

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ



دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی علوم ژئوفیزیکی

عنوان:

بررسی قابلیت های آرایه مربعی مقاومت ویژه و تعبیر و تفسیر کمی و
کیفی داده های آن

محقق:

روح الله علیپور کفشهگر

اساتید راهنمای:

دکتر علی مرادزاده
دکتر محمد کاظم حفیظی

(تابستان ۱۳۸۳)

چکیده

روش مقاومت ویژه یکی از پرکاربرد ترین روش های ژئوفیزیکی برای اکتشاف منابع آب زیر زمینی، تعیین آلودگی های زیست محیطی و ارزیابی ساختگاه های سازه های مهم مهندسی است. در این روش برای اندازه گیری مقاومت ویژه زمین از آرایه های مختلف الکترودی استفاده می شود که هر یک مزایا و معایب خاصی دارند. از میان این آرایه ها، آرایه مربعی بنا به دلایل مختلف کمتر مورد توجه کارهای عملی بوده است. به همین دلیل در مطالعه حاضر هدف اصلی بر این است تا مزیت های اندازه گیری مقاومت ویژه با استفاده از آرایه های مربعی و مربعی متقطع برای شناسایی شکستگی ها و یا گسله های مدفون و همچنین تعیین راستای چنین شکستگی هایی نشان داده شود. علاوه بر آن با ارائه داده های صحرایی مقاومت ویژه که با آرایه های مربعی و مربعی متقطع بصورت پروفیل زنی و سوندazer زنی الکتریکی برداشت شده است، چگونگی تعبیر و تفسیر آنها نیز ارائه می شود.

نتایج تفسیر داده های مقاومت ویژه حاصل با آرایه های فوق در امتداد پروفیل های مربوطه نشان از قابلیت بالای این روش در آشکار سازی محل شکستگی های مدفون دارد و همچنین در طول پروفیل های مورد نظر در چند نقطه ضریب ناهمسانگردی بالا و مقاومت ویژه میانگین پایین محاسبه شده حاکی از وجود آب در داخل شکستگی های مذکور می باشد که این موضوع با نتایج مطالعات ژئوفیزیکی پیشین منطقه همخوانی نسبتاً خوبی دارد. علاوه بر موارد فوق نتایج پروفیل زنی با آرایه مربعی متقطع توانسته راستای چهار شکستگی نسبتاً بزرگ که توسط آبرفت ها پوشانیده شده اند با راستای تقریباً شمالی -- جنوبی بدست آورد که توسط دیگر اطلاعات موجود زمین شناسی نیز تائید می گردد.

همچنین مقایسه نتایج تفسیر داده های سوندazer آرایه مربعی و آرایه شلومبرژه نشان می دهد که چنانچه در سوندazer زنی مقاومت ویژه داده های حاصل از آرایه مربعی مورد تفسیر و مدل سازی قرار گیرند خصوصاً در مواردی که با ناهمسانگردی ساختارهای زیر زمینی مواجه باشیم داده های آرایه مربعی در مقایسه با آرایه های خطی رایج (مثل آرایه شلومبرژه) از هماهنگی و انطباق بهتری با مدل زیر زمینی برخوردارند.

تقدیر و تشکر

با سپاس به درگاه خداوند از اینکه مرا یاری نمود تا این پایان نامه را با سربلندی به اتمام برسانم، بر خود لازم میدانم از خدمات اساتید گرانقدر و دوستان عزیزی که در این راه مرا مورد حمایت و پشتیبانی خود قرار دادند تشکر نمایم، همراهانی که ذکر نام آنها و سپاس از زحماتشان در این مجال، بدون شک ذره ای از زحماتشان را جبران نخواهد کرد. اینجانب مراتب قدردانی و تشکر خود را از اساتید راهنمای، آقایان دکتر مرادزاده و دکتر حفیظی که در تمام مراحل انجام این پایان نامه مرا همراهی نمودند، اعلام می دارم. همچنین از آقای دکتر حافظی که در کار تفسیر عکس های هوایی کمک شایانی به من نمودند، تشکر می کنم.

با توجه به کار صحرايی دشوار و سنگين این پایان نامه، از دوستان عزیزی که با وجود تمام این سختیها، صمیمانه با من همراهی نمودند، آقایان جانجانی، رحمانی، راستانی، ذوالفقاری، اسکندری، ترنیکی، نبوی، قلیزاده، مرادی و سرکار خانم مردمی تشکر می نمایم.

همچنین از دوستان عزیز سرکار خانم مصلحی و آقای عسگری که در بازدید زمین شناسی و تهییه عکس های مربوط به منطقه مورد مطالعه، با اینجانب همکاری نمودند، تشکر می نمایم.

به علاوه بر خود لازم می دانم از خدمات کارکنان گروه معدن و ژئوفیزیک، مرکز کامپیوتر، کتابخانه، نقلیه و نگهداری که در طول انجام این پایان نامه، مرا مورد پشتیبانی خود قرار دادند، تشکر نمایم. همچنین از خدمات همسرم که هم از نظر علمی و هم از نظر کارهای اجرایی این پایان نامه مرا مورد حمایت قرار داد، صمیمانه تشکر می نمایم.

تقدیم به:

پدر و مادرم،

که انسان زیستن را به من آموختند.

تقدیم به:

سهیلا و کیمیایش،

مصطفی،

نجمه،

خدیجه و

امیر حسین،

که دوستشان دارم.

۶

تقدیم به:

دردانه زندگی ام،

هدیه خداوند از بهشت،

هانی صبورم،

که عاشقانه می پرستممش.

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
------------	-------

فصل اول - مقدمه و کلیات

۱	۱-۱- مقدمه
۱	۱-۲- روش های الکتریکی
۲	۱-۳- روش مقاومت ویژه
۲	۱-۴- مقاومت ویژه ظاهری
۷	۱-۵- مطالعات انجام شده
۹	۱-۶- اهداف پایان نامه
۹	۱-۷- ساختار پایان نامه

فصل دوم - معرفی آرایه مربعی

۱۱	۲-۱- مقدمه
۱۲	۲-۲- ناهمسانگردی و تاثیر آن بر مقاومت ویژه محیط ناهمسانگرد یکنواخت
۱۵	۲-۳- آرایه مربعی
۱۵	۳-۱- معرفی آرایش های α , β و γ
۱۷	۳-۲- اندازه گیری های آرایه مربعی روی یک نیم فضای ناهمسانگرد
۲۲	۳-۳- بررسی چگونگی تفسیر نتایج حاصل از آرایه مربعی
۲۴	۴-۳- مقایسه تاثیر جهت گیری روی نتایج آرایه مربعی و آرایه های خطی رایج
۲۶	۴-۴- آرایه مربعی متقارن
۲۹	۵-۱- روش های اندازه گیری مقاومت ویژه با آرایه مربعی
۲۹	۵-۲- پروفیل زنی
۳۱	۵-۳- سوندایزرنی

فصل سوم - چگونگی اندازه گیری، ارائه داده ها و تعبیر و تفسیر آنها

۳۳	۱-۳- مقدمه
۳۳	۲-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه

۳۵	۳-۳-۱- زمین شناسی منطقه
۳۵	۳-۳-۲- واحدهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه
۳۷	۳-۳-۳- گسل های منطقه
۳۷	۴-۳- سابقه مطالعات انجام شده در منطقه
۳۷	۵- ۵- عملیات صحراوی
۳۸	۶- ۶- برداشت و تفسیر داده های پروفیل زنی آرایه مربعی در دره کال قرنو
۳۹	۶-۱- طراحی شبکه برداشت پروفیل ۱
۴۰	۶-۲- اندازه گیری داده ها
۴۱	۶-۳- بررسی و تفسیر نتایج خط پروفیل اول
۴۳	۶-۴- مقایسه نتایج حاصل از پروفیل زنی با آرایش مربعی و نیم شلومبرژه متقارن
۴۶	۶-۵- طراحی شبکه برداشت پروفیل دوم
۴۶	۶-۶- برداشت داده های خط پروفیل دوم
۴۷	۶-۷- تفسیر داده های خط پروفیل ۲
۵۰	۷-۳- برداشت و تفسیر داده های پروفیل زنی آرایه مربعی متقطع در دره کال قرنو
۵۰	۷-۱- طراحی شبکه برداشت آرایه مربعی متقطع و اندازه گیری داده ها
۵۰	۷-۲- تفسیر داده های بدست آمده از آرایه مربعی متقطع در دره کال قرنو
۵۲	۷-۳- تعیین ناهمسانگردی موثر قائم
۵۳	۷-۴- تعیین راستای شکستگی
۵۵	۷-۵- بررسی ضریب ناهمخوانی ناهمسانگردی (ANCR)
۵۶	۸-۳- سوندارزنی الکتریکی
۵۶	۸-۱- طراحی شبکه برداشت
۵۸	۸-۲- برداشت داده ها
۵۹	۹-۳- تفسیر داده های سوندارزنی نقطه اول
۵۹	۹-۱- تفسیر داده های سوندارزنی شلومبرژه در نقطه اول
۶۳	۹-۲- تفسیر داده های سوندارزنی آرایه مربعی در نقطه اول
۶۶	۹-۳- مقایسه و بررسی دقیق تر نتایج تفسیر آرایه های مربعی و شلومبرژه

۳-۱۰- تفسیر داده های سونداززنی نقطه دوم.....	۷۰
۳-۱۰-۱- تفسیر داده های سونداززنی شلومبرژه برای نقطه دوم	۷۰
۳-۱۰-۲- تفسیر داده های سونداززنی آرایه مربعی نقطه دوم.....	۷۱
۳-۱۰-۳- مقایسه و بررسی دقیق تر نتایج آرایه مربعی و شلومبرژه در نقطه دوم	۷۴
۳-۱۱- تفسیر داده های سونداززنی نقطه سوم.....	۷۵
۳-۱۱-۱- تفسیر داده های سونداززنی شلومبرژه نقطه سوم.....	۷۵
۳-۱۱-۲- تفسیر داده های سونداززنی آرایه مربعی در نقطه سوم	۷۶
۳-۱۱-۳- مقایسه و بررسی دقیق تر نتایج آرایه مربعی و شلومبرژه در نقطه سوم.....	۷۹
۳-۱۲- مقایسه مدل های سونداز آرایه مربعی به کمک تحلیل مدل های هم ارز	۸۰
فصل چهارم - جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات	۸۳
۴-۱- جمع بندی و نتیجه گیری	۸۳
۴-۲- پیشنهادات	۸۵
منابع و مأخذ	۸۶
پیوست	۸۹

فهرست اشکال

عنوان	صفحة
شماره	
شکل ۱-۱ - یک آرایش چهار الکترودی دلخواه	۳
شکل ۱-۲- نمایش رایج ترین آرایه ها	۴
شکل ۱-۳- نمایش آرایه مربعی (الف) و آرایه مربعی متقطع(ب).....	۶
شکل ۲-۱- بررسی مفهوم ناهمسانگردی در روش مقاومت ویژه	۱۲
شکل ۲-۲- مدل یک محیط نا همسانگرد یکنواخت	۱۳
شکل ۲-۳- نمایش کلی از آرایه مربعی که دارای زاویه θ با راستا می باشد.....	۱۷
شکل ۲-۴- بررسی پارامترهای یک زمین ناهمسانگرد با آرایه مربعی.....	۱۸
شکل ۲-۵- نمایش دو پروفیل زمینی با آرایه مربعی روی یک خط پروفیل ونتایج آن.....	۲۰
شکل ۲-۶- نتایج میانگین حاصل از دو پروفیل آرایه مربعی	۲۱
شکل ۲-۷- بررسی آرایه های خطی معادل با آرایه مربعی	۲۲
شکل ۲-۸- نمودار برداشت شده با آرایه مربعی و نمودارهای معادل نر و شلومبرژه	۲۳
شکل ۲-۹- نتایج تغییرات مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی بر روی یک گسل قائم	۲۴
شکل ۲-۱۰- نتایج تغییرات مقاومت ویژه با آرایه نر معادل بروی یک گسل قائم	۲۵
شکل ۲-۱۱- تغییرات مقاومت ویژه حداکثر به حداقل نسبت به مجذور ناهمسانگردی قائم	۲۶
شکل ۲-۱۲- نمایش آرایه مربعی متقطع و زاویه آن با راستای شکستگی	۲۷
شکل ۲-۱۳- نمایش تغییرات ANCR بر حسب جهت گیری	۲۹
شکل ۲-۱۴- استفاده از ANCR برای تعیین و جداسازی نوع ساختارها	۲۹
شکل ۲-۱۵- نمایش پروفیل زمینی با آرایه مربعی دارای همپوشانی	۳۰
شکل ۲-۱۶- نمایش پروفیل زمینی با آرایه مربعی متقطع دارای همپوشانی	۳۱
شکل ۲-۱۷- روشاهای مختلف گسترش اضلاع مربع برای سوندرازنی	۳۲
شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی شاهروند و مناطق مورد مطالعه.....	۳۴
شکل ۳-۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه	۳۶
شکل ۳-۳- نمایش خط پروفیل انتخابی در دره کال قرنو.....	۴۰

..... ۴۱	شكل ۳-۴- تغييرات ضريب ناهمسانگردي بر حسب مختصات ايستگاهها
..... ۴۲	شكل ۳-۵- تغييرات مقاومت ويزه ميانگين بر حسب مختصات ايستگاهها
..... ۴۳	شكل ۳-۶- عكس هواي منطقه دره کال قرنو
..... ۴۵	شكل ۳-۷- شبه مقطع بدست آمده از نتایج مطالعه در دره کال قرنو با آرایه نیم شلومبرژه متقارن
..... ۴۹	شكل ۳-۸- تغييرات ناهمسانگردي و مقاومت ويزه ميانگين بر حسب مختصات ايستگاهها
..... ۵۱	شكل ۳-۹- نمودار تغييرات ضريب ناهمسانگردي بر حسب مختصات ايستگاهها
..... ۵۲	شكل ۳-۱۰- نمودار تغييرات مقاومت ويزه ميانگين بر حسب مختصات ايستگاهها
..... ۵۳	شكل ۳-۱۱- تغييرات ناهمسانگردي مؤثر قائم
..... ۵۴	شكل ۳-۱۲- تغييرات زاويه بين خط جريان در حالت α و راستاي شکستگی
..... ۵۶	شكل ۳-۱۳- کروکي منطقه مورد مطالعه در دشت دانشگاه واقع در جنوب کوه گيسو(بدون مقیاس)
..... ۶۰	شكل ۳-۱۴- نمودار برداشت شده و نتایج تفسير با نرم افزار Resixip برای سونداز sch11
..... ۶۲	شكل ۳-۱۵- نتیجه تفسير سونداز ۱۲ شلومبرژه (sch12)
..... ۶۴	شكل ۳-۱۶- نمودار تغييرات مقاومت ويزه اندازه گيري شده با آرایه مربعی در نقطه اول
..... ۶۵	شكل ۳-۱۷- نتیجه تفسير سونداز مقاومت ويزه ميانگين آرایه مربعی در نقطه اول
..... ۶۷	شكل ۳-۱۸- نتیجه تفسير مقاومت ويزه حالت β در نقطه اول
..... ۶۸	شكل ۳-۱۹- نتیجه تفسير حالت α آرایه مربعی در نقطه اول
..... ۶۹	شكل ۳-۲۰- مدل های هم ارز سونداز ۱۱ شلومبرژه (sch11)
..... ۷۰	شكل ۳-۲۱- نتیجه تفسير سونداز شلومبرژه در نقطه دوم
..... ۷۲	شكل ۳-۲۲- تغييرات مقاومت ويزه آرایه مربعی بر حسب فواصل الكترودی در نقطه دوم
..... ۷۳	شكل ۳-۲۳- نتیجه تفسير مقاومت ويزه ميانگين آرایه مربعی در نقطه دوم
..... ۷۴	شكل ۳-۲۴- نتیجه تفسير مقاومت ويزه در حالت α آرایه مربعی در نقطه دوم
..... ۷۶	شكل ۳-۲۵- نتیجه تفسير سونداز شلومبرژه در نقطه سوم sch3
..... ۷۷	شكل ۳-۲۶- تغييرات مقاومت ويزه اندازه گيري شده با آرایه مربعی بر حسب فاصله الكترودی a در نقطه سوم
..... ۷۸	شكل ۳-۲۷- نتیجه تفسير داده های مقاومت ويزه ميانگين سونداز زنی آرایه مربعی در نقطه سوم
..... ۷۹	شكل ۳-۲۸- نتیجه تفسير حالت α آرایه مربعی در نقطه سوم
..... ۸۱	شكل ۳-۲۹- مدل های هم ارز سونداز آرایه مربعی نقطه اول

فهرست جداول

عنوان	شماره صفحه
جدول ۱-۱- فاکتور هندسی سه آرایه ونر، شلومبرژه و دوقطبی- دوقطبی	۴
جدول ۱-۲- نتایج پروفیل زنی آرایه مربعی(خط یک)	۴۴
جدول ۱-۳- نتایج بدست آمده از پروفیل زنی روی خط پروفیل ۲	۴۷
جدول ۲-۱- نتایج پروفیل آرایه مربعی متقطع	۵۰
جدول ۲-۲- نتایج تفسیر پروفیل زنی با آرایه مربعی متقطع	۵۵
جدول ۲-۳- مختصات UTM نقاط سونداز زنی در دشت دانشگاه	۵۷
جدول ۲-۴- داده های اندازه گیری شده سونداز شلومبرژه sch11	۶۰
جدول ۲-۵- نتایج تفسیر سونداز شلومبرژه sch11	۶۱
جدول ۲-۶- داده های اندازه گیری شده شلومبرژه sch12	۶۱
جدول ۲-۷- نتایج تفسیر سونداز شلومبرژه sch12	۶۲
جدول ۲-۸- داده های اندازه گیری شده سونداز شلومبرژه sch12	۶۴
جدول ۲-۹- نتایج تفسیر سونداز شلومبرژه sch12	۶۶
جدول ۲-۱۰- داده های اندازه گیری شده با آرایه مربعی در نقطه اول	۶۸
جدول ۲-۱۱- نتایج تفسیر مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی در نقطه اول	۶۸
جدول ۲-۱۲- نتایج تفسیر مقاومت ویژه حالت β آرایه مربعی در نقطه اول	۷۱
جدول ۲-۱۳- نتایج تفسیر حالت α آرایه مربعی در نقطه اول	۷۲
جدول ۲-۱۴- نتایج تفسیر مقاومت ویژه سونداز شلومبرژه در نقطه دوم sch2	۷۳
جدول ۲-۱۵- داده های اندازه گیری شده با آرایه مربعی در نقطه دوم	۷۵
جدول ۲-۱۶- نتایج تفسیر مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی در نقطه دوم	۷۷
جدول ۲-۱۷- نتایج تفسیر مقاومت ویژه در حالت α آرایه مربعی در نقطه دوم	۷۸
شکل ۲-۱۸- نتایج تفسیر سونداز شلومبرژه در نقطه سوم sch3	۷۸
جدول ۲-۱۹- داده های اندازه گیری شده با آرایه مربعی در نقطه سوم	۸۱
جدول ۲-۲۰- نتایج سونداز زنی مقاومت ویژه میانگین با آرایه مربعی در نقطه سوم	۸۱
جدول ۲-۲۱- نتایج تصحیح شده تفسیر سونداز آرایه مربعی در نقطه اول	۸۱

فصل اول - مقدمه و کلیات

۱-۱ - مقدمه

ژئوفیزیک علمی است که با بررسی و اندازه گیری خواص فیزیکی سنگ های زمین به کمک وسایل مناسب و روش های ویژه به مطالعه زمین می پردازد [۲۵]. این علم به دو دسته ژئوفیزیک محض و ژئوفیزیک کاربردی(اکتشافی) تقسیم می شود. ژئوفیزیک محض به بررسی خصوصیات کره زمین بدون توجه به مسائل اقتصادی می پردازد. ژئوفیزیک اکتشافی شامل روش های مغناطیس سنجی، گرانی سنجی، لرزه شناسی، الکترومغناطیس، زمین گرمایی (ژئو ترمال)، رادیو اکتیویته و روش های الکتریکی می باشد [۲۹]. با توجه به موضوع مورد بحث پایان نامه، تنها به بررسی روش های الکتریکی می پردازیم.

۲-۱- روش های الکتریکی

این روش ها به بررسی خواص الکتریکی لایه های زیر زمین می پردازند. مهم ترین روش های الکتریکی شامل روش مقاومت ویژه، قطبش القایی و پتانسیل خودزا می باشد [۲۵]. با توجه به موضوع پایان نامه از بین روش های فوق بطور مختصر به بررسی روش مقاومت ویژه می پردازیم.

۳-۱- روش مقاومت ویژه

کاربرد ژئوفیزیک در مطالعات زیست محیطی، ژئوتکنیکی، هیدروژئولوژی و باستان شناسی نیازمند توسعه روش های صحرایی و تفسیر های سریع، قابل دست یابی و تفکیک بالا می باشد. یکی از تکنیک های ژئوفیزیکی که در پی جویی های کم عمق بسیار کاربرد دارد، روش مقاومت ویژه می باشد. این روش یکی از متداول ترین روش های الکتریکی است که بعلت انعطاف پذیری و سهولت در عملیات صحرایی، پایین بودن هزینه ها (نسبت به روش هایی چون لرزه و...)، سبک و قابل حمل بودن دستگاه های اندازه گیری آن، بطور گسترده در اکتشاف منابع آبهای زیر زمینی [۲۵]، تعیین آلودگی آبهای زیرزمینی [۲۱]، تعیین محل حفره ها [۲۰]، درزه و شکاف ها و گسله های زیر سطحی در کارهای مهندسی [۱۰] ، کارهای باستان شناسی [۱۵] و بسیاری از موارد دیگر مورد استفاده قرار می گیرد.

از آنجائی که پارامتر مورد اندازه گیری در این روش، مقاومت ویژه ظاهری زمین است، بطور مختصر درباره آن شرح داده می شود.

۳-۱-۱- مقاومت ویژه ظاهری

جهت بررسی توزیع مقاومت ویژه درون زمین، توسط دو الکترود (C_1 و C_2) جریان مستقیمی (یا متناوب با فرکانس پایین) به درون زمین تزریق و با دوالکترود دیگر (P_1 و P_2) اختلاف پتانسیل

حاصل را اندازه گیری می کنند(شکل ۱-۱). اگر شدت جریان تزریقی I و اختلاف پتانسیل به دست

آمده ΔV باشد، مقاومت ویژه ظاهری از رابطه زیر به دست می آید :

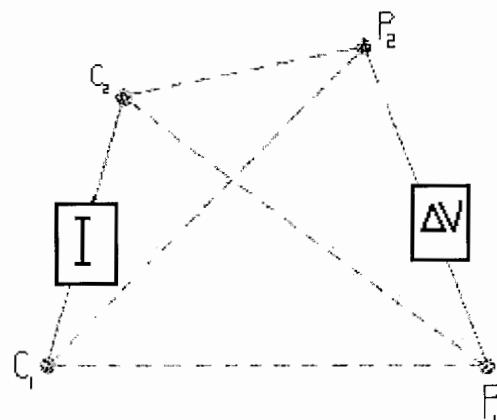
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1-1)$$

K در رابطه فوق فاکتور هندسی نام دارد که مقدار آن به نحوه قرارگیری چهار الکترود جریان

وپتانسیل وابسته است [۱۹].

از آنجا که در یک نیم فضای همگن پتانسیل حاصل از یک چشم نقطه ای در فاصله r از آن

به صورت زیر به دست می آید [۳۱] :



شکل ۱-۱ - یک آرایش چهار الکترودی دلخواه [۳۱]

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

در نتیجه مقاومت ویژه ظاهری برای آرایه چهار الکترودی دلخواه (شکل ۱-۱) عبارتست از :

$$\rho_a = \frac{2\pi}{\frac{1}{C_1 P_1} + \frac{1}{C_2 P_1} + \frac{1}{C_2 P_2} + \frac{1}{C_1 P_2}} \frac{\Delta V}{I} \quad (3-1)$$

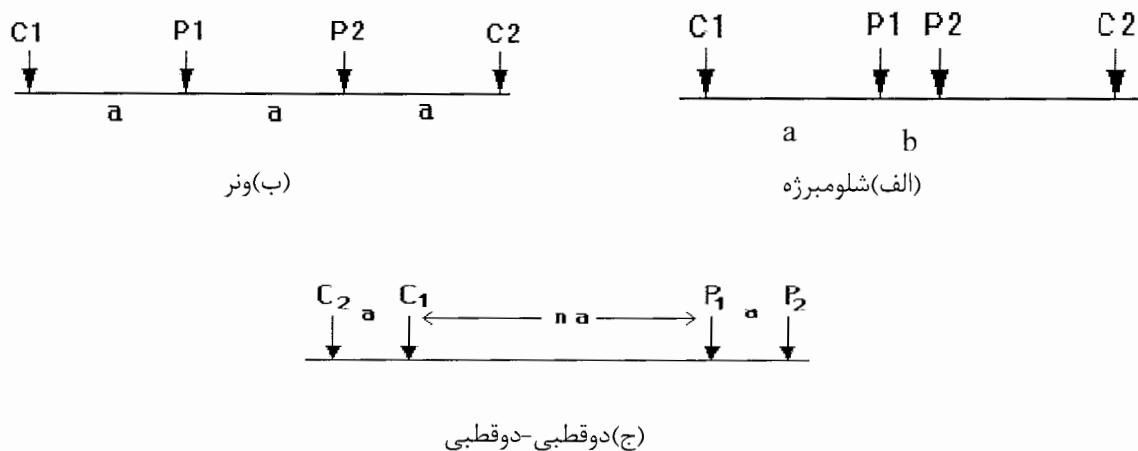
با مقایسه دو رابطه (۱-۱) و (۳-۱)، فاکتور هندسی یک آرایه چهار الکترودی دلخواه به صورت زیر

به دست می آید :

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{C_1 P_1} + \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} + \frac{1}{C_2 P_2}} \quad (4-1)$$

اگر نیم فضا همگن و همسانگرد باشد، رابطه (۳-۱) مقاومت ویژه واقعی و در غیر این صورت مقاومت ویژه ظاهری را نشان می دهد [۱۹].

برای اندازه گیری مقاومت ویژه زمین از آرایه های مختلفی استفاده می شود. بعضی از این آرایه ها عبارتند از : ونر، شلومبرژه، دوقطبی - دوقطبی، قطبی - دوقطبی، شلومبرژه، قطبی - قطبی (دو الکترودی). هریک از این آرایه ها دارای مزایا و معایب خاص خود می باشند که بسته به هدف کار می توان از این آرایه ها استفاده کرد. در جدول ۱-۱ فاکتور هندسی رایج ترین آرایه ها (ونر، شلومبرژه و دوقطبی - دوقطبی) ارائه شده است.



شکل ۱-۲- نمایش رایج ترین آرایه ها [۱۹].

جدول ۱- ۱- فاکتور هندسی سه آرایه ونر، شلومبرژه و دوقطبی - دوقطبی [۲۵].

آرایه	ونر	شلومبرژه	دوقطبی - دوقطبی
فاکتور هندسی	$2\pi a$	$K = \pi \frac{C_1 P_1 C_2 P_2}{P_1 P_2}$	$\pi n(n+1)(n+2)a$

مطالعه ساختارهای زیر زمینی با روش مقاومت ویژه به دو صورت سونداززنی و پروفیل زنی الکتریکی صورت می‌گیرد. در پروفیل زنی آرایش را بدون هیچ تغییری در فواصل الکترودی روی خط پروفیل و در فواصل مشخص جابجا می‌کنیم و مقاومت ویژه را اندازه گیری می‌کنیم. با استفاده از این روش تغییرات افقی مقاومت ویژه در یک عمق معین (بسته به عمق نفوذ آرایه) تعیین می‌شود.

آرایه ونر به دلیل یکسان بودن فواصل میان الکترودها و در نتیجه آسان بودن حرکت آن روی خط پروفیل، بیشترین کاربرد را در پروفیل زنی دارد [۳۱].

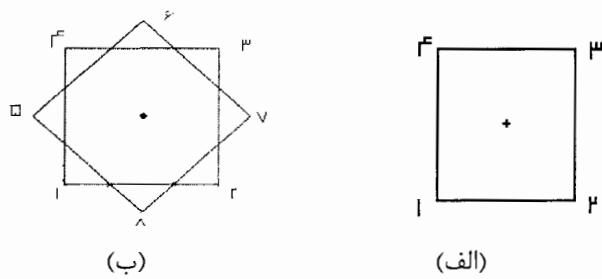
در سونداززنی فواصل الکترودهای جریان پتانسیل را پس از هر اندازه گیری با نظم خاصی تغییر می‌دهیم تا بتوانیم توزیع مقاومت ویژه را در اعماق مختلف تعیین کنیم. این کار با توجه به این نکته که برای رسیدن به اعماق بیشتر باید فاصله الکترودهای جریان بیشتر شود، انجام می‌شود. همچنین از آنجا که با افزایش فاصله بین الکترودهای جریان باید اختلاف پتانسیل ایجاده شده قابل اندازه گیری باشد، فاصله بین الکترودهای پتانسیل نیز با نظم خاصی افزایش داده می‌شود. در واقع با سونداز زدن مقاومت ویژه و عمق مرز لایه‌های زیر سطحی تعیین می‌شوند [۳۱].

در میان آرایه‌ها، آرایه شلومبرژه بطور گسترده در سونداززنی بکار می‌رود. یکی از دلایل این کار، جابجایی کمتر الکترودهای پتانسیل در کل یک اندازه گیری می‌باشد. عمق نفوذ این آرایه ۱۰٪ بیشتر از آرایه ونر می‌باشد [۱۹]. آرایه شلومبرژه کمترین کاربرد را در پروفیل زنی دارد. همچنین این آرایه نسبت به ناهمگنی جانبی حساسیت دارد که یکی از مزایای آرایه شلومبرژه به حساب می‌آید [۳۱].

علاوه بر آرایه‌های رایج مورد استفاده، آرایه غیر متداول دیگری به نام آرایه مربعی^۱ وجود دارد.

علی‌رغم قابلیت‌های بالا، این آرایه تاکنون کمتر مورد استفاده قرار گرفته است.

آرایه مربعی در دهه ۱۹۶۰ توسط هابرجم^۱ و واتکینز^۲ معرفی شد [۷]. در این آرایه چهار الکتروود جریان و پتانسیل روی چهار راس مربعی به ضلع a قرار دارند (مثلا در شکل ۱-۳-الف الکتروودهای ۱ و ۴ می‌توانند الکتروودهای جریان و الکتروودهای ۲ و ۳ می‌توانند الکتروودهای پتانسیل باشند) و نتایج اندازه گیری به مرکز مربع نسبت داده می‌شود (شکل ۱-۳). فاکتور هندسی این آرایه به صورت $K = \frac{2\pi}{2-\sqrt{2}}a$ و یا بطور معادل $K = (2 + \sqrt{2})\pi a$ می‌باشد [۷]. بررسی‌ها نشان می‌دهند که عمق نفوذ آرایه مربعی $6a$ می‌باشد [۵]. در این آرایه بطور همزمان دو اندازه گیری



شکل ۱-۳-نمایش آرایه مربعی (الف) و آرایه مربعی متقطع (ب).

عمود برهم انجام می‌گیرد. اگر مقاومت‌های ویژه به دست آمده باهم برابر باشند زمین همسانگرد و در غیر این صورت زمین ناهمسانگرد می‌باشد. ناهمسانگردی را با فاکتوری به نام ضریب ناهمسانگردی^۳، λ ، نشان می‌دهند. بسته به تغییرات این ضریب، شدت ناهمسانگردی تغییر می‌کند. در صورتی که ناهمسانگردی وجود داشته باشد، عدم وابستگی مقاومت ویژه به جهت گیری از بین می‌رود. یعنی اندازه گیری‌ها در جهات مختلف متفاوت خواهد بود.

1- Habberjam

2- Watkins

3-Anisotropy coefficient

با آرایه مربعی می توان به پروفیل زنی و سوندازی زنی پرداخت. اما تاکنون از آرایه مربعی بیشتر در پروفیل زنی استفاده شده است.

در دهه ۱۹۷۰ هابرجم آرایه مربعی متقطع^۱ را نیز معرفی کرد [۷]. این آرایه از دو مربع هم مرکز که نسبت به هم ۴۵ درجه چرخیده اند، تشکیل شده است (شکل ۱-۳-ب). با استفاده از این دو مربع چهار مقاومت ویژه مستقل که به چهار جهت مختلف مربوط می شود، به دست می آید. از آنجا که با این آرایش میانگینی از مقاومت ویژه در چهار جهت مختلف به دست می آید، نتایج حاصل از آرایه مربعی و مربعی متقطع در زمین های ناهمسانگرد کمترین تاثیر را از جهت گیری می پذیرد [۷].

یک برداشت با آرایه مربعی و آرایه مربعی متقطع به ترتیب قابل مقایسه با برداشت با آرایه های خطی رایج (ونر، شلومبرژه و...) در دو و چهار خط جداگانه است [۵]. علاوه بر این، مساحت مورد نیاز آرایه مربعی کمتر از آرایه های رایج خطی است [۱۸].

علی رغم قابلیت های بالای اشاره شده، تاکنون بطور قابل توجهی از آرایه مربعی استفاده نشده است. توجه کمتر به این آرایه عمدتاً به عدم وجود روش های مناسب برای تعبیر و تفسیر داده ها خصوصاً تفسیر منحنی های سونداز این آرایه بر می گردد.

مطالعات انجام شده با این آرایه بسیار محدود می باشد و در اغلب آنها به تفسیر کیفی پرداخته شده است.

۴-۱- مطالعات انجام شده

مطالعات انجام شده با این روش اغلب با روش پروفیل زنی انجام شده است. همچنین مطالعات محدود تری به روش سوندازی انجام شده است.

یکی از مطالعات انجام شده با آرایه مربعی در کشور آفریقائی بنین انجام شده است [۱۰]. مطالعات در این منطقه به روش پروفیل زنی با آرایه های شلومبرژه و مربعی انجام شده است. هدف از این

مطالعات اکتشاف آب در درزه و شکاف سازندهای کریستالین بوده است. نقاطی که در آنها ضریب ناهمسانگردی دارای روندی افزایشی و مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی دارای روندی کاهشی بودند بعنوان نقاط مساعد برای اکتشاف آب پیشنهاد شدند.

مطالعات با روش های مقاومت ویژه و قطبش القائی با آرایه مربعی به صورت پروفیل زنی، برای اولین بار در کشورمان در منطقه شهران تهران انجام شد. نتایج حاصل از این تحقیق نیز که برای اکتشاف آب انجام شده بود، رضایت بخش بوده است [۴].

یکی دیگر از مطالعاتی که به روش پروفیل زنی با آرایه مربعی در کشورمان انجام شده است در منطقه کهریزک تهران برای تعیین محل آلودگی سطحی ناشی از نشت مواد ئیدروکربوری بوده است [۳]. علاوه بر آرایه مربعی در این تحقیق از چند روش دیگر نیز استفاده شده است. در این تحقیق نقاط با ضریب ناهمسانگردی و مقاومت ویژه میانگین بالا بعنوان نقاط آلوده معرفی شدند.

سازمان زمین شناسی ایالات متحده امریکا^۱ (USGS) برای تعیین شکستگی ها در سنگ کف منطقه نیو همپشایر^۲ از پروفیل زنی آرایه مربعی متقطع استفاده نموده است. در این تحقیق نقاط با ضریب ناهمسانگردی و تخلخل ثانویه بالا بعنوان نقاط مطلوب تحقیق مطرح شدند [۲۳].

از پروفیل زنی آرایه مربعی برای مطالعات باستان شناسی نیز استفاده شده است [۱۵] و [۳۰]. تفسیر داده های انجام شده مربعی بیشتر بصورت کیفی بوده است. البته در چند مطالعه محدود نیز به تفسیر نیمه کمی پرداخته شده است. این مطالعات به روش سونداز زنی آرایه مربعی متقطع انجام شده است. در تفسیر نتایج این مطالعات از مدل سازی آزمایشگاهی استفاده شده است [۲۶] و [۲۷]. همچنین در مطالعه ای برای تفسیر نمودار های سونداز زنی آرایه مربعی متقطع از ترکیبی از روش های تفسیر آرایه های رایج و مدل سازی آزمایشگاهی استفاده شده است [۲۸]. در نتیجه در این تحقیق ها نیز بطور مستقیم به تفسیر نتایج به دست آمده پرداخته نشده است.

علاوه بر مطالعات صحرایی فوق مطالعات بسیار اندکی نیز به روش مدل سازی عددی [۳۰] و آزمایشگاهی انجام شده است[۱۶].

با بررسی پژوهش های فوق به نظر می رسد که تاکنون به این آرایه بهای لازم داده نشده است و تنها به چند مطالعه اندک و بعضاً ناقص بسنده شده است. همچنین تاکنون تفسیر جامعی برای داده های سوندایزنی انجام نشده است.

۱-۵ - اهداف پایان نامه

همانطورکه بیان شد آرایه مربعی علی رغم قابلیت های بسیار زیاد تاکنون بطور گستردگی مورد استفاده قرار نگرفته اند. در این مطالعه هدف اصلی بر آن است که با اندازه گیری های مختلف مقاومت ویژه، قابلیت های آرایه مربعی را در اندازه گیری مقاومت ویژه زمین های ناهمسانگرد مورد بررسی قرار داده و چگونگی تفسیر کمی داده های سوندایزنی را نیز مورد مطالعه قرار دهیم و نتایج بدست آمده از آنرا با نتایج سوندایه های آرایه شلومبرژ مقایسه کنیم.علاوه، در نظر است که توانایی های این روش را در شناسایی و تعیین محل شکستگی های مدفون مورد بررسی قرار دهیم و همچنین چگونگی تعیین راستای شکستگی های مدفون را نیز به بحث بگذاریم.

برای نیل به هدف ابتدا دو منطقه در شمال غرب شهرستان شاهروд انتخاب شد و سپس با انجام بازدیدهای صحرایی محل و موقعیت پروفیل های برداشت مقاومت ویژه و همچنین محل های سوندای الکتریکی مشخص گردیدند. در ادامه با اندازه گیری های لازم بصورت پروفیل زنی با آرایه مربعی و مربعی متقطع و همچنین سوندایزنی با آرایه مربعی و شلومبرژ، چگونگی تعبیر و تفسیر نتایج داده ها مورد بررسی قرار گرفتند.

۱-۶ - ساختار پایان نامه

پیش از ورود به بحث اصلی پایان نامه، به بررسی کلی مطالب ذکر شده در فصل های مختلف پایان نامه می پردازیم :

در این فصل کلیاتی از روش‌های ژئوفیزیکی و بخصوص روش مقاومت ویژه مورد بررسی قرار گرفت و در پایان ضرورت انجام پایان نامه عنوان گردید.

در فصل دوم آرایه مربعی بطور کامل معرفی می‌شود. در ادامه در فصل سوم ضمن بررسی موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، به بررسی نتایج و تفسیر داده‌های برداشت شده در سه بخش داده‌های پروفیل زنی آرایه مربعی، پروفیل زنی آرایه مربعی متقطع و سوندazerزی آرایه مربعی و شلومبرژه پرداخته می‌شود.

در فصل آخر با توجه به نتایج به دست آمده مطالب جمع‌بندی شده و مورد بحث قرار می‌گیرند و در پایان پیشنهاداتی نیز ارائه می‌گردد.

فصل دوم - معرفی آرایه مربعی

۱-۲ - مقدمه

مطالعه ساختارهای زیر سطحی به کمک روش مقاومت ویژه در صورت وجود ناهمگنی^۱ و ناهمسانگردی^۲ الکتریکی با محدودیت‌هایی همراه می‌باشد. در این موارد برداشت‌های یک بعدی مناسب نیستند و برداشت‌های دو بعدی نیز نیازمند اطلاعات اولیه زمین‌شناسی، مانند آگاهی از راستای زمین‌شناسی، شیب لایه‌ها، برای تعیین جهت پروفیل برداشت می‌باشند. از طرف دیگر روش‌های سه بعدی چه در مرحله برداشت و چه در مرحله تفسیر کند و پرهزینه‌اند. در این گونه موارد آرایه مربعی می‌تواند بکار برده شود.

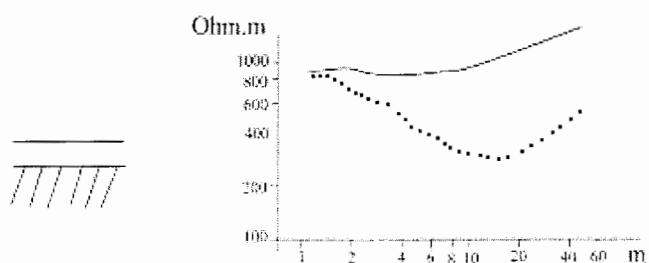
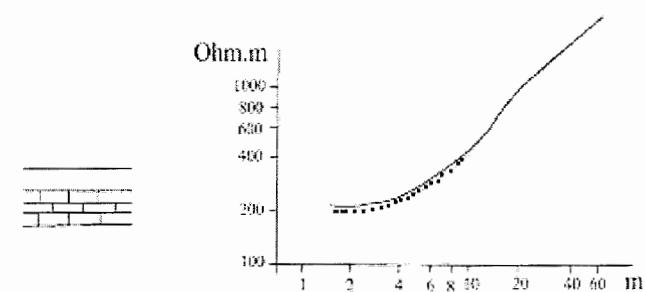
هابرجم و واتکینز در سال ۱۹۶۷، این آرایه را بعنوان جایگزینی برای آرایه‌های خطی رایج در برخورد با محیط ناهمسانگرد و ناهمگن، پیشنهاد دادند [۱۲]. همچنین با به کار بردن آرایه مربعی

1- Inhomogeneity
2- Anisotropy

متقطع می توان تمامی پارامتر های یک زمین ناهمسانگرد را با توجه به راستای زمین شناسی و شبیلایه ها به دست آورد [۱۳].

۲-۲- ناهمسانگردی و تاثیر آن بر مقاومت ویژه محیط ناهمسانگرد یکنواخت

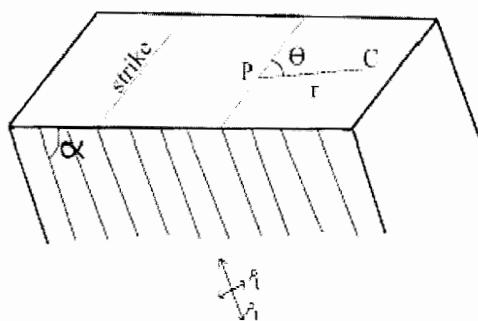
برای بررسی ناهمسانگردی و اثر آن روی نمودارهای مقاومت ویژه، شکل ۱-۲ را در نظر می گیریم. در این شکل دو محیط نشان داده شده است: الف - لایه های آهک سنگ بستر که بطور افقی زیریک روباره قرار گرفته است و ب - سنگ بستر شیست شیب دار که در زیر روباره قرار گرفته است. بر روی این محیط دو اندازه گیری عمود برهم (به موازات راستای زمین شناسی(خط پر) و عمود بر راستا(خط چین) مقاومت ویژه با استفاده از یکی از آرایه های خطی رایج انجام گرفته و منحنی های مقاومت ویژه حاصل از این دو برداشت عمود بر هم نشان داده شده است. همان طور که در نمودار بالای شکل ۱-۲ دیده می شود، دو منحنی به دست آمده از اندازه گیری ها یکسانند.



شکل ۲- بررسی مفهوم ناهمسانگردی در روش مقاومت ویژه [۲۸].

در نتیجه در این مورد می توان از برداشت مقاومت ویژه در هر جهت دلخواه نسبت به راستای زمین شناسی استفاده کرد. اما در نمودار پایین شکل ۲-۱، دو منحنی به دست آمده کاملاً با یکدیگر متفاوتند. در نتیجه مدل سازی یک بعدی تفسیری نادرست از زمین ارائه می دهد و به جهت برداشت بستگی خواهد داشت. بنابراین برای مدل سازی و تفسیر درست، اطلاعات اولیه از راستای زمین شناسی سازند های مدفعون در منطقه لازم است. که متأسفانه این اطلاعات در اکثر موارد در دسترس نمی باشند و تغییرات وابسته به جهت نادیده انگاشته می شوند.

مطالعه و آزمایش های مختلف مشخص کرده است که تغییرات وابسته به جهت مشاهده شده، تقریباً با یک محیط ناهمسانگرد یکنواخت (شکل ۲-۲) قابل بررسی است. در چنین محیطی دو مقاومت ویژه ρ_t و ρ_l تعریف می شوند. ρ_t مقاومت ویژه عرضی^۱، مقاومت ویژه زمین در راستای عمود بر لایه بندی و ρ_l مقاومت ویژه طولی^۲، مقاومت ویژه زمین در راستای موازی با



شکل ۲-۲- مدل یک محیط ناهمسانگرد یکنواخت [۲۶].

لایه بندی است. برای محیط های ناهمسانگرد با شرایط بالا دو پارامتر زیر را تعریف می کنیم:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_l}} \quad \text{و} \quad \rho_m = \sqrt{\rho_l \rho_t} \quad (1-2)$$

1- Transverse resistivity

2- Longitudinal resistivity

که ρ_m ، مقاومت ویژه متوسط^۱ و λ ضریب ناهمسانگردی^۲ نامیده می شود. معمولاً λ از ۱ تا ۲ تغییر می کند ولی مقادیر بالاتر از ۲ هم مشاهده شده است [۱۷]. البته در موارد بسیار نادر $\lambda < 1$ نیز مشاهده شده است [۱۴]. اگر $1 > \lambda$ باشد آن را ناهمسانگردی کشیده^۳ و اگر $\lambda > 1$ باشد، آن را ناهمسانگردی پخت^۴ می نامند [۱۳]. ناهمسانگردی پخت در موارد بسیار نادر (اکثرا در نتایج مدل های آزمایشگاهی) اتفاق می افتد.

با توجه به شکل ۲-۲، برای محیط های ناهمسانگرد یکنواخت، پتانسیل V ناشی از یک جریان نقطه ای C، در فاصله r از آن در نقطه P عبارت است از :

$$V = \frac{I\rho_m}{2\pi r} \left(1 + (\lambda^2 - 1) \sin^2 \theta \sin^2 \alpha \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2-2)$$

که θ زاویه بین راستای زمین شناسی (امتداد لایه ها) و خط واسط نقاط C و P و α زاویه لایه بندی با افق (شیب لایه ها) می باشد [۲۱].

از آنجاکه دو پارامتر λ و α مستقل از یکدیگر نیستند و نمی توان آن دو را از یکدیگر جدا کرد، در نتیجه این دو پارامتر را با هم ترکیب می کنیم و به صورت یک پارامتر جدید بنام ناهمسانگردی

موثر قائم^۵، n، تعریف می کنیم :

$$n = \left(1 + (\lambda^2 - 1) \sin^2 \alpha \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3-2)$$

مقدار n می تواند از ۱ تا λ تغییر کند. در صورتی که لایه بندی افقی باشد ($\alpha = 0$)، $n=1$ خواهد بود. همچنین اگر لایه بندی قائم باشد، $n=\lambda$ است [۱۵].

در نتیجه با توجه به روابط (۲-۲) و (۳-۲)، مقاومت در یک محیط ناهمسانگرد همگن^۶ برابر است

: [۲۱] با

1- Mean resistivity

2- Anisotropy coefficient

3- Prolate anisotropy

4- Oblate anisotropy

5- Vertical effective anisotropy

6- Homogenous anisotropic medium

$$R = \frac{V}{I} = \frac{\rho_m}{2\pi r} \left(1 + (n^2 - 1) \sin^2 \theta \right)^{-1} \quad (4-2)$$

با توجه به رابطه بالا، این مقاومت از حداقل مقدار $\frac{\rho_m}{2\pi r n}$ در حالت عمود بر راستا^۱ ($\theta = 90^\circ$) تا

حداکثر مقدار $\frac{\rho_m}{2\pi r}$ در جهت راستا ($\theta = 0^\circ$) تغییر می کند. در نتیجه مشاهده می شود مقاومت

ویژه ظاهری اندازه گیری شده عمود بر راستا کمتر از مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری به موازات راستا می باشد. در حالی که می دانیم مقاومت ویژه واقعی یک زمین ناهمسانگرد عمود بر راستا بیشتر از مقاومت ویژه واقعی به موازات راستا است. این پدیده "پارادوکس ناهمسانگردی"^۲ نامیده می شود [۲۱].

پارادوکس با این واقعیت تشریح می شود که چون $\rho \prec \rho_1$ است، در نتیجه چگالی جریان به موازات صفحه لایه بندی از چگالی جریان عمود بر صفحه لایه بندی بزرگتر است [۲۱]. همان طور که در رابطه (4-2) دیده می شود، برای به دست آوردن مقاومت محیط ناهمسانگرد یکنواخت باید $3 \rho_m$ پارامتر n و راستای زمین شناسی مشخص شود. برای تعیین این سه پارامتر، مقاومت زمین باید حداقل در سه جهت مختلف اندازه گیری شود.

استفاده از آرایه مربعی متقطع (با توجه به اندازه گیری مقاومت در چهار جهت بطور همزمان) می تواند بهترین گزینه برای این گونه موارد باشد. استفاده از این آرایه معادل با استفاده از چهار آرایه خطی رایج در چهار جهت مختلف می باشد [۲۸].

۳-۲- آرایه مربعی

۳-۲-۱- معرفی آرایش های α , β و γ

این آرایه دارای چهار الکترود جریان و پتانسیل بر روی چهار راس مربعی به ضلع a می باشد. با توجه به نحوه قرارگیری الکترودها روی چهار راس و راستای زمین شناسی با یک مربع می توان

1- Strike

2- Paradox of anisotropy

سه اندازه گیری از مقاومت انجام داد که به مرکز مربع نسبت داده می شود. این مقاومت ها، R_α و R_β می باشند. مقاومت های R_α و R_β اندازه مقاومت زمین در دو راستای مستقل عمود بر هم هستند. R_γ تنها به جهت کنترل داده های R_α و R_β بر اساس شرط سه پتانسیلی که در رابطه زیر آمده است، استفاده می شود :

$$R_\gamma = R_\alpha - R_\beta \quad (5-2)$$

در نتیجه با استفاده از آرایه مربعی بطور همزمان می توان اطلاعاتی درباره مقاومت محیط در دو راستای مستقل عمود برهم به دست آورد.

در کارهای عملی معمولا شرط سه پتانسیلی بطور دقیق برقرار نمی شود بلکه تا اندازه ای تفاوت دارد. به همین دلیل پارامتر دیگری بصورت زیر تعریف می شود :

$$R_e = R_\alpha - R_\beta - R_\gamma \quad (6-2)$$

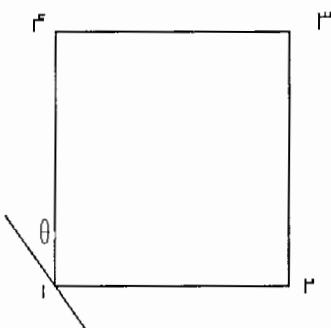
اگر R_e کوچکتر از سه درصد اندازه R_α باشد، در این صورت داده های به دست آمده دارای دقت قابل قبولی می باشند [۳۰].

فاکتور هندسی این آرایه با توجه به رابطه (۲-۱) بصورت زیر است :

$$K = \frac{2\pi a}{2 - \sqrt{2}} = \pi a (2 + \sqrt{2}) \quad (7-2)$$

برای معرفی سه آرایش α ، β و γ ، مربعی به ضلع a در نظر می گیریم که مطابق شکل ۲-۳ با راستای زمین شناسی زاویه θ بسازد.

با توجه به شکل ۲-۳، اگر الکترودهای ۱ و ۴ الکترودهای جریان و الکترودهای ۲ و ۳ الکترودهای پتانسیل باشند، در این صورت به ترکیب آرایش α گویند. مقاومت اندازه گیری شده با این روش را با R_α نمایش می دهند.



شکل ۲-۳-۱- نمایش کلی از آرایه مربعی که دارای زاویه θ با راستا می باشد.

در ترکیب دیگری که آرایش β نامیده می شود، ۱ و ۲ الکترودهای جریان و ۳ و ۴ الکترودهای

پتانسیل می باشند. مقاومت اندازه گیری شده در این حالت را با R_β نشان می دهند.

در آرایش ۲، الکترودهای جریان الکترود های ۱ و ۳ و الکترودهای پتانسیل الکترود های ۲ و ۴ می

باشند. مقاومت اندازه گیری شده در این حالت را با R_γ نمایش می دهند [۱۲].

۲-۳-۲- اندازه گیری های آرایه مربعی روی یک نیم فضای ناهمسانگرد

مدل و پارامترهای یک نیم فضای ناهمسانگرد در قسمت (۲-۲) مورد بررسی قرار گرفت. اکنون به

بررسی اندازه گیری های مقاومت ویژه با استفاده از آرایه مربعی می پردازیم و چگونگی به دست

آوردن پارامترهای نیم فضای ناهمسانگرد را با استفاده از آرایه مربعی مورد بررسی قرار می دهیم.

برای بررسی این حالت ها مطابق شکل ۲-۴، مربعی به ضلع a را روی یک نیم فضای نا-

همسانگرد در نظر می گیریم. همان طور که قبلا اشاره شد، در یک فضای ناهمسانگرد دو پارامتر

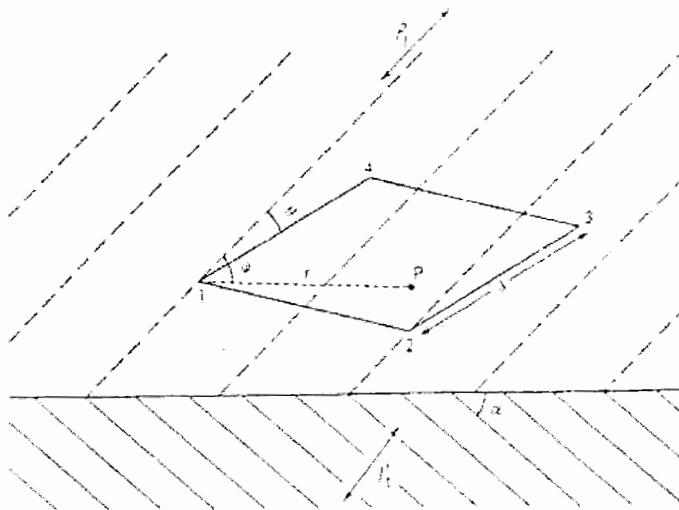
مقاومت ویژه میانگین و ضریب نا همسانگردی تعریف می شود. این دو پارامتر با استفاده از رابطه

(۱-۲) به دست می آیند و هریک از آنها حاوی اطلاعاتی هستند.

ضریب ناهمسانگردی، λ ، مبین وجود نا همسانگردی است. در واقع هر چه این ضریب بزرگتر باشد،

وابستگی اندازه گیری های مقاومت ویژه به جهت های مختلف بیشتر است. پس با استفاده از λ به

وجود ناهمسانگردی پی می بريم. وقتی با یک محیط ناهمسانگرد مواجه می شویم، سایر اندازه گیری های مقاومت ویژه (با دیگر آرایه ها) کامل نمی باشند. در این موارد بایستی مقاومت را در



شکل ۴-۲- بررسی پارامترهای یک زمین ناهمسانگرد با آرایه مربعی [۱۳]

دو جهت عمود بر هم به دست آورد و با محاسبه یک مقاومت ویژه میانگین با استفاده از رابطه ۲-۱) تاثیر جهت گیری بر روی اندازه گیری را به حداقل رسانید.

آرایه مربعی با اندازه گیری مقاومت ویژه در دو راستای عمود بر هم بطور همزمان، این موقعیت را

ایجاد می کند که هم λ و هم ρ_m به دست می آید. طبق تعریف λ و ρ_m با توجه به مقادیر

: ρ_α و ρ_β عبارتند از [۱۴] :

$$\rho_m = \sqrt{\rho_\alpha \rho_\beta} \quad \text{و} \quad \lambda = \sqrt{\frac{\rho_\alpha}{\rho_\beta}} \quad (8-2)$$

با توجه به محاسبه دو فاکتور مهم ρ_m و λ ، می توان دیگر فاکتور های یک محیط ناهمسانگرد را نیز محاسبه کرد. مثلا با داشتن α می توان ناهمسانگردی موثر قائم، n ، را نیز محاسبه کرد. مقدار بالای این ضریب نشان دهنده وجود ناهمسانگردی بالا می باشد. ρ_α و ρ_β با توجه به فاکتور هندسی این آرایه به صورت زیر به دست می آید :

$$\rho_\alpha = \pi(2 + \sqrt{2})aR_\alpha \quad \text{و} \quad \rho_\beta = \pi(2 + \sqrt{2})aR_\beta \quad (9-2)$$

اگر راستای زمین شناسی با امتداد ضلع ۴-۱ مربع زاویه θ بسازد، در این صورت R_α ، R_β و R_γ از روابط زیر به دست می آیند [۱۳] :

$$R_\alpha = \frac{\rho_m}{2\pi a} \left\{ \frac{2}{(1 + (n^2 - 1)\cos^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{(2 + (n^2 - 1)(1 + \sin 2\theta))^{\frac{1}{2}}} \right. \\ \left. - \frac{1}{(2 + (n^2 - 1)(1 - \sin 2\theta))^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (10-2)$$

$$R_\beta = \frac{\rho_m}{2\pi a} \left\{ \frac{2}{(1 + (n^2 - 1)\sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{(2 + (n^2 - 1)(1 + \sin 2\theta))^{\frac{1}{2}}} \right. \\ \left. - \frac{1}{(2 + (n^2 - 1)(1 - \sin 2\theta))^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (11-2)$$

$$R_\gamma = \frac{\rho_m}{2\pi a} \left\{ \frac{2}{(1 + (n^2 - 1)\cos^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} - \frac{2}{(1 + (n^2 - 1)\sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (12-2)$$

نکته ای که باید مورد دقت قرار گیرد، این است که با توجه به شکل ۴-۲، زاویه θ در رابطه (۲-۲) برابر با φ می باشد.

با توجه به روابط (۱۰-۲) تا (۱۲-۲) و اتحادهای مثلثاتی، نتیجه زیر قابل دست یابی است [۱۳] :

$$R_\alpha(\theta) = R_\beta(90 - \theta) = R_\beta(90 + \theta) = R_\alpha(180 - \theta) \quad (13-2)$$

از اندازه گیری مقاومت های R_α ، R_β و R_γ پارامتر دیگری نیز قابل دست یابی است. این پارامتر نسبت ناهمگنی آزیموتی^۱ (AIR) نامیده می شود و از رابطه زیر به دست می آید [۱۲] :

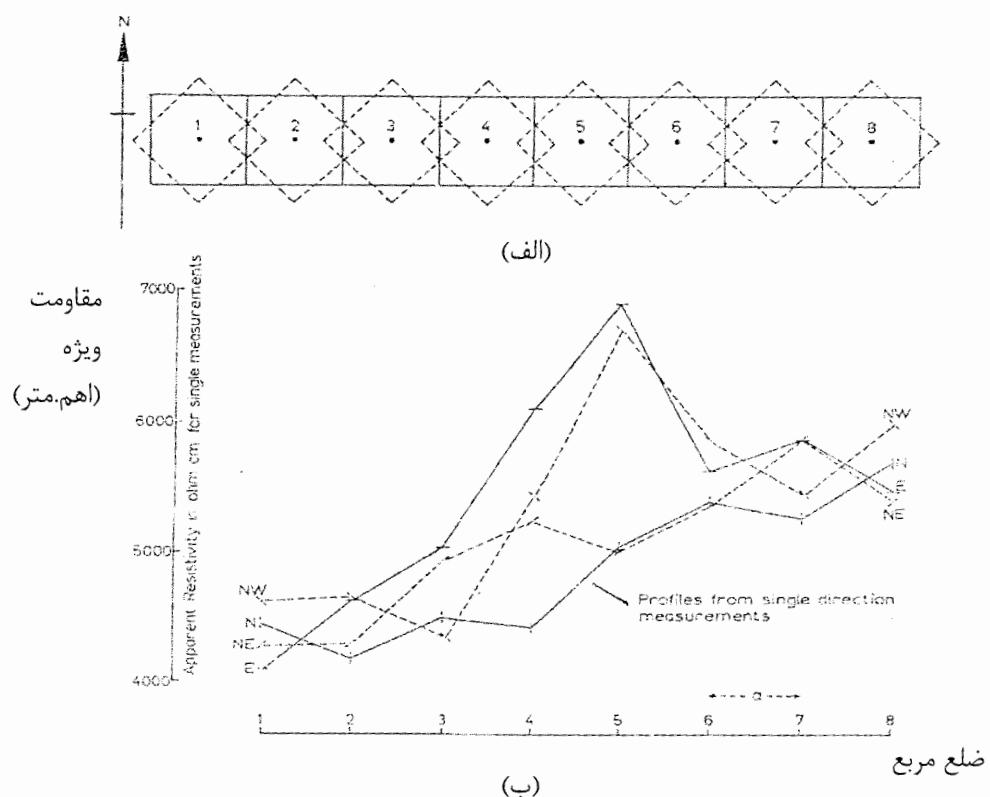
$$AIR = \frac{2R_\gamma}{R_\alpha + R_\beta} \quad (14-2)$$

از آنجا که با توجه به شرایط سه پتانسیلی (رابطه (۵-۲)) $R_\gamma = 0$ معادل با همسانگردی محیط است، پس در صورتی که AIR برابر با صفر نباشد، نتایج اندازه گیری شدیدا به جهت مورد نظر وابسته خواهد بود.

۱- Azimutal Inhomogeneity Ratio

بررسی ها نشان می دهد که تغییرات مقاومت ویژه بطور جانبی نیز می تواند مقادیر بسیار بالای AIR را ایجاد کند [۱۴]. پس هم ناهمسانگردی و هم تغییرات جانبی مقاومت ویژه در AIR حاصل از هر نقطه سهیم می باشند. در نتیجه جدا کردن سهم هر یک از این دو در AIR حاصل از اندازه گیری ها غیر ممکن است [۱۴].

همان طور که گفته شد، در آرایه مربعی اثر جهت گیری روی داده های اندازه گیری شده بر روی محیط های ناهمسانگرد به حداقل می رسد. برای بررسی این موضوع نتایج به دست آمده از یک پروفیل زنی آرایه مربعی با استفاده از دو مربع را مورد بررسی قرار می دهیم. در شکل ۲-۵-الف این دو مربع بصورت خط پر و خط چین نشان داده شده اند.



شکل ۲-۵- نمایش دو پروفیل زنی با آرایه مربعی روی یک خط پروفیل و نتایج آن [۱۲].

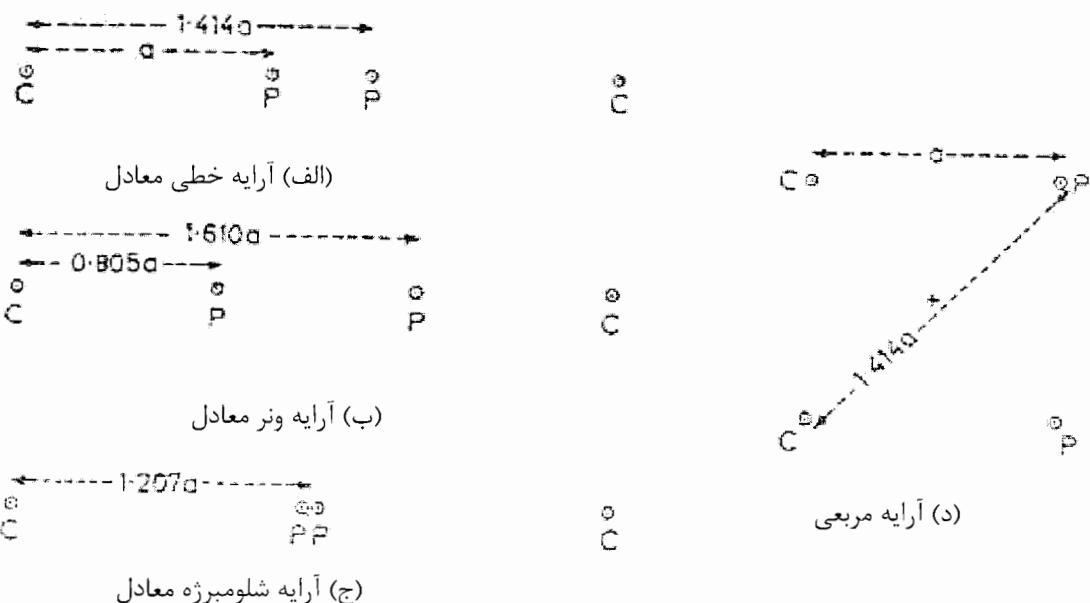
در شکل ۲-۵- ب نمودار تغییرات مقاومت ویژه مربوط به مربع نمایش داده شده با خط پر در جهت های شرقی - غربی و شمالی - جنوبی به ترتیب با E و N و با خط پر مشخص شده اند.

۳-۳-۲- بررسی چگونگی تفسیر نتایج حاصل از آرایه مربعی

در یک آرایه مربعی با اندازه ضلع a , فاصله بین یک الکترود جریان با الکترودهای پتانسیل a و $a\sqrt{2}$ می باشد. از آنجا که هیچ روش تفسیر مستقیمی برای این آرایه وجود ندارد، در نتیجه از مقایسه این آرایه با آرایه های رایج به بررسی داده های حاصل از آن پرداخته می شود.

در شکل ۷-۲ با توجه به فاصله الکترود جریان از الکترودهای پتانسیل در یک آرایه مربعی، آرایه خطی معادلی برای آرایه مربعی ارائه شده است (۷-۲-الف). همان طور که دیده می شود، در این آرایه فاصله الکترود جریان از الکترودهای پتانسیل a و $\sqrt{2}a$ می باشد. در نتیجه طول آرایه خطی معادل برابر با $(\sqrt{2}+1)a$ است. حال با توجه به چگونگی ترکیب آرایه های رایج ونر و شلومبرژه، آرایه معادل خطی، معادل ونر و معادل شلومبرژه برای این آرایه ارائه شده است. مثلا از آنجا که فاصله میان الکترودها در آرایه ونر بایکدیگر برابرند (یک سوم طول آرایه)، در نتیجه آرایه ونر معادل با یک آرایه مربعی به ضلع a ، دارای فاصله الکترودی $0.805a$ می باشد (شکل ۷-۲-ب) [۱۲].

همچنین آرایه شلومبرژه معادل با یک آرایه مربعی به ضلع a دارای $\frac{C_1 C_2}{2}$ برابر با $1/207a$

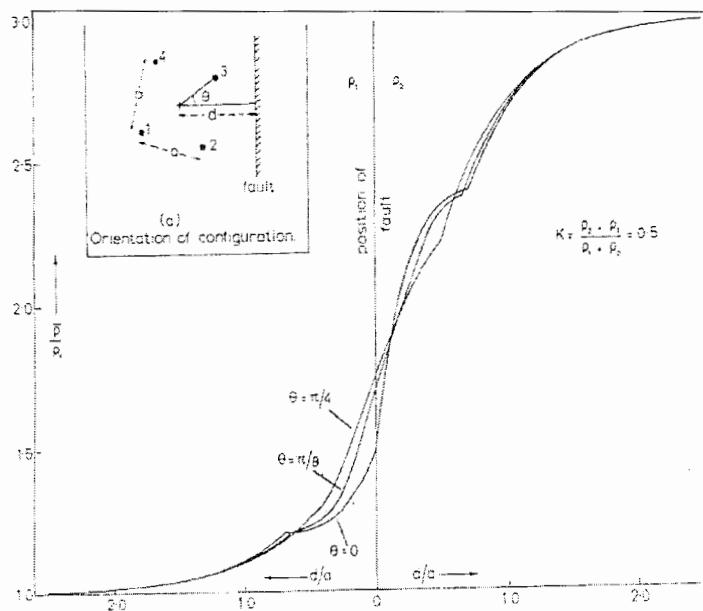


شکل ۷-۲- بررسی آرایه های خطی معادل با آرایه مربعی [۱۲].

۴-۳-۲- مقایسه تاثیر جهت گیری روی نتایج آرایه مربعی و آرایه های خطی رایج

برای مقایسه تاثیر جهت برداشت روی داده های آرایه مربعی و آرایه های خطی رایج گسل قائم می پردازیم. نتایج حاصل از برداشت آرایه مربعی، با توجه به اینکه فاصله عمودی مرکز آرایه از گسل قائم d و زاویه بین راستای قطر مربع و خط عمود بر گسل θ است، در شکل ۹-۲ آمده است. همچنین نتایج برداشت آرایه ونر معادل با یک آرایه مربعی به ضلع a ، نیز در شکل ۱۰-۲ آمده است. در این بررسی فاصله مرکز آرایه ونر معادل از گسل قائم، d و زاویه بین راستای

الکترودی و خط عمود بر گسل قائم، η می باشد. نتایج برای نسبت $\frac{\rho_2}{\rho_1} = 3$ نمایش داده شده

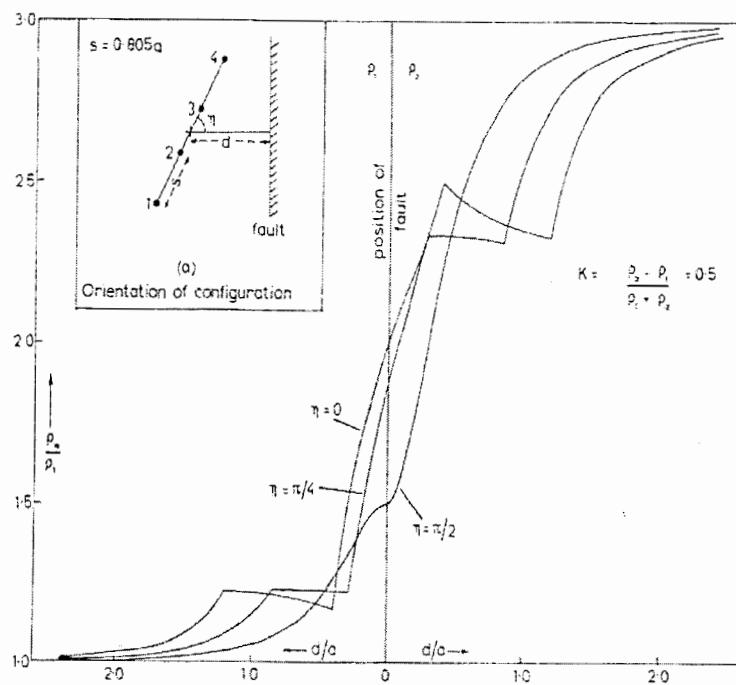


شکل ۹-۲- نتایج تغییرات مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی بر

روی یک گسل قائم تحت فواصل و زوایای مختلف با گسل [۱۲].

است. همانگونه که در شکل ۹-۲ دیده می شود، روند منحنی های مقاومت ویژه میانگین به ازای

زوایای مختلف 0° و $\frac{\pi}{8}$ و $\frac{\pi}{4}$ تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. اما با بررسی شکل ۱۰-۲ دیده می



شکل ۲-۱۰- نتایج تغییرات مقاومت ویژه با آرایه ونر معادل بر

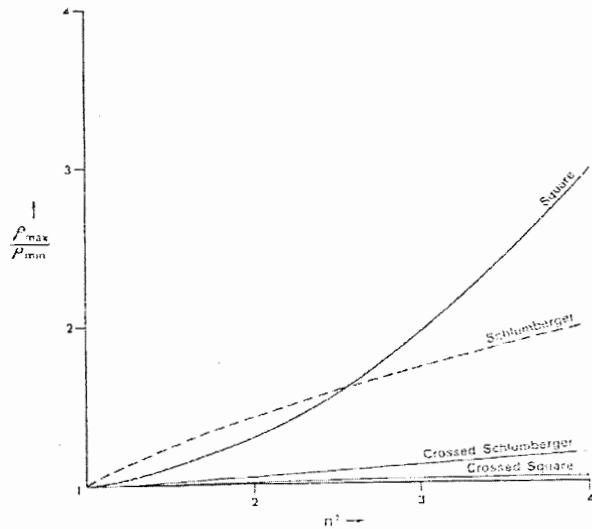
روی یک گسل قائم تحت فواصل و زوایای مختلف باگسل [۱۲].

شود، روند منحنی های مقاومت ویژه به ازای زوایای مختلف 0 و $\frac{\pi}{4}$ و $\frac{\pi}{2}$ تفاوت بیشتری با یکدیگر نشان می دهدن با بررسی این دو شکل مشاهده می کنیم که آرایه مربعی نسبت به آرایه ونر منحنی هموارتری از مقاومت ویژه داشته و در نتیجه تاثیر پذیری کمتری نسبت به جهت گیری دارد [۱۲].

نتایج آرایه مربعی در مقایسه با آرایه شلومبرژه نیز دارای ثبات بیشتری است [۱۲]. این مطلب به راحتی از شکل ۱۱-۲ قابل استنتاج است. در این شکل تغییرات مقاومت مقاومت ویژه حداقل به مقاومت ویژه حداقل نسبت به مجذور ناهمسانگردی مؤثر قائم رسم شده است. در این شکل دیده می شود در گستره ای از n که در اکثر موارد با آن مواجه می شویم، آرایه شلومبرژه بیشتر از آرایه مربعی از جهت گیری تاثیر می پذیرد. نتایج میانگین دو آرایه شلومبرژه عمود برهم (متقطع)^۱ دارای

۱- Crossed Schlumbeger

حساسیت کمتری نسبت به آرایه مربعی می باشد. بررسی نمودار شکل ۱۱-۲ نشان می دهد که آرایه مربعی متقطع دارای کمترین تاثیر پذیری از ناهمسانگردی می باشد.



شکل ۱۱-۲- تغییرات مقاومت ویژه حداکثر به حداقل نسبت به مجدور ناهمسانگردی قائم [۱۴]

۴-۲- آرایه مربعی متقطع

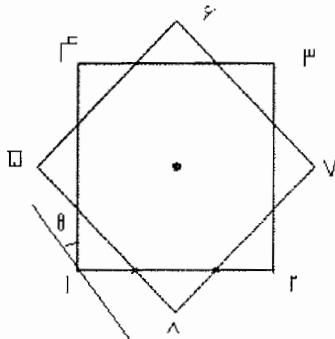
این آرایه از دو مربع هم مرکز به ضلع a که نسبت به همدیگر، ۴۵ درجه چرخیده باشند تشکیل شده است (شکل ۱۲-۲). با استفاده از این آرایه ۶ مقاومت اندازه گیری می شود. مانند آرایه مربعی، دو مقاومت تنها برای کنترل داده ها بر اساس شرایط سه پتانسیلی، اندازه گیری می شوند. این مقاومت های اندازه گیری شده عبارتند از : R_γ' ، R_α' ، R_β' ، R_γ ، R_α و R_β . سه مقاومت آخر به مربعی که ۴۵ درجه نسبت به مربع اول چرخیده باشد، مربوط می شوند. این آرایه در میان تمام آرایه ها کمترین تاثیرپذیری را از جهت اندازه گیری می پذیرد. برای این منظور R_β' ، R_α' و R_β را به ترتیب R_1 ، R_2 ، R_3 و R_4 در نظر بگیرید. حال چهار متغیر A ، B ، C و D را بصورت زیر تعریف می کنیم [۱۴] :

$$A = \frac{3R_1 + R_3}{2} + \frac{R_2 + R_4}{\sqrt{2}}$$

$$B = \frac{R_1 + 3R_3}{2} + \frac{R_2 + R_4}{\sqrt{2}} \quad (15-2)$$

$$C = \frac{3R_2 + R_4}{2} + \frac{R_2 + R_4}{\sqrt{2}}$$

$$D = \frac{R_2 + 3R_4}{2} + \frac{R_1 + R_3}{\sqrt{2}}$$



شکل ۱۲-۲ - نمایش آرایه مربعی متقطع و زاویه آن با راستای شکستگی.

با توجه به تعریف پارامترهای A, B, C, D ، زاویه بین راستای زمین شناسی و خط جریان در حالت α یعنی زاویه θ ، برابر است با [۱۴] :

$$\theta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{D^{-2} - C^{-2}}{A^{-2} - B^{-2}} \right) \quad (16-2)$$

همچنین اگر :

$$s = 2 \left[(A^{-2} - B^{-2})^2 + (D^{-2} - C^{-2})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

و

$$t = A^{-2} + B^{-2} + C^{-2} + D^{-2}$$

آنگاه :

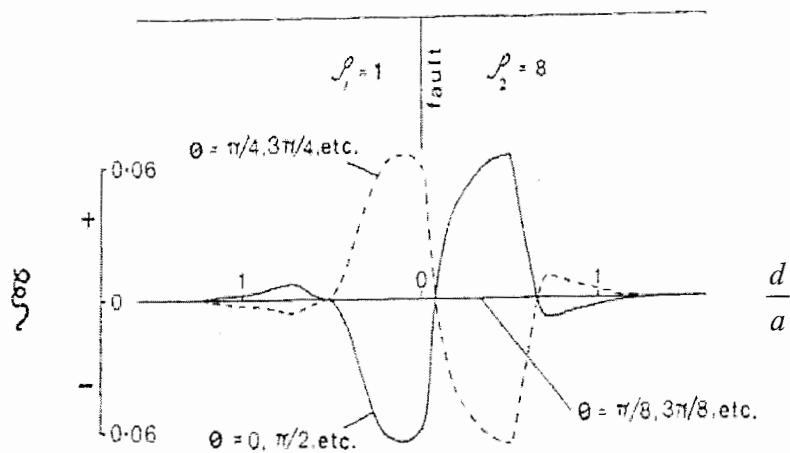
$$\rho_m = 2\pi a(t-s)^{\frac{-1}{2}} \quad (17-2)$$

$$n = \left(\frac{t+s}{t-s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18-2)$$

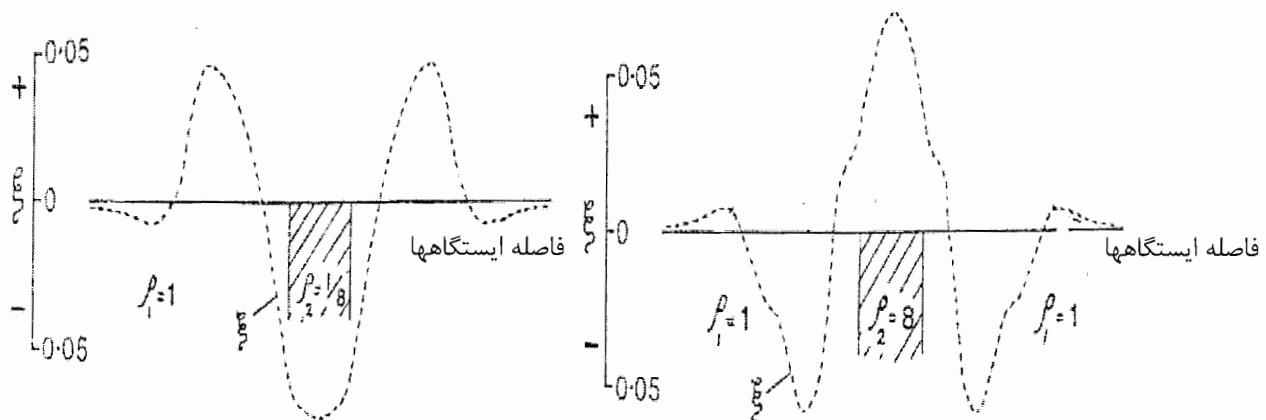
پس با استفاده از آرایه متقطع، پارامترهای یک زمین ناهمسانگرد و یکنواخت را می توان به دست

آورد. همچنین با توجه به ارتباط بین n و α (رابطه (۳-۲)، با به دست آوردن n از رابطه (۱۸-۲)،

می توان با استفاده از آرایه متقطع زاویه شیب لایه ها با سطح زمین (α) را نیز به دست آورد:



شکل ۱۳-۲- نمایش تغییرات ANCR بر حسب جهت گیری [۱۴]



شکل ۱۴-۲- استفاده از ANCR برای تعیین و جداسازی نوع ساختارها [۱۲].

۲-۵- روش های اندازه گیری مقاومت ویژه با آرایه مربعی

۲-۵-۱- پروفیل زنی

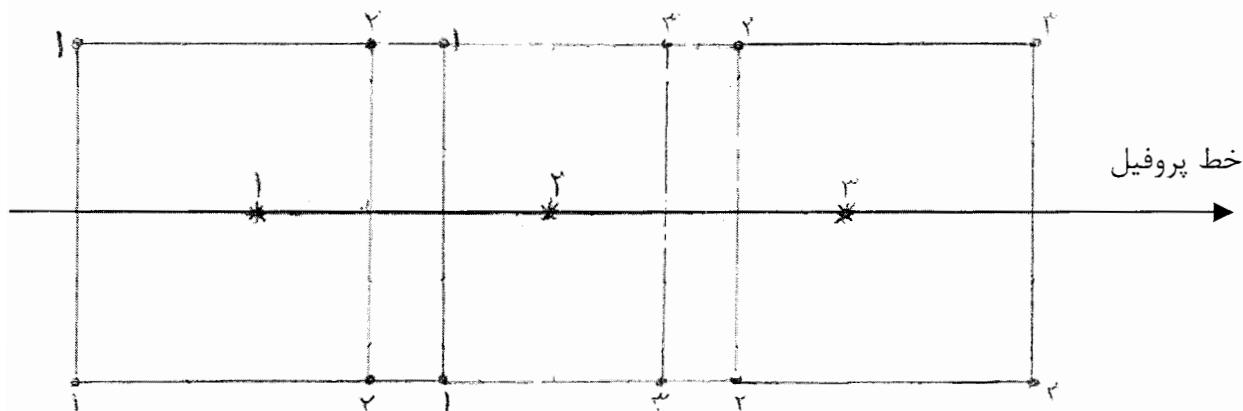
در این روش ابتدا خط پروفیل و فواصل اندازه گیری روی این خط مشخص می شوند و سپس روی این خط مربعی به ضلع a را در نقاط مشخص شده حرکت می دهند. مقادیر ρ_α , ρ_β و ρ_γ در هر نقطه (مرکز مربع) قرائت می شود. سپس با میانگین گیری در هر نقطه با استفاده از رابطه (۲-۸)

، تغییرات میانگین مقاومت ویژه را بر حسب فواصل رسم می کنند [۱۲].

یک پروفیل زنی آرایه مربعی می تواند دارای همپوشانی بین مربع ها باشد. این کار با انتخاب فواصلی کوچکتر از اندازه ضلع مربع انجام می شود. همچنین در یک پروفیل زنی با آرایه مربعی،

مربع ها می توانند دارای همپوشانی نباشند. معمولاً برای دست یابی به نتایج بهتر سعی می شود

که مربع ها دارای همپوشانی باشند [۱۰] (شکل ۱۵-۲).



شکل ۱۵-۲ - نمایش پروفیل زنی با آرایه مربعی دارای همپوشانی.

در تحلیل نتایج پروفیل زنی با آرایه مربعی، دو نمودار بر حسب فاصله به دست می آید :

۱- نمودار تغییرات مقاومت ویژه میانگین بر حسب فواصل اندازه گیری

۲- نمودار تغییرات ضریب ناهمسانگردی بر حسب فواصل اندازه گیری

با استفاده از نمودار دوم، نقاطی که دارای ناهمسانگردی بالا هستند، مشخص می شوند. با توجه به

هدف کار، این دو نمودار دارای اطلاعات بسیار خوبی از زمین مورد مطالعه در عمق مشخص (۰/۶۲a)

) می باشند. نکته حائز اهمیت این است که در پروفیل زنی همواره به مطالعه تغییرات مقاومت

ویژه در عمقی معین می پردازیم.

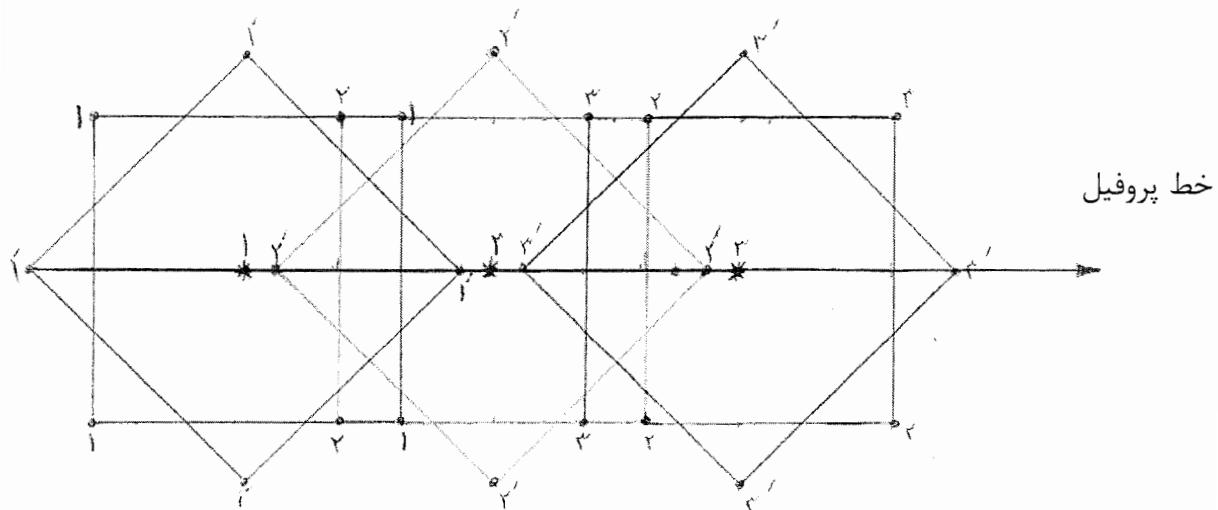
در پروفیل زنی با آرایه مربعی متقطع نیز پس از تعیین خط پروفیل در هر اندازه گیری شش

مقاومت ویژه قرائت می شود و این مقاومت ها به مرکز هر مربع و به عمق مشخصی (۰/۶۲a) نسبت

داده می شود . در پروفیل زنی با این آرایه نیز برای بالا بردن دقیق نتایج از هم پوشانی میان مربع

ها استفاده می کنند(شکل ۱۶-۲).

برای بررسی نتایج پروفیل زنی آرایه مربعی متقطع، علاوه بر مقاومت ویژه میانگین و ضریب ناهمسانگردی، از فاکتور ANCR نیز می‌توان استفاده کرد.



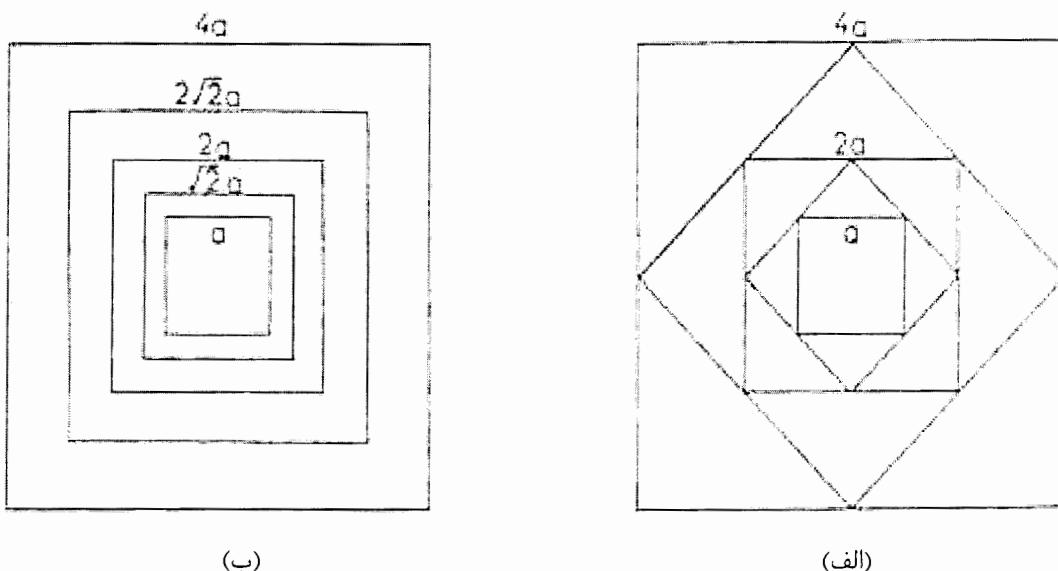
شکل ۱۶-۲- نمایش پروفیل زنی با آرایه مربعی متقطع دارای همپوشانی

۲-۵-۲- سوندازنی

برای دست یابی به تغییرات مقاومت ویژه نسبت به عمق از روش سوندازنی استفاده می‌شود. در آرایه مربعی برای انجام یک سونداز مطابق شکل ۱۷-۲ اضلاع مربع با نسبت $\sqrt{2}$ افزایش می‌یابند. تمامی مربع‌ها دارای یک مرکز مشترک اند که اندازه گیری‌ها به آن نقطه نسبت داده می‌شود. نتایج به دست آمده از مقاومت ویژه میانگین برای هر مربع را بر حسب اندازه ضلع مربع رسم می‌کنیم [۱۲].

برای تفسیر داده‌های سوندازنی آرایه مربعی، لگاریتم مقاومت ویژه‌های میانگین حاصله را بر حسب لگاریتم فواصل $\frac{AB}{2}$ حاصل از آرایش شلومبرژه معادل که در بخش (۳-۳-۲) توضیح داده شد، رسم می‌کنیم. سپس با توجه به اصول تفسیر داده‌های آرایه شلومبرژه به تفسیر نمودارهای حاصله می‌پردازیم.

همان طور که در شکل ۱۷-۲ دیده می شود، سوندایزنسی با آرایه مربعی را می توان به دو صورت انجام داد. اما در عمل از حالت (ب) بیشتر استفاده می شود [۱۲].



شکل ۱۷-۲ - روش‌های مختلف گسترش اضلاع مربع برای سوندایزنسی [۱۲]

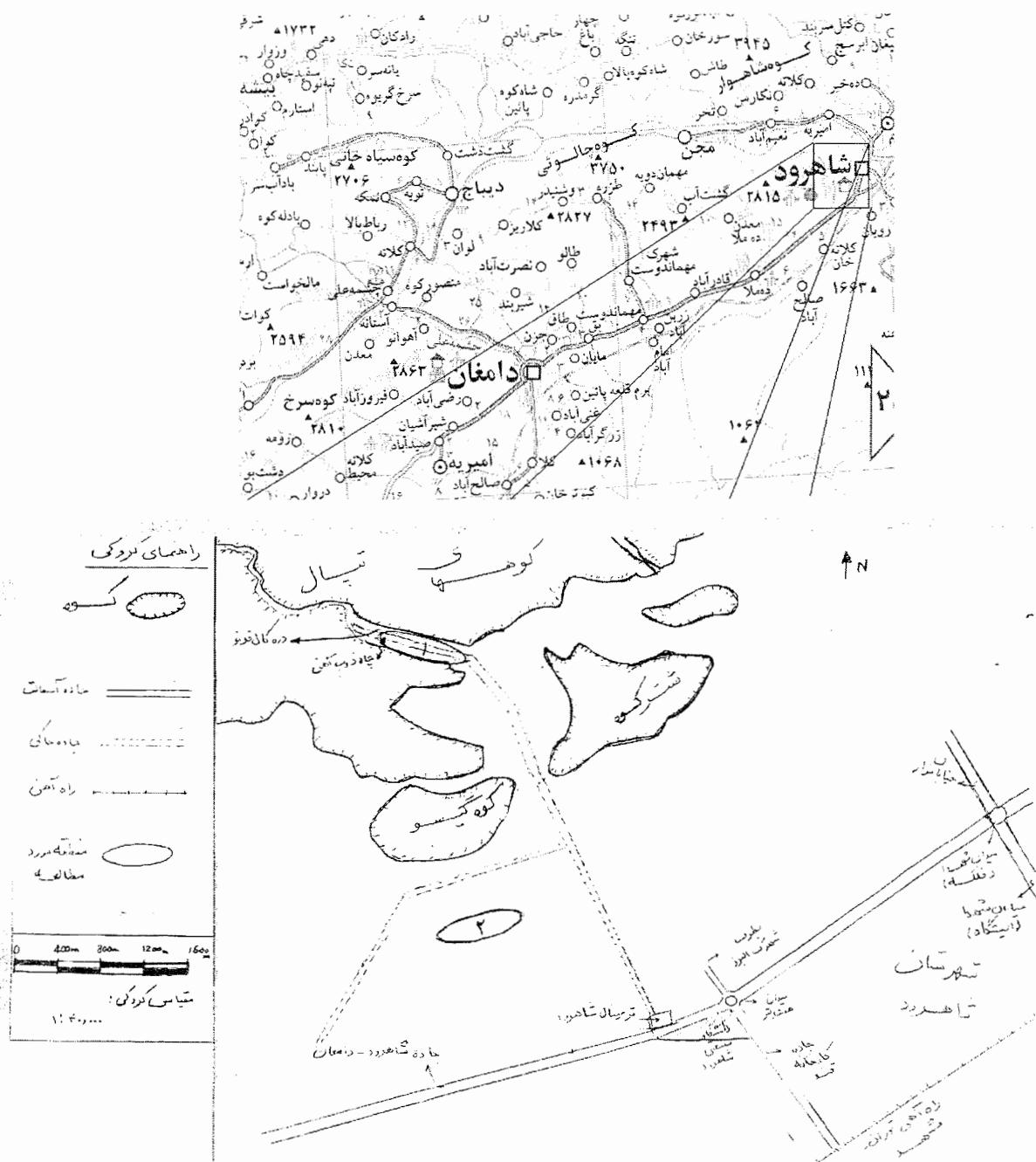
فصل سوم - چگونگی اندازه گیری، ارائه داده ها و تعبیر و تفسیر آنها

۱-۳ - مقدمه

به منظور نیل به اهداف در نظر گرفته شده، دو منطقه در شمال غرب شهرستان شهرود، در جنوب کوه های تپال و در فاصله ۷/۵ کیلومتری از مرکز شهر شهرود، در نظر گرفته شدند (شکل ۱-۳). در یکی از این دو منطقه عملیات پروفیل زنی مقاومت ویژه و در محدوده دیگر عملیات سونداقزنی صورت گرفته است. پیش از بحث درباره چگونگی انجام کار و تفسیر نتایج، بطور مختصر به بررسی موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی مناطق مورد مطالعه می پردازیم.

۲-۳ - موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه

شهرستان شهرود در شمال شرق ایران و در استان سمنان قرار دارد (شکل ۱-۳). این شهر که با وسعت ۵۱۴۱۹ کیلومتر مربع، در ارتفاع ۱۳۶۵ متری از سطح آبهای آزاد قرار دارد از جنوب غرب به شهر دامغان، و از شمال شرق نیز به شهر تاریخی بسطام محدود می شود. شهرود در زمستان



شكل ٣-١ - موقعت جغرافیایی شاهروند و مناطق مورد مطالعه

(مقياس نقشه بالا: ١:١٠٠٠٠٠) [١] و کروکی محدوده اندازه گیری:

دارای آب و هوایی سرد و خشک و در تاپستان دارای آب و هوایی معتدل می‌باشد.

مطالعات پروفیل زنی در دره ای به نام کال قرنو، و مطالعات سوندازنی، در زمین خریداری شده

توسط دانشگاه صنعتی شاهروд واقع در حنوب کوه گیسو، انحصار شده است.

مختصات جغرافیایی نقطه شروع خط پروفیل مورد اندازه گیری دره کال قرنو "39°36' شمالي و "54°54' شرقی می باشد. امتداد پروفیل شرقی- غربی است. همچنین مختصات جغرافیایی زمین دانشگاه "36°23'26" شمالي و "54°53'10" شرقی می باشد. راه دسترسی به اين دو منطقه خاکی می باشد.

۳-۳-۳- زمین شناسی منطقه

۱-۳-۳- واحدهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

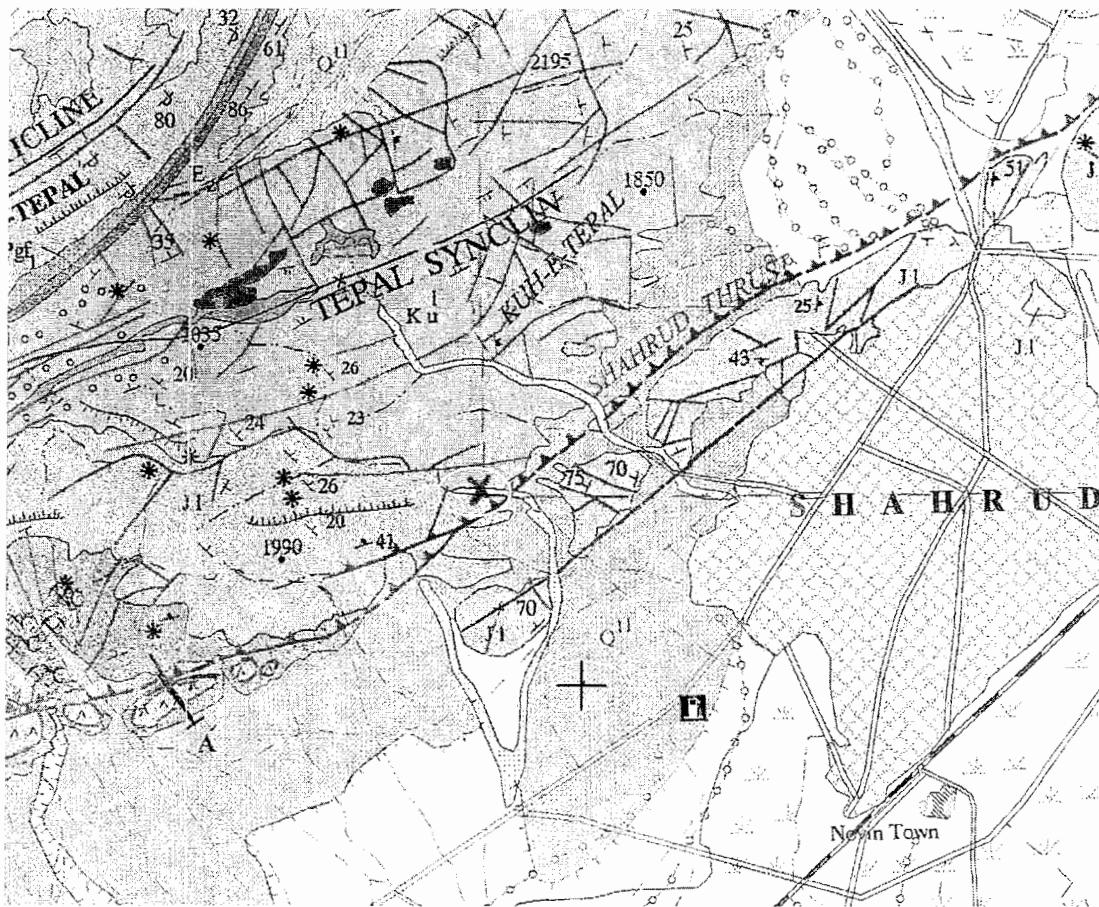
مطابق شکل ۲-۳ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه از قدیم به جدید به ترتیب شامل سه واحد

زمین شناسی J_1 ، K_u^I و Q^I می باشد.

واحد J_1 از توده های سازند لار در منطقه مورد مطالعه از سنگ آهک های خاکستری روشن و حاوی مقدار کمی آبرفت با ضخامت ۶۰۰ متر تشکیل شده است. سن این سازند بر اساس آلونیت های مطالعه شده دوران ژوراسیک میانی - ژوراسیک بالایی تعیین شده است.

واحد K_u^I از تناوب های سنگ آهک خاکستری روشن با مارن های سبز روشن در ابتدای واحد و سپس سنگ آهک های خاکستری متمایل به قهوه ای ضخیم لایه، توده ای و صخره ساز که به مقدار زیاد فرسایش یافته و هوازده و کریستالیزه شده اند. همچنین در اثر بارش قطرات باران و جریان آب های جاری، حفره های متعددی در آنها دیده می شود. بر اساس کلیه فسیل های موجود در این واحد، سن دقیق این سنگ ها به زمان سنومانین - کامپانین نسبت داده شده است. سنگ های کرتاسه بالایی در منطقه مورد مطالعه (دره کال قرنو) با وجود وقفه و نبود چینه ای بر روی سنگ آهک های سازند لار قرار گرفته و در مرز بالایی خود نیز به علت عدم وجود چینه ای توسط توده سازند فجن پوشیده شده است. سنگ های کرتاسه بالایی با ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر و دستخوش گسل خوردگی و چین خوردگی متعددی شده اند.

واحد Q' شامل پادگانه های آبرفتی قدیمی و مارن های گراولی است که در قسمت بالادرست آبراهه ها و یا در کنار دره ها تشکیل شده اند [۹].



علاوه بر گسل های یاد شده، تعدادی گسل های عادی و معکوس با شیب بیش از ۴۵ درجه نیز در این منطقه دیده می شود [۹].

۳-۴- سابقه مطالعات انجام شده در منطقه

در دره کال قرنو تنها یک مورد مطالعه ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و به روش نیم شلومبرژه متقارن برای اکتشاف آب انجام شده است [۲]. طول خط پروفیل در این مطالعه ۱۴۰ متر بوده است و مبدا آن نیز در فاصله ۶۰ متری غرب چاه آبی که در منطقه با نام چاه آب ذوب آهن معروف است، قرار دارد. این چاه دارای آبدهی خوبی بوده و توسط مهندسین روسی در سال ۱۳۶۰ حفر شده است. از آنجا که قسمتی از خط پروفیل مطالعه فوق با خط پروفیل مطالعه انجام شده با آرایه مربعی در این پایان نامه مشترک است، در نتیجه از داده های این مطالعه نیز در بررسی نتایج بدست آمده استفاده می شود.

۳-۵- عملیات صحراوی

به منظور بررسی قابلیت های آرایه مربعی در تشخیص محل و راستای شکستگی و گسل ها و همچنین بررسی امکان تفسیر داده های سوندazer به دست آمده از این آرایه، مطالعاتی به روش مقاومت ویژه در طول سال ۱۳۸۲ و بهار سال ۱۳۸۳ در مناطق اشاره شده انجام شده است. کل عملیات صحراوی جمعا در مدت دو هفته انجام شده است. مطالعات به روش پروفیل زنی در دره کال قرنو و به روش سوندazer زنی در زمین دانشگاه انجام شده است.

دستگاههای مقاومت ویژه ای که در طول عملیات صحراوی بکار برده شده است SAS300C و SAS1000 ساخت شرکت ABEM سوئد می باشند. همچنین در طی اندازه گیری از دستگاه GPS برای تعیین موقعیت محل مطالعه استفاده شده است.

۳-۶- برداشت و تفسیر داده های پروفیل زنی آرایه مربعی در دره کال قرنو

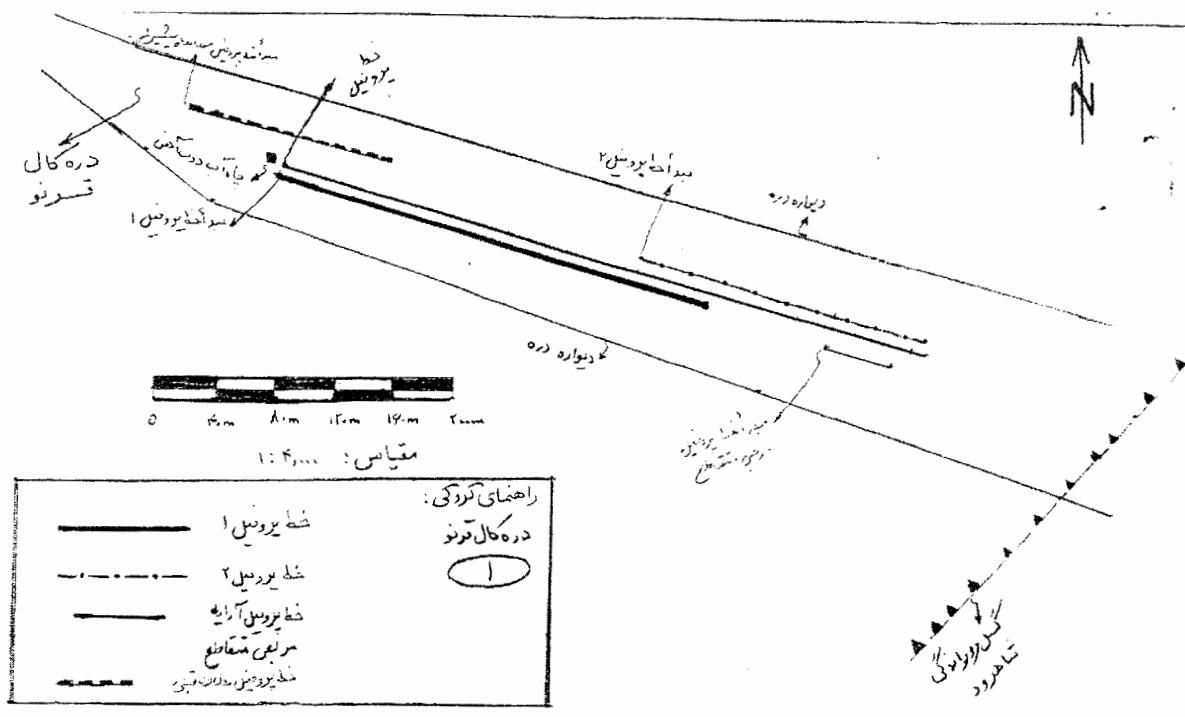
مطالعات در دره کال قرنو با روش پروفیل زنی ببروی سه خط پروفیل به طول های ۳۰۰، ۴۵۰ و ۱۹۵ متر انجام شده است. این مطالعات به منظور بررسی قابلیت های آرایه مربعی در تعیین محل و راستای شکستگی های پنهان و مناطق اطراف آن در دره کال قرنو انجام شد. برای انجام این مطالعات ابتدا زمین شناسی دره مورد بررسی قرار گرفت. با بازدید زمین شناسی از دره مشخص گردید که اولاً، منطقه دارای چند شکستگی می باشد و ثانياً، عرض دره بسیار کم و حداکثر در حدود ۸۰ متر می باشد. همچنین دره، دارای وضعیتی کاملاً نامنظم است، بطوری که در فواصل کمتر از ۱۰۰ متر، جهت دره تغییر می کند. از آنجاکه قصد بر آن بود تا داده های پروفیل زنی روی یک خط راست و بدون شکستگی و به موازات دره، برداشت شود، با تلاش فراوان خط پروفیل اصلی طوری انتخاب گردید تا نسبت به دره متقارن باشد. همچنین با توجه به اینکه در نظر بود در مرحله دیگری از مطالعات در دره کال قرنو راستای شکستگی های احتمالی به کمک آرایه مربعی متقطع تعیین شود و با توجه به عرض ۸۰ متری دره، طول ضلع مربع برای تمامی مربع ها در هر سه پروفیل، ۶۰ متر انتخاب شد. در نتیجه با توجه به رابطه (۷-۲) فاکتور هندسی برابر با $638/64$ بدست می آید. این انتخاب قابل قبول بود، زیرا علاوه بر حل معطل کم عرض بودن دره، عمق مورد نظر در مطالعه حاضر را نیز پوشش می داد. چراکه با توجه به مطالعات قبلی انجام شده در این منطقه، ضخامت آبرفت، در محل چاه ذوب آهن، حدوداً ۲۳ متر بوده است [۲]. از آنجا که، با توجه به تئوری این روش، عمق نفوذ مربعی به ضلع ۶۰ متر حدوداً ۳۶ متر می باشد، لذا با استفاده از مربعی به ضلع ۶۰ متر نیز از آبرفت عبور کرده و به سنگ کف، که هدف این پایان نامه بوده است، می رسیدیم.

حال به بررسی چگونگی طراحی شبکه برداشت، اندازه گیری داده ها و تفسیر نتایج هر کدام از این پروفیل ها می پردازیم. لازم به ذکر است که تمامی پروفیل ها که بصورت کروکی در شکل ۳-۳ نمایش داده شده اند، روی یک خط راست با آزمودت ۸۸ درجه قرار دارند.

۳-۶-۱- طراحی شبکه برداشت پروفیل ۱

در مرحله اول از مطالعات در دره کال قرنو قصد بر آن بود که قابلیت پروفیل زنی آرایه مربعی در تعیین محل شکستگی و گسل ها مشخص گردد. در نتیجه خط پروفیل ۱ بطول ۳۰۰ متر طراحی شد. مبدا این پروفیل مطابق شکل ۳-۳ در ۶ متری شرق چاه ذوب آهن در نظر گرفته شد. در ابتدا قرار بود که مبدا خط پروفیل ۱ در فاصله ۳۰ متری غرب چاه ذوب آهن انتخاب گردد تا بتواند گسل فرعی ای که طبق مطالعه قبلی انجام گرفته در دره کال قرنو از نزدیکی چاه می گذشت را نیز مشخص کند. اما عرض دره در سمت غرب چاه ذوب آهن، بسیار کم و در حدود ۳۵ متر بود که این عرض برای مطالعه عمق مورد نظر کافی نبود.

برای ایجاد همپوشانی میان داده ها، فواصل ایستگاههای اندازه گیری روی خط پروفیل ۲۵ متر در نظر گرفته شد. مبدا خط پروفیل ۱ مطابق شکل ۳-۳، در فاصله ۶۶ متری مبدا خط پروفیل مطالعه پیشین انجام شده قرار داشت.



شکل ۳-۳- نمایش شماتیک خط پروفیل انتخابی در دره کال قرنو. در کروکی

همچنین وضعیت پروفیل ها نسبت به هم ارائه شده است.

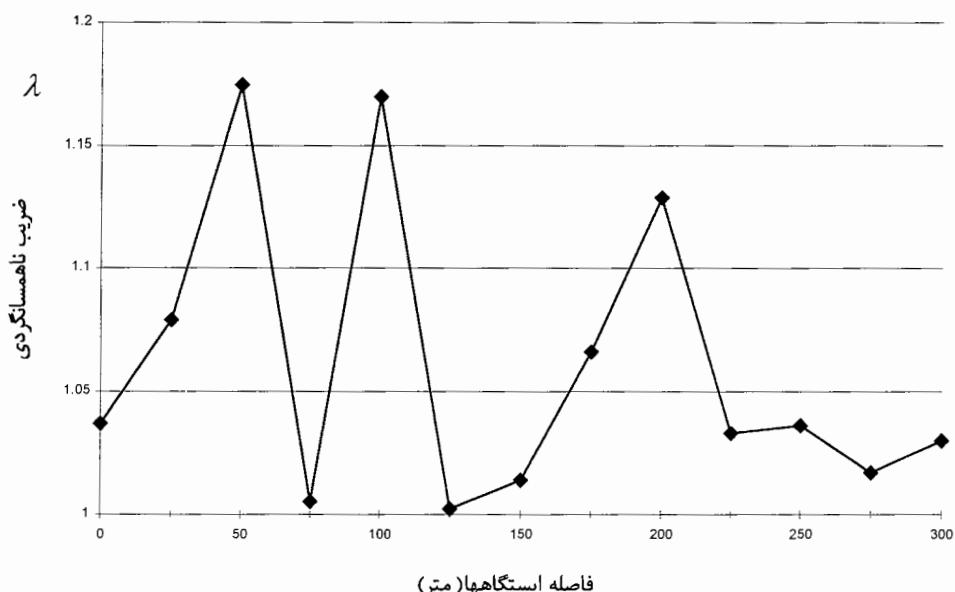
۲-۶-۳- اندازه گیری داده ها

با توجه به تئوری آرایه مربعی، در هر ایستگاه سه مقاومت R_α , R_β و R_γ اندازه گیری می شد. در طی انجام برداشت که در این مرحله توسط دستگاه SAS300C انجام گردید، برقراری شرط سه پتانسیلی و خطای قابل قبول برای انحراف از شرط سه پتانسیلی مورد کنترل قرار می گرفت. سپس با توجه به رابطه (۸-۲) مقاومت ویژه میانگین و ضریب ناهمسانگردی برای هر ایستگاه اندازه گیری، محاسبه و بر حسب فاصله ایستگاه ها بصورت یک منحنی رسم گردیده است (شکل ۴-۳ و ۵-۳).

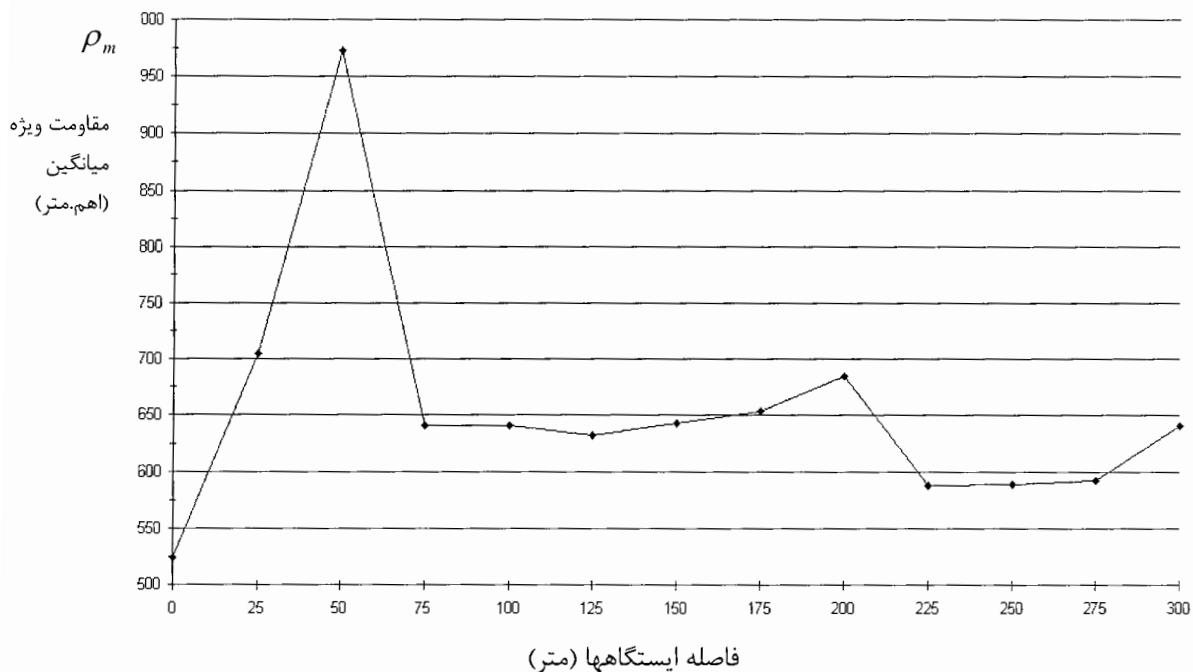
۳-۶-۳- بررسی و تفسیر نتایج خط پروفیل اول

در شکل ۳-۴ تغییرات ضریب ناهمسانگردی بر حسب مختصات ایستگاه های اندازه گیری رسم شده است. همان طور که در این شکل دیده می شود، در ایستگاه هایی که در فاصله ۵۰، ۱۰۰ و

۲۰۰ متری از مبدا خط پروفیل قرار دارند، ضریب ناهمسانگردی نسبت به نقاط مجاور بیشتر می باشد. این مقادیر در سه نقطه فوق به ترتیب عبارتند از : ۱/۱۷۵، ۱/۱۷ و ۱/۱۲۹. از آنجا که مقدار بالای ضریب ناهمسانگردی نشانگر شدت بیشتر ناهمسانگردی و یا بطور ضمنی بیانگر وجود شکستگی در محل آن بیشینه نسبی می باشد، در نتیجه انتظار می رود در این سه نقطه دارای شکستگی هایی باشیم. بررسی شکل ۳-۵ نشان می دهد که مقاومت ویژه متوسط در عمق متناظر با ضلع ۶۰ متری، حدودا ۳۶ متری، بسیار بالاست. این مقادیر بیشتر از ۵۰۰ اهم متر می باشند. نتیجه جالب توجه بالا بودن مقاومت ویژه میانگین در دو ایستگاه ۵۰ و ۲۰۰ متری از مبدا خط پروفیل می باشد. مقاومت ویژه در سه نقطه ۵، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری به ترتیب ۹۷۳/۳، ۶۸۵/۳ و ۶۴۲/۵ اهم- متر است.



شکل ۳-۴- تغییرات ضریب ناهمسانگردی بر حسب مختصات ایستگاه ها.



شکل ۳-۵- تغییرات مقاومت ویژه میانگین بر حسب مختصات ایستگاهها.

علی رغم این که نمودار مقاومت ویژه میانگین در ایستگاه ۱۰۰ متری دارای بیشینه ای نسبت به نقاط اطراف نیست، اما این نقطه نیز دارای مقاومت ویژه بسیار بالایی است. با توجه به بررسی ضریب ناهمسانگردی و مقاومت ویژه، روی خط پروفیل ۱، به این نتیجه می رسیم که سه نقطه ناهمسانگرد روی این خط پروفیل در فواصل ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری از مبدأ وجود دارد که با توجه به شواهد زمین شناسی منطقه می توان آنها را بعنوان محل شکستگی های مدفون در نظر گرفت. بررسی های عکس های منطقه مورد مطالعه که در پیوست آمده است، مبین صحت نتایج بدست آمده می باشد.

بررسی عکس هوایی منطقه که در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شده است [۶] نیز وجود این شکستگی ها را در فواصل ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری ثابت می کند (شکل ۳-۶). در نتیجه با توجه به نتایج پروفیل ۱ می توان با اطمینان گفت که آرایه مربعی قادر است محل شکستگی های مدفون را با

دقت بالایی تشخیص دهد. در عکس زیر شکستگی های قابل تشخیص با خطی سفید مشخص شده است. همچنین خط پروفیل اصلی با خطی مشکی، محل تقریبی چاه با یک نقطه کوچک مشکی و منطقه مورد مطالعه نیز با یک بیضی خط چین مشخص شده است.



شکل ۳-۶- عکس هوایی منطقه دره کال قرنو(مقیاس ۱:۲۰۰۰۰) [۶]

نتایج اندازه گیری روی خط پروفیل ۱ بطور خلاصه در جدول ۳-۱ آمده است. این جدول شامل مقادیر ρ_m و λ برای ۱۳ مربع خط پروفیل ۱ می باشد.

۳-۶-۴- مقایسه نتایج حاصل از پروفیل زنی با آرایش مربعی و نیم شلومبرژه متقارن در شکل ۳-۷ شبه مقطع به دست آمده از روش نیم شلومبرژه متقارن آمده است [۲]. در این شبه مقطع، محل چاه ذوب آهن با فلش در فاصله ۶۰ متری نشان داده شده است. مبدا خط پروفیل

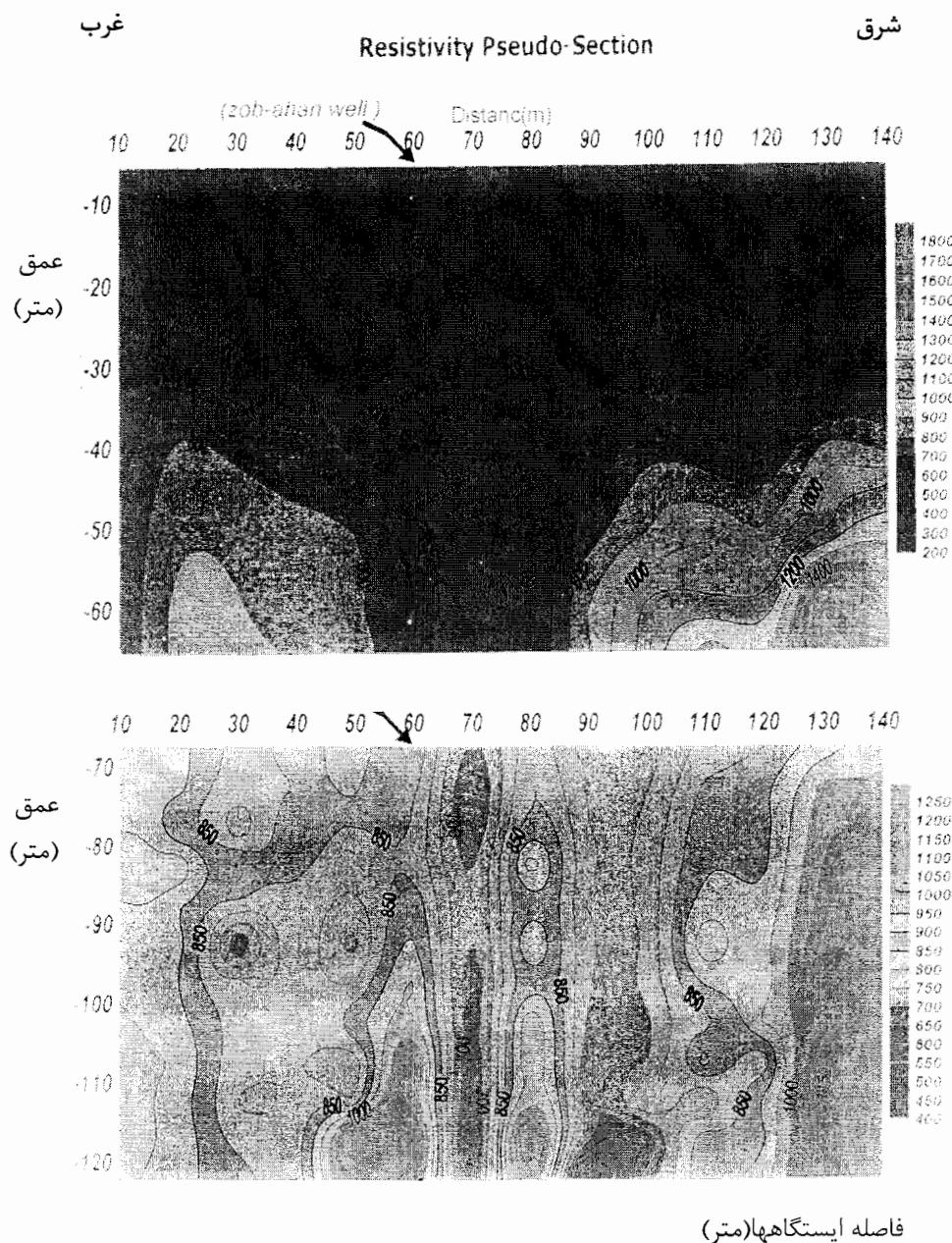
مطالعات انجام شده در بررسی با آرایه مربعی در ۱۰ متری شرق محل چاه قرار دارد. با توجه به هم پوشانی ۷۰ متری پروفیل مطالعه پیشین با خط پروفیل اندازه گیری آرایه مربعی، به مقایسه نتایج حاصل می پردازیم.

جدول ۱-۳- نتایج پروفیل زنی آرایه مربعی (خط ۱).

شماره ایستگاه	مختصات ایستگاه (متر)	ρ_m (اهم. متر)	λ
۱	۰	۵۲۳/۶۸	۱/۰۳۷
۲	۲۵	۷۰۵/۰۵	۱/۰۷۹
۳	۵۰	۹۷۳/۲۸	۱/۱۷۵
۴	۷۵	۶۴۰/۵۵	۱/۰۰۵
۵	۱۰۰	۶۴۰/۵۵	۱/۱۱۷
۶	۱۲۵	۶۳۲/۲۵	۱/۰۰۲
۷	۱۵۰	۶۴۲/۴۷	۱/۰۱۴
۸	۱۷۵	۶۵۳/۳۲	۱/۰۶۹
۹	۲۰۰	۶۸۵/۲۶	۱/۱۲۹
۱۰	۲۲۵	۵۸۷/۵۴	۱/۰۳۳
۱۱	۲۵۰	۵۸۸/۸۲	۱/۰۳۶
۱۲	۲۷۵	۵۹۲/۰۱	۱/۰۱۷
۱۳	۳۰۰	۶۴۱/۱۹	۱/۰۳

همان گونه که از این شبه مقطع مشخص است، در نقطه ۱۲۰ متری روی شبه مقطع روش نیم شلومبرژه در عمقی پایین تر از روباره، متوجه وجود یک مقاومت ویژه بسیار بالا می شویم. نقطه ۱۰ روی خط پروفیل ۱ آرایه مربعی که همان نقطه ۱۲۰ روی شبه مقطع نیم شلومبرژه است نیز دارای مقاومت ویژه بسیار بالایی می باشد. علاوه بر این به نظر می رسد نتایج سمت چپ این نقطه نیز (کاهش مقاومت ویژه) دارای همخوانی قابل قبولی باشد. با روش نیم شلومبرژه متقاضی توان تغییرات مقاومت ویژه را در یک راستا اندازه گیری کنیم.

اما با توجه به ضریب ناهمسانگردی بالا در این منطقه، جهت گیری آرایه تاثیر مهمی در مقادیر مقاومت ویژه به دست آمده دارد.



شکل ۳- شبه مقطع به دست آمده از نتایج مطالعه در دره کال قرنو با آرایه نیم شلومبرژه متقارن [۲].

آرایه نیم شلومبرژه متقارن یکی از آرایه هایی است که برای تعیین گسل ها پاسخ بسیار خوبی می

دهد [۲]. اما تجربه نگارنده نشان داده است که برداشت با آرایه نیم شلومبرژه متقارن، کند و دشوار می باشد. با توجه به همخوانی نتیجه آرایه مربعی و این آرایه در چند نقطه یکسان و با توجه به نتایج بیشتری که به کمک آرایه مربعی بدست می آید، به نظر می رسد این آرایه می تواند جایگزین خوبی برای آرایه نیم شلومبرژه متقارن به منظور تعیین شکستگی و گسل باشد. علاوه بر این به نظر می رسد در زمین هایی که دارای راستای شکستگی مشخص نیستند، آرایه مربعی دارای مزایایی نسبت به آرایه نیم شلومبرژه متقارن می باشد، زیرا دانستن راستا در برداشت و نتایج به دست آمده با آرایه نیم شلومبرژه متقارن ضروری است ولی در آرایه مربعی دانستن این مطلب الزامی نیست.

۳-۵- طراحی شبکه برداشت پروفیل دوم

هدف مرحله دوم مطالعات در دره کال قرنو تعیین راستای شکستگی های پنهان علاوه بر تعیین محل آن ها بوده است. مبدأ اندازه گیری های خط پروفیل ۲، در فاصله ۲۵۰ متری شرق چاه ذوب آهن قرار دارد(شکل ۳-۳). در این قسمت نیز دوباره با مشکل کم عرض بودن دره مواجه بودیم. در نتیجه تصمیم گرفته شد تا هم راستای خط پروفیل و هم اندازه مربع ها نسبت به خط پروفیل ۱ تغییری نکند. همچنین خط پروفیل ۲ طوری طراحی شده است تا در حدود ۶۰ متر، با خط پروفیل ۱ همپوشانی داشته باشد. فاصله ایستگاه های اندازه گیری در خط پروفیل ۲، ۱۵ متر در نظر گرفته شده است. کاهش فاصله ایستگاه های اندازه گیری مربع ها در خط پروفیل ۲ به این دلیل بود که با افزایش همپوشانی مربع ها، نتایج به دست آمده دقیق تر از خط پروفیل ۱ باشند. چرا که در نظر بود، علاوه بر تعیین محل شکستگی های احتمالی، با بکارگیری آرایه مربعی متقطع نیز مطالعاتی انجام شود تا بتوان تخمینی از راستای شکستگی نیز به دست آورد.

۳-۶- برداشت داده های خط پروفیل دوم

داده های اندازه گیری شده روی خط پروفیل ۲ نیز مانند خط پروفیل ۱، شامل اندازه گیری R_α ، R_β و R_γ در هر ایستگاه بوده است. همچنین داده های به دست آمده از پروفیل زنی آرایه مربعی

روی خط پروفیل نیز هم از لحاظ شرط سه پتانسیلی و هم از لحاظ میزان انحراف از شرط سه پتانسیلی کنترل گردیده اند و تقریبا در تمام موارد میزان انحراف از شرط سه پتانسیلی قابل قبول بوده است. در جدول ۲-۳ خلاصه نتایج حاصل از برداشت روی خط پروفیل ۲ آمده است. در این جدول علاوه بر λ و Re و R_a نیز برای مقایسه و بررسی میزان صحت نتایج آمده است. با نوجه به این که برداشت داده ها روی خط پروفیل دوم با استفاده از دستگاه SAS1000 انجام شده است، که این دستگاه میزان انحراف معیار مقاومت ویژه های اندازه گیری شده را نیز نشان می دهد. بنابراین علاوه بر شرایط حاکم بر آرایه مربعی، می توان صحت داده ها را نیز کنترل نمود. در نتیجه داده ها با دقت بالا اندازه گیری شده اند، به طوری که در تمامی اندازه گیری ها میزان انحراف معیار بسیار کمتر از ۵٪ درصد بوده است.

جدول ۲-۳- نتایج بدست آمده از پروفیل زنی روی خط پروفیل ۲.

شماره ایستگاه	مختصات ایستگاه(متر)	ρ_m (اهم.متر)	λ	R_s (اهم)	$0.10^3 \times R_a$ (اهم)
۱	-	۵۶۷/۳	۱/۰۱۴	-۰/۰۰۶۵	۰/۰۲۷
۲	۱۵	۵۶۲/۵	۱/۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۲۸
۳	۳۰	۵۶۲/۹	۱/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۲۶
۴	۴۵	۵۸۸/۶	۱/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۲۹
۵	۶۰	۵۹۵/۲	۱/۰۳	-۰/۰۱	۰/۰۲۹
۶	۷۵	۶۰۴/۹۵	۱/۰۰۸	-۰/۰۰۳	۰/۰۲۸
۷	۹۰	۵۹۹/۱	۱/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸
۸	۱۰۵	۵۷۹/۵	۱/۰۴۸	-۰/۰۱	۰/۰۲۸
۹	۱۲۰	۵۷۴/۵	۱/۰۱۵	-۰/۰۰۷	۰/۰۲۷
۱۰	۱۳۵	۵۷۲/۵۸	۱/۱۱	-۰/۰۰۹	۰/۰۳
۱۱	۱۵۰	۵۵۲/۹۳	۱/۲۸	۰/۰۵	۰/۰۳۳
۱۲	۱۶۵	۵۲۸/۸۹	۱/۲۷	-۰/۰۰۸	۰/۰۳۱
۱۳	۱۸۰	۴۹۳	۱/۲	۰/۰۰۹	۰/۰۲۷
۱۴	۱۹۵	۴۵۹/۰۹	۱/۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۲۵

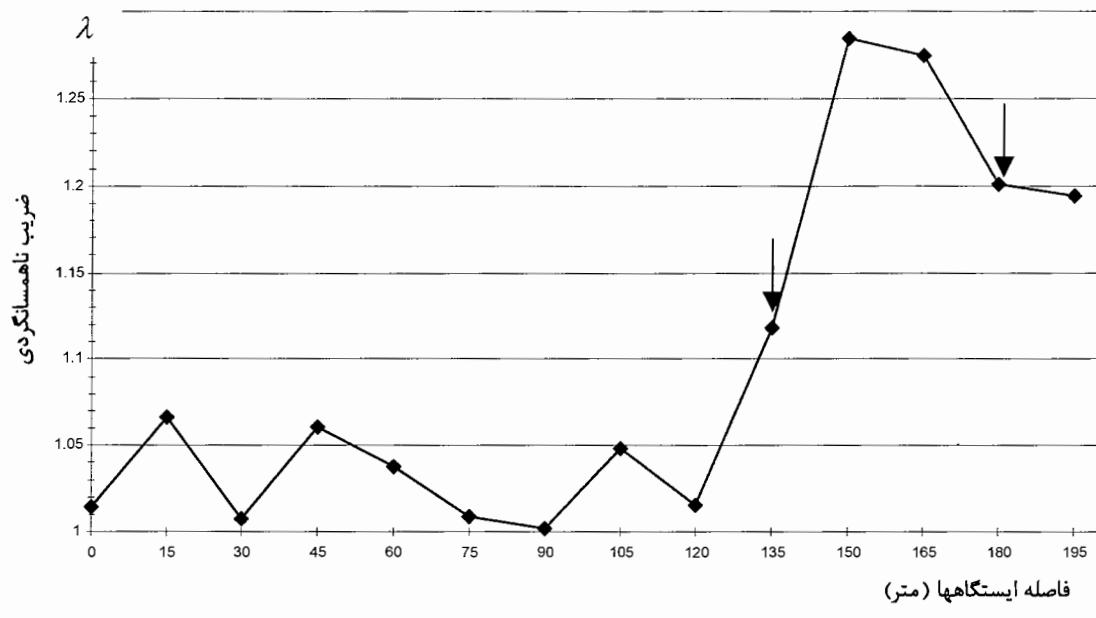
۷-۳-۲- تفسیر داده های خط پروفیل ۲

در شکل ۷-۳ تغییرات ضریب ناهمسانگردی، λ ، بر حسب ایستگاه ها نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می شود، مقادیر λ از مبدا خط پروفیل ۲ تا ایستگاهی که در فاصله ۱۲۰ متری از مبدا قرار دارد، دارای مقداری کوچکتر از $1/0.8$ می باشند. اما از ایستگاه اندازه گیری ۱۳۵ متری تا ایستگاه ۱۹۵ متری، شاهد مقادیر ضریب ناهمسانگردی بسیار بالایی می باشیم. در نگاه اول به نظر می رسد که برخلاف خط پروفیل ۱، در اینجا با یک زون دارای شکستگی مواجه هستیم. چراکه ضریب ناهمسانگردی در این فاصله (۱۳۵ متری تا 180 متری)، کاهش محسوسی نمی کند. همچنین به نظر می رسد که از ایستگاه 180 متر به بعد، مقدار λ کاهش می یابد البته این کاهش تدریجی بوده و ادامه روندی است که از نقطه 150 متری آغاز شده است. به نظر می رسد ادامه برداشت برای رسیدن به مقادیر بسیار پایین تر λ لازم بوده است. در واقع، نقطه با مختصات 150 دارای حداقل ضریب ناهمسانگردی می باشد. در مجموع با توجه به نمودار ضریب ناهمسانگردی می توان به دو نتیجه زیر رسید که هر کدام می توانند درست باشند.

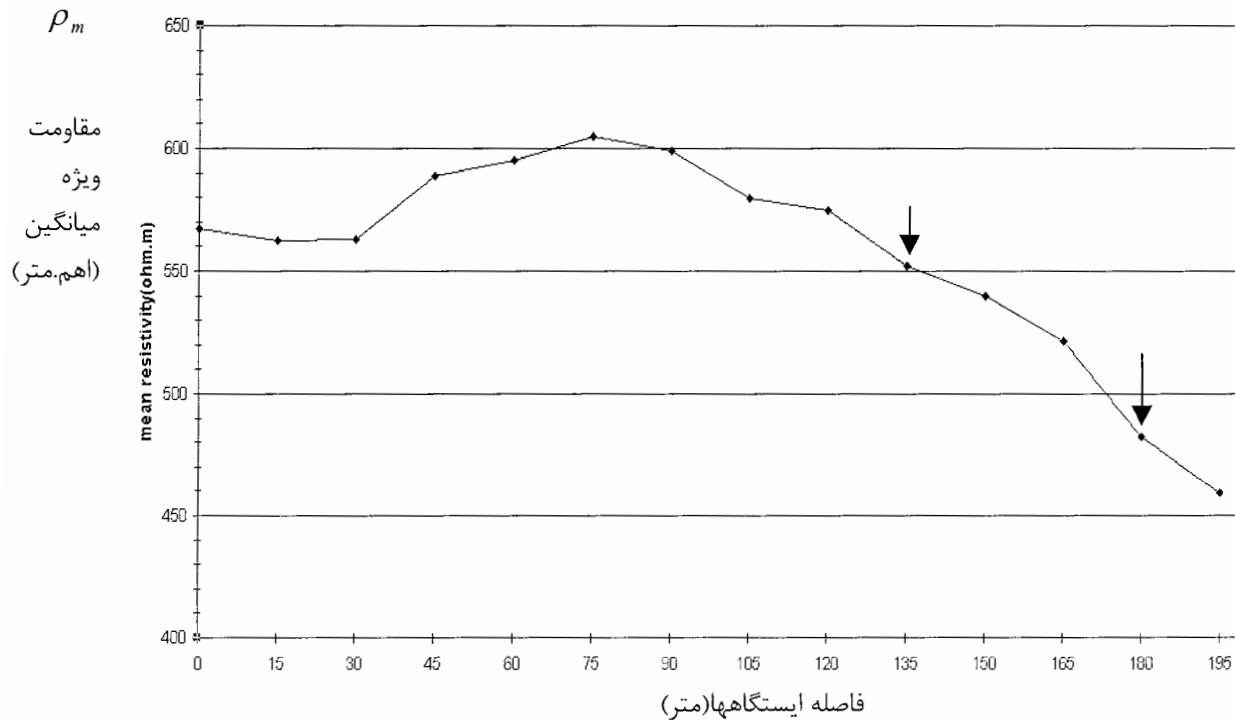
۱ - در فاصله 135 تا 180 متری یک زون شکسته شده وجود دارد.

۲ - در فاصله 135 تا 180 متری چند شکستگی کاملا مستقل از یکدیگر وجود دارد.

پس از انجام برداشت ها و تفسیر نتایج، با بررسی عکس هوایی منطقه مشخص گردید که گسل عمده روراندگی شاهروod از قسمتی از دره کال قرنو نیز عبور می کند. با بررسی نمودار تغییرات m نسبت به فواصل ایستگاه های اندازه گیری (شکل ۷-۳)، ملاحظه می شود که مقادیر مقاومت ویژه متوسط تقریبا دارای مقاومت ویژه 480 اهم- متر تا 610 اهم- متر می باشند. در این شکل در فواصل 135 متری تا 180 متری، شاهد روند نزولی در مقادیر به دست آمده هستیم. این مقادیر از 550 اهم - متر شروع و به 480 اهم- متر ختم می شود. با مقایسه تغییرات ضریب ناهمسانگردی و مقاومت ویژه متوسط به دست آمده در این فاصله و نتایج به دست آمده از مطالعات بنین در آفریقا^[۵]، احتمال آب دار بودن این شکستگی نیز وجود دارد. چراکه همزمان با



(الف)



(ب)

شکل ۳-۸-۳- تغییرات ناهمسانگردی (الف) و مقاومت ویژه میانگین (ب) بر حسب مختصات ایستگاهها (خط پروفیل ۲).

افزایش مقادیر m در در فاصله ۱۳۵ متری تا ۱۸۰ متری، مقادیر m در همان فاصله کاهش می یابد. وجود یک گسل آب دار در فاصله ۴۰۰ متری غرب این نقطه (محل چاه) می تواند احتمال صحت این ادعا را قوت ببخشد. اما برای بررسی بیشتر می توان از نتایج حاصل از آرایه مربعی متقارن نیز که در این فاصله انجام شده است، استفاده کرد.

۷- ب داشت و تفسیر داده های پروفیل زنی آرایه مربوطی منقاد از

۱-۱-۷- صاحب نیکه و داشت آرایه می بعیست تقاطع و انداده تبعی داده ها

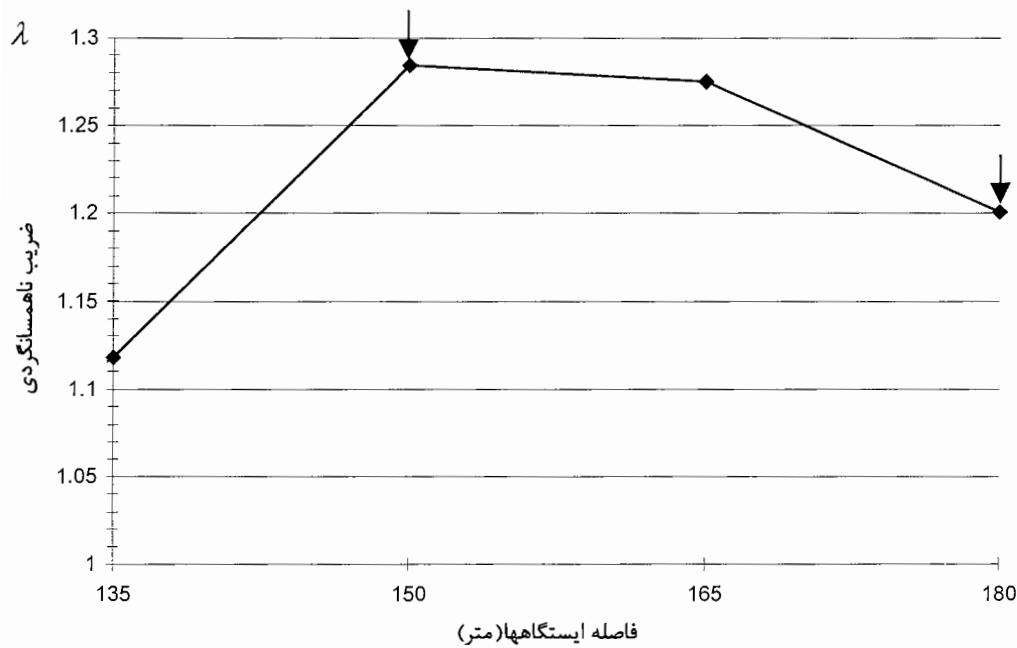
پس از بررسی نتایج خط پروفیل ۲ مشخص شد که فاصله ۱۳۵ متری تا ۱۸۰ متری دارای ضریب ناهمسانگردی بسیار بالا می باشد. در نتیجه برای مطالعه دقیق و تعیین راستای شکستگی، برداشتی با روش پروفیل زنی آرایه مربعی متقطع در فاصله ۱۳۵ تا ۱۸۰ متری انجام شد. برای اجرای این کار از مربع هایی به ضلع ۶۰ متر استفاده گردید. راستای پروفیل همانند پروفیل های قبلی بوده است. برای انجام پروفیل زنی با آرایه مربعی متقطع، اندازه گیری روی مربع دومی که نسبت به مربع اول، ۴۵ درجه چرخیده بود، انجام شد. در برداشت داده های مربع چرخیده، R_α' و R_β' اندازه گیری شدند. در این اندازه گیری ها خطای زیر ۵/۰ درصد بوده است. در جدول ۳-۳ و ρ_m به دست آمده از این پروفیل زنی آمده است. همچنین نمودار تغییرات λ و ρ_m در شکل های ۹-۳ و ۱۰-۳ نمایش داده شده است.

جدول ٣-٣- نتائج پیوفیل آرایه عربی مقاطع.

شماره ایستگاه	مختصات ایستگاه (متر)	ρ_m (اهم. متر)	λ
۱	۱۳۵	۵۸۴	۱/۱۱۷۹
۲	۱۵۰	۵۹۶	۱/۲۸۴۳
۳	۱۶۵	۵۷۹/۴	۱/۲۷۴۹
۴	۱۸۰	۵۳۱	۱/۲۰۰۸

۲-۷-۳- تفسیر داده های به دست آمده از آرایه مربعی متقطع

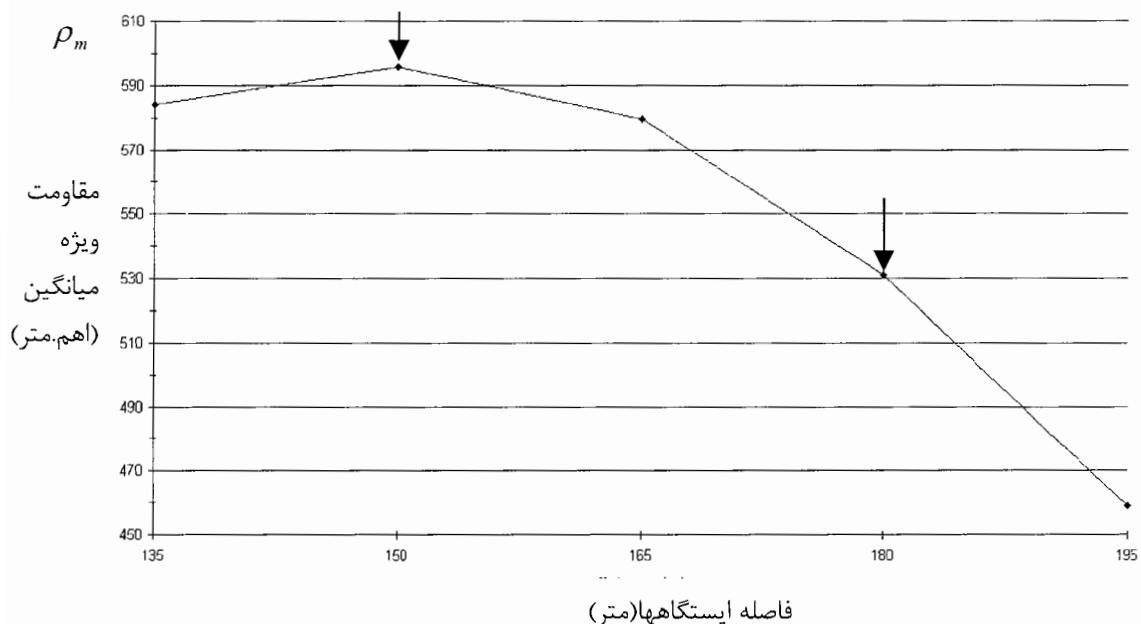
در شکل ۳-۹ نمودار تغییرات λ در فاصله ۱۳۵ تا ۱۸۰ متری ارائه شده است. در این شکل ملاحظه می شود که ضریب ناهمسانگردی بسیار بالا می باشد. همچنین نمودار تغییرات ρ_m در فاصله ۱۳۵ تا ۱۸۰ متری در شکل ۳-۱۰ آمده است. مقایسه دو نمودار ۸-۳ و ۱۰-۳ نشان می دهد که میان این دو، تفاوت کوچکی وجود دارد. در شکل ۳-۸، ρ_m در فاصله ۱۳۵ تا ۱۸۰ متری روندی کاملاً نزولی دارد. در حالیکه در شکل ۳-۱۰، ρ_m از نقطه ۱۳۵ متری تا نقطه ۱۵۰ متری افزایش می یابد و بعد از آن تا ۱۸۰ متری کاهش می یابد. با توجه به اینکه مقاومت ویژه میانگین به دست آمده از آرایه مربعی متقطع، مقاومت ویژه چهار جهت مختلف را در بر دارد در نتیجه،



شکل ۳-۹- نمودار تغییرات ضریب ناهمسانگردی بر حسب مختصات ایستگاهها.

نتایج حاصل از آن قابل اعتمادتر می باشد. بررسی نتایج آرایه مربعی متقطع نشان می دهد که در فاصله ۱۳۵ تا ۱۸۰ متری، به جز قسمت ۱۳۵ تا ۱۵۰ متری، احتمال آب دار بودن وجود دارد. چرا

که در این قسمت (۱۵۰ تا ۱۸۰ متری)، شاهد مقدار ضریب ناهمسانگردی بالا (بزرگتر از ۱/۲) و روند کاهشی مقاومت ویژه هستیم.



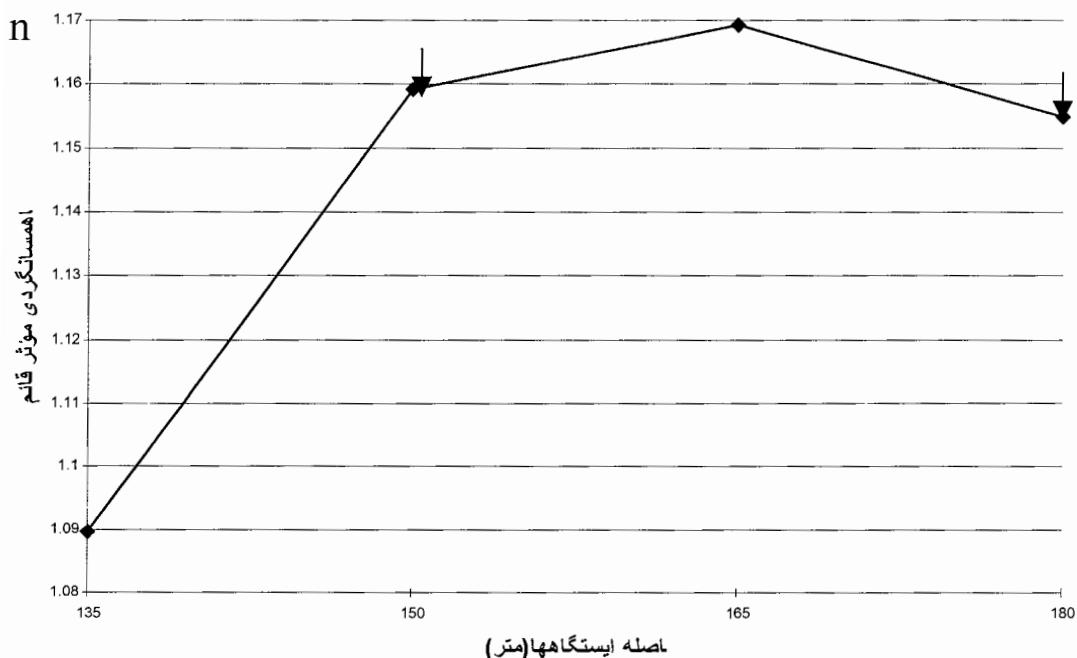
شکل ۳-۱۰- نمودار تغییرات مقاومت ویژه میانگین بر حسب مختصات ایستگاهها (خط پروفیل مربعی متقطع)

۳-۷-۳- تعیین ناهمسانگردی موثر قائم

با استفاده از رابطه (۱۸-۲) می توان ناهمسانگردی موثر قائم را در فاصله ۱۳۵ تا ۱۸۰ متری محاسبه نمود. نمودار تغییرات n در این فاصله در شکل ۳-۱۱ آمده است. ناهمسانگردی موثر قائم به دست آمده نشان می دهد که مقدار n در نقاط ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰ متری بیشتر از ۱/۱ و در نقطه ۱۳۵ متری کمتر از ۱/۱ می باشد. همانطور که می دانیم، هرچقدر n فاصله بیشتری از ۱ داشته باشد، لایه بندی ها شیب دار تر هستند. بنابراین با استفاده از مقدار n می توان شیب لایه بندی، α ، را با استفاده از رابطه (۱۹-۲) به دست آورد.

محاسبات نشان می دهند که α در فاصله ۱۳۵ تا ۱۸۰ متری از ۴۶ تا ۶۰ درجه تغییر می کند

(جدول ۴-۳).

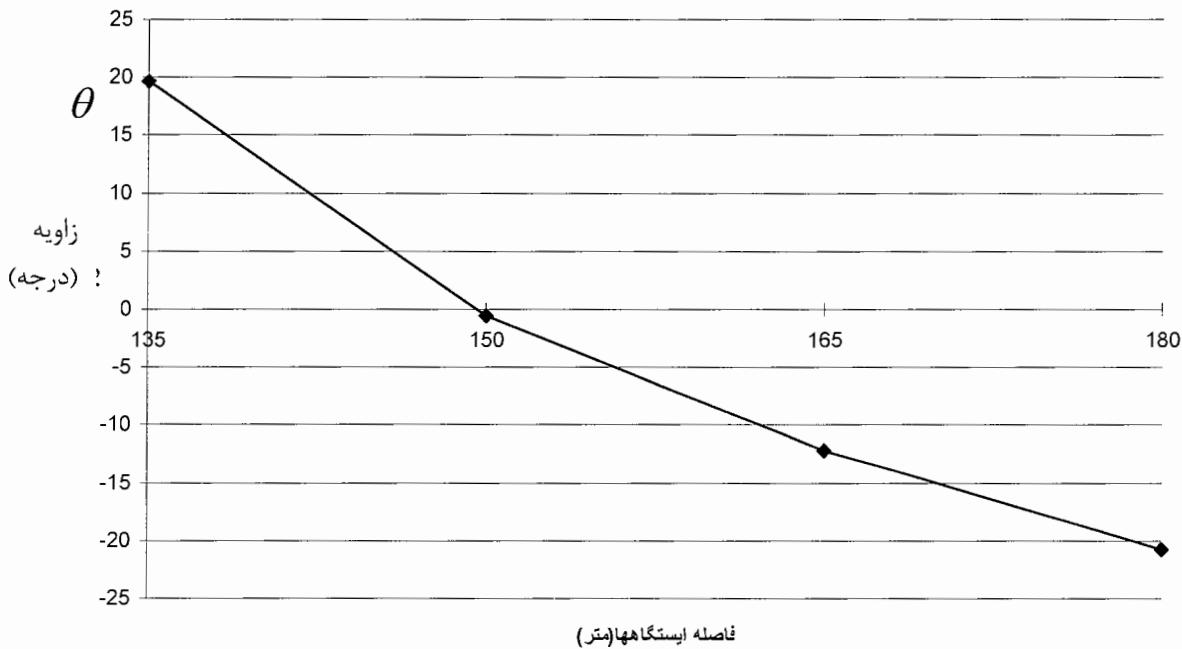


شکل ۱۱-۳- تغییرات ناهمسانگردی مؤثر قائم خط پروفیل آرایه مربعی متقطع.

۴-۷-۳- تعیین راستای شکستگی

یکی از پارامترهایی که تنها با استفاده از آرایه مربعی متقطع می‌توان بطور کمی آنرا به دست آورد، راستای شکستگی است. این پارامتر از طریق رابطه (۱۶-۲) به دست می‌آید. با استفاده از این رابطه و داده‌های اندازه گیری شده، که θ زاویه بین راستای شکستگی و خط جریان در حالت آرایش α است، در چهار نقطه ۱۳۵ تا ۱۸۰ متری به ترتیب عبارتند از: $20 + 0/5$ درجه، $12 - 0/5$ درجه، $21 - 0/5$ درجه و $19 - 0/5$ درجه (شکل ۱۲-۳). راستاهای محاسبه شده بنابراین قرارداد، بصورت پادساعتگرد و نسبت به خط جریان در حالت آرایش α محاسبه می‌شوند. از آنجا که خط جریان در حالت آرایش α در دره کال قرنو تقریباً دارای راستای شمالی - جنوبی (AZ ۱۷۸) بوده است، در نتیجه آزمیوت راستای شکستگی در چهار نقطه به ترتیب $158 - 0/5$ درجه، $178/5$ درجه، $10 - 0/5$ درجه و $19 - 0/5$ درجه می‌باشد.

چهار شکستگی فوق تقریباً دارای راستای شمالی - جنوبی هستند. با بررسی عکس های هوایی در فاصله ۴۰۰ متری از چاه و روی پروفیل های اصلی یک شکستگی با راستای شمالی جنوبی دیده



شکل ۳-۱۲-۳- تغییرات زاویه بین خط جريان در حالت α و راستای شکستگی.

می شود(شکل ۳-۶). همچنین بررسی عکس هوایی نشان می دهد که در گوشه سمت چپ عکس یک سری گسل با راستای شمالی - جنوبی روی دره منتهی به دره کال قرنو عمل کرده اند. با توجه به وجود شکستگی و گسل هایی با راستای شمالی - جنوبی در اطراف منطقه، احتمال وجود شکستگی و گسل در مناطق اطراف آن نیز وجود دارد. مشاهدات صحرایی زمین شناسی نیز وجود چنین شکستگی با راستای تقریباً شمالی - جنوبی را تایید می کنند. برای بررسی میزان دقیق زاویه های به دست آمده و اینکه این زوایا تا چه حد قابل قبول هستند، به مقایسه ضریب ناهمسانگردی به دست آمده در این پایان نامه و مطالعاتی که در ایالت یورک شایر آمریکا انجام شده است[۲۶]، می پردازیم. در مطالعات یورک شایر بیان شده بود که اگر مقدار n از $1/1$ بیشتر

باشد، در این صورت راستای محاسبه شده دارای دقت اندازه گیری خوبی است. در نتیجه با توجه به نکته فوق می توان گفت که راستای به دست آمده از سه نقطه ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰ متری با دقت بالای قابل قبول می باشند.

۳-۷-۵- بررسی ضریب ناهمخوانی ناهمسانگردی (ANCR)

برای بررسی صحت اندازه گیری های آرایه مربعی متقطع از تحلیل ضریب ناهمخوانی ناهمسانگردی (ANCR) استفاده می شود. همان گونه که در فصل دوم گفته شد، کارکرد ضریب ناهمخوانی ناهمسانگردی در آرایه مربعی متقطع هم ارز R در آرایه مربعی می باشد. نمونه ای از مقادیر ANCR در شکل های ۱۳-۲ و ۱۴-۲ آمده است. مقادیر ANCR از رابطه (۲۱-۲) به دست می آیند.

در مطالعه حاضر نیز به بررسی ضریب ناهمخوانی ناهمسانگردی داده های پروفیل زنی آرایه مربعی متقطع پرداختیم. مقادیر به دست آمده در جدول ۳-۴ ارائه شده است. مقایسه مقادیر ضریب ناهمخوانی ناهمسانگردی به دست آمده از این مطالعات با نتایج مطالعات انجام شده قبلی (شکل های ۱۳-۲ و ۱۴-۲) نشان می دهد نتایج به دست آمده از این پایان نامه دارای دقت بسیار بهتر از کارهای انجام شده قبلی می باشد. در جدول ۳-۴ همچنین خلاصه نتایج تفسیر پروفیل زنی با آرایه مربعی متقطع آمده است.

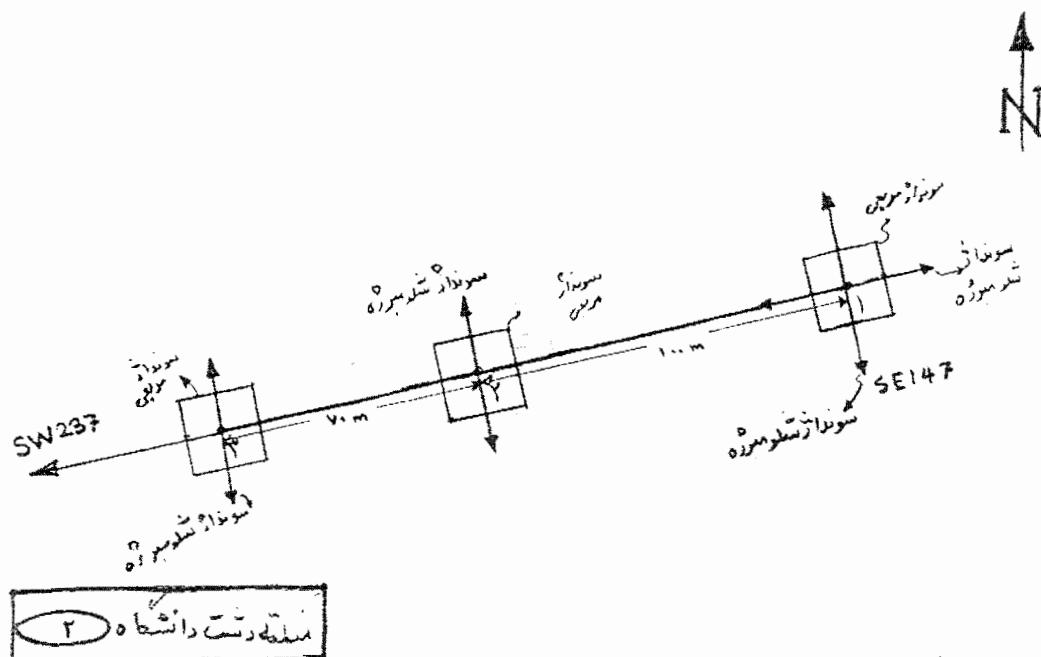
جدول ۳-۴- نتایج تفسیر پروفیل زنی با آرایه مربعی متقطع

شماره ایستگاه	مختصات ایستگاه (متر)	η	θ	α	آزمود راستای شکستگی	ANCR
۱	۱۳۵	۱/۰۸۹۵	۲۰	۵۹/۹۶	۱۵۸/۵	-۰/۰۱۲
۲	۱۵۰	۱/۱۵۹۲	-۰/۵	۴۶/۷۱	۱۷۸/۵	-۰/۰۰۵
۳	۱۶۵	۱/۱۶۹۴	-۱۲	۵۰/۰۸	۱۰	-۰/۰۰۳
۴	۱۸۰	۱/۱۵۴۸	-۲۱	۶۰/۳۵	۱۹	-۰/۰۰۷

۸-۳- سوندازی الکتریکی

۱-۸-۳- طراحی شبکه برداشت

در بخشی دیگر از این پایان نامه، به بررسی امکان تفسیر داده های سوندازی آرایه مربعی پرداخته ایم. برای اجرای ایده فوق، مطالعاتی در جنوب کوه گیسو و در زمین خریداری شده توسط دانشگاه واقع در غرب شهرستان شاهروд انجام شد. برای تعیین خط پروفیل و نقاط سوندازی روی آن، وجود کوه گیسو و دکل های برق فشار قوی در شمال و عبور لوله گاز در جنوب منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. در نتیجه بهترین منطقه برای مطالعه بر اساس دوری از عارضه های فوق، انتخاب گردید. با در نظر گرفتن شرایط فوق، خط پروفیل با آزیموت ۲۳۷ درجه در نظر گرفته شد. روی این خط، پروفیل سه نقطه برای عملیات سوندازی انتخاب شد(شکل ۱۳-۳).



شکل ۱۳-۳- کروکی منطقه مورد مطالعه در دشت دانشگاه واقع در جنوب کوه گیسو(بدون مقیاس).

مختصات M.T.U. این نقاط در جدول ۳-۵ آمده است.

جدول ۳-۵- مختصات UTM نقاط سوندazer زنی در دشت دانشگاه.

شماره سوندazer	X	Y
۱	۲۱۶۲۰۵	۴۰۲۸۸۵۴
۲	۲۱۶۰۶۵	۴۰۲۸۸۰۰
۳	۲۱۶۹۹۰	۴۰۲۸۷۶۵

فاصله بین نقطه های اول و ثالث سوندazer ۱۰۰ و نقطه دوم و سوم ۷۵ متر در نظر گرفته شد. روی نقطه اول بک اندازه گیری بصورت سوندazer با آرایه مربعی انجام شده است. روش گسترش مربع مانند شکل ۲-۱۷-الف می باشد. کوچکترین مربع دارای ضلع ۱۲/۵ متر و بزرگترین مربع دارای ضلع ۴۰ متر بوده است. همچنین روی این نقطه دو سوندazer با آرایه شلومبرژه با حداقل طول AB برابر ۲۰ متر و حداکثر AB برابر ۱۰۰۰ متر انجام شده است. این دو سوندazer بر یکدیگر عمود می باشند. آزیمут راستای این دو آرایش ۱۴۷ درجه می باشد. روی نقطه اول دو سوندazer در دو راستای عمود برای بررسی تاثیر جهت گیری روی نتایج مقاومت ویژه انجام یافته است. همچنین راستای این دو سوندazer طوری طراحی شده تا به موازات دو ضلع مجاور مربع های بکار برده شده باشند. در نتیجه از آنجاکه در هر اندازه گیری با آرایه مربعی، دو اندازه گیری در دو راستای عمود بر هم انجام می گیرد (ρ_x و ρ_y)، این دو راستا با آرایه شلومبرژه نیز مورد بررسی قرار می گیرند تا بتوان مقایسه ای بین نتایج یک راستای خاص با دو آرایش نیز انجام داد.

همچنین روی نقطه دوم که به فاصله ۱۰۰ متری از نقطه اول قرار دارد، یک سوندazer شلومبرژه با حداقل AB برابر ۲۰ متر و حداکثر AB برابر ۱۰۰۰ متر برداشت شده است. آزیمут راستای این سوندazer ۱۴۷ درجه می باشد. روی نقطه دوم، سوندazerی با استفاده از آرایه مربعی نیز انجام شده است که در آن حداقل اندازه ضلع مربع ۱۲/۵ متر و حداکثر ۴۰۰ متر بوده است. شرایط طراحی اندازه گیری ها روی نقطه سوم که در فاصله ۷۵ متری از نقطه دوم قرار دارد، کاملا مشابه با نقطه دوم می باشد.

۲-۸-۳- برداشت داده ها

در برداشت (اندازه گیری) داده ها با آرایه های شلومبرژه و مربعی، از دستگاه SAS1000، به علت دقیق بالای اندازه گیری حاصل از آن، استفاده شده است. این دستگاه نسبت به دستگاه SAS300 دارای مزایایی می باشد از جمله آنکه علاوه بر اندازه گیری مقاومت ویژه، قادر است اندازه گیری های پلاریزاسیون القایی (IP) را نیز انجام دهد. علاوه بر این این دستگاه تمامی داده ها را تحت فایلهای خاص ذخیره می کند.

در اندازه گیری های داده ها با آرایه شلومبرژه، مقاومت ویژه های بدست آمده از هر اندازه گیری،

در حین برداشت، روی کاغذ لگاریتمی بر حسب $\frac{AB}{2}$ ثبت می شدند که این کار دارای دو مزیت بود. اول این که در حین برداشت از صحت اندازه گیری ها مطمئن می شویم و دوم این که در نقاطی که با ثابت نگه داشتن AB، مقدار MN تغییر می کند (پدیده کلacz)، تفاوت میان دو مقدار مقاومت ویژه حاصله بایستی دارای خصوصیات خاص باشد. مثلا در هنگامی که منحنی دارای روندی نزولی است، مقاومت ویژه حاصل از MN بزرگتر بایستی بزرگتر از مقاومت ویژه حاصل از MN کوچکتر باشد [۲۰] و یا این که تفاوت میان این دو باید منطقی باشد. در نتیجه با رسم نقاط در هنگام برداشت داده ها می توانستیم روند اندازه گیری ها را تحت کنترل داشته باشیم.

داده های اندازه گیری شده با آرایه شلومبرژه به همراه خطای انحراف معیار داده ها برای هر سونداز انجام شده در منطقه به صورت جدول در بخش های بعدی ارائه گردیده است.

در اندازه گیری مقاومت ویژه با آرایه مربعی، همواره شرط سه پتانسیلی و میزان انحراف معیار قابل قبول آن ($R_a^{0.03}$) کنترل می شد. در اینجا نیز در تمامی اندازه گیری ها خطای کوچکتر از ۰/۵ درصد بود. در صورتی که خطای بالا بود چند قرائت انجام می شد تا داده های بدست آمده با کمترین خطای ثبت گردند. مقادیر R_m ، ρ و λ مربوط به اندازه گیری هر کدام از نقاط، بصورت یک جدول در بخش های بعدی ارائه می گردد.

۹-۳- تفسیر داده های سوندایزرنی نقطه اول

۱-۹-۳- تفسیر داده های سوندایزرنی شلومبرژه در نقطه اول

همانگونه که گفته شد، در نقطه اول دو سوندایز عمود بر هم با آرایه شلومبرژه انجام شده است.

همانطور که در قسمت قبل بیان شد، علت انجام این کار، بررسی تاثیر جهت گیری روی تفسیر

داده های مقاومت ویژه در منطقه مورد بررسی بود. از آنجاکه در نقطه اول، دو سوندایز بصورت

عمود بر هم برداشت شد، در این نوشته برای راحتی، سوندایزهای با راستای ۱۴۷ و ۲۳۷ درجه را

به ترتیب sch11 و sch12 می نامیم.

برای تفسیر داده های شلومبرژه از نرم افزار Resixip استفاده شده است. این نرم افزار در محیط

DOS کار می کند. علی رغم این، نرم افزار دارای قابلیت های بالایی می باشد، از جمله اینکه علاوه

بر تفسیر و نمایش و ارائه پارامترهای مدل، مدل های هم ارز را نیز برای یک دسته داده رسم می

کند. یعنی مدل هایی ارائه می دهد که پاسخ آنها دقیقا همان داده های نتیجه تفسیر است. نرم

افزار در واقع از بین مدل های ممکن، مدل میانگین را انتخاب می کند[۲۴].

در جدول ۳-۶ داده های اندازه گیری شده از سوندایز sch11 آمده است. تفسیر سوندایز

نشان می دهد که در راستای ۱۴۷ درجه، زمین دارای ساختاری دو لایه می باشد (شکل ۱۴-۳).

در این شکل مربع توخالی نشان دهنده داده های برداشت شده است. همچنین خط پیوسته نشان

دهنده پاسخ ناشی از مدل تفسیر شده است. خط چین ها در شکل ۱۴-۳ نیز نشان دهنده مدل

بدست آمده است. این نشانه ها در نمایش تمامی تفسیر های این پایان نامه که با نرم افزار

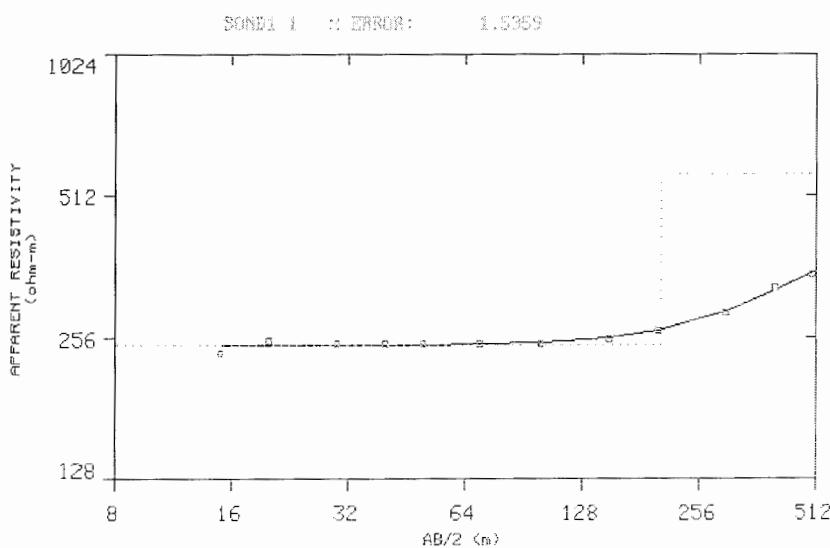
Resixip انجام شده، تکرار شده است.

نتیجه تفسیر (مقاومت ویژه، عمق و ضخامت لایه ها) سوندایز sch11 نیز بطور خلاصه در جدول ۳

۷- آمده است.

جدول ۳-۶- داده های اندازه گیری شده سونداز شلومبرژه sch11

شماره اندازه گیری	AB/2	مقاومت ویژه (اهم.متر)	S.D%
۱	۱۰	۲۰۳.۸۵	۰.۰۶۴
۲	۱۰	۱۹۴.۴	۰.۰۲۲
۳	۱۵	۲۳۷.۱۸۳	۰.۰۶۸
۴	۲۰	۲۵۱.۶۳	۰.۰۶
۵	۲۰	۲۳۳.۳۹۷	۰.۰۱۴
۶	۳۰	۲۳۸.۴۰۸	۰.۰۶۵
۷	۴۰	۲۵۷.۷۷	۰.۱۰۸
۸	۵۰	۲۴۱.۵۸	۰.۰۹
۹	۵۰	۲۴۵.۲۴	۰.۰۵۵
۱۰	۷۰	۲۵۰.۸۶	۰.۰۱۵
۱۱	۱۰۰	۲۲۶.۷۲۵	۰.۱۳۳
۱۲	۱۰۰	۲۵۳.۵۵	۰.۱۵۷
۱۳	۱۵۰	۲۵۰.۵۳	۰.۰۰۲
۱۴	۲۰۰	۲۸۹.۹۶	۰.۰۱۹
۱۵	۲۰۰	۳۰۰.۵۷	۰.۰۷
۱۶	۳۰۰	۳۱۷.۶۸	۰.
۱۷	۴۰۰	۲۹۰.۷۵	۰.
۱۸	۴۰۰	۳۷۵.۶	۰.
۱۹	۵۰۰	۳۲۴.۵	۰.
۲۰	۵۰۰	۳۵۳.۳۹	۰.۳۷۹



شکل ۳-۳- نمودار برداشت شده (مربع های توخالی) و نتایج

تفسیر با نرم افزار Resixip برای سونداز sch11

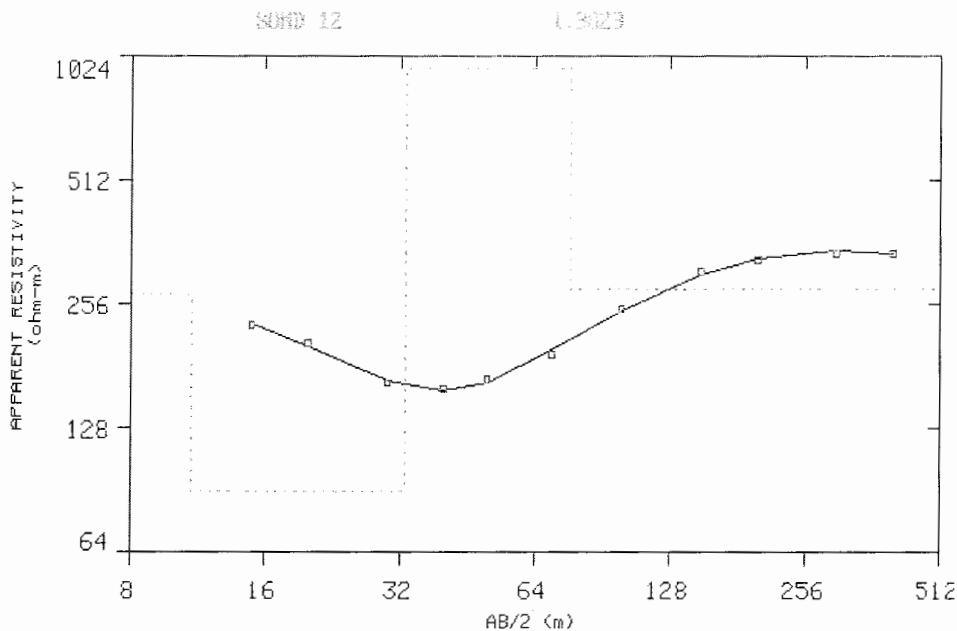
جدول ۳-۷- نتایج تفسیر سوندazer شلومبرژه sch ۱۱

لایه	مقاومت ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۲۴۷	۲۰۴.۱	۲۰۴.۱
دوم	۵۶۷	-	-

در جدول ۳-۸ داده های اندازه گیری شده سوندazer sch ۱۲ آمده است. مقایسه نمودار بدست آمده از این سوندazer با نمودار حاصل از سوندazer sch ۱۱ حاکی از وجود تفاوت می باشد. نتیجه تفسیر داده های این راستا نیز در شکل ۳-۱۵ آمده است.

جدول ۳-۸- داده های اندازه گیری شده شلومبرژه sch ۱۲

شماره اندازه گیری	AB/2	مقاطعه ویژه(اهم.متر)	S.D%
۱	۱۰	۲۱۷.۴۰۳	۰.۰۲
۲	۱۰	۱۹۸.۰۳۷۵	۰.۰۳۷
۳	۱۵	۲۳۲.۸۷۵۳	۰.۰۲۱
۴	۲۰	۲۰۷.۹۱۷	۰.۰۲۹
۵	۲۰	۲۰۲.۵۹۹۵	۰.۰۲۸
۶	۳۰	۱۴۳.۶۹۲۹	۰.۲۳۳
۷	۴۰	۱۵۹.۹۵۵۹	۰.۴۶۹
۸	۵۰	۱۶۷.۷۳۸۸	۰.۰۲
۹	۵۰	۱۸۳.۲۲۷۸	۰.۱۱۵
۱۰	۷۰	۱۹۲.۸۹۸۸	۰.۰۵۵
۱۱	۱۰۰	۱۸۸.۰۷۰۳	۰.۱۵۲
۱۲	۱۰۰	۳۰۰.۱۶۶۴	۰
۱۳	۱۵۰	۲۹۱.۳۰۱۷	۰.۴۴۱
۱۴	۲۰۰	۳۴۰.۹۳۸	۰
۱۵	۲۰۰	۳۱۸.۰۳۷۳	۰.۱۳۴
۱۶	۳۰۰	۳۲۸.۸۵۱۹	۰.۰۰۴
۱۷	۴۰۰	۳۲۱.۴۰۰۲	۰.۲۸۷
۱۸	۴۰۰	۳۵۰.۸۳۵	۰



شکل ۳-۱۵- نتیجه تفسیر سونداز ۱۲ شلومبرژه (sch12).

همانطور که در شکل ۳-۱۵ دیده می شود، زمین در راستای آزمیوت ۲۳۷ درجه، چهار لایه است. نکته جالب توجه وجود لایه ای کم مقاومت در این راستا است (لایه دوم). نتایج تفسیر سونداز بطور خلاصه در جدول ۹-۳ آمده است.

جدول ۹-۳- نتایج تفسیر سونداز شلومبرژه ۱۲ (sch12).

لایه	مقاطومت ویژه (اهم.متر)	ضخامت(متر)	عمق(متر)
اول	۲۷۱	۱۱	۱۱
دوم	۹۰	۳۳	۲۲
سوم	۹۵۸	۷۷	۴۴
چهارم	۲۷۷	-	-

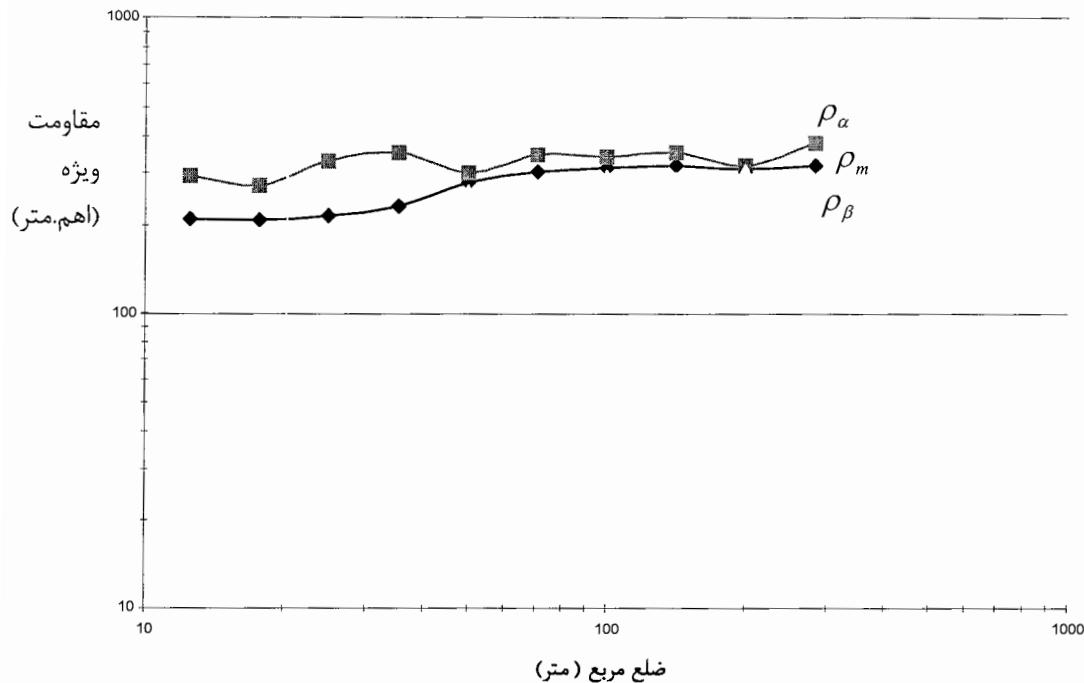
مقایسه نتایج بدست آمده از تفسیر مقاومت ویژه در دو راستای مختلف در نقطه اول، نشان می دهد که زمین مورد مطالعه ناهمسانگرد است. چرا که نتایج تفسیر در دو راستای مختلف کاملا متفاوت می باشد. این تفاوت با توجه به نتایج تفسیر دو سونداز کاملا اساسی است چرا که هیچ

گونه شباهتی با یکدیگر ندارند. بطور مثال حتی با در نظر نگرفتن لایه های اول و دوم، باز هم این دو نمودار تفاوت اساسی دارند. چرا که در سونداز sch11 لایه آخر از لایه قبلی آن مقاومت تراست، در حالیکه در سونداز sch12 لایه آخر نسبت به لایه ماقبل آن دارای مقاومت پایین تری است. این تفاوت اساسی باعث سردرگمی مفسر می شود. چراکه مشخص نیست به کدام نتیجه تفسیر زمین در نقطه اول، اطمینان نماید. به خوبی روشن است که زمین دارای ناهمسانگردی می باشد. با توجه به مطالبی که در فصل دوم ارائه شد، داده های آرایه مربعی، در مواردی که با محیط های ناهمسانگرد مواجه هستیم، کمترین تاثیر را از جهت گیری می پذیرند. در نتیجه در محیط ناهمسانگرد، نتایج حاصل از آن دقیق تر از نتایج آرایه خطی رایج می باشد. به همین جهت به بررسی نتایج حاصل از سونداز زنی با این آرایه در نقطه سونداز اول می پردازیم.

۳-۹-۲- تفسیر داده های سونداز زنی آرایه مربعی در نقطه اول

برای بررسی بیشتر علت تفاوت اساسی در نتایج بدست آمده از تفسیر دو سونداز شلومبرژه در نقطه اول به بررسی داده های سونداز زنی آرایه مربعی می پردازیم.

در شکل ۱۶-۳ نمودار تغییرات مقاومت ویژه بدست آمده بر حسب فاصله الکترودی (اندازه اضلاع مربع) آمده است. در این شکل سه نمودار دیده می شود. نمودار بالایی تغییرات مقاومت ویژه آرایش α ، نمودار میانی تغییرات مقاومت ویژه میانگین، β_m ، و نمودار پایینی تغییرات مقاومت ویژه آرایش β را نشان می دهد. همان طور که از نمودار آرایش های α و β دیده می شود این دو نمودار دارای تفاوتی با یکدیگرند. این تفاوت بیانگر وجود ناهمسانگردی می باشد. با بررسی میزان ناهمسانگردی که در جدول ۱۰-۳ نشان داده شده است، مشاهده می کنیم که در تمامی فواصل الکترودی با مقادیر بالای λ مواجه هستیم. از میان ضرایب ناهمسانگردی محاسبه شده تنها در سه فاصله الکترودی مقدار λ کوچکتر از $1/1$ می باشد. این بدان معنی است که زمین در نقطه اول شدیدا ناهمسانگرد می باشد. در واقع وجود ناهمسانگردی بسیار بالا در این نقطه باعث ایجاد تفاوت اساسی در نتایج تفسیر دو سونداز شلومبرژه شده است.



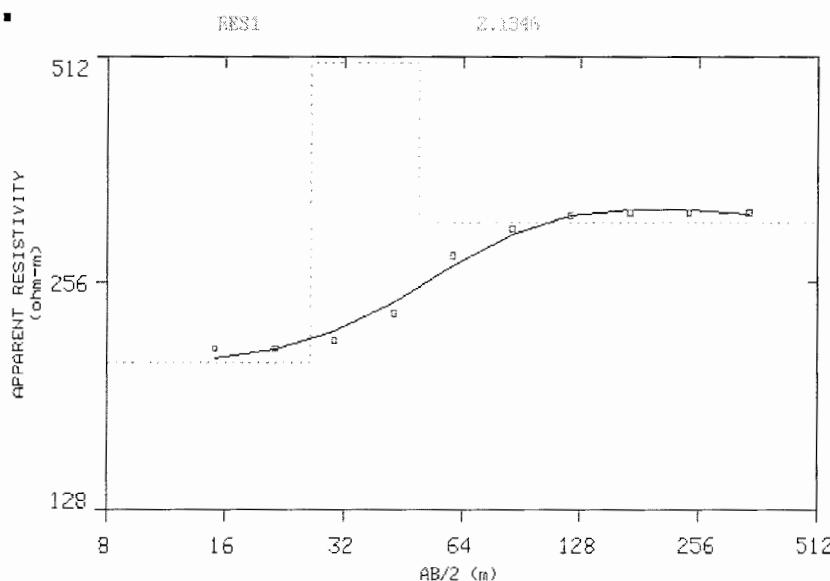
شکل ۳-۱۶-۳ - نمودار تغییرات مقاومت ویژه اندازه گیری شده با آرایه مربعی در نقطه اول بر حسب a

(فاصله الکترودی) به ترتیب از بالا به پایین در حالت های α ، میانگین و β .

جدول ۳-۱۰-۳ - داده های اندازه گیری شده با آرایه مربعی در نقطه اول.

a (m)	R_m (Ohm)	ρ_m (Ohm.m)	λ
۱۲.۵	۱.۵۵	۲۰۸.۸	۱.۴
۱۷.۷	۱.۰۹۸	۲۰۸.۴	۱.۳
۲۵	۰.۷۹	۲۱۴.۰۷	۱.۵۳
۳۵.۴	۰.۶۱	۲۳۲.۵	۱.۵۱
۵۰	۰.۵۱	۲۷۸.۰۲	۱.۰۷
۷۰.۸	۰.۳۹	۳۰۱.۷۹	۱.۱۴
۱۰۰	۰.۲۹	۳۱۳.۹۷	۱.۰۸
۱۴۱.۶	۰.۲۰۸	۳۱۶.۹۵	۱.۱۰۸
۲۰۰	۰.۱۴۵	۳۱۱.۱۵	۱.۰۲۶
۲۸۳.۲	۰.۱۰۴	۳۱۶.۹۵	۱.۱۹

برای تفسیر داده های سوندazer آرایه مربعی، ابتدا با استفاده از فاکتور تبدیل $1/20\gamma a$ [۷] داده های حالت میانگین این آرایه را به آرایه شلومبرژه تبدیل می کنیم. سپس با استفاده از نرم افزار Resixip به تفسیر داده ها می پردازیم. در شکل ۱۷-۳ تغییرات مقاومت ویژه میانگین(مربع های توخالی) برحسب $AB/2$ معادل $(1/20\gamma a)$ نشان داده شده است. همچنین در این شکل مدل



شکل ۱۷-۳-نتیجه تفسیر سوندazer مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی در نقطه اول.

حاصل از تفسیر به صورت خط چین و داده های بدست آمده از معکوس سازی این مدل (منحنی پیوسته) نیز ارائه شده است. با بررسی نتایج تفسیر، دیده می شود زمین در نقطه اول دارای ساختاری سه لایه ای می باشد. لایه دوم در بین این سه لایه دارای بیشترین مقاومت ویژه می باشد. همچنین مقاومت لایه سوم از مقاومت لایه اول بیشتر است.

با توجه به عدم همخوانی و همسویی میان نتایج تفسیر دو سوندazer عمود بر هم در نقطه اول، نتایج تفسیر آرایه مربعی به دلیل تاثیر پذیری کمتر این آرایه از ناهمسانگردی پاسخ دقیق تری از ساختار زمین شناسی در نقطه اول ارائه می دهد. در نتیجه می توان گفت زمین در نقطه اول دارای

ساختاری سه لایه ای می باشد. مقادیر مقاومت ویژه، ضخامت و عمق مربوط به هر لایه بطور خلاصه در جدول ۱۱-۳ آمده است.

جدول ۱۱-۳- نتایج تفسیر مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی در نقطه اول.

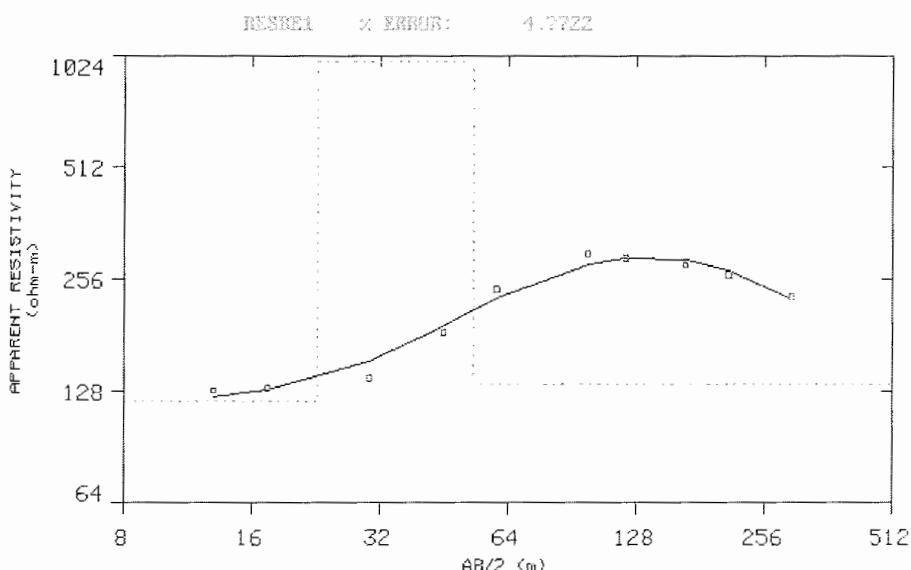
لایه	مقاومت ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۲۰۰	۲۶.۳	۲۶.۳
دوم	۵۰۲	۴۹.۹	۲۳.۶
سوم	۳۰۸	-	-

۳-۹-۳- مقایسه و بررسی دقیق تر نتایج تفسیر آرایه های مربعی و شلومبرژه

همان طورکه در بخش های قبل بیان شد، در طراحی شبکه برداشت داده های سوندازی نقطه اول، راستای برداشت دو سونداز شلومبرژه به موازات دو ضلع عمود بر هم مربع طراحی شده بودند. یکی از دلایل طراحی به این صورت این بود که نتایج تفسیر سونداز های شلومبرژه و آرایه مربعی با راستای یکسان را بتوان با یکدیگر مقایسه کرد. در واقع در نظر بود تا بررسی شود که آیا هیچ گونه هم خوانی بین نتایج این دو وجود دارد. با توجه به این مقدمه اکنون به بررسی و مقایسه نتایج بدست آمده از تفسیر سونداز sch12 و سونداز حالت β آرایه مربعی می پردازیم.

شکل ۳- ۱۸ نمودار تغییرات مقاومت ویژه اندازه گیری شده حالت β (مربع های توخالی) را بر حسب $AB/2$ معادل، ($1/20.7a$)، نشان می دهد. همچنین در این شکل مدل حاصل از تفسیر داده ها نیز دیده می شود. نتیجه تفسیر این داده ها یک مدل سه لایه است، بطوری که لایه دوم مقاوم ترین لایه می باشد. همچنین مقاومت لایه سوم از لایه اول بیشتر است. این مدل با مدل بدست آمده از تفسیر مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی در نقطه اول هم خوانی دارد.

آنچه که در نگاه اول از مقایسه دو شکل ۳-۱۵ و ۳-۱۸ دیده می شود، تفاوت در تعداد لایه های تفسیر شده این دو شکل است. در نتیجه به نظر می رسد که نتایج بدست آمده از تفسیر حالت β آرایه مربعی و سونداز شلومبرژه sch12، دارای هم خوانی نیستند چون تفسیر حالت β آرایه مربعی نشانگر وجود یک ساختار سه لایه ای در نقطه اول است در حالیکه تفسیر سونداز sch12 مبین وجود یک ساختار چهار لایه ای در نقطه اول می باشد. اما اگر در مدل حاصل از تفسیر سونداز sch12 لایه سطحی اول را در نظر نگیریم، شکل حاصل، از لحاظ لایه بندی و چگونگی



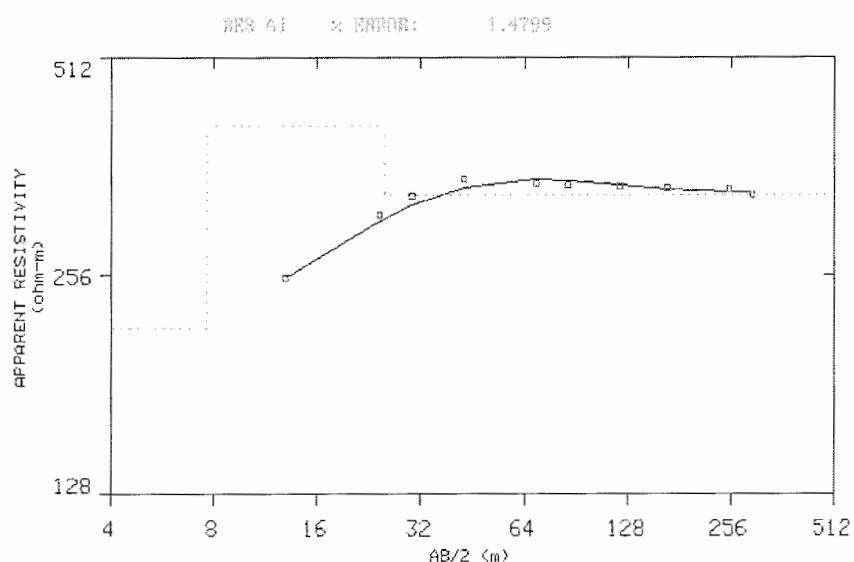
شکل ۳-۱۸- نتیجه تفسیر مقاومت ویژه حالت β در نقطه اول.

تغییرات مقاومت ویژه با یگدیگر مشابهت پیدا می کنند. البته با توجه به تاثیری که لایه های مجاور روی یکدیگر بطور متقابل می گذارند، مطمئنا در صورت حذف لایه اول مقاومت ویژه و ضخامت لایه دوم سونداز sch12 تغییر خواهد کرد. بطوری که بطور منطقی مقاومت ویژه این لایه افزایش خواهد یافت و عمق این لایه نیز تغییر خواهد کرد. در نتیجه اگر در مدل بدست آمده از تفسیر سونداز sch12 لایه اول را در نظر نگیریم، نتایج تفسیر این سونداز دارای هم خوانی بسیار خوبی با نتایج تفسیر حالت β (جدول ۳-۱۲) آرایه مربعی خواهد داشت.

جدول ۱۲-۳- نتایج تفسیر مقاومت ویژه حالت β آرایه مربعی در نقطه اول.

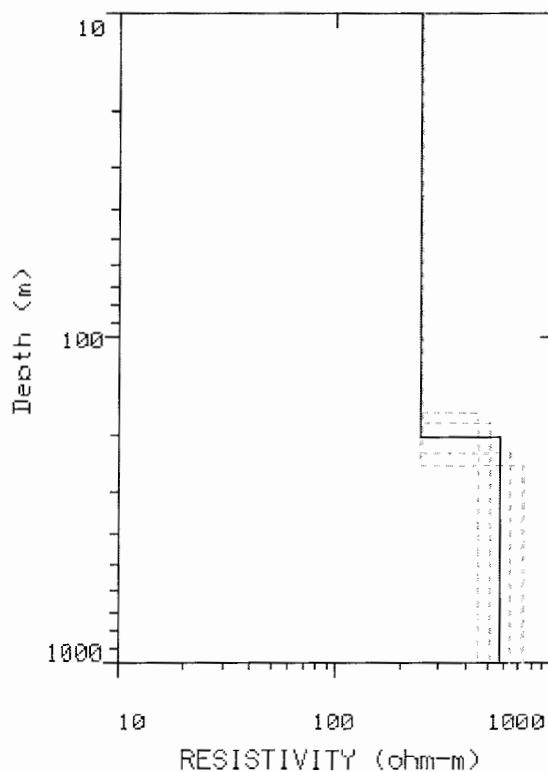
لایه	مقاومت ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۱۲۰	۲۳	۲۳
دوم	۹۸۵	۵۳	۳۰
سوم	۱۳۳.۴	-	-

بررسی نتایج تفسیر سوندazer شلومبرژه sch ۱۱ (شکل ۱۹-۳) و حالت α آرایه مربعی در نقطه اول(شکل ۱۹-۳ و جدول ۱۳-۳)، هم خوانی بسیار کمی را نشان می دهد. با بررسی دقیق نتایج

شکل ۱۹-۳- نتیجه تفسیر حالت α آرایه مربعی در نقطه اول.جدول ۱۳-۳- نتایج تفسیر حالت α آرایه مربعی در نقطه اول.

لایه	مقاومت ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۲۱۵.۸	۷.۷	۷.۷
دوم	۴۱۰.۸	۲۵.۳	۱۷.۶
سوم	۳۳۰.۳	-	-

تفسیر دیده می شود که این دو در نزدیک بودن مقاومت ویژه بدست آمده برای لایه اول دارای هم خوانی می باشند. همچنین با بررسی مدل های هم ارز ارائه شده برای تفسیر سوندazer شلومبرژه ۱۱ (شکل ۲۰-۳) دیده می شود که لایه دوم می تواند دارای مقاومت ویژه در حدود ۴۵۰ اهم.متر باشد.



شکل ۲۰-۳- مدل های هم ارز سوندazer ۱۱ شلومبرژه (sch11).

البته در این صورت عمق لایه اول به حدود ۱۸۰ متر کاهش خواهد یافت. در نتیجه یک هم خوانی بین نتایج تفسیر این دو در نزدیک بودن مقاومت ویژه لایه دوم است. در کل هم خوانی بدست آمده بین تفسیر نتایج سوندazer شلومبرژه sch11 و حالت α آرایه مربعی بسیار کم می باشد. نکته دیگری که باید در تفسیر سوندazerها در نقطه اول ذکر گردد، این است که نتیجه تفسیر آرایه مربعی حالت α از لحاظ شکل و چگونگی تغییر مقاومت ویژه لایه ها دارای هم خوانی با تفسیر نتایج

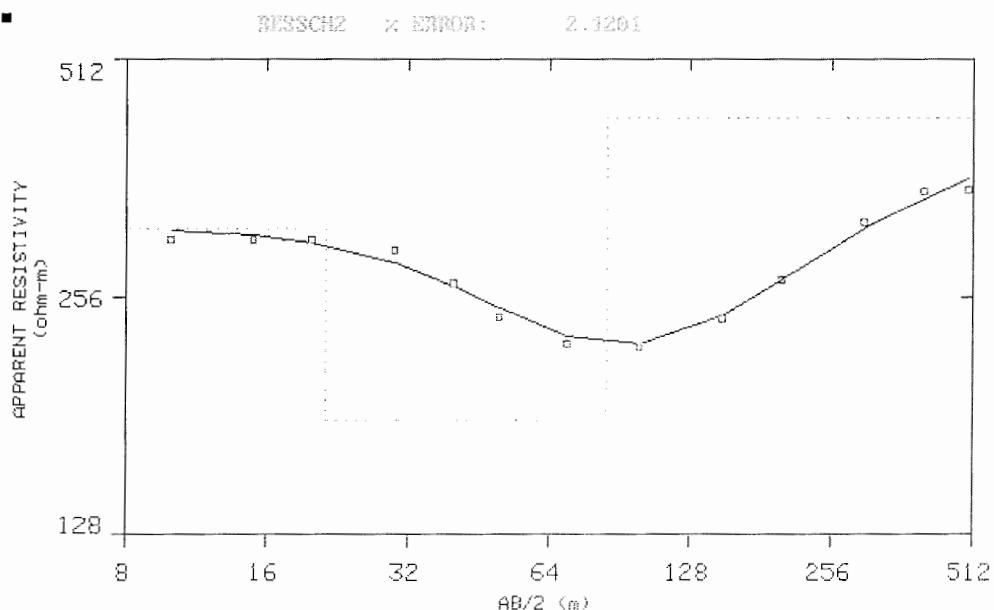
آرایه مربعی حالت میانگین می باشد. یعنی مانند تفسیر آرایه مربعی حالت میانگین، نتایج سوندazer آرایه مربعی حالت α ، شامل یک ساختار سه لایه است که لایه دوم دارای بیشترین مقاومت و لایه سوم دارای مقاومتی بیشتر از لایه اول می باشد.

۳-۱۰-۳- تفسیر داده های سوندائزنی نقطه دوم

۳-۱۰-۳-۱- تفسیر داده های سوندائزنی شلومبرژه برای نقطه دوم

در نقطه دوم نیز یک سوندazer شلومبرژه برداشت شده است. آزمودت راستای این سوندazer همانگونه که بیان شد، ۱۴۷ درجه می باشد.

در شکل ۲۱-۳ داده های برداشت شده (مربع توخالی) در نقطه دوم بر حسب $AB/2$ ارائه گردیده اند. همچنین در این شکل مدل حاصل از تفسیر داده ها با نرم افزار Resixip و پاسخ حاصل از این مدل (منحنی پیوسته) ارائه شده است. همانطور که دیده می شود، در راستای یاد شده زمین سه لایه ای است. مشخصات لایه ها بطور خلاصه در جدول ۱۴-۳ آمده است.



شکل ۲۱-۳- نتیجه تفسیر سوندazer شلومبرژه در نقطه دوم(sch2).

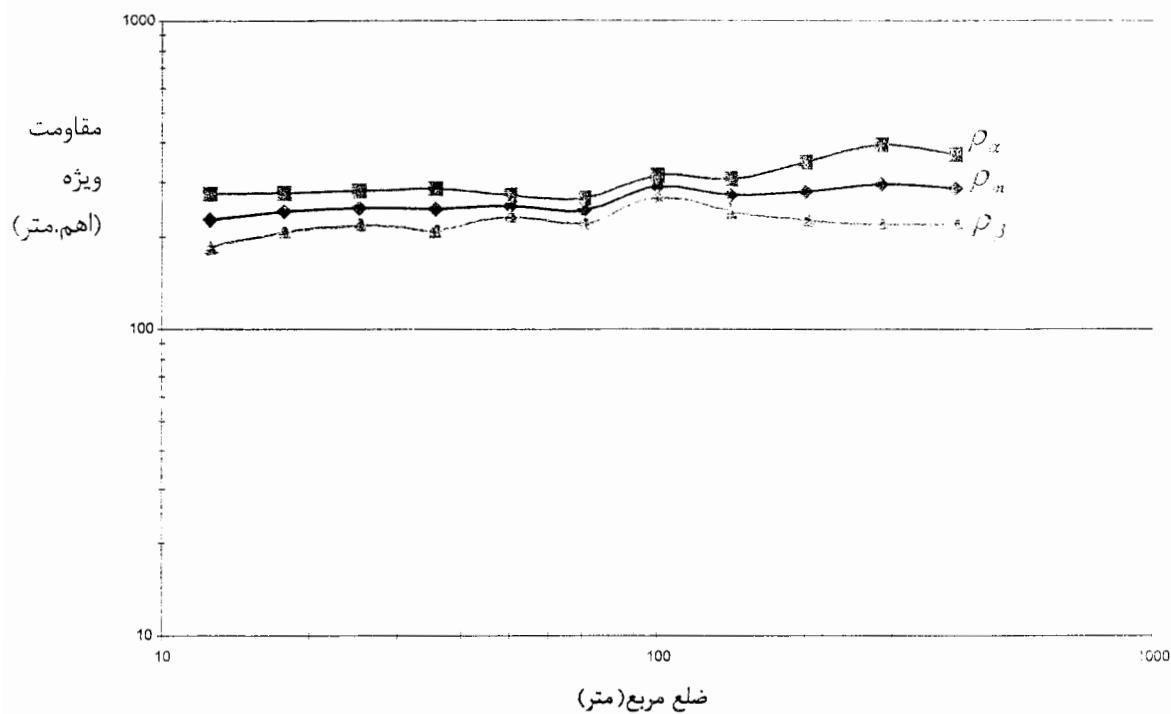
جدول ۳-۱۴- نتایج تفسیر مقاومت ویژه سونداز شلومبرژه در نقطه دوم(sch2).

لایه	مقاومت ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۳۱۳	۲۱,۴	۲۱,۴
دوم	۱۷۹	۸۵,۲	۶۳,۸
سوم	۴۳۱	-	-

مقایسه نتایج تفسیر سونداز شلومبرژه در دو نقطه اول و دوم حاکی از تفاوت میان این دو تفسیر می باشد. این تفاوت در درجه اول خود را با تعداد لایه های متفاوت تفسیر شده برای این دو، نشان می دهد. البته با توجه به تغییری که با استفاده از نمودارهای هم ارز سونداز شلومبرژه ۱۱ (شکل ۳-۲۰) در مقاومت ویژه ایجاد شده، لایه آخر این دو سونداز دارای هم خوانی بسیار خوبی هستند. در مجموع به نظر می رسد که با در نظر گرفتن لایه سطحی در سونداز شلومبرژه نقطه دوم نتیجه تفسیر این دو سونداز در دو نقطه اول و دوم با یکدیگر هم خوانی خوبی دارد. البته عدم هم خوانی در عمق های حاصل از دو نقطه بطور بسیار بارزی خود را نشان می دهد.

۳-۱۰-۲- تفسیر داده های سوندائز زنی آرایه مربعی نقطه دوم

در شکل ۳-۲۲ نمودار تغییرات مقاومت ویژه اندازه گیری شده در نقطه دوم با بکارگیری آرایه مربعی در سه حالت α ، β و میانگین، بر حسب فاصله الکترودی (طول ضلع مربع) آمده است. در جدول ۳-۱۵ دیده می شود که در نقطه دوم نیز مانند نقطه اول با ناهمسانگردی بالایی مواجه هستیم. داده های میانگین بدست آمده با آرایه مربعی در نقطه دوم پس از تبدیل به نمودارهای شلومبرژه به کمک فاکتور $a = 1/207$ ، برای تفسیر وارد نرم افزار Resixip شد. در شکل ۳-۲۳ مدل تفسیری بدست آمده از آرایه مربعی در نقطه دوم ارائه شده است. همانطور که در شکل دیده می شود، مانند نقطه اول، زمین در نقطه دوم دارای ساختاری سه لایه می باشد. نتایج تفسیر در جدول ۳-۱۶ آمده است.

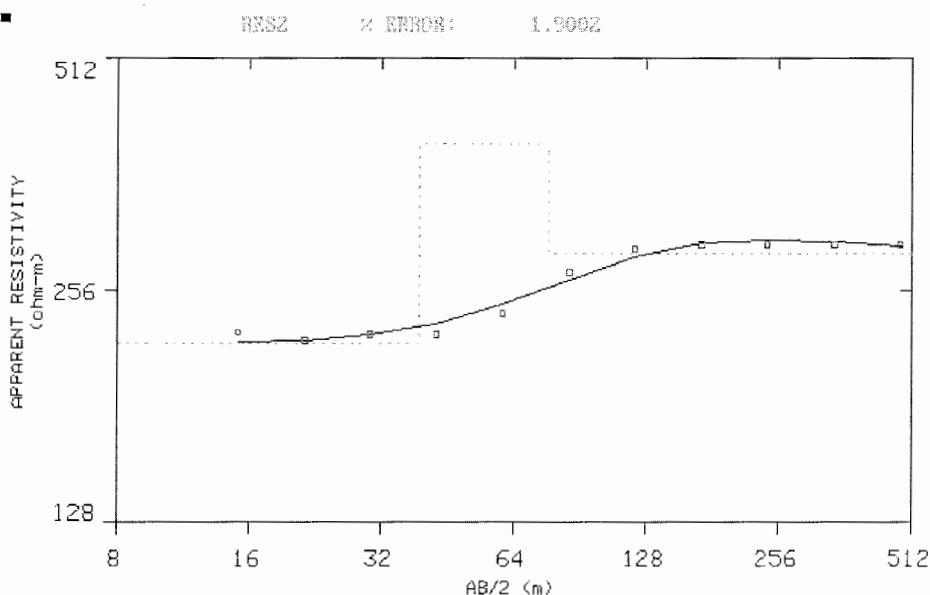


شکل ۳-۲۲- تغییرات مقاومت ویژه آرایه مربعی بر حسب فواصل الکترودی در نقطه دوم.

جدول ۳-۱۵- داده های اندازه گیری شده با آرایه مربعی در نقطه دوم.

ضلع مربع (متر)	ρ_m (اهم. متر)	λ
12.5	225/83	1/21
17.7	240/71	1/14
25	247/86	1/13
35.4	245/91	1/15
50	251/81	1/0.8
70.8	242/91	1/0.9
100	289/71	1/0.84
141.6	271/75	1/13
200	279/9	1/23
283.2	294/15	1/33
400	284/78	1/280

در اینجا نیز لایه دوم، مقاومترین لایه و لایه سوم از لایه اول مقاومتر است. پس میان نتایج تفسیر آرایه مربعی در دو نقطه اول و دوم هم خوانی بسیار خوبی در مقاومت ویژه و ضخامت بدست آمده وجود دارد. تنها نکته ناهمانگ، تفاوت ۱۰۰ اهم متری در مقاومت لایه دوم است. تصحیح و بررسی این نکته را تا بررسی نتایج سوندazer نقطه دوم به تعویق می اندازیم.



شکل ۲۳-۳- نتیجه تفسیر مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی در نقطه دوم.

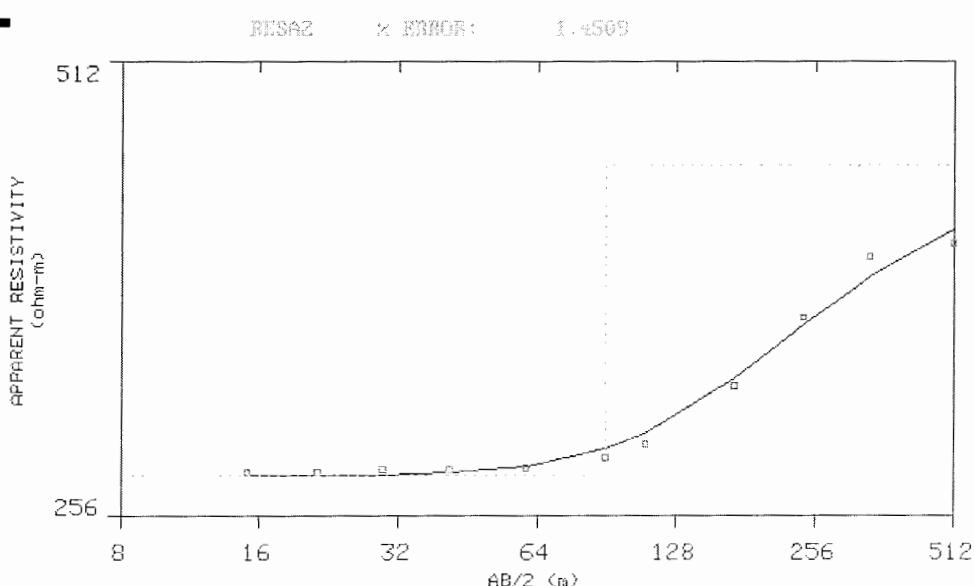
جدول ۱۶-۳- نتایج تفسیر مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی در نقطه دوم.

لایه	مقاومت ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۲۱۸.۲	۳۹	۳۹
دوم	۳۹۵.۵	۷۷	۳۸
سوم	۲۸۵.۳	-	-

به نظر می رسد با توجه به وجود ناهمسانگردی بالا در نقطه دوم، مانند نقطه اول، تکیه به نتایج تفسیر بدست آمده از آرایه مربعی منطقی تر باشد. این مساله زمانی بیشتر مورد پذیرش قرار می گیرد که به این نکته توجه کنیم که نتایج دو سوندazer شلومبرژه با راستای یکسان و با فاصله اندک

از یکدیگر دارای هم خوانی بسیار اندکی می باشد. در حالی که میان نتایج آرایه مربعی در این دو نقطه هم خوانی بسیار بالایی وجود دارد.

۲-۱۰-۳- مقایسه و بررسی دقیق تر نتایج آرایه مربعی و شلومبرژه در نقطه دوم راستای سونداز در حالت α آرایه مربعی در نقطه دوم با راستای شلومبرژه در این نقطه نیز یکسان است. در نتیجه بررسی و مقایسه نتایج حاصل از این دو سونداز می تواند حاوی نکات جالب توجه باشد. داده های اندازه گیری شده و مدل تفسیر شده برای حالت α آرایه مربعی در نقطه سونداز دوم، در شکل ۲۴-۳ نمایش داده شده است. همچنین در جدول ۳-۱۷ نتایج تفسیر شده آرایه مربعی حالت α در این نقطه ارائه شده است. در نگاه اول با بررسی نتایج این دو سونداز (مقایسه دو شکل ۳-۲۱ و ۳-۲۴) شاهد ناهمخوانی هستیم. چرا که نتیجه تفسیر سونداز شلومبرژه بیانگر وجود یک ساختار سه لایه ای است در حالی که تفسیر سونداز آرایه مربعی حالت α ، یک منحنی دو لایه ای را نشان می دهد. اما اگر در نتیجه تفسیر سونداز شلومبرژه لایه اول را در نظر نگیریم نتایج این دو سونداز دارای همخوانی بسیار خوبی است. این همخوانی به خوبی با مقایسه نتایج



شکل ۲۴-۳- نتیجه تفسیر مقاومت ویژه در حالت α آرایه مربعی در نقطه دوم.

جدول ۱۷-۳-نتایج تفسیر مقاومت ویژه در حالت α آرایه مربعی در نقطه دوم.

لایه	مقاومت ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۲۷۲	۹۰	۹۰
دوم	۴۳۶	-	-

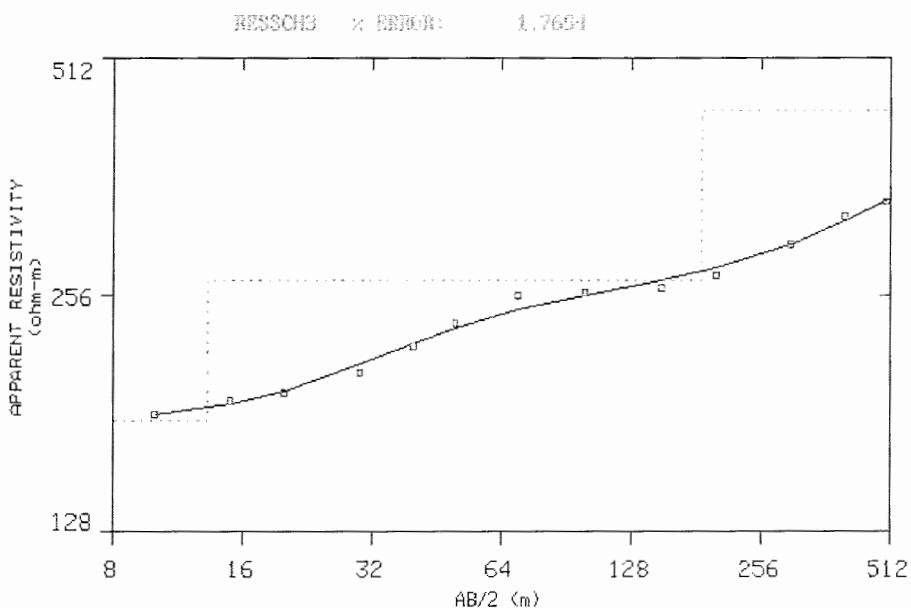
حاصل از تفسیر این سونداز دیده می شود. مثلا لایه آخر هر دو دارای مقاومت ویژه تقریبا مساوی α و یا عمق لایه دوم سونداز شلومبرژه ۱۲ (۸۵ متر) تقریبا با عمق لایه اول سونداز حالت α آرایه مربعی (۹۰ متر) برابر است (البته این تفاوت پنج متری با توجه به وجود لایه اول در سونداز شلومبرژه ایجاد شده است). در صورتی که از لایه اول چشم پوشی شود، احتمالا این تفاوت کمتر خواهد شد. در مجموع می توان بیان کرد که سونداز شلومبرژه در راستای ۱۴۷ درجه و نتایج سونداز حالت α آرایه مربعی، هم خوانی بسیار خوبی وجود دارد. این حالت با توجه به این که هر دو سونداز در یک راستا انجام شده اند می تواند جالب توجه باشد.

۱۱-۳- تفسیر داده های سونداز زنی نقطه سوم

۱۱-۳-۱- تفسیر داده های سونداز زنی شلومبرژه نقطه سوم

نتایج تفسیر سونداز های شلومبرژه در دو نقطه اول و دوم علی رغم فاصله کم (۱۰۰ متر)، دارای تفاوت های قابل توجه با یکدیگر بودند. نقطه سوم به فاصله ۷۰ متری از نقطه دوم روی همان خط پروفیل قرار دارد. در این نقطه نیز سونداز زنی با آرایه شلومبرژه و در راستای ۱۴۷ درجه انجام گردید. برای بررسی نتایج سونداز شلومبرژه در نقطه سوم، داده ها پس از تصحیح کلاج به نرم افزار Resixip داده شدند. نتیجه تفسیر داده های بدست آمده در شکل ۲۵-۳ و جدول ۱۸-۳ ارائه شده است. همان گونه که دیده می شود، میان نتایج این سونداز و سونداز های شلومبرژه نقطه اول و نقطه دوم، جز هم خوانی در مقاومت ویژه بدست آمده برای لایه آخر، هیچگونه هم خوانی و دیگری وجود ندارد. البته این هم خوانی اندک نیز با بررسی عمق مربوط به این لایه ها در سونداز های مختلف بی اهمیت تر می شود. چرا که عمق های متناظر با این مقاومت در نتایج سه

نقطه سونداز زنی، دارای تفاوت های قابل توجهی می باشد. در نتیجه با توجه به این سه نقطه به نظر می رسد که در این منطقه نمی توان به نتایج بدست آمده از سونداز زنی با آرایه شلومبرژه اتكا کرد.



شکل ۳-۲۵- نتیجه تفسیر سونداز شلومبرژه در نقطه سوم sch^۳

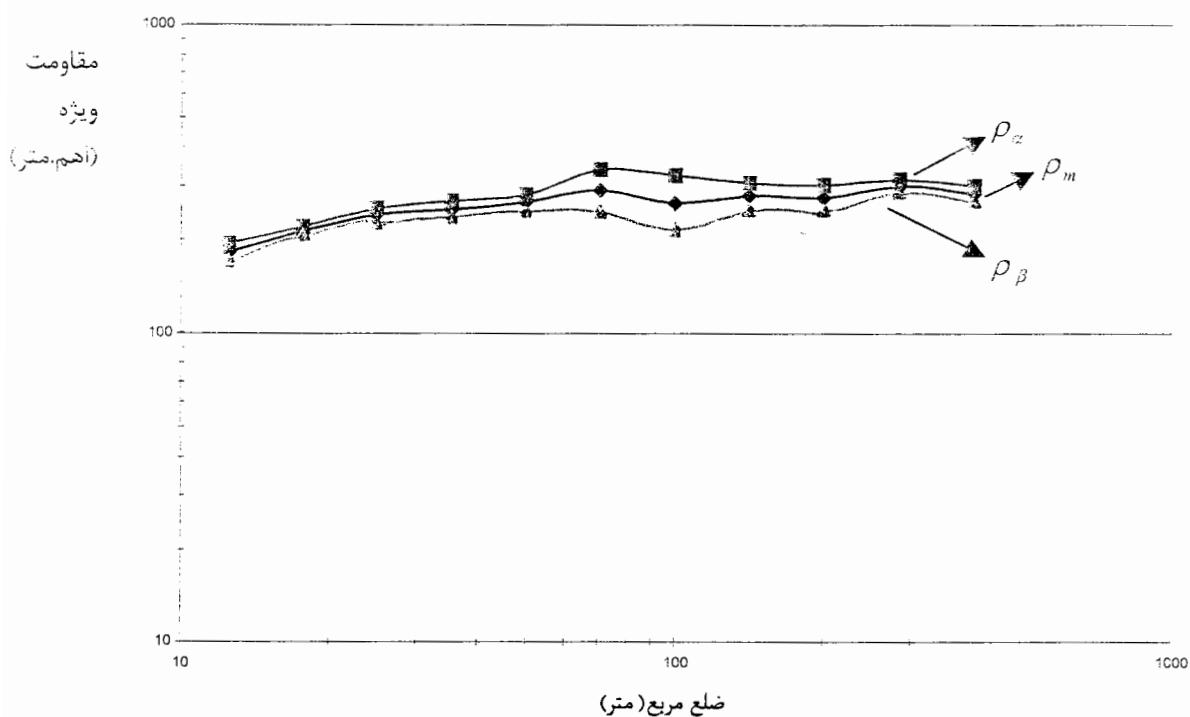
جدول ۳-۱۸- نتایج تفسیر سونداز شلومبرژه در نقطه سوم sch^۳

لایه	مقاطعه ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۱۶۷	۱۳	۱۳
دوم	۲۶۸	۱۸۵	۱۷۲
سوم	۴۳۸	-	-

۳-۱۱- تفسیر داده های سونداز زنی آرایه مربعی در نقطه سوم

برای بررسی ناهمسانگردی در نقطه سوم نیز سوندازی با آرایه مربعی انجام گردیده است. در شکل ۳-۲۶ مقاومت ویژه های α ، β و ρ_m بر حسب فاصله الکترودی (ضلع مربع) نمایش داده شده است. داده های بدست آمده از این سونداز نیز در جدول ۳-۱۹ آمده است. بررسی مقاومت های

حالت α (منحنی بالا) و حالت β (منحنی پایین)، نشان می دهد که این دو منحنی نسبت به نقاط اول و دوم، دارای هم خوانی بیشتری هستند. بررسی ضرایب ناهمسانگردی (جدول ۱۹-۳) بر حسب فاصله الکترودی این مساله را تایید می کند چرا که در این نقطه حداکثر λ محاسبه شده

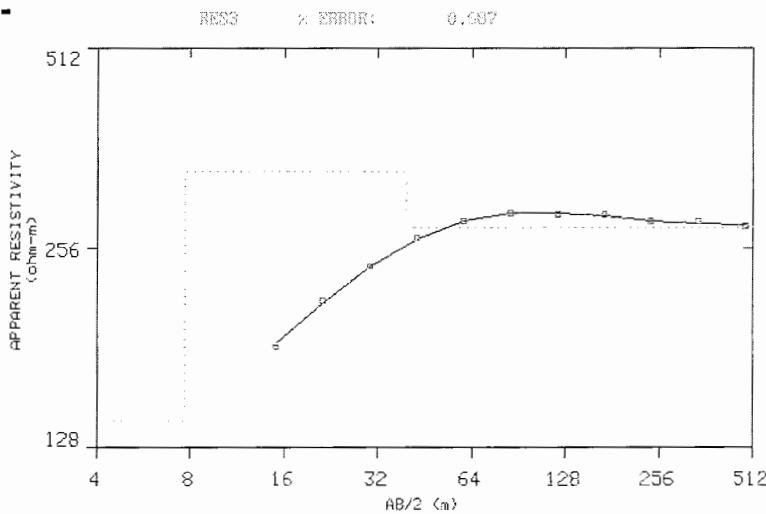


شکل ۲۶-۳- تغییرات مقاومت ویژه اندازه گیری شده با آرایه مربعی بر حسب فاصله الکترودی در نقطه سوم (از بالا به پایین به ترتیب حالت α ، میانگین، β).).

جدول ۱۹-۳- داده های اندازه گیری شده با آرایه مربعی در نقطه سوم.

ضلع مربع (متر)	ρ_m (اهم. متر)	λ
۱۲/۵	۱۸۱	۱/۰۶۶
۱۷/۷	۲۱۳	۱/۰۳۳
۲۵	۲۴۰	۱/۰۵۵
۳۵/۴	۲۵۱	۱/۰۶۴
۵۰	۲۶۴	۱/۰۶
۷۰/۸	۲۸۹	۱/۱۶
۱۰۰	۲۶۴	۱/۲۳
۱۴۱/۶	۲۷۷	۱/۱
۲۰۰	۲۷۴	۱/۱
۲۸۳/۲	۳۰۰	۱/۰۴
۴۰۰	۲۸۲	۱/۰۵

۱/۲۳ می باشد. همچنین از میان ۱۱ اندازه گیری انجام شده، در ۸ اندازه گیری مقدار λ کوچکتر از ۱/۱ هستند. در نتیجه به نظر می رسد این نقطه نسبت به دو نقطه دیگر دارای ناهمسانگردی کمتری باشند. پس از تبدیل مقادیر مقاومت ویژه میانگین به آرایه معادل شلومبرژ، داده ها به نرم افزار داده شده اند. نتیجه تفسیر این سوندazer در شکل ۲۷-۳ نمایش داده شده است. همچنین نتایج



شکل ۲۷-۳- نتیجه تفسیر داده های مقاومت ویژه میانگین سوندazerی آرایه مربعی در نقطه سوم.

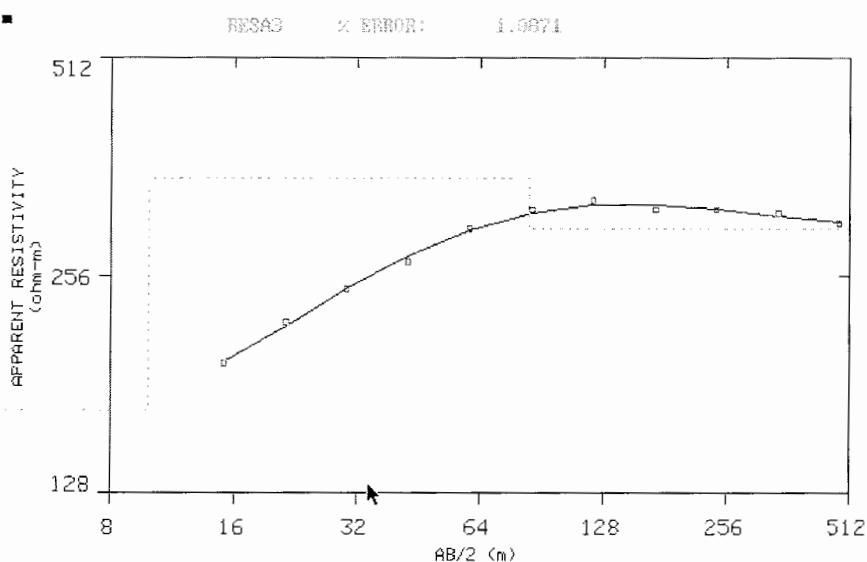
جدول ۳-۲۰- نتایج سوندazerی مقاومت ویژه میانگین با آرایه مربعی در نقطه سوم.

لایه	مقاطومت ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۱۵۰	۸	۸
دوم	۳۳۵	۴۰	۳۲
سوم	۲۷۶	-	-

تفسیر در جدول ۳-۲۰ نیز آمده است. همانطور که از شکل ۲۷-۳ دیده می شود، نتیجه تفسیر آرایه مربعی بیان می کند که زمین در نقطه سوم، دارای ساختاری سه لایه است. مشخصات کلی این مدل سه لایه ای مشابه با نتایج ساختار سه لایه ای دو نقطه سوندazer اول و دوم می باشد. در نتیجه در نگاه اول آنچه بیشتر جلب توجه می کند، هم خوانی بسیار خوب میان نتایج سوندazer های

آرایه مربعی و عدم این هم خوانی و آن هم بطور واضح در نتایج سوندazهای شلومبرژه در این منطقه است.

۳-۱۱-۳- مقایسه و بررسی دقیق تر نتایج آرایه مربعی و شلومبرژه در نقطه سوم در شکل ۲۸-۳ داده های اندازه گیری شده حالت α آرایه مربعی، مدل تفسیر این داده ها و پاسخ از این مدل ارائه شده است. این مدل دارای هم خوانی بسیار بالایی با نتایج تفسیر بدست آمده از مقاومت ویژه میانگین(شکل ۳۷-۳) می باشد. مقایسه مدل های به دست آمده از حالت α و شلومبرژه در نقطه سوم نشان می دهد که هر دو یک ساختار سه لایه ای را نشان می دهند.



شکل ۳-۲۸-۳- نتیجه تفسیر حالت α آرایه مربعی در نقطه سوم.

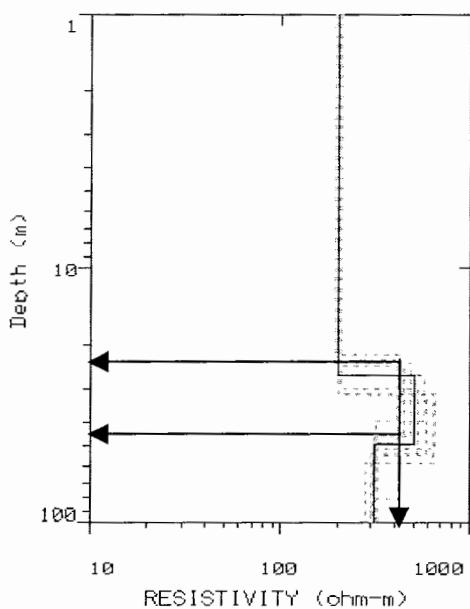
همچنین دو لایه اول هر دو سوندaz نیز از لحاظ شکل تغییرات، مشابهت دارند. یعنی در هر دو مدل بدست آمده از دو سوندaz، لایه دوم مقاوم تر از لایه اول است. ولی تفاوت های قابل توجهی میان دو مدل وجود دارد. یکی از این تفاوت ها لایه آخر است. لایه آخر در مدل سوندaz شلومبرژه مقاوم ترین لایه است. در صورتی که مقاومت لایه دوم در مدل حالت α در نقطه سوم نسبت به لایه دوم دارای مقاومت کمتری است. همچنین ضخامت و مقاومت ویژه لایه ها کاملاً با یکدیگر

متفاوت است. در مجموع هم خوانی میان مدل های سونداز شلومبرژه و حالت α بسیار اندک و قابل چشم پوشی می باشد.

۱۲-۳- مقایسه مدل های سونداز آرایه مربعی به کمک تحلیل مدل های هم ارز

نتیجه مدل سازی داده های سونداز زنی مقاومت ویژه میانگین آرایه مربعی سه نقطه اول، دوم و سوم در شکل های ۱۷-۳، ۱۱-۳، ۱۶-۳ و ۲۰-۳ آمده است. بررسی اولیه حاکی از هم خوانی بسیار بالا میان نتایج این سوندازها می باشد. اما بررسی دقیق تر مدل های این سه سونداز حاکی از وجود تفاوت های اندکی می باشد. با توجه به ارائه مدل های هم ارز توسط نرم افزار Resixip برای یک دسته داده، به نظر می رسد می توان داده های ناهمخوان را تا اندازه ای تصحیح کرد. یکی از پارامترهایی که دارای ناهم خوانی اندکی است، مقاومت ویژه لایه دوم نقطه سونداز اول می باشد. با توجه به نزدیک تر بودن مقدار مقاومت ویژه این لایه در سونداز های دوم و سوم و تفاوت قابل توجه مقدار آن با مقاومت لایه دوم سونداز نقطه اول، به بررسی مدل های هم ارز سونداز اول می پردازیم. در این بررسی به جستجوی لایه هایی می پردازیم که دارای مقاومتی کمتر از مقاومت محاسبه شده در مدل ارائه شده باشد. با بررسی مدل های هم ارز نقطه سونداز اول (شکل ۲۹-۳) مشخص شد مدلی وجود دارد که مقاومت ویژه آن با مقاومت ویژه های سوندازهای دوم و سوم هم خوانی دارد. به نظر می رسد نتایج بدست آمده برای لایه دوم نقطه سونداز اول، دارای صحت و هم خوانی بیشتری نسبت به نتایج تفسیر اولیه سونداز در این نقطه دارد. در نتیجه جایگزینی مدل جدید، نتایج تفسیر جدید سونداز آرایه مربعی در نقطه اول در جدول ۲۱-۳ آمده است.

یکی دیگر از نقاط ناهم خوانی، مقاومت ویژه لایه اول سونداز سوم است. چراکه مقاومت ویژه این لایه نسبت به مقاومت ویژه لایه های متناظر در سوندازهای اول و دوم کمتر می باشد. با بررسی مدل های هم ارزی لایه سوم دیده می شود که لایه ای که مقاومت ویژه ای بزرگتر از این تقریبا



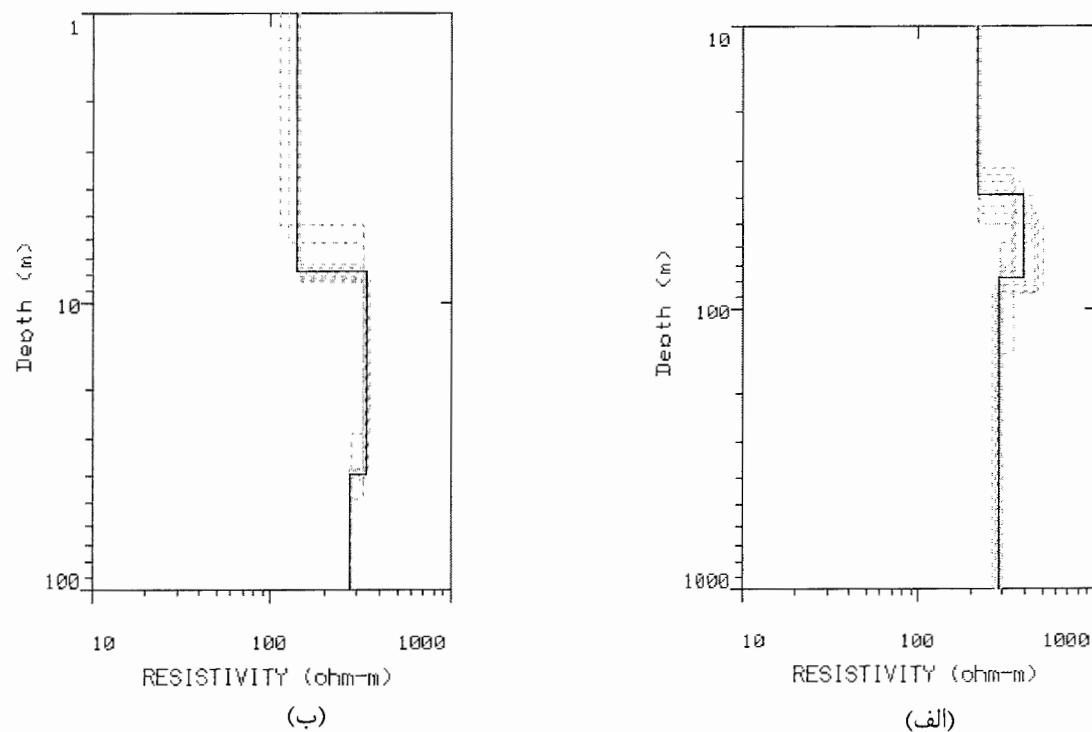
شکل ۳-۲۹-۳- مدل های هم ارز سونداز آرایه مربعی نقطه اول.

جدول ۳-۲۰-۳- نتایج تصحیح شده تفسیر سونداز آرایه مربعی در نقطه اول.

لایه	مقاومت ویژه(اهم.متر)	عمق(متر)	ضخامت(متر)
اول	۲۰۰	۲۴	۲۴
دوم	۴۰۵	۴۶	۲۲
سوم	۳۰۸	-	-

وجود ندارد. در نتیجه همین مقاومت ویژه را برای لایه اول سونداز دوم در نظر می گیریم.

بررسی مدل های هم ارز سونداز آرایه مربعی نقطه سوم نشان می دهد که مقدار بعضی پارامترهای محاسبه شده در این نقطه تقریبا بطور دقیق محاسبه شده اند. این پارامترها عبارتند از : مقاومت ویژه های لایه دوم و سوم. همچنین عمق لایه اول حاصل از تفسیر این سونداز ها نیز تقریبا با دقت بالایی بدست آمده است چراکه تغییر در عمق لایه اول بدست آمده از تمام مدل های هم ارز در حدود سه متر می باشد. از مدل های هم ارز سونداز های نقاط دوم و سوم(شکل ۳-۳) نیز مقاومت ویژه اول با دقت بالایی ثبت شده است.



شکل ۳-۳۰- مدل های هم ارز تفسیر سوندazer آرایه مربعی نقطه دوم(الف) و سوم(ب).

فصل چهارم - جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

۴-۱- جمع بندی و نتیجه گیری

اکنون به بررسی نتایج بدست آمده از اندازه گیری های انجام شده در این پایان نامه می پردازیم. نتایج بدست آمده از پروفیل زنی با آرایه مربعی روی خط پروفیل یک دره کال قرنو حاکی از وجود سه شکستگی در فواصل ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری مبدأ این خط پروفیل می باشد. این نقاط با توجه به ضرایب ناهمسانگردی بالا بعنوان نقاط دارای شکستگی انتخاب شده اند. بررسی های زمین شناسی و مطالعه عکس های هوایی منطقه حاکی از وجود این شکستگی ها و صحت نتایج بدست آمده از پروفیل زنی آرایه مربعی می باشد.

مطالعه نتایج بدست آمده از خط پروفیل دوم آرایه مربعی نیز میین وجود شکستگی در نقاطی با فاصله ۱۳۵، ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰ متری از مبدأ خط پروفیل دوم، بدليل بالا بودن ضرایب ناهمسانگردی بدست آمده از این نقاط می باشد. بررسی های زمین شناسی و مطالعه عکس های هوایی نیز مؤید نتایج بدست آمده از این خط پروفیل می باشد. بررسی تغییرات مقاومت ویژه در این بازه، نشان دهنده روندی کاهشی برای مقاومت ویژه میانگین می باشد. در نتیجه با توجه به مطالعات پیشین انجام شده با این روش می توان احتمال آبدار بودن شکستگی های مربوطه را بیان نمود. وجود چاهی با آبدهی بسیار خوب در فاصله تقریبا ۴۰۰ متری از این نقاط می تواند این احتمال را قوت ببخشد. نتایج بدست آمده از پروفیل زنی با آرایه مربعی متقطع حاکی از وجود شکستگی های احتمالا آبدار در فاصله ۱۵۰ تا ۱۸۰ متری از مبدأ خط پروفیل دو با راستای تقریبی شمالی - جنوبی می باشد. بررسی عکس های هوایی میین دقت بالای راستای تعیین شده می باشد. در نتیجه می توان بیان کرد که آرایه مربعی متقطع می تواند با دقت بسیار بالایی راستای شکستگی های مدفون را نیز تعیین کند. علاوه بر این محاسبات نشان می دهد که لایه در دره کال قرنو دارای شیب بالای ۴۶ تا ۶۰ درجه می باشند. در نتیجه با توجه به شیب بالای لایه ها

به نتایج بدست آمده از این پایان نامه می توان بیان نمود که داده های آرایه مربعی به کمک تبدیل مناسب $\text{Fa}_{1/2}$ به کمک نرم افزارهای تفسیری رایج قابل تفسیر می باشد. در نتیجه برخلاف آنچه که در بعضی از مطالعات آمده با آرایه مربعی علاوه بر تفسیر کیفی می توان به تفسیر کمی نیز پرداخت.

به نظر می رسد تحقیق و مطالعه با این آرایه هنوز در آغاز راه خود باشد. نگارنده با توجه به مطالعات تقریبا کاملی که روی تمامی مقالات ارائه شده با این روش انجام داده است معتقد است یکی از مهمترین مطالبی که بایستی روی آن کار جدی شود بررسی محاسباتی (تئوریک) و عملی (تجربی) عمق نفوذ دقیق این آرایه می باشد.

۲-۴- پیشنهادات

با توجه به نتایج بدست آمده از این پایان نامه، پیشنهاداتی به شرح زیر ارائه می گردد:

۱ - با توجه به احتمال آبدار بودن شکستگی های فاصله ۱۳۵ تا ۱۸۰ متری از مبدا خط پروفیل دوم، برای بررسی صحت احتمال فوق و تعیین عمق و ضخامت لایه آبدار با توجه به ناهمسانگردی بالای موجود در دره کال قرنو پیشنهاد می گردد مطالعاتی به روش سوندازرنی آرایه مربعی متقطع در این فاصله انجام شود. همچنین پیشنهاد می گردد مطالعاتی به روش پروفیل زنی - سوندازرنی جهت تعیین مقاومت ویژه و ضخامت لایه ها انجام گیرد.

۲ - با توجه به ناهمسانگردی بالایی که در دشت دانشگاه مواجه هستیم پیشنهاد می گردد مطالعاتی به روش سوندازرنی آرایه مربعی متقطع نیز در دشت دانشگاه انجام گردد.

۳ - با توجه به نتایج رضایت بخش این تحقیق پیشنهاد می شود از آرایه مربعی به دلیل کارایی و دقیقت بالا و تاثیر پذیری کمتر آن از جهت گیری و ناهمسانگردی (که تقریبا در همه جا وجود دارد) استفاده شود. علاوه بر این پیشنهاد می گردد از این آرایه در تعیین درزه و شکاف ها در پی جویی های مربوط به اکتشاف آب و مطالعات مهندسی استفاده شود.

منابع و مأخذ

منابع فارسی

- ۱- اطلس راههای ایران، ۱۳۸۰، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی و گیتاشنا - سی.
- ۲- پیروز، ا.، ۱۳۸۲، بکارگیری روش ترکیب یافته از حفاری الکتریکی و ترانشه زنی الکتریکی برای اکتشاف منابع آبهای زیر زمینی در زمین های سخت(کارست)، پژوهش پژوهشی-کاربردی، دانشگاه صنعتی شاهرود- سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان سمنان.
- ۳- تاراس، ف.، ۱۳۷۷، تشخیص آلودگی نفتی محیط آبهای زیر زمینی در منطقه کهریزک تهران توسط روش های مقاومت سنجی و VLF، پایان نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- ۴- حفیظی، م.ک. و ولی، ج.، ۱۳۷۸، بررسی منابع آب زیر زمینی در درز و شکافها به روش مقاومت ویژه و قطبش القایی با آرایه مربعی، فیزیک زمین و فضا جلد ۲۵، شماره ۲، ۲۹-۲۳.
- ۵- داربکس-آفودا، ر. و لوئیس، پ.، ترجمه منصوری، س.، سهم اندازه گیریهای ناهمسانگردی الکتریکی در جستجوی لایه های آبدار دارای شکستگی در کریستالین بنین. مجله ژئوفیزیکال پروسپکتینگ، سال ۱۹۸۹، شماره ۳۷، ۹۱-۱۰۵.
- ۶- عکس های هوایی منطقه شاهرود، ۱۳۴۲، مقیاس ۱:۲۲۰۰۰، سازمان نقشه برداری کشور.
- ۷- مردمی، ه.، ۱۳۸۳، معرفی آرایه مربعی در اکتشاف ژئوالکتریکی، سمینار کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشکده معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۸- نقشه زمین شناسی شاهرود، ۱۳۸۰، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

منابع لاتين

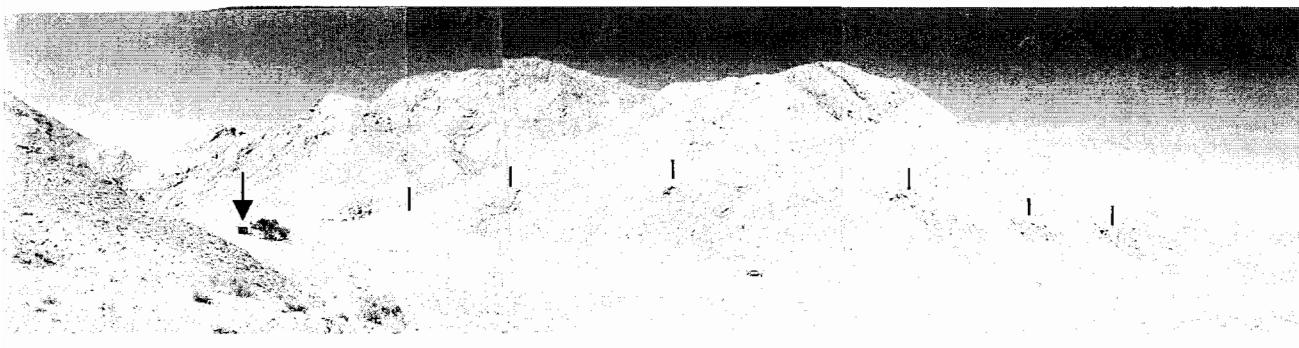
- 9-Carpenter, E. C. and Habberjam, G. M. 1956. A Tri-potential method of resistivity prospecting. *Geophysics*, 21, p.455-469.
- 10-Darboux-Afouda, R. and Louis, P. 1989. Contribution des mesures l'anisotropie electrique a la recherche des aquifers de frecture en milieu cristallin au Benin. *Geophysical Prospecting*, 37, 91-105.
- 11-Dobrin,M.B. and Savit,C.H.1988. Introduction to geophysical prospecting. John Whiley & Sons, 876.
- 12- Habberjam, G.M. and Watkins, G.E. 1967. The use of a square array configuration in resistivity measurements. *Geophysical Prospecting*, 15, 445-467.
- 13- Habberjam, G.M. 1972. The effect of anisotropy on square array resistivity measurements. *Geophysical Prospecting*, 20, 249-266.
- 14- Habberjam, G.M. 1975. Apparent resistivity , anisotropy and strike measurements. *Geophysical Prospecting*, 23, 211-247.
- 15-Hesse, A., Jolivet, A and Tabbagh, A.1986. New prospects in shallow depth electrical surveying for archaeological and pedological applications. *Geophysics*, 51, 585-594.
- 16-Karwatowsky, J. and Habberjam, G.M. 1981. A tunnel resolution investigation using an automated tank analogue. *Geophysical Prospecting*, 29, 891-905.
- 17-Keller, G.V. and Frischknecht, F.C. 1966. Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press,187.
- 18-Lane, J.W., Haeni, F.P. and Watson, W.M. 1997. Use of a square-array direct-current resistivity method to detect fractures in crystalline bedrock in New Hampshire. www.usgs.org, 23.
- 19-Loke, M.H., 1999, Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies;A practical guide to 2-D and 3-D surveys. www.geoelectrical.com, 45.
- 20-Mooney, H.M. 1980. Handbook of Engineering geophysics, V.2, Bison instruments Inc, 102.
- 21-Patra, H.P. and Nath, S.K., 1999, Schlumberger geoelectric sounding in ground water, A.A.Balkema, 153.
- 22-Parasnis, D.S.1997. Principles of Applied Geophysics. Chapman&Hall, 437.

- 23-Powers, C.J., Singha, K. and Haeni, F.P. 1998. Integration of surface geophysical methods for fracture detection in bedrock at mirror lake, New Hampshire, www.usgs.org, 24.
- 24-Resixip.1996. User's manual. Interpex Inc, 98.
- 25-Reynolds, J, M . 1997. An introduction to applied and environmental geophysics, John Whiley & Sons, 750.
- 26-Senos Matias, M.J. and Habberjam, G.M. 1984. A field example of the use of anisotropic parameters derived from resistivity sounding. Geophysical Prospecting, 32, 725-739.
- 27- Senos Matias, M.J. and Habberjam, G.M. 1986. The effect of structure and anisotropy on resistivity measurements. Geophysics, 51, 964-971.
- 28- Senos Matias, M.J. 2002. Square array anisotropy measurements and resistivity sounding interpretation. Journal of Applied Geophysics, 49, 185-194.
- 29-Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press, 770.
- 30-Tsokas, G.N., Tsourlos, P.I. and Szymanski, J.E. 1997. Square array resistivity anomalies and inhomogeneity ratio calculated by the finite-element method. Geophysics, 62, 426-435.
- 31-Yungul, S.H. 1996. Electrical methods in geophysical exploration of deep sedimentary basins. Chapman&Hall, 208.

پیوست

برای اثبات صحت نتایج بدست آمده از این پژوهش، عکس هایی از منطقه مورد مطالعه برداشت شده است. در ذیل تمامی این عکس ها همراه با توضیح ارائه شده است.

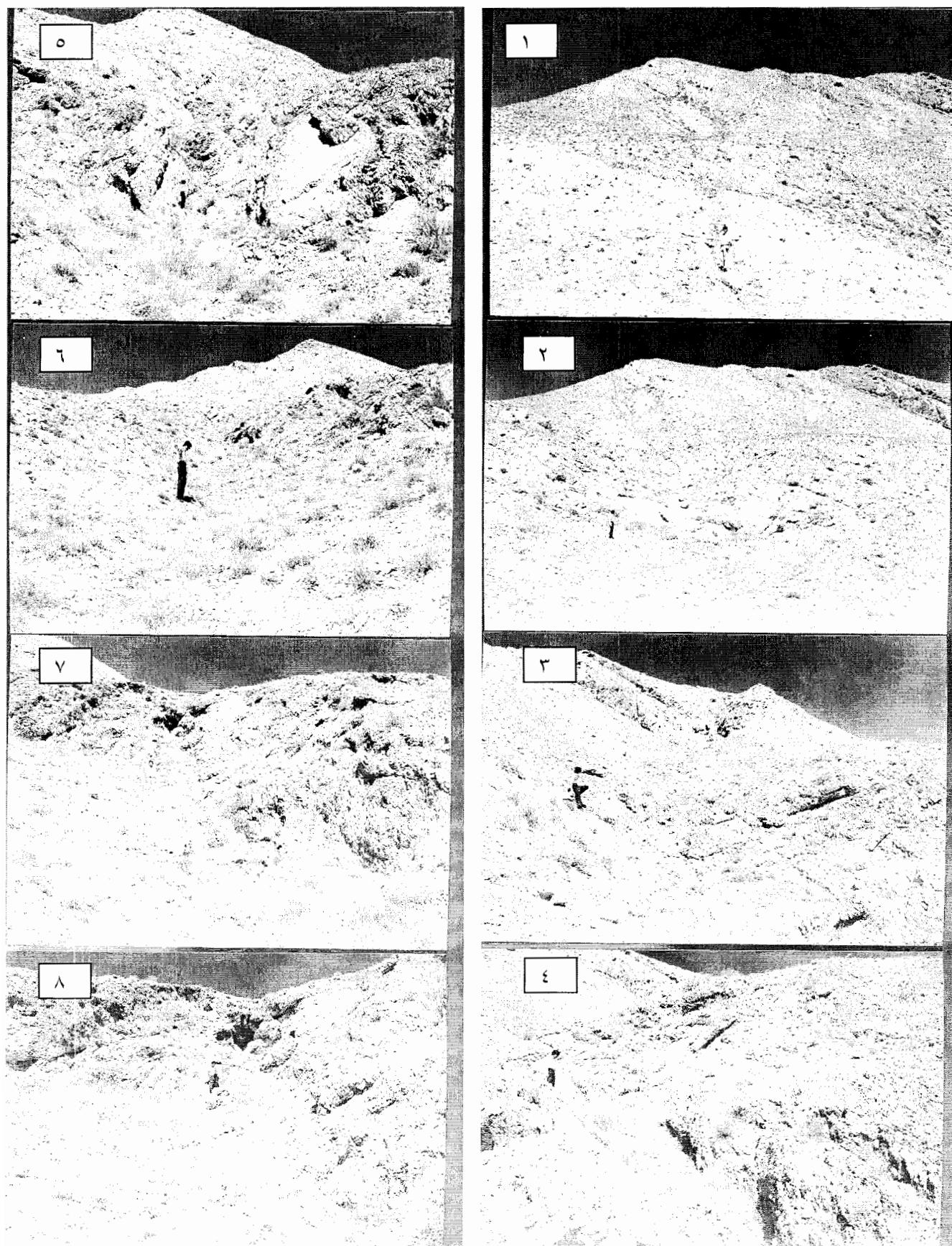
در شکل الف - ۱ نمایی کلی از دره و شکستگی های روی آن نشان داده شده است. چاه ذوب آهن در سمت چپ با فلش مشخص است. همچنین خطوط مشکی رسم شده به ترتیب از چپ به راست محل شکستگی های ۵۰ متری پروفیل ۱، ۱۰۰ متری پروفیل ۱، ۲۰۰ متری پروفیل ۱، ۱۵۰ متری پروفیل ۲، ۱۶۵ متری پروفیل ۲ و ۱۸۰ متری پروفیل ۲ می باشند.



شکل الف - ۱- عکس از دیواره شمالی دره کال قرنو و شکستگی های روی آن. عکس از دیواره جنوبی برداشت شده است.

در شکل الف - ۲ نیز شکستگی های فوق الذکر بطور دقیق تر و نزدیک تر ارائه شده است. در شکل شماره ۱ شکستگی ۵۰ متری پروفیل ۱ نشان داده شده است. شکل ۲ شکستگی ۱۰۰ متری پروفیل ۱ و شکل ۳ و ۴ شکستگی ۲۰۰ متری پروفیل ۱ را نشان داده شده است.

در شکل ۵ و ۶ عکس هایی از شکستگی ۱۵۰ متری پروفیل ۲ ارائه شده است. شکل ۷ شکستگی ۱۶۵ متری پروفیل ۲ و شکل ۸ نیز شکستگی ۱۸۰ متری این پروفیل را نشان می دهد.



شکل الف -۲- عکس بزرگتر شکستگی های نمایش داده شده روی شکل الف -۱



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining Engineering and Geophysics

Square array resistivity capability and interpretation of its data

*This thesis submitted in part fulfillment of the degree of Master of Science in
Geophysics*

By:

R.alipour

Supervisors:

Dr. A. Moradzadeh

Dr. M. K. Hafizi

September 2004