

www.1000.com



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوالکترونیک

مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی
به منظور اکتشاف کانی های سیلیسی طلا دار در منطقه بزمان
استان سیستان و بلوچستان

نگارنده: رضا شکری

اساتید راهنما

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر علیرضا عرب امیری

بهمن ۱۴۰۰

تقدیم اثر

تقدیم بہ پدر و مادرم

کہ از نگاہشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

شکر و قدردانی

در اینجا که تدوین و نگارش این اثر به پایان رسیده است، بر خویشتن لازم می بینم

که از اساتید محترم، جناب آقای دکتر ابوالقاسم کاکار روحانی و جناب آقای دکتر

علیرضا عرب امیری که بارها بنی های دلسوزانه و کمک های بی دریغ خود را بهی دشوار

را بر من آسان نموده اند، کمال شکر و قدردانی را به جای بیاورم.

تعمدنامه

این جانب رضا شکری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک-ژئوالکترونیک دانشکده مهندسی معدن، نفت، ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی به منظور اکتشاف کانی های سیلیسی طلا دار در منطقه بزمان استان سیستان و بلوچستان، تحت راهنمایی دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر علیرضا عرب امیری متعهد می شوم.

تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.

مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «**hahrood University of Technology**» به چاپ خواهد رسید.

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در محدوده مورد مطالعه در این تحقیق (بزمان)، سنگ‌های آتشفشانی با شواهد حضور دگرسانی‌های آرژیلیتی و چندین مرحله سیلیسی شدن قابل مشاهده است. در رگه‌های سیلیسی در مواقعی عیار طلا به ۱ گرم در تن می‌رسد. شناسایی و بررسی این رگه‌های سیلیسی مورد نظر بوده و برای تفکیک آن‌ها و تعیین گسترش این رگه‌ها از روش‌های ژئوالکتریک، شامل برداشت فاکتورهای مقاومت ویژه الکتریکی و شارژابیلیته استفاده شده است.

ابتدا مناطق مورد نظر با آرایه مستطیلی زیر پوشش برداشت و اندازه‌گیری قرار گرفته و پس از تفکیک آنومالی‌های مقاوم الکتریکی احتمالی مرتبط با رگه‌های سیلیسی، برای تعیین گستره عمقی آن‌ها با استفاده از آرایه دو قطبی-دو قطبی تعداد ۷ مقطع عرضی مدل‌سازی و تهیه گردیده است. سپس نتایج حاصل با اطلاعات زمین‌شناسی موجود بررسی و محل گمانه‌های اکتشافی به منظور اعتبارسنجی نتایج مطالعات پیشین با مشخصات کامل آزیموت، شیب و طول حفاری پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: مقاومت ویژه الکتریکی (RS)، بارپذیری (IP)، رگه‌های سیلیسی، محدوده معدنی
بزمان، دو قطبی-دو قطبی

فصل اول : کلیات

۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	ضرورت انجام تحقیق:	۳
۳-۱	اهداف تحقیق	۴
۴-۱	روش تحقیق	۴
۵-۱	پیشینه تحقیق	۵
۶-۱	ساختار پایان نامه	۸

فصل دوم: مبانی روش های مقاومت ویژه الکتریکی و قلبش القایی

۱-۲	مقدمه	۱۰
۲-۲	روش مقاومت ویژه الکتریکی	۱۰
۱-۲-۲	روش اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی	۱۰
۲-۲-۲	آرایه الکترودی در برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی	۱۲
۱-۲-۲-۲	آرایه و نر	۱۴
۲-۲-۲-۲	آرایه شلومبرژه	۱۴
۳-۲-۲-۲	آرایه دوقطبی-دوقطبی	۱۵
۳-۲-۲	مقاومت ویژه الکتریکی مواد مختلف زمین	۱۶
۴-۲-۲	مدل سازی	۱۷
۵-۲-۲	کاربردهای روش مقاومت ویژه الکتریکی	۱۸
۶-۲-۲	معرفی پارامترهای فیزیکی	۱۹
۷-۲-۲	مسایل و مشکلات مرتبط با برداشت های صحرائی مقاومت ویژه	۲۱
۳-۲	پلاریزاسیون القایی (IP)	۲۳
۱-۳-۲	اصول و منشا پلاریزاسیون القایی IP	۲۳
۲-۳-۲	رسانندگی و مقاومت ویژه کانی ها و سنگ ها	۲۶
۴-۳-۲	انواع آرایش های الکترودی	۲۷
۵-۳-۲	انواع روش های IP	۲۸
۶-۳-۲	مزایای روش قطبش القایی	۲۹
۷-۳-۲	معایب و محدودیت های روش IP	۲۹

فصل سوم: موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

- ۳-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه ۳۲
- ۳-۲- شرایط اجتماعی و زیستی منطقه مورد مطالعه ۳۲
- ۳-۳- شرایط آب و هوایی مورد مطالعه ۳۳
- ۳-۴- مشخصات محدوده مورد مطالعه ۳۳
- ۳-۵- مورفولوژی و ریخت‌شناسی منطقه ۳۴
- ۳-۶- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه ۳۴
- ۳-۷- تکتونیک منطقه مورد مطالعه ۳۵
- ۳-۸- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه ۳۵

فصل چهارم: مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و P برداشت شده در منطقه

- ۴-۱- مقدمه ۴۲
- ۴-۲- بررسی تغییرات بارپذیری و مقاومت ویژه حاصل از آرایه مستطیلی ۴۲
- ۴-۲-۱- بررسی نتایج حاصل در زون شماره Z_1 ۴۲
- ۴-۲-۱-۱- بررسی تغییرات مقاومت الکتریکی ۴۲
- ۴-۲-۱-۲- بررسی تغییرات بارپذیری ۴۶
- ۴-۲-۲- بررسی نتایج حاصل در زون شماره ۲ (Z_2) ۴۹
- ۴-۲-۲-۱- بررسی تغییرات مقاومت الکتریکی ۴۹
- ۴-۲-۲-۲- بررسی تغییرات بارپذیری ۵۲
- ۴-۳- تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از آرایه دوقطبی- دوقطبی ۵۵
- ۴-۳-۱- زون Z_1 ۵۵
- ۴-۳-۱-۱- شبه مقطع ۱۵- ۵۵
- ۴-۳-۱-۲- شبه مقطع ۳۵- ۵۶
- ۴-۳-۱-۳- بررسی شبه مقطع ۵۵ ۵۸
- ۴-۳-۱-۴- بررسی شبه مقطع ۷۵ ۶۰
- ۴-۳-۱-۵- بررسی شبه مقطع ۱۰۵ ۶۱
- ۴-۳-۲- زون Z_2 ۶۳
- ۴-۳-۲-۱- بررسی شبه مقطع ۷۰ ۶۳
- ۴-۳-۲-۲- بررسی شبه مقطع ۱۳۵ ۶۴

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۵-۱- نتیجه‌گیری ۶۸
- ۵-۲- پیشنهادات ۶۹
- منابع ۷۱

فهرست جداول

صفحه

عنوان

جدول ۱-۲: مقاومت ویژه الکتریکی برخی از انواع آب، رسوبات و سنگ‌ها.	۱۷
جدول ۱-۳: مشخصات مربوط به زون یک	۳۳
جدول ۲-۳- مشخصات مربوط به زون دو	۳۵
جدول ۳-۴: اطلاعات دو گمانه حفرشده در این شبه مقطع	۵۵
جدول ۴-۴: اطلاعات گمانه حفرشده در این شبه مقطع	۵۷
جدول ۵-۴: اطلاعات دو گمانه حفرشده در این شبه مقطع	۵۹
جدول ۶-۴: اطلاعات دو گمانه حفرشده در این شبه مقطع	۶۱
جدول ۷-۴: اطلاعات گمانه حفرشده در این شبه مقطع	۶۲
جدول ۸-۴: اطلاعات گمانه حفرشده در این شبه مقطع	۶۳
جدول ۹-۴: اطلاعات گمانه حفرشده در این شبه مقطع	۶۵
جدول ۱-۵: مشخصات گمانه های اکتشافی در زون شماره ۱	۷۰
جدول ۲-۵: مشخصات گمانه های اکتشافی در زون شماره ۲	۷۰

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۲: آرایه‌ی کلی الکترودی در بررسی‌های مقاومت ویژه الکتریکی؛ شامل دو الکتروود A و B که جریان الکتریکی را به زمین انتقال می‌دهند و دو الکتروود پتانسیل M و N که اختلاف پتانسیل حاصل را اندازه‌گیری می‌کنند ۱۱
- شکل ۲-۲: نمایش شماتیک میدان جریان و خطوط هم پتانسیل ۱۲
- شکل ۳-۲: آرایه‌های الکترودی رایج مورد استفاده در پیمایش‌های مقاومت ویژه و فاکتور هندسی (K) مربوط به هر آرایه. ۱۳
- شکل ۴-۲: شکل کلی آرایه‌ی و نر که در آن فاصله‌ی الکتروودهای متوالی O_1, P_2, P_1, O_2 برابر و به‌اندازه‌ی a است [۱۴]. ۱۴
- شکل ۵-۲: شکل شماتیک آرایه شلومبرژه و روابط مربوط به محاسبه‌ی مقاومت ویژه و فاکتور هندسی مربوط به این آرایه الکترودی [۱۱]. ۱۵
- شکل ۶-۲: دو ترتیب مختلف ممکن برای اندازه‌گیری با آرایه دوقطبی-دوقطبی ۱۶
- شکل ۷-۲: الکتروودهای اضافی جریان، الف: الکتروودهای اضافی که در یک خط راست عمود به امتداد آرایه قرار می‌گیرند، دارای کمترین اثر روی ضریب آرایه هستند. ب: با افزایش تعداد الکتروودهای اضافی مقاومت تماس با زمین کاهش می‌یابد. ۲۲
- شکل ۸-۲: پدیده پلاریزاسیون القایی (I P) پس از قطع جریان اثر ولتاژ اضافی ایجاد می‌کند ۲۴
- شکل ۹-۲: پدیده پلاریزاسیون الکترودی و روند فیزیکی تشکیل آن ۲۵
- شکل ۱۰-۲: پلاریزاسیون الکترودی. الف، شارش بدون مانع الکتروولیت در یک کانال باز ب: پلاریزاسیون یک ذره رسانا که در کانال ارتباطی سنگ قرار گرفته است. ۲۶
- شکل ۱-۳: نقشه راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه ۳۲
- شکل ۲-۳: عکس هوایی از محدوده مورد مطالعه ۳۴
- شکل ۳-۳: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته شده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ چاه سنگی .. ۳۷
- شکل ۴-۳: تصاویری از رگه‌های سیلیسی در محدوده بزمان ۳۷
- شکل ۵-۳: تصاویری از بافت‌های موجود در رگه‌های سیلیسی الف) نوارهای متشکل از سیلیس کلوفرم، ب) نوارهای متشکل از سیلیس کلوفرم و شانه‌ای پ) رگه سیلیسی با بافت دانه ریز و شانه‌ای ت) برش‌های گرمایی دارای قطعات سیلیسی با بافت کلوفرم و نواری ۳۸
- شکل ۶-۳: ذرات طلای آزاد در درون کوارتز، پیریت و جاروسیت همراه با کانه‌های اسفالریت، گالن و پیریت در نمونه‌های منطقه (امیدوار اشکلک، م ر: مختاری م، ۱۳۹۳) ۳۹
- شکل ۴-۱۱ نقشه تغییرات مقاومت ویژه محدوده اکتشافی Z۱ با آرایه مستطیلی ۴۵

شکل ۴-۲: نقشه بارپذیری محدوده اکتشافی Z₁ با آرایه مستطیلی ۴۷

شکل ۴-۳: نقشه تغییرات مقاومت ویژه و بار پذیری محدوده اکتشافی Z₂ با آرایه مستطیل ۵۱

شکل ۴-۴: نقشه تغییرات مقاومت ویژه و بار پذیری محدوده اکتشافی Z₂ با آرایه مستطیل ۵۴

شکل ۴-۵: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه بار پذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در شبه مقطع ۱۵- ۵۶

شکل ۴-۶: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و بار پذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در شبه مقطع ۳۵ ۵۷

شکل ۴-۶: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و بار پذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در شبه مقطع ۵۵ ۵۹

شکل ۴-۷: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و بار پذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در شبه مقطع ۷۵ ۶۱

شکل ۴-۸: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و بار پذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در شبه مقطع ۱۱۵ ۶۲

شکل ۴-۹: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه بار پذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در شبه مقطع ۷۰ ۶۴

شکل ۴-۱۰: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه بار پذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در شبه مقطع ۱۳۵ ۶۵

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

ژئوفیزیک در حقیقت علمی است که با بررسی خصوصیات فیزیکی زمین به مطالعه‌ی آن می‌پردازد. ژئوفیزیک دارای زیرشاخه‌های مختلف است که در آن، این روش‌های اندازه‌گیری شده در وقفه‌های زمانی مختلف به‌طور روال، جواب‌های فیزیکی را در یک محدوده خاص، در نقاط زمانی و مکانی گسسته برای هدفی خاص با استفاده از همان ابزار در یک شرایط مشابه مورد بررسی قرار می‌دهد. علاوه بر این روش‌های ژئوفیزیکی تفسیر و پردازش اطلاعات ثبت‌شده در این نقاط زمانی را مورد بررسی قرار می‌دهد که باهدف مورد مطالعه و پیش‌بینی تغییرات مورد هدف با گذر زمان است [۱].

روش پلاریزاسیون یا قطبش القایی (IP) روش است که بر اساس خاصیت قطبش عمل می‌کند و از لحاظ کاربردی نیز دارای کاربردهایی است که هیچ روش ژئوفیزیکی نمی‌تواند جایگزین آن شود. لذا این روش از روش‌های منحصربه‌فرد هم از لحاظ تئوری و هم از لحاظ کاربردی شناخته می‌شود. این روش یکی از معمول‌ترین و کارآمدترین روش‌ها برای شناسایی کانی‌های فلزی و سولفیدی است. این روش معمولاً در حوزه‌ی زمان و فرکانس اندازه‌گیری می‌شود که از معمول‌ترین متغیر در اندازه‌گیری دوره زمان بارپذیری می‌باشد. از طرفی مقاومت ویژه دارای خاصیت ذاتی است و فقط به جنس ماده بستگی دارد.

و چون مواد مختلف بر اساس جنس تفکیک می‌شوند لذا در شناخت وضعیت ساختاری و زمین‌شناسی منطقه این روش مهمی تلقی می‌گردد؛ و حتی این روش مکمل خوبی برای روش IP در اکتشاف منابع فلزی محسوب می‌شود [۲].

برای کسب اطلاعات بهتر و اکتشافات بهینه باید عملیات اکتشافی سیستماتیک صورت گیرد و همچنین با استفاده از علم و روش‌های نوین اطلاعات و داده‌های برداشته‌شده مورد مدل‌سازی و تفسیر قرار گیرنده برای مشخص کردن هدف‌های حفاری روش‌های ژئوفیزیکی نقش دارند. برای کشف محل کانی‌های سولفیدی می‌توان از روش IP و مقاومت ویژه استفاده کرد. برای کشف ذخایر پلی

متال نیز از روش‌های ژئوفیزیکی متفاوتی استفاده می‌شود که از متداول‌ترین روش‌ها استفاده هم‌زمان از روش‌های IP و مقاومت ویژه الکتریکی (RS) در کنار روش مغناطیسی سنجی است.

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق

از همان ابتدای آفرینش انسان با توجه به نیاز و شناخت خود از مواد معدنی تا همین‌الان استفاده کرده است و روزبه‌روز هر چه نیاز و شناخت بشر در این مسیر بیشتر شده در کنار آن تلاش آن‌ها نیز برای به دست آوردن مواد معدنی بیشتر شده و باعث شده به علمی دست یابد که بتواند:

۱- به مواد معدنی و منابع انرژی بیشتر دست پیدا کند.

۲- به راه‌های سریع‌تر و به‌صرفه‌تر و کم‌هزینه‌تر دست پیدا کند.

یکی از راه‌های اقتصادی هر کشور پیشرفت آن کشور در صنعت و معدن آن است.

لذا باید دقت شود که با انجام پژوهش‌ها و کارهای کارشناسی لازم اولاً که این منابع از بین نروند و دچار خسارت و صدمه نشوند و دوم این‌که کارشناسان ما باید بهتر روش‌ها را به‌کارگیرند. تا علاوه بر صرفه اقتصادی سریع و بدون خسارت نیز باشند.

یکی از عناصر بسیار مهم که حتی می‌تواند پشتوانه‌ی پول هر کشور باشد طلا است و از آنجایی که این عنصر بسیار گران و ارزشمند است برای همین اکتشاف و استخراج این عنصر بسیار مهم تلقی می‌گردد با توجه به موقعیت زمین‌شناسی منطقه در محدوده بزمان که از سنگ‌های آتشفشانی با دگرگونی ضعیف آثار آریلی شدن و با توجه به این‌که دارای رگ‌های و رگچه‌های سیلیس سولفید دار و نقش‌های استوک و رکی است و از طرفی در رگه‌های سیلیسی در مواقعی عیار تقریبی طلا بین یک تا دو گرم در تن می‌رسد شناسایی و بررسی این رگه‌های سیلیسی موردنظر بوده و با توجه به این‌که روه‌های مقاومت ویژه و IP مخصوصاً در جاهایی که کانی‌زایی‌های استوک و رکی داریم پاسخ خوب به ما می‌دهند و از آنجایی که این روش‌های ژئوالکتریکی روش‌ها به‌صرفه‌ای از لحاظ اقتصادی و مدیریت زمانی هستند و برای اکتشاف کانی‌های فلزی با توجه به موقعیت زمین‌شناسی روش‌های بارپذیری و

مقاومت ویژه مدنظر گرفته شد که علاوه بر موقعیت آنومالی می تواند عمق و گستره جانبی و حتی شیب آنومالی را برای ما مشخص کند.

۱-۳ اهداف تحقیق

از جمله اهداف مطالعه ژئوفیزیکی در این منطقه می توان به صورت زیر عنوان نمود:

الف) مشخص کردن آنومالی های IP .RS

ب) تعیین گستره آنومالی ها به صورت جانبی و افقی

ج) ردیابی گسل ها و همبری ها

د) تلفیق نتایج با اطلاعات موجود دیگر از جمله زمین شناسی

ه) تعیین محل حفاری های اکتشافی

و) پیش نهاد اکتشافات تکمیلی در صورت لزوم

۱-۴- روش تحقیق

روش های مطالعه در این طرح تحقیقاتی شامل مطالعات کتابخانه ای، صحرایی و آزمایشگاهی است. در مطالعات کتابخانه ای از همه مطالب و دستاوردهای علمی مربوط به موضوع پژوهش استفاده شده است.

ابتدا مناطق امیدبخش معدنی موردنظر کارفرما با استفاده از آرایه مستطیلی (Rectangle array) مورد پی جویی قرار گرفته و در نتیجه آنومالی های الکتریکی زیرسطحی مشخص گردید. پس از تفکیک آنومالی های مقاوم الکتریکی در رابطه بارگه های سیلیس برای تعیین گسترده عمقی آنها، داده های الکتریکی مقاومت ویژه و IP در طول ۵ پروفیل از مرکز آنومالی ها با استفاده از آرایه دوقطبی- دوقطبی (Dipole -dipole) و با فاصله ی الکترودی ۲۰ متری در دو زون Z_1 و Z_2 که پنج پروفیل و در Z_2 دو پروفیل به طور جداگانه صورت گرفته است. لازم به ذکر است که در این منطقه کلاً ۳۶۶۰ اندازه گیری مقاومت ویژه و IP به عمل آمده است که ۱۶۸۰ اندازه گیری با آرایه مستطیلی و ۱۹۸۰ اندازه گیری با آرایه دوقطبی انجام شده است. داده های برداشت شده با نرم افزار Res2Divin

مدل‌سازی شده‌اند. همچنین در این منطقه نتایج مدل‌سازی با اطلاعات زمین‌شناسی تلفیق گردید و پس از بررسی‌های دقیق نسبت به تعیین محل و جزئیات گمانه اکتشافی اقدام شده است.

۱-۵- پیشینه تحقیق

اباذر فرد و همکاران، ۱۳۹۹ در پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی زمین‌آماری غیرمستقیم توزیع فضایی عیار طلا با استفاده از تلفیق داده‌های IP - RS و پاراژنهای سولفیدی همراه در محدوده یگانگی و قینرجه (زر شوران) به این نتیجه رسیدند که با توجه به وجود چگالی بالا در مقادیر عنصر طلا، دقت در ارزیابی آن بسیار مهم بوده و تحقیقات مختلفی برای کاهش عدم قطعیت این عنصر انجام شده است. برای افزایش دقت مدل‌سازی، داده‌های گمانه اکتشافی (داده‌های سخت) و داده‌های ژئوفیزیکی (داده‌های نرم) به صورت ترکیبی استفاده شد. بدین منظور، داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی برداشت‌شده در منطقه مورد مطالعه به عنوان داده‌های نرم در الگوریتم روش مدل‌سازی به کار گرفته شده است. داده‌های ژئوفیزیکی شامل ۱۷ پروفیل موازی با طول حدود ۷۳۵ متر است. با توجه به توپوگرافی منطقه، برداشت پروفیل‌های ژئوفیزیکی با آرایه قطبی - دوقطبی و بافاصله الکترودی ۳۰ متر انجام شده است. جهت تأثیر داده‌های نرم در رویکرد مدل‌سازی، بر اساس نتایج وارونه‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی یک فاکتور ژئوفیزیکی به نام فاکتور سولفیدی ارائه شد. همچنین، بر اساس داده‌های حاصل از ۱۷ گمانه اکتشافی و پیاده‌سازی روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی روی آن‌ها، یک فاکتور معرف کانی‌سازی به منظور تأثیر داده‌های سخت در رویکرد مدل‌سازی ارائه شد. در نهایت، جهت برقراری ارتباط بین داده‌های سخت و داده‌های نرم، از روش کوکریجینگ استفاده شد. مقایسه نتایج این رویکرد با نتایج مدل‌سازی کانسار طلا با استفاده از روش کریجینگ معمولی حاکی از کاهش عدم قطعیت در مدل‌سازی است.

عسگری و همکاران، ۱۳۹۱ در پژوهشی تحت عنوان تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی (IP/RS) محدوده معدنی طلای هیرد بر مبنای مطالعات زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه زایی به این نتیجه رسیدند که این کانسار از نوع ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی است از آنجاکه در این سامانه‌ها

بیشترین ذخیره طلا همراه با سولفید است و در سقف استوک‌های گرانیت ویدی احیایی کانه ساز و سنگ‌های هورن فلسی مجاور، شکل می‌گیرد، اکتشافات ژئوفیزیکی به روش پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه الکتریکی بر روی توده نفوذی گرانیتویدی احیایی و نواحی هم‌جوار باهدف شناسایی بخش‌های پنهان کانی سازی، انجام شده است. تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی (IP – RS) با اطلاعات زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی سازی منطقه، دلالت بر کانی سازی گسترده‌ای در حاشیه خاوری توده نفوذی و سنگ‌های دربرگیرنده دارد. در این ارتباط پنج ناحیه بی‌هنجار با بارپذیری بیش از ۳۰ میلی ولت بر ولت مشخص شده که به‌طور کلی می‌توان آن‌ها را در دودسته جداسازی کرد: (۱) بی‌هنجاری دارای پلاریزاسیون القایی بالا و مقاومت ویژه کم که ناشی از حضور فراوان سولفورهای فلزی به‌صورت پراکنده، رگه‌ای و توده‌ای همراه با دگرسانی شدید سریسیتی است و (۲) بی‌هنجاری دارای پلاریزاسیون القایی بالا و مقاومت ویژه الکتریکی متوسط تا بالا که مشخص‌کننده وجود سولفورهای فلزی به‌صورت پراکنده و شدت زیاد دگرسانی سیلیسی- کربناتی می‌باشد.

فتحی بایزید آباد و همکاران، ۱۳۹۶ در پژوهشی با عنوان اکتشافات ژئوفیزیکی طلا در محدوده معدن طلای زر شوران تعداد ده پروفیل با استفاده از آرایش قطبی-دوقطبی در محدوده معدن طلای زر شوران واقع در استان آذربایجان غربی برداشت شد. داده‌های برداشتی با مدل‌سازی معکوس دوبعدی هموار، مدل‌سازی شدند؛ که نتایج حاصل از آن‌ها به کمک اطلاعات زمین‌شناسی و حفاری‌های انجام‌شده در منطقه منجر به شناسایی زون‌های کانی‌سازی طلا گردید. در نهایت نقاط بهینه جهت حفاری اکتشافی پیشنهاد گردید.

باقری کارگر و همکاران، ۱۳۹۳ در پژوهشی با عنوان اکتشاف طلا به روس IP و مقاومت ویژه در منطقه دره اشکی به این نتیجه رسیدند که داده‌ها با نرم‌افزار Res2dinv مدل‌سازی و پس از تفسیر مناطق با بارپذیری بالا و مقاومت ویژه پایین تا متوسط ناشی از کانی سازی سولفید فلزی به‌منظور اکتشاف طلا شناسایی شد و سپس حفاری پیشنهاد شد.

زهر اعلمی نیا و همکاران، ۱۳۸۹ در پژوهشی تحت عنوان: کانی سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک به روش IP-RS در منطقه طلا - آنتیموان حسن‌آباد شمال شرق ایران، به این نتیجه دست یافتند که ناهنجاری بارپذیری به سمت شمال غرب رگه اصلی طلا آنتیموان ادامه دارد و در پروفیل ۳۰۰W به صورت سه هنجاری ناپیوسته و کوچک دیده می‌شود. بارپذیری بالا در هر سه شبه مقطع و گسترش زون ناهنجاری در آن‌ها مؤید حضور مواد هادی سولفیدی بوده و با نتایج کانی‌سازی‌های مشاهده شده در گمانه‌ها انطباق دارد. افزایش مقاومت ویژه الکتریکی در پروفیل 150w مرتبط به توده ساب ولکانیک کوارتز مونزودیوریت پورفیری است، که در گمانه‌ها مشاهده شده و به نظر می‌رسد سن آن جوان‌تر از گرانیته‌ها است. می‌توان پیش‌بینی نمود که در بخش شمال شرقی پروفیل 150w جایی که کانی سازی در سطح دیده نمی‌شود، اما در عمق گسترش خوبی دارد.

کنراد شلومبرژه (۱۹۱۲) با انجام آزمایشانی موفق شد روش مقاومت ویژه الکتریکی را ابداع کند که نتیجه تحقیقاتش را در سال ۱۹۲۰ منتشر کرد که باعث پیشرفت اقتصادی این روش شد که از کاربرد این روش می‌توان به کشف گاز در کشور رومانی در سال ۱۹۲۳ و همچنین اکتشاف گنبد‌های نمکی فرانسه در سال ۱۹۲۶ نام برد (مهدوی، ۱۳۸۳).

کنراد شلومبرژه روش IP را نیز برای اولین بار گزارش کرد که در اواخر سال ۱۹۴۰ برای اکتشاف آنومالی‌های سولفیدی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت^۱.

وارون سازی داده‌های IP در سال ۱۹۹۴ با سه روش توسط اولدنبرگ و لی انجام شد از آنجایی که داده‌های IP و مقاومت ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند. معکوس سازی داده‌های IP طی دو مرحله انجام می‌شود با معکوس سازی داده‌های مقاومت ویژه یک مدل اولیه به دست می‌آید که برای مدل سازی داده‌های IP می‌توان از آن مدل اولیه استفاده کرد و سپس زمین برای پارامتر سازی مدل به تعداد زیادی مستطیلی تقسیم می‌شود که در آن به اجرا می‌گذاشته که در هر بلوک مستطیلی مقدار IP و RS ثابت است تعداد سلول‌ها با منشورهای مستطیلی از تعداد داده‌ها خیلی بیشتر هستند

برای همین علاوه بر کمینه کردن تابع عدم برازش Misfit پارامترهای مدل نیز یک تابع وزن دار کمینه شود که به عنوان کم تعیین شده شناخته می شود.

۱-۶ ساختار پایان نامه

این پایان نامه شامل پنج فصل می باشد؛ که در این فصل به بیان مقدمه مروری بر کارهای انجام شده ضرورت و روش تحقیق می پردازد؛ و در فصل دو مبانی تئوری و علمی روش های مقاومت ویژه و IP را بیان می کند فصل سوم به زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و شرایط جغرافیایی منطقه توضیح داده می شود. در فصل چهارم به مدل سازی دوبعدی و تفسیر مقاطع داده های مقاومت ویژه IP می پردازد و در نهایت فصل پنجم به بحث و نتیجه گیری و پیشنهادها لازم اختصاص یافته است.

فصل دوم:

مبانی روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش القایی

۱-۲ مقدمه

اولین مطالعات قطبش القایی و مقاومت ویژه در ایران به سال ۱۹۴۶ برمی‌گردد. تقریباً بر روی تمامی معادن فلزی شناخته‌شده در ایران روش‌های فوق اجرا شده است (آرشیو گزارش‌های ژئوفیزیک سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران). در سایر نقاط جهان نمونه‌های فراوانی از استفاده روش‌های مذکور در مجلات SEG و ASEG می‌توان یافت [۳] و همچنین در اکثر مطالعات جدید، ژئوفیزیک نقش مؤثرتری در نمایش ذخایر پنهان در عمق دارد [۴].

۲-۲ روش مقاومت ویژه الکتریکی

روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی در اوایل قرن بیستم توسعه یافتند؛ اما از دهه ۷۰ میلادی، به دلیل استفاده از رایانه برای تجزیه، تحلیل و پردازش داده‌ها، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. این روش‌ها به‌طور گسترده‌ای برای اکتشاف ذخایر معدنی، منابع آب زیرزمینی و نیز نظارت بر انواع آلودگی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد این روش محدود به استفاده از روش جریان مستقیم (جریان متناوب بسیار کم) می‌شود [۵].

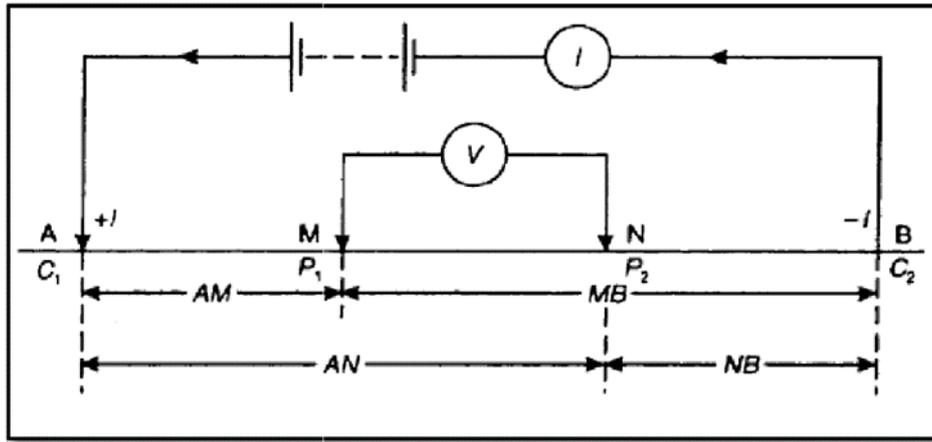
۱-۲-۲ روش اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی

برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی، جریان الکتریکی نوع مستقیم را با دو الکتروود نقطه‌ای جریان A و B به درون زمین ارسال شده و اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین دو الکتروود پتانسیل M و N در سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱-۲). مقاومت ویژه الکتریکی از فرمول محاسبه می‌شود [۶]. در این رابطه K فاکتور هندسی^۱ آرایش مورد استفاده بر حسب متر [۷]، V اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده و I شدت جریان تزریق شده به زمین می‌باشد.

$$\rho = K * \frac{V}{I} \quad (1-2)$$

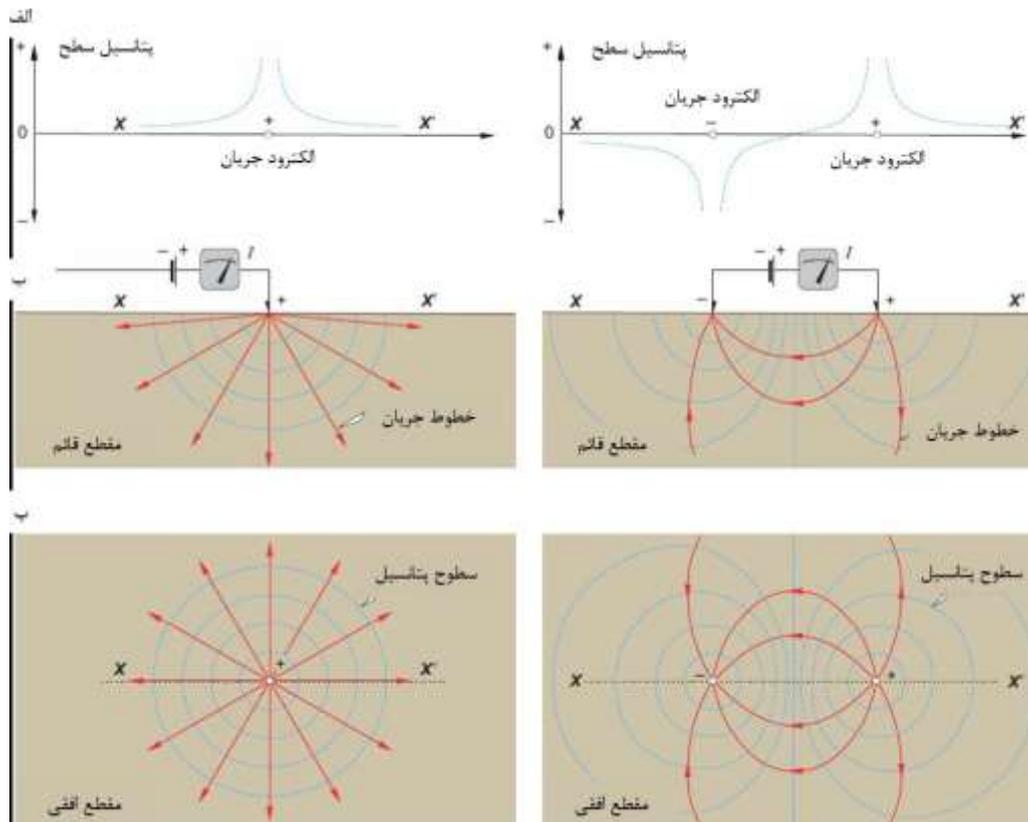
فاکتور هندسی آرایش‌های مختلف الکتروودی از (رابطه ۲-۲) محاسبه می‌شود [۸]:

$$K = 2\pi * \frac{1}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (2-2)$$



شکل ۱-۲: آرایه‌ی کلی الکتروودی در بررسی‌های مقاومت ویژه الکتریکی؛ شامل دو الکتروود A و B که جریان الکتریکی را به زمین انتقال می‌دهند و دو الکتروود پتانسیل M و N که اختلاف پتانسیل حاصل را اندازه‌گیری می‌کنند [۵]

خطوط فرض شده هم‌پتانسیل عمود بر خطوط جریان هستند. هدایت الکتریکی و ناهمگنی‌های جانبی در مقاومت ویژه و باعث ایجاد انحراف در خطوط جریان شده که همین امر باعث ایجاد بی‌نظمی در سطوح هم‌پتانسیل می‌گردد. اثر این بی‌نظمی‌ها در سطح زمین ظاهر می‌شود، که این بی‌نظمی‌ها را می‌توان به وسیله‌ی الکتروودهای پتانسیل اندازه‌گیری کرد. همان‌طور که در (شکل ۱-۲) مشاهده می‌کنید الف: پتانسیل سطح حاصل از یک تک‌قطبی سمت چپ و یک دوقطبی در سمت راست، ب: مقطع عمقی حاصل از یک تک‌قطبی در سمت چپ و یک دوقطبی سمت راست، پ: مقطع افقی حاصل از یک تک‌قطبی در سمت چپ و یک دوقطبی در سمت راست [۹].



شکل ۲-۲: نمایش شماتیک میدان جریان و خطوط هم‌پتانسیل

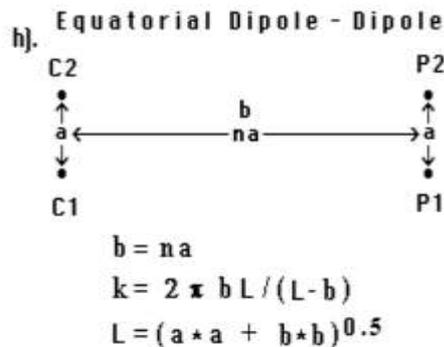
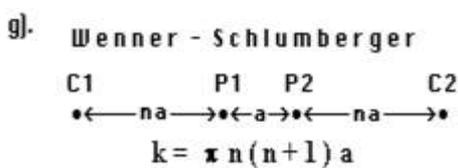
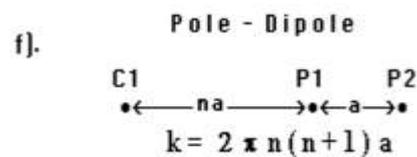
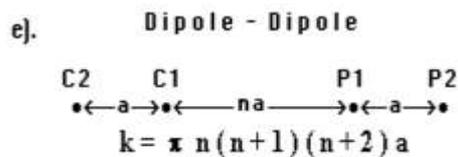
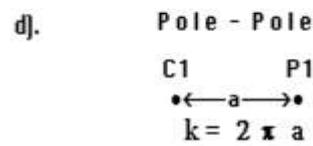
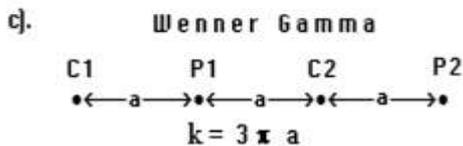
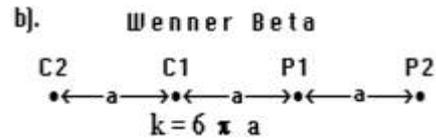
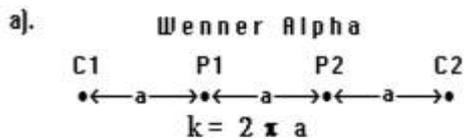
کابل‌ها و الکترودها برای همه‌ی سیستم‌ها علی‌رغم این‌که قیمت چندان بالایی ندارند، اما بسیار حیاتی هستند و به همین دلیل است که با بسیاری از نوفه‌ها (نویز) در ارتباط هستند [۱۰].

۲-۲-۲- آرایه الکترودی در برداشت‌های مقاومت ویژه الکتریکی

آرایش‌های الکترودی به شکل‌های مختلفی برای برداشت مقادیر مقاومت ویژه زمین استفاده می‌شوند، برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

و نر (آلفا، بتا و گاما)، قطبی-قطبی و نر-شلمبرژه، دوقطبی-دوقطبی، قطبی-دوقطبی، قطبی-دوقطبی و نر-استوایی.

در آرایش‌های الکترودی، نحوه چیدمان الکترودها و همچنین فاکتور هندسی هر آرایش نمایش داده شده است. پارامتر a فاصله‌ی الکترودی، پارامتر n که برای آرایه‌های قطبی-دوقطبی، دوقطبی-دوقطبی و نر-شلمبرژه مؤلفه‌ی تعداد فواصل جدایش به‌اندازه‌ی a است. a و نر آلفا، b و نر بتا، c و نر گاما d قطبی-قطبی e (دوقطبی-دوقطبی f) قطبی - دوقطبی g و نر-شلمبرژه h دوقطبی - دوقطبی استوایی [۱۱].



$k = \text{Geometric Factor}$

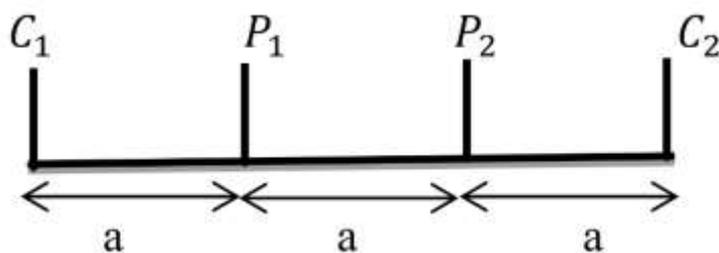
شکل ۲-۳: آرایه‌های الکترودی رایج مورد استفاده در پیمایش‌های مقاومت ویژه و فاکتور هندسی (K) مربوط به هر آرایه. [۱۲].

روش پروفیل‌زنی الکتریکی به‌عنوان روشی برای تهیه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی درون زمین در طول یک خط برداشت استفاده می‌شود. در این روش برای بررسی تغییرات جانبی مقاومت ویژه در یک عمق معین، یک فاصله الکترودی ثابت که بر اساس مقدار عمق مورد نظر انتخاب شده است؛ بین الکترودهای مختلف حفظ می‌شود و الکترودها به‌صورت کلی در طول خط برداشت جابه‌جا می‌شوند [۱۲]

در ادامه به‌طور خلاصه برخی از انواع آرایه‌های مورد استفاده در برداشت‌های مقاومت ویژه مورد بررسی قرار گرفته است:

۲-۲-۱-آرایه و نر^۱

در این آرایه فاصله‌ی همه‌ی الکترودهای متوالی C_1 ، C_2 ، P_1 و P_2 باهم مساوی است (شکل ۲-۴) و به‌منظور بررسی تغییرات جانبی مقاومت ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برداشت‌های بسیاری از این نو آرایه استفاده می‌شود و داده‌های آن به‌وسیله‌ی نرم‌افزارهای ژئوالکتریکی مدل‌سازی، تفسیر و پردازش می‌گردد. به‌طور کلی آرایه‌ی و نر به سه نوع آرایه و نر نوع آلفا و نر نوع بتا و نر نوع گاما تقسیم‌بندی می‌شود. در آرایه و نر معمولی (آرایه و نر نوع آلفا) الکترودهای جریان در دو طرف الکترودهای پتانسیل قرار می‌گیرند به‌عبارت‌دیگر الکترودهای پتانسیل در بین الکترودهای جریان قرار دارند؛ و فاصله‌ی بین هر دو الکترودهای کناری برابر با مقدار مساوی a است. در و نر بتا الکترودهای جریان C_1 و C_2 در یک‌طرف پروفیل و الکترودهای پتانسیل P_1 و P_2 در طرف دیگر و با فواصل مساوی قرار می‌گیرند. همچنین در و نر گاما الکترودهای جریان و پتانسیل به‌صورت یک‌درمیان C_1 ، P_1 ، C_2 ، P_2 و با فاصله‌ی مساوی از یکدیگر قرار دارند [۱۳].



شکل ۲-۴: شکل کلی آرایه‌ی و نر که در آن فاصله‌ی الکترودهای متوالی C_1 ، P_1 ، P_2 ، C_2 برابر و به‌اندازه‌ی a است [۱۴].

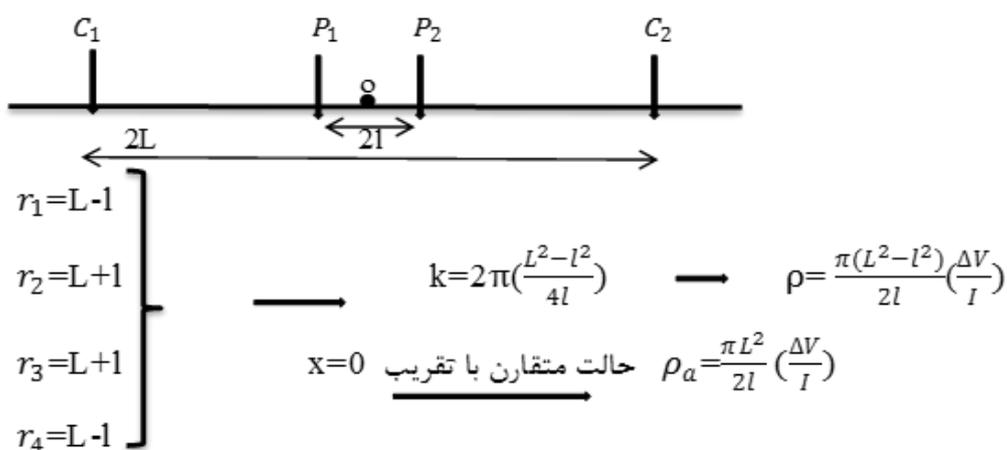
۲-۲-۲-آرایه شلومبرژه^۲

در آرایه شلومبرژه در مابین الکترودهای جریان، الکترودهای پتانسیل با فاصله‌ی الکترودهای $2a$ قرار می‌گیرند؛ و فاصله هر دو الکترودهای جریان و پتانسیل از نقطه وسط بین آن دو برابر می‌باشد در آرایه و نر - شلومبرژه در هر بار اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل باید فاصله بین الکترودهای جریان با نسبت na افزایش یابد تا به این طریق بتوان عمق‌های بیشتری دسترسی پیدا کرد. در این آرایه، الکترودهای جریان در دو طرف و

¹-Wenner

2- Schlumberger

الکترودهای پتانسیل در بین دو الکتروود جریان و در یک طول برابر از نقطه وسط بین دو الکتروود جریان قرار می‌گیرند، به طوری که فاصله بین دو الکتروود پتانسیل ۲l و فاصله بین دو الکتروود جریان ۲L است؛ و در هر بار اندازه‌گیری، فاصله بین دو الکتروود جریان در دو طرف نقطه وسط بین آن دو الکتروود پتانسیل با یک اندازه برابر افزایش پیدا می‌کند [۱۲]. شکل شماتیک این آرایه و نحوه محاسبه فاکتور هندسی و مقاومت ویژه در این آرایه، در شکل (۵-۲) نشان داده شده است:

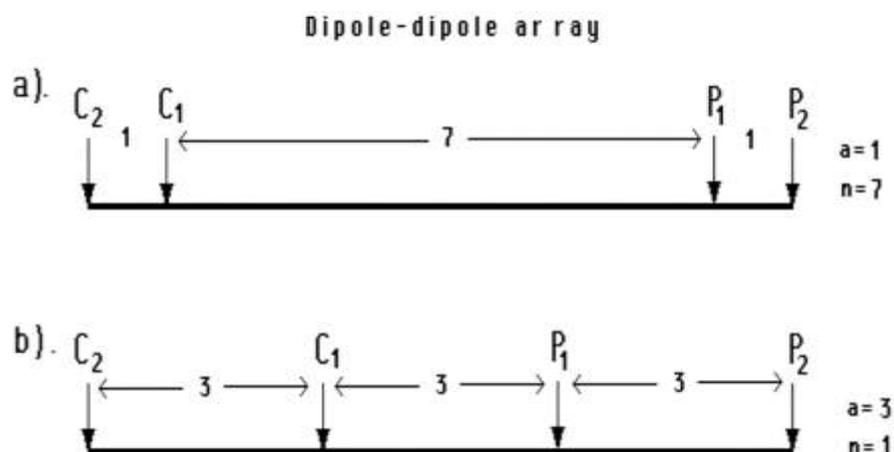


شکل ۵-۲: شکل شماتیک آرایه شلومبرژه و روابط مربوط به محاسبه‌ی مقاومت ویژه و فاکتور هندسی مربوط به این آرایه الکتروودی [۱۱].

۲-۲-۳ آرایه دوقطبی-دوقطبی^۱

در این آرایش، الکترودهای جریان در یک طرف و الکترودهای پتانسیل در طرفی دیگر قرار می‌گیرند؛ و فاصله بین دو الکتروود جریان با فاصله بین دو الکتروود پتانسیل برابر می‌باشند. این آرایه به طور گسترده‌ای در برداشت‌های صحرائی RS و IP مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ زیرا اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی بین جریان و پتانسیل اندکی دارد. در شکل (۶-۲) دو ترتیب ممکن برای اندازه‌گیری با آرایه دوقطبی-دوقطبی نشان داده شده است؛ این دو ترتیب دارای طول آرایه یکسان هستند اما عوامل a و n متفاوتی داشته و در نتیجه پاسخ بسیار متفاوتی دارند. a فاصله‌ی الکتروودی بین (C1 و C2) الکترودهای جریان است؛ که با فاصله‌ی بین

جفت الکترودهای پتانسیل (P_1 و P_2) برابر است. این آرایه یک پارامتر دیگر به نام n دارد؛ که نسبت فاصله-ی بین الکترودهای C_1 و P_1 به فاصله‌ی الکترودی با a نشان داده شده است. [۱۳].



شکل ۲-۶: دو ترتیب مختلف ممکن برای اندازه‌گیری با آرایه دوقطبی-دوقطبی [۱۳].

۲-۲-۳ مقاومت ویژه الکتریکی مواد مختلف زمین

داده‌های مقاومت ویژه تصویری از تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی ساختارهای زیرسطحی را نمایان می‌کنند. برای تبدیل این تصاویر به مقاطع زمین‌شناسی، لازم است اطلاعاتی درباره‌ی مقادیر مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی در اختیار باشد. در جدول (۲-۱) اطلاعاتی از مقدار مقاومت ویژه خاک‌ها، سنگ‌های مختلف و انواع مختلف آب آمده است.

مجموعه عواملی که بر مقدار مقاومت ویژه خاک‌ها، سنگ‌ها و آب‌ها تأثیرگذارند عبارت‌اند از [۱۰]:

- ۱- جنس کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ
- ۲- حجم خلل و فرج موجود در سنگ و میزان شکستگی
- ۳- حجم خلل و فرج (تخلخل) سنگ که از آب پر شده است
- ۴- وضعیت قرارگیری خلل و فرج و چگونگی ارتباط آن‌ها با یکدیگر
- ۵- رسانندگی الکتریکی آب محتوی

جدول ۲-۱: مقاومت ویژه الکتریکی برخی از انواع آب، رسوبات و سنگ‌ها.

مقاومت ویژه الکتریکی (mΩ)	نوع سنگ
۰,۲	آب دریا
۳-۱۰	آب محتوی سفره‌های زیرزمینی
۵۰-۱۰۰	آب چشمه‌ی طبیعی
۲-۲۰	خاک رس
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	شن و ماسه خشک
۵۰-۵۰۰	شن و ماسه اشباع از آب شیرین
۰,۵-۵	شن و ماسه اشباع از آب شور
۳۰۰-۱۰۰۰۰	آهک
۲۰-۱۰۰	مارن
۵۰-۳۰۰	ماسه‌سنگ آرژیلیتی
۳۰۰-۱۰۰۰۰۰	ماسه‌سنگ-کوارتزیت
۲۰-۱۰۰۰۰	توف‌های آتش‌فشانی

۲-۲-۴ مدل‌سازی

داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی در این پایان‌نامه با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV مدل‌سازی شده-
اند. عملیات مدل‌سازی وارون (وارون‌سازی) استفاده‌شده با این نرم‌افزار بر اساس روش کمترین مربعات^۱ می-
باشد. وارون‌سازی در این روش بر اساس معادله‌های (۲-۲ و ۳-۲) می‌باشد.

$$(J^T J + uF)d = J^T g \quad (2-2)$$

1- Least-squares

$$F = f_x f_x^T + f_z f_z^T \quad (3-2)$$

در این معادله‌ها: f_x : فیلتر هموارسازی افقی^۱، f_z : فیلتر هموارسازی عمودی^۲، λ : ماتریس مشتقات جزئی^۳، u : فاکتور تعدیل^۴، d : بردار تغییرات مدل^۵، g : بردار اختلافات^۶ هستند.

این نرم‌افزار از روش کمترین مربعات بر اساس روش بهینه‌سازی گوس-نیوتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در روش گوس-نیوتن مرسوم در هر تکرار^۷ ماتریس ژاکوبین که همان ماتریس مشتقات جزئی است دوباره مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ولی ماتریس ژاکوبین فقط یکبار در روش شبه نیوتن^۸ محاسبه می‌شود. که از این روش در این نرم‌افزار نیز استفاده قرار می‌شود. [۱۳].

۲-۲-۵ کاربردهای روش مقاومت ویژه الکتریکی

روش مقاومت ویژه کاربردهای زیادی دارد که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است [۱۰]:

۱. تعیین عمق سنگ‌بستر
۲. تعیین عمق سطح ایستابی در آب زیرزمینی
۳. تعیین نواحی گسلش
۴. تعیین محل ذخایر شن و ماسه
۵. تشخیص آلودگی آب‌های زیرزمینی
۶. اکتشاف کانال‌های رودخانه‌ای مدفون
۷. تعیین ضخامت خاک
۸. تعیین فصل مشترک آب‌های شیرین و شور

1- Horizontal flatness filter
 2- Vertical flatness filter
 3- Matrix of partial derivatives
 4- Damping factor
 5- Model perturbation vector
 6- Discrepancy vector
 8- Iteration
 8- Quasi Newton

۹. اکتشاف بی‌هنجاری‌های ژئوترمال و زمین‌گرمایی

۱۰. تعیین زون‌های آلوده‌ی معدنی

۱۱. مطالعات باستان‌شناسی

۱۲. تخمین مقاومت فشاری سنگ

۱۳. تعیین تغییرات ناحیه‌ای در لایه‌های خاک

۱۴. تعیین زون‌های آلوده‌ی معدنی

۱۵. تعیین عمق و حجم زمین‌لغزش

۱۶. ضخامت لایه‌های یخچالی

۲-۲-۶ معرفی پارامترهای فیزیکی

بنا بر قانون اهم، زمانی که جریان الکتریکی (I)، از یک جسم رسانا با مقاومت (R) عبور کند رابطه اختلاف پتانسیل (V) ایجادشده به صورت $V=RI$ است و برعکس اگر اختلاف پتانسیل بین دو سر این جسم اعمال شود، از آن جریان عبور می‌کند برای مواد مختلف به نسبت پتانسیل تغییر می‌کند. ثابت تناسب بین شدت جریان و پتانسیل، مقاومت الکتریکی (R) نامیده می‌شود و واحد آن اهم است.

الف) مقاومت ویژه و رسانایی الکتریکی

مقاومت الکتریکی اجسام با طول آن‌ها نسبت مستقیم و با سطح مقطع رابطه معکوس دارد.

$$R = \frac{\rho L}{s} \quad (۲-۴)$$

در این رابطه، ρ بیانگر خاصیت الکتریکی هادی است. اگر R برحسب اهم لبرحسب متر و S برحسب

متر بیان شود.

واحد این رابطه که مقاومت ویژه نامیده می‌شود، اهم‌متر است. بنا به تعریف، یک اهم‌متر عبارت از مقاومت الکتریکی یک رسانا به طول یک متر و سطح مقطع یک متر است. عکس مقاومت ویژه نشان رسانایی نامیده می‌شود و با C نشان داده می‌شود.

(ب) چگالی جریان

از آنجاکه جریان تزریقی به زمین در یک محیط سه‌بعدی منتشر می‌شود، در نظر گرفتن چگالی جریان (J) به جای شدت جریان الکتریکی (I) در این مطالعات بهتر است. طبق تعریف، چگالی جریان عبارت از شدت جریانی است که از واحد سطح عبور می‌کند،

یعنی:

$$J = I/S \quad (5-2)$$

(پ) پتانسیل و میدان الکتریکی

میدان الکتریکی (E) برداری است که از پتانسیل V مشتق می‌شود:

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (6-2)$$

در صورتی که اختلاف پتانسیل بین دو نقطه برابر dV در نظر گرفته شود. برای دو نقطه نزدیک به هم به فاصله dI در محیطی به سطح S رابطه زیر برقرار است:

$$\vec{E} = -dV / dI \quad (7-2)$$

با توجه به رابطه ۱-۲ و قانون اهم می‌توان نوشت:

$$dV / dI = pI/S \quad (8-2)$$

در نتیجه:

$$\vec{E} = -pJ$$

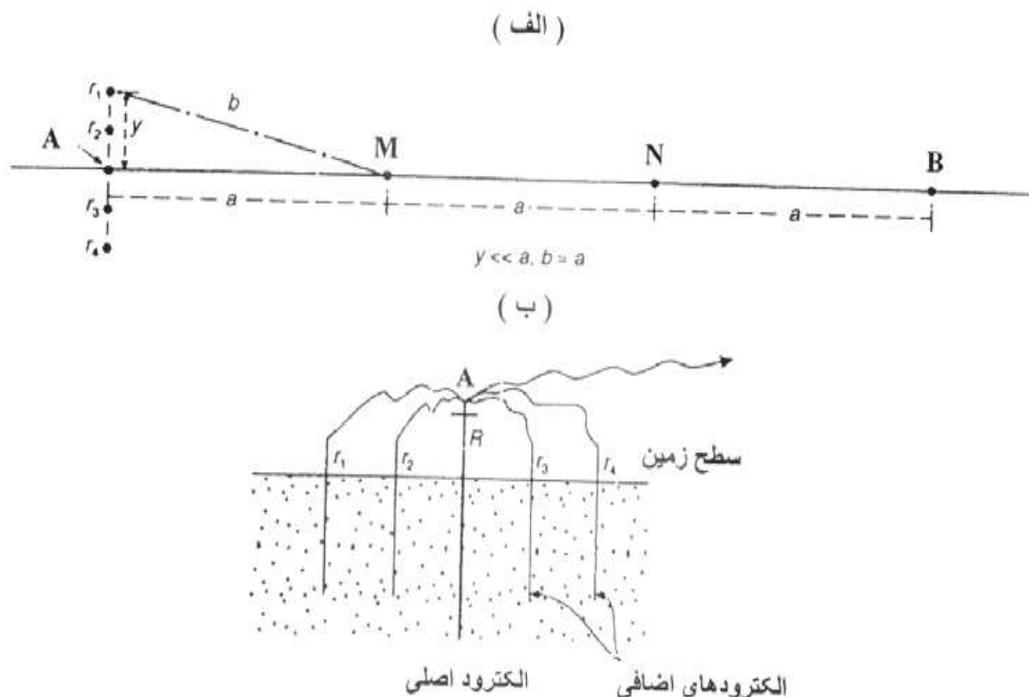
(۹-۲)

علامت منفی در رابطه (۹-۲) نشانگر پتانسیل با افزایش فاصله است.

۷-۲-۲ مسائل و مشکلات مرتبط با برداشت‌های صحرائی مقاومت ویژه

از جمله مهم‌ترین مسائل برداشت‌های مقاومت ویژه در صحرا، مقاومت تماس الکترودها با زمین است. در اندازه‌گیری مقاومت ویژه باید جریان الکتریکی را به‌خوبی وارد زمین کرد. اگر مقاومت الکترودهای جریان غیرمعمول و زیاد باشند، جریان آن‌قدر ضعیف می‌شود که اندازه‌گیری را عملاً غیرممکن می‌کند. زمانی که مواد سطحی از ماسه یا آهک خشک، قطعه‌سنگ، شن، لاتریت و یا دارای یخ‌زدگی شده باشد، مقاومت تماس الکترودها و زمین بسیار زیاد می‌شود. علاوه بر آن، در زمین‌هایی با رطوبت کم نیز در اثر تلف‌شده در اطراف الکترودهای جریان، امکان تشکیل جزئی بخار آب و در نتیجه افزایش بیشتر مقاومت تماس الکترودها با زمین وجود دارد. برای کاستن از مقاومت‌های زیاد تماس الکترودها و زمین به‌طور معمول دو روش یکی مرطوب کردن یا به‌اصطلاح آب دادن پای الکترودها با آب‌شور (گاهی همراه بنتونیت) و دیگری استفاده از چند الکترودها تزریق جریان وجود دارد.

در روش دوم که هزینه بیشتری دارد، چند الکترودها اضافی به الکترودها اصلی به‌صورت موازی متصل شده‌اند این حالت، مقاومت الکتریکی کلی الکترودهای چندتایی از مقاومت تک الکترودها اصلی کمتر خواهد بود. در این روش الکترودهای اضافی باید نسبت به خط آرایه با زاویه ۹۰ درجه قرار گیرند در صورتی که برای یک آرایه مشخص الکترودهای اضافی در امتداد خط آرایه قرار داده شوند، ضریب آرایه به دلیل به هم خوردن فاصله بین چهار الکترودها جریان و پتانسیل تغییر می‌کند. با قرارگیری الکترودهای اضافی در خطی با زاویه ۹۰ درجه نسبت به امتداد آرایه نیز فاصله بین الکترودهای جریان و پتانسیل به هم می‌خورد، اما این مسئله فقط زمانی حالت بحرانی دارد که فاصله بین الکترودهای اصلی جریان و پتانسیل کوچک باشد. بدین ترتیب در صورتی که فاصله الکترودهای اضافی و اصلی جریان نسبت به فاصله الکترودها اصلی و پتانسیل کوچک باشد، اثر حاصل ناچیز و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد (شکل ۷-۲).



شکل ۲-۷: الکترودهای اضافی جریان، الف: الکترودهای اضافی که در یک خط راست عمود به امتداد آرایه قرار می‌گیرند، دارای کمترین اثر روی ضریب آرایه هستند. ب: با افزایش تعداد الکترودهای اضافی مقاومت تماس

با زمین کاهش می‌یابد. [۵]

شرایط مطلوب برای گمانه‌زنی قائم الکتریکی آن است که گسترش آرایه مورد استفاده در امتداد خطی مستقیم انجام گیرد. اگر خط آرایه به صورت بارزی از حالت مستقیم خارج شده و تصحیحی برای آن منظور نشود، خطای مربوط در داده‌ها باعث ایجاد قسمت‌های تیز (پیک) در منحنی مقاومت ویژه ظاهری می‌شود. این خطاها در واقع حاصل نادرستی ضریب‌های آرایه در محاسبه مقادیر مقاومت ویژه ظاهری است. وجود چنین پیک‌هایی در منحنی مقاومت ویژه ظاهری، در صورتی که عامل آن مشخص نشود، از نظر تفسیری مشکل‌آفرین و ممکن است با مسائل مربوط به ناهمگونی‌های جانبی اشتباه شود.

در روش پروفیل زنی، اگر ضریب آرایه مورد استفاده در محاسبه مقاومت ویژه ظاهری دقیق باشد، نیمرخ حاصل از نظر تفسیر دچار مشکل خاصی نخواهد شد. بدین ترتیب همواره باید علاوه بر ثبت داده‌ها در سر زمین با تکیه بر یادداشت‌های مناسب به منظور دستیابی به اطلاعات صحیح اقدام کرد.

۲-۳ پلاریزاسیون القایی (IP)

ثبت پدیده پلاریزاسیون القایی (IP) اولین بار کنراد شلومبرژه در اوایل سال ۱۹۱۲ میلادی صورت گرفت و از اواخر دهه ۱۹۴۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفت [۱۶]. جهت اکتشاف توده‌های کانسار به‌خصوص سولفیدهای از روش پلاریزاسیون القایی به‌طور گسترده مورد استفاده می‌شود [۱۷] در اکثر بررسی‌های زیست‌محیطی و آشکارسازی زباله‌ها و آلودگی‌های ناشی از معادن سولفیدی این روش استفاده می‌شود. عمق نفوذ این روش به‌صورت تقریبی از ۵۰ متر تا ۲۰۰ متر متغیر است. در حقیقت قطبش القایی تابعی از ولتاژ مواد مختلف زیر سطح زمین می‌باشد؛ که بعد از قطع ولتاژ تزریقی، به‌طور مرتب کاهش می‌یابد. ولتاژ در دو سر الکتروده‌های پتانسیل یک‌باره صفر نمی‌شود، بلکه پس از یک کاهش بزرگ از حالت پایدار خود، به آهستگی کاهش می‌یابد. مدت‌زمان کاهش ولتاژ می‌تواند از چند ثانیه تا چند دقیقه متغیر باشد. اگر جریان دوباره برقرار شود، اختلاف پتانسیل بعد از یک افزایش اولیه ناگهانی، باگذشت یک بازه زمانی یکسان به حداکثر مقدار خود می‌رسد. پاسخ خوب این روش برای کانی‌های رسانای فلزی پراکنده در اکتشاف فلزات پایه به دلیل توسعه روش IP می‌باشد [۱۸]. این روش یک واکنش به زمین القا می‌کند؛ که این واکنش به توزیع و طبیعت نوع دانه‌بندی کانی بستگی دارد و در حالتی که کانی به‌صورت پراکنده باشد، نسبت به حالت توده‌ای آن مؤثرتر می‌باشد. وسایل اندازه‌گیری مورد استفاده در این روش بسیار شبیه به وسایل مورد استفاده در روش مقاومت ویژه الکتریکی البته با دقت بیشتر می‌باشد.

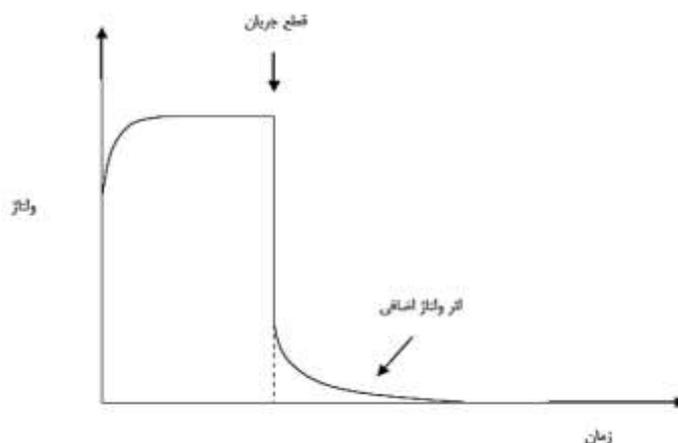
۲-۳-۱ اصول و منشأ پلاریزاسیون القایی IP

مطالعات انجام‌شده بر روی پدیده IP نشان می‌دهد که انرژی ذخیره‌شده درون جسم در زمان شارش جریان، پس از قطع جریان تخلیه می‌گردد. ذخیره این انرژی در یک جسم، می‌تواند به‌صورت مکانیکی، الکتریکی و از همه مهم‌تر به‌صورت شیمیایی انجام پذیرد.^۱ جریان‌های مصنوعی در داخل زمین جریان می‌یابند و باعث قطبیده شدن الکتریکی قسمت‌هایی از حجم سنگ می‌شوند. این فرآیند مشابه فرآیند شارژ شدن خازن یا باتری ماشین است و هر دو اثر خازنی و الکتروشیمیایی را شامل می‌شود^۲ در زمان ارسال

1, Sumner, 1976

2, Milsom, 2007

جریان به داخل زمین، تعادل طبیعی بین بارهای الکتریکی به هم می‌خورد و بارهای مثبت و منفی از هم جدا می‌شوند. مناطقی که مقاومت الکتریکی پایین‌تری دارند، معمولاً راحت‌تر قابلیت شارژ مجدد را دارند. از این خاصیت برای اکتشاف مواد معدنی مانند فلزات پایه استفاده می‌شود.



شکل ۲-۸: پدیده پلاریزاسیون القایی (IP) پس از قطع جریان اثر ولتاژ اضافی ایجاد می‌کند. [۱۸]

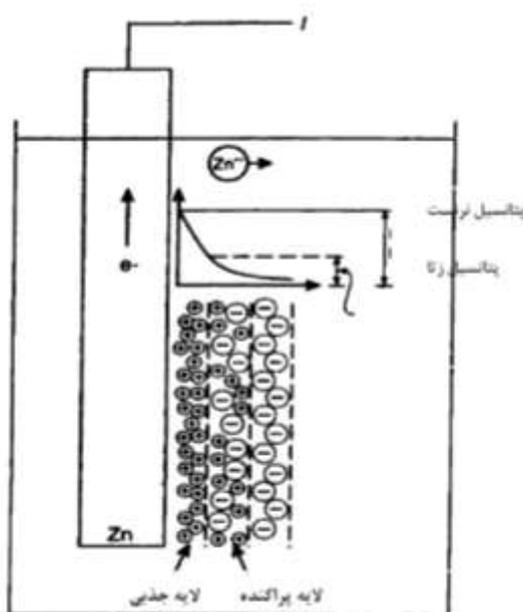
اثر قطبش القایی (IP) به علت دو مکانیسم اثر قطبش غشایی^۱ و اثر قطبش الکترودی^۲ به وجود می‌آید. اثر قطبش غشایی به‌طور عمده به علت وجود کانی رسی در سنگ و رسوبات است و بیشتر در برداشت‌های مهندسی و زیست‌محیطی استفاده می‌شود [۷]

اثر قطبش الکترودی در مواردی رخ می‌دهد که کانی‌های فلزی در سنگ وجود داشته باشد. هنگامی که ذرات فلزی در منطقه مورد مطالعه به‌صورت پراکنده باشند، با اعمال میدان الکتریکی خارجی بارها در دو سوی این ذرات متمرکز می‌شوند و لایه‌های الکتریکی حاصل، باعث افزایش اختلاف پتانسیل بین الکترودهای پتانسیل می‌شوند [۱۵].

1- Membrane polarization
2- Electrode polarization

دو سازوکار اصلی که پدیده پلاریزاسیون القایی (IP) را توجیه می‌کند، پلاریزاسیون فلزی (الکترودی) و پلاریزاسیون غشایی (الکترولیتی)، که هر دو در ارتباط با پدیده‌های الکتروشیمیایی هستند که ما در این تحقیق فقط به پلاریزاسیون فلزی می‌پردازیم.

اگر یک الکتروود فلزی بدون اعمال ولتاژ در یک محلول یونیزه قرار گیرد، بارهای الکتریکی مثبت و منفی از هم جدا می‌شوند و پتانسیلی را بین الکتروود و محلول ایجاد می‌کنند (شکل ۲-۹) پتانسیل کلی ایجادشده را پتانسیل نرنست^۱ و بخش مربوط به پتانسیل لایه جذب سطحی الکتروود را پتانسیل زتا^۲ می‌نامند.

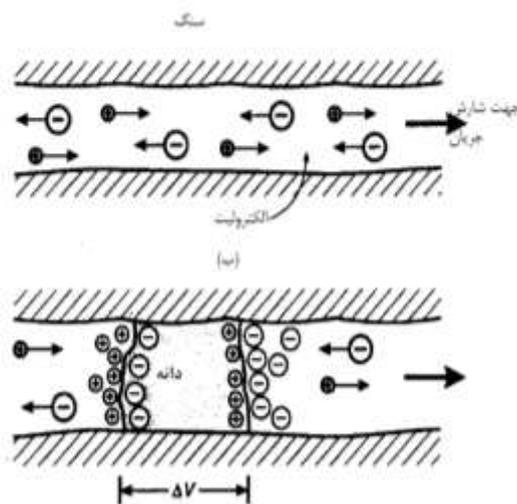


شکل ۲-۹: پدیده پلاریزاسیون الکتروودی و روند فیزیکی تشکیل آن [۵]

زمانی که به این مجموعه ولتاژی اعمال می‌شود، تعادل یونی به هم می‌خورد و در نتیجه باعث شارش جریان می‌شود که تغییر اختلاف پتانسیل بین الکتروود و محلول را به دنبال دارد. هنگامی که ولتاژ اعمال شده، حذف می‌شود، تعادل یونی به واسطه پخش یون‌ها دوباره برگردانده می‌شود. انتشار جریان در زمین در اثر حرکت یون‌ها از طریق آب زیرزمینی موجود در خلل و فرج مرتبط به هم شکستگی‌ها و ریز درزه‌های موجود در یک سنگ انجام می‌گیرد. زمانی که ذره‌ای رسانا (مانند یک سولفید فلزی) یک کانال شارش جریان را می‌بندد، یک سلول الکتروشیمیایی از بار الکتریکی ساخته می‌شود (شکل ۲-۱۰) که در تقابل با شارش جریان قرار

1- Nernst
2- Zeta

می‌گیرد و ذره فلزی پلاریزه می‌شود. بدین ترتیب، اختلاف پتانسیلی در دو طرف دانه فلزی به وجود می‌آید. با قطع ولتاژ اولیه، یون‌ها از طریق محیط الکترولیتی پخش می‌شوند و اختلاف پتانسیل ایجاد شده در ذره فلزی، طی زمان کوتاهی به سمت صفر میل می‌کند. این فرآیند مبنای اندازه‌گیری واپاشی ولتاژ در روش اندازه‌گیری حوزه زمان است.



شکل ۲-۱۰: پلاریزاسیون الکترودی. الف، شارش بدون مانع الکترولیت در یک کانال باز ب: پلاریزاسیون یک ذره رسانا که در کانال ارتباطی سنگ قرار گرفته است. [۵]

قطبش القایی ذره‌ها عمدتاً یک پدیده سطحی است و همین امر باعث پاسخ قابل توجه پلاریزاسیون القایی کانی‌سازی‌های فلزی پراکنده می‌باشد که یکی از مزیت‌های عمده این روش نسبت به سایر روش‌های الکتریکی است.

۲-۳-۲ رسانندگی و مقاومت ویژه کانی‌ها و سنگ‌ها

جریان الکتریکی از سه طریق رسانایی الکترولیتی، فلزی (اهمی) و دی‌الکتریکی در محیط منتشر می‌شود. حرکت نسبتاً کند یون‌های موجود در یک الکترولیت باعث ایجاد رسانایی الکترولیتی است. این رسانایی به پارامترهای مختلفی از جمله نوع یون، غلظت یونی و قدرت تحرک یون‌ها بستگی دارد. رسانایی فلزی، ویژه فلزاتی است که در آن امکان حرکت سریع الکترون‌ها و در نتیجه انتشار بار الکتریکی فراهم می‌شود. رسانایی دی‌الکتریکی مربوط به موادی با رسانایی بسیار ضعیف (عایق) است و زمانی مصداق دارد که تحت تأثیر یک جریان متناوب خارجی قرار گیرد و دلیل آن جابه‌جایی ضعیف الکترون‌ها نسبت به هسته‌اتم آن‌ها است.

از آنجاکه این نوع رسانایی در فرکانس‌های بسیار زیاد فعال می‌شود، در مطالعاتی که از جریان پیوسته و یا جریان متناوب با فرکانس پایین استفاده می‌شود، از آن می‌توان صرف‌نظر کرد. در بسیاری از سنگ‌ها که به‌طور معمول عایق هستند، رسانایی موجود از نوع الکترولیتی است. بسیاری از کانی‌های سولفیدی و بعضی کانی‌های دیگر مانند منیتیت و گرافیت رسانایی فلزی دارند. مقاومت ویژه مواد موجود در زمین گستره بسیار زیادی دارد. به‌طور معمول سنگ‌های آذرین بیشترین مقاومت ویژه را دارند و سنگ‌های رسوبی بسته به درجه تخلخل، نوع و مقدار الکترولیت موجود در خلل و فرج معمولاً مقاومت ویژه کمی دارند. مقاومت ویژه سنگ‌های دگرگونی، حد واسط سنگ‌های آذرین و رسوبی است، اما هم‌پوشانی زیادی با آن‌ها دارد. سن سنگ نیز در مقاومت ویژه آن مؤثر است. به‌عنوان مثال مقاومت ویژه یک سنگ آذرین کواترنری بین ۱۰ تا ۲۰۰ اهم‌متر است. درحالی‌که معادل همین سنگ با سن پرکامبرین مقاومت بیشتری دارد. در واقع با افزایش سن سنگ امکان پر شدن فضاهای خالی سنگ به دلیل تبلور کانی‌ها، افزایش تراکم و در نتیجه کاهش پارامترهای مؤثر روی مقاومت ویژه مانند تخلخل و مقدار سیال درون سنگ وجود دارد. گرافیت پراکنده در توده سنگ سبب کاهش مقاومت ویژه کلی سنگ می‌شود.

۲-۳-۴ انواع آرایش‌های الکترودی

اندازه‌گیری‌های IP همانند اندازه‌گیری‌های روش مقاومت ویژه الکتریکی به دو صورت سونداژزنی و پروفیل زنی اجرا می‌شود. موقعیت هندسی قرار گرفتن الکترودها نسبت به یکدیگر را آرایه الکترودی می‌نامند. در عملیات صحرائی، انتخاب یک آرایه الکترودی مناسب بسیار مهم می‌باشد [۴]. آرایه‌های الکترودی متنوعی برای برداشت داده‌های قطبش القایی وجود دارد که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. انتخاب آرایه مناسب به فضای موجود برای گسترش آرایه به کار گرفته شده و سختی و کارایی آن در کاربرد مورد نظر بستگی دارد. همچنین حساسیت آرایه‌ها به تغییرات جانبی و لایه‌های شیب دار نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است در اصل، به کار گرفتن آرایه کاملاً خطی لزومی ندارد؛ اما در عمل الکترودها تقریباً همیشه در یک خط قرار می‌گیرند، زیرا در غیر این صورت تفسیر نتایج دشوار و کار صحرائی پیچیده می‌شود [۶]. برای اینکه میزان جفت‌شدگی الکترومغناطیسی بین الکترودهای جریان و پتانسیل را به

کمترین مقدار کاهش داد، بیشتر از آرایش‌های دوقطبی- دوقطبی و قطبی- دوقطبی در این روش، استفاده می‌شود.

از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در برداشت داده‌های قطبش القایی می‌توان موارد زیر اشاره کرد [۱۶]

حساسیت به روباره هادی و حساسیت به توپوگرافی، نسبت سیگنال به نوفه، حساسیت به توپوگرافی سنگ‌بستر، جفت‌شدگی الکترومغناطیسی، حساسیت به موقعیت جانبی، قابلیت تفکیک ساختارهای شیب‌دار، قدرت تفکیک‌پذیری ساختارهای افقی، عمق نفوذ، حساسیت به عمق آنومالی‌ها، حساسیت نسبت به شیب، حساسیت به ناهمگن‌های سطحی در روش، حساسیت به ناهمگنی‌های سطحی در عملیات پروفیل زنی و حساسیت به اثرات جانبی.

چند نوع از آرایش‌های الکترودی مرسوم عبارت‌اند از: آرایش و نر^۱، آرایش لی^۲، آرایش شلومبرژر^۳ و آرایش دوقطبی- دوقطبی^۴، قطبی^۵- قطبی^۶.

۲-۳-۵ انواع روش‌های IP

اساس روش قطبش القایی (IP) بر میدان‌های الکتریکی ثانوی‌های که توسط جریان الکتریکی در زمین تولید می‌شود استوار است.

اندازه‌گیری‌های این روش در چهار حوزه زمان (TDIP)^۷، فرکانس (FDIP)^۸، فاز^۹ و قطبش القایی طیفی^{۱۰} (SIP) صورت می‌گیرد. در اندازه‌گیری‌های حوزه زمان ولتاژ کاهشی (ولتاژ پس از قطع جریان) به‌عنوان تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌شود. کمیت بارپذیری در این حوزه معمولاً برحسب میلی‌ثانیه بیان می‌شود. در اندازه‌گیری‌های حوزه فرکانس، مقاومت ویژه ظاهری در دو یا چند فرکانس متفاوت (که معمول زیر ۱۰ هرتز می‌باشند) اندازه‌گیری می‌شوند. در اندازه‌گیری‌های حوزه فاز، اختلاف‌فاز بین جریان تزریقی و

-
- 1- Wenner Array
 - 2- Lee Array
 - 3- Schlumberger Array
 - 4- Dipole-Dipole Array
 - 5- Pole-Dipole Array
 - 6- Pole-pole Array
 - 7- Time Domain Induced Polarization
 - 8- Frequency Domain Induced Polarization
 - 9- Fuzzy Domain Induced Polarization
 - 10- Spectral Induced Polarization

ولتاژ اندازه‌گیری شده در مقیاس لگاریتمی اندازه‌گیری می‌شود؛ این کمیت به مشخصه طبیعی کانی‌های زیرسطحی بستگی دارد. اندازه‌گیری‌های روش قطبش القایی طیفی، هم در حوزه زمان و هم در حوزه فرکانس قابل اندازه‌گیری است. در این روش، اختلاف‌فاز بین قسمت‌های حقیقی و موهومی ولتاژ و دامنه آن در محدوده فرکانس ۰/۰۰۱ تا ۴۰۰۰ هرتز اندازه‌گیری می‌شود [۱۷].

در مطالعه حاضر از روش IP در حوزه زمان که ولتاژ اضافی را به صورت تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌کند، به منظور اکتشاف طلا استفاده شده است.

۲-۳-۶ مزایای روش قطبش القایی

روش IP تنها روش مؤثر برای اکتشاف کانی‌سازی‌های افشان می‌باشد؛ چون این ذخایر مقاومت ویژه متوسط تا بالایی دارند؛ به همین دلیل روش‌های مقاومت ویژه و الکترومغناطیس به تنهایی برای اکتشاف این ذخایر مناسب نمی‌باشد؛ اما روش قطبش القایی در اکتشاف این نوع کانسارها بسیار کاربردی است و اطلاعات مفید و مطلوبی در اختیار قرار می‌دهد. وجود پدیده‌ی پلاریزاسیون غشایی، می‌تواند استفاده از روش IP را در اکتشاف آب‌های زیرزمینی ممکن سازد. از آنجایی که کانی‌های رسی قطبش غشایی نسبتاً بالایی از خود نشان می‌دهند، لذا استفاده از این روش برای اکتشاف لایه‌های غیرقابل نفوذ و سفره‌های آبدار بسیار سودمند است [19].

در شرایطی که کانی‌ها به صورت ذرات ریز داخل حجم سنگ‌ها پراکنده شده باشند؛ IP قوی‌تری ایجاد می‌کنند؛ زیرا در زمان برقراری جریان در زمین، یون‌ها در زمان حرکت، وقتی به یک ذره کانی می‌رسند؛ در دو طرف آن به صورت یون‌های منفی و مثبت جمع می‌شوند. در واقع در اثر جریان الکتریکی ارسالی به زمین، کانی پلاریزه می‌شود و بعد از قطع جریان یون‌ها تخلیه شده و اثر IP ظاهر می‌شود [17].

۲-۳-۷ معایب و محدودیت‌های روش IP

اکتشاف کانی‌های فلزی بیشتر به اثر قطبش الکتروودی متمایل است. ولی در برداشت‌های IP، هر دو اثر قطبش الکتروودی و غشایی باهم برداشت می‌شوند و تمیز کردن این دو از هم غیرممکن می‌باشد،

در نتیجه قطبش غشایی سبب کاهش کارایی برداشت‌های IP می‌شود. تفسیر کمی داده‌های IP خیلی پیچیده‌تر از روش مقاومت ویژه می‌باشد. علاوه بر این چشمه‌های ایجادکننده بی‌هنجاری‌های IP (مانند رس‌ها)، اغلب از نظر اقتصادی مهم نیستند. عملیات صحرایی این روش کند و در نتیجه گران‌تر از روش مقاومت ویژه می‌باشد. جریان‌های تلوریک در روش IP باعث ایجاد بی‌هنجاری‌های کاذب می‌شود [20].

از آنجاکه در این روش از جریان متناوب استفاده می‌شود، جریان‌ها در رساناهای مجاور القا می‌شوند و جریان پیدا می‌کنند، در نتیجه باعث جفت‌شدگی الکترومغناطیسی بین سیم‌های مجاور و خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌شود. [Sumner, 1972].

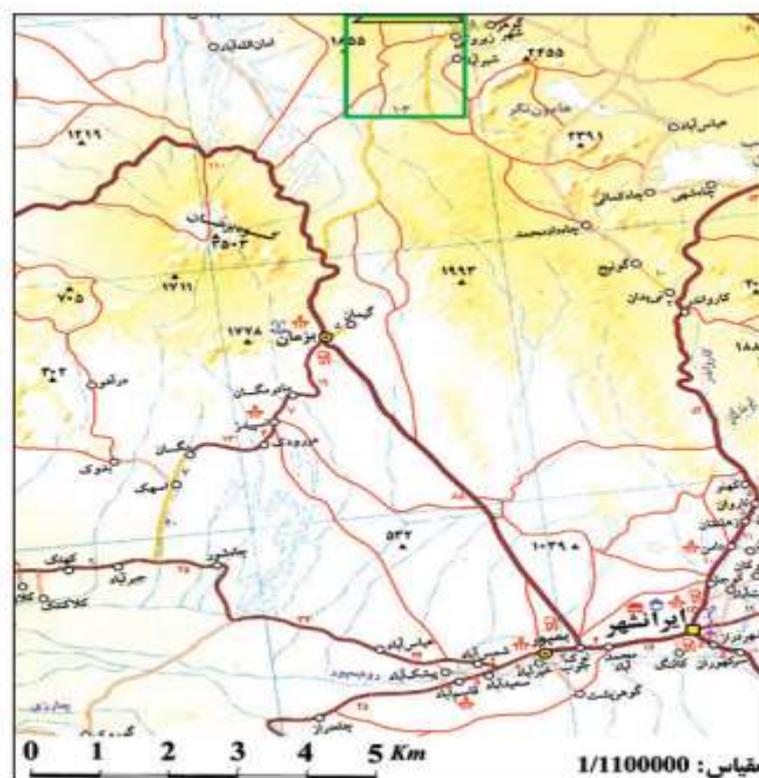
فصل سوم

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

مورد مطالعه

۳-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه از لحاظ تقسیمات کشوری در استان سیستان و بلوچستان شهرستان ایرانشهر بخش بزمان قرار دارد. این منطقه بین شرق دشت سمسور در شمال و کوه بزمان در جنوب قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در فاصله ۷۵ کیلومتری از شهر بزمان و ۲۰۵ کیلومتری شهر بم قرار دارد. از نظر جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی ۰۰ ۵۹ ۵۴ تا ۰۰ ۳۰ ۲۰ ۶۰ طول خاوری و ۰۰ ۲۸ ۱۴ تا ۰۰ ۲۸ ۲۱ عرض شمالی قرار گرفته است. راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه در شکل (۳-۱) آمده است.



شکل ۳-۱: نقشه راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

۳-۲- شرایط اجتماعی و زیستی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در حوالی آبادی سمسور که دارای جمعیتی بالغ بر ۲۰۰ نفر و ۴۰ خانوار می‌باشد قرار گرفته است. کشاورزی این منطقه به کشت غلات در چند هکتار و باغداری خرما محدود می‌شود. دام‌پروری شتر و گوسفند در این منطقه رواج دارد. این آبادی از امکانات رفاهی خوبی برخوردار نیست و مهم‌ترین مشکلات مردم آن نداشتن برق و آب است.

۳-۳- شرایط آب و هوایی مورد مطالعه

این ناحیه دارای آب و هوایی خشک و بیابانی می‌باشد. بارندگی در این منطقه کم و نامنظم است. اگر بارش رخ دهد، بیشتر شدید و به صورت رگبار است. آب و هوایی این منطقه در پاییز و زمستان معتدل و در بهار و تابستان گرم است. حداکثر درجه‌ی حرارت در این منطقه ۵۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین درجه حرارت سالانه ۲۶/۳ است. میانگین رطوبتی حدود ۳۱ درصد و میزان بارندگی متوسط سالانه ۱۱۰/۳ میلی‌متر است؛ و از نظر پوشش گیاهی از درختچه‌های استبرق، کرت و گز پوشیده شده است.

۳-۴- مشخصات محدوده‌های مورد مطالعه

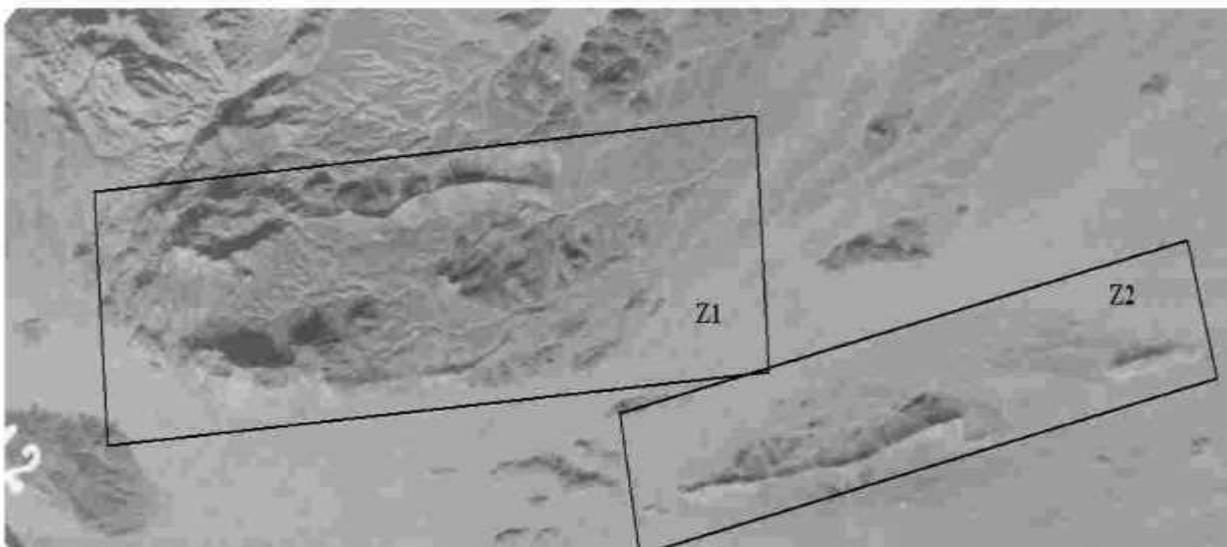
مناطق اکتشافی Z_1 و Z_2 شامل مشخصاتی می‌باشند که به صورت جداگانه در جداول (۳-۱) و (۳-۲) آمده است و شکل (۳-۲) عکس هوایی از محدوده مورد مطالعه را به ما نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱: مشخصات مربوط به Z_1

رئوس	A	B	C	Ddfj
طول جغرافیایی	۷۹۲۵۵۰	۷۹۲۰۹۷	۷۹۴۰۵۴	۷۹۳۵۹۹
عرض جغرافیایی	۳۱۳۶۴۰۰	۳۱۳۶۸۲۵	۳۱۳۸۰۰۴	۳۱۳۸۴۲۷

جدول ۳-۲: مشخصات مربوط به Z_2

رئوس	A	B	C	D	E	F	G	H
طول جغرافیایی	۷۹۳۹۲۳	۷۹۳۶۵۲	۷۹۴۱۲۵	۷۹۳۸۷۸	۷۹۴۱۱۵	۷۹۳۸۶۳	۷۹۵۳۴۵	۷۹۵۰۹۶
عرض جغرافیایی	۳۱۳۷۹۲	۳۱۳۷۲۶۲	۳۱۳۷۴۲۵	۳۱۳۷۵۹۴	۳۱۳۷۴۹۵	۳۱۳۷۶۶۱	۳۱۳۹۳۲۲	۳۱۳۹۴۹۰



شکل ۳-۲: عکس هوایی از محدوده مورد مطالعه

۳-۵- مورفولوژی و ریخت‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه بین شرق دشت سمسور در شمال و کوه بزمان در جنوب قرار گرفته است. میانگین ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد حدود ۱۱۰۰ متر است که بلندترین نقطه محدوده مورد مطالعه دارای ارتفاع ۱۳۷۳ متر در جنوب و کمترین ارتفاع آن ۱۰۱۰ در شمال شرق محدوده قرار دارد. در بخش‌های جنوبی توپوگرافی عمومی در ارتباط با مناطق ولکانیک بوده و مرکز نقطه ارتفاع کم شده پیوسته به سمت شمال مورفولوژی تپه‌ماهوری است. در شمال شرق، مورفولوژی ویژه مناطق بیابانی را دارد.

۳-۶- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در شمال بخش جنوبی زون ارومیه - دختر قرار دارد. این منطقه از سنگ‌های خروجی با ترکیب آندزیتی پوشیده شده است. در منطقه سنگ‌های آتشفشانی دیگر دیده می‌شوند (سری‌های آذر آواری، سنگ‌های ایگنمبریتی و داسیت‌ها به صورت نیمه ژرف بلورین). برای بررسی بهتر زمین‌شناسی منطقه ابتدا اطلاعات مختصری تکتونیک ناحیه مورد اکتشاف و سپس به‌طور خلاصه اطلاعات کلی از زمین‌شناسی عمومی و ساختمانی منطقه ارائه می‌گردد.

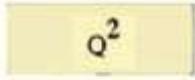
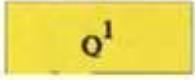
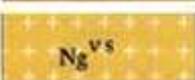
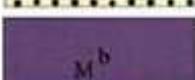
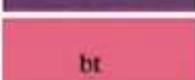
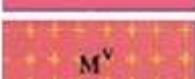
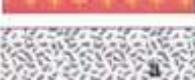
۳-۷- تکتونیک منطقه مورد مطالعه

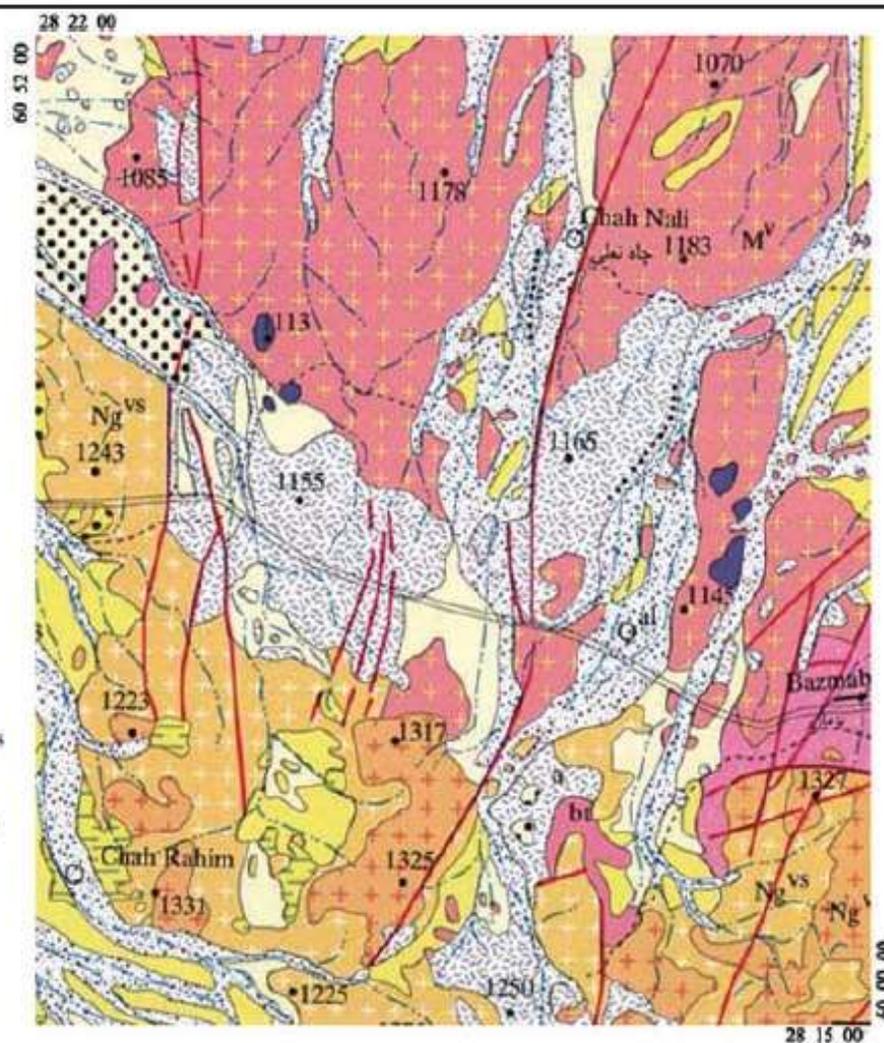
گسل‌ها از شکستگی‌های عمیق پیروی می‌کنند و روند آن‌ها بیشتر به سمت شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد. دیباگر گسل‌ها و خطواره‌ها نیز عمدتاً دارای روند شمالی - جنوبی و گاهی شرقی - غربی می‌باشند. ساختار زمین‌شناسی منطقه نیز به بیرون از تکتونیک منطقه دارای روند شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد.

۳-۸- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

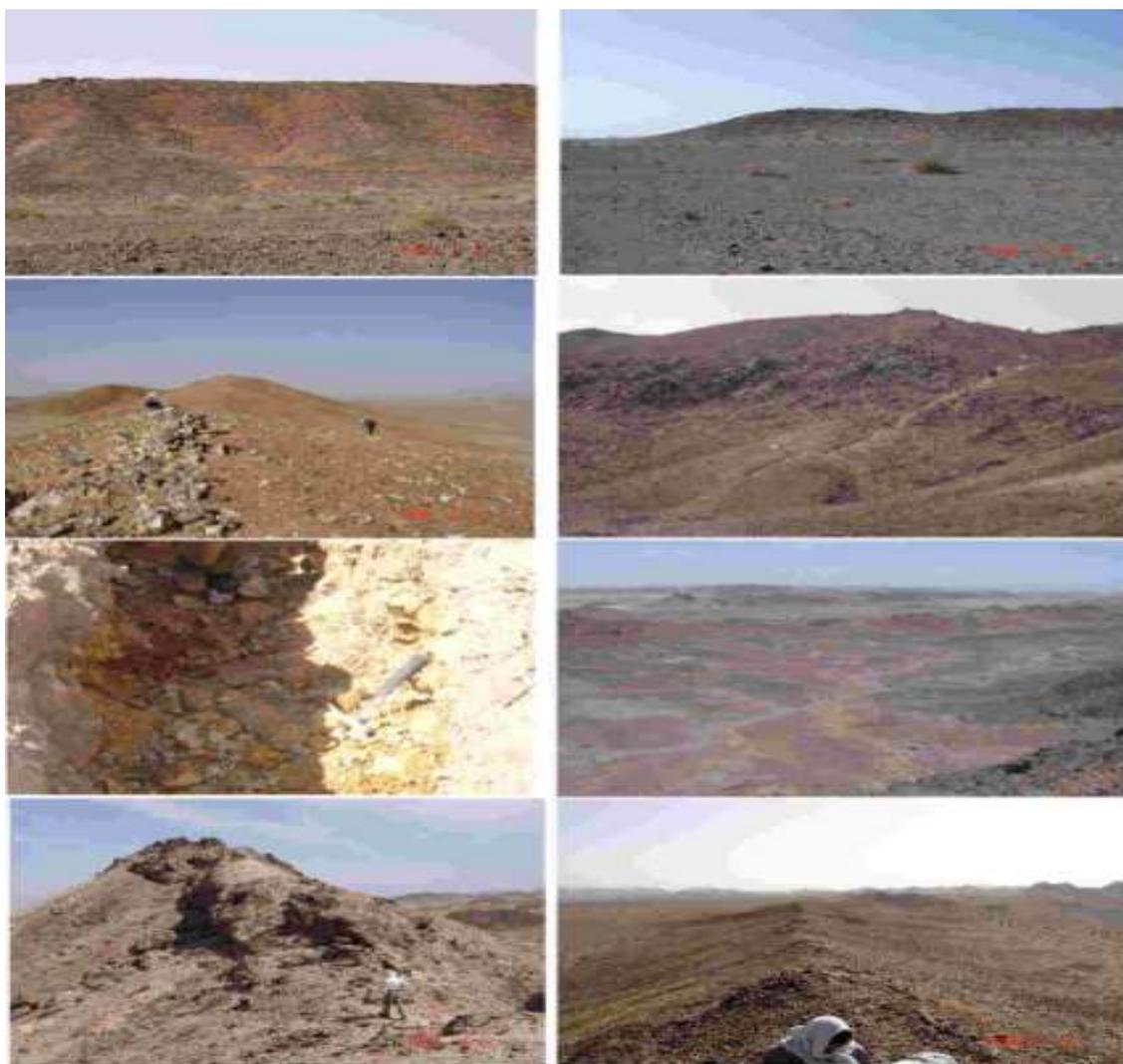
با توجه به شکل (۳-۳) بخش‌های جنوب شرق، شمال شرق و شمال محدوده مورد مطالعه بیشتر به وسیله رسوبات کوارتزنی پوشیده شده است؛ و بخش‌های تپه‌ماهوری آن فقط بخش‌های کوچک لیتولوژی آندزیت و رگه باردار سیلیسی است که این رگه‌ها دارای روند شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد. بیشترین رخنمون سنگی در شرق منطقه مورد مطالعه می‌باشد که دارای توف (میوسن)، آندزیت، رگه‌های سیلیسی و بخش‌های استوک ورکی و رگچه‌های سیلیسی کانه دار است. بعضی از این رگه‌های سیلیسی، مجموعه‌های آتش‌فشانی ترشیری و زون‌های دگرسانی همراه آن را قطع می‌کنند. امتداد همه‌ی این رگه‌ها N45E است که دارای شیب تقریباً ۷۰ تا ۹۰ درجه می‌باشند. نمایی از این رگه‌های سیلیسی در شکل (۳-۴) آمده است.

LEGEND

	Q ² : Young composite fans and low level terraces
	Q ¹ : Old composite fans and high level terraces -Dasht
	Ng ^v : Andesite, basaltic andesite, volcaniclastic rocks
	Ng ^{vs} : Andesitic lava with interbedded red gypsiferous sandstone, siltstone, conglomerate
	Ng ^{c2} : Grey to dark grey, coarse grain, conglomerate with volcanic pebbles and red to light grey marls
	M ^b : Olivine basalt
	bt: Light grey, brecciated, dacite, trachyte, trachyandesitic crystal tuffs
	M ^v : Andesitic to dacitic lavas, volcaniclastic sandstone, siltstone, tuff
	a: Hydrothermally altered deposits



۳-۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته شده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ چاه سنگی



شکل ۳-۴: تصاویری از رگه‌های سیلیسی در محدوده بزمان

این رگه‌ها خصوصیتی دارند که در زیر به آن‌ها اشاره شده است

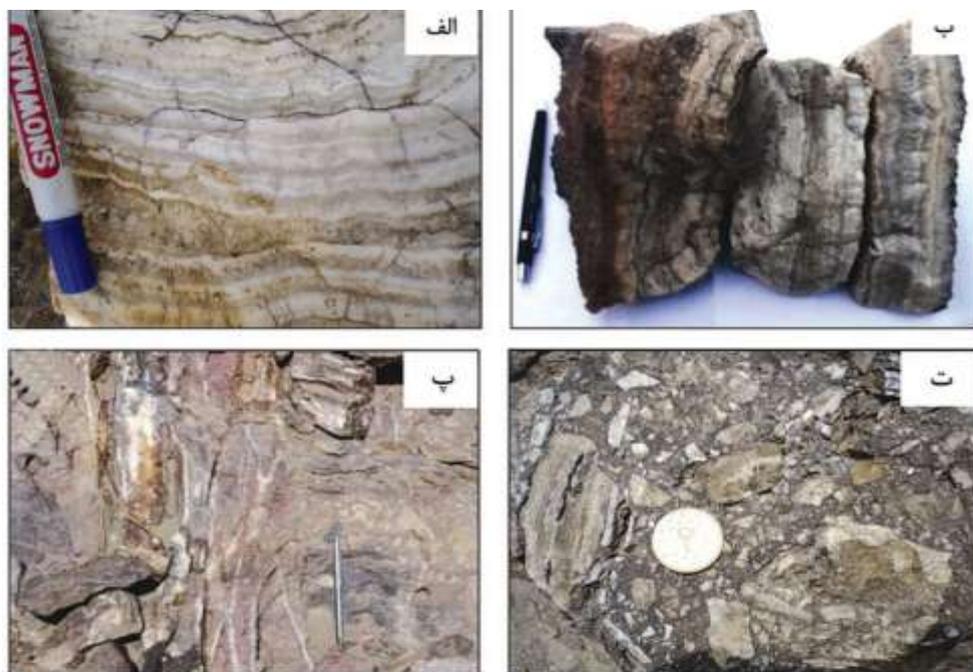
الف) ساخت استوک‌ورک (stockwork) یا رگه‌ای درهم در بیشتر موارد دیده می‌شود.

ب) نوارهای این رگه‌ها از کوارتز ریزدانه تا کلسدون شیرین‌رنگ همراه با نوارهای صورتی شکل آدولاریا تشکیل شده است.

ج) ساخت بیشتر این رگه‌ها به صورت نواری ظریف بوده و ساخت کلوفرم (قلوهای) از ویژگی بیشتر آن‌هاست.

د) در بیشتر این رگه‌ها کوارتزهای شکل دار در داخل حفره‌های دیده‌شده که از دو طرف به داخل حفره رشد کرده‌اند.

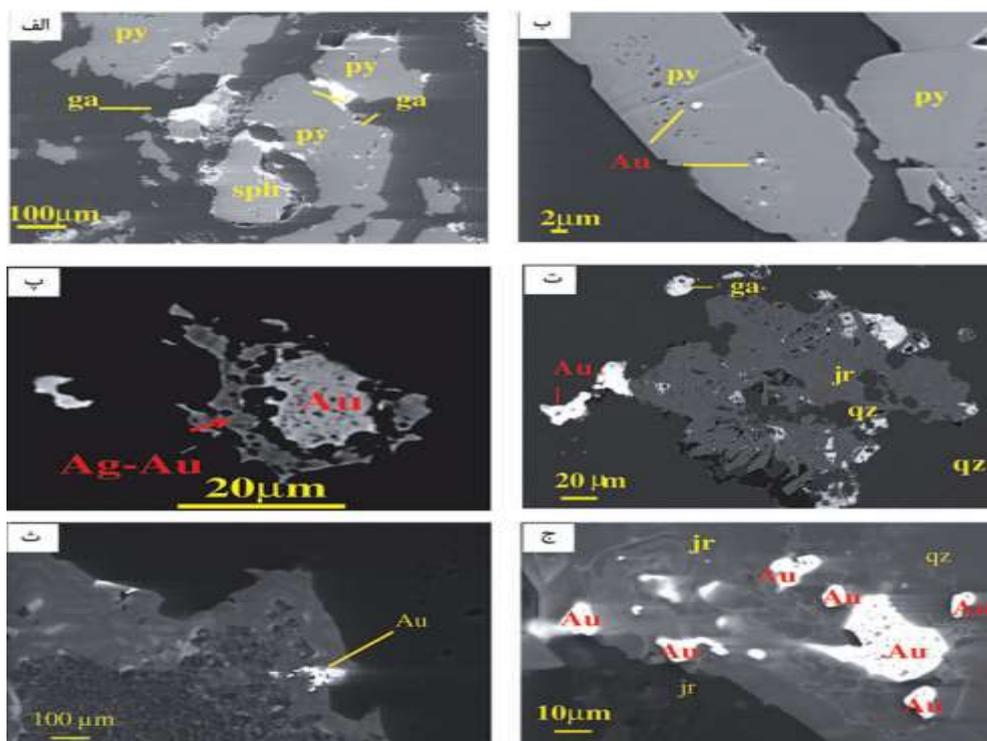
برخی از این ویژگی‌ها به صورت تصویری در شکل (۵-۳) نمایان شده است.



شکل ۳-۵: تصاویری از بافت‌های موجود در رگه‌های سیلیسی الف) نوارهای متشکل از سیلیس کلوفرم، ب) نوارهای متشکل از سیلیس کلوفرم و شانه‌ای پ) رگه سیلیسی با بافت دانه‌ریز و شانه‌ای ت) برش‌های گرمابی دارای قطعات سیلیسی با بافت کلوفرم و نواری

در بخش‌های ابتدایی مرکزی و انتهایی محدوده پیوستگی رگه‌ها به هم خورد و بیشتر توسط رسوبات کوارترن پوشیده شده است که علت آن تکتونیزه و گسل خوردگی‌ها می‌باشند. در جنوب غرب محدوده نیز رگه‌های سیلیس سولفید دار به پهنای ۷۰۰ متر و ضخامت ۳ تا ۳ متر به موازات و توالی واحدهای دربرگیرنده‌ی آندزیتی و توف در راستای شمال شرق - جنوب غرب در سطح رخنمون دارند. در اطراف رگه‌های سیلیسی آلتراسیون آرژلیک دیده می‌شود که در بعضی جاها حتی در دو طرف رگه سیلیسی به صورت متقارن و در بعضی جاها فقط یک طرف دیده می‌شود و در طرف دیگر ناچیز است. آلتراسیون پروپلیتیک نیز مشابه آلتراسیون آرژلیک می‌باشد و در اطراف رگه سیلیس نظم خاصی ندارد. در کل می‌توان گفت در این محدوده مواد معدنی به صورت رگچه‌ها و رگه‌های سیلیسی می‌باشد که داخل واحد

سنگی آندزیتی و توف همراه آلتراسیون آرژیلیک و پروپلیتیک جایگزین شده که رخنمون آن به سمت شمال شرق- جنوب غرب می‌باشد و بیشترین رخنمون را در بخش‌های مرتفع ترکه همان جنوب غرب می‌باشد، دارد. در این منطقه علاوه بر رگه اصلی رگچه‌هایی به صورت استوک‌ورک دیده می‌شود که باعث افزایش وسعت و میزان محدوده کانی زایی شده است که از عیار بالاتری برخوردار می‌باشد و نکته جالب این است که در بخش جنوب غرب دو ترانشه حفرشده است که عیار طلا در این تراشه‌ها به‌طور میانگین ۲ گرم در تن می‌باشد که مربوط به رگه و رگچه‌های سیلیسی باردار می‌باشد ولی در بخش شمال شرق محدوده از ۱۴ ترانشه حفرشده عیار تقریبی عنصر طلا ۱ گرم در تن است که مربوط به رگه سیلیسی و بخش آلتیره می‌باشد که در شکل (۳-۶) نمایی از ذرات آزاد طلا همراه با کانه‌های دیگر دیده می‌شود.



شکل ۳-۶: ذرات طلای آزاد در درون کوارتز، پیریت و جاروسیت همراه با کانه‌های اسفالریت، گالن و پیریت در نمونه‌های منطقه (امیدوار اشکلک، م ر: مختاری م، ۱۳۹۳)

فصل چهارم

مدل سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و IP برداشت شده در منطقه

با توجه به نقشه زمین‌شناسی این منطقه، رگه‌های سیلیسی با امتداد شمال شرق-جنوب غرب و با شیب ۷۰ تا ۹۰ درجه دارای رخنمون می‌باشند. برای برداشت داده‌های ژئوالکتریک و زیرپوشش قراردادن محدوده این رگه‌ها، مطالعات منطقه در دو قسمت Z_1 و Z_2 در نظر گرفته شد. منطقه Z_1 در محدوده‌ای با طول ۲/۲ کیلومتر و عرض ۶۰۰ متر و منطقه Z_2 با طول ۲/۷ کیلومتر و پهنای ۳۰۰ متر زیرپوشش مطالعات ژئوالکتریک قرار گرفت. در این منطقه کلاً ۳۳۶۰ اندازه‌گیری IP,RS انجام گرفته است که ۱۶۸۰ اندازه-گیری با آرایه مستطیلی و ۱۹۸۰ اندازه‌گیری با آرایه دوقطبی-دوقطبی انجام گرفته است.

۴-۲- بررسی تغییرات بارپذیری و مقاومت ویژه حاصل از آرایه مستطیلی

۴-۲-۱- بررسی نتایج حاصل در زون شماره Z_1

برای برداشت داده‌ها در این محدوده ابتدا خط مبنای با امتداد N47E در جهت رگه سیلیسی در نظر گرفته شده و در زمین با G.P.S پیاده گردیده است. نقطه 00 (خط مبنا) دارای مختصات $x=792854$ و $y=3136730$ است. شبکه اندازه‌گیری در ابعاد $50*20$ متر در نظر گرفته شده و مقاطع ایستگاه‌های اندازه‌گیری با GPS در زمین مشخص و علامت‌گذاری شده‌اند.

۴-۲-۱-۱- بررسی تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی

نقشه تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی منطقه در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که چون تفکیک رگه‌های سیلیسی با توجه به مقاومت ویژه الکتریکی زیاد آن‌ها مورد توجه ما بوده لذا داده‌های روش مقاومت سنجی و تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی منطقه در مرحله اول مورد بررسی قرار گرفته است با توجه به نقشه‌ها دیده می‌شود که طیف تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی زیاد بوده است این طیف وسیع به علت وجود زون‌های آرژیلیکی با مقاومت ویژه الکتریکی کم و همچنین رگه‌های سیلیسی با مقاومت ویژه الکتریکی زیاد می‌باشد در این نقشه آنچه مورد توجه است تفکیک زون‌های مقاوم ویژه الکتریکی است این زون‌ها به صورت رگه‌های متفاوت در امتداد تقریبی N44E تا N110E با مقاومت ویژه الکتریکی زیاد و در

نقشه قابل تفکیک می‌باشند برای بررسی مشخصات این رگه‌ها این زون در دو بخش جنوبی و شمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش جنوبی بین ایستگاه‌های ۰ تا ۳۰۰ از هر مقطع قرار گرفته و بخش شمالی بین ایستگاه‌های ۳۰۰ تا ۶۰۰ واقع شده است در بخش جنوبی محور آنومالی AXEI این محور بین مقاطع ۵- تا ۴۵- واقع شده و طول آن ۴۰۰ متر است مرکز آنومالی در مقطع ۱۵- واقع است این آنومالی از طرف جنوب غرب محدود نشده و کلاً در محدوده‌ی آبرفتی قرار گرفته است. که در شکل (۴-۱) به آن اشاره شده است.

محور آنومالی شماره AXEII، این محور بین مقاطع ۰ تا ۸۵ واقع شده و طول آن ۸۵۰ متر است. ادامه این محور آنومالی در جهت شرق نیز ردیابی گردیده و با خط‌چین مشخص شده است آمار احتمالی این رگه به صورت محدوده‌هایی با مقاومت ویژه الکتریکی نسبتاً زیاد در نقشه قابل‌ردیابی است. این محور از مقطع ۱۲۰ در زیر آبرفت‌ها قرار دارد. می‌توان گفت مجموع AXEI و AXEII به صورت یک رگه سیلیسی از مقطع ۴۵- تا مقطع ۱۶۰ می‌باشد که با گسل‌های F_1 تا F_7 قطع شده و به وسیله‌ی عملکرد آن‌ها و تغییر مسیرهای محلی در آن صورت گرفته است.

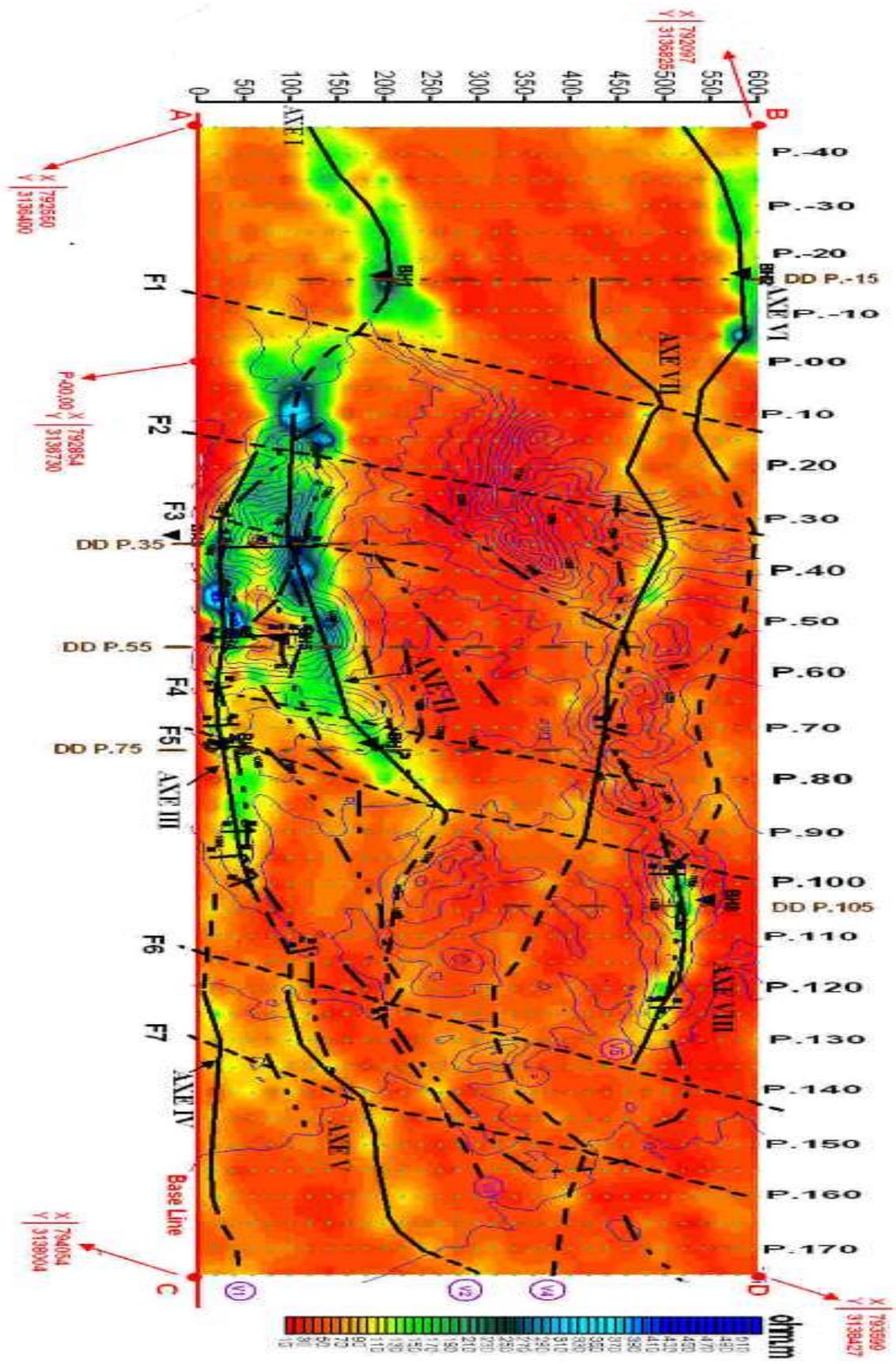
محور آنومالی AXEIII: این محور آنومالی بین مقاطع ۲۰ تا ۱۰۰ قرار دارد که از طرف جنوب غرب و در محدوده مقطع شماره ۲۰ توسط گسل F_2 متوقف شده است طول آن ۸۰۰ متر و در مقاطع ۴۵ و ۵۰ و ۸۵ دارای مراکز است ادامه‌ی این آنومالی از طرف شرق به زون مقاومت الکتریکی دیگری برخورد می‌کند که در زیرپوشش آبرفت‌های دانه‌ریز مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده نسبتاً کم باشد ولی آثار این رگه‌های سیلیسی به صورت ازدیاد نسبی مقاومت ویژه الکتریکی ظاهر شده است. ضمن این‌که باید در نظر داشت وجود زون‌های آبرفتی دانه‌درشت نیز می‌تواند عامل این آنومالی باشد ولی شرایط زمین‌شناسی و ادامه رگه‌های سیلیسی که آثاری از آن در مقطع ۱۱۵ دیده می‌شود و ترانشه‌های نیز در آن حفر گردیده که دلیل قانع‌کننده‌ای بر وجود احتمالی رگه‌های سیلیسی است. محور AXEIV این محور آنومالی بین مقاطع ۱۱۵ تا ۱۶۵ واقع شده و دارای مرکز در مقطع ۱۲۵ هست. ادامه‌ی این رگه در جهت شرق و غرب ردیابی شده و یا خط‌چین مشخص گردیده است این رگه در نقشه با شماره‌ی V_1 نشان داده شده است.

محور آنومالی AXEV: این محور آنومالی محدوده‌ای بین تقاطع ۱۲۰ تا ۱۷۵ واقع شده است و با توجه به نقشه محورهای III و V را می‌توان به صورت یک رگه بزرگ از مقطع ۲۰ تا ۱۷۵ در نظر گرفت این رگه در نقشه با شماره‌ی V_2 مشخص گردیده است.

محور آنومالی AXEVI: این محور آنومالی بین مقاطع ۴۵- و ۰۰ واقع شده و طول آن ۴۵۰ متر است که از طرف جنوب غرب محدود شده مراکز آنومالی در مقاطع ۵- و ۲۵- واقع شده است این آنومالی به طور کامل در زیرپوشش آبرفتی قرار دارد ادامه‌ی این محور آنومالی را تا حدود مقطع ۱۰۰ می‌توان با توجه به تغییرات مقاومت الکتریکی ردیابی نمود که با خط‌چین در نقشه مشخص گردید.

محور آنومالی AXEVII: همان‌گونه که در نقشه دیده می‌شود این رگه بین مقاطع ۱۵- تا ۱۷۵ واقع شده و در قسمت‌های شرقی آن در زیرپوشش آبرفتی قرار دارد این محور آنومالی به وسیله‌ی گسل‌های F_1 تا F_7 قطع گردیده این رگه در نقشه با شماره V_4 گردیده است.

محور آنومالی AXEVIII: این محور آنومالی بین مقاطع ۹۵ تا ۱۳۵ واقع شده طول این محور ۴۰۰ متر است مراکز آنومالی در مقاطع ۱۰۰ و ۱۰۵ و ۱۲۰ واقع شده است با توجه به نقشه می‌توان این محور آنومالی ادامه‌ی محور آنومالی AXEVI دانست و مجموعه محور VI, VIII را یک رگه بزرگ در نظر گرفت این رگه با شماره V_5 در نقشه مشخص گردید. با توجه به تغییرات خطوط هم مقاومت الکتریکی گسل‌های متعددی در این زون ردیابی شده است امتداد این گسل‌ها شمال شرقی جنوب غربی هست برخی از این گسل‌ها به صورت شکستگی‌های هستند که عملکرد آن‌ها در بعضی از رگه‌های سیلیسی به صورت تغییر امتداد آن‌ها می‌باشد.



شکل ۴-۱ نقشه تغییرات مقاومت ویژه محدوده اکتشافی Z_1 حاصل از آرایه مستطیلی

۲-۱-۱-۴ بررسی تغییرات بارپذیری

در شکل ۲-۴ نقشه تغییرات بارپذیری منطقه نشان داده شده است. طیف تغییرات آن بین $\frac{2mv}{v}$ تا $\frac{18mv}{v}$ می باشد با توجه به نقشه دیده می شود که مقدار بارپذیری در قسمت شمال غرب به حداکثر $\frac{18mv}{v}$ می رسد. مقدار بارپذیری در نقاط دیگر بین $\frac{2mv}{v}$ و حداکثر $\frac{10mv}{v}$ می رسد و می توان گفت که مراکز که مقدار بارپذیری نسبتاً زیاد است به صورت پراکنده بوده و محور آنومالی که مطابق با محور آنومالی مقاومت ویژه الکتریکی و در رابطه با رگه سیلیسی باشد به شکل بارز دیده نمی شود و برای دادن ارتباط بین تغییرات بارپذیری و رگه های سیلیسی محورهای آنومالی های مقاومت ویژه در این نقشه آورده شده لذا محدوده رگه های V1 تا V5 در زیر این نقطه از نظر تغییرات بارپذیری مورد توجه قرار می گیرد. که در شکل (۲-۴) به آن اشاره شده است.

در محدوده رگه شماره V1 مقدار بارپذیری بین $\frac{7mv}{v}$ تا $\frac{8mv}{v}$ متغیر است ولی در مقاطع ۱۴۰ تا ۱۵۵ مقدار آن زیادتر شده و در مراکز آن مشخص گردیده است

در محدوده رگه شماره V2 که بین مقاطع ۱۰ تا ۱۷۵ واقع شده است مقدار بارپذیری بین $\frac{5mv}{v}$ تا $\frac{12mv}{v}$ متغیر است. در طول این رگه در دو قسمت مقدار بارپذیری کمی زیاد است که عبارتند از محدوده ای واقع بین مقاطع ۱۰ تا ۴۰ که مقدار بارپذیری حداکثر $\frac{10mv}{v}$ می رسد و محدوده دیگر بین مقاطع ۱۴۰ تا ۱۵۵ قرار گرفته که مقدار بارپذیری به حداکثر $\frac{12mv}{v}$ می رسد.

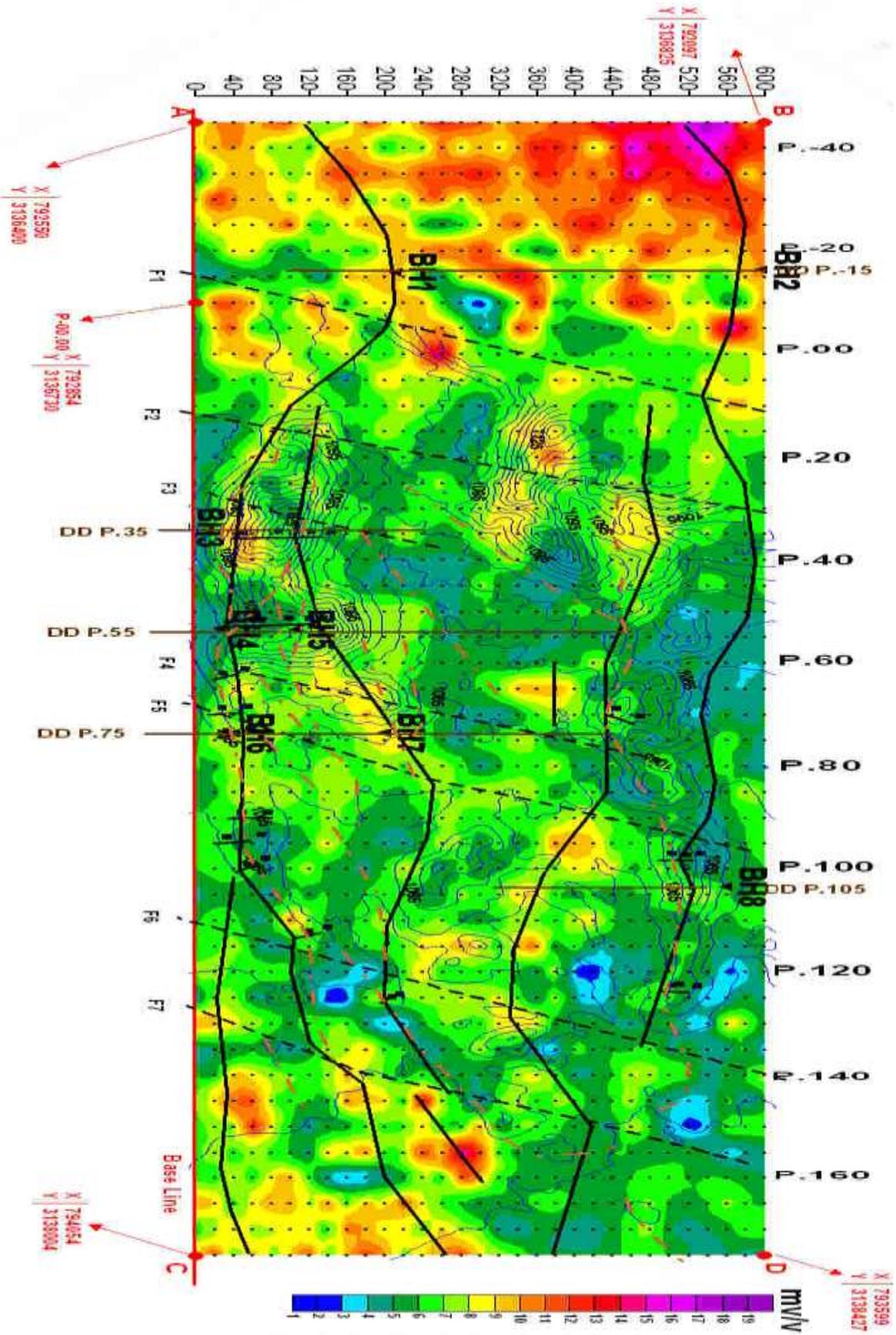
در محدود رگه شماره V3 که از مقطع ۴۵- تا ۱۶۰ ادامه دارد مقدار بارپذیری بین $\frac{5mv}{v}$ تا $\frac{11mv}{v}$ متغیر است. در محدوده مقاطع ۴۵- تا ۰۰ مقدار بارپذیری $\frac{8mv}{v}$ تا $\frac{11mv}{v}$ هست. ولی در فاصله مقاطع ۳۰- تا ۴۰- مقدار کمی زیادتر شده و در مقطع ۳۵- مرکزی با بارپذیری $\frac{11mv}{v}$ مشخص شده که مطابقت خوبی با رگه های سیلیسی در این قسمت دارد. در مقطع ۰۰ تا ۶۵ مقدار بارپذیری بین $\frac{6mv}{v}$ تا $\frac{7mv}{v}$ می باشد در محدوده مقاطع ۶۰ تا ۷۵ مقدار بارپذیری کمی زیادتر شده است. در محدوده مقاطع ۷۵ تا ۱۴۰ مقدار بارپذیری بین $\frac{4mv}{v}$ تا $\frac{6mv}{v}$ می باشد در محدوده مقاطع ۱۴۰ تا ۱۶۰ که ادامه رگه زیر آبرفتها احتمال داده می شود مقدار

بارپذیری زیاد شده و به حداکثر $15\frac{mv}{v}$ می‌رسد. در این فاصله دو مرکز آنومالی بارپذیری در مقاطع ۱۴۵ و ۱۵۵ مشخص شده‌است.

محور آنومالی بارپذیری مطابق نسبی با این رگه سیلیسی دارد ضمن این‌که ازدیاد بارپذیری می‌تواند در اثر وجود عدسی‌های رسی در داخل آبرفت‌ها نیز باشد.

در محدوده رگه شماره V_4 که بین مقاطع ۱۰ تا ۱۷۵ واقع شده است تغییرات بارپذیری بین $5\frac{mv}{v}$ تا $10\frac{mv}{v}$ متغیر است. این تغییرات به صورت زیر است در فاصله مقاطع ۱۰ تا ۳۰ مقدار آن بین $6\frac{mv}{v}$ تا $7\frac{mv}{v}$ تغییر است در فاصله مقاطع ۳۰ تا ۳۵ مقدار بارپذیری به $8\frac{mv}{v}$ می‌رسد. در فاصله مقاطع ۳۵ تا ۹۰ مقدار بارپذیری کمی زیاد شده و در مقطع ۹۵ تا ۱۱۵ به حداکثر خود $10\frac{mv}{v}$ می‌رسد که مطابقت با رگه مشخص شده دارد

در محدوده رگه شماره V_5 که بین مقاطع ۴۵- تا ۱۴۰ واقع شده تغییرات بارپذیری بین مقاطع ۴۵- تا به حداکثر $17\frac{mv}{v}$ می‌رسد. با توجه به نقشه دیده می‌شود که مقدار بارپذیری بین مقاطع ۴۵- تا ۲۰ نسبتاً زیاد است و محور آنومالی بارپذیری با رگه ردیابی شد مطابقت می‌کند این ازدیاد بارپذیری به احتمال زیاد در رابطه با رگه‌های سیلیسی سولفید دار است و با توجه به این‌که این رگه دارای پوشش آبرفتی است و مقدار مقاومت الکتریکی زیاد است. لذا نمی‌تواند در ارتباط با زون‌های رسی مقدار مقاومت الکتریکی کم بوده و ه در صورتی که مقدار مقاومت الکتریکی زیاد، مقدار بارپذیری زیاد است. در بقیه نقاط این رگه تا مقطع ۱۴۰ مقدار بارپذیری بین $4\frac{mv}{v}$ تا $6\frac{mv}{v}$ متغیر است.



شکل ۴-۲: نقشه بارپذیری محدوده اکتشافی Z_1 حاصل از آرایه مستطیلی

با توجه به تفسیرهای انجام شده از نقطه نظر تغییرات بارپذیری دیده می شود که محدوده های از رگه های مشخص شده مقدار بارپذیری نسبتاً زیاد است ولی جز در قسمت غرب منطقه و محدود رگه های شماره ۴ و با شدت کمتر رگه شماره ۳ آنومالی IP به صورت بارز که محور آنومالی IP اطلاق شود مشخص نشده است.

۲-۲-۴ بررسی نتایج حاصل در زون شماره ۲ (Z2)

برای برداشت داده ها ابتدا خط میانی با امتداد N35E و موازی با رگه سیلیسی در زمین مشخص گردید، نقطه ۰۰ خط مبنا دارای مختصات $X=793923$ و $Y=3137092$ می باشد این نقطه ابتدا زیرپوشش با آرایه مستطیلی قرار گرفت که پس از تفسیرهای مقدماتی و تعیین محورهای آنومالی مقاوم الکتریکی تعداد دو شبه مقطع از مراکز آنومالی تهیه گردید. شبکه اندازه گیری 20^*50 متر بوده و کلیه مقاطع و ایستگاه های اندازه گیری با G.P.S در زمین پیاده گردید.

۱-۲-۲-۴ بررسی تغییرات مقاومت الکتریکی

همان گونه که در نقشه تغییرات مقاومت الکتریکی نشان داده شده در شکل ۳-۴ دیده می شود طیف تغییرات مقاومت الکتریکی R_s بین ۱۰ تا ۱۷۰ اهم متر است. با توجه به این که رگه های سیلیس با مقاومت الکتریکی زیاد در این نقشه ظاهر شده اند محورهای آنومالی بر این مبنا تعیین و شماره بندی گردیده اند که مشخصات آن به صورت زیر می باشد.

محور آنومالی شماره AXE1، این محور بین مقاطع ۰۰ و ۱۵ واقع شده و طول آن ۱۵۰ متر است و دارای مرکزی در مقطع ۵ می باشد این محور از طرف جنوب غرب محدود شده و ادامه دارد. که در شکل (۳-۴) به آن اشاره شده است.

محور آنومالی شماره AXEII، این محور بین مقاطع ۰۰ و ۴۰ واقع شده و احتمالاً از طرف جنوب غرب ادامه پیدا می کند مرکز آنومالی در مقطع ۳۰ قرار دارد.

محور آنومالی شماره AXEIII، این محور بین مقاطع ۲۰ و ۶۰ واقع شده طول آن ۴۰۰ متر و مرکز آن در مقطع ۴۰ واقع شده است، در محدوده مقطع ۴۰ عملکرد گسل F1 محدوده این آنومالی را کمی جابه‌جا کرده است.

محور آنومالی شماره AXEIV، این محور آنومالی وسیع بوده و بین مقاطع ۶۰ تا ۱۵۰ واقع شد و دارای مراکز متعددی در مقاطع ۸۰ و ۱۱۵ و ۱۴۵ هست با توجه به محدوده این آنومالی‌ها دیده می‌شود که در نتیجه عملکرد گسل F3 جابه‌جایی در محدوده این آنومالی پیداشده است و از طرفی آنومالی AXEIII ادامه‌ی محور AXEIV می‌باشد که به وسیله‌ی گسل F2 در آن جابه‌جایی صورت گرفته است.

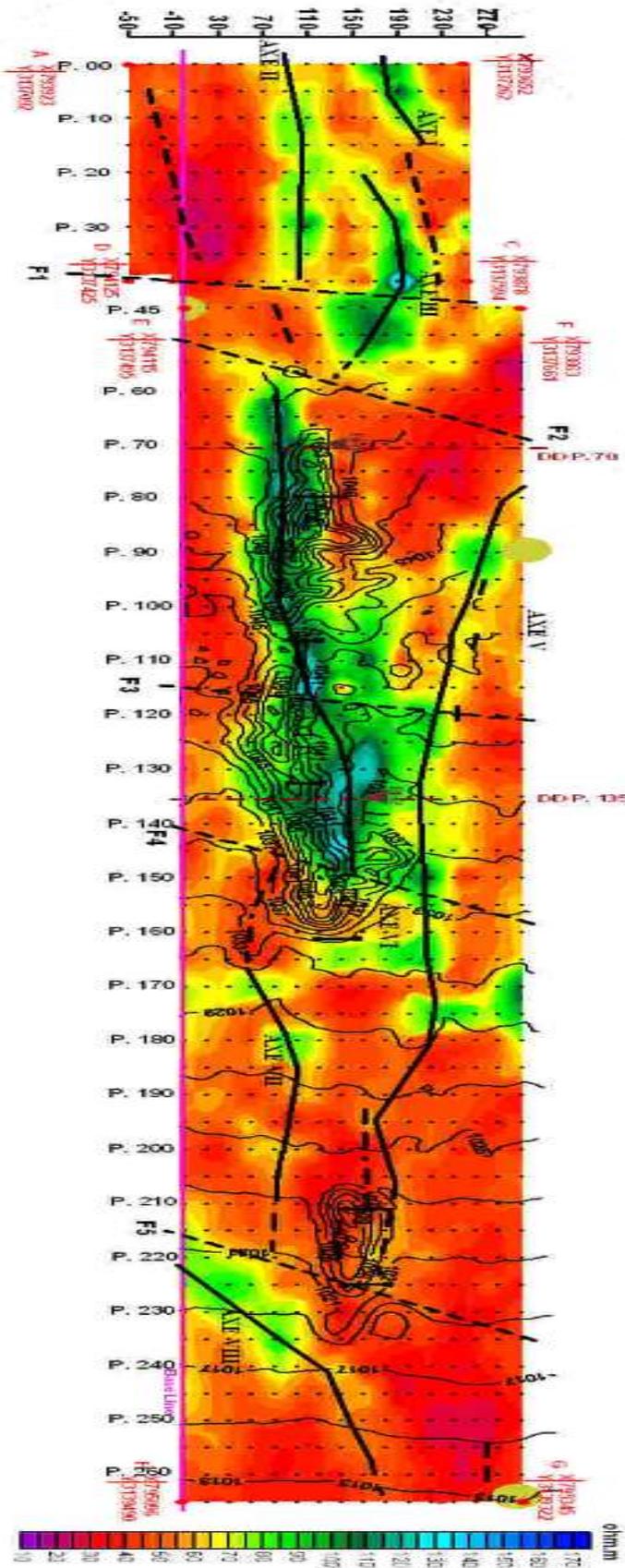
محور آنومالی AXEV، این محور آنومالی بین مقاطع ۸۰ و ۱۲۵ و شمال محور AXEIV قرار گرفته و طول آن ۴۰۰ متر می‌باشد مراکز آن در مقاطع ۹۰ و ۱۲۰ واقع شده است.

محور آنومالی AXEIV، این آنومالی در محدوده مقاطع ۱۵۰ تا ۱۸۰ قرار گرفته و طول آن ۳۰۰ متر بوده و دارای مرکزی در مقطع ۱۵۰ می‌باشد به نظر می‌رسد که این محور آنومالی ادامه محور آنومالی AXEV می‌باشد، ادامه‌ی تقریبی آن را تا مقطع ۳۲۰ می‌توان ردیابی نمود که در نقشه با خط‌چین مشخص شده است

محور آنومالی AXEVII، این محور آنومالی بین مقاطع ۱۷۰ و ۲۰۰ واقع شده و طول آن ۳۰۰ متر است و دارای مرکزی در مقطع ۱۸۰ می‌باشد ادامه‌ی احتمالی این محور تا مقطع ۲۱۰ با خط‌چین رسم شده است.

محور آنومالی AXEVIII، این محور آنومالی بین مقاطع ۲۱۰ و ۲۲۰ ردیابی شده و دارای مرکزی در مقاطع ۲۲۵ و ۲۳۵ می‌باشد و از طرفی این آنومالی از سمت جنوب محدود شده است.

باید توجه داشت که در این زون، گسترش آبرفت‌ها زیاد می‌باشد. در نتیجه آنومالی‌های ضعیف مقاومت ویژه الکتریکی در قسمت‌های آبرفتی که در مسیر رگه‌های سیلیسی است باید مهم تلقی گردد زیرا افت مقاومت ویژه الکتریکی در محدوده‌ی رگه‌های سیلیس مدفون می‌تواند در اثر وجود آبرفت‌های دانه‌ریز باشد. آبرفت‌های دانه‌درشت نیز می‌تواند دلیل به وجود آمدن آنومالی‌های مقاوم مقاومت ویژه الکتریکی باشند.



شکل ۳-۴: نقشه تغییرات مقاومت ویژه محدوده اکتشافی Z_2 حاصل از آرایه مستطیلی

۴-۱-۲-۲- بررسی تغییرات بارپذیری

در شکل ۴-۴ نقشه تغییرات بارپذیری در محدوده زون Z_2 نشان داده شده است. همان گونه که در این نقشه دیده می شود طیف تغییرات بارپذیری بین $4\frac{mv}{v}$ تا $11\frac{mv}{v}$ می باشد با توجه به نقشه دیده می شود که تغییرات بارپذیری در این منطقه به صورت محورهای مشخصی ظاهر نمی شود و احتمالاً تغییرات آن بیشتر در رابطه با زون های رسی در آبرفت ها است. برای نتیجه گیری بهتر محورهای آنومالی Rs در نقشه تغییرات I_2 آورده شده و لذا مقایسه آنومالی های Rs با محدوده هایی که دارای بارپذیری خوبی هستند به خوبی مشخص گردیده است که در آن ها موارد زیر را می توان تفکیک کرد. که در شکل (۴-۴) به آن اشاره شده است.

در محدود محور آنومالی Rs ، AXEI مقدار بارپذیری نیز نسبتاً زیاد است.

در محدوده محور آنومالی Rs AXEII در محدود مقطع ۱۵ یک مرکز آنومالی بارپذیری ظاهر شده و مقدار آن به حداکثر $9\frac{mv}{v}$ می رسد.

در محدوده محور آنومالی Rs AXEIII مقدار بارپذیری نسبتاً زیاد بوده و مرکزی با شدت بارپذیری $8\frac{mv}{v}$ در مقطع ۲۵ و $9\frac{mv}{v}$ در مقطع ۴۰ مشخص شده است.

در محور آنومالی Rs AXEVI مقدار بارپذیری نسبتاً زیاد است ولی در مرکز آنومالی در محدوده ۷۰ و ۱۳۰ مشخص گردیده است و همچنین در شمال شرق مراکز آنومالی در مقطع ۱۵۰ مشاهده می شود.

در طول محور آنومالی Rs AXEV یک مرکز آنومالی بارپذیری در مقطع ۱۱۵ با شدت بارپذیری $10\frac{mv}{v}$ مشخص شده است.

در طول محور آنومالی Rs AXEVI و در قسمت شرق در بین مقاطع ۱۵۰ و ۱۶۵ مقدار بارپذیری نسبتاً زیاد بوده و یک مرکز بارپذیری در مقطع ۱۵۵ با بارپذیری $9\frac{mv}{v}$ مشخص شده است.

در طول محور آنومالی Rs AXEVII و ادامه آن از سمت جنوب غرب یک زون آنومالی بارپذیری در مقطع ۱۵۵ با شدت بارپذیری $10\frac{mv}{v}$ مشخص گردیده است.

در طول محور آنومالی **AXE VIII Rs** در محدوده مقطع ۲۴۰ که مطابق با رگه سیلیسی می باشد

مقدار بارپذیری به حداکثر $8\frac{mv}{p}$ می رسد که می تواند در رابطه با مینرالیزاسیون این رگه باشد.

بدین ترتیب با مقایسه آنومالی های مقاومت ویژه و بارپذیری در برخی مواقع زون هایی با بارپذیری نسبتاً زیاد

در طول محورهای آنومالی Rs مقاومت ویژه وجود دارد که می تواند در رابطه با مینرالیزاسیون سولفیدی این

رگه ها باشد.

۴-۳-تفسیر داده‌های مقاومت ویژه بارپذیری حاصل از آرایه دوقطبی - دوقطبی

۴-۳-۱- زون Z1

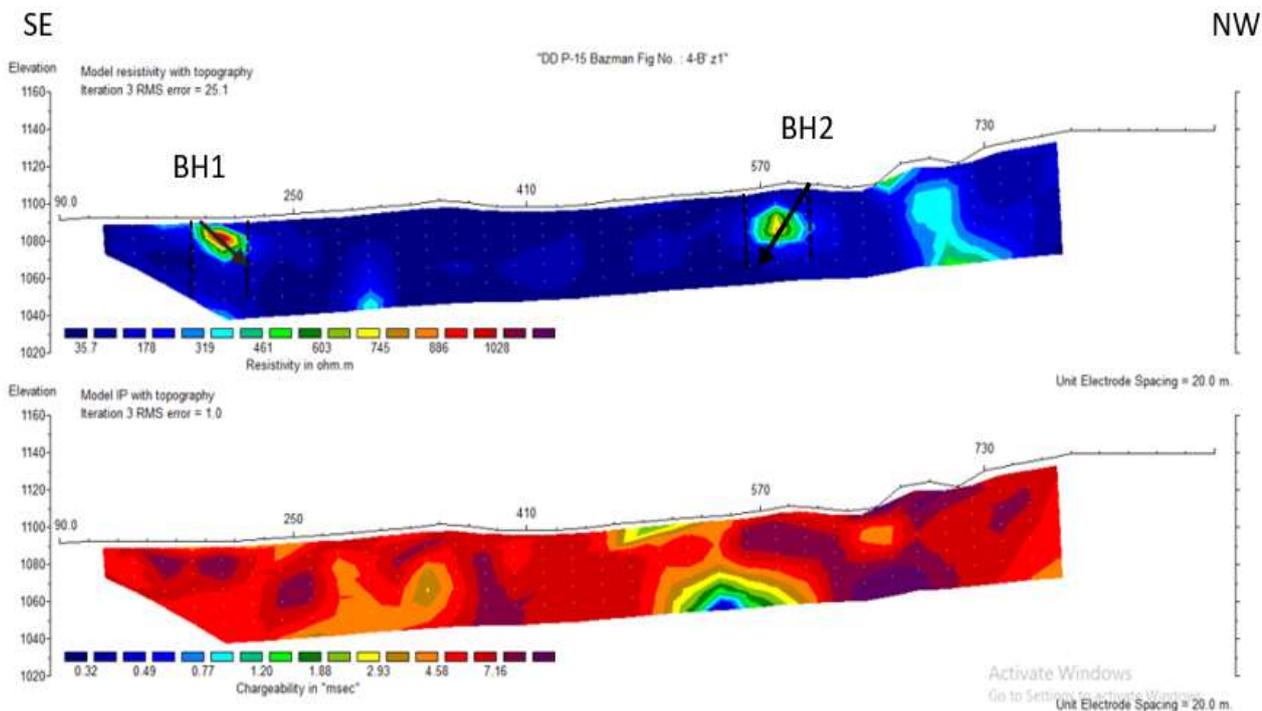
۴-۳-۱-۱ بررسی شبه مقطع ۱۵-

در مقطع مدل‌سازی شده (شکل ۴-۵) در محدوده ایستگاه‌های ۱۸۰ تا ۲۲۰ و ۵۶۰ تا ۶۰۵ دو زون احتمالی مقاومت ویژه مشخص شده است. این شبه مقطع با مشخصات $AB=MN=a=20$ و جهش ایستگاهی ۲۰ متری برداشت شده است. گسل‌های F_1, F_2, F_3 و F_4 محدوده این آنومالی‌ها را می‌توان مترادف با یک رگه سیلیسی دانست. با توجه به نقشه و فرم آنومالی‌ها این رگه‌ها دارای شیبی به شمال غرب می‌باشند. در مقطع مدل‌سازی شده IP زون‌های آنومالی متعددی به صورت پراکنده ظاهر شده ولی در محدوده محور آنومالی AXE I دو مرکز آنومالی IP و در محدوده محور آنومالی AXE VII یک مرکز آنومالی ظاهر گردیده است که مطابقت خوبی با آنومالی مقاومت ویژه دارند. آنومالی IP در محدوده ۵۵۰ تا ۶۱۰ دارای گسترش به طرف غرب بوده و به یک زون وسیع آنومالی تبدیل می‌شود. نکته جالب در این منطقه این است که افت مقاومت ویژه الکتریکی تا کمتر از ۵۰ اهم‌متر می‌رسد و احتمالاً این آنومالی در رابطه با زون آرژیلی می‌باشد. همان‌طور که گفته شد در محدوده آنومالی مقاومت ویژه هیچ‌گونه رخنمونی از رگه سیلیسی مشاهده نمی‌شود و محدوده عمدتاً از آبرفت‌ها پوشیده شده است. ولی با توجه به نقطه زمین‌شناسی دیده می‌شود که احتمالاً این آنومالی‌ها در رابطه با رگه‌های سیلیسی که دارای برون‌زد می‌باشد، بوده و دارای پوشش آبرفتی هستند که در شکل (۴-۵) به آن اشاره شده است.

دو گمانه اکتشافی با مشخصات ذکر شده در جدول ۴-۳ در این مقطع برای شناسایی این آنومالی پیشنهاد می‌شود.

جدول ۴-۳: اطلاعات دو گمانه حفر شده در این مقطع

ردیف	مقطع	نقطه	طول حفاری	آزیموت	شیب
BH ₁	-15	180	40	137	50 _{NW}
BH ₂	-15	605	55	137	75 _{SE}



شکل ۴-۵: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه بارپذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در شبه مقطع ۱۵-

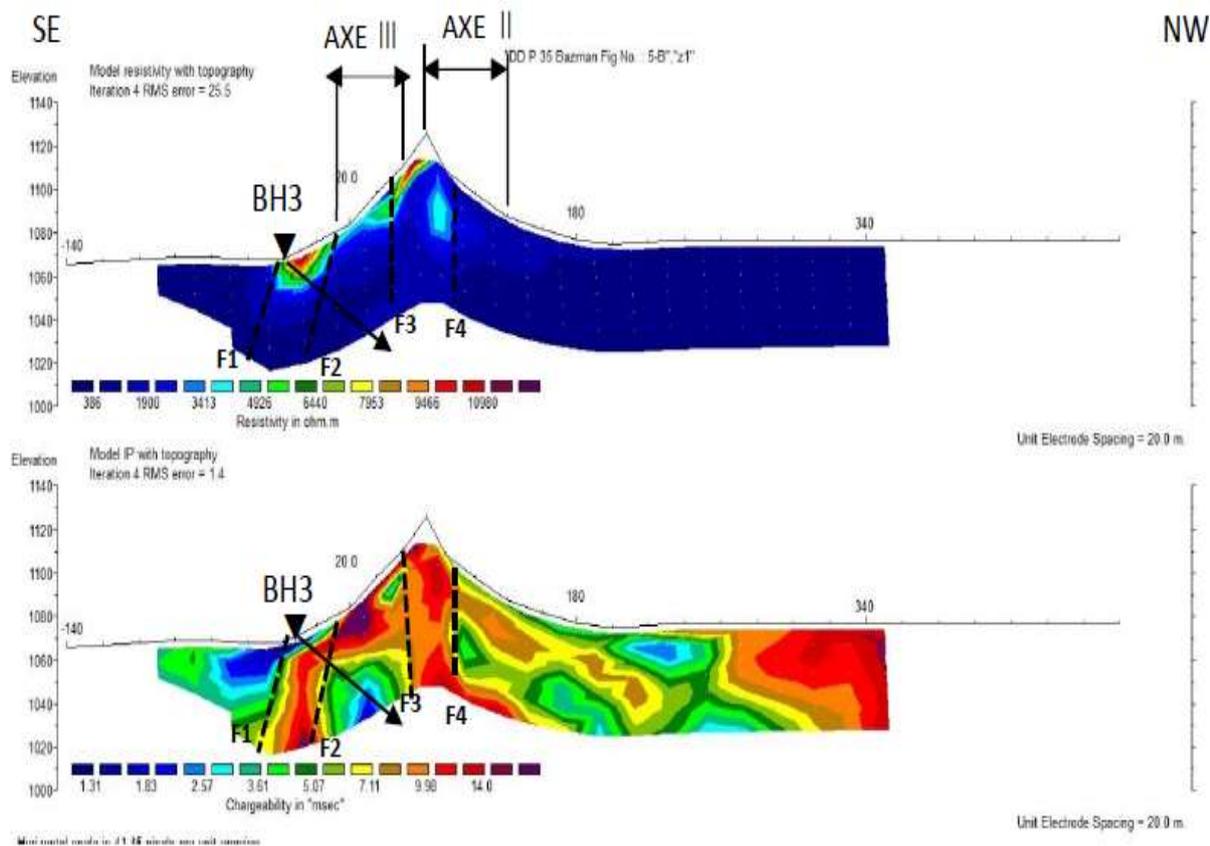
۴-۳-۱-۲-شبه مقطع ۳۵

این شبه مقطع برای بررسی آنومالی های مقاومت ویژه واقع در محورهای AXE II بین نقاط ۸۰ تا ۱۴۰ و محور AXE III بین نقاط ۱۰ تا ۶۰ انجام گرفته است. این شبه مقطع دارای مشخصات $AB=MN=a=40$ و جهش ایستگاهی ۲۰ متر می باشد. در مقطع مدل سازی شده مقاومت ویژه که در شکل (۴-۶) آورده شده است زون مقاوم الکتریکی بین نقاط ۲۰ تا ۱۰۰ قرار گرفته است. محدوده بین نقاط ۲۰ تا ۱۰ به صورت یک زون مقاوم الکتریکی که شیب آن به سمت جنوب شرق بوده مشخص شده است و گسل های F_1 و F_2 محدوده آن را مشخص می کند. محدوده دیگر به صورت یک رگه که تقریباً شیب آن عمود می باشد بین نقاط ۵۰ تا ۱۱۰ است که در مقطع مدل سازی مشخص شده است. محدوده مقاوم الکتریکی بین نقاط ۱۰ تا ۵۰ می تواند در رابطه با واریزه های دامنه ای باشد زیرا دارای ریشه نبوده و در عمق به زون هادی الکتریکی محدود می شود.

در مقطع مدل سازی شده IP در محدوده رگه های مقاوم الکتریکی مقدار IP یا بارپذیری زیاد است که می تواند در اثر وجود زون هایی با شدت مینرالیزه کم در ارتباط باشد. در مقطع مدل سازی شده گسل های F_1 F_2 F_3 F_4 محدوده زون هایی با بارپذیری زیاد را نشان می دهند و مطابقت خیلی خوبی بین دو مقطع مدل سازی شده IP و شکل (۴-۶) وجود دارد که با تلفیق این اطلاعات یک گمانه با مشخصات جدول ۴-۴ پیشنهاد می شود.

جدول ۴-۴: اطلاعات گمانه حفر شده در این مقطع

ردیف	مقطع	نقطه	طول حفاری	آزیموت	شیب
BH ₃	35	-20	110M	137	45 NW



شکل ۴-۶: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در شبه مقطع ۳۵

۴-۳-۱-۳- بررسی شبه مقطع ۵۵

مقطع مدل سازی شده مقاومت ویژه و بارپذیری این شبه مقطع در شکل (۷-۴) نشان داده شده است. بررسی این شبه مقطع به منظور بررسی آنومالی های مقاومت ویژه واقع در محورهای AXE III (بین نقاط ۲۰ تا ۶۰) و AXE II (بین نقاط ۱۰۰ تا ۱۸۰) انجام گرفته است. مشخصات شبه مقطع $AB=MN=a=20$ و جهش ایستگاهی آن نیز ۲۰ متر بوده است.

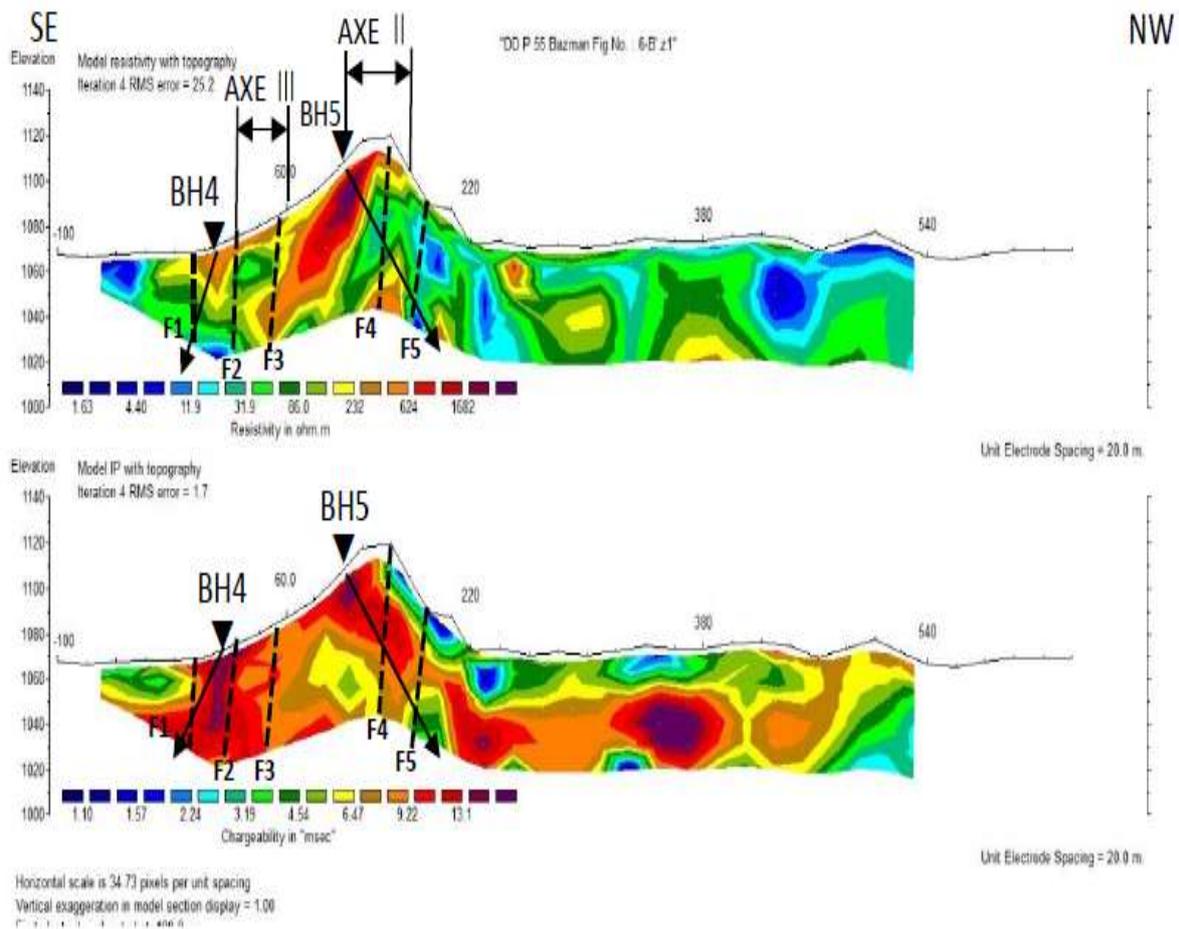
در مقطع مدل سازی شده مقاومت ویژه آنومالی بین نقاط ۶۰ تا ۱۴۰ تفکیک شده و با انطباق نسبی با زون آنومالی AXE II، دارای شیبی به طرف جنوب شرق است. همچنین یک آنومالی در عمق و در فاصله نقاط ۱۴۰ تا ۱۸۰ که به صورت قائم بوده و در محدوده آنومالی AXE II واقع شده تفکیک گردیده است. محدوده آنومالی AXE II در ارتباط با آنومالی است که بین نقاط ۵- تا ۲۰ تفکیک شده و گسترش آن در عمق مشخص شده است. همبندی های F_1, F_2, F_3, F_4 محدوده آنومالی های مقاومت ویژه را نشان می دهند.

در مقطع مدل سازی شده IP در فاصله نقاط ۵- تا ۲۰ و مطابق با آنومالی مقاومت ویژه در مقطع مدل سازی شده مشخص گردیده است که همبندی های F_1, F_2 محدوده آن را مشخص می کنند. در فاصله نقاط ۸۰ تا ۱۴۰ نیز آنومالی IP ردیابی شده است که مطابقت خوبی با آنومالی مقاومت ویژه دارد. این آنومالی به طرف شمال غرب ادامه داشته و در فاصله نقاط ۲۰۰ تا ۲۶۰ دارای گسترش می باشد. آنومالی IP در محدوده AXE II از نظر شیب با آنومالی مقاومت ویژه مطابقت نمی کند ولی قسمت های سطحی آن با آنومالی IP و AXE II مطابقت دارد. آنومالی IP به صورت پراکنده در قسمت های شمال غرب وجود دارند که احتمالاً در رابطه با آریلی شدن سنگ ها و یا زون روسی داخل آبرفت ها می تواند باشد. رگه سیلیسی در فاصله نقاط ۱۰۰ تا ۱۲۵ دارای رخنمون می باشد و ادامه گستره آن در عمق مشخص گردیده است.

با توجه به زمین شناسی منطقه دو گمانه حفاری با مشخصات ذکر شده در جدول ۴-۵ ارائه می گردد.

جدول ۴-۵: اطلاعات دو گمانه حفر شده در مقطع ۵۵

ردیف	مقطع	نقطه	طول حفاری	آزیموت	شیب
BH ₄	55	10	70m	137	75 SE
BH ₅	55	105	90m	137	60 NW



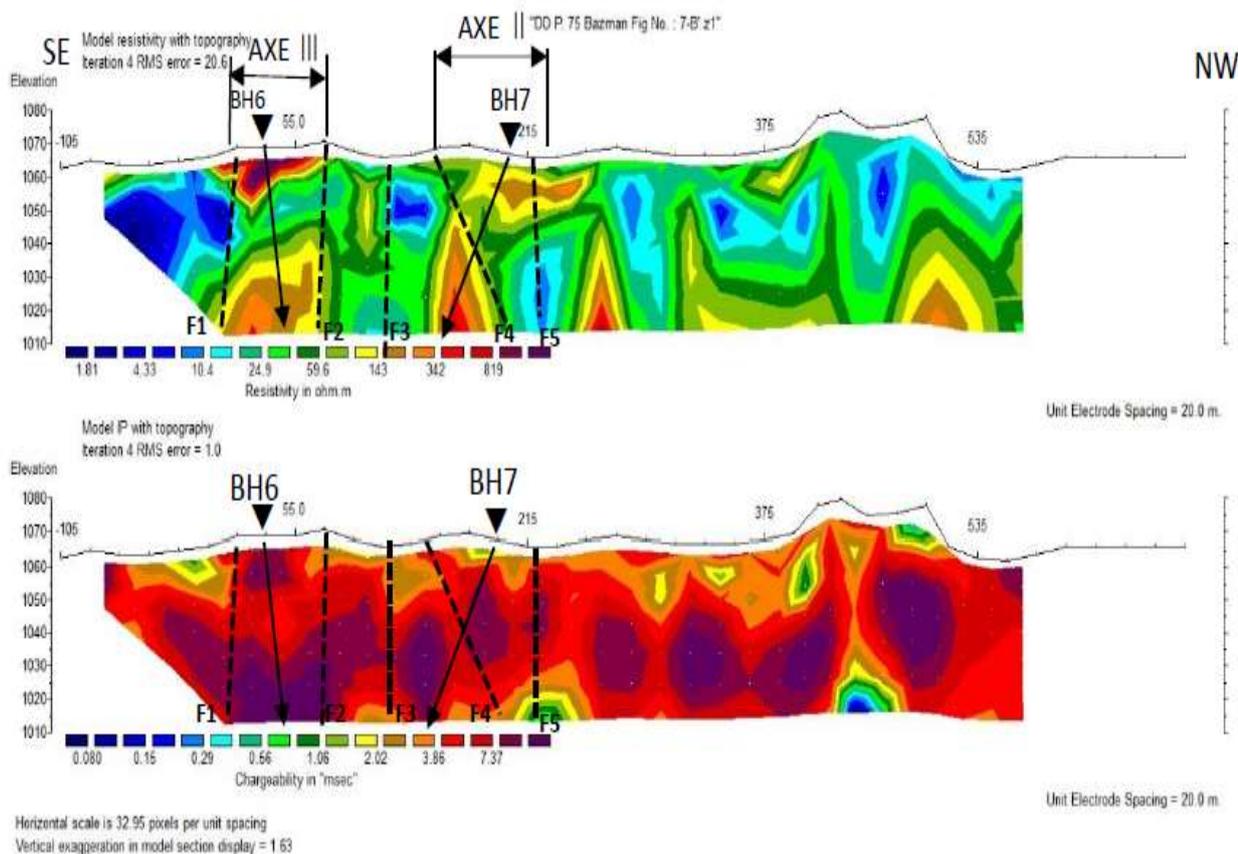
شکل ۴-۷: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در مقطع

۴-۲-۱-۴ بررسی شبه مقطع ۷۵

مقطع مدل‌سازی شده مقاومت ویژه و بارپذیری این شبه مقطع در شکل (۴-۸) نشان داده شده است. این شبه مقطع در رابطه با بررسی گسترش محور آنومالی‌های AXE II و AXE III که به ترتیب بین نقاط ۱۰ تا ۷۵ و ۱۵۰ تا ۲۳۰ در نقشه تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی تفکیک شده، برداشت شده است. اندازه‌گیری‌ها از نقاط ۷۵- تا ۵۶۰ برداشت شده است. در نزدیکی محور AXE III یک رگه سیلیسی مشاهده می‌شود و در نزدیکی محور AXE II در سطح زمین قلوه‌سنگ‌های سیلیسی به صورت پراکنده و احتمالاً در رابطه با فرسایش رگه سیلیسی دیده می‌شود. این شبه مقطع با مشخصات $AB = MN = a =$ 20 و با جهش ایستگاهی ۲۰ متر برداشت شده است. در مقطع مدل‌سازی شده مقاومت ویژه نشان داده شده در شکل (۴-۸)، یک زون آنومالی بین نقاط ۵- تا ۷۵ مشخص شده که با تغییراتی در عمق ادامه دارد. شیب این رگه قائم بوده و همبری‌های F_2, F_1 محدوده آن را مشخص می‌کنند. این آنومالی در ارتباط با AXE III بوده و مطابقت کامل با آن دارد. در فاصله نقاط ۱۴۵ تا ۱۸۰ یک آنومالی مقاومت ویژه که دارای شیب کمی به طرف غرب دارد مشخص شده و با قسمت جنوب شرقی محور AXE II انطباق کامل دارد. آنومالی سطحی بین نقاط ۲۱۵ تا ۲۵۰ که در عمق با آنومالی دیگری ارتباط پیدا می‌کند در مقطع مدل‌سازی شده تفکیک گردیده است. در مقطع مدل‌سازی شده IP و در محدوده آنومالی AXE III آنومالی IP با حداکثر بارپذیری ظاهر گردیده است و همبری‌های F_2, F_1 محدوده آن را نشان می‌دهند. در محدوده آنومالی AXE II نیز دو مرکز آنومالی IP در زیر نقاط ۱۲۰ تا ۱۵۵ و ۱۷۵ تا ۲۰۰ تفکیک گردیده است که همبری‌های F_5, F_4, F_3 محدوده‌ها را از هم جدا می‌کند. محدوده‌های دیگر نیز به صورت منفرد بین نقاط ۲۵۵ تا ۵۳۰ دیده می‌شوند که احتمالاً مربوط به یک زون بوده و به نظر می‌رسد بارپذیری نسبتاً زیاد در رابطه با زون‌های آرژیلی-آبرفتی این محدوده می‌باشد. با توجه به زمین‌شناسی و تلفیق نتایج، دو گمانه با مشخصات نشان داده شده در جدول ۴-۶ ارائه می‌گردد.

جدول ۴-۶: اطلاعات دو گمانه حفر شده در مقطع ۷۵

شیب	آزیموت	طول حفاری	نقطه	مقطع	ردیف
75 NW	137	90m	35	75	BH ₆
70 SE	137	100m	200	75	BH ₇



شکل ۴-۸: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در مقطع

۷۵

۴-۲-۱-۵- بررسی شبه مقطع ۱۰۵

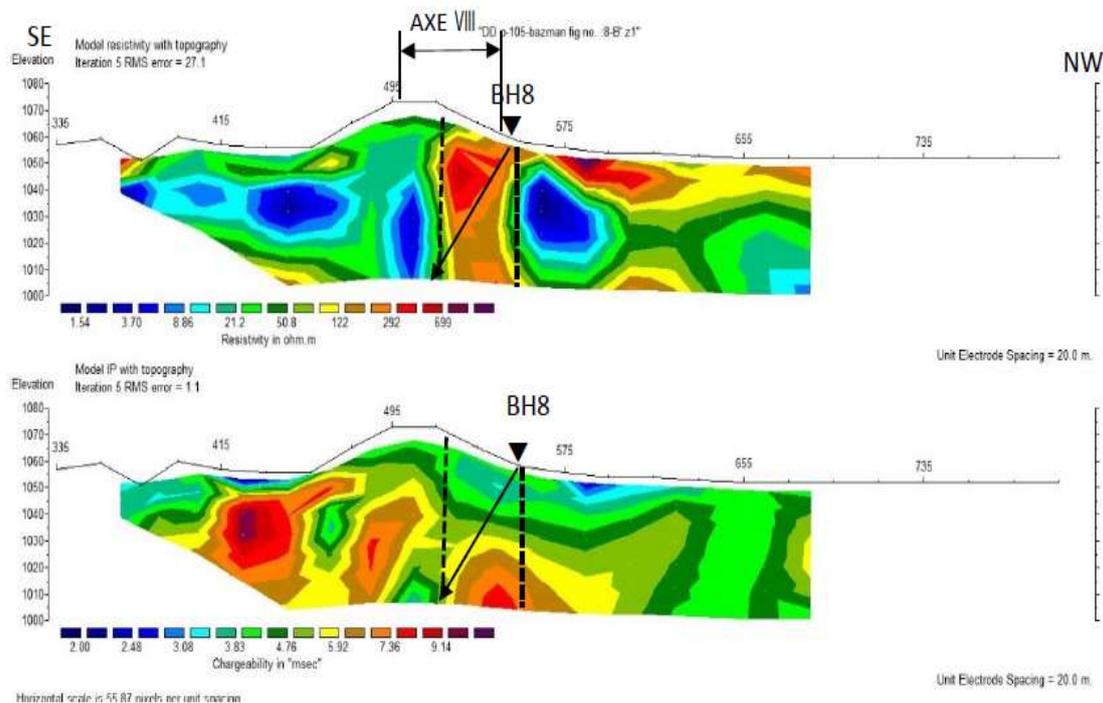
برداشت این شبه مقطع به منظور بررسی آنومالی AXE VIII که بین نقاط ۵۰۰ تا ۵۴۰ که در روی نقشه مشخص شده است انجام گرفته است. اندازه گیری ها از نقاط ۳۷۰ تا ۶۸۵ صورت گرفته است که دارای مشخصات $AB=MN=a=20\text{ m}$ و جهش ایستگاهی ۲۰ متر می باشد. مقطع مدل سازی شده مقاومت ویژه و

بارپذیری این شبه مقطع در شکل (۴-۹) نشان داده شده است. آنومالی مقاومت ویژه در محدوده آنومالی AXE VIII به صورت بارزی مشخص شده که دارای شیب قائم بوده و همبندی‌های F_1, F_2 محدوده آن را مشخص می‌کنند.

در مقطع مدل‌سازی شده IP و در محدوده آنومالی مقاومت ویژه، مقدار بارپذیری نسبتاً بالاست. با مطابقت بین آنومالی مقاومت ویژه و بارپذیری و محور آنومالی AXE VIII و تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی و با توجه به رخمون رگه سیلیسی در محدوده یک گمانه اکتشافی با مشخصات ذکر شده در جدول ۴-۷ پیشنهاد می‌شود.

جدول ۴-۷: اطلاعات گمانه حفر شده در مقطع ۱۰۵

ردیف	مقطع	نقطه	طول حفاری	آزیموت	شیب
BH ₈	105	555	70	137	55 SE



شکل ۴-۹: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های برداشت شده در مقطع

۴-۲-۲-۲-۲ زون Z2

۴-۲-۲-۱ شبه مقطع ۷۰

مقطع مدل‌سازی شده مقاومت ویژه و بارپذیری این شبه مقطع در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است. این شبه مقطع برای بررسی محور آنومالی AXE V که بین نقاط ۵۰ تا ۱۱۰ می‌باشد برداشت شده است که دارای مشخصات $AB=MN=a=20\text{ m}$ و دارای جهش ایستگاهی ۲۰ متر می‌باشد. اندازه‌گیری بین نقاط ۱۰ تا ۳۵۰ انجام گرفته است.

همان‌طور که در نقشه مدل‌سازی مقاومت ویژه نشان داده شده در شکل (۴-۱۰) دیده می‌شود آنومالی مقاومت ویژه مطابق با محور آنومالی AXE V بین نقاط ۷۰ تا ۱۱۰ ظاهر گردیده و دارای شیب قائم می‌باشد و همبریه‌های F_1, F_2 محدوده آن را مشخص می‌کند. همچنین در فاصله نقاط ۱۱۰ تا ۱۵۰ و ۱۹۰ تا ۲۶۰ زون‌های آنومالی مقاوم الکتریکی در عمق تفکیک گردیده‌اند. در شبه مقطع IP در محدوده آنومالی AXE V آنومالی IP بین نقاط ۶۵ تا ۹۰ ظاهر شده که همبریه‌های F_1, F_2 محدوده آن را مشخص می‌کند. با توجه به مطابقت آنومالی مقاومت ویژه و بارپذیری از مقطع مدل‌سازی شده و محور آنومالی AXE V و پوشش آبرفتی منطقه که هیچ‌گونه آثار رگه سیلیسی مشاهده نمی‌شود یک گمانه با مشخصات مذکور در جدول ۴-۸ پیشنهاد می‌شود.

جدول ۴-۸: اطلاعات گمانه حفر شده در مقطع ۷۰

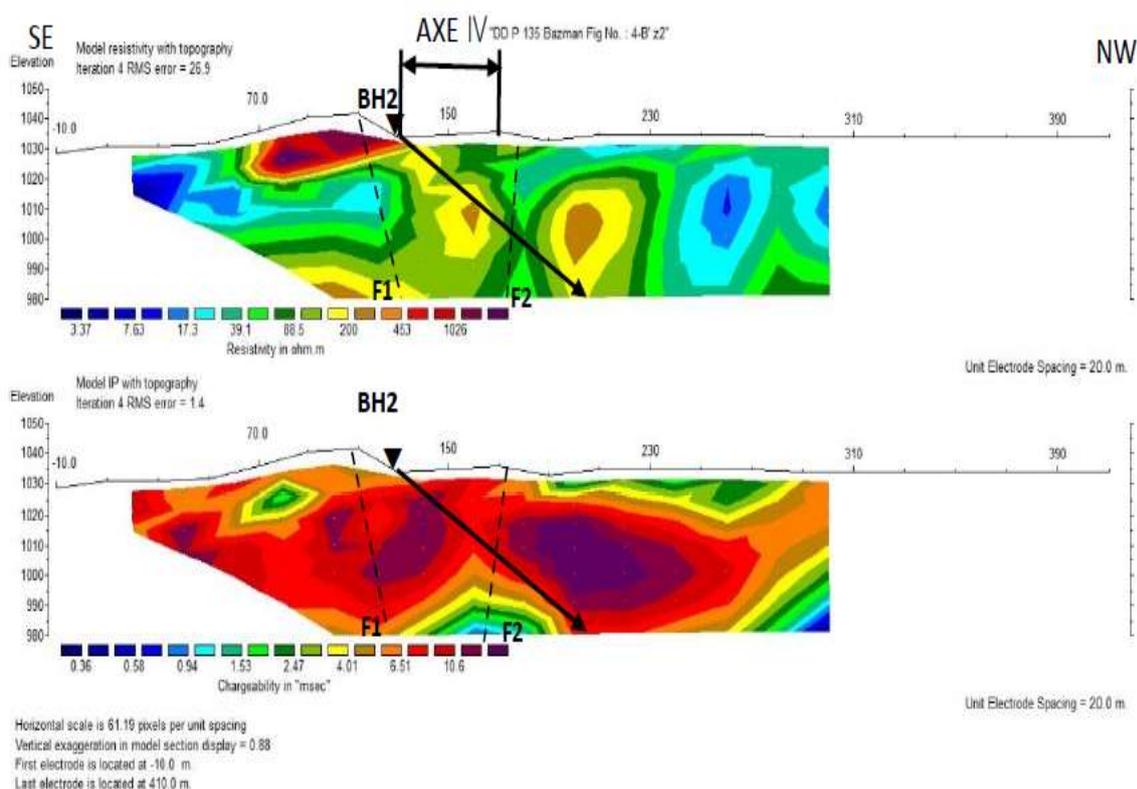
ردیف	مقطع	نقطه	طول حفاری	آزیموت	شیب
BH ₁	70	100	60m	125	60 _{SE}

آنومالی در این مقطع مدل سازی شده است در بین نقاط ۱۳۵ تا ۱۷۰ و مطابق با محور AXE IV می باشد و همبری های F_1, F_2 محدوده آن را مشخص می کند.

در شبه مقطع IP نیز مقدار بارپذیری بین نقاط ۹۰ تا ۱۵۰ نسبتاً زیاد بوده و در فاصله ۹۵ تا ۱۲۰ و ۱۳۰ تا ۱۵۰ به حداکثر مقدار خود رسیده و همبری های F_1, F_2 محدوده آن را مشخص می کند و مطابقت خوبی بین AXE IV و زون های آنومالی مقاومت ویژه و بارپذیری در مقطع مدل سازی شده وجود دارد. با توجه به زمین شناسی منطقه، یک گمانه اکتشافی با مشخصات ذکر شده در جدول ۴-۹ پیشنهاد می شود.

جدول ۴-۹: اطلاعات گمانه حفر شده در مقطع ۱۳۵

ردیف	مقطع	نقطه	طول حفاری	آزیموت	شیب
BH ₂	135	130	100m	125	45 NW



شکل ۴-۱۱: مقطع دوبعدی مقاومت ویژه بارپذیری حاصل از مدل سازی وارون داده های برداشت شده در مقطع

۱۳۵

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

با بررسی نقشه‌های مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از آرایه مستطیلی نتایج زیر قابل ذکر است:

به علت وجود زون‌های آرژیلی و همچنین رگه‌های سیلیسی طیف تغییرات مقاومت ویژه گسترده می‌باشد. بیشتر در شرق زون ۱ همان‌طور که در نقشه مقاومت ویژه حاصل از آرایه مستطیلی در این زون دیده می‌شود، رگه‌های سیلیسی در زیر یک پوشش آبرفتی قرار گرفته است که وجود زون‌های آبرفتی دانه‌ریز باعث شده که مقاومت ویژه در این منطقه کم باشد ولی باید دقت شود که وجود زون‌های آبرفتی دانه‌درشت نیز خود می‌تواند عامل این نوع آنومالی‌ها باشد که برای اطمینان بیشتر توصیه می‌شود تا در این مناطق چند عدد ترانسه زده شود تا آنومالی‌های مورد هدف شناسایی شوند. با توجه به خطوط هم مقاومت ویژه - الکتریکی، گسل‌های متعددی در این منطقه شناسایی شده که امتداد این گسل‌ها شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد و از طرفی برخی از این گسل‌ها به صورت شکستگی‌هایی هستند که عملکرد آن‌ها در بعضی نقاط از رگه‌های سیلیسی به صورت تغییر امتداد آن‌ها می‌باشد.

در قسمت غرب محدوده مقدار بارپذیری خیلی زیاد است که این مقدار زیاد متناسب است با مراکز آنومالی که به صورت پراکنده بوده‌اند. برای همین محور این آنومالی مطابق با محور آنومالی مقاومت ویژه الکتریکی و در رابطه با رگه سیلیسی مشاهده نمی‌شود. باید دقت شود که دقیقاً بسیاری از مقاطع در قسمت شرق مقدار آنومالی مخصوصاً در زیر آبرفت‌ها زیاد می‌باشد که این می‌تواند به خاطر وجود عدسی‌های رسی در داخل آبرفت‌ها باشد. در غرب منطقه نیز می‌توان بارپذیری نسبتاً زیاد را به رگه‌های سیلیسی سولفید دار نسبت داد که به صورت استوکورک در این منطقه مشخص شده‌اند.

در این زون بعد از به دست آوردن اطلاعات سطحی از منطقه حدود ۵ پروفیل با آرایه دوقطبی - دوقطبی برداشت شده که بعد از مدل‌سازی و تفسیر هر یک از آن‌ها، آنومالی‌های بارپذیری و مقاومت ویژه هر پروفیل مشخص شده است. این آنومالی‌ها دارای مقاومت ویژه بالا و بارپذیری بالا می‌باشند.

در زون ۲ از آنجایی که گسترش آبرفت‌ها در این زون زیاد می‌باشد نتیجتاً آنومالی‌های ضعیف مقاومت ویژه الکتریکی در قسمت‌های آبرفتی که در مسیر رگه‌های سیلیسی است باید مهم تلقی گردند زیرا افت مقاومت

ویژه الکتریکی در محدوده رگه‌های سیلیسی مدفون می‌تواند در اثر آبرفت‌های دانه‌ریز باشد ضمن این‌که آبرفت‌های دانه‌درشت نیز می‌توانند دلیل ایجاد آنومالی‌های مقاوم الکتریکی باشند.

تغییرات بارپذیری در این منطقه به‌صورت محورهای مشخص ظاهر نمی‌شود و احتمالاً تغییرات آن بیشتر در رابطه با زون‌های رسی در آبرفت‌ها است. برخی مواقع زون‌های آرژیلکی دلیل زیاد بودن مقادیر زیاد بارپذیری می‌باشند و در برخی موارد زون‌هایی با بارپذیری زیاد به دلیل مینرالیزاسیون سولفیدی رگه‌های سیلیسی ظاهر می‌گردند. بر مبنای این تفاسیر و تعیین محورهای آنومالی مقاومت ویژه دو پروفیل با آرایه دوقطبی- دوقطبی در این زون برداشت‌شده که آنومالی‌هایی با بارپذیری بالا و مقاومت ویژه بالا مدنظر بوده که این آنومالی‌ها در نقشه‌های هر کدام از پروفیل‌ها مشخص شده‌اند.

۵-۲-پیشنهادها

برای به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر و بیشتر از منطقه‌ی مورد اکتشافی در این مطالعه پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

۱- برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر و دقیق‌تر از منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد از روش‌های دیگر مانند روش SIP استفاده شود زیرا که این روش کانی‌های رسی را از مابقی کانی‌های سولفیدی جدا می‌کند.

۲- برای بالا بردن دقت تفسیر پیشنهاد می‌گردد پروفیل‌هایی عمود بر پروفیل‌های برداشت‌شده به‌گونه‌ای که محل تقاطع آن‌ها مکان بی‌هنجاری‌های به‌دست‌آمده در برداشت اولیه باشد، برداشت گردد.

۳- برای تعیین گسترش آنومالی‌ها پیشنهاد می‌گردد که این مطالعه در جنوب زون شماره ۲ و شمال و جنوب غرب زون شماره ۱ ادامه پیدا کند.

۴- پیشنهاد می‌شود در این منطقه بررسی‌های ژئوشیمی نیز انجام شود تا تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمی به همراه دگرسانی مختصات بهینه‌تری را برای اجرای عملیات حفاری مشخص نماید.

با توجه به نتایج به دست آمده از تفسیر مقاطع ژئوفیزیکی، اطلاعات زمین‌شناسی و بررسی‌های صحرایی در هر دو زون برای حفاری چند محل پیشنهاد شد که مشخصات آن‌ها در جداول ۱-۵ و ۲-۵ ذکر شده است.

جدول ۱-۵: مشخصات گمانه‌های اکتشافی در زون شماره ۱

شماره حفاری	شماره مقطع	نقطه حفاری	آزیموت	شیب	طول حفاری
BH ₁	-15	180	137	50 _{NW}	40m
BH ₂	-15	605	137	75 _{SE}	55m
BH ₃	35	-20	137	45 _{NW}	110m
BH ₄	55	10	137	75 _{SE}	70m
BH ₅	55	105	137	60 _{NW}	90m
BH ₆	75	35	137	75 _{NW}	90m
BH ₇	75	200	137	70 _{SE}	100m
BH ₈	105	555	137	55 _{SE}	70m

جدول ۲-۵: مشخصات گمانه‌های اکتشافی در زون شماره ۲

شماره حفاری	شماره مقطع	نقطه حفاری	آزیموت	شیب	طول حفاری
BH ₁	70	100	125	60 _{SE}	60m
BH ₂	135	130	125	45 _{NW}	100m

- [۱] طالش حسینی، سجاد؛ مراد زاده، علی؛ اصغری، امید؛ ۱۳۹۸؛ «کاربرد شبکه برنامه‌ریزی GERT در ساختار مدیریت پروژه‌های شبیه‌سازی زمین‌آماری در کانسار مس – طلا دالی شمالی استان مرکزی»، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره ۱۴، شماره ۴۲، صفحه ۳۲ تا ۴۶.
- [۲] کامکار روحانی؛ و اکبری فیض آبادی و. شاه‌پسندزاده م؛ و یعقوبی‌تبار ب؛ و دژپسند س؛ و راه انجام م؛ و بابائی م. (۱۳۹۳) بررسی گسترش آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از توموگرافی الکتریکی، کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
- [۳] کلاگری ع. ا. (۱۳۷۱)، اصول اکتشافات ژئوفیزیکی «جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، صص ۱۸۰.
- [۴] He Z. and Hu Z. and Y. He L. and Meng C. and Yang L. (2015) "Field test of monitoring gas reservoir development using time-lapse continuous electromagnetic profile method," *Geophysics*, vol. 80, no. 2, pp. WA127–WA134.
- [۵] Oldenburg. D. W, and Li. Y, 1994 "Inversion of induced polarization data," *Geophysics*, vol. 59, 1327- 1341.
- [۶] Guo W., Dentith M., Zhao Y., "Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc orefield Gansu Province, China", *Exploration Geophysics* 31 (2000) 243-247.
- [۷] Bishop J.R., Lewis R. J. G., "Geophysical signatures of Australian volcanic hosted Massive sulfide deposits", *Economic Geology* 87 (1992) 913-930
- [۸] Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.
- [۹] Mooney H. M. (1980), *Handbook of engineering geophysics*. 2. Electrical resistivity. Bison Instruments.
- [۱۰] Kirsch R. and Yaramanci U. (2009), "Goelectrical methods," in *Groundwater geophysics*, Springer, pp. 85–117
- [۱۱] Wackernagel, H., 2013, "Multivariate geostatistics: an introduction with applications". Springer Science & Business Media.
- [۱۲] Dentith M. and Mudge S. T. (2014), *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*. Cambridge University Press.
- [۱۳] Milsom J. (2003), *Field geophysics*, vol. 25. John Wiley and sons.

- [۱۴] Loke M. H. (2002), “RES2DMOD ver. 3.01,” Rapid 2D Resist. Forw. Model. using finite-difference finite-elements method. Geotomo Software. Man
- [۱۵] Mooney H. M. (1980), Handbook of engineering geophysics. 2. Electrical resistivity. Bison Instruments
- [۱۶] Aizebeokhai A. P. (2010), “2D and 3D geoelectrical resistivity imaging: Theory and field design,” Sci. Res. Essays, vol. 5, no. 23, pp. 3592–3605.
- [۱۷] Ward S. H. (1988), “The resistivity and induced polarization methods,” in Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, pp. 109–250.
- [۱۸] Loke M. H. (2004), “2-D and 3-D electrical imaging surveys,”
- [۱۹] Knödel, K., Lange, G., & Voigt, H. J. (2007). Environmental geology: handbook of field methods and case studies. Springer Science & Business Media.
- [۲۰] Lowrie, W., & Fichtner, A. (2020). Fundamentals of geophysics. Cambridge university press.
- [۲۱] Telford, W. M., Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied geophysics. Cambridge university press.
- [۲۲] Fink, J. B., McAlister, E. O., Sternberg, B. K., Wieduwilt, W. G., & Ward, S. H. (Eds.). (1990). Induced polarization applications and case histories. Society of Exploration Geophysicists
- [۲۳]] Roy, K. K., & Elliott, H. M. (1980). Model studies on some aspects of resistivity and membrane polarization behaviour over a layered earth. Geophysical prospecting, 28(5), 759-775
- [۲۴] Kearey P. Brooks M. and Hill I. (2002), An introduction to geophysical exploration, vol. 4. John Wiley & Sons.
- [۲۵] Journel, A.G., 1974, “Geostatistics for conditional simulation of ore bodies”. Economic Geology 69(5), 673-687.
- [۲۶] Ghane, B., Asghari, O., 2017, “Modeling of mineralization using minimum/maximum autocorrelation factor: case study Sury Gunay gold deposit NW of Iran”. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 17(3), 186-193.
- [۲۷] Wackernagel, H., 2013, “Multivariate geostatistics: an introduction with applications”. Springer Science & Business Media.
- [۲۸] Rezaee, H., Marcotte, D., 2017, Integration of multiple soft data sets in MPS

- [٢٩] Lee, S. J., 2005. “Models of soft data in geostatistics and their application in environmental and health mapping”. PhD thesis, University of North Carolina at Chapel Hill.
- [٣٠] Oldenburg D. W. and Li Y. (2005), “Inversion for applied geophysics: A tutorial,” *Near-surface Geophys*, pp. 89–150.
- [٣١] Xu, W., Tran, T.T., Srivastava R.M., 1992, “Integrating seismic data in reservoir modeling; the collocated cokriging alternative”. SPE Annual technical conference and exhibition, Society of Petroleum Engineers, Washington, DC, 833–842. 4–7 October.
- [٣٢] Kirsch R. and Yaramanci U. (2009), “Goelectrical methods,” in *Groundwater geophysics*, Springer, pp. 85–117.
- [٣٣] Sinclair, A.J. and Blackwell, G.H., 2006. *Applied mineral inventory estimation*. Cambridge University Press.
- [٣٤] Dentith M. and Mudge S. T. (2014), *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*. Cambridge University Press.
- [٣٥] Rossi, M.E. and Deutsch, C.V., 2013. *Mineral resource estimation*. Springer Science & Business Media.
- [٣٦] Milsom J. (2003), *Field geophysics*, vol. 25. John Wiley and sons.
- [٣٧] Soltani, F., Afzal, P., Asghari, O., 2014, “Delineation of alteration zones based on Sequential Gaussian Simulation and concentration–volume fractal modeling in the hypogene zone of Sungun copper deposit, NW Iran”. *Journal of Geochemical Exploration* 140, 64-76.
- [٣٨] Kearey P. Brooks M. and Hill I. (2002), *An introduction to geophysical exploration*, vol. 4. John Wiley & Sons.
- [٣٩] James M. and D. Nobes C. (2015), “Time Lapse Characterization of Leachate Flow Using Electromagnetics and Ground Penetrating Radar,” in *Near-Surface Asia Pacific Conference*, Waikoloa, Hawaii, 7-10 July 2015, pp. 211–214
- [٤٠] Schrott L. and Sass O. (2008), “Application of field geophysics in geomorphology: advances and limitations exemplified by case studies,” *Geomorphology*, vol. 93, no. 1–2, pp. 55–73.
- [٤١] Theimer B. D. Nobes D. C. and Warner B. G. (1994), “A study of the goelectrical properties of peatlands and their influence on ground-penetrating radar surveying1,” *Geophys. Prospect*, vol. 42, no. 3, pp. 179–209.
- [٤٢] Reynolds J. M. (1997), “An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, John Wiley & Sons Ltd,” Chichester, UK.

- [۴۳] Mooney H. M. (1980), Handbook of engineering geophysics. 2. Electrical resistivity. Bison Instruments.
- [۴۴] Hubbard S. S. and Rubin Y. (2000), “Hydrogeological parameter estimation using geophysical data: a review of selected techniques,” J. Contam. Hydrol., vol. 45, no. 1–2, pp. 3–34.
- [۴۵] Loke M. H. (2002), “RES2DMOD ver. 3.01,” Rapid 2D Resist. Forw. Model. Using finite-difference finite-elements method. Geotomo Software. Man.
- [۴۶] Kazakis N. Vargemezis G. and Voudouris K. S. (2016), “Estimation of hydraulic parameters in a complex porous aquifer system using geoelectrical methods,” Sci. Total Environ., vol. 550, pp. 742–750.
- [۴۷] Aizebeokhai A. P. (2010), “2D and 3D geoelectrical resistivity imaging: Theory and field design,” Sci. Res. Essays, vol. 5, no. 23, pp. 3592–3605.
- [۴۸] Ward S. H. (1988), “The resistivity and induced polarization methods,” in Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, pp
- [۴۹] Rahimi, H., Asghari, O., Hajizadeh, F., 2018, “Selection of optimal thresholds for estimation and simulation based on indicator values of highly skewed distributions of ore data”. Natural Resources Research, 27(4), 437-453.
- [۵۰] Chiles, J. P., Delfiner, P., 2012, “Geostatistics: Modeling spatial uncertainty”. New Jersey: Wiley.
- [۵۱] Armstrong, M., 1998, “Basic linear geostatistics”. Berlin: Springer.
- [۵۲] Safikhani, M., Asghari, O., Emery, X., 2017, “Assessing the accuracy of sequential gaussian simulation through statistical testing”. Stochastic environmental research and risk assessment 31(2), 523-533.
- [۵۳] Talesh Hosseini, S., Asghari, O., Ghavami Riabi, S. R., 2018, “Spatial modelling of zonality elements based on compositional nature of geochemical data using geostatistical approach: a case study of Baghqlloom area, Iran”. Journal of Mining and Environment 9(1), 153-167.
- [۵۴] Mehrabi, B., Yardley, B.W.D., Komninue, A., 2003, “Modelling the As-Au association in hydrothermal gold mineralization: Example of Zarshuran deposit, NW Iran”.
- [۵۵] Paterson, N. R., and Hallof, P., G., 1991, Gold metallogeny and exploration – Geophysical exploration for gold, Springe

Abstract

In the Bazman mineral range, volcanic rocks have been formed with poor metamorphism of argillization and several stages of silicification. In siliceous veins, gold grade sometimes reaches 1 gram per ton. The identification and study of these siliceous veins is desired and to separate them and determine the expansion of these veins, the geoelectric method has been used, including the collection of electrical resistance factors and charge capacity.

First, the client's desired areas are covered with a rectangular array, and after separating the electrically resistant anomalies in relation to the siliceous vein, to determine their depth range using a bipolar-dipole array, 7 quasi-cross sections of anomaly centers are prepared. And then the results are combined with geological information and the location of exploratory boreholes with complete specifications of azimuth, slope and drilling length is presented.

Keywords: Resistance (RS), Rechargeability (IP), Silica veins, Bazman mineral range, Bipolar-Bipolar



Shahroud University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering
M.Sc. Thesis in Geoelectrics

**Modeling and interpretation of resistivity and induction
polarization data for exploration of gold-bearing siliceous
minerals in Bazman region of Sistan and Baluchestan province**

By:Reza Shokri

Supervisors

Dr. Abolghasem Kamkar-Rouhani

Dr. Alireza Arab-Amiri

March 2022