yüzde farkı (Şekil 4).

Burada şunu da ilâve etmek lâzımdır ki, vadilerin üst kenarlarında elektrotları muhtelif açıklıklarda dizmek kolay olmuş ve fakat diğer pozisyonlarda daha zorlaşmıştır. Bu vaziyetlerde modele muhtelif açıklıklarda çivi elektrotlar çakılarak vasatla nokta halinde temaslar yapılmıştır. Her ölçüden sonra o açıklıktaki elektrotların temas uçları insüle edilmiştir.

İttihaz edilen usulü ve bazı hataları göstermesi bakımından yarım silindir şeklindeki bir vadiye elektrotlar üst kenar boyunca dizildiği zaman bulunan birkaç K kıymeti aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

TABLO II

α = elektrot açıklığı, d = yarım silindir şeklindeki vadinin çapı

$\frac{\alpha}{d}$	α cm	d cm	$\frac{VmV}{I mA}$	Ortalama $\frac{V}{I}$	$\rho_a = \rho (1 + r_a \%)$ ($\rho = 240 \text{ ohm - cm}$)	$K = \rho_a / \pi \alpha \frac{V}{I}$
2	6	3	8.15 8.16 8.20 8.21 8.15	8.17	2.42	1.575
4	8	2	5.40 5.43 5.45 5.46 5.40	5.43	245.5	1.83
10	7.5	0.75	5.45 5.47 5.50 5.49 5.46	5.475	245	1.90

I. 4. Tâyin edilen K faktörünün kıymetlerindeki hataların analizi.

Vasat haznesinin sömi-infinet olmayıp da muayyen bir büyüklükte olmasından dolayı K faktörüne giren hatanın takriben ifnası için, K nın tâyininde kenar ve taban tesirlerini ihtiva eden Q_e zahiri rezistivitesi kullanılmıştır :

$$K = \rho_e / \pi a \frac{V}{I}$$

ρ_e nin bu şekilde kullanılması yerindedir. Zira, sonsuz, büyüklükteki bir haznede (V) yerine V' ölçülecek ve $K = \rho / \pi a \frac{V'}{I}$ olacaktır. Halbuki haznenin kenarları ve tabanı vasatın rezistivitesine ve V potansiyeline aynı yüzde miktarında tesir icra edeceğinden :

$$\begin{aligned} \rho_e &= \rho (1 + r_a \%) \\ V &= V' (1 + r_s \%) \end{aligned}$$

yazılabilir. Bu kıymetler $K = \rho_e / \pi a \frac{V'}{I}$ formülünde yerlerine konursa

$$K = \rho_e / \pi a \frac{V}{I} \quad \text{elde edilir.}$$

K faktöründeki diğer hatalar şunlardır :

- 1) V/I ve a nın ölçülmelerinden doğan hatalar,
- 2) elektrotların kalınlıklarından doğan hatalar,
- 3) elektrotların temas noktalarının hatalı pozisyonlarda bulunmalarından doğan hatalar,
- 4) modellerin yerleştirilmelerindeki yanlışlıklardan doğan hatalar.

K faktöründe, $\frac{V}{I}$ nin ölçülmesindeki hatadan dolayı mevcut olan hatanın büyüklüğü hakkında bir fikir elde etmek için, $\frac{V}{I}$ kıymetlerinin aritmetik ortalamasındaki probabl hatayı bulmak ve sonra buna tekabül eden K faktöründeki probabl hatayı hesaplamak lâzımdır. Aritmetik ortalamadaki probabl hata

$$r_o = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}$$

formülü ile tâyin edilir. Bu formülde v rezidüel ve n de yapılan obzervasyonların sayısıdır.

Tablo II deki $\frac{V}{I}$ kıymetlerinden görüleceği veçhile rezidüeller ortalama 0.02 civarındadır. Şu halde

$$r_o = 0.6745 \sqrt{\frac{5 \times 0.02^2}{5 \times 4}} = 0.0067$$

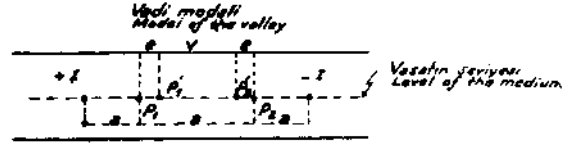
K kıymetinde bu hataya tekabül eden probabl hata :

$$\pm \frac{\partial K}{\partial \left(\frac{V}{I} \right)} \times r_o = \pm \frac{\rho (1 + r_a \%) }{\pi a \left(\frac{V}{I} \right)^2} \times r_o \quad \text{dır.}$$

Yüzde probabl hata ise

$$\pm \frac{r_0}{V} \times 100 = \pm \frac{0.67}{V} \text{ dir.}$$

Ölçülerde V/I nin kıymeti 5 ten 18 e kadar değiştiğine göre, K faktöründeki probabl hata % 0.13 ile % 0.037 arasında değişir.



Şek. 5

Elektrot kalınlıklarından ve elektrotların temas noktalarının pozisyon hatalarından mütevellit K faktöründeki hata şöyle hesaplanabilir :

Farzedelim ki potansiyel kontaktlarının doğru yerleri P_1 ve P_2 , hatalı yerleri de P_1' ve P_2' olsun. C_1 ve C_2 akım elektrotlarının doğru yerleri olsun (Şekil 5).

P_1 ve P_2 arasındaki potansiyel farkı takriben :

$$V = 2 \frac{\rho I}{K \pi} \left(\frac{1}{a+e} - \frac{1}{2a-e} \right) \text{ dir.}$$

Burada ρ vasatın rezistivitesi ve e de $P_1 P_1' = P_2 P_2'$ mesafesidir.

$$V = \frac{2 \rho I}{K \pi} \cdot \frac{(2a-e) - (a+e)}{(a+e)(2a-e)}$$

$$V = \frac{2 \rho I}{K \pi} \cdot \frac{(a-2e)(1-e/a)(1+e/2a)}{2 \cdot a \cdot a}$$

veya

$$V = \frac{\rho I}{K \pi a} \cdot (1-2e/a)(1-e/a)(1+e/2a)$$

dir ki, bu da :

$$V = \frac{\rho I}{K \pi a} \left(1 - \frac{4e}{2a} - \frac{2e}{2a} + \frac{e}{2a} \right)$$

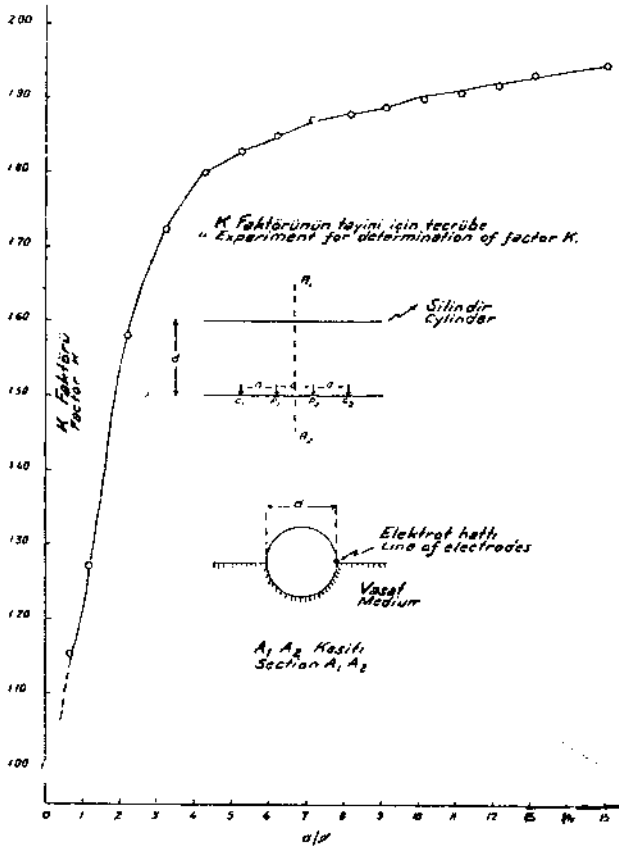
$$V = \frac{\rho I}{K \pi a} \left(1 - \frac{5e}{2a} \right) \text{ dir.}$$

Şu halde V deki yüzde hata miktarı $\frac{5e}{2a} \times 100$ dir.

Bundan mütevellit K faktöründeki hata da aynı miktardadır. Bu hata formülünden görüleceği veçhile, elektrot açıklığı küçüldükçe, hata da artar.

e nin 1/8 mm olduğunu farzederseniz, 4 ve 9 cm lik elektrot açıklıklarında K faktöründeki hata, % 0.78 ve % 0.35 olur.

Modellerin yerleştirilmesindeki yanlışlıklardan ve elektrot açıklığını ölçmeden doğan hatalar ise ihmal edilecek kadar küçüktürler. Çünkü lineer ölçüler istenilen hassasiyetle yapılabilir. Netice itibariyle tâyin edilen K faktöründeki bütün hata miktarı % 1 den azdır.



Şek. 6 - Kesiti yarım daire olan bir vâdi için K faktörünün a/d ye göre değişimi

Burada şunu ilâve etmek gerekir ki, komütatör faktöründen dolayı K faktörüne hata girmez, çünkü bu faktör K faktörü ifadesinde, hem suret ve hem de mahreçte bulunduğundan birbirini ifna ederler.

Yarım silindir şeklindeki bir vadide elektrotlar üst kenar boyunca dizildiği zaman, bulunan K faktörünün kıymetleri Şekil 6 da gösterilmiştir. Bundan görüleceği veçhile K nın a/d ile değişmesi a/d nin 0 ile 5 kıymetleri arasında pek seridir. $a/d=5$ ten sonra bu değişme yavaşlar. Şu halde K faktörünün bu kıymetler arasına tekabül eden kıymetlerini seçerken dikkat etmek gerekir.

$a/d = 8$ de $K = 2$ olarak alınırsa, % 6 bir hata yapılmış olur.

I. 5. K faktörünün muhtelif tip vâdilerde elektrot sisteminin muhtelif vaziyetleri için tayini ve bu faktörün vâdi tipine ve elektrot pozisyonuna göre varyasyonunun etüdü.

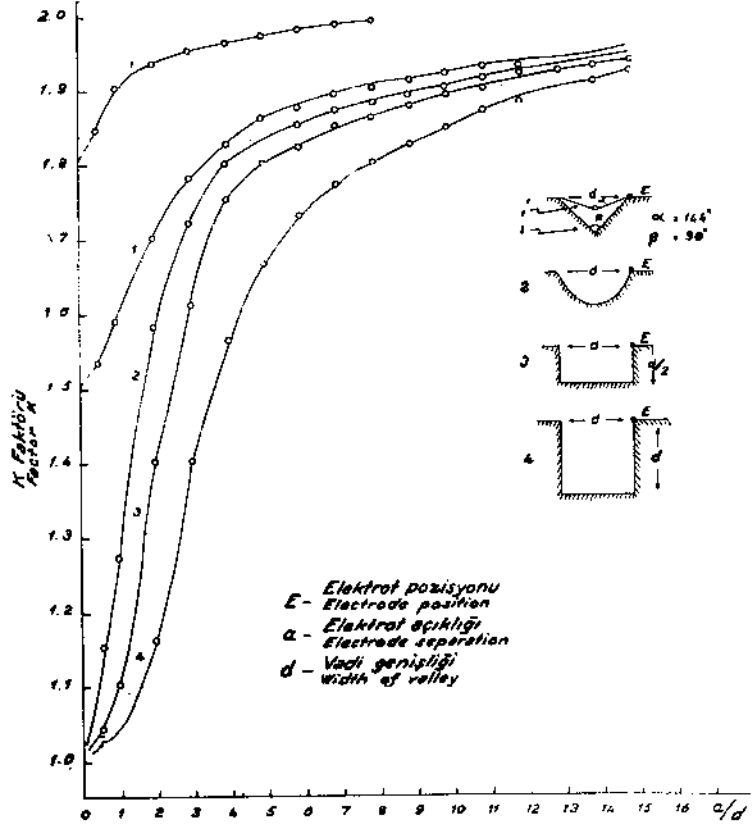
K faktörü, yukarda bahsedilen teknik vasıtasıyla ve aynı hata çerçevesi dahilinde muhtelif tip iki dimansiyonlu vadilerde muhtelif tip elektrot pozisyonları için tayin edilmiştir. Tabiattaki vadi çeşitleri rezistivite etüdüleri bakımından 4 ana tipe ayrılabilirler :

- 1) Uzunluğuna dik kesiti ikiz kenar dik üçgen olan vadiler. Bu tip vadiler bilhassa kristalin ve entrüzif sahreler içerisinde mebzuldür.
- 2) Kesiti yarım daire olan vadiler. Alüvyoner sahalardaki ondülasyonlar bu tiptendir.
- 3) İrtifai kaidesinin yarısı kadar olan dik dörtgen kesitli vadiler. Sel yatakları bu tiptendir.
- 4) Kesiti kare şeklinde olan vadiler. Kanyonlaşmağa yüz tutmuş dere yatakları bu tiptendir.

Diğer vadi tipleri umumiyetle bu 4 tipin interpolasyonundan çıkarılabilirler. Onun için K faktörü bu 4 tipe göre tayin edilmiştir. Vadi kesitleri, üst genişliklerine (d) göre tavsif edilmişlerdir.

I. 51. Elektrotlar vadinin üst kenarı boyunca dizildiği zaman K faktörünün 4 tip vadiye göre varyasyonu.

Her tip vadi için K faktörünün a/d ye göre değişimi Şekil 7 de gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği veçhile, elektrot açıklığı vadi genişliğinin 15 misli olduğu zaman, vadinin ölçülerde rolü ihmal edilecek kadar küçülmektedir. Her münhani üzerinde «curvature» ü en büyük iki nokta ve aralarında bir enfleksiyon noktası mevcuttur. Meselâ 4 üncü tip vadi için enfleksiyon noktası $a/d = 3$ te ve diğer iki nokta da $a/d = 1.5$ ve 5 te görünmektedir. Diğer tiplerde bu noktalar yer değiştirmektedir. Pratikte bu 2 nokta arasında ve bilhassa enfleksiyon noktasının



Şek. 7 - K faktörünün muhtelif tip vâdilere göre varyasyonu (elektrotlar üst köşeler boyunca)

civarında K faktörünü kıymetlendirirken dikkat gerekmektedir. Aynı şekilden görüldüğü ki a/d oranı sifıra yaklaştıkça K faktörü:

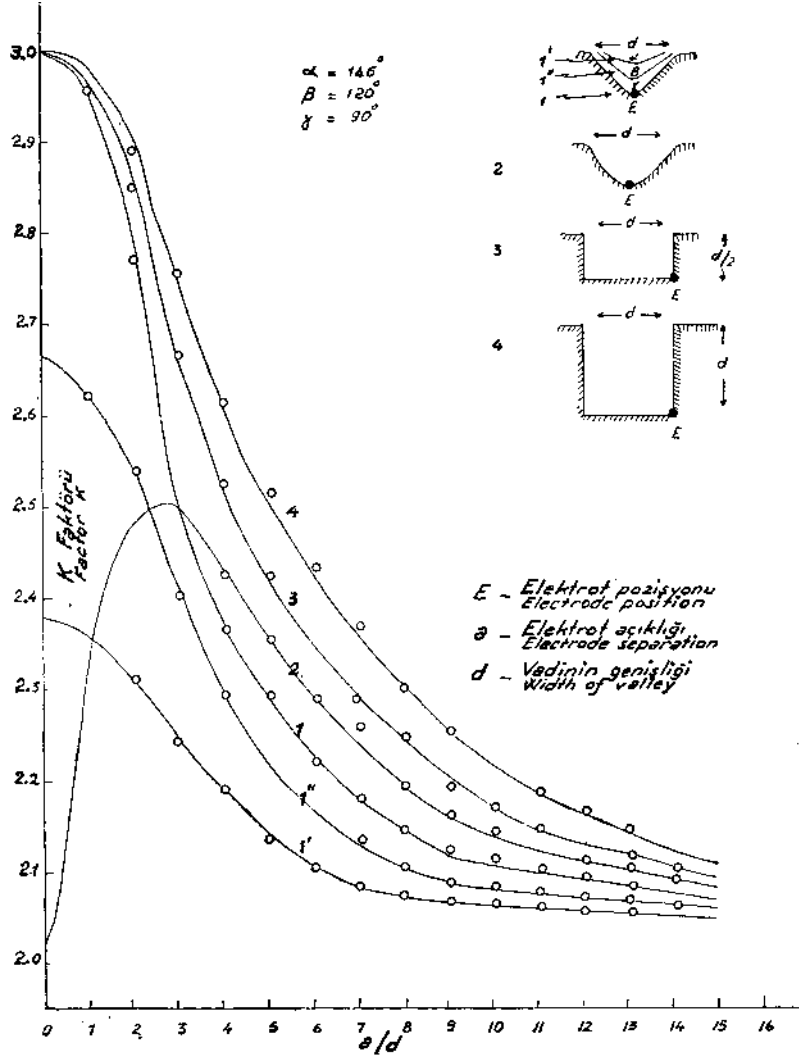
1	inci	tip	vâdi	için	$1.5'a$
2	»	»	»	»	$1'e$
3	»	»	»	»	$1'e$
4	»	»	»	»	$1'e$

yaklaşmaktadır. Bu kıymetlerin teorik olarak da böyle oldukları potansiyel teorisyle rijid olarak veya imaj teorisyle kolaylıkla ispat edilebilir.

K faktörünün kıymetlerine gelince, aynı a/d kıymetlerinde 4 üncü tip vadinin K kıymetleri (a/d oranı 1 den büyük ise) 2 nci tipinkilerinden takriben % 15 daha küçüktür, 1 inci tipinkiler en büyük ve 3 üncü tipinkiler ise 2 nci ile 4 üncü arasındadır.

I. 52. Elektrotlar vadinin tabanı veya taban köşesi boyunca konduğu zaman K faktörünün 4 tip vadiye göre değişmesi.

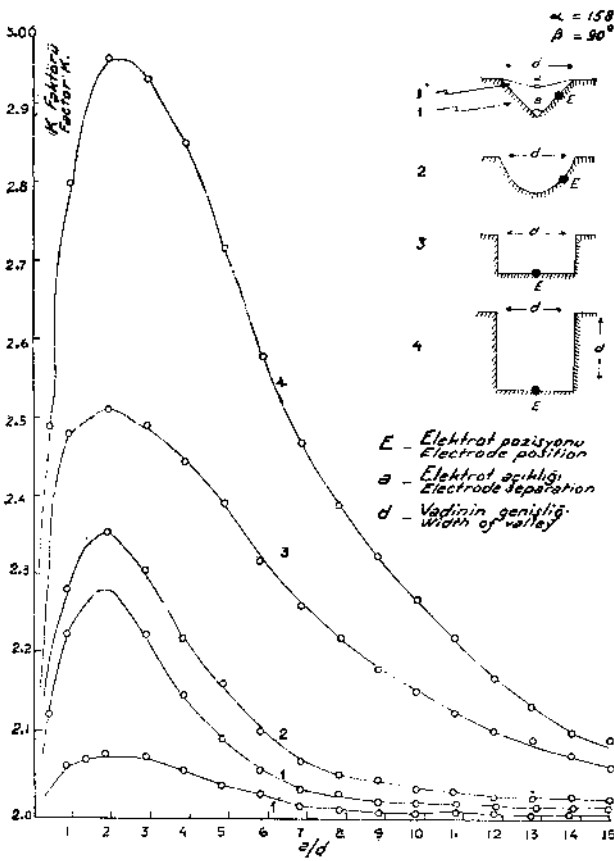
Bu değişim Şekil 8 de gösterilmiştir. Gene umumi olarak elektrot açıklığı vadi genişliğinin 15 misli olunca vadinin ölçülerde rolü ihmal edilecek kadar azalmaktadır, 1 inci, 3 üncü ve 4 üncü tipler için a/d sıfıra yaklaştıkça K faktörünün kıymeti 3 e yükselmektedir, 2 nci tipte ise K, 2 ye yaklaşmaktadır, 1 inci, 3 üncü ve



Şek. 8 - K faktörünün muhtelif tip vâdilere göre varyasyonu
(elektrotlar taban köşeleri boyunca)

4 üncü tiplerinde 2 şer «maximum curvature» noktalarıyla bunlar arasında birer enfleksiyon noktası görülmektedir. İkinci «curvature» noktaları a/d takriben 6 ya eşit olunca meydana çıkmaktadır. Onun için 1 inci, 3 üncü ve 4 üncü tiplerde, a/d nin sıfır ile 6 kıymetleri arasında tekabül eden K kıymetlerini seçerken dikkat etmek lâzımdır. 2 nci tip ise, bir maksimum ve iki enfleksiyon noktası göstermektedir. Pratikte kullanılmak üzere $a/d = 7$ ye kadar K nin değişimi hızlı sayılabilir.

I. 53. Elektrotlar vadinin tabanının ortası veya yan kenarlarının ortası boyunca dizildiği zaman K faktörünün 4 tip vadiye göre varyasyonu.



Şek. 9 - K faktörünün muhtelif tip vâdilere göre varyasyonu (elektrotlar taban ve yan kenar ortaları boyunca)

K değerinin seri varyasyonu 3 ve 4 tiplerinde a/d nin 0 ile 2 ve 2 ile 8 kıymetleri arasındadır, $a/d = 2$ de maksimum noktası mevcut olduğundan, burada teorik olarak değişme sıfırdır.

K değerinin seri varyasyonu 1 ve 2 nci tiplerde a/d nin 0 ile 2 ve 2 ile 5 kıymetleri arasındadır.

I. 6. Vadi civarlarında potansiyel distribusyonunun etüdü ve metodun istikameti tefrik kudretinin incelenmesi.

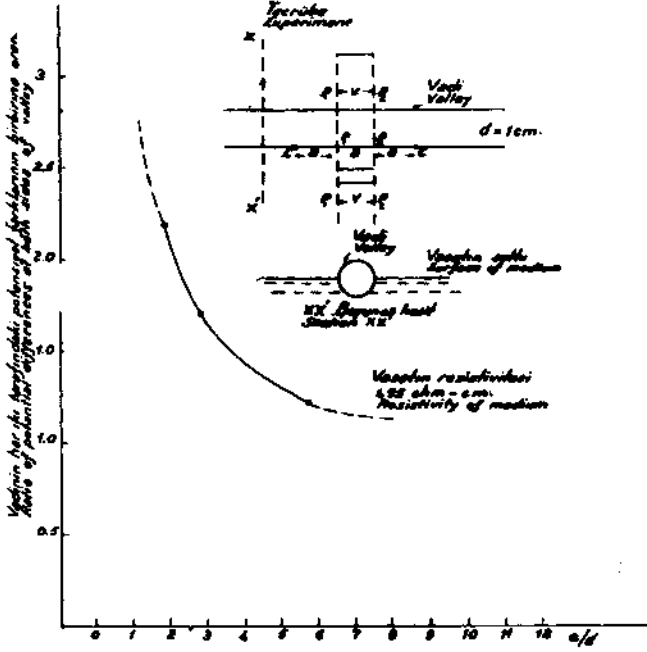
Bu iki etüdün yapılmasından sonra inkişaf ettirilen metodun tatbikat sahası ve limitasyonları hakkında bir fikir elde etmek mümkün olacaktır. Aynı zamanda elde edilen doneler ileride yapılacak olan hakikî eksplorasyon etüdlerinin interpretasyonunda da kullanılabilirler.

Elektrotlar üçgen ve yarım daire kesitli vadilerin yan kenarlarının ortaları boyunca ve diğerlerinin taban ortaları boyunca konmuştur. Elde edilen münhaniler Şekil 9 da gösterilmiştir.

3 üncü ve 4 üncü tipleri için $a/d = 15$ te vadinin tesiri ihmal edilecek kadar azalmaktadır, 1 inci ve 2 nci tipleri için bu hal $a/d = 7$ de husule gelmektedir.

a/d oranı sıfıra yaklaştıkça hepsinde K faktörü 2 ye inmektedir. Her münhaninin 1 maksimum noktası olup, bu nokta a/d nin takriben 2 kıymetine tekabül etmektedir, a/d oranının aynı değerleri için 4 üncü tipin K değerleri 3 üncü tipindekilerden büyük, 2 nci tipinkiler ise 3 üncünükilerden küçüktür. En küçüğü 1 inci tipindekilerdir. Bunların böyle olmaları teorik bakımdan doğrudur. Zira, elektrot açıklığına nazaran ölçüye giren volüm küçüldükçe K kıymeti 2 ye daha yaklaşır.

I. 61. Yarım silindir şeklinde bir vadi civarında potansiyel varyasyonu.



Şek. 10 - Vâdi civarında potansiyel değışmesi

Bu etüd için akım ve potansiyel elektrotları model vadinin üst kenarına Wenner sistemindeki gibi dizilmiş ve potansiyel elektrotlarına, vadiyle temas ettikleri noktalarda vadiye dik iki hat boyunca yer değıştirilmiş ve akım elektrotları hattından aynı mesafedeki potansiyel farkları müşahade edilerek bunların birbirine oranı (V_1/V_2) hesaplanmıştır. Bu oranın a/d oranına göre değışimi Şekil 10 da görülmektedir. Buradan görüleceği veçhile, bu oranın a/d ile değışme gradyanı $a/d = 3$ kıymetine kadar gayet büyük olup $a/d = 6$ dan sonra küçüktür. Bu iki kıymet arasında ise tranzisyonaldır.

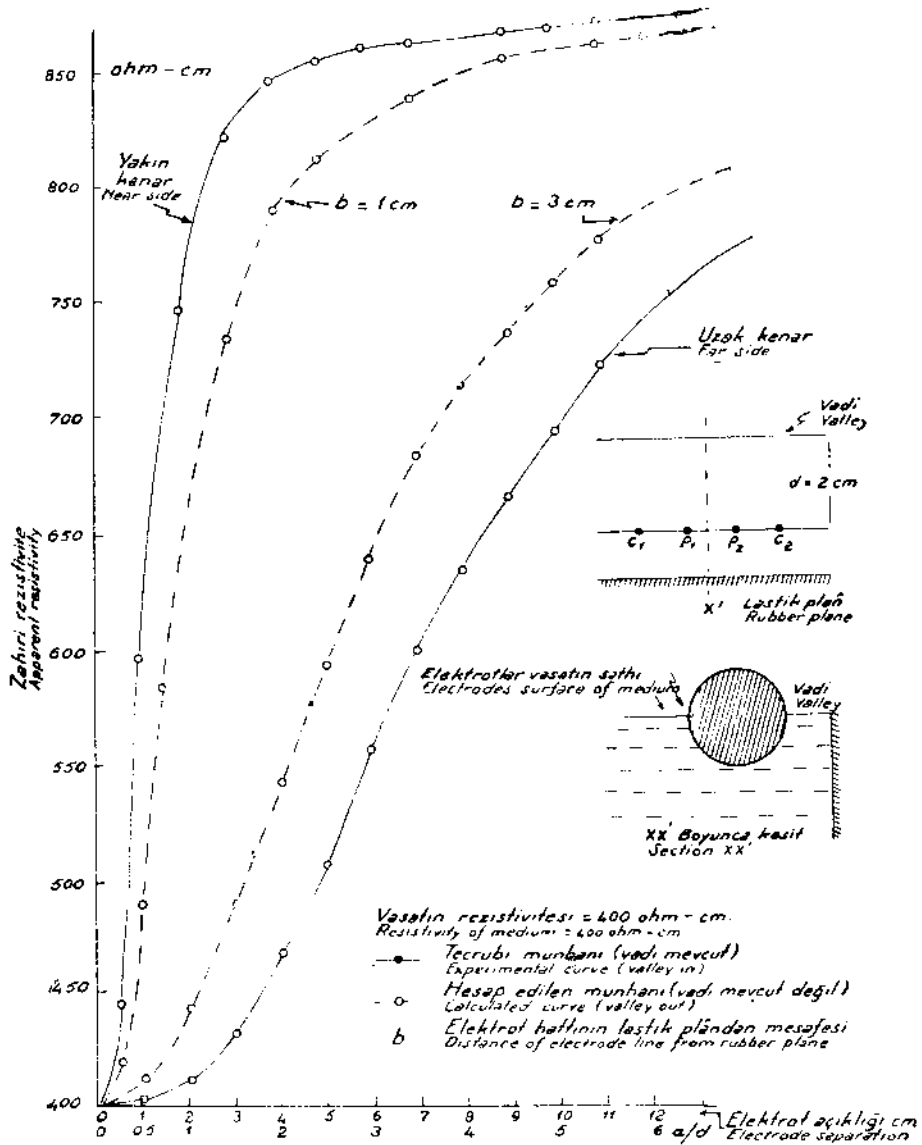
Bu netice gösteriyor ki a/d oranı 2 den küçük olduğu zaman akımın kısmi âzami elektrotların bulunduğu tarafta konsantre ediliyor ve aranılan cisim anomali verecek kadar vadiye yakın ve büyükse, vadinin cisme yakın tarafıyla diğer tarafında ölçülen zahiri rezistiviteler cismin hangi tarafta bulunduğunu verecektir.

1. 62. Metodun istikameti tefrik kudretinin araştırılması.

Bu tefrik kudretinin incelenmesi için Şekil 11 ve 12 den görüleceği gibi, vadiye paralel ve vasat sathına dik olmak üzere bir lâstik levha konmuş ve vadinin her iki kenarı boyunca rezistivite ölçüleri yapılmıştır. Bu tecrübe lâstik levhanın vadiye olan mesafesini evvelâ küçük tutarak ve sonra da büyülterek iki kere tekrarlanmıştır (Şekil 11 ve 12). Bu suretle münhanilerin muhtelif karakteristikleri incelenmiştir. Elektrotların aynı mesafede olması ve fakat vadinin ademi mevcudiyeti halinde zahiri rezistiviteler hesaplanmış ve tecrübi kıymetlerle mukayese edilmek üzere aynı şekiller üzerine konmuşlardır.

Elde edilen rezistivite münhanilerini etüd etmeğe girişmeden şu teoremi burada kaydetmek faydalı olacaktır:

Sömi-infinet bir vasat içerisinde bu vasat sathına dik bulunan ve rezistivitesi sonsuz olan bir plânın zahiri rezistivitesi, vasat sathı ile kontakt yapan ve bu



Şek. 11 - Metodun istikameti tefrik kudretinin araştırılması

plâna paralel bir hat boyunca dizilen Wenner elektrot sistemiyle ölçüldüğü takdirde şu formülle ifade edilir :

$$\rho_g = \rho_1 (1 + F_1) \dots \dots \dots (1)$$

Burada
$$F_1 = k \left\{ \frac{2}{(4\lambda^2 + 1)^{1/2}} - \frac{1}{(\lambda^2 + 1)^{1/2}} \right\}$$

ρ_1 = vasatın hakikî rezistivitesi

$$\lambda = \frac{b}{a}$$

a = elektrot açıklığı

b = elektrot hattının plândan uzaklığı

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} = 1 \quad \text{çünkü } \rho_2 = \infty \text{ dir.}$$

Şimdi Şekil 11 ve 12 deki münhanilerin tetkikine geçebiliriz :

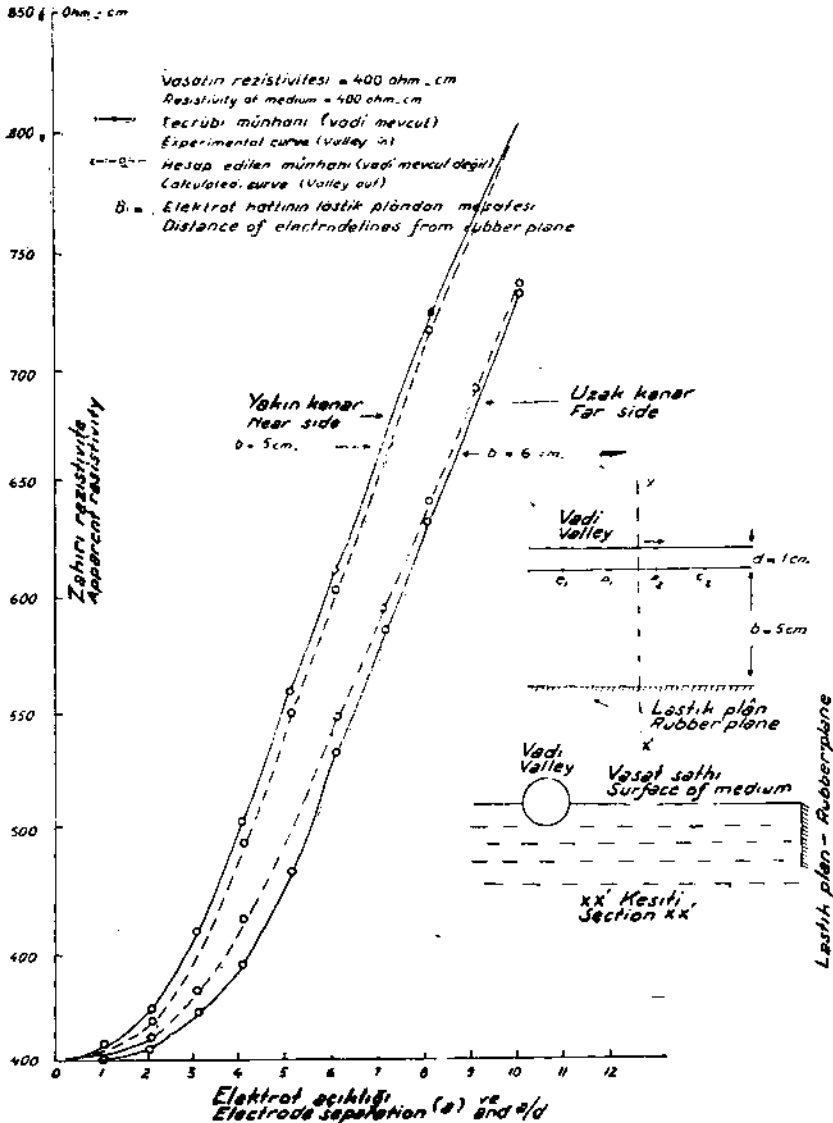
1) Tecrübi münhaniler, bunların mütekabili olarak hesapla bulunan münhanilerin dış taraflarında bulunurlar.

Bunu teorik olarak ispat etmek için yukardaki (1) formülü ile 2 tabaka zâhiri rezistivite formülü olan

$$\rho_a = \rho_1 (1 + F_2) \dots \dots \dots (2)$$

$$F_2 = 2 \sum_{n=1}^{\infty} k^n \left\{ \frac{2}{(1 + 4n^2 \lambda^2)^{1/2}} - \frac{1}{(1 + n^2 \lambda^2)^{1/2}} \right\}$$

formülünü nazarı dikkate almak lâzımdır.



Şek. 12 - Metodun istikameti tefrik kudretinin araştırılması

Bu formülde : Q_1 ve Q_2 , birinci ve ikinci tabakaların rezistiviteleri

$$\lambda = \frac{b}{a}$$

b = birinci tabakanın kalınlığı

a = elektrot açıklığı

$$k = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2 + Q_1} \quad (Q_2 = \infty \text{ ve } k = 1)$$

(1) ve (2) formüllerinden görüleceği veçhile, Q_1 ve Q_2 'nin aynı değerleri için Q_2 Q_1 'den büyüktür.

Elektrot açıklığı K faktörünü 2 ye yaklaştıracak kadar küçük olduğu zaman, akımın kısmı âzami elektrotların bulunduğu tarafta bulunacaktır ve cüzî miktarda bir akım vadinin öbür tarafına geçebilecektir. Bu vaziyette zahirî rezistivite, formül (2) vasıtasıyla takriben ifade edilebilecektir ve dolayısıyla elektrotlar vadinin yakın tarafında oldukları zaman bulunan zahirî rezistivite kıymeti, vadinin mevcut olmadığı zaman bulunan rezistivite kıymetinden daha büyük olacaktır.

Vadinin uzak tarafına gelince: küçük elektrot açıklıklarında akımın ancak az bir kısmı yakın tarafa geçebilecektir. Bu vadinin örtme tesirinden (shielding effect) ileri gelir. Şu halde vadi mevcutken bulunan zahirî rezistivite, vadi yokken bulunacak olandan küçük olacaktır. Teorik olarak her iki münhani ancak sonsuzda birleşirler.

(1) ve (2) formülleri mukayese edilirse,

$$\lambda > 5 \text{ ise } F_2 = 2 F_1$$

$$\lambda < 5 \text{ ise } F_2 > 2 F_1$$

bulunur. Bunun mânası şudur :

1) Aynı elektrot açıklığında, vadi mevcutken bulunan zahiri rezistivitenin, vadi mevcut değilken bulunacak olandan yüzde farkı, elektrot hattının plândan olan mesafesi küçüldükçe büyüyecektir. Bu netice Şekil 11 ve 12 deki münhanilerle de teyit edilmektedir.

2) Tecrübi ve teorik münhanilerde, «curvature» ün en büyük olduğu ilk dönüş noktaları, elektrot açıklığının, elektrot hattının plândan olan mesafesinin yarısına eşit olması haline tekabül eder.

3) Vadinin yakın ve uzak taraflarında ölçülen rezistivite anomalileri arasında en büyük fark, tecrübi ve teorik münhanilerde aynı elektrot açıklığına tekabül eder.

Teorik münhaniler için en büyük farka tekabül eden elektrot açıklığı :

$$a = 2 \left[\frac{b_1^2 \cdot b_2^{4/3} - b_2^2 \cdot b_1^{4/3}}{b_1^{4/3} - b_2^{4/3}} \right]^{1/2}$$

Burada b_1 ve b_2 elektrot hatlarının ikinci vasattan olan mesafeleridir.

4) $a/d > 7$ olunca tecrübi münhaniler (vadi varken) teorik münhanilerle (vadi namevcut) aşağı yukarı üstüste gelirler.

Kısım n.**İNKIŞAF ETTİRİLEN REZİSTİVİTE METODUNUN AZDAVAY KARBONİFER HAVZASINA TATBİKİ VE NETİCELERİN AYNI BÖLGEDE YAPILAN SİSMİK, WELL LOGGING VE JEOLJİK ETÜDLERLE KORELÂSYONU****G İ R İ Ş**

Azdavay Karbonifer bölgesi Kastamonu'nun 80 km kuzeybatısında bulunmakta ve civarında yükselen Ballıdağ silsilesi Azdavay'dan 800 m daha yüksekliklere varmaktadır. Azdavay'dan Cide'ye olan mesafe 80 km olup, bunları bağlayan şose birçok iniş ve çıkışlar ve sert virajları ihtiva eder.

Arızalı ve derin vadilerle dolu olan bu bölgede en çok göze çarparı hâdiseler heyelan ve toprak kaymalarıdır. Sağlam yerli sahre mostraları nadirdir. En iyi mostraların mevcut olduğu dik yamaçlı vadilerde bile yatım ve istikametler yerin kaymış olduğunu göstermektedir. Vadilerin birçok yerlerinde üç metre derinliğinde açılan yarmalar dahi kömür damarının sağlam kısmına erişememiştir.

Bu heyelan ve kaymalar ve bölgenin büyük bir kısmının toprak ve alüvyonla örtülü olması, zaten karışık bir tektoniğe sahip olan bu havzada jeolojik etüdlere maksada kifayet edecek kadar yapılamamasını ve yapılanlardan bir kısmının da gayrimuayyen bir şekilde tefsir edilmesini intaç etmiştir. Bu sebeplerden jeolojik metodlarla halledilemeyen birçok meselelerin jeofizik etüdlere halledilmesi yoluna tevessül edilmiştir. Havzada rezistivite, sismik ve well logging metodları kullanılarak muhtelif formasyonların kalınlıkları ve cinsinin tavini, fayların yerlerinin ve yatımlarının bulunması, muhtelif jeolojik blok ve ünitelerin birbirleriyle korelasyonu, Karbonifer ve diğer formasyonların derinlerdeki tektonik durumlarının aydınlatılması gibi meseleler ele alınmıştır.

Azdavay bölgesi jeofizik bakımdan 1954 Nisan ayında ziyaret edilmiş ve bilâhara etüdlere başlanarak aynı senenin Kasım ayında rezistivite ve sismik etüdlere nihayet bulmuşsa da, well logging etüdlere halen devam etmektedir.

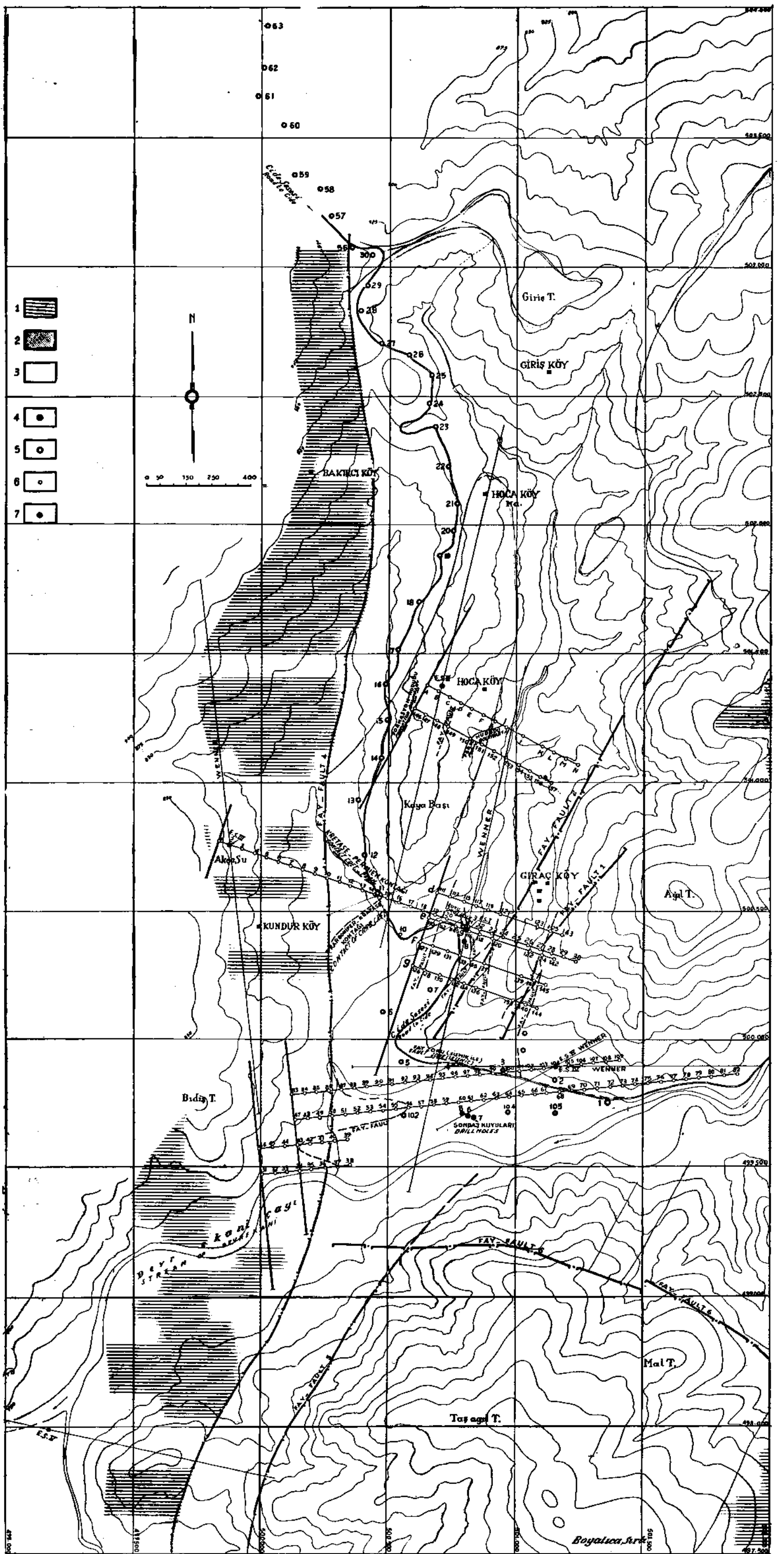
I. 1. Azdavay bölgesinin jeolojisi (3).

Şekil 13 teki jeolojik haritadan görüleceği gibi, Azdavay butonyerinin N-S istikametinde uzunluğu 6 km, E - W istikametinde ise 1 kilometredir. Batıdaki hudut Karbonifer takriben 2000 m derine atan büyük bir fay tarafından teşkil edilmiştir. Doğu hududunun kuzey kısmında Permien örtüsü, güney kısmında ise bir fay mevcuttur. Permienin altında Karbonifer-Permien hududundan itibaren 2 km uzağa kadar, işletme esnasında erişilebilir derinliklerde Karbonifer mevcut olduğu tahmin edilmektedir.

Şekil 13 teki 1/5000 lik jeolojik haritada jeolojik durumla beraber, birbirine en çok benzeyen damar mostraları, yarmaların mevkileri, numunelerin alındığı bütün noktalar ve teklif edilen lâğım ve sondajların mevkileri gösterilmiştir.

I. 11. Stratigrafi.**1) Kretase.**

Bu bölgede Kretase, Karbonifer butonyerinin batı ve doğusunda kalker, marn ve flişten ibarettir.



Şek. 13 - Karbonifer Havzasının jeolojik haritası (Azdavay jeofizik ve sondaj lokasyonları ile beraber)

- 1 - Kretase; 2 - Permien; 3 - Karbonifer; 4 - Sondaj lokasyonları; 5 - Sismik sondaj lokasyonları;
6 - Rezistivite istasyonları; 7 - Rezistivite sondaj lokasyonları

2) Permien.

Ekseriya kırmızı, bazan da yeşil renkteki sert gre ve konglomeralardan ibaret olan bu teşekkülde fosil bulunmamıştır. Permien, genç fosilsiz olan Kretase flişi tarafından örtülmüştür.

Permienin kaidesi bazan bir konglomera, fakat ekseriya bir gre tarafından temsil edilmektedir. Permien tabakalarındaki yatımlar 40-55° arasında değişmektedir. Bu tabakalar Karbonifer üzerindeki transgresyon sathına muvazi değildir.

3) Karbonifer.

Karbonifer, batısında Kretase, doğusunda ise Permien bulunan bir horst teşkil etmektedir. Güneyde, Karboniferin istikameti butonyerin uzunlamasına istikametine hemen hemen paralel, yatımı ise 40° doğuyadır.

Giraç köy yakınında 1 numaralı fayın hemen batısında olmak üzere, en genç formasyon Westfal D-E olarak tesbit edilmiş, en yaşlı formasyonun ise Westfal C olduğu belirmiştir. A ve B damarları arasında alınan bir numune Westfalen üst C; D daman Westfalen B-C-D; Y ve E damarları ise Westfalen C-D olarak tâyin edilmişlerdir.

I. 12. Jeolojik Strüktürler.

Kretase ve Permien tabakaları tâli olarak hafifçe kıvrılmış yassı bir senklinal ile yassı bir antiklinalden ibaret bir monoklin teşkil ederler. İstikametler 10-30° kuzeydoğuyadır. N-S istikametindeki 4 No. lı fay, Karbonifer Kretase flişi ile kontakt haline getirecek derecede önemli bir atımı haizdir. 4 No. lı fayın batısındaki Karbonifer işletmeye gayrimüsait derinliklerde bulunmaktadır; zira tavanında asgari 600 m kalınlıktaki Malmurgon kalkeri ile bunun üzerinde Kretase flişi mevcuttur.

Karbonifer nüvesi 1 No. lı fay tarafından kırılmış bir senklinal, Permien altında ise muhtemelen bir antiklinal teşkil etmektedir. Karbonifer butonyerinin büyük bir kısmı doğuya yatan çok kıvrımlı ve bir senklinalin, batı kısmını teşkil eden monoklinal bir Struktur arz etmektedir. Senklinalin bu batı kısmı, 2 ve 3 No. lı faylar tarafından kırılmıştır. Bu faylar arasındaki blok bilhassa Westfal C ihtiva eden bir horst teşkil ederler; batı ve doğudaki kısımlar ise Westfal D den ibarettir.

Karboniferin kıvrılması ve 1, 2, 3 No. lı fayların teşekkülü Permienden öncedir. Yalnız 1 No. lı fayın post-Permien küçük bir hareketi vardır. Bu hareket neticesinde doğudaki blok takriben 50 m yükselmiş bulunmaktadır. Havzanın güney kısmında doğudaki monoklinal Kretase Permien üzerine bâriz bir diskordans ile yayılmaktadır. Permien N 20° W istikametli ve hafifçe kuzeye dalan bir mihverli olan bir antiklinal teşkil eder. Azdavay'ın kuzey kısmı bu antiklinalin doğu böğrünün temadisine tekabül etmektedir. Doğu kompartımanı derine atılmış 5 No. lı fay Permienin batı hududunu teşkil eder. Karbonifer 4 ve 5 No. lı faylar arasındaki horstta bulunur.

I. 2. İnkişaf ettirilen rezistivite metodunun Azdavay Karbonifer bölgesine tatbiki ve neticelerin well logging etüdleriyle mukayese ve korelasyonu.

Azdavay bölgesinde muhtelif formasyonların kalınlıklarını ve cinslerini tâyin etmek, bunları birbirleriyle korele etmek üzere muhtelif derin rezistivite sondajları yapılmıştır. Bu sondajların yerleri Şekil 13 te gösterilmiştir (E.S. I, II, III, IV, IV, V). Her sondajda elektrot açıklığı 20 metreden başlatılmış ve topografik şartlara göre 200-700 metreye kadar açılmıştır.

Ölçüler için Kısım I de kullanılan komütatörlü rezistivite aleti kullanılmıştır, ölçülerde iki tesirin rolü büyük olmuştur :

1) Akım ve potansiyel elektrotları kablolarının birbirine endüksiyon tesiri ve potansiyel elektrotları arasındaki arazi blokunun self-endüktansının ölçülere tesiri. Bu tesir bilhassa elektrot açıklığı 250 metreyi aşınca kendisini gösterir.

2) Civar arızaların tesiri.

Bunlardan birinci tesir şöyle giderilmiştir :

Ölçülerde potansiyel elektrotları arasındaki hakikî rezistans R ve akım ve potansiyel elektrotları kablolarının birbirleriyle olan «mutual inductance» M , potansiyel elektrotları arasındaki arazi blokunun «self-inductance» ı L ise, ölçülen efektif rezistans (R') şudur :

$$R' = \sqrt{R^2 + (L \pm M)^2 w^2}$$

Burada w , komütatörün angüler velositesidir.

Hakikî rezistans olan R' bulmak için aynı elektrot açıklığında iki ayrı komütatör hızı ile iki ayrı ölçü yapılmış ve R hesaplanmıştır.

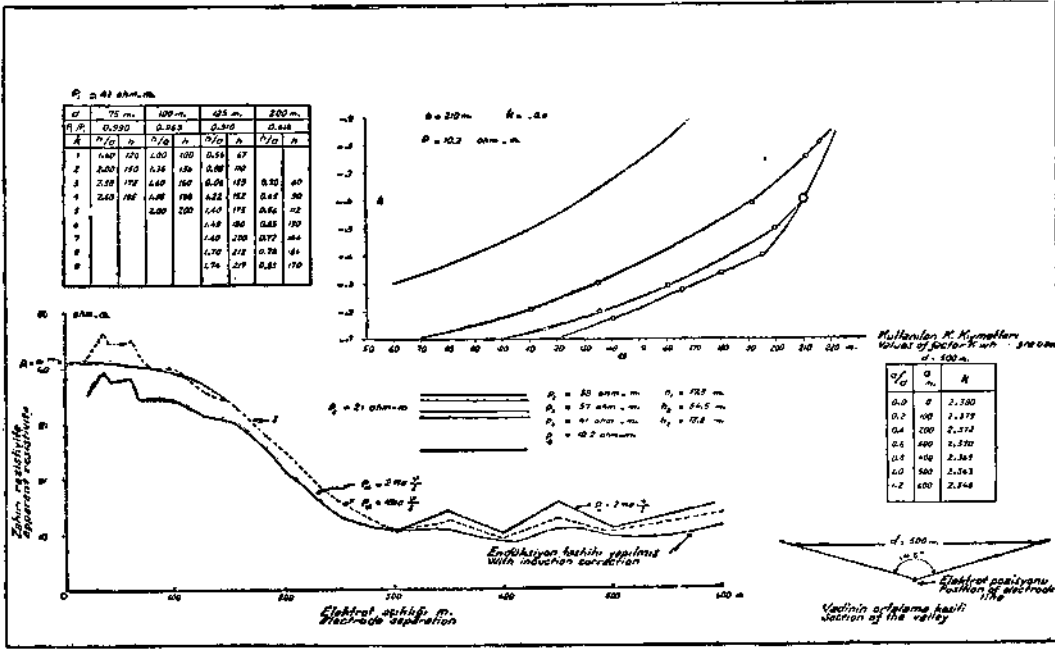
Civar arızaların tesirlerine gelince : bu tesirler Kısım I de derin bir şekilde mütalâa edilmişlerdir. Esasen ölçülerin büyük bir kısmı oldukça muntazam iki dimansiyonlu vadiler içinde yapılmış olduklarından Kısım I de inkişaf ettirilen metod ölçülere tatbik edilmiştir.

L 21. E. S. I in analizi.

Şekil 13 ten görüleceği gibi E. S. I, Azdavay-Cide şosesinin, Değirmen deresini kestiği nokta civarındadır. Wenner-Gish-Rooney metoduyle elde edilen münhani Şekil 14 te $\varrho_a = 2 \pi a \frac{V}{I}$ formülü ile işaretli olarak gösterilmiştir.

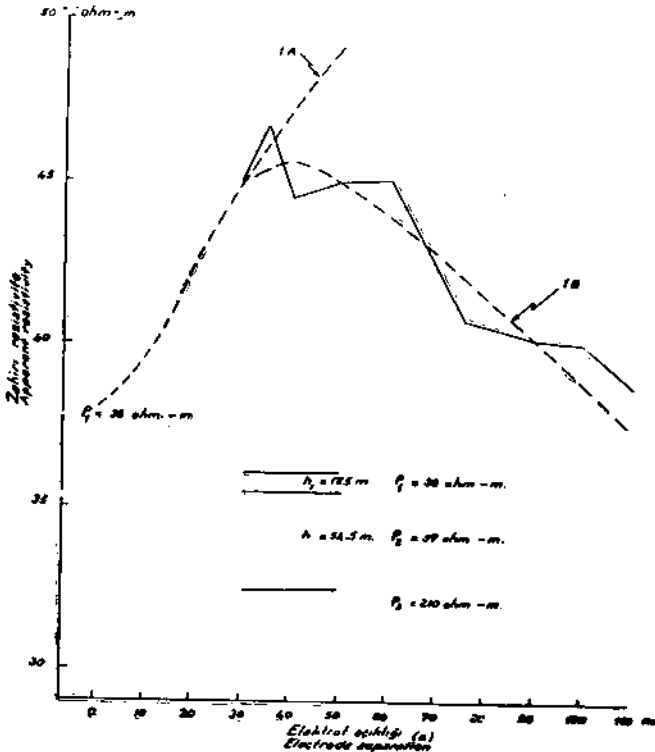
Bu münhaniye endüksiyon efekti için tashih yapıldığı takdirde, elektrot açıklığı (a) 300 metreyi aşan rezistivite kıymetlerinde farklar peyda olduğu aynı şekilden görülmektedir. $a=500$ metrede bu tesir takriben % 15 dir.

Bu sondajın içinde yapıldığı vadinin ortalama maktai aynı şekilde görülmektedir. Bu vadinin kesiti üçgen şeklinde olup, zaviyesi 146° , ve genişliği 500 metredir. Kısım I in Şekil 8 inde, böyle bir vadede bu tip elektrot pozisyonu için K faktörleri tâyin edilmiş vaziyettedir (I' münhanisi). K faktörünün bu kıymetleri kullanılarak bulunan rezistivite münhanisi şekil 14 te I ile gösterilmiştir. Bu münhanide endüksiyon efektlerinin tashihi de vardır. Aynı şekilden görüleceği



Şek. 14 - E. S. I in halli

gibi, $\rho_a = K \pi a \frac{V}{I}$ münhanisi $\rho_a = 2 \pi a \frac{V}{I}$ münhanisini $a = 300$ m civarında kesmekte ve ilk kısımda zâhiri rezistivite kıymetleri daha büyük, diğer kısımda ise daha küçüktür.



Şek. 15 - E. S. I in baş tarafının büyütülmüş şekli

I münhanisinin ilk kısmı ($a = 0$ ile 115 m arası) Şekil 15 de büyütülmüş ve halledilmiştir. 3 tabaka gösteren bu münhaniyi hal için şu prensipten istifade edilmiştir:

Rezistivite ρ_1 ve ρ_2 ve kalınlıkları h_1 ve h_2 olan iki infinit tabakanın ortalama rezistivitesi (ρ_{ort}) şu formülle tâyin edilir:

$$\frac{h_1 + h_2}{\rho_{\text{ort}}} = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} \dots (1)$$

Bu münhaniyi hal için, evvelâ ortalama münhaninin ilk kısmı uzatılmış ve zâhiri rezistivite mihverini kestiği, $\rho_1 = 38$ ohm-m bulunmuş ve bu noktadan ortalama münhaninin ilk kısmına teğet çizilmiştir. Bu teğet Tagg metodu ile halledilmiş (Şekil 16) ve $h_1 = 17.50$ m, $\rho_2 = 57$ ohm-m

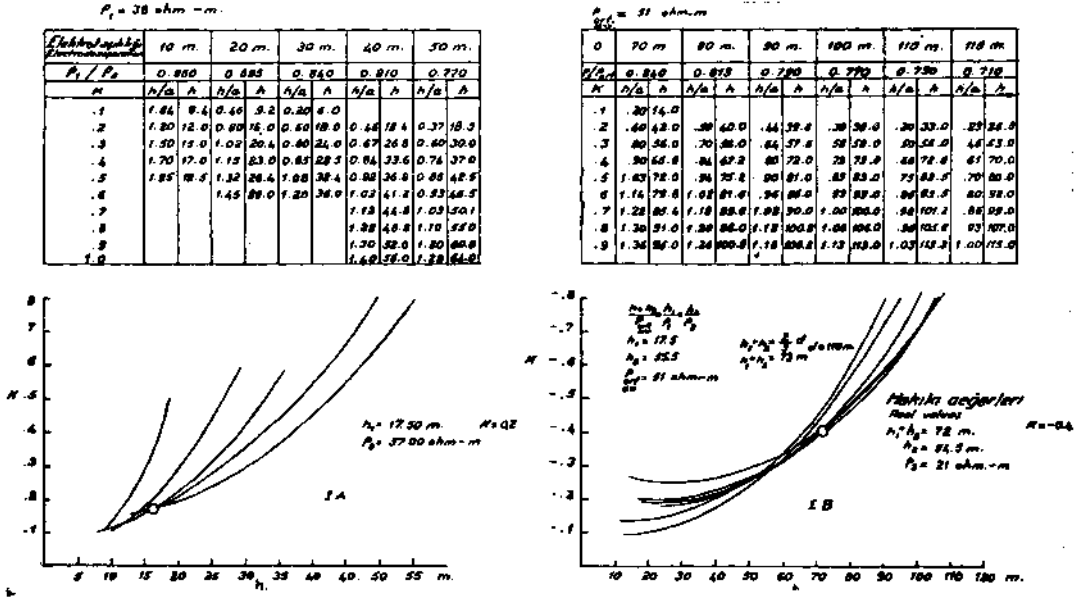


Fig. 16 - IA ve IB nin halli

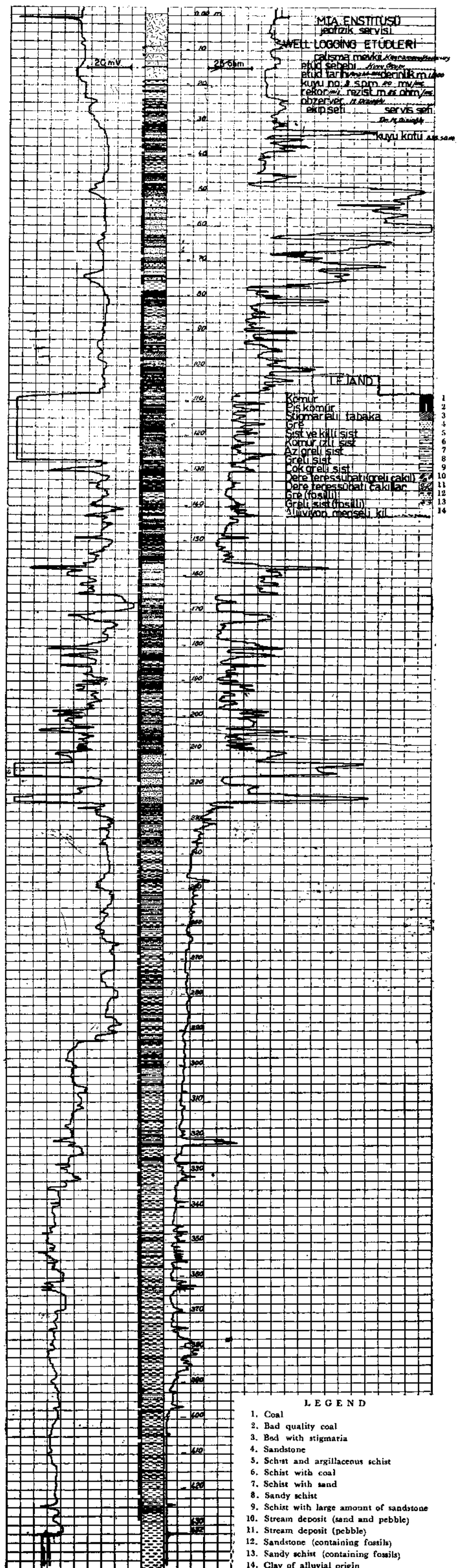
bulunmuştur. Bundan sonra münhaninin ikinci kısmındaki enfleksiyon noktasına tekabül eden $ct = 110 \text{ m}$ bulunmuş ve $h_1 + h_2 = 2/3$ a formülüne konarak h_2 nin takribi kıymeti olan 55.5 m bulunmuştur. Q_1 , Q_2 , h_1 ve h_2 nin bulunan bu kıymetleri (1) de yerine konarak $Q \text{ ort.} = 51 \text{ ohm-m}$ bulunmuş ve bu kıymete göre münhaninin ikinci kısmı (/B)geneTagg metodunun tatbikiyle halledilmiştir. Bundan sonra ana münhaninin (1) umumu için bir ortalama münhani çizilmiş ve aynı metotla halledilmiştir.

Elde edilen tabaka kalınlıkları ve rezistiviteleri Şekil 14 te gösterilmiştir. Buradan görüleceği veçhile, satıhta rezistivitesi düşük (38 ohm-m) ve kalınlığı 17.5 m olan bir tabaka, bunun altında rezistivitesi daha yüksek (57 ohm-m) ve kalınlığı (54.5 m) olan diğer bir tabaka mevcuttur. Bu tabakanın altında rezistivitesi düşük ince bir tabaka ve daha altında 138 m kalınlığında (41 ohm-m) diğer bir tabaka ve bunun da altında rezistivitesi gayet küçük olan (10.2 ohm-m) bir tabaka mevcuttur.

Well logging ile E. S. I neticelerinin mukayesesi.

E. S. I in pek yakınında 500 m derinlikte bir sondaj kuyusu (No. 3) açılmış ve içinde de tek elektrot sistemiyle rezistans ve self-potansiyel ölçüleri alınmıştır. Bu ölçüler Şekil 17 de görülmektedir. Well logging ölçülerinin E. S. I neticeleriyle mukayesesinden görülüyor ki : satıhtaki 17.5 m tabaka alüvyona ve bunun altındaki 54.5 m metrelik yüksek rezistiviteli tabakada 30 m derinlikle 77.5 m derinlikler arasındaki yüksek rezistiviteli tabakaya tekabül etmektedir. Well logging'de 225 m derinlikteki bâriz rezistivite ve self-potansiyel düşmesi ise, E. S. I de 210 m metreye tekabül etmektedir.

Netice olarak, E. S. I den ve 3 numaralı well logging'den görülüyor ki, 220 m derinliğe kadar rezistivitesi ortalama 41 ohm-m ve oldukça permeabl olan

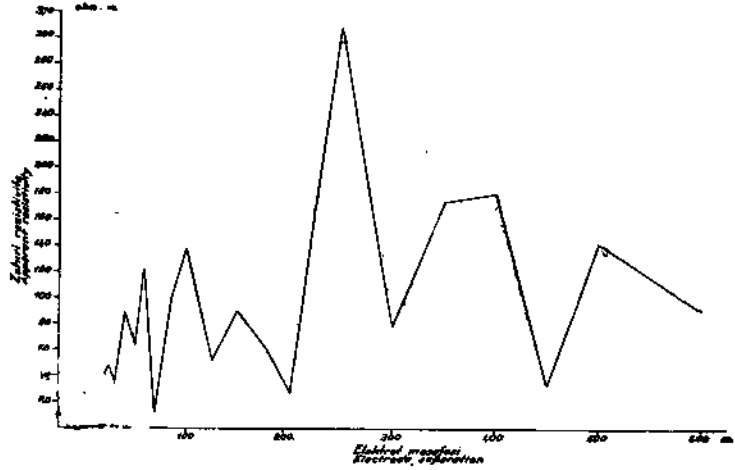


Şek. 17 - 3 numaralı kuyunun logu

bir Karbonifer serisi ve bunun altında da rezistivitesi ve permeabilitesi düşük olan diğer bir Karbonifer formasyonu mevcuttur.

L 22. E. S. II nin analizi.

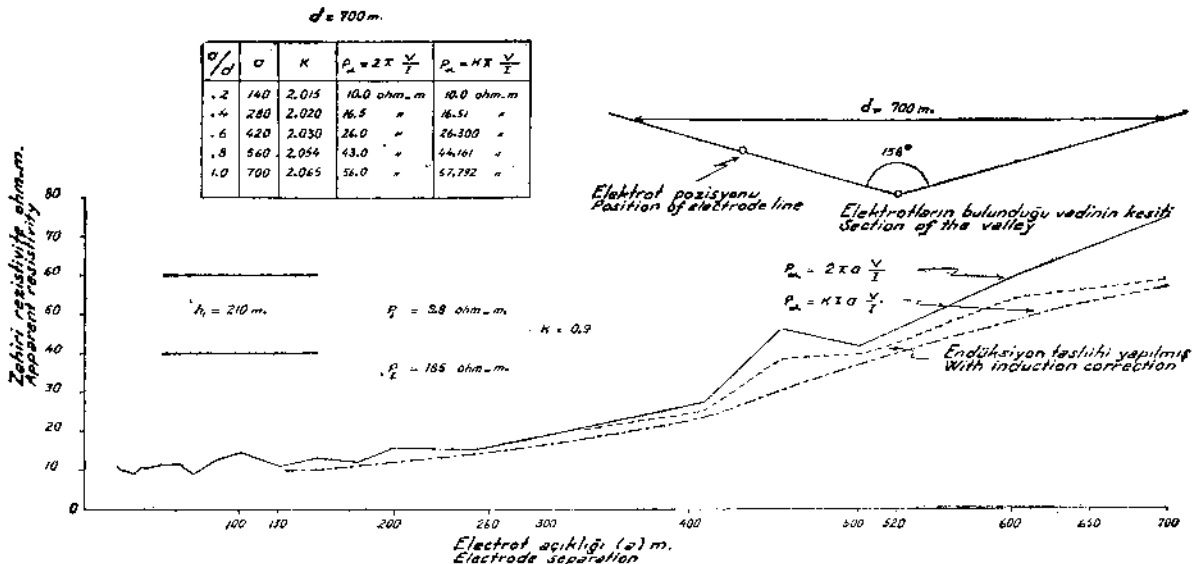
Bu elektrik sondajı Şekil 13 te görüleceği veçhile, haritada Permien olarak gösterilen blokun derinliğini ve altında Karbonifer formasyonunun mevcut olup olmadığını tâyin etmek maksadiyle yapılmışsa da, zahiri rezistiviteler pek gayrimuayyen bir şekilde değiştiğinden,, elde edilen rezistivite münhanisi halledilememiştir (Şekil 18). Zahiri rezistivitenin fazla değişmesi bu blokun gayet faylı ve kırık olması ihtimalini meydana çıkarmış ve bilâhara civarda yapılan sismik etüd bu ihtimali desteklemiştir.



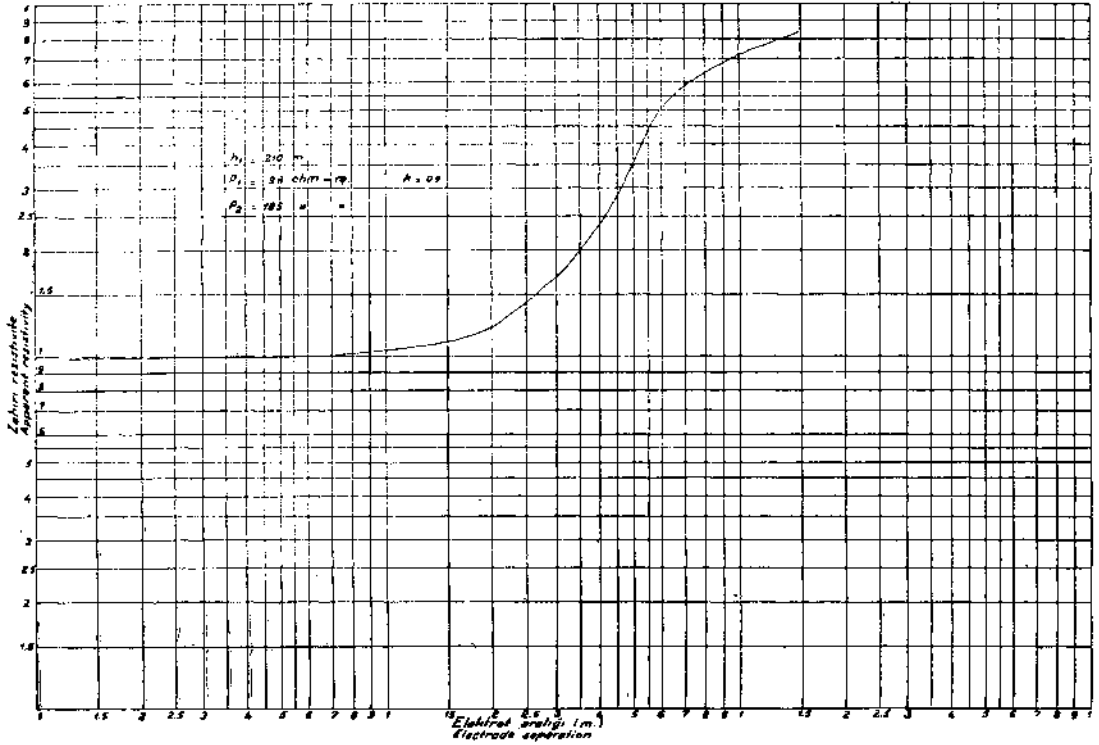
Şek. 18 - E. S. II nin eğrisi

L 23. E. S. III ün analizi.

Cide yolunun batısında Kretase flişinin kalınlığı ve altında Karboniferin olup olmadığını anlamak için elektrik sondajı yapılmıştır (Şekil 19). 250 metreden büyük açıklıklar için E. S. I de yapılan tarzda endüksiyon tashihi yapılmış ve elektrotlar 158° lik bir vadinin kenar ortasında bulunduğundan, Kısım I Şekil 9 da (I') münhanisinin K faktörü kıymetleri zahiri rezistivitelerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Elde edilen münhani logaritmik Tagg metodu ile tâyin olunmuştur.



Şek. 19 - E. S. III ün tashihi ve halli



Şek. 20 - E. S. III ün halfi

Logaritmik münhane Şekil 20 de gösterilmiştir. Bu münhane logaritmik 2 tabaka abaklarına tatbik edilerek, ilk tabakanın rezistivitesi 9.8 ohm-m, kalınlığı ise 210 m bulunmuştur. Bu tabakanın altında rezistivitesi yüksek (185 ohm-m) diğer bir tabaka mevcuttur.

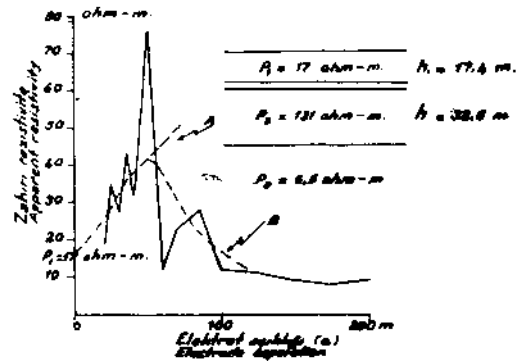
Bu neticeler gösteriyor ki, E. S. I civarında flişin kalınlığı 210 m ve tabaka da Karbonifer formasyonu olmayıp diğer bir formasyondur. Bu formasyon kalker olabilir.

I. 24. E. S. IV nün analizi.

1 numaralı sondaj kuyusunun civarında araştırmalar yapmak üzere, bu kuyunun hemen güneyinde, aynı noktadan IV ve IV' ü derin elektrik sondajları yapılmıştır. E. S. IV te, 100 m den büyük elektrot açıklıklarında elektrotlar orman içine girdiği için yapılamamıştır.

E. S. IV' münhanisi Şekil 21 de görülmektedir. Bu sondaj düz bir saha üzerine yapıldığından, K faktörü 2 ye eşit olarak alınmıştır.

Elde edilen münhaninin ortalamasından görüleceği veçhile 3 tabaka mevcuttur. Bu üç tabaka E. S. I de yapıldığı gibi halledilmiştir (Şekil 22). Netice olarak, ilk tabakanın kalınlığı 17.4 m

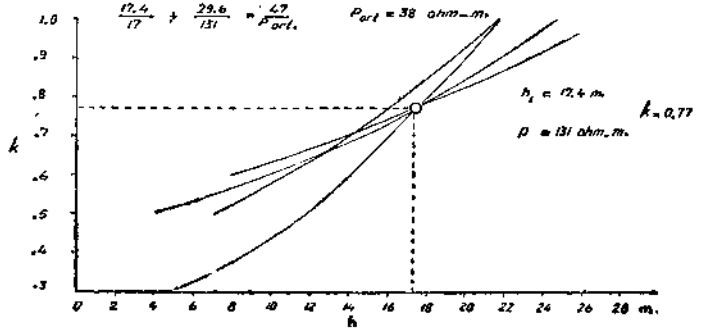


Şek. 21 - E. S. IV'

$$\rho_2 = 170 \text{ ohm-m}$$

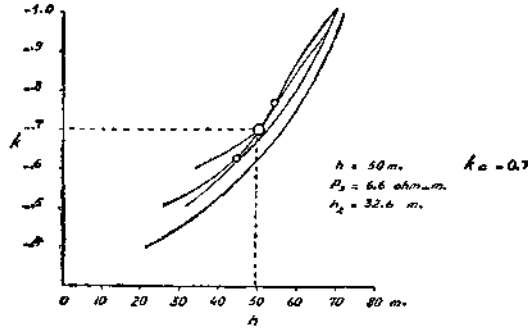
σ	25 m	37.5 m	50 m	62.5 m				
ρ/σ	0.607	0.425	0.362	0.315				
k	h/a	h	h/a	h	h/a	h	h/a	h
1								
2								
3	0.24	5						
4	0.371	9						
5	0.474	12	0.189	7	0.083	4	0.134	8
6	0.573	16	0.298	11	0.198	10	0.227	14
7	0.659	16	0.378	14	0.298	15	0.298	19
8	0.733	18	0.451	17	0.358	18	0.362	23
9	0.800	20	0.512	19	0.432	22	0.426	27
10	0.864	22	0.578	22	0.493	25		

$$h_1 + h_2 = \frac{2}{3} d \quad d = 70 \text{ m.} \quad h_1 + h_2 = 47 \text{ m.}$$



$$\rho_2 = 38 \text{ ohm-m}$$

σ	100 m	107 m	112.5 m	120 m	125 m			
ρ/σ	0.474	0.411	0.348	0.329	0.316			
k	h/a	h	h/a	h	h/a	h	h/a	h
0.1								
0.2								
0.3								
0.4	0.213	21						
0.5	0.292	29	0.294	31	0.288	23		
0.6	0.440	48	0.412	44	0.386	43	0.310	37
0.7	0.560	56	0.490	52	0.440	51	0.408	49
0.8	0.640	61	0.530	59	0.502	56	0.475	57
0.9	0.685	69	0.609	65	0.548	64	0.505	65
1.0	0.720	72	0.658	70	0.620	70	0.550	71



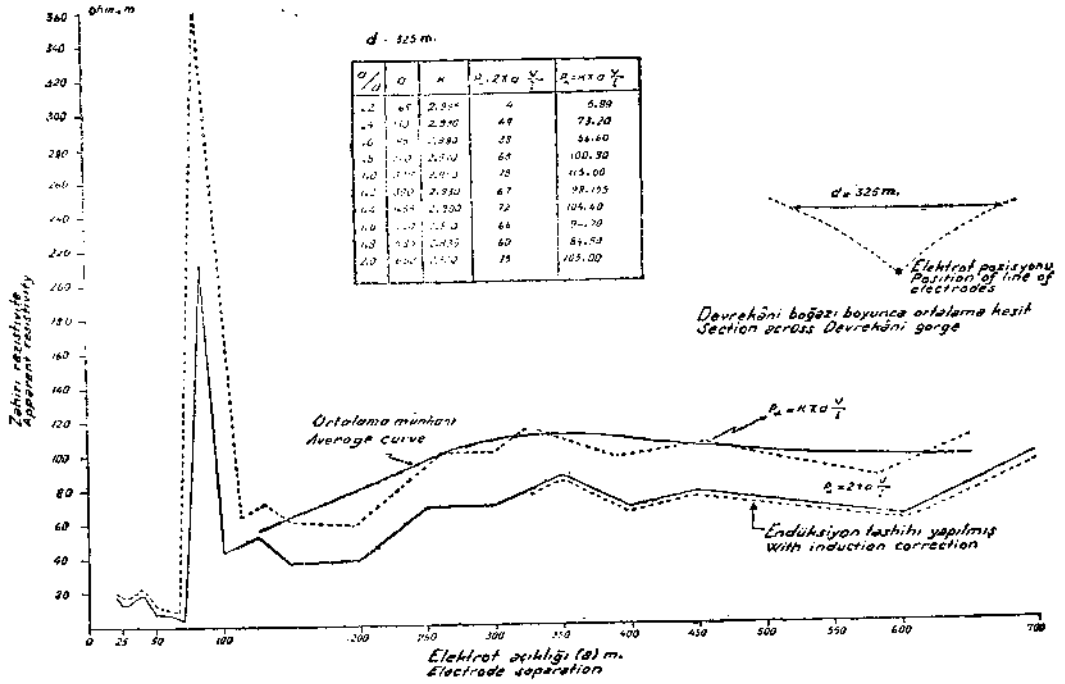
Şek. 22 - E. S. IV B nin halli

rezistivitesi 17 ohm-m; orta tabakanın rezistivitesi ise 131 ohm-m ve kalınlığı 32.6 m olarak bulunmuştur. Satıhtan 50 m, altta ise rezistivitesi gayet düşük (6.6 ohm-m) olan bir tabakaya girilmektedir. Satıhtaki tabakanın alüvyon, ortadakinin Karbonifer formasyonuna ait kumtaşı ve alttakinin de eski bir Karbonifer formasyonu olması ihtimali vardır. Zira, E. S. I de 210 m derinlikte rezistivitesi düşük bir Karbonifer formasyonunun başladığını görmüş bulunuyoruz. Bu itibarla, E. S. I de 210 metrede görülen formasyon E. S. IV de 50 m derinlikte başlamış oluyor. Yani, E. S. IV nün bulunduğu blok, E. S. I inkiye nazaran 160 m daha yüksekte olması ihtimali büyüktür.

I. 25 E. S. V in analizi.

E. S. V rezistivite sondajı, Devrekani boğazında yapılarak, bu civarda bulunan Kretase kalkerinin altında Karbonifer formasyonunun mevcut olup olmadığı etüd edilmiştir. Devrekani boğazının ortalama maktayı Şekil 23 te gösterilmiştir. Makta, takriben dik köşeli bir üçgen olduğundan Kısım I, Şekil 8 deki (1) münhanisinin K faktörü kıymetleri kullanılmıştır. Endüksiyon tashihi E. S. I deki gibi yapılmıştır.

Bu münhaniden küçük elektrot açıklıklarında (70 metreye kadar) zahiri rezistivitenin düşük kıymetlerde olduğu görülüyor. Bunun sebebi, dereden geçen sudur. $a = 95$ metrede zahiri rezistivite ani olarak yükselmektedir. Bu, akım veya potansiyel elektrotlarının civarlarında bir fay veya dislokasyon zonunun mevcudiyeti ihtimalini meydana çıkarır. $a = 125$ metreden sonra muntazamlaşan münhani



Şek. 23 - E. S. V in halli

logaritmik grafik usulüyle halledilmiş ve ilk tabakanın kalınlığı 80 m, rezistivitesi 60 ohm-m, olduğu tesbit edilmiştir. Bunun altında rezistivitesi takriben 130 ohm-m olan diğer bir tabaka mevcuttur.

Karbonifer içinde yapılan E. S. I den görülmüştür ki, Üst Karboniferin rezistivitesi ortalama 41 ohm-m ve Alt Karboniferinki 10 ohm-metredir. E. S. V de bulunan kıymetler ise bunlara hiç uymamakta ve daha büyüktür. Buradaki 80 m kalınlıktaki tabakanın kalker olması ve bunun altındaki yüksek rezistiviteli tabakanın da, E. S. III de 210 metrede raslanan yüksek rezistiviteli tabakanın aynı olması ihtimali büyüktür.

Burada şunu da ilâve etmek icabeder ki, E. S. V te

$$\rho_a = K \pi a \frac{V}{I} \text{ formülü tatbik edilmeyip de } \rho_a = 2 \pi a \frac{V}{I}$$

formülü tatbik edilse idi, ilk tabakanın rezistivitesi 40 ohm-m civarında olmuş olacak ve bu suretle bu tabakanın Karbonifer formasyonu olması ihtimali düşünülerek yanlış bir neticeye varılacaktı.

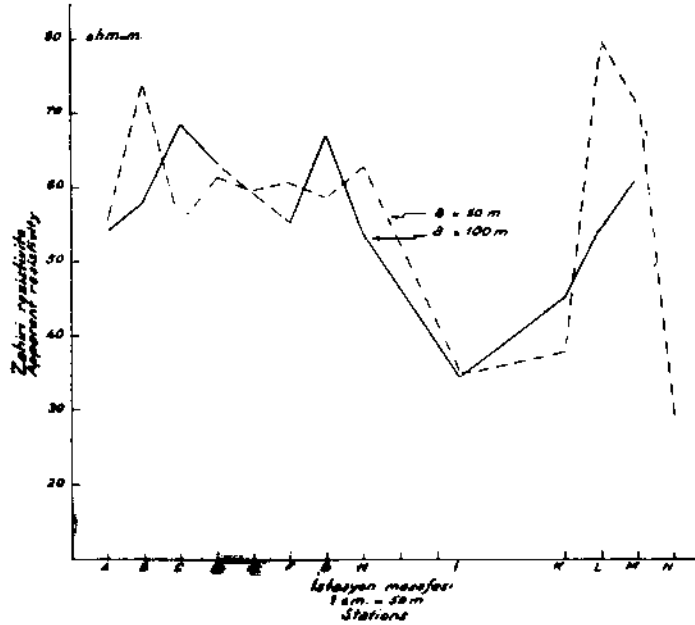
I. 3. Azdavay bölgesinde rezistivite melodiyile fay aranması.

Derin rezistivite sondajlarından görüldüğü gibi havzadaki Karbonifer, Permien ve Kretase formasyonları arasında bâriz rezistivite farkları mevcuttur. Bunların rezistiviteleri sırasıyla, 40 ohm-m, 60 ohm-m ve 10 ohm-m civarlarındadır. Bu kıymetlerden istifade edilerek bölgede, formasyon kontaktlarının ve fayların aranması yoluna gidilmiştir.

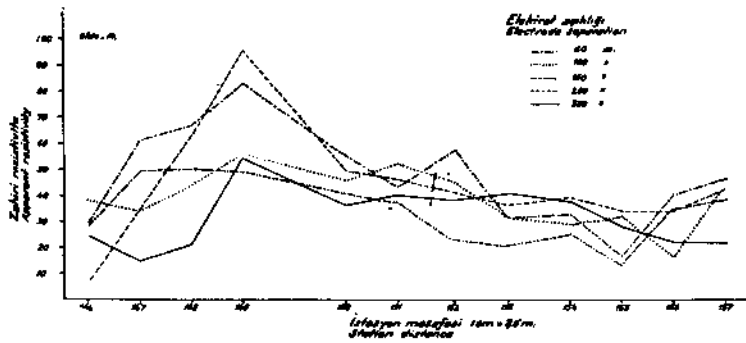
Bunun için, elektrot açıklığı aynı tutularak muhtelif hatlar boyunca ölçüler alınmıştır. Elektrot hattı, her profile farzedilen formasyon kontaktına veya fay düzlemine paralel kılınmıştır. Bu suretle elektrotlar formasyon değiştirirlerken veya fay düzlemine girdikleri vakit ani rezistivite değişimleri beklenir.

Hk olarak A, B, C, D, N profili yapılmış ve Şekil 24 teki profiller elde edilmiştir. Aynı profil boyunca 50 ve 100 m elektrot açıklıkları kullanılmıştır. Bundan görüleceği gibi Permien H da sona ermekte

ve Karbonifer başlamaktadır ve K da elektrotlar kömürlü Karbonifere girmektedir (Şekil 13). Bundan sonra, 146-157 profili muhtelif elektrot açıklıklarıyla yapılmış ve Şekil 25 teki münhaniler elde edilmiştir. Bundan görüleceği veçhile Karbonifer, 146 da başlamakta ve 149 numaralı istasyonda rezistivite değerleri yükseliş göstermektedir. Bu yükselişin bir faya tekabül ettiği düşünülmüş ve nitekim jeologlar sonradan burada bir fay tesbit etmiştir. Profile rezistivite 150 de tekrar 40 ohm-metreye düşmekte, yani Karbonifer bu noktadan itibaren başlamaktadır.

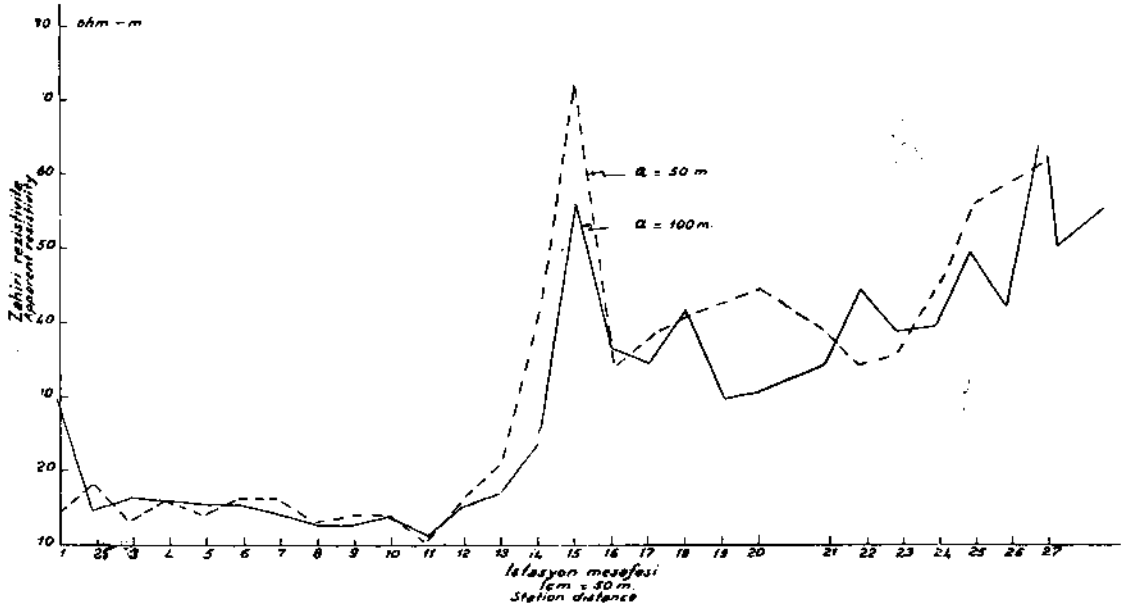


Şek. 24 - Azdavay rezistivite ölçüleri



Şek. 25 - Azdavay rezistivite ölçüleri

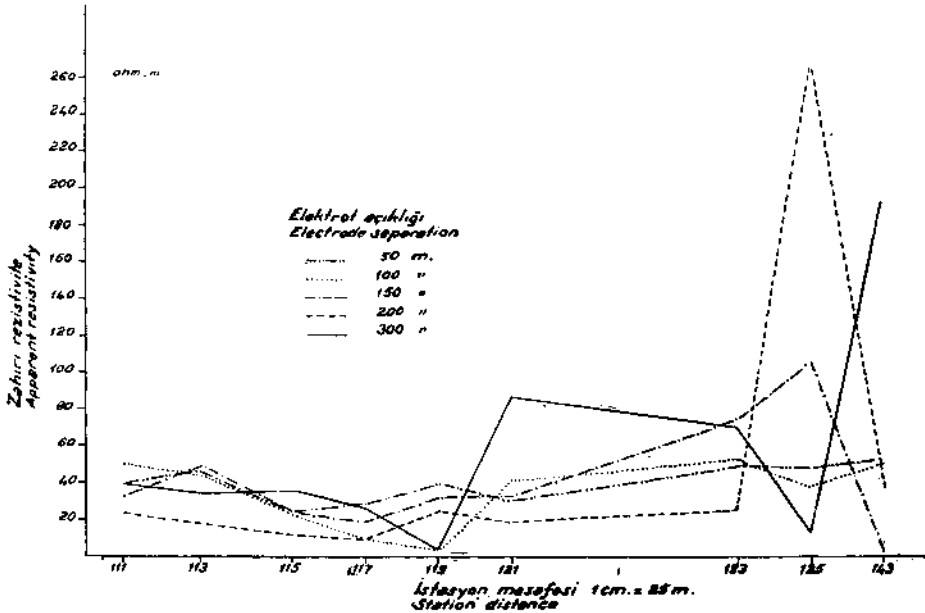
Daha güneyde 1-27 profili Şekil 26 da görülmektedir. Burada Kretase flişinin 13 numaralı istasyona kadar devam ettiği 13-16 arasında bâriz rezistivite yükselmesinin bir fay zonuna tekabül ettiği ve 17 numaradan sonra da Karboniferin başladığı bâriz bir şekilde görülmektedir. Şekil 13 teki jeolojik haritanın bu kısmının bu şekilde tashih edilmesi icabeder. 3 numaralı sondaj kuyusunun etrafın-



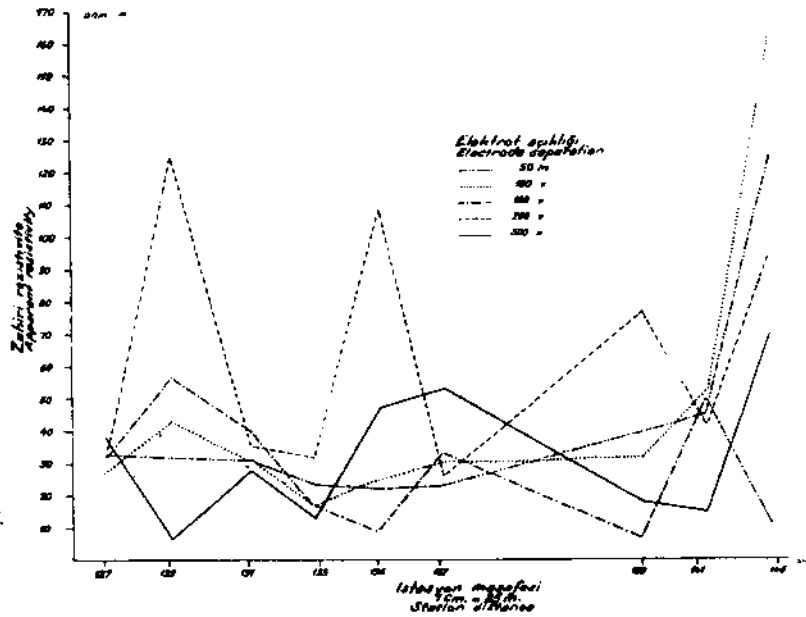
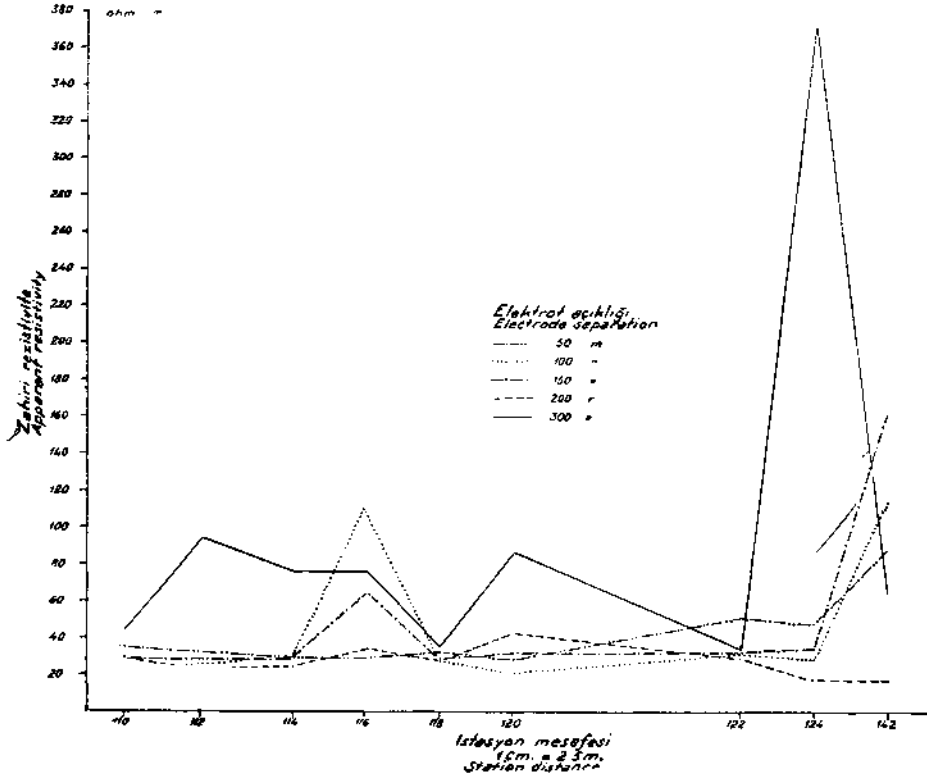
Şek. 26 - Azdavay rezistivite ölçüleri

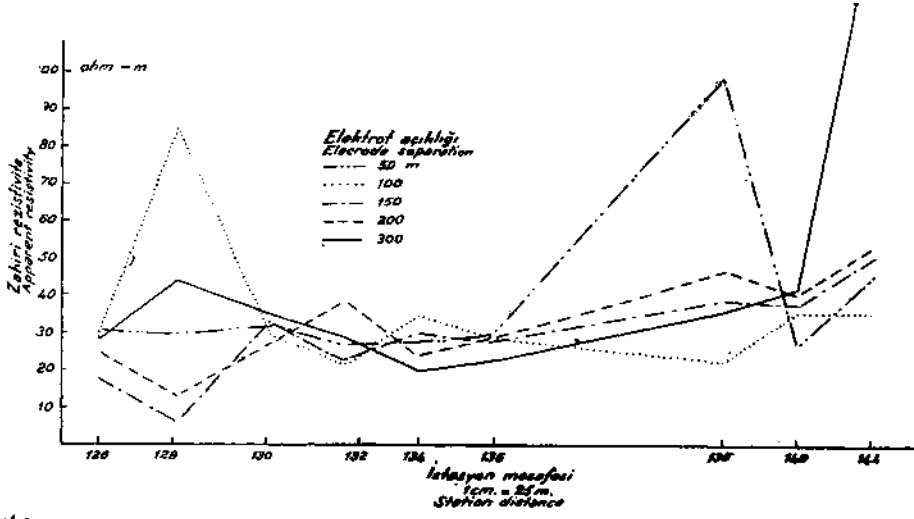
da 4 adet profil daha alınmıştır. Bunlar Şekil 27, 28, 29 ve 30 da gösterilmiştir, ve aynı usulle faylar Şekil 13 teki jeolojik harita üzerine çizilmiştir. Jeolojik haritadaki Fay 1 ve Fay 2 nin zikzaklı oldukları, hattı müstakim istikametlerinde gitmedikleri anlaşılmıştır.

Bundan sonra daha güneyde Şekil 31, 32, 33 ve 34 teki profiller yapılmış ve alüvyonla kaplı olan bu sahada Kretase flişi ile Karbonifer kontaktı araştırılmıştır. Burada kontakt zonu gayet bâriz rezistivite yükselmeleri vermiştir. Bu yüksel-

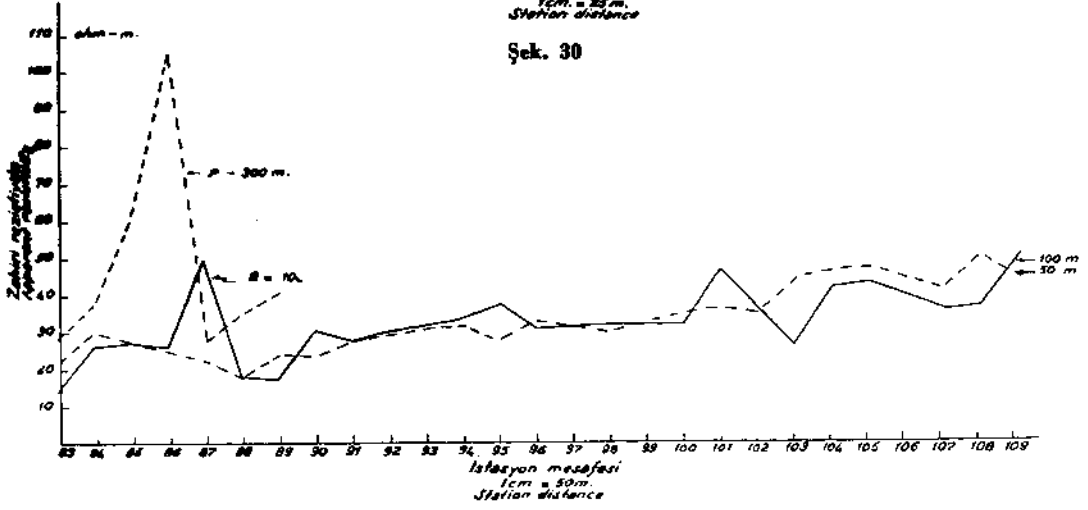


Şek. 27 - Azdavay rezistivite ölçüleri

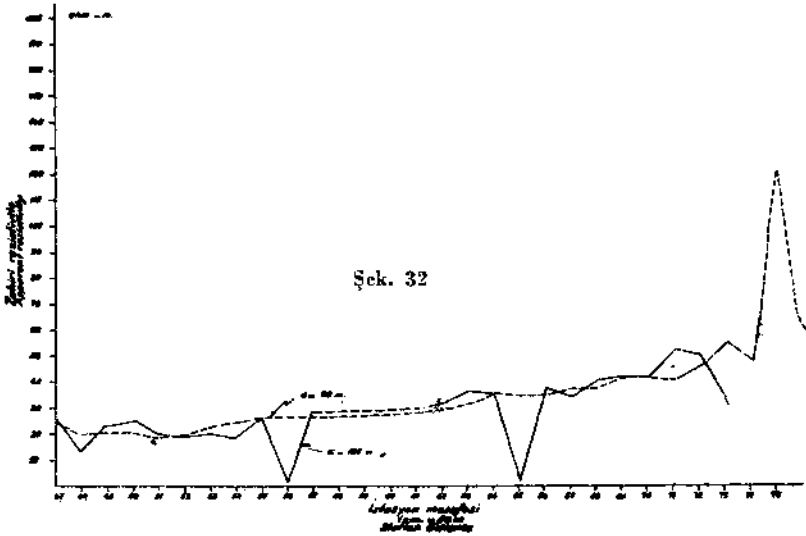




Şek. 30



Şek. 31

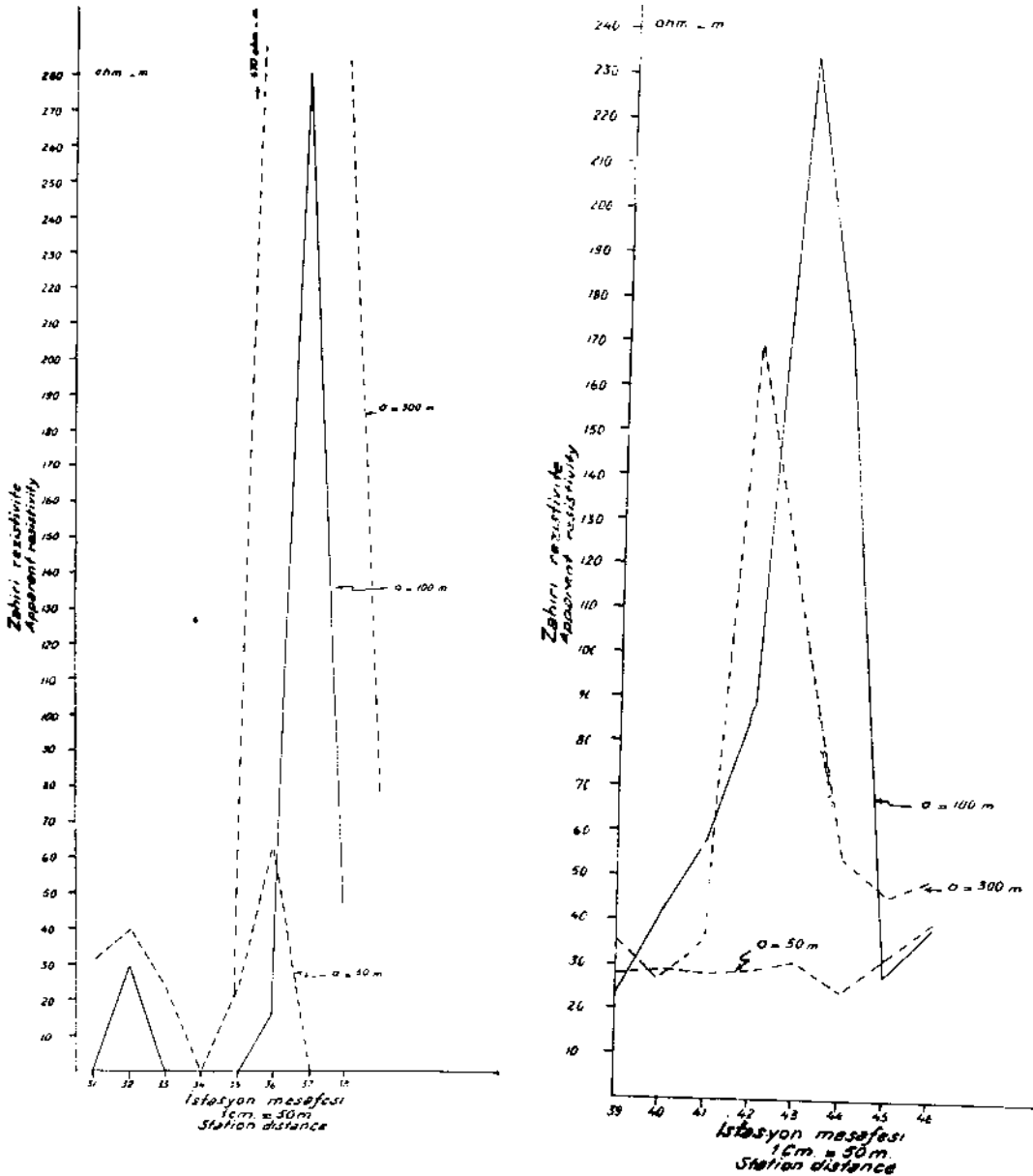


Şek. 32

Şek. 30, 31, 32 - Azdavay resistivite ölçüleri

meler, zonun kırık ve parçalı olmasından ileri gelebilir. Kontak hattı Şekil 13 teki jeolojik haritada çizilmiştir. Bundan görüleceği gibi, kontakt hattı gayet zikzaklıdır. Bu da bu kontaktın bir faydan ziyade bir şaryaj zonu olması ihtimalini belirtmiştir.

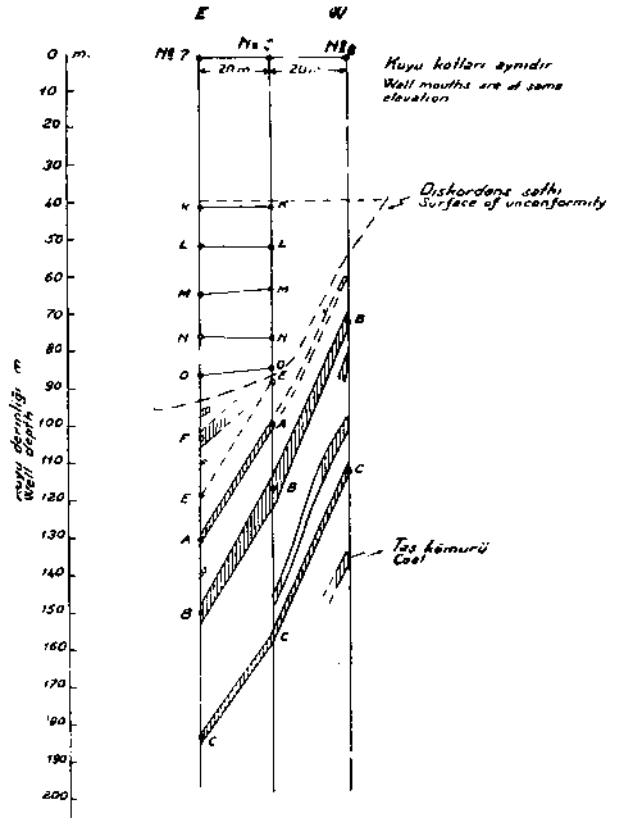
Şekil 31, 32, 33, ve 34 ten görülen mühim bir noktada, alüvyonla kaplı olan bu blokta başka fay emaresinin görülmemesi ve kuzeyde E.S.I civarında görülen fayların bu bloka temadi etmemeleridir. Esasen blokun kuzey sınırını teşkil eden yol boyunca yapılan sismik etüde bu yol boyunca bir fay zonu olduğu meydana çıkmıştır. Kuzeydeki faylar ise ancak bu faya kadar gelip tıkanmaktadırlar. Bu iti-



Şek. 33 ve 34 - Azdavay rezistivite ölçüleri

barla bu okun kuzey ve güneydeki bloklara nazaran daha başka vasıflarda olması ve belki de eski Karboniferin burada mevcut olması düşünülerek Şekil 14 te görülen cami civarına 6, 7 ve 8 numaralı sondaj kuyuları konmuştur. Bunların geçtikleri formasyonlar well loğları ile beraber Şekil 35, 36 ve 37 de gösterilmişlerdir. Hakikatte bu sondajlar, havzanın diğer yerlerinde yapılan sondajlardan çok daha fazla kalınlıkta kömür tabakaları kesmişlerdir. Her birinde en aşağı 10 m kalınlıkta kömür tabakaları mevcuttur.

Bu üç kuyunun rezistivite ve self-potansiyel bakımlarından korelasyonu Şekil 38 de gösterilmiştir. Bundan görüleceği gibi, 90 metreye kadar yatımlar oldukça az ve daha derinlerde hem yatımlar artmakta ve hem de formasyon değişmektedir. Burası bir diskordans yüzü olabilir.



Şek. 38 - 6, 7 ve 8 numaralı loglardan çıkarılan netice

I. 4. Rezistivite etüdü neticelerinin sismik etüdü neticeleriyle korelasyonu.

Azdavay bölgesinde tektonik durumu aydınlatmak üzere Şekil 39 da gösterilen sismik refleksiyon profilleri yapılmıştır.

I. 41. Sismik etüdüün yapılışında kullanılan metod ve teknik.

Etüd sahasında refleksiyonların hiçbirisi karakteristik «envelope» ve «elevation» lu «pulse» lar halinde değildirler. Refleksiyon ve yatım kaliteleri (reflection and dip certainty) umumiyetle orta ve fena, bazan da iyidir. Bu sebeplerden; refleksiyon seçimini kolaylaştırmak ve devamlı yeraltı kontrolünü sağlayabilmek gayesiyle «overlapping» çift taraflı (split) profil usulü kullanılmıştır. En iyi yayım uzunluğu 210-0-210 m olarak tesbit edilmiş, yayım kuyularla aynı hat üzerine konmuştur. Herbir tarafta müsavi aralıklarla 11 jeofon yerleştirilmiştir.

Ölçüler için kamyonla bindirilmiş «Engineering Laboratories Inc.» yapısı 24 trace'li rekorder kullanılmıştır. Kullanılan «filter setting»: selector 2, frekans 2 dir.

Hesaplarda datum satıhtan 20 m altta alınmış, ve velositenin derinlikle artma faktörü $K = 0.6$ olarak alınmıştır.

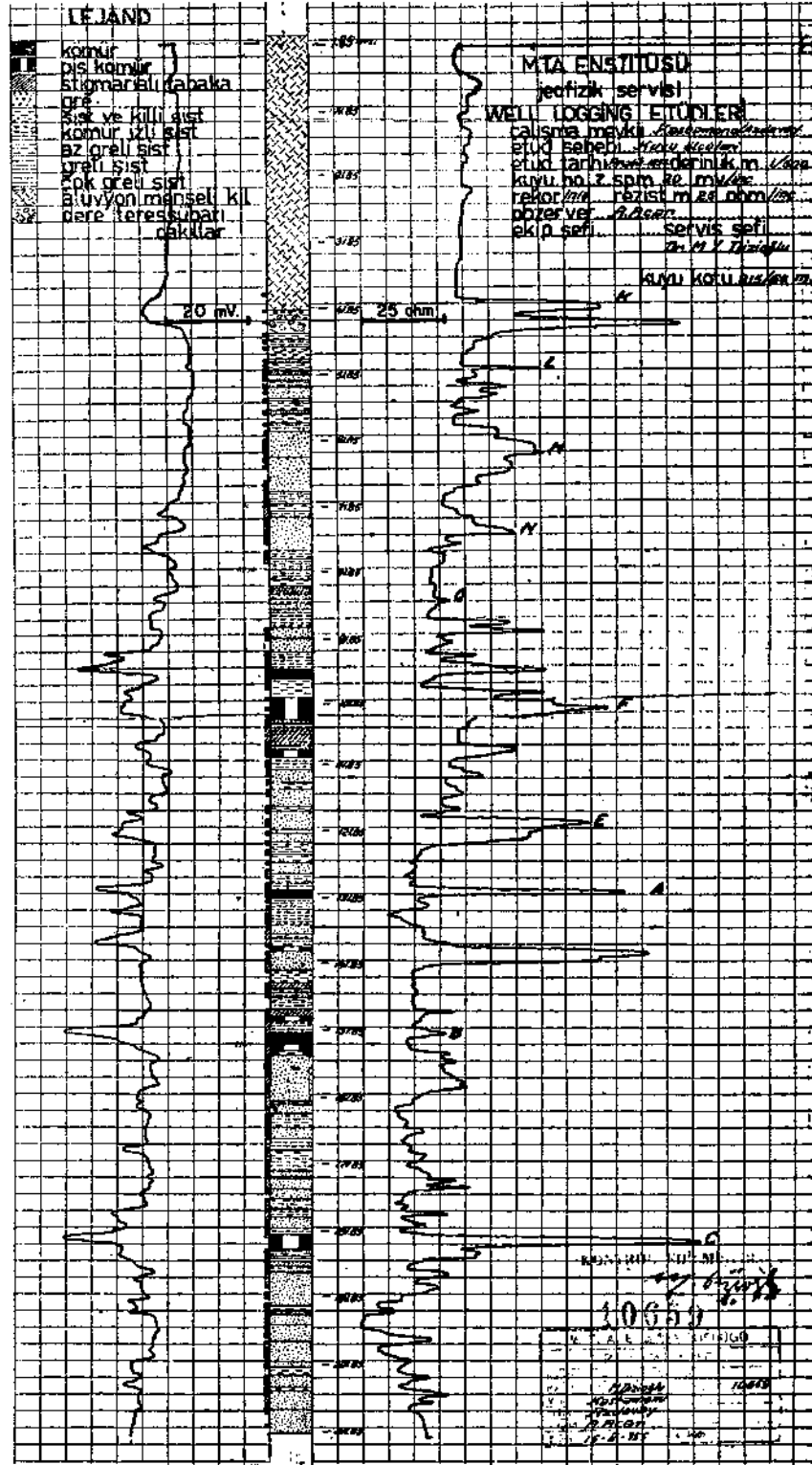
Bu etüdde refleksiyonlar kalite bakımından üçe ayrılmıştır :

- 1) «Essential copy», «elevation» ve «envelope»'u olanlara iyi,
- 2) Yalnız ilk iki kaliteleri olanlara orta,

Kuyu Ölçüleri (Azdavay - Kastamonu)

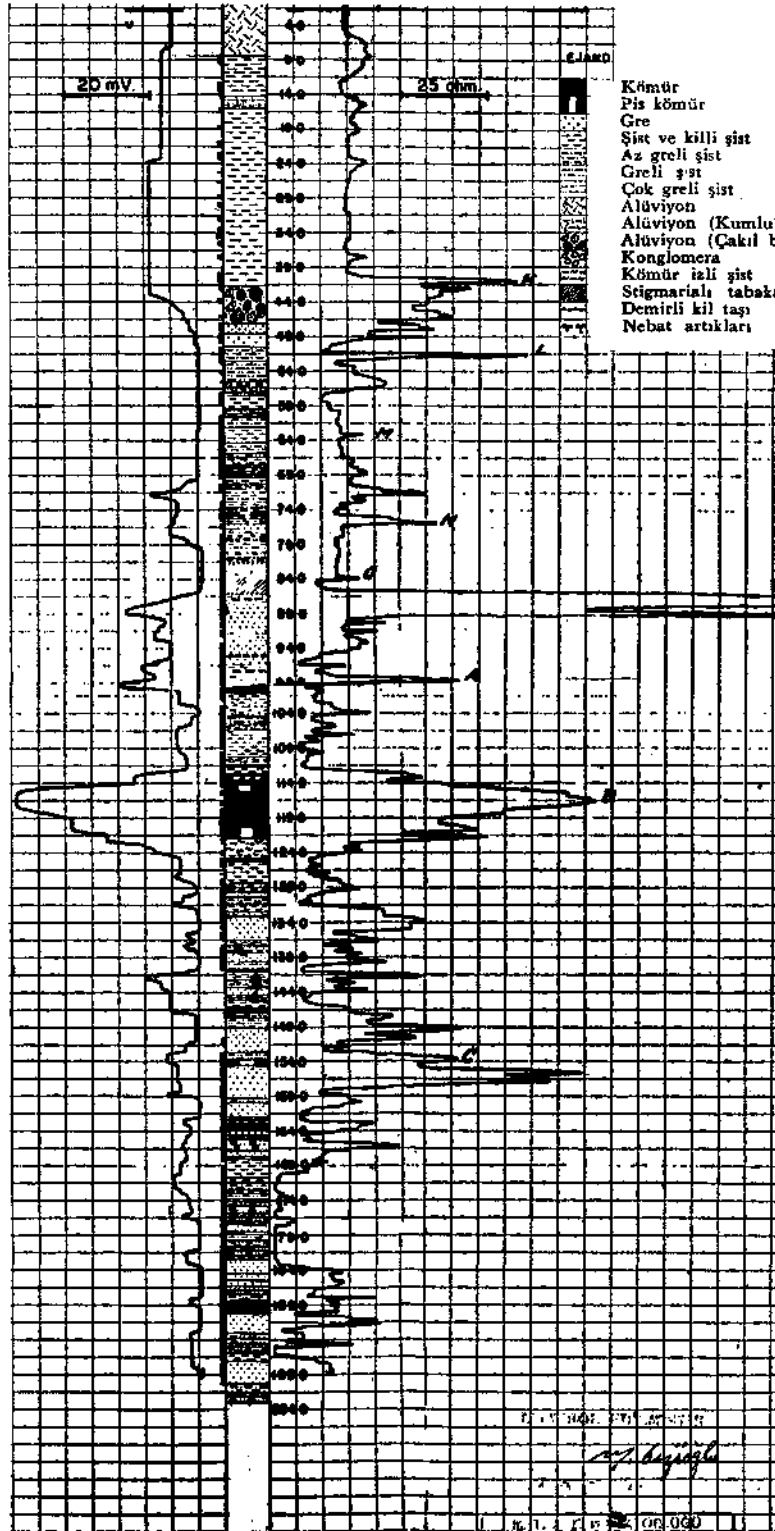
Kot : 815.66 m

SP. R.



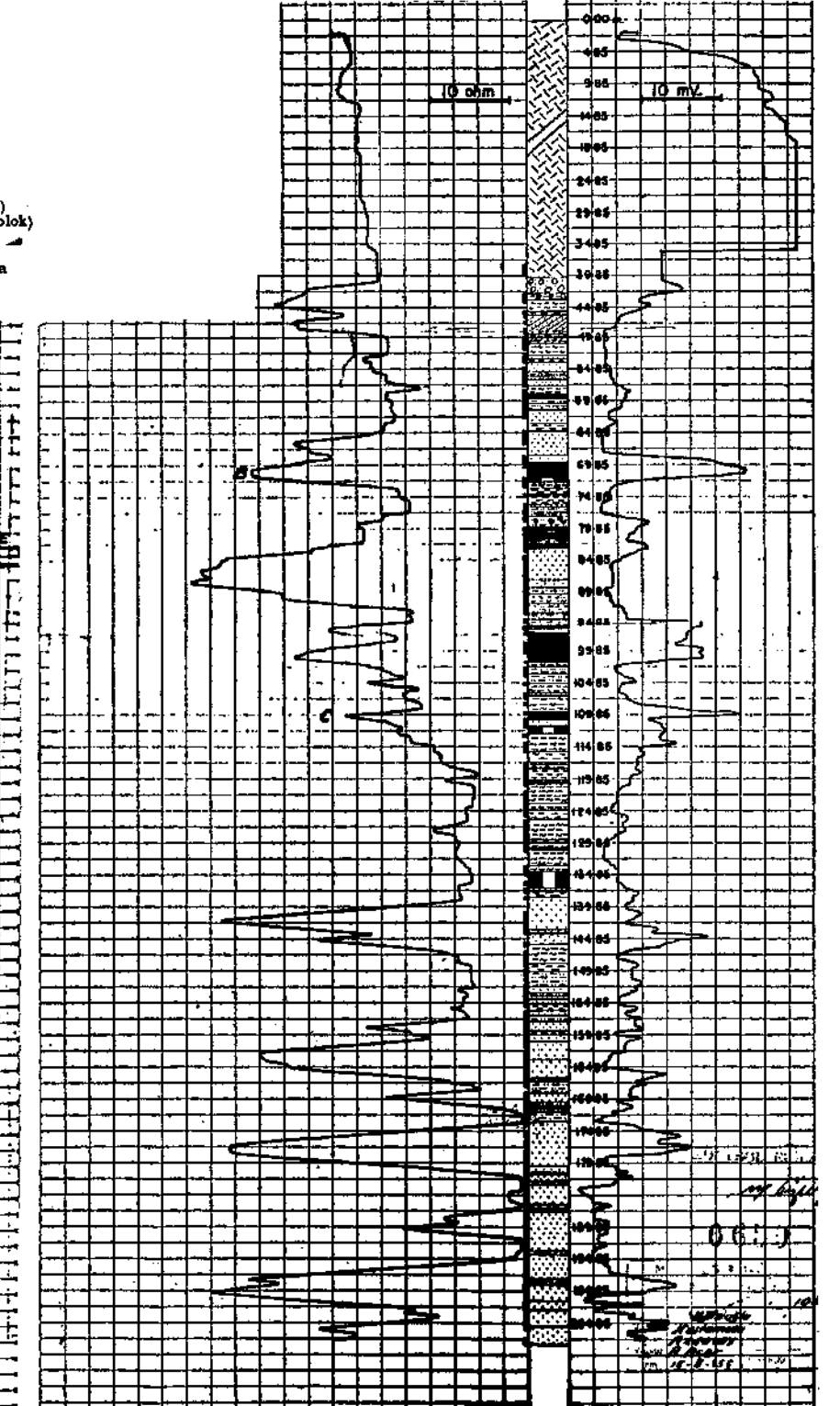
Kot : 815.73 m

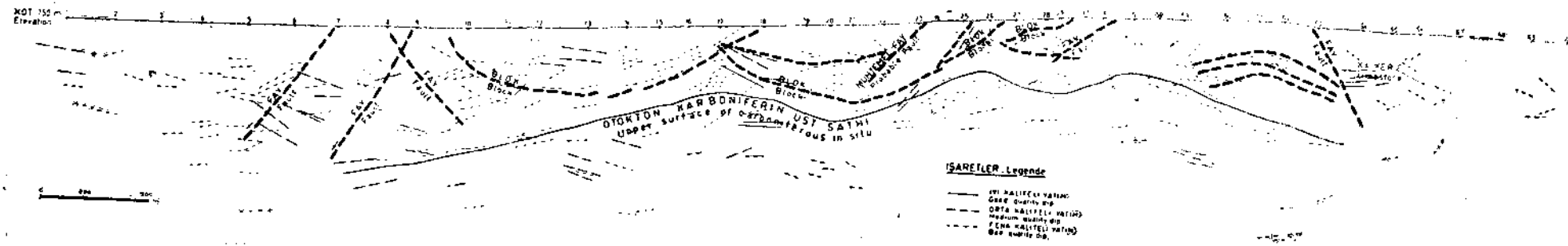
SP. R.



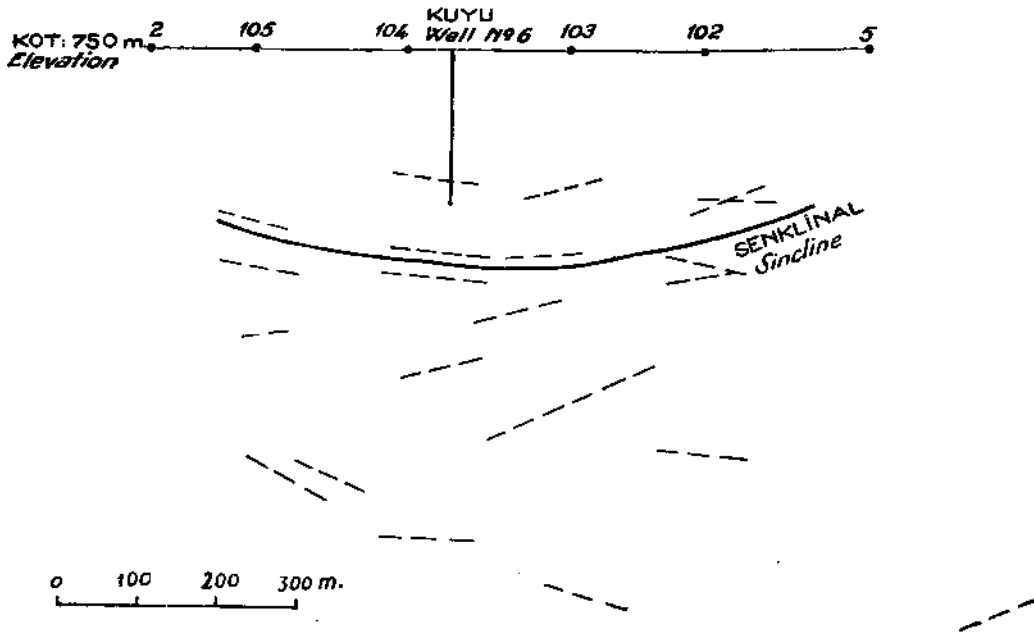
Kot : 815.75 m

R. SP.





Şek. 39 - Azdavay - Cide şosesi boyunca sismik profil (Ekip Şefi : M. Dizioğlu)



Şek. 40 - Topalak Çayı boyunca refleksiyon şemik profili (Ekip Şefi : M. Dizioğlu)

3) Yalnız ilk kalitesi olanlara da fena dendi.

Bundan gayrı,

- 1) «Unique alignment» ve «duplicating alignment» li refleksiyonlardan çıkan yatımlara iyi,
- 2) «Unique alignment» ve «variable duplication» h refleksiyonlardan çıkan yatımlara orta,
- 3) Yalnız ilk kalitesi olup ta «duplication» olmyanlardan çıkan yatımlara da fena dendi.

Bu etüdde umumiyetle refleksiyonlardan aynı kalitede yatımlar çıkmıştır.

I. 42. Alınan neticeler, tefsirleri ve rezistivite etüdleriyle korelâsyonları.

Alınan neticeler 2 profil halinde Şekil 39 ve 40 ta gösterilmiştir. Kuyu yerleri Şekil 13 te görülmektedir. Azdavay'dan Cide yolu boyunca yapılan kesitten (1-70) şu mühim neticeler çıkarılabilir:

1) Kuyu No. 8 ile 64 arasında 400-800 m derinlerden itibaren yatımlar oldukça muntazamdır. Bu otokton Karboniferin derinlerde mevcut olduğunu göstermektedir. Otokton Karbonifer sathının yukarılarında yatımlar gayet karışıktır.

2) Otokton Karbonifer sathının üstünde muhtelif bloklar buradaki formasyona girmişlerdir. Blok araları faylıdır.

3) Kuyu No. 7 ile 10 arasında faylı bir zon mevcuttur. Ve muhtemelen bu kuyuların doğu ve güneydoğusundaki blok aşağı çökmüştür. Bu fay zonu E. S. I in civarına raslamaktadır. Esasen rezistivite etüdleriyle aynı civarda muhtelif faylar tesbit edilmiştir (Şekil 13).

6, 7 ve 8 numaralı sondajların bulunduğu alüvyonla kaplı blokta 105, 104, 103 ve 102 numaralı yerlerde sismik atışlar yapılmıştır. Şekil 40 ta bu atışların neticesi görülmektedir. Görüldüğü gibi bu blok bir senklinalden ibarettir. 6, 7 ve 8 numaralı kuyular bu profile 104 ve 103 numaralı sismik istasyonlar arasına tekabül eder. Bulunan yatımlar, Şekil 38 de well loggingle tâyin edilen yatımlar teyit eder mahiyettedir.

KISIM I VE KISIM II NİN HULÂSASI VE ÇIKARILAN NETİCELER

Evvelâ vadilerde kullanılacak bir rezistivite metodunun inkişafına lüzum olduğu belirtilmiş ve metodun inkişafı için muhtelif hal yolları aranmıştır. Bu haltarları içerisinde model tecrübelerle yapılanı tercih edilmiş ve bu tercihin sebepleri verilmiştir.

Model tecrübeler vasıtasıyla muhtelif tip iki dimansiyonlu vadilerde muhtelif elektrot pozisyonları için *K* faktörü tâyin edilmiş ve bunun varyasyonu incelenmiştir. Bundan sonra metodun istikameti tefrik kudreti analiz edilmiştir.

İnkişaf ettirilen bu metod Azdavay bölgesinde muhtelif formasyonların derinlik ve cinslerinin tâyini mevzuunda kullanılmış ve neticeler bilinen jeoloji ve bilâhara yapılan well logging ve sismik etüdlere neticeleriyle mukayese edilmiştir.

Elde edilen umumi neticeler şunlardır :

1) K faktörünü vadiler için seçerken vadinin şeklini ve elektrotların pozisyonunu nazan itibara almak lâzımdır.

2) İki dimansiyonlu vadilerde K faktörü a/d nin (a = elektrot açıklığı, d = vadinin genişliği) sıfır ile 5 kıymetleri arasında gayet seri bir şekilde değiştiğinden, bu entervalde faktörün kıymetini seçerken veya enterpretasyon yaparken dikkat etmek gerekir.

3) $a/d = 8$ den daha büyük kıymetler için K faktörü gayet tedricî olarak değişmekte ve normale yakın olduğundan, a/d nin bu kıymetlerinde zahiri rezistivitede ve bunun tefsirinde yapılacak hata azdır.

4) Aranan cisim vadiye yakın ise, cisim istikametini bulmada muhtelif elektrot pozisyonlarında küçük elektrot açıklıkları büyüklere nazaran daha tesirlidir.

5) Arazide yapılan etüdlerde, tabakanın cinsi veya tabakaların rezistivite bakımından korelasyonu istenildiği takdirde inkişaf ettirilen metodun tatbiki lâzımdır.

TEŞEKKÜRNAME. — Bu tezde kullanılan Azdavay Karbonifer Bölgesi Etüdü Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü için yapılmıştır. Bu etüdden tezimde istifade edilmesine müsaade eden M.T.A. Enstitüsü Umum Müdürü (1955) Ord. Prof. Hamit N. Pamir'e teşekkürlerimi burada bildiririm. Aynı zamanda M. T. A. Jeofizik Servisinde çalışan İstanbul ve Ankara Fizik Fakülteleri mezunları Muhittin Özyazıcı ve Sırrı Kavlakoğulları'na, tez metninin imlâ hatalarını düzelttiklerinden ve şekilleri sıraya dizdiklerinden kendilerine teşekkür ederim.

Neşre verildiği tarih 7 Temmuz, 1959

R E F E R A N S L A R

- 1 — WENNER, F. (1916) : A method of measuring earth resistivity. *Bull. U. S. Bureau of Standards*, Vol. 12.
- 2 — HUMMEL, J. N. (1929) : Der scheinbare spezifische Widerstand. *Zeitschr. für Geophysik*, vol. 5, S. 89.
- 3 — ZIJLSTRA, G. (1952) : Azdavay Karbonifer teşekkülleri hakkında rapor. *M. T. A. Arşiv*, Rap. No. 2033.

B İ B L İ Y O G R A F Y A

- 1 — SCHLUMBERGER, I. C. and M. & LEONARDON, E. G. (1934) : Some Observations concerning electrical measurements in anisotropic media and their interpretations. *A.I.M.E. Geophysical Prospecting*, pp. 159-181.
- 2 — HUMMEL, T. H. (1929) : investigations of potential distribution around various bodies occurring in a homogeneous current field. *Gerlands Beitrâge zur Geophysik*, vol. 21, pp. 204-214.

- 3 — ALDREDGE, R. F. (1937) : *Colo. Sch. Mines Quart.*, 32 (1), Jan. 1937, pp. 171-186.
- 4 — HEILAND, C. A. (1946) : Geophysical exploration. 1st. ed. *Prentice Hall, Inc.*, New York.
- 5 — JAKOVSKY, J. J. (1950) : Exploration Geophysics. 2nd ed., Los Angeles.
- 6 — HUMMEL, J. N. (1932) : A theoretical study of apparent resistivity in surface potential methods. *A. I. M. E. Geophysical Prospecting*, p. 392.
- 7 — SMARTZ, T. H. (1931) : Resistivity measurements upon artificial beds. *U. S. Bureau of Mines*, Information Circular 6445, Feb. 1931.
- 8 — MAILLET, R. & BOLL, H. G. (1932) : Sur un theoreme, relatif aux milieux dectriquement anisotropes et ses applications â la prospection electrique en courant continu. *Er-genzungshefte für angewandte Geophysik*, vol. 3, No. 1.