

دانشگاه صنعتی شاهرود



دانشکده معدن و ژئوفیزیک

سمینار کارشناسی ارشد

عنوان:

تهیه مدل‌های ریاضی و نرم افزارهای مربوطه

برای

اندازه گیریهای ژئوالکتریکی گسل ها و دایک های قائم

استاد راهنما:

دکتر ایرج پیروز

ارائه دهنده:

حسین فردوسی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پیشگفتار

سمینار من در مورد بررسی دایکها و گسلهای قائم و تهیه نرم افزار برای مدل سازی پاسخ برخی آرایشها، هنگام پیمایش آنهاست.

من این موضوع را از آن جهت انتخاب کردم که نمودارهای مربوط به پروفیل زنی (CST) روی گسلها و دایکها در اکثر منابع وجود ندارد و یا به ذکر تنها چند نمونه از نمودارها بسنده شده است، و مهمترین منابعی که این نمودارها را در آنها می توان یافت کتاب TELFORD, APPLIED GEOPHYSICS و نسخه قدیمی کتاب KELEER می باشد. بعلاوه نمودارهای کتاب TELFORD برای اینکه محاسبات، تنها برای چند نقطه (۶ یا ۷ نقطه) انجام شده است از دقت بالایی برخوردار نیستند در ضمن اشتباهات و عدم انطباق نمودارهای دو کتاب نیز موضوع دیگری بود که مرا بر آن داشت تا در مورد این موضوع کار کنم.

در اینجا لازم می دانم از زحمات بیدریغ استاد راهنمایم جناب آقای دکتر ایرج پیروز که مرا در انجام این امر همراهی نمودند، نهایت تشکر را داشته باشم. و همچنین از آقایان ارشیا گرامی زادگان، مهدی کبیری، علی کاظمی و علی فردوسی که در تهیه این سمینار مرا یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

فهرست

۱	مقدمه
۲	پتانسیل در محیط همگن
۲	اثر زمین ناهمگن
۴	واپسش پتانسیل در سطح مشترک تخت
۷	انواع آرایش الکترودی
۸	آرایش ونر
۸	آرایش شلومبرژر
	آرایش لی
۱۰	آرایش قطبی-قطبی
۱۰	آرایش قطبی-دوقطبی
۱۰	آرایش دوقطبی-دوقطبی
۱۲	آرایش مربعی
۱۳	بررسی ساختارهای ژئوفیزیکی شامل صفحات قائم
۱۳	بررسی گسل قائم
۱۳	آرایش ونر
۱۵	آرایش شلومبرژر
۱۷	آرایش دایپل-دایپل
۱۷	آرایش پل-دایپل
۱۸	آرایش پل-پل
۱۹	آرایش هامیشی

۲۰.....	بررسی دایک قائم.....
۲۳.....	آرایش و نر.....
۲۴.....	آرایش دایپل-دایپل.....
۲۴.....	آرایش پل-دایپل.....
۲۸.....	آرایش پل-پل.....
۲۸.....	نتیجه گیری.....
۳۰.....	پیوست.....
۳۸.....	فهرست منابع و ماخذ.....

مقدمه

دایکها و گسلها جزء ساختارهای مهم در زمین شناسی می باشند که از جهات گوناگون مورد توجه می باشند. دانستن محل گسلها و دایکها از چند نظر دارای اهمیت است

۱- در هنگام احداث تاسیسات عظیم مثل سدها، نیروگاهها و غیره، منطقه باید از نظر وجود گسل بررسی شود.

۲- در اکتشاف آبهای زیرزمینی، با توجه به اینکه گسلها بعنوان زهکش عمل کرده و مسیر آبهای زیرزمینی را تغییر می دهند، دانستن محل گسل می تواند یکی از اطلاعات کلیدی در تصمیم گیری باشد.

۳- با توجه به اینکه دایکها جزء مناطق با کانسار سازی بالا هستند در اکتشاف کانسارها و مواد معدنی، یافتن محل دایک ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۴- گذشته از موارد فوق، به علت اثری که این ناهمگنی ها روی داده های ژئوفیزیکی مخصوصا برداشتهای ژئوالکتریک که مورد توجه ماست دارند عدم توجه به آنها می تواند ما را به سمت تفسیر اشتباه سوق دهد، به عنوان مثال اگر در یک منطقه با گسل عمیق و عمیق شیبه نسبت به مشابه زمینی شامل دو لایه افقی بدست خواهد آمد. که در این مورد در صورت عدم توجه به وجود گسل تفسیری کاملا اشتباه خواهیم داشت.

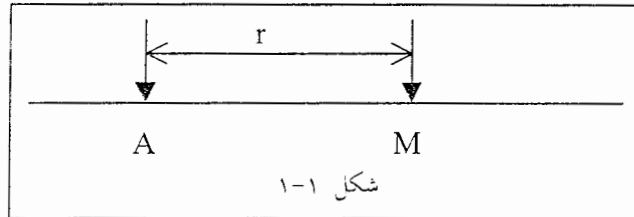
یکی از روشهای شناخت محل دایک ها و گسل ها استفاده از روشهای ژئوفیزیکی است. که آنها را با روشهای مختلفی مثل روشهای لرزه ای و روشهای ژئوالکتریک می توان تشخیص داد. که در اینجا هدف ما تشخیص آنها با روشهای ژئوالکتریک است. بنابراین به بررسی عکسل العمل دایک ها و گسل ها در هنگام برداشت های پروفیل زنی خواهیم پرداخت و مدل هایی تهیه خواهیم کرد که پاسخ دایک ها و گسل ها را هنگام پیمایش آنها بوسیله آرایش های مختلف الکترودی به ما ارائه دهند.

برای این کار ابتدا باید شکل خطوط پتانسیل و معادلات بیان کننده پتانسیل را برای این محیط ها بدانیم بنابراین در ابتدا به بررسی معادلات پتانسیل برای این محیط ها خواهیم پرداخت.

پتانسیل در محیط همگن:

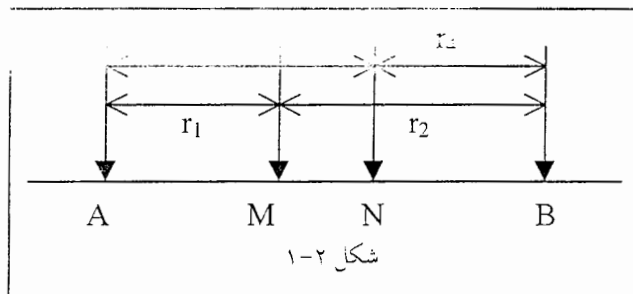
مقدار پتانسیل، در فاصله r از یک تک الکتروود جریان که در روی سطح یک زمین همگن و ایزوتروپ واقع است از رابطه^{۱-۱} بدست می آید.

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \quad 1-1$$



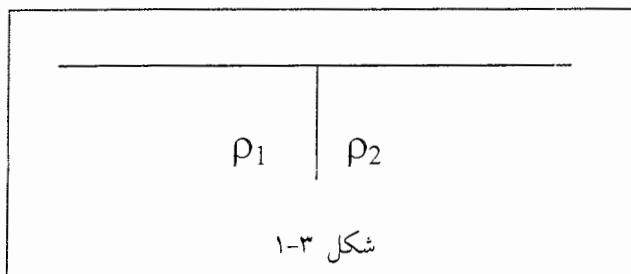
اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود M و N برای یک آرایش چهار الکتروودی در مورد زمین همگن و ایزوتروپ از رابطه^{۱-۲} بدست می آید.

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad 1-2$$



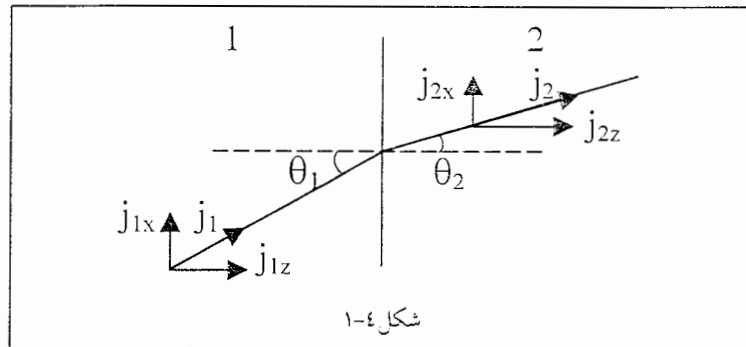
اثر زمین ناهمگن:

دو محیط همگن با مقاومت ویژه ρ_1 و ρ_2 که توسط یک مرز تخت شکل (۱-۳) از یکدیگر جدا شده اند را در نظر می گیریم.



فرض کنید جریانی با چگالی J_1 در محیط 1 در جهتی عبور می کند که با خط عمود بر مرز زاویه θ_1 می سازد.

برای تعیین جهت این جریان در محیط 2 رفتار جریان در مرز را بررسی می کنیم.



دو شرط مرزی وجود دارد که باید در هر همبری بین دو ناحیه با رسانندگی متفاوت صدق کند. الف-پتانسیل باید در عبور از مرز پیوسته باشد یعنی باید $\frac{\partial V}{\partial x}$ وقتی X موازی مرز است پیوسته باشد.

$$\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)_1 = \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)_2 \quad \text{و} \quad V_1 = V_2 \quad 1-3$$

ب- مولفه J نیز باید پیوسته باشد.

$$j_{1n} = j_{2n} \quad 1-4$$

این شرایط بر حسب میدانهای الکتریکی به شکل زیر درمی آیند.

$$\begin{cases} E_{1t} = E_{2t} \\ \sigma_1 E_{1n} = \sigma_2 E_{2n} \end{cases} \quad 1-5$$

که n و t به ترتیب مولفه های قائم و مماسی اند. که در این دستگاه n در جهت Z و t در جهت X است. پس می توان نوشت:

$$\begin{cases} E_{1x} = E_{2x} \\ \sigma_1 E_{1z} = \sigma_2 E_{2z} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \rho_1 j_{1x} = \rho_2 j_{2x} \\ \frac{\rho_1 j_{1z}}{\rho_1} = \frac{\rho_2 j_{2z}}{\rho_2} \end{cases}$$

در نتیجه :

$$\begin{cases} \rho_1 j_{1x} = \rho_2 j_{2x} \\ j_{1z} = j_{2z} \end{cases} \quad 1-6 \Rightarrow \rho_1 \left(\frac{j_{1x}}{j_{1z}}\right) = \rho_2 \left(\frac{j_{2x}}{j_{2z}}\right) \quad 1-7$$

می دانیم که:

$$\left\{ \begin{array}{l} j_z = j \cos \theta \\ j_x = j \sin \theta \end{array} \right. \quad 1-8 \quad \Longrightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} \rho_1 \tan \theta_1 = \rho_2 \tan \theta_2 \\ \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \end{array} \right. \quad \text{یا} \quad 1-9$$

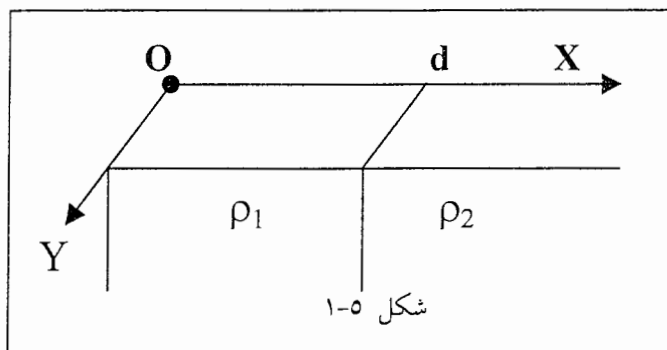
ملاحظه می شود که θ_1 و θ_2 متفاوتند چون ρ_1 و ρ_2 متفاوتند. بنابراین خطوط جریان در عبور از مرز خم می شوند، اگر $\rho_1 < \rho_2$ باشد خطوط به عمود نزدیک می شوند و اگر $\rho_1 > \rho_2$ باشد خطوط از خط عمود دور می شوند.

واپیش پتانسیل در سطح مشترک تخت:

اگر جریان در عبور از محیطی به محیط دیگر با مقاومت ویژه متفاوت منحرف شود، پتانسیل نیز تغییر شکل می دهد. برای تعیین شکل خطوط پتانسیل باید معادله لاپلاس را حل کنیم که احتیاج به عملیات ریاضی پیچیده ای دارد.

راه ساده تری نیز وجود دارد و آن استفاده از شباهت الکتریکی است. در این روش جریان را مانند نور، و مرز را مانند آینه نیم شفاف در نظر می گیریم. این روش برای مرزهای تخت قابل استفاده است ولی هنگامیکه تعداد مرزها زیاد باشد استفاده از آن پر زحمت می گردد. علت تشابه جریان با نور این است که چگالی جریان مانند شدت پرتو نور با عکس مجذور فاصله از چشمه کاهش می یابد.

ابتدا ما یک مدل خیلی ساده از زمین با ناهمگنی جانبی مقاومت ویژه را بررسی می کنیم. فرض کنید که یک صفحه در سطح $Z = 0$ زمین را از هوا (اتمسفیر) جدا می کند. جهت مثبت محور Z ها را رو به پایین در نظر می گیریم. محورهای X و Y در سطح جدایش زمین و هوا قرار دارند. فرض کنیم زمین از نظر مقاومت ویژه به دو قسمت تقسیم شود که صفحه جدایش آنها در $X = d$ قرار دارد. سمت چپ این صفحه دارای مقاومت ویژه ρ_1 و سمت راست آن دارای مقاومت ویژه ρ_2 است.



که در این صورت پتانسیل عبارتست از:

$$V_2 = \frac{I'' \rho_2}{2\pi r} \quad 1-11$$

هر دو معادله (۱-۱۰) و (۱-۱۱) در معادلات لاپلاس در تمام فضا صدق می کنند. حال برای تعیین پتانسیل باید مقادیر I' و I'' را به گونه ای پیدا کنیم که شرایط مرزی را در $x = d$ برآورده کنند.

این شرایط مرزی عبارتند از:

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2 \Big|_{x=d} \\ \frac{1}{\rho_1} \frac{\partial V_1}{\partial x} &= \frac{1}{\rho_2} \frac{\partial V_2}{\partial x} \Big|_{x=d} \end{aligned}$$

حال این شرایط را در معادلات ۱-۱۰ و ۱-۱۱ قرار می دهیم.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{I\rho_1}{2\pi r_0} + \frac{I'\rho_1}{2\pi r_0} - \frac{I''\rho_2}{2\pi r_0} \\ \frac{1}{\rho_1} \frac{I\rho_1 d}{2\pi r_0^3} + \frac{1}{\rho_1} \frac{I'\rho_1 d}{2\pi r_0^3} = \frac{1}{\rho_2} \frac{I''\rho_2 d}{2\pi r_0^3} \end{aligned} \right.$$

$$r_0 = (d^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

که

در نتیجه

$$\begin{cases} (I+I')\rho_1 = I''\rho_2 \\ I-I' = I'' \end{cases}$$

و با حل این دو معادله خواهیم داشت:

$$I' = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2} I \quad \text{و} \quad I'' = \frac{2\rho_1}{\rho_1 + \rho_2} I$$

مقدار $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$ را ضریب بازتاب کلوین می نامند و به صورت K_{12} نشان

می دهند و مقدار $\frac{2\rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$ برابر است با $1 - K_{12}$ که به آن ضریب انتقال کلوین می گویند و

داریم:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{1 + K_{12}}{1 - K_{12}}$$

بنابراین می توان معادلات فوق برای I' و I'' را بصورت زیر نوشت:

$$I' = K_{12}I \quad \text{و} \quad I'' = (1 - K_{12})I \quad 1-12$$

با جایگذاری این مقادیر در معادلات ۱-۱۰ و ۱-۱۱ خواهیم داشت:

$$V_1 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{r} + \frac{K_{12}}{r'} \right) \quad 1-13$$

$$V_2 = \frac{I\rho_2}{2\pi} \frac{1 - K_{12}}{r} = \frac{I\rho_1}{2\pi} \frac{1 + K_{12}}{r} \quad 1-14$$

برای یک نقطه برداشت روی سطح زمین، این عبارات به صورت زیر تبدیل می گردند:

$$V_1 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{(x^2 + y^2)^{1/2}} + \frac{K_{12}}{[(2d - x)^2 + y^2]^{1/2}} \right\} \quad 1-15$$

$$V_2 = \frac{I\rho_2}{2\pi} \frac{1 - K_{12}}{(x^2 + y^2)^{1/2}} = \frac{I\rho_1}{2\pi} \frac{1 + K_{12}}{(x^2 + y^2)^{1/2}} \quad 1-16$$

انواع آرایشهای الکترودی:

سه نوع آرایش الکترودی اصلی وجود دارد که سایر آرایشها را می توان حالات خاصی از این سه بیان کرد. این آرایشها عبارتند از:

۱- آرایش وئر

۲- آرایش شلومبرگر

۳- آرایش دایپل-دایپل

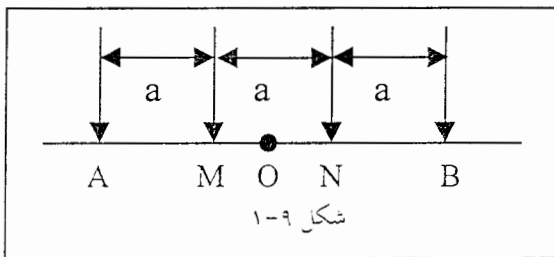
آرایشهای الکترودی که اغلب مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از:

wenner array

۱- آرایش وئر

۲- آرایش شلومبرژر	schlumberger array
۳- آرایش لی	lee-partitioning array
۴- آرایش قطبی - قطبی	pole-pole array
۵- آرایش قطبی - دو قطبی	3electrods; pole-dipole array
۶- دو قطبی - دو قطبی	dipole-dipole array
۷- آرایش مربعی	squar array

۱- آرایش ونر:



$AM=MN=NB=a$

$K=2\pi a$ فاکتور هندسی

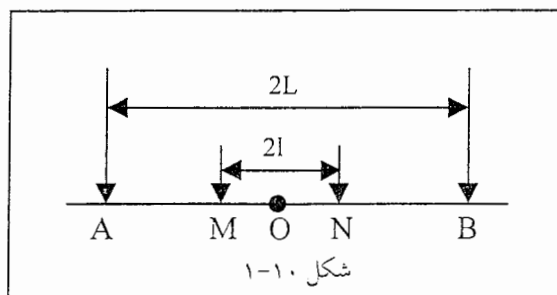
$Z = a$ عمق اکتشاف تقریبی

Spacing = a فاصله الکترودی

مزایا:

- ۱- بعلت یکسان بودن فواصل الکترودی کار با آن در روش پروفیل زنی (CST) آسانتر و سریعتر انجام می شود (برای CST مناسب است).
- ۲- بعلت بیشتر بودن بودن فاصله MN (الکترودهای پتانسیل) اختلاف پتانسیل بیشتر بوده و خطای اندازه گیری توسط دستگاه کمتر می شود (مخصوصا نسبت به شلومبرژر).
- ۳- در سونداژ زنی VES در آرایش ونر نیاز به تصحیح داده ها بعلت تغییر ناگهانی MN وجود ندارد ولی در روش شلومبرژر باید داده ها را تصحیح کرد.
- ۴- قدرت تفکیک عمودی خوب است.
- ۵- برای لایه های افقی و محیط لایه لایه، آرایش ونر قدرت تفکیک عمودی بالایی داشته و روش مناسبی است.

۲- آرایش شلومبرژر:



$$\begin{cases} AO = OB = \frac{AB}{2} = L \\ MO = ON = \frac{MN}{2} = l \end{cases} \quad \text{spacing} = L$$

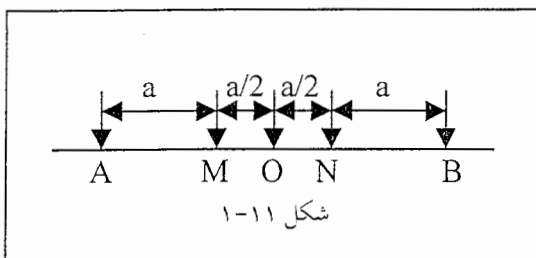
$$\begin{cases} MN < 0.4L \\ \text{یا} \\ l < 0.2L \end{cases} \quad K = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l}$$

$$Z = \frac{L}{2} \quad \text{عمق اکتشاف تقریبی}$$

مزایا:

- ۱- حساسیت کمتری نسبت به تغییرات مقاومت ویژه دارد یعنی تغییرات مقاومت ویژه در سطح روی اندازه گیرها کمتر تاثیر می گذارد.
- ۲- در هنگام سونداژ زنی (در روشی سریع و راحت نسبت به روشهای معمولی) تغییرات ناخواسته می کنیم و الکترودهای پتانسیل برای چند اندازه گیری ثابت می ماند (مناسب برای VES).
- ۳- قدرت تفکیک عمودی بالایی دارد (قدرت تفکیک عمودی ونر بیشتر است).
- ۴- نسبت به آرایش ونر از عمق نفوذ بهتری برخوردار است.
- ۵- روش شلومبرگر برای پروفیل زنی (CST) مناسب نیست.

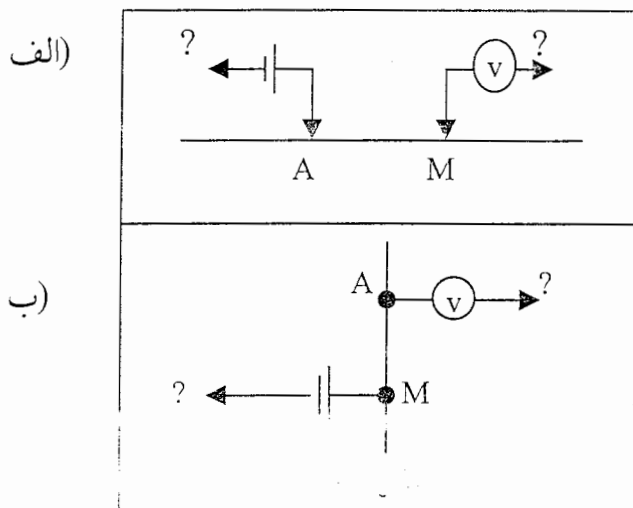
۳- آرایش لی Lee-partitioning array



$$\begin{aligned} AM &= NB = a \\ MO &= ON = a/2 \\ \text{Spacing} &= a \end{aligned}$$

در این روش V_{MN} و V_{MO} و V_{NO} اندازه گیری می شود. با این روش نا همگنی های جانبی مقاومت ویژه را می توان براحتی کشف کرد زیرا سه اختلاف پتانسیل را برای یک ایستگاه می خوانیم و بنابراین در هر ایستگاه سه مقاومت ویژه ظاهری خواهیم داشت. این روش را می توان حالتی از ونر فرض کرد.

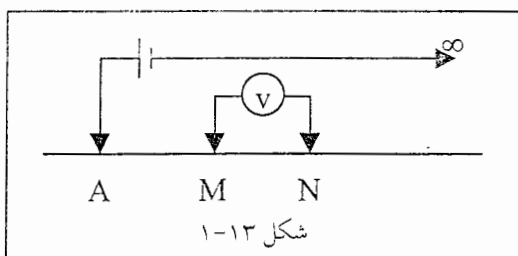
۴- آرایش قطبی-قطبی:



AB و MN باید حدود ۱۰ تا ۱۲ برابر AM باشند تا خطی از این نوع استفاده شود.

مزایا: دارای بیشترین عمق تجسس نسبت به سایر آرایشهای الکترودی دیگر است. یعنی برای رسیدن به یک هدف (آنومالی) خاص این روش کمترین فاصله الکترودی را لازم دارد. این روش سریعتر بوده و بکار صحرائی کمتری احتیاج دارد.

۵- آرایش قطبی - دو قطبی:

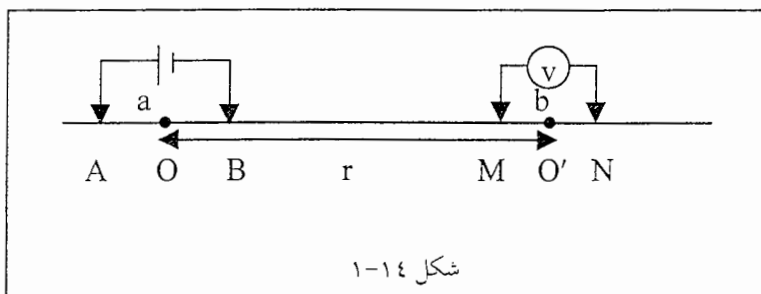


اگر $AM=MN$ باشد به آن نیم ونر و در غیر این صورت به آن نیم شلومبرژر نیز می گویند. $Z=L/2$. عمق اکتشاف تقریبی

این روش به تغییرات مقاومت ویژه جانبی حساس بوده و یکی از بهترین روشها برای مشخص کردن گسلها و دایکها است.

سرعت برداشت در این روش از اغلب روشها بیشتر است.

۶- آرایش دو قطبی - دو قطبی



- الف) BIPOLE-BIPOLE
- ب) BIPOLE-DIPOLE
- ج) DIPOLE-DIPOLE

اساس روش به صورت چیدن چهار الکتروود است که الکتروودهای جریان در یک طرف و پتانسیل در طرف دیگر قرار می گیرند.

الف) اگر فواصل a, b هر دو نسبت به r بزرگ باشند **BIPOLE-BIPOLE**

ب) اگر فاصله a نسبت به r بزرگ ولی b قابل صرفنظر کردن باشد **BIPOLE-DIPOLE**

ج) اگر فاصله a و b نسبت به r کوچک باشد **DIPOLE-DIPOLE**

الکتروودهای پتانسیل را نمی توان زیاد از هم دور کرد زیرا خطا افزایش می یابد. و فاصله الکتروودهای جریان را نیز نمی توان خیلی کوچک گرفت زیرا جریان به محل MN نمی رسد یا خیلی ضعیف خواهد بود.

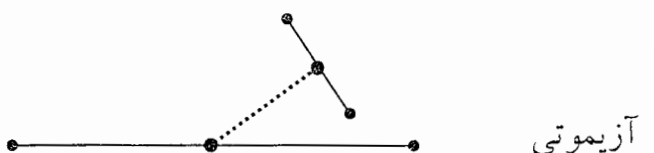
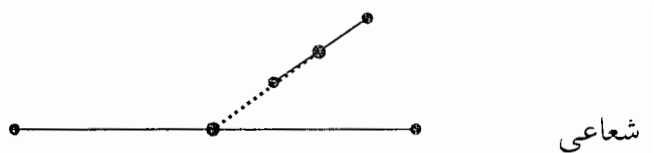
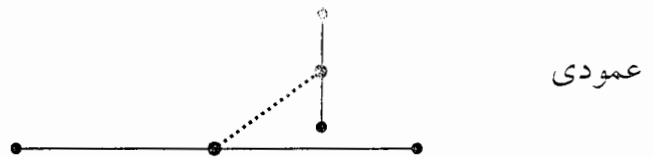
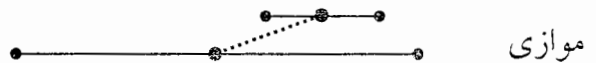
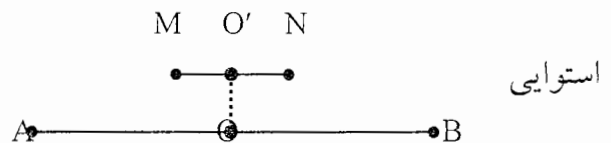
این آرایش سه فاصله الکتروودی دارد $SPACING = a/2, b/2, r$

ولی اگر $a = b$ برده و نسبت به r دوچند باشد فاصله الکتروودی r خواهد بود.

$$r = n \cdot MN$$

$$r = na \quad n = 1, 2, \dots$$

انواع آرایشهای دوقطبی - دوقطبی عبارتند از:



$$K = \pi \left(\frac{1}{a} - r \right)$$

$$\xrightarrow{r=na}$$

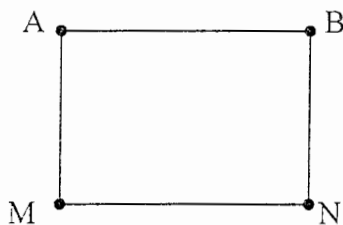
$$K = \pi n(n+1)(n+2)$$

مزایا:

۱- این روش دارای بیشترین قدرت تفکیک پذیری یا resolution است. و مثلا برای اکتشاف حفره های زیرزمینی بهترین روش می باشد.

۲- این روش نیاز به سیم (کابل) کمتری دارد بنابراین خطای ناشی از القا (جفت شدگی سیمها (wire coupling) در این روش کمتر است.

در این آرایش تفکیک پذیری عمودی ضعیف است ولی عمق نفوذ خوبی دارد و آرایش بصورت ویژه به تغییرات مقاومت ویژه جانبی حساس است که این مسئله آنرا به یک آرایش نامناسب برای سونداژهای عمیق تبدیل می کند اما این حساسیت در پروفیل زنی می تواند مفید باشد.



۷- آرایش مربعی squar array

(دوقطبی - دوقطبی استوایی که $a=b$ است)

مزایا:

۱- این آرایش برای تعیین تغییرات جانبی مقاومت ویژه بسیار مناسب است و با این روش می توان آنیزوتروپی عرضی را تعیین نمود.

$$\alpha = \sqrt{\frac{\rho_T}{\rho_L}} \quad \begin{array}{l} \text{رزیستویته عرضی} \\ \text{رزیستویته طولی} \end{array} \quad \text{معمولا} \quad \begin{cases} \rho_T \geq \rho_L \\ \alpha \geq 1 \end{cases}$$

زیرا در عرض خلل و فرج داریم که ρ را افزایش می دهند.

در روش مربعی با تعویض جای P_1 و C_2 می توان آنیزوتروپی را بدست آورد. (ρ_L و ρ_T بدست می آیند)

از این آرایش برای مشخص کردن تغییرات جانبی آزمونتی مقاومت ویژه استفاده می کنند که با استفاده از تعویض P_1 و C_2 مربع بطور مؤثر 90° می چرخد و بنابراین مقاومت ویژه ظاهری می تواند برای دو جهت عمود بر هم مشخص شود.

نسبت دو مقاومت ویژه نشانه ای از ناهمگن مورب است.

آرایش مربعی کمترین حساسیت به شیب سطوح را دارد و می تواند در موقعیتهایی که محیط زیر سطح دارای لایه بندی افقی نیست بکار می رود.

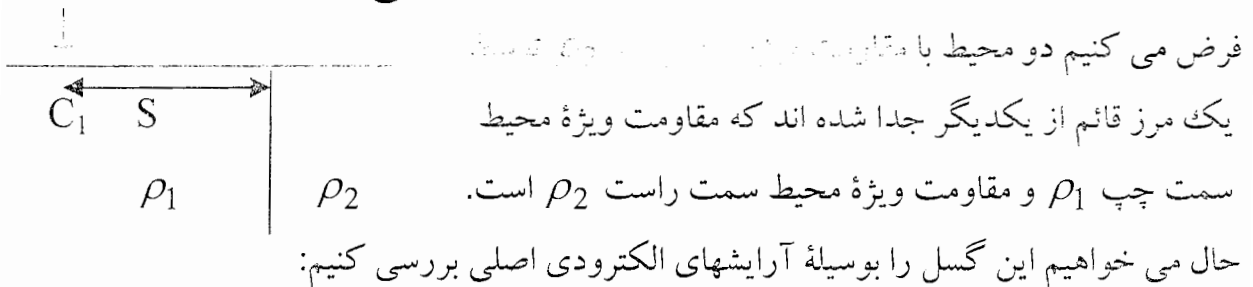
چون این روش، روشی پر زحمت و وقت گیر است بهتر است به یک منطقه برداشت با مقیاس کوچک محدود شود که فاصله الکترودی مورد نیاز تنها از مرتبه چند متری باشد. از این روش بیشتر در برداشتهای پروفیل زنی (CST) استفاده می شود. این روش در برداشتهای کم عمق باستان شناسی مفید است.

بررسی ساختارهای ژئوفیزیکی شامل صفحه های عمودی:

تصاویر کلونین به طور مؤثری می توانند در مشخص کردن پتانسیل DC ساختارهای ژئوفیزیکی تعریف شده بوسیله یک سری صفحه های موازی بکار روند. حال ما از این تصاویر در بررسی گسلها و دایکهای قائم استفاده می کنیم.

گسل قائم:

در موردی که مرز عمودی باشد انواع مختلف آنومالیاها با توجه به نوع آرایش الکترودی بکار رفته و نحوه گسترش آن (قائم یا موازی با مرز) ایجاد می شود که در مورد این نوع آنومالیاها با توجه به موقعیت الکترودها نسبت به مرز عمودی نوکهای تیز و یا ناپیوستگیها رخ می دهند.



۱- آرایش ونر:

گسل قائم فوق را بوسیله آرایش ونر بررسی می کنیم:

بدین طریق که در ابتدا فاصله الکترود جریان C_1 با گسل S بوده و اندازه گیری را انجام می دهیم سپس آرایش را به گسل نزدیک می کنیم تا اینکه تک تک الکترودها از روی گسل رد شوند. در مورد آرایش ونر شکل منحنی ایجاد شده بصورت $(1.15A)$ و $(1.15D)$ است که این منحنیها برای حالتی است که $\rho_1 > \rho_2$. هنگامیکه آرایش از محیط با مقاومت ویژه بالاتر به سمت محیط با مقاومت ویژه پائین تر حرکت می کند خطوط شار جریان به سمت مرز نزدیک (همگرا) می شوند و چگالی جریان در مرز افزایش می یابد ولی اختلاف پتانسیل بین الکترودهای پتانسیل کاهش می یابد و بنابراین مقاومت ویژه ظاهری تدریجاً از مقدار حقیقی اش افت می کند (مورد I در شکل E 1.15) تا به یک مقدار مینیمم در لحظه عبور الکترود جریان C_2 از مرز برسد (مورد II

در شکل E و D (۱,۱۵) پس از عبور C_2 تا زمانیکه P_2 به مرز برسد چگالی جریان در نزدیک مرز و داخل محیط با مقاومت ویژه پائینتر کاهش می یابد که این سبب می شود اختلاف پتانسیل بین P_1 و P_2 زیاد شود و در نتیجه مقاومت ویژه بیشتر می گردد (شکل iii) وقتی که P_2 از مرز عبور کند چگالی جریان در محیط ۲ با مقاومت ویژه پائینتر بتدریج افزایش یافته و چگالی جریان در هنگام رسیدن P_1 به مرز بالاترین مقدار خود را در محیط با مقاومت ویژه بالا دارد که این سبب می شود اختلاف پتانسیل بین P_1 و P_2 شدیداً کاهش یافته و مقاومت ویژه نیز کاهش می یابد (iv) در شکل (۱,۱۵) وقتی الکتروود جریان C_1 در محیط با مقاومت ویژه بالاتر است تا هنگام رسیدن آن به مرز جریان نزدیک مرز واگرا شده و بنابراین اختلاف پتانسیل کمی افزایش می یابد (۷ در ۱,۱۵) پس از عبور و دور شدن الکتروود C_1 از مرز مقاومت ویژه به مقدار نرمال در محیط ۲ می رسد شکل (D ۱-۱۵) چگونگی تغییر منحنیها را با توجه به اختلاف مقاومت ویژه دو محیط نشان می دهد.

معادلات بیان کننده مقاومت ویژه در آرایش ونر عبارتند از:

الف: تمام الکتروودها در سمت چپ صفحه گسل هستند.

$$\Delta V = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1}{a} + K \left(\frac{1}{2S-a} - \frac{1}{2S-2a} - \frac{1}{2S-4a} + \frac{1}{2S-5a} \right) \right]$$

$$\rho_a = \rho_1 \left[1 + Ka \left(\frac{1}{2S-a} - \frac{1}{2S-2a} - \frac{1}{2S-4a} + \frac{1}{2S-5a} \right) \right] \quad \text{و در نتیجه}$$

ب: C_2 از مرز عبور کرده است.

$$\rho_a = \left[1 + Ka \left(\frac{1}{2S-a} - \frac{1}{2S-2a} + \frac{1}{2a} \right) \right]$$

ج: C_2 و P_2 از مرز عبور کرده اند.

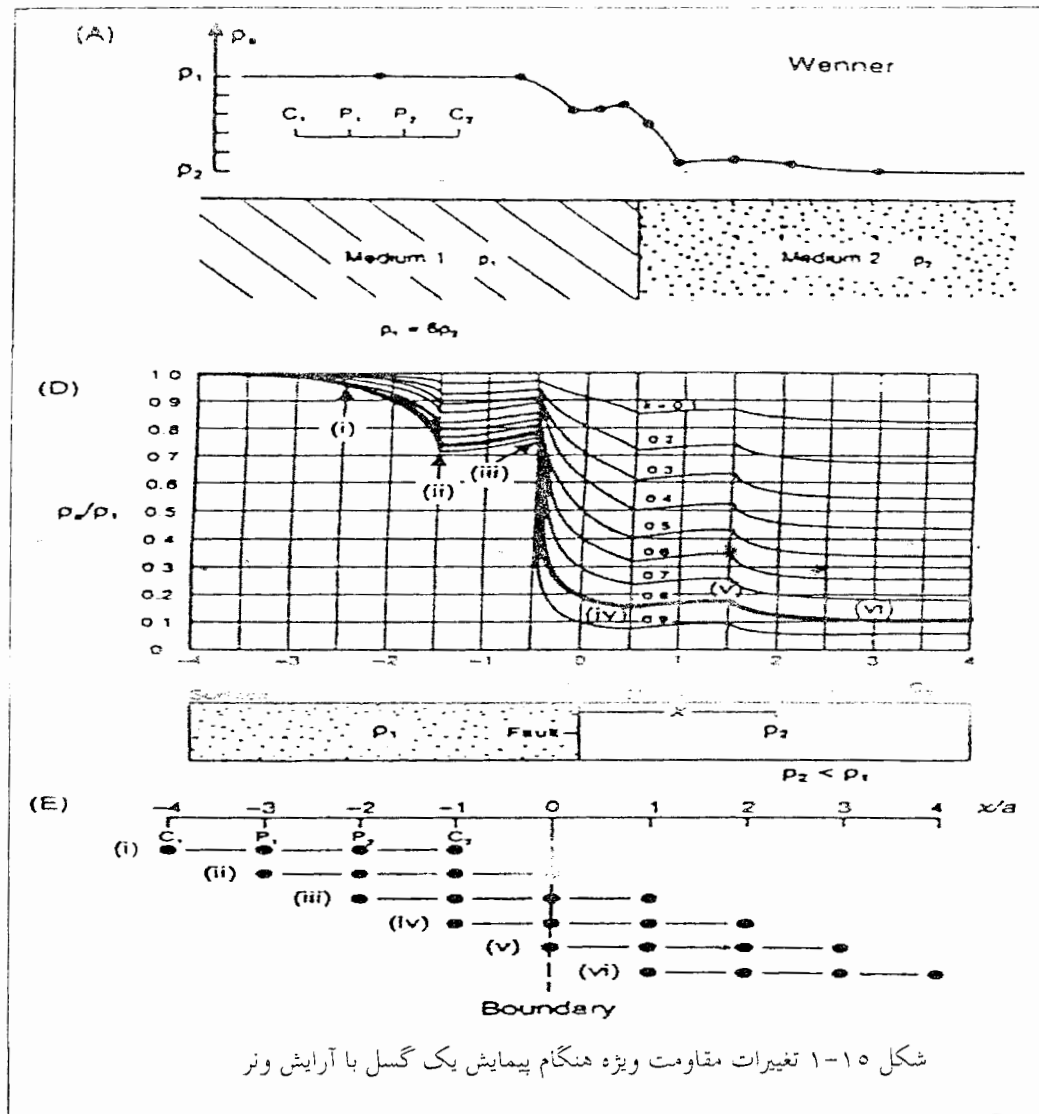
$$\rho_a = \rho_1 \left(\frac{1-K}{2} + \frac{Ka}{2S-a} \right) + \rho_2 \left(\frac{1+K}{2} - \frac{Ka}{5a-2S} \right)$$

د: تمام الکتروودها بجز C_1 از مرز گذشته اند.

$$\rho_a = \rho_2 \left(1 - \frac{K}{2} - \frac{Ka}{4a-2S} + \frac{Ka}{5a-2S} \right)$$

ه: تمام الکتروودها از مرز گذشته اند.

$$\rho_a = \rho_2 \left[1 - Ka \left(\frac{1}{2S+a} - \frac{1}{2S+4a} - \frac{1}{2S+2a} + \frac{1}{2S+5a} \right) \right]$$



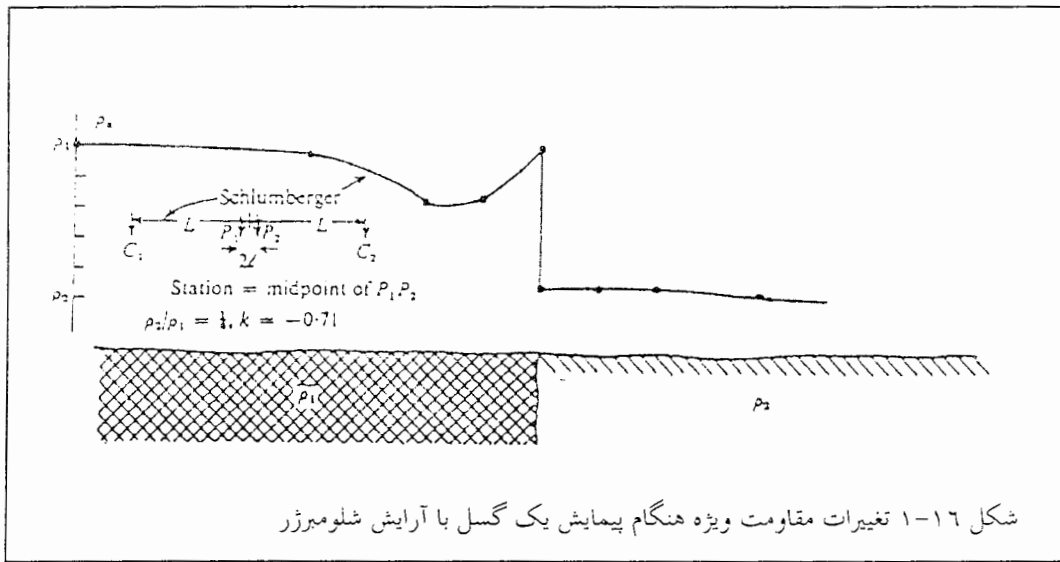
شکل ۱۵-۱ تغییرات مقاومت ویژه هنگام پیمایش یک گسل با آرایش ورنر

آرایش شلومبرژر:

مشابها در این حالت نیز با عبور هر الکتروود از مرز تغییراتی در پتانسیل ایجاد می گردد و شکل منحنی آنومالی حاصله بصورت زیر خواهد بود (شکل ۱۶-۱).

همانطور که مشاهده می گردد شکل منحنی حاصل در این حالت شباهت بسیاری به شکل آنومالی حاصل از آرایش ورنر دارد و فقط در محل گسل آرایش شلومبرژر پیک بزرگتری را نشان می دهد که این به علت تشابه دو آرایش مزبور می باشد. با مقایسه این دو نمودار می توان گفت که آرایش شلومبرژر در اکتشاف گسلهایی که اختلاف مقاومت ویژه آنها کم است موفق تر از آرایش ورنر

است.



فرمولهای توصیف کننده مقاومت ویژه در این حالت عبارتند از:

الف: تمام الکترودها در سمت چپ صفحه گسل مستند

$$\Delta V = \rho_1 \left\{ 1 + \frac{K(L^2 - l^2)}{4l} \left[\frac{1}{2S - L + l} - \frac{1}{2S - L - l} - \frac{1}{2S - 3L + l} + \frac{1}{2S - 3L - l} \right] \right\}$$

ب: C_2 از مرز عبور کرده است

$$\Delta V = \rho_1 \left[1 + \frac{K(L^2 - l^2)}{4l} \left(\frac{1}{2S - L + l} - \frac{1}{2S - L - l} \right) + \frac{K}{2} \right]$$

ج: C_2 و P_2 از مرز عبور کرده اند

$$\Delta V = \left(\frac{\rho_1}{2} + \frac{\rho_2}{2} \right) + \frac{K(L^2 - l^2)}{4l} \left[\frac{\rho_1}{2S - L - l} - \frac{\rho_1}{L + l} + \frac{\rho_2}{L + l} - \frac{\rho_2}{3L + l - 2S} \right]$$

د: تمام الکترودها بجز C_1 از مرز گذشته اند

$$\rho_a = \rho_2 \left[1 + \frac{K(L^2 - l^2)}{4l} \left(\frac{K}{L + l} - \frac{K}{L - K} + \frac{K}{3L - l - 2S} - \frac{K}{3L + l - 2S} \right) \right]$$

ه: تمام الکترودها از مرز گذشته اند

$$\rho_a = \rho_2 \left[1 + \frac{K(L^2 - l^2)}{4l} \left(\frac{1}{2S + L + l} - \frac{1}{2S + L - l} - \frac{1}{2S + 3L + l} + \frac{1}{2S + 3L - l} \right) \right]$$

آرایش دایپل-دایپل

برای حالتی که $r \gg a$ باشد منحنی مربوط به آنومالی به صورت زیر است (شکل ۱۷-۱). در این حالت محل گسل با یک پیک و افت ناگهانی در مقاومت ویژه ظاهری نشان داده می شود. و چهار ناپیوستگی معرف عبور چهار الکتروود از روی سطح گسل است. این روش نیز محل گسل را بخوبی نشان می دهد این روش در تعیین محل گسلها موفقتر از دو آرایش ونر و شلوبرژر است.

فرمولهای توصیف کننده ρ_a در این حالت عبارتند از:

الف: هر چهار الکتروود سمت چپ

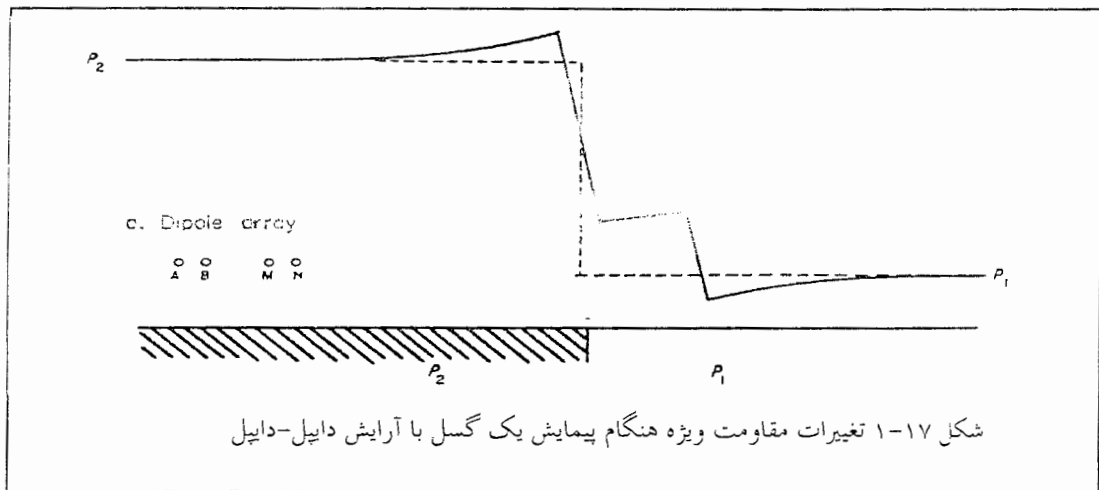
$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 - \frac{Kr^3}{(2S-r)^3}$$

ب: دو قطبهای مرز را در میان گرفته اند

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + K$$

ج: همه در سمت راست

$$\frac{\rho_a}{\rho_2} = 1 + \frac{Kr^3}{(2S-r)^3}$$



۴- آرایش پل-دایپل

$$r_1=L-l \quad r_3=L+l \quad r_2=r_4=\infty \quad L \gg l$$

فرمولهای توصیف کننده ρ_a در این حالت عبارتند از:

الف) اگر تمام الکترودها سمت چپ گسل باشند:

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 - \frac{kL^2}{(2S - L)^2}$$

ب) اگر الکتروود پتانسیل P_2 از گسل عبور کرده باشد:

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + \frac{k(L - S)(L - l)}{l(2S - L + l)}$$

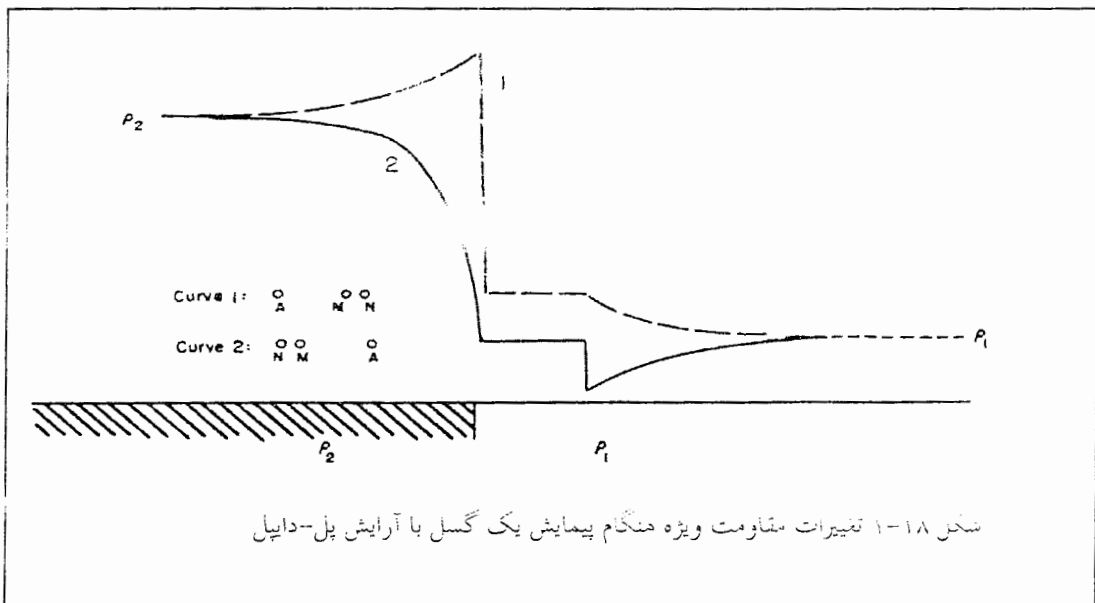
ج) وقتی هر دو الکتروود پتانسیل از مرز گذشته باشد:

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + k$$

د) وقتی کل آرایش از مرز عبور کرده باشد:

$$\frac{\rho_a}{\rho_2} = 1 + \frac{kL^2}{(2S + L)^2}$$

منحنی مربوط به آنومالی به صورت زیر است (شکل ۱۸-۱).

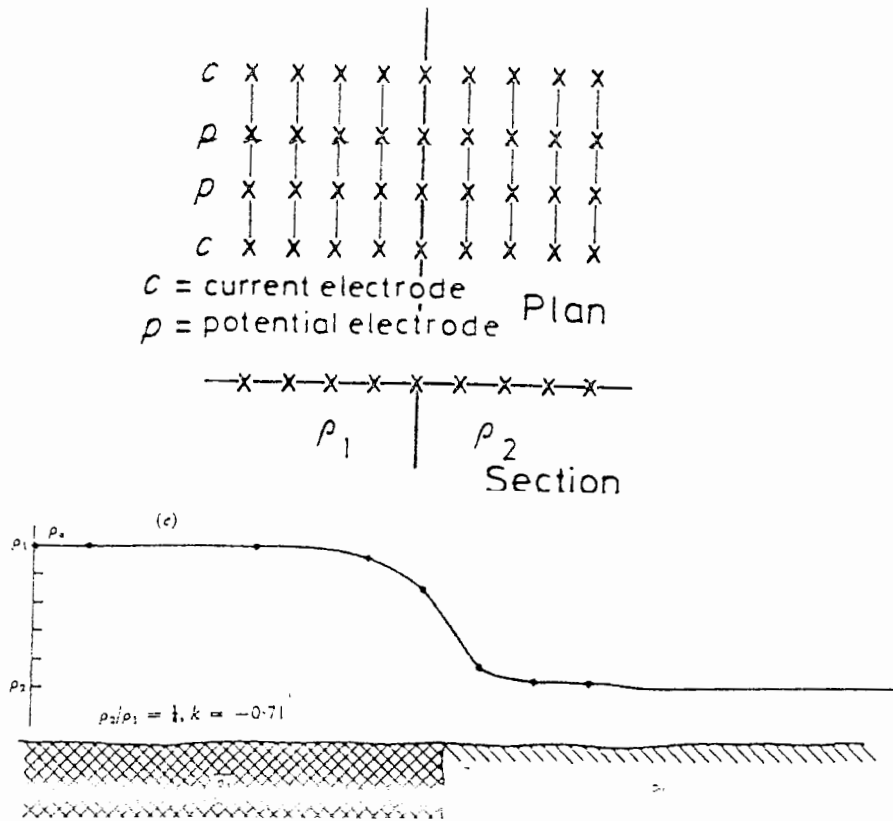


همانطور که در این منحنی دیده می شود این آرایش یک پیک شدید را در محل گسل نشان می دهد و این مزیت خوبی برای شناسایی محل دقیق گسل می باشد حتی اگر تغییرات مقاومت ویژه در دو طرف گسل زیاد نباشد. در این نمودار منحنی شماره یک مربوط به حالت forward و منحنی شماره دو مربوط به حالت back ward می باشد .

۵- آرایشی پل-پل

$$r_1 = a \quad r_2 = r_3 = r_4 = \infty$$

اگر یک گسل را با آرایش پل-پل پیمایش کنیم منحنی مربوط به آنومالی به صورت زیر است (شکل ۱۹-۱):



شکل ۱-۲. منحنی مقاومت ویژه بدست آمده با روش همیشگی

با توجه به نمودارهای مربوط به پیمایش یک گسل با آرایشهای الکترودی مختلف در می یابیم که پارامترهای زیر در شکل آنومالی حاصل موثرند:

$$1-\text{نسبت } \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

۲- آرایش الکترودی بکار گرفته شده

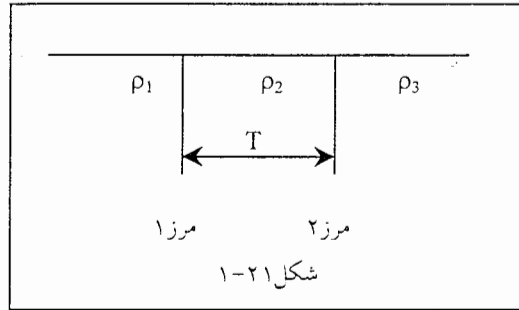
۳- جهت گیری آرایش نسبت به گسل

و همچنین با توجه به شکل آنومالیهای حاصله می توان گفت که آرایش نیم شلومبرگر برای اکتشاف گسل آرایش مناسبی است زیرا در محل گسل پیک بزرگی را داشته و بعلاوه قرار گرفتن یک الکتروود در بینهایت روش نسبتاً سریعی است.

بررسی دایکهای قائم:

دایک عمودی (که از دو صفحه عمودی تشکیل شده است) را بررسی می کنیم که مقاومت ویژه محیط بین دو صفحه عمودی و دو نیم فضای خارجی بصورت دلخواه می تواند تعیین گردد. بخاطر ساده شدن بحث فرض می کنیم که هر دو نیم فضای خارجی مقاومت ویژه یکسانی دارند. بنابراین ما فقط لازم است اثر یک فاکتور بازتاب را برای دو طرف دایک در نظر بگیریم.

ما سه ناحیه زمین را با اندیسه‌های ۱ و ۲ و ۳ مشخص می‌کنیم. محیط ۱ قسمتی است که الکتروود جریان (A) در آن قرار دارد (قسمت سمت چپ). محیط ۲ درون دایک و محیط ۳ نیم فضای طرف دیگر دایک است (قسمت سمت راست).



ضریب باز تاب کلوین از محیط ۱ به داخل دایک K_{12} است. ضریب باز تاب کلوین از محیط ۲ به داخل محیط ۳، K_{23} اما وقتی محیط ۳ بوسیله مقاومت ویژه یکسانی مشخص شده باشند، $K_{23} = -K_{12}$ خواهد بود.

حال برای حل مسئله فرض می‌کنیم که چشمه جریان منفرد، I ، در فاصله d از رخساره نزدیکتر دایکی به ضخامت t قرار دارد (شکل ۱-۲۱) مبدا دستگاه مختصات در محل چشمه جریان تعیین می‌شود و جهت محور x را عمود بر امتداد دایک در نظر می‌گیریم.

ما این مسئله را بوسیله شمردن تمام تصاویر بوجود آمده بوسیله هر دو آینه ای که در محل مرزها بین دو ناحیه با مقاومت ویژه مختلف بکار رفته اند حل می‌کنیم. می‌خواهیم پتانسیل DC را روی تمام سطح زمین بدانیم. تصاویری که ما می‌بینیم با توجه به وضعیت نقطه مشاهده M نسبت به سه قسمت زمین متغیرند.

وقتی نقطه مشاهده M در محیط ۱ قرار دارد، یک بیننده چشمه جریان حقیقی را مستقیماً می‌بیند و یک تصویر از چشمه از طرف نزدیک دایک بازتاب می‌کند که با ضریب بازتاب K_{12} کاهش یافته است. بنابراین تصویر دیگر از پشت دایک دوباره بوسیله ضریب بازتاب بعدی K_{23} و ضریب عبور قسمت جلو $1 - K_{21}$ کاهش می‌یابد (که $K_{21} = -K_{12}$). دایک یک سری نامحدود از تصاویر را در طول محور x تولید می‌کند که اولین تصویر در فاصله $2d$ پشت رخساره نزدیک دایک تشکیل می‌شود. تصاویر دیگر به فاصله $4d$ از یکدیگر تشکیل می‌گردند که نشان دهنده بازتابهای متعددی است که بین دو آینه نماینده دو سطح دایک بوجود می‌آید. بنابراین پتانسیل برای نقطه M_1 در ناحیه ۱ بصورت زیر خواهد بود:

$$U_1 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{(x_m^2 + y_m^2)^{1/2}} + \frac{K_{12}}{[(2d - x_m)^2 + y_m^2]^{1/2}} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{21}^{(2n-1)}(1 - K_{21}^2)}{(\alpha_n^2 + y_m^2)^{1/2}} \right\}$$

که x_m و y_m مختصات نقطه مشاهده M بوده و $\alpha_n = 2d + 2nt - x_m$ که n نشان دهنده تصویر n ام است.

اگر نقطه مشاهده M درون دایک قرار داشته باشد (یعنی $d < x_m < d+t$) از این نقطه مشاهده چشمه جریان بصورت کدر از میان یک وجه دایک دیده می شود همچنین یک سری تصاویر در هر دو ناحیه ۱ و ۳ بعنوان بازتابهای چشمه روی سطح جلو و عقب دایک بوجود می آیند.

چشمه حقیقی جریان در A پس از عبور از یک رخساره دایک (رخساره چپ) دیده می شود بنابراین جریان با ضریب عبور $1 - K_{12}$ کاسته می گردد. و دو سری تصاویر، بوسیله بازتابهای چندگانه بین دو رخساره دایک بوجود می آیند. با توجه به این موارد پتانسیل برای نقطه M میتواند به صورت زیر باشد:

$$U_2 = \frac{I\rho_2}{2\pi} (1 - K_{12}) \left\{ \frac{1}{(x_m^2 + y_m^2)^{1/2}} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{K_{12}^{2n-1}}{(\alpha_n^2 + y_m^2)^{1/2}} + \frac{K_{12}^{2n}}{(\beta_n^2 + y_m^2)^{1/2}} \right] \right\}$$

که در این فرمول $\alpha_n = 2d + 2nt - x_m$ و $\beta_n = 2nt + x_m$ می باشد، وقتی نقطه مشاهده M در محیط ۳ (سمت راست دایک) قرار دارد.

با روش مشابه آنچه تا کنون بحث شد و افزودن سهم تمام تصاویر تولید شده بوسیله بازتابهای چندگانه به سهم چشمه حقیقی A عبارت زیر برای اندازه گیریهای انجام شده در نیم فضای سمت راست بدست خواهد آمد:

$$U_3 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1 - K_{12}^2}{(x_m^2 + y_m^2)^{1/2}} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - K_{12}^2)^2 K_{21}^{2n}}{(\beta_n^2 + y_m^2)^{1/2}} \right] \text{ و } \beta_n = 2nt + x_m$$

این معادلات پتانسیل را روی سطح یک فضا که شامل یک دایک قائم است کاملاً مشخص می کنند به طریق مشابه می توان برای حالتی که چشمه جریان، درون دایک ناحیه ۲ و یا در ناحیه ۳ قرار دارد معادلات مربوطه را نوشت. که این معادلات بصورت زیر خواهند بود.

ب- الکتروود جریان، A، در ناحیه ۲، درون دایک قرار داشته باشد.

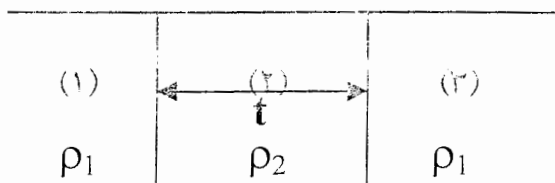
$$U'_2 = \frac{I\rho_2}{2\pi} \left\{ \frac{1}{a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2nt+a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2nt-a} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^{2n-1}}{2d+2nt-a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^{2n-1}}{2(n-1)t-2d+a} \right\}$$

$$U'_3 = \frac{I\rho_1}{2\pi} (1+K) \left\{ \frac{1}{a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2nt+a} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^{2n-1}}{2(n-1)t-2d+a} \right\}$$

ج- الکتروود جریان A در ناحیه ۳:

$$U''_3 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^{2n-1}}{2(n-2)t-(2d-a)} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^{2n-1}}{2(n-1)t-(2d-a)} \right\}$$

اگر یک دایک عمودی در حالت عمودی قرار داشته باشد.



در محیطی با مقاومت ویژه ρ_1 قرار داشته باشد.

فضای مورد بررسی به سه منطقه تقسیم می شود

که عبارتند از قسمت سمت چپ دایک (منطقه ۱)، داخل دایک (منطقه ۲)، و قسمت سمت راست

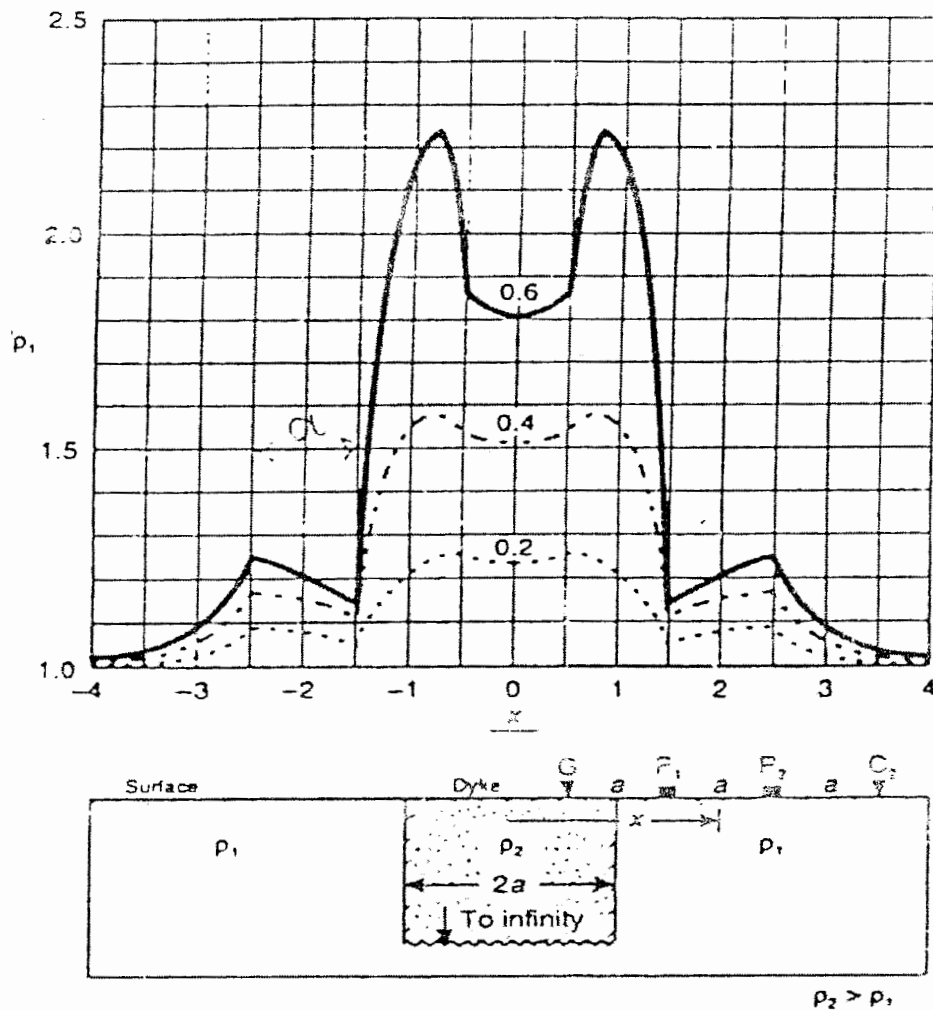
دایک (منطقه ۳). حال فرض می کنیم $\rho_2 > \rho_1$ باشد می خواهیم دایک را بوسیله آرایشهای

مختلف الکتروود پیمایش کنیم و تغییرات موجود در منحنی حاصله را بررسی کنیم

۱) آرایش ونر

اگر دایک نازک مقاوم را با آرایش ونر پیمایش کنیم شکل آنومالی بصورت شکل (۲۲-۱) خواهد بود.

در این شکل منحنی مقاومت ویژه ظاهری به ازای نسبتهای ρ_2 به ρ_1 متفاوت ترسیم شده است با توجه به شکل مشخص است که هر چه اختلاف مقاومت ویژه دایک و محیط پیرامونش بیشتر باشد دامنه آنومالی حاصل شدیدتر بوده و در نتیجه تشخیص دایک راحتتر است



شکل ۱-۲۲ منحنی حاصل از آرایش ونر برای یک دایک نازک

۲) آرایش دایپل - دایپل

در صورت پیمایش یک دایک مقاوم با آرایش دایپل - دایپل با توجه به ضخامت دایک شکل آنومالی بصورت (۱-۲۳) خواهد بود. که برای دایک های نازک یک پیک کاذب خواهیم داشت و تشخیص مقدار واقعی مقاومت ویژه دایک امکان پذیر نیست. در ضمن تعیین دقیق محدوده دایک کار مشکلی است.

۳) آرایش پل - دایپل

اگر یک دایک مقاوم را با آرایش پل - دایپل پیمایش کنیم با توجه به ضخامت دایک شکل آنومالی بصورت (۱-۲۴) خواهد بود. در اینجا نیز برای دایک های نازک پیک کاذب وجود دارد

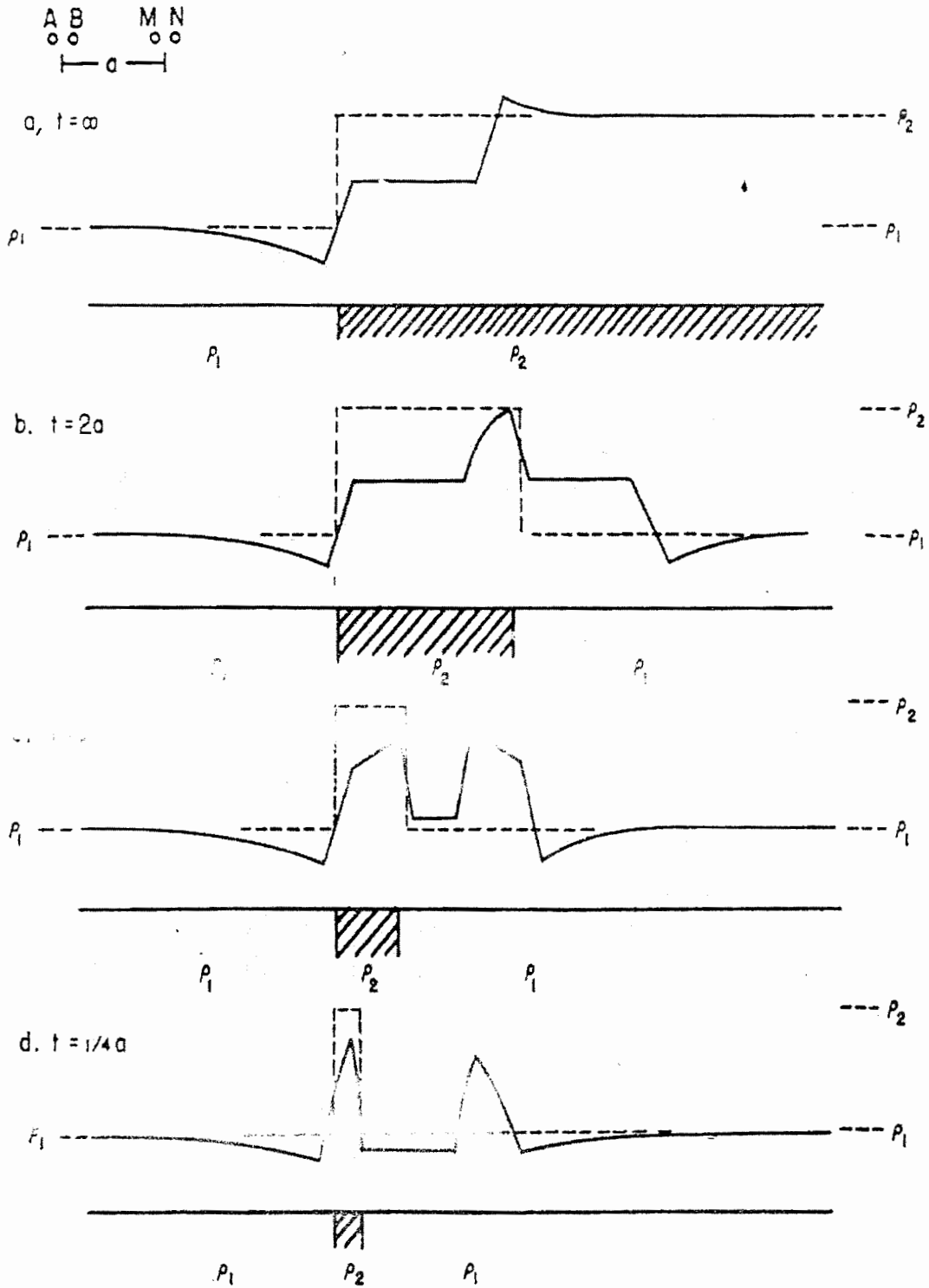


FIG. 119. Resistivity profiles which would be recorded with a dipole array crossing a resistant dike.

شکل ۱-۲۳ منحنی حاصل از آرایش دایپل-دایپل برای یک دایک

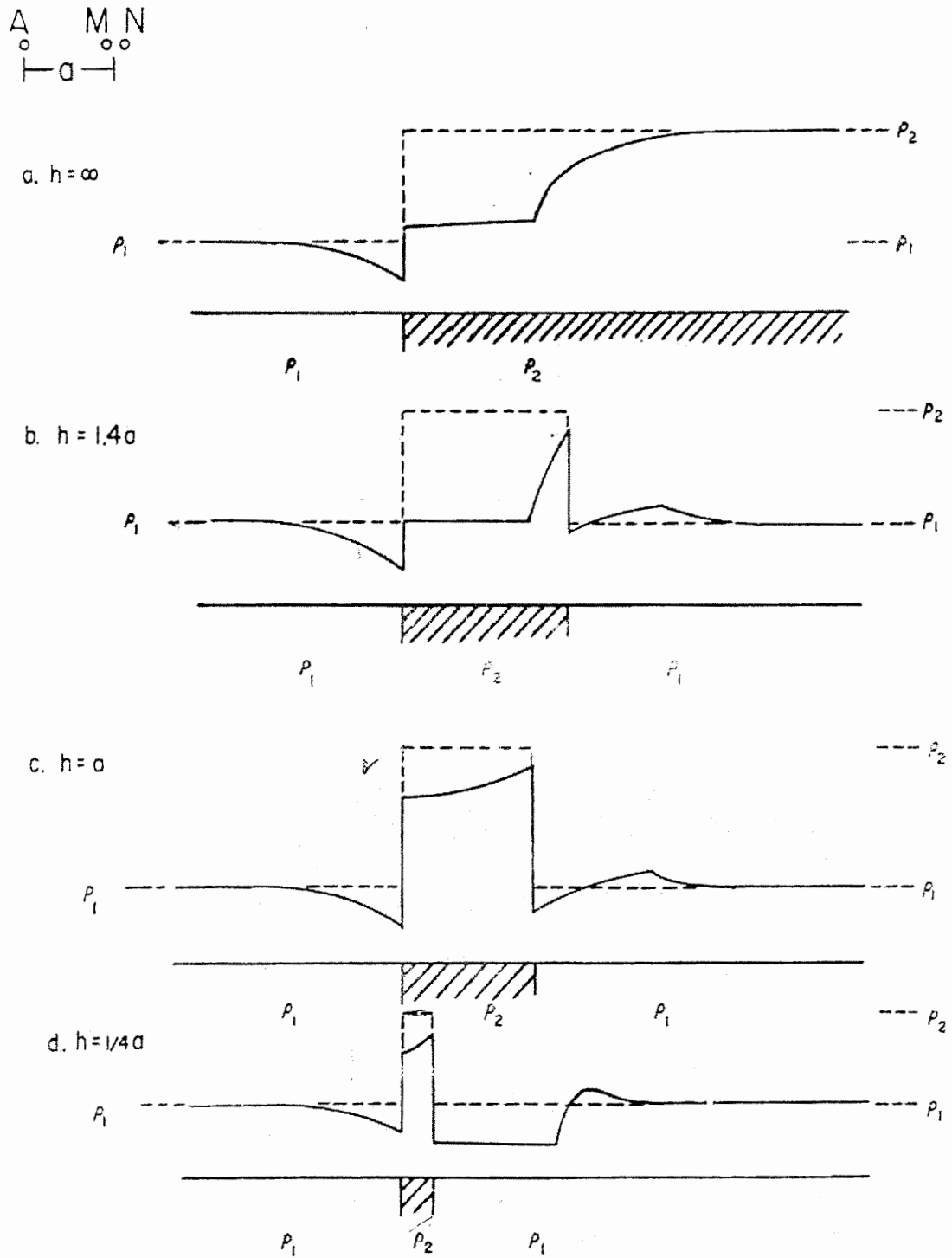


FIG. 121. Resistivity profiles which would be recorded with a half-Schlumberger array crossing a resistant dike.

شکل ۱-۲۴ منحنی حاصل از آرایش پل-دایبل برای یک دایک

ولی مقدار آن کمتر از حالت دایپل - دایپل است در ضمن تشخیص محدوده دایک براحتی امکان پذیر است. در مورد دایک های بسیار نازک باید دقت شود که با توجه به نمودار در مجاورت دایک محدوده بسیار هادی به اشتباه تفسیر نگردد.

۴) آرایش پل - پل

در صورت پیمایش دایک مقاوم با آرایش پل - پل با توجه به ضخامت دایک شکل آنومالی بصورت (۱-۲۵) خواهد بود. این سری نمودارها دارای تقارن هستند ولی تشخیص محدوده دایک بوسیله این روش امکان پذیر نبوده در ضمن مقدار مقاومت ویژه حقیقی دایک قابل اندازه گیری نبوده و در مورد دایک های مقاوم و نازک حتی منحنی مقاومت ویژه دایک را بصورت یک آنومالی هادی نشان می دهد. در این روش نیز پیک های کاذب وجود دارد. در کل این روش برای تشخیص دایک ها توصیه نمی گردد.

نتیجه گیری:

با توجه به نمودارهای ارائه شده درمی یابیم که تشخیص محل دایک با روش پل - دایپل (نیم شلومبرژر) راحتتر از سایر روشها است و در کل مشخص کردن محل و مقدار مقاومت ویژه دایک های نازک کاری مشکل و در بعضی مواقع حتی می تواند غیر ممکن باشد.

با توجه به این نمودارها درمی یابیم که شکل آنومالی ناشی از یک دایک به پارامترهای زیر بستگی دارد:

۱) تفاوت مقاومت ویژه دایک و محیط پیرامونش

۲) نسبت ضخامت دایک به فاصله الکترودی

۳) آرایش الکترودی بکار رفته

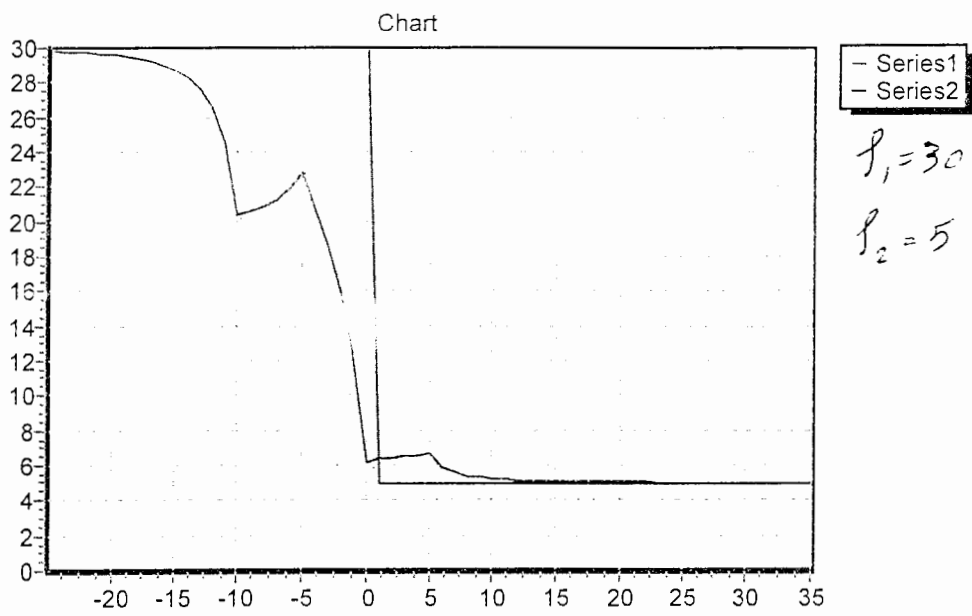
جهت گیری آرایش نسبت به آنومالی مورد بررسی

پس انواع مختلف آرایش الکترودی و جهت گیری آرایش در عبور از مرز بین دو محیط با مقاومت ویژه متفاوت شکلهای آنومالی متفاوتی را ایجاد می کنند بنابراین در تفسیر چنین پروفیل

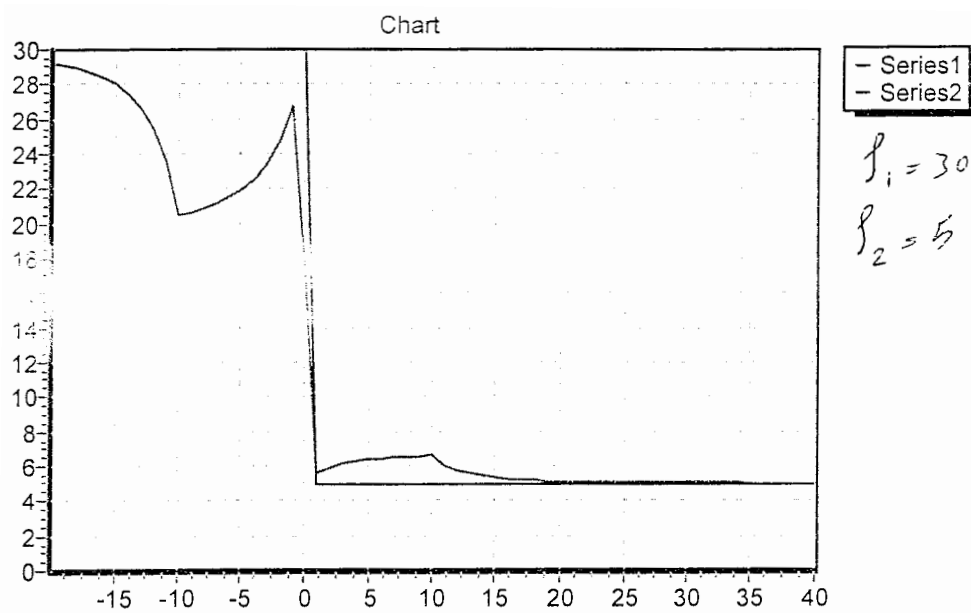
هایی ماکزیمم و مینیمم مقاومت ویژه به سادگی می تواند گمراه کننده باشد. بعبارت دیگر همواره باید به یاد داشت که نباید فقط به توجه به منحنی مقاومت ویژه ظاهری در مورد نوع و شکل آنومالی قضاوت کرد.

در ضمن برای کاهش خطا، باید نوع آنومالی هنگام بررسی زمین شناسی هدف تا حد امکان پیش بینی گردد و با توجه به آن نوع آرایش و جهت مناسب پروفیل، قبل از برداشت انتخاب شود.

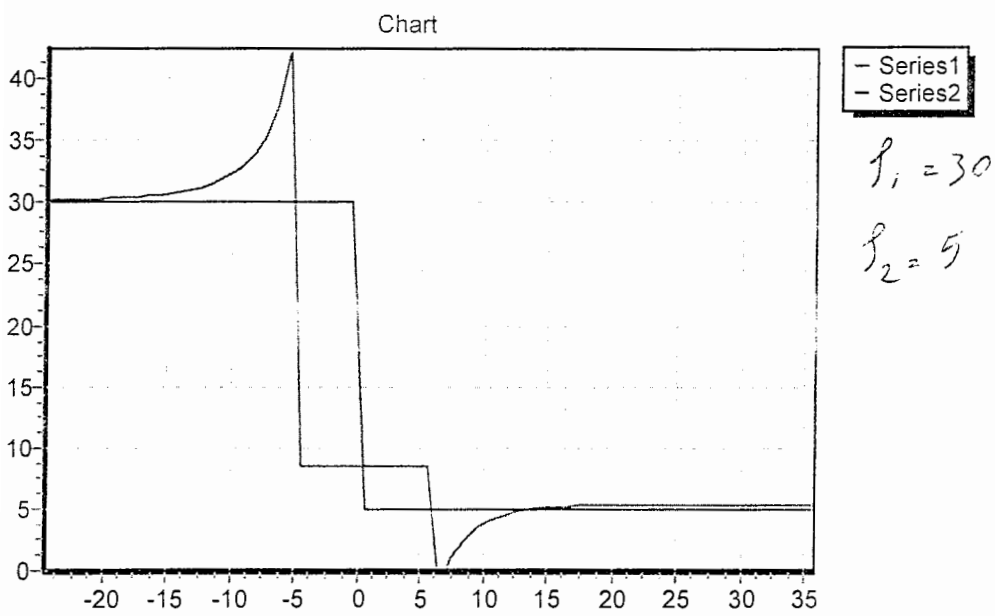
در این قسمت نمودارهای مقاومت ویژه ظاهری حاصل از پروفیل زنی روی یک گسل ارائه می شود که با استفاده از نرم افزارهای که برای شبیه سازی پاسخ آرایشهای مختلف طراحی کرده ام، بدست آمده اند. در طراحی این نرم افزار از فرمول های ارائه شده در کتاب TELFORD استفاده شده است. همچنین نرم افزار جهت شبیه سازی پاسخ یک دایک به آرایش نیم شلومبرژر طراحی شده، که در طراحی آن نیز از فرمولهای کتاب فوق استفاده شده است. در ضمن این نرم افزارها به صورت یک CD ضمیمه این سمینار می گردد.



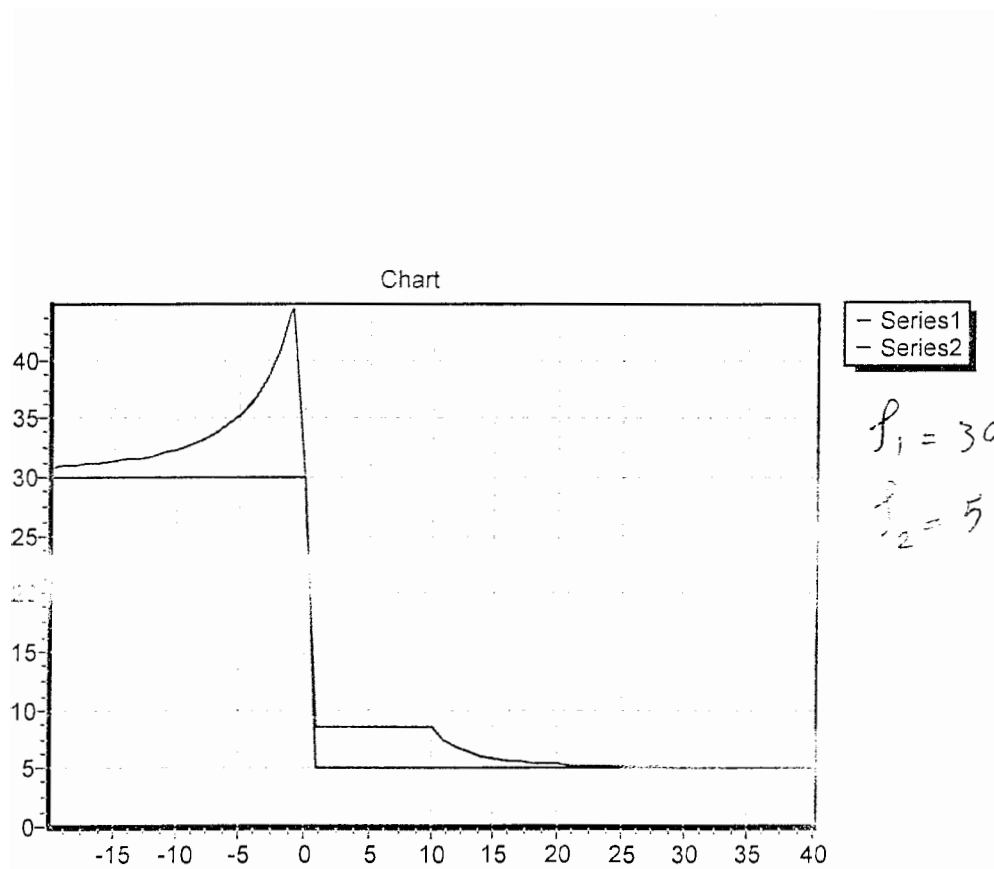
منحنی مقاومت ویژه حاصل از پیمایش یک گسل به روش وئر



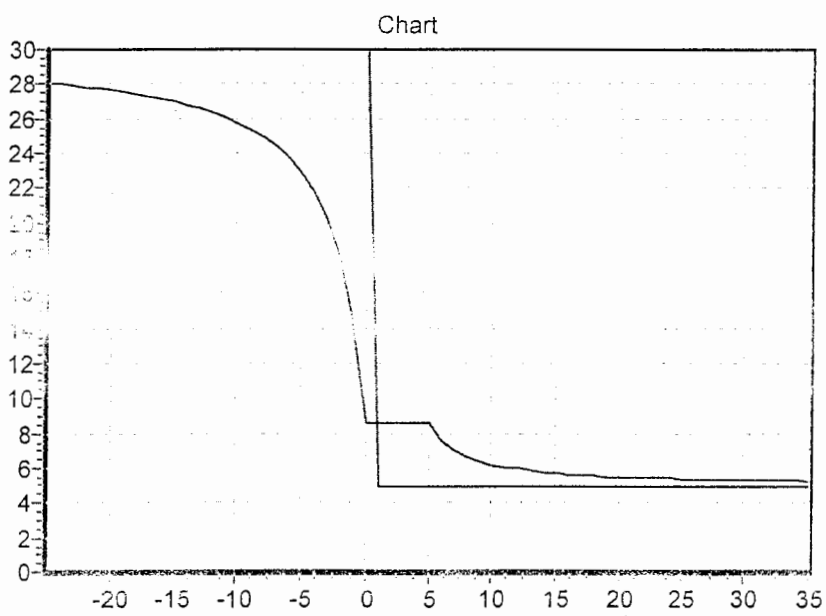
منحنی مقاومت ویژه حاصل از پیمایش یک گسل به روش شلومبرگر



منحنی مقاومت ویژه حاصل از پیمایش یک گسل به روش دایپل-دایپل



منحنی مقاومت ویژه حاصل از پیمایش یک گسل به روش پل-دایپل

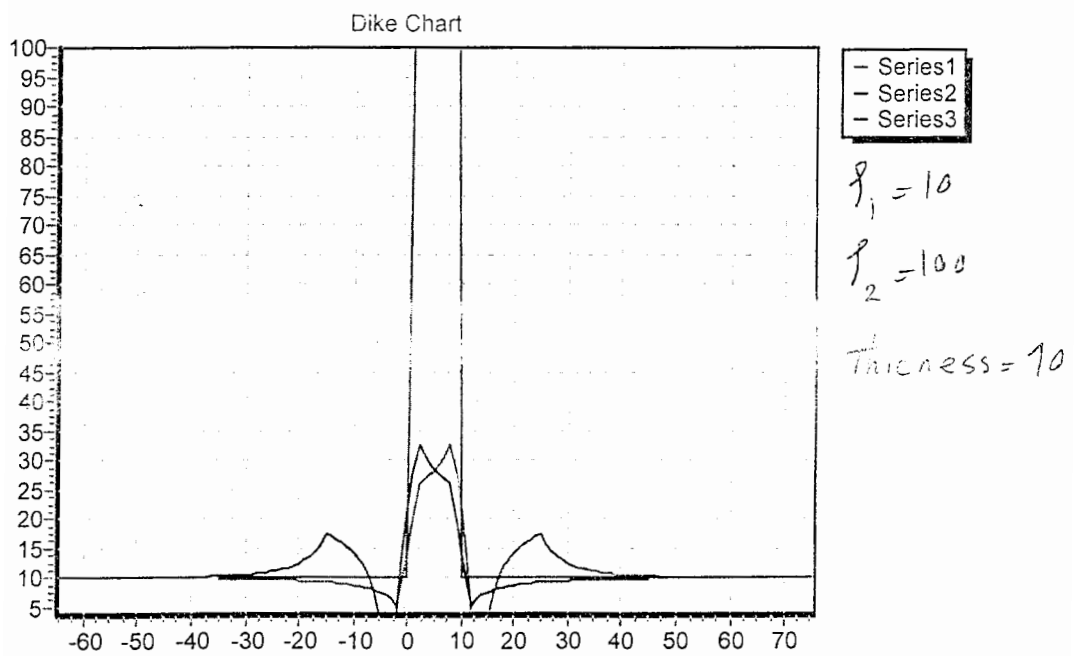


- Series1
- Series2

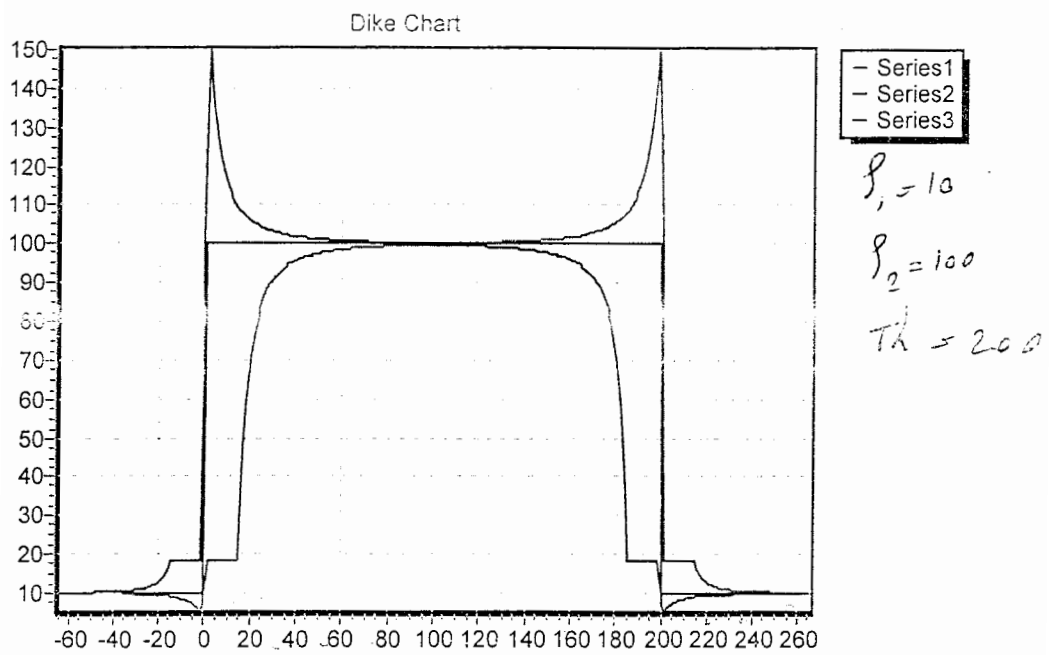
$$f_1 = 30$$

$$f_2 = 5$$

منحنی مقاومت ویژه حاصل از پیمایش یک گسل به روش پل-پل



منحنی مقاومت ویژه حاصل از پیمایش یک دایک نازک به روش وئر



منحنی مقاومت ویژه حاصل از پیمایش یک دایک ضخیم به روش وئر