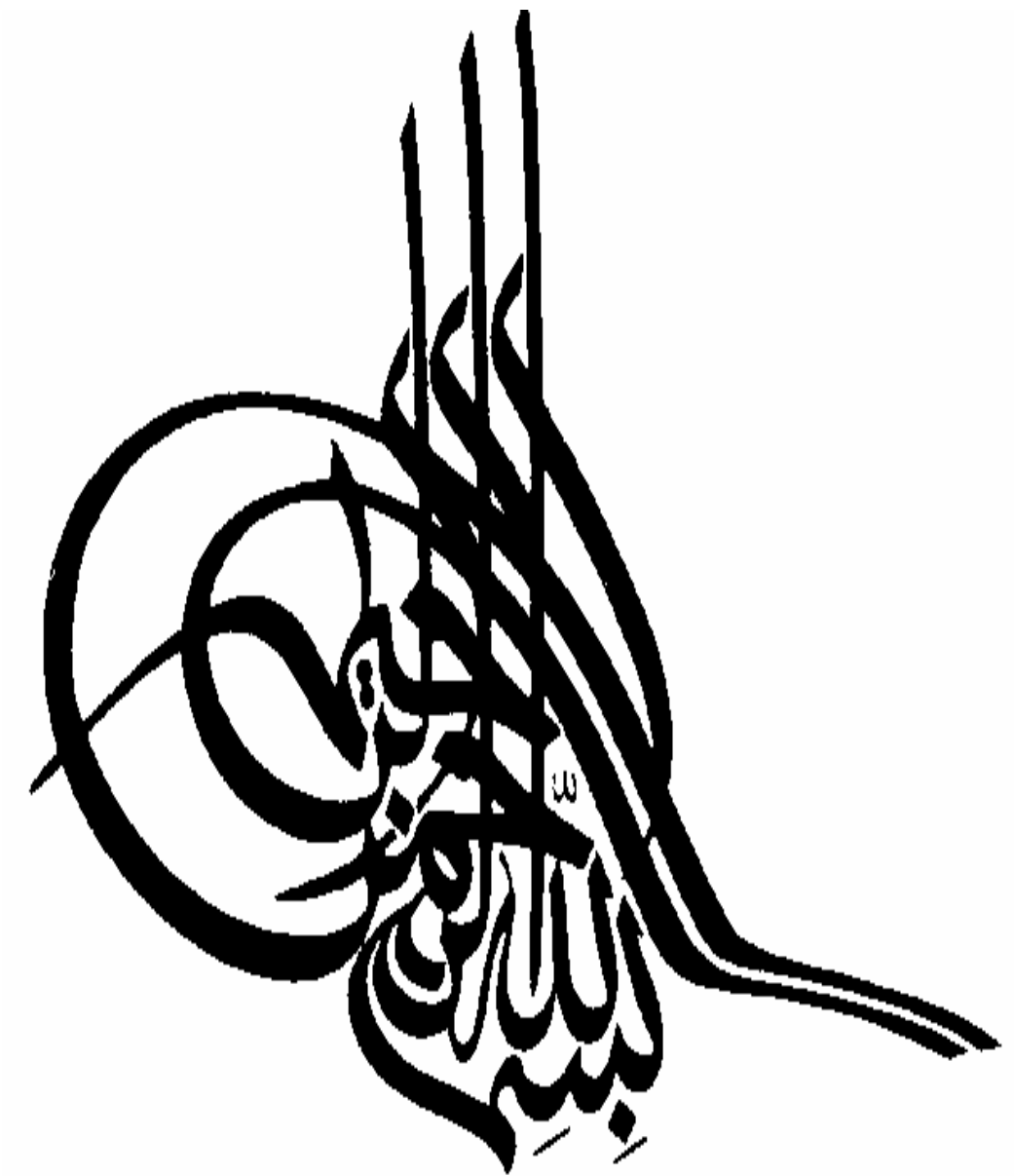






دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف مواد معدنی

**مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی کانی‌سازی مس شریف آباد به روش پلاریزاسیون القایی
و مقاومت ویژه جهت تعیین نقاط حفاری، شمال غرب بردسکن**

نگارنده:

هادی قنبری

اساتید راهنما

دکتر علیرضا عرب‌امیری

دکتر سوسن ابراهیمی

استاد مشاور

مهندس محمد مهری

شماره ۹۶/۹۴/۲۲۸
تاریخ ۹۶/۷/۲۲

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

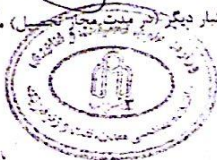
با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای هادی قنبری با شماره دانشجویی ۹۴۱۴۱۴۴ رشته معدن گرایش اکتشاف تحت عنوان مطالعات زمین شناسی و ژئوفیزیکی کانی سازی مس شریف آباد به روش پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه جهت تعیین نقاط حفاری، شمال غرب بردسکن که در تاریخ ۱۳۹۶/۷/۱۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود ☒ قبول (با درجه: عالی)			
نوع تحقیق: ☐ نظری ☒ عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	علیرضا عربامیری	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	سوسن ابراهیمی	استادیار	
۳- استاد مشاور	محمد مهری	-	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	امین روشندل کاهو	دانشیار	
۵- استاد ممتحن اول	ابوالقاسم کامکار روحانی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	آرزو عابدی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: علیرضا عربامیری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۶/۷/۲۲

تیمبره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



با احترام تقدیم به

پدرم، اول اسّادم، بزرگوارى كه الفباى زندگى را از او آموختم.

مادرم، بلندتکيه گاهم، مهربانى كه عشق و رزدين را از او آموختم.

تشکر و قدردانی:

سپاس و ستایش خدای راست، که ما را به ثنا و ستایش خود راه نمود و شایسته آن گردانید تا از سپاس‌گذاران احسان او باشیم.

در ابتدا بر خود لازم می‌دانم از دو استاد بزرگوار جناب آقای دکتر علیرضا عرب‌امیری و سرکار خانم دکتر سوسن ابراهیمی که زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، قدردانی نمایم. همچنین از آقای مهندس محمد مهری که مشاوره این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از دوستان عزیزی که در مراحل انجام پایان‌نامه همواره همراه بودند از جمله آقای مهندس بهنام ضیائی و همچنین آقای مهندس سعید نجفی نهایت تقدیر و تشکر را دارم و برایشان در تمامی مراحل زندگی موفقیت و سربلندی آرزو می‌کنم.

در پایان بر خود لازم میدانم از جناب آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و سرکار خانم دکتر آرزو عابدی که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، تقدیر و تشکر نمایم.

تعهد نامه

اینجانب هادی قنبری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن - اکتشاف معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی کانی‌سازی مس شریف آباد به روش پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه جهت تعیین نقاط حفاری، شمال غرب بردسکن تحت راهنمایی آقای دکتر علیرضا عرب‌امیری و خانم دکتر سوسن ابراهیمی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده 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 شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood 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 می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای 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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها 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.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

- ۱- مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه در محدوده اکتشافی شریف آباد، شمال غرب بردسکن، نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی (JRAG)، دانشگاه صنعتی شاهرود.

چکیده:

امروزه به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف مواد معدنی و انتخاب محل‌های مناسب برای تعیین نقاط حفاری امری متداول می‌باشد. از آن‌جا که کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه (شریف‌آباد بردسکن) به صورت کربنات، کلرید و سولفید مس می‌باشد؛ لذا استفاده از روش‌های پلاریزاسیون القایی (IP)^۱ و مقاومت‌ویژه، که جزء روش‌های الکتریکی ژئوفیزیکی می‌باشند، برای شناسایی کانی‌سازی سولفیدی مس در اعماق، می‌تواند حائز اهمیت باشد.

محدوده اکتشافی شریف‌آباد، در ۳۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان بردسکن و در استان خراسان رضوی واقع شده است. این محدوده از نظر زمین‌شناسی، در زون زمین‌شناسی سبزوار و زون ماگمایی شرق ایران قرار گرفته است. سنگ میزبان کانی‌سازی، سنگ‌های آتش‌فشانی - رسوبی ائوسن و الیگوسن می‌باشند و شامل آهک، برش آتش‌فشانی، میکروکنگلومرا، توف ماسه‌ای، پیروکسن آندزیت و آگلومرا هستند. کانی‌سازی از نوع رگه‌ای بوده و به صورت پراکنده و رگچه‌های ظریف، درون حفرات و شکستگی‌های کانی‌ها و سنگ میزبان تشکیل شده است؛ و شامل مالاکیت، کالکوسیت و کالکوپیریت می‌باشد. به منظور شناسایی کانی‌سازی سولفیدی مس در عمق و تعیین نقاط مناسب حفاری، مطالعات ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه و IP توسط دو شبکه با آرایش مستطیلی و در مجموع پنج پروفیل با آرایش دوقطبی - دوقطبی (با فاصله الکترودی ۲۰ متر) انجام شده است. داده‌های برداشت شده با استفاده از نرم‌افزارهای RES2DINV و ZONDRES2D مورد پردازش و مدل‌سازی قرار گرفتند؛ سپس مدل‌های ژئوفیزیکی حاصله با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه و پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل‌های برداشتی، تعبیر و تفسیر شدند. نتایج حاصل از تلفیق مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی توانسته زون‌های کانی‌سازی مس و ساختارهای گسله در منطقه را نشان دهد. بر اساس این مطالعات، کانی‌سازی در دو سطح عمقی کم (از سطح زمین تا عمق ۲۵ متری) و عمقی‌تر (از عمق ۲۵ تا ۶۲ متری) تشکیل شده است؛ که کانی‌سازی سطحی، احتمالاً

¹Induced Polarization

به دلیل عملکرد گسل‌های محلی در منطقه ایجاد شده و در ارتباط با محلول‌های گرمابی بوده است. بر مبنای مطالعات ژئوفیزیکی ۱۵ محل جهت حفاری گمانه‌های اکتشافی پیشنهاد شد. نتایج حاصل از مطالعات حفاری، کانی‌سازی با مقادیر بالای مس را تا عمق ۳۸ متری تأیید می‌کنند. همچنین از نرم‌افزار RockWorks برای نمایش سه‌بعدی نتایج وارون‌سازی دوبعدی ژئوفیزیکی داده‌های IP و مقاومت‌ویژه استفاده شد.

کلمات کلیدی: پلاریزاسیون القایی، مقاومت‌ویژه، آرایش دوقطبی - دوقطبی، کانی‌سازی مس، بردسکن، سبزوار.

فهرست مطالب

فصل اول	۱
کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ مروری بر مطالعات انجام شده	۳
۳-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان نامه	۵
۴-۱ روش تحقیق	۵
۵-۱ ساختار پایان نامه	۶
فصل دوم	۹
معرفی روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه و IP	۹
۱-۲ مقدمه	۱۰
۲-۲ روش مقاومت‌ویژه	۱۱
۱-۲-۲ مفهوم مقاومت‌ویژه ظاهری	۱۳
۲-۲-۲ تقسیم‌بندی مواد مختلف از لحاظ مقاومت‌ویژه	۱۵
۳-۲-۲ روش‌های اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه	۱۸
۴-۲-۲ کاربردهای روش مقاومت‌ویژه	۱۸
۵-۲-۲ مزایای روش مقاومت‌ویژه الکتریکی	۱۹
۶-۲-۲ محدودیت‌ها و معایب روش مقاومت‌ویژه الکتریکی	۲۰
۳-۲ روش پلاریزاسیون القایی (IP)	۲۱
۱-۳-۲ اصول و منشا اثر IP	۲۲
۲-۳-۲ انواع روش‌های IP	۲۳
۲-۳-۲ (الف) اندازه‌گیری IP در حوزه زمان	۲۳

۲۶	 ۳-۳-۲ شیوه‌های برداشت داده‌های IP
۲۷	 ۴-۳-۲ مزایای روش IP
۲۷	 ۵-۳-۲ معایب و محدودیت‌های روش IP
۲۸	 ۴-۲ آرایه‌های الکترونی مورد استفاده در اندازه‌گیری‌های مقاومت‌ویژه و IP
۲۹	 ۱-۴-۲ آرایه دوقطبی - دوقطبی
۳۱	 فصل سوم:
۳۱	 زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه
۳۲	 ۱-۳ مقدمه
۳۲	 ۲-۳ موقعیت و شرایط جغرافیایی
۳۴	 ۳-۳ زمین‌شناسی ناحیه‌ای
۳۷	 ۴-۳ زمین‌شناسی منطقه‌ای
۴۳	 ۵-۳ دگرسانی سنگ میزبان
۴۴	 ۶-۳ کانه‌زایی و کانی‌شناسی
۴۹	 ۷-۳ مدل کانی‌سازی
۵۱	 فصل چهارم:
۵۱	 مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه و IP برداشت شده
۵۲	 ۱-۴ مقدمه
۵۲	 ۲-۴ نحوه انجام عملیات صحرایی در منطقه
۵۵	 ۳-۴ وسایل و تجهیزات مورد استفاده
۵۵	 ۱-۳-۴ دستگاه‌های فرستنده و گیرنده
۵۶	 ۲-۳-۴ کابل‌ها و الکترودهای فلزی
۵۶	 ۴-۴ مدل‌سازی و پردازش داده‌ها
۵۷	 ۱-۴-۴ مدل‌سازی مستقیم (پیشرو)

۲-۴-۴ مدل سازی وارون	۵۹
۳-۴-۴ مدل سازی داده های صحرایی	۵۹
۴-۴-۴ پردازش داده ها	۶۱
۵-۴ بحث و تفسیر نتایج	۶۴
۶-۴ نقاط حفاری پیشنهادی	۹۴
۷-۴ تهیه نمودارهای نرده ای برای پروفیل ها بر اساس داده های مقاومت ویژه و IP در نرم افزار	
RockWorks	۹۶
۸-۴ نمایش سه بعدی کنسار بر اساس داده های مقاومت ویژه و IP در نرم افزار Rockworks	۱۰۳
۹-۴ اعتبارسنجی بر اساس گمانه های اکتشافی کارفرما	۱۰۷
فصل پنجم	۱۱۱
نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۱۱
۱-۵ نتیجه گیری	۱۱۲
۲-۵ پیشنهادات	۱۱۳
منابع	۱۱۵

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲): نحوه توزیع خطوط جریان و پتانسیل در یک آرایش چهار الکترودی ۱۴
- شکل (۲-۲): مقایسه V_t با V_c در اندازه گیری اثر IP حوزه زمان ۲۴
- شکل (۳-۲): روش های تعیین انتگرال زمان واپاشی در اندازه گیری های IP در حوزه زمان ۲۵
- شکل (۴-۲): تعدادی از آرایه های الکترودی رایج در کارهای صحرایی ۲۹
- شکل (۵-۲): نمای کلی از برداشت دوقطبی - دوقطبی ۳۰
- شکل (۱-۳): نقشه راهنمای راه ها، جهت دسترسی به منطقه مورد مطالعه (شریف آباد در شمال غربی بردسکن با علامت مربع مشخص شده است) ۳۳
- شکل (۲-۳): نقشه ساده شده ساختاری ایران و موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی آن ۳۵
- شکل (۳-۳): موقعیت ساختاری زون سبزوار، تکنار و ایران مرکزی و محدوده کانسار مس شریف آباد ۳۶
- شکل (۴-۳): گسل های اصلی موجود در ناحیه بردسکن و محدوده مورد مطالعه، گسل مرتبط با کانه زایی (M.Ft) نیز در محدوده مشخص شده است ۳۷
- شکل (۵-۳): نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ شریف آباد (بردسکن) ۴۰
- شکل (۶-۳): تصاویر میکروسکوپی از سنگ های میزبان کانی سازی ۴۲
- شکل (۷-۳): تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی سنگ میزبان کانی سازی ۴۴
- شکل (۸-۳): تصاویر ماکروسکوپی از ماده معدنی ۴۶
- شکل (۹-۳): تصاویر میکروسکوپی از کانه زایی در منطقه شریف آباد ۴۸
- شکل (۱۰-۳): توالی پاراژنتیکی مراحل کانی سازی در منطقه شریف آباد ۴۹
- شکل (۱-۴): نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ شریف آباد و موقعیت پروفیل های برداشت ژئوفیزیکی با روش دوقطبی - دوقطبی ۵۴
- شکل (۳-۴): دستگاه TXIII ساخت شرکت GDD کانادا ۵۵
- شکل (۴-۴): دستگاه گیرنده GRx8-32 ساخت شرکت GDD کانادا ۵۶
- شکل (۵-۴): نحوه قرارگیری بلوک های مستطیلی مورد استفاده در مدل سازی به کمک نرم افزار ۶۰

- شکل (۴-۶) : نحوه نمایش داده‌های مقاومت‌ویژه (پروفیل DD3) برای حذف یا کاهش قابل ملاحظه نوفه‌های سیستماتیک در نرم افزار RES2DINV ۶۲
- شکل (۴-۷) : حذف نقاط داده‌ای حاوی نوفه (با جابجایی خط سبز رنگ) در نمودار میله‌ای مربوط به توزیع خطای داده‌ای برای پروفیل DD3 در نرم‌افزار RES2DINV ۶۳
- شکل (۴-۸) : شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه حاصل از مدلسازی وارون در طول پروفیل DD1 ۶۶
- شکل (۴-۹) : شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدلسازی وارون در طول پروفیل DD1 ۶۷
- شکل (۴-۱۰) : نتایج حاصل از داده‌های مدل‌سازی وارون ۶۸
- شکل (۴-۱۱) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD1 ۷۰
- شکل (۴-۱۲) : شبه‌مقاطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD2 ۷۲
- شکل (۴-۱۳) : شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD2 ۷۳
- شکل (۴-۱۴) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD2 ۷۴
- شکل (۴-۱۵) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD2 ۷۶
- شکل (۴-۱۶) : شبه‌مقاطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD3 ۷۷
- شکل (۴-۱۷) : شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD3 ۷۸
- شکل (۴-۱۸) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD3 ۷۹
- شکل (۴-۱۹) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD3 ۸۱

شکل (۴-۲۰) : شبه‌مقاطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD100w	۸۳
شکل (۴-۲۱) : شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD100w	۸۴
شکل (۴-۲۲) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD100w	۸۵
شکل (۴-۲۳) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD100W	۸۷
شکل (۴-۲۴) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های IP برای پروفیل DD100w به همراه محل حفاری شیب‌دار پیشنهادی.	۸۸
شکل (۴-۲۵) : شبه‌مقاطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD00	۸۹
شکل (۴-۲۶) : شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD00	۹۰
شکل (۴-۲۷) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD00	۹۱
شکل (۴-۲۸) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD00	۹۳
شکل (۴-۲۹) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3	۹۶
شکل (۴-۳۰) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3	۹۷
شکل (۴-۳۱) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط برای پروفیل‌های DD00 و DD100w	۹۷
شکل (۴-۳۲) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط برای پروفیل‌های DD00 و DD100w	۹۸

- شکل (۴-۳۳) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله وزنی همسانگرد برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 ۹۹
- شکل (۴-۳۴) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله وزنی همسانگرد برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 ۹۹
- شکل (۴-۳۵) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله وزنی همسانگرد برای پروفیل‌های DD00 و DD100w ۱۰۰
- شکل (۴-۳۶) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله وزنی همسانگرد برای پروفیل‌های DD00 و DD100w ۱۰۰
- شکل (۴-۳۷) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله وزنی ناهمسانگرد برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 ۱۰۱
- شکل (۴-۳۸) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله وزنی ناهمسانگرد برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 ۱۰۲
- شکل (۴-۳۹) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله وزنی ناهمسانگرد برای پروفیل‌های DD00 و DD100w ۱۰۲
- شکل (۴-۴۰) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله وزنی ناهمسانگرد برای پروفیل‌های DD00 و DD100w ۱۰۳
- شکل (۴-۴۱) : نمایش سه‌بعدی داده‌های مقاومت‌ویژه (بر حسب اهم‌متر) همراه با توپوگرافی برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 ۱۰۵
- شکل (۴-۴۲) : نمایش سه‌بعدی داده‌های IP (بر حسب میلی‌ولت بر ولت) همراه با توپوگرافی برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 ۱۰۵
- شکل (۴-۴۳) : نمایش سه‌بعدی داده‌های مقاومت‌ویژه (بر حسب اهم‌متر) همراه با توپوگرافی برای پروفیل‌های DD00 و DD100w ۱۰۶
- شکل (۴-۴۴) : نمایش سه‌بعدی داده‌های IP (بر حسب میلی‌ولت بر ولت) همراه با توپوگرافی برای پروفیل‌های DD00 و DD100w ۱۰۶
- شکل (۴-۴۵) : ستون چینه‌شناسی گمانه‌های حفاری شده BH-5 و BH-6 در منطقه شریف‌آباد. ۱۰۹

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) : مقادیر مقاومت ویژه مربوط به برخی از سنگ‌ها، کانی‌ها و مواد معدنی متداول ۱۷
- جدول (۲-۲) : بارپذیری در انواع کانی‌ها ۲۶
- جدول (۱-۳) : مختصات جغرافیایی محدوده معدنی شریف آباد بر اساس نقشه ۱:۵۰۰۰ ۳۲
- جدول (۱-۴) : مشخصات مربوط به آرایه‌های دوقطبی- دوقطبی برداشت شده در محدوده شریف‌آباد.
..... ۶۴
- جدول (۲-۴) : مشخصات نقاط پیشنهادی برای حفاری‌های اکتشافی ۹۵
- جدول (۳-۴) : مختصات گمانه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه ۱۰۷
- جدول (۴-۴) : مقایسه مختصات نقاط حفاری انجام شده و نقاط حفاری پیشنهادی در محدوده مورد
مطالعه ۱۰۸

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

نیاز روز افزون به فلزات پایه نظیر آهن، مس، سرب و روی از یک طرف و کاهش منابع سطحی این عناصر از طرف دیگر موجب شده است تا ذخایر عمیق‌تر این فلزات مورد توجه قرار گیرند. بنابراین برای کشف این کانسارها، روش‌های پیچیده‌تر و پیشرفته‌تر اکتشافی نیاز است که روش‌های ژئوفیزیکی جزء این گروه به شمار می‌روند [نوروزی، ۱۳۸۸]. هر روش ژئوفیزیکی یک خاصیت مهم فیزیکی زمین را مورد مطالعه قرار می‌دهد؛ که در ابعاد وسیع (مرحله اکتشاف منطقه‌ای و ناحیه‌ای) و در ابعاد کوچک (مرحله اکتشاف تفصیلی) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در انتخاب روش اکتشافی سعی می‌شود در هر مرحله، روشی به کار برده شود که اولاً مشخص‌ترین بی‌هنجاری را با توجه به هدف مورد نظر به دست دهد و ثانیاً روشی سریع و مقرون به صرفه باشد [پیروز، ۱۳۹۴]. به طور کلی در میان روش‌های ژئوفیزیکی، روش‌های الکتریکی جزء مهم‌ترین روش‌ها در اکتشاف ذخایر معدنی سولفیدی می‌باشند [نوروزی، ۱۳۹۲].

محدوده اکتشافی مورد مطالعه در این پایان‌نامه در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان بردسکن و در استان خراسان رضوی واقع شده است. این محدوده از نظر زمین‌شناسی در چهار گوش ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی کاشمر و ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن قرار دارد. کانی‌سازی مس به صورت رگه و رگچه‌های چند سانتی‌متری مالاکیت در داخل درزه و شکاف‌های واحد آتشفشانی ائوسن و الیگومیوسن با ترکیب آندزیت تا آندزیت بازالتی، میکروکنگلومرا، برش آتشفشانی، ماسه‌سنگ، آهک و توف ماسه‌ای حضور دارند؛ که در بعضی قسمت‌ها در اثر نفوذ توده آذرین با ترکیب گرانیت تا گرانودیوریت به شدت دگرسان شده‌اند. نفوذ محلول‌های گرمابی حاصل از توده نفوذی و هدایت آن توسط درزه و گسل‌های موجود در منطقه، نقش بسزایی در ایجاد این زون دگرسانی گرمابی و شسته شدن مس از اعماق و ته‌نشست آن به صورت کربنات مس (مالاکیت) و کلرید مس (آتاکامیت) در سطح دارد. به دلیل وجود کربنات مس و کلرید مس در سطح محدوده اکتشافی، انجام عملیات

ژئوفیزیک پلاریزاسیون القایی (IP)^۱ و مقاومت ویژه، که جزء روش‌های الکتریکی ژئوفیزیکی می‌باشند، جهت حضور یا عدم حضور کانی‌های سولفیدی مس مانند کالکوپیریت در اعماق حائز اهمیت است.

۱-۲ مروری بر مطالعات انجام شده

مطالعات پیشین انجام شده به دو بخش الف؛ که شامل اکتشاف فلزات پایه با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و IP و ب؛ که شامل مطالعات انجام شده در منطقه می‌باشد، تقسیم بندی شده است که در این قسمت به سوابقی از هر کدام پرداخته می‌شود.

الف) اکتشاف فلزات پایه با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و IP

مطالعات ژئوفیزیکی زیادی صورت گرفته است؛ به طوری که نقش آن‌ها در اکتشاف این کانسارها غیر قابل انکار است و در اکثر موارد نتایج به دست آمده رضایت بخش بوده است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه الکتریکی و IP به منظور اکتشاف کانسار مس دو چيله در ۸ پروفیل صورت گرفت و در نهایت نتایج تفسیر روش‌های مختلف اکتشافی با یکدیگر ترکیب شد تا نتایج مطمئن تر و قابل اعتمادتری برای انجام مراحل نهایی اکتشاف به دست آید [گرگانی، ۱۳۹۲].

مدل سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و IP به منظور اکتشاف ذخایر پلی متال در منطقه کبودان واقع در شهرستان بردسکن انجام گرفت و در نهایت نتایج مدل سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و IP با نتایج حاصل از حفاری‌ها مقایسه گردید [جمالی، ۱۳۹۳].

مدل سازی و تفسیر داده‌های IP و مقاومت ویژه به منظور اکتشاف ذخایر مس در منطقه هفت کوه کرمان انجام گرفت و چهار پروفیل دوقطبی- دوقطبی در مناطق مستعد وجود بی‌هنجاری برداشت شد. در نهایت، مناطق با پتانسیل بالا با داده‌های حفاری اعتبارسنجی شدند [موسوی، ۱۳۹۳].

¹Induced Polarization

یوچیدا^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در ایالت نیشیاما^۲ ژاپن، به منظور دستیابی به اطلاعات جزئی تر از ساختارهای مقاومت ویژه الکتریکی مخازن زمین گرمایی در سه بعد و انتخاب نقاط بهینه جهت حفاری و ایجاد چاه های تولید، برای اولین بار در منطقه مذکور توانستند با استفاده از مدل سازی وارون داده- های مقاومت ویژه الکتریکی، به تصاویر واضحی از کلاهی های رسی با مقاومت ویژه پایین و مخازن هیدروترمال با مقاومت ویژه بالا دست یافته و مرزهای با تباین مقاومت ویژه الکتریکی را از یکدیگر تفکیک نمایند. همچنین، این تفسیرها با نتایج داده های گانه ها سازگاری بالایی نشان داد.

از جمله مطالعات دیگر ژئوفیزیکی صورت گرفته می توان به اکتشاف کانسار طلا و نقره در منطقه جولیتا^۳ واقع در کمربند Chukotka- Okhotsk در روسیه با استفاده از روش IP در حوزه زمان در سال ۲۰۱۵ توسط گورین^۴ و همکاران [Gurin, 2015] اشاره کرد.

(ب) مطالعات انجام شده در منطقه:

ملک زاده شفارودی و همکاران (۱۳۸۵) به شناسایی و معرفی روش مناسب اکتشافات ژئوفیزیکی برای اکتشاف ذخایر پنهان ماسیوسولفید پلی متال در سازند تکنار، شمال غربی شهرستان بردسکن پرداختند. در این منطقه ۴ زون کانی سازی شناسایی شد. با توجه به اختلاف شدید بین مقدار مگنتیت در کانسار و سنگ همراه، روش مغناطیس سنجی را برای ردیابی کانسار ماسیوسولفید پلی- متال تکنار پیشنهاد دادند.

مطالعات زمین شناسی و ژئوشیمی اکتشافی در منطقه دهن قلعه (شمال غربی شهرستان بردسکن) انجام گرفت و دو سیستم کانی سازی در منطقه شناسایی شد. بدین ترتیب نیمه شرقی به ویژه شمال- شرق محدوده اکتشافی جهت مراحل بعدی اکتشاف مد نظر قرار گرفت [روحبخش ایرادی، ۱۳۸۹].

¹Uchida

²Nishayama

³Julietta

⁴Gurin

۳-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان نامه

در پی جویی ذخایر معدنی از روش‌ها و تئوری‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی متعددی استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت ذخایر مس و نیاز روز افزون به این ماده معدنی روش‌های الکتریکی یکی از راه‌کارهای ارزان و مناسب جهت اکتشاف این کانسارها می‌باشند. هدف از انجام این پایان‌نامه، شناسایی کانی‌سازی سولفیدی مس در اعماق می‌باشد که به علت وجود کانی‌سازی کربناتی و کلریدی و سولفیدی مس در سطح، می‌توان با استفاده از تلفیق عملیات ژئوفیزیک به روش مقاومت ویژه و IP، به حضور یا عدم حضور کانی‌سازی سولفیدی مس مانند کالکوپیریت در اعماق پی برد. به دلیل اینکه شواهد عینی و نتایج برداشت‌های زمین‌شناسی در منطقه، حاکی از وجود ماده معدنی مس به صورت رگه و رگچه می‌باشد، لذا بهترین روش مطالعه ژئوفیزیکی، تلفیق دو روش مقاومت ویژه و IP می‌باشد. مطالعات اولیه زمین‌شناسی و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها به تنهایی نمی‌توانند برای اکتشاف نهایی مد نظر قرار گیرند، لذا با انجام مطالعات تکمیلی ژئوفیزیکی سعی خواهد شد تا ریسک اکتشاف کاهش یابد. همچنین از آنجا که حفاری‌های اکتشافی جزء گران‌ترین مراحل اکتشافی می‌باشند. بنابراین با تلفیق مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی سعی خواهد شد بهترین نقاط جهت عملیات حفاری تعیین گردد که این مهم توسط پردازش و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی برداشت شده و تطبیق آن با مطالعات زمین‌شناسی حاصل می‌گردد. از ضرورت‌های انجام این تحقیق، می‌توان به کاهش ریسک اکتشاف و کاهش هزینه‌های مالی طرح اشاره نمود.

۴-۱ روش تحقیق

مراحل انجام تحقیق به ترتیب زیر می‌باشد:

- ۱- جهت به دست آوردن نتایج قابل قبول از عمق بی‌هنجاری، دو شبکه با آرایش مستطیلی و مجموعاً پنج پروفیل با آرایش دوقطبی- دوقطبی با فاصله‌ی الکترودی ۲۰ متر توسط شرکت زمین‌شناسی

مهندسی و علوم زمین امید برداشت شده است؛ که از داده‌های خام حاصل از این برداشت‌های ژئوفیزیکی در این پایان‌نامه استفاده شده است.

۲- مطالعات زمین‌شناسی منطقه با استفاده از مقاطع نازک، نازک- صیقلی و XRD جهت تعیین سنگ میزبان کانی‌سازی و دگرسانی‌های مرتبط با آن، کانی‌شناسی و پاراژنز ماده معدنی و همچنین استفاده از آنالیز ICP- MS جهت تعیین عیار ماده معدنی صورت می‌گیرد. این اطلاعات می‌تواند در تعیین ژنز اولیه کانسار، همچنین در تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی کمک نماید.

۳- داده‌های خام صحرایی حاصل از برداشت ژئوفیزیکی به روش مقاومت‌ویژه و IP مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مدل زمین‌شناسی ترسیم می‌گردد. پس از آن بر روی داده‌های برداشتی با دو نرم افزار RES2DINV و ZONDRES2D مدل‌سازی وارون^۱ دو بعدی هموار صورت گرفته و نتایج آن به عنوان خروجی مطالعه ژئوفیزیکی در نظر گرفته می‌شود.

۴- تعبیر و تفسیر نتایج ژئوفیزیکی با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی و ارائه نمایش سه بعدی مدل‌های ژئوفیزیکی.

۵- تعیین نقاط حفاری.

۱-۵ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه حاضر شامل پنج فصل می‌باشد که فصل جاری به بیان مقدمه، مروری بر کارهای انجام شده، ضرورت و روش تحقیق می‌پردازد. در فصل دوم، به کلیاتی در مورد روش مقاومت‌ویژه و IP، کاربردها و معایب و مزایای آن پرداخته خواهد شد. فصل سوم به زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و تعیین مدل کانی‌سازی اختصاص خواهد یافت. در فصل چهارم به ارائه نظریاتی در مورد روش‌های مدل‌سازی عددی پیشرو^۲ و وارون، همچنین تفسیر و ارائه مقاطع مدل‌سازی وارون داده‌های صحرایی

¹ Inverse modeling

² Forward modeling

و نتایج حاصله پرداخته می‌شود و فصل پنجم به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص یافته و پیشنهاداتی جهت مطالعات بعدی ارائه خواهد شد.

فصل دوم

معرفی روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و **IP**

۱-۲ مقدمه

جهت اکتشاف ذخایر معدنی، روش‌های ژئوفیزیکی متفاوتی وجود دارد که بسته به نوع کانسار و کانی‌سازی، می‌توان از یک یا چند روش به‌طور هم‌زمان استفاده کرد. هر روش ژئوفیزیکی یک خاصیت مهم فیزیکی زمین را مورد مطالعه قرار می‌دهد که در ابعاد وسیع (مرحله اکتشاف منطقه‌ای و ناحیه‌ای) و در ابعاد کوچک (مرحله اکتشاف محلی) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در انتخاب روش اکتشافی سعی می‌گردد تا بی‌هنجاری موجود با روشی سریع و مقرون به‌صرفه، همچنین با کیفیت و دقت مناسب به‌دست آید [پیروز، ۱۳۹۴]. از روش‌های ژئوفیزیکی که برای اکتشاف کانسارها استفاده می‌شود می‌توان به روش‌های مغناطیس‌سنجی^۱، روش‌های الکتریکی^۲، الکترومغناطیسی^۳، ثقل‌سنجی^۴ و لرزه نگاری^۵ و ... اشاره نمود.

امروزه به‌کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف مواد معدنی و انتخاب محل‌های مناسب برای اکتشاف امری متداول به شمار می‌رود [کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۷]. روش‌های ژئوالکتریکی یکی از مهم‌ترین زیر مجموعه روش‌های ژئوفیزیک اکتشافی هستند که بر مبنای مطالعه میدان‌های الکتریکی زمین یا ویژگی‌های الکتریکی ساختارهای زمین‌شناسی و معدنی استوارند [Mikhail, 1994]. ایده اکتشاف مواد معدنی با کمک اندازه‌گیری‌های الکتریکی در حدود سال ۱۸۰۰ ارائه شد. برخی از روش‌های الکتریکی که با تزریق جریان برق به زمین انجام می‌شوند؛ برای اکتشاف مواد معدنی و همچنین آب‌های زیرزمینی کاربرد گسترده‌ای دارد [Telford et al., 1991]. روش‌های الکتریکی اغلب برای پی‌جویی کانی‌ها به‌کار می‌روند و بیشتر این روش‌ها برای اکتشاف در اعماق کم مفید می‌باشند [کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۷]. به‌طور عمده شناسایی سولفیدهای فلزی به‌وسیله روش‌های الکتریکی انجام می‌گیرد. سولفیدهای پراکنده معمولاً به کمک IP مورد اکتشاف قرار می‌گیرند

¹Magnetic methods

²Electrical methods

³Electromagnetic methods

⁴Gravity methods

⁵Seismic methods

[کلاگری، ۱۳۷۱؛ حاجب حسینی و زمردیان، ۱۳۷۵]. همچنین روش مقاومت ویژه به دلیل تغییرات وسیع مقاومت ویژه سنگ ها و کانی ها، به طور مؤثری برای اکتشاف منابع آب های زیرزمینی، بررسی آلودگی های زیست محیطی، اکتشاف کانسارهای معدنی، بررسی مسائل مهندسی برای تعیین محل حفره های زیرسطحی، گسل ها، درز و شکاف ها و کاربردهای متنوع دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجا که شواهد عینی و نتایج برداشت های زمین شناسی در منطقه، حاکی از حضور ماده معدنی مس به صورت رگه و رگچه می باشد؛ لذا بهترین روش مطالعه ژئوفیزیکی، تلفیق دو روش مقاومت ویژه و IP می باشد. در این فصل، کلیاتی از روش مقاومت ویژه و IP، کاربردها و معایب و مزایای آن ها ارائه خواهد شد.

۲-۲ روش مقاومت ویژه

روش های ژئوفیزیکی با تکیه بر تغییرات خصوصیات فیزیکی کانی های سنگ یا سنگ هایی که هدف را احاطه کرده اند، موقعیت کانسار را به طور مستقیم یا غیر مستقیم مشخص می کنند. در این روش ها زمین را در معرض یک محرک فیزیکی مانند میدان الکتریکی یا مغناطیسی قرار می دهند و یک پاسخ فیزیکی که ممکن است یک خاصیت مستقیم یا یک پاسخ القایی سنگ باشد، به دست می آید [Selley et al., 2005].

روش های مقاومت ویژه در اوایل دهه ۱۹۰۰ ابداع شدند، اما از دهه ۱۹۷۰ و خصوصاً به دلیل دسترسی به کامپیوتر برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده ها، کاربرد گسترده ای پیدا کردند [Reynolds, 1997]. روش مقاومت ویژه به مطالعه لایه بندی زیر سطحی بر اساس مقاومت ویژه الکتریکی اندازه گیری شده در سطح زمین می پردازد [Zonge Engineering, 1994]. مقاومت ویژه زمین به عوامل مختلفی همچون کانی ها، آب محتوی^۱، تخلخل^۲ و درجه اشباع آب^۳ در سنگ بستگی دارد. برداشت های

^۱Water content

^۲Porosity

^۳Water saturation

مقاومت‌ویژه برای چند دهه به‌منظور شناسایی و اکتشاف آب‌های زیرزمینی، اکتشاف مواد معدنی و بررسی‌های ژئوتکنیکی به‌کار می‌رفته‌اند که اخیراً به‌منظور مطالعات زیست‌محیطی نیز از آن استفاده می‌شود [Loke, 2004].

در روش مقاومت‌ویژه الکتریکی، از یک چشمه الکتریکی مصنوعی برای اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه الکتریکی زمین استفاده می‌شود. برای این کار معمولاً از چهار الکترود استفاده می‌شود؛ که دو الکترود جهت فرستادن جریان الکتریکی و دو الکترود دیگر، جهت اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی استفاده می‌شود. در صورت غیرهمگن^۱ و غیرهمسان‌گرد^۲ بودن زمین، داده‌های حاصل از این روش نشان دهنده مقادیر مقاومت‌ویژه‌های واقعی زمین نیستند؛ بلکه این مقادیر مقاومت‌ویژه‌های ظاهری زیر سطح زمین را نشان می‌دهند [Loke, 2004].

بررسی مقاومت‌ویژه الکتریکی به روش‌های پروفیل‌زنی و سونداژ زنی انجام می‌شود. در روش پروفیل‌زنی فاصله بین الکترودها معمولاً ثابت است و چندین اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه ظاهری با حرکت این آرایش الکترودی ثابت از جایی به جای دیگر در امتداد یک پروفیل انجام می‌شود.

روش سونداژ زنی فرآیندی است که با آن تغییرات عمقی مقاومت‌ویژه الکتریکی لایه‌های زیرسطحی مورد مطالعه قرار می‌گیرند [کلاگری، ۱۳۷۱].

کانی‌های فلزی رساناهای خوبی برای جریان الکتریکی هستند و مقاومت‌ویژه کمی دارند؛ هر چند اغلب کانی‌ها عایق هستند. برای تفسیر اطلاعات و داده‌های برداشت شده از مقاومت‌ویژه الکتریکی لازم است از اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی و دگرسانی کمک گرفت.

کانی‌های سولفیدی فلزی (پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و ...) دارای مقاومت‌ویژه بسیار پایین‌تری (معمولاً کمتر از یک‌اوم) نسبت به سنگ‌های معمولی هستند. این خاصیت کانی‌های

¹Inhomogeneous

²Anisotropy

سولفیدی و فلزی استفاده از روش مقاومت‌ویژه را برای اکتشاف این ذخایر مناسب می‌کند. ولی تفسیر اطلاعات حاصل از این روش بسیار پیچیده است، لذا باید با اطلاعات دیگر ژئوفیزیکی (EM و IP) و زمین‌شناسی برای اکتشاف همراه باشد.

مقاومت‌ویژه الکتریکی، اطلاعاتی از شکل و ویژگی‌های الکتریکی ناهمگنی‌های زیر سطح زمین را نشان می‌دهد. در مورد رسانایی مواد با مقاومت الکتریکی R ، طول L ، و سطح مقطع A برای یک سیم استوانه‌ای، رابطه (۱-۲) برقرار است:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1-2)$$

بر اساس قانون اهم معادله اخیر به شکل زیر در می‌آید:

$$\rho = \frac{\Delta V \cdot A}{I \cdot L} \quad (2-2)$$

در این رابطه، ρ مقاومت‌ویژه الکتریکی، I شدت جریان الکتریکی، ΔV اختلاف پتانسیل الکتریکی و L طول استوانه فرضی می‌باشد. این رابطه برای تعیین مقاومت‌ویژه یک محیط همگن^۱ و همسان‌گرد^۲ مناسب می‌باشد، اما برای یک محیط ناهمگن و ناهمسان‌گرد باید مقاومت‌ویژه را در هر نقطه تعیین نمود [Ozebo et al., 2008].

۱-۲-۲ مفهوم مقاومت‌ویژه ظاهری^۳

اگر اندازه‌گیری‌ها در محیط همسان‌گرد و همگن انجام شود، مقاومت‌ویژه الکتروودی به دست آمده مقاومت‌ویژه واقعی نامیده می‌شود. اما در عمل، این وضعیت رخ نمی‌دهد و برداشت‌های زمینی واقعی در محیط‌های ناهمگن صورت می‌گیرد و توزیع مقاومت ویژه در این حالت در زیر سطح زمین در سه بعد می‌باشد. مقاومت‌ویژه محاسبه شده در این حالت، مقاومت‌ویژه ظاهری نامیده می‌شود و با ρ_a

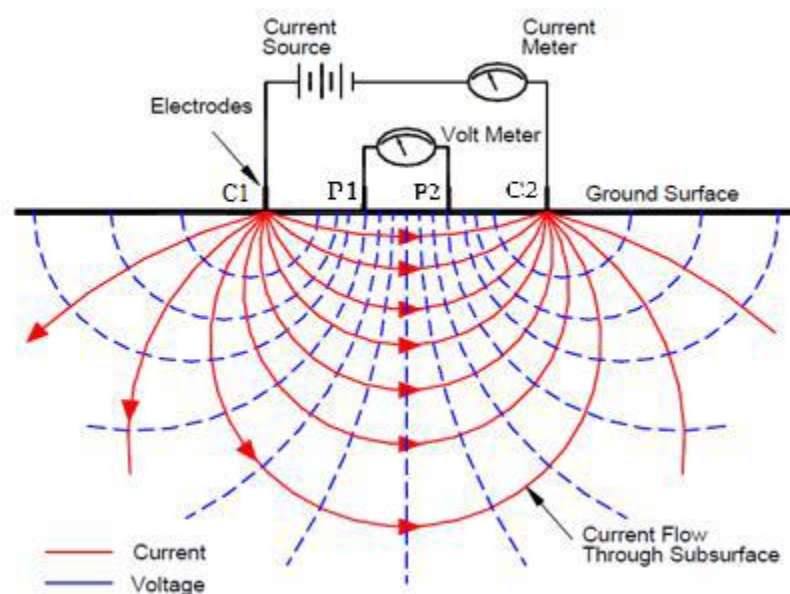
^۱Homogeneous

^۲Isotrop

^۳Apparent resistivity

نشان داده می‌شود [Reynolds, 1997]. ρ_a به ساختار زمین‌شناسی زیرسطحی منطقه، فواصل بین الکترودها و هندسه الکترودهای نصب شده در زمین بستگی دارد [Telford et al., 1990].

در شکل (۱-۲) نمونه‌ای از یک آرایش چهار الکترودی نشان داده شده‌است. در این شکل، الکترودهای C1 و C2 الکترودهای جریان، و الکترودهای P1 و P2 نشان‌دهنده الکترودهای پتانسیل می‌باشند.



شکل (۱-۲): نحوه توزیع خطوط جریان و پتانسیل در یک آرایش چهار الکترودی [After Corvallis, 2000].

اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده بین دو الکترود پتانسیل P1 و P2 در این آرایش چهار الکترودی طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi r} \left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}} - \frac{1}{r_{C1P2}} + \frac{1}{r_{C2P2}} \right) \quad (3-2)$$

که در آن ΔV ، اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین دو الکترود پتانسیل، r_{C1P1} فاصله بین الکترود جریان C1 و الکترود پتانسیل P1، r_{C2P1} فاصله بین الکترود جریان C2 و الکترود پتانسیل P1، r_{C1P2} فاصله بین الکترود جریان C1 و الکترود پتانسیل P2 و r_{C2P2} فاصله بین الکترود جریان C2 و الکترود پتانسیل P2 می‌باشند.

بعد از اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل، می‌توان مقدار مقدار مقاومت‌ویژه ظاهری زمین را با استفاده از رابطه (۴-۲) محاسبه نمود [Loke, 2004].

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (4-2)$$

که در این رابطه K ، ضریب هندسی برای آرایش الکتروودی مورد استفاده نامیده می‌شود و با واحد متر (m) سنجیده می‌شود. ضریب هندسی^۱، به نحوه قرارگیری الکتروودها در هر آرایش بستگی دارد. و از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$K = \left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}} - \frac{1}{r_{C1P2}} + \frac{1}{r_{C2P2}} \right) \quad (5-2)$$

دستگاه‌های اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه معمولاً مقدار مقاومت زمین ($R = \frac{\Delta V}{I}$) را اندازه‌گیری می‌کنند. بنابراین در عمل، برای تبدیل مقدار مقاومت‌ویژه اندازه‌گیری شده توسط دستگاه به مقدار مقاومت‌ویژه ظاهری از رابطه (۶-۲) استفاده می‌شود [Loke, 2004; Reynolds, 1997].

$$\rho_a = KR \quad (6-2)$$

۲-۲-۲ تقسیم‌بندی مواد مختلف از لحاظ مقاومت‌ویژه

در یک برداشت، عوامل زیادی بر مقدار مقاومت‌ویژه اندازه‌گیری شده تأثیر دارند. به‌طور کلی تغییرات در چهار عامل زیر در سنگ‌های آبدار، باعث تغییر مقاومت‌ویژه می‌شود [Mooney, 1980]:

۱- حجمی از سنگ که با آب پر شده‌است.

۲- عامل شوری یا یون‌های آزاد موجود در آب درون حفره‌ای.

۳- ارتباط بین فضاهاى خالی (نفوذپذیری).

۴- درجه حرارت یا دما.

¹Geometrical factor

برای برقراری تناظر بین مقادیر مقاومت‌ویژه و ساختارهای زمین‌شناسی، باید از مقادیر مقاومت‌ویژه مربوط به انواع مواد مختلف زیر سطح زمین و زمین‌شناسی منطقه آگاهی پیدا کرد. دامنه تغییرات مقاومت‌ویژه مواد بسیار گسترده است و از $1.6 \times 10^{-8} \Omega m$ برای نقره خالص تا $10^{16} \Omega m$ برای گوگرد خالص در شرایط آزمایشگاهی متغیر است. سنگ‌های آذرین بالاترین مقاومت‌ویژه را دارند. هدایت‌ویژه الکتریکی سنگ‌های رسوبی با توجه به محتوای بالای سیالات درون حفره‌ای آن‌ها از همه بیشتر است. سن زمین‌شناسی سنگ‌ها نیز بر مقاومت‌ویژه آن‌ها تأثیر می‌گذارد؛ سنگ‌های قدیمی‌تر، بیشتر در معرض پرتشدگی‌های ثانویه قرار دارند و در نتیجه تخلخل و نفوذپذیری آن‌ها کاهش می‌یابد در نتیجه اکثراً مقاومت‌ویژه الکتریکی افزایش می‌یابد.

در یک طبقه بندی کلی می‌توان مواد را از نظر مقاومت ویژه به سه دسته‌ی مقاومت‌ویژه پایین (کمتر از ۱۰۰ اهم‌متر)، مقاومت‌ویژه متوسط (بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ اهم‌متر) و مقاومت‌ویژه بالا (بیشتر از ۱۰۰۰ اهم‌متر) تقسیم بندی کرد [Mooney, 1980].

تفاوت مقاومت‌ویژه بین کانی‌های فلزی و سنگ میزبان آن‌ها معمولاً زیاد است؛ زیرا تغییرات مقاومت‌ویژه سنگ‌ها و کانی‌های مختلف بسیار گسترده است [Lowrie, 2007]. به‌منظور شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی مختلف، آگاهی از مقادیر مقاومت‌ویژه مربوط به انواع مواد مختلف زیر سطحی و همچنین زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، الزامی است [Reynolds, 1997].

در جدول (۱-۲) مقادیر مقاومت‌ویژه مربوط به برخی از سنگ‌ها، کانی‌ها و مواد معدنی متداول ارائه شده است [Loke, 1999].

جدول (۱-۲) : مقادیر مقاومت ویژه مربوط به برخی از سنگ‌ها، کانی‌ها و مواد معدنی متداول [Loke, 1999].

ماده مورد نظر	مقاومت ویژه (Ωm)	ماده مورد نظر	مقاومت ویژه (Ωm)
گرانیت	$5 \times 10^3 - 10^6$	ماسه سنگ	$8 - 4 \times 10^3$
بازالت	$10^3 - 10^6$	شیل	$20 - 2 \times 10^3$
اسلیت	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	سنگ آهک	$50 - 4 \times 10^2$
کوارتزیت	$10^2 - 2 \times 10^8$	گابرو	$10^3 - 5 \times 10^5$
رس	1-100	ماسه سست	$500 - 5 \times 10^3$
آب زیرزمینی	10-100	آب دریا	0.2
آهن	9.074×10^{-8}	پیریت	$10^2 - 10^{-2}$
کالکوپیریت	$0.1 - 5 \times 10^{-3}$	مگنتیت	$10^{-2} - 10^3$
کلرید پتاسیم 0.01M	0.708	کلرید سدیم 0.01M	0.843
اسید استیک 0.01M	6.13	اکسیدین	6.998×10^{16}
پیروتیت	$10^{-3} - 10^{-2}$	گالن	$10^{-3} - 10^2$
اسفالریت	$10^3 - 10^6$	هماتیت	$10^{-2} - 10^6$

در حالت کلی، فرایندهای زمین شناسی مانند انحلال، گسلش، برش و هوازدگی معمولاً باعث افزایش تخلخل و نفوذپذیری سیالات شده و در نتیجه باعث کاهش مقاومت ویژه می گردند. رسوبات کربنات کلسیم و سیلیس باعث کاهش تخلخل و همچنین کاهش نفوذپذیری سیالات می شوند و در نتیجه باعث افزایش مقاومت ویژه می گردند. نفوذ آب های شور، باعث حضور یون های برای هدایت جریان و در نتیجه کاهش مقاومت ویژه می شود. سخت شدگی در اثر تراکم و یا دگرگونی، باعث کاهش تخلخل و نفوذپذیری و در نتیجه افزایش مقاومت ویژه می شود [Ward, 1990].

۳-۲-۲ روش‌های اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه

داده‌های مقاومت‌ویژه در حالت کلی، با اهداف مدل‌سازی به صورت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی برداشت می‌شوند [Loke, 1999]. این برداشت‌ها عمدتاً به دو روش گمانه‌زنی یا سونداژ الکتریکی^۱ و ترانشه‌زنی یا پروفیل زنی^۲ صورت می‌گیرد.

در روش سونداژزنی، تغییرات عمقی و یا قائم مقاومت‌ویژه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روش موقعیت مرکز آرایش ثابت می‌ماند و در هر مرحله بسته به نوع آرایش، الکترودها نسبت به مرکز آرایش جا به جا شده و در فاصله مشخص دورتری قرار می‌گیرند تا جریان به اعماق پایین‌تر نفوذ کند و از لایه‌های عمیق‌تر بتوان اطلاعات لازم را به دست آورد. با پردازش و تفسیر این داده‌ها می‌توان ضخامت و مقاومت‌ویژه لایه‌های زیر سطحی در آن نقطه (محل سونداژ یا مرکز آرایش الکترودی مورد استفاده) را تعیین کرد [Loke, 2004].

در روش پروفیل‌زنی مقاومت‌ویژه تغییرات جانبی مقاومت‌ویژه زیر سطحی در طول یک خط پروفیل بررسی می‌شوند. در این روش با جا به جایی الکترودها در هر مرحله، تغییرات جانبی لایه‌ها را در یک عمق معین بررسی می‌کنند. با بررسی تغییرات جانبی مقاومت‌ویژه حاصل از پروفیل‌زنی، می‌توان بی‌هنجاری‌های زیرزمینی و محدوده یا وسعت آن‌ها در زیر سطح زمین را مشخص نمود. از کاربردهای مهم این روش می‌توان اکتشاف گسل‌ها و دایک‌ها، حفرات، رودخانه‌های مدفون و دیگر ساختارهای قائم یا با شیب زیاد را نام برد [Loke, 2004].

۴-۲-۲ کاربردهای روش مقاومت‌ویژه

از مهم‌ترین کاربردهای روش مقاومت‌ویژه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [Knödel et al., 2007].

- آشکار سازی و شناسایی شکستگی‌ها و گسل‌ها.

¹Electrical sounding

²Profiling

- آشکارسازی حفره‌های زیر سطحی.
- به نقشه در آوردن خصوصیات مسیر جریان آب‌های زیرزمینی.
- به نقشه در آوردن آلودگی‌های زیر سطحی.
- تجسس سنگ‌شناسی ساختارهای زیرسطحی.
- تعیین عمق و ضخامت مواد زائد و باطله‌های مدفون^۱.
- تعیین ضخامت روباره هوازده.
- تخمین عمق، ضخامت و خصوصیات سفره آب زیرزمینی.

۲-۵ مزایای روش مقاومت‌ویژه الکتریکی

از مزایای روش مقاومت‌ویژه در مقایسه با سایر روش‌های ژئوفیزیکی و یا روش‌های اکتشافی مستقیم مانند حفاری، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [Mooney, 1980; Donald, 1990; Tezel, 2002]:

- ۱- تئوری ساده و روانی دارد.
- ۲- روشی نسبتاً سریع و آسان برای برداشت داده‌ها می‌باشد.
- ۳- در اکتشاف لایه‌های کم عمق یا ناپیوستگی‌های قائم که دارای تباین مقاومت‌ویژه قابل توجه با محیط اطراف هستند، عملکرد خوبی دارد.
- ۴- در مقایسه با روش‌هایی همچون الکترومگناطیس، کم‌تر به نوفه حساس است.
- ۵- تفسیر کمی داده‌ها را می‌توان هم از طریق مدل‌سازی کامپیوتری و هم با استفاده از منحنی‌های استاندارد انجام داد. علاوه بر این تفسیر کیفی داده‌ها به صورت مستقیم صورت می‌گیرد.
- ۶- انعطاف پذیری بالایی دارد. عملیات صحرایی این روش هم در مرحله پی‌جویی هم در مرحله اکتشاف صورت می‌گیرد.

¹Landfill

۶-۲-۲ محدودیت‌ها و معایب روش مقاومت‌ویژه الکتریکی

این روش ژئوفیزیکی مانند سایر روش‌های اکتشافی ژئوفیزیکی دارای معایبی می‌باشد، از مهم‌ترین محدودیت‌ها و معایب این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [Mooney, 1980 ; Kearey et al., 2009]:

- ۱- مدل‌های ژئوالکتریکی ممکن است معرف واقعیت زمین‌شناسی نباشند.
- ۲- دقت تخمین عمق نسبت به روش‌های لرزه‌ای و اکتشافی مستقیم کم‌تر است.
- ۳- این روش نیز همانند سایر روش‌های اکتشافی ژئوفیزیکی ابهام در تفسیر وجود دارد و ممکن است مدل‌های متفاوتی در نتیجه تفسیر ارائه شود. بنابراین اطلاعات جانبی مانند اطلاعات زمین‌شناسی برای تفسیر نتایج ضروری می‌باشد.
- ۴- در ساختارهای پیچیده، تفسیر دشوار و حتی غیرممکن می‌گردد و تفسیر به ساختارهای ساده محدود می‌شود.
- ۵- اثر تغییرات مقاومت‌ویژه نزدیک به سطح و توپوگرافی می‌تواند باعث حذف و پوشیده شدن اثر تغییرات عمقی مقاومت‌ویژه شود.
- ۶- عمق نفوذ این روش به علت محدودیت در تزریق جریان الکتریکی و گسترش کابل‌های طویل بر روی زمین، محدود می‌باشد. علاوه بر این روبراه‌های رسانا مانند رس‌ها و مارن‌ها نیز عمق نفوذ را کاهش می‌دهند. حداکثر عمق عملی در برداشت‌ها معمولاً از یک کیلومتر تجاوز نمی‌کند.
- ۷- اثرات مزاحم در مناطق مسکونی مانند کابل‌های زیر زمینی، خطوط فشار قوی، فنس‌های کوبیده شده به زمین، جریان‌های حفاظت از خوردگی الکتریکی لوله‌ها یا نشت‌های حاصل از تأسیسات صنعتی ماشین‌ها و قطارها و خصوصاً لوله‌های فلزی زیر زمینی می‌تواند داده‌های اندازه‌گیری شده را با نوفه همراه سازد.

۳-۲ روش پلاریزاسیون القایی (IP)

پدیده IP اولین بار توسط کنراد شلومبرژه در اوایل سال ۱۹۱۲ میلادی ثبت شد و استفاده از آن از اواخر دهه ۱۹۴۰ میلادی صورت گرفت [Knödel et al., 2007]. روش پلاریزاسیون القایی به طور گسترده جهت اکتشاف توده های کانسنگی به خصوص سولفیدهای پراکنده مورد استفاده قرار می گیرد. این روش به صورت محدود برای اکتشاف آب های زیرزمینی نیز کاربرد دارد. در بررسی های زیست محیطی و آشکارسازی زباله ها و آلودگی های ناشی از معادن سولفیدی این روش جایگاه ویژه ای دارد. عمق نفوذ این روش به صورت تقریبی از ۵۰ متر تا ۲۰۰ متر متغیر است [کلاگری، ۱۳۷۱]

IP در حقیقت تابعی از ولتاژ مواد مختلف زیر سطح زمین می باشد؛ که بعد از قطع ولتاژ تزریقی، به طور مرتب کاهش می یابد [Sumner, 1976]. ولتاژ در دو سر الکترودهای پتانسیل یکبار صفر نمی شود، بلکه پس از یک کاهش بزرگ از حالت پایدار خود، به آهستگی کاهش می یابد. مدت زمان کاهش ولتاژ می تواند از چند ثانیه تا چند دقیقه متغیر باشد. اگر جریان دوباره برقرار شود، اختلاف پتانسیل بعد از یک افزایش اولیه ناگهانی، با گذشت یک بازه زمانی یکسان به حداکثر مقدار خود می رسد.

دلیل توسعه روش IP پاسخ خوب این روش برای کانی های رسانی فلزی پراکنده در اکتشاف فلزات پایه می باشد [Lowrie, 2007]. این روش یک واکنش به زمین القا می کند؛ که این واکنش به توزیع و طبیعت نوع دانه بندی کانی بستگی دارد و در حالتی که کانی به صورت پراکنده باشد، نسبت به حالت توده ای آن مؤثرتر می باشد. وسایل اندازه گیری مورد استفاده در این روش بسیار شبیه به وسایل مورد استفاده در روش مقاومت ویژه الکتریکی البته با دقت بیشتر می باشد [Reynolds, 1997].

۲-۳-۱ اصول و منشا اثر IP

مطالعات انجام شده بر روی پدیده IP نشان می‌دهد که در زمان شارش جریان، مقداری انرژی درون جسم ذخیره می‌شود؛ این انرژی پس از قطع جریان تخلیه می‌گردد. ذخیره این انرژی در یک جسم، می‌تواند به صورت مکانیکی، الکتریکی و از همه مهم‌تر به صورت شیمیایی انجام پذیرد [Sumner, 1976]. 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 [Milsom, 2007]. زمانی که جریان الکتریکی به داخل زمین فرستاده می‌شود، تعادل طبیعی بین بارهای الکتریکی به هم می‌خورد و بارهای مثبت و منفی از هم جدا می‌شوند. مناطقی که مقاومت الکتریکی پایین‌تری دارند، معمولاً راحت‌ترین قابلیت شارژ مجدد را دارند. از این خاصیت برای اکتشاف مواد معدنی مانند فلزات پایه استفاده می‌شود [کریم پور و همکاران، ۱۳۳۰]. اثر IP به علت دو مکانیسم اثر قطبش غشایی^۱ و اثر قطبش الکترودی^۲ به وجود می‌آید [Loke, 2012]. اثر قطبش غشایی به طور عمده به علت وجود کانی رس در سنگ و رسوبات می‌باشد و بیشتر در برداشت‌های مهندسی و زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد [Loke, 2012]. اثر قطبش الکترودی در مواردی رخ می‌دهد که کانی‌های فلزی در سنگ وجود داشته باشد. هنگامی که ذرات فلزی در منطقه مورد مطالعه به صورت 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 [Telford et al., 1990].

¹Membrane polarization

²Electrod polarization

۲-۳-۲ انواع روش‌های IP

اساس روش IP بر میدان‌های الکتریکی ثانویه‌ای که توسط جریان الکتریکی در زمین تولید می‌شود استوار است. اندازه‌گیری‌های این روش در چهار حوزه زمان (TDIP)^۱، فرکانس (FDIP)^۲، فاز^۳ و قطبش القایی طیفی^۴ (SIP) صورت می‌گیرد. در اندازه‌گیری‌های حوزه زمان ولتاژ کاهشی (ولتاژ پس از قطع جریان) به عنوان تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌شود. کمیت بارپذیری در این حوزه معمولاً بر حسب میلی ثانیه بیان می‌شود. در اندازه‌گیری‌های حوزه فرکانس، مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) در دو یا چند فرکانس متفاوت (که معمولاً زیر ۱۰ هرتز می‌باشند) اندازه‌گیری می‌شوند. در اندازه‌گیری‌های حوزه فاز، اختلاف فاز بین جریان تزریقی و 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، اختلاف فاز بین قسمت‌های حقیقی و موهومی ولتاژ، و دامنه آن در محدوده فرکانس ۰/۰۰۱ تا ۴۰۰۰ هرتز اندازه‌گیری می‌شود [Telford et al., 1990; Khesin and alexeyer, 1997].

در مطالعه حاضر از روش IP در حوزه زمان که ولتاژ اضافی را به صورت تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌کند، به منظور اکتشاف مس استفاده شده است. در ادامه به توضیح بیشتر پیرامون این روش پرداخته می‌شود.

۲-۳-۲-الف) اندازه‌گیری IP در حوزه زمان

روش‌های اندازه‌گیری IP در حوزه زمان به سه شکل زیر می‌باشد:

(۱) درصد IP

^۱Time Domain Induced Polarization

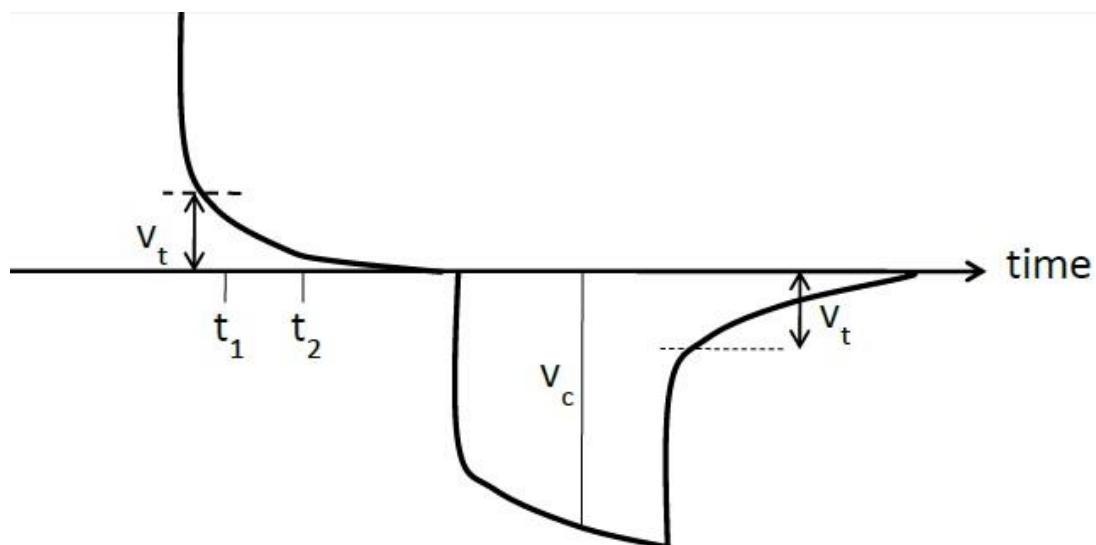
^۲Frequency Domain Induced Polarization

^۳Phase Domain Induced Polarization

^۴Spectral Induced Polarization

برداشت داده‌های IP در حوزه زمان سریع است و در صورت مطلوب بودن شرایط محل برداشت، نتایج مفیدی ارائه می‌دهد [Dahlin, 2011]. این روش افت ولتاژ القا شده با جریان پالسی پس از قطع جریان را اندازه‌گیری می‌کند و از مشخصات منحنی افت که باریزیری نامیده می‌شود، برای مطالعه IP زمین استفاده می‌کنند [Gazoty et al., 2012].

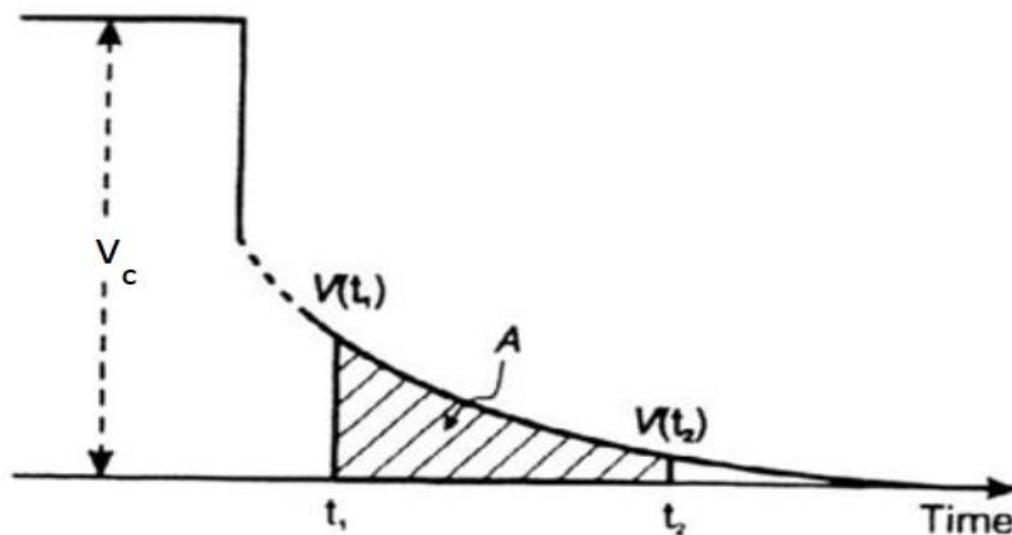
رویدادها پس از قطع جریان بسیار زود گذرند و از طرف دیگر پتانسیل باقی‌مانده V_t ، قبل از این که به حد پارازیت اغتشاش برسد، باید اندازه‌گیری شود؛ به همین دلیل اندازه‌گیری پتانسیل در لحظه قطع جریان امکان‌پذیر نیست. از آنجا که V_t خیلی کوچک‌تر از V_c (ولتاژ موجود در طول زمان شارش جریان) است، نسبت V_t/V_c بر حسب میلی‌ولت بر ولت، یا به صورت $(V_t/V_c) \times 100$ در نظر گرفته می‌شود که هر دو مقدار بر حسب میلی‌ولت هستند. زمان t (زمان پس از قطع جریان) نیز می‌تواند بین ۱ تا ۱۰ ثانیه تغییر کند. (شکل ۲-۲)



شکل (۲-۲) : مقایسه V_t با V_c در اندازه‌گیری اثر IP حوزه زمان [Telford et al., 1990].

۲) انتگرال زمان واپاشی^۱

دستگاه‌های اندازه‌گیری IP معمولاً پتانسیلی را که در طول زمان معینی از واپاشی گذرا انتگرال‌گیری شده است، اندازه‌گیری می‌کند. شکل (۳-۲)



شکل (۳-۲) : روش‌های تعیین انتگرال زمان واپاشی در اندازه‌گیری‌های IP در حوزه زمان [Telford et al., 1990].

۳) محاسبه مقدار بارپذیری:

در این روش دستگاه اندازه‌گیری به طور اتوماتیک با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل در بازه‌های زمانی مختلف و ترسیم منحنی ولتاژ بر حسب زمان، مقدار مساحت زیر منحنی را در بازه‌های زمانی خاص با استفاده از معادله (۷-۲)، به دست آورده و با میانگین‌گیری از مقادیر به دست آمده، نتیجه را به صورت یک عدد نمایش می‌دهد؛ که این عدد بارپذیری لایه مربوط به یک عمق خاص را نشان می‌دهد و بر حسب میلی‌ثانیه بیان می‌گردد.

¹Decay time

$$M = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad (7-2)$$

جدول (۲-۲) فهرستی از انواع کانی‌ها با یک درصد تراکم حجمی را با پاسخ‌های بارپذیری آن‌ها نشان می‌دهد.

جدول (۲-۲) : بارپذیری در انواع کانی‌ها [Telford et al., 1990].

کانی	میزان بار پذیری (میلی ثانیه)
پیریت	۱۳/۴
کالکوپیریت	۱۳/۲
مس	۱۲/۳
گرافیت	۱۱/۲
گالن	۹/۴
مگنتیت	۲/۲
مالاکیت	۰/۲
هماتیت	۰

۲-۳-۳ شیوه‌های برداشت داده‌های IP

اندازه‌گیری‌های IP همانند اندازه‌گیری‌های روش مقاومت‌ویژه الکتریکی به دو صورت سونداژزنی و پروفیل‌زنی انجام می‌گیرد. برای این که میزان جفت‌شدگی الکترومغناطیسی^۱ بین الکترودهای جریان و پتانسیل را به کم‌ترین مقدار کاهش داد، بیشتر از آرایش‌های دوقطبی- دوقطبی^۲ و قطبی- دوقطبی^۳ در این روش، استفاده می‌شود [کلاگری، ۱۳۷۱].

^۱Electromagnetic coupling

^۲Dipole- Dipole

^۳Pole- Dipole

۲-۳-۴ مزایای روش IP

اندازه‌گیری‌های روش IP تنها روش مؤثر برای اکتشاف کانی‌سازی‌های افشان می‌باشند [Milsom, 2007]. چون این ذخایر از مقاومت‌ویژه متوسط تا بالایی برخوردارند؛ به همین دلیل روش‌های مقاومت‌ویژه و الکترومغناطیس به تنهایی برای اکتشاف این ذخایر مناسب نمی‌باشند. اما روش قطبش القایی اطلاعات بسیار مطلوبی در اکتشاف این نوع کانسارها به دست می‌دهد [Roy, 1980].

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 غیر قابل نفوذ و سفره‌های آبدار بسیار سودمند است [Roy, 1980].

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 دانه 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 IP ظاهر می‌شود [Telford et al., 1991].

۲-۳-۵ 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 با هم برداشت می‌شوند و تمیز کردن این دو از هم غیر ممکن می‌باشد. در نتیجه قطبش غشایی سبب کاهش کارایی برداشت‌های IP می‌شود [Kearey et al., 2009].

تفسیر کمی داده‌های IP خیلی پیچیده‌تر از روش مقاومت‌ویژه می‌باشد. علاوه بر این چشمه‌های ایجاد کننده بی‌هنجاری‌های IP (مانند رس‌ها)، اغلب از نظر اقتصادی مهم نیستند [Kearey et al., 2009].

عملیات صحرائی این روش کند و در نتیجه گران‌تر از روش مقاومت‌ویژه می‌باشد [Kearey et al., 2009].

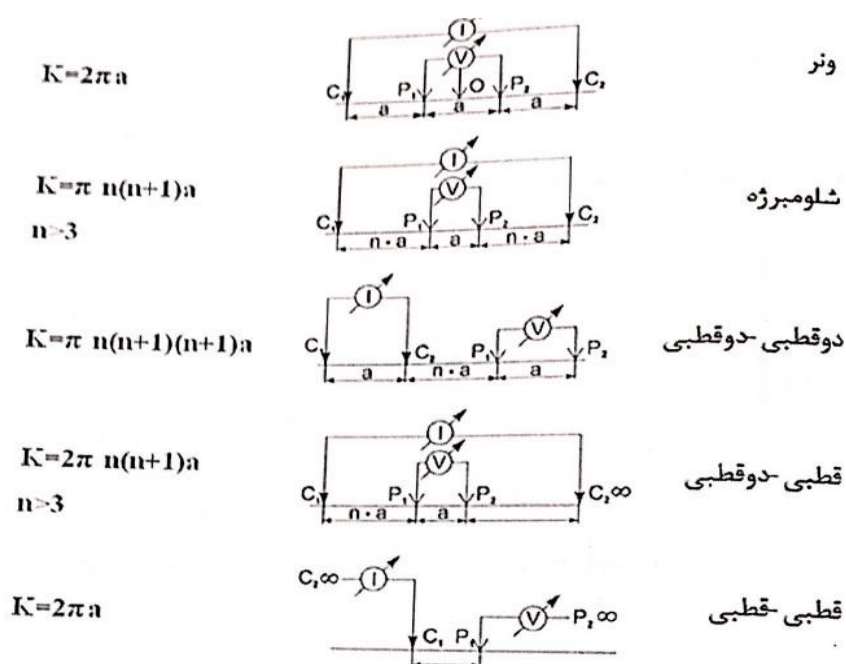
جریان‌های تلوریک در روش IP باعث ایجاد بی‌هنجاری‌های کاذب می‌شود [Kearey et al., 2009]. از آنجا که در این روش از جریان متناوب استفاده می‌شود، جریان‌ها در رساناهای مجاور القا می‌شوند و جریان پیدا می‌کنند، در نتیجه باعث جفت شدگی الکترومغناطیسی بین سیم‌های مجاور و خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌شود [Sumner, 1976].

۲-۴ آرایه‌های الکتروودی مورد استفاده در اندازه‌گیری‌های مقاومت‌ویژه و IP

موقعیت هندسی قرار گرفتن الکترودها نسبت به یکدیگر را آرایه الکتروودی می‌نامند. در عملیات میدانی، انتخاب یک آرایه الکتروودی مناسب بسیار مهم می‌باشد [Reynolds, 1997].

عوامل زیادی در انتخاب آرایش الکتروودی مطلوب تأثیر گذار است؛ از مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار می‌توان به نسبت سیگنال به نوفه، جفت شدگی الکترومغناطیسی، حساسیت به موقعیت جانبی، قابلیت تفکیک ساختارهای شیب‌دار، قدرت تفکیک‌پذیری ساختارهای افقی، عمق نفوذ، حساسیت به عمق بی‌هنجاری‌ها (عمق هدف)، حساسیت نسبت به شیب، حساسیت به ناهمگنی‌های سطحی در روش سونداژزنی، حساسیت به ناهمگنی‌های سطحی در عملیات پروفیل‌زنی، حساسیت به توپوگرافی سنگ بستر، حساسیت به اثرات جانبی، حساسیت به روباره هادی و حساسیت به توپوگرافی اشاره کرد [Ward, 1990]. در عملیات صحرائی ژئوالکتریک، از کاربردی‌ترین آرایش‌ها می‌توان به آرایش‌های

ونر^۱، شلومبرژه^۲، دوقطبی - دوقطبی، قطبی - دوقطبی، قطبی - قطبی^۳ و گرادیان^۴ اشاره کرد. در اصل، خطی بودن آرایه انتخابی لزومی ندارد، اما در عمل به دلیل دشواری تفسیر نتایج و وقت گیر بودن و پیچیدگی عملیات صحرایی در آرایه های غیر خطی، سعی بر این است که آرایه انتخابی به صورت خطی باشد [Telford et al., 1990]. شکل (۲-۴) تعدادی از آرایه ها الکترودی رایج در کارهای صحرایی را نشان می دهد.



شکل (۲-۴): تعدادی از آرایه های الکترودی رایج در کارهای صحرایی [After Knödel et al., 2007].

در مطالعه حاضر، از آرایش الکترودی دوقطبی - دوقطبی استفاده شده است؛ که در ادامه به شرح آن پرداخته می شود.

۲-۴-۱ آرایه دوقطبی - دوقطبی

آرایه دوقطبی - دوقطبی قدرت تفکیک جانبی و قائم خوبی دارد و بهترین مشخصه آن، قدرت تفکیک برای اهداف قائم باریک می باشد. ایراد اساسی آن نیز قدرت سیگنال پایین در مقایسه با آرایه

¹Wenner

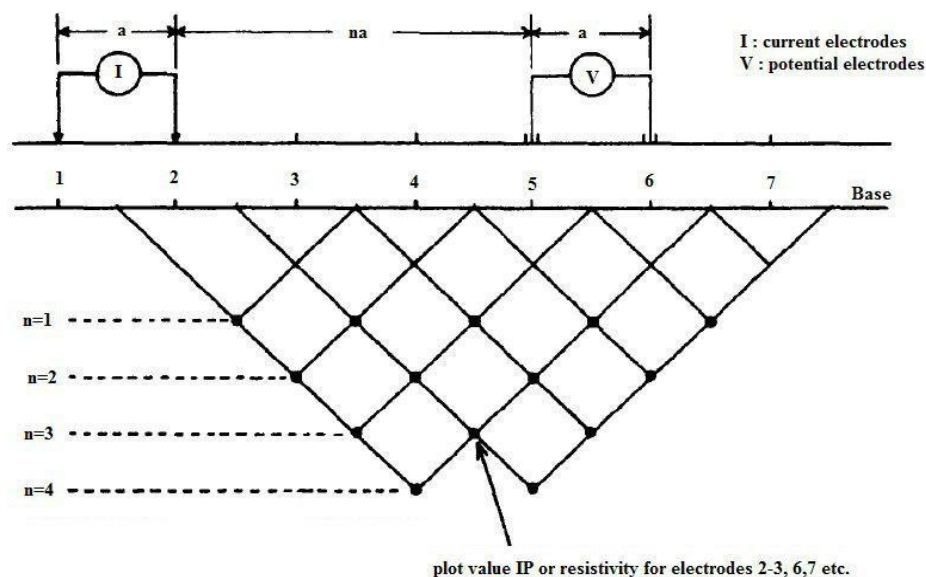
²Schlumberge

³Pole- pole

⁴Gradient

قطبی - دوقطبی یا آرایه مستطیلی است [Goldie, 2007]. پایین بودن جفت شدگی الکترومغناطیسی بین مدارهای جریان و پتانسیل در آرایش دوقطبی - دوقطبی، این آرایش را به یک آرایش مناسب برای برداشت‌های مقاومت‌ویژه و IP تبدیل کرده است [Loke, 2004].

در این آرایش فواصل بین جفت الکترودهای جریان و جفت الکترودهای پتانسیل برابر مقدار ثابت a می‌باشد همچنین فاصله بین الکترودهای جریان، و فاصله بین الکترودهای پتانسیل، ثابت است و از فاصله بین مراکز دوقطبی‌ها یعنی d کوچکتر است [کلاگری، ۱۳۷۱]. همان‌گونه که در شکل (۲-۵) ملاحظه می‌شود، فاصله بین الکترودهای جریان و پتانسیل از a تا na متغیر است (که n معمولاً از ۱ تا ۸ تغییر میکند). ابتدا تمام اندازه‌گیری‌ها برای $n=1$ صورت می‌گیرد و مقادیر اختلاف پتانسیل برای نقاط ردیف اول به دست می‌آید، سپس با ادامه این روند ردیف‌های بعدی با افزایش n برداشت می‌شوند. هر یک از مقادیر برداشتی، به نقطه وسط دوقطبی‌های جریان (C_1C_2) و دوقطبی‌های پتانسیل (P_1P_2) نسبت داده می‌شود؛ که عمق این نقطه از سطح زمین را می‌توان از محل تلاقی دو خطی که با زاویه ۴۵ درجه از مراکز الکترودهای جریان و پتانسیل رسم می‌شوند به دست آورد.



شکل (۲-۵): نمای کلی از برداشت دوقطبی - دوقطبی [After Loke, 2002].

فصل سوم:

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۳ مقدمه:

محدوده معدنی مس شریف‌آباد در ۴۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان بردسکن از توابع استان خراسان رضوی واقع شده است. این منطقه در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر و ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن قرار گرفته و محدوده‌ای به وسعت تقریبی ۷/۵ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. مختصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در جدول (۱-۳) آورده شده است. سنگ میزبان کانی‌سازی واحدهای رسوبی-آتشفشانی کرتاسه-پالئوسن می‌باشند؛ که از نظر زمین‌شناسی در قسمت جنوبی نیمه شرقی زون سبزوار قرار گرفته است. این محدوده در تقسیم‌بندی ساختاری ایران در زون ماگمایی شمال شرق ایران واقع شده است [Alavai, 1991].

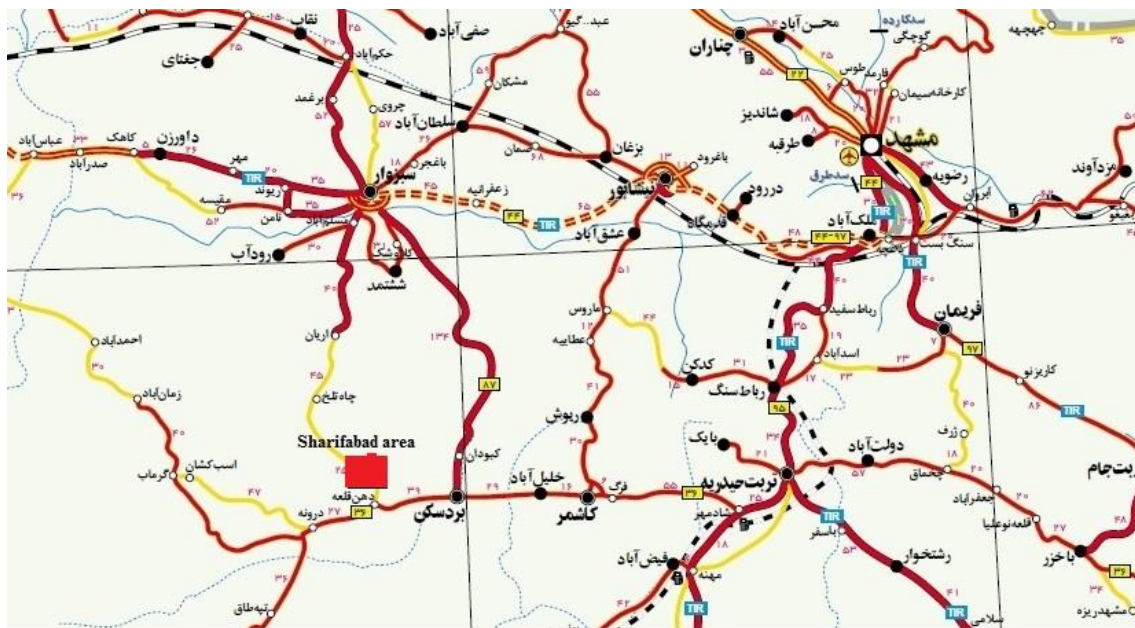
به منظور شناخت انواع سنگ‌ها، دگرسانی‌ها و کانه‌زایی از محدوده مورد مطالعه، نمونه‌های معرف از سنگ‌های مختلف جهت مطالعات پتروگرافی و مینرالوگرافی برداشت گردید.

جدول (۱-۳): مختصات جغرافیایی محدوده معدنی شریف‌آباد بر اساس نقشه ۱:۵۰۰۰

رئوس	A	B	C	D
طول جغرافیایی	57°36'18.5"	57°38'53.2"	57°38'56.3"	57°40'47.3"
عرض جغرافیایی	35°21'08.4"	35°21'07.0"	35°24'35.4"	35°24'35.4"
رئوس	E	F	G	
طول جغرافیایی	57°40'47.3"	57°40'27.1"	57°40'27.1"	
عرض جغرافیایی	35°22'55.6"	35°22'55.5"	35°19'15.4"	

۲-۳ موقعیت و شرایط جغرافیایی

محدوده مورد مطالعه در ۷ کیلومتری شمال روستای دهان‌قلعه واقع شده است. مهم‌ترین راه دسترسی به منطقه، جاده آسفalte مشهد- تربت حیدریه- درونه و یا مسیر سبزوار- بردسکن می‌باشد؛ که پس از طی مسافت ۴۰ کیلومتر از مسیر بردسکن- درونه به دوراهی دهان‌قلعه- درونه رسیده و با طی کردن ۱۴ کیلومتر راه شوسه به پاسگاه نظامی دهان‌قلعه و سپس با طی کردن ۷ کیلومتر به سمت شمال، به محدوده اکتشافی منجر می‌شود (شکل ۱-۳).



راهنمای نقشه



شکل (۳-۱): نقشه راهنمای راهها، جهت دسترسی به منطقه مورد مطالعه (شریف‌آباد در شمال غربی بردسکن با

علامت مربع مشخص شده است) [گزارش نقشه راهها، ۱۳۹۴].

این منطقه در مجاور کوه خالدار و ۴۰۰ متری طبق‌سر قرار گرفته‌است. تنها رودخانه فصلی موجود در منطقه رودخانه کال‌شور است که در فصل بهار دارای آب است. عمده آب کلاته‌ها از طریق تنها رودخانه دائمی منطقه کال دهان‌قلعه - معدن سیاه است که جهت جریانی از شمال باختری به جنوب خاوری دارد که در نزدیکی کلاته دهان‌قلعه سدی به‌همین نام (سد دهان‌قلعه) بر روی آن احداث شده

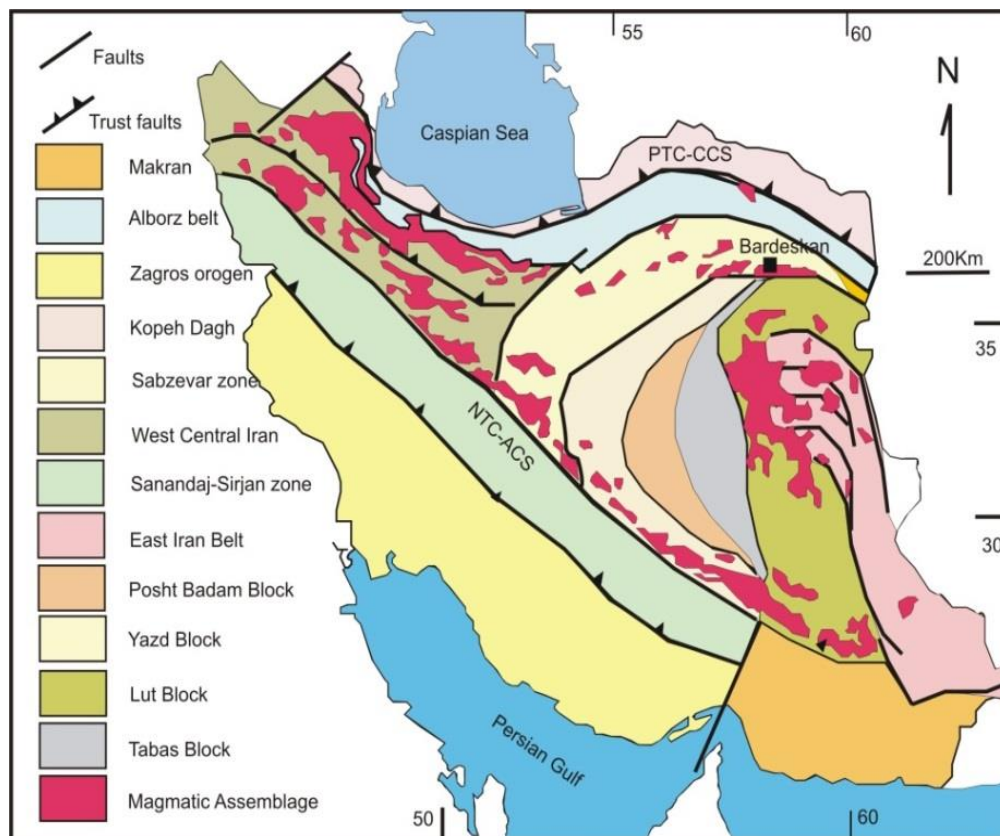
است. منطقه بردسکن دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشد، بیشینه دمای منطقه در تابستان بیش از ۴۰ درجه و کمینه دمای آن در زمستان ۱۰- درجه سانتی‌گراد است.

توپوگرافی در این منطقه شامل سرزمین‌های مسطح حاشیه گسل درونه و کوه‌های مرتفع تکنار می‌باشد. بلندترین نقطه با ارتفاع ۱۹۰۰ متر از سطح دریا در کوه سوچ و پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۹۹۷ متر در دشت جنوب خاوری منطقه واقع شده است. از مهم‌ترین کوه‌های منطقه می‌توان به کوه خال‌دار، کوه سوچ، قرچماق، قرریواس، کوه تک انجیری، کوه کلاته‌شور و کوه لاخ بالاجوی اشاره نمود که به‌طور عمده روندی شمال خاوری- جنوب باختری دارند و ارتفاعات بخش میانی منطقه را تشکیل می‌دهند. پوشش گیاهی در این ناحیه شامل اسفند و درختچه‌های گز و طاق و در ارتفاعات درختچه‌های بادام کوهی می‌باشند.

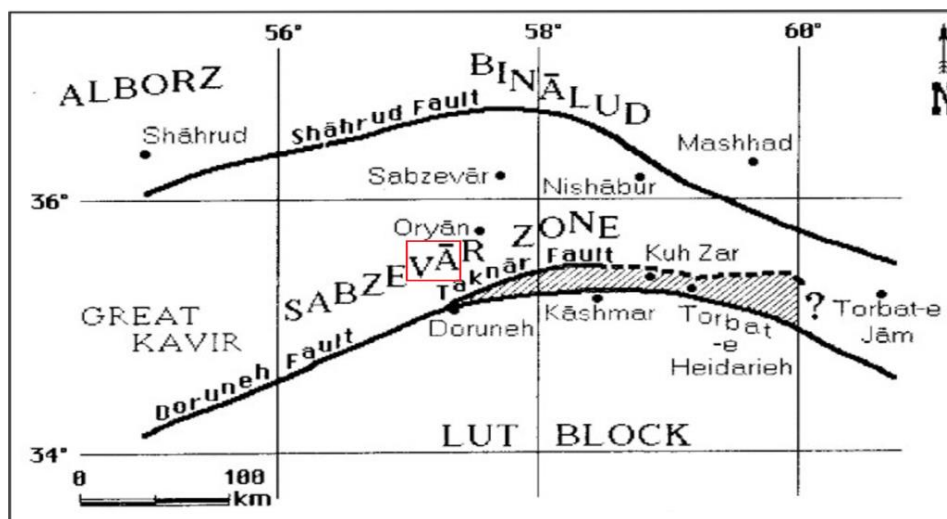
۳-۳ زمین‌شناسی ناحیه‌ای

محدوده مورد مطالعه در تقسیم‌بندی ساختاری ایران در زون سبزوار و زون ماگمایی شمال‌شرق ایران (شکل ۳-۲) واقع شده است [Alavi, 1991; Stocklin, 1968]. قدیمی‌ترین واحدهای زون سبزوار شامل سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین می‌باشند که توسط رسوبات پالئوزوئیک پوشیده شده‌اند. اقیانوس سبزوار در تریاس فوقانی- کرتاسه زیرین در میکرو قاره ایران مرکزی ایجاد شده و در کرتاسه فوقانی تا ائوسن، توسط فرورانش صفحه ایران مرکزی به زیر البرز شرقی بسته شده است [Stocklin, 1968]. تکه‌هایی از این پوسته اقیانوسی به شکل افیولیت در این زون باقی مانده‌است که شامل پریدوتیت، گابرو، بازالت و کرومیت می‌باشد. واحدهای آتشفشانی، آتشفشانی- رسوبی ترشیری جوان‌ترین واحدهای سنگ‌شناختی در این زون می‌باشند. از نظر ساختاری زون سبزوار توسط سه گسل بزرگ مقیاس عطاری و میامی در شمال و گسل درونه در جنوب کنترل می‌شود. واحدهای چینه- زمین‌ساختی موجود در ناحیه بردسکن، دو اقلیم زمین‌ساختی پهنه تکنار واقع در جنوب و اقلیم زمین‌ساختی پهنه سبزوار در شمال را شامل می‌شود [Muller and Walter, 1983]؛ که توسط

گسل امتداد لغز تکنار- ریوش از یکدیگر جدا می‌شوند (شکل ۳-۳). واحدهای سنگ- چینه‌ای منطقه شامل واحدهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک و عهد حاضر می‌باشند. وجود چندین مرحله گسلش و تغییرات ساختاری نظیر چین خوردگی، بررسی تغییرات رخساره‌ای- سنگی و اندازه‌گیری ضخامت و در بعضی موارد ارتباط میان واحدهای سنگ- چینه‌ای را دشوار ساخته‌است.



شکل (۳-۲): نقشه ساده شده ساختاری ایران و موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی آن
[After Alavi, 1991; Stocklin, 1968]



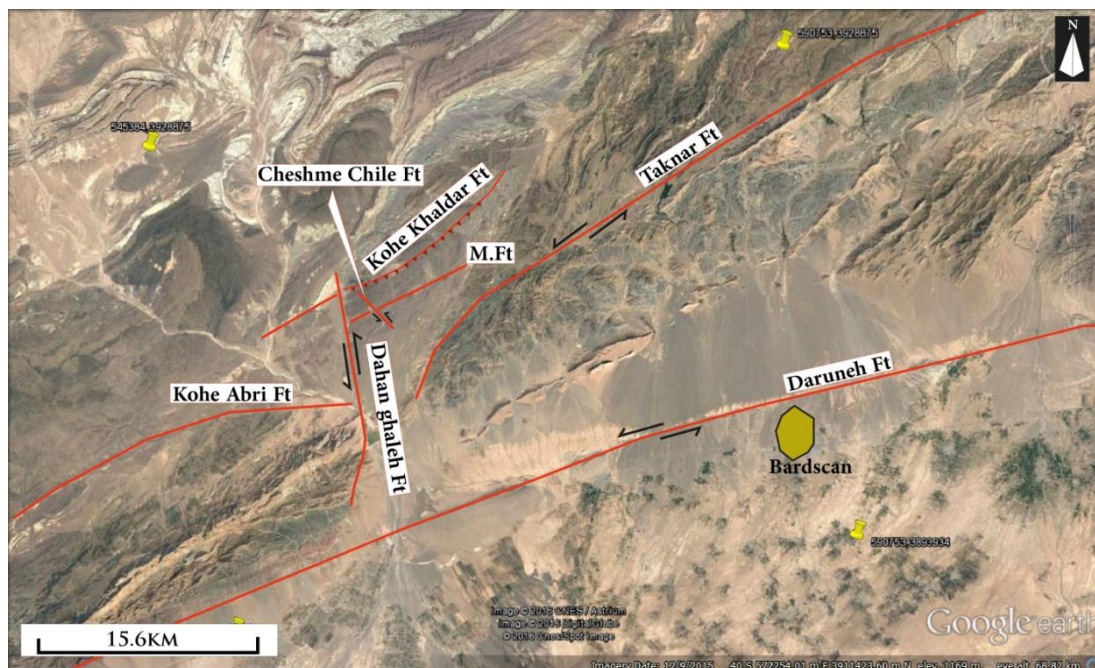
شکل (۳-۳): موقعیت ساختاری زون سبزوار، تکنار و ایران مرکزی و محدوده کانسار مس شریف‌آباد
[Muller and Walter, 1983].

از نظر تکتونیکی این محدوده قسمتی از یک یال چین خورده (تاقدیس) می‌باشد که جهت شیب آن به سمت جنوب‌شرق می‌باشد [مهری، ۱۳۹۴]. سه دسته گسل به شرح زیر در محدوده قابل تشخیص است (شکل ۳-۴).

۱- گسل‌های نرمال: این گسل‌ها کمترین پراکندگی را در منطقه نشان می‌دهد.

۲- گسل‌های معکوس: این گسل‌ها به موازات گسله تکنار امتداد دارند.

۳- گسل‌های امتداد لغز: فراوان‌ترین و جوان‌ترین نوع گسل در منطقه می‌باشند و فاقد کانی‌زایی هستند.



شکل (۳-۴): گسل‌های اصلی موجود در ناحیه بردسکن و محدوده مورد مطالعه، گسل مرتبط با کانه‌زایی (M.Ft) نیز در محدوده مشخص شده است [مهري، ۱۳۹۴].

۳-۴ زمین‌شناسی منطقه‌ای

در جنوب زون سبزوار سری سنگ‌های رسوبی- آتشفشانی سنوزوئیک (غالباً ترشیری) با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب قرار دارد؛ که میزبان کانی‌سازی مس با ویژگی‌های مشابه از نظر سنگ- شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی است. آثار کانی‌سازی مس، کوره‌های ذوب و سرباره‌های موجود در این نواحی حاکی از کانی‌سازی‌های متعدد مس در واحدهای آتشفشانی ترشیری است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در نقشه ۱:۵۰۰۰ شریف‌آباد بردسکن [مهري، ۱۳۹۴]، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین و رسوبی است (شکل ۳-۵). واحدهای رخنمون یافته در این محدوده مرفولوژی نسبتاً نرم و همواری دارند و از قدیم به جدید به شرح زیر می‌باشند.

- واحد کوارتزیت، شیل و دولومیت (Odsq):

واحد کوارتزیت، شیل و دولومیت در شمال‌غربی محدود شریف‌آباد برونزد دارد که متحمل دگرگونی خفیفی گردیده‌است. این واحد بخشی از سازند تکنار بوده و مربوط به زمان اردوسین می‌باشد و شامل

توالی ضخیمی از سنگ‌های توف، شیست‌های سبز و ماسه‌سنگ کوارتزیتی است که همبری گسله و عادی با واحد فوقانی خود دارد.

- واحد کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل (Ksdm) :

این واحد در بخش شمالی محدوده گسترش داشته و دارای تناوبی از ماسه‌سنگ، میکروکنگلومرا، شیل و مارن است که متعلق به کرتاسه بوده و با واحدهای فوقانی خود به‌صورت عادی همبری دارد. بخشی از ماده معدنی در قسمت میکروکنگلومرای این واحد تشکیل شده است.

- واحد آهک نازک لایه (Kl im) :

این واحد در بخش جنوبی محدوده گسترده بوده و از آهک نازک لایه تشکیل شده است که متعلق به کرتاسه بوده و به‌صورت عادی و گسله با واحد کواترنری همبری نشان می‌دهد.

- واحد اولترابازیک (ub) : این واحد به‌صورت نوار باریکی در شمال نقشه برونزد داشته و به صورت توده سیاه رنگی می‌باشد که به علت سرپانتینی شدن حالت صابونی پیدا کرده است. این واحد مربوط به کرتاسه فوقانی - پالئوسن بوده و بخشی از افیولیت‌های سبزوار می‌باشد.

- واحد ماسه سنگ (ksa) :

این واحد در قسمت میانی نقشه گسترش نسبتاً خوبی داشته و دارای مرفولوژی تپه ماهوری ملایم به رنگ قرمز تا قهوه‌ای می‌باشد که جورشدگی ضعیف را نشان داده و متعلق به کرتاسه فوقانی می‌باشد. کانه‌زایی مس در دو محدوده از این واحد دیده شده است. همبری این واحد با واحدهای قدیمی‌تر و جوان‌تر خود به‌صورت عادی و گسله می‌باشد.

- واحد آهک ماسه‌ای (ksl) :

این واحد در محدوده مورد مطالعه گسترش خوبی داشته و غالباً در بخش شمالی محدوده قرار گرفته است. این واحد از آهک ماسه‌ای سفید تا سبز روشن تشکیل شده که دانه‌های کوارتز در زمینه

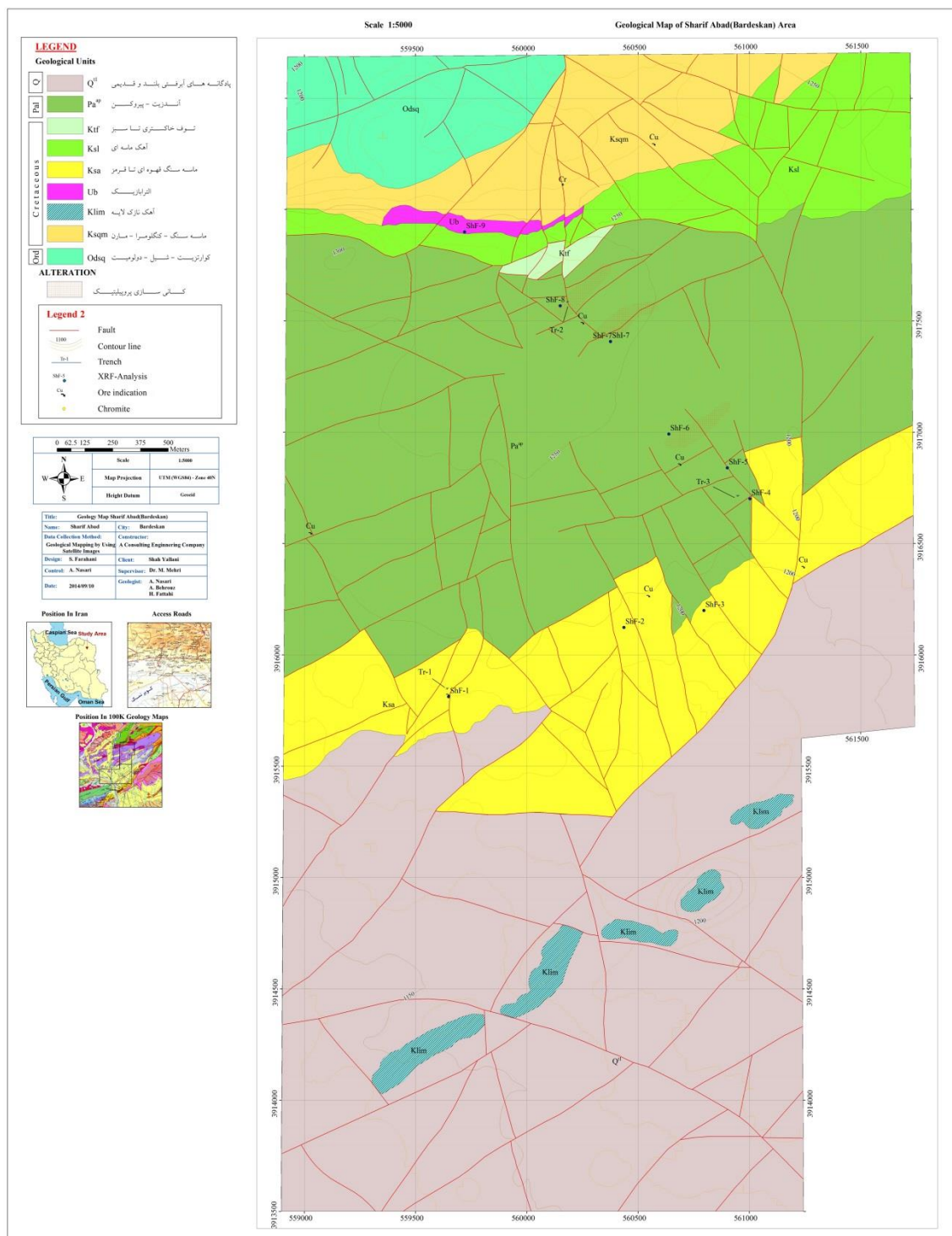
آهکی آن دیده می‌شود و متعلق به کرتاسه فوقانی است. همبری این واحد با واحدهای مجاور خود به صورت عادی و گسله می‌باشد.

- واحد توف خاکستری (ktf) :

این واحد با گسترش بسیار محدود در بخش شمالی محدوده قرار گرفته است و از توف خاکستری تا سبز کرتاسه تشکیل شده است که حاوی دانه‌هایی شبیه ماسه‌سنگ با ابعاد کمتر از ۱ میلی‌متر می‌باشد. این واحد با واحدهای مجاور خود همبری گسله نشان می‌دهد. بخشی از ماده معدنی در این قسمت تشکیل شده است.

- واحد پیروکسن آندزیت (Pa^{ap}) :

این واحد در در بخش میانی محدوده مورد مطالعه گسترش نسبتاً خوبی داشته و دارای مرفولوژی نسبتاً خشن می‌باشد و به دلیل تکتونیک شدید حاکم بر منطقه، دارای شکستگی‌های فراوان می‌باشد. این واحد میزبان اصلی کانه‌زایی بوده و از آندزیت خاکستری تا سیاه رنگ همراه با پیروکسن‌های درشت، آگلومرا و برش آتشفشانی پالئوسن تشکیل شده است. همبری این واحد با واحدهای مجاور خود به صورت عادی و گسله می‌باشد.



شکل (۳-۵): نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ شریف آباد (بردسکن) [مهری، ۱۳۹۴].

مطالعات صحرایی و میکروسکوپی انجام شده در منطقه نشان می‌دهد؛ سنگ میزبان کانی‌سازی شامل پیروکسن آندزیت، آهک، برش آتشفشانی، میکروکنگلومرا، توف ماسه‌ای و آگلومرا است. به‌منظور

آگاهی از ویژگی‌های کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و دگرسانی واحدهای سنگی مختلف، ۲۰ نمونه مورد مطالعه پتروگرافی قرار گرفت. با توجه به ویژگی‌های سنگ شناسی، ۳ واحد سنگی قابل تفکیک می‌باشد که نتایج آن به شرح زیر است.

(۱) واحد پیروکسن آندزیت و برش آتشفشانی

واحد پیروکسن آندزیت با بافت پورفیری و خمیره شیشه‌ای و میکرولیتی تشکیل شده است (شکل ۳-۶-۱). میکرولیت‌ها از بلورهای پلاژیوکلاز و اوژیت تشکیل شده است. فنوکریست‌های این سنگ از پلاژیوکلاز، اوژیت، و مقادیر کم‌تری هورنبلند تشکیل شده است. پلاژیوکلاز با ماکل دوقلویی و پلی سنتیک با ابعاد تا ۱ میلی‌متر تشکیل شده و در مواردی به سریسیت، رس، کلریت و اپیدوت تجزیه شده است. اوژیت با ابعاد تا ۲ میلی‌متر و به صورت وجه‌دار تا نیمه وجه‌دار تشکیل شده و در مواردی به کلریت و اپیدوت تجزیه شده است. هورنبلند با رنگ قهوه‌ای و ابعاد تا ۳۰۰ میکرون تشکیل شده که در مواردی اپاسیتی شدن را نشان می‌دهد. این واحد در اغلب موارد متحمل دگرسانی پروپیلیتیک و سریستی-کربناتی شده و رگچه‌های سیلیسی و کربناتی شکستگی‌های موجود در سنگ را پر کرده است.

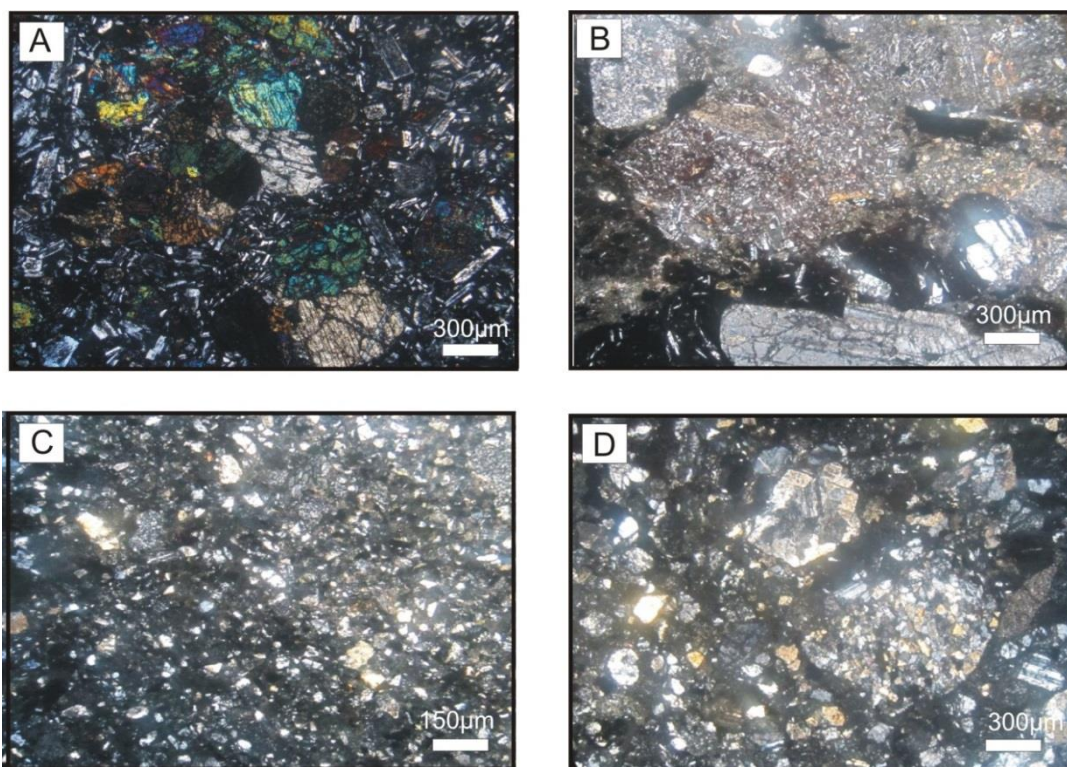
برش آتشفشانی از زمینه آندزیتی تشکیل شده است که دارای خمیره شیشه‌ای و میکرولیتی است (شکل ۳-۶-۲). فنوکریست‌ها از پلاژیوکلاز تشکیل شده و قطعات برشی از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیتی تشکیل شده است. پلاژیوکلاز و کانی‌های تیره به کلریت و اپیدوت و در مواردی به سریسیت و کانی‌های رسی تبدیل شده است که نشان دهنده دگرسانی پروپیلیتیک و سریستی-کربناتی است.

۲) واحد توف ماسه‌ای

این سنگ از زمینه شیشه‌ای تشکیل شده که دارای بلورهای ریز کوارتز، کلریت، هورنبلند، آلکالی فلدسپار و پلاژیوکلاز می‌باشد و در مواردی به سریسیت تجزیه شده است؛ که متحمل دگرسانی سریسیتی-کربناتی شده است (شکل ۳-۶-۳).

۳) واحد میکروکنگلومرا

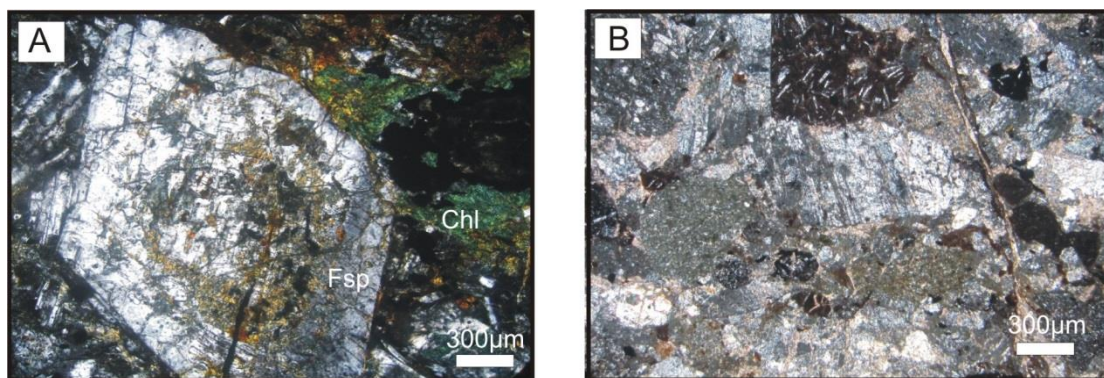
زمینه سنگ از کوارتز، پلاژیوکلاز و هورنبلند تشکیل شده است. قطعات تشکیل دهنده آن از ماسه-سنگ (عمدتاً کوارتز)، آندزیت (حاوی پلاژیوکلاز، ارتوز، هورنبلند)، شیل و حفرات پر شده از کلسیت تشکیل شده است (شکل ۳-۶-۴). این واحد متحمل دگرسانی سریسیتی-کربناتی شده است.



شکل (۳-۶): تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های میزبان کانی‌سازی؛ A) واحد پیروکسن آندزیت که بلورهای درشت اوژیت را در زمینه میکروولیتی از پلاژیوکلاز نشان می‌دهد؛ B) برش آتشفشانی که در آن قطعات آتشفشانی و بلورهای پلاژیوکلاز در خمیره آندزیتی قابل رویت است؛ C) کریستال‌های ریز کوارتز و فلدسپار در خمیره شیشه‌ای در واحد توف ماسه‌ای؛ D) میکروکنگلومرا همراه با قطعات ماسه سنگی در زمینه‌ای از کوارتز و فلدسپار.

۳-۵ دگرسانی سنگ میزبان

دگرسانی گرمابی در منطقه شریف‌آباد از گسترش وسیعی برخوردار است و محدود به رخنمون‌های معدنی نیست. بر اساس مطالعات میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD که توسط شرکت آزمایشگاهی آمیتیست انجام گرفته است (جدول ۳-۴) دو نوع دگرسانی در ابعاد محلی و ناحیه‌ای در محدوده شریف‌آباد قابل تشخیص است که واحدهای منطقه را تحت تاثیر قرار داده‌است. مهم‌ترین دگرسانی‌های شناسایی شده در منطقه شامل دگرسانی پروپیلیتیک و سریستی-کربناتی می‌باشند. دگرسانی پروپیلیتیک از گسترش زیادی در منطقه برخوردار بوده و با دگرسانی سریستی-کربناتی هم‌پوشانی دارد. مهم‌ترین کانی‌های موجود در این دگرسانی کلریت و اپیدوت می‌باشند؛ که با مقادیری سریست، کلسیت و اکسیدهای آهن همراه هستند (شکل ۳-۷-A). محلول‌های داغ کلسیک، بلورهای پلاژیوکلازها را به کلریت و سریست و گاه به اپیدوت تبدیل کرده‌است و کانی‌های تیره مانند هورنبلند و پیروکسن به کلریت و اپیدوت و مقادیر کم‌تری کربنات تجزیه شده‌اند. کانی‌های حاصل از دگرسانی به‌صورت جانشینی کانی‌های اولیه و در مواردی شکستگی‌ها و حفرات موجود در سنگ را پر کرده‌است. دگرسانی سریستی-کربناتی اغلب در مجاورت توده‌های معدنی دیده می‌شود و ارتباط نزدیکی با کانی‌سازی مس دارد؛ که با دگرسانی کلسیتی و به مقدار کم‌تر سیلیسی همراه است. سریست، کوارتز، کربنات، هماتیت، و کانی‌های رسی مانند ایلیت، کائولینیت و مونت‌موریلونیت کانی‌های تشکیل دهنده این دگرسانی هستند که واحدهای سنگ میزبان را تحت تاثیر قرار داده‌اند (شکل ۳-۷-B). کربنات و کوارتز، شکستگی‌ها و حفرات موجود در سنگ و کانی‌هایی نظیر پلاژیوکلاز و پیروکسن را پر کرده‌است.



شکل (۷-۳): تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی سنگ میزبان کانی‌سازی؛ (A) دگرسانی پروپیلیتیک در سنگ میزبان پیروکسن آندزیت که در آن بلور فلدسپار به کلریت و اپیدوت و بلور هورنبلند به کلریت و اکسید آهن تجزیه شده است؛ (B) دگرسانی سریسیتی-کربناتی در برش آتشفشانی، که غالب فلدسپارها به سریسیت و کربنات تجزیه شده‌اند. (فلدسپار: Fsp، کلریت: Chl). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها، از [Whitney and Evans, 2010].

۳-۶ کانه‌زایی و کانی‌شناسی:

با توجه به مطالعات انجام شده، کانی‌سازی مس شریف‌آباد در ارتباط با فعالیت‌های گرمایی بوده و به‌صورت رگه و رگچه‌های ظریف در واحدهای پیروکسن‌آندزیت، توف شیلی، برش آتشفشانی و میکروکنگلومرا به‌وقوع پیوسته است. جهت آگاهی از کانی‌شناسی کانسنگ و باطله و روابط پاراژنزی آن‌ها و دگرسانی‌های موجود در منطقه، ۲۰ مقطع نازک-صیقلی، نازک و صیقلی تهیه و مطالعه گردید.

محدوده از نظر کانی‌زایی به ۲ زون تقسیم شده است. الف) کانی‌سازی در زون یک به طول ۵۵۰ متر در امتداد گسل نرمال با امتداد شمال‌شرق-جنوب‌غرب و با شیب ۶۵ تا ۷۰ درجه با جهت جنوب‌شرق تشکیل شده است. سنگ میزبان کانی‌سازی توف شیلی، برش ولکانیکی و آگلومرا با رنگ زرد نخودی می‌باشند که حاکی از حضور هماتیت و لیمونیت می‌باشد، همچنین دگرسانی‌های پروپیلیتیک و سریسیتی-کربناتی در سطح قابل رویت است. کانی‌سازی مس در این زون به‌صورت پراکنده و پراکنده فضای خالی حفرات و شکستگی‌های موجود در سنگ میزبان می‌باشد. پاراژنزی کانی‌شناسی شامل مالاکیت، کالکوسیت، کانه‌های منگنز دار $\pm$ پیریت می‌باشد. کانی کالکوسیت در این زون

به صورت لکه‌ای مشاهده می‌شود و عیار و رخمون سطحی قسمت‌های کانهدار در این زون پایین‌تر می‌باشد.

ب) کانی‌زایی در زون دو در واحدهای میکروکنگلومرا، توف شیلی و پیروکسن آندزیت تشکیل شده است که متحمل دگرسانی‌های پروپیلیتیک و سریسیتی-کربناتی گردیده‌است. ضخامت زون کانهدار در مقیاس صحرایی ۱۰ تا ۱۵ متر می‌باشد. گسل اصلی کانهدار در این زون راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب داشته و زاویه شیب گسل ۶۵ تا ۷۰ درجه می‌باشد.

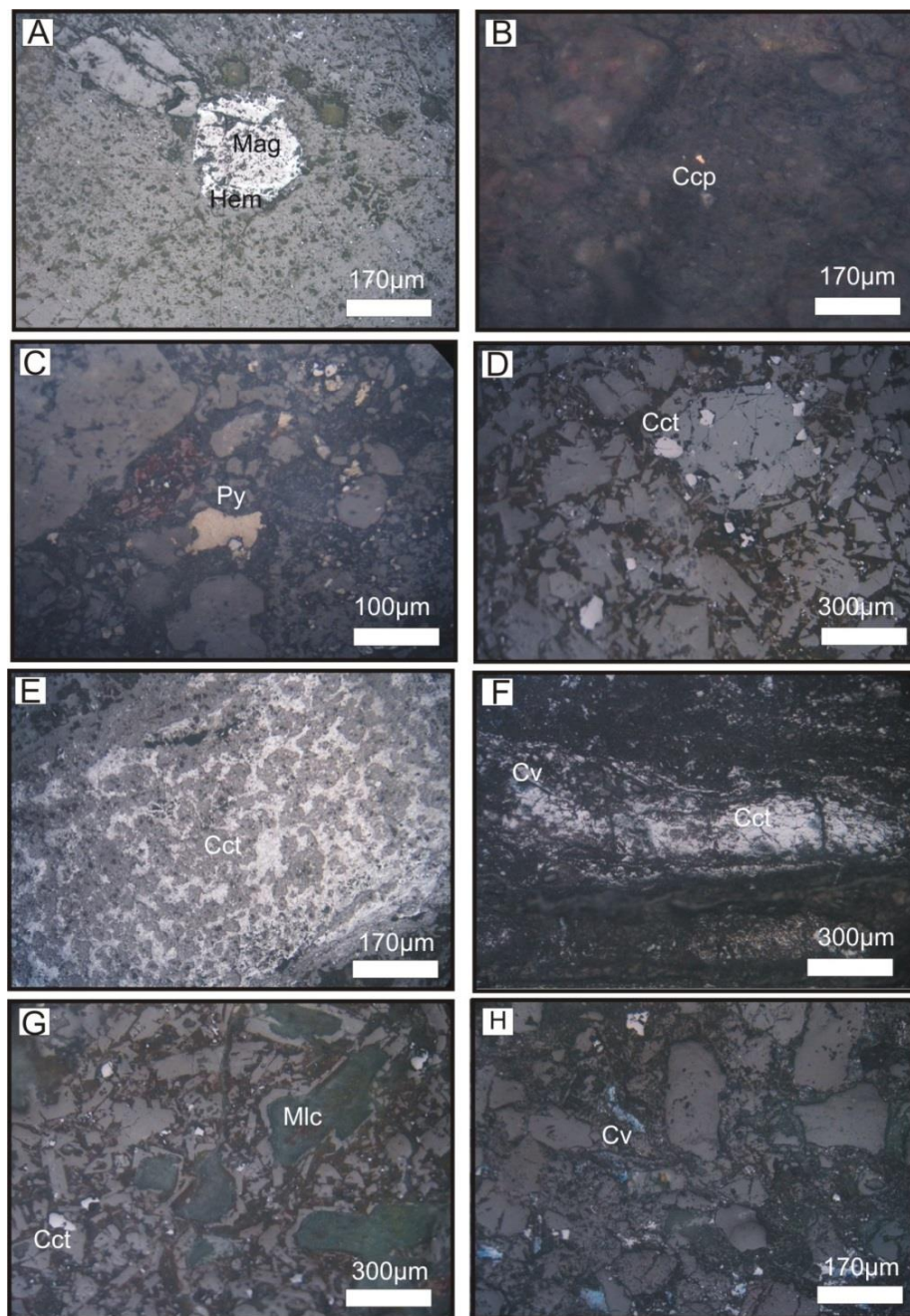
مطالعات انجام شده در هر دو زون نشان می‌دهد، کانی‌سازی به صورت رگه و رگچه‌ای، پراکنده، داربستی، پرکننده فضای خالی و جانشینی در سنگ میزبان می‌باشد. رگچه‌های کربناتی و سیلیسی باطله‌های مهم ماده معدنی می‌باشند (شکل ۳-۸-۱) که اغلب با ماده معدنی همراه هستند (شکل ۳-۸-۲). رگچه‌های حاوی ماده معدنی از دو میلی‌متر تا چند سانتی‌متر متغیر است (شکل ۳-۸-۳) و اغلب شکستگی‌های موجود در سنگ‌ها و کانی‌ها را پر کرده‌است. بررسی‌های کانی‌شناسی در منطقه، همراهی مس با کانی‌های سولفیدی و اکسیدی مانند کالکوسیت، مگنتیت، آزوریت، مالاکیت (شکل ۳-۸-۴، C, D) و به مقدار بسیار کمی پیریت و کالکوپیریت را نشان می‌دهد. رگچه‌های کلسیتی و به مقدار کم‌تر سیلیسی نیز همراه با ماده معدنی شکستگی‌ها را پر کرده و ارتباط نزدیکی با کانی‌سازی نشان می‌دهند (شکل ۳-۸-۴, A, B).



شکل (۳-۸): تصاویر ماکروسکوپی از ماده معدنی؛ (A) رگچه‌های کلسیتی درون سنگ میزبان پیروکسن آندزیت؛ (B) رگچه‌های مالاکیت و کلسیت درون سنگ میزبان آندزیت؛ (C) رگچه‌های کلسیتی و کالکوسیتی در میکروکنگلومرا؛ (D) سطح شکستگی پر شده با مالاکیت و آزوریت (کالکوسیت: Cct، مالاکیت: Mal). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها، از [Whitney and Evans, 2010].

ماده معدنی به‌طور عمده در شکستگی‌ها و حفرات سنگ و کانی‌هایی نظیر پیروکسن و پلاژیوکلاز تشکیل شده است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، می‌توان کانی‌سازی را به دو مرحله هیپوژن و سوپرژن تقسیم‌بندی نمود (شکل ۳-۱۰). مرحله هیپوژن به دو زیر مرحله آغازین و اصلی و مرحله سوپرژن به دو زیر مرحله سولفیدی و اکسیدی تقسیم‌بندی می‌شوند. در مرحله آغازین کانی‌سازی هیپوژن مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت همراه با اپیدوت، کلریت و سریسیت و مقادیری کوارتز و کلسیت تشکیل شده است. مگنتیت به صورت دانه‌های پراکنده و وجه‌دار تا نیمه وجه‌دار با ابعاد ۵۰ تا ۲۰۰ میکرون در داخل حفرات سنگ و کانی‌ها تشکیل شده است و در مواردی به هماتیت تبدیل شده است (شکل ۳-۹-A). کالکوپیریت با فراوانی کم‌تر از ۱ درصد به‌صورت دانه‌های نیمه‌وجه‌دار تا بی‌وجه با ابعاد کمتر از ۵۰ میکرون به‌صورت پراکنده در حفرات و فضاهاى خالی سنگ حضور دارند (شکل ۳-۹-B). پیریت به مقدار بسیار کم و با ابعاد کم‌تر از ۱۰۰ میکرون در حفرات متن سنگ

به صورت پراکنده مشاهده گردید (شکل ۳-۹ - C). شروع تشکیل کالکوسیت و همچنین رگچه‌های کوارتز و کلسیت در این مرحله بوده اگرچه فراوانی آنها در مرحله اصلی کانی‌سازی هیپوژن بیشتر می‌باشند. در مرحله اصلی کانی‌سازی هیپوژن کالکوسیت و هماتیت تشکیل شده است. کالکوسیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی مس می‌باشد که به صورت رگچه‌ای و پراکنده در شکستگی‌ها و فضاهای خالی سنگ و کانی‌هایی نظیر پیروکسن و پلاژیوکلاز تشکیل شده است (شکل ۳-۹ - D,E) و در مواردی به کوولیت تجزیه شده است (شکل ۳-۹ - F). در مرحله سوپرژن کالکوسیت ثانویه، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و گوتیت تشکیل شده است. کانی کوولیت از تجزیه کالکوسیت حاصل شده است (شکل ۳-۹ - F,H) و کانی‌های مالاکیت و آزوریت که اغلب شکستگی‌ها و حفرات سنگ را پر کرده‌است از اکسایش کانی‌های سولفیدی تشکیل شده‌اند (شکل ۳-۹ - G). گوتیت نیز از دگرسانی کانی‌های اکسید آهن مانند هماتیت و مگنتیت تشکیل شده است.



شکل (۳-۹): تصاویر میکروسکوپی از کانه‌زایی در منطقه شریف‌آباد؛ (A) بلور مگنتیت که در حال تبدیل شدن به هماتیت می‌باشد؛ (B) بلور کالکوپیریت در حفره سنگ؛ (C) دانه‌های ریز تا متوسط پیریت در حفرات سنگ میزبان؛ (D) بلورهای کالکوسیت در حفرات کانی‌ها و سنگ میزبان؛ (E) کالکوسیت با بافت غربالی درون رگچه سنگ میزبان؛ (F) رگچه کالکوسیتی که در بعضی قسمت‌ها در حال تجزیه به کولیت می‌باشد؛ (G) حفرات پر شده با مالاکیت و کالکوسیت پراکنده در سنگ میزبان؛ (H) بلورهای کولیت حاصل از تجزیه کالکوسیت در کنار بلورهای ریز کالکوسیت درون حفرات کانی و سنگ. (مگنتیت: Mag، هماتیت: Hem، کالکوپیریت: Ccp، پیریت: Py، کولیت: Cv، کالکوسیت: Cct، مالاکیت: Mal). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها، از [Whitney and Evans, 2010].

Mineral	Hypogene Stage		Supergene Stage	
	Early Stage	Main Stage	Sulfidation Stage	Oxidation Stage
Chlorite	---	-----		
Sericite	-----	-----		
Epidote	---	-----		
Quartz	-----	-----	---	---
Calcite	---	-----	---	---
Magnetite	-----			
Pyrite	-----			
Chalcocopyrite		-----		
Chalcocite		-----	-----	
Covellite			-----	
Hematite		-----		
Malachite				-----
Geothite				-----
Azorite				-----

شکل (۳-۱۰): توالی پاراژنتیکی مراحل کانی‌سازی در منطقه شریف‌آباد.

۳-۷ مدل کانی‌سازی

رخنمون‌های مس‌دار شریف‌آباد در سنگ میزبان پیروکسن‌آندزیت، توف، برش آتشفشانی، آهک، آگلومرا و میکروکنگلومرا تشکیل شده است که بر اثر نفوذ سیالات گرمابی متحمل دگرسانی‌های پروپیلیتیک و سیریسیتی-کربناتی گردیده‌اند. سیالات غنی از کلسیم، سنگ‌های آتشفشانی را تحت تاثیر قرار داده و باعث دگرسانی‌های فوق شده‌اند. این دگرسانی‌ها ارتباط نزدیکی با کانه‌زایی مس و رگچه‌های کلسیتی و کوارتزی نشان می‌دهند.

کانی‌سازی مس شریف‌آباد در افق خاصی از سنگهای رسوبی-آتشفشانی تشکیل شده است و به همین دلیل در گروه کانی‌سازی‌های مس چینه‌کران (مس نوع مانتو) محسوب می‌شود. از نظر شکل کانسار، نوع سنگ میزبان، ترکیب کانی‌شناسی سنگ میزبان این ذخیره بسیار شبیه کانسارهای نوع مانتو در شیلی می‌باشد [Kojima et al., 2003]؛ که ذخایری با همین ویژگی‌ها در آمریکا و کانادا

تحت عنوان طبقات سرخ آتش‌فشانی و میشیگان معرفی شده‌اند [Lefebure and Church, 1996]. این ذخایر با دگرسانی‌های کلریتی، کربناتی، سربیتی، آلبیتی و زئولیتی همراه هستند و کانی‌سازی اغلب به‌صورت پراکنده، رگچه‌ای و پرکننده حفرات سنگ میزبان تشکیل می‌شوند که با کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، مس طبیعی، هماتیت و مقادیری نقره همراه هستند.

فصل چهارم

مدل سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و IP برداشت شده

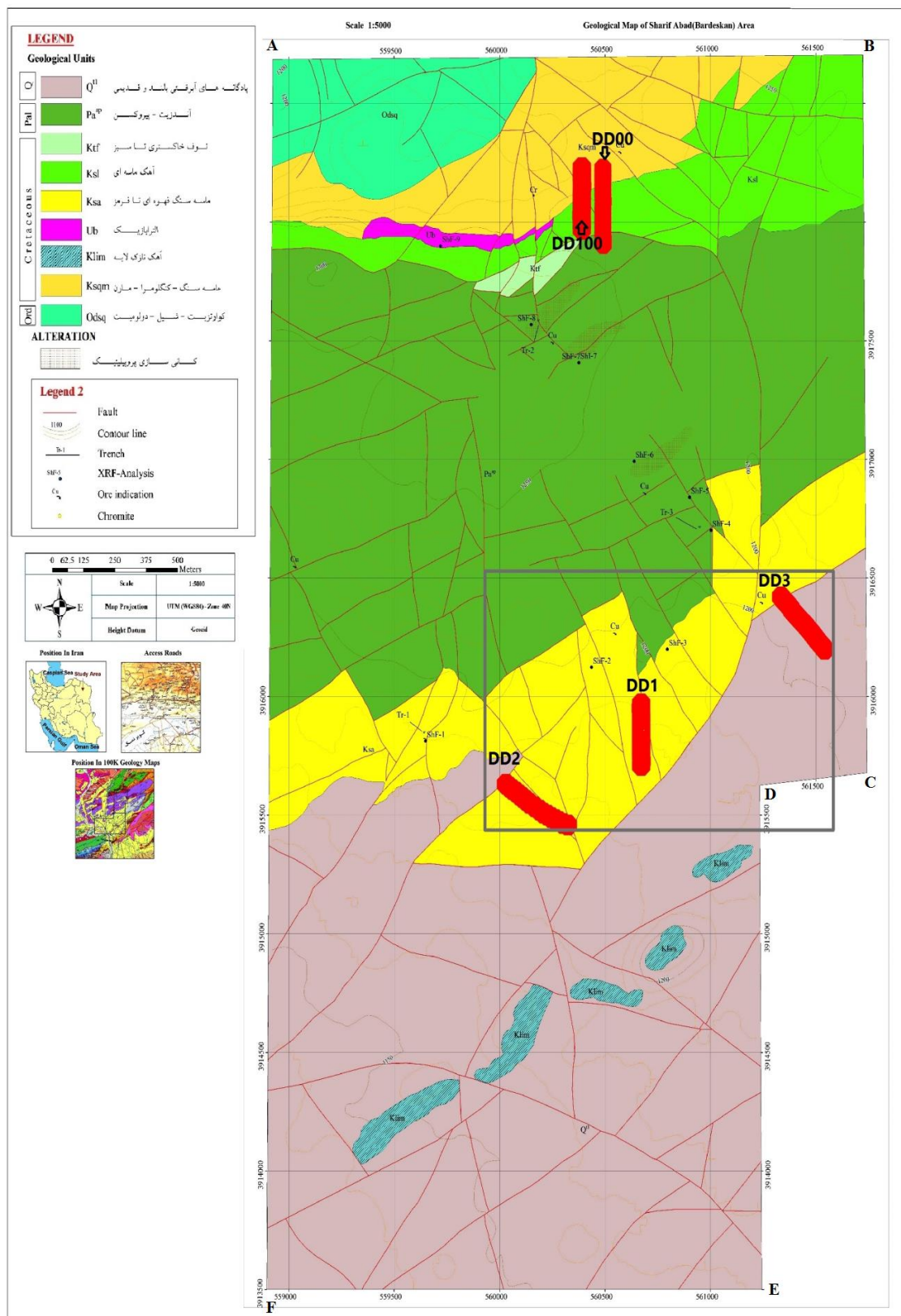
۴-۱ مقدمه

مرحله برداشت داده‌های صحرایی، یکی از مهم‌ترین مراحل انجام یک پروژه اکتشافی می‌باشد؛ لذا سعی بر آن است که داده‌ها با بالاترین کیفیت و کم‌ترین نوفه برداشت شوند تا بتوان از دقیق‌ترین و پیشرفته‌ترین روش‌های پردازش و تفسیر استفاده کرد. داده‌های خام صحرایی، دارای نوفه‌های مختلفی هستند و تفسیر مستقیم آن‌ها نمی‌تواند نتایج مطلوبی در پی داشته‌باشد و رفتار لایه‌های زیر سطحی را به‌طور دقیق توجیه کند بنابراین تعیین رابطه‌ی بین داده‌های صحرایی برداشت شده و توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه، یا به عبارتی مدل‌سازی داده‌های برداشت شده، برای توجیه رفتار لایه‌های زیر سطحی الزامی است. همان‌طور که در فصل ۲ ذکر شد، هدف از برداشت‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی تعیین توزیع مقاومت‌ویژه زیرسطحی با اندازه‌گیری‌های مقاومت‌ویژه ظاهری در سطح زمین است. تخمین مقاومت‌ویژه حقیقی از این اندازه‌گیری‌ها، با انجام مدل‌سازی بر روی مقادیر مقاومت‌ویژه ظاهری مشاهده شده و موقعیت بی‌هنجاری‌ها نتیجه می‌شود [Aizebeokhai, 2009]. با استفاده از نرم‌افزارهای وارون‌سازی دوبعدی و سپس در صورت امکان سه‌بعدی داده‌های مقاومت‌ویژه و IP، می‌توان به تفسیر سریع‌تر و دقیق‌تر داده‌های برداشت شده رسید [White et al, 2003].

۴-۲ نحوه انجام عملیات صحرایی در منطقه

با توجه به وجود شواهد سطحی کانی‌سازی پراکنده و رگچه‌ای مس (رخنمون‌های مالاکیته، آزوریتی و مقادیر اندکی کالکوسیت) در محدوده مورد مطالعه، و با هدف بررسی امکان گسترش کانی‌سازی سولفیدی مس در عمق و تعیین عمق کانی‌سازی احتمالی، برداشت‌های ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی و IP در محدوده انجام گردیده‌است. برای به‌دست آوردن نتایج قابل قبول از عمق بی‌هنجاری، دو شبکه با آرایش مستطیلی و مجموعاً پنج پروفیل با آرایش دوقطبی-دوقطبی با فاصله‌ی الکترودی ۲۰ متر توسط شرکت زمین‌شناسی مهندسی و علوم زمین امید برداشت شده است

(شکل ۱-۴ و ۲-۴)؛ که از داده‌های خام حاصل از این برداشتها ، در این پایان نامه استفاده شده است.



شکل (۴-۱): نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ شریف آباد و موقعیت پروفیل‌های برداشت ژئوفیزیکی با روش دوقطبی - دوقطبی [مهری، ۱۳۹۴].

۳-۴ وسایل و تجهیزات مورد استفاده

استفاده از وسایل و تجهیزات مناسب، برای برداشت داده‌های صحرائی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ به‌خصوص در برداشت با استفاده از آرایش دوقطبی- دوقطبی که حساسیت بالایی دارد، استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات پیشرفته امری ضروری است.

۱-۳-۴ دستگاه‌های فرستنده و گیرنده

در این برداشت از دستگاه فرستنده GDD TXIII 1800w و گیرنده GDD GRx8-32 ساخت شرکت GDD کانادا استفاده شد. دستگاه فرستنده TXIII برای برداشت‌های حوزه زمان IP طراحی شده است (شکل ۳-۴). از قابلیت‌های این دستگاه می‌توان به امکان برداشت در شرایط دمایی بالا (تا ۶۵ درجه سانتی‌گراد)، امکان استفاده از جریان‌های بالا (۱۰ آمپر) برای برداشت در زمین‌های با رسانندگی زیاد، امکان افزایش ولتاژ (تا ۲۴۰۰ ولت) برای برداشت در زمین‌های بسیار مقاوم، داشتن حساسیت بالا برای توقف عملیات (در حد میکروثانیه) در مواردی که در محل اتصال کابل‌ها و الکترودها، اتصال کوتاه اتفاق افتاده و یا ارتباط آن‌ها دچار مشکل شده است.



شکل (۳-۴) : دستگاه TXIII ساخت شرکت GDD کانادا [http://www.gddinstrumentation.com/].

دستگاه گیرنده GRx8-32 یک دستگاه سبک و قابل حمل است (شکل ۴-۴). قابلیت ذخیره این دستگاه ۵۱۲/۰۰۰ قرائت به همراه جزئیات کامل پارامترهای اندازه‌گیری شده است. دستگاه گیرنده GRx8-32 امکان اندازه‌گیری داده‌ها به صورت آرایش‌های چند قطبی یا چند دوقطبی (به عنوان مثال آرایش‌های دوقطبی- دوقطبی، قطبی- قطبی، و قطبی- دوقطبی) را دارد و دارای ۲۰ پنجره قابل برنامه‌ریزی با انعطاف‌پذیری بالا در نمایش منحنی واهلش IP می‌باشد.



شکل (۴-۴) : دستگاه گیرنده GRx8-32 ساخت شرکت GDD کانادا
[<http://www.gddinstrumentation.com/>]

۴-۳-۲ کابل‌ها و الکترودهای فلزی

در برداشت‌های صحرائی، استفاده از کابل‌های مناسب، جهت حفظ ایمنی و برداشت داده‌های با کیفیت بالا الزامی است. در برداشت‌های این پایان‌نامه نیز تلاش بر آن است تا از کابل‌های سالم با روکش عایق استفاده شود. همچنین الکترودهای جریان و پتانسیل مورد استفاده به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که تا حد امکان دارای خاصیت پلاریزه‌شوندگی نباشند.

۴-۴ مدل‌سازی و پردازش داده‌ها

امروزه انگیزه و هدف اصلی از مدل‌سازی کانسارها، کاربرد اکتشافی آن‌ها در راستای افزایش احتمال کشف و کاهش هزینه‌ها می‌باشد. به همین دلیل، کانسار مورد نظر را به مدل خاصی نسبت می‌دهند؛ تا بتوان برای هر یک از ویژگی‌های کمی و کیفی کانسار، با تکیه بر پارامترهای مشابه در مدل انتخاب

شده، تخمین‌های لازم را با دقت کافی به انجام رساند [حسنی پاک و شجاعت، ۱۳۹۲]. روش‌های مدل‌سازی به‌طور کلی به دو دسته مدل‌سازی مستقیم (پیشرو) و وارون تقسیم‌بندی می‌شوند.

۴-۴-۱ مدل‌سازی مستقیم (پیشرو)

روابط و معادلاتی که ارتباط خواص فیزیکی زمین و داده‌های مشاهده‌ای را بیان می‌کنند، تئوری مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو نامیده می‌شوند. یک مدل‌سازی مستقیم مراحل زیر را شامل می‌شود [Hedlin and Constable, 1990]:

۱- حدس مدل اولیه فرضی، ۲- محاسبه پاسخ مدل فرضی با استفاده از تئوری مستقیم یا پیشرو، ۳- مقایسه پاسخ مدل فرضی (داده‌های مصنوعی) با داده‌های مشاهده‌ای و محاسبه مقدار خطای نسبی بین آن‌ها و مقایسه آن با حد استاندارد (مطلوب)، ۴- تعدیل و اصلاح مدل فرضی و برگشت به مرحله ۲ در صورت زیاد بودن خطا.

در مدل‌سازی مستقیم، با وارد کردن پارامترهای یک مدل فرضی که با داده‌های تجربی هم‌خوانی دارد، یک سری داده‌های تئوری منطبق بر پارامترهای مدل پیشنهادی به دست می‌آید. لازم به ذکر است در صورت بالا بودن جذر میانگین مربعات خطای بین این داده‌ها و داده‌های تجربی، فرایند مدل‌سازی مجدداً تکرار خواهد شد. معادله (۴-۱)، رابطه‌ی عمومی مدل‌سازی پیشرو را بیان می‌کند [Meju, 1994].

$$d = Gm \quad (۴-۱)$$

در رابطه فوق، d پاسخ مدل، G تابع کرنل^۱ و m بیانگر پارامترهای مدل می‌باشد.

در مدل‌سازی مستقیم با کمک علم فیزیک، می‌توان از مدل به داده‌ها رسید. همچنین در مدل‌سازی مستقیم، در صورت اعمال تغییرات کوچک در پارامتر مدل، پاسخ به‌دست آمده دچار تغییرات

^۱Kernel Function

محسوسی نمی‌شود. برای حل مسائل پیشرو، روش‌های عددی مختلفی وجود دارد؛ که در انتخاب هر یک از این روش‌ها، سادگی، دقت و سرعت عمل در انجام فرایند از اهمیت بالایی برخوردار است. از نمونه روش‌های عددی حل مسائل پیشرو، دو روش تفاضل محدود و اجزاء محدود به اختصار توضیح داده می‌شود.

الف) روش تفاضل محدود

در این روش مبنای کار بر اساس تقسیم یک میدان پیوسته الکترومغناطیسی به بخش‌های کوچک می‌باشد، به‌طوری که می‌توان رفتار بخش‌های منقطع را جداگانه بررسی کرد؛ و رفتار کل را از برآیند آن‌ها تعیین نمود. این روش، روشی ساده و مؤثر برای حل مسائل مقدار مرزی الکترومغناطیسی است که به‌دلیل محاسبات کمتر و سادگی آن، اغلب در نرم‌افزارهای تجاری استفاده می‌شود. در مدل‌سازی به روش تفاضل محدود، نیاز به شبکه‌بندی مربعی یا مستطیلی می‌باشد. به این ترتیب این روش برای ساختارهای زمین‌شناسی نامنظم مانند مدل‌سازی توپوگرافی دقت کم‌تری دارد.

ب) روش اجزاء محدود

روش اجزاء محدود یکی از روش‌های حل مسائل مقدار مرزی است بر خلاف روش تفاضل محدود برای مدل‌سازی در محیط‌های ناهمگن نیز به خوبی عمل می‌کند. در این روش محدوده مدل به‌صورت مجموعه‌ای از نواحی ساده و کم‌اثر به‌صورت شبکه در نظر گرفته می‌شود و به هریک از شبکه‌ها پارامترهایی به اندازه یکسان نسبت می‌دهند. در ادامه، جواب مسئله پیشرو با ترکیب خطی پارامترهای نامعلوم و روابط ریاضی مربوطه به‌دست می‌آید. استفاده از دو روش اجزاء محدود و تفاضل محدود برای حل مسائل همراه با معادلات خیلی بزرگ و پیچیده بسیار مناسب می‌باشد.

۴-۴-۲ مدل سازی وارون

در روش مدل سازی وارون، مدل سازی، عکس روش مدل سازی پیشرو صورت می گیرد. در این نوع روش مدل سازی در هر مرحله تکرار، با اعمال یک سری عملیات پیچیده ریاضی بر روی داده های تجربی، پارامترهای تجربی مدل به دست می آید. در واقع در این روش، از داده های به دست آمده، مدل زمین تخمین زده می شود. روش های مدل سازی وارون در مقایسه با روش های مدل سازی پیشرو سرعت بالاتری دارند؛ همچنین بی هنجاری های زیرسطحی ساختاری کاملاً پیچیده دارند، بنابراین مدل ارائه شده باید با تعداد محدودی پارامتر قابل کنترل باشد؛ تا بتوان بهترین و بهینه ترین مدلی را که با داده های صحرایی و ویژگی های زمین شناسی و دیگر اطلاعات منطقه هم خوانی داشته باشد به دست آورد که این مهم با روش های مدل سازی وارون صورت می گیرد [Loke and Barker, 1996]. مسائل وارون سازی نابهنجار می باشند؛ به این معنی که تغییر کوچک در داده ها منجر به ایجاد تغییرات بزرگ در پارامترها می شود و جواب پایدار و یکتا حاصل نمی گردد. فرآیند وارون سازی شامل ۳ مرحله، قرائت اولیه داده ها، تصحیح پارامترهای وارون سازی (در صورت لزوم) و انجام وارون سازی می باشد. مسائل خطی به کمک معادله ماتریسی تعمیم یافته ی حاصل از معادله (۴-۱) به صورت معادله (۴-۲) حل می شود.

$$m = G^{-1}d \quad (۴-۲)$$

در رابطه فوق، d پاسخ مدل، G^{-1} وارون تابع کرنل و m بیانگر پارامترهای مدل می باشد.

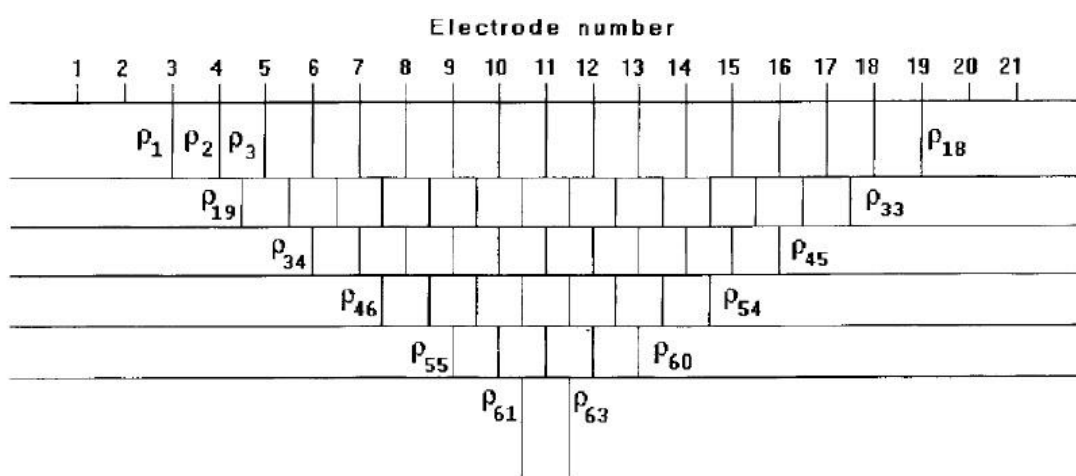
۴-۴-۳ مدل سازی داده های صحرایی

در این تحقیق، با استفاده از نرم افزار RES2DINV داده های اندازه گیری شده مدل سازی شدند؛ همچنین به منظور مقایسه و اعتبار سنجی مدل های به دست آمده از نرم افزار ZONDRES2D استفاده شد. در هر دو نرم افزار یک روش بهینه سازی وجود دارد که از طریق تعدیل مقاومت ویژه بلوک های مدل، اختلاف بین مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده و محاسبه شده را می کاهد. مقدار این اختلاف

توسط ریشه میانگین مربعات خطا (RMS)^۱ بیان می‌شود. در ادامه شرح مختصری از شیوه مدل‌سازی و برخی ویژگی‌های این دو نرم‌افزار ذکر شده است.

الف) نرم افزار RES2DINV

RES2DINV برنامه رایانه‌ای است که پس از دریافت فایل ورودی داده‌ها، مدلی دوبعدی (برپایه بلوک‌بندی) از داده‌های به‌دست آمده از روش تصویرنگاری الکتریکی تولید می‌کند. در این نرم‌افزار مدل مورد استفاده به‌عنوان مدل اولیه، شامل یک سری بلوک‌های مستطیلی دوبعدی می‌باشد، که در شکل (۴-۶) نشان داده شده است. در این مدل، تعداد بلوک‌ها با تعداد نقاط داده‌ها در شبه‌مقطع مقاومت‌ویژه ظاهری برابر است و به یک شیوه مشابه منظم شده‌اند. همچنین عمق مراکز بلوک‌ها در محاسبه عمق میانگین تحت بررسی برای بازه‌های الکترونی مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند [Loke and Barker, 1996].



شکل (۴-۵): نحوه قرارگیری بلوک‌های مستطیلی مورد استفاده در مدل‌سازی به کمک نرم افزار RES2DINV [Loke and Barker, 1996].

در نرم‌افزار RES2DINV مدل‌سازی مقاومت‌ویژه و IP به‌صورت هم‌زمان صورت می‌گیرد. داده‌های مقاومت‌ویژه و IP حاصل از به‌کارگیری آرایش‌های ورنر، شلومبرژه، قطبی-قطبی، دوقطبی و دوقطبی-دوقطبی و همچنین هر آرایه عمومی دیگر در این نرم‌افزار قابل مدل‌سازی هستند. هدف از

¹Root- Mean- Squared

وارون‌سازی داده‌های برداشتی ژئوفیزیکی، طراحی و ارائه مدلی است که دارای بیشترین تطابق با داده‌های صحرایی می‌باشد؛ در حقیقت مدل به‌دست آمده بیانگر یک پاسخ ریاضی مطابق با ساختار زمین‌شناسی می‌باشد. در مراحل تکرار فرایند وارون‌سازی، پارامترهای مدل آن‌قدر تغییر می‌کنند تا بیشترین تطابق بین پاسخ مدل ارائه شده و داده‌های صحرایی حاصل گردد. همچنین لازم است مدل به‌دست آمده با داده‌های زمین‌شناسی تطبیق داده‌شوند؛ تا صحت آن از نظر زمین‌شناسی مورد تأیید قرار گیرد [Loke, 2004].

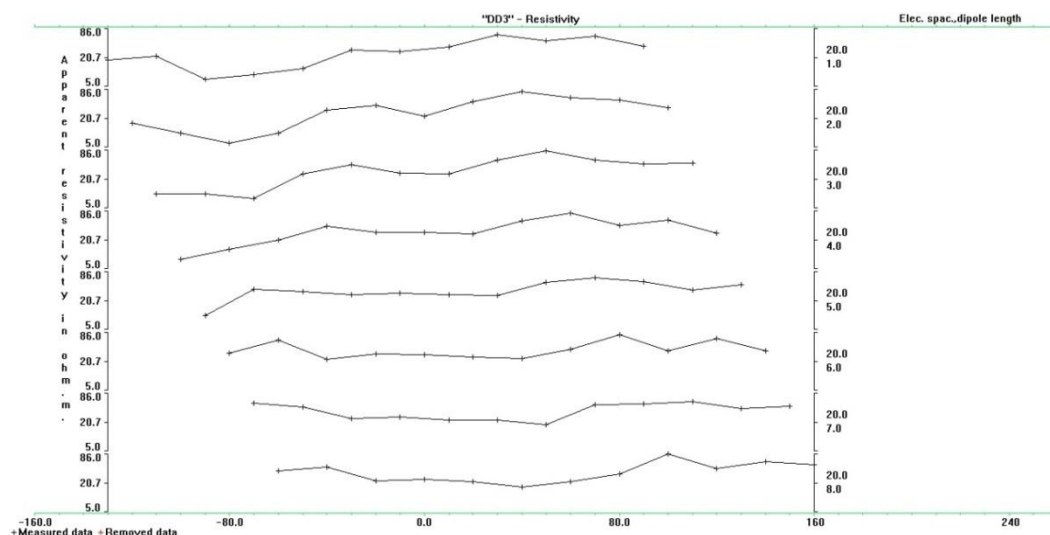
ب) نرم‌افزار ZONDRES2D

این نرم‌افزار برای مدل‌سازی داده‌های برداشت شده در فضای دو و نیم بعدی (یعنی در حالی که ساختارهای زمین شناختی دوبعدی در نظر گرفته می‌شود؛ چشمه میدان سه بعدی است) با استفاده از روش تصویرنگاری الکتریکی توسط Alex Kaminsky طراحی شده است [Kaminsky, 2001]. این نرم‌افزار قابلیت انجام تکرارهای نامحدود برای دستیابی به مدلی با خطای کم‌تر را دارد و تمامی آرایش‌های الکترودی را پشتیبانی می‌کند. در این نرم‌افزار، روش اجزاء محدود به عنوان یک ابزار ریاضی برای حل مسائل مستقیم استفاده می‌شود. همچنین وارون‌سازی با روش حداقل مربعات با قید نظم دهی انجام می‌شود. این نرم‌افزار جهت اعتبارسنجی و تفسیر دقیق مدل‌های الکتریکی قابلیت وارد کردن اطلاعات کمکی، نظیر اطلاعات زمین‌شناسی، حفاری و یا سایر روش‌های ژئوفیزیکی را نیز دارد.

۴-۴-۴ پردازش داده‌ها

برای به‌دست آوردن نتایج قابل قبول از عمق بی‌هنجاری، در منطقه مورد مطالعه، دو شبکه با آرایش مستطیلی و مجموعاً پنج پروفیل با آرایش دوقطبی- دوقطبی با فاصله‌ی الکترودی ۲۰ متر برداشت شده است. تعداد نقاط برداشت شده حاصل از آرایش دو قطبی- دوقطبی ۴۶۰ نقطه می‌باشد. در مرحله پردازش داده‌ها، به‌منظور دسترسی به مدل واقعی‌تر، داده‌های برداشت شده قبل و یا در حین

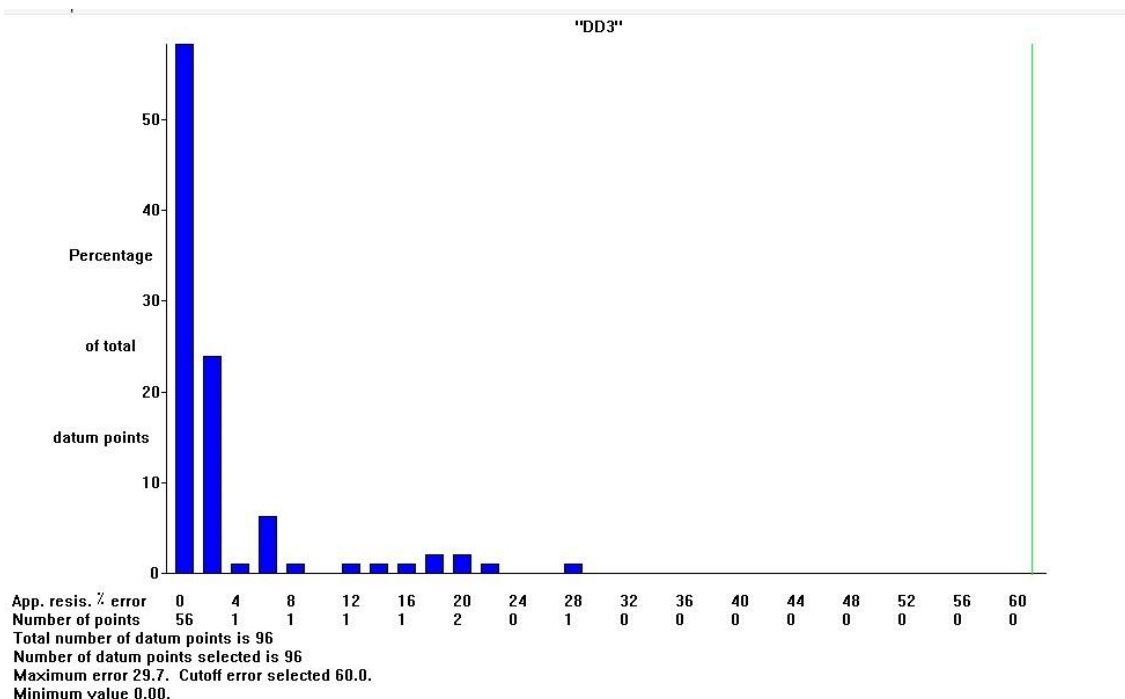
انجام مدل‌سازی مورد پردازش قرار می‌گیرند. مهم‌ترین پردازش داده‌های مقاومت‌ویژه و IP شامل حذف نوفه و تعدیل اثر توپوگرافی می‌باشد. نوفه‌های ایجاد شده به دو دسته نوفه‌های سیستماتیک (دستگاهی) و نوفه‌های تصادفی تقسیم‌بندی می‌شوند. نوفه‌های دستگاهی معمولاً به دلیل مناسب نبودن برخی از پیکربندی‌ها در طول عملیات برداشت ایجاد می‌شوند. دلیل به‌وجود آمدن این نوع نوفه‌ها در اندازه‌گیری‌ها، می‌تواند ناشی از خرابی در کابل‌ها، اتصال ضعیف الکترودها با زمین، فراموش کردن اتصال گیره به الکترودها و غیره باشد. اما نوفه‌های تصادفی ایجاد شده شامل اثرات ناشی از جریان‌های تلوریک^۱ می‌باشد که بر همه داده‌ها تأثیر می‌گذارند و سبب می‌شوند قرائت‌ها بالاتر یا پایین‌تر از مقادیر آن‌ها در هنگام عدم حضور نوفه باشند [Loke, 2013]. در نرم‌افزارهای مدل‌سازی مورد استفاده در این پروژه، امکان حذف یا کاهش قابل ملاحظه هر دو نوع از نوفه‌ها وجود دارد. به طوری که نوفه‌های سیستماتیک را می‌توان قبل از شروع عملیات مدل‌سازی به صورت دستی از مجموعه داده‌ها حذف و یا تغییرات آن‌ها را نسبت به داده‌های مجاور هموار کرد (شکل ۴-۶). همچنین داده‌های حاوی نوفه‌های تصادفی را پس از وارون‌سازی در نرم‌افزار RES2DINV می‌توان به صورت میله‌ای بر حسب درصد بیان کرد (شکل ۴-۷) [Loke, 2004].



شکل (۴-۶): نحوه نمایش داده‌های مقاومت‌ویژه (پروفیل DD3) برای حذف یا کاهش قابل ملاحظه نوفه‌های

سیستماتیک در نرم‌افزار RES2DINV

¹Telluric current



شکل (۴-۷): حذف نقاط داده‌ای حاوی نوفه (با جابجایی خط سبز رنگ) در نمودار میله‌ای مربوط به توزیع خطای

داده‌ای برای پروفیل DD3 در نرم‌افزار RES2DINV

لازم به ذکر است داده‌های جمع‌آوری شده در این برداشت، به دلیل استفاده از جریان‌های بالا (بیش از ۱/۵ آمپر) و در نتیجه داشتن نسبت سیگنال به نوفه بالا و همچنین دقت کافی در امر برداشت، از کیفیت نسبتاً مطلوبی برخوردار بودند و در موارد اندکی نیاز به حذف داده‌های بد بود.

یکی دیگر از روش‌های پردازش داده‌های مقاومت‌ویژه و IP، تعدیل اثر توپوگرافی می‌باشد. در عمل تأثیر توپوگرافی بر روی داده‌های IP به غیر از افزایش یا کاهش فاصله الکترودهای سطحی از منشأ بی‌هنجاری زیرسطحی، تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد؛ به همین دلیل تأثیر توپوگرافی عمدتاً بر روی اندازه‌گیری‌های مقاومت‌ویژه صورت می‌گیرد. در نرم‌افزارهای مورد استفاده گزینه‌های متعددی برای وارد کردن داده‌های ایستگاه‌های حاوی توپوگرافی وجود دارد؛ که مدل‌سازی توپوگرافی در این نرم‌افزارها بر اساس روش اجزاء محدود صورت می‌گیرد؛ که نسبت به روش تفاضل محدود دقت و کارایی بالاتری دارد [Loke, 2013].

۴-۵ بحث و تفسیر نتایج

در این بخش به تفسیر مدل‌های الکتریکی به دست آمده از مدل‌سازی داده‌های پروفیل‌های دوقطبی- دوقطبی با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV پرداخته می‌شود. ابتدا مدل‌های به دست آمده به وسیله نرم‌افزار RES2DINV مورد تفسیر قرار می‌گیرد؛ سپس برای مقایسه و کمک به تفسیر بهتر مدل‌های نرم‌افزار RES2DINV از نرم‌افزار ZONDRES2D استفاده شده است. جدول (۴-۱) مشخصات مربوط به آرایه‌های دوقطبی- دوقطبی برداشت شده در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۱): مشخصات مربوط به آرایه‌های دوقطبی- دوقطبی برداشت شده در محدوده شریف‌آباد.

نام پروفیل	مختصات ابتدا پروفیل	مختصات انتها پروفیل	فاصله الکترودهای جریانی	فاصله الکترودهای پتانسیلی
DD1	X : ۵۶۰۶۷۰ Y : ۳۹۱۵۷۱۰	X : ۵۶۰۶۷۰ Y : ۳۹۱۵۹۷۰	۲۰	۲۰
DD2	X : ۵۶۰۳۲۵ Y : ۳۹۱۵۴۵۹	X : ۵۶۰۰۳۱ Y : ۳۹۱۵۶۳۱	۲۰	۲۰
DD3	X : ۵۶۱۵۴۳ Y : ۳۹۱۶۱۹۸	X : ۵۶۱۳۳۴ Y : ۳۹۱۶۴۲۰	۲۰	۲۰
DD100w	X : ۵۶۰۳۹۰ Y : ۳۹۱۷۹۷۰	X : ۵۶۰۳۹۰ Y : ۳۹۱۸۲۳۰	۲۰	۲۰
DD00	X : ۵۶۰۴۹۰ Y : ۳۹۱۷۹۱۰	X : ۵۶۰۴۹۰ Y : ۳۹۱۸۲۳۰	۲۰	۲۰ و ۴۰

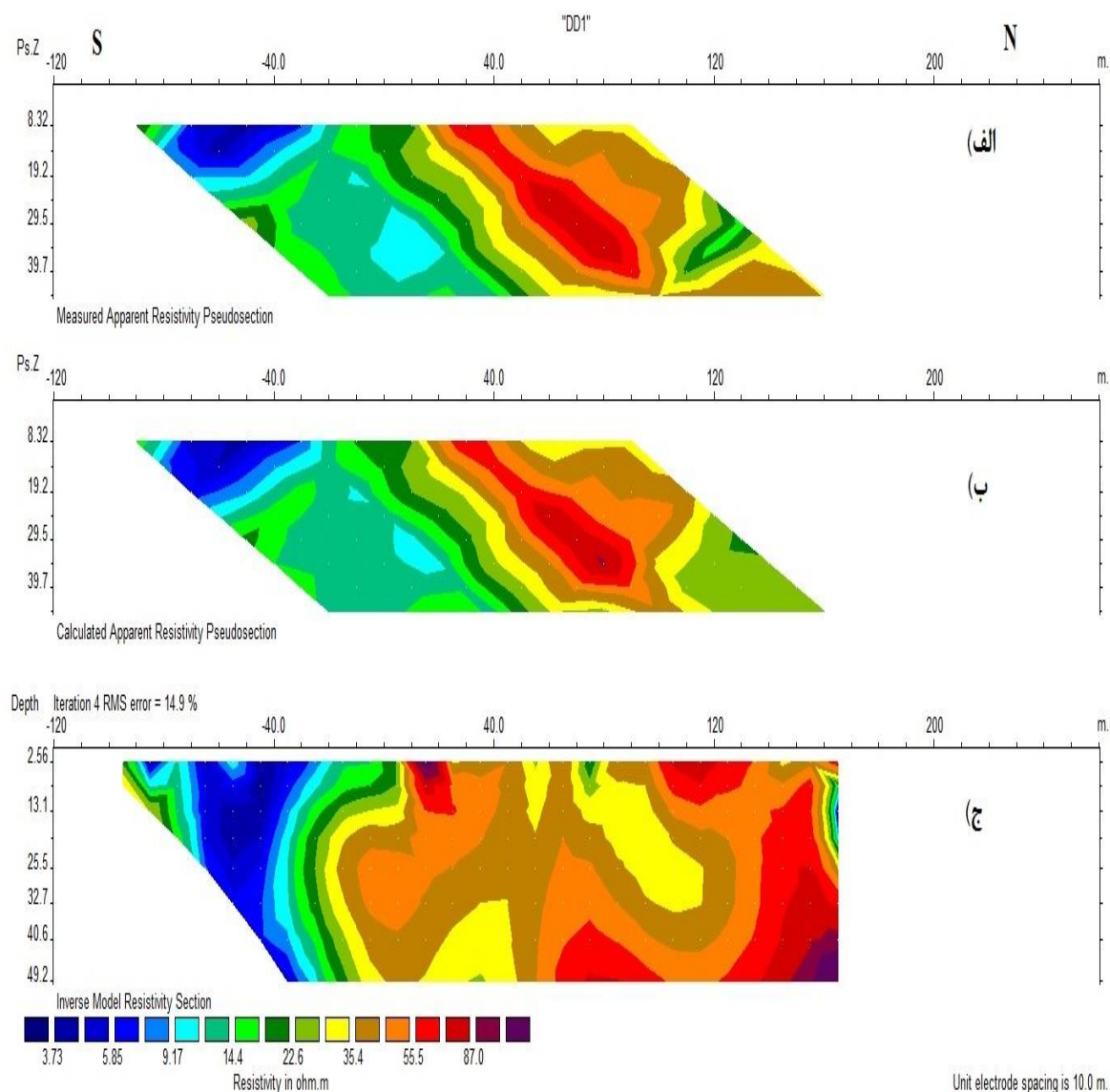
مختصات ذکر شده در جدول، در سیستم مختصات UTM WGS84 Zone 40N می باشد. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، برداشت با فواصل الکترودی ۲۰ متر انجام شده است؛ اما به منظور دستیابی به جواب های دقیق تر و همچنین کاهش خطای RMS در تمام مدل سازی های انجام شده با نرم افزار RES2DINV از شبکه بندی با نصف فاصله الکترودی استفاده شده است.

پروفیل DD1

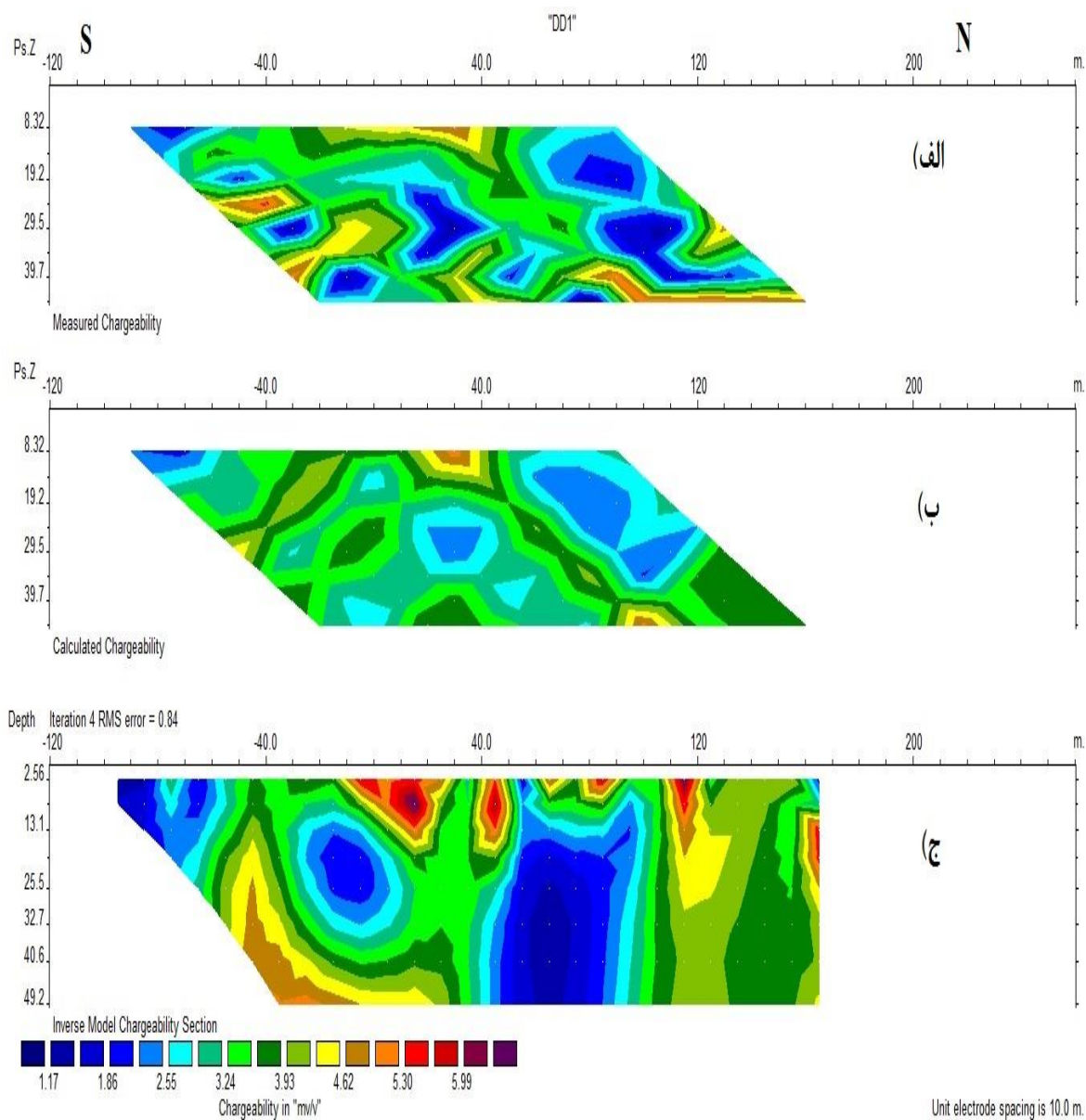
این پروفیل با امتداد شمالی- جنوبی و شامل ۸۰ نقطه برداشتی می باشد. طول مورد بررسی در این پروفیل حدود ۲۶۰ متر می باشد. در منطقه مورد مطالعه، واحد آتشفشانی ائوسن و الیگومیوسن به دلیل تخلخل و نفوذپذیری خوب، سنگ میزبان ماده معدنی می باشد. با توجه به ویژگی های سنگ میزبان که در اکثر موارد دارای مقاومت ویژه متوسط تا بالا است، انتظار می رود زون های بی هنجار در اکثر موارد به صورت مناطقی با مقاومت ویژه متوسط تا بالا و بارپذیری بالا مشخص شوند. مقاومت ویژه مس پایین و در حدود 1.7×10^{-8} اهم متر می باشد؛ ولی نباید از مناطق بی هنجار انتظار مقاومت- ویژه پایین داشت؛ زیرا مقدار مس که به صورت رگه و رگچه های ظریف درون حفرات و شکستگی های کانی ها و سنگ میزبان قرار گرفته است به اندازه ای نیست که پاسخ مقاومت ویژه را تحت تأثیر قرار دهد.

شبه مقطع و مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از مدل سازی وارون مربوط به پروفیل DD1 در شکل های (۴-۸ و ۴-۹) نشان داده شده است. همچنین مقاطع دوبعدی مقاومت ویژه و IP حاصل از مدل سازی وارون این پروفیل با اعمال تصحیح توپوگرافی به همراه مقطع زمین شناسی در امتداد پروفیل DD1 در شکل (۴-۱۰) آورده شده است.

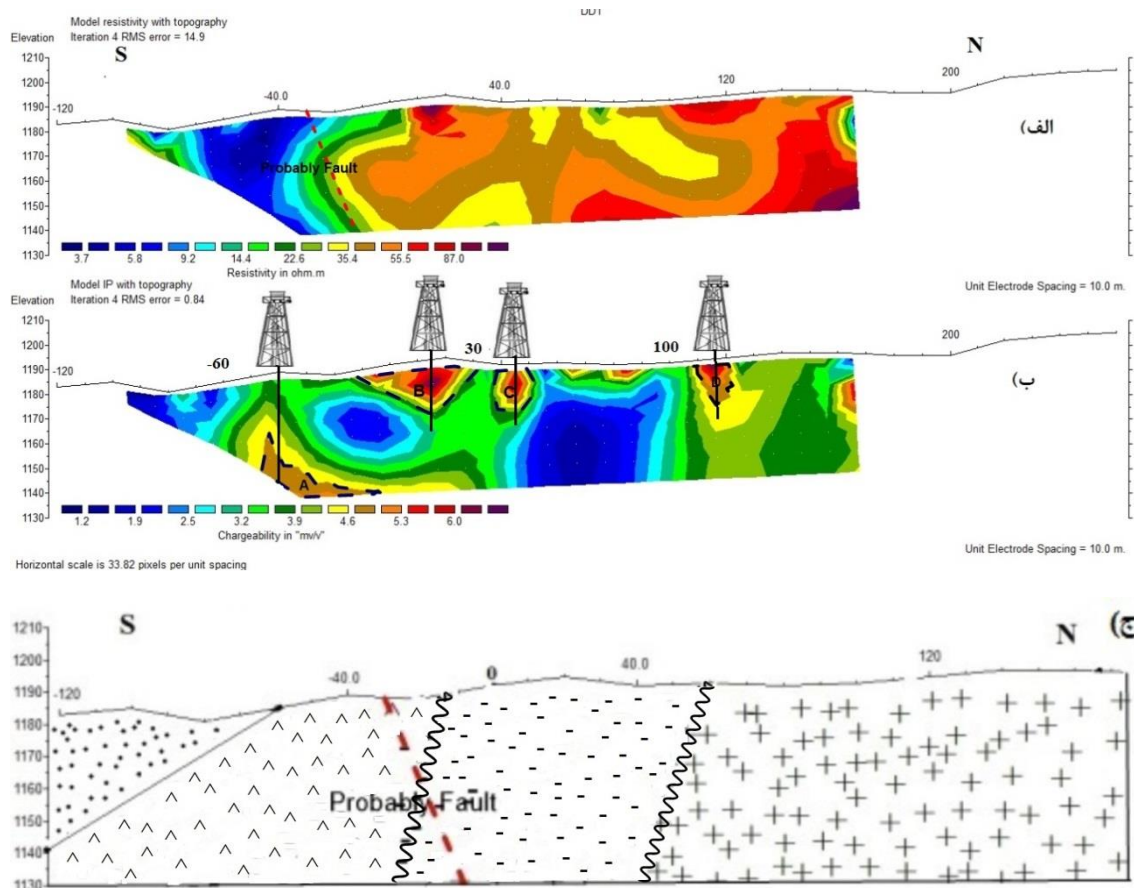
خطای RMS ناشی از مدل سازی داده های مقاومت ویژه الکتریکی و IP در نرم افزار RES2DINV به ترتیب برابر ۱۴/۹٪ و ۰/۸۴٪ در تکرار چهارم است. مقادیر به دست آمده برای بارپذیری بر حسب میلی ولت بر ولت و مقادیر به دست آمده برای مقاومت ویژه بر حسب اهم متر می باشد.



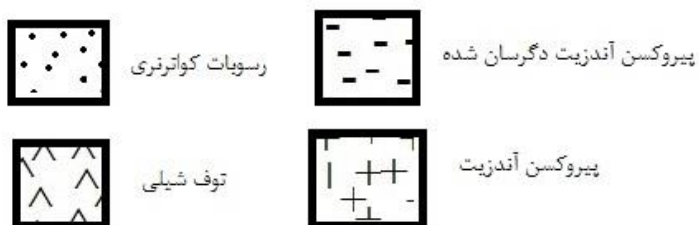
شکل (۴-۸) : شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD1، (الف) شبه-مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، (ب) شبه‌مقطع داده‌های محاسبه شده، (ج) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون.



شکل (۴-۹): شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD1، (الف) شبه‌مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، (ب) شبه‌مقطع داده‌های محاسبه شده، (ج) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون.



Legend:



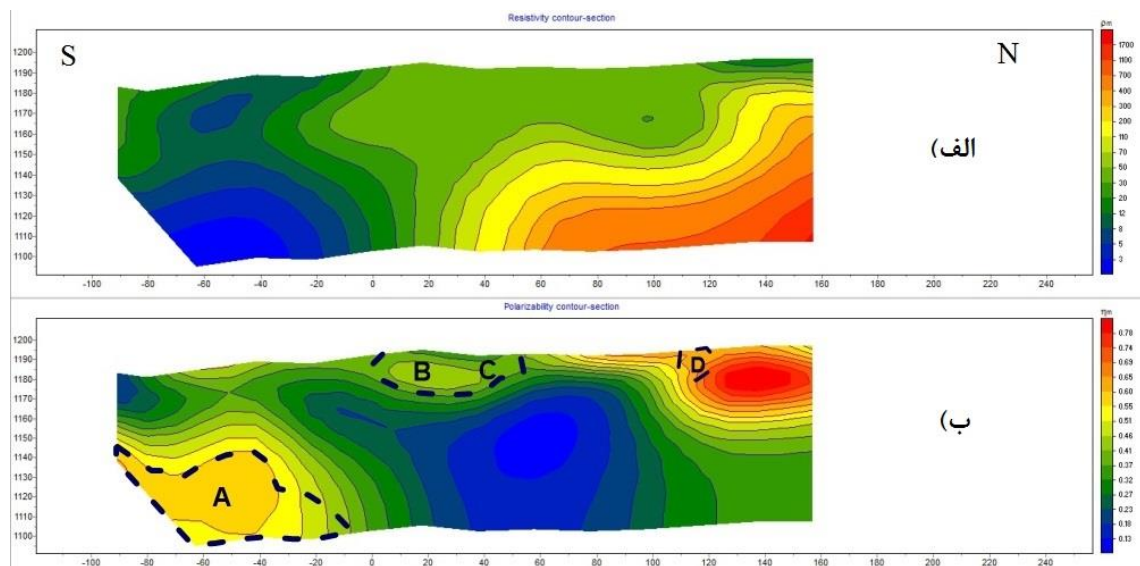
شکل (۴-۱۰): نتایج حاصل از داده‌های مدل‌سازی وارون؛ الف) مقطع مقاومت‌ویژه الکتریکی؛ ب) مقطع IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD1؛ ج) مقطع زمین‌شناسی در امتداد پروفیل DD1

نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP بر روی پروفیل DD1 به همراه مقطع زمین‌شناسی در امتداد این پروفیل در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است. اولین بی‌هنجاری احتمالی موجود در منطقه در فاصله ۱۰- تا ۵۰- متری مبدأ پروفیل قرار دارد. بیشترین مقدار این بی‌هنجاری در ۴۰- متری مبدأ پروفیل و در عمق تقریبی ۴۵ متری می‌باشد؛ که مقدار بارپذیری به $5 \frac{mv}{v}$ رسیده ولی از گسترش عمقی این بی‌هنجاری در عمق اطلاعاتی در دسترس نیست (بی‌هنجاری A).

دیدگاه سنگ‌شناسی، بر اساس پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی واحد توف شیلی قرار دارد. با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه، یک گسل احتمالی در محل حضور این بی‌هنجاری احتمالی وجود دارد. محل گسل احتمالی در ۳۰- متری مبدأ پروفیل است؛ که در پیمایش‌های صحرایی وجود این گسل احتمالی تأیید گردید. بی‌هنجاری احتمالی دوم در فاصله ۱۰- تا ۳۰ متری مبدأ پروفیل می‌باشد. این بی‌هنجاری سطحی بوده و بیشترین مقدار آن در ۱۵ متری مبدأ پروفیل و در عمق ۱۰ متری از سطح زمین می‌باشد (بی‌هنجاری B). از آنجا که این بی‌هنجاری به گسل تشخیص داده شده نزدیک است؛ ممکن است در ارتباط با گسل احتمالی موجود در ۳۰- متری مبدأ پروفیل باشد. از دیدگاه سنگ‌شناسی، بر اساس پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی واحدهای پیروکسن آندزیت دگرسان شده (دگرسانی در حد پروپیلتیک) قرار دارد. بی‌هنجاری احتمالی سطحی سوم با وسعت کم در منطقه در فاصله ۴۰ تا ۵۰ متری مبدأ پروفیل قرار داشته و تا عمق تقریبی ۲۰ متری ادامه دارد (بی‌هنجاری احتمالی C). بر اساس پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی واحدهای پیروکسن آندزیت دگرسان شده قرار دارد. بی‌هنجاری احتمالی چهارم در فاصله ۱۱۰ تا ۱۲۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد. این بی‌هنجاری نیز سطحی بوده و تا عمق تقریبی ۲۰ متری ادامه دارد (بی‌هنجاری احتمالی D). بر اساس پیمایش‌های صحرایی، این بی‌هنجاری بر روی واحدهای پیروکسن آندزیت قرار دارد. با توجه به این- که بی‌هنجاری‌های احتمالی B، C و D به صورت سطحی می‌باشند لذا لازم است این بی‌هنجاری‌ها توسط پیمایش‌های صحرایی در منطقه تأیید گردند؛ که در پیمایش‌های صحرایی صورت گرفته در امتداد این پروفیل کانی‌سازی سطحی مس توسط رخنمون‌های موجود در منطقه تأیید گردیده است.

مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در نرم‌افزار ZONDRES2D برای مقایسه و کمک به تفسیر بهتر مدل‌سازی‌های وارون انجام شده در نرم‌افزار RES2DINV برای پروفیل DD1 انجام گردید. نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های وارون صورت گرفته در نرم‌افزار ZONDRES2D وجود بی‌هنجاری‌های A، B، C و D ژئوفیزیکی حاصل شده در نرم‌افزار RES2DINV را تأیید می‌کند. بر

اساس مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه، بی هنجاری A منطبق بر مناطق با مقاومت ویژه های پایین می باشد که می تواند مرتبط با گسل احتمالی موجود در ۳۰- متری مبدأ پروفیل و یا لیتولوژی توف شیلی موجود در این منطقه و یا به دلیل وجود زون آلتراسیون در سطح باشد. بی هنجاری های B، C و D بر روی مقاومت ویژه های متوسط و متوسط رو به بالا قرار دارند که دلیل آن می تواند لیتولوژی پیروکسن آندزیتی موجود در این مناطق باشد. در شکل (۴-۱۱) نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD1 با استفاده از نرم افزار ZONDRES2D نشان داده شده است.



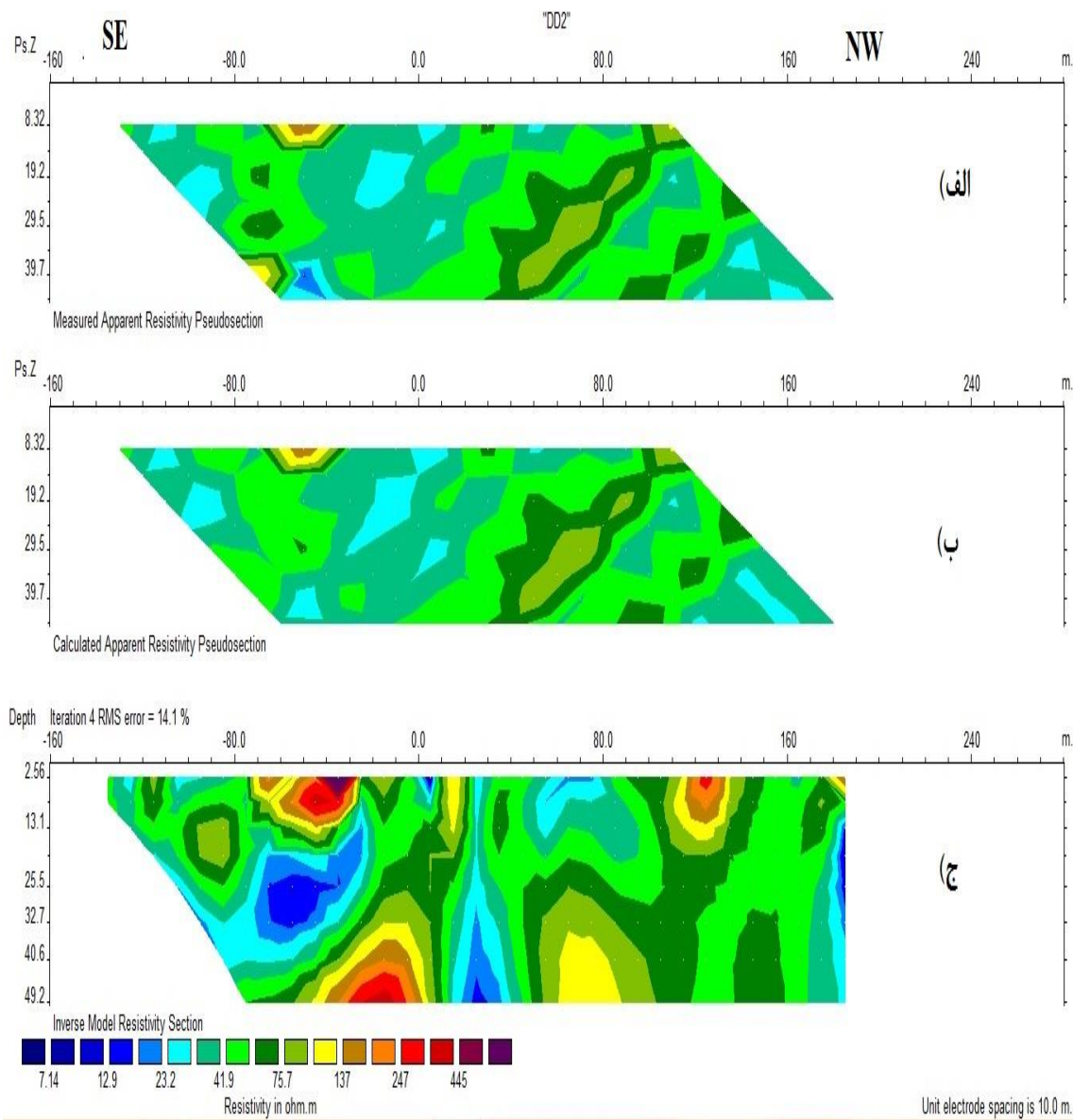
شکل (۴-۱۱): نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD1، (الف) مقطع مقاومت ویژه الکتریکی (ب) مقطع IP

با توجه به اطلاعات زمین شناسی موجود و همچنین مطالعات ژئوفیزیکی صورت گرفته چهار محل برای حفاری در منطقه برای پروفیل DD1 پیشنهاد می شود. محل حفاری اول در ۴۰- متری مبدأ پروفیل و به صورت قائم پیشنهاد می شود. عمق بررسی این گمانه تا عمق ۴۵ متری می باشد. از آنجا که گسل های موجود در منطقه نقش موثری در حرکت سیالات داشته اند و از آنجا که این بی هنجاری با گسل موجود در منطقه منطبق است؛ لذا می تواند نقطه مناسبی برای حفاری باشد. محل حفاری دوم در فاصله ۱۵ متری از مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۲۵ متری و محل حفاری سوم در

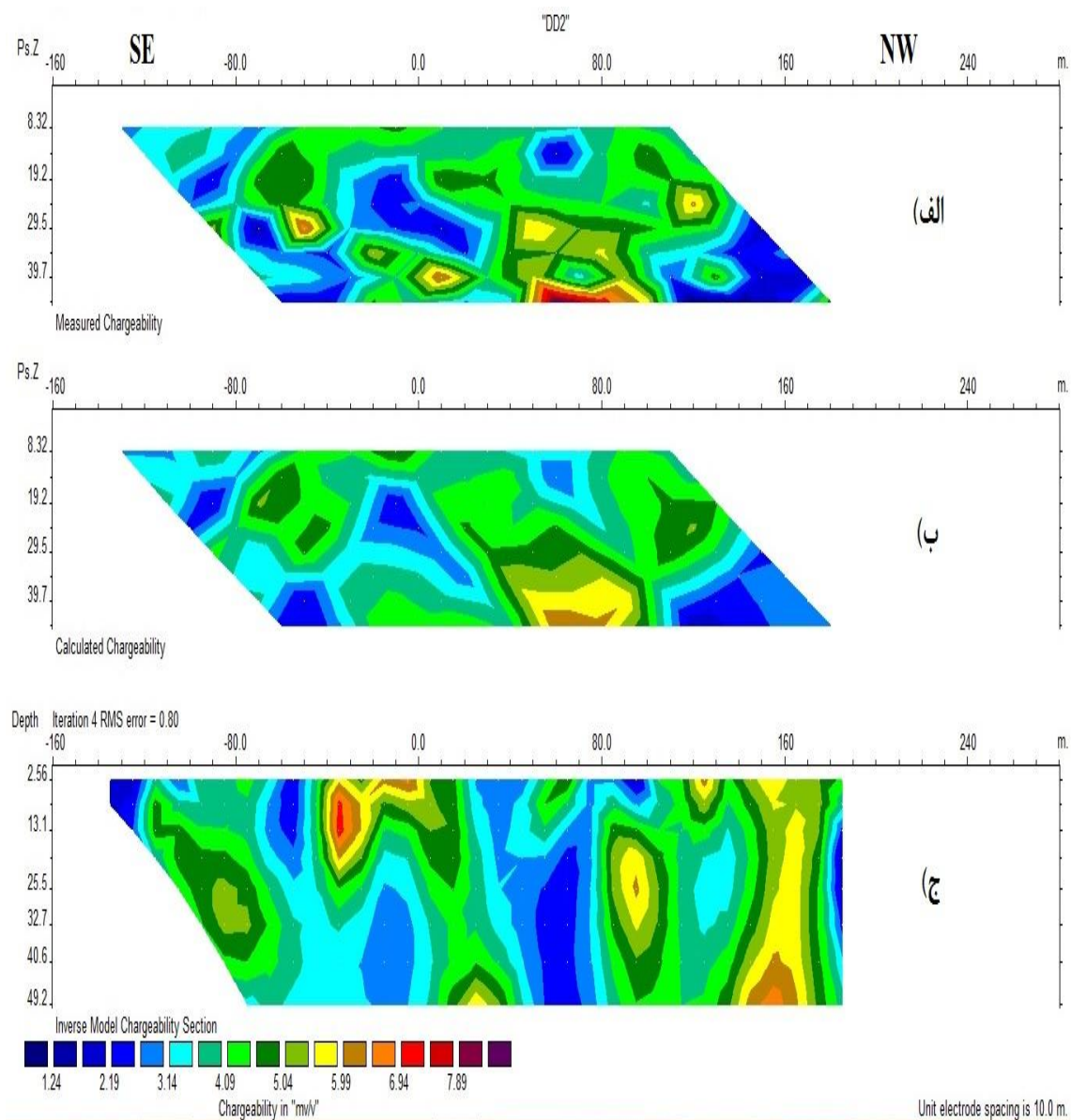
فاصله ۴۵ متری مبدا برداشت به شکل قائم و تا عمق ۲۵ متری از سطح زمین پیشنهاد می‌گردند. محل حفاری چهارم در فاصله ۱۱۵ متری مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۲۵ متری پیشنهاد می‌گردد. حفاری‌های پیشنهادی در محل حفاری‌های دوم، سوم و چهارم مقداری عمیق‌تر در نظر گرفته شده است؛ تا حفاری پیشنهادی مورد نظر حتماً از ماده معدنی گذشته و وارد سنگ درونگیر شود.

پروفیل DD2

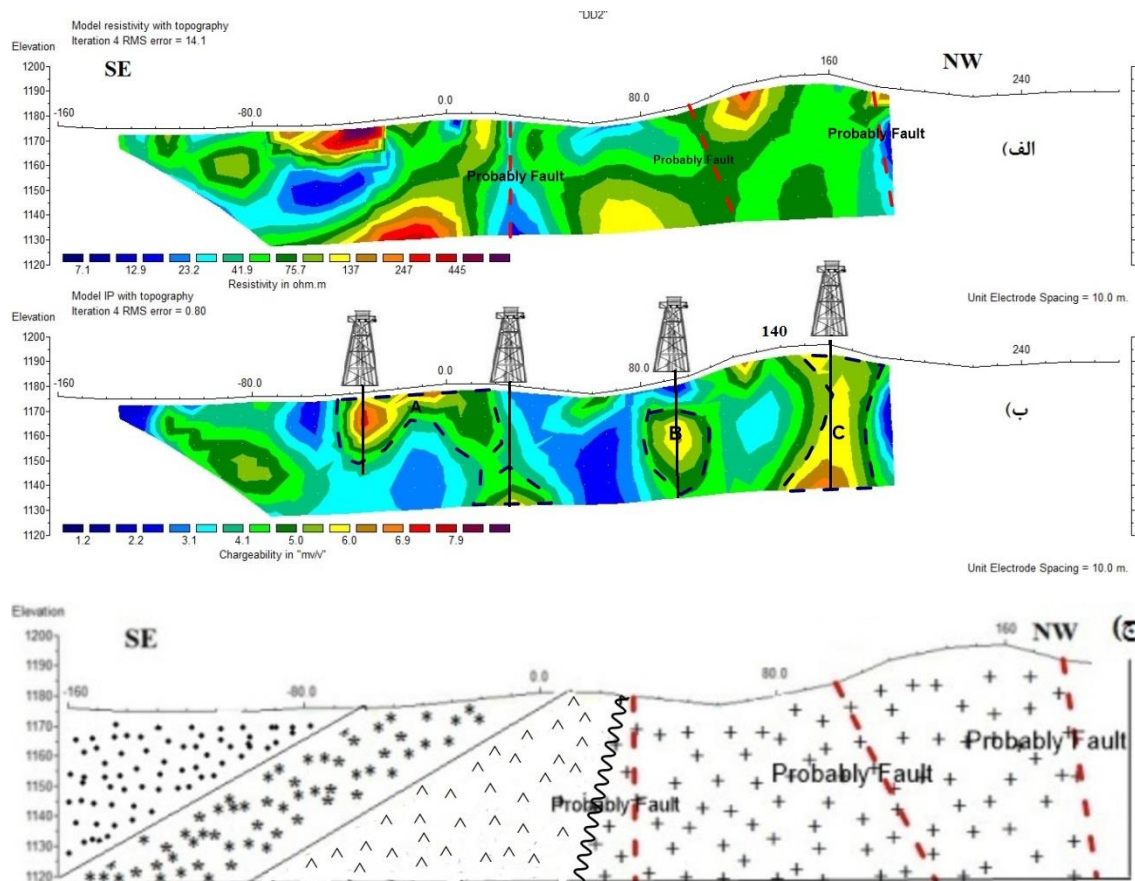
این پروفیل با امتداد شمال غرب- جنوب شرق و به طول تقریبی ۳۴۰ متر و شامل ۱۰۴ نقطه برداشتی می‌باشد. عمق مورد بررسی در این پروفیل در حدود ۵۰ متر می‌باشد. شکل‌های (۴-۱۲ و ۴-۱۳) به ترتیب شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه و IP حاصل از مدل‌سازی وارون مربوط به پروفیل DD2 را نشان می‌دهد. همچنین مقاطع دوبعدی مقاومت‌ویژه و IP حاصل از مدل‌سازی وارون این پروفیل با اعمال تصحیح توپوگرافی به همراه مقطع زمین شناسی در امتداد پروفیل DD2 در شکل (۴-۱۴) آورده شده است. خطای RMS ناشی از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی و IP در نرم افزار RES2DINV به ترتیب برابر ۱/۱۴٪ و ۸/۰٪ در تکرار چهارم است.



شکل (۴-۱۲): شبه مقاطع و مقطع دوبعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون در طول پروفیل DD2، (الف) شبه-مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، (ب) شبه مقطع داده‌های محاسبه شده، (ج) مقطع حاصل از مدل سازی وارون.



شکل (۴-۱۳): شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD2، الف) شبه‌مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، ب) شبه‌مقطع داده‌های محاسبه شده، ج) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون.



Legend:



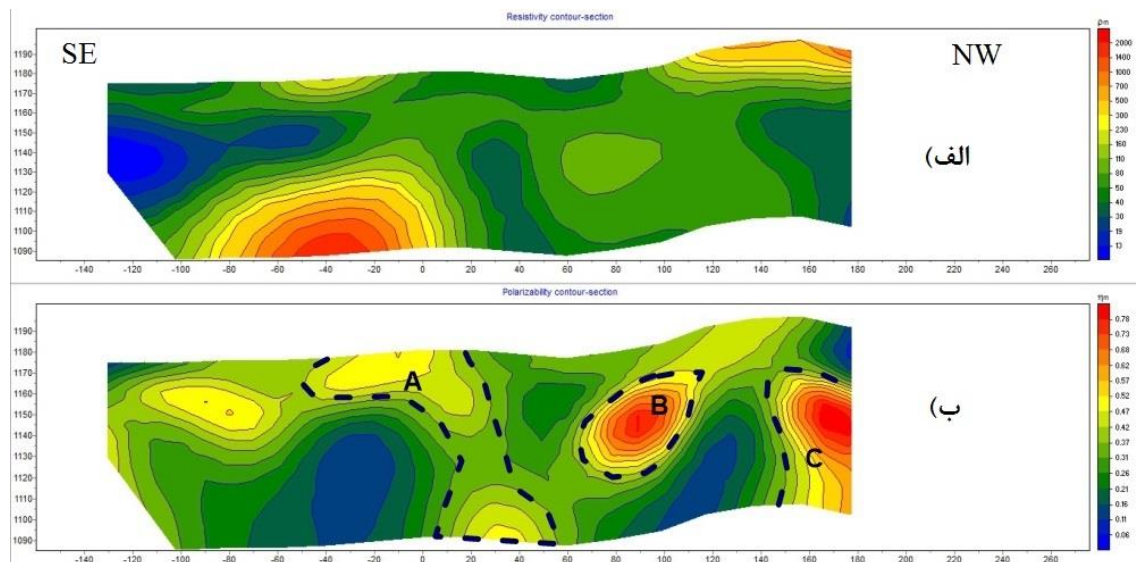
شکل (۴-۱۴): نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD2، (الف) مقطع مقاومت ویژه الکتریکی، (ب) مقطع IP، (ج) مقطع زمین شناسی در امتداد پروفیل DD2

با توجه به شکل (۴-۱۴) که نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP را به همراه مقطع زمین شناسی برای پروفیل DD2 نشان می دهد؛ بی هنجاری احتمالی اول در فاصله ۴۰- تا ۲۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد. گسترش این بی هنجاری در منطقه زیاد بوده و در برخی نقاط مانند ۱۰ متری مبدأ پروفیل یک بی هنجاری سطحی بوده و در برخی نقاط مانند ۲۰ متری مبدأ پروفیل این بی هنجاری عمیق می باشد. عمق این بی هنجاری احتمالی در فاصله ۴۰- متری تا صفر مبدأ پروفیل در حد ۲۰ متر و در زیر ایستگاه ۲۰ متری مبدأ پروفیل عمق گسترش این بی هنجاری به ۴۹ متر می رسد

(بی‌هنجاری A). بنا بر نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه، امکان وجود یک گسل احتمالی در فاصله ۳۰ متری از مبدأ پروفیل وجود دارد؛ که پیمایش‌های صحرایی نیز وجود این گسل معکوس را در منطقه تأیید می‌کند. بر اساس پیمایش‌های صحرایی انجام شده، این بی‌هنجاری در فاصله ۴۰- تا ۱۰ متری مبدأ پروفیل بر روی توالی‌های میکروکنگلومرای دانه‌ریز و دانه درشت قرار دارد؛ ادامه بی‌هنجاری نیز بر روی واحدهای توف شیلی و توف ماسه‌ای قرار دارد. بی‌هنجاری احتمالی دوم برای این پروفیل در فاصله ۹۰ تا ۱۰۰ متری مبدأ برداشت قرار دارد. بیشترین مقدار این بی‌هنجاری در فاصله ۹۵ متری مبدأ پروفیل و در عمق ۲۷ متری از سطح زمین می‌باشد (بی‌هنجاری B). بر اساس پیمایش‌های صحرایی انجام شده در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی واحدهای پیروکسن آندزیت واقع شده است. با توجه به پیمایش‌های صحرایی در منطقه و همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی موجود منطقه یک گسل احتمالی معکوس در فاصله ۱۰۰ متری از مبدأ پروفیل قرار دارد که به احتمال زیاد کانی‌زایی در ارتباط با همین گسل اتفاق افتاده است. بی‌هنجاری احتمالی بعدی در فاصله ۱۵۰ تا ۱۷۵ متری قرار دارد. این بی‌هنجاری در برخی نقاط از سطح زمین شروع شده ولی گسترش اصلی این بی‌هنجاری در عمق می‌باشد. بیشترین مقدار بارپذیری برای این بی‌هنجاری در ۱۶۰ متری مبدأ پروفیل و در عمق ۴۵ متری می‌باشد (بی‌هنجاری C). این بی‌هنجاری نیز بر روی واحدهای پیروکسن آندزیت قرار دارد. با توجه به نتایج مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه، یک گسل احتمالی در فاصله ۱۸۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد که ممکن است کانی‌زایی احتمالی با این گسل مرتبط باشد.

مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در نرم‌افزار ZONDRES2D از لحاظ گستردگی، عمق و مکان جای‌گیری انطباق بسیار خوبی را با مدل‌سازی‌های وارون انجام شده در نرم‌افزار RES2DINV را نشان می‌دهد. بر اساس مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه، بی‌هنجاری A منطبق بر مناطق با مقاومت‌ویژه‌های متوسط و متوسط رو به بالا و بی‌هنجاری B و C منطبق بر مناطق با مقاومت‌ویژه متوسط می‌باشند. البته باید توجه داشت که خطای مدل‌سازی در نرم‌افزار

ZONDRES2D نسبت به نرم افزار RES2DINV بیشتر است. بنابراین تفسیر مقاطع حاصل از نرم افزار RES2DINV از اطمینان بیشتری برخوردار است. شکل (۴-۱۵) نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD2 با استفاده از نرم افزار ZONDRES2D را نشان می دهد.

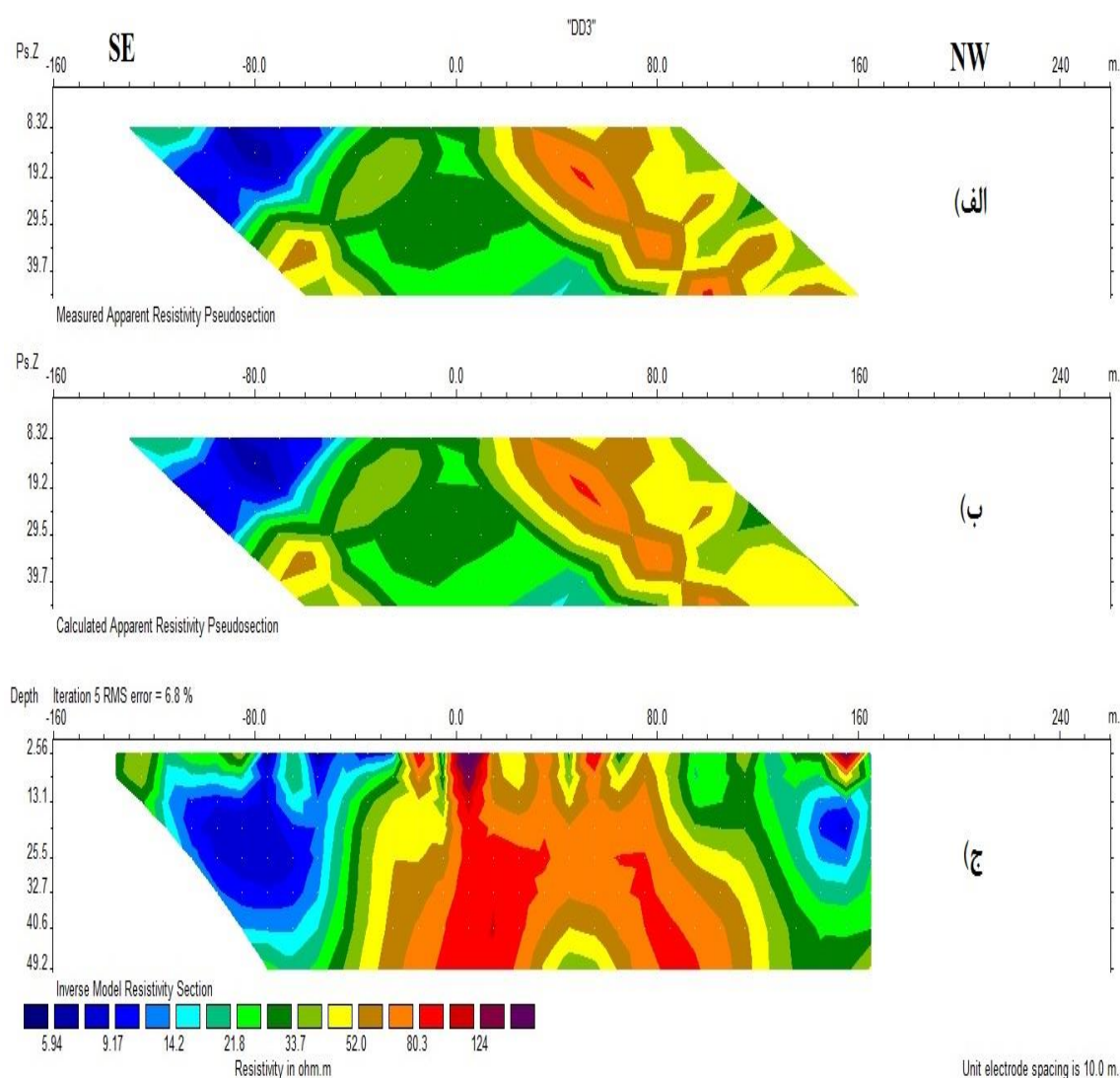


شکل (۴-۱۵): نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD2، الف) مقطع مقاومت ویژه الکتریکی ب) مقطع IP

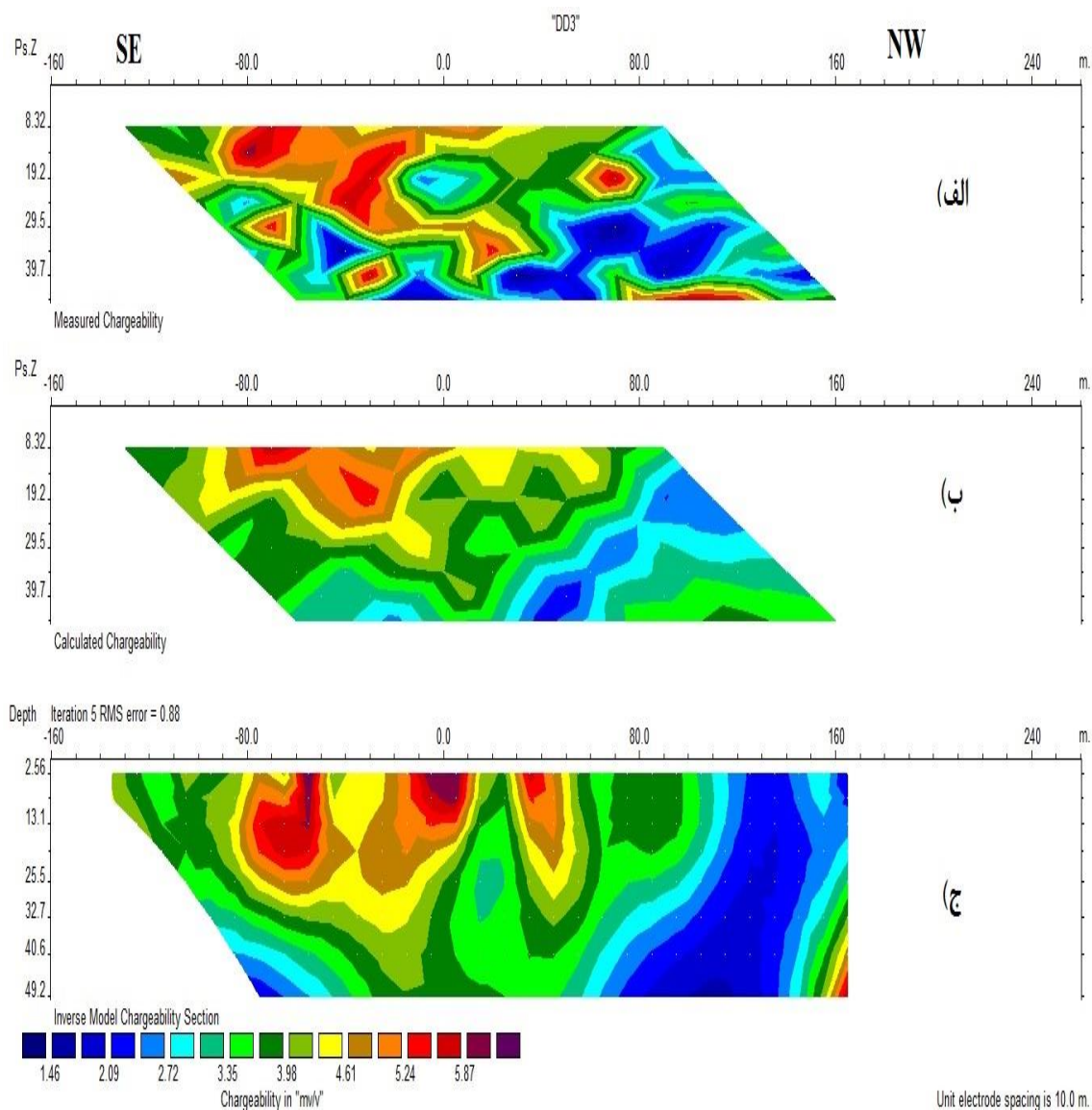
با استفاده از اطلاعات حاصل از مدل سازی وارون داده ها با استفاده از نرم افزار RES2DINV و اعتبار سنجی و مقایسه آن با استفاده از نرم افزار ZONDRES2D و با توجه به مطالعات زمین شناسی در امتداد پروفیل DD2، چهار محل برای حفاری پیشنهاد می شود. محل حفاری اول در فاصله ۳۵- متری مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۳۲ متری پیشنهاد می گردد. محل حفاری دوم در فاصله ۲۵ متری مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۴۹ متری پیشنهاد می شود که هدف اثبات وجود کانی سازی در عمق می باشد محل حفاری سوم در فاصله ۹۵ متری مبدأ پروفیل و به شکل قائم تا عمق ۴۹ متری پیشنهاد می شود. محل حفاری چهارم در فاصله ۱۶۰ متری مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۴۹ متری پیشنهاد می گردد.

پروفیل DD3

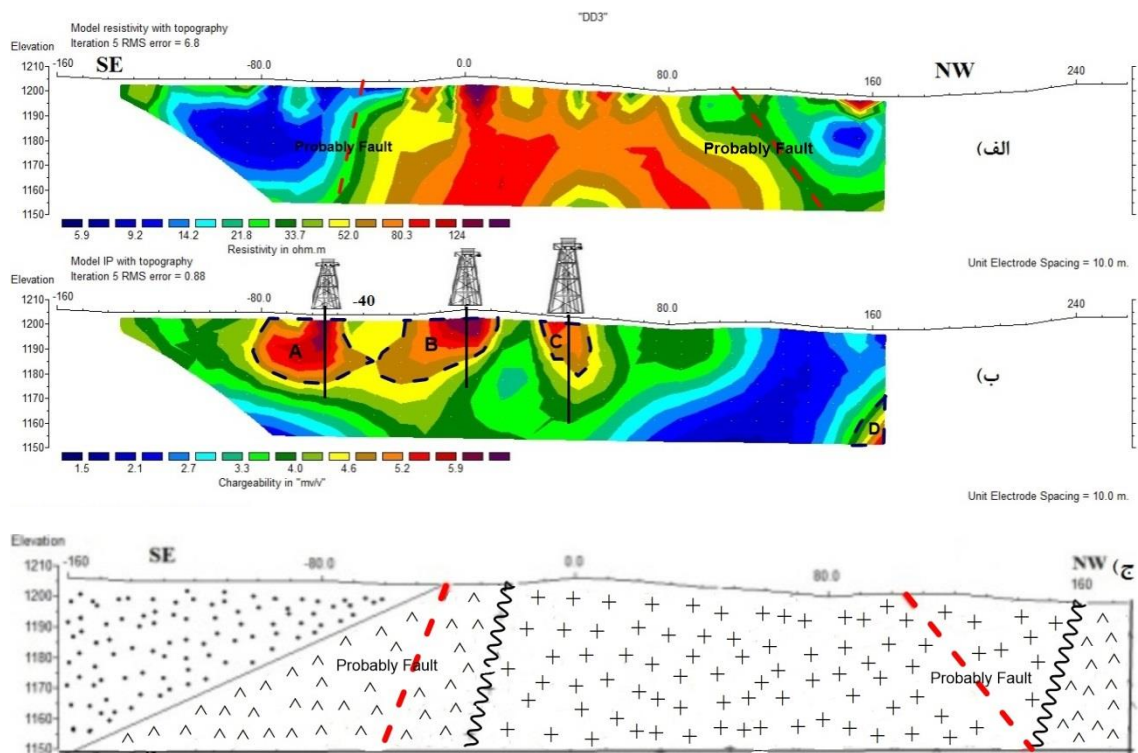
این پروفیل با امتداد شمال غرب- جنوب شرق و به طول تقریبی ۳۰۰ متر و شامل ۹۶ نقطه برداشتی می باشد. شبه مقطع و مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و IP حاصل از مدل سازی وارون این پروفیل در شکل های (۴-۱۶ و ۴-۱۷) نشان داده شده است. همچنین مقاطع دوبعدی مقاومت ویژه و IP حاصل از مدل سازی وارون این پروفیل با اعمال تصحیح توپوگرافی به همراه مقطع زمین شناسی در امتداد پروفیل در شکل (۴-۱۸) آورده شده است. خطای RMS ناشی از مدل سازی داده های مقاومت ویژه الکتریکی و IP در نرم افزار RES2DINV به ترتیب برابر ۰/۶٪ و ۰/۸۸٪ در تکرار پنجم است.



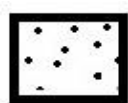
شکل (۴-۱۶): شبه مقاطع و مقطع دوبعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون در طول پروفیل DD3، (الف) شبه-مقطع داده های اندازه گیری شده، (ب) شبه مقطع داده های محاسبه شده، (ج) مقطع حاصل از مدل سازی وارون.



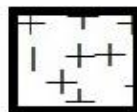
شکل (۴-۱۷): شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD3، (الف) شبه‌مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، (ب) شبه‌مقطع داده‌های محاسبه شده، (ج) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون.



Legend:



رسوبات کواترنری



پیروکسن آندزیت



توف شیلی و توف ماسه‌ای

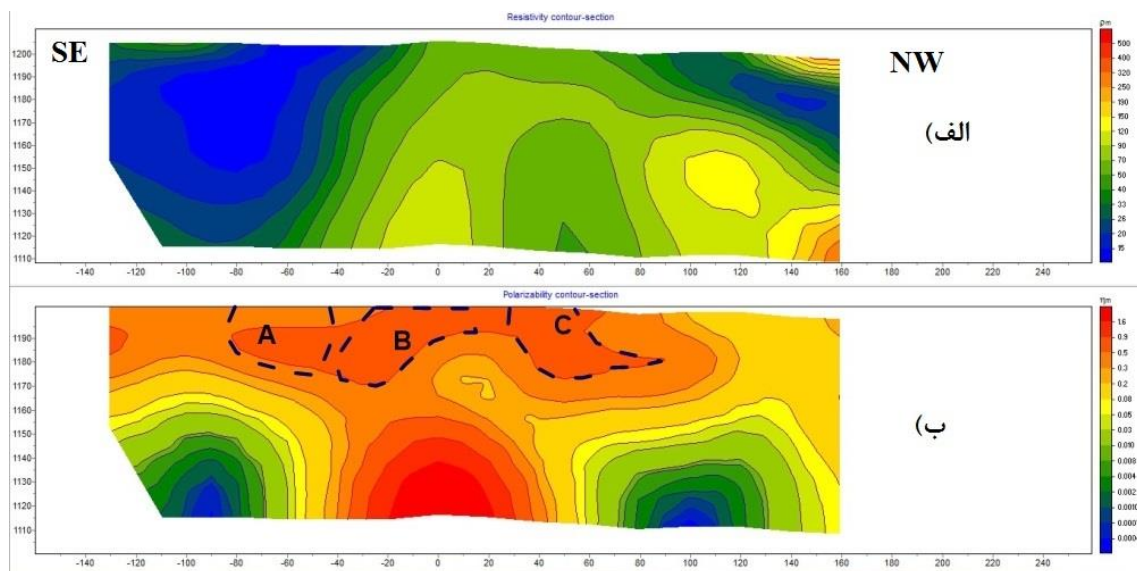
شکل (۴-۱۸): نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD3، (الف) مقطع مقاومت‌ویژه الکتریکی، (ب) مقطع IP، (ج) مقطع زمین‌شناسی در امتداد پروفیل DD3

نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP به همراه مقطع زمین‌شناسی در امتداد پروفیل DD3 در شکل (۴-۱۸) نشان داده شده است. بنابر این نتایج سه بی‌هنجاری نیمه عمیق در منطقه وجود دارد. بی‌هنجاری احتمالی اول در فاصله ۸۰- تا ۴۵- متری مبدأ پروفیل قرار دارد. بیشترین مقدار این بی‌هنجاری در فاصله ۵۵- متری مبدأ پروفیل واقع شده است. این بی‌هنجاری تا عمق ۲۵ متری از سطح زمین ادامه دارد که پیمایش‌های صحرایی وجود رخنمون‌های ماده معدنی را در محل این بی‌هنجاری تأیید می‌کند (بی‌هنجاری A). با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه، در محل حضور این بی‌هنجاری مقادیر مقاومت‌ویژه بسیار پایین (در حد زیر ۲۰

اهم‌تر) می‌باشند. بر اساس پیمایش‌های صحرایی انجام شده در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی واحدهای توف شیلی و ماسه‌ای و آبرفت‌های کواترنری یا همان پادگانه‌های آبرفتی بلند و قدیمی قرار دارد. بی‌هنجاری احتمالی بعدی در فاصله بسیار کمی نسبت به بی‌هنجاری احتمالی قبلی و در محل‌هایی حتی مرتبط با بی‌هنجاری احتمالی قبلی اتفاق افتاده‌است. این بی‌هنجاری در فاصله ۲۵- تا ۱۵ متری مبدأ پروفیل قرار دارد. بیشترین مقدار این بی‌هنجاری در زیر ایستگاه صفر پروفیل و در نزدیک سطح زمین می‌باشد که پیمایش‌های صحرایی صورت گرفته در منطقه نیز کانی‌سازی‌های سطحی مس در این نقاط را تأیید می‌کند (بی‌هنجاری B). با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه، این بی‌هنجاری بر روی واحدهای با مقاومت‌ویژه نسبتاً بالا قرار دارد. بر اساس پیمایش‌های صحرایی صورت گرفته در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی واحدهای پیروکسن آندزیتی قرار دارد. یک گسل احتمالی در فاصله ۴۰- متری مبدأ پروفیل قرار دارد که به احتمال زیاد کانی‌زایی‌های مس در بی‌هنجاری‌های احتمالی A و B در ارتباط با همین گسل بوده باشد. بی‌هنجاری احتمالی سوم در فاصله ۳۰ تا ۵۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد. این بی‌هنجاری از سطح زمین شروع شده و تقریباً تا عمق ۳۵ متری ادامه دارد. بیشترین مقدار این بی‌هنجاری در ۴۰ متری مبدأ پروفیل و در نزدیک سطح زمین (عمق ۲ متری از سطح زمین) می‌باشد (بی‌هنجاری C). این بی‌هنجاری بر روی واحد پیروکسن آندزیت قرار دارد. یک بی‌هنجاری احتمالی دیگر در فاصله ۱۶۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد که جزء بی‌هنجاری‌های عمیق محسوب می‌شود (که از عمق تقریبی ۴۰ متری شروع می‌شود) و بر اساس پیمایش‌های صحرایی صورت گرفته، بر روی واحدهای توف شیلی قرار دارد؛ از آنجا که اطلاعات دقیقی از روند و گسترش این بی‌هنجاری احتمالی در منطقه وجود ندارد؛ این بی‌هنجاری نسبت به سایر بی‌هنجاری‌ها در اولویت‌های بعدی حفاری پروفیل DD3 قرار می‌گیرد (بی‌هنجاری D).

مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های IP در نرم‌افزار ZONDRES2D، وجود بی‌هنجاری‌های احتمالی A، B و C را در منطقه تأیید می‌کند اما بی‌هنجاری احتمالی چهارم به کل در منطقه حذف

شده است. مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی در نرم‌افزار ZONDRES2D انطباق بسیار خوبی با مدل‌سازی وارون مقاومت‌ویژه الکتریکی در نرم‌افزار RES2DINV دارد. بر اساس شکل (۴-۱۹) که نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD3 با استفاده از نرم‌افزار ZONDRES2D را نشان می‌دهد؛ بی‌هنجاری A بر روی واحدهای با مقاومت‌ویژه پایین قرار دارد که می‌تواند مربوط به قرارگیری آن بر روی واحدهای توف شیلی و ماسه‌ای و پادگانه‌های آبرفتی بلند و قدیمی و یا وجود زون آلتراسیون در سطح باشد؛ بی‌هنجاری B و C بر روی واحدهای با مقاومت‌ویژه نسبتاً بالا قرار دارد که می‌تواند مربوط به قرارگیری آن بر روی واحدهای پیروکسن آندزیتی باشد.



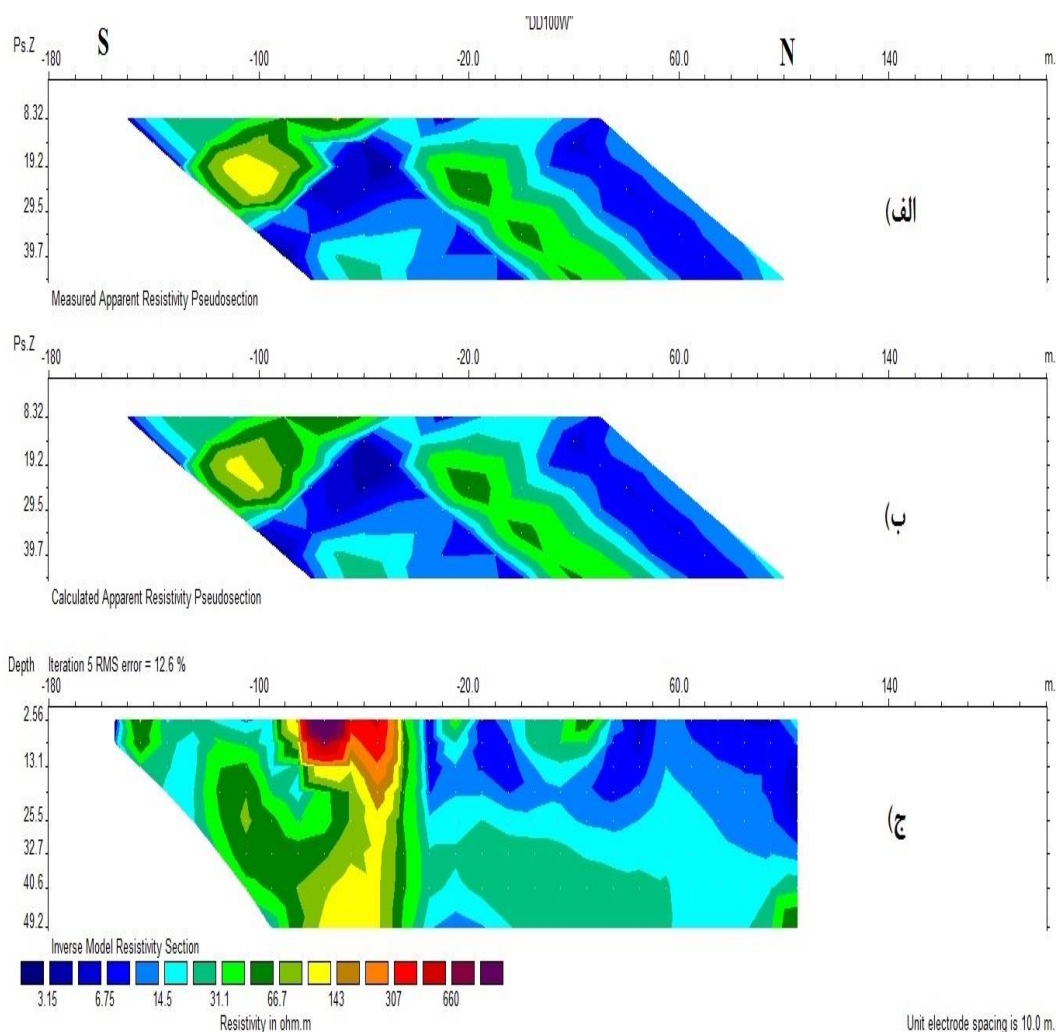
شکل (۴-۱۹) : نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD3، الف) مقطع مقاومت‌ویژه الکتریکی ب) مقطع IP

با توجه به مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP برای این پروفیل و همچنین مطالعات زمین-شناسی انجام شده، سه محل برای حفاری در این منطقه بر روی این پروفیل پیشنهاد می‌شود. محل حفاری پیشنهادی اول در ۵۵- متری مبدأ پروفیل و به شکل قائم پیشنهاد می‌شود. با توجه به این که هدف بررسی تغییرات عمقی این بی‌هنجاری می‌باشد عمق گمانه ۳۲ متر پیشنهاد می‌شود. محل حفاری پیشنهادی دوم در ایستگاه صفر پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۲۸ متری پیشنهاد می‌شود

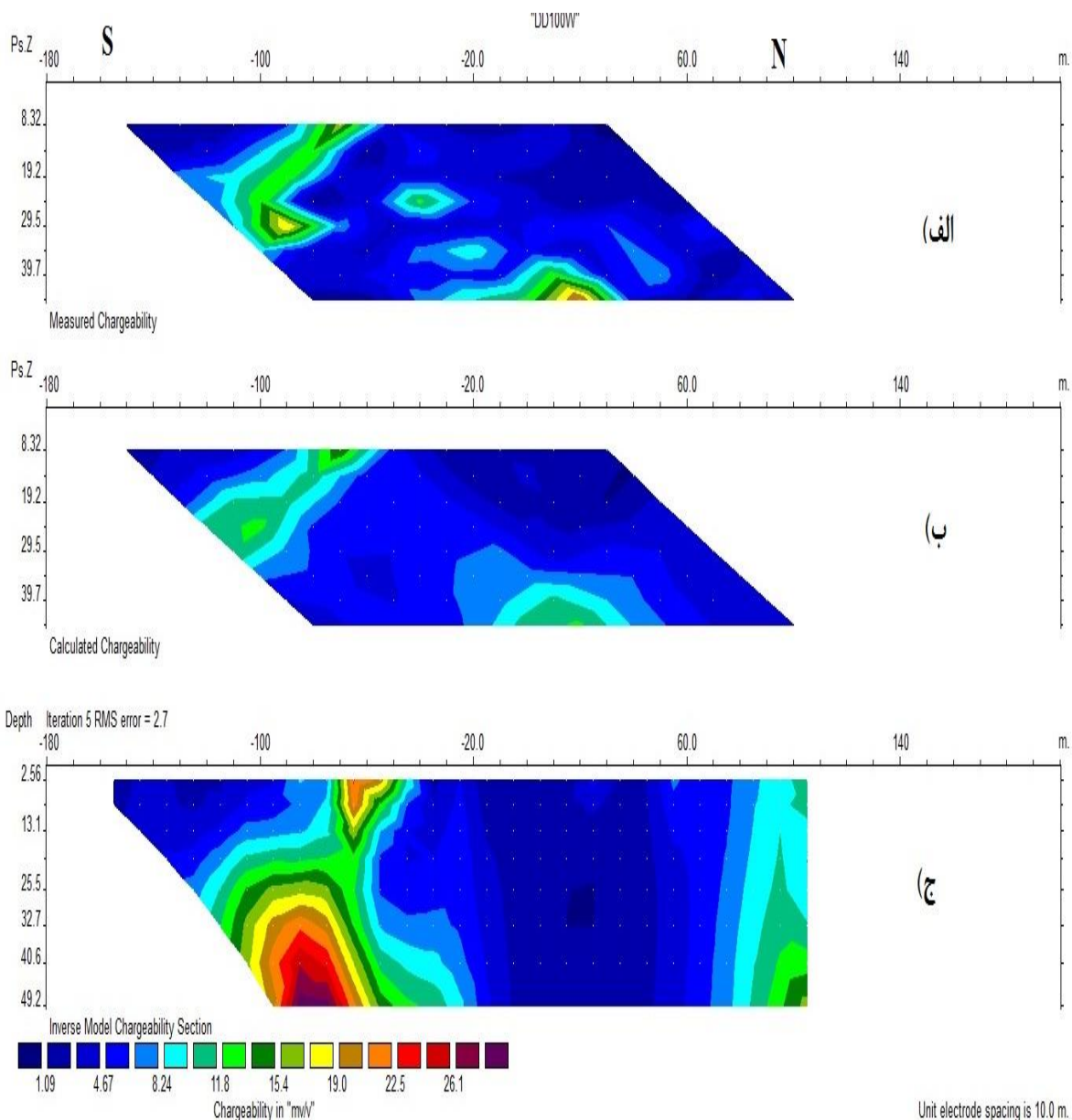
محل حفاری پیشنهادی سوم در فاصله ۴۰ متری مبدأ پروفیل و به شکل قائم تا عمق ۴۰ متری پیشنهاد می‌شود.

پروفیل DD100w

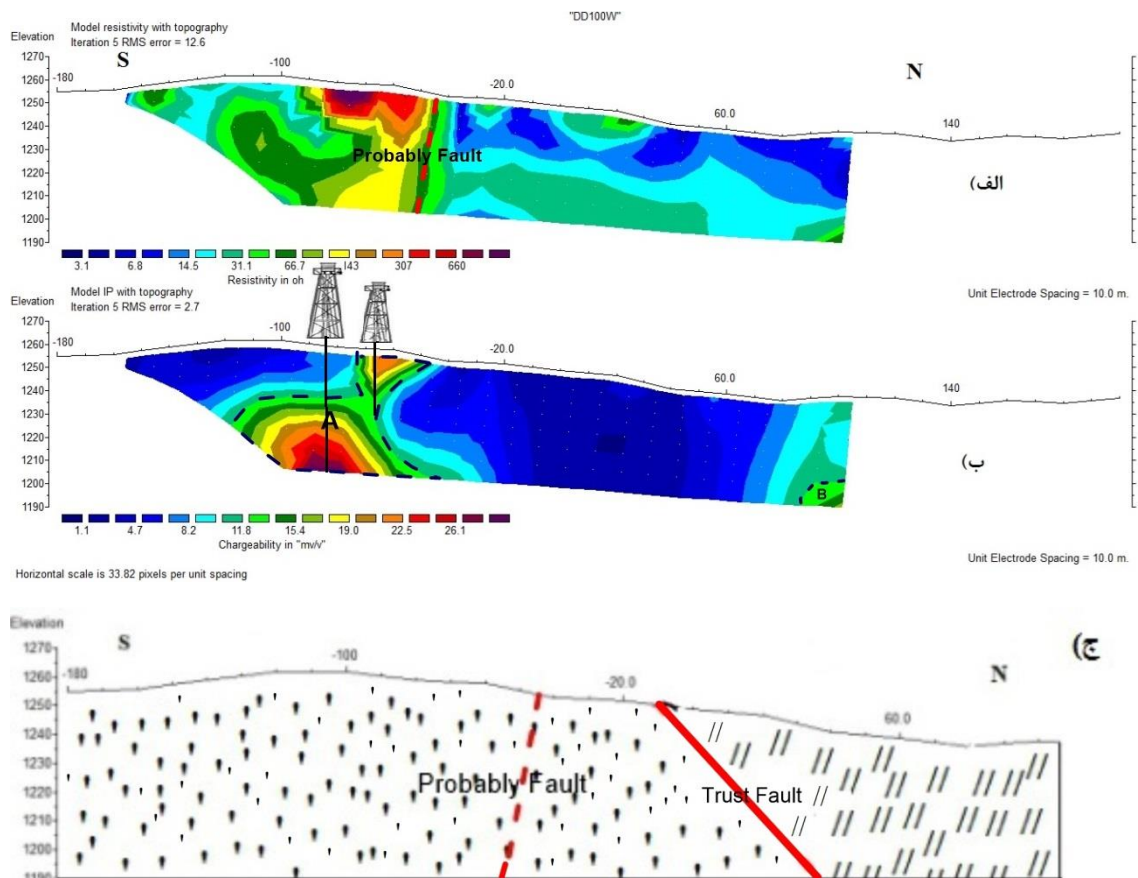
این پروفیل با امتداد شمالی- جنوبی به طول تقریبی ۲۶۰ متر و شامل ۸۰ نقطه برداشت می‌باشد. شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه و IP حاصل از مدل‌سازی وارون مربوط به این پروفیل به ترتیب در شکل‌های (۴-۲۰ و ۴-۲۱) نشان داده شده است. همچنین مقاطع دوبعدی مقاومت‌ویژه و بارپذیری حاصل از مدل‌سازی وارون این پروفیل با اعمال تصحیح توپوگرافی به‌همراه مقطع زمین‌شناسی در امتداد پروفیل DD100w در شکل (۴-۲۲) آورده شده است. خطای RMS ناشی از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی و IP در نرم افزار RES2DINV به‌ترتیب برابر ۱۲/۶٪ و ۲/۷٪ در تکرار پنجم است.



شکل (۴-۲۰): شبه‌مقاطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD100w، الف) شبه‌مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، ب) شبه‌مقطع داده‌های محاسبه شده، ج) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون.



شکل (۴-۲۱): شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD100w، (الف) شبه‌مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، (ب) شبه‌مقطع داده‌های محاسبه شده، (ج) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون.



Legend:



آهک ماسه‌ای



ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سارن

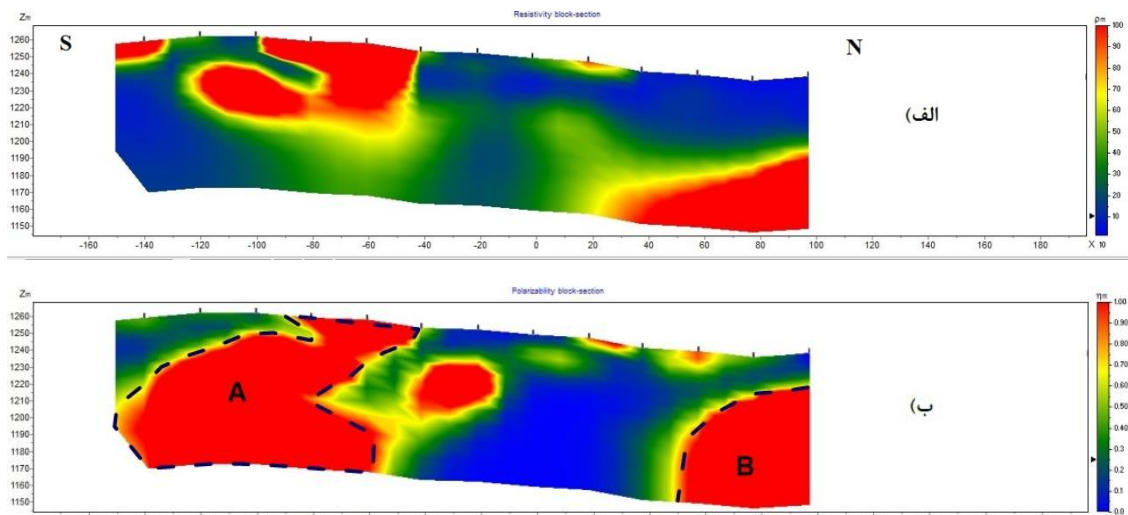
شکل (۴-۲۲): نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD100w. (الف) مقطع مقاومت‌ویژه الکتریکی، (ب) مقطع IP؛ (ج) مقطع زمین‌شناسی در امتداد پروفیل DD100w

نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP به‌همراه مقطع زمین‌شناسی پروفیل DD100w در شکل (۴-۲۲) نشان می‌دهد؛ یک بی‌هنجاری احتمالی مهم در منطقه وجود دارد. این بی‌هنجاری در فاصله ۱۱۰- تا ۵۰- متری مبدأ پروفیل قرار دارد. این بی‌هنجاری در برخی نقاط از سطح زمین شروع شده (زیر ایستگاه ۶۰- متری مبدأ پروفیل) و در برخی نقاط تا عمق ۴۹ متری ادامه پیدا می‌کند. بیشترین مقدار این بی‌هنجاری در ۹۰- متری مبدأ پروفیل و در عمق ۴۸ متری قرار دارد (بی‌هنجاری A). با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه، یک

گسل احتمالی در فاصله ۴۵- متری مبدأ پروفیل قرار دارد که می‌تواند با کانی‌سازی احتمالی این بی-هنجاری مرتبط باشد. مقادیر مقاومت‌ویژه در محل حضور این بی‌هنجاری بالا می‌باشد که با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه، بی‌هنجاری بر روی واحدهای آهک ماسه‌ای قرار گرفته است. لیتولوژی در فاصله ۱۰- متری مبدأ پروفیل تغییر پیدا می‌کند و از فاصله ۱۰- تا ۱۴۰ متری مبدأ پروفیل بر روی واحدهای ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن قرار می‌گیرد که از نظر مقاومت‌ویژه مقاومت‌ویژه نسبتاً پایینی را از خود به نمایش می‌گذارند.

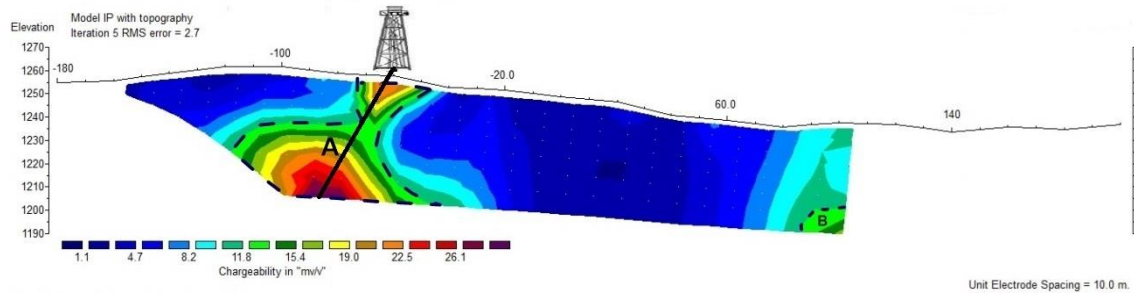
یک بی‌هنجاری احتمالی کوچک در فاصله ۱۰۰ متری از مبدأ پروفیل و در عمق ۴۷ متری وجود دارد که البته با توجه به نبود اطلاعات کامل از گسترش این بی‌هنجاری و با توجه به قرارگیری آن در گوشه مقطع (نرم افزار RES2DINV به دلیل بزرگی سلول در مدل‌سازی حاشیه‌ها و گوشه‌های کناری مدل تهیه شده دقت کم‌تری دارد) این بی‌هنجاری در اولویت‌های بعدی اکتشافی مورد توجه قرار می‌گیرد (بی‌هنجاری B).

مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در نرم‌افزار ZONDRES2D از لحاظ گستردگی، عمق و جایگیری انطباق بسیار خوبی با مدل‌سازی‌های وارون انجام شده با نرم‌افزار RES2DINV را نشان می‌دهد (بی‌هنجاری‌های A و B مشخص شده در شکل (۴-۲۲ و ۴-۲۳)). بر اساس شکل (۴-۲۳) که نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD100W با استفاده از نرم‌افزار ZONDRES2D را نشان می‌دهد؛ بی-هنجاری احتمالی A بر روی واحدهای با مقاومت‌ویژه نسبتاً بالا قرار دارد که می‌تواند مربوط به قرارگیری آن بر روی واحدهای آهک ماسه‌ای باشد. بی‌هنجاری B نیز به دلیل قرارگیری آن در گوشه مقطع و نبود اطلاعات کافی از گسترش آن در اولویت‌های بعدی اکتشافی نسبت به سایر بی‌هنجاری‌های موجود در محدوده اکتشافی مورد نظر قرار می‌گیرد.



شکل (۴-۲۳): نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD100W، الف) مقطع مقاومت ویژه الکتریکی، ب) مقطع IP

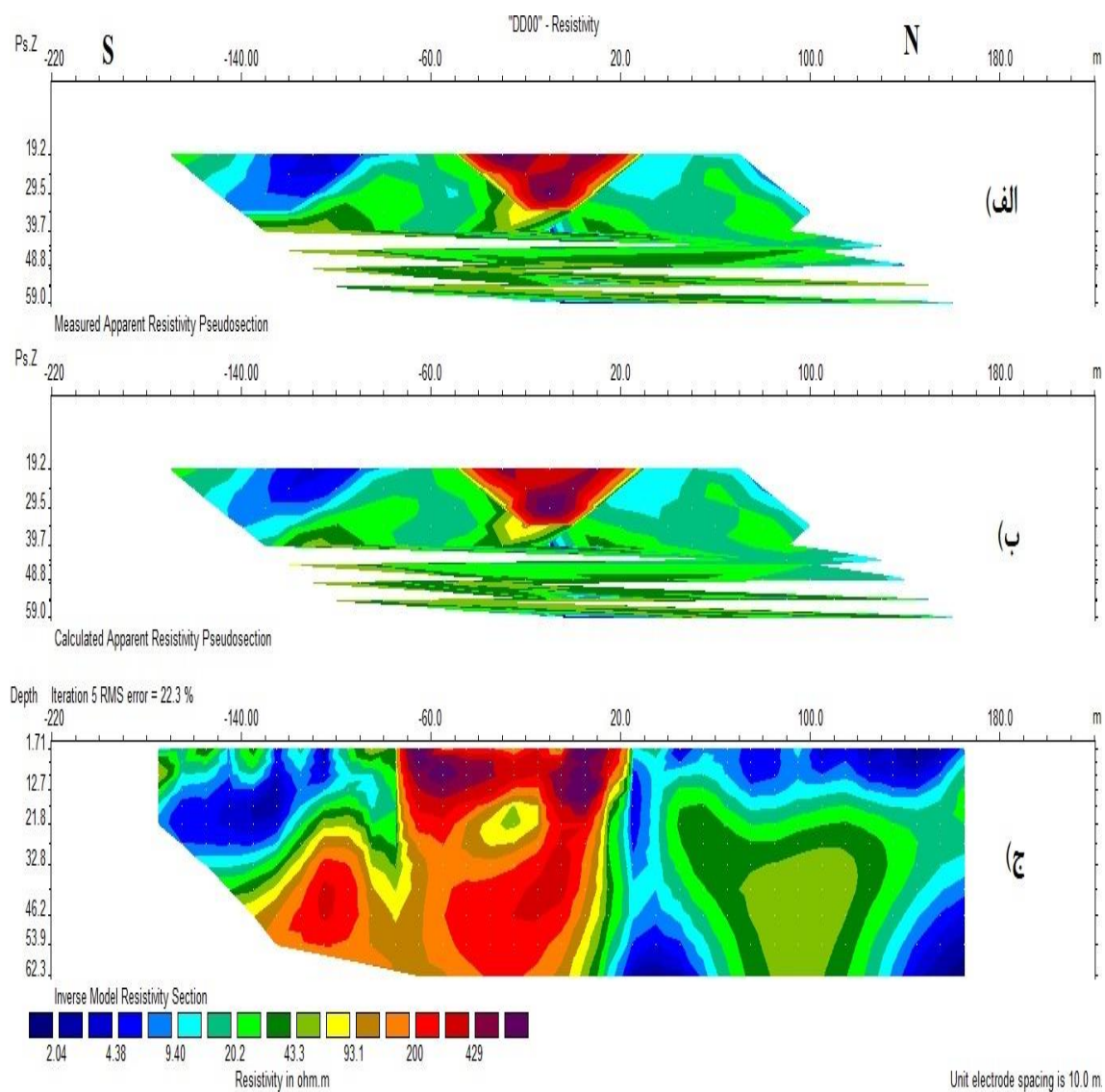
با توجه به مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP برای این پروفیل و همچنین مطالعات زمین شناسی انجام شده، دو محل برای حفاری در امتداد این پروفیل پیشنهاد می گردد؛ محل حفاری اول در فاصله ۶۵- متری مبدأ پروفیل به صورت قائم و تا عمق ۲۵ متری از سطح زمین پیشنهاد می شود. توجه به این نکته ضروری است که چون این بی هنجاری سطحی می باشد؛ لذا لازم است برای کاهش ریسک حفاری، بی هنجاری مورد نظر، توسط پیمایش های صحرایی در امتداد پروفیل تأیید گردد؛ که پیمایش های صحرایی صورت گرفته در امتداد پروفیل کانی سایی سطحی مس را در محل بی هنجاری مورد نظر تأیید کرده است. محل حفاری دوم در فاصله ۸۵- متری مبدأ پروفیل به صورت قائم و تا عمق ۴۹ متری از سطح زمین پیشنهاد می گردد. همچنین بنا به نظر شخصی کارفرما برای این پروفیل، می توان به جای دو محل حفاری قائم، یک محل حفاری شیب دار در فاصله ۶۰- متری مبدأ پروفیل با زاویه تقریبی ۷۰ درجه نسبت به سطح زمین و تا عمق ۴۹ متری پیشنهاد داد؛ تا هر دو بی هنجاری سطحی و عمقی را پوشش دهد شکل (۴-۲۴).



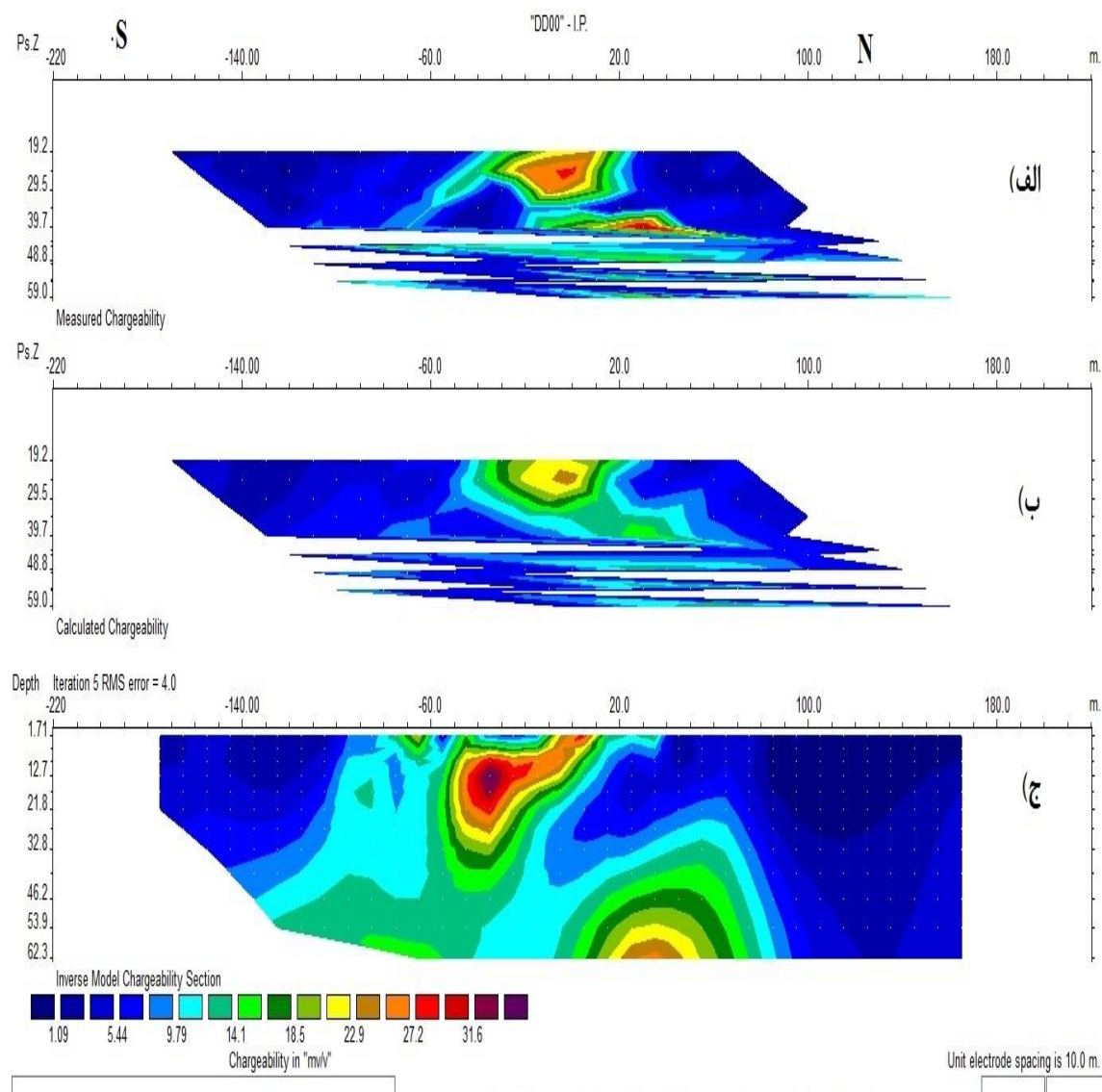
شکل (۴-۲۴): نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های IP برای پروفیل DD100w به همراه محل حفاری شیب‌دار پیشنهادی.

پروفیل DD00

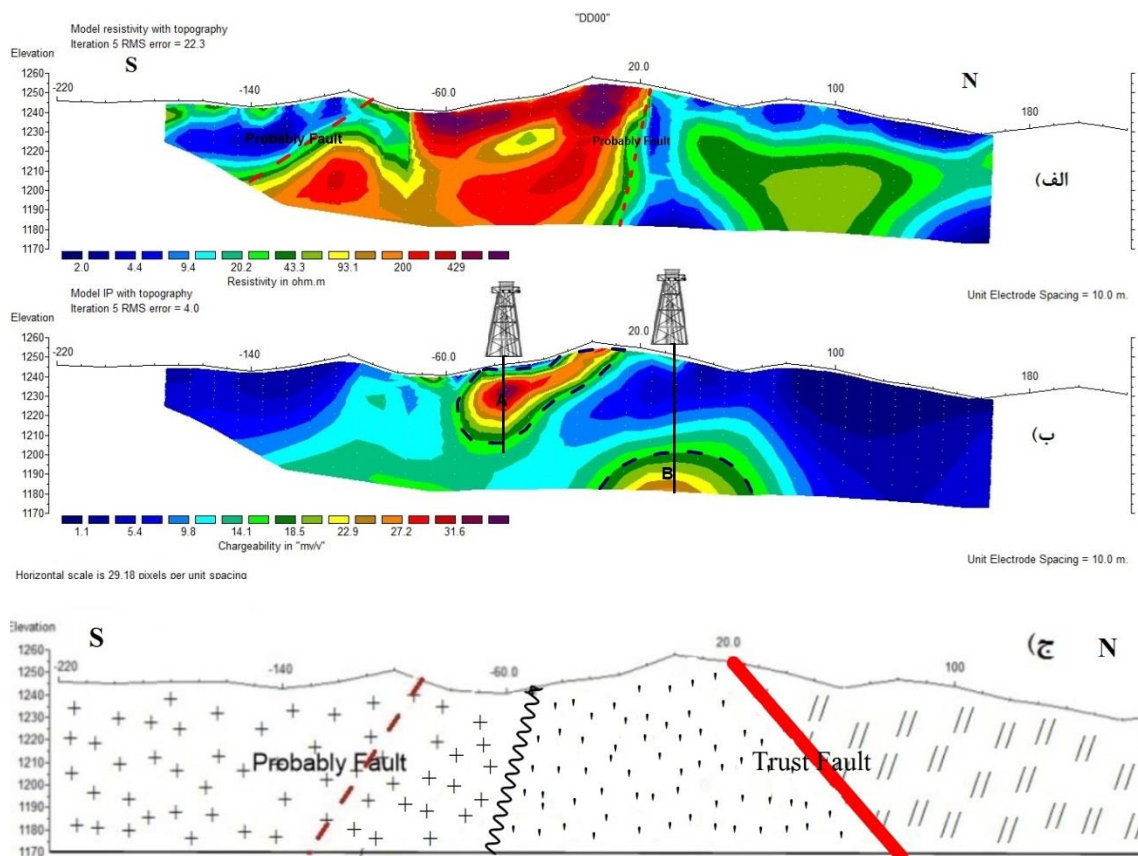
این پروفیل با راستای شمالی-جنوبی به طول تقریبی ۳۲۰ متر و شامل ۱۰۰ نقطه برداشت می‌باشد. برای این پروفیل فاصله الکترودهای پتانسیل ۲۰ و ۴۰ متر می‌باشد؛ به همین دلیل برای ایجاد فایل ورودی برای نرم‌افزار RES2DINV در نرم‌افزار Surfer از آرایه عمومی برای فراخوانی داده‌ها استفاده شده‌است. گپ‌های ایجاد شده در شبه‌مقاطع و مقاطع دوبعدی مقاومت‌ویژه الکتریکی و IP ناشی از عدم وجود داده برداشتی در آن نقاط می‌باشد که در مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون این گپ‌ها توسط نرم‌افزار درون‌یابی شده‌اند. شکل‌های (۴-۲۵ و ۴-۲۶) به ترتیب شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه و IP حاصل از مدل‌سازی وارون مربوط به این پروفیل را نشان می‌دهد. همچنین مقاطع دوبعدی مقاومت‌ویژه و بارپذیری حاصل از مدل‌سازی وارون این پروفیل با اعمال تصحیح توپوگرافی در شکل (۴-۲۷) آورده شده‌است. به‌طور کلی، روش اساسی در مدل‌سازی توسط نرم‌افزار RES2DINV، انتخاب مدل، برای مقاومت‌ویژه و IP هایی است که؛ میزان خطای RMS مربوط به آن‌ها، در تکرارهای انجام شده توسط نرم‌افزار تغییر اساسی نکرده باشد و این موضوع معمولاً در سومین تا پنجمین تکرار اتفاق می‌افتد. خطای RMS ناشی از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی و IP در نرم‌افزار RES2DINV به‌ترتیب برابر ۲۲/۳٪ و ۴٪ در تکرار پنجم است.



شکل (۴-۲۵): شبه‌مقاطع و مقطع دوبعدی مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD00، (الف) شبه‌مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، (ب) شبه‌مقطع داده‌های محاسبه شده، (ج) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون.



شکل (۴-۲۶): شبه‌مقطع و مقطع دوبعدی IP حاصل از مدل‌سازی وارون در طول پروفیل DD00، (الف) شبه‌مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، (ب) شبه‌مقطع داده‌های محاسبه شده، (ج) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون.



Legend:



شکل (۴-۲۷): نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD00، (الف) مقطع مقاومت ویژه الکتریکی، (ب) مقطع IP (ج) مقطع زمین شناسی در امتداد پروفیل DD00

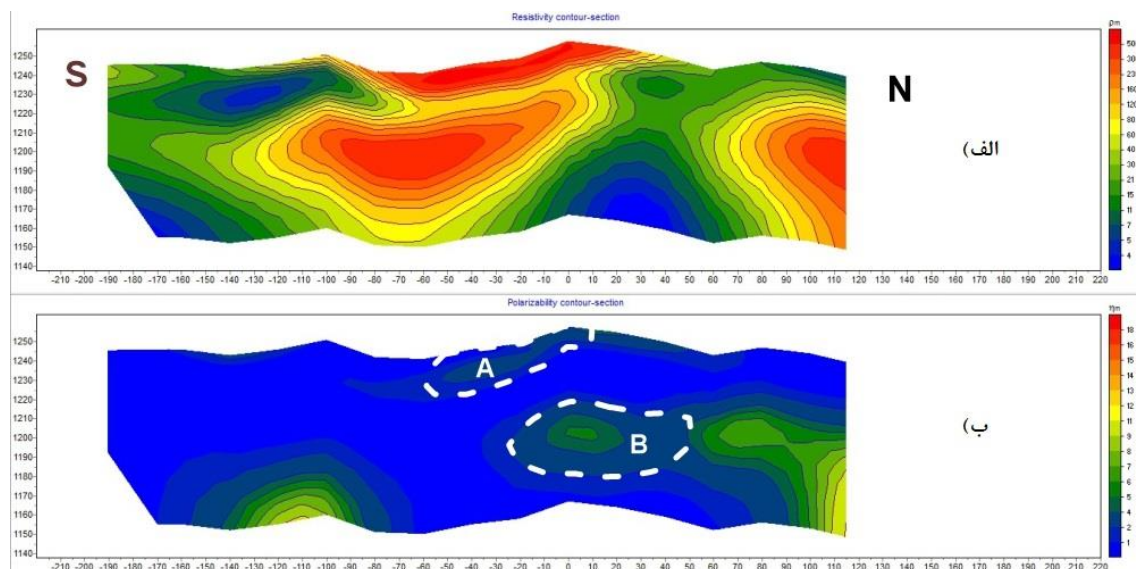
نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی به همراه مقطع زمین شناسی در امتداد پروفیل DD00 در نرم افزار RES2DINV در شکل (۴-۲۷) نشان داده شده - است. دو بی هنجاری احتمالی بر روی این پروفیل در منطقه وجود دارد. بی هنجاری احتمالی اول در فاصله ۵۰- تا ۱۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد. این بی هنجاری در برخی نقاط مانند نقطه صفر پروفیل از سطح زمین شروع شده و تا عمق تقریبی ۲۲ متری از سطح زمین ادامه دارد. بیشترین مقدار این بی هنجاری در فاصله ۳۵- متری مبدأ پروفیل و در عمق ۱۵ متری از سطح زمین قرار دارد

(بی‌هنجاری A). بر اساس پیمایش‌های صحرایی انجام شده، این بی‌هنجاری در مرز تغییرات لیتولوژی از واحد ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن به واحد آهک ماسه‌ای شروع شده و گسترش آن در داخل واحد آهک ماسه‌ای می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه در فاصله ۲۰ متری از مبدأ پروفیل یک گسل احتمالی وجود دارد که البته با توجه به این‌که دقیقاً در این نقطه لیتولوژی از آهک ماسه‌ای به ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن تغییر پیدا کرده‌است احتمال می‌رود کانی-زایی در این منطقه در ارتباط با این گسل احتمالی باشد. بی‌هنجاری احتمالی دوم در فاصله ۲۰ تا ۶۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد. این بی‌هنجاری عمیق بوده و از عمق تقریبی ۴۵ متری شروع شده و تا عمق نهایی برداشت یعنی ۶۲ متری ادامه پیدا می‌کند. در مورد گسترش بیشتر این بی‌هنجاری اطلاعاتی در دسترس نیست (بی‌هنجاری B). بر اساس پیمایش‌های صحرایی انجام شده، این بی‌هنجاری در داخل واحدهای ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن قرار دارد؛ که با توجه به گزارشات زمین-شناسی منطقه یک بخشی از کانی‌زایی در منطقه در توالی سنگ‌شناسی واحدهایی مانند کنگلومرا و شیل اتفاق افتاده است. این بی‌هنجاری نیز مانند بی‌هنجاری قبلی ممکن است در ارتباط با گسل احتمالی باشد که در فاصله ۲۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه یک گسل احتمالی در ۹۰- متری پروفیل مشخص شده است.

مقادیر مقاومت‌ویژه در واحد آهک ماسه‌ای نسبتاً بالا می‌باشد و این مقادیر بالاتر از ۱۰۰ اهم‌متر در منطقه گزارش شده است. مقادیر مقاومت‌ویژه در واحدهای ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن نسبتاً کم بوده و این مقادیر زیر ۱۰۰ اهم‌متر در منطقه برداشت شده است. به‌طوری که تغییرات لیتولوژی از واحد آهک ماسه‌ای به واحد ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن از روی شکل حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه کاملاً قابل تشخیص است.

مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه در نرم‌افزار ZONDRES2D، هم‌خوانی بسیار خوبی با مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه در نرم‌افزار RES2DINV را نشان می‌دهد. مقاطع

حاصل از مدل سازی وارون داده های IP در نرم افزار ZONDRES2D نیز در حالت کلی انطباق قابل قبولی را با مدل سازی وارون داده های IP در نرم افزار RES2DINV را نشان می دهد. بر اساس مدل سازی وارون انجام شده در نرم افزار ZONDRES2D، بی هنجاری احتمالی A منطبق بر واحدهای با مقاومت ویژه نسبتاً بالا می باشد که می تواند مربوط به لیتولوژی آهک ماسه ای منطقه باشد؛ بی- هنجاری احتمالی B منطبق بر واحدهای با مقاومت ویژه نسبتاً پایین می باشد که می تواند مربوط به لیتولوژی ماسه سنگ، کنگلومرا و مارن موجود در منطقه و یا وجود زون آلتراسیون در سطح باشد. شکل (۴-۲۸) نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در امتداد پروفیل DD00 با استفاده از نرم افزار ZONDRES2D را نشان می دهد.



شکل (۴-۲۸) : نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD00، الف) مقطع مقاومت ویژه الکتریکی، ب) مقطع IP

با توجه به مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و IP برای این پروفیل و همچنین مطالعات زمین شناسی انجام شده، دو محل حفاری در منطقه پیشنهاد می شود. محل حفاری اول در فاصله ۳۵ متری مبدأ پروفیل و به صورت قائم پیشنهاد می شود. با توجه به این که انتهای بی هنجاری باز می باشد؛ برای این که وجود این بی هنجاری در منطقه تأیید شود حفاری تا عمق ۶۲ متری پیشنهاد می شود.

محل حفاری دوم در ۳۵- متری از مبدأ پروفیل به صورت قائم تا عمق ۴۶ متری از سطح زمین پیشنهاد می شود.

۴-۶ نقاط حفاری پیشنهادی

بر اساس مطالعات ژئوفیزیکی شامل مدل سازی وارون دوبعدی برای هر پروفیل برای داده های مقاومت ویژه و IP با استفاده از دو نرم افزار RES2DINV و ZONDRES2D و سپس تحلیل و تفسیر نتایج حاصل از مدل سازی های وارون دوبعدی و تطبیق این نتایج با مطالعات زمین شناسی منطقه نقاط حفاری پیشنهادی به شرح جدول (۴-۲) ارائه می گردد.

جدول (۴-۲): مشخصات نقاط پیشنهادی برای حفاری‌های اکتشافی

فاصله تقریبی محل حفاری از مبدأ پروفیل (m)	طول و عرض جغرافیایی (UTM)	عمق تقریبی حفاری (m)	شیب گمانه نسبت به سطح زمین (درجه)	گمانه پیشنهادی	پروفیل برداشت
-۴۰	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۷۶۰	۴۵	۹۰	BH-A	DD1
+۱۵	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۸۱۵	۲۵	۹۰	BH-B	DD1
+۴۵	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۸۴۵	۲۵	۹۰	BH-C	DD1
+۱۱۵	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۹۱۵	۲۵	۹۰	BH-D	DD1
-۳۵	X: ۵۶۰۲۳۰ Y: ۳۹۱۵۴۹۸	۳۲	۹۰	BH-A	DD2
+۲۵	X: ۵۶۰۱۷۴ Y: ۳۹۱۵۵۳۱	۴۹	۹۰	BH-B	DD2
+۹۵	X: ۵۶۰۱۰۶ Y: ۳۹۱۵۵۷۶	۴۹	۹۰	BH-C	DD2
+۱۶۰	X: ۵۶۰۰۵۴ Y: ۳۹۱۵۶۱۵	۴۹	۹۰	BH-D	DD2
-۵۵	X: ۵۶۱۴۸۸ Y: ۳۹۱۶۲۵۶	۳۲	۹۰	BH-A	DD3
.	X: ۵۶۱۴۵۳ Y: ۳۹۱۶۲۹۶	۲۸	۹۰	BH-B	DD3
+۴۰	X: ۵۶۱۴۲۶ Y: ۳۹۱۶۳۲۱	۴۰	۹۰	BH-C	DD3
-۶۵	X: ۵۶۰۳۹۰ Y: ۳۹۱۸۰۵۵	۲۵	۹۰	BH-A	DD100w
-۸۵	X: ۵۶۰۳۹۰ Y: ۳۹۱۸۰۳۵	۴۹	۹۰	BH-B	DD100w
-۳۵	X: ۵۶۰۴۹۰ Y: ۳۹۱۸۰۶۵	۴۶	۹۰	BH-A	DD00
+۳۵	X: ۵۶۰۴۹۰ Y: ۳۹۱۸۱۳۵	۶۲	۹۰	BH-B	DD00

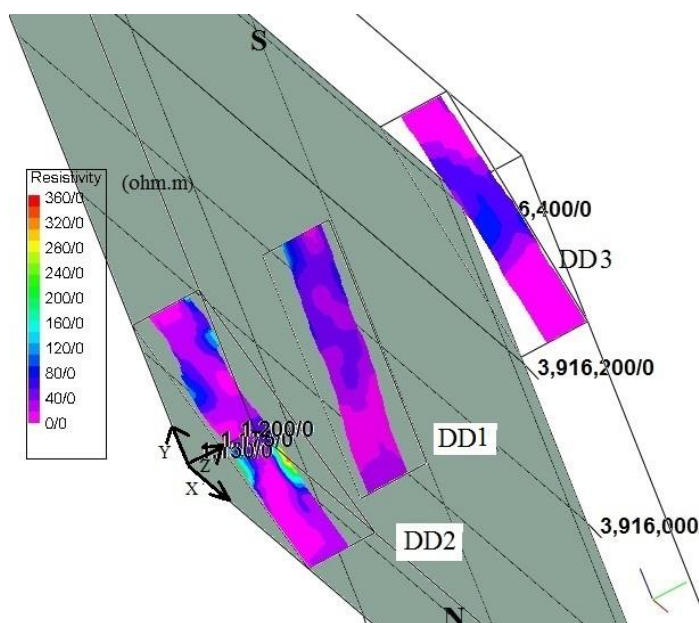
۷-۴ تهیه نمودارهای نرده‌ای برای پروفیل‌ها بر اساس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در

نرم‌افزار RockWorks

برای تهیه نمودارهای نرده‌ای برای هر پروفیل، با استفاده از نرم‌افزار RockWorks از روش‌های ریاضی زیر استفاده شده است.

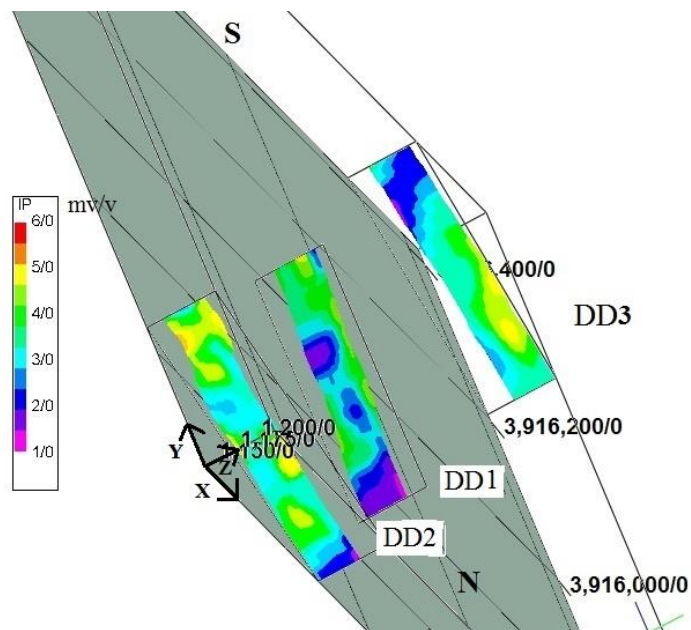
الف) روش نزدیک‌ترین نقاط^۱

روش نزدیک‌ترین نقاط، نزدیک‌ترین نقطه به هر گره یا نقطه تلاقی در شبکه را مشخص می‌کند. این روش زمانی سودمند است که داده‌ها با فواصل یکسان برداشت شده باشند [Chin-shung and Szu-pyng, 2000]. نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در شکل‌های (۴-۲۹ و (۴-۳۰) برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 و نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های مقاومت‌ویژه و IP برای پروفیل‌های DD00 و DD100w در شکل‌های (۴-۳۱ و (۴-۳۲) نشان داده شده است.

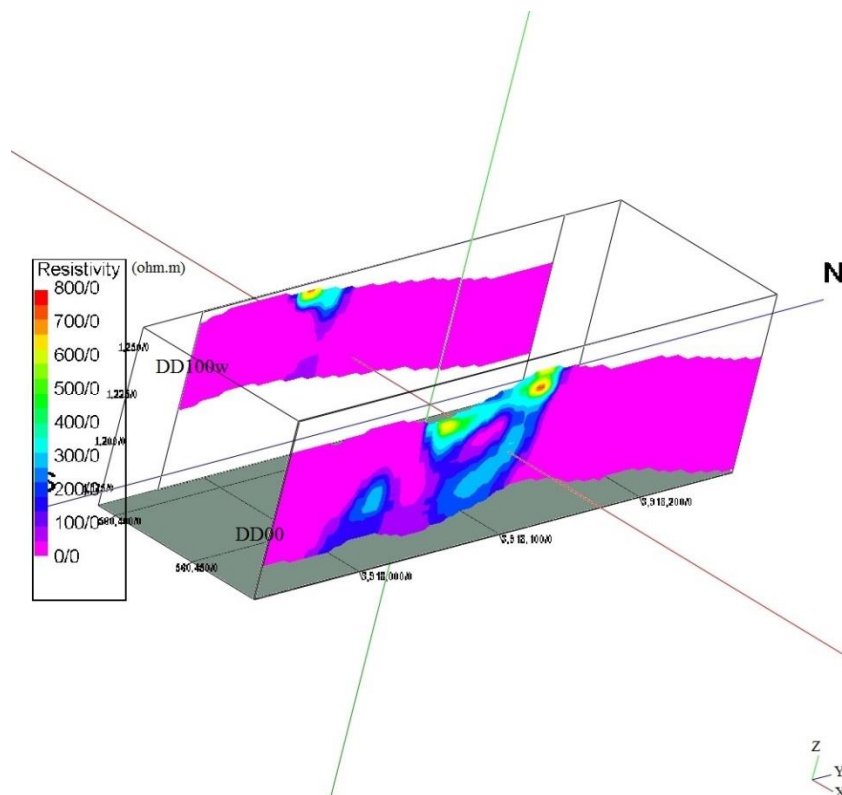


شکل (۴-۲۹): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط برای پروفیل‌های DD3 و DD2، DD1

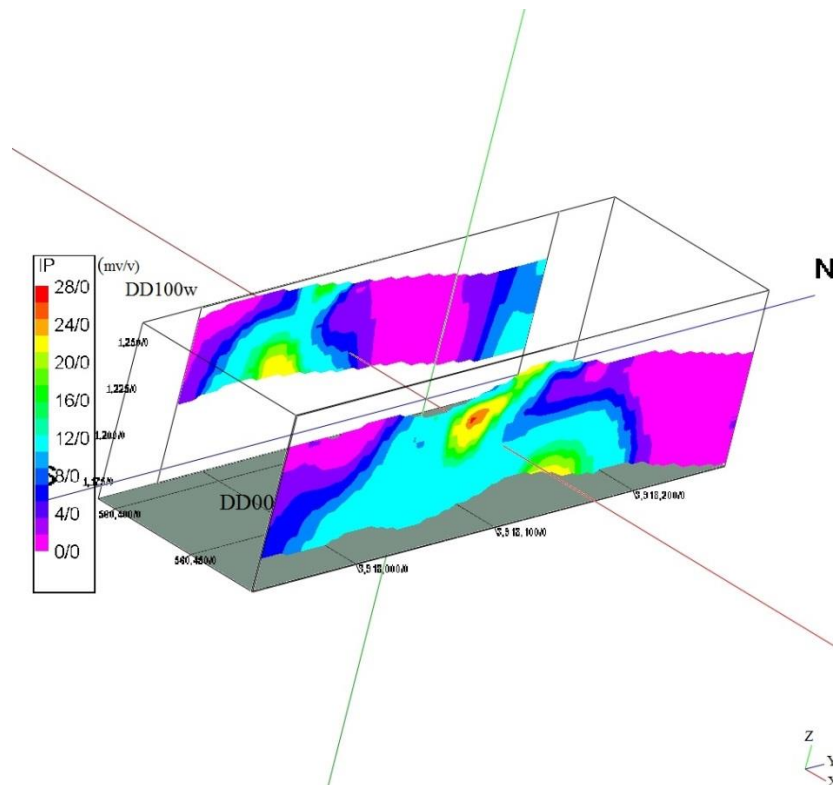
¹Closet Point



شکل (۴-۳۰): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3



شکل (۴-۳۱): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط برای پروفیل‌های DD00 و DD100w



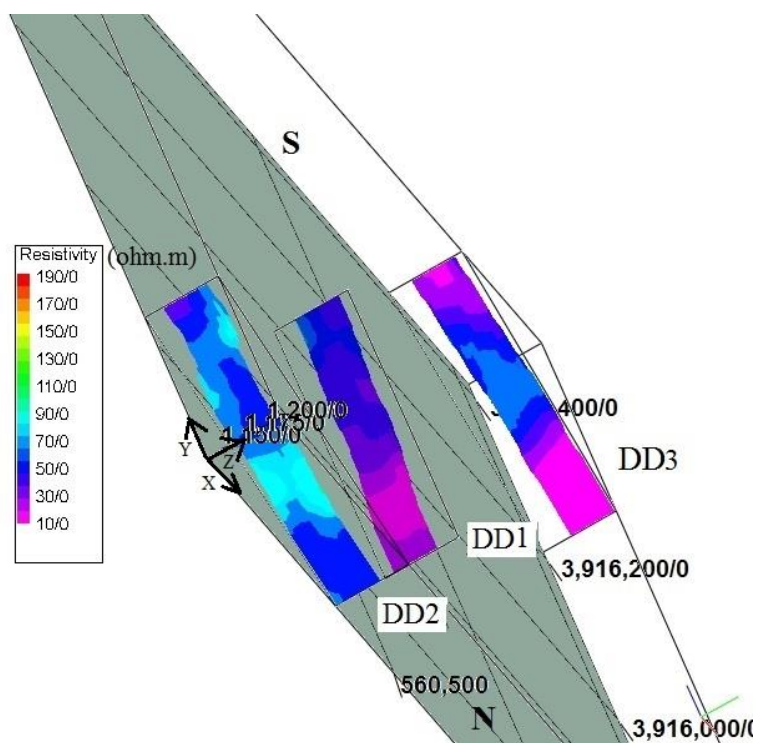
شکل (۴-۳۲) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط برای پروفیل‌های DD00 و DD100w

(ب) روش عکس فاصله وزنی همسانگرد^۱

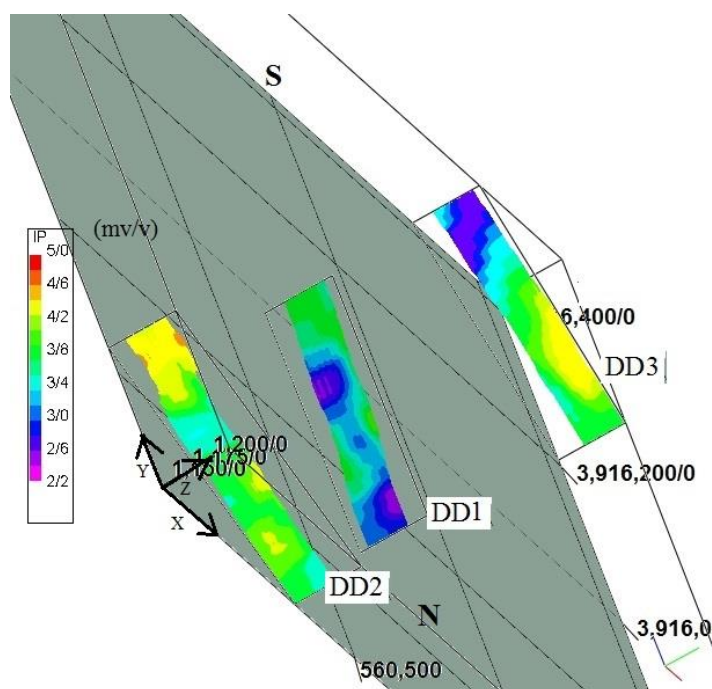
در روش عکس فاصله همسانگرد از تمام نقاط در دسترس در هنگام محاسبه ارزش یک نقطه استفاده می‌شود. وزن داده‌ها مطابق با مجذور عکس فاصله آن‌ها از نقاط دیگر تعیین می‌شود. این روش زمانی مفید است که داده‌ها به‌طور یکنواخت در محیط غیر چینه‌ای توزیع شده باشد [محمدي، ۱۳۹۲].

شکل‌های (۴-۳۳ و ۴-۳۴) نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های مقاومت‌ویژه و IP برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 را نشان داده‌است. نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های مقاومت‌ویژه و IP برای پروفیل‌های DD00 و DD100w در شکل‌های (۴-۳۵ و ۴-۳۶) نشان داده شده است.

¹ Inverse Distance Weighting Isotropic



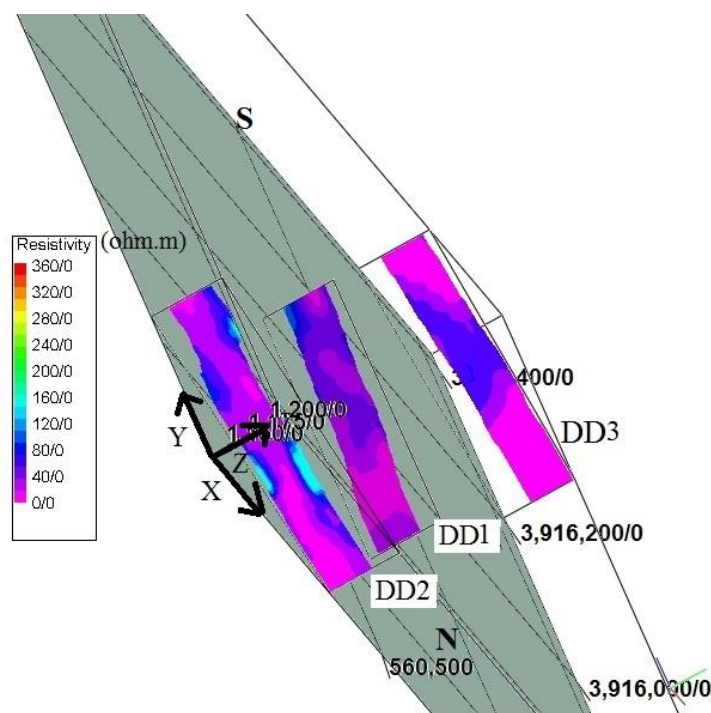
شکل (۴-۳۳) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله وزنی همسانگرد برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3



شکل (۴-۳۴) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله وزنی همسانگرد برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3

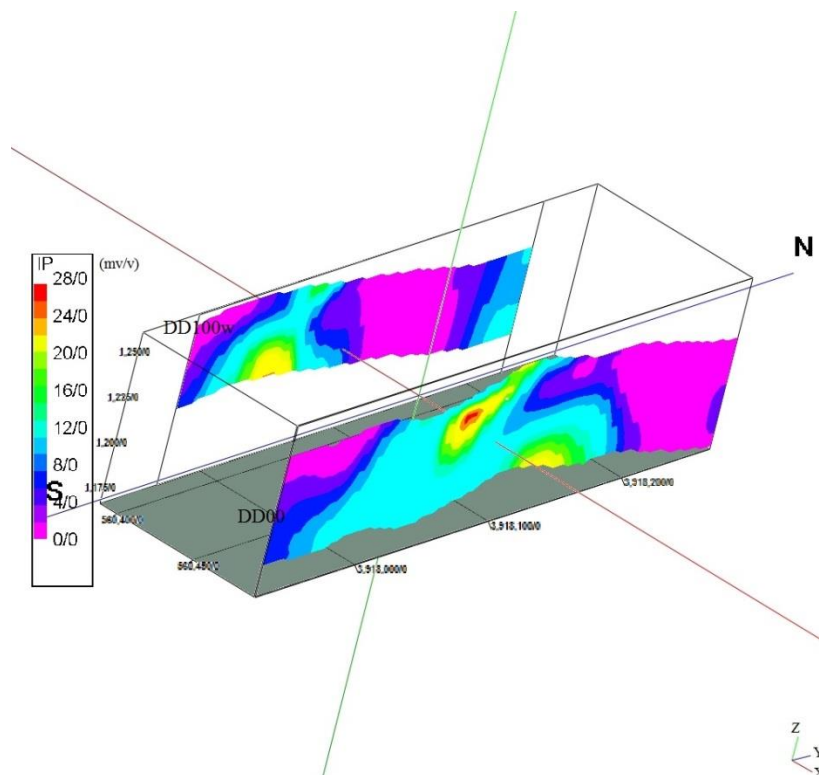
ج) روش عکس فاصله وزنی ناهمسانگرد^۱

در هنگام محاسبه ارزش یک نقطه از نقاط نزدیک به آن نقطه استفاده می‌کند؛ که این نقاط در زاویه جستجوی ۹۰ درجه در اطراف نقطه مورد نظر قرار دارند. این نوع جستجوی جهتی می‌تواند درونیابی ارزش نقاطی که بین داده‌ها قرار گرفته‌اند را بهبود بخشد [محمدی، ۱۳۹۲]. شکل‌های (۴-۳۷ و ۴-۳۸) نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های مقاومت‌ویژه و IP برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 را نشان داده است. نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های مقاومت‌ویژه و IP برای پروفیل‌های DD00 و DD100w در شکل‌های (۴-۳۹ و ۴-۴۰) نشان داده شده است.



شکل (۴-۳۷) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله وزنی ناهمسانگرد برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3

¹ Inverse Distance Weighting Anisotropic



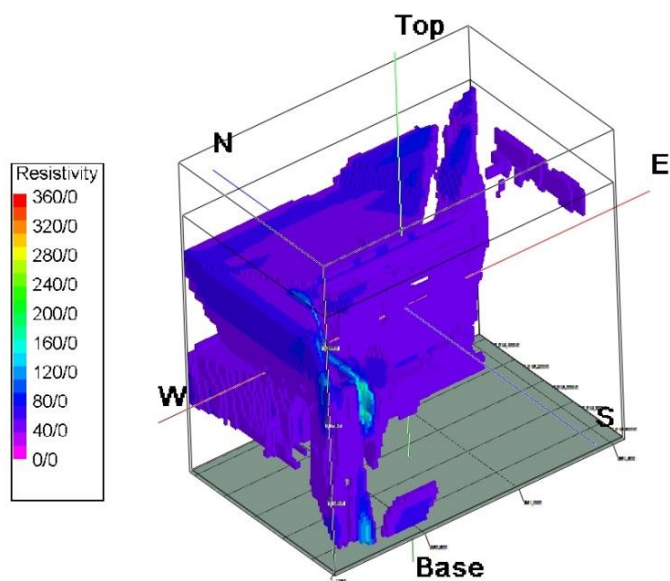
شکل (۴-۴۰) : نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله وزنی ناهمسانگرد برای پروفیل‌های DD100w و DD00

با توجه به این که نمودارهای نرده‌ای رسم شده منطبق بر پروفیل‌های ژئوفیزیکی می‌باشند و فواصل داده‌های فراخوانی شده برای نرم‌افزار RockWorks یکسان می‌باشد (به دلیل یکسان بودن فواصل بین نقاط برداشتی)، روش ریاضی نزدیک‌ترین نقاط برای نمودارهای نرده‌ای رسم شده می‌تواند بهترین نتیجه را نسبت به سایر روش‌ها نشان دهد.

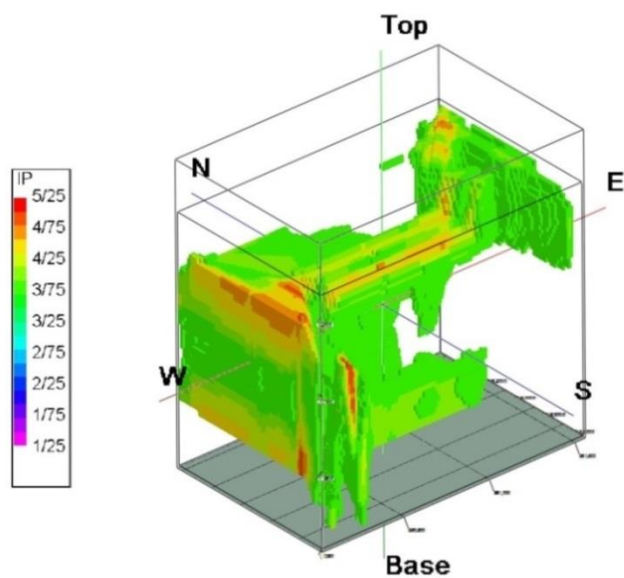
۴-۸ نمایش سه‌بعدی کانسار بر اساس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در نرم‌افزار Rockworks
به‌منظور تجسم بهتر توزیع فضایی مقادیر مقاومت‌ویژه و IP و با توجه به این که معمولاً توزیع مقاومت‌ویژه در زمین به‌صورت سه‌بعدی می‌باشد، لذا برای دستیابی به یک دید کلی از نواحی بی‌هنجار در منطقه مورد مطالعه، مدل‌سازی و نمایش سه‌بعدی داده‌ها بسیار مفید است. نمایش سه‌بعدی نتایج وارون‌سازی ضمن تعریف یک فضای تخمین مناسب، نتایج وارون‌سازی پروفیل‌های

مختلف را در این فضا درونیابی کرده و سپس با تعیین یک حد آستانه مناسب، بی‌هنجاری‌های ژئوفیزیکی را در این فضا نشان می‌دهد.

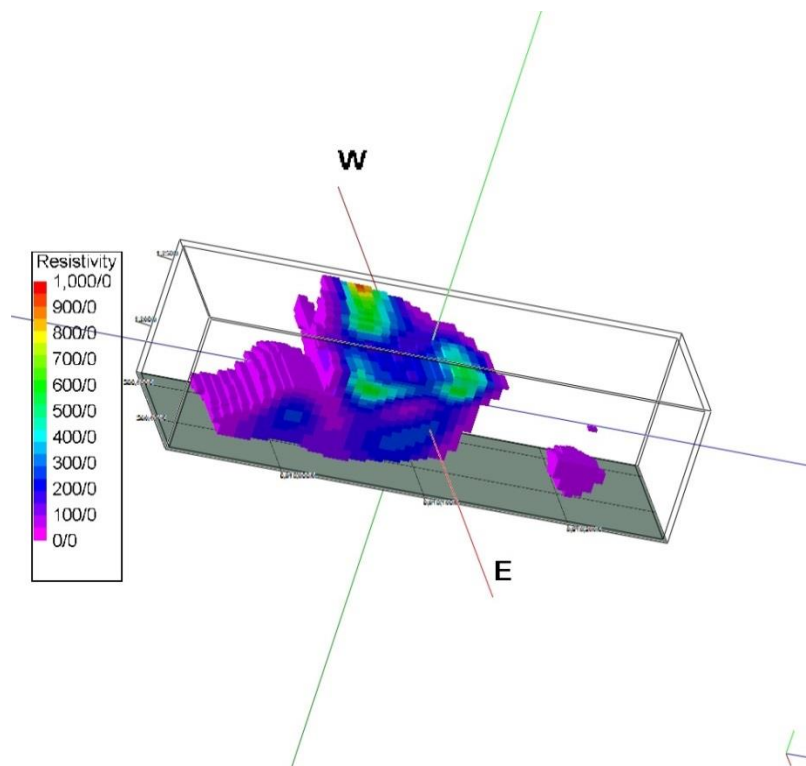
نتایج وارون‌سازی دوبعدی ژئوفیزیکی برای داده‌های IP و مقاومت‌ویژه با استفاده از نرم-افزار RockWorks به صورت سه‌بعدی نمایش داده شد؛ در همه نمایش‌های این بخش، مقادیر مجهول در فواصل بین پروفیل‌ها، با روش عکس فاصله وزنی ناهمسانگرد (IDW- Anisotropic) درونیابی شده‌اند. دلیل استفاده از این روش، برتری آن در جستجوی جهتی برای درونیابی نقاط بین داده‌ای و همچنین وجود ناهمسانگردی جانبی در زیر سطح زمین می‌باشد. شکل‌های (۴-۴۱ و ۴-۴۲) نمایش سه‌بعدی نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون دوبعدی برای پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 را نشان می‌دهد. با توجه به فاصله زیاد بین این سه پروفیل (حدود ۷۵۰ متر) نمایش سه‌بعدی داده‌ها را با خطا همراه می‌سازد. شکل‌های (۴-۴۳ و ۴-۴۴) نیز نمایش سه‌بعدی نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون دوبعدی برای پروفیل‌های DD00 و DD100w را نشان می‌دهد. با توجه به فاصله ۱۰۰ متری بین این دو پروفیل، نمایش سه‌بعدی داده‌ها برای این دو پروفیل نیز با مقداری خطا همراه است.



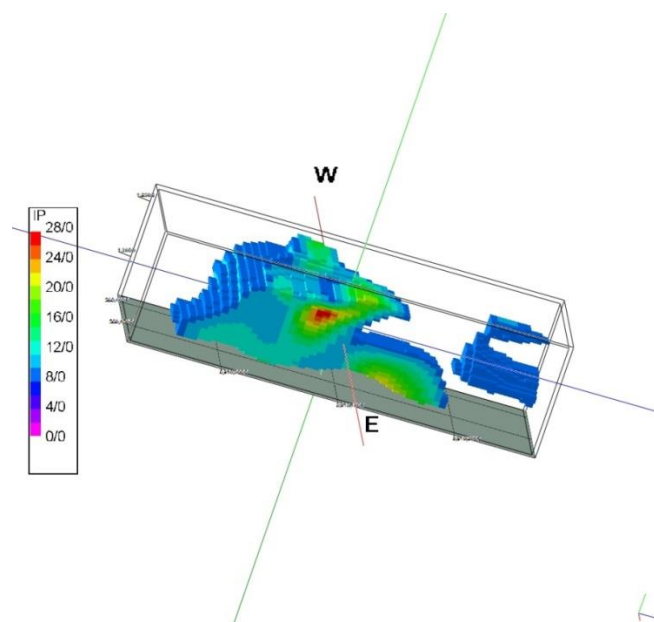
شکل (۴-۴۱): نمایش سه بعدی داده های مقاومت ویژه (بر حسب اهم متر) همراه با توپوگرافی برای پروفیل های DD1، DD2 و DD3



شکل (۴-۴۲): نمایش سه بعدی داده های IP (بر حسب میلی ولت بر ولت) همراه با توپوگرافی برای پروفیل های DD1، DD2 و DD3



شکل (۴-۴۳): نمایش سه‌بعدی داده‌های مقاومت‌ویژه (بر حسب اهم‌متر) همراه با توپوگرافی برای پروفیل‌های DD00 و DD100w



شکل (۴-۴۴): نمایش سه‌بعدی داده‌های IP (بر حسب میلی‌ولت بر ولت) همراه با توپوگرافی برای پروفیل‌های DD00 و DD100w

۹-۴ اعتبارسنجی بر اساس گمانه‌های اکتشافی کارفرما

قبل از مطالعات ژئوفیزیکی تعداد ۸ گمانه در محدوده مورد مطالعه توسط کارفرما مورد حفاری قرار گرفته است؛ که از این تعداد، ۶ گمانه در محدوده مختصاتی پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 واقع شده است. جدول (۳-۴) مختصات گمانه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه را در سیستم مختصات UTM WGS84 Zone 40N نشان می‌دهد.

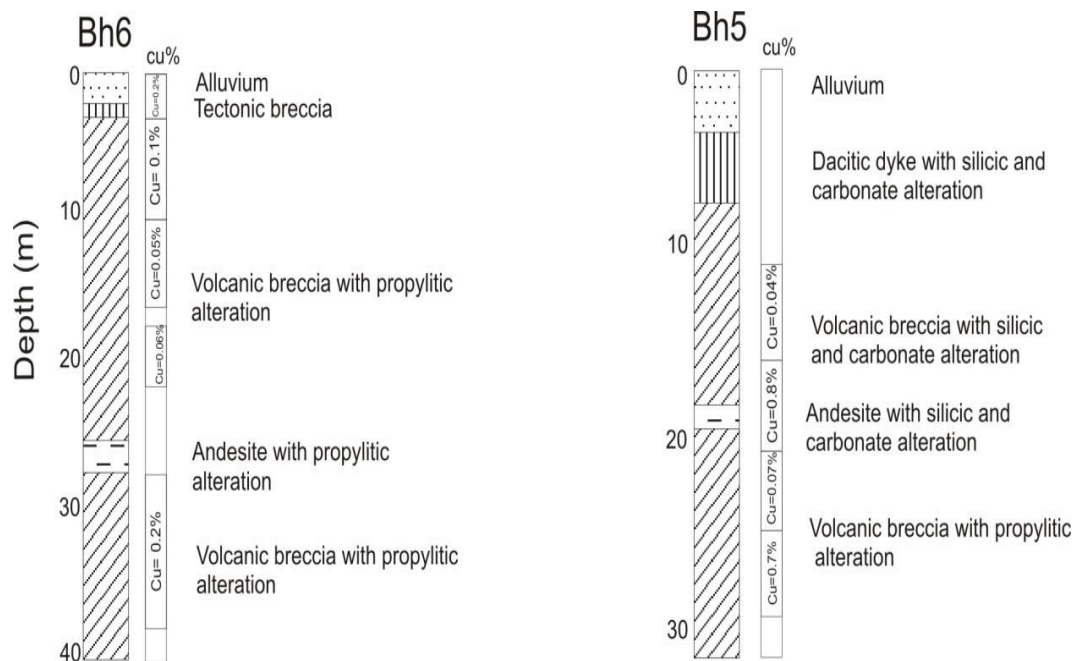
جدول (۳-۴) : مختصات گمانه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه.

گمانه	X (UTM)	Y (UTM)	عمق حفاری (m)	زاویه (درجه)
BH1	۵۵۹۵۵۸	۳۹۱۵۶۲۷	۳۸	۹۰
BH2	۵۵۹۸۰۵	۳۹۱۵۶۷۲	۳۷	۹۰
BH3	۵۶۰۱۹۳	۳۹۱۵۵۰۹	۳۵	۹۰
BH4	۵۶۰۵۸۲	۳۹۱۵۷۸۳	۴۰	۹۰
BH5	۵۶۰۶۸۲	۳۹۱۵۸۱۲	۴۰	۹۰
BH6	۵۶۱۴۵۲	۳۹۱۶۲۹۷	۴۰	۹۰
BH7	۵۶۰۶۴۹	۳۹۱۵۸۱۲	۳۳	۹۰
BH8	۵۶۰۶۶۰	۳۹۱۵۸۲۶	۴۰	۹۰

با مقایسه محل‌های حفاری انجام شده توسط کارفرما و محل‌های حفاری پیشنهادی در این پایان نامه (جدول ۴-۴)، نقطه حفاری DD3-Bh-B دقیقاً با نقطه حفاری انجام شده مطابقت داشته و ۳ نقطه دیگر با فاصله کمی نسبت به نقاط حفاری پیشنهادی حفاری شده است. از آنجا که جهت تعیین نقاط حفاری، علاوه بر اطلاعات حاصل از نتایج ژئوفیزیک می‌بایست از اطلاعات زمین شناسی نیز استفاده کرد؛ لذا نقاط حفاری نهایی با توجه به توپوگرافی سطح زمین و رخنمون‌های کانی‌سازی توسط کارشناسان زمین شناس و ژئوفیزیک تعیین خواهد شد. شکل (۴-۴) ستون چینه‌شناسی دو گمانه حفاری شده را بر مبنای عیار متوسط ۱۴ آنالیز ICP- MS نشان می‌دهد؛ که تائیدی بر حضور کانی- سازی در منطقه می‌باشد.

جدول (۴-۴): مقایسه مختصات نقاط حفاری انجام شده و نقاط حفاری پیشنهادی در محدوده مورد مطالعه.

شماره گمانه انجام شده	شماره گمانه پیشنهادی	مختصات گمانه پیشنهادی	مختصات گمانه حفاری
BH-5	DD1-Bh-B	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۸۱۵	X: ۵۶۰۶۸۲ Y: ۳۹۱۵۸۱۲
BH-3	DD2-Bh-B	X: ۵۶۰۱۷۴ Y: ۳۹۱۵۵۳۱	X: ۵۶۰۱۹۳ Y: ۳۹۱۵۵۰۹
BH-6	DD3-Bh-B	X: ۵۶۱۴۵۳ Y: ۳۹۱۶۲۹۶	X: ۵۶۱۴۵۲ Y: ۳۹۱۶۲۹۷
BH-7	DD1-Bh-D	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۹۱۵	X: ۵۶۰۶۴۹ Y: ۳۹۱۵۸۱۲



شکل (۴-۴۵): ستون چینہ‌شناسی گمانہ‌های حفاری شده BH-5 و BH-6 در منطقه شریف‌آباد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

مطالعات انجام شده در محدوده شریف‌آباد، شامل مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی می‌باشند. نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد، سنگ میزبان کانی‌سازی شامل پیروکسن آندزیت، آهک، برش آتشفشانی، میکروکنگلومرا، آگلومرا و توف‌ماسه‌ای است. نفوذ سیالات گرمابی در منطقه شریف‌آباد که از گسترش وسیعی برخوردار است، غالب واحدهای زمین‌شناسی را تحت تاثیر قرار داده‌است؛ که شدت این دگرسانی‌ها در حاشیه رخنمون‌های معدنی بیشتر می‌باشد. دو نوع دگرسانی در ابعاد محلی و ناحیه‌ای در محدوده شریف‌آباد شامل دگرسانی سریستی- کربناتی و پروپیلیتیک می‌باشند؛ که دگرسانی پروپیلیتیک از گسترش زیادی در منطقه برخوردار بوده و با دگرسانی سریستی- کربناتی که در ارتباط نزدیک با کانی‌سازی است همپوشانی دارد. با توجه به مطالعات انجام شده، کانی‌سازی مس شریف‌آباد در ارتباط با فعالیت‌های گرمابی بوده و رگه و رگچه‌های ظریف در سنگ میزبان به‌وقوع پیوسته است. مطالعات انجام شده در زون‌های کانی‌زایی نشان می‌دهد کانی‌سازی به‌صورت رگه و رگچه‌ای، پراکنده، داربستی، پرکننده فضای خالی و جانیشینی در سنگ میزبان می‌باشد. رگچه‌های کربناتی و سیلیسی باطله‌های مهم ماده معدنی می‌باشند؛ که اغلب با ماده معدنی سولفیدی و اکسیدی مانند کالکوسیت، مگنتیت، آزوریت، مالاکیت و به مقدار بسیار کمی پیریت و کالکوپیریت همراه است. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت کانسنگ، این نوع کانی‌سازی مس در افق خاصی از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌است و به همین دلیل در گروه کانی‌سازی‌های مس چینه‌کران (مس نوع مانتو) محسوب می‌شود [Kojima et al., 2003; Wilson and Zentilli, 2006].

استفاده هم‌زمان از دو روش مقاومت‌ویژه و IP با آرایه دوقطبی- دوقطبی برای بررسی‌های عمقی در منطقه مورد مطالعه بسیار مناسب و قابل اطمینان می‌باشد. استفاده از این روش‌ها در بررسی‌های عمقی کاهش هزینه‌ها، صرفه‌جویی در وقت و به‌دست آوردن تصویری پیوسته از کانی‌سازی زیرسطحی

را در پی دارد. همچنین این روش‌ها اثرات مخرب زیست‌محیطی کم‌تری نسبت به حفاری دارند. نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیکی به‌صورت زیر خلاصه شده‌است.

❖ نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با نرم‌افزار ZONDRES2D برای اعتبار سنجی و مقایسه نتایج حاصل از نرم‌افزار RES2DINV تطابق قابل قبولی را ارائه کرد.

❖ نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه در ۵ پروفیل، به خوبی توانست گسل‌های موجود در منطقه را نشان دهد. از آنجا که کانی‌سازی در سطح و عمق زمین با شکستگی‌های موجود نقش دارند؛ لذا تشخیص گسل‌ها می‌تواند در تفسیر پروفیل‌های IP و بی‌هنجاری‌های مرتبط با کانی‌سازی موثر واقع شود. قابل ذکر است اغلب گسل‌های تشخیص داده شده در پروفیل‌های ژئوفیزیک، در پیمایش‌های صحرایی تأیید شده‌اند.

❖ نتایج حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP، در پروفیل‌های ژئوفیزیک نشان می‌دهد؛ کانی‌سازی در دو عمق کم یا سطحی و نیمه عمیق تا عمیق تشکیل شده است. با توجه به نتایج این مدل‌سازی تعداد ۴ زون کانی‌سازی احتمالی در عمق کم (۰-۲۵ متر) و ۱۱ زون در عمق‌های بیشتر (۲۵-۶۲ متر) تشخیص داده شد.

❖ بر اساس بی‌هنجاری‌های احتمالی به‌دست آمده، ۱۵ گمانه اکتشافی پیشنهاد گردید. از آنجا که مطالعات کارفرما به موازات مطالعات این تحقیق همزمان انجام می‌گرفت؛ لذا در منطقه ۸ گمانه حفاری انجام شد؛ که مختصات ۴ نقطه حفاری پیشنهادی با نقاط حفاری انجام شده بسیار نزدیک می‌باشد. از طرفی نتایج به‌دست آمده از این حفاری‌ها، نتایج به‌دست آمده از تفسیر مقاطع حاصل از مدل‌سازی را تا حد زیادی تأیید می‌کند.

۲-۵-۲ پیشنهادات

❖ ادامه عملیات ژئوفیزیک به روش مقاومت‌ویژه و IP در امتداد پروفیل DD3 بعد از ایستگاه ۱۶۰ متری مبدأ پروفیل برای مشخص کردن گسترش بی‌هنجاری احتمالی D در منطقه.

❖ ادامه عملیات ژئوفیزیک به روش مقاومت‌ویژه و IP در امتداد پروفیل DD100w بعد از ایستگاه ۱۰۰ متری مبدأ پروفیل برای مشخص کردن گسترش بی‌هنجاری احتمالی B در منطقه.

❖ پیشنهاد می‌شود برای دستیابی به اطلاعات کامل‌تر و دقیق‌تر از منطقه مورد مطالعه، از روش‌های تکمیلی دیگر مانند روش SIP^۱ در کارهای آتی استفاده گردد. این روش قابلیت تفکیک کانی‌های رسی و پیریت از سایر کانی‌های سولفیدی را دارد. بنابراین با استفاده از روش SIP می‌توان پیریت و کانی‌های رسی را از سایر کانی‌های هدف در این تحقیق مانند کالکوسیت، مالاکیت و ... تمیز داد.

❖ با توجه به فاصله زیاد پروفیل‌های DD1، DD2 و DD3 پیشنهاد می‌شود پروفیل‌های بیشتری در فاصله این پروفیل‌ها طراحی و برداشت داده‌ها صورت گیرد. این کار به تعیین شکل بی‌هنجاری‌ها، بالاتر بردن دقت تفسیر و همچنین تخمین میزان و عیار تقریبی ذخیره معدنی کمک قابل توجهی خواهد کرد.

❖ بر اساس نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی، همچنین تعبیر و تفسیر مدل‌سازی‌های وارون بر روی پروفیل‌های برداشتی، ۱۵ نقطه حفاری پیشنهاد گردید تا بی‌هنجاری‌های مرتبط با کانی‌سازی‌های احتمالی شناسایی گردند.

¹Spectral Induced Polarization

منابع

- پیروز، ا.، (۱۳۹۴)، "جزوه درس ژئوفیزیک اکتشافی پیشرفته"، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- جمالی، ف.، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تفسیر و مدل سازی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی برای اکتشاف ذخایر پلی متال در منطقه کبودان"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- حسن زاده، ح.، (۱۳۸۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدل سازی توأم داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
- حسنی پاک، ع. و شجاعت ب.، (۱۳۹۲)، "مدل سازی کانسارهای فلزی و غیرفلزی و کاربرد اکتشافی آن"، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۵۱۲.
- روحبخش ایرادی، پ.، (۱۳۸۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مطالعات زمین شناسی و ژئوشیمیایی در محدوده اکتشافی دهن قلعه"، دانشگاه فردوسی مشهد.
- کثیری، ا.، (۱۳۸۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدل سازی معکوس پارامتری و هموار دوبعدی داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه منطقه تاش و مجن"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
- کریم پور، م ح، ملک زاده، آ.حیدریان، م ر.، (۱۳۳۰)، "اکتشاف ذخایر معدنی، مدل های زمین-شناسی، ژئوشیمی، ماهواره ای و ژئوفیزیکی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
- کریم پور، م ح، ملک زاده، آ.حیدریان، م ر.، (۱۳۸۷)، "اکتشاف ذخایر معدنی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

کلاگری، ع، (۱۳۷۱)، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز
حاجب حسینی، ح، زمردیان، ح، (۱۳۷۵)، "ژئوفیزیک کاربردی"، مؤلف: تلفورد و همکاران،
۱۹۷۴، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

گرگانی، ی، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تلفیق داده های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه الکتریکی و
پلاریزاسیون القایی به منظور اکتشاف کانسار مس دو چيله - میامی"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و
ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

محمدی، ز، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "استفاده از داده های ژئوفیزیکی، حفاری و زمین-
شناسی تحت الارضی در تهیه مدل کانسار سرب و روی تاش و مجن"، دانشکده مهندسی معدن، نفت
و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

ملک زاده شفارودی، آ، کریم پور، م ح و حیدریان شهری م ر، (۱۳۸۵)، "اطلاعات مغناطیسی - ردیاب
کانسار ماسیوسولفید پلی متال تکنار"، مجله علوم دانشگاه تهران، دوره ۳۲، شماره ۱، ص ۱.

موسوی، ح، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و
مقاومت ویژه به منظور اکتشاف ذخایر مس در منطقه هفت کوه کرمان"، دانشکده مهندسی معدن، نفت
و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مهری م، (۱۳۹۴)، "نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده شریف آباد بردسکن".

نوروزی، غ، (۱۳۸۸)، "ژئوفیزیک اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

نوروزی، غ، (۱۳۹۲)، "روش های الکتریکی در ژئوفیزیک اکتشافی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه
تهران، تهران.

وزارت راه و ترابری، سازمان نقشه برداری کشور، گزارش نقشه راه ها، معاونت هماهنگی و راهداری امور
استان ها (۱۳۹۴)، تهران

- Aizebeokhai A. P., (2009), **"Goelectrical resistivity imaging in environmental studies"**, ERTEP 2007, pp. 297, Ghana, Africa.
- Alavi, M., (1991), **"Tectonic map of the Middle East"**, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Corvallis, O. R., (2000), **"D.C. Resistivity methods"**, Northwest Geophysical Associates. Inc.
- Chin-Shung y and Szu-Pyng k., (2000), **"Twelve different interpolation methods "**, A case study of Surfer 8.0.
- Dahlin T., (2011), **"Resistivity-IP Surveying for Engineering and Environmental Applications Using Multi-Electrode Equipment"**, Fifth All-Russia School-Workshop on Electromagnetic Sensing of the Earth-EMS-2011, Vol. 2, pp. 252.
- Donald B. and Klein D.P and Campbell D.C, (1990), **"Geophysical methods in Exploration and mineral environmental investigation"**, Society of Exploration Geophysicist.
- Gazoty A., Fiandaca G., Pedersen J., Auken E., Christiansen A. V. and Pedersen J. K., (2012), **"Application of time domain induced polarization to the mapping of lithotypes in a landfill site"**, Hydrology and Earth System Sciences, 6, 16, pp 1793.
- Gurin G. V. Tarasov A. V. Ilin Y. T. Titov K. V., (2015), "Application of the Debye decomposition approach to analysis of induced- Polarization profiling data (Julietta gold- silver deposit, Magadan Region)", **Russian Geology and Geophysics**, N56, 1757-1771
- Goldie M., (2007), **"A comparison between conventional and distributed acquisition induced polarization surveys for gold exploration in Nevada"**, The Leading Edge, 2, 26, PP 180.
- Hedlin,C. and Constable, S., (1990), **"Occam's inversion to generate smooth: Two demensional modelsfrom magnetoteluric data"**, Geophysics, 55, 1613-1624.
- Kaminsky A., (2001-2013), **"Tutorial: program for two-dimensional interpretation of data obtained by resistivity and induced polarization methods"**, Saint-Petersburg.

Kearey P., Brooks M. and Hill I., (2002), **"An introduction to geophysical exploration"**, Vol.1, Third Edition, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp.196

Khesin B. and Alexeyev V., (1997), **"Rapid methods for interpretation of induced polarization anomalies"**, journal of applied geophysics, 37, 117- 130.

Knödel K., Lange G. and Voigt H. J., (2007), **"Environmental geology: Handbook of field methods and case studies"**, Vol. 1, First Edition, Springer, Heidelberg, pp.206.

Kojima, S., Astudillo, J., Rojo, J., Trista', D. & Hayashi, K., (2003), **" Ore mineralogy, fluid inclusion, and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the coasta Cordillera of northern Chile: Mineralium Deposita"**, v. 38, p. 208–216.

Lefebure, D. V. & Church, B. N., (1996), **"Volcanic Redbed Cu, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles"**, Volume 1 – Metallic Deposits, Lefebure, D. V. & Höy, T, Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File, v. 13, p. 5-7.

Loke, M. H., (2002), **"Topographic modeling in resistivity imaging inversion"**, 62n EAGE conference and Technical Exhibition extended Abstract, 45, PP 124-126.

Loke M. H., (2013), **"Rapid 2D resistivity and IP inversion using the least squares method"**, Geotomo software.

Loke M. H., (2004), **"Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys"**, Geotomo software.

Loke, M. H., (2012), **"Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys"**. Copyright (1996- 2012).

Loke, M. H., (1999), **"Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys"**, pp 1-4.

Loke, M.H. and Barker, R.D., (1996), **"Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method"** Geophysical Prospecting, 44, 131-152.

Loke, M.H., Barker, R.D., (1996)b., **"Practical techniques for 3d resistivity surveys and data inversion "**, Geophysical Prospecting, 44, 499-523.

Lowrie W., (2007), **"Fundamentals of geophysics"**, Vol. 1, Second Edition, Cambridge University Press, UK. 1 ,pp.266.

- Meju, M., (1994), **"Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Practice"**, Society of Exploration Geophysicists, United State of America.
- Mikhail, Z. S., (1994), **"The geoelectrical methods in geophysical exploration"**, Elsevier, 9, pp 873.
- Milsom J., (2007), **"Field geophysics"**, Vol. I, Third Edition, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp. 100.
- Mooney, H.M. (1980), **"Handbook of engineering geophysics"**, Vol. 2: Electrical resistivity Binson instrumentation Inc., Minnesota, USA, pp.1-27
- Muller, R. and Walter, R., (1983), **"Geology of the Precambrian-Paleozoic Taknar Inlier northwest of Kashmar"**, Khorasan Province northeast Iran, Geological Survey of Iran, Tehran, Report 50, pp 252.
- Ozebo, V., Odunaike R. and Balogun A., (2008), **"Identification of Depth to Top of Limestone Body Within a Concession at Ibese "**, J. of. Earth Sciences, 3, pp 99-107.
- Reynolds J.M., (1997), **"An introduction applied and environmental geophysics"**, John Wiley & Sons Ltd, pp.418-490.
- Roy K. K., (1980), **" Resistivity and IP survey for delineating saline water and fresh water zone "**, Geo exploration, 18, pp: 145- 162.
- Selley R. C., Cocks L. R. M. and Plimer I. R., (2005), **"Encyclopedia of geology"**, Vol. 1, First Edition, Elsevier Ltd, Oxford, pp.482.
- Stöcklin, J., (1968), **"Structural history and tectonics of Iran"**, a review American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52, 1229–1258.
- Sumner, J.S., (1976), **"Principles of induced polarization for geophysical exploration"**, Elsevier, PP 277-303.
- Telford W.M. & sheriff RE., (1991), **"Applied Geophysics"**, 2nd Edition Cambridge University Press.
- Telford W.M. Geldart L.P. and Sheriff R.E. (1990), **"An Introduction to Applied geophysics"**, Cambridge University Press, New York.
- Tezel O., (2002), **" Interpretation of the field observation in induced polarization"**, proceedings of international conference on earth sciences and electronics.

Uchida T. Takakura Sh. Ueda T. S. Abe Y., (2015), "Three_ dimensional resistivity structure of the Yanaizu- Nishiyama Geothermal Reservoir, Northern Japan", **Proceeding World Geothermal Congress, Melbourne, Australia, 19-25 April**

Ward, S.H. (1990), "**Resistivity and induced polarization methods in Geotechnical and Environmental Geophysics**", SEG, Vol. 1, pp.147-189.

White R. M. S., Collins S. and Loke, M. H., (2003), "**Resistivity and IP arrays, optimised for data collection and inversion**", Exploration Geophysics, 4, 34, pp 229.

Whitney, D.L., Evans, B.W., (2010), "**Abbreviations for names of rock-forming minerals**": American Mineralogist, v. 95, No. 2, p. 185-187.

Wilson, N.S.F., and Zentilli, M., (2006), "**Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts**", Central Chile: International Journal of Coal geology, v.65, p. 158-169.

Zonge Engineering and Research Organization, (1994), "**The application of Surface Electrical Geophysics to groundwater problems**", Electrical Geophysics Seminar notes., pp 2-15.

Websites:

[Http://www.gddinstrumentation.com](http://www.gddinstrumentation.com)

[Http://www.google.com/earth/](http://www.google.com/earth/)

Abstract:

The Sharifabad copper deposit is located in the northwest of Bardaskan, Khorasan Razavi province. The host rocks of mineralization are pyroxene andesite, tuff, agglomerate, limestone, and micro conglomerate of Eocene and Oligocene age. Alteration materials include propylitic, chloritic and carbonate. Mineralization restricted to the vein and veinlets and controlled by faults. Mineralization includes chalcocite, chalcopyrite and malachite. Our study focuses on the copper bearing veins system and determination of mineralization in the depth by geological and geophysical methods. To achieve acceptable results of anomaly depth, two rectangle array grids and 5 profiles totally with dipole-dipole array with 20 meters electronic spacing has been done by Omid scientific geological and geo-science company. On the raw data field five profiles, by RES2DINV and ZONDRES2D softwares, inverse 2D modeling has been done. Then geophysical anomalies were detected. By using Rock Works software , Two-dimensional models are displayed in three dimensions. These studies show high values resistivity and IP in two levels 0-25 meter and 25-62 meter. On the basis of geological and geophysical studies in the area fifteen locations for drilling exploration boreholes are proposed.

Keywords: Induced Polarization, Resistivity, Dipole-Dipole array, Copper mineralization, Bardaskan, Sabzevar



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

MSc Thesis in Mining Exploration

**Geological and geophysical studies of Sharifabad copper
mineralization using Induced Polarization and resistivity methods for
determining drilling locations, northwest Bardaskan**

By: Hadi Ghanbari

Supervisor:

Dr Alireza Arab-Amiri

Dr Susan Ebrahimi

October 2017