



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان پایان نامه : اکتشاف گسل پنهان شاهرود در محدوده دره
کال قرنو با استفاده از روش ژئوالکتریک

گردآورنده : حمید رضا ترکمنچه

استاد راهنما : دکتر ایرج پیروز

استاد مشاور : دکتر مجید انصاری

بهار ۱۳۸۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به :

همسرم، مادر و خواهر ارشدم که دلسوزانه مرا تکیه گاهی بودند برای پیمودن مسیر پر پیچ و خم زندگی که در اوج خستگی و ناامیدی تنها پناه امن من برای آرام گرفتن بودند.

تقدیر و تشکر:

در اینجا بسیار شایسته است که از جناب دکتر ایرج پیروز که هدایت مرا در این پروژه برعهده داشتند و جناب دکتر مجید انصاری که زحمت مشاوره مرا متحمل شدند و سایر اساتید بزرگوار گروه معدن و ژئوفیزیک که در این برهه از تحصیل از محضرشان فیض بردم کمال تشکر و قدر دانی را دارم و آرزوی موفقیت روز افزون این عزیزان را در عرصه زندگی و تداوم گسترش علم خواهانم.

چکیده

برداشت های این تحقیق در منطقه شمال غرب شاهرود در دره کال قرنو (ذوب آهن) به منظور اکتشاف گسل پنهان شاهرود، در بهار ۸۴ و پائیز ۸۵ انجام گرفته است. با توجه به اینکه گسل خوردگی باعث تغییرات جانبی مقاومت ویژه در لایه های زیر سطحی زمین می شود لذا روش اکتشافی منتخب، روش مقاومت ویژه و از میان همه آرایه های ممکن، آرایش ونر و لی پارتیشن از اهمیت خاصی برای شناسایی شکستگی ها و یا گسلهای مدفون و همچنین تعیین راستای چنین شکستگی هایی برخوردار است که از مزایای آن می توان به سادگی اجرا، سرعت بالا، قدرت تفکیک جانبی بالا و سادگی تفسیر، اشاره کرد. لذا تعبیر و تفسیر داده های صحرایی مقاومت ویژه که با آرایه ونر بصورت پروفیل زنی و سونداژ زنی الکتریکی برداشت شده است، بصورت کیفی و کمی در این پایان نامه ارائه می شود.

در روش پروفیل زنی افقی با عبور هر یک از الکترودهای پتانسیل یا جریان از روی مرز گسل در روی سطح زمین، یک نا پیوستگی بر روی منحنی پروفیل مقاومت ویژه ظاهری آشکار می شود که با کمک هر یک از آنها می توان محل گسل و خصوصیات شیب آنرا مشخص نمود. در روش سونداژ الکتریکی، در روی نمودار مربوطه دو نا پیوستگی خواهیم داشت که یکی مربوط به عبور الکتروود جریان و یکی مربوط به عبور الکتروود پتانسیل از روی گسل می باشد.

نتایج تفسیر داده های مقاومت ویژه با آرایه ونر و لی پارتیشن در امتداد پروفیل های مربوطه، تشابه مطلوبی با منحنی های تئوریک مربوط به اکتشاف گسل دارد که این امر وجود گسل را در منطقه مزبور تایید می کند. همچنین نوع، شیب و راستای گسل با توجه به منحنی های تئوریک تعیین شده است.

فهرست مطالب

فصل اول

کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- سوابق کارهای انجام شده در منطقه	۴
۳-۱- سابقه و ضرورت انجام تحقیق	۴
۴-۱- اهداف پایان نامه	۵
۵-۱- تعریف مساله و بیان سوالهای اصلی تحقیق	۵
۶-۱- روش انجام تحقیق	۶
۷-۱- ساختار پایان نامه	۷
۸-۱- روش مقاومت ویژه	۷
۱-۸-۱- مقدمه	۷
۲-۸-۱- اصول روش مقاومت ویژه	۱۰
۳-۸-۱- خواص الکتریکی مواد	۱۲
۴-۸-۱- انواع آرایش‌های الکتروودی	۱۵
۵-۸-۱- مقایسه اندازه‌گیریهای حاصل از آرایش‌های الکتروودی مختلف	۱۸
۶-۸-۱- عمق تجسس	۲۰
۷-۸-۱- روش‌های تعبیر و تفسیر تحلیلی	۲۰
۸-۸-۱- توضیح اصل اختفاء	۲۳
۹-۸-۱- کاربرد روشهای مقاومت ویژه	۲۳

فصل دوم

- ۲- آشنائی با منطقه مورد مطالعه ۲۵
- ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه ۲۶
- ۲-۲- راههای دسترسی به منطقه ۲۷۰
- ۲-۳- ریخت شناسی ۲۷
- ۲-۴- زمین ریخت شناسی ۲۷
- ۲-۵- موقعیت منطقه در زمین شناسی ایران ۲۹
- ۲-۶- زمین شناسی ساختمانی منطقه ۳۰
- ۲-۶-۱- چین خوردگیهای منطقه ۳۰
- ۲-۶-۲- گسل های منطقه ۳۱
- ۲-۶-۲-۱- گسل راندگی شاهرود ۳۱
- ۲-۷- واحد های زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ۳۴
- ۲-۷-۱- واحد سازند لار (J_1) - ژوراسیک میانی - بالایی ۳۶
- ۲-۷-۲- واحد Ku^1 ۳۶
- ۲-۷-۳- واحد Q^1 ۳۶

فصل سوم

- ۱- استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها ۳۷
- ۳-۱- استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها ۳۸
- ۳-۱-۱- تاثیر فاصله بین ایستگاههای برداشت داده ها در تغییر شکل منحنی صحرایی ۳۸
- ۳-۱-۲- کاربرد نظریه تصاویر الکتریکی در حل مسائل مربوط به گسلها ۴۰
- ۳-۱-۳- محاسبه منحنی های تئوری برای گسلهای قائم ۴۱

۴۵	.....	۴-۱-۳- محاسبه منحنی های تئوری برای گسلهای مایل
۴۶	.....	۵-۱-۳- اشکال منحنی های تئوری پروفیل زنی برای گسلها
۴۶	.....	۱-۵-۱-۳- شکل منحنی تئوری پروفیل زنی برای گسل قائم
۵۰	.....	۲-۵-۱-۳- شکل منحنی تئوری پروفیل زنی برای گسل شیبدار
۵۳	.....	۳-۵-۱-۳- شکل منحنی پروفیل زنی با آرایش لی برای یک گسل با شیب $\phi_1 = 45^\circ$
۵۵	.....	۶-۱-۳- کاربرد منحنی های تئوری سونداژ الکتریکی دراکتشاف گسلها
۵۵	.....	۱-۶-۱-۳- شکل منحنی تئوری سونداژ الکتریکی با آرایش ونر در کنار گسل قائم
۵۸	.....	۲-۶-۱-۳- شکل منحنی تئوری سونداژ الکتریکی با آرایش لی در کنار گسل قائم
		۳-۶-۱-۳- شکل منحنی های تئوری سونداژ الکتریکی با آرایش های ونر و لی در کنار یک گسل شیبدار
۶۰	.....	
۶۵	.....	۲-۳- اندازه گیری داده ها و تفسیر کیفی آنها
۶۵	.....	۱-۲-۳- اندازه گیری و برداشت داده های صحرایی
۶۵	.....	۲-۲-۳- تفسیر کیفی
۶۷	.....	۳-۲-۳- تفسیر کیفی داده های سونداژ الکتریکی
۶۷	.....	۱-۳-۲-۳- سونداژ S1
۶۹	.....	۲-۳-۲-۳- سونداژ S2
۷۰	.....	۳-۳-۲-۳- سونداژ S3
۷۲	.....	۴-۳-۲-۳- سونداژ S4
۷۳	.....	۵-۳-۲-۳- سونداژ S5
۷۵	.....	۶-۳-۲-۳- سونداژ S6
۷۶	.....	۷-۳-۲-۳- سونداژ S7
۷۸	.....	۸-۳-۲-۳- سونداژ S8

۷۹	.....	S9 - سونداژ ۹-۳-۲-۳
۸۱	.....	S10 - سونداژ ۱۰-۳-۲-۳
۸۲	.....	۴-۲-۳ - تفسیر کیفی داده های پروفیل زنی
۸۳	.....	P1 - پروفیل ۱-۴-۲-۳
۸۵	.....	P2 - پروفیل ۲-۴-۲-۳
۸۷	.....	P3 - پروفیل ۳-۴-۲-۳
۸۹	.....	P4 - پروفیل ۴-۴-۲-۳
۹۱	.....	P5 - پروفیل ۵-۴-۲-۳
۹۴	.....	۳-۳ - شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری

فصل چهارم

۹۸	.....	تفسیر کمی داده ها
۹۸	.....	۱-۴ - نرم افزارهای مورد استفاده برای مدلسازی معکوس
۹۸	.....	۱-۱-۴ - نرم افزار Resix
۹۹	.....	۲-۱-۴ - نرم افزار Res2Dinv
۱۰۱	.....	۲-۴ - مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه
۱۰۲	.....	۱-۲-۴ - مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S1
۱۰۳	.....	۲-۲-۴ - مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S2
۱۰۵	.....	۳-۲-۴ - مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S3
۱۰۶	.....	۴-۲-۴ - مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S4
۱۰۸	.....	۵-۲-۴ - مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S5
۱۱۰	.....	۶-۲-۴ - مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S6

۱۱۱	.....	۷-۲-۴- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S7
۱۱۳	.....	۸-۲-۴- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S8
۱۱۵	.....	۹-۲-۴- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S9
۱۱۷	.....	۱۰-۲-۴- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S10
۱۱۸	.....	۳-۴- نتایج مدلسازی دوبعدی سونداژها

فصل پنجم

۱۲۲	.....	نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۲۳	.....	۱-۵- نتیجه گیری
۱۲۵	.....	۲-۵- پیشنهادات
۱۲۶	.....	فهرست منابع و مآخذ
۱۲۸	.....	پیوستها
۱۲۸	.....	پیوست الف
۱۴۱	.....	پیوست ب
۱۵۹	.....	پیوست ج
۱۶۰	.....	چکیده پایان نامه به انگلیسی

فهرست اشکال و جداول

- جدول ۱-۱: مقاومت ویژه بعضی از سنگها و مواد معدنی ۱۴
- شکل ۱-۱: نحوه قرار گیری الکترودها در آرایشهای ونر، شلومبرگر و دایپل - دایپل ۱۷
- شکل ۱-۲: عکس هوایی گسل مورد مطالعه ۳۲
- شکل ۲-۲: عکس ماهواره‌های گسل مورد مطالعه ۳۳
- شکل ۳-۲: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (دره کال قرنو) ۳۵
- شکل ۱-۳: مقایسه میان یک منحنی صحرایی با فاصله ایستگاهی $a/2$ و منحنی تئوری آن برای یک گسل قائم در روش پروفیل زنی افقی با آرایش ونر ۳۹
- شکل ۲-۳: مقایسه مسائل نوری با مسائل الکتریکی ۴۰
- شکل ۳-۳: نمایش هر یک از الکترودها در عبور از روی مرز گسل قائم در پروفیل زنی افقی ... ۴۳
- شکل ۴-۳: تصویر یک گسل شیب دار و مشخصات آن در مختصات استوانه ای ۴۶
- شکل ۵-۳: منحنی های تئوری هدایت ویژه و مقاومت ویژه به روش پروفیل زنی افقی و با آرایش ونر برای یک گسل قائم ۴۷
- شکل ۶-۳: شکل منحنی های تئوری مقاومت ویژه الکتریکی به روش پروفیل زنی افقی و با آرایش ونر برای گسل مایل ۵۱
- شکل ۷-۳: منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش پروفیل زنی افقی و با آرایش لی و ونر ۵۴
- شکل ۸-۳: منحنی های تئوری مقاومت ویژه و هدایت ویژه به روش سونداژ الکتریکی و با آرایش ونر بر روی گسل قائم ۵۷
- شکل ۹-۳: منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش سونداژ الکتریکی و با آرایش لی بر روی گسل قائم ۶۰

- شکل ۳-۱۰: منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش سونداژ الکتریکی و با روش های لی و ونر در امتداد عمود بر امتداد گسل با زاویه شیب $\phi_1 = 45^\circ$ ۶۲
- شکل ۳-۱۱: منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش سونداژ الکتریکی و با آرایش ونر در امتداد عمود بر فصل مشترک دو محیط ۶۴
- شکل ۳-۱۲: محل برداشت داده های سونداژ زنی با آرایش ونر در منطقه مورد مطالعه ۶۶
- شکل ۳-۱۳: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری آرایش لی چپ و راست سونداژ S1 بر حسب افزایش الکترودی a ۶۸
- شکل ۳-۱۴: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S2 بر حسب افزایش الکترودی a ۷۰
- شکل ۳-۱۵: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S3 بر حسب افزایش الکترودی a ۷۱
- شکل ۳-۱۶: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری آرایش ونر سونداژهای S1 تا S6 بر حسب افزایش الکترودی a ۷۲
- شکل ۳-۱۷: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S4 بر حسب افزایش الکترودی a ۷۳
- شکل ۳-۱۸: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S5 بر حسب افزایش الکترودی a ۷۴
- شکل ۳-۱۹: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S6 بر حسب افزایش الکترودی a ۷۵
- شکل ۳-۲۰: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S7 بر حسب افزایش الکترودی a ۷۷

- شکل ۳-۲۱ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری آرایش ونر سونداژهای S7 و S8 بر حسب افزایش الکترودی a ۷۷
- شکل ۳-۲۲ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S8 بر حسب افزایش الکترودی a ۷۸
- شکل ۳-۲۳ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S9 بر حسب افزایش الکترودی a ۸۰
- شکل ۳-۲۴ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری آرایش ونر سونداژهای S9 و S10 بر حسب افزایش الکترودی a ۸۰
- شکل ۳-۲۵ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S10 در بر حسب الکترودی a ۸۱
- شکل ۳-۲۶ : محل برداشت داده های مقاومت ویژه پروفیل زنی با آرایش ونر در منطقه مورد مطالعه ۸۳
- شکل ۳-۲۷ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P1 با آرایش ونر ۸۴
- شکل ۳-۲۸ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P1 ۸۵
- شکل ۳-۲۹ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P2 با آرایش ونر ۸۶
- شکل ۳-۳۰ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P2 ۸۷
- شکل ۳-۳۱ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P3 با آرایش ونر ۸۸
- شکل ۳-۳۲ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P3 ۸۹
- شکل ۳-۳۳ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P4 با آرایش ونر ۹۰
- شکل ۳-۳۴ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P4 ۹۱
- شکل ۳-۳۵ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P5 با آرایش ونر ۹۲
- شکل ۳-۳۶ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P5 ۹۳

- شکل ۳-۳۷ : شبه مقطع از سونداژهای $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ و S_7 ۹۵
- شکل ۳-۳۸ : شبه مقطع از سونداژهای $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ و S_7 ۹۵
- شکل ۴-۱ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S_1 ۱۰۲
- شکل ۴-۲ : مدل زمین مربوط به سونداژ S_1 ۱۰۳
- شکل ۴-۳ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S_2 ۱۰۴
- شکل ۴-۴ : مدل زمین مربوط به سونداژ S_2 ۱۰۴
- شکل ۴-۵ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S_3 ۱۰۵
- شکل ۴-۶ : مدل زمین مربوط به سونداژ S_3 ۱۰۶
- شکل ۴-۷ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S_4 ۱۰۷
- شکل ۴-۸ : مدل زمین مربوط به سونداژ S_4 ۱۰۷
- جدول ۴-۱ : مقادیر پارامترهای مدل و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S_4 ۱۰۸
- شکل ۴-۹ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S_5 ۱۰۹
- شکل ۴-۱۰ : مدل زمین مربوط به سونداژ S_5 ۱۰۹
- شکل ۴-۱۱ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S_6 ۱۱۰
- شکل ۴-۱۲ : مدل زمین مربوط به سونداژ S_6 ۱۱۱
- شکل ۴-۱۳ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S_7 ۱۱۲
- شکل ۴-۱۴ : مدل زمین مربوط به سونداژ S_7 ۱۱۲
- جدول ۴-۲ : مقادیر پارامترهای مدل و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S_7 ۱۱۳
- شکل ۴-۱۵ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S_8 ۱۱۴
- شکل ۴-۱۶ : مدل زمین مربوط به سونداژ S_8 ۱۱۴
- جدول ۴-۳ : مقادیر پارامترهای مدل و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S_9 ۱۱۵
- شکل ۴-۱۷ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S_9 ۱۱۶

- شکل ۴-۱۸ : مدل زمین مربوط به سونداژ S9 ۱۱۶
- شکل ۴-۱۹ : مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S10 ۱۱۷
- شکل ۴-۲۰ : مدل زمین مربوط به سونداژ S10 ۱۱۸
- شکل ۴-۲۱ : مدلسازی دو بعدی پروفیل شرقی - غربی سونداژهای $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_{10}$.. ۱۲۰
- شکل ۴-۲۲ : مدلسازی دو بعدی پروفیل شمال غربی - شمال شرقی سونداژهای S_8, S_7, S_9 و ۱۲۱
- شکل ۵-۱ : موقعیت گسل بر روی هر یک از پروفیل ها ۱۲۴

نمادها:

a : فاصله الکترودی در آرایش ونر
 A, B : مقادیر ثابت در جوابهای معادله دیفرانسیل
 C_1, C_2 : الکترودهای جریان
 C', C'' : تصاویر الکترودهای جریان
 e : مقدار ثابت 2.718
 I : شدت جریان الکتریکی
 E : شدت میدان الکتریکی
 j : چگالی جریان
 k : ضریب انعکاس فصل مشترک دو محیط
 P_1, P_2 : الکترودهای پتانسیل
 R : مقاومت بین دو سطح هم پتانسیل
 r : فاصله شعاعی در مختصات استوانه ای
 r_0 : فاصله الکترودهای جریان از مبدأ مختصات (محل گسل)
 r_1 : فاصله الکترودهای پتانسیل از مبدأ مختصات (محل گسل)
 U : پتانسیل الکتریکی
 U_{1A} : پتانسیل در محیط اول در نتیجه الکترودهای جریان در محیط اول
 U_{2A} : پتانسیل در محیط دوم در نتیجه الکترودهای جریان در محیط اول
 ΔV : اختلاف پتانسیل الکتریکی
 ρ : مقاومت ویژه
 ρ_1, ρ_1', ρ'' : مقاومت ویژه محیط های مختلف
 ρ_a : مقاومت ویژه ظاهری
 φ : زاویه آزیموتی در مختصات استوانه ای
 φ_1 : زاویه شیب گسل
 K : فاکتور هندسی
 MN : فاصله بین الکترودهای پتانسیل
 AB : فاصله بین الکترودهای جریان

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه:

گسلها یکی از ساختارهای مهم زمین شناسی به شمار می آیند که شناخت آنها از جنبه های مختلف حائز اهمیت می باشد.

از آنجا که تشکیل بسیاری از مواد معدنی با گسلها در ارتباط می باشند، در پی جویی های مواد معدنی، شناسایی گسلها و زونهای گسلی می تواند در این زمینه کمک نمایند.

در اکتشافات آبهای زیر زمینی در سنگهای کریستالین، آذرین و دگرگونی بدلیل تخلخل کم این سنگها (کمتر از ۳ درصد در صورتی که هوازده نشده باشند)، نمی توانند آبخوان مناسبی را تشکیل دهند و لذا جهت اکتشاف آبهای زیرزمینی در این نوع سنگها بایستی بدنبال زونهای گسلی بود؛ زیرا این ساختارها معبر مناسبی برای عبور آبهای زیر زمینی می باشند.

در مطالعات مقدماتی جهت ساخت و سازها نیز شناخت گسلهای منطقه بسیار مهم می باشد، زیرا که بسیاری از زمین لرزه ها با زونهای گسلی در ارتباط نزدیک می باشند و بنابراین در ساخت تاسیسات مهم صنعتی و احداث شهرهای جدید بایستی گسلهای نزدیک به منطقه را در نظر داشت.

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا می توان گفت که شناخت واکتشاف گسلها از اهمیت خاصی برخوردار بوده و در این میان اکتشافات ژئوفیزیکی و خصوصاً ژئوالکتریکی بدلیل هزینه پایین و دقت بالای آن می تواند راه گشا باشد.

روش ژئوالکتریک یکی از روشهای ژئوفیزیکی می باشد که در آن از یک منبع جریان مصنوعی جهت اکتشافات زیر سطحی استفاده می شود.

در این روش آرایشهای الکترودی مختلفی را می توان بکار برد. یکی از آرایشهای الکترودی مناسب که در اکتشاف ناهمگنی های جانبی می تواند بکار برده شود، آرایش ونر و نوع تعمیم یافته آن تقسیم لی می باشد که بدلیل سادگی اجرا، سرعت بالا، قدرت تفکیک جانبی بالا و سادگی تفسیر، کاربردهای بسیاری دارد.

در این پایان نامه جهت اکتشاف گسلها اعم از قائم و مایل، روش پروفیل زنی افقی و روش سونداژ الکتریکی با آرایشهای ونر^۱ و نوع تعمیم یافته آن (تقسیم لی^۲) بکار گرفته شده اند و از روش مقایسه منحنیهای صحرایی با منحنی تئوری مناسب جهت تعیین محل گسل، مقدار شیب و جهت شیب آن استفاده شده است.

در روش پروفیل زنی افقی با عبور هر یک از الکترودهای پتانسیل یا جریان از روی مرز گسل در روی سطح زمین، یک نا پیوستگی بر روی منحنی پروفیل مقاومت ویژه ظاهری آشکار می شود که با کمک هر یک از آنها می توان محل گسل و خصوصیات شیب آن را مشخص نمود. در روش سونداژ الکتریکی، دو نا پیوستگی خواهیم داشت که یکی مربوط به عبور الکترود جریان و یکی مربوط به عبور الکترود پتانسیل از روی مرز گسل می باشد. لازم به ذکر است که در تعیین محل دقیق گسلها و دایکها، فاصله بین ایستگاهها بسیار مهم می باشد و چنانچه این فاصله کمتر از $a/2$ باشد، (a فاصله الکترودی در آرایش ونر) انطباق خوبی میان منحنی صحرایی و منحنی تئوری مربوط به آن وجود خواهد داشت.

^۱ - Wenner
^۲ - Lee Partitioning

۲-۱- سوابق کارهای انجام شده در منطقه

در این زمینه دو مورد تحقیقاتی انجام شده است:

- مورد اول مطالعه ژئوفیزیکی مقاومت ویژه با دو آرایش نیم شلومبرگر متقارن برای اکتشاف آبهای زیر زمینی در زمین های سخت (کارست) که توسط دکتر پیروز، در سال ۱۳۸۲ انجام شده است. طول خط پروفیل در این مطالعه ۱۴۰ متر بوده است و مبدأ آن نیز در فاصله ۶۰ متری غرب چاه آبی که در منطقه به نام چاه آب ذوب آهن معروف است قرار دارد. (این چاه توسط مهندسین روسی در سال ۱۳۶۰ حفر شده است). نتیجه بدست آمده از این تحقیق، ضخامت آبرفت در محل چاه ذوب آهن را ۲۳ متر نشان می دهد که با نتایج بدست آمده از حفاری تطبیق خوبی دارد [۱۱].

- دومین مورد مطالعه در دره کال قرنو در غالب پایان نامه کارشناسی ارشد در سال ۸۳ صورت گرفته است. در این تحقیق به بررسی قابلیت های آرایه مربعی در تعیین محل راستای شکستگی های پنهان انجام شده است. طول ضلع آرایه مربعی ۶۰ متر بوده و تمامی پروفیل ها روی یک خط راست با آزیموت ۸۸ درجه برداشت شده است. مبدا خط پروفیل در فاصله ۶۶ متری غرب چاه و فواصل ایستگاه ها روی خط پروفیل ۲۵ متر در نظر گرفته شده است [۱۲].

۳-۱- سابقه و ضرورت انجام تحقیق

در رابطه با گسل پنهان شاهرود تا کنون هیچگونه تحقیقات ژئوفیزیکی در منطقه یاد شده انجام نگرفته است. با توجه به نزدیک بودن محل مورد مطالعه به منطقه مسکونی شهرستان شاهرود، با شناسایی این گسل می توان بروز خطرات احتمالی را پیش بینی کرد و تدابیر لازم را جهت پیشگیری از خسارتهای احتمالی ناشی از وقوع زلزله اندیشید.

۱-۶- روش انجام تحقیق

برای انجام این تحقیق (اکتشاف گسل شاهرود در دره کال قرنو)، ابتدا اطلاعاتی از قبیل مطالعات زمین شناسی، زمین شناسی ساختمانی، چینه شناسی و عکس های هوایی و ماهواره ای منطقه مورد مطالعه، جمع آوری گردید. سپس برداشت داده های ژئوالکتریکی در دره کال قرنو، با استفاده از سونداژ زنی و پروفیل زنی، با آرایش ونر و همچنین تقسیم لی انجام شد.

برای شناسایی محل تقریبی گسل و دید کلی از منطقه ابتدا برداشتهای مقاومت ویژه به صورت پروفیل زنی با آرایش لی و ونر با فاصله الکترودی زیاد، حدود $a = 40m$ و جابجایی الکترودی $d = 40m$ انجام شد. پس از اینکه محل تقریبی گسل شناسایی شد، سپس، پروفیل زنی با فاصله الکترودی کمتر و سونداژ زنی در نقاط مختلف (چپ و راست گسل)، جهت بدست آوردن جزئیات بیشتر از گسل مورد نظر، انجام شد. راستای کلیه برداشتهای الکتریکی چه پروفیل زنی و چه سونداژزنی امتداد گسل را قطع کرده یا تقریباً عمود بر امتداد گسل می باشند.

از آنجا که تفسیر به روش دستی وقت گیر، مشکل و دارای خطا می باشد، لذا در این پروژه برای مدلسازی یک بعدی از نرم افزار Resix و برای مدلسازی دو بعدی از نرم افزار Res2DInv استفاده شده است.

ابتدا جهت بدست آوردن اطلاعات کلی و کیفی از وضعیت گسل مورد نظر، تفسیر کیفی داده های مقاومت ویژه با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد. سپس بعد از پردازش داده ها، برای مدلسازی یک بعدی، از نرم افزار Resix استفاده شده است. همچنین از داده های سونداژ واقع بر یک خط اندازه گیری، با استفاده از نرم افزار Res2DInv، برای معکوس سازی دو بعدی و تهیه مقطع ژئوالکتریک بکار گرفته شده است.

در پایان با استفاده از نتایج تفسیر کیفی و کمی داده های مقاومت ویژه، محل گسل، راستا، شیب و نوع آن با تقریب خوبی مشخص گردیده است.

۷-۱- ساختار پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر ۵ فصل می باشد که فصل نخست آن با عنوان کلیات مشتمل بر سوابق کارهای انجام شده در منطقه، اهداف پایان نامه، تعریف مساله و بیان سوالهای اصلی تحقیق، روش انجام تحقیق و توضیحی مختصر درباره روش مقاومت ویژه می باشد. فصل دوم با عنوان آشنائی با منطقه مورد مطالعه می باشد. فصل سوم با عنوان استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها است. فصل چهارم با عنوان تفسیر کمی داده ها می باشد و در نهایت در فصل پنجم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات پرداخته شده است. در پیوست این پایان نامه، مختصری بر مدلسازی و همچنین داده های حاصل از برداشت صحرائی این پروژه آورده شده است.

۸-۱- روش مقاومت ویژه

۸-۱-۱- مقدمه:

روشهای ژئوالکتریک نسبت به سایر روشهای ژئوفیزیکی دارای تنوع بیشتری می باشد. برخی از روشهای ژئوالکتریک از منابع انرژی الکتریکی طبیعی استفاده می کنند؛ مانند روش پتانسیل خودزا^۳ (sp)، تلوریک و مگنتوتلوریک. برخی دیگر از روشهای ژئوالکتریک نیاز به ایجاد میدان الکتریکی به طور مصنوعی دارند مانند روش پلاریزاسیون القایی (IP) و مقاومت ویژه [۱].

^۳ -Self-potential

از رابطه اخیر برای تعیین مقاومت ویژه مواد همگن با اشکال هندسی منظم استفاده می شود. اگر در رابطه (۳-۱) طول L و سطح مقطع A آنقدر کوچک شوند که به یک مقدار حدی نزدیک شوند داریم:

$$\rho = \frac{\lim_{L \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{L}}{\lim_{A \rightarrow 0} \frac{I}{A}} \Rightarrow \rho = \frac{E}{j} \quad (\text{رابطه ۴-۱})$$

که در آن E = میدان الکتریکی و j = چگالی جریان می باشد.

واحد مقاومت ویژه در سیستم M.K.S اهم متر و در سیستم C.G.S اهم سانتیمتر می باشد. دامنه تغییرات مقاومت ویژه سنگها بسیار وسیع است. سنگها و کانیهای که مقاومت ویژه آنها بین 10^{-6} تا 10^{-1} اهم- متر باشد هادی های خوب، سنگها و کانیهای که مقاومت ویژه آنها بین 1 تا 10^6 اهم- متر باشد هادی های متوسط و سنگها و کانیهای که مقاومت ویژه آنها بین 10^7 تا 10^{15} اهم- متر باشد را هادی های بد گویند [۱].

خطوط هم پتانسیل^۵: اگر جریان الکتریکی I توسط دو الکترود جریان A و B که به فاصله AB از هم قرار دارند به داخل زمین تزریق شود، جریان الکتریسته معمولاً از الکترود مثبت A به سمت الکترود منفی B حرکت می کند [۱].

خطوط فرضی هم پتانسیل همیشه بر خطوط جریان عمودند. در روی خطوط هم پتانسیل، مقدار اختلاف پتانسیل (ΔV) اندازه گیری شده، صفر است. به سطحی که در روی آن ΔV یکسان باشد، سطح هم پتانسیل^۶ گفته می شود. اگر محیط هادی و همگن باشد مقدار اختلاف پتانسیل اندازه گیری

^۵ - Equipotential lines

^۶ - Equipotential surface

شده در نقطه C (وسط AB)، درست نصف مقدار آن در نقطه B خواهد بود و این مقدار در طول یک صفحه قائم از سطح تا اعماق زمین همواره یکسان است [۳].

قابلیت هدایت سنگهای زیرسطحی یا ناهمگنیهای جانبی در مقاومت ویژه باعث انحراف و کج شدگی خطوط جریان شده و این خود باعث بی‌نظمی و کج شدگی سطوح هم پتانسیل می‌شود. این بی‌نظمی‌ها را می‌توان به راحتی در سطح زمین توسط الکترودهای پتانسیل اندازه گرفت.

۱-۸-۲- اصول روش مقاومت ویژه:

جریان الکتریکی یکی از الکترودها (A) را در داخل محیط ایزوتوپ و همگن با مقاومت ویژه معین در نظر می‌گیریم. جریان الکتریکی به صورت نیمکره‌هایی در داخل زمین پخش می‌شود. حال می‌خواهیم افت پتانسیل را در نقطه P که به فاصله r از الکترودهای جریان A می‌باشد را محاسبه نمائیم. چگالی جریان برابر است با [۲]:

$$j = \frac{I}{A} = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (\text{رابطه ۱-۷})$$

اگر افت پتانسیل در نقطه P (نسبت به نقطه A) V_r و افت پتانسیل در یک فاصله بسیار جزئی dr فرض گردد، اختلاف پتانسیل در دو نقطه برابر است با:

$$\Delta V = V_r - (V_r + dV) = -dV + RI \Rightarrow dV = -RI = -\rho \frac{dr}{2\pi r^2} \cdot I$$

$$\Rightarrow dV = -\frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{dr}{r^2}$$

اگر از رابطه فوق انتگرالگیری شود، افت پتانسیل در نقطه P به فاصله r از بدست می‌آید:

$$V_r = -\frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \quad (\text{رابطه ۱-۸})$$

حال می‌خواهیم اختلاف پتانسیل هر نقطه از سطح زمین را در رابطه با یک جفت الکتروود جریان A و B محاسبه کنیم. اگر دو الکتروود جریان A و B و دو الکتروود پتانسیل M و N را در سطح زمین در نظر بگیریم، اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود M و N به شرح ذیل قابل محاسبه خواهد بود [۱]:

$$\begin{aligned} \text{پتانسیل در نقطه M [۳]:} \quad & \begin{cases} V_M^A = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{AM} \\ V_M^B = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{BM} \end{cases} \Rightarrow V_M^{A,B} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \\ \text{پتانسیل در نقطه N [۳]:} \quad & \begin{cases} V_N^A = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{AN} \\ V_N^B = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{BN} \end{cases} \Rightarrow V_N^{A,B} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \end{aligned}$$

اختلاف پتانسیل کل اندازه‌گیری شده توسط الکتروودهای M, N به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta V_{MN}^{A,B} = V_M^{A,B} - V_N^{A,B} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\rho = \left(\frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \right) \frac{\Delta V}{I} \quad \text{(رابطه ۹-۱):}$$

به عبارت $\frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$ ، فاکتور هندسی آرایش الکتروودی گویند و معمولاً آن را با

حرف K نمایش می‌دهند. رابطه (۹-۱) را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{(رابطه ۱۰-۱):}$$

اگر ρ در یک محیط ایزوتوپ و همگن اندازه‌گیری شود آن را مقاومت ویژه واقعی^۷ می‌نامند. اما اگر اندازه‌گیری در یک محیط ناهمگن و آنیزوتروپ صورت گیرد آن را مقاومت ویژه ظاهری^۸ می‌نامند. مقدار مقاومت ویژه ظاهری تابعی از متغیرهای زیر می‌باشد:

۱- فواصل بین الکترودها (BN , AN , BM , AM)

۲- وضعیت هندسی آرایش الکترودها

۳- مقاومت ویژه واقعی و هم چنین ضخامت، شیب و خواص ایزوتروپی لایه‌ها [۱].

۱-۸-۳- خواص الکتریکی مواد

جریان الکتریکی در مواد زمین در اعماق کم به دو روش هدایت الکترونی و هدایت الکترولیتی جریان می‌یابد. در هدایت الکترونی، شارش جریان توسط الکترونهای آزاد صورت می‌گیرد. هدایت الکترونی، هنگامی که کانیهای رسانا مانند سولفیدهای فلزی و گرافیت موجود باشند دارای اهمیت می‌باشند. در هدایت الکترولیتی، شارش جریان به خاطر جابجایی یونها در آب زیر زمینی انجام می‌شود.

مقاومت ویژه بعضی از سنگها و مواد معدنی در جدول ۱-۱ نشان داده شده است. سنگهای آذرین و دگرگونی دارای مقادیر بالای مقاومت ویژه می‌باشند. مقاومت ویژه این گونه از سنگها به میزان خرد شدگی و در صد شکستگی‌های پر شده از آب وابسته است. بنابراین نوع مشخصی از سنگ می‌تواند محدوده وسیعی از مقاومت ویژه، از حدود ۱۰۰۰ تا ۱۰ میلیون اهم متر، با توجه به خشک یا مرطوب بودن آن، داشته باشد. این ویژگی در تعیین زونهای خردشده و ساختارهای هوازده دیگر، در کاوشهای مهندسی و آب زیر زمینی مفید است [۷]. سنگهای رسوبی، که معمولاً متخلخل بوده و دارای محتوای زیادتری می‌باشند، بطور معمول مقاومت ویژه کمتری در مقایسه با سنگهای آذرین و دگرگونی

۷ - True resistivity

۸ - Apparent resistivity

$10-10000 \Omega m$ ، ولی اکثراً زیر $1000 \Omega m$ می باشد. رسوبات نامتراکم عموماً مقادیر مقاومت ویژه کمتر نسبت به سنگهای رسوبی و گستره مقادیر $10 \Omega m$ تا کمتر از $1000 \Omega m$ دارند. خاکهای مرطوب و زمین های آبدار مقدار مقاومت ویژه کمتری دارند. خاکهای رسی معمولاً مقاومت ویژه پایین تری نسبت به خاکهای ماسه ای دارند. اما نکته اینکه، انواع سنگها و خاک ها، مقدار مقاومت ویژه همدیگر را پوشش می دهند. این بدین دلیل است که مقاومت ویژه سنگ یا خاک به عوامل دیگر تخلخل، اشباع آب و غلظت نمکهای نامحلول وابسته است. مقاومت ویژه آب زیر زمینی با توجه به میزان نمکهای نامحلول $10-100 \Omega m$ تغییر می کند. مقاومت ویژه پایین آب دریا (در حدود $0.2 \Omega m$) بعلت میزان نمک فراوان موجود در آب دریا می باشد [1].

جدول ۱-۱: مقاومت ویژه بعضی از سنگها و مواد معدنی [۱].

مقاومت ویژه (اهم متر)	سنگها و مواد معدنی
۱۰ - ۱۰۰	آب زیر زمینی
۰,۲	آب دریا
۵۰ - ۵۰۰۰	سنگ آهک
۲۰ - ۲۰۰۰	شیل
۱ - ۱۰۰	رس
۳۰۰ - ۱۰۰۰۰	آبرفت های دانه درشت و کنگلومرا
۱۰۰ - ۳۰۰	آبرفت های دانه متوسط
۵۰ - ۱۰۰	آبرفت های دانه ریز
۱۰۰۰ - ۱۰۰۰۰	شن و ماسه خشک
۵۰ - ۵۰۰	شن و ماسه اشباع از آب شیرین
۰,۵ - ۵	شن و ماسه اشباع از آب شور
۵۰۰ - > ۱۰۰۰	آهک های آسماری
۲۰۰ - ۵۰۰	آهک های کرتاسه
۳۰۰ - ۱۰۰۰۰	ماسه سنگ کوارتزیت
۲۰ - ۱۰۰	خاکستر (برش) آتشفشانی

۱-۸-۴- انواع آرایش‌های الکترودی:

چند نوع از آرایش‌های الکترودی مرسوم در برداشتهای الکتریکی عبارتند از:

الف - آرایش ونر^۹ ب - آرایش لی پار تیشنینگ^{۱۰}

ج - آرایش شلومبرگر^{۱۱} د - آرایش دو قطبی - دو قطبی

الف - آرایش ونر: اولین بار در سال ۱۹۱۶ این آرایش توسط ونر معرفی شد. در این آرایش، چهار

الکترودهای A, B, M, N در روی زمین در طول یک خط راست طوری قرار می‌گیرند که

AM = MN = NB = a باشد. مقدار ρ برای این آرایش به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱]:

$$\rho_w = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \cdot \frac{\Delta V}{I} = \frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

$$\Rightarrow \rho_w = 2\pi a \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{رابطه ۱-۱۱})$$

ب - آرایش لی پار تیشنینگ: این آرایش مثل آرایش ونر می‌باشد ولی فقط یک الکتروده پتانسیل

اضافی O در وسط الکترودهای پتانسیل M و N قرار دارد و اندازه‌گیری ΔV هر بار بین OM و ON

صورت می‌گیرد. مقدار ρ به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱]:

$$\rho_{LP} = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \cdot \frac{\Delta V}{I} = \frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{2}{3a} + \frac{2}{3a}} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

$$\Rightarrow \rho_{PL} = 4\pi a \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{رابطه ۱-۱۲})$$

۹ - Wenner Array

۱۰ - Lee – Partitioning Array

۱۱ - Schlumberger Array

ج - آرایش شلومبرگر : این آرایش در اکتشافات الکتریکی کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد. چهار الکترود A , B , M , N در طول یک خط راست و در روی سطح زمین قرار می‌گیرند. در این آرایش نسبت AB به MN بزرگتر از ۵ است یعنی حداقل AB باید ۵ برابر MN باشد. مقدار ρ در این آرایش از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱]:

$$\rho_s = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} =$$

$$= \frac{\frac{1}{\frac{AB}{2} - \frac{MN}{2}} - \frac{1}{\frac{AB}{2} + \frac{MN}{2}} - \frac{1}{\frac{AB}{2} + \frac{MN}{2}} + \frac{1}{\frac{AB}{2} - \frac{MN}{2}}}{I} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

$$\Rightarrow \rho_s = \pi \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{MN} \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad \text{(رابطه ۱-۱۳)}$$

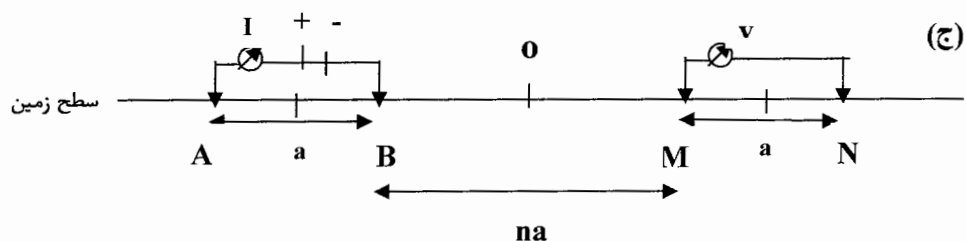
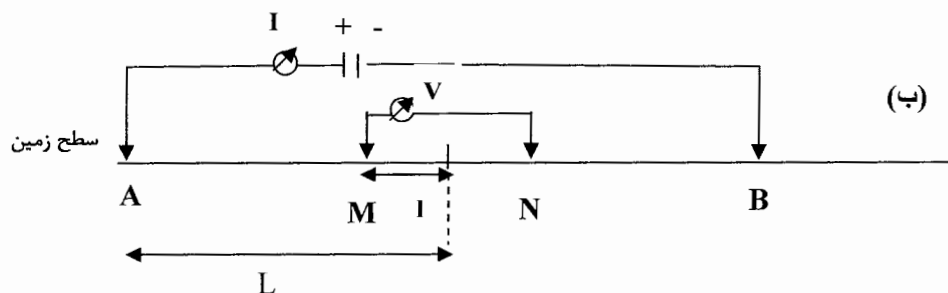
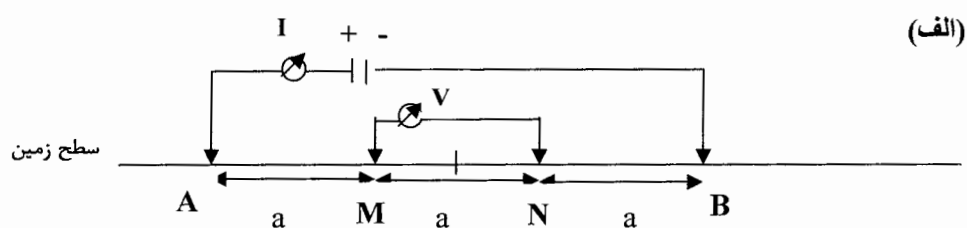
د - آرایش دو قطبی - دو قطبی: استفاده از آرایش‌های مختلف دو قطبی - دو قطبی در اکتشافات الکتریکی از سال ۱۹۵۰ گستردگی زیادی پیدا کرده است، به خصوص از وقتی که تئوری‌های مورد نیاز توسط آلپین^{۱۲} توسعه یافتند. در این روش، فاصله بین الکترودهای جریان A , B و فاصله بین الکترودهای پتانسیل M , N تقریباً ثابت بوده و به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از فاصله بین مراکز دو دایپل یعنی d خواهد بود [۱].

میدان الکتریکی حاصل از یک دایپل در نقطه معین با توان سوم فاصله یعنی d رابطه عکس دارد و همچنین برای یک زاویه آزمون، مقدار معین ρ_a می‌باشد. از بین آرایش‌های مختلف دایپل - دایپل،

۱۲ - Alpin

آرایش‌های محوری^{۱۳} و استوایی^{۱۴} بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با افزایش فاصله AB، جریان الکتریکی لازم برای تولید اختلاف پتانسیل در یک فاصله معین d کاهش می‌یابد. ρ حاصله از آرایش دایپل - دایپل محوری (قطبی) از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲]:

$$\rho_{dd} = \pi \left(\frac{d^2}{AB} - r \right) \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad \text{(رابطه ۱-۱۴):}$$



شکل ۱-۱: نحوه قرار گیری الکترودها در آرایشهای ونر(الف) ، شلومبرگر(ب) و دایپل - دایپل (ج) .

۱۳ - Axial

۱۴ - Equatoxial

۱-۸-۵- مقایسه اندازه‌گیریهای حاصل از آرایش‌های الکترونی مختلف:

دو فرق اساسی بین دو آرایش شلومبرگر و ونر وجود دارد [۱]:

الف - در آرایش شلومبرگر فاصله بین الکترودهای M و N کم است و تقریباً همیشه رابطه

$AB \geq 5MN$ بین الکترودها برقرار است در حالی که در آرایش ونر همیشه $AB=3MN$ می‌باشد.

ب - برای انجام V.E.S (سونداژ زنی الکتریکی قائم) با آرایش شلومبرگر الکترودهای پتانسیل هر

چند گاه، یکبار حرکت داده می‌شوند در صورتی که در آرایش ونر، الکترودهای پتانسیل و جریان، بعد

از هر اندازه‌گیری با هم تغییر مکان می‌یابند. نتایج مستقیم این دو تفاوت اساسی در نکات آتی حاصل

می‌شوند:

۱- برای فاصله AB یکسان، منحنی‌های V.E.S شلومبرگر نسبت به منحنی‌های V.E.S ونر از قدرت

تفکیک بهتر لایه‌های زیر سطحی و قابلیت بررسی و تجسس اعماق بیشتر برخوردارند.

۲- نیروی انسانی، وقت و انرژی لازمه برای سونداژ زنی شلومبرگر از ونر کمتر است.

۳- روی اندازه‌گیریهای شلومبرگر نسبت به ونر، تاثیر ناهمگنی‌های جانبی نزدیک سطحی کمتر است.

۴- جریانات سرگردان مناطق صنعتی و جریان تلوریک در اندازه‌گیریهای ونر بیشتر از شلومبرگر تاثیر

می‌گذارند.

۵- منحنی‌های شلومبرگر کلاً منقطع هستند که این به علت افزایش فاصله الکترودهای پتانسیل بعد از

چند اندازه‌گیری می‌باشد. هنگام انطباق منحنی‌های سونداژ شلومبرگر با منحنی‌های تئوریک، این عدم

پیوستگی در منحنی شلومبرگر یک مزیت نسبت به منحنی‌های پیوسته ونر محسوب می‌شود. اثر

ناهمگنی‌های جانبی در روی منحنی شلومبرگر را می‌توان با تغییر جزئی در بخش‌های مقطع از بین

برد، در صورتی که چنین کاری را نمی‌توان با منحنی‌های سونداژ ونر انجام داد [۲].

محدود امتیازات آرایش وئر، یکی این است که فرمول آن ساده باشد و دیگری اینکه مقادیر نسبتاً کمتری جریان لازم است تا ولتاژ را افزایش دهد.

مقایسه بالا نشان می‌دهد که برای یک عملیات سونداژ مقاومت ویژه، استفاده از آرایش شلومبرگر نسبت به وئر از مزایای بیشتری برخوردار است. علاوه بر مزایای فوق، استفاده از آرایش شلومبرگر بیشتر به خاطر پیشرفتی که در تکنیک‌های تعبیر و تفسیر آن صورت گرفته، توصیه می‌شود. با ابداع روش داپیل - داپیل در آمریکا و روسیه، مزایای استفاده از آنها نسبت به آرایش شلومبرگر مشخص شد. این مزایا عبارتند از:

- ۱- با فواصل نسبتاً کم AB , MN می‌توان اعماق زیادی را تجسس کرد.
 - ۲- فواصل کم AB , MN باعث کاهش کار صحرایی و افزایش کارایی و راندمان می‌شود.
 - ۳- به علت فواصل کم AB , MN سیم‌ها کوتاه بوده و مسائلی از قبیل نشت جریان از جانب سیم‌های لخت شده وجود ندارد.
 - ۴- تجسّسات دو جانبه را ممکن می‌سازد، از این رو علاوه بر مقاومت ویژه اطلاعات تفضیلی‌تری درباره جهت شیب افق‌های الکتریکی فراهم می‌کند.
- آرایش دو قطبی - دوقطبی دو اشکال عمده نیز دارد:
- الف - به خاطر کم بودن فاصله AB ، یک ژنراتور بزرگ لازم است تا مقادیر زیادی جریان الکتریکی تولید کند.
- ب - برای تعبیر و تفسیر یافته‌ها، مسائل تئوریک آن باید بیشتر توسعه یابند [۲].

۱-۸-۶- عمق تجسس^{۱۵}:

در یک محیط ایزوتوپ، همگن و نیمه نامحدود^{۱۶} یک رابطه قطبی بین فاصله AB و عمق نفوذ جریان وجود دارد. مثلاً ۵۰٪ جریان تا عمق $\frac{AB}{2}$ ، ۷۰٪ آن تا عمق AB نفوذ می کند. بنابراین هر چقدر فاصله الکترودهای AB بیشتر شود مقدار بیشتری از جریان می تواند تا یک عمق معین نفوذ کند. رابطه زیر در این مورد صادق است:

$$\frac{I_z}{I_+} = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{2Z}{AB} \right) \quad (\text{رابطه ۱-۱۵}):$$

که در این رابطه I_z = جریان موجود از سطح تا عمق Z و I_+ = کل جریانی است که به داخل زمین نفوذ می کند. این رابطه را نمی توان به عنوان یک قاعده کلی عمق نفوذ مورد استفاده قرار داد. این رابطه را هم چنین نمی توان برای یک محیط ناهمگن و غیر ایزوتوپ به کار برد. برای یک محیط ناهمگن، درصد کل جریانی که تا عمق Z نفوذ می کند نه تنها به فاصله بین الکترودها بلکه به مقاومت ویژه لایه های زیر سطحی نیز بستگی دارد. در واقع در تعبیر و تفسیر مقاومت ویژه، درصد جریانی که تا عمق معین به داخل زمین نفوذ می کند اهمیت چندانی ندارد زیرا با اندازه گیری کل جریان (I) و اختلاف پتانسیل (ΔV) می توان به راحتی ρ_a را بدست آورد [۱].

۱-۸-۷- روش های تعبیر و تفسیر تحلیلی

یکی از روش های تعبیر و تفسیر کمی داده های الکتریکی، استفاده از مدل های تحلیلی می باشد. این روشها بر اساس محاسبه منحنی های سونداژ تئوری و تطابق آنها با منحنی های مشاهده شده بنا گردیده است. محاسبه منحنی های تئوریک سونداژزنی توسط کامپیوتر صورت می گیرد. مشکلی که

^{۱۵} - Probing depth^{۱۶} - Semi - infinite

معمولاً در هنگام محاسبه منحنی‌های تئوری از مدل‌های چند لایه‌ای زیر سطحی بروز می‌کند این است که ترکیب حاصل از اختلاف مقاومت ویژه و ضخامت لایه‌های مختلف بینهایت می‌باشد. اما برای حل این مسئله می‌توان مقاومت ویژه و ضخامت لایه اول را به عنوان واحد انتخاب نمود و مقاومت ویژه و ضخامت لایه‌های بعدی را نسبت به آن سنجید. بنابراین با رسم منحنی‌های سونداژ تئوریک در روی یک سری مختصات لگاریتمی می‌توان یک سری منحنی‌های ساده تئوریک برای مدل‌های دو لایه‌ای، سه لایه‌ای، چهار لایه‌ای و غیره زیر سطحی پیدا کرد [۱].

قبل از اینکه تعبیر و تفسیر توسط منحنی‌های تئوری کلیدی برای لایه‌های زیر سطحی افقی صورت گیرد، مفسر باید از شکل منحنی سونداژ مشاهده شده راضی باشد. منحنی مشاهده شده باید هموار^{۱۷} شود و کج شدگی زیادی نداشته باشد. بعد از هموار سازی، با رویت منحنی بدست آمده باید بتوان نوع آن و تا حدودی تعداد لایه‌ها را تشخیص داد [۱].

- تفسیر منحنی‌های سونداژ دو لایه‌ای: اگر منحنی مشاهده شده شبیه مدل دو لایه‌ای بود آن را با منحنی‌های تئوریک کلیدی دو لایه‌ای مطابقت می‌دهیم. ابتدا صفحه شفاف حاوی منحنی مشاهده شده را روی صفحه حاوی منحنی‌های تئوریک کلیدی قرار می‌دهیم. سپس صفحه شفاف را آنقدر جابجا می‌کنیم تا بهترین انطباق بین منحنی مشاهده شده و یکی از منحنی‌های تئوریک صورت گیرد (باید محورهای ضخامت منحنی مشاهده شده و منحنی‌های تئوریک با هم موازی باشند) گاه منحنی مشاهده شده ممکن است با منحنی حاصله از درونیابی بین دو منحنی تئوریک یابد [۱].

وقتی عمل انطباق انجام گرفت محل مبدا مختصات منحنی تئوریک به صورت علامت + روی صفحه شفاف مشخص می‌شود. مقاومت ویژه واقعی لایه دوم ρ_2 را می‌توان با امتداد دادن خط مجانب

منحنی مشاهده شده که به صورت افقی و به موازات محور طولها رسم شده، بدست آورد. محل تقاطع آنها به ترتیب مقادیر ضخامت و مقاومت ویژه واقعی لایه اول را نشان می دهند [۱].

- تفسیر منحنی‌های سونداژ سه لایه‌ای: ابتدا باید با رویت منحنی مشاهده شده سه لایه‌ای نوع آن را تشخیص داد و منحنی‌های تئوریک کلیدی متناسب با همان نوع را انتخاب نمود. گاهی ممکن است

یکی از مقادیر $\mu_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ منحنی‌های تئوریک با مقدار واقعی $\mu_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ منحنی مشاهده شده منطبق

شود ولی ممکن است مقدار $\mu_2 = \frac{\rho_3}{\rho_1}$ منحنی مشاهده شده با مقدار μ_2 منحنی‌های تئوریک منطبق

نباشد از این رو نباید صرفاً روی انطباق اولیه تکیه نمود. در این حالت تعبیر و تفسیر مطلوب‌تر هنگامی حاصل می‌شود که منحنی مشاهده شده را بین دو منحنی تئوریک سه لایه‌ای قرار دهیم. در این

صورت دو منحنی تئوریک مزبور دارای مقادیر یکسانی از $\mu_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ و $V_1 = \frac{h_2}{h_1}$ بوده ولی مقادیر μ_2

آنها متفاوت می‌باشند [۲].

تفسیر منحنی‌های سونداژ چهار لایه‌ای و یا بیشتر: در مورد مدلهای چهار لایه‌ای نیز از منحنی‌های چهار لایه‌ای تئوریک همانند آنچه که در مورد سه لایه‌ای ذکر شد عمل می‌کنند. معمولاً برای تعبیر و تفسیر مدلهای چهار لایه‌ای و بیش از چهار لایه‌ای از منحنی‌های تئوریک سه لایه‌ای و با استفاده از روش نقاط کمکی استفاده می‌کنند. در این حالت دقت تفسیر به ضخامت نسبی موثر لایه‌ها و تجربه

مفسر بستگی خواهد داشت [۲].

۱-۸-۸- توضیح اصل اختفاء^{۱۸}

در صورتی که مقاومت ویژه لایه ای بین مقاومت ویژه طبقات واقع در بالا و پایین آن باشد تا زمانی که این طبقه ضخامت کافی نداشته باشد روی منحنی سونداژ الکتریکی اثری نخواهد گذاشت. در حقیقت مانند این است که این لایه اثر خود را مخفی کرده باشد. از اینرو این اصل را بنام اصل اختفاء نامیده اند. حال اگر ضخامت این لایه افزایش یابد، تدریجاً اثر خود را روی منحنی سونداژ نشان خواهد داد [۷].

۱-۸-۹- کاربرد روشهای مقاومت ویژه:

- مطالعه آبهای زیرزمینی: روشهای مقاومت ویژه در مطالعات آبهای زیرزمینی می‌توانند اطلاعات زمین‌شناسی زیر سطحی سودمندی فراهم نمایند که معمولاً این اطلاعات را نمی‌توان با سایر روشهای ژئوفیزیکی بدست آورد:

۱- تهیه نقشه کانال های رودخانه‌ای مدفون: کانال های رودخانه‌ای مدفون را می‌توان با دقت زیاد توسط نقشه‌های مقاومت ویژه مشخص کرد. برای این کار می‌توان از روشهای H.P و V.E.S کمک گرفت [۱].

۲- مشخص کردن مرز آب شور و شیرین: به کمک نقشه‌های هم مقاومت ویژه حاصله از سونداژ با آرایش‌های شلومبرگر، وئر و دو قطبی - دو قطبی می‌توان مرز بین آب شور و شیرین را مشخص کرد.

۳- مشخص کردن سطح سفره آبهای زیرزمینی: تعیین عمق سطح سفره آبدار به طور کلی مشکل‌تر از تعیین مرز آب شور و شیرین می‌باشد. هر جا که آب یک سفره آب در بین یکسری طبقات با مقاومت ویژه های متفاوت قرار گرفته باشد، مشخص کردن سطح آن روی منحنی سونداژ تقریباً غیر ممکن

^{۱۸} - Principle of Suppression

است. در شرایط مطلوب می‌توان سطح سفره را به عنوان یک لایه روی منحنی سونداژ مشخص نمود [۱].

۳- مطالعات ژئوترمال: به کمک نقشه‌های هم مقاومت ویژه می‌توان مسیر خط گسلی را که معمولاً در امتداد آنها چشمه‌های آب گرم و آب فشانها خارج می‌شوند مشخص نمود [۱].

- استفاده از روش مقاومت ویژه در اکتشاف مواد معدنی: روشهای مقاومت ویژه بطور گسترده در اکتشاف مواد معدنی (سولفیدها، اکسیدها و به طور کلی کانیهای که دارای جلای فلزی باشند) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها در شناسایی زون‌های خرد شده و گسله که ارتباط نزدیک با کانی سازی دارند، بسیار مثر و واقع می‌گردند [۱].

۴- استفاده از روش مقاومت ویژه در کارهای مهندسی عمران: در فعالیتهای عمرانی از روشهای مقاومت ویژه اغلب برای مشخص کردن ضخامت آبرفتها، عمق سطح سفره آبدار، عمق سنگهای بستر و شناسایی لایه‌های رسی بطور گسترده استفاده می‌شود [۱].

۲- آشنائی با منطقه مورد مطالعه

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه

نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود بخشی از رویه چهارگوش گرگان با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ است که در حدود جغرافیائی ۵۵-۵۴/۳۰ درجه طول شرقی و ۳۶-۳۶/۳۰ درجه عرض شمالی در استان سمنان قرار دارد. بزرگترین شهر منطقه مورد مطالعه شهرستان شاهرود با وسعت ۵۱۴۱۹ کیلومتر مربع می باشد که در واقع بزرگترین شهرستان استان سمنان بوده و دارای ۱۳۶۵ متر ارتفاع از سطح آبهای آزاد است. شهر بسطام در منتهی الیه شمال شرق نقشه، دومین شهر بزرگ منطقه مورد مطالعه بوده که دارای ارزش و قدمت دیرینه است [۱۰].

مهمترین روستاهای منطقه، روستاهای، مجن واقع در شمال غرب شاهرود، دهملا واقع در جنوب غرب شاهرود و مهماندوست، کلاته خان، حسین آباد و علی آباد واقع در جنوب غرب شاهرود، قلعه شوکت، نظام و تل واقع در جنوب شاهرود می باشد. منطقه شاهرود دارای دامداری و تولیدات کشاورزی قابل توجه ای نظیر سیب زمینی، فلفل، صیفی جات، پنبه، آفتابگران، تنباکو، گندم، چغندر قند و میوه جاتی مانند انگور، زرد آلو و گلابی است. صنعت قالی بافی نیز در روستاهای شاهرود دارای رونق خاصی می باشد. قسمتهای شمالی منطقه مورد مطالعه در زمستان دارای آب و هوای نسبتاً سرد و خشک، در تابستان دارای آب و هوای معتدل می باشد؛ اما قسمتهای جنوبی منطقه دارای آب و هوای نیمه

خشک کویری با بارندگی کم و رطوبت اندک است. حداکثر درجه حرارت در منطقه ۳۹/۴ درجه سانتیگراد و حداقل درجه حرارت ۱۴/۴ درجه سانتیگراد می باشد. مقدار بارندگی سالیانه از ۷۲/۸ میلیمتر تا ۱۸۳/۳ میلیمتر است که در برخی از زمانها افزایش قابل توجهی نیز دارد. مهمترین رودخانه منطقه شاهرود، رودخانه، رودخانه تاش (یا شاهرود) است که از کانونهای آبگیر شاهکوه و شاهوار حد فاصل تاش و مجن سرچشمه گرفته و دارای ویژگیهای رودهای فصلی است. این رود پس از دریافت چندین رشته فرعی در ناحیه کوهستانی و پس از مشروب کردن اراضی پشت بسطام و زیراستاق به سوی کویرنمک می رود بیشتر قناتهای شهرستان شاهرود در بخش بسطام حفر شده است [۱۰].

۲-۲- راههای دسترسی به منطقه

راههای اصلی منطقه مورد مطالعه، جاده های درجه یک (آسفalte) دامغان شاهرود، شاهرود به بسطام و مجن، شاهرود به ترود و جاده معدن طزره می باشد. سایر جاده های منطقه از نوع جاده های درجه دو مانند جاده معدن آموزشی دهملا و جاده های درجه سه می باشد که مجموعاً دستیابی به برون زدهای منطقه را امکان پذیر نموده است. مطالعات پروفیل زنی و سونداژزنی در دره ای به نام کال قرنو (ذوب آهن) در شمال غرب شاهرود انجام شده است . راه دسترسی به این منطقه خاکی است [۱۰].

۲-۳- ریخت شناسی^۱

ارتفاعات شمالی منطقه مورد مطالعه بخشی از ارتفاعات البرز خاوری است. ارتفاعات البرز خاوری نسبت به ارتفاعات البرز باختری رو به نقصان گذاشته و کم عرض تر و باریکترند تا آنکه در ۲۰۰

۱- Morphology

کیلومتری خاور دریای خزر ارتفاعات آن به دشت آرموت لی در شرق جنگل گلستان منتهی می شود. بخش های جنوبی نقشه نیز که سرزمین کویری می باشد بخشی از ایالت ساختاری ایران مرکز است. بلندترین نقطه منطقه مورد مطالعه را کوه چالوئی با ارتفاع ۳۷۵۰ متر از سطح دریا تشکیل شده است. نزولات جوی رشته کوههای البرز در شمال شاهرود منبع اصلی تغذیه رودها و قنوات این منطقه است. در قسمت جنوبی رشته کوههای کم ارتفاع موازی با رشته کوههای اصلی کشیده شده است که آنها نیز با نزدیک شدن به دشت کویر کم ارتفاع می شوند [۱۰].

۲-۴- زمین ریخت شناسی^۲

بخش اعظم سنگهای رخنمون یافته منطقه در شمال نقشه قرار دارد و بخشی از ارتفاعات البرز خاوری می باشد که دارای روند گسترشی شمال خاوری - باختری است. این سنگها که در بیشتر مناطق ارتفاعات بلند و ستیغ ساز را ساخته است اساساً از واحدهای رسوبی دریایی (سنگ آهکها) شکل گرفته که در دو مورد سنگ آهکهای سازند لار و سنگ آهکهای کرتاسه بالائی مرتفع ترین نقاط منطقه را تشکیل داده است. اما بخشهایی از سنگهای فوق اساساً از واحدهای نرم فرسا نظیر شیل، مارن و کنگلومرا شکل گرفته اند که مناطق کم ارتفاع و پست را تشکیل داده اند. نظیر توالیهای سازند شمشک، سازند دلیچای و بخش pgfl سازند مجن در ایالت ساختاری البرز خاوری منطقه و توالیهای مارنی سبز و قرمز ایالت ساختاری ایران مرکزی منطقه، واقع در جنوب شهر شاهرود. اما همانگونه که بیان شد می توان ارتفاعات بلند ستیغ سازی که دارای شیب توپوگرافی زیادی بوده و پرتگاههای متعددی را پدید آورده است را در سلسله کوههای شمال منطقه مورد مطالعه، در توالیهای سازند لار و کرتاسه بالایی مشاهده نمود. البته می دانیم که ریخت این پستی و بلندیها به جنس واحدهای سنگی

^۲- Geomorphology

پدید آورنده آنها بستگی دارد. مکانهایی که جنس واحدهای سنگی از سنگهای مقاوم در برابر فرسایش است بلندای بیشتری را نسبت به مناطق دیگر دارند و مناطقی که توالیهای آن نرم فرسا می باشند در برابر فرسایش مقاوم نبوده و تحت تاثیر شدید قرار می گیرند بلندای کمتری نسبت به توالیهای دیگر داشته و سرزمین های کم ارتفاع و پست را تشکیل می دهد. از اینرو است که در شمال منطقه مورد مطالعه که رخنمون های مربوط به سنگ آهکهای سازند لار وجود دارد مرتفع و ستیغ ساز هستند و در کنار بلندیهایی از سنگ آهکهای کرتاسه بالایی گسترش قابل توجهی با روند گسترش خاوری - باختری دارند ما شاهد ارتفاعات بلند ستیغ ساز و پرتگاههای متعدد هستیم [۱۰].

۲-۵- موقعیت منطقه در زمین شناسی ایران

ویژگیهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه مربوط به دو ایالت ساختاری البرز و ایران مرکزی می باشد؛ بدین گونه که قسمتهای شمالی منطقه به ایالت ساختاری البرز و قسمتهای میانی و جنوبی منطقه به ایالت ساختاری ایران مرکزی تعلق دارد. از اینرو در منطقه مورد مطالعه بسیاری از حوادث و پدیده های دو ایالت ساختاری فوق را می توان مشاهده نمود که خود مجموعه عواملی هستند تا رخساره های منطقه مورد مطالعه تفاوتهایی با رخساره های هم زمان خود در سایر نقاط دو ایالت ساختاری مذکور داشته باشند [۱۰].

بخش های شمالی منطقه که در برگیرنده ارتفاعات البرز خاوری است، نمایانگر عملکرد رویدادهای کوهزائی، خشکی زائی و حرکات زمین ساختی مختلف و در نتیجه چین خوردگیها و گسلش های متعدد ناشی از آنها است که سبب گردیده در منطقه ساختمانهای تاقدیسی و ناودیسی و همچنین راندهای متعددی بوجود آید. از طرفی در قسمتهای جنوبی منطقه (مربوط به ایالت ساختاری ایران مرکزی) ساختمانهای تاقدیسی، چین های جناغی و پدیده راندهای قابل مشاهده می باشد [۱۰].

۲-۶- زمین شناسی ساختمانی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشهایی از دو ایالت ساختاری البرز و ایران مرکزی را در بر می گیرد. بخشهای شمالی منطقه که در برگیرنده رشته کوهها و ارتفاعات البرز خاوری است با توجه به شناختی که از ویژگیهای زمین ساختی البرز وجود دارد. طبقاً در طول ادوار گذشته دستخوش رویدادها و پدیده های مختلفی مانند عملکرد رویدادهای کوهزائی، چین خوردگی و گسلش های متعدد بوده و ساختمانهای جالبی را ایجاد کرده است. بخشهای میانی و جنوب منطقه نیز که به ایالت ساختاری ایران مرکزی تعلق دارد دستخوش پدیده های نظیر چین خوردگی و گسلش بوده است. در ذیل بطور اجمالی به معرفی برخی از پدیده های فوق می پردازیم [۱۰].

۲-۶-۱- چین خوردگیهای منطقه

چین خوردگیهای منطقه مورد مطالعه را اساساً ساختمانهای ناقدیسی و ناودیسی تشکیل می دهند که با تعداد قابل توجهی در منطقه قابل رویت می باشند. ساختمانهای فوق عمدتاً دارای محوری در راستای شمال خاور - جنوب باختر و یا خاوری - باختری بوده و از انواع متقارن و یا نامتقارن هستند. برای مثال از مجموع فوق می توان به تاقدیس متقارن خربش در توالیهای سازند سلطانیه، تاقدیس متقارن نیال در توالیها ژوراسیک با میلی در جهت شمال خاور و ساختمانهای ناقدیسی و ناودیسی پیوسته حنفی، مهماندویه و جگل شاه با محوری در راستای شمال خاوری - جنوب باختری اشاره نمود. همچنین از بزرگترین ساختمانهای مذکور در منطقه می توان موارد زیر را معرفی کرد [۱۰].

۲-۶-۲- گسل های منطقه

سیستم اصلی گسل های منطقه مورد مطالعه را رانده‌گیها^۳ و سپس گسل های امتداد لغز^۴ تشکیل می دهد. رانده‌گیهای موجود در منطقه دارای امتداد تقریبی خاوری - باختری بوده و حرکات قابل توجهی را از شمال به سمت جنوب انجام داده اند. این رانده‌گیها در مکانهایی که شیب گسل نزدیک به صفر شده است، سفره های رورانده^۵ را بوجود آورده اند از اینرو و با توجه به توضیحاتی که داده شده می توان گسل های اصلی منطقه مورد مطالعه را به شرح زیر دسته بندی نمود [۱۰].

با توجه به موضوع پایان نامه فقط به گسل رانده‌گی شاهرود اشاره می شود و بقیه گسل ها فقط نام برده می شود [۱۰].

۲-۶-۲-۱- گسل رانده‌گی شاهرود^۶

این گسل یکی از گسل های اصلی منطقه می باشد و دارای امتداد طولانی در راستای غرب - شرق می باشد. گسل فوق از پائین شهر بسطام و شمال شاهرود با حرکتی از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق عبور کرده و در ادامه با حرکتی از سمت شمال به طرف جنوب در مسیر خود سفره های رورانده ای را نیز ایجاد کرده است که می توان در این رابطه به سفره رورانده بزرگ سازند الیکا بر روی توالیهای سازند شمشک و در برخی مناطق بر روی توالیهای پالئوزوئیک اشاره نمود. این گسل رانده در مسیر خود یال شمالی ناودیس دهملا را نیز بریده است و موجب حذف تناوبهای سازند زاگون در این یال شده است. این گسل از منطقه مورد مطالعه (دره کال قرنو) عبور می کند.

شکل (۱-۲) و (۲-۲) به ترتیب عکس هوایی و ماهواره ای منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

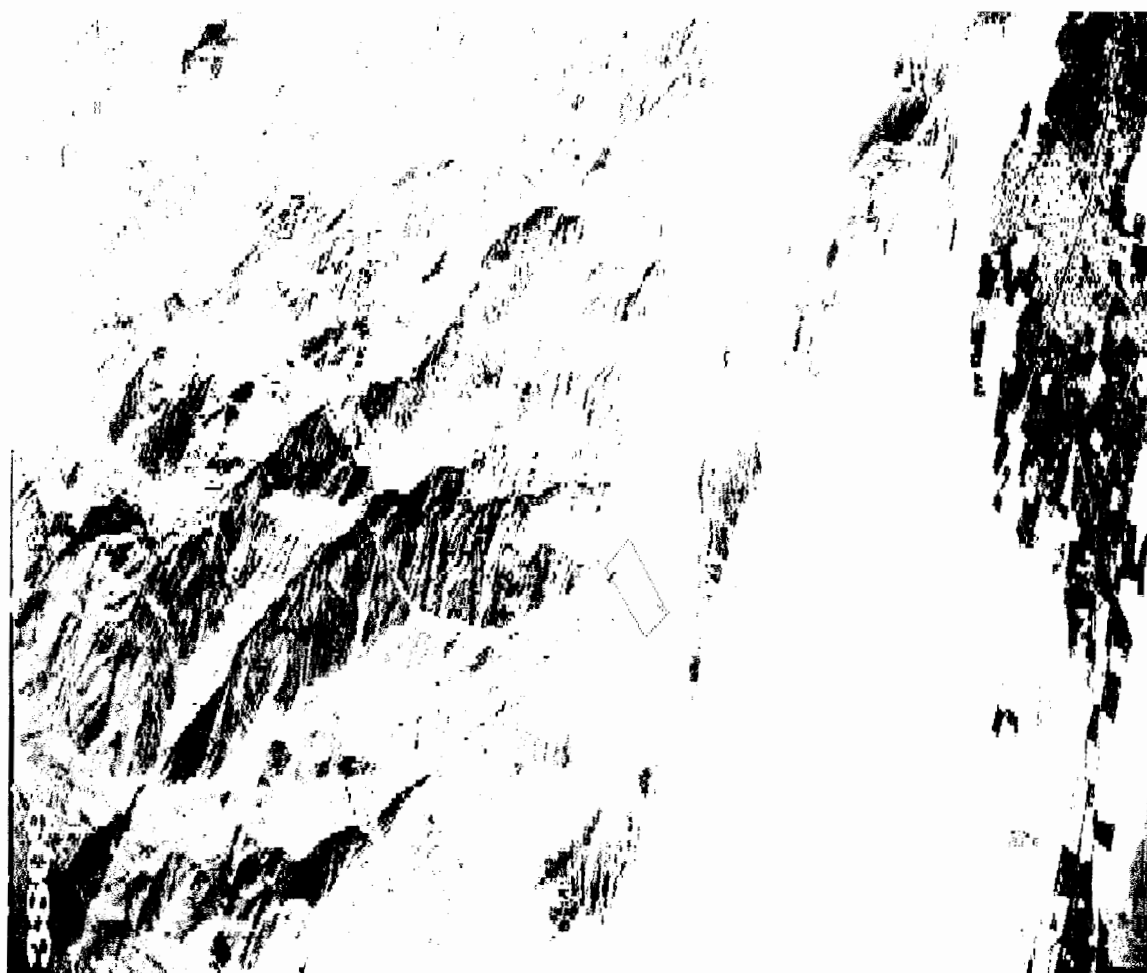
۳ - Thrust Faults

۴ - Strike slip Faults

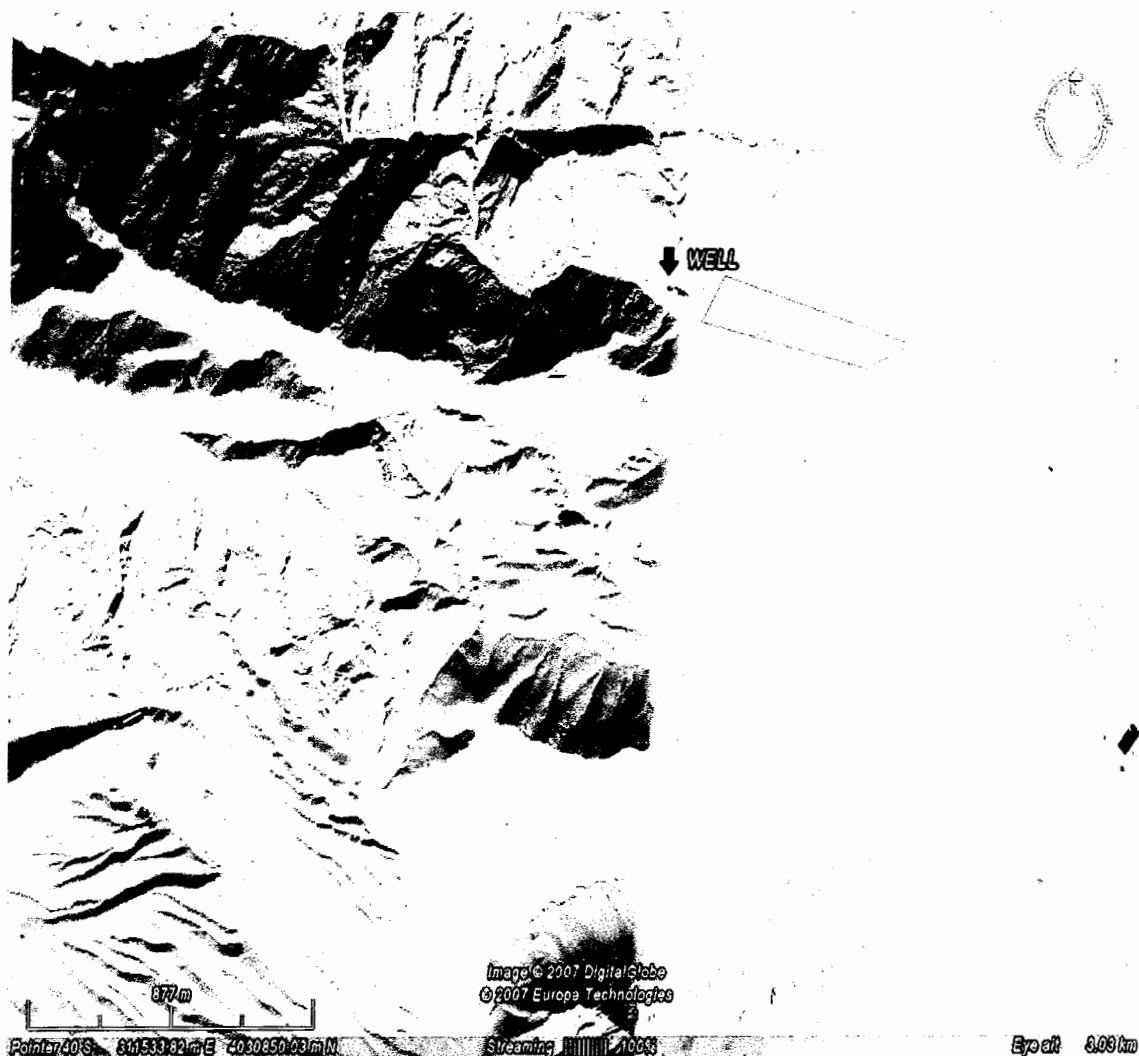
۵ - Nappes

۶ - Shahrud Thrust Fault

در شکل‌های ۱-۲ و ۲-۲ خطواره ناشی از گسل شاهرود که در مسیر خود باعث جابجایی ساختارهای زمین‌شناسی گشته است، مشاهده می‌شود این خط در عکس هوایی با خط زردرنگ و در تصویر ماهواره ای با خط چین سفید مشخص شده است. مستطیل قرمز محل منطقه مورد مطالعه (دره کال قرنو) را نشان می‌دهد که در مسیر عبور گسل مذکور قرار دارد.



شکل ۱-۲: عکس هوایی گسل مورد مطالعه [۹]



شکل ۲-۲: تصویر ماهواره‌ای گسل مورد مطالعه

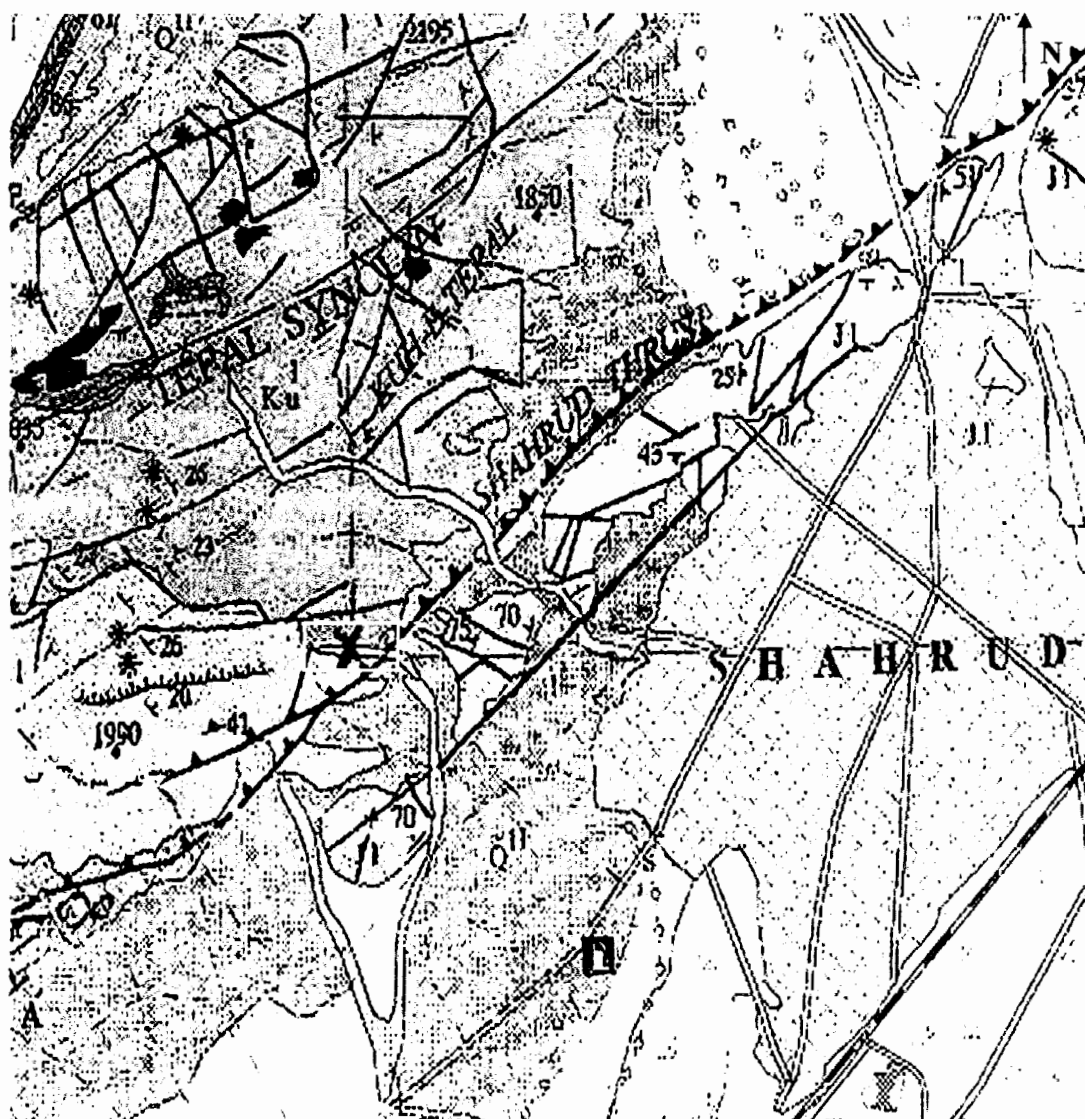
از جمله گسل‌های راندگی منطقه شاهرود می‌توان گسل‌های راندگی طزره، مجن، میامی را نام برد [۱۰]. به انضمام گسل‌های معرفی شده تعدادی نیز گسل‌های عادی و معکوس (با شیب بیش از ۴۵ درجه) و همچنین گسل‌های امتداد لغز که اساساً راستگرد می‌باشد بطور پراکنده در منطقه قابل رویت است [۱۰].

۲-۷- واحد‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

شکل (۲-۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که از قدیم به جدید به ترتیب شامل سه واحد زمین‌شناسی J_1 و Ku^1 و Q^1 می‌باشد که هر یک به طور مختصر توضیح داده می‌شود. [۱۰].

۲-۷-۱- واحد سازند لار (J_1) - ژوراسیک میانی - بالایی

توالی‌های سازند لار در ناحیه مورد مطالعه از سنگ آهک‌های خاکستری روشن حاوی تعداد کمی آمونیت تشکیل شده است. این سنگ آهک‌ها ابتدا ضخیم لایه بوده که تدریجاً به سنگ آهک‌های توده‌ای و دیواره ساز تبدیل می‌شوند. این سنگ‌ها در قسمت‌های فوقانی خود دارای ندول‌های چرت فراوان هستند. با بررسی تغییرات عمودی رخساره‌های سازندهای دلیچای و لار می‌توان نتیجه گرفت که از زمان ژوراسیک میانی تا ژوراسیک بالایی پسروی دریا موجب شده تا رخساره‌های کم عمق سازند لار بر روی رخساره‌های عمیق سازند دلیچای راسب شوند. توالی‌های این سازند در ناحیه مورد مطالعه حدوداً دارای ۶۰۰ متر ضخامت می‌باشد. سن سازند لار بر اساس آمونیت‌های مطالعه شده از ژوراسیک میانی تا ژوراسیک بالایی تعیین گردیده است.



شکل ۳-۲: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (دره کال قرنو) [۱۰]

۲-۷-۲- واحد Ku^1 :

توالیهای اصلی با ضخامتهای زیاد سنگ آهک کرتاسه بالائی متعلق به این واحد می باشند. این واحد از تناوبهای سنگ آهک خاکستری روشن با مارنهای سبز روشن در ابتدای واحد و سپس آهکهای خاکستری متمایل به قهوه ای ضخیم لایه، توده ای و صخره ساز که به مقدار زیاد فرسایش یافته و هوازده می باشند و کریستالیزه نیز هستند و همچنین در اثر بارش قطرات باران و جریان آبهای جاری حفرات متعددی در آنها دیده می شود تشکیل شده است. در این سنگها صدف دوکفه ایها، فسیل اینوسراموس و هیپوریت قابل رویت است. همچنین میکروفسیلهای ریز در مقاطع نازک سنگهای فوق رویت گردیده است. بر اساس مطالعه میکروفسیلهای این واحد می توان سن دقیق این سنگها را به زمان سنومادین - کامپانین نسبت داد. سنگ های کرتاسه بالائی در منطقه مورد مطالعه با وجود وقفه و نبود چینه ای بر روی سنگ آهکهای سازند لار قرار گرفته و در مرز بالائی خود نیز بواسطه ناپیوستگی و نبود چینه ای توسط توالی سازند مچن پوشیده می شود. این سنگها با ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر دستخوش گسل خوردگی و چین خوردگی متعددی شده اند.

۲-۷-۳- واحد Q^1

این واحد شامل پادگانه های آبرفتی قدیمی و مارنهای گراولی است که در قسمت بالا دست رودخانه ها و یا در کنار دره ها تشکیل شده اند. بخش قابل توجه از نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه را این نوع رسوبات دربر گرفته است.

فصل سوم

استفاده از منحنی های تئوری در
اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر
کیفی داده ها

۳-۱- استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها

۳-۱-۱- تاثیر فاصله بین ایستگاههای برداشت داده ها در تغییر شکل منحنی صحرایی

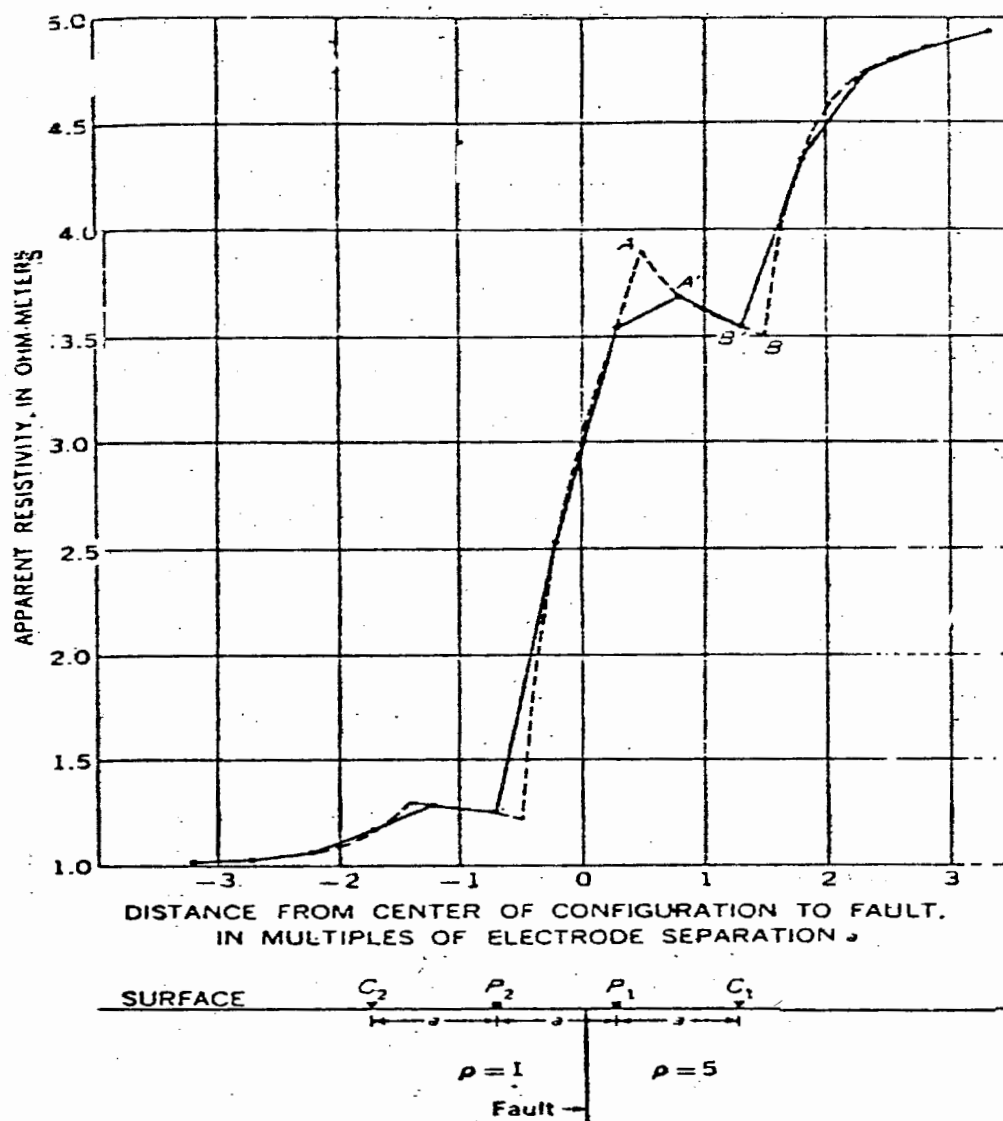
در شکل (۳-۱)، یک منحنی صحرایی (خط پیوسته) با منحنی تئوری آن (خط چین) مقایسه شده است. هدف از این کار مشخص نمودن تاثیر فاصله میان ایستگاه های اندازه گیری در شکل منحنی صحرایی می باشد. آرایش بکار گرفته شده و نر و فاصله بین ایستگاه ها برای برداشت داده های منحنی صحرایی برابر $a/2$ می باشد. محل گسل به عنوان مبدا در روی محور افقی ($x=0$) در نظر گرفته شده است [۶].

همان طور که در شکل نیز دیده می شود نقطه ماکزیمم A در منحنی تئوری به نقطه A' در منحنی صحرایی تبدیل شده است که در اینجا پیک مربوطه وضوح و برجستگی کمتری دارد. اختلاف جدی تر دو منحنی این است که پیک A' در منحنی صحرایی به اندازه $3a$ بسمت راست جابجا شده است. (a فاصله الکتروودی بکار گرفته شده می باشد). جابجایی پیک ذکر شده از اهمیت خاصی برخوردار می باشد زیرا از موقعیت همین پیک ها جهت تعیین خط اثر گسل در روی زمین استفاده می شود [۶].

نقطهء مینیمم B نیز جابجا شده و سمت چپ انتقال یافته است بطوری که فاصلهء افقی میان نقاط A' و B' بسیار کمتر از آن چه که از روی منحنی تئوری انتظار می رود، می باشد. هنگامی که از آرایش و نر استفاده می شود بسیاری از ژئوفیزیک دانان فاصلهء میان ایستگاه ها را برابر فاصله الکتروودی a می گیرند. منحنی های تئوری که در اینجا آورده شده برای حالتی که فاصله بین ایستگاه ها $a/2$ یا کمتر باشد از دقت خوبی

فصل سوم: استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها

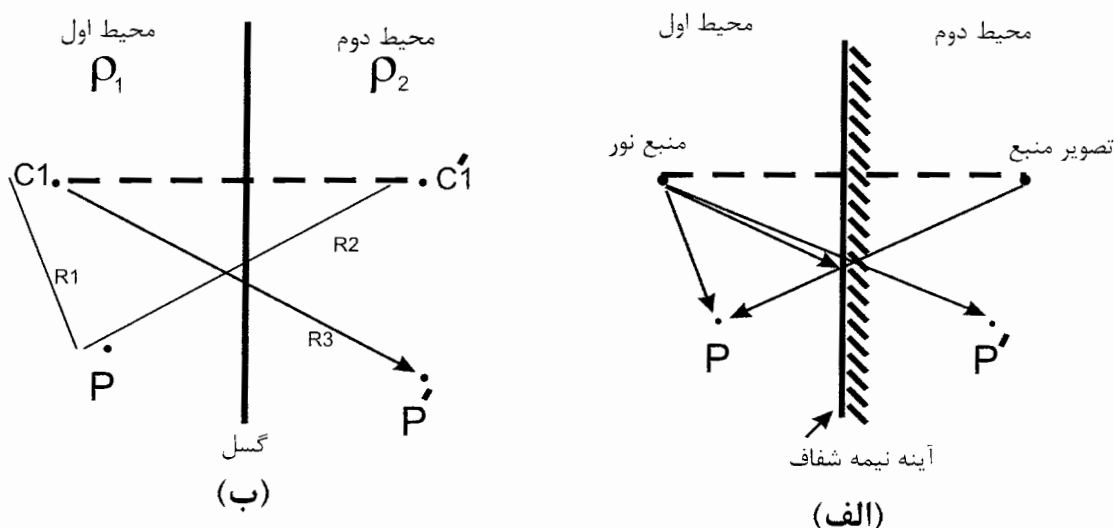
برخوردار می باشند و در این حالت تفاوت جزئی میان منحنی صحرایی و منحنی تئوری مربوط به آن وجود خواهد داشت [۶]. اهمیت چنین تفاوت هایی زمانی بیشتر می شود که از تطبیق دو منحنی جهت تعیین شیب و امتداد گسل استفاده کنیم [۱۵].



شکل ۱-۳ مقایسه میان یک منحنی صحرایی با فاصله ایستگاهی $a/2$ (خط پیوسته) و منحنی تئوری آن (خط چین) برای یک گسل قائم در روش پروفیل زنی افقی با آرایش ونر [۱۵].

۳-۱-۲- کاربرد نظریه تصاویر الکتریکی در حل مسائل مربوط به گسلها

ابتدایی ترین راه حل های تئوری مسائل ژئوفیزیکی با جریان مستقیم بر پایه نظریه تصاویر الکتریکی قرار دارد. اگر منبع نور نقطه ای را با منبع جریان الکتریکی و شدت نور در یک نقطه را با پتانسیل الکتریکی آن نقطه جایگزین کنیم، می توانیم نظریه تصاویر در نور را در حل مسائل الکتریکی نیز بکار ببریم. (شکل ۳-۲) نظریه تصاویر را با موفقیت می توان در حل مسائل مربوط به لایه های افقی، گسلهای قائم، دایک های قائم و کره های مدفون بکار برد ولی کاربرد آن در حل مسائل مربوط به لایه ها و گسلهای شیب دار با محدودیت روبرو شده و تنها زمانی به حل کامل مسئله می انجامد که لایه کمر پایین گسل را کاملاً "هادی یا مقاوم فرض کنیم. در ادامه ابتدا به حل مسئله گسل قائم با کمک نظریه تصاویر الکتریکی می پردازیم و سپس بدلیل پیچیدگی ریاضیات مسئله مربوط به گسل مایل، از ذکر کامل راه حل و جزئیات غیر ضروری خودداری کرده و فقط به صورت خلاصه روش کلی محاسبه منحنی ها را در این حالت از نظر می گذرانیم [۱۵].



شکل ۳-۲ مقایسه مسائل نوری با مسائل الکتریکی [۱۵]

۳-۱-۳- محاسبه منحنی های تئوری برای گسلهای قائم

گسل قائم یکی از شاخص ترین ساختارهای زمین شناسی مورد بحث می باشد که خوشبختانه به سبب شکل خاص خود از دیدگاه محاسبات ریاضی براحتی مورد مطالعه قرار می گیرند. در شکل (۲-۳ ب) مقطعی از یک گسل قائم به همراه منبع جریان C و نقطه P، در یک طرف و نقطه C' و P' در طرف دیگر دیده می شود. پتانسیل نقطه P از منبع C و تصویر آن C' تامین می شود در حالی که پتانسیل نقطه P' فقط از منبع اصلی C تامین می شود [۶].

اگر مواد موجود در سمت چپ گسل مقاومت ویژه ρ_1 و سمت راست، مقاومت ویژه ρ_2 داشته باشند و شدت جریان در منبع جریان C برابر I باشد، پتانسیل در نقطه P' و P از روابط زیر بدست می آید [۱۵]:

$$V_p = \frac{I\rho_1}{4\pi} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{k}{R_2} \right) \quad (۱-۳)$$

$$V_{p'} = \frac{I\rho_2}{4\pi} \left(\frac{1-k}{R_3} \right) \quad (۲-۳)$$

که k ضریب انعکاس فصل مشترک دو محیط می باشد و مقدارش بین ۱- و ۱+ بوده و طبق رابطه زیر محاسبه می شود [۱۵]:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{1+k}{1-k} \quad (۳-۳)$$

در روابط (۱-۳) و (۲-۳) چنانچه نقاط P و P' در روی سطح زمین قرار داشته باشند V_p و $V_{p'}$ به شکل زیر محاسبه می شوند [۱۵]:

$$V_p = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{k}{R_2} \right) \quad (۴-۳)$$

$$V_{p'} = \frac{I\rho_2}{2\pi} \left(\frac{1-k}{R_3} \right) \quad (5-3)$$

در روابط فوق چنانچه منبع جریان در طرف دیگر قرار گیرد می بایست k را در یک علامت منفی ضرب کرد.

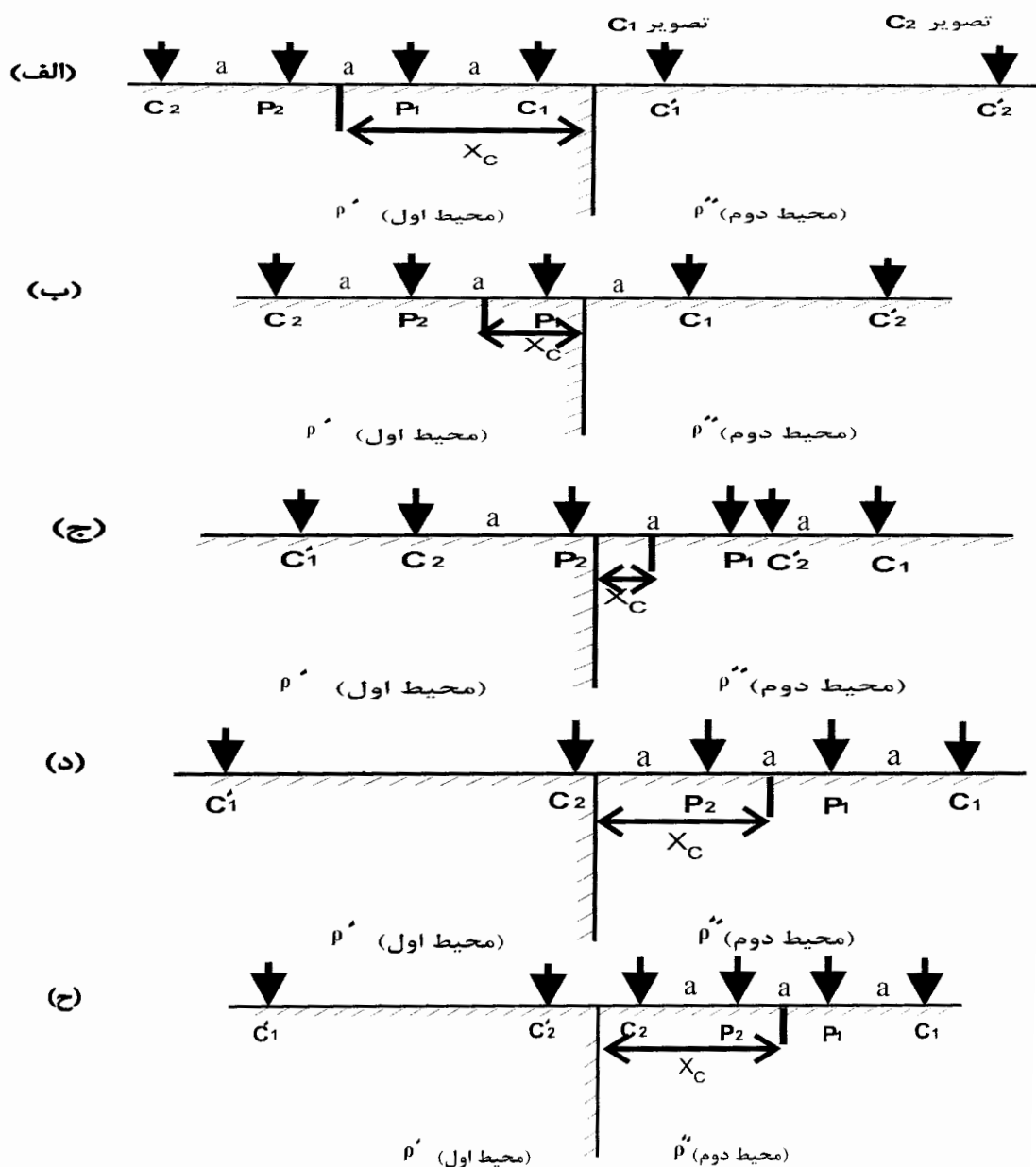
زیرا در آن صورت محیط دوم ρ_1 بوده و ρ_2 محیط اول می باشد [۱۵].

حال می خواهیم توابع پتانسیل و در نتیجه مقاومت ویژه ظاهری را برای روش پروفیل زنی افقی با آرایش وئر در موقعیت های مختلف الکترودها نسبت به مرز گسل بدست آوریم [۶].

در اینجا به محاسبه تابع مقاومت ویژه ظاهری برای حالتی که یک گسل میان الکترودهای C_2 و P_2 قرار گرفته باشد می پردازیم و بدلیل تشابه روش محاسبه در مورد سایر توابع، جواب مربوط به حالت های دیگر را صرف نظر می کنیم [۶].

همان طور که در شکل (۳-۳) نیز دیده می شود فاصله الکترودی برابر a بوده و فاصله مرکز آرایش از مرز گسل برابر X و پروفیل زنی از سمت چپ به راست انجام می گیرد. مقاومت ویژه مواد سمت راست گسل ρ'' و مواد سمت چپ گسل ρ' بوده و فاصله میان ایستگاه ها $a/2$ می باشد [۱۵].

فصل سوم: استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها



شکل ۳-۳: نمایش هر یک از الکتروود ها در عبور از روی مرز گسل قائم در پروفیل زنی افقی [۱۵]

پتانسیل نقطه p_1 در نتیجه منبع C_2 و C_1 و تصویر C_1 می باشد که با کمک روابط (۳-۴) و (۳-۵) می توان نوشت [۱۵]:

$$V_{p_1} = \frac{\rho''I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{a} + \frac{(-k)}{2(x_c + a)} \right) - \frac{(1-k)}{2a} \right] \quad (۳-۶)$$

$$V_{p_1} = \frac{\rho''I}{2\pi} \left[\frac{1}{2a} - \frac{kx_c}{2a(x_c + a)} \right]$$

پتانسیل نقطه p_2 نیز بصورت مشابه محاسبه شده که پس از ساده کردن به صورت زیر درمی آید [۱۵]:

$$V_{p_2} = \frac{\rho''I}{2\pi} \left[\frac{-1}{2a} - \frac{2kx_c}{a(2x_c + a)} \right] \quad (۳-۷)$$

با کم کردن رابطه (۳-۶) از (۳-۷) اختلاف پتانسیل میان دو نقطه محاسبه می شود [۱۵]:

$$\Delta V = V_{p_2} - V_{p_1} = \frac{\rho''I}{2\pi a} \left[1 + \frac{kx_c(2x_c + 3a)}{2(x_c + a)(2x_c + a)} \right]$$

از آنجا که برای آرایش و نر داریم:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (۳-۸)$$

و با در نظر گرفتن رابطه (۳-۳) می توان نوشت:

$$\frac{\rho_a}{\rho'} = \frac{1-k}{1+k} \left[1 + \frac{kx_c(2x_c + 3a)}{2(x_c + a)(2x_c + a)} \right] \quad \frac{3a}{2} > x_c > \frac{a}{3} \quad (۳-۹)$$

به همین ترتیب برای حالت های مختلف می توان V_{12} و سپس نسبت $\rho a / \rho'$ را محاسبه نمود [۱۵].

با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای k می توان نسبت $\rho a / \rho'$ را برحسب نسبت X_c/a (در پروفیل زنی افقی)

و یا نسبت a/X_c (در روش سونداژ الکتریکی) رسم کرد و به منحنی های تئوری گسل قائم در روش های

پروفیل زنی افقی و سونداژ الکتریکی به ازای مقادیر مختلف k دست یافت [۶].

۳-۱-۴- محاسبه منحنی های تئوری برای گسلهای مایل:

در بحث قبلی با استفاده از نظریه تصاویر الکتریکی توانستیم توابع پتانسیل و در نتیجه مقاومت ویژه ظاهری را بر حسب مقدار k ، برای حالتی که گسل قائم باشد بدست آوریم [۶].

همانطور که قبلاً نیز گفته شد برای گسل های شیبدار کاربرد روش تصاویر با محدودیت روبرو می شود. به عبارت دیگر راه حل محدود به حالتی می شود که لایه زیری کاملاً مقاوم یا هادی باشد.

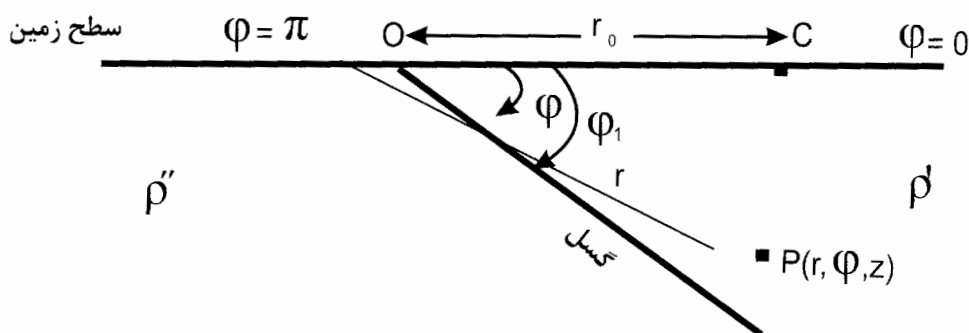
در اینجا جهت رفع این مشکل، تئوری توسعه داده شده است به گونه ای که قادر به محاسبه توابع پتانسیل و در نتیجه مقادیر مقاومت ویژه ظاهری برای هر مقدار k و هر زاویه شیبی باشیم [۶].

روشی که جهت محاسبه توابع پتانسیل بکار رفته، استفاده از جواب های معادله لاپلاس در مختصات استوانه ای می باشد [۶].

در شکل ۳-۴ تصویر یک گسل شیبدار با زاویه شیب ϕ_1 مشاهده می شود. مقاومت ویژه محیط سمت راست P' و مقاومت ویژه محیط سمت چپ P'' می باشد. نقطه C منبع جریان بوده و محاسبه پتانسیل در نقطه P مد نظر می باشد. خط اثر گسل در روی سطح زمین به عنوان محور Z (بسمت خارج صفحه) در نظر گرفته شده است. بسته به اینکه نقطه P در سمت چپ (محیط با مقاومت ویژه P'') یا در سمت راست (محیط با مقاومت ویژه P') قرار گرفته باشد توابع U_{1A} و U_{2A} با استفاده از جواب معادله لاپلاس محاسبه می شود که از ذکر این معادلات در اینجا صرف نظر می شود [۶].

در صورتی که منبع جریان دیگری مثل C' نیز وجود داشته باشد اثر آن در پتانسیل نقطه P را می توان از روابط U_{1A} و U_{2A} با در نظر گرفتن محل نقطه C' محاسبه نمود و در نهایت تابع پتانسیل در نقطه P بدست خواهد آمد. در صورتی که محاسبه اختلاف پتانسیل میان نقطه P و نقطه دیگری چون P' مد نظر باشد همانند آنچه که در قسمت مربوط به گسل قائم ذکر شد با تفاضل توابع پتانسیل این دو نقطه می توان تابع

اختلاف پتانسیل و سپس با کمک رابطه (۳-۸) تابع مقاومت ویژه ظاهری را برای گسل شیبدار محاسبه نمود [۱۵].



شکل ۳-۴ تصویر یک گسل شیب دار و مشخصات آن در مختصات استوانه ای [۱۵].

۳-۱-۵- اشکال منحنی های تئوری پروفیل زنی برای گسلها

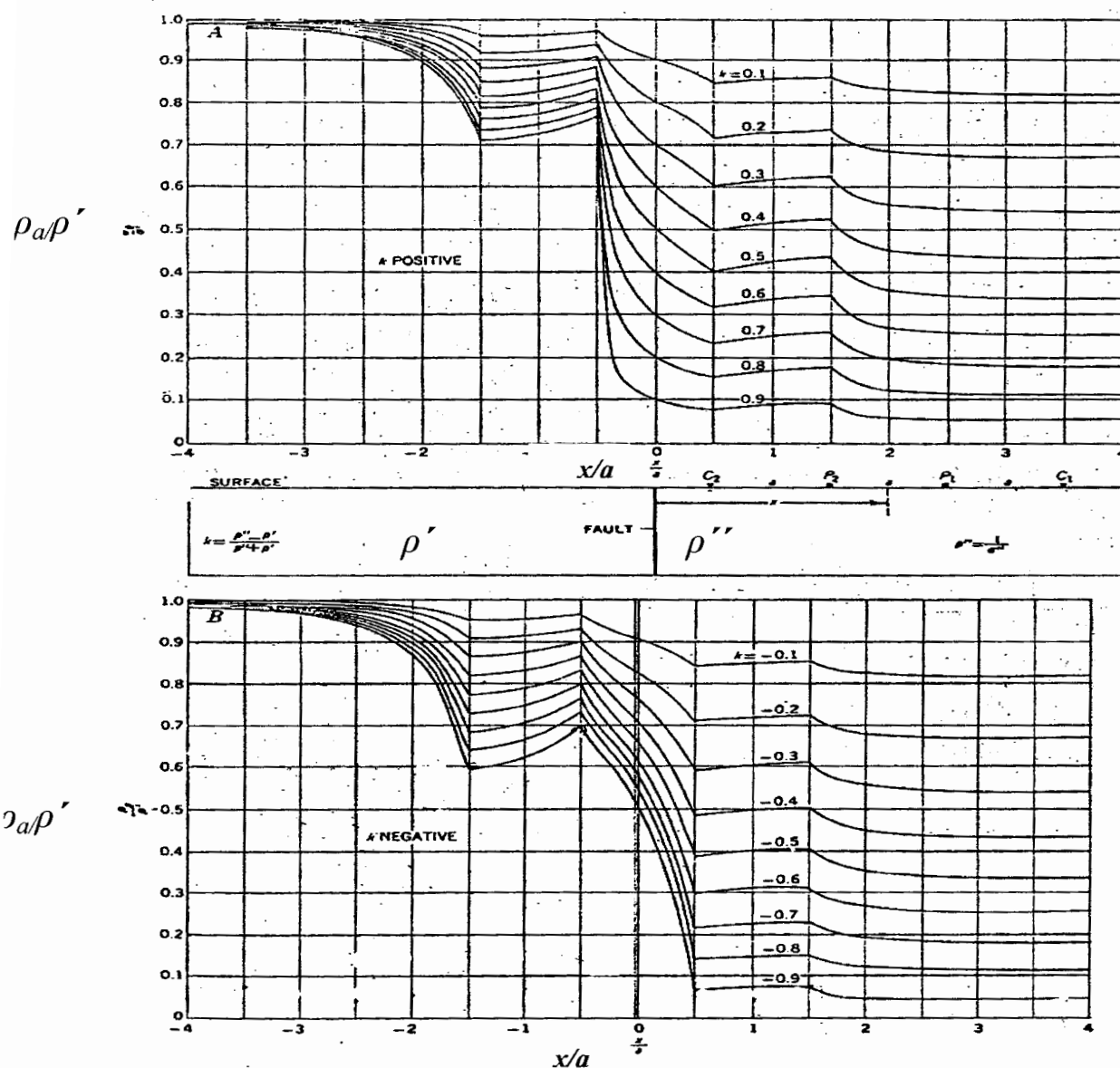
در روش پروفیل زنی افقی هر چهار الکتروود با فاصله الکتروودی ثابت a جابجا می شوند. در اینجا، جهت پروفیل زنی از چپ به راست و امتداد پروفیل عمود بر امتداد گسل می باشد. در زیر ابتدا به منحنی های تئوری پروفیل زنی افقی برای گسل قائم اشاره می کنیم و سپس به منحنی های تئوری پروفیل زنی افقی برای گسل های شیبدار می پردازیم [۶].

۳-۱-۵-۱- شکل منحنی تئوری پروفیل زنی برای گسل قائم

در شکل (۳-۵) دو سری منحنی دیده می شود. در قسمت بالا، شکل منحنی های تئوری قابلیت هدایت و در قسمت پایین، شکل منحنی های تئوری مقاومت ویژه برای روش پروفیل زنی با آرایش و نر برای ضرایب بازتاب مختلف k آورده شده است. همان طور که قبلا نیز گفته شد امتداد پروفیل زنی عمود بر امتداد گسل

فصل سوم: استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها

و جهت آن از چپ به راست می باشد. مقاومت ویژه محدوده سمت چپ (محیط اول) ρ' و مقاومت ویژه محدوده سمت راست (محیط دوم) ρ'' می باشد.



شکل ۳-۵: منحنی های تئوری هدایت ویژه (A) و مقاومت مخصوص (B) به روش پروفیل زنی افقی و با آرایش وئر برای یک گسل قائم. خط پیمایش عمود بر امتداد گسل بوده و ضریب انعکاس از 0.1 تا 0.9 برای شکل A ($\rho' < \rho''$) و 0.1 تا 0.9 برای شکل B ($\rho' > \rho''$) متغیر می باشد.

دامنه تغییرات k برای منحنی های بالای شکل از 0.1 تا 0.9 و برای پایین شکل از 1 - تا 0.9 - می باشد. بنابراین در قسمت A، $\rho' < \rho$ می باشد. فاصله مرکز آرایش از مرز گسل برابر x در نظر گرفته شده است [۱۵].

در قسمت بالا در روی محور قائم نسبت هدایت ویژه ظاهری اندازه گیری شده به هدایت ویژه محیط اول (σ'_a/σ') و در روی محور افقی نسبت فاصله مرکز آرایش از مرز گسل به فاصله الکترودی (x/a) قرار دارد. (به عبارت دیگر فاصله ها بر حسب a نرم شده اند) [۱۵].

در شکل پایین در روی محور قائم نسبت ρ_a/ρ' و در روی محور افقی نسبت x/a قرار گرفته است [۱۵]. در روی هر دو سری از منحنی ها چهارنا پیوستگی دیده می شود. اولی از سمت چپ به راست مربوط به هنگامی است که الکتروود جریان C_1 از روی مرز عبور کند. دومی مربوط به عبور الکتروود پتانسیل p_1 از روی مرز می باشد. سومی مربوط به عبور الکتروود پتانسیل p_2 و در نهایت چهارمین نا پیوستگی مربوط به عبور الکتروود جریان C_2 از روی مرز می باشد. مقدار p اندازه گیری شده به وسط p_1, p_2 نسبت داده شده است [۱۵].

محل گسل بر روی محور افقی به عنوان مبدأ در نظر گرفته شده است. در نقاط سمت چپ مبدأ، مقدار x/a منفی و در نقاط سمت راست مبدأ، مقدار x/a مثبت می باشد [۱۵].

از آنجا که این مقادیر در روی محور افقی بیانگر مقدار x/a می باشند، اولین نا پیوستگی در فاصله افقی $3a/2$ از گسل اتفاق می افتد [۱۵].

بنابراین با داشتن محل این پیک بر روی محور افقی می توان گفت که محل گسل در فاصله $3a/2$ از این نقطه و در سمت راست آن قرار دارد که در آن a فاصله الکتروودی در آرایش و n می باشد [۱۵].

نا پیوستگی مربوط به عبور الکتروود p_1 از روی مرز در فاصله افقی $1/2$ - از مبدأ قرار دارد. بنابراین داریم:

$$x/a = -1/2$$

$$x = -a/2$$

در نتیجه:

بنابراین با تشخیص این پیک بر روی منحنی پروفیل زنی افقی می توان گفت که محل گسل در فاصله $a/2$ از این نقطه و در سمت راست آن قرار دارد.

بطریق مشابه برای عبور الکتروود p_2 از روی مرز داریم :

$$x/a = 1/2$$

$$x = a/2$$

در نتیجه:

برای عبور الکتروود C_2 :

$$x/a = 3/2$$

$$x = 3a/2$$

در نتیجه

بنابراین با تشخیص هر یک از این نا پیوستگی ها و تعیین موقعیت دقیق آن می توان محل گسل را در روی سطح زمین تعیین کرد.

از روی شکل می توان دید که برجسته ترین نقاط روی منحنی، نا پیوستگی های مربوط به عبور الکتروود p_1 و الکتروود p_2 از روی مرز می باشند که حتی در مواردی که k مقدار کوچکی دارد بازهم بر روی منحنی پروفیل زنی افقی، این نقاط بخوبی قابل تشخیص می باشد [۱۵].

نا پیوستگی مربوط به عبور الکتروودهای جریان C_1 و C_2 ، در مواردی که مقدار k دو محیط کوچک باشد ممکن است به راحتی بر روی منحنی پروفیل زنی افقی مشخص نبوده و تعیین دقیق موقعیت این نقاط امکان پذیر نباشد [۱۵].

بنابراین جهت تعیین محل گسل بر روی سطح زمین بایستی از نقاط نا پیوستگی مربوط به عبور الکتروودهای p_1 و p_2 استفاده نمود تا در تعیین محل گسل با خطای کمتری مواجه شویم.

۳-۱-۵-۲- شکل منحنی تنوری پروفیل زنی برای گسل شیبدار

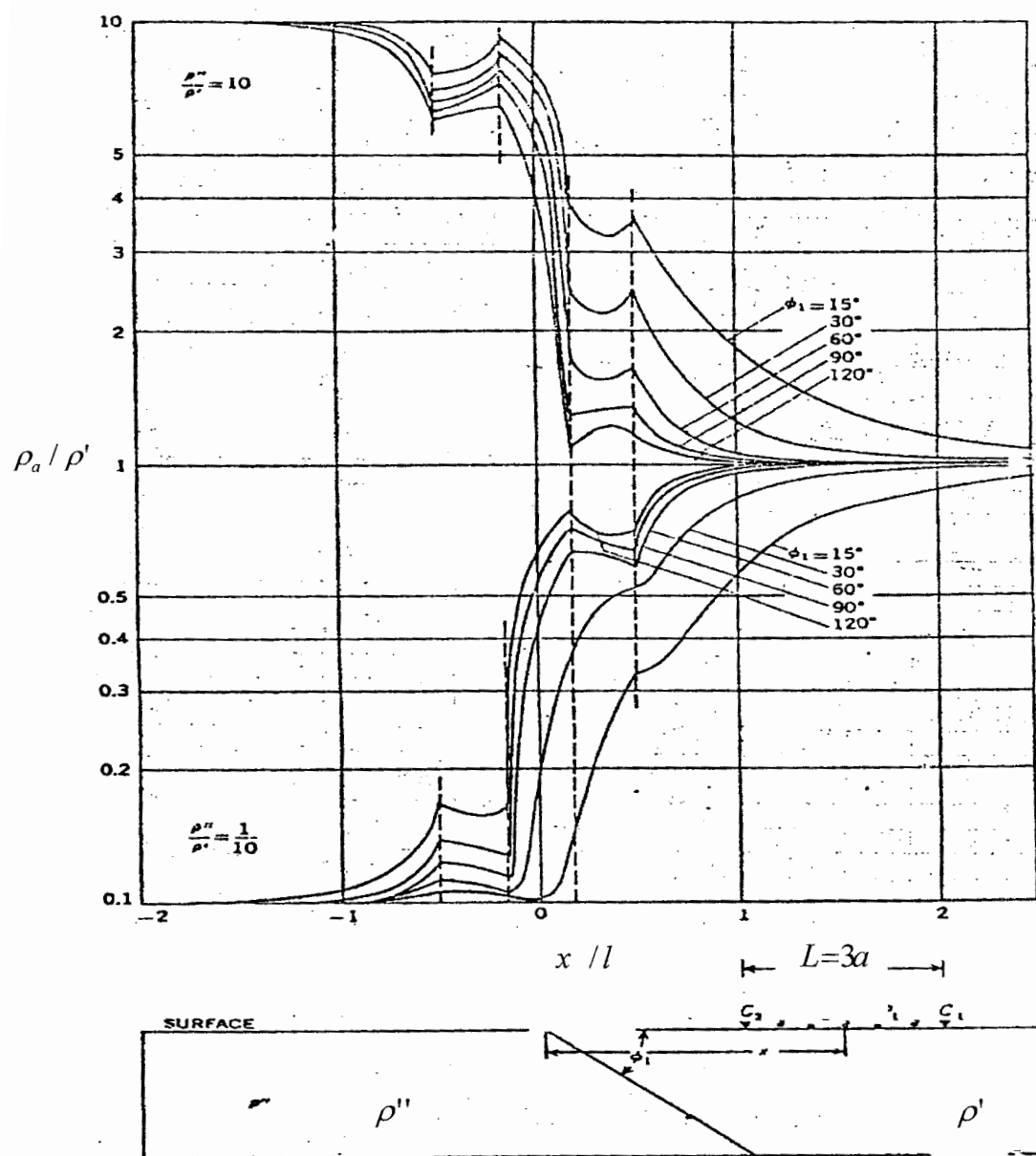
منحنی های پروفیل زنی افقی برای گسل شیبدار تقریباً مشابه با منحنی پروفیل زنی افقی برای گسل قائم می باشد. نا پیوستگی های روی منحنی پروفیل زنی مربوط به عبور الکترودها از روی مرز نیز در همان فواصل $\pm 3a/2$ و $\pm a/2$ از مرز قرار دارند [۶].

عمده تفاوت منحنی ها در اینست که مقدار مقاومت ویژه ظاهری در نقاط نا پیوستگی منحنی پروفیل زنی برای گسل شیبدار وقتی $p'' > p'$ باشد، بزرگتر از مقدار مقاومت ویژه ظاهری مربوط به گسل قائم می باشد. به عبارت دیگر در صورتی که روند منحنی نزولی باشد با کاهش شیب از 180° درجه به صفر مقدار مقاومت ویژه در پیک افزایش می یابد. این موضوع همانطور که در شکل (۳-۶) دیده می شود برای نقطه مربوط به عبور الکترودهای C_2 و سپس p_1 از همه مشخص تر است. در حالتی که $p'' < p'$ باشد عکس حالت گفته شده در بالا صادق می باشد یعنی مقدار مقاومت ویژه در نقاط نا پیوستگی مربوط به عبور الکترودها در منحنی پروفیل زنی گسل شیبدار (شیبهای کمتر از 90° درجه) کوچکتر از گسل قائم خواهد بود [۶].

شکل (۳-۶) منحنی های پروفیل زنی افقی را برای شیب های مختلف ϕ_1 در دو حالت $p''/p' = 10$ و $p''/p' = 1/10$ نشان می دهد. در اینجا مقادیر p_a/p' برحسب x/L رسم شده اند که L فاصله میان الکترودهای C_1 و C_2 بوده و برابر $3a$ می باشد. امتداد پروفیل زنی از چپ به راست و عمود بر امتداد گسل می باشد و زاویه شیب ϕ_1 از سمت راست (سمت پیشروی پروفیل زنی) سنجیده شده است.

در حالتی که $p''/p' = 10$ است (منحنی های نیمه بالایی شکل) منحنی ها روندی نزولی داشته و به $p_a = p'$ ختم می شود. با افزایش شیب از 15° به 120° درجه کاهش مقدار مقاومت ویژه ظاهری را در نقطه نا پیوستگی مربوط به عبور الکترودهای C_2 داریم. یک تفاوت مهم دیگر در شکل منحنی ها قسمت ما بین نا پیوستگی های مربوط به عبور الکترودهای p_2 و C_2 برای شیب های مختلف می باشد.

فصل سوم: استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها



شکل ۳-۶: شکل منحنی های تئوری مقاومت ویژه الکتریکی به روش پروفیل زنی افقی و با آرایش وئر برای گسل مایل امتداد خط پیمایش عمود بر امتداد فصل مشترک دو لایه با اختلاف مقاومت ویژه محدود ($\frac{\rho''}{\rho'} = \frac{1}{10}$ و $\frac{\rho''}{\rho'} = 10$)

می باشد و زاویه شیب ϕ_1 متغیر در نظر گرفته شده است [۱۵].

همان طور که در شکل نیز دیده می شود برای $\varphi_1 < 90^\circ$ جهت تحذب این قسمت منحنی ها به سمت پایین می باشد. برای $\varphi_1 = 90^\circ$ به خط صاف تبدیل شده و برای $\varphi_1 > 90^\circ$ جهت تحذب منحنی به سمت بالا تغییر کرده است. بنابراین از این نکته می توان در تعیین جهت شیب گسل استفاده کرد البته بشرطی که فاصله ایستگاه ها به اندازه کافی به هم نزدیک باشند [۱۵].

علاوه بر این در تشخیص گسل های مایل از قائم نیز می توان این مطلب را مورد استفاده قرار داد زیرا با مراجعه به شکل (۳-۵) می توان گفت که تغییرات مقدار k نمی تواند در تغییر شکل خط واصل این دو نقطه، نا پیوستگی مربوط به عبور الکترودهای p_2 و C_2 ، از منحنی مؤثر باشد و صافی این قسمت از منحنی می تواند دلیلی بر قائم بودن گسل مربوطه باشد [۶].

در شکل (۳-۶)، منحنی های قسمت پایین شکل برای حالتی است که $p''/p' = 1/10$ باشد. منحنی ها روندی صعودی داشته و از $p_a = p''$ شروع شده و به $p_a = p'$ ختم می شوند. در این حالت برای تغییرات شیب، عکس حالت بالا را خواهیم داشت یعنی در صورتی که منحنی روندی صعودی داشته باشد، جهت تحذب منحنی بین نا پیوستگی مربوط به الکترودهای C_2 و P_2 برای $\varphi_1 < 90^\circ$ به سمت بالا و برای $\varphi_1 > 90^\circ$ به سمت پایین می باشد [۱۵].

بنابراین با در نظر گرفتن شکل منحنی صحرایی می توان به تغییرات مقاومت ویژه در دو طرف صفحه گسل پی برد و سپس با مقایسه آن با منحنی تئوری مناسب مربوطه می توان شیب و جهت شیب گسل را تعیین نمود [۱۵].

نکته حائز اهمیت آنکه، در صورتی که زاویه خط پیمایش با امتداد گسل (θ) کمتر از 60° باشد تعیین محل دقیق گسل بسیار مشکل می باشد و از روی منحنی ها فقط می توان به ناهمگنی جانبی در محیط پی برد ولی در صورتی که $60^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ درجه و اختلاف مقاومت ویژه های دو محیط کافی باشد، پیک ها برجسته و مشخص بوده و می توان محل گسل را روی سطح زمین مشخص نمود [۶].

۳-۵-۱-۳- شکل منحنی پروفیل زنی با آرایش لی برای یک گسل با شیب $\phi_1 = 45^\circ$

در شکل (۷-۳)، شکل منحنی پروفیل زنی افقی با آرایش لی چپ و راست و در زیر آن منحنی پروفیل زنی افقی با آرایش وئر برای یک گسل شیبدار آورده شده است [۱۵].

مقاومت ویژه محدوده سمت چپ ρ'' و مقاومت ویژه در محدوده سمت راست ρ' می باشد و مقدار ضریب انعکاس فصل مشترک دو محیط $k = 0.6$ می باشد. جهت شیب به سمت راست بوده و جهت پروفیل زنی از چپ به راست و عمود بر امتداد گسل می باشد [۱۵].

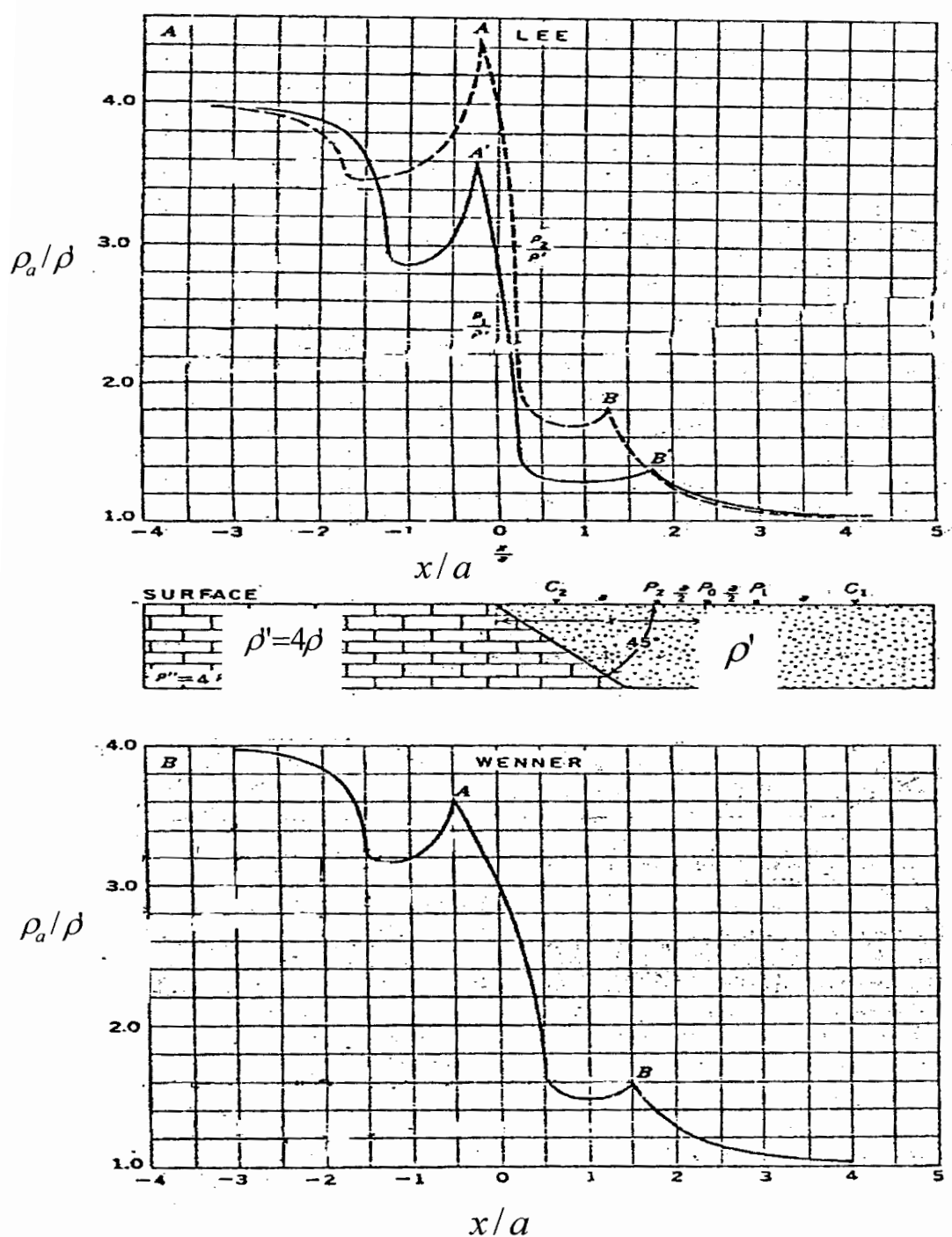
عمده تفاوت اصلی میان منحنی های لی چپ و راست در نقطه شروع منحنی ها می باشد.

در منحنی های لی راست پس عبور الکتروود p_1 از روی مرز، پیک A' بر روی نمودار ظاهر می شود. این پیک در فاصله $a/4$ از مرز گسل قرار دارد. (بدلیل اینکه فاصله $p_1 p_0$ برابر $a/2$ می باشد و مقدار بدست آمده به وسط $p_1 p_0$ نسبت داده می شود). در مورد لی چپ نیز همین پیک بنام A پس از عبور الکتروود p_0 از روی مرز در فاصله $a/4$ از مرز گسل ظاهر خواهد شد. موقعیت بقیه پیک های مربوط به منحنی های لی راست و چپ با یکدیگر هماهنگی ندارد [۱۵].

تفاوت دیگری که میان منحنی های لی راست و چپ در گسل قائم و شیبدار وجود دارد مربوط به مقاومت زیاد پیک A در منحنی لی چپ نسبت به پیک A' در منحنی لی راست است و دیگر اینکه در گسل قائم نقاط A و B نسبت به محل گسل متقارن می باشند ولی در گسل شیبدار این طور نیست.

به صورت مشابه مقدار مقاومت ویژه در پیک B نیز قدری بیشتر از مقدار مقاومت ویژه در پیک B' می باشد. پیک B در فاصله $1.25a$ و پیک B' در فاصله $1.75a$ از مرز گسل قرار دارند. این پیک ها در نتیجه عبور الکتروود C_2 از روی مرز حاصل شده اند [۱۵].

فصل سوم: استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها



شکل ۳-۷: منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش پروفیل زنی افقی و با آرایش لی (شکل A، منحنی خط چین لی چپ و منحنی خط پر لی راست) و ونر (شکل B). امتداد پروفیل عمود بر امتداد گسل با شیب $\varphi_1 = 45^\circ$ می باشد. $[K=0.6]$ (۱۵)

در روی منحنی مربوط به آرایش وئر پیک A در فاصله $a/2$ - و پیک B در فاصله $3a/2$ از گسل قرار دارند. علت انحراف پیک های لی چپ و راست در مقایسه با پیک های آرایش وئر این است که در منحنی های لی چپ و راست مقدار p اندازه گیری شده به ترتیب به وسط p_2 و p_0 نسبت داده می شود ولی در آرایش وئر مقدار p اندازه گیری شده به وسط p_1 و p_2 نسبت داده می شود [۶].

۳-۱-۶- کاربرد منحنی های تئوری سونداژ الکتریکی در اکتشاف گسلها

شناخت و فهم مشخصات منحنی های پروفیل زنی قائم یا سونداژ الکتریکی در کنار یک گسل می تواند جهت اکتشاف گسل ها مفید واقع شود. از آنجا که معمولا روش پروفیل زنی افقی جهت بررسی تغییرات جانبی و روش سونداژ الکتریکی جهت بررسی تغییرات عمقی مقاومت ویژه بکار می رود و عدم وجود تغییرات جانبی مقاومت ویژه از فرضیات سونداژ زنی محسوب می شود، در صورت وجود این تغییرات (که معمولا مرز آنها گسل می باشد) به کمک منحنی های تئوری مربوط به روش سونداژ الکتریکی می توان پی به وجود این تغییرات برده و گسل مربوطه را اکتشاف نمود [۶].

در زیر ابتدا مشخصات منحنی های تئوری مربوط به سونداژ الکتریکی در کنار گسل قائم را ذکر کرده و سپس به منحنی های تئوری سونداژ الکتریکی در کنار گسل های شیبدار می پردازیم.

۳-۱-۶-۱- شکل منحنی تئوری سونداژ الکتریکی با آرایش وئر در کنار گسل قائم

شکل (۳-۸) منحنی های تئوری سونداژ الکتریکی در کنار یک گسل قائم با آرایش وئر را نشان می دهند. شکل بالایی، منحنی های قابلیت هدایت و شکل پایینی منحنی های مقاومت ویژه می باشند که برای مقادیر مختلف k از 0.1 تا 0.9 (شکل بالا) و 0.1 تا 0.9 - (شکل پایین) رسم شده اند. مقاومت ویژه در سمت چپ

گسل p' و در سمت راست p'' در نظر گرفته شده و مرکز سونداژ در سمت چپ گسل قرار دارد. امتداد سونداژ زنی عمود بر امتداد گسل می باشد [۶].

در اینجا نیز محور قائم برای منحنی های مقاومت ویژه همانند روش پروفیل زنی افقی، مقدار p_a/p' می باشد ولی بر روی محور افقی نسبت a/x می باشد. x فاصله مرکز سونداژ از خط اثر گسل بر روی زمین می باشد. به عبارت دیگر همه فاصله الکترودی ها (a) بر حسب فاصله از گسل (x)، نرم شده اند).

در روی هر دو سری از منحنی های تئوری سونداژ الکتریکی دو نا پیوستگی مشخص می باشد که اولی از چپ به راست مربوط به عبور الکتروود جریان C_1 از روی مرز می باشد و دومی مربوط به عبور الکتروود پتانسیل P_1 از روی مرز است. نا پیوستگی دوم از اهمیت بیشتری برخوردار می باشد زیرا دقیقاً در فاصله افقی $a/x = 2$ و بر روی گسل قرار گرفته که می تواند در تشخیص دقیق تر محل گسل کمک نماید [۶].

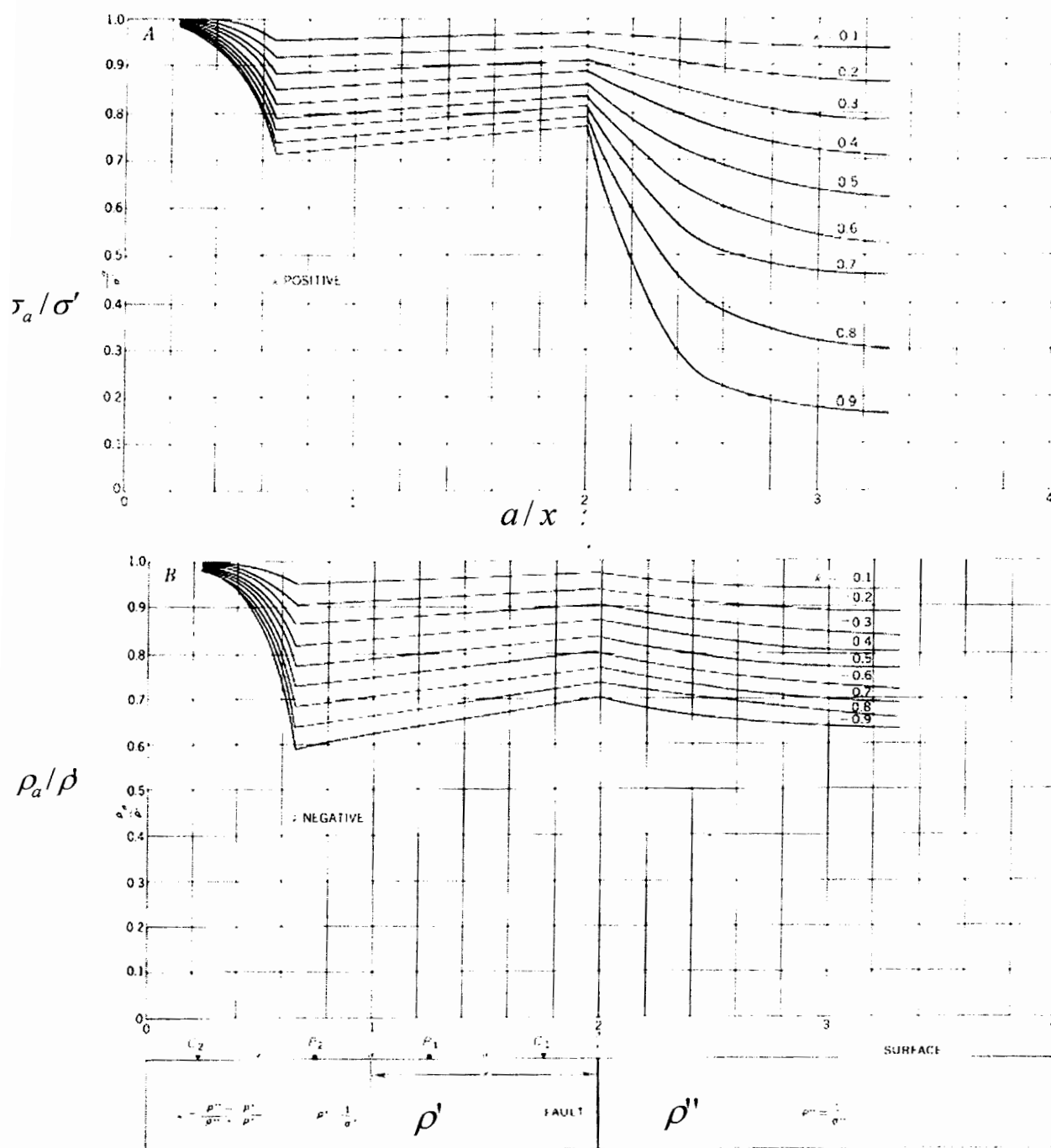
$$op_1 = a/2, op_1 = x \Rightarrow x = a/2$$

a = فاصله الکتروودی در سونداژ الکتریکی و x = فاصله مرکز سونداژ از گسل

به دلیل ثابت ماندن فاصله مرکز سونداژ از گسل این نقطه به عنوان مبدأ در نظر گرفته شده ولی در روش پروفیل زنی افقی به دلیل تغییر مرکز آرایش محل گسل به عنوان مبدأ در نظر گرفته شده است.

همان گونه که از شکل نیز مشخص است با کوچک شدن مقدار k تشخیص محل دقیق نا پیوستگی ها بر روی منحنی ها به سختی صورت می گیرد و سرانجام به محو شدن آنها می انجامد [۶].

فصل سوم: استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها



شکل ۳-۸: منحنی های تئوری مقاومت ویژه (شکل A) و هدایت ویژه (شکل B) به روش سونداژ الکتریکی و با آرایش وئر بر روی گسل قائم. ضریب انعکاس از 0.1 تا 0.9 (A) و -0.1 تا -0.9 (B) متغیر می باشد [۱۵].

۳-۶-۱-۲- شکل منحنی تئوری سونداژ الکتریکی با آرایش لی در کنار گسل قائم

در شکل (۳-۹)، دو سری منحنی مربوط به سونداژ الکتریکی در کنار یک گسل قائم با آرایش لی آورده شده است. در شکل بالا محیط سمت چپ مقاومت ویژه بیشتری نسبت به محیط سمت راست خود دارد و مقادیر k منفی می باشند [۱۵].

در شکل پایین مقاومت ویژه محیط سمت راست بیشتر از سمت چپ بوده و k مثبت می باشند. فاصله مرکز سونداژ (الکتروود مرکزی P_0) از خط اثر گسل برابر ۲ واحد در نظر گرفته شده و در روی محور قائم نسبت ρ_a/ρ' و در روی محور افقی مقادیر a در هر مرحله از سونداژ آورده شده است.

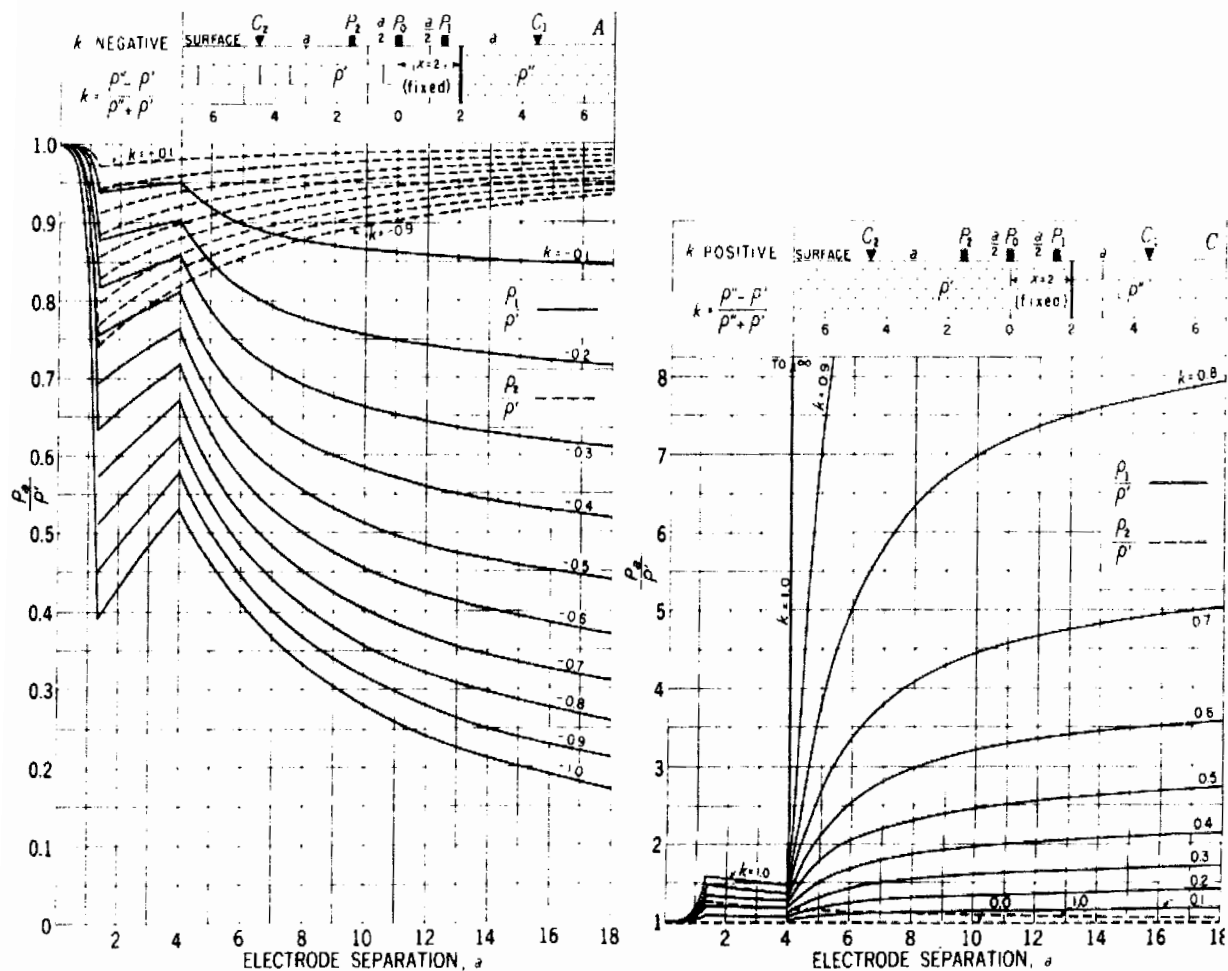
همانطور که در هر دو شکل اخیرالذکر دیده می شود مرکز سونداژ در سمت چپ گسل قرار گرفته بنابراین با افزایش فاصله الکتروودی ابتدا الکتروود C_1 از روی مرز عبور کرده و یک نا پیوستگی بر روی منحنی لی راست در نقطه تقریباً $a=1$ ظاهری می شود. با افزایش فاصله الکتروودی، الکتروود P_1 نیز از روی مرز عبور کرده و دومین نا پیوستگی در نقطه $a=4$ واحد آشکار می شود [۱۵].

از آنجا که نتایج برای لی راست به وسط $P_1 P_0$ و برای لی چپ به وسط $P_2 P_0$ نسبت داده می شوند، در شکل بالا با افزایش فاصله الکتروودی a منحنی لی راست کم کم حالت نزولی پیدا کرده تا سرانجام به مقاومت ویژه محیط سمت راست مجانب شود. منحنی لی چپ (منحنی خط چین) نیز با دور شدن الکتروود P_2 از مرز صعود کرده تا به مقاومت ویژه محیط چپ مجانب شود.

برای شکل پایین از آنجا که مقاومت ویژه محیط سمت راست بیشتر از محیط سمت چپ است، حالت عکس اتفاق می افتد. یعنی با افزایش فاصله الکتروودی منحنی لی راست صعود کرده تا به مقاومت ویژه محیط سمت راست مجانب شود و منحنی لی چپ نیز نزول کرده تا به مقاومت ویژه محیط سمت چپ مجانب گردد [۱۵].

همانطور که قبلا نیز گفته شد منحنی لی راست پس از عبور الکترو د P_1 یک ناپیوستگی در نقطه $a = 4$ می دهد. از آنجا که فاصله مرکز سونداژ از گسل برابر ۲ واحد در نظر گرفته شده می توان گفت که برای محاسبه فاصله مرکز سونداژ از گسل در منحنی های صحرایی بایستی مقدار بدست آمده از ناپیوستگی دوم را بر عدد دو تقسیم کرد. به عبارت دیگر در آرایش لی منحنی سونداژ بسته به اینکه مرکز سونداژ در سمت چپ گسل یا در سمت راست آن باشد، یک ناپیوستگی در فاصله الکترو دی دو برابر فاصله مرکز سونداژ از گسل ($a = 2x$) بر روی منحنی لی راست یا چپ ظاهر خواهد شد که با کمک آن می توان محل گسل را در روی سطح زمین مشخص کرد [۱۵].

از مقایسه منحنی های آرایش لی و وئر نتیجه می شود که ناپیوستگی های مربوط به آرایش های لی به شکل قوی تر و برجسته تری نسبت به آرایش وئر ظاهر می شوند.



شکل ۳-۹: منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش سونداژ الکتریکی و با آرایش لی بر روی گسل قائم. (K از ۱ تا -۱ متغیر می باشد). [۱۵]

۳-۶-۱-۳- شکل منحنی های تئوری سونداژ الکتریکی با آرایش های و نر و لی در کنار یک گسل شیبدار
چند تفاوت میان منحنی های تئوری سونداژ مربوط به گسل شیبدار با گسل قائم وجود دارد که از آنها می توان جهت تشخیص گسل قائم از مایل استفاده کرد [۶].

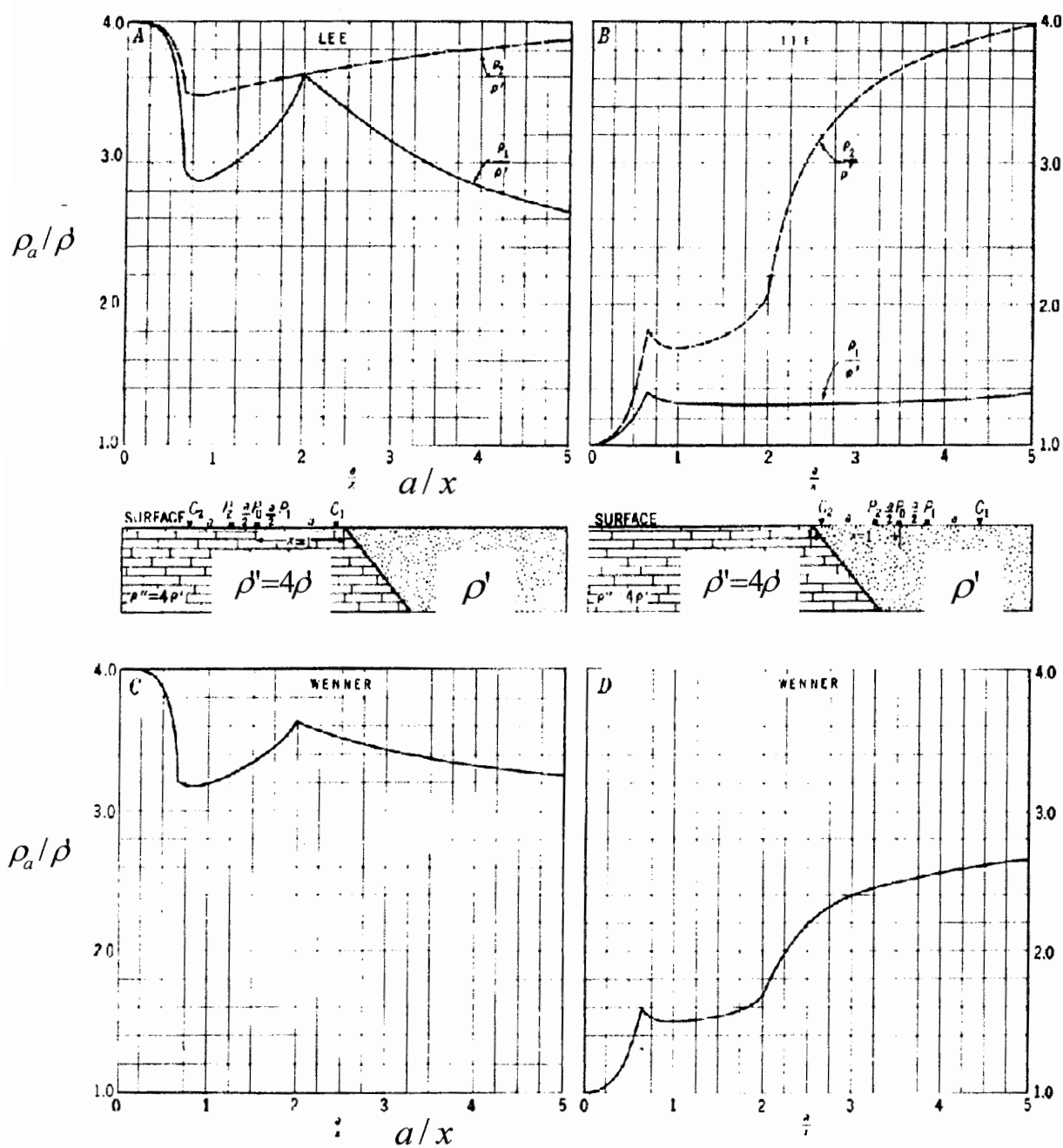
در شکل (۳-۱۰) منحنی های سونداژ الکتریکی با آرایش های و نر و لی در کنار یک گسل شیبدار در دو حالت آورده شده است. در حالت اول (سمت چپ) مرکز سونداژ در سمت چپ گسل و در حالت دوم (سمت راست) مرکز سونداژ در سمت راست دیواره گسل قرار دارد [۶].

مقاومت ویژه محیط سمت چپ ρ و مقاومت ویژه محیط سمت راست ρ' می باشد و ضریب انعکاس فصل مشترک دو محیط $k = +1/6$ می باشد. زاویه شیب گسل $\varphi_1 = 45^\circ$ است. فاصله مرکز سونداژ از گسل (x) برابر واحد در نظر گرفته شده است [۶].

پس از عبور الکترودهای C_1 و P_1 در شکل A دو نا پیوستگی مانند حالت گسل قائم بر روی منحنی لی راست آشکار می شود. در شکل B نیز پس از عبور الکترودهای C_2 و P_2 دو نا پیوستگی بر روی منحنی لی چپ ایجاد می شود. برای منحنی های مربوط به آرایش و نر نیز همین پیک ها را درست در همان نقاط خواهیم داشت [۶].

جهت بررسی اختلاف شکل منحنی های تئوری سونداژ گسل شیبدار و قائم ناحیه فلات شکل ما بین دو پیک (قسمت متصل کننده دو پیک به یکدیگر در نقاط $a/x=1, a/x=2$) را در نظر می گیریم. در صورتی که گسل شیبدار باشد این ناحیه فلات شکل در مقاومت ویژه ظاهری بیشتری نسبت به گسل قائم تشکیل می شود. این موضوع هم برای منحنی های آرایش لی و هم برای منحنی های آرایش و نر صادق می باشد. به عنوان مثال برای آرایش لی اختلاف ارتفاع این دو ناحیه فلات مانند، که بر روی منحنی های لی چپ و راست قرار دارند برای گسل شیبدار $\varphi_1=45^\circ$ دو برابر گسل قائم با همان اختلاف مقاومت ویژه می باشد [۶].

فصل سوم: استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها



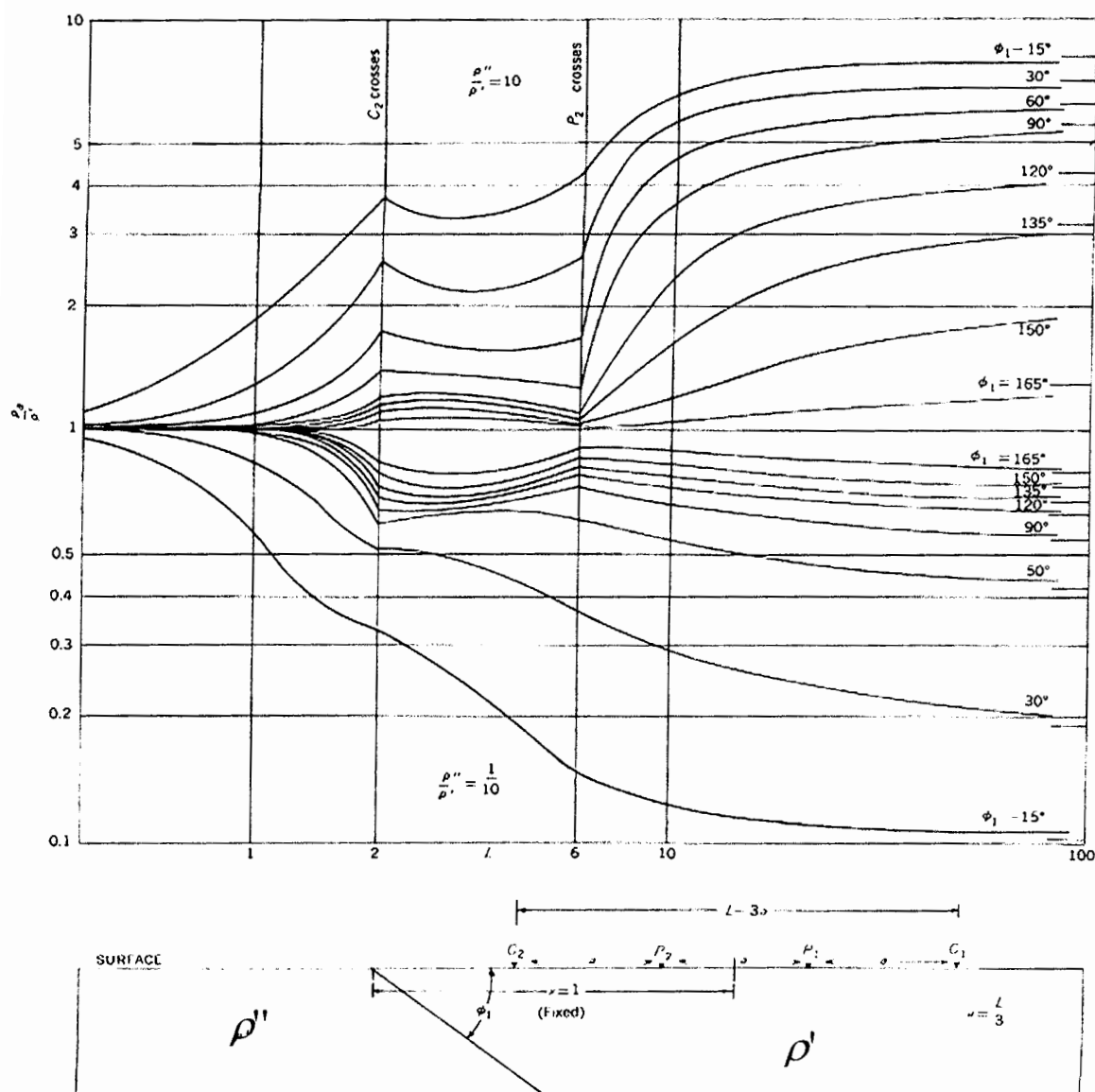
شکل ۳-۱۰: منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش سونداژ الکتریکی و با روش های لی (A,B) و ورنر (C,D) در امتداد عمود بر امتداد گسل با زاویه شیب $\varphi_1 = 45^\circ$, $(K=0.6)$, [۱۵]

در شکل (۳-۱۱)، منحنی های تئوری مقاومت ویژه برای سونداژ الکتریکی با آرایش وئر در کنار گسل شیبدار با زاویه شیب متغیر φ_1 آورده شده است. مقدار مقاومت ویژه در سمت چپ ρ'' و در سمت راست گسل ρ' می باشد. برای منحنی های نیمه بالایی $\rho''/\rho' = 10$ و برای منحنی های نیمه پایینی $\rho''/\rho' = 1/10$ می باشد. فاصله میان الکترودهای جریان برابر $L = 3a$ در نظر می گیریم. امتداد گسترش الکترودی، همانند موارد قبلی عمود بر امتداد گسل می باشد. مرکز سونداژ از خط اثر گسل بفاصله x برابر یک واحد و در سمت راست آن قرار دارد. (محل گسل از قبل توسط آرایش لی یا روش پروفیل زنی مشخص می باشد). زاویه φ_1 از سمت مرکز سونداژ سنجیده می شود. روی منحنی ها دو ناپیوستگی مربوط به عبور الکترودهای C_2 و P_2 به خوبی مشخص می باشد [۱۵].

برای زوایای $\varphi_1 < 90^\circ$ درجه جهت تحذب قسمت مابین دو ناپیوستگی به سمت پایین می باشند. برای $\varphi_1 = 90^\circ$ درجه این قسمت به شکل خط افقی خواهد شد و برای $\varphi_1 > 90^\circ$ درجه جهت تحذب منحنی مابین دو ناپیوستگی به سمت بالا می شود. در صورتی که روند منحنی سونداژ نزولی باشد یعنی مقاومت ویژه محیط دوم از محیط اول کمتر باشد (k منفی)، عکس حالت فوق را خواهیم داشت. یعنی برای $\varphi_1 < 90^\circ$ درجه جهت تحذب مابین دوپیک به سمت بالا و برای $\varphi_1 = 90^\circ$ درجه به صورت خط افقی و برای $\varphi_1 > 90^\circ$ درجه به سمت پایین خواهد شد [۱۵].

بنابراین برای تعیین شیب و جهت شیب گسل ها با روش سونداژ زنی بایستی محل گسل از قبل مشخص شده باشد و روند صعودی یا نزولی بودن منحنی ها در این مورد تعیین کننده می باشد.

فصل سوم: استفاده از منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها، اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها



شکل ۳-۱۱: منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش سوند از الکتریکی و با آرایش وئر در امتداد عمود بر فصل مشترک دو محیط، اختلاف مقاومت ویژه در دو طرف محدود بوده $(\frac{\rho''}{\rho'} = 10)$ و $(\frac{\rho''}{\rho'} = \frac{1}{10})$ و زاویه شیب ϕ_1 متغیر می باشد [۱۵].

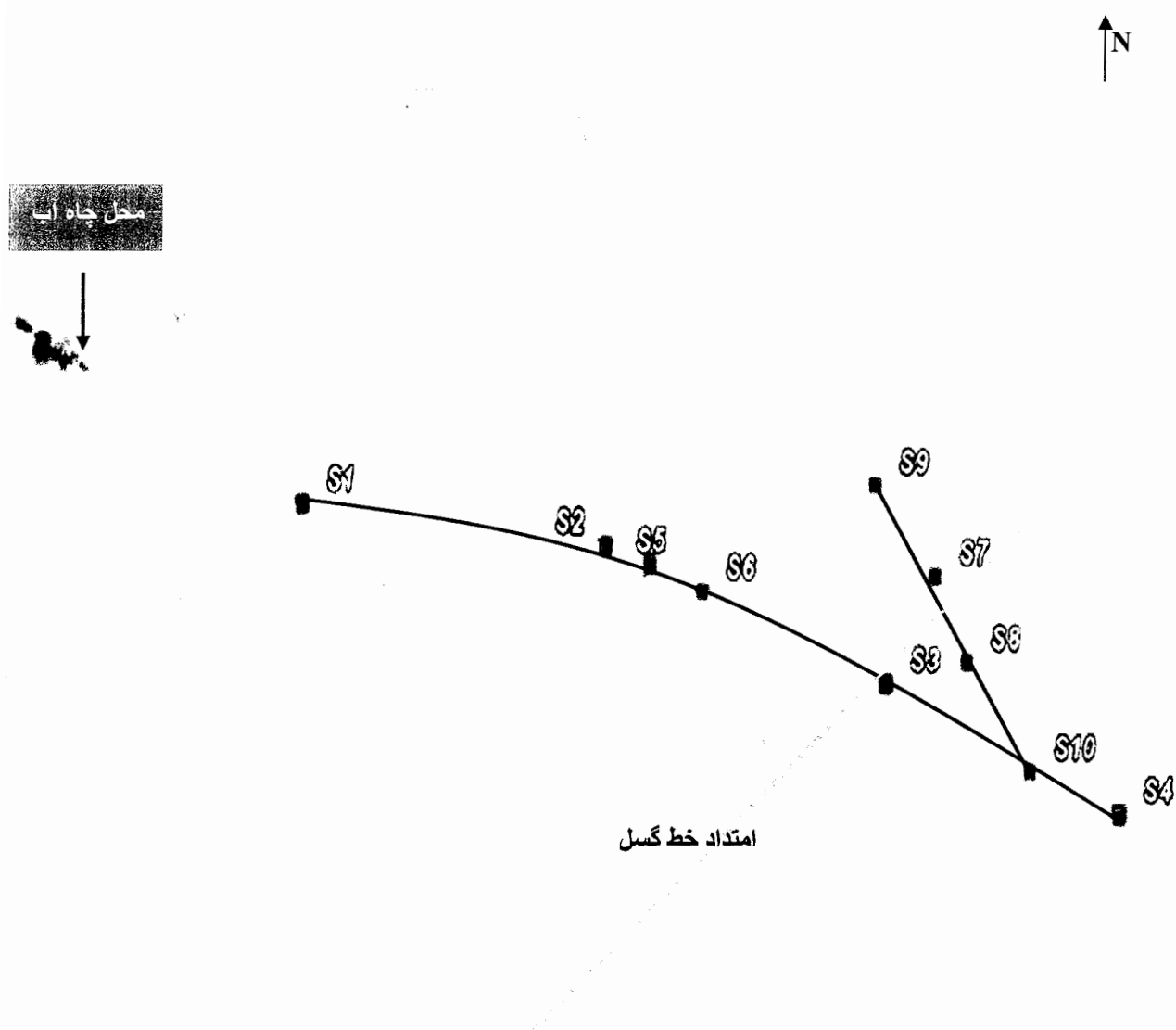
۲-۳- اندازه گیری داده ها و تفسیر کیفی آنها

۱-۲-۳- اندازه گیری و برداشت داده های صحرائی

در برداشت های صحرائی در دره کال قرنو تعداد ۱۰ سونداژ الکتریکی مقاومت ویژه با آرایش و نر و لی و تعداد پنج پروفیل با آرایش و نر و لی به منظور اکتشاف گسل پنهان شاهرود، زده شده است. محل سونداژ ها و پروفیل ها به ترتیب در اشکال (۳-۱۲) و (۳-۲۶)، ارائه شده اند. آزمون امتداد گسترش الکترودها در سونداژها عموماً برابر ۱۱۰ درجه می باشند. امتداد جهت برداشت پروفیل ها نیز از شمال غرب به سمت جنوب شرق و با آزمون تقریباً ۱۲۰ درجه می باشد. داده های برداشت شده برای سونداژهای S1 تا S10 برای هر د و آرایش لی و و نر در پیوست (ب) و موقعیت آنها در پیوست (ج) آورده شده اند.

۲-۲-۳- تفسیر کیفی

هدف از تفسیر کیفی داده های سونداژ الکتریکی به دست آوردن یک تصویر عمومی و کلی از منطقه مورد مطالعه می باشد ولی برای بدست آوردن مدل واقعی زمین و مقاومت ویژه و ضخامت واقعی لایه ها بایستی تفسیر کمی نیز انجام گیرد. در این بخش نخست به تفسیر کیفی منحنی های سونداژ الکتریکی و منحنی های و پروفیل الکتریکی پرداخته می شود و تفسیر کمی منحنی های سونداژ الکتریکی را در فصل بعدی بررسی خواهیم کرد.



شکل ۳-۱۲: محل برداشت داده های سونداژهای الکتریکی با آرایش و نر در منطقه مورد مطالعه

۳-۲-۳- تفسیر کیفی داده های سونداژ الکتریکی

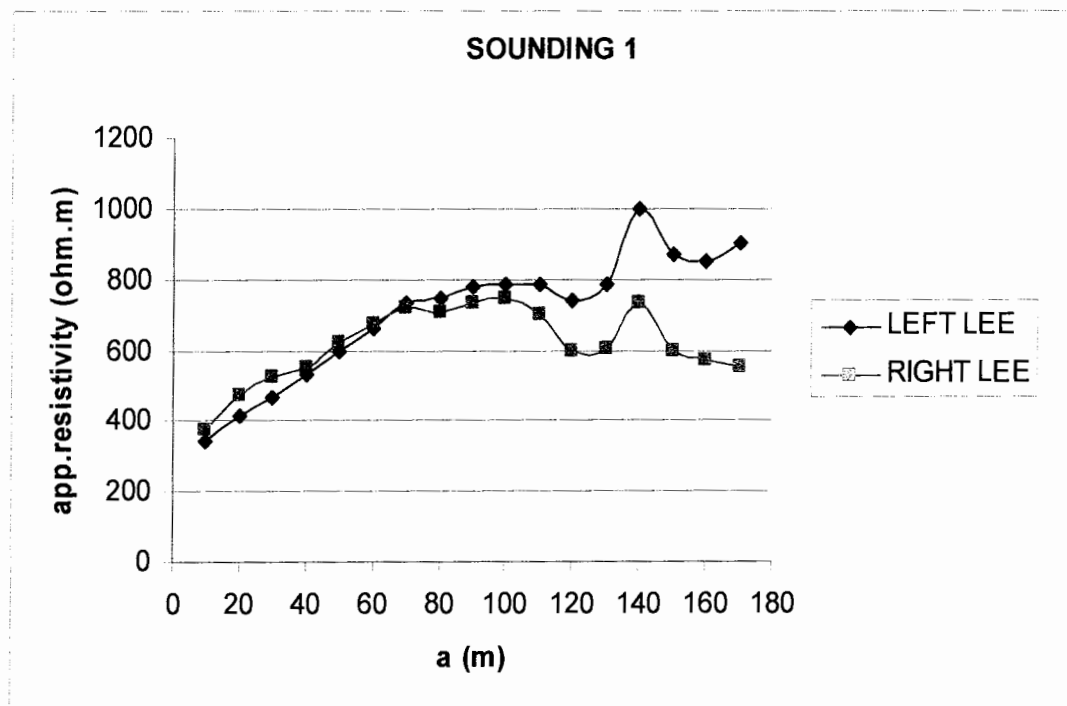
آنچه که در تفسیر کیفی منحنی های سونداژ الکتریکی مورد توجه قرار می گیرد نقاط ماکزیمم و مینیمم در روی این منحنی ها است. وجود نقاط ماکزیمم و مینیمم بر روی این منحنی ها می تواند معرف وجود یک لایه با مقاومت ویژه متفاوت باشد. البته این قاعده کلی نیست و برای اینکه یک لایه بتواند خود را روی منحنی سونداژ نشان دهد باید دارای ضخامت و اختلاف مقاومت ویژه کافی نسبت به طبقات مجاورش باشد. مسئله حائز اهمیت در این تحقیق این است که برای اکتشاف گسلها، باید گسترش الکترودی عمود بر امتداد گسل باشد (با توجه به منحنی های تئوری، فصل سوم). لذا هنگام عبور الکتروود های جریان و پتانسیل از مرز گسل، در روی منحنی های سونداژ، پیکهای ناگهانی به صورت ماکزیمم و مینیمم به وجود می آیند. لذا چون این پیکها به صورت ناگهانی می باشند، قابل تشخیص از ماکزیمم یا مینیمم های منحنی های سونداژ حاصل از لایه های افقی می باشند. از مطابقت منحنی های سونداژ الکتریکی با منحنی های تئوری (مربوط به اکتشاف گسل)، می توان محل گسل ها را شناسائی کرد. در زیر به تفسیر کیفی منحنی های سونداژ الکتریکی می پردازیم.

۳-۲-۳-۱- سونداژ S1

این سونداژ حدوداً در فاصله ۲۰۰ متری جنوب شرقی اتاقک چاه آب ذوب آهن برداشت گردید که مشخصات جغرافیایی و داده های این سونداژ در پیوست (ب) ارائه شده است. کوچکترین فاصله الکتروودی و بزرگترین فاصله الکتروودی به کار رفته در این سونداژ به ترتیب برابر با ۱۰m و ۱۷۰m متر می باشد. منحنی تغییرات مقاومت ویژه این سونداژ بر حسب افزایش فاصله الکتروودی (a) به وسیله نرم افزار Excel ترسیم شده که به همراه منحنی سونداژی های S2 تا S6 در شکل (۳-۱۶)، نمایش داده شده است. افزایش فاصله الکتروودی برای این سونداژ در هر مرحله برابر ۱۰ متر بوده است .

منحنی این سونداژ ابتدا از مقادیر مقاومت ویژه کم حدود $350 \Omega m$ اهم متر شروع شده تا حدود $800 \Omega m$ اهم متر افزایش یافته است. در روی این منحنی یک پیک کوچک به ازای فاصله الکترودی $a = 140m$ مشاهده می شود که بایستی به احتمال زیاد به دلیل وجود نویز باشد. در شکل (۳-۱۳)، منحنی های آرایش لی چپ (غرب) و راست (شرق) این سونداژ آورده شده است. هر دو منحنی سونداژ تقریباً یک روند مشابه را نشان می دهند و در اینجا نیز در ازای گسترش الکترودی $a = 150m$ یک پیک حاصل از نویز روی هر دو منحنی مشاهده می شود.

کاهشی که بعد از حدود $a = 100m$ مشاهده می شود می تواند در اثر وجود آب زیرزمینی در این عمق باشد [۱۱]. بطوریکه در شکل ۳-۱۳ دیده می شود قسمت راست منحنی لی راست در حال کاهش و قسمت راست منحنی لی چپ در حال افزایش می باشد این امر می تواند دال بر شیبدار بودن سنگ کف بسمت راست (شرق) باشد .



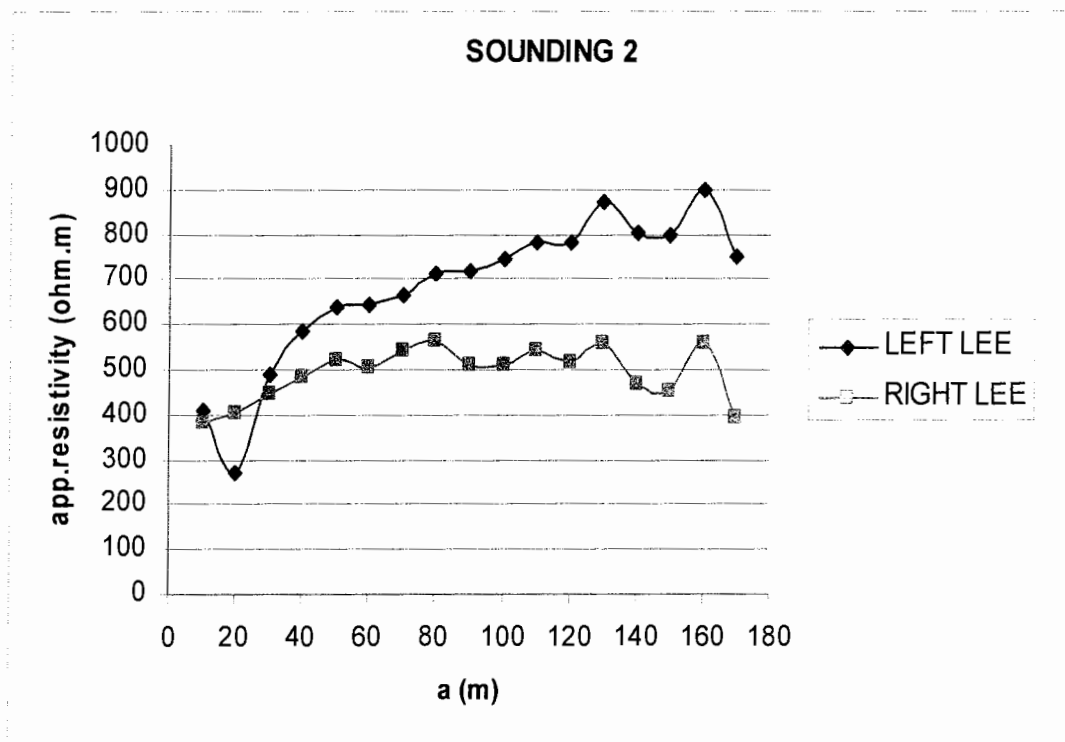
شکل ۳-۱۳ : منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری آرایش لی چپ و راست سونداژ S1 بر حسب افزایش الکترودی a.

۳-۲-۳-۲- سونداژ S2

این سونداژ در فاصله حدود ۲۵۰ متری شرق سونداژ S1 برداشت گردید که مختصات جغرافیایی محل برداشت داده های این سونداژ در پیوست .(ب) آورده شده است.

همانطور که در شکل ۳-۱۶ دیده می شود منحنی این سونداژ روندی صعودی و تقریباً مشابه سونداژ شماره یک از خود نشان می دهد. کوچکترین فاصله الکترودی و بزرگترین فاصله الکترودی به کار گرفته شده در این سونداژ به ترتیب ۱۰ و ۱۷۰ متر می باشد. میزان افزایش فاصله الکترودی برای این سونداژ ۱۰ متر می باشد. کمترین مقاومت ویژه به دست آمده برای این سونداژ برابر $400 \Omega m$ اهم متر است که مربوط به مقاومت ویژه مواد آبرفتی لایه سطحی می باشد. بیشترین مقاومت ویژه مربوط به سنگ کف می باشد و در فاصله الکترودی $a = 130 m$ و $a = 160 m$ به دست آمده که برابر با $700 \Omega m$ اهم متر می باشد. افت منحنی مقاومت ویژه مابین این دو نقطه می تواند در اثر وجود آب زیر زمینی باشد.

در شکل (۳-۱۴)، منحنی های لی چپ (غرب) و لی راست (شرق) این سونداژ نشان داده شده است . منحنی لی چپ یک روند افزایشی تقریباً مشابه منحنی آرایش وئر آن دارد ولی منحنی لی راست ابتدا با شیب کم افزایش یافته و پس از فاصله الکترودی $a = 80 m$ شیب منحنی کاهش یافته تا اینکه به ازای فاصله الکترودی $a = 170 m$ مجدداً به مقاومت ویژه $400 \Omega m$ اهم متر نزول می کند. قسمت سمت راست منحنی لی راست این سونداژ رو به کاهش و قسمت سمت راست منحنی لی چپ رو به افزایش می باشد که این نکته دال بر شیبدار بودن سنگ کف بطرف راست می باشد . منحنی های تغییرات مقاومت ویژه لی چپ و راست مربوط به این سونداژ نسبت به سونداژ S1 از هم فاصله بیشتری گرفته اند که می تواند به دلیل نزدیک شدن به مرز گسل باشد.



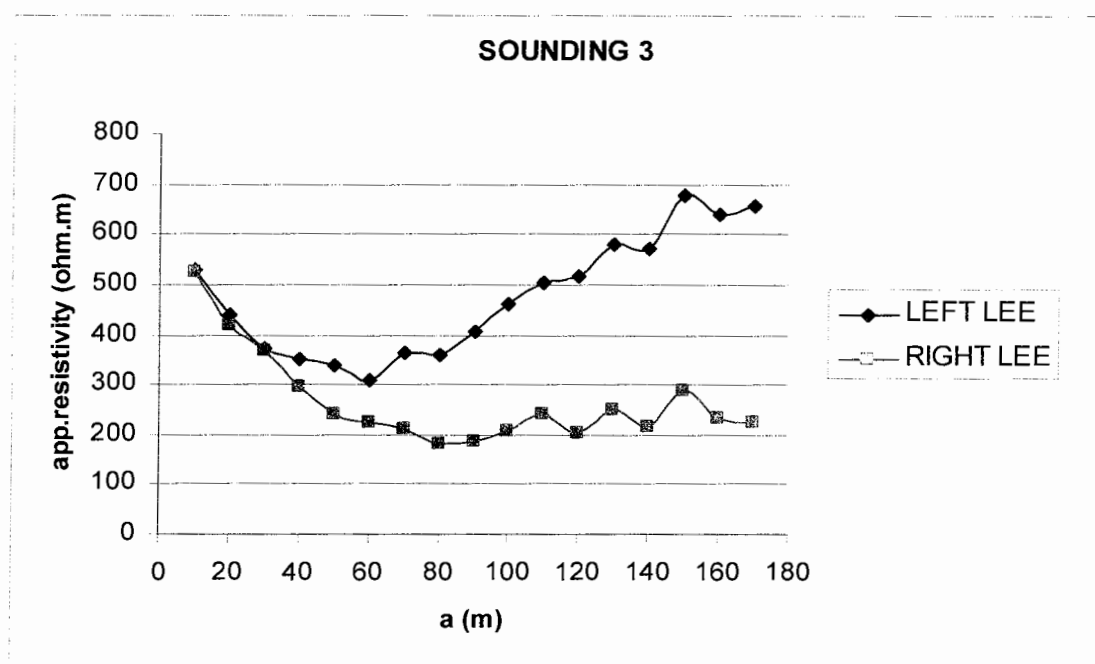
شکل ۳-۱۴: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S2 برحسب افزایش الکترودی a.

۳-۳-۲-۳- سونداژ S3

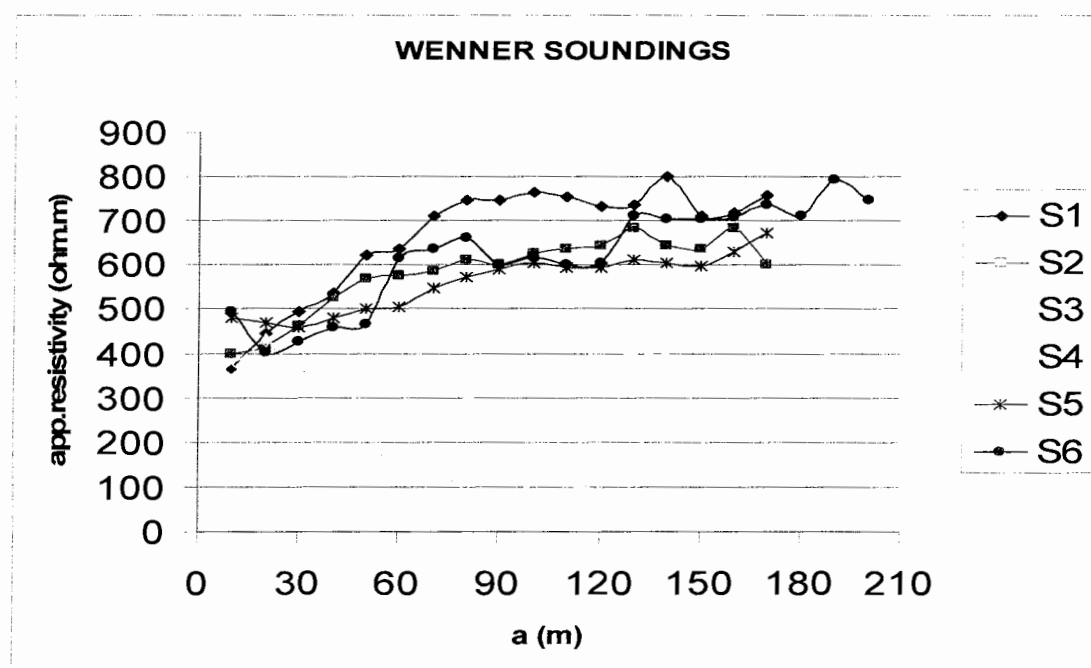
این سونداژ در فاصله حدود ۳۰۰m متری شرق سونداژ S2 برداشت گردید که داده ها و موقعیت دقیق برداشت این سونداژ در پیوست (ب) آورده شده است. همان گونه که در شکل (۳-۱۶)، مشاهده می شود منحنی این سونداژ نسبت به منحنی سونداژ های S1 و S2 روندی کاملاً متفاوت را نشان می دهد که بدلیل قرار گرفتن این سونداژ در سمت راست (شرق) گسل می باشد. منحنی این سونداژ از نقطه ای با مقاومت ویژه حدود $500 \Omega m$ متر شروع شده و تا گسترش الکترودی $a = 60 m$ به مقاومت ویژه ای برابر با $260 \Omega m$ متر افت می کند و پس از آن مجدداً با افزایش فاصله الکترودی، تا حدود $400 \Omega m$ اهم متر صعود می کند.

در شکل (۳-۱۵)، منحنی سونداژ های لی چپ و راست ارائه شده اند.

به دلیل واضح نبودن پیکهای ناشی از عبور الکترودهای جریان و پتانسیل امکان تعیین محل گسل از روی منحنی های این سونداژ امکان پذیر نمی باشد. از روی شکل منحنی فقط می توان به وجود ناهمگنی جانبی در اطراف این سونداژ پی برد به گونه ای که مقاومت ویژه در محیط سمت راست نسبت به مقاومت ویژه محیط سمت چپ این سونداژ دوتا سه برابر کمتر دیده می شود که می تواند به علت وجود گسل باشد.



شکل ۳-۱۵: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S3 برحسب افزایش الکترودی a.



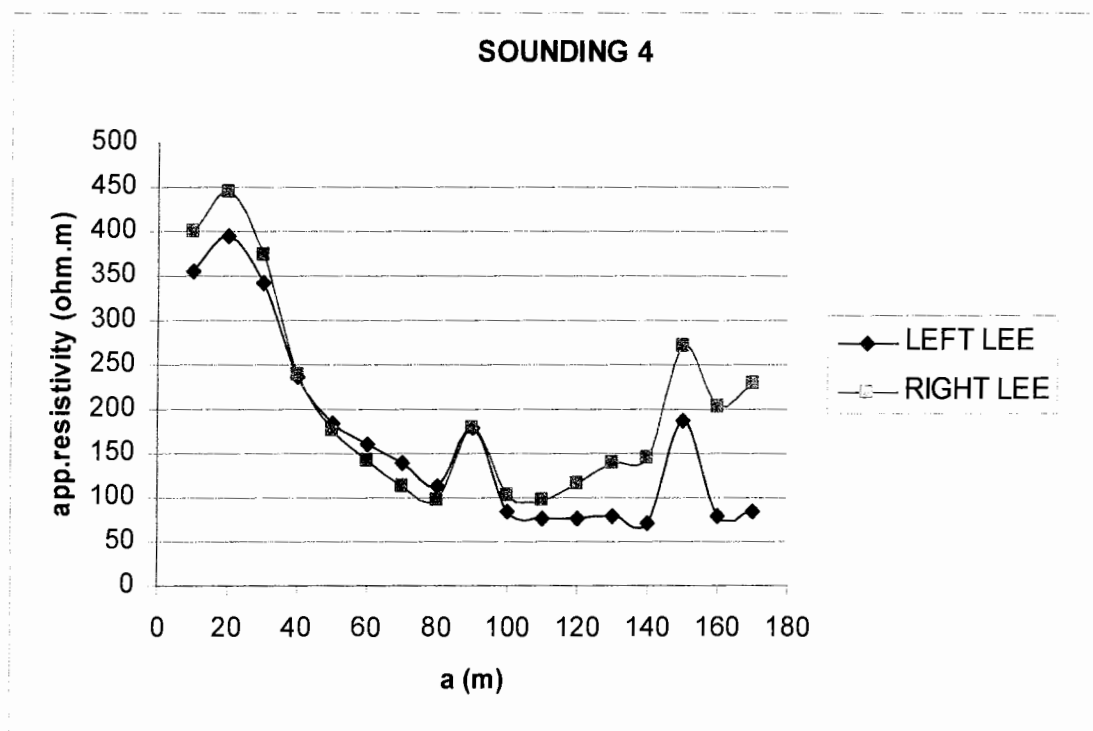
شکل ۳-۱۶: منحنی های تغییرات مقاومت ویژه ظاهری آرایش وئر سونداژهای S1 تا S6 برحسب افزایش فاصله الکترودی a.

۳-۲-۳-۴- سونداژ S4

داده ها و محل دقیق برداشت این سونداژ در پیوست (ب) ارائه شده است. این سونداژ در فاصله حدود ۲۵۰m شرق سونداژ S۳ واقع شده است. کمترین فاصله الکترودی به کارگرفته شده در این سونداژ ۱۰m و بیشترین فاصله الکترودی ۱۷۰m می باشد. افزایش فاصله الکترودی برابر ۱۰ متر می باشد.

همان گونه که در شکل (۳-۱۶)، مشاهده می شود این سونداژ کمترین مقاومت ویژه را در بین سونداژهای S1 تا S6 نشان می دهد. منحنی این سونداژ از مقاومت ویژه حدود $400 \Omega m$ اهم متر شروع شده و پس از طی یک سیر نزولی تا حدود $100 \Omega m$ اهم متر کاهش نشان می دهد. در روی منحنی این سونداژ برای فاصله الکترودی های ۹۰m و ۱۵۰m دو پیک کوچک مشاهده می شود که حاصل از نویز می باشد.

در شکل (۳-۱۷)، منحنی های آرایش لی چپ و راست این سونداژ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۷: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S4 برحسب افزایش الکترودی a.

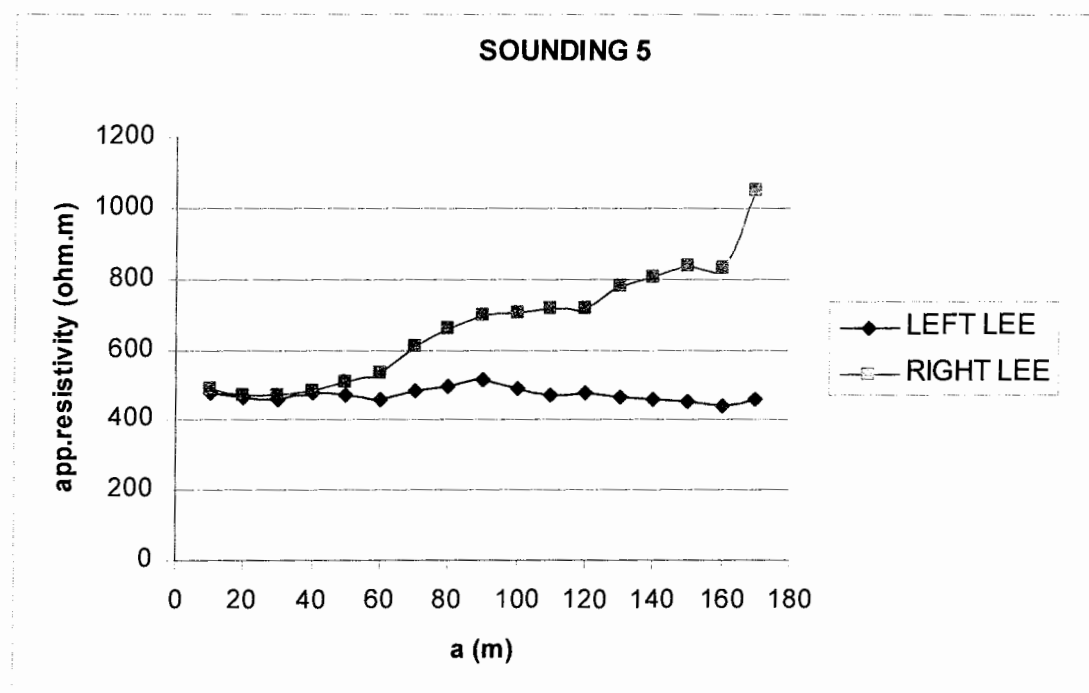
قسمت سمت راست منحنی لی راست روندی صعودی و قسمت سمت راست لی چپ روندی نزولی را نشان می دهد که می تواند بدلیل شیبدار بودن سنگ کف بسمت غرب (سمت چپ) باشد .

۳-۲-۳-۵- سونداژ S5

با توجه به نتایج بدست آمده از سونداژهای S2 و S3 و اختلافات شدید منحنی های مقاومت ویژه این دو سونداژ، به منظور بررسی دقیق تر، سونداژهای S5 و S6 در حد فاصل این دو سونداژ به کار گرفته شدند. سونداژ S5 در فاصله حدود ۵۰m متری شرق سونداژ S2 برداشت گردید که نتایج داده ها و مشخصات این سونداژ در پیوست (ب) ارائه شده است.

کوچکترین فاصله الکترودی به کار گرفته شده برای این سونداژ ۱۰m و بیشترین فاصله الکترودی ۱۷۰m می باشد. افزایش فاصله الکترودی نیز در هر مرحله ۱۰ متر می باشد. در شکل (۳-۱۶)، منحنی مقاومت ویژه این سونداژ نشان داده شده است. این منحنی تقریباً شبیه منحنی های تئوری سونداژ زنی با آرایش و نر در کنار یک گسل با شیب دار می باشد. (شکل ۳-۱۱)، محل ناپیوستگی های مربوط به عبور الکترودهای جریان و پتانسیل از روی مرز گسل کاملاً مشخص نیست و لذا نمی توان از روی منحنی سونداژ و نر S5 محل دقیق گسل را مشخص کرد.

در شکل (۳-۱۸)، منحنی مقاومت ویژه لی چپ و راست سونداژ S5 نمایش داده شده است در این شکل همان طور که انتظار می رود منحنی سونداژ لی چپ روند یکنواختی دارد. ولی منحنی لی راست سیر صعودی را نشان می دهد. لذا می توان نتیجه گرفت که سنگ کف مقاوم بطور موضعی نسبت به سطح زمین بالا و پایین رفته است.



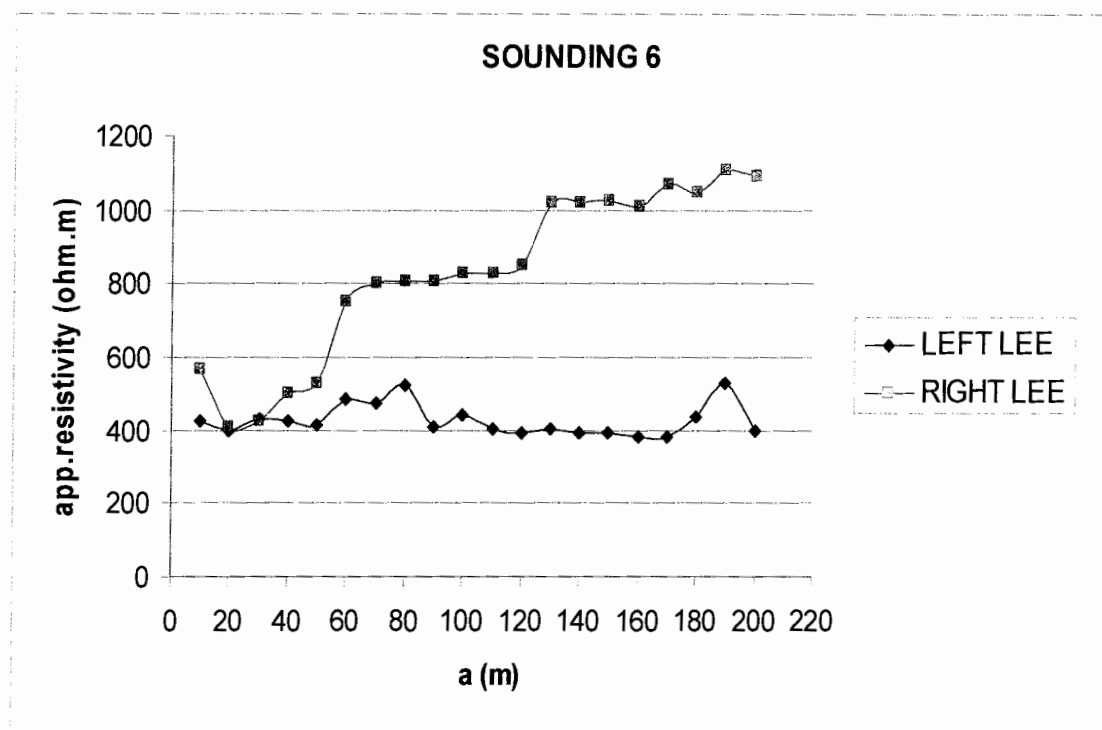
شکل ۳-۱۸: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S5 بر حسب افزایش الکترودی a.

۳-۲-۳-۶- سونداژ S6

این سونداژ در فاصله ۵۰m متری شرق سونداژ S5 واقع می باشد. داده ها و مختصات محل برداشت این سونداژ در پیوست (ب) ارائه شده است. کوچکترین فاصله الکترودی بکار گرفته شده برای این سونداژ ۱۰ m متر و بزرگترین فاصله الکترودی به کار گرفته شده ۲۰۰m می باشد. افزایش فاصله الکترودی برابر ۱۰ متر می باشد.

منحنی مقاومت ویژه آرایش وئر این سونداژ که در شکل (۳-۱۶)، نشان داده شده دو پیک مهم به ازای فاصله الکترودی های ۶۰ m و ۱۲۰ m آشکار کرده است .

در شکل (۳-۱۹)، نیز منحنی های آرایش لی چپ و راست این سونداژ نمایش داده شده است. در مقایسه با شکل ۳-۱۸ و تغییرات شدید در منحنی لی راست می توان گفت که گسل در شرق سونداژ S6 واقع است.



شکل ۳-۱۹: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S6 بر حسب افزایش الکترودی a

منحنی های سونداژ لی چپ و راست S6 مشابه منحنی تئوری نشان داده شده در شکل (۳-۱۰-B) می باشد که وجود گسل را در محل تأیید می کند.

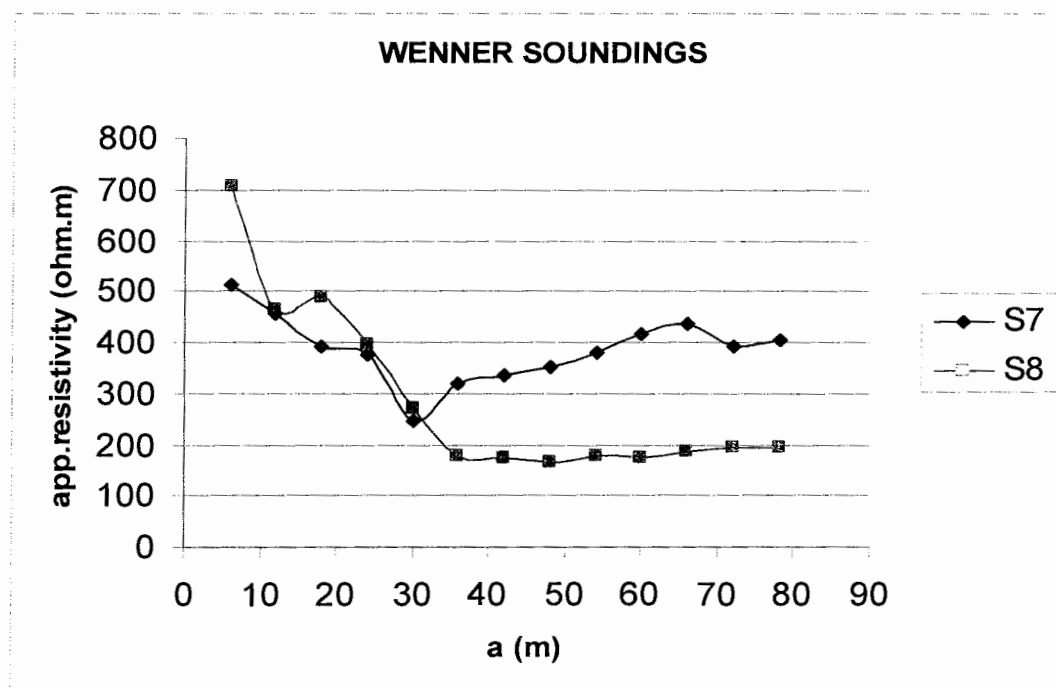
۳-۲-۳-۷- سونداژ S7

منحنی این سونداژ به همراه سونداژ S8 در شکل (۳-۲۱)، نشان داده شده است داده ها و موقعیت این سونداژ در پیوست (ب) ارائه شده است. کمترین فاصله الکترودی برای این سونداژ ۶ متر و بیشترین فاصله الکترودی ۷۸ متر می باشد. افزایش فاصله الکترودی برای این سونداژ برابر ۶ متر می باشد.

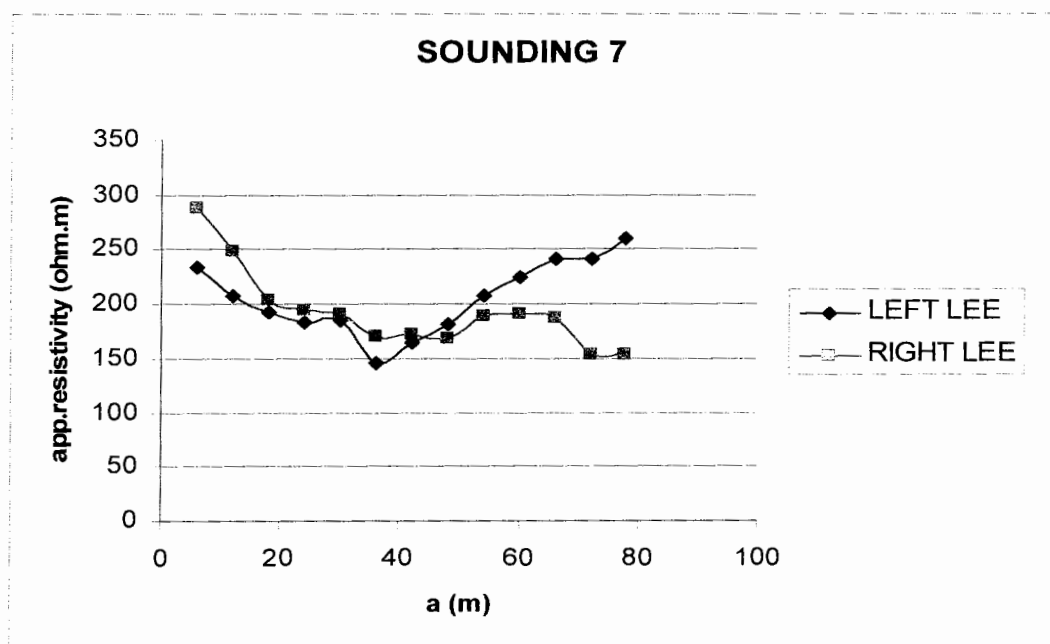
همانگونه که در شکل ۳-۲۱ مشاهده می شود منحنی این سونداژ ابتدا نزول کرده و از فاصله الکترودی $a = 30\text{m}$ یکباره افزایش می یابد. این پیک می تواند در اثر عبور الکتروود جریان از روی مرز گسل بوجود آمده باشد. پیک دوم در اثر افزایش مقاومت ویژه در عمق به خوبی آشکار نشده است. در شکل (۳-۲۰)، منحنی مقاومت ویژه لی چپ و راست این سونداژ نشان داده شده است.

منحنی مقاومت ویژه سونداژ لی راست کاهش مقاومت ویژه و منحنی لی چپ ابتدا کاهش مقاومت ویژه و از فاصله الکترودی $a = 36\text{m}$ افزایش مقاومت ویژه را نشان میدهد. تفاوت این دو منحنی با یکدیگر نشان دهنده اختلاف مقاومت ویژه ها در غرب و شرق سونداژ S7 می باشد. که می تواند به علت وجود گسل باشد که در سمت شرق S7 می باشد.

روند این منحنی ها با منحنی های تئوری شکل (۳-۹-A)، تشابه نسبتی را نشان می دهد که وجود گسل را در فاصله حدود ۳۰ متری سمت شرق سونداژ S7 با توجه به محل پیک اول می توان برآورد کرد.



شکل ۲۰-۳: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S7 بر حسب افزایش الکترودی a

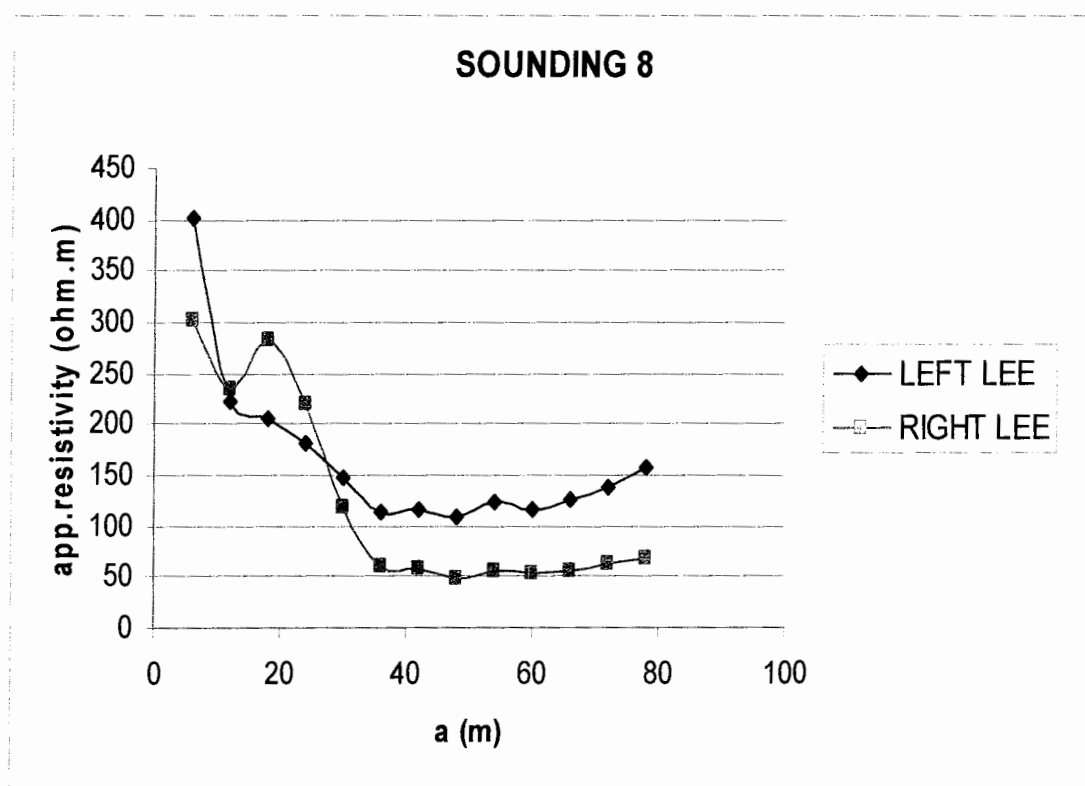


شکل ۲۱-۳: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری آرایش وئر سونداژهای S7 و S8 بر حسب افزایش الکترودی a.

۳-۲-۳-۸- سونداژ S8

این سونداژ در جنوب شرقی سونداژ S7 به فاصله ۶۶ m متری از آن انجام گرفت که داده ها و مختصات برداشت آن در پیوست. (ب) ارائه شده است. کمترین فاصله الکترودی ۶ m متر و بیشترین فاصله الکترودی ۷۸ m متری می باشد. افزایش فاصله الکترودی ۶ متر بوده است منحنی این سونداژ همانگونه که در شکل (۳-۲۱)، دیده می شود تا عمق $a=30$ متری روندی نزولی داشته و سپس برای اعماق بیشتر تقریباً ثابت باقی می ماند.

در شکل (۳-۲۲)، منحنی های مقاومت ویژه لی چپ و راست این سونداژ نمایش داده شده است.



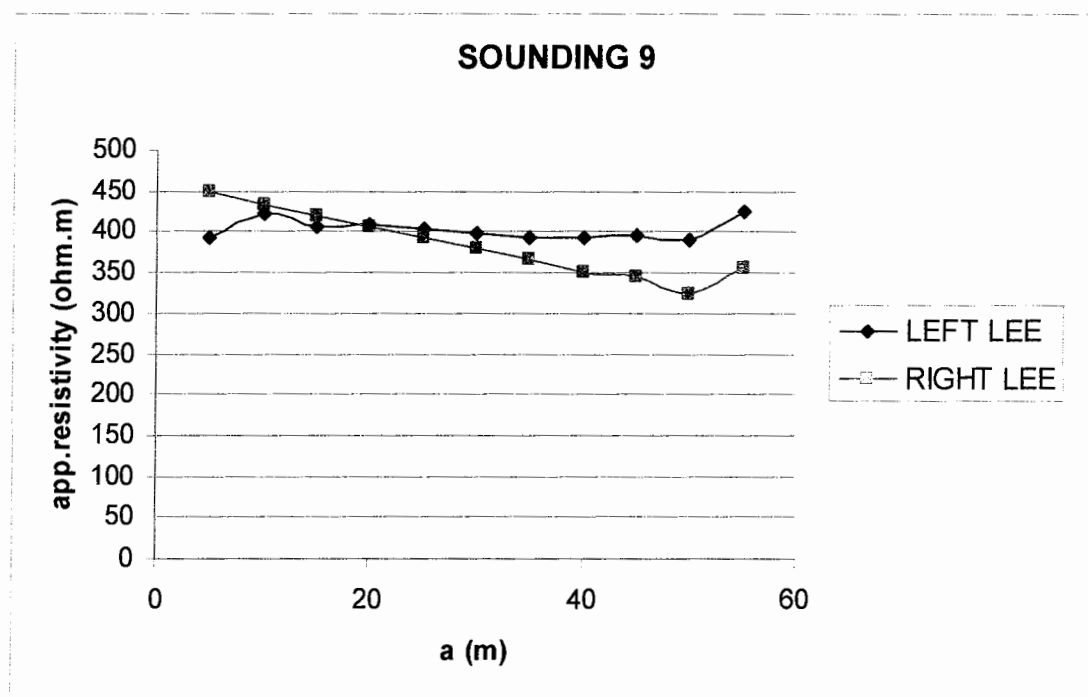
شکل ۳-۲۲: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S8 بر حسب افزایش الکترودی a

هر دو منحنی روند تقریباً نزولی را نشان می دهند. در عمق حدود ۳۰ متری به بعد مقاومت مخصوص سنگها در طرف راست سونداژ نسبت به طرف چپ آن کاهش می یابد .

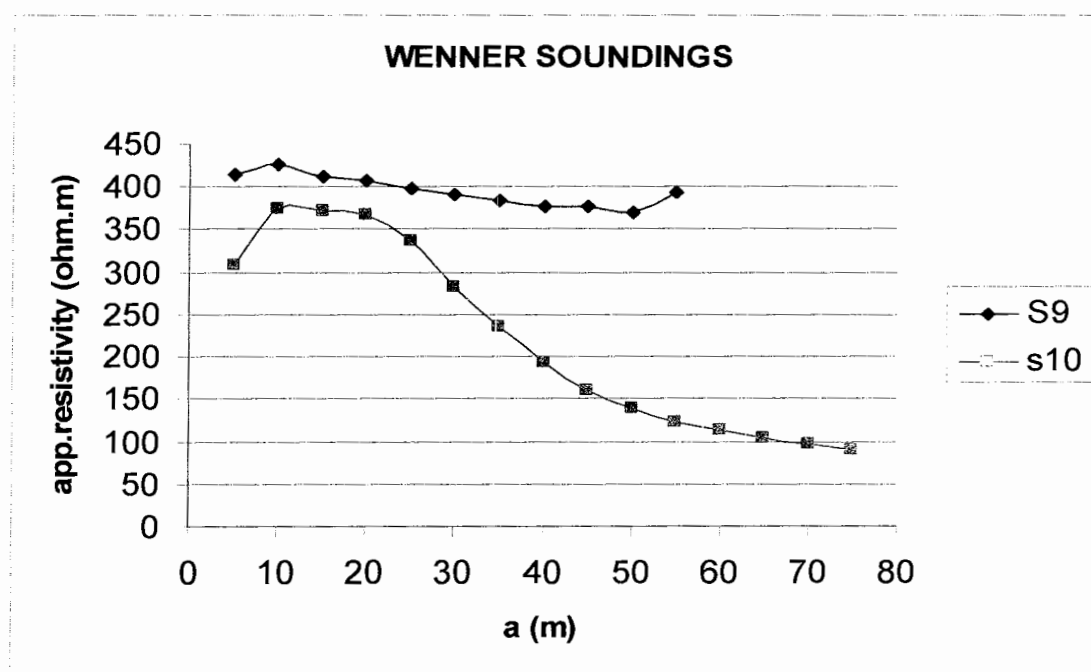
۳-۲-۳-۹- سونداژ S9

این سونداژ از لحاظ موقعیتی در شمال غرب سونداژ S7 واقع شده که مختصات آن به همراه داده های مربوطه در پیوست.(ب) ارائه شده است. منحنی تغییرات مقاومت ویژه این سونداژ به همراه سونداژ S10 در شکل (۳-۲۴)، نمایش داده شده است. کمترین فاصله الکترودی ۵ m متر و بیشترین فاصله الکترودی ۵۵ m متر می باشد.افزایش فاصله الکترودی نیز برابر ۵ متر می باشد.

همان گونه که در شکل (۳-۲۴)، مشاهده می شود منحنی مقاومت ویژه این سونداژ روندی تقریباً یکنواخت و مقادیر مقاومت ویژه بالایی را دارا می باشد که بایستی در طرف سمت چپ گسل واقع شده باشد. منحنی های مقاومت ویژه لی چپ و راست این سونداژ که در شکل (۳-۲۳)، نشان داده شده با هم مشابه هستند و نشان دهنده عدم تغییرات مقاومت ویژه در محیط اطراف می باشد و گسلی را نشان نمی دهد که می تواند به علت کم بودن گسترش الکترودی باشد.



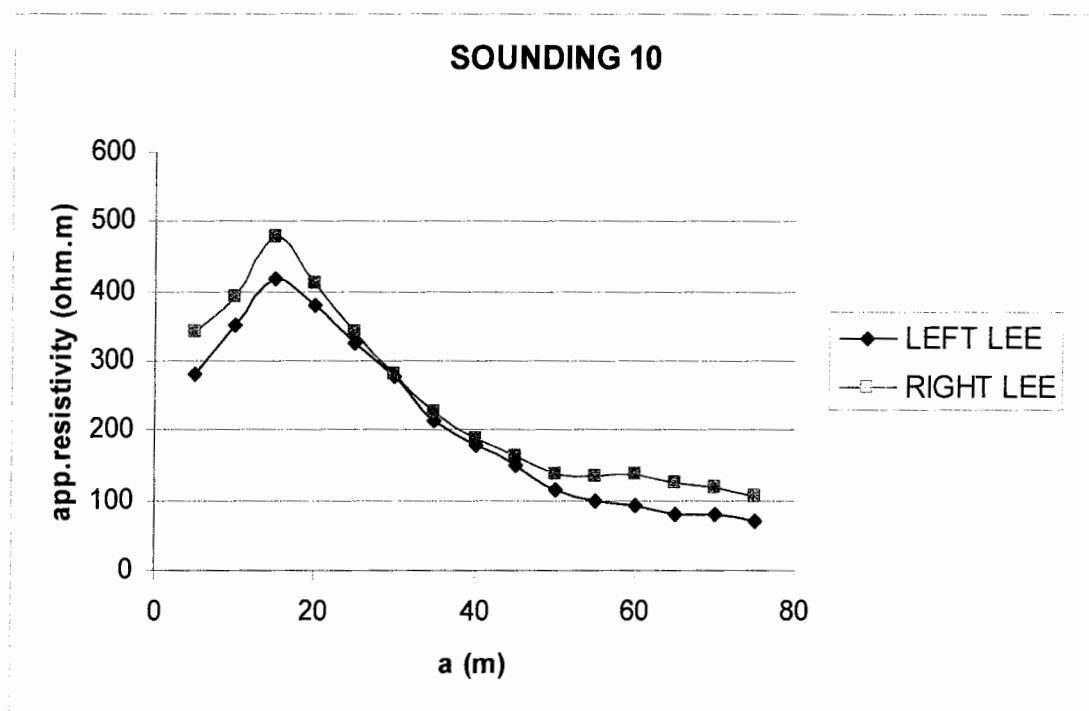
شکل ۳-۲۳: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S9 برحسب افزایش الکترودی a



شکل ۳-۲۴: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری آرایش وئر سونداژهای S9 و S10 برحسب افزایش الکترودی a

۳-۲-۳-۱۰- سونداژ S10

این سونداژ در جنوب شرق سونداژ S3 و درحد فاصل سونداژهای S3 و S4 واقع شده و منحنی تغییرات مقاومت ویژه این سونداژ در شکل (۳-۲۴)، نمایش داده شده است. کمترین فاصله الکترودی این سونداژ ۵ m متر و بیشترین فاصله الکترودی ۷۵ m می باشد. افزایش فاصله الکترودی برای این سونداژ ۵ متر بوده است. داده های این سونداژ و مختصات محل برداشت آن در پیوست. (ب) ارائه شده است. منحنی تغییرات مقاومت ویژه این سونداژ سیر نزولی نشان می دهد که این امر نشان دهنده قرارگیری محل این سونداژ در سمت راست (شرق) گسل می باشد. منحنی آرایش لی این سونداژ که در شکل (۳-۲۵)، نشان داده شده تشابه منحنی لی چپ و راست و عدم وجود ناپیوستگی را نشان می دهند که این می تواند به دلیل کمبود گسترش الکترودی باشد.

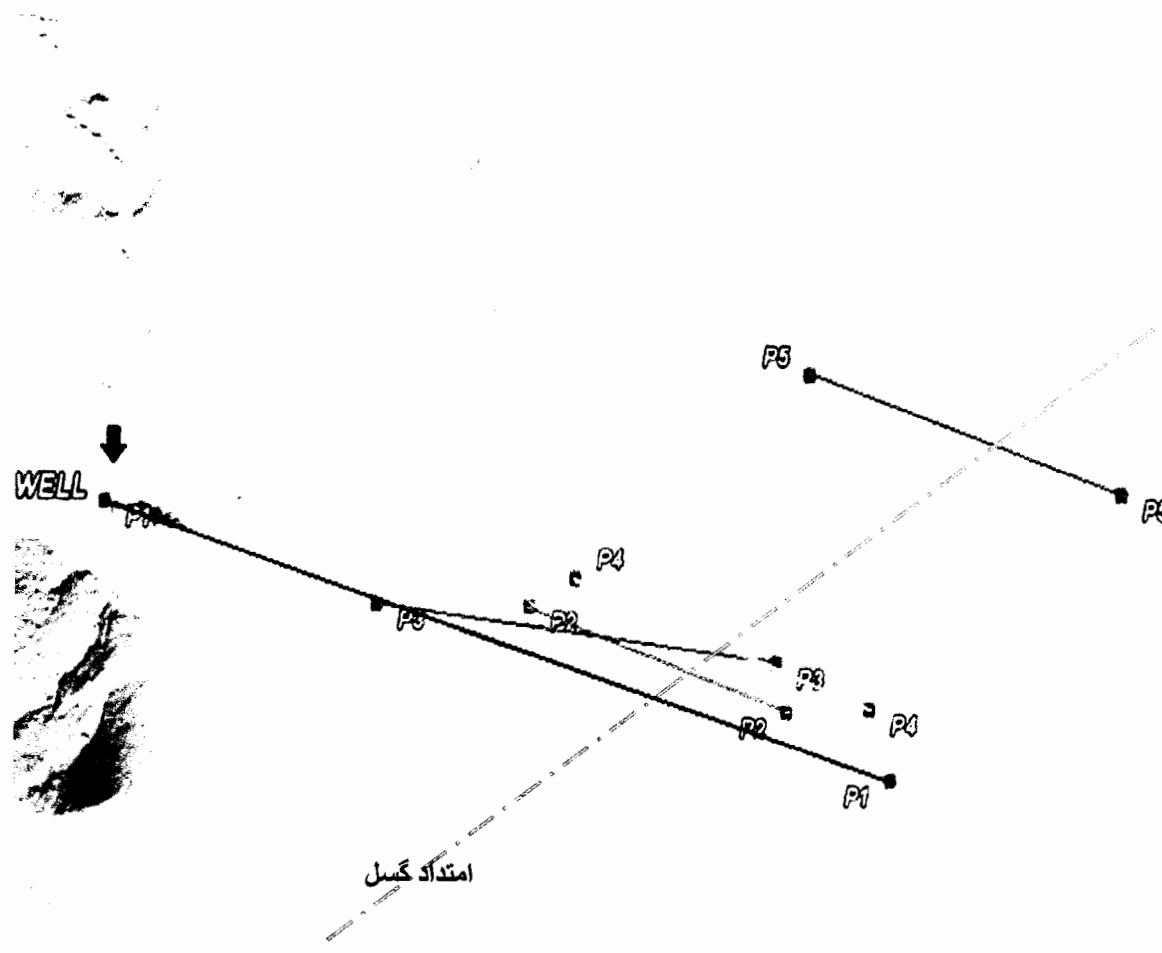


شکل ۳-۲۵: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست سونداژ S10 برحسب افزایش الکترودی a.

۳-۲-۴- تفسیر کیفی داده های پروفیل زنی

در پروفیل زنی، با آرایش ثابت و فواصل الکترودی یکسان و ثابت، اندازه گیری ها در طول خط پروفیل انجام می شود. در پروفیل زنی، داده ها به یک عمق ثابت مربوط می شوند، که البته همیشه اینگونه نیست چون عوامل مختلفی عمق نفوذ را تحت تاثیر قرار می دهند ولی در اینجا فرض می کنیم فاصله الکترودی ثابت، به یک عمق ثابت اشاره می کند. در این تحقیق چون آرایش مورد نظر و نر می باشد لذا عمق مورد بررسی $AB/3 = a$ می باشد. در منحنی های پروفیل زنی با آرایش و نر، محور قائم، مقاومت ویژه ظاهری بر حسب اهم متر (Ωm) و محور افقی جابجائی ایستگاه ها بر حسب متر (m) می باشد. در تفسیر کیفی، معادلات مربوط به مقاومت ویژه بسیار ساده است و زیاد نیاز به فیلتر و پردازش ندارد و می توان از روی بالا و پایین رفتن منحنی مقاومت ویژه، به طور کیفی آن را تفسیر کرد. البته باید توجه داشت که نویز وجود نداشته باشد. جهت تفسیر کیفی داده های پروفیل زنی و بررسی نحوه تغییر مقاومت ویژه ظاهری در طول خط پروفیل، نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب طول با استفاده از نرم افزار Excel به طور جداگانه برای هر پروفیل رسم شده اند.

در دره کال قرنو به منظور تعیین دقیق محل گسل مورد نظر تعداد پنج پروفیل با آرایشهای و نر و لی انجام گرفت که موقعیت آنها در تصویر ماهواره ای شکل (۳-۲۶)، مشاهده می شود. در زیر به ترتیب تفسیر کیفی هر یک از پروفیل ها انجام شده و نتیجه بدست آمده از آنها را بررسی خواهیم کرد.

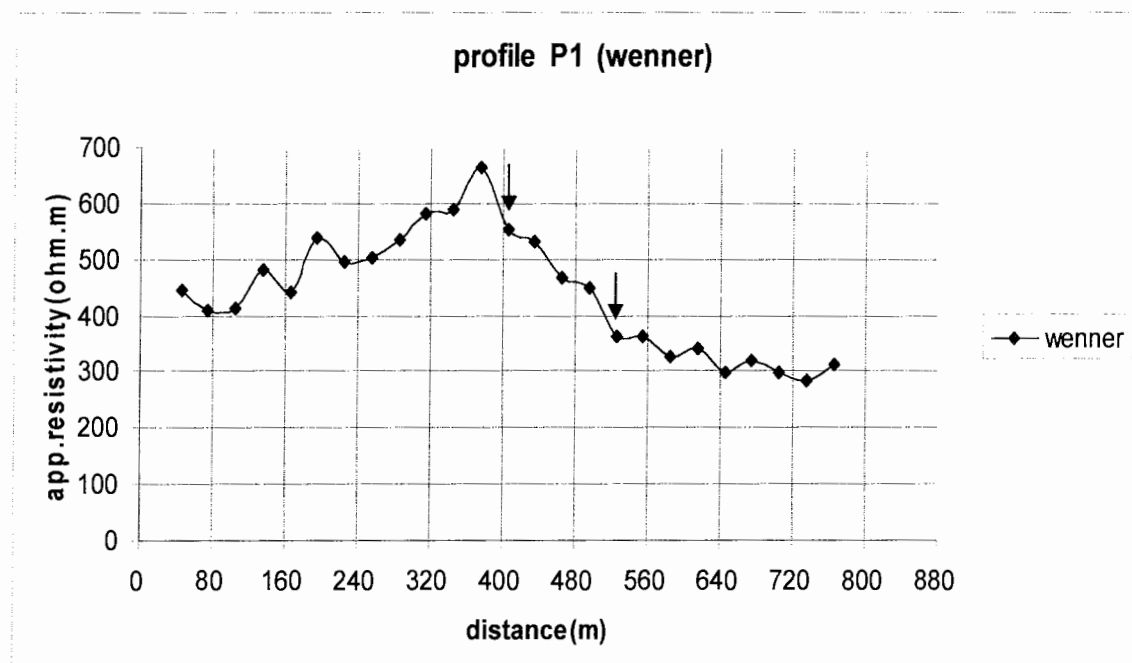


شکل ۳-۲۶: محل برداشت داده های مقاومت ویژه پروفیل زنی با آرایش وئر در منطقه مورد مطالعه

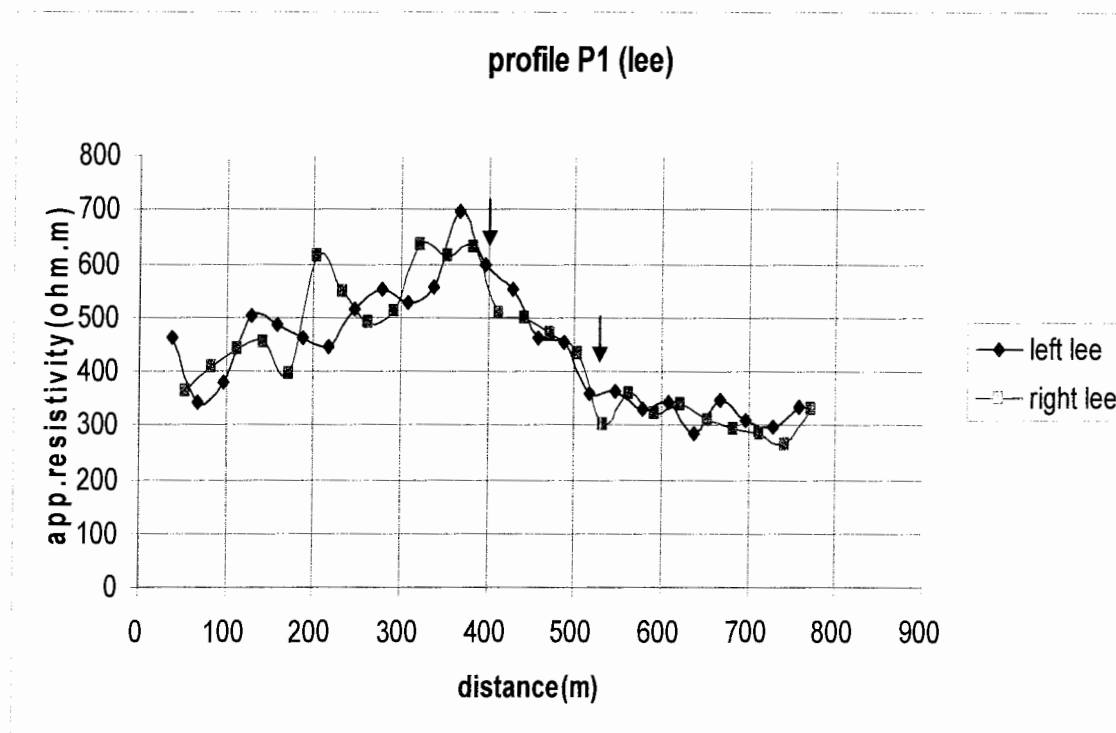
۳-۲-۴-۱- پروفیل P1

این پروفیل با فاصله الکترودی $a = 30\text{ m}$ متر و جابجایی $d = 30\text{ m}$ متر برداشت گردید که داده ها و مختصات نقطه شروع پروفیل در پیوست (ب) ارائه شده است. شکل (۳-۲۷)، منحنی تغییرات مقاومت ویژه این پروفیل را در برابر مقادیر جابجایی نشان می دهد. همان گونه که در شکل مشاهده می شود منحنی از مقدار مقاومت ویژه حدود $450\ \Omega\text{m}$ اهم متر شروع شده و در فاصله 400 m متری به بیشترین مقدار یعنی حدود $700\ \Omega\text{m}$ اهم متر می رسد و پس از آن کاهش یافته تا اینکه در فاصله 800 m متری از نقطه شروع

پروفیل زنی به مقدار $300 \Omega m$ اهم متر میرسد. در منحنی تغییرات مقاومت ویژه این پروفیل دو افت ناگهانی در فاصله های $405 m$ متری و $525 m$ متری از نقطه شروع مشاهده می شود. از آنجا که میزان جابجایی ایستگاه ها در این پروفیل زیاد بوده ($a = d = 30 m$). از مقایسه شکل این منحنی با منحنی های تئوری مربوط به پروفیل زنی با آرایش وئر برای اکتشاف گسلها، نتیجه چندان مطلوبی حاصل نمی شود. لذا به دلیل مشخص نبودن محل دقیق پیک های مربوط به عبور الکترودها از روی گسل، نمی توان در مورد محل دقیق گسل اظهار نظر کرد. لذا فقط می توان احتمال وجود گسل را در حد فاصل $375 m$ متری تا $405 m$ متری و $495 m$ تا $525 m$ متری پیش بینی کرد. در منحنی آرایش لی چپ و راست مربوط به این پروفیل که در شکل (۳-۲۸)، مشاهده می شود نیز می توان دو افت ناگهانی را تقریباً در همان نقاط مربوط به پروفیل آرایش وئر مشاهده نمود. ولی باز هم به دلیل بزرگی میزان جابجایی ایستگاه ها و کم بودن فاصله الکترودی در مورد محل دقیق گسل نمی توان اظهار نظر کرد.



شکل ۳-۲۷: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P1 با آرایش وئر



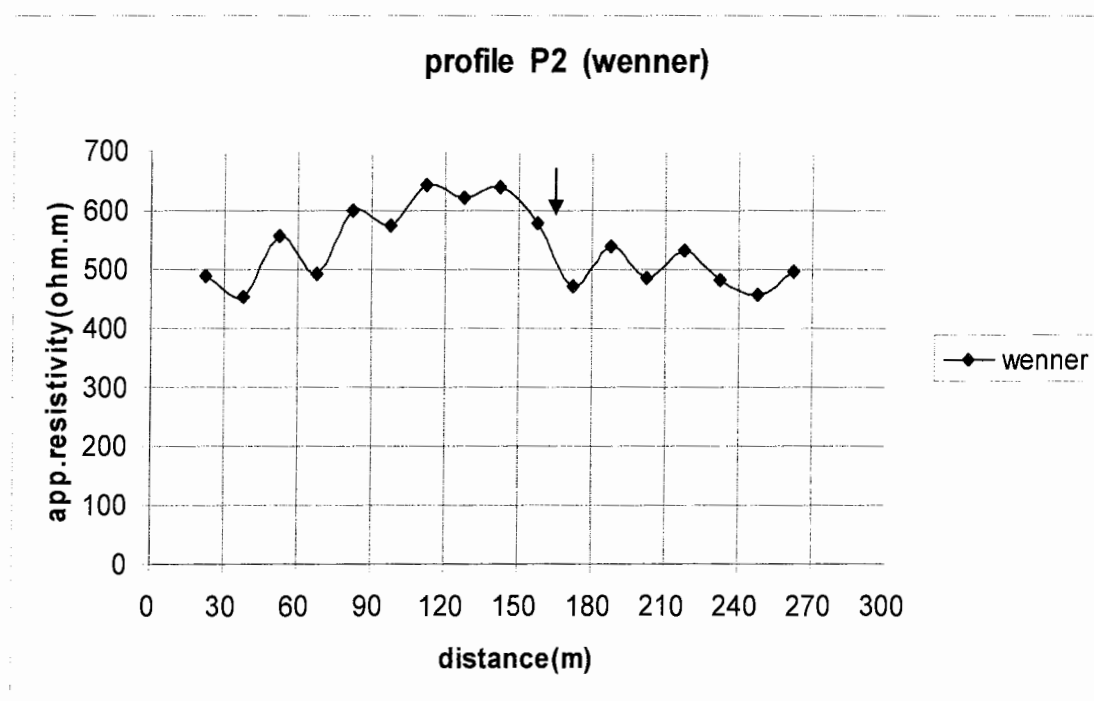
شکل ۳-۲۸: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P1

۳-۲-۴-۲-۳ پروفیل P2

این پروفیل با فاصله الکترودی $a = 15 \text{ m}$ و جابجایی بین ایستگاهی $d = 15 \text{ m}$ با آزیموت 106° درجه در محل مورد مطالعه انجام گرفت که موقعیت نقطه شروع پروفیل و داده های اندازه گیری شده در پیوست (ب) ارائه شده است. طول این پروفیل تقریباً 260 m متر می باشد. منحنی تغییرات مقاومت ویژه این پروفیل در شکل (۳-۲۹)، نشان داده شده است.

بر روی منحنی تغییرات مقاومت ویژه این پروفیل یک افت ناگهانی از مقدار مقاومت ویژه $637 \Omega\text{m}$ اهم متر به $471 \Omega\text{m}$ اهم متر در فاصله 142 m متری تا 172 m متری از نقطه شروع پروفیل مشاهده می شود. با توجه به مطالب ذکر شده در خصوص منحنی های تئوری می توان گفت که شکل این منحنی با شکل (۳-۵)، مشابهت زیادی داشته و بنابراین می توان گفت که یک گسل در فاصله حدود 157 m متری از نقطه

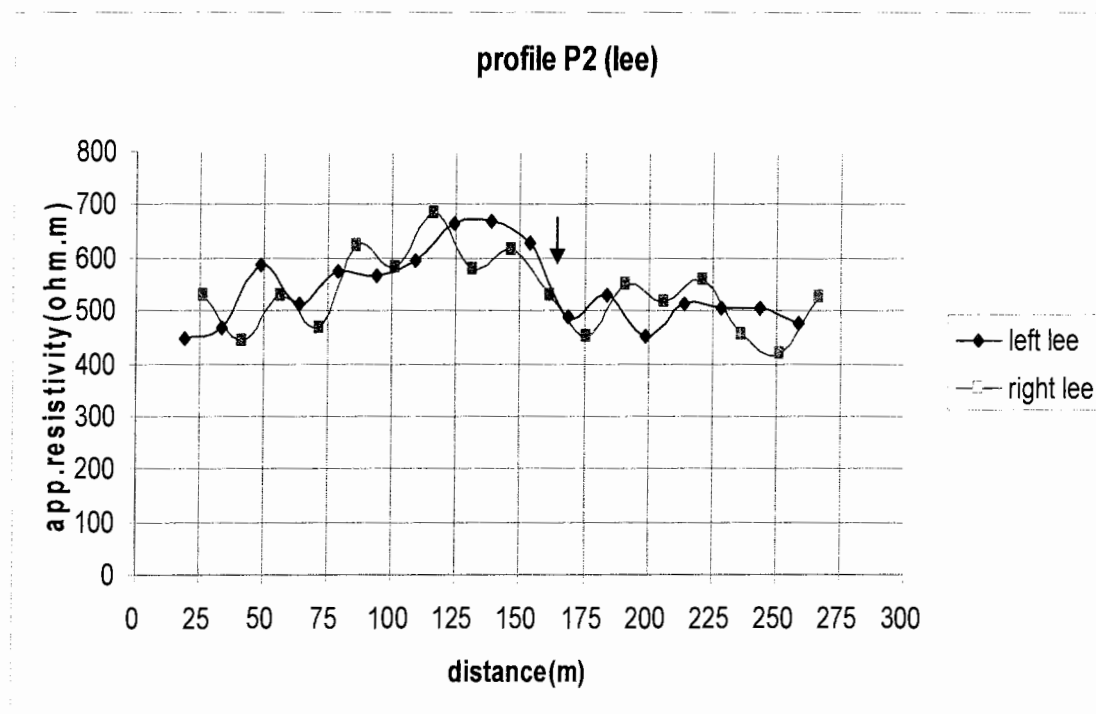
شروع پروفیل وجود دارد (محل نمایش داده شده با فلش) ولی به دلیل بزرگی میزان جابجایی ایستگاه ها در اینجا نیز نمی توان پیک های مربوط به فاصله $a/2 = 7.5 \text{ m}$ متری از محل گسل را روی منحنی مشاهده نمود.



شکل ۳-۲۹: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P2 با آرایش ورنر

در شکل (۳-۳۰)، منحنی آرایش لی مربوط به پروفیل P2 نشان داده شده است. در این شکل افت ناگهانی بر روی منحنی لی چپ در فاصله ۱۳۸ m تا ۱۶۸ متری و بر روی منحنی لی راست در فاصله ۱۴۶ m متری تا ۱۷۶ m متری مشاهده می شود.

در این شکل نیز نمی توان در مورد محل دقیق گسل اظهار نظر کرد محل فلش نمایش دهنده محل تقریبی گسل می باشد.

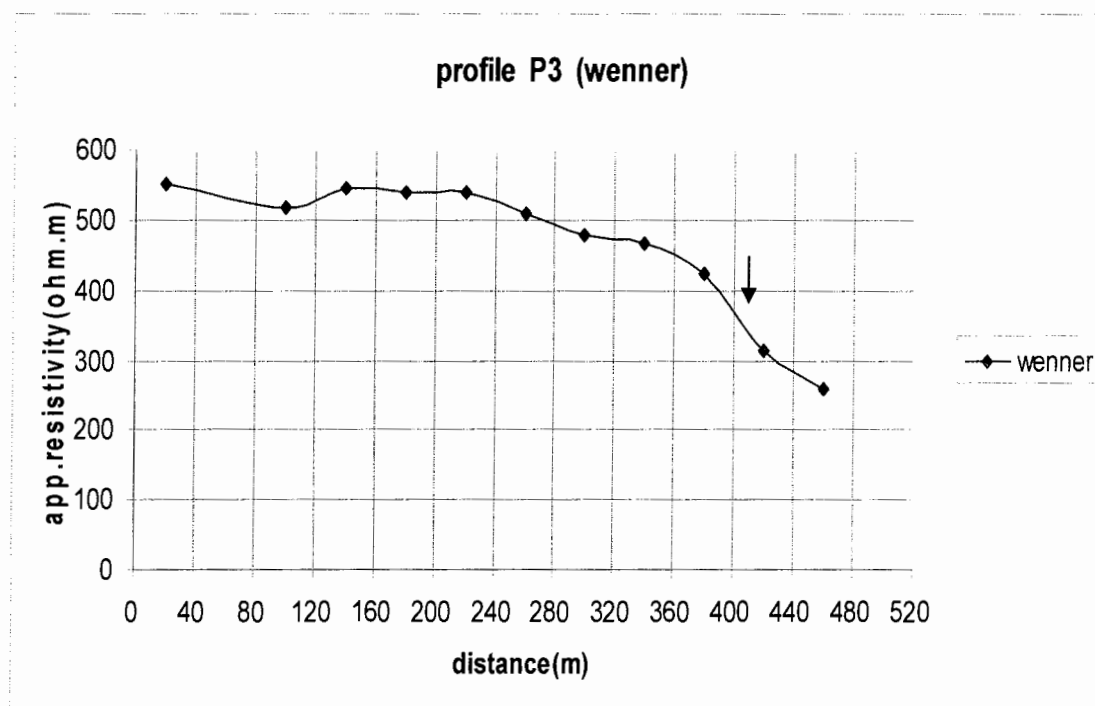


شکل ۳-۳۰: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P2

۳-۴-۲-۳ پروفیل P3

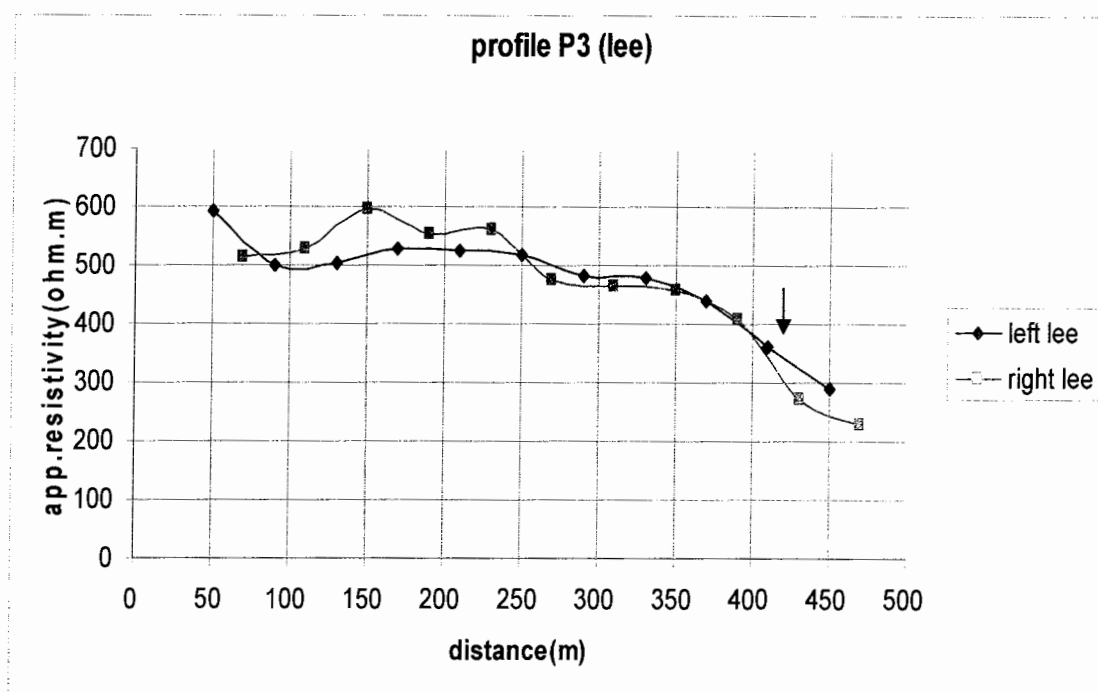
این پروفیل با فاصله الکترودی $a = 40\text{ m}$ و $d = 40\text{ m}$ متر با آزمون ۸۴ درجه برداشت گردید. موقعیت نقطه شروع پروفیل و داده های اندازه گیری شده در پیوست (ب) می باشد. طول این پروفیل 460 m متر می باشد. منحنی تغییرات مقاومت ویژه این پروفیل که در شکل (۳-۳۱)، نشان داده شده، مقاومت ویژه اندازه گیری شده در شروع پروفیل $550\ \Omega\text{m}$ اهم متر و در انتهای پروفیل $260\ \Omega\text{m}$ اهم متر می باشد. شیب افت منحنی مقاومت ویژه از فاصله 260 m متری زیاد شده است. به دلیل بزرگ بودن میزان جابجایی ایستگاه ها پیک مشخص و واضحی بر روی منحنی نمی توان مشاهده نمود. بنابراین در مورد محل گسل

نمی توان نظر قاطعی بیان نمود. فقط می توان گفت که افت شدید مقاومت ویژه از $424 \Omega m$ اهم متر به m 314Ω اهم متر از فاصله $380m$ متری تا $420m$ متری در اثر تغییرات جانبی محیط (وجود گسل) می باشد. که در شکل با فلش محل احتمالی گسل نمایش داده شده است.



شکل ۳-۳۱: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P3 با آرایش وئر

در شکل (۳-۳۲)، منحنی آرایش لی چپ و راست این پروفیل نمایش داده شده است. بر روی منحنی لی راست یک افت شدید تقریباً در همان فاصله ای که برای آرایش وئر مشاهده شد دیده می شود. منحنی لی چپ این افت را با شیب کمتر نشان میدهد. محل فلش نمایش گر محل تقریبی گسل مورد نظر می باشد.



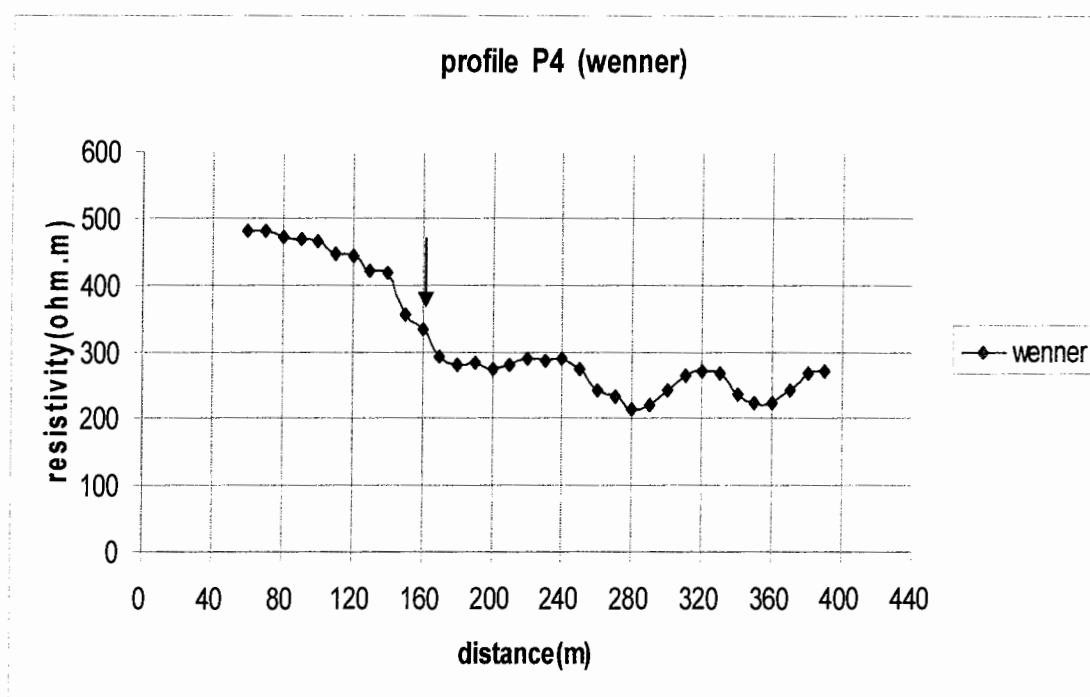
شکل ۳-۳۲: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P3

۳-۴-۲-۴- P4 پروفیل

این پروفیل با فاصله الکترودی $a = 40\text{ m}$ متر و جابجایی $d = 10\text{ m}$ در محل برداشت گردید که موقعیت نقطه شروع و داده های این پروفیل در پیوست (ب) ارائه شده است. منحنی تغییرات مقاومت ویژه این پروفیل در شکل (۳-۳۳)، نشان داده شده است. بر روی منحنی یک افت شدید از $417\ \Omega\text{ m}$ اهم متر به $355\ \Omega\text{ m}$ اهم متر در فاصله 140 m تا 150 m متری مشاهده می شود.

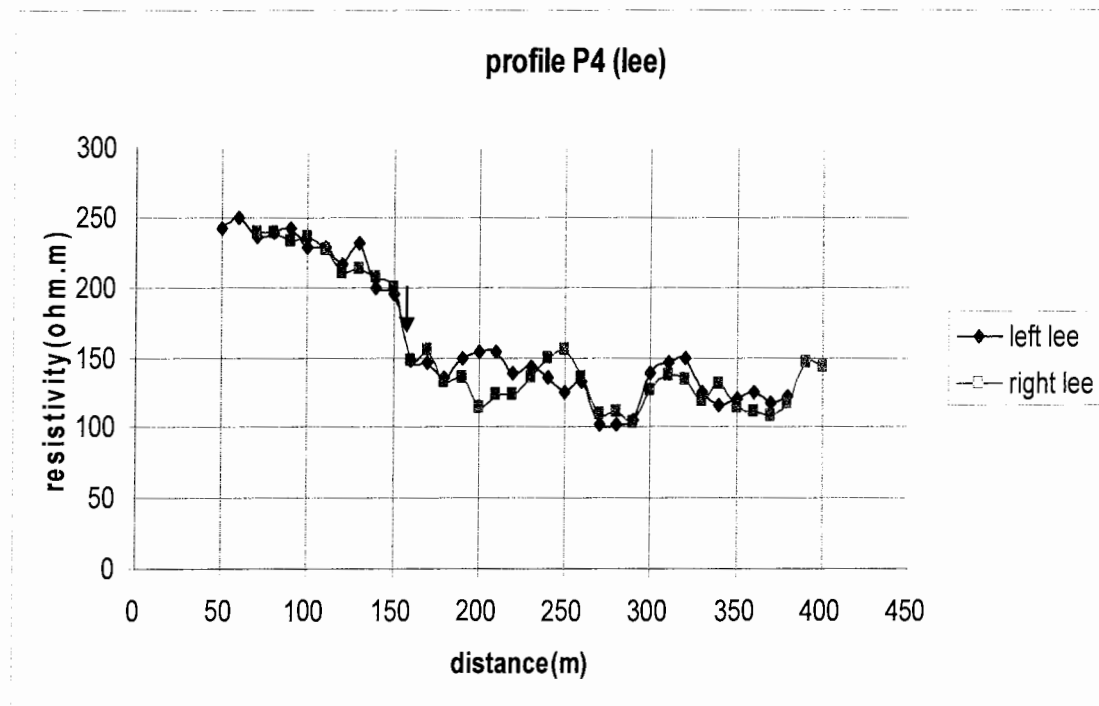
شکل منحنی از فاصله 120 m تا 200 m متری تطبیق خوبی با منحنی های تئوری شکل (۳-۵)، نشان می دهد. با توجه به پیک موجود در فاصله 160 m متری و مطالب ذکر شده در خصوص منحنی های تئوری، گسل در فاصله $160\text{ m} = 140 + 40/2$ متری از نقطه شروع پروفیل تخمین زده می شود. با مقایسه

شکل این منحنی با منحنی تئوری شکل (۳-۶)، می توان دریافت که شیب این گسل نزدیک به ۹۰ درجه می باشد. این مطلب را انحنای رو به پائین منحنی در فاصله ۱۷۰ m تا ۱۹۰ m متر اثبات می کند. افت های منحنی در فواصل ۲۸۰ m متری و ۳۵۰ m متری می تواند به دلیل وجود آب زیرزمینی یا تغییر عمق سنگ کف باشد.



شکل ۳-۳۳: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P4 با آرایش ورنر

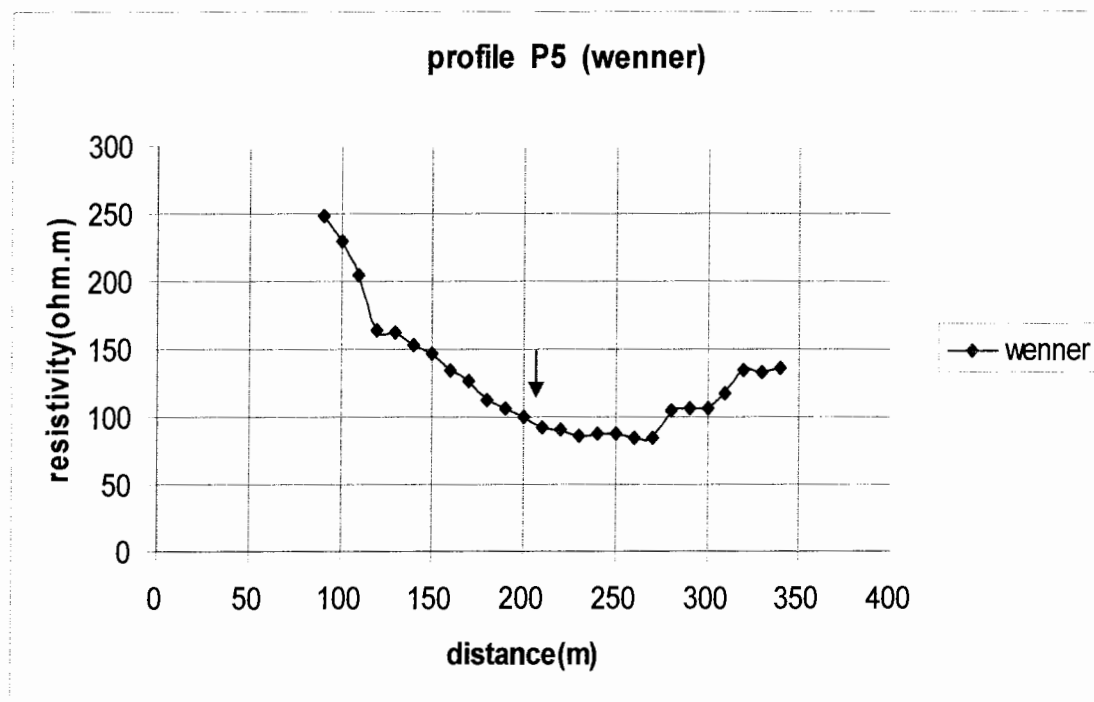
در منحنی لی راست و چپ مربوط به این پروفیل شکل (۳-۳۴)، نیز می توان افت ناگهانی در فاصله ۱۵۰ m تا ۱۶۰ m متری را روی هر دو منحنی به وضوح مشاهده نمود. با توجه به ماکزیمم کوچک موجود برای منحنی آرایش لی راست در فاصله ۱۷۰ m متری و کم کردن نصف فاصله الکترودی ($1/2a = 20\text{ m}$) از این مقدار می توان محل گسل را در فاصله ۱۵۰ m متری از نقطه شروع تخمین زد



شکل ۳-۳۴: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P4

۳-۲-۴-۵- پروفیل P5

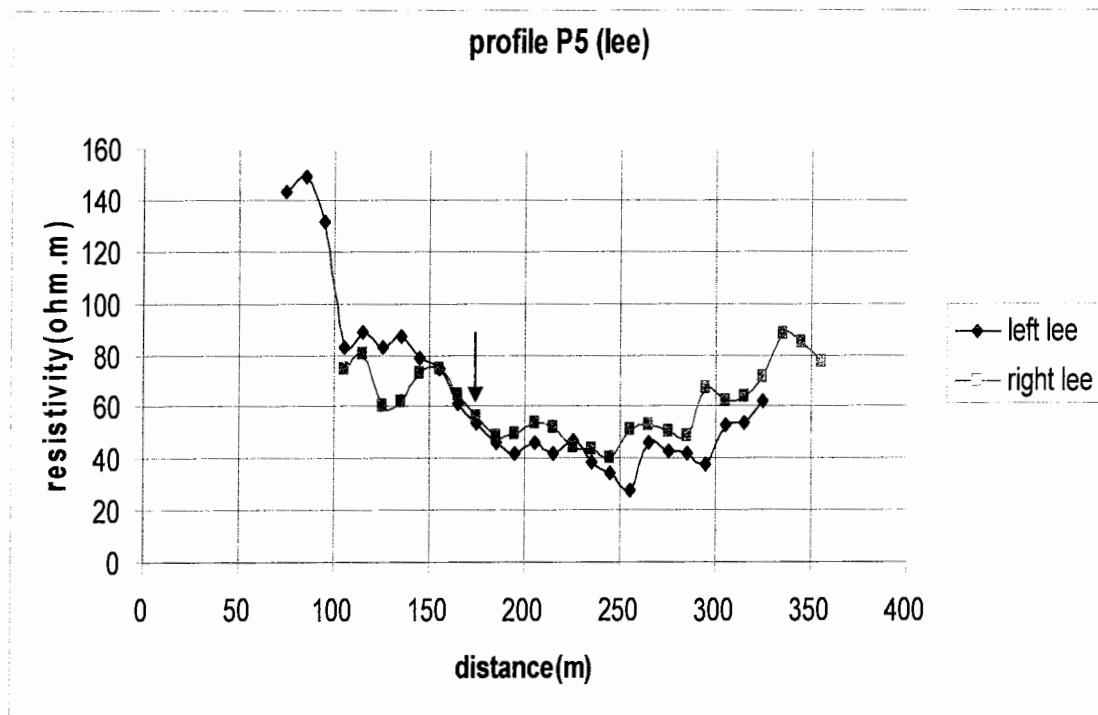
پروفیل P5 با فاصله الکترودی $a = 60\text{ m}$ و جابجایی ایستگاهی $d = 10\text{ m}$ متر با هدف تعیین امتداد گسل در محل مورد مطالعه برداشت گردید. آزمون این پروفیل ۱۲۰ درجه می باشد که داده ها و موقعیت نقطه شروع آن در پیوست (ب) ارائه شده است. شکل (۳-۳۵)، منحنی تغییرات مقاومت ویژه این پروفیل را نشان می دهد. از مقایسه این شکل با شکل (۳-۶)، می توان گفت که پیک های موجود بر روی منحنی در فاصله های ۱۲۰ m و ۲۸۰ m متری همان پیک های مربوط به عبور الکترودهای جریان اول و آخر از روی گسل می باشند که در فاصله $3a/2$ از مرز گسل، خود را بر روی منحنی آشکار می کنند. با توجه به موقعیت این پیک ها محل گسل در فاصله ۱۹۰ m تا ۲۱۰ m متری از نقطه شروع پروفیل تخمین زده می شود.



شکل ۳-۳۵: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل P5 با آرایش ورنر

در شکل (۳-۳۶)، منحنی های لی چپ و راست این پروفیل نمایش داده شده است. با توجه به پیکهای موجود بر روی منحنی لی راست در فواصل ۱۵۵ m متری و ۲۴۵ m متری که حاصل عبور الکترودهای پتانسیل از روی مرز گسل می باشند بایستی این پیک ها در فاصله $a/2 +$ و $a/2 -$ از گسل قرار داشته باشند. بنابراین با توجه به این مطلب محل گسل در فاصله ۱۸۵ m متری تا ۲۱۵ m متری از نقطه شروع پروفیل تخمین زده می شود.

ماکزیمم های موجود در منحنی لی چپ صرفاً به دلیل عبور الکترودها از روی مرز گسل نمی باشد و می تواند در اثر تغییرات کوچک مقاومت ویژه سنگ کف باشد. لذا از روی این پیک ها نمی توان برای تعیین محل گسل استفاده کرد.



شکل ۳-۳۶: منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لی چپ و راست پروفیل P5

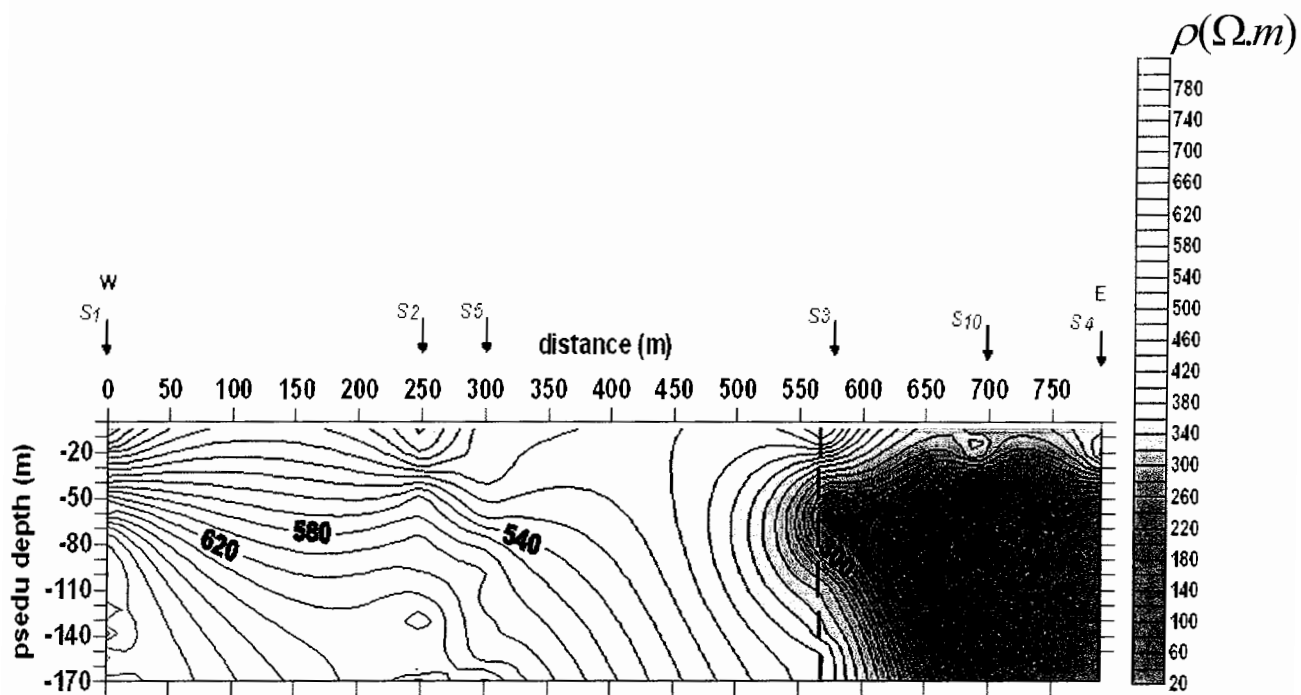
۳-۳- شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری

این شبه مقطع به منظور بررسی نحوه توزیع مقاومت ویژه ظاهری در زیر سطح زمین مورد اندازه گیری تهیه می شود.

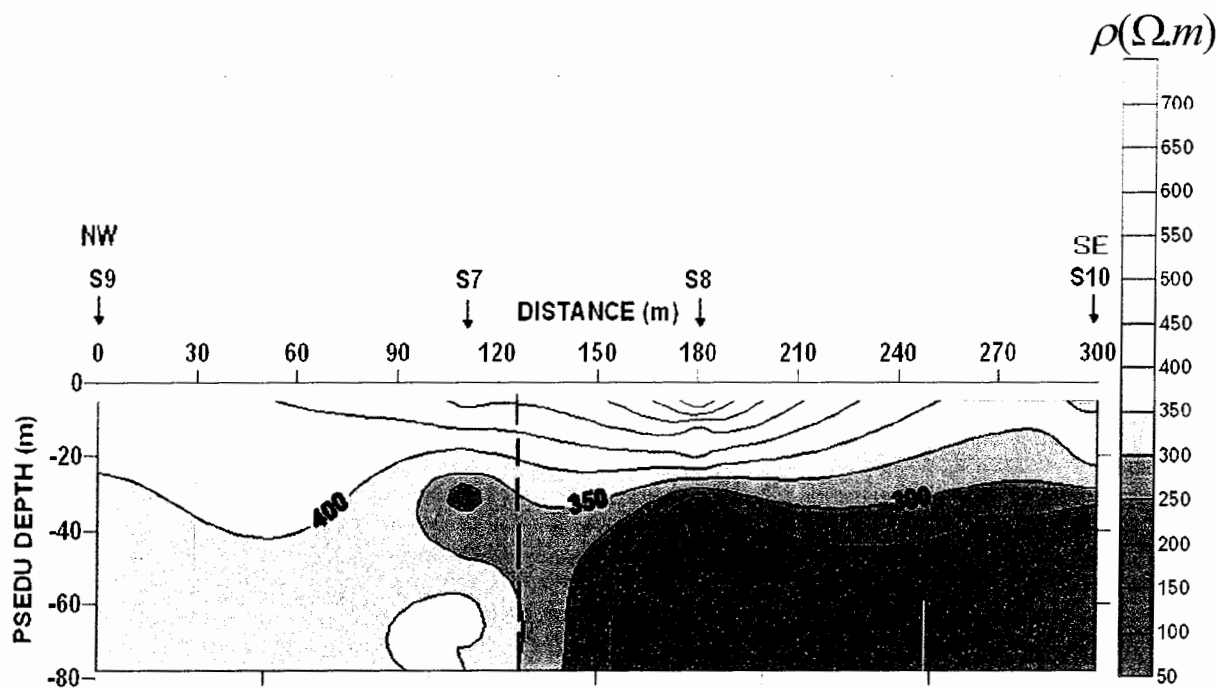
شبه مقطع قائم مقاومت ویژه برای منطقه مورد مطالعه (دره کال قرنو) از سونداژهای $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}$ و S_4 با استفاده از نرم افزار **SURFER** در شکل (۳-۳۷)، مشاهده می شود.

امتداد شبه مقطع غربی - شرقی می باشد. سونداژ S_1 در مبدا و سونداژ S_4 در فاصله ۸۰۰ m متری از مبدا قرار دارد. در این شبه مقطع می توان تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه از فاصله ۴۵۰ m متری مشاهده نمود که در واقع محل سونداژ S_3 تقریباً بر روی مرز قرار گرفته است. این نقطه همان محل گسل مربوط می تواند باشد.

در شکل (۳-۳۸)، شبه مقطع تهیه شده از سونداژهای S_9, S_7, S_8 و S_{10} مشاهده می شود. امتداد این شبه مقطع شمال غربی - جنوب شرقی می باشد. در این شبه مقطع یک لایه مقاوم تا عمق حدود ۲۰ m متری مشاهده می شود که مربوط به مواد آبرفتی درشت دانه است. در عمق پائین تر می توان تغییرات شدید مقاومت ویژه را در بین سونداژهای S_7 و S_8 مشاهده نمود که محل آن با خط چین در شکل مشخص شده است. این تغییرات شدید مقاومت ویژه در این نقطه، می تواند به دلیل وجود گسل، در محل مربوطه باشد.



شکل ۳-۳۷: شبه مقطع از سونداژهای $S_1, S_2, S_3, S_4, S_{10}$ و S_7



شکل ۳-۳۸: شبه مقطع از سونداژهای S_1, S_8, S_7, S_9

فصل چهارم

تفسیر کمی داده ها

۴- تفسیر کمی داده ها

۴-۱- نرم افزارهای مورد استفاده برای مدلسازی معکوس

در این پروژه جهت مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه از نرم افزار Resix و برای مدلسازی معکوس دو بعدی از نرم افزار Res2Dinv استفاده شده است که هریک به اختصار معرفی می شوند.

۴-۱-۱- نرم افزار Resix

این نرم افزار برای مدل سازی پیشرو و معکوس پارامتری و هموار و تفسیر داده های سونداژ مقاومت ویژه بصورت یک بعدی به کار می رود [۲۳].

ویژگیهای این نرم افزار بدین گونه است که:

منحنی های سونداژ بصورت تابعی از مقاومت ویژه بر حسب فاصله الکترودی آنها وارد نرم افزار می شوند. آرایشهای الکترودی مورد قبول این نرم افزار شامل ونر، شلومبرگر، قطبی - قطبی و دو قطبی - دو قطبی است [۲۳].

امکان ویرایش داده ها در این نرم افزار تعبیه شده است.

امکان مدل سازی و تفسیر بصورت اتوماتیک و غیر اتوماتیک وجود دارد.

مدل سازی معکوس برای بدست آوردن مدل با بهترین برداشش به داده ها با در نظر گرفتن

پارامترهای مدل اولیه، به روش کمترین مربعات و با استفاده از رگرسیون ریج انجام می شود.

امکان مدل سازی معکوس، تا حداکثر ۸ لایه و مدل سازی پیشرو حداکثر تا ۱۰ لایه فراهم است.

امکان چاپ و یا ذخیره سازی نتایج بصورت فایل های دو دویی وجود دارد.

این نرم افزار تحت سیستم عامل DOS کار می کند.

امکان فراخوانی مدل های قبلی در نرم افزار وجود دارد.

امکان ذخیره سازی تا ۲۰۰۰ فایل داده ای (منحنی سونداژ) در این نرم افزار میسر است [۲۳].

۴-۱-۲- نرم افزار Res2Dinv:

نرم افزار Res2Dinv برای مدلسازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی توسط لوک^۱ نوشته شده است. این نرم افزار کاملاً اتوماتیک بوده و تحت سیستم عامل ویندوز^۲ کار می کند و برخلاف سایر نرم افزارهای مدلسازی، نیازی به دریافت یک مدل اولیه جهت شروع عملیات مدلسازی ندارد و دارای قابلیت مدلسازی تعداد زیادی از داده های ژئوفیزیکی می باشد. این نرم افزار بطور خودکار، بهترین مقادیر پارامترهای مورد نیاز را انتخاب نموده و شروع به مدلسازی می کند، هر چند که انتخاب این پارامترها توسط اپراتور نیز امکانپذیر است [۲۴].

نرم افزار Res2Dinv، روش حداقل مربعات غیر خطی را بکار برده و محاسبات عددی را با روشهای تفاضل محدود^۳ و اجزاء محدود^۴ انجام می دهد.

روش معکوس سازی توسط این برنامه، از سه روش مختلف برای حداقل سازی مربعات استفاده می کند که عبارتند از:

- ۱- برنامه، اجرای روش حداقل مربعات بر پایه تکنیک بهینه سازی شبه- نیوتن را پشتیبانی می کند. این تکنیک بطور قابل توجهی سریعتر از روش حداقل مربعات معمولی (روش گوس- نیوتن) برای مجموعه داده های بزرگ است و به حافظه کمتری احتیاج دارد.

۱۱ - M. H. Lok

۱۲ - Windows

۱۳ - Finite Difference

۱۴ - Finite Element

۲- می توان از روش گوس- نیوتن نیز استفاده کرد، چون در نواحی با اختلاف مقاومت ویژه بیشتر از ۱۰ برابر، نتایج بهتری بدست می دهد. این روش دارای دقت بالا ولی سرعت پائین می باشد.

۳- انتخاب سوم در این برنامه، استفاده ترکیبی از گوس- نیوتن برای ۲ یا ۳ تکرار اول و شبه- نیوتن برای تکرار های بعدی است، این روش ترکیبی، روشی نسبتاً دقیق و سریع است و در بعضی موارد، بهترین تطابق را بدست می دهد [۲۴].

برای معکوس سازی بوسیله Res2Dinv، روش حداقل مربعات هموار مقید شده^۵ بر اساس معادله زیر پایه ریزی شده است [۲۴]:

$$(J^T J + uF)d = J^T g \quad (1-4)$$

$$F = f_x f_x^T + f_z f_z^T \quad \text{که در آن:}$$

که f_x فیلتر تخت افقی، f_z فیلتر تخت قائم، J ماتریس مشتقات جزئی، u فاکتور تعدیل، d بردار آشفستگی مدل و g بردار اختلاف می باشند.

مدل دو بعدی استفاده شده در این برنامه، زیر سطح را به تعدادی بلوکهای مستطیلی تقسیم می کند. هدف این برنامه، تعیین مقاومت ویژه بلوک های مستطیلی است که شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری، که مطابق با اندازه گیری های واقعی است، تولید خواهد کرد. برای آرایش های ونر و شلومبرگر، ضخامت لایه اول بلوک ها، نصف فاصله الکترودی است. ضخامت لایه های عمیق تر بعدی بطور نرمال با ۱۰٪ یا ۲۵٪ افزایش می یابد. همچنین اعماق لایه ها را می توان بطور دستی افزایش داد [۲۴].

روش بهینه سازی، بطور اساسی برای کاهش اختلاف میان مقادیر مقاومت ویژه محاسبه شده و اندازه گیری شده بوسیله تعدیل مقاومت ویژه بلوک های مدل، بکار می رود. برنامه در هر بار تکرار، خطای RMS را محاسبه می کند و سعی در کاهش آن دارد. به هر حال، مدل با کمترین خطای

RMS ممکن، می تواند بعضی اوقات تغییرات بزرگ و غیر واقعی در مقادیر مقاومت ویژه مدل نشان دهد و ممکن است همیشه بهترین مدل از یک مدل زمین شناسی را نشان ندهد. بطور کلی، برای انتخاب مدل نهایی، خطای RMS تکرار مدل تغییر چندانی نسبت به تکرار قبلی نداشته باشد و معمولاً بین تکرارهای سوم تا پنجم رخ می دهد [۲۴].

۴-۲- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه

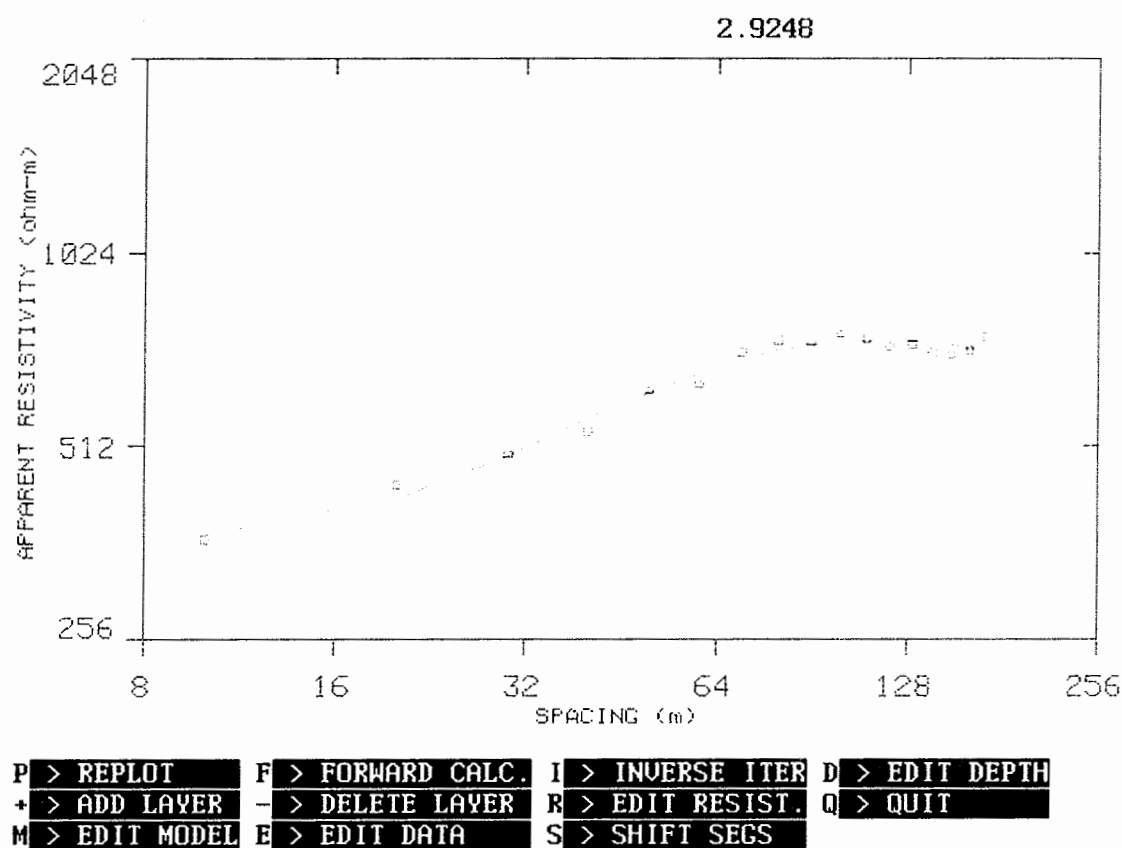
در این بخش، مدل های حاصل از معکوس سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه با استفاده از نرم افزار Resix برای تمامی سونداژ ها ارائه می شود و مورد تعبیر و تفسیر کمی قرار می گیرد. به طوری که از اشکال مربوط به مدل ها ملاحظه می شود. محور عمودی این نمودارها مقادیر مقاومت ویژه بر حسب اهم متر و محور افقی مقادیر $AB/3 = a$ بر حسب متر را نشان می دهد. همان طور که در این نمودارها ملاحظه می شود مربعات کوچک به رنگ سبز، داده های اندازه گیری شده و خط منحنی وار پاسخ مدل را نشان می دهد. مقدار خطای مدلسازی در بالای نمودارها داده شده است. هرچه مدل داده شده و پاسخ مدل بدست آمده تطابق بیشتری داشته باشد مقدار خطای مدلسازی کمتر خواهد بود. در این بخش نیز با استفاده از نرم افزار Resix مدل زمین مربوط به هر سونداژ آورده شده است.

۴-۲-۱- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S1

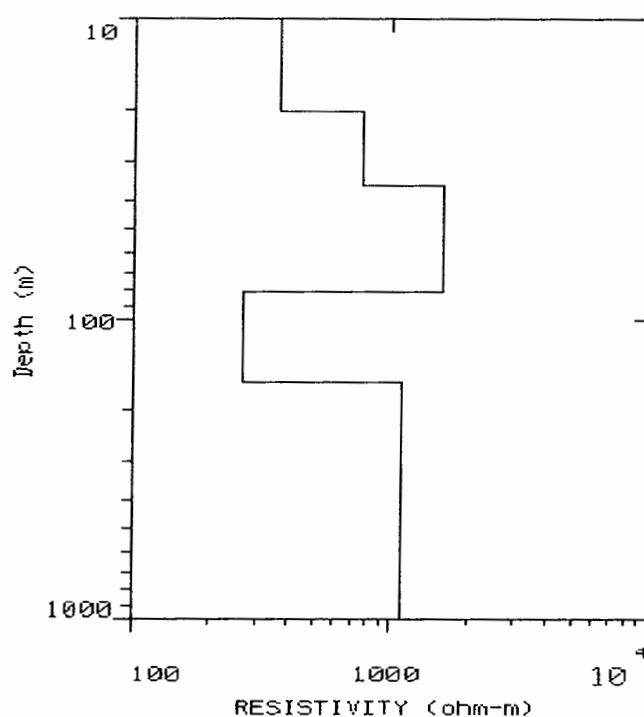
در شکل (۴-۱)، نتایج مدلسازی معکوس یک بعدی داده های سونداژ S1 مشاهده می شود. در مدل مربوط به این سونداژ یک زمین پنج لایه ای را می توان دید که لایه دوم به ضخامت تقریبی ۱۶ m متر بایستی لایه آبدار باشد. این لایه از عمق ۲۰ m متری شروع شده و تا عمق ۳۶ m متری ادامه دارد. و مقدار مقاومت ویژه آن حدود $785 \Omega m$ اهم متری باشد. مقدار خطای

مدلسازی برای این سونداژ برابر ۲/۹٪ است که نشان می دهد مدلسازی با دقت خوبی انجام گرفته است. سنگ کف در محل این سونداژ در عمق ۳۶ m متری قرار دارد.

در شکل (۲-۴)، نیز مدل زمین مربوط به این سونداژ نمایش داده شده است.



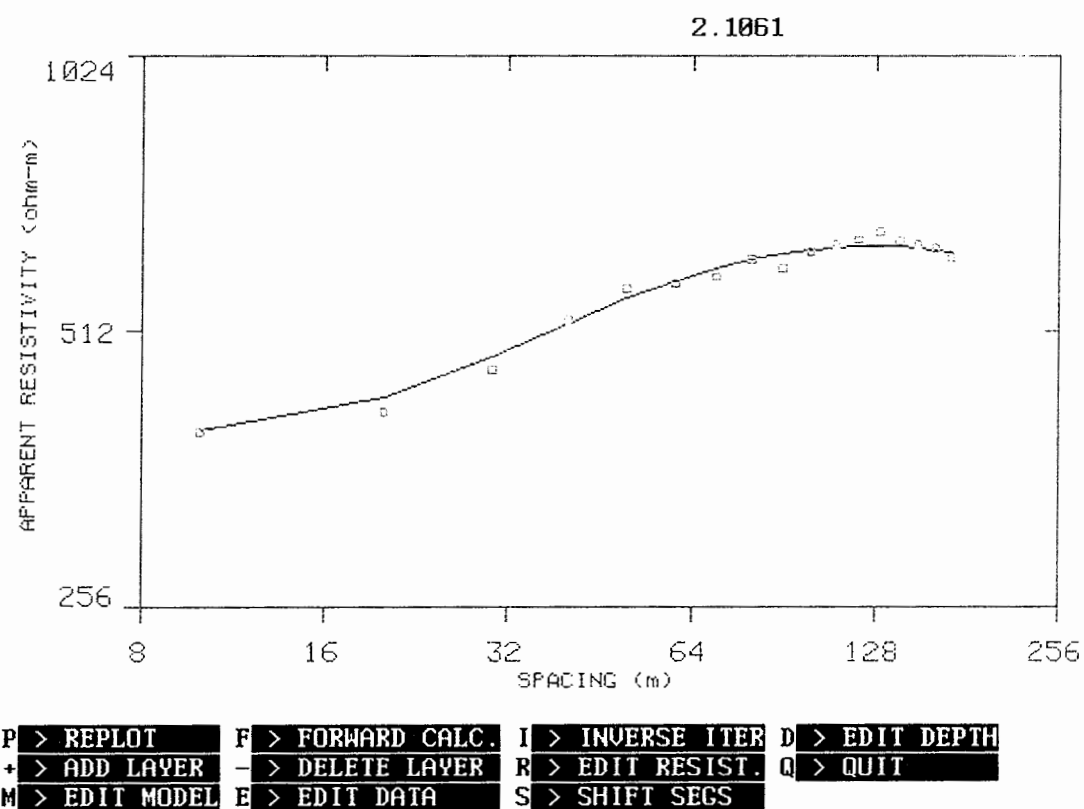
شکل ۲-۴: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S1



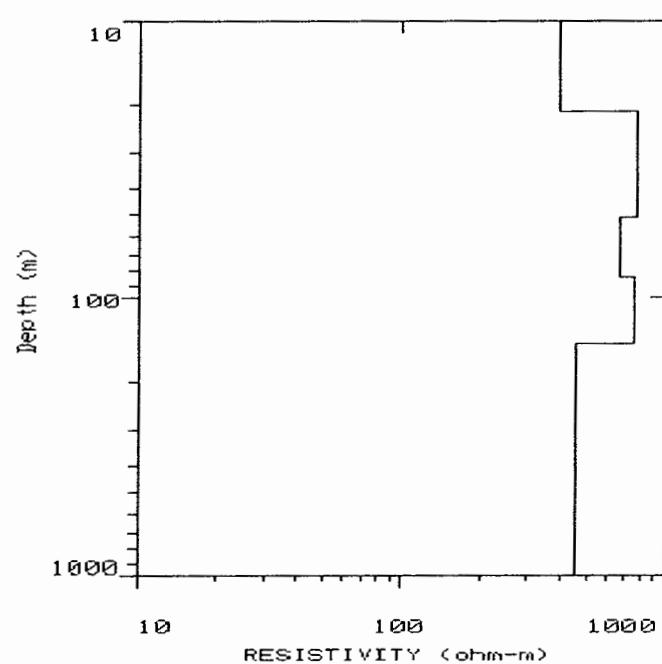
شکل ۲-۴: مدل زمین مربوط به سونداژ S1

۲-۲-۴- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S2

در شکل (۳-۴)، نتایج مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S2 مشاهده می شود. در مدل مربوط به این سونداژ یک زمین پنج لایه ای می توان دید که از عمق حدود ۵۱ متر تا ۸۳ متر لایه آبدار با مقاومت ویژه $667 \Omega m$ اهم متر وجود دارد. از عمق ۲۱ m متری به پائین تغییرات مقاومت ویژه لایه ها اختلاف کمی با هم دارند و مقداری حدود $700 \Omega m$ اهم متر می باشد. و فقط در لایه پنجم است که می توان یک لایه با مقاومت $453 \Omega m$ اهم متر مشاهده نمود. در مورد محل سنگ کف در این سونداژ نمی توان اظهار نظر کرد. میزان خطای مدلسازی برای این سونداژ ۲٪ می باشد که نشان می دهد مدلسازی با دقت مناسبی انجام گرفته است. در شکل (۴-۴)، مدل زمین مربوط به این سونداژ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۳: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S2

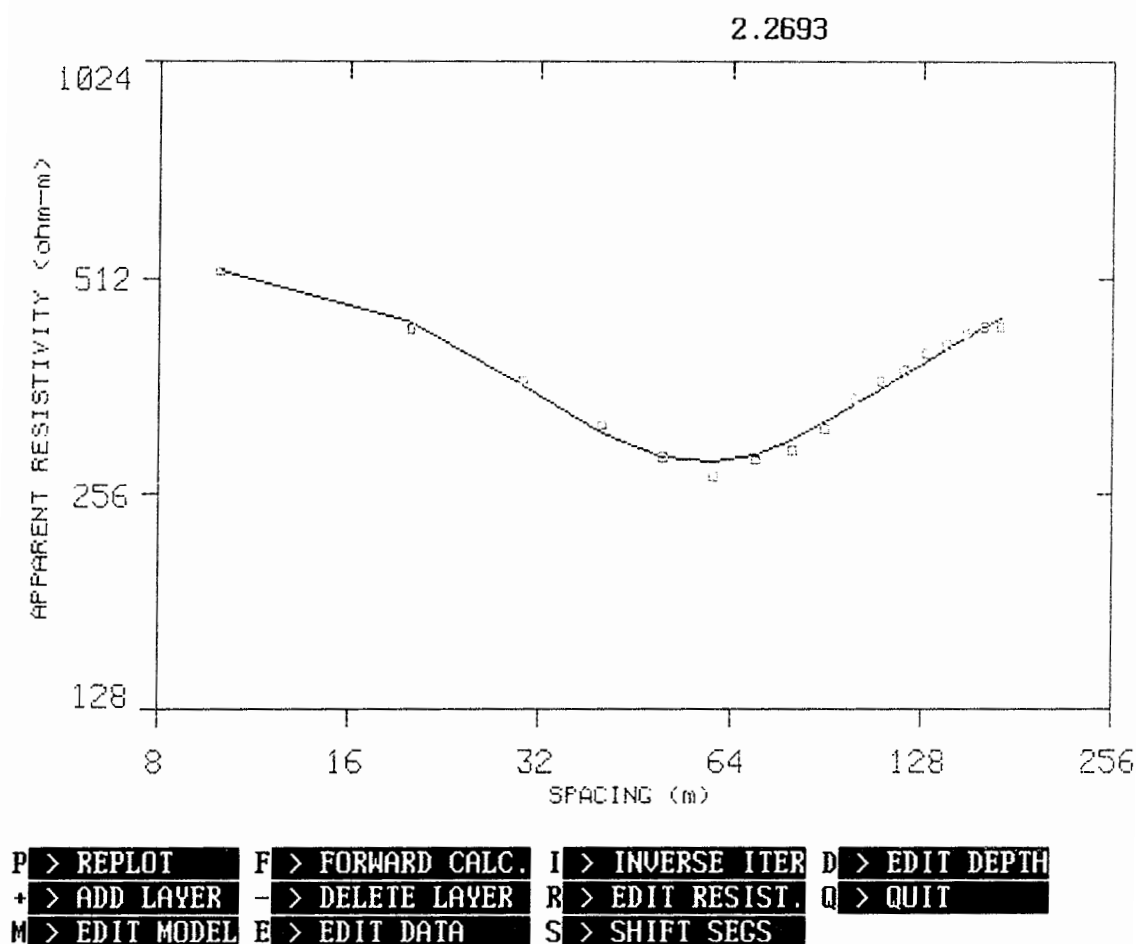


شکل ۴-۴: مدل زمین مربوط به سونداژ S2

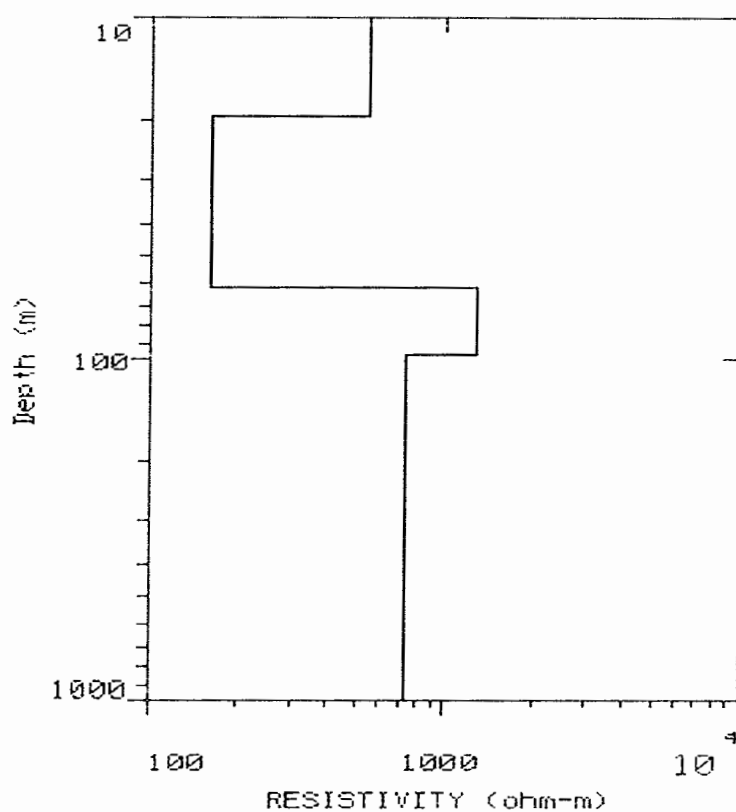
۳-۲-۴- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S3

در شکل (۴-۵)، نتایج مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژ S3 مشاهده می شود. در مدل مربوط به این سونداژ یک زمین چهار لایه ای وجود دارد. که از عمق ۱۹ m متری تا ۶۱ m متری وجود لایه آبدار پیش بینی می شود. سنگ کف در این سونداژ در عمق ۶۱ m متری قرار دارد. مقدار خطای مدلسازی برای این سونداژ ۲/۲۶٪ درصد است.

مدل زمین مربوط به این سونداژ در شکل (۴-۶)، ارائه شده است.



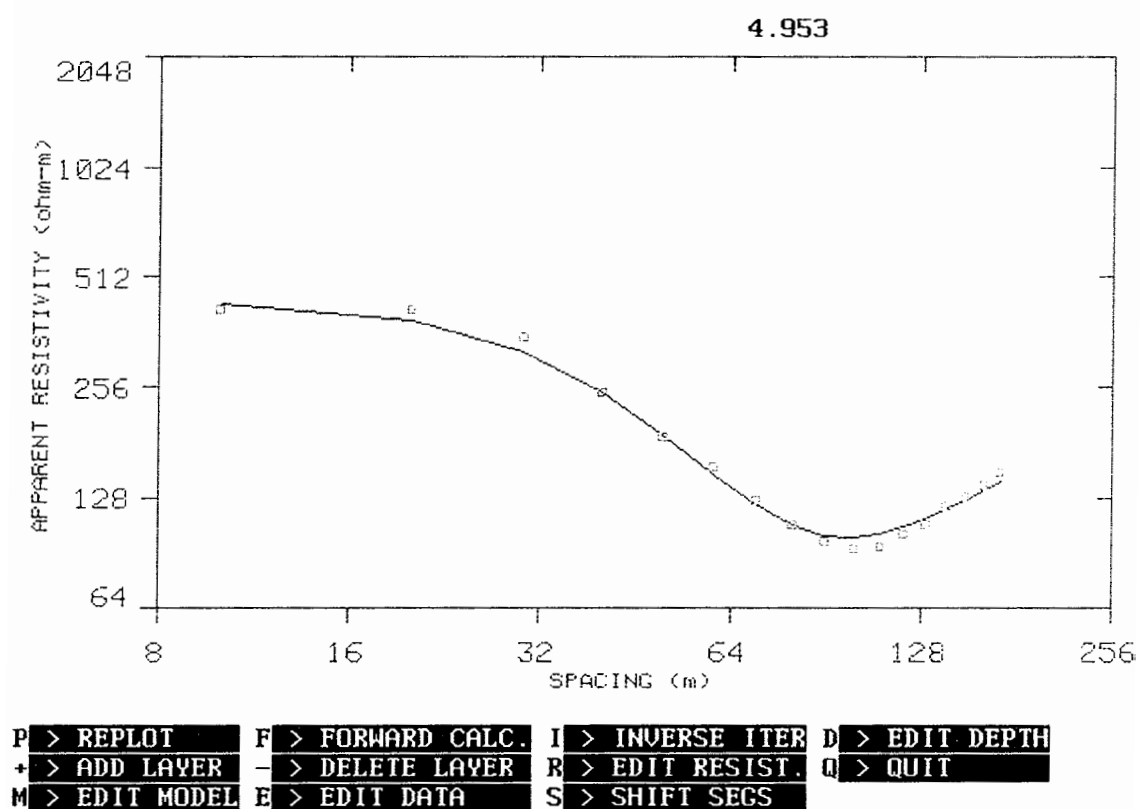
شکل ۴-۵: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S3



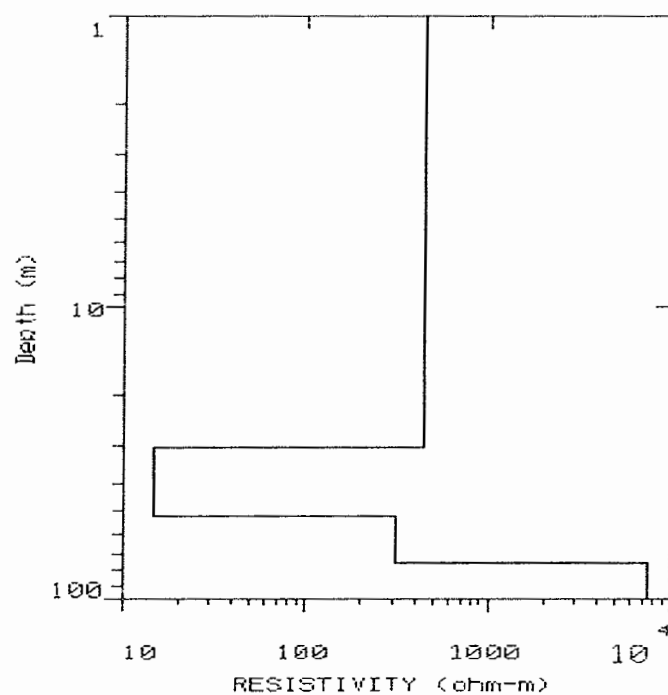
شکل ۴-۶: مدل زمین مربوط به سونداژ S3

۴-۲-۴- مدل سازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S4

در شکل (۴-۷)، نتایج مدل سازی یک بعدی سونداژ S4 را می توان مشاهده نمود. در مدل مربوط به این سونداژ یک زمین چهار لایه ای وجود دارد. لایه دوم که از عمق حدود ۳۰ m متری آغاز می شود بایستی لایه آبدار باشد. سنگ کف در این سونداژ در عمق حدود ۷۵ m متری قرار دارد. مدل زمین محل این سونداژ نیز در شکل (۴-۸)، به صورت نمودار نمایش داده شده است.



شکل ۴-۷: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S4



شکل ۴-۸: مدل زمین مربوط به سونداژ S4

مقادیر پارامترهای مدل و جنس لایه های این سونداژ را می توان در جدول (۴-۱)، مشاهده نمود.

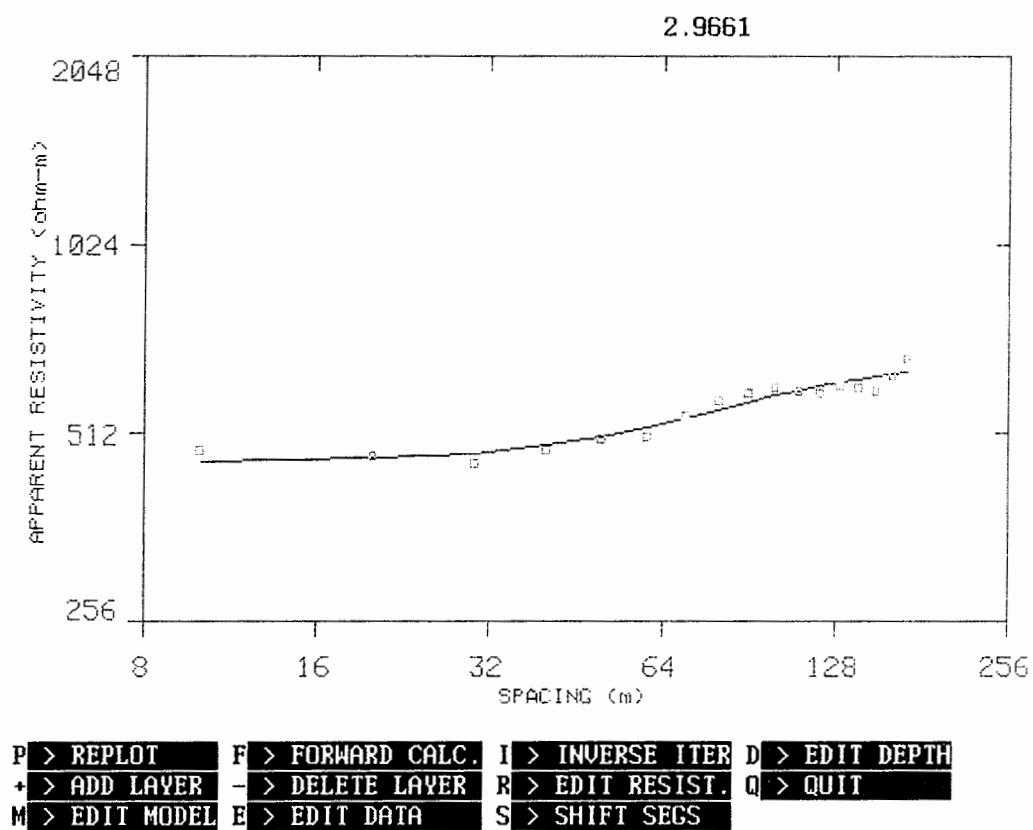
سونداژ S4	ρ (ohm..m)	AB/3(m)	جنس
لایه اول	۴۴۱	۳۰	مواد آبرفتی سطحی
لایه دوم	۱۴	۵۲	ماسه آبدار
لایه سوم	۳۰۷	۷۵	سنگ آهک آبدار
لایه چهارم	۷۵۳۹		سنگ کف آهکی

جدول ۴-۱: مقادیر پارامترهای مدل و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S4

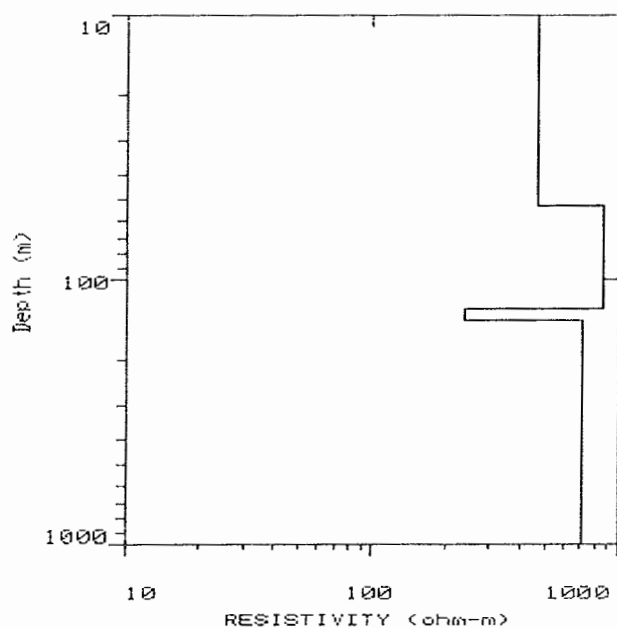
۴-۲-۵- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S5

در شکل مربوط به مدلسازی داده های سونداژ S5 یک زمین چهار لایه ای مشاهده می شود. در AB/3 کمتر از ۱۲۹ m متری افقی در منحنی دیده نمی شود لذا تشخیص و شناسایی وجود لایه آبدار در عمق کمتر از ۱۲۹ m متری امکان پذیر نمی باشد. دو سنگ کف به ازای مقادیر AB/3 برابر با ۵۲ m متری و ۱۴۳ m متری می توان مشاهده نمود. افقی که در منحنی بعد از AB/3 برابر 129 m متری مشاهده می شود ممکن است در اثر وجود آب باشد. در شکل (۴-۹)، نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ S5 را می توان مشاهده نمود.

مدل زمین محل این سونداژ نیز در شکل (۴-۱۰)، به صورت نمودار نمایش داده شده است.



شکل ۴-۹: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S5



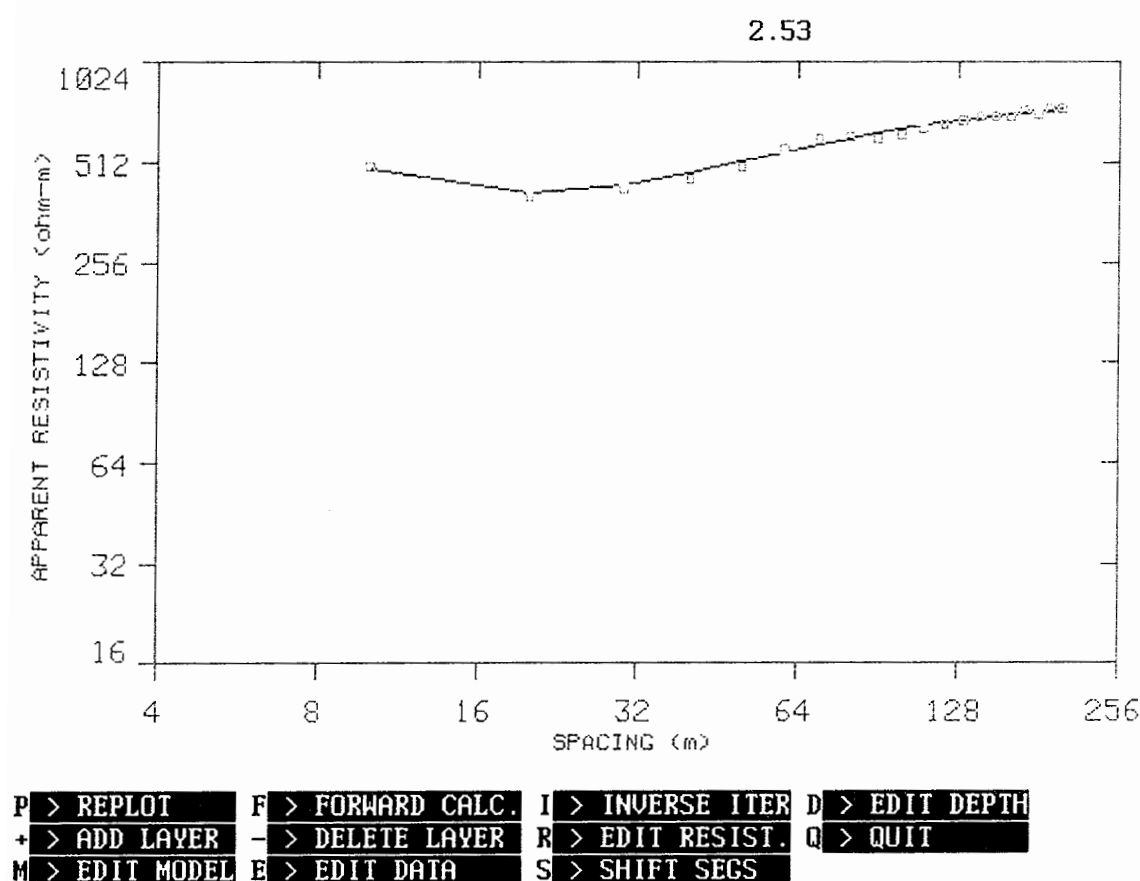
شکل ۴-۱۰: مدل زمین مربوط به سونداژ S5

۴-۲-۶- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S6

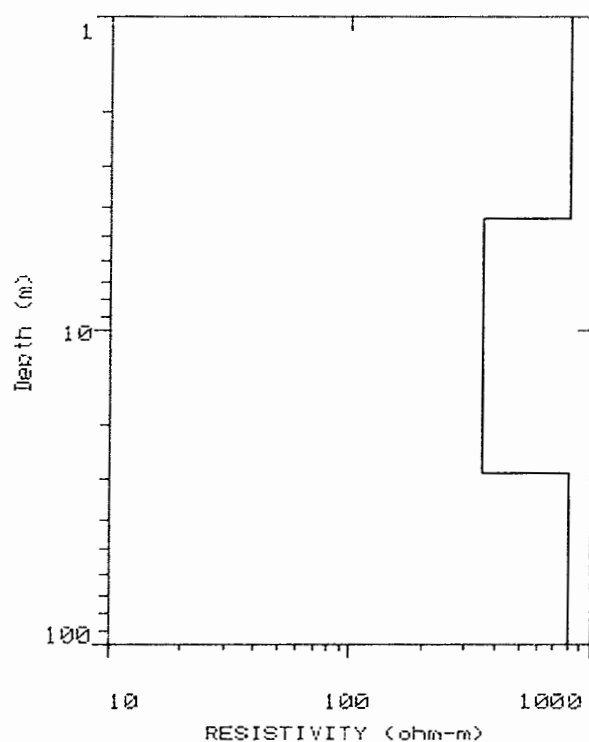
در شکل (۴-۱۱)، مربوط به نتیجه مدلسازی داده های مقاومت ویژه سونداژ S6 یک زمین سه لایه ای مشاهده می شود. لایه اول در این سونداژ ضخامت کمی دارد و جنس آن با توجه به مقاومت ویژه زیاد آن بایستی مواد آبرفتی درشت دانه باشد. به ازای مقدار $AB/3$ برابر ۲۸ متر مقاومت ویژه افزایش یافته و تا حدود ۸۰۰ اهم متر افزایش نشان می دهد. لایه آبدار نیز در این سونداژ قابل تشخیص نیست. (به دلیل اصل اختفاء)

در شکل (۴-۱۱)، نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ S6 را می توان مشاهده نمود.

مدل زمین محل این سونداژ نیز در شکل (۴-۱۲)، به صورت نمودار نمایش داده شده است.



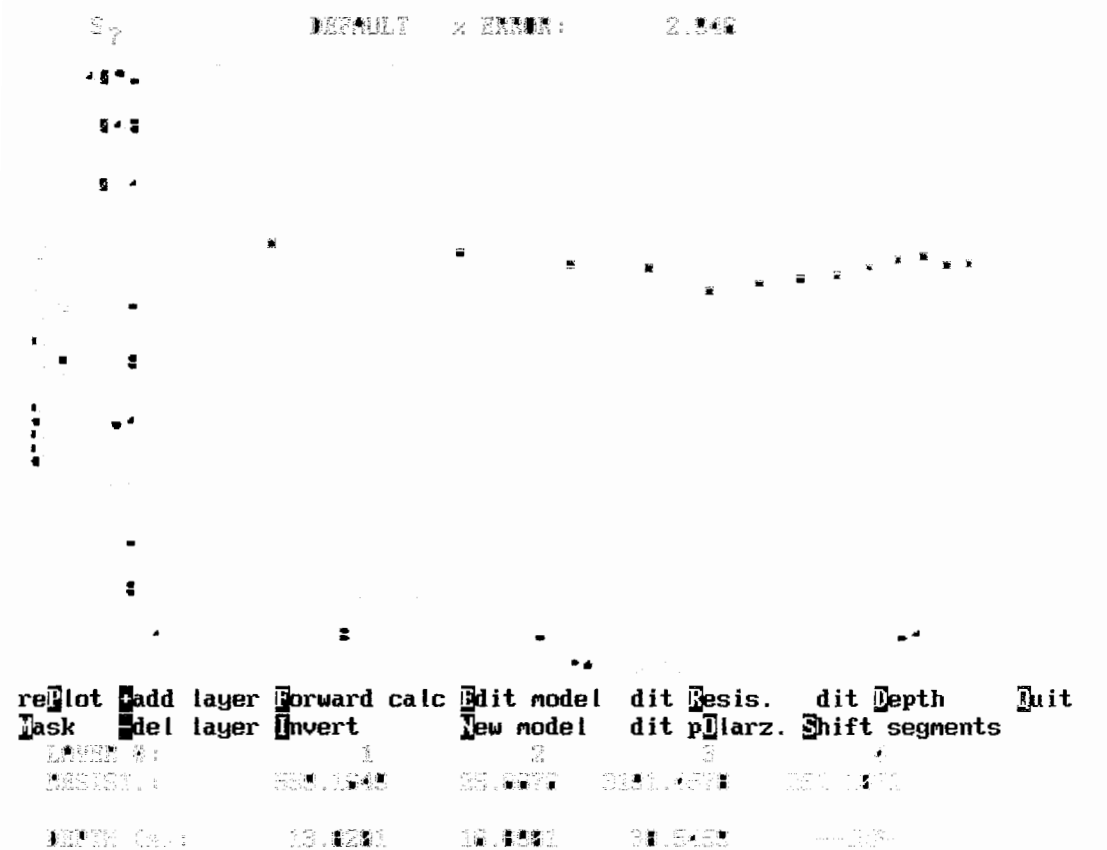
شکل ۴-۱۱: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S6



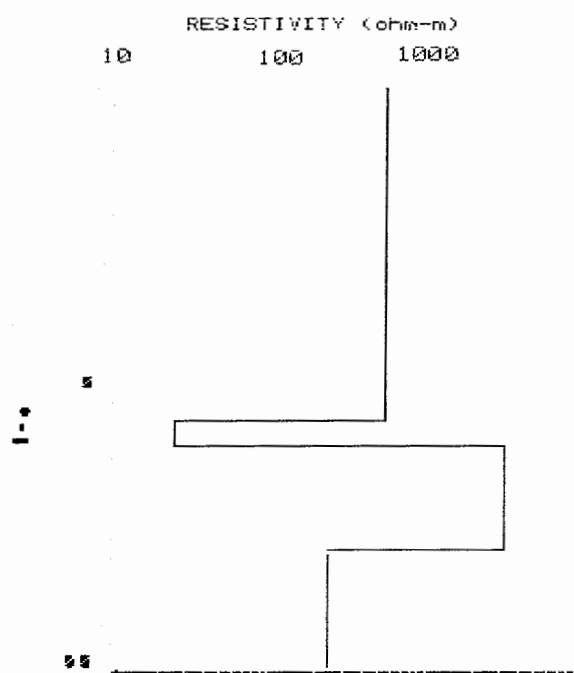
شکل ۴-۱۲: مدل زمین مربوط به سونداژ S6

۴-۲-۷- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S7

در شکل (۴-۱۳)، نتایج مدلسازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S7 نشان داده شده است. در این شکل محل مورد نظر به صورت یک زمین چهار لایه ای دیده می شود. لایه دوم از $AB/3$ حدود ۱۴ m متری آغاز می شود و تا $AB/3$ حدود ۱۷ m متری ادامه دارد و بایستی یک لایحه رسی کم ضخامت باشد که در زیر مواد آبرفتی درشت دانه سطحی قرار گرفته است. لایه چهارم که از $AB/3 = ۳۸$ m متری آغاز می شود بایستی یک لایه آبدار باشد. مدل زمین محل این سونداژ نیز در شکل (۴-۱۴)، به صورت نمودار نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۳: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S7



شکل ۴-۱۴: مدل زمین مربوط به سونداژ S7

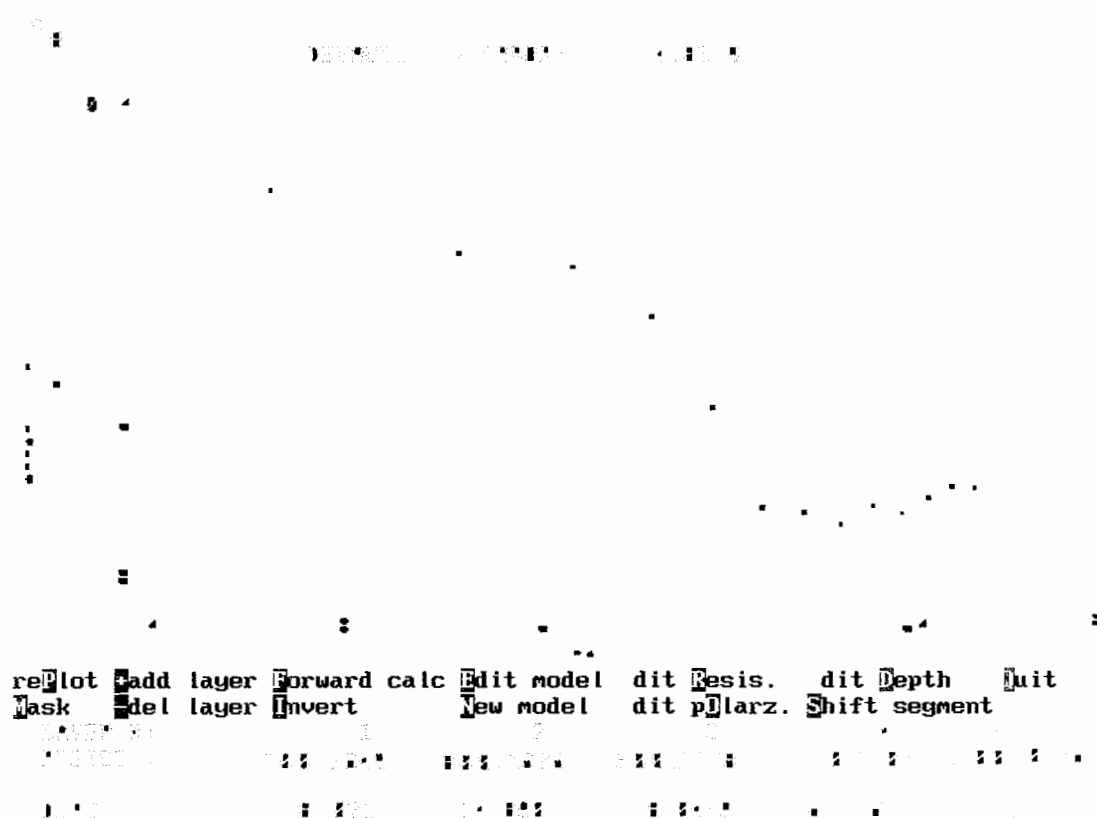
در جدول ۴-۲، مشخصات پارامترهای مدل و جنس لایه ها برای این سونداژ نشان داده شده است.

سونداژ S7	ρ (ohm..m)	AB/3(m)	جنس
لایه اول	۵۵۹/۲	۱۳/۸	مواد آبرفتی درشت دانه
لایه دوم	۲۵/۷	۱۶/۸	رس
لایه سوم	۳۱۹۱/۴	۳۸/۵	سنگ آهک
لایه چهارم	۲۵۱/۱	...	سنگ آهک آبدار

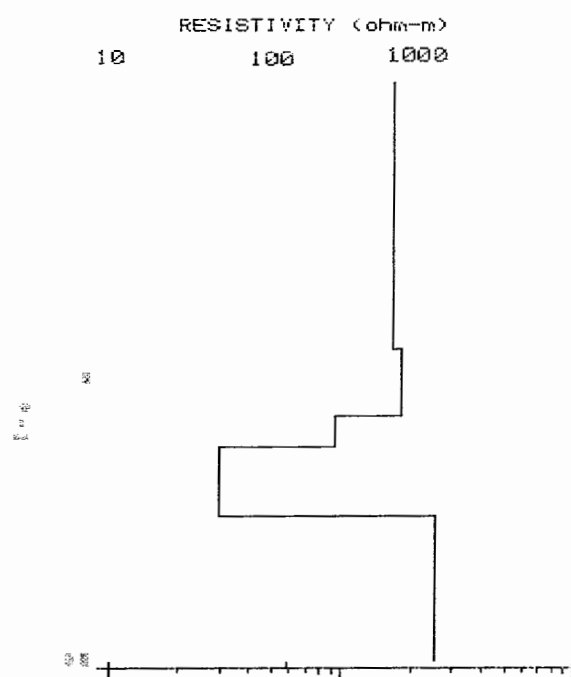
جدول ۴-۲: مقادیر پارامترهای مدل و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S7

۴-۲-۸- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S8

نتایج مربوط به مدلسازی یک بعدی سونداژ S8 به همراه مدل مربوط در اشکال (۴-۱۵) و (۴-۱۶) نشان داده شده است. در مدل مربوط به این سونداژ یک زمین پنج لایه ای مشاهده می شود که افت مقاومت ویژه بعد از لایه سوم به دلیل وجود رسوبات ریز دانه می تواند باشد. به دلیل ناکافی بودن افزایش الکتروودی در این سونداژ، لایه آبدار مشاهده نمی شود و فقط وجود سنگ کف از $Am/3 = ۶۲$ متر را می توان نتیجه گرفت. که این با نتایج پائین تر بودن عمق سنگ کف در سمت راست (شرق) گسل نسبت به سمت چپ (محل سونداژ S_v) هماهنگی دارد.



شکل ۴-۱۵: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S8



شکل ۴-۱۶: مدل زمین مربوط به سونداژ S8

در جدول (۳-۴)، مقادیر پارامترهای این مدل و جنس لایه ها برای این سونداژ ارائه شده است.

سونداژ S8	ρ (ohm..m)	AB/3(m)	جنس
لایه اول		۱۵	موارد آبرفتی درشت دانه
لایه دوم		۱۸	شن درشت دانه
لایه سوم		۶۲	ماسه و رس
لایه چهارم			سنگ کف آهکی

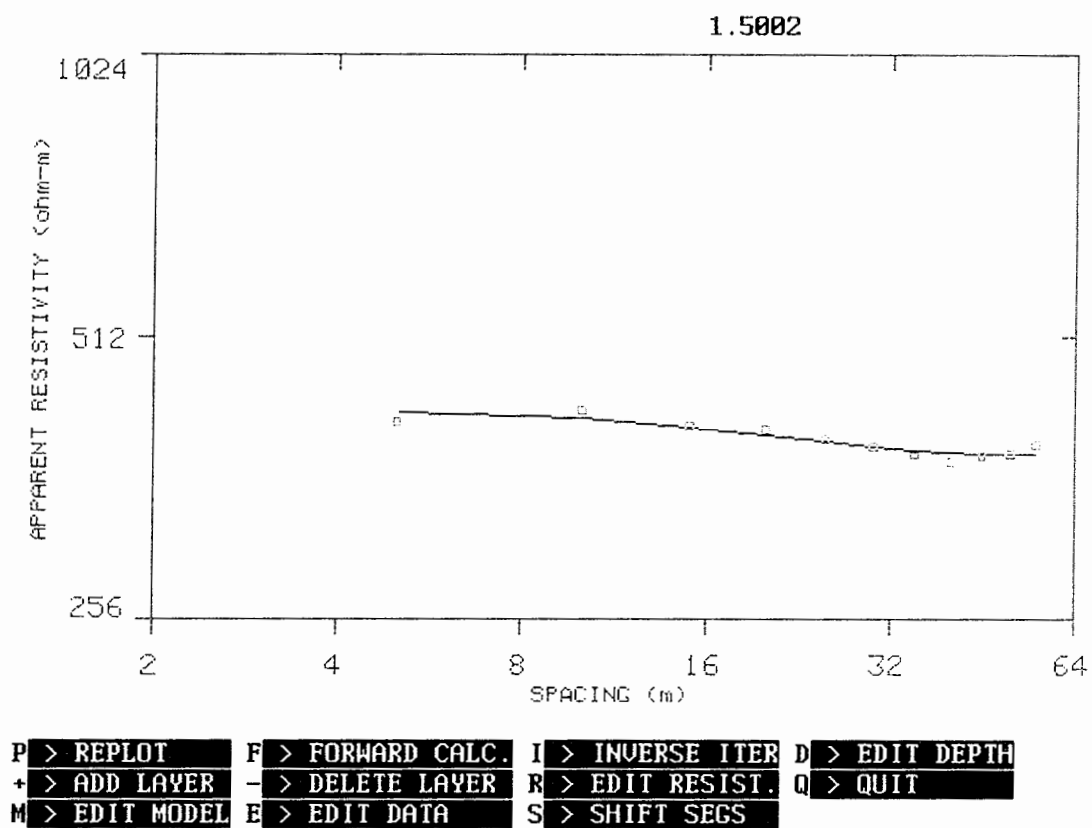
جدول ۳-۴ : مقادیر پارامترهای مدل و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S8

۹-۲-۴- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S9

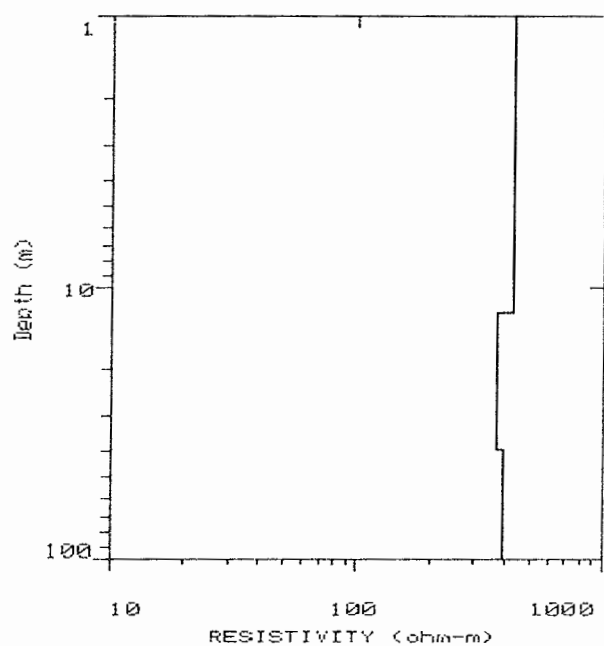
نتیجه مدلسازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه این سونداژ یک زمین سه لایه ای را نشان می دهد. افت منحنی بعد از AB/3 برابر 12 m احتمالاً به دلیل وجود آب در لایه دوم می باشد. سنگ کف در این سونداژ از مقدار AB/3 برابر ۳۹ m متر مشاهده می شود. خطای مدلسازی برای این سونداژ ۱/۵٪ می باشد که نشان می دهد مدلسازی با دقت خوبی انجام گرفته است.

در شکل (۴-۱۷)، نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ S9 را می توان مشاهده نمود.

مدل زمین محل این سونداژ نیز در شکل (۴-۱۸)، به صورت نمودار نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۷: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S9

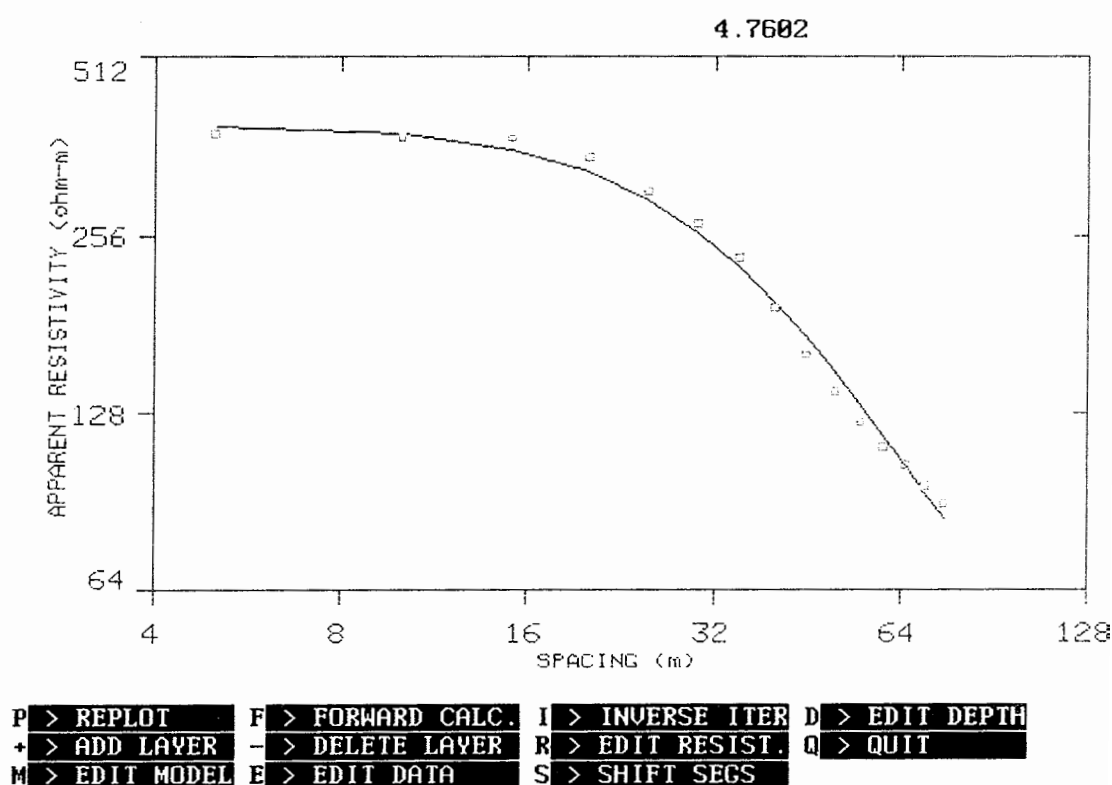


شکل ۴-۱۸: مدل زمین مربوط به سونداژ S9

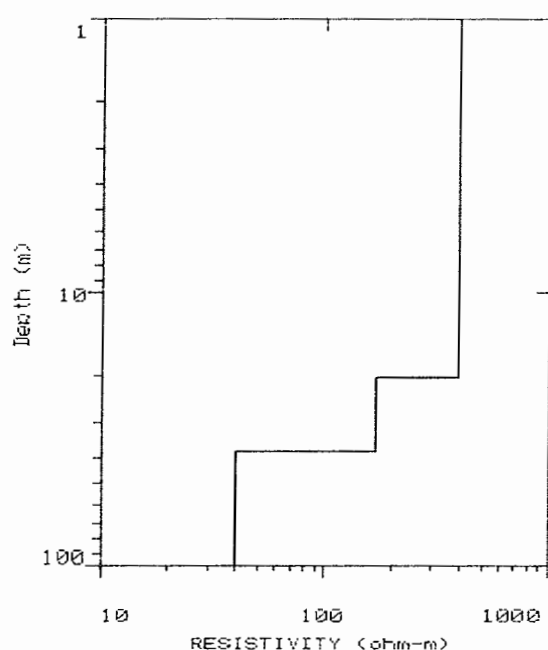
۴-۲-۱۰- مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S10

مدل این سونداژ نتیجه ای کاملاً متفاوت با دیگر سونداژ ها نشان می دهد. افت منحنی بعد از $AB/3 = 20 \text{ m}$ متر به احتمال زیاد به دلیل وجود آب در لایه دوم می باشد. در لایه سوم که از $AB/3$ برابر 37 m متر شروع می شود. مقاومت ویژه بسیار کاهش یافته بگونه ای که مدلسازی، مقاومت ویژه لایه سوم را 39 اهم متر نشان داده است.

جنس این لایه با توجه به مقدار مقاومت ویژه ای که دارد بایستی رسی - ماسه ای باشد. خطای مدلسازی برای این سونداژ $4/7$ درصد است که نشان می دهد مدلسازی با دقت خوبی انجام گرفته است. در شکل (۴-۱۹)، نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ S10 را می توان مشاهده نمود. مدل زمین محل این سونداژ نیز در شکل (۴-۲۰)، به صورت نمودار نمایش داده شده است



شکل ۴-۱۹: مدلسازی معکوس یک بعدی داده های مقاومت ویژه سونداژ S10



شکل ۴-۲۰: مدل زمین مربوط به سونداژ S10

۴-۳- نتایج مدلسازی دوبعدی سونداژها

به منظور به دست آوردن دید بهتر نسبت به قرارگیری محل گسل مربوطه نتایج مدلسازی دو بعدی سونداژهای S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 و S_{10} با نرم افزار Res2Dinv در شکل (۴-۲۱)، ارائه شده است.

در این شکل نواحی آبی رنگ با مقاومت ویژه پائین معرف لایه های آبرفتی ریز دانه ای و نواحی قهوه ای رنگ با مقاومت ویژه بالا معرف سنگ کف که از جنس آهک است، می باشند. نواحی سبز رنگ نیز مواد آبرفتی درشت دانه هستند که در سمت چپ سونداژ S_3 با ضخامت بیشتری مشاهده می شود. نواحی زرد رنگ با مقاومت ویژه حدود $700 \Omega m$ اهم متر می تواند معرف لایه آبدار آهکی باشد.

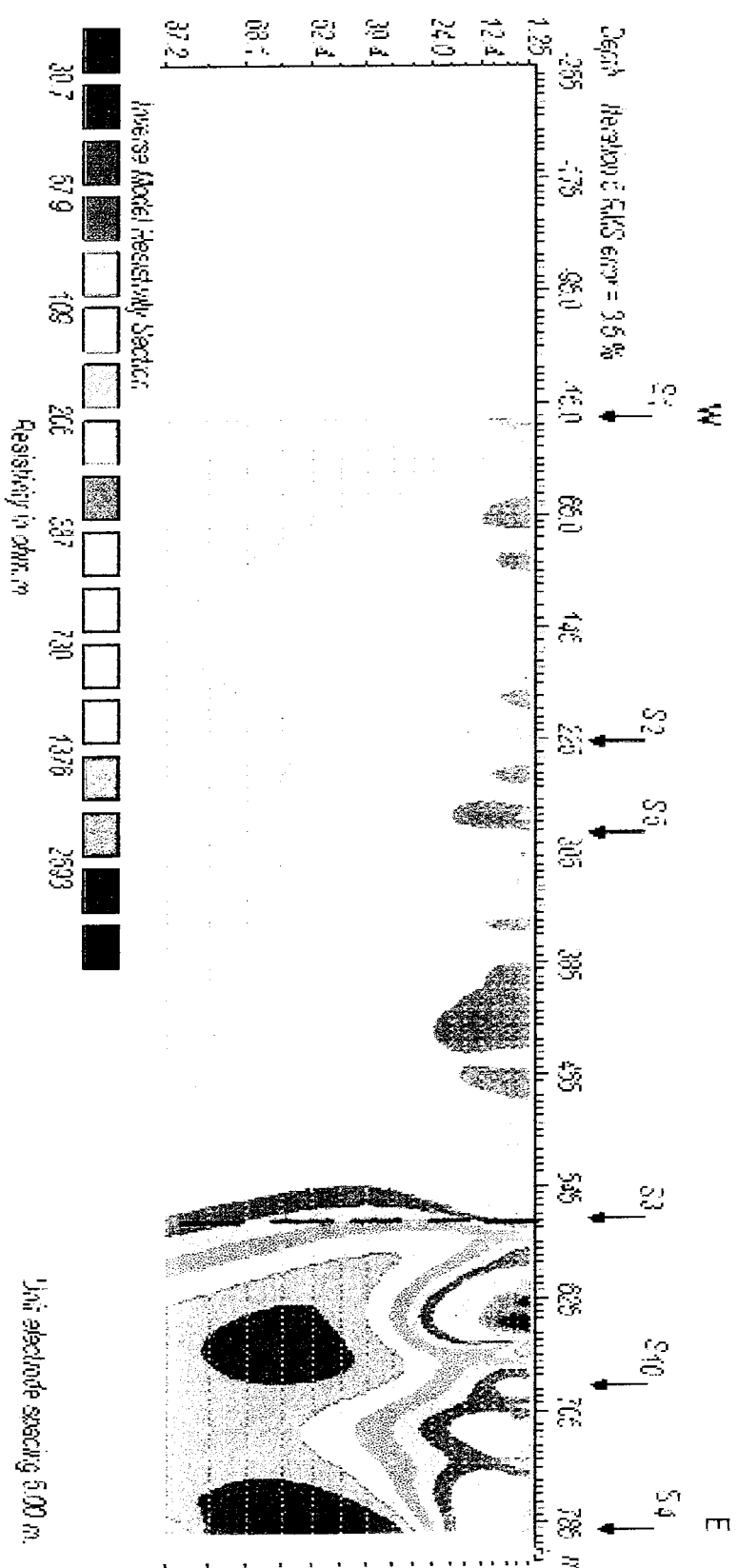
در این شکل می توان تغییرات شدید جانبی مقاومت ویژه را در زیر محل سونداژ S_3 مشاهده نمود. این محل که در شکل با خط چین مشخص شده می تواند محل گسل شاهرود باشد که باعث

شده سنگ کف در سمت چپ (غرب سونداژ S_3) بالاتر از سمت راست (شرق سونداژ S_3) قرار گیرد. با توجه به این مقطع، شیب گسل نزدیک به 90° درجه برآورد می شود.

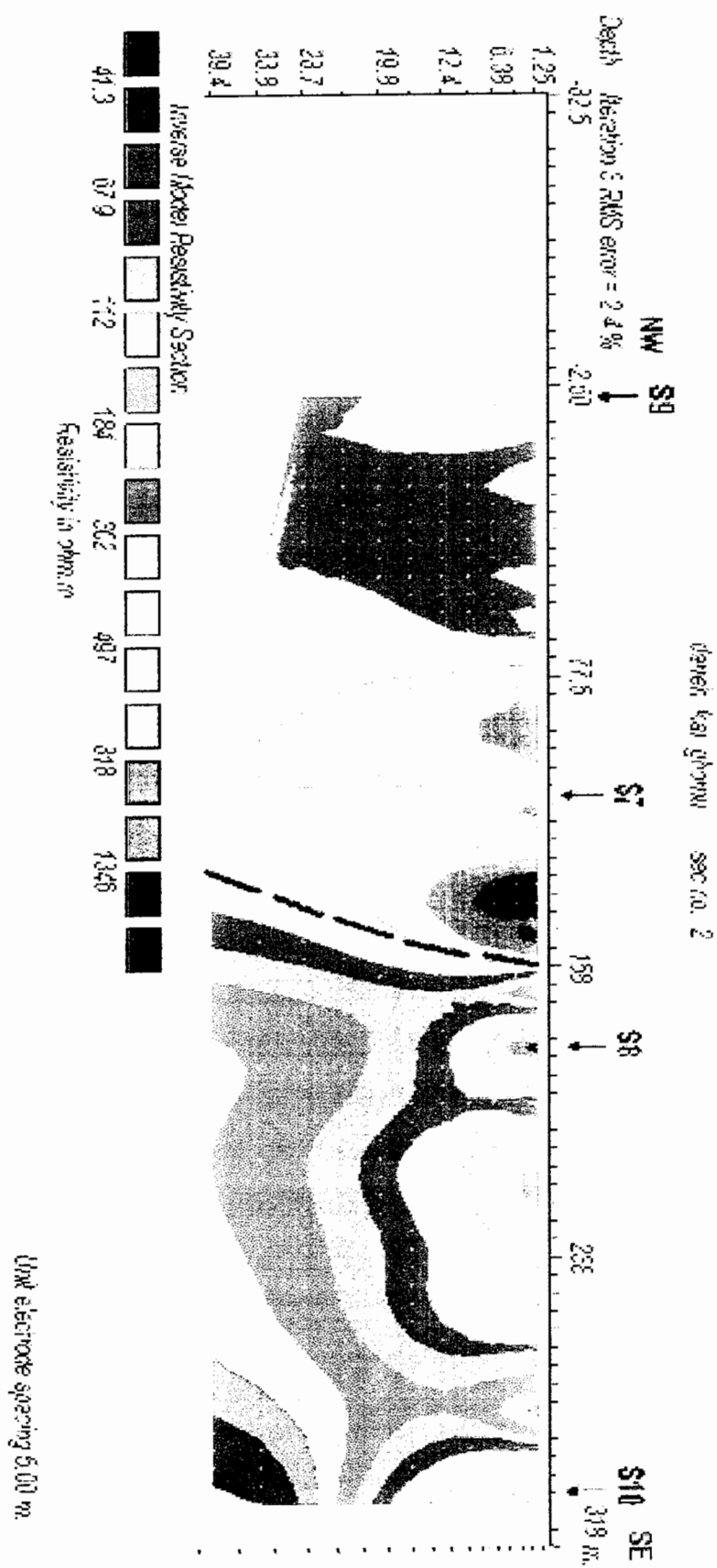
چون امتداد این مقطع نسبت به امتداد گسل عمود نمی باشد شیب اخیرالذکر را نمی توان بعنوان شیب واقعی گسل معرفی نمود.

در شکل (۴-۲۲)، نتایج مدلسازی دو بعدی سونداژهای S_9 ، S_7 ، S_8 و S_{10} که تقریباً در یک راستا قرار دارند مشاهده می شوند.

در این شکل در فاصله ۱۵۸ متری از مبدا، تغییرات شدید جانبی مقاومت ویژه مشاهده می گردد که می تواند معرف گسل مورد نظر باشد که تقریباً شیبی نزدیک به 75° درجه بسمت شمال غرب دارد. چون امتداد این مقطع نسبت به امتداد گسل تقریباً عمود می باشد، لذا شیب اخیرالذکر را می توان بعنوان شیب گسل شاهرود معرفی نمود.



شکل ۴-۲۱: مدل سازی دو بعدی پروفیل شرقی - غربی سونداژهای $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{17}, S_{18}, S_{19}, S_{20}, S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}, S_{25}, S_{26}, S_{27}, S_{28}, S_{29}, S_{30}, S_{31}, S_{32}, S_{33}, S_{34}, S_{35}, S_{36}, S_{37}, S_{38}, S_{39}, S_{40}, S_{41}, S_{42}, S_{43}, S_{44}, S_{45}, S_{46}, S_{47}, S_{48}, S_{49}, S_{50}, S_{51}, S_{52}, S_{53}, S_{54}, S_{55}, S_{56}, S_{57}, S_{58}, S_{59}, S_{60}, S_{61}, S_{62}, S_{63}, S_{64}, S_{65}, S_{66}, S_{67}, S_{68}, S_{69}, S_{70}, S_{71}, S_{72}, S_{73}, S_{74}, S_{75}, S_{76}, S_{77}, S_{78}, S_{79}, S_{80}, S_{81}, S_{82}, S_{83}, S_{84}, S_{85}, S_{86}, S_{87}, S_{88}, S_{89}, S_{90}, S_{91}, S_{92}, S_{93}, S_{94}, S_{95}, S_{96}, S_{97}, S_{98}, S_{99}, S_{100}$



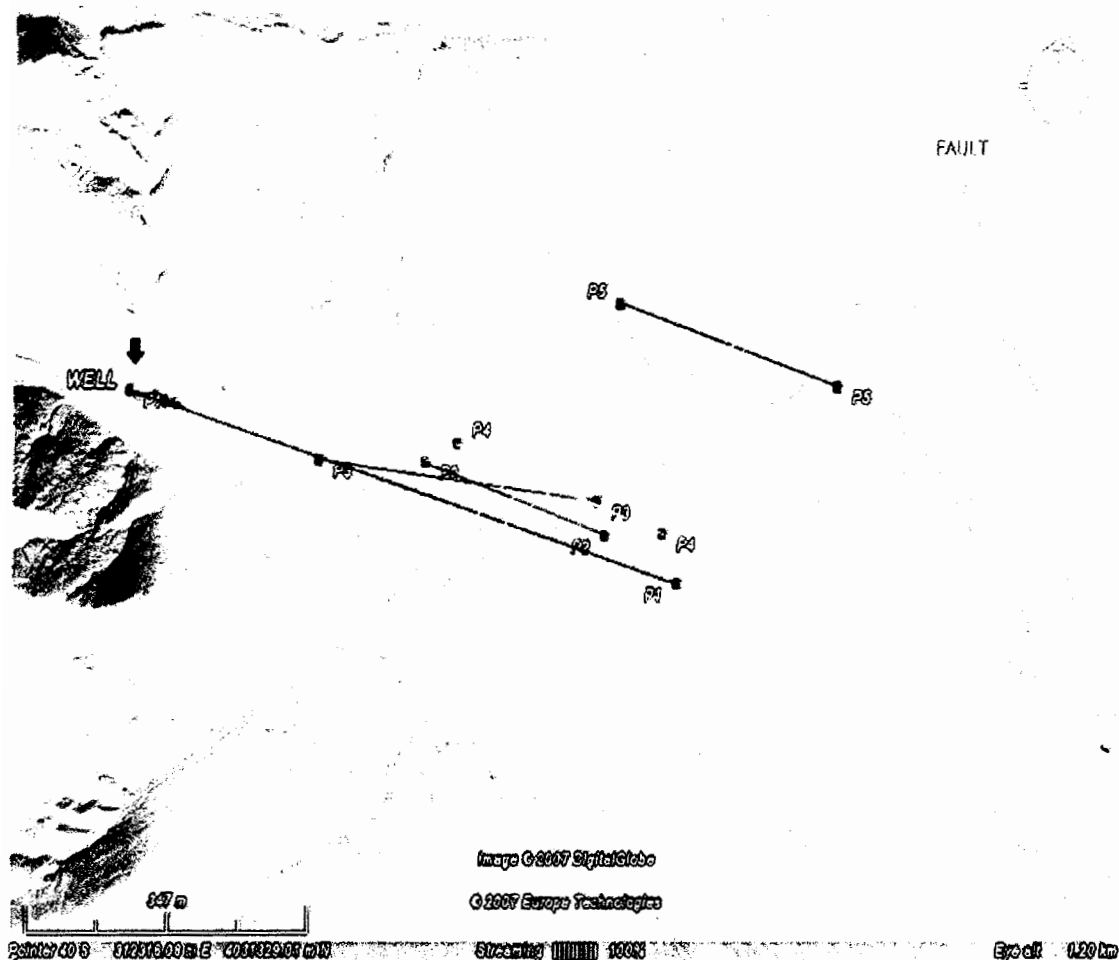
شکل ۴-۲۲: مدل سازی دو بعدی پروفیل شمال غربی - شمال شرقی سونداژهای S_9 ، S_7 ، S_8 ، S_{10}

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

در شکل (۵-۱) محل گسل بر روی هر یک از پروفیل ها با یک خط زرد رنگ نشان داده شده است. امتداد این خطوط تقریباً در یک راستا بوده و با امتداد روند خطواره مشاهده شده در بالای دره مطابقت دارد. از طرفی محل سونداژ S_3 که در مقاطع بدست آمده از مدلسازی دو بعدی به عنوان محل گسل معرفی شد، بر روی این امتداد قرار دارد که این نشان دهنده تطبیق خوب نتایج بدست آمده از پروفیل زنی با نتایج بدست آمده از سونداژها و مدلسازی دو بعدی دارد. نتایج بدست آمده از مدلسازی دو بعدی (مقطع قائم) با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی نشان می دهد که گسل ما بین سونداژهای S_7 و S_8 و در فاصله حدود ۲۵ m متری شمال غرب سونداژ S_8 قرار دارد و همچنین نتایج بدست آمده از مدلسازی دو بعدی با امتداد غربی - شرقی نیز محل سونداژ S_3 را به عنوان محل گسل نشان می دهد. امتداد بدست آمده از اتصال این دو محل، با امتداد گسل که از نتایج پروفیل زنی ها حاصل می شود، تطبیق خوبی را نشان می دهد.



شکل ۵-۱: موقعیت گسل بر روی هر یک از پروفیل ها (خطوط زرد)

شیب گسل در مقطع غربی - شرقی نزدیک به ۹۰ درجه و در مقطع شمال غربی - جنوب شرقی حدود ۷۵ درجه و رو به سمت شمال غرب می باشد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده از مدل سازی یک بعدی سونداژها و مقاطع بدست آمده از مدل سازی دو بعدی، درخصوص بالاتر بودن سنگ کف در سمت غرب، نسبت به سمت شرق گسل، می توان گفت که گسل مربوطه از نوع معکوس می باشد. زیرا جهت شیب به سمت غرب گسل بوده و سنگ کف در قسمت غرب گسل بالا تر از شرق

آن می باشد. در خصوص مقدار دقیق شیب آن نمی توان به طور قاطع اظهار نظر کرد ولی می توان گفت که شیب گسل مورد نظر در حدود ۷۵ درجه می باشد

۲-۵- پیشنهادت

با توجه به مطالب عنوان شده در فصول قبلی، موارد زیر جهت اکتشاف دقیق تر گسل مورد نظر پیشنهاد می گردد.

۱ - استفاده از پروفیل ژئوالکتریک با فاصله الکترودی $a = 60m$ و جابجائی الکترودی $d = 10m$ در محل پروفیل $P2$ جهت تعیین شیب دقیق گسل.

۲ - استفاده از روش لرزه نگاری در این محل برای مقایسه نتایج آن با نتایج بدست آمده از ژئوالکتریک.

۳ - استفاده از روش VLF برای تعیین محل شکستگی های آبدار در سمت چپ سونداژ $S3$ (با توجه به بالاتر بودن سنگ کف در این محدوده)

۴ - استفاده از سونداژهای عمیق تر در سمت راست سونداژ $S3$ برای تعیین سطح آب زیرزمینی و سنگ کف در این محدوده.

۵ - تهیه مقطع قائم مقاومت ویژه، عمود بر امتداد گسل با استفاده از روش دو آرایش متقارن نیم شلومبرگر (روش چندین الکترودی) به منظور مشخص نمودن دقیق تر شیب و امتداد گسل مذکور

فهرست منابع و مآخذ

- ۱- کلاگری ع.ا. (۱۳۷۱) اصول اکتشافات ژئوفیزیکی.
- ۲- دبلیو - ام - تلفورد، ال - پی - جرارت، ار - ای - شریف، دی - ای - کینز، مترجم دکتر حاجب حسینی، ج. دکتر زمردیان ح. (۱۳۷۵) ژئوفیزیک کاربردی ج ۲. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- دی - اچ - گریفیتس، آر - اف - کینگ، مترجم: دکتر حسن حاجب حسینی. (۱۳۷۳). ژئوفیزیک کاربردی برای زمین شناسان و مهندسان.
- ۴- مدنی، ح. (۱۳۷۲) زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک، انتشارات جهاد دانشگاهی.
- ۵- پیروزی، ا. (۱۳۸۱) جزوه درسی ژئوفیزیک اکتشافی ۲ رشته مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۶- مقتدر، س. م. (۱۳۸۵) سمینار کارشناسی ارشد: کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف دایکها و گسلها بوسیله پروفیل زنی و سونداژزنی با آرایشهای لی و ونر، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۷- پیروزی، ا. (۱۳۸۱)، جزوه کلاسی ژئوفیزیک اکتشافی ۲ رشته مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۸- ایران پناه، ا. (۱۳۵۲) زمین شناسی ساختمانی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۹- عکسهای هوایی منطقه شاهرود. (۱۳۴۲) مقیاس ۲۲/۰۰۰: ۱. سازمان نقشه برداری کشور.

- ۱۰- نقشه زمین شناسی شاهرود. (۱۳۸۰) مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۱۱- پیروز، ا. (۱۳۸۲) به کارگیری روش ترکیب یافته از حفاری الکتریکی و ترانسه زنی الکتریکی برای اکتشاف منابع آبهای زیرزمینی در زمینهای سخت (کارست). پروژه پژوهشی - کاربردی. دانشگاه صنعتی شاهرود. سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان سمنان.
- ۱۲- علیزاده، ا. (۱۳۸۴). استفاده از آرایه مربعی در شناسایی گسلها و درزه شکستهای مدفون. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۱۳- دکتر مرادزاده ع. (۱۳۸۴). جزوه درسی مدلسازی. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۱۴- چاکری م. (۱۳۸۴). مدلسازی معکوس پارامتری و هموار دو بعدی داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۱۵- Robert G. Van nostrand and Kenneth L. Cook, 1966, Interpretation of resistivity data, united states government printing office Washington.
- ۱۶- Bootroyd D. Cull J.P. 1995. Time domain and complex resistivity data. 8, 49-55
- ۱۷- Constable S.C. Parker R.L. Constable C.G. 1978. Occam`s inversion: A practical algorithm for generation smooth models fram electromagnetic sounding data. 19, 68.
- ۱۸- Dey A. Morrison H.F. 1979. Rerisriviry modeling for arbitrarily shaped three-dimensional structures. Grophysics 44, 753-780.
- ۱۹- Ellis R.G. Oldenburg D.W. 1994. Applied geophysical inversion. Geophysical journal international. 58, 5 - 9
- ۲۰- Telford W.M., Geldart L.P. and Sheriff R.E., 1998, Applied geophysics, second edition, Cambridge university press, new york, P 45-47 and 522- 560.
- ۲۱-. Dimri V. 1992. Deconvolution and invers theory, Application to Geophysical problems. Elsevier. 24, 65, 115.
- ۲۲- Marquardt D.W. 1970. Generalized inverses ridge regression, biased linear estimation, and nonlinear estimation. Technometries 12, 591-612
- ۲۳ - Resix, users manual, 1991, interpex limited golden co.
- ۲۴ - Lock, M.H., 2004, res2dinv ver. 3.54, Geotomo software, p. 1-130.

پیوستها

پیوست الف : مختصری بر مدلسازی

مقدمه

در این فصل ابتدا به تشریح انواع روشهای مدلسازی پرداخته و پس از آن به مدلسازی معکوس یک بعدی و دو بعدی داده های مقاومت ویژه می پردازیم. مدلسازی یک بعدی با استفاده از نرم افزار Resix و مدلسازی دو بعدی با استفاده از نرم افزار Res2Dinv انجام گرفته است.

داده های اندازه گیری شده در طی عملیات صحرایی فقط یک سری اعداد خام می باشند و توجیه دقیق لایه های زیر سطحی از روی این داده ها به طور مستقیم غیر ممکن است.

نخستین نکته ای که در این مبحث باید به آن اشاره کنیم پاسخ به این سوال است که اصولاً چرا باید مدلسازی صورت گیرد؟ پاسخ به این سوال در واقع اهداف و خواسته های ما را از مدلسازی تبیین می کند. این اهداف به شرح زیر می باشند [۱۳]:

۱- داده ها از ماهیت توصیفی (کیفی) به ماهیت عددی (کمی) تبدیل شوند.

۲- فهم درست و کامل از داده ها

۳- تعیین هندسه و عمق قرارگیری اهداف مورد مطالعه

۴- تعیین ساختار لایه های زیرسطحی

اصولا داده های اکتشافی به سه فرم نمایش داده می شوند [۱۳]:

- به فرم نقشه

- بصورت شبه مقاطع

- مدلسازی شده

که ما در اینجا به فرم مدلسازی شده آن اشاره داریم، زیرا کاملترین نحوه نمایش یک سری داده می باشد. وقتی در یک پروژه اکتشافی یک سری داده که هر داده مختص مکان خاصی می باشد، برداشت شود، این داده ها باید به کل منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شوند. از آنجا که حجم نقاطی که ما اطلاعات آنها را برداشت کرده ایم به حجم نقاطی که اطلاعات آنها برای ما مجهول است، بسیار کم است، لذا همیشه این تعمیم با خطا همراه است. برای غلبه بر این محدودیت روشهای مختلف مدلسازی موجودیت گرفته اند. بدینگونه که هر یک از این روشها با در نظر گرفتن شرایط خاصی که بر محیط، داده ها و دیگر پارامترهای تاثیرگذار حاکم است، سعی در کاهش خطا در این تعمیم دارند. لذا برای حل یک مسئله مدلسازی ابتدا باید تمامی شرایط و قیود حاکم بر محیط و داده های خام را دانست و سپس با اشراف کامل بر چگونگی شکل گیری یک مدل در یک روش خاص مدلسازی، روش مناسب و بهینه را انتخاب و با تعیین درست گزینه های انتخابی در آن روش مدلسازی، بهترین مدل را با کمترین خطای ممکن ارائه نمود [۱۳].

مدلسازیها در دسته بندی اولیه به دو دسته مدلسازی آزمایشگاهی^۱ و مدلسازی عددی^۲ تقسیم می شود [۱۳].

^۱ - Scale modeling

^۲ - Numerical modeling

مدلسازی عددی خود به دو دسته مدلسازی عددی پیشرو و مدلسازی عددی وارون تقسیم می شود که باز هر کدام از این روشها خود زیر مجموعه هایی مجزا و روشهای مختلفی دارند. که ادامه این فصل به همین موضوع اختصاص دارد.

مدلسازی پیشرو:

در این الگو ابتدا باید رابطه بین پارامترها و داده ها را بدانیم. بدین معنا که اگر مدلی با پارامترها، شکل و آرایش معلوم داشته باشیم، با توجه به چگونگی عملیات صحرایی و آرایش نقاط اندازه گیری، مقادیر مشاهداتی قابل محاسبه باشند. اینگونه طراحی مسئله به روشی می انجامد که مدلسازی پیشرو^۳ نامیده می شود و عملگری که داده های مشاهداتی فرضی یا همان پاسخ مدل را از مدل استحصال می کند، عملگر پیشرو نامیده می شود. این عملگر و رابطه متناظر آن تقریباً در تمامی موقعیتهای واقعی، غیر خطی هستند [۱۴].

امروزه در مدلسازی پیشرو روشهای عددی جایگاه اصلی را دارند که در اینجا بصورت مختصر و خلاصه به معرفی و تشریح بعضی از روشهای این زیرمجموعه پرداخته و تا حد ممکن از تشریح روابط و فرمولهای بکار رفته در این الگوها خودداری شده است.

۳ -Forward modeling

روش عددی تفاضل محدود

تفاضل محدود روشی ساده و موثر برای حل عددی مقدار مرزی مسائل الکترومغناطیسی است و بدلیل سادگی ذاتی و زمان کمتر محاسبات، این روش اصولاً در نرم افزارهای تجاری مورد استفاده قرار می گیرد [۱۴].

در این دسته از روشها سعی در تقسیم یک میدان پیوسته الکترومغناطیسی به تکه های کوچک است. بگونه ای که بتوان رفتار این تکه های منقطع را جداگانه مورد بررسی قرار داد و رفتار کل را از برآیند آنها تعیین کرد. بنابراین باید عملگرهای دیفرانسیلی پیوسته در معادلات ماکسول و شرایط مرزی با عملگرهای تفاضل محدود که روی مقادیر منقطع میدان عمل می کنند، جایگزین شوند [۱۴]. روشهای متفاوتی برای تحلیل جزء به جزء معادلات ماکسول وجود دارد اما رایجترین روش، تقسیم محدوده مدل به مستطیلهای کوچک است. سپس پارامترهای میدان داخل هر واحد ثابت فرض می شود. راه حل معمول توزیع پتانسیل سه بعدی حول یک منبع نقطه ای، بر روی یک نیم فضای دوبعدی، با احجامی به شکل دلخواه که در یک راستا گستردگی بینهایت دارند، می باشد. در اینجا به عنوان رهیافت جانبی از ماتریسی برای تخمین معادله پواسون روی شبکه ای مستطیلی و نا منظم استفاده می شود. این روش بسیار سریعتر از روشهای مطرح دیگر در مدلسازی پیشرو و از جمله عنصر محدود، صورت می گیرد [۱۴].

روش عددی عنصر محدود

یکی از قوی ترین روشهای مسائل مقدار مرزی، روش عنصر محدود است. در این روش ابتدا محدوده مدل به صورت مجموعه ای از حوزه های ساده و کم اثر (عنصر محدود) در نظر گرفته می شود. سپس جواب برای متغیر مجهول به وسیله ترکیب خطی پارامتر های معلوم و چند جمله ای های جبری معین به کمک محاسبات تغییرات، تقریب زده می شود. در نوع عادی آن شبکه کاملاً ثابت و

مستقل از زمان است. ولی در ویرایش جدید به نام «روش عنصر محدود متحرک» (MFEM)، محل گره ها متغیر بوده و به همراه ضرایب، برای کاهش خطا، به طور همزمان حل می گردد. این ویژگی از ناپیوستگی ای که در پاسخ هایی که در روش قبلی رخ می داد جلوگیری می نماید. روش های مختلفی از این الگو بسته به نوع توابع پایه و ضرایب بسط آنها وجود دارد [۱۴].

در این شیوه ها، ناحیه مدل به مقدار متناهی واحد کوچک تقسیم می شود که در مرزهای پایینی و کناری مدل باید برای رفتار و کمیت های میدان، فرضیاتی در نظر گرفته شود که به نام «تقریب شبکه محدود» موسوم است. همین طور تغییرات پیوسته پتانسیل به میدان با اعداد ناپیوسته ای که بین آنها تغییرات خطی فرض می شوند تبدیل می گردد که به «تقریب عنصر محدود» معروف است. بطور آرمانی شبکه باید آنقدر بزرگ باشد تا پتانسیل ثانویه حاصل از آنومالیه ها در گوشه های آن قابل صرف نظر باشد. ولی عملاً باید محدودیتهای محاسباتی را نیز در نظر گرفت. برای تقریب شبکه محدود با مطالعه رفتار شبکه هایی با اندازه متفاوت واحدهای مرزی کناری، ملاحظه می شود که با افزایش اندازه واحدها دقت پتانسیلها نیز بنابر اصل تقابل بیشتر می شود [۱۴].

برای تقریب عنصر محدود باید در نظر داشته باشیم که عناصر باید در مناطقی که میدان ثانویه تغییرات زیادی دارد، کوچکتر و دقیقتر باشند تا فرض تغییر خطی میدان بین دو سلول منطقی باقی بماند. همین طور در شرایط مرزی جهت گیری مرزهای عناصر در مقابل جریانهای مرزی نیز مهم است. بنابراین اندازه، شکل قرارگیری و نوع بافت شبکه عنصر محدود باید برای اهداف مختلف آزمایش شود و بهترین آنها مبنای کار قرار گیرد [۱۴].

معادلات انتگرالی

معادلات انتگرالی یک روش قدرتمند برای مدلسازی پیشرو است. مزیت عمده این روش در مقایسه با عنصر محدود و تفاضل محدود، سرعت و شبیه سازی دقیق آن بخصوص در مدل‌هایی است که شامل تعداد محدودی اجسام ساده دو و سه بعدی در زمینی لایه ای هستند. در مقابل، این روش در خصوص ساختارهای پیچیده با پارامترهایی با تغییرات خیلی زیاد عملاً قابل اجرا نیست. زیرا بدلیل ماتریسهای فوق العاده فشرده و طولانی که باید محاسبه شوند، منابع محاسباتی بسیار زیادی را در رایانه به خدمت گرفته و از توان محاسباتی در زمان محدود و منطقی خارج می گردد. به همین دلیل این گونه ساختارها عملاً محل تاخت و تاز روشهای دیفرانسیلی است [۱۸].

مدلسازی وارون

آرمان‌نهایی تمامی اکتشافات ژئوفیزیک کاربردی، رسیدن به تصویری دقیق از ویژگیهای زیر زمین است. اما ساختارهای واقعی اغلب خیلی پیچیده هستند. بنابراین سعی می شود مدل ساده تر که توسط تعداد پارامترهای متناهی کنترل می شود، طرح گردد. رسیدن به این مدل، تفسیر داده های صحرایی نام دارد. روشهای زیادی برای این منظور وجود دارد که یکی از این راهها، مدلسازی وارون می باشد. از این میان وارون سازی الکتریکی و الکترومغناطیسی بطور گسترده ای در امور مهندسی و تکنیکی به خدمت گرفته شده است. از آن جمله می توان یافتن عیوب داخلی سازه های بتونی و فلزی، مطالعه ساختارهای زیرزمینی، کانیها، اکتشافات آب و هیدروکربورها و دورسنجی را نام برد. راهکار مشترک تمامی این روشها این است که میدانهای پایا یا ناپایای الکتریکی و مغناطیسی توسط یک فرستنده تولید و از میان محیط مورد نظر گذشته و آنومالی هدف را روشن می نماید. پاسخ الکترومغناطیسی برگشتی واپاشیده، در گیرنده ها بصورت مولفه های میدان الکتریکی و مغناطیسی ضبط می گردد. بازسازی تصویر با مجموعه ویژگیهای فیزیکی متناظر، اساس حل عددی مسئله

وارون است. اگر چه حل چنین مسائلی در محیطهای ناهمگن دو بعدی و سه بعدی بسیار پیچیده است، ولی در دهه های اخیر پیشرفتهای قابل ملاحظه ای در این راه صورت گرفته که گسترش رایانه های قدرتمند بدون شک نقش عمده ای در آن داشته است [۱۴].

در مدلسازی وارون چند نکته مهم و حائز اهمیت وجود دارد که مختصراً به آنها اشاره می کنیم [۲۲]:

۱- دقت مدلسازی

۲- گسسته بودن یا پیوسته بودن داده ها

۳- طبیعت داده ها و اینکه خطاها چگونه است.

۴- آیا قید یا محدودیتی برای مسئله وجود دارد؟

۵- خطی بودن یا غیرخطی بودن مسئله

۶- مدنظر بودن جواب (دقیق یا تقریبی)

در مسئله وارون بدنبال یافتن مدل m از روی داده های d هستیم. با فرض خطی بودن تابع F در مدل پیشرو می توان عملگر خطی مترادف آن، A ، را تعریف و مسئله وارون را به شکل آتی تعریف کرد:

$$m = A^{-1}d$$

سه سوال مهم در فرآیندهای مدلسازی مطرح می شود [۱۴]:

۱- آیا جواب وجود دارد؟

۲- آیا جواب یکتا است؟

۳- آیا جواب پایدار است؟

سوال اول مربوط به فرمولاسیون ریاضی است. از دیدگاه فیزیکی باید جواب وجود داشته باشد. زیرا ما ساختاری واقعی داشته ایم و بر روی آن اندازه گیری انجام گرفته ولی از دید ریاضی ممکن است مدل

با تعداد متناهی پارامتر نتواند بر داده های صحرایی و مدل واقعی منطبق گردد. از سوی دیگر داده های ژئوفیزیکی واقعی عملاً توسط δd که هیچ رابطه ای با ساختار تابع F ندارد، مختل می گردد و آنچه که مشاهده می گردد $ds = d + \delta d$ است. پیدا کردن مدلی که دقیقاً بر پاسخهای این داده های مختل منطبق گردد، حتی از نظر فیزیکی هم غیر واقعی است. زیرا نویزهای حاضر در داده ها ربطی به ویژگیهای فیزیکی نداشته و از فرمول شناخته شده ای برای ما پیروی نمی کنند. وارون سازی انتخاب یک جواب از میان مدلهای ساده شده نزدیک به جواب است. بنابراین شبه جواب m_δ را بصورتی که اختلاف $d - A m_\delta$ از مقدار δ خطای خاصی کمتر باشد، می توان بعنوان جواب در نظر گرفت. بعبارت دیگر جواب دقیق و کامل وجود ندارد. و ما دنبال مدلی هستیم که درون بازه ای به دقت δ روی داده های مشاهده ای منطبق گردد [۵].

در مورد سوال دوم فرض کنید دو مدل مختلف m_1 و m_2 با منابع S_1 و S_2 یک سری جواب d_0 تولید می کنند. لذا داریم:

$$A(m_1, S_1) = d_0$$

$$A(m_2, S_2) = d_0$$

غیر ممکن است که بتوان این دو مدل را از هم تفکیک کرد. مثال بارز این غیریکتایی ذاتی در میدانهای پتانسیل است و چنین موضوعی در الکترومغناطیس نیز نمود دارد. مسئله «هم ارزی» و «اختفا» مثالی از اینگونه محدودیتهای ذاتی است که بر یکتایی پاسخ نیز تاثیر دارد. یکی از راهها، بررسی شبه تابع عدم انطباق است. اگر این تابع بیش از یک نقطه کمینه داشته باشد، جواب غیر یکتا است [۱۴].

سوال سوم مربوط به حضور نویز است. فرض کنید که دو سری داده صحرایی با اختلاف بسیار کم، دو مدل با اختلاف بسیار زیاد تولید کرده اند. در این صورت تفکیک مدلهای غیر ممکن است. به عبارت دیگر دو مدل کاملاً متفاوت ممکن است پاسخهایی بسیار مشابه، با اختلافی در حد خطای موجود در

پاسخها ایجاد کنند. بنابراین تغییری کوچک در اندازه گیریها به نوسانات شدیدی در مدل نهایی منجر شده و مدلسازی را ناپایدار می سازد[۱۴].

اگر پاسخ هر سه سوال «بلی» باشد، مسئله را «با طرح بهنجار»^۴ گویند و در غیر این صورت مسئله را «با طرح نابهنجار»^۵ گویند. مسائل با طرح نابهنجار از نظر ریاضی و فیزیک بی معنا هستند. ولی تقریباً تمامی مسائل ژئوفیزیک از این گروه اند. خوشبختانه امروزه میدانیم که این نظر اشتباه بوده و این مسائل با معنا بوده و قابل حل می باشند[۱۴].

بطور اصولی فرایند وارون سازی از نظر رابطه پارامترهای مدل با داده های محاسباتی به چهار دسته قابل تقسیم است:

- ۱- رابطه خطی است و تابع چگالی احتمال عدم قطعیت داده ها، تابع گوسی می باشد.
- ۲- رابطه غیر خطی است ولی انحراف کمی از حساسیت خطی دارد و می توان آنها را حول یک مدل اولیه (مرجع) خطی نمود. در این مورد تابع چگالی احتمال عدم قطعیت داده ها تقریباً گوسی است. این نوع، تقریباً ملایمترین حالت غیر خطی است.
- ۳- رابطه شبه خطی است. در این مورد می توان روابط را حول یکی از نقاط مربوط به مدل، با بیشترین شباهت و کمترین انحراف با داده ها، خطی کرد. معادلات اندکی متفاوت با حالت قبل قابل تعریف هستند و روشهای گرادیانی برای رسیدن و تمرکز روی مدل بهینه اولیه و جهت حرکت پس از آن مورد استفاده قرار می گیرند. احتمال اشتباه و فروپاشی در این مدل بیشتر از قبل است.
- ۴- رابطه به شدت غیر خطی است. در این مورد خطی سازی غیر ممکن بوده و تابع چگالی عدم قطعیت داده ها هیچ شباهتی به تابع گوسی ندارد. روشهایی که پایه بسیاری از آنها آزمون و خطا است، برای حل این حالت وجود دارد. ساده ترین نوع روش گرادیان که در آن در جهت تندترین

۴ - Well posed
۵ - Ill posed

شیب بدنبال مدل با کمترین انحراف از واقعیت می گردیم، بسیار کند همگرا می شود. « روش نزولی با شیب تند پیش شرطی ^۶»، «ماتریس متغیر ^۷» و «روش مزدوج ^۸» از دیگر روشهای این دسته اند [۱۴].

برای مسائل غیر خطی می توان از روش کمترین مربعات مقید در تکرارهای متوالی برای تعیین و تصحیح گام به گام بردار پارامترها استفاده کرد. بردار پارامتر را بوسیله یک سری تخمین کمترین مربعات خطی مقید بدست آورد. ابتدا مدل اولیه و پارامترهای آنرا در نظر گرفته و با مقایسه با داده های صحرایی تغییر پارامتر مناسب تعیین می گردد. با اصلاح پارامترهای مدل اولیه با توجه به بردار تغییر پارامتر δ ، مدل جدید و پاسخ آن محاسبه می گردد. در این مرحله، مجموع مربعات خطاها بین پاسخ مدل و مشاهدات صحرایی مورد بررسی قرار می گیرد و اگر از مقدار معینی که توسط کاربر تعیین گردیده، کمتر باشد، فرآیند مدلسازی قطع گردیده و مدل مذکور بعنوان جواب معرفی می گردد. در غیر این صورت، فرآیند با محاسبه بردار جدید تغییر پارامتر، وارد چرخه محاسبات می شود تا شرط مذکور تحقق یابد [۱۴].

جواب حاصله در بازه معینی از خطا با مشاهدات تطابق دارد اما بدلیل بحث غیر یکتایی در مسائل غیر خطی، ضمانتی وجود ندارد که جواب واقعی و بهتری وجود نداشته باشد [۱۴].

^۶ - Preconditioned steepest descent method

^۷ - Variable matrix

^۸ - Conjugate method

مدلسازی وارون پارامتری

این روش به خاطر قدرت ریاضیات آن در مواجهه با داده های نادقیق، ناکافی و متناقض، فوق العاده محبوب و پرکاربرد است و مطالعات فراوانی بر پایه آن در چهار دهه اخیر صورت گرفته است. در انجام این مدل اصولاً دو شیوه در پیش گرفته می شود. در یک شیوه با فرض مدل اولیه ساده ای با تعداد محدود اجسام و لایه ها و در نظر گرفتن مقاومت ویژه، ضخامت و مکان آنها بعنوان پارامتر، با تغییرات جزئی در این مدل اولیه سعی در رسیدن به کمترین خطای عدم انطباق می باشد که به نام Underparameterization موسوم بوده و منجر به حذف بسیاری از اطلاعات واقعی موجود در داده ها می گردد. در صورتی که عارضه ای اضافه بر مدل اولیه در داده ها حضور داشته باشد، درون عوارض مدل مستهلک می گردد. این شیوه به شدت به مدل اولیه، نوع پارامتر سازی آن و دانش اولیه زمین شناسی در مورد منطقه متکی است [۱۴].

شیوه دوم به نام Overparameterization، مدل را به واحدهایی بسیار بیشتر از درجات آزادی داده ها تقسیم می کند. این شیوه اغلب عوارض جعلی و اضافه بر اطلاعات داده ها تولید می کند. اگر چه این شیوه برای زمینی با اجسام محدود و محیط همگن داخل هر یک از آنها که تغییرات مقاومت ویژه فقط دو سوی مرزهای نیز اجسام رخ می دهد، عملکرد قابل قبولی دارد ولی با افزایش پارامترها و برای ناهمگنیهای ملایم مرزها و تغییرات نرم و هموار که واقعیت بسیاری از زمینهاست، جوابهایی با نوسانات خارج از کنترل و عوارض جعلی غالب بر عوارض اصلی بدست می دهد. آنومالی های پراکنده با مقاومت ویژه های غیر واقعی بسیار بالا یا پایین از این نوع است [۱۴].

مدلسازی وارون هموار

با توجه به دو شیوه انجام وارون سازی پارامتری، مشاهده می شود که در هر دو روش ایراداتی اساسی به چشم می خورد. اساسی ترین ایراد وارده را می توان این عامل دانست که طبیعت پخش شونده میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در زیر زمین بطور ذاتی قادر به آوردن اطلاعات دقیق از محل مرزهای ساختارها نیست و توسل به روشهایی که معتقد به دریافت اطلاعات کامل هستند منجر به عوارض و مرزهایی غیر واقعی می شود که بودن یا نبودن آنها به مقدار کمی از خطای انطباق وابسته است [۱۶].

مسلم است که هیچکس نمی خواهد توسط عوارض جعلی که نقشی اساسی در انطباق مدل با داده صحرائی ندارند، گمراه شود. از این رو، کاستنبل^۹ و دیگران تلاش کردند به رهیافتی جدید دست یابند [۱۷]. پیشنهاد جدید این بود که بجای کمینه کردن شبه تابع عدم انطباق، بدون هیچ قید و شرطی، مدلی انتخاب گردد که با کمترین ناهموازی ممکن، مقدار شبه تابع مذکور را درون بازه قابل قبولی از خطا نگاه دارد. بعبارتی دیگر، پایه روش کمینه کردن ناهموازی بوده و میزان انطباق با داده های صحرائی، بصورت قید روی آن اعمال می گردد. بدین ترتیب تنها عوارض ژئوالکتریکی در مدل حضور خواهند داشت که بدون آنها مدل به شدت از داده ها فاصله می گیرد [۱۷].

این شیوه از جهت عدم نیاز و وابستگی به مدل اولیه پیچیده و ارائه تصویری از مهمترین عوارض بسیار جذاب است. ولی در مورد مناطقی که مرزهای تیز و تغییرات شدید مقاومت ویژه واقعاً وجود دارد، عملکرد خوبی ندارد. در سال ۱۹۹۴ الیس و اولدنبرگ^{۱۰} تلاش کردند با تاکید روی اطلاعات اولیه، اصلاحی روی تمام روشهای تنظیم و همینطور اوکام انجام دهند [۱۸]. در واقع آنها بجای تمرکز

^۹ - Constable

^{۱۰} -Ellis & Oldenburg

کامل روی داده های صحرایی یا ناهمواریهای مدل با تکیه بر اطلاعات و مدل اولیه، بر مجموعه ای از عوامل فوق با وزن دهی مناسب تاکید کردند. نتایج تحقیقات آنها شامل گامهای زیر بود [۱۹]:

- برآورد مدل اولیه بر پایه اطلاعات قبلی و دانش زمین شناسی
 - تعیین میزان انحراف احتمالی جواب نهایی از مدل اولیه برای نواحی مختلف مدل
 - تعیین اولویت هموارسازی (افقی یا عمودی) و نوع معیار (کمترین مربعات I_2 یا کمترین انحراف مطلق I_1)
 - تعیین نواحی ای که هموارسازی نباید در آنجا صورت گیرد. مثلاً در مرزهای گسل که تغییرات شدید مقاومت ویژه وجود دارد.
 - تغییر وزن نسبی درایه های ماتریس وزن دهی بر اساس گامهای پیشین.
- بدین ترتیب الگوریتم آنها مجموعه سه ویژگی جواب یا قید را همزمان کمینه می کند.
- طبیعت مسائل الکتریکی غیرخطی بوده و شبه توابع عدم انطباق که بدنبال یافتن کمینه های آنها می باشیم، اغلب دارای کمینه های فرعی و یک کمینه اصلی هستند. در روشهای اخیر هر چه میزان وزنی که به مدل اولیه داده می شود، بیشتر باشد، بسته به اینکه مدل اولیه کجای منحنی شبه تابع مذکور واقع گردد، ممکن است الگوریتم در کمینه های فرعی به دام افتاده و از دیدن کمینه اصلی باز ماند. در واقع در وارون سازی با مسائلی مانند چگونگی انتخاب مدل اولیه و میزان وزن دهی به پارامترهای آن، چگونگی استفاده از اطلاعات قبلی جانبی در مورد منطقه، میزان پایبندی به داده های صحرایی و چگونگی انطباق پارامترهای مدل بر آنها و وزن مناسب هر یک، چگونگی اعمال قیودی مثل هموارسازی مدل که ما را نزدیک به واقعیت های زمین نگاه دارند، مواجه هستیم. این متخصص ژئوفیزیک است که بنابر اولویتها، اهداف و اطلاعات قبلی خود، باید روشهای مناسب و وزن دهی مربوطه را انتخاب نماید [۱۴].

پیوست ب: داده های اندازه گیری شده برای سونداژها و پروفیلها با آرایش و نر

جدول ب-۱- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S1.

no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	10	5.833	366.3124
2	20	3.5397	444.58632
3	30	2.6316	495.79344
4	40	2.1367	536.73904
5	50	1.9878	624.1692
6	60	1.6914	637.31952
7	70	1.6219	712.98724
8	80	1.4849	746.01376
9	90	1.3198	745.95096
10	100	1.2166	764.0248
11	110	1.09	752.972
12	120	0.97101	731.753136
13	130	0.90121	735.747844
14	140	0.91032	800.353344
15	150	0.75545	711.6339
16	160	0.71665	720.08992
17	170	0.70891	756.832316

جدول ب-۲- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S1 (آرایش لی).

		left lee	left lee	right lee	right lee
no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	10	2.7604	346.70624	3.0192	379.21152
2	20	1.6553	415.81136	1.8961	476.30032
3	30	1.2345	465.1596	1.4004	527.67072
4	40	1.0535	529.2784	1.0917	548.47008
5	50	0.95104	597.25312	0.99198	622.96344
6	60	0.87602	660.168672	0.89254	672.618144
7	70	0.83342	732.742864	0.81713	718.420696
8	80	0.7395	743.0496	0.7058	709.18784
9	90	0.69	779.976	0.64975	734.4774
10	100	0.62694	787.43664	0.59604	748.62624
11	110	0.56707	783.463912	0.50892	703.123872
12	120	0.49067	739.537824	0.39601	596.866272
13	130	0.48201	787.025928	0.36801	600.886728
14	140	0.56963	1001.637392	0.41737	733.903408
15	150	0.46074	868.03416	0.31687	596.98308
16	160	0.42148	847.006208	0.28338	569.480448
17	170	0.4217	900.41384	0.25802	550.924304

جدول ب-۳- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S2.

no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	10	6.3178	396.75784
2	20	3.3212	417.14272
3	30	2.4632	464.06688
4	40	2.1007	527.69584
5	50	1.8172	570.6008
6	60	1.5326	577.48368
7	70	1.3374	587.92104
8	80	1.2211	613.48064
9	90	1.0639	601.31628
10	100	0.99543	625.13004
11	110	0.92271	637.408068
12	120	0.85619	645.224784
13	130	0.83642	682.853288
14	140	0.73296	644.418432
15	150	0.67739	638.10138
16	160	0.6787	681.95776
17	170	0.56389	602.008964

جدول ب-۴- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S2 (آرایش لی).

no.	a	left lee resistance(ohm)	left lee resistivity(ohm.m)	right lee resistance(ohm)	right lee resistivity(ohm.m)
1	10	3.2669	410.32264	3.0662	385.11472
2	20	1.0707	268.95984	1.6035	402.7992
3	30	1.2972	488.78496	1.1813	445.11384
4	40	1.1596	582.58304	0.96317	483.896608
5	50	1.0206	640.9368	0.82765	519.7642
6	60	0.85441	643.883376	0.67056	505.334016
7	70	0.7555	664.2356	0.61443	540.206856
8	80	0.70957	712.975936	0.56376	566.466048
9	90	0.63392	716.583168	0.45083	509.618232
10	100	0.59375	745.75	0.40745	511.7572
11	110	0.56454	779.968464	0.39138	540.730608
12	120	0.51917	782.493024	0.3425	516.216
13	130	0.53442	872.600976	0.34225	558.8258
14	140	0.45708	803.729472	0.2673	470.02032
15	150	0.42251	796.00884	0.23898	450.23832
16	160	0.44783	899.959168	0.27833	559.331968
17	170	0.35148	750.480096	0.18422	393.346544

جدول ب-۵- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S3.

no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	10	8.3296	523.09888
2	20	3.4692	435.73152
3	30	1.9585	368.9814
4	40	1.2683	318.59696
5	50	0.91775	288.1735
6	60	0.69358	261.340944
7	70	0.64817	284.935532
8	80	0.58621	294.511904
9	90	0.5574	315.04248
10	100	0.55322	347.42216
11	110	0.5453	376.69324
12	120	0.50405	379.85208
13	130	0.492	401.6688
14	140	0.45407	399.218344
15	150	0.47437	446.85654
16	160	0.43547	437.560256
17	170	0.40996	437.673296

جدول ب-۶- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S3 (آرایش لی).

no.	a	left lee resistance(ohm)	left lee resistivity(ohm.m)	right lee resistance(ohm)	right lee resistivity(ohm.m)
1	10	4.2013	527.68328	4.1624	522.79744
2	20	1.7489	439.32368	1.6682	419.05184
3	30	0.99105	373.42764	0.97262	366.483216
4	40	0.70037	351.865888	0.58954	296.184896
5	50	0.53801	337.87028	0.38469	241.58532
6	60	0.41029	309.194544	0.29916	225.446976
7	70	0.41481	364.700952	0.23873	209.891416
8	80	0.35887	360.592576	0.18083	181.697984
9	90	0.36111	408.198744	0.16586	187.488144
10	100	0.3661	459.8216	0.16467	206.82552
11	110	0.36458	503.703728	0.17437	240.909592
12	120	0.34307	517.075104	0.13589	204.813408
13	130	0.35484	579.382752	0.15176	247.793728
14	140	0.32597	573.185648	0.12388	217.830592
15	150	0.35924	676.80816	0.15279	287.85636
16	160	0.31863	640.318848	0.11518	231.465728
17	170	0.3072	655.93344	0.10466	223.470032

جدول ب-۷- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S4.

no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	10	5.9877	376.02756
2	20	3.3261	417.75816
3	30	1.8543	349.35012
4	40	0.98241	246.781392
5	50	0.59707	187.47998
6	60	0.41149	155.049432
7	70	0.28778	126.508088
8	80	0.21453	107.779872
9	90	0.22789	128.803428
10	100	0.14824	93.09472
11	110	0.13664	94.390912
12	120	0.13525	101.9244
13	130	0.13252	108.189328
14	140	0.13776	121.118592
15	150	0.19308	181.88136
16	160	0.13704	137.697792
17	170	0.14036	149.848336

جدول ب-۸- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S4 (آرایش لی).

no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	10	2.8221	354.45576	3.1934	401.09104
2	20	1.5686	394.03232	1.7725	445.252
3	30	0.90511	341.045448	0.99491	374.882088
4	40	0.47281	237.539744	0.47842	240.358208
5	50	0.29248	183.67744	0.27989	175.77092
6	60	0.21277	160.343472	0.18764	141.405504
7	70	0.15725	138.2542	0.1299	114.20808
8	80	0.11135	111.88448	0.097844	98.3136512
9	90	0.15765	178.20756	0.15828	178.919712
10	100	0.066355	83.34188	0.081634	102.532304
11	110	0.054318	75.0457488	0.070923	97.9872168
12	120	0.050514	76.1347008	0.076894	115.8946368
13	130	0.047911	78.2290808	0.085516	139.6305248
14	140	0.039913	70.1830192	0.082101	144.3663984
15	150	0.099033	186.578172	0.14443	272.10612
16	160	0.039289	78.9551744	0.101	202.9696
17	170	0.039164	83.6229728	0.10783	230.238616

جدول ب-۹- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S5.

no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	10	7.661	481.1108
2	20	3.7373	469.40488
3	30	2.4277	457.37868
4	40	1.9099	479.76688
5	50	1.5934	500.3276
6	60	1.3411	505.32648
7	70	1.2439	546.81844
8	80	1.143	574.2432
9	90	1.0466	591.53832
10	100	0.96333	604.97124
11	110	0.86202	595.483416
12	120	0.78771	593.618256
13	130	0.74755	610.29982
14	140	0.68938	606.102896
15	150	0.63454	597.73668
16	160	0.62831	631.325888
17	170	0.629	671.5204

جدول ب-۱۰- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S5 (آرایش لی) .

no.	a	left lee resistance(ohm)	left lee resistivity(ohm.m)	right lee resistance(ohm)	right lee resistivity(ohm.m)
1	10	3.806	478.0336	3.894	489.0864
2	20	1.8559	466.20208	1.8755	471.1256
3	30	1.2161	458.22648	1.2478	470.17104
4	40	0.9468	475.67232	0.96227	483.444448
5	50	0.75427	473.68156	0.81172	509.76016
6	60	0.60688	457.344768	0.70595	532.00392
7	70	0.55363	486.751496	0.69373	609.927416
8	80	0.49647	498.853056	0.65831	661.469888
9	90	0.4533	512.41032	0.61596	696.281184
10	100	0.39014	490.01584	0.56002	703.38512
11	110	0.33936	468.859776	0.51836	716.166176
12	120	0.31707	477.887904	0.4772	719.23584
13	130	0.28634	467.535952	0.47564	776.624992
14	140	0.26255	461.66792	0.45681	803.254704
15	150	0.23972	451.63248	0.44406	836.60904
16	160	0.21922	440.544512	0.41367	831.311232
17	170	0.21551	460.156952	0.49189	1050.283528

جدول ب-۱۱- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S6.

no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	10	7.8882	495.37896
2	20	3.2032	402.32192
3	30	2.269	427.4796
4	40	1.8231	457.96272
5	50	1.4832	465.7248
6	60	1.6346	615.91728
7	70	1.4485	636.7606
8	80	1.3198	663.06752
9	90	1.0637	601.20324
10	100	0.98709	619.89252
11	110	0.87022	601.147976
12	120	0.80133	603.882288
13	130	0.87122	711.264008
14	140	0.80042	703.729264
15	150	0.74702	703.69284
16	160	0.70369	707.067712
17	170	0.69058	737.263208
18	180	0.62856	710.524224
19	190	0.66507	793.561524
20	200	0.59407	746.15192

جدول ب-۱۲- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S6 (آرایش لی).

no.	a	left lee resistance(ohm)	left lee resistivity(ohm.m)	right lee resistance(ohm)	right lee resistivity(ohm.m)
1	10	3.3755	423.9628	4.5153	567.12168
2	20	1.5881	398.93072	1.6271	408.72752
3	30	1.1468	432.11424	1.13	425.784
4	40	0.84814	426.105536	0.99413	499.450912
5	50	0.66127	415.27756	0.84072	527.97216
6	60	0.64265	484.30104	0.99697	751.316592
7	70	0.53938	474.222896	0.91038	800.406096
8	80	0.5193	521.79264	0.80561	809.476928
9	90	0.3609	407.96136	0.71225	805.1274
10	100	0.35217	442.32552	0.65868	827.30208
11	110	0.29183	403.192328	0.60187	831.543592
12	120	0.26186	394.675392	0.56353	849.352416
13	130	0.2474	403.95472	0.62554	1021.381712
14	140	0.2234	392.82656	0.58095	1021.54248
15	150	0.20904	393.83136	0.54343	1023.82212
16	160	0.19005	381.92448	0.50223	1009.281408
17	170	0.17761	379.232872	0.50165	1071.12308
18	180	0.19208	434.254464	0.46359	1048.084272
19	190	0.22114	527.728496	0.4647	1108.96008
20	200	0.15747	395.56464	0.43349	1088.92688

جدول ب-۱۳- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S7.

no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	6	13.567	511.2
2	12	6.048	455.76
3	18	3.481	393.45
4	24	2.497	376.336
5	30	1.298	244.465
6	36	1.404	317.526
7	42	1.277	336.903
8	48	1.162	350.168
9	54	1.125	381.357
10	60	1.102	415.21
11	66	1.053	436.282
12	72	0.870	393.564
13	78	0.828	405.431

جدول ب-۱۴- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S7 (آرایش لی).

		left lee	right lee
no.	a	resistivity(ohm.m)	resistivity(ohm.m)
1	6	233.88	288.68
2	12	207.34	249.32
3	18	192.396	203.343
4	24	184.184	195.572
5	30	185.815	190.54
6	36	146.214	171.21
7	42	165.179	171.325
8	48	182.448	169.032
9	54	207.045	188.766
10	60	225.43	190.73
11	66	242.143	187.517
12	72	242.004	153.372
13	78	260.299	153.166

جدول ب-۱۵- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S8.

no.	a	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	6	18.718	705.31
2	12	6.169	464.86
3	18	4.309	487.08
4	24	2.622	395.132
5	30	1.429	269.3
6	36	0.785	177.51
7	42	0.662	174.685
8	48	0.552	166.264
9	54	0.528	179.01
10	60	0.460	173.2
11	66	0.447	185.13
12	72	0.429	194.16
13	78	0.394	193.089

جدول ب-۱۶- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S8 (آرایش لی).

		left lee	right lee
no.	a	resistivity(ohm.m)	resistivity(ohm.m)
1	6	401.55	303.56
2	12	221.4	233.7
3	18	205.806	283.668
4	24	180.4	219.492
5	30	147.115	118.645
6	36	113.898	59.64
7	42	114.94	57.8179
8	48	108.8	48.9168
9	54	123.642	56.4363
10	60	116.9	52.1
11	66	125.73	54.89
12	72	137.4	62.28
13	78	157.56	67.86

جدول ب-۱۷- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S9.

no.	a	resistivity(ohm.m)
1	5	415.3
2	10	427.43
3	15	412.33
4	20	407.93
5	25	398.72
6	30	391.75
7	35	383.24
8	40	377.35
9	45	377.19
10	50	370.24
11	55	392.48

جدول ب-۱۸- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S9 (آرایش لی).

no.	a	left lee	right lee
		resistivity(ohm.m)	resistivity(ohm.m)
1	5	392.68	449.64
2	10	423.04	433.52
3	15	407	420.07
4	20	409.36	406.2
5	25	404.92	393.16
6	30	399.01	380.41
7	35	394.13	365.58
8	40	392.52	350.54
9	45	396.85	345.42
10	50	390.26	324.4
11	55	426.09	354.75

جدول ب-۱۹- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S10.

no.	a	resistivity(ohm.m)
1	5	309.53
2	10	374.28
3	15	373.22
4	20	367.49
5	25	336.75
6	30	283.56
7	35	234.7
8	40	193.11
9	45	160.49
10	50	139.45
11	55	123.5
12	60	112.16
13	65	104.64
14	70	96.1
15	75	89.44

جدول ب-۲۰- داده های اندازه گیری شده برای سونداژ S10 (آرایش لی) .

		left lee	right lee
no.	a	resistivity(ohm.m)	resistivity(ohm.m)
1	5	279.31	342.21
2	10	352.07	393.92
3	15	418.12	479.95
4	20	379.33	412.5
5	25	325.69	340.08
6	30	278.94	281.44
7	35	212.44	225.02
8	40	178.98	188.39
9	45	148.48	161.42
10	50	116.12	138.26
11	55	98.12	133.97
12	60	93.38	136.67
13	65	79.62	124.43
14	70	80.62	119.58
15	75	70.09	105.84

جدول ب-۲۱- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل P1.

no.	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	45	2.3613	444.86892
2	75	2.1643	407.75412
3	105	2.1888	412.36992
4	135	2.5513	480.66492
5	165	2.3373	440.34732
6	195	2.8644	539.65296
7	225	2.6375	496.905
8	255	2.6731	503.61204
9	285	2.8313	533.41692
10	315	3.0827	580.78068
11	345	3.1298	589.65432
12	375	3.5236	663.84624
13	405	2.9267	551.39028
14	435	2.8143	530.21412
15	465	2.4708	465.49872
16	495	2.3845	449.2398
17	525	1.9197	361.67148
18	555	1.9268	363.00912
19	585	1.7358	327.02472
20	615	1.8188	342.66192
21	645	1.5723	296.22132
22	675	1.703	320.8452
23	705	1.5909	299.72556
24	735	1.5052	283.57968
25	765	1.6633	313.36572

جدول ب-۲۲- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل PI (آرایش لی).

left lee				right lee		
no.	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	37.5	1.2218	460.37424	52.5	0.96803	364.753704
2	67.5	0.91188	343.596384	82.5	1.0874	409.73232
3	97.5	1.0057	378.94776	112.5	1.1698	440.78064
4	127.5	1.336	503.4048	142.5	1.2092	455.62656
5	157.5	1.2898	485.99664	172.5	1.0528	396.69504
6	187.5	1.2303	463.57704	202.5	1.6329	615.27672
7	217.5	1.1864	447.03552	232.5	1.4569	548.95992
8	247.5	1.3721	517.00728	262.5	1.2999	489.80232
9	277.5	1.468	553.1424	292.5	1.3624	513.35232
10	307.5	1.3991	527.18088	322.5	1.685	634.908
11	337.5	1.4739	555.36552	352.5	1.6337	615.57816
12	367.5	1.8545	698.7756	382.5	1.6716	629.85888
13	397.5	1.5912	599.56416	412.5	1.3479	507.88872
14	427.5	1.464	551.6352	442.5	1.3257	499.52376
15	457.5	1.2214	460.22352	472.5	1.2475	470.058
16	487.5	1.2089	455.51352	502.5	1.1518	433.99824
17	517.5	0.95116	358.397088	532.5	0.79438	299.322384
18	547.5	0.96704	364.380672	562.5	0.95615	360.27732
19	577.5	0.88094	331.938192	592.5	0.8484	319.67712
20	607.5	0.90661	341.610648	622.5	0.90271	340.141128
21	637.5	0.75422	284.190096	652.5	0.82354	310.309872
22	667.5	0.91776	345.811968	682.5	0.77583	292.332744
23	697.5	0.81929	308.708472	712.5	0.75508	284.514144
24	727.5	0.78585	296.10828	742.5	0.70225	264.6078
25	757.5	0.88555	333.67524	772.5	0.87265	328.81452

جدول ب-۲۳- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل P2.

no.	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	22.5	5.1758	487.56036
2	37.5	4.8231	454.33602
3	52.5	5.8992	555.70464
4	67.5	5.216	491.3472
5	82.5	6.3562	598.75404
6	97.5	6.0979	574.42218
7	112.5	6.8353	643.88526
8	127.5	6.5791	619.75122
9	142.5	6.7686	637.60212
10	157.5	6.1506	579.38652
11	172.5	5.0095	471.8949
12	187.5	5.7239	539.19138
13	202.5	5.1554	485.63868
14	217.5	5.6663	533.76546
15	232.5	5.121	482.3982
16	247.5	4.8582	457.64244
17	262.5	5.2797	497.34774

جدول ب-۲۴- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل P2.(آرایش لی).

left lee				right lee		
no.	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	18.75	2.3775	447.921	26.25	2.8065	528.7446
2	33.75	2.4795	467.1378	41.25	2.3532	443.34288
3	48.75	3.1085	585.6414	56.25	2.8126	529.89384
4	63.75	2.7228	512.97552	71.25	2.4867	468.49428
5	78.75	3.0487	574.37508	86.25	3.3187	625.24308
6	93.75	2.9985	564.9174	101.25	3.101	584.2284
7	108.75	3.1595	595.2498	116.25	3.6351	684.85284
8	123.75	3.5365	666.2766	131.25	3.0747	579.27348
9	138.75	3.5503	668.87652	146.25	3.266	615.3144
10	153.75	3.3273	626.86332	161.25	2.8033	528.14172
11	168.75	2.6014	490.10376	176.25	2.3909	450.44556
12	183.75	2.801	527.7084	191.25	2.9084	547.94256
13	198.75	2.4046	453.02664	206.25	2.7526	518.58984
14	213.75	2.7284	514.03056	221.25	2.9526	556.26984
15	228.75	2.6876	506.34384	236.25	2.4238	456.64392
16	243.75	2.6732	503.63088	251.25	2.2183	417.92772
17	258.75	2.5303	476.70852	266.25	2.7881	525.27804

جدول ب-۲۵- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل P3.

no.	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
	20	2.2004	552.74048
2	100	2.0562	516.51744
3	140	2.1712	545.40544
4	180	2.1507	540.25584
5	220	2.1501	540.10512
6	260	2.0194	507.27328
7	300	1.8999	477.25488
8	340	1.8582	466.77984
9	380	1.6899	424.50288
10	420	1.2503	314.07536
11	460	1.0317	259.16304

جدول ب-۲۶- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل P3.(آرایش لی).

left lee				right lee		
no.	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	50	1.1772	591.42528	70	1.0272	516.06528
2	90	0.99563	500.204512	110	1.0541	529.57984
3	130	1.0025	503.656	150	1.1846	595.14304
4	170	1.05268	528.866432	190	1.1054	555.35296
5	210	1.046	525.5104	230	1.1147	560.02528
6	250	1.0305	517.7232	270	0.94416	474.345984
7	290	0.95834	481.470016	310	0.92213	463.278112
8	330	0.95498	479.781952	350	0.91016	457.264384
9	370	0.87284	438.514816	390	0.80899	406.436576
10	410	0.71773	360.587552	430	0.54282	272.712768
11	450	0.5753	289.03072	470	0.45826	230.229824

جدول ب-۲۷- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل P4.

no.	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	60	1.909	479.55
2	70	1.914	480.76
3	80	1.881	472.46
4	90	1.861	467.58
5	100	1.852	465.3
6	110	1.777	446.35
7	120	1.765	443.37
8	130	1.677	421.35
9	140	1.660	417.11
10	150	1.416	355.81
11	160	1.324	332.52
12	170	1.167	293.14
13	180	1.116	280.26
14	190	1.128	283.41
15	200	1.088	273.43
16	210	1.119	281.01
17	220	1.147	288.13
18	230	1.138	285.91
19	240	1.154	289.78
20	250	1.090	273.76
21	260	0.964	242.16
22	270	0.922	231.73
23	280	0.849	213.3
24	290	0.876	220.17
25	300	0.969	243.37
26	310	1.056	265.39
27	320	1.079	270.97
28	330	1.068	268.39
29	340	0.938	235.54
30	350	0.885	222.42
31	360	0.889	223.4
32	370	0.957	240.39
33	380	1.061	266.64
34	390	1.071	269.01

جدول ب-۲۸- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل P4.(آرایش لی).

no.	distance(m)	left lee		distance(m)	right lee	
		resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)		resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	50	0.481	241.5	70	0.475	238.47
2	60	0.498	250.2	80	0.475	238.63
3	70	0.471	236.65	90	0.464	232.99
4	80	0.476	239.11	100	0.469	235.77
5	90	0.483	242.61	110	0.453	227.39
6	100	0.455	228.82	120	0.418	209.85
7	110	0.456	228.89	130	0.425	213.56
8	120	0.431	216.34	140	0.412	206.9
9	130	0.460	231.23	150	0.396	198.76
10	140	0.398	199.85	160	0.295	148.41
11	150	0.389	195.5	170	0.310	155.61
12	160	0.294	147.76	180	0.264	132.52
13	170	0.290	145.77	190	0.268	134.89
14	180	0.269	135.37	200	0.227	113.95
15	190	0.299	149.99	210	0.246	123.68
16	200	0.308	154.53	220	0.246	123.48
17	210	0.306	153.6	230	0.271	135.95
18	220	0.277	138.97	240	0.298	149.89
19	230	0.285	143.12	250	0.308	154.9
20	240	0.268	134.84	260	0.269	135.08
21	250	0.248	124.74	270	0.217	108.92
22	260	0.264	132.62	280	0.222	111.49
23	270	0.204	102.29	290	0.206	103.74
24	280	0.204	102.3	300	0.252	126.69
25	290	0.209	105.04	310	0.274	137.68
26	300	0.276	138.88	320	0.267	134.15
27	310	0.292	146.78	330	0.238	119.35
28	320	0.298	149.88	340	0.261	131.23
29	330	0.247	124.29	350	0.228	114.45
30	340	0.230	115.62	360	0.220	110.5
31	350	0.240	120.65	370	0.216	108.65
32	360	0.248	124.51	380	0.234	117.54
33	370	0.232	116.74	390	0.292	146.95
34	380	0.241	121.09	400	0.284	142.45

جدول ب-۲۹- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل P5.

no.	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	90	0.659	248.2
2	100	0.609	229.32
3	110	0.545	205.26
4	120	0.435	163.89
5	130	0.432	162.69
6	140	0.407	153.51
7	150	0.388	146.12
8	160	0.356	134.09
9	170	0.335	126.07
10	180	0.298	112.37
11	190	0.284	106.93
12	200	0.265	99.843
13	210	0.243	91.743
14	220	0.240	90.6
15	230	0.230	86.542
16	240	0.232	87.3
17	250	0.232	87.588
18	260	0.225	84.896
19	270	0.225	84.661
20	280	0.276	103.94
21	290	0.281	105.91
22	300	0.284	106.94
23	310	0.311	117.29
24	320	0.358	135.06
25	330	0.355	133.59
26	340	0.361	136.07

جدول ب-۳۰- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل P5.(آرایش لی).

no.	left lee			right lee		
	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)	distance(m)	resistance(ohm)	resistivity(ohm.m)
1	75	0.190	143.32	105	0.099	74.41
2	85	0.197	148.82	115	0.106	80.188
3	95	0.175	131.6	125	0.080	60.551
4	105	0.110	82.945	135	0.082	61.633
5	115	0.118	89.081	145	0.097	72.753
6	125	0.110	83.268	155	0.099	74.94
7	135	0.116	87.314	165	0.086	64.895
8	145	0.104	78.672	175	0.074	55.837
9	155	0.099	74.24	185	0.064	48.437
10	165	0.081	61.109	195	0.066	49.74
11	175	0.071	53.58	205	0.072	53.962
12	185	0.061	46.31	215	0.069	51.723
13	195	0.055	41.743	225	0.059	44.329
14	205	0.061	45.986	235	0.057	43.206
15	215	0.056	42.272	245	0.053	39.803
16	225	0.062	46.615	255	0.067	50.83
17	235	0.051	38.416	265	0.070	52.763
18	245	0.046	34.513	275	0.066	50.013
19	255	0.037	28.001	285	0.065	48.949
20	265	0.062	46.492	295	0.089	66.958
21	275	0.057	42.883	305	0.082	62.132
22	285	0.055	41.519	315	0.085	63.922
23	295	0.050	38.034	325	0.095	71.336
24	305	0.070	52.928	335	0.117	87.923
25	315	0.071	53.292	345	0.112	84.543
26	325	0.083	62.297	355	0.102	76.932

پیوست ج : موقعیت جغرافیایی محل برداشت داده ها

جدول ج-۱- مختصات جغرافیایی محل برداشت سونداژها

sounding no.	easting(utm)	northing(utm)
s1	311962	4031341
s2	312125	4031318
s3	312299	4031252
s4	312429	4031241
s5	312133	4031318
s6	312175	4031301
s7	312237	4031357
s8	312259	4031326
s9	312247	4031402
s10	312376	4031226

جدول ج-۲- موقعیت نقطه شروع، آزمون و سایر مشخصات پروفیلها.

profile no.	easting(utm)	northing(utm)	azimuth	a(m)	d(m)
p1	311774	4031439	106°	30	30
p2	311880	4031387	106°	15	15
p3	311797	4031357	84°	40	40
p4	312143	4031374	120°	40	10
p5	312312	4031605	120°	60	10

Abstract

For exploration of hidden Shahroud fault ,geoelectrical investigations in KAL GHORNOU valley in spring ۱۴ and autumn ۱۵ was used.

Because the faulting origion resistivity changes in the ground, wenner and lee partitioning arrays are suitable for determinig location ,strike and dip of these changes that can be related to faults.

That's benefits of this technique are,simple application,fast operation, good horizontal resolution and simple interpretation.

In profiling method when any of four electrodes cross the fault trace, one peak will appear on the resistivity curve. By use of these peaks we can determine location and dip of fault.

In sounding method, we have only two peaks that related to crossing of one current and one potential electrode.

Resaults of data interpretation with wenner and lee partitioning arrays adapt to related theoretical curves in exploration of faults, that this point improve existence of fault in area.Specifications of Fault such as type,strike and its dip, by using of these curves was determined.