





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه مهندسی اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

اکتشاف مس به کمک داده‌های تلفیقی الکترومغناطیس فرکانس بسیار
پایین (VLF)، قطبش القایی (IP) و مقاومت ویژه (RES) در اندیس
معدنی آسمانو-میامی

حمیدرضا خاوری

اساتید راهنما:

دکتر علیرضا عرب‌امیری

دکتر علی مرادزاده

مشاور:

منهدس مهدی زارعی

مهر ۱۳۹۴

دانشگاه شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه مهندسی معدن - اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حمیدرضا خاوری به شماره دانشجویی: ۹۲۰۵۷۳۴

تحت عنوان: اکتشاف مس به کمک داده‌های تلفیقی الکترومغناطیس فرکانس بسیار پایین (VLF)،

قطبش القایی (IP) و مقاومت ویژه (RES) در اندیس معدنی آسمانو - میامی

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	مهندس مهدی زارعی		دکتر علیرضا عرب امیری
			دکتر علی مرادزاده

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ

اول بہ روح مادرم

دوم بہ زحمات پدرم

و در آخر بہ حمایت بی دریغ

ہمسرم

تقدیر و تشکر

اینجانب بر خود واجب می‌دانم، از زحمات بی‌دریغ اساتید عالی‌قدرم، جناب آقای دکتر عرب‌امیری و جناب آقای دکتر مرادزاده، که در تمامی مراحل انجام پایان‌نامه مرا یاری داده‌اند، تشکر کنم. همچنین از کمک‌های جناب آقای مهندس زارعی در انجام برداشت داده‌ها و مشاوره‌های به موقع ایشان تقدیر کنم. در آخر از کمک‌ها و یاری‌های دوستان خوبم، جناب آقایان مهندس بیاری، مهندس رحمانی، مهندس کلتی و سرکار خانم مهندس احمدی از صمیم قلب تشکر می‌کنم.

تعهد نامه

اینجانب حمیدرضا خاوری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن - اکتشاف دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه اکتشاف مس به کمک داده های تلفیقی الکترومغناطیس بسامد بسیار پایین (VLF)، قطبش القایی (IP) و مقاومت ویژه (RS) در اندیس معدنی آسمانو - میامی تحت راهنمایی دکتر علیرضا عرب امیری و دکتر علی مرادزاده متعهد می شوم.

- 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 می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا 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 شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

امروزه صرفاً با بکارگیری اطلاعات زمین‌شناسی سطحی نمی‌توان منابع معدنی را شناسایی نمود. روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های مناسبی می‌باشند که در پی‌جویی و اکتشاف ذخایر معدنی کارایی بالایی دارند. در این پژوهش نیز برای اکتشاف کانسار مس در اندیس معدنی آسمانو که در محدوده شهرستان شاهرود، در کیلومتر ۸۵ محور شاهرود- مشهد واقع شده؛ از روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌سنجی الکتریکی، قطبش‌القایی و الکترومغناطیس با فرکانس پایین استفاده شده است؛ تا وجود کانی‌سازی‌های احتمالی زیر سطحی مشخص گردد. در این تحقیق هدف بر آن است که با برداشت، پردازش، تفسیر و تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی بدست آمده، مناطق امیدبخش احتمالی شناسایی و نقاط بهینه جهت حفاری معرفی گردد. در این راستا ۳ پروفیل اکتشافی جهت برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی در راستای شمال- جنوب با آرایه دوقطبی- دوقطبی، به طول هر کدام ۲۲۰ متر برنامه‌ریزی شد، همچنین برای بررسی بهتر پروفیل چهارمی در راستای عمود بر پروفیل‌های قبلی اجرا شد. برداشت داده‌های VLF نیز با فواصل ایستگاهی ۵ متر بر روی این پروفیل‌ها صورت گرفت.

در ادامه داده‌های ژئوالکتریک توسط دو نرم‌افزار RES2DINV و ZondRes2D مدل‌سازی وارون دوبعدی شدند. داده‌های VLF نیز توسط نرم‌افزارهای KHFFILT و VLF2DRES به صورت کیفی و کمی بررسی شدند. برای دید بهتر از منطقه و ارتباط داده‌های بدست آمده از پروفیل‌های موجود، اطلاعات روش‌های مختلف به صورت تصاویر سه‌بعدی پردازش شدند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که منطقه مورد مطالعه دارای شکستگی‌ها و گسل‌های فراوان در امتداد شمال‌خاوری- جنوب‌باختری وجود دارد و احتمال کانی‌زایی مس به صورت پراکنده در شمال و جنوب منطقه در عمق بیش از بیست متر و همچنین به صورت رگه‌ای در امتداد شرقی- غربی وجود دارد. در انتها نقاط بهینه حفاری جهت مطالعات مستقیم کانی‌سازی منطقه معرفی گردید.

کلمات کلیدی: اندیس مس آسمانو، روش مقاومت‌ویژه، روش قطبش‌القایی، روش الکترومغناطیس VLF، مدل‌سازی وارون

لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

اکتشاف مس با استفاده از مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی در اندیس معدنی آسمانو-میامی، هفتمین کنفرانس زمین شناسی اقتصادی، ۱۸ و ۱۹ شهریور ۱۳۹۴، دامغان.

فهرست

فصل اول کلیات

- ۱-۱ مقدمه ۲
- ۲-۱ مروری بر سوابق بکارگیری روش‌های ژئوفیزیکی مورد نظر در کاوش‌های معدنی ۳
- ۳-۱ ضرورت مطالعه ۴
- ۴-۱ اهداف و روش انجام تحقیق ۵
- ۵-۱ ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم روش‌های ژئوفیزیکی (مقاومت ویژه، قطبش القایی و VLF)

- ۱-۲ مقدمه ۸
- ۲-۲ روش مقاومت ویژه ۸
- ۱-۲-۲ اصول مقاومت ویژه ۹
- ۲-۲-۲ آرایش الکترودی ۱۰
- ۳-۲ روش IP ۱۳
- ۱-۳-۲ روش‌های اندازه‌گیری قطبش القایی ۱۴
- حوزه‌ی زمان ۱۴
- ۲-۳-۲ منشأ پدیده قطبش القایی ۱۶
- الف- قطبش الکترودی (فلزی) ۱۶
- ب- قطبش الکترولیتی (غشایی) ۱۸
- ۴-۲ روش VLF ۱۹
- ۱-۴-۲ مقدمه ۱۹
- ۲-۴-۲ روش VLF ۲۱
- ۳-۴-۲ بیضوی قطبش ۲۲
- ۴-۴-۲ زاویه شیب ۲۴

فصل سوم برداشت، پردازش و تفسیر

- ۱-۳ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۲۶
- ۱-۱-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه ۲۷
- ۲-۱-۳ توپوگرافی منطقه ۲۸
- ۳-۱-۳ وضعیت آب و هوایی ۲۸
- ۴-۱-۳ زمین‌شناسی منطقه ۳۲
- ۵-۱-۳ تفکیک زون‌های دگرسانی در منطقه ۳۳
- ۶-۱-۳ کانی‌زایی منطقه ۳۳
- ۲-۳ برداشت، پردازش و تفسیر ۳۳

۳۳	۳-۲-۱- مقدمه
۳۴	۳-۲-۲- شرح عملیات
۳۸	۳-۲-۳- ارائه و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی
۳۸	الف- پروفیل AS1
۴۲	ب- پروفیل AS2
۴۵	ج- پروفیل AS3
۴۸	د- پروفیل AS4
۵۱	۳-۳ خلاصه تفاسیر و نتایج داده‌های ژئوفیزیکی
	فصل چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵۴	۴-۱ نمایش سه‌بعدی نتایج حاصل از مدل‌سازی
۵۸	۴-۲ نتیجه‌گیری
۵۸	۴-۳ پیشنهادات
	پیوست‌ها
۶۴	پیوست شماره یک: شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش القایی بر روی پروفیل AS1
۶۶	پیوست شماره دو: شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش القایی بر روی پروفیل AS2
۶۸	پیوست شماره سه: شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش القایی بر روی پروفیل AS3
۷۰	پیوست شماره چهار: شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش القایی بر روی پروفیل AS4
	منابع
۷۴	منابع فارسی
۷۶	منابع انگلیسی

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- محدود مقاومت ویژه سنگها، خاکها و کانیها ۱۰
- شکل ۲-۲- آرایه چهار الکترودی که در آن الکترودهای پتانسیل بین الکترودهای جریان قرار دارند ۱۱
- شکل ۳-۲- آرایه‌های الکترودی متداول و ضریب هندسی مربوط به آنها در مطالعات مقاومت ویژه ۱۲
- شکل ۴-۲- آرایه دوقطبی- دوقطبی ۱۳
- شکل ۵-۲- اندازه‌گیری IP در روش حوزه‌ی زمان ۱۵
- شکل ۶-۲- قطبش الکترودی ۱۷
- شکل ۷-۲- اثر ماکروسکوپی قطبش دانه‌ها در بالای یک کانی‌سازی افشان ۱۷
- شکل ۸-۲- چگونگی گسترش قطبش القایی غشایی ۱۹
- شکل ۹-۲- توزیع میدان‌های الکترومغناطیسی در حضور توده رسانا در زیر سطح ۲۱
- شکل ۱۰-۲- منبع VLF که موج اولیه EM را ایجاد می کند ۲۲
- شکل ۱۱-۲- پارامترهای بیضوی قطبش ۲۳
- شکل ۱-۳- راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه ۲۶
- شکل ۲-۳- تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه ۲۷
- شکل ۳-۳- تصویر توپوگرافی محدوده مورد مطالعه ۲۸
- شکل ۴-۳- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه ۲۹
- شکل ۵-۳- بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه ۳۰
- شکل ۶-۳- موقعیت پروفیل‌های اکتشافی برداشت شده در منطقه مورد مطالعه ۳۵
- شکل ۷-۳- دستگاه Terrameter SAS4000 شرکت ABEM ۳۵
- شکل ۸-۳- برداشت داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی ۳۶
- شکل ۹-۳- دستگاه GEM GSM- 19T ساخت شرکت GEM ۳۶
- شکل ۱۰-۳- برداشت‌های داده‌های VLF ۳۷
- شکل ۱۱-۳- مقاطع مدل‌سازی وارون پروفیل AS1 به کمک نرم‌افزار RES2DINV ۳۹
- شکل ۱۲-۳- مدل دوبعدی پروفیل AS1 به کمک نرم‌افزار ZondRes2D ۳۹
- شکل ۱۳-۳- (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل AS1، (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده، (ج) مقطع چگالی جریان، (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با وارون‌سازی داده‌های VLF پروفیل AS1 ۴۱
- شکل ۱۴-۳- مقاطع مدل‌سازی وارون پروفیل AS2 به کمک نرم‌افزار RES2DINV ۴۲

- شکل ۳-۱۵- مدل دوبعدی پروفیل AS2 به کمک نرم افزار ZondRes2D ۴۲
- شکل ۳-۱۶- (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل AS2، (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده، (ج) مقطع چگالی جریان، (د) مدل دوبعدی مقاومت‌ویژه با وارون‌سازی داده‌های VLF پروفیل AS2 ۴۴
- شکل ۳-۱۷- مقاطع مدل‌سازی وارون پروفیل AS3 به کمک نرم افزار RES2DINV ۴۵
- شکل ۳-۱۸- مدل دوبعدی پروفیل AS3 به کمک نرم افزار ZondRes2D ۴۵
- شکل ۳-۱۹- (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل AS3، (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده، (ج) مقطع چگالی جریان، (د) مدل دوبعدی مقاومت‌ویژه با وارون‌سازی داده‌های VLF پروفیل AS3 ۴۷
- شکل ۳-۲۰- مقاطع مدل‌سازی وارون پروفیل AS4 به کمک نرم افزار RES2DINV ۴۸
- شکل ۳-۲۱- مدل دوبعدی پروفیل AS4 به کمک نرم افزار ZondRes2D ۴۹
- شکل ۳-۲۲- (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل AS4، (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده، (ج) شبه مقطع چگالی جریان، (د) مدل دوبعدی مقاومت‌ویژه با وارون‌سازی داده‌های VLF پروفیل AS4 ۵۰
- شکل ۴-۱- نمایش سه‌بعدی نتایج وارون‌سازی دوبعدی داده‌های مقاومت‌ویژه با نرم افزار ZondRes2D ۵۵
- شکل ۴-۲- نمایش سه‌بعدی نتایج وارون‌سازی دوبعدی داده‌های قطبش‌القایی با نرم افزار ZondRes2D ۵۵
- شکل ۴-۳- نمایش سه‌بعدی نتایج وارون‌سازی دوبعدی داده‌های مقاومت‌ویژه توسط نرم افزار VOXLER ۵۶
- شکل ۴-۴- نمایش سه‌بعدی نتایج وارون‌سازی دوبعدی داده‌های قطبش‌القایی توسط نرم افزار VOXLER ۵۷
- شکل ۴-۵- نمایش سه‌بعدی مقاومت‌ویژه حاصل از وارون‌سازی دوبعدی داده‌های VLF توسط نرم افزار VOXLER ۵۷
- شکل ۴-۶- مدل دوبعدی مقاومت‌ویژه، قطبش‌القایی و نقاط پیشنهاد حفاری پروفیل AS1 ۵۹
- شکل ۴-۷- مدل دوبعدی مقاومت‌ویژه، قطبش‌القایی و نقاط پیشنهاد حفاری پروفیل AS2 ۶۰
- شکل ۴-۸- مدل دوبعدی مقاومت‌ویژه، قطبش‌القایی و نقاط پیشنهاد حفاری پروفیل AS3 ۶۱
- شکل الف-۱- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS1، توسط نرم افزار RES2DINV ۶۴
- شکل الف-۲- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش‌القایی بر روی پروفیل AS1، توسط نرم افزار RES2DINV ۶۴
- شکل الف-۳- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS1، توسط نرم افزار ZondRes2D ۶۵

- شکل الف-۴- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش‌القایی بر روی پروفیل AS1، توسط نرم‌افزار ZondRes2D ۶۵
- شکل الف-۵- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS2، توسط نرم‌افزار RES2DINV ۶۶
- شکل الف-۶- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش‌القایی بر روی پروفیل AS2، توسط نرم‌افزار RES2DINV ۶۶
- شکل الف-۷- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS2، توسط نرم‌افزار ZondRes2D ۶۷
- شکل الف-۸- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS2، توسط نرم‌افزار ZondRes2D ۶۷
- شکل الف-۹- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS3، توسط نرم‌افزار RES2DINV ۶۸
- شکل الف-۱۰- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش‌القایی بر روی پروفیل AS3، توسط نرم‌افزار RES2DINV ۶۸
- شکل الف-۱۱- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS3، توسط نرم‌افزار ZondRes2D ۶۹
- شکل الف-۱۲- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش‌القایی بر روی پروفیل AS3، توسط نرم‌افزار ZondRes2D ۶۹
- شکل الف-۱۳- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS4، توسط نرم‌افزار RES2DINV ۷۰
- شکل الف-۱۴- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش‌القایی بر روی پروفیل AS4، توسط نرم‌افزار RES2DINV ۷۰
- شکل الف-۱۵- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS4، توسط نرم‌افزار ZondRes2D ۷۱
- شکل الف-۱۶- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش‌القایی بر روی پروفیل AS4، توسط نرم‌افزار ZondRes2D ۷۱

فهرست جداول

۲۶

جدول ۱-۳- مختصات جغرافیایی گوشه‌های محدوده مورد مطالعه

فصل اول

کلیات

تکامل تمدن بشری بر پایه وجود فلزات پایه بوده و چرخ تولید آنها را مواد انرژی‌زایی همچون نفت، گاز، زغال‌سنگ و اورانیم به حرکت در می‌آورند؛ که همگی از زمین استحصال می‌شوند. از آنجایی که منابع سطحی به‌دلیل روش‌های ساده اکتشاف به بهره‌برداری رسیدند؛ برای تداوم تکامل، به کارگیری روش‌های جدیدتر برای رسیدن به منابع عمیق‌تر زیرزمینی ضروری است. امروزه صرفاً با به کارگیری اطلاعات زمین‌شناسی سطحی، نمی‌توان به منابع مدفون دست یافت؛ بلکه باید از روش‌های مکمل مانند ژئوفیزیک اکتشافی نیز بهره برد. این روش‌ها ارزان و نسبتاً قابل اعتماد هستند [عرب امیری و فتحیان پور، ۱۳۷۹].

اکتشافات معدنی به طور کلی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شوند. به روش‌هایی که به طور مستقیم با ماده معدنی در ارتباط می‌باشند، روش مستقیم، مانند روش حفاری و به روش‌هایی که به طور غیرمستقیم و بر اساس شواهد و اندازه‌گیری‌ها به اکتشاف ماده معدنی می‌پردازند، مانند روش‌های ژئوشیمی و ژئوفیزیک، روش غیرمستقیم می‌گویند، [نوروزی، ۱۳۹۰].

به دلیل ریسک و هزینه بالا در روش‌های مستقیم، ابتدا باید ماده معدنی به روش‌های غیرمستقیم مورد ردیابی قرار گیرد و پس از اطمینان از منطقه کانی‌زایی به حفاری و مطالعه مستقیم کانسار پرداخت. از این‌رو روش‌های غیرمستقیم روز به‌روز در حال گسترش و پیشرفت می‌باشند. مراحل اکتشافی به صورت مرتب و مداوم صورت می‌گیرند، تا با کمترین هزینه و زمان به هدف نهایی (اکتشاف کانسار) رسید. بنابراین همیشه باید پروژه‌های اکتشافی طبق برنامه از پیش تعیین شده و دقیقی صورت گیرد. مراحل یک اکتشاف بزرگ و کارآمد می‌تواند بر طبق مراحل زیر باشد:

ابتدای امر، با بررسی نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی، اطلاعات دورسنجی و زمین‌شناسی ناحیه‌ای، مناطق مستعد کانی‌سازی را پیدا کرد. سپس مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیکی را به صورت کلی و ناحیه‌ای صورت گیرد؛ تا یک ناحیه چندین کیلومتر مربعی به مناطق امیدبخش چند هکتاری تبدیل شود. حال برای مطالعات دقیق‌تر بر روی مناطق امیدبخش، به روش‌های دقیق‌تر نیاز

می‌باشد. در این مرحله با استفاده از شبکه‌های برداشت منظم داده‌های ژئوشیمی و ژئوفیزیک زمینی به اکتشاف مناطق کانی‌زایی پرداخته می‌شود. انتخاب صحیح روش ژئوفیزیکی بستگی به مشخصات فیزیکی ماده معدنی مورد تجسس و مشخصات منطقه مورد مطالعه دارد. زیرا هر روش ژئوفیزیکی برای بررسی یک خاصیت فیزیکی ابداع شده است. به عنوان مثال برای بررسی مواد معدنی با چگالی زیاد مانند کرومیت از روش گرانی‌سنجی استفاده می‌شود.

در انتها با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از روش‌های مورد نظر در تفسیر آنها و همچنین تصویرسازی و تلفیق آنها در محیط نرم‌افزارهای پیشرفته (مانند GIS) می‌توان اطلاعات جامع و کامل منطقه را به‌دست آورد. برای بررسی و مطالعات دقیق ماده معدنی، چند نقطه حفاری پیشنهاد می‌شود. در صورتی که این نقاط تایید کننده اطلاعات اکتشافی باشند، شبکه منظم حفاری برای بدست آوردن اطلاعات کامل از جمله شکل، تیپ، ژنز، میزان ذخیره، عیار و ... برنامه‌ریزی می‌شود.

۱-۲ مروری بر سوابق بکارگیری روش‌های ژئوفیزیکی مورد نظر در کاوش‌های معدنی

هنگ‌تائو^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش‌های قطبش‌القایی^۲ (IP)، VLF و چند روش دیگر ژئوفیزیکی به مطالعه کانی‌سازی طلا در منطقه‌ای در شمال چین پرداختند. نتایج VLF در تشخیص امتداد کانی‌سازی با توجه به قرارگیری آن در زون‌های شکستگی و گسلی مطلوب بوده است [Hangtao et al. 2006].

بررسی کانی‌سازی فلزی در سنگ‌های رسوبی دگرگونی در مجاورت توده نفوذی گرانیتهی در سورتون تورز^۳ واقع در منطقه دون^۴ انگلستان با استفاده از یک پروفیل VLF صورت گرفته است [نوروزی، ۱۳۹۲].

¹ Hong tao

² Induced Polarization

³ Sourton tors

⁴ Devon

ذخیره مس و طلا کادیا ریج‌وی^۱، یک سیستم مس و طلا پورفیری عمیق در استرالیا است. یک ناهنجاری IP بارپذیری بالا در میان یک کمربند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری با پتانسیل معدنی نشان می‌داد، با حفاری بر روی این ناهنجاری موجب کشف ذخیره شد [Close et al., 2001].

کانسار طلا اپی‌ترمال هیشی‌کاری^۲ در ژاپن با استفاده از روش‌های گرانی‌سنجی، مقاومت‌ویژه و IP مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد، در محل‌های ناهنجاری IP بالا و ناحیه مقاومت‌ویژه پایین کانی‌زایی به صورت رگه‌ای صورت گرفته است [Kawasaki et al., 1986].

سمنانی‌نژاد با استفاده از چهار روش ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه، قطبش القایی، مغناطیس‌سنجی و VLF به مطالعه کانی‌زایی سرب و روی در منطقه معدنی انجیره تیران پرداخت. در این مطالعه داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در خصوص تشخیص مناطق کانی‌زایی شده پاسخ خوبی را به همراه داشتند. برداشت‌های VLF در تشخیص درزه و شکاف‌های شیب‌دار کاربرد بالایی داشتند که ارتباط مخصوصی با کانی‌زایی در منطقه داشته است [سمنانی‌نژاد، ۱۳۸۷].

لطفی با استفاده از روش‌های مقاومت‌ویژه، IP و VLF در منطقه خانگلی به مطالعه کانی‌زایی جیوه پرداخت. با تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمی به تمرکز و کانی‌زایی سینابر به شکل توده‌ای و پراکنده فضاهای خالی در امتداد گسل‌های معکوس و رانده پی برد [لطفی، ۱۳۸۸].

۱-۳ ضرورت مطالعه

مواد معدنی، زیر بنای اقتصاد و صنعت هر جامعه را تشکیل می‌دهد. بشر از همان آغاز آفرینش خود و در طول تاریخ، بر حسب نیازمندی‌ها و دانش خود، از مواد معدنی استفاده کرده است. اکنون نیز انسان، از مواد معدنی به حالت و شیوه‌های گوناگون بهره‌برداری می‌نماید. به بیانی دیگر همین مواد معدنی هستند که پایه و اساس تمدن را تشکیل می‌دهند. با توجه به نقش مواد معدنی در تامین نیازهای اولیه صنایع مختلف، جستجوی آنها با روش‌های کارآمد ضروری به نظر می‌رسد.

¹ Cadia Ridgeway

² Hishikari

در اندیس معدنی آسمانو تاکنون اکتشافات محلی صورت نگرفته است و همه اطلاعات آن مربوط اکتشافات ناحیه‌ای ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی می‌باشد. هر چند، در سال ۱۳۹۳ یک تیم زمین‌شناسی در آن مشغول برداشت داده‌های زمین‌شناسی به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ بوده است [ابراهیمی، ۱۳۹۳]. کانسار مذکور بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی و شدادی در منطقه، به صورت کانی‌سازی پراکنده و رگه‌ای می‌باشد. اجرای روش‌های مقاومت‌ویژه و IP به طور همزمان برای شناسایی و مکان‌های احتمالی کانی‌زایی پورفیری کاربرد خوبی دارند و با بررسی آنها می‌توان شکستگی‌های موجود در محدوده را نیز شناسایی کرد؛ که محل مستعدی برای کانی‌زایی می‌باشند. همچنین به دلیل سرعت بالای اجرای داده‌های الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین (VLF)، از آن در مقایسه با نتایج به دست آمده از دو روش قبلی و شناسایی قدرت تفکیک آن استفاده شده است. اگر نتایج VLF در منطقه به خوبی ساختار زیرزمینی منطقه نمایان سازد، می‌توان مناطق مستعد را به کمک این روش به سرعت و راحتی شناسایی کرد؛ تا تحقیقات جامع‌تری توسط روش‌های دیگر انجام شود.

۱-۴ اهداف و روش انجام تحقیق

در این پروژه هدف بر آن است که با برداشت، پردازش، تفسیر و تطبیق داده‌های ژئوفیزیکی به دست آمده، مناطق امیدبخش احتمالی شناسایی و نقاط بهینه جهت حفاری معرفی گردد. به همین دلیل از روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌سنجی الکتریکی، IP و الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین استفاده شده است؛ تا وجود کانی‌سازی‌های احتمالی زیر سطحی مشخص گردد.

برای نیل به این اهداف، نخست برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در چهار پروفیل با روش دوقطبی- دوقطبی برداشت می‌شود. سپس داده‌های الکترومغناطیس VLF نیز به منظور اکتساب داده‌ی رسانندگی الکتریکی برداشت خواهند شد. علت انجام این برداشتها بررسی نتایج حاصل از مدل‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی با داده‌های الکترومغناطیس و تهیه نسخه احتمالی قابل تجویز برای

مناطق با ویژگی‌های زمین‌شناختی مشابه منطقه برداشت است. در ادامه پردازش، مدل‌سازی و تفسیر داده‌ها با کمک نرم‌افزارهای KHFFILT (Markku Pirttijärvi, 2004)، INV2DVLF، (Fernando and Monteiro Santos, 2007)، RES2DINV (Loke, 2012)، VOXLER (Golden) و ZONDRES2D (Zond geophysical software, 2012) صورت می‌گیرد. در انتها آنچه مدنظر است اعلام احتمالی چند نقطه حفاری است.

۱-۵ ساختار پایان نامه

پژوهش حاضر در چهار فصل مجزا نگارش شده است. در فصل اول مقدمه‌ای از کار، مروری بر مطالعات صورت گرفته، ضرورت، اهداف پژوهش و روش انجام کار آورده شده است. در فصل دوم به روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده (مقاومت‌ویژه، قطبش‌القایی و VLF) و آرایه الکترودی استفاده شده، پرداخته شده است. در فصل سوم زمین‌شناسی منطقه، چگونگی برداشت‌های ژئوفیزیکی و تفسیر داده‌های بدست آمده از آنها بحث شده است. در فصل چهارم نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مورد بحث قرار گرفته و پیشنهادات لازم ارائه شده است و در نهایت نقاط حفاری جهت بررسی بیشتر زون کانی‌سازی پیشنهاد شده است.

فصل دوم

روش‌های ژئوفیزیکی

(مقاومت ویژه، قطبش القایی و VLF)

روش‌های ژئوفیزیکی بر اساس خواص فیزیکی زمین به روش‌های مختلف تقسیم می‌شوند؛ که می‌توان به مواردی مانند روش‌گرانی‌سنجی (خاصیت چگالی)، روش‌مغناطیس‌سنجی (خاصیت مغناطیسی)، روش‌لرزه‌شناسی (خاصیت کشسانی) و ژئوالکتریک (خاصیت الکتریکی و رسانندگی) اشاره کرد. در این پژوهش به بخش الکتریکی آن می‌پردازیم.

اکتشافات الکتریکی تنوع بسیاری دارند؛ که برخی از آنها از منابع انرژی الکتریکی طبیعی استفاده می‌کنند. مانند پتانسیل خودزا، جریان تلوریک و مگنتوتلوریک. برخی دیگر نیز نیاز به جریان و یا میدان الکتریکی مصنوعی دارند؛ از جمله مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی [کلاگری، ۱۳۷۱ و نوروزی، ۱۳۹۲]. خصوصیات الکتریکی زیر سطح زمین را می‌توان به صورت الکتریکی و الکترومغناطیس مورد بررسی قرار داد. روش‌های الکتریکی بر مبنای شارش جریان مستقیم و متناوب در زمین استوار می‌باشند. در حالی که در روش‌های الکترومغناطیسی از پدیده القای الکترومغناطیسی و خصوصیات میدان‌های الکترومغناطیسی تبعیت می‌کنند [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰]. معمولاً روش‌های الکتریکی برای اکتشافات زیرسطحی با عمق کم مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ که از آن جمله می‌توان به پی‌جویی کانی‌های فلزی و هادی، آبیایی، کارهای مهندسی عمران (تعیین سنگ بستر) و ژئوترمال اشاره کرد [کلاگری، ۱۳۷۱].

۲-۲ روش مقاومت‌ویژه

روش مقاومت‌ویژه از سال ۱۹۲۰ میلادی با کار برادران شلومبرژه^۱ آغاز شد [Loke, 2004]. در اواخر دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ روش‌های اکتشاف ژئوفیزیکی به طور گسترده‌ای در جستجوی فلزات پایه و سولفیدها به کار برده شد [Paterson and Hallof, 1991]. روش‌های الکتریکی در اوایل قرن نوزده میلادی گسترش پیدا کردند؛ اما در دهه ۱۹۷۰ به دلیل پیشرفت و دسترسی آسان به

¹ Schlumberger

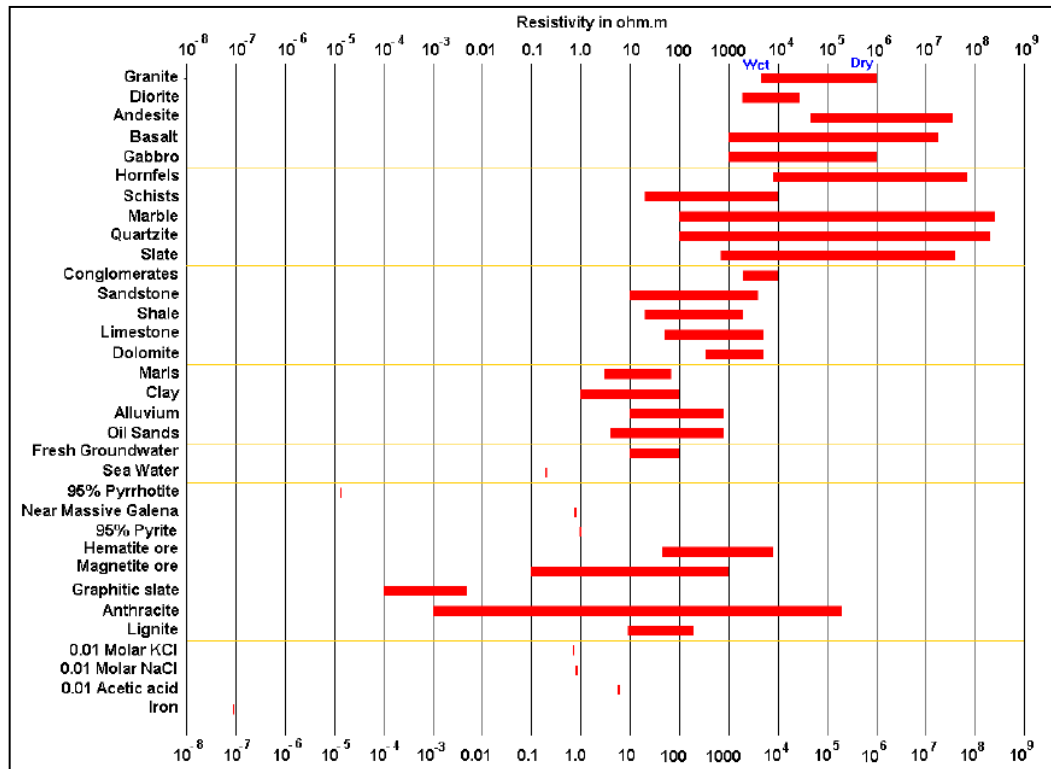
کامپیوتر برای پردازش و تفسیر داده‌ها این گستردگی افزایش بیشتری یافت [Reynolds, 1997]. هدف از برداشت‌های الکتریک، تعیین توزیع زیرسطحی مقاومت‌ویژه به وسیله اندازه‌گیری‌های زیرسطحی و به دنبال آن تخمین مقاومت‌ویژه واقعی توده‌های زیرسطحی است [Loke, 2000].

۲-۲-۱- اصول مقاومت‌ویژه

در روش مقاومت‌ویژه جریان الکتریکی مستقیم و یا جریان متناوب با فرکانس بسیار کم مورد استفاده می‌گیرد. مقاومت سنگ‌ها با سنگ‌شناسی آنها رابطه مخصوصی دارد. اگر جریان الکتریکی از دو الکتروود جریان به زمین تزریق شود، جریان معمولاً از یکی الکتروودها به دیگری جریان پیدا می‌کند. خطوط فرضی هم پتانسیل عمود بر خطوط جریان می‌باشند. ناهمگنی‌های جانبی در مقاومت ویژه و هدایت الکتریکی باعث انحراف خطوط جریان می‌شود؛ که در پی آن سطوح هم پتانسیل دچار بی‌نظمی می‌شوند؛ که آثار آن به سطح زمین منتقل می‌شوند، این بی‌نظمی‌ها را می‌توان توسط الکتروودهای پتانسیل اندازه‌گرفت [کلاگری، ۱۳۷۱].

مهمترین خصوصیات الکتریکی سنگ‌ها و کانی‌ها که در مطالعات ژئوالکتریکی از اهمیت بالایی برخوردارند شامل: مقاومت‌ویژه الکتریکی، هدایت‌ویژه الکتریکی (عکس مقاومت‌ویژه الکتریکی)، ثابت دی‌الکتریک و نفوذپذیری مغناطیسی می‌باشند. هدف اصلی عمده روش‌های الکتریکی، اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه الکتریکی زمین می‌باشد [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰؛ کلاگری، ۱۳۷۱]. گستره‌ی تغییرات مقاومت ویژه سنگ‌ها بین $10^8 * 1/6$ اهم‌متر تا 10^{16} اهم‌متر می‌باشد؛ که سنگ‌های آذرین معمولاً دارای بیشترین مقاومت‌ویژه و سنگ‌های رسوبی بسته به تخلخل، نوع و مقدار الکتروولیت موجود در خلل و خرج آنها می‌توانند مقاومت‌ویژه کمتری داشته باشند [نوروزی، ۱۳۹۲]. سولفیدهای فلزی مقاومت‌ویژه کمتر از یک اهم‌متر دارند. باید توجه داشت که مقاومت‌ویژه یک کانسار منفرد می‌تواند تفاوت بالایی نسبت به بلورهای منفرد داشته باشد. وجود طبیعت کانسار فلزی نظیر توده‌ای یا افشان بودن اهمیت بالایی دارد [Loke, 2004].

مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی برخی از سنگ‌ها و کانی‌های متداول، در شکل (۲-۱) ارائه شده است.



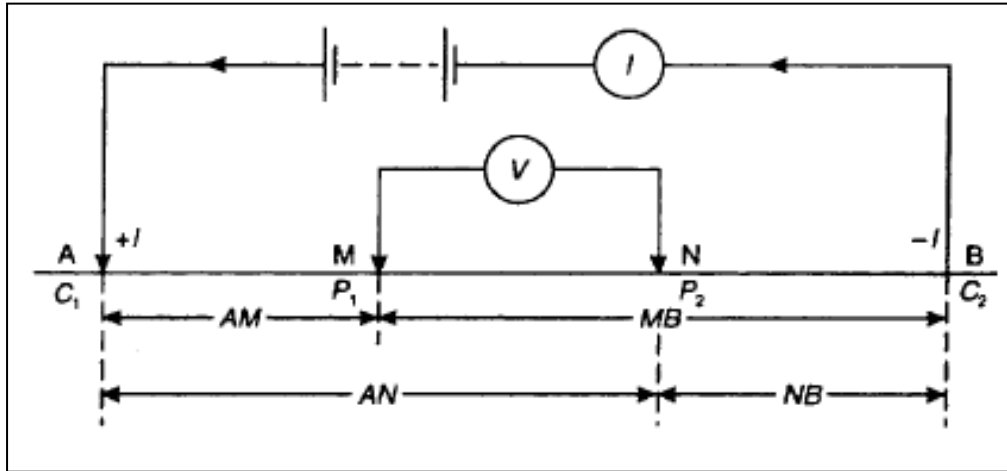
شکل ۲-۱- محدوده مقاومت ویژه سنگها، خاکها و کانی‌ها [Loke, 2000].

جدا از آرایه الکترودی مورد استفاده در اندازه‌گیری مقاومت ویژه با جریان مستقیم، دو روند اندازه‌گیری در مطالعات مقاومت ویژه وجود دارد. یکی زمانی که تغییرات مقاومت ویژه را در عمق بررسی می‌کنند؛ که این روش را گمانه‌زنی قائم الکتریکی می‌نامند. روش دیگر دنبال کردن تغییرات جانبی مقاومت ویژه در یک عمق نسبتاً ثابت است؛ که پروفیل‌زنی مقاومت ویژه می‌نامند. از تلفیق این دو روش نیز می‌توان برای تصویرسازی الکتریکی زمین استفاده کرد [نوروزی، ۱۳۹۲].

۲-۲-۲- آرایش الکترودی

موقعیت هندسی قرارگیری الکترودها نسبت به هم را آرایه گویند. آرایه‌های الکترودی دارای تنوع زیاد می‌باشند؛ که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. انتخاب آرایه مناسب به فضای موجود برای گسترش آرایه مورد استفاده و سختی هر روش بستگی دارد [Reynolds, 1997]. در شکل (۲-۲) آرایه چهار الکترودی را نشان می‌دهد. در اغلب آرایه‌ها همه الکترودها در یک امتداد قرار

می‌گیرند. همچنین برای تسریع در برداشت از آرایه‌های متقارن و ساده‌تر استفاده می‌شود [انوروزی، ۱۳۹۲].



شکل ۲-۲- آرایه چهار الکترودی که در آن الکترودهای پتانسیل بین الکترودهای جریان قرار دارند [Reynolds, 1997]

معادله ۱-۲ معادله اساسی برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری برای هر نوع آرایه الکترودی است. در زمین‌های همسانگرد و همگن، مقاومت ویژه بدست آمده از این معادله، ثابت و مستقل از فاصله الکترودی و موقعیت الکترودها در سطح زمین است. در صورت وجود ناهمگنی‌های زیر سطحی، مقدار مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده با تغییر موقعیت الکترودها، تغییر می‌کند. در اینصورت، مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومت ویژه ظاهری هستند [Mooney, 1980].

$$\rho_a = K \frac{V}{I} = \frac{2\pi}{\left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right\} I} V \quad 1-2$$

که در آن V اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده دو الکترود M و N ، I شدت جریان ارسالی به درون زمین از طریق الکترودهای A و B و K فاکتور هندسی آرایه الکترودی است.

متداول‌ترین آرایه‌های الکترودی مورد استفاده در برداشت‌های مقاومت ویژه و چگونگی بدست

آمدن ضریب هندسی برای هر آرایه در شکل ۲-۳ نشان داده شده‌اند.

آرایه الکترودی	آرایش الکترودی	ضریب هندسی
ونر		$K = 2\pi a$
شلومبرژه		$K = \pi n(n+1)a$ $n > 3$
دوقطبی - دوقطبی		$K = \pi n(n+1)(n+2)a$
قطبی - دوقطبی		$K = 2\pi n(n+1)a$ $n > 3$
قطبی - قطبی		$K = 2\pi a$

شکل ۲-۳- آرایه‌های الکترودی متداول و ضریب (فاکتور) هندسی مربوط به آن‌ها در مطالعات مقاومت ویژه
[After Reynolds, 1997]

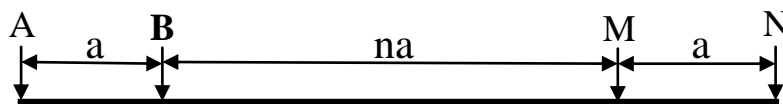
عوامل موثر در انتخاب آرایش الکترودی عبارتند از:

- ۱- نسبت سیگنال به نوفه هر چه بیشتر باشد تشخیص منابع زیرسطحی بهتر خواهد بود.
- ۲- اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی برای دسترسی به دقت بالا باید به کمترین مقدار خود برسد که این عامل با خارج کردن الکترودهای پتانسیل از مدار الکترودهای جریان قابل اجرا می‌باشد.

- ۳- قدرت تفکیک برای شناسایی منابع مختلف آنومالی زیرسطحی باید بالا باشد، مخصوصاً در دو جهت باید تفکیک وجود داشته باشد، این عامل در انتخاب روش خیلی مهم است
[Robinson and Corot, 1976].

در این پژوهش از آرایه دوقطبی- دوقطبی استفاده شده است. با توجه به شکل (۲-۴) در این آرایه دوقطبی فرستنده جریان (AB) و دوقطبی پتانسیل (MN) در یک امتداد قرار دارند. در این آرایه

معمولا فواصل AB و MN یکسان (مقدار a در شکل ۲-۴) و فاصله دو الکتروود B و M برابر مضربی از اعداد صحیح (n) در مقدار a انتخاب می‌شود. (گام) n از یک شروع می‌شود و با هر بار قرائت به آن اضافه می‌شود [نوروزی، ۱۳۹۲].



شکل ۲-۴- آرایه دوقطبی- دوقطبی [نوروزی، ۱۳۹۲].

تعداد گام‌ها حداکثر هشت گام در نظر گرفته می‌شود. زیرا در گام‌های بالا، نسبت سیگنال به نوفه به شدت کم می‌شود [Zang and Luo, 1998]. با توجه به عوامل مذکور آرایش دوقطبی- دوقطبی نسبت به آرایش‌های دیگر کمترین اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی و بیشترین قدرت تفکیک را دارا می‌باشد. البته نسبت سیگنال به نوفه در این آرایش بالاترین نیست؛ اما با توجه به همه عوامل و مزایای موجود آرایش دوقطبی- دوقطبی از بهترین آرایش‌ها است [Robinson and Corot, 1976]. در روش IP از بین آرایه‌های الکتروودی، آرایه دوقطبی- دوقطبی توصیه می‌شود؛ زیرا علاوه بر پوشش افقی و عمودی خوب، قدرت تفکیک بزرگتری را دارا می‌باشد [Doyle, 1990].

۳-۲ روش IP

اول بار در اواخر دهه ۱۹۴۰ روش IP برای اکتشاف توده‌های کانسنگی مخصوصا برای سولفیدهای پراکنده مورد استفاده قرار گرفت [Loke, 2012]. تا سال ۱۹۵۰ تمام اندازه‌گیری‌ها با جریان پیوسته (روش حوزه‌ی زمان) انجام گرفت. در سال ۱۹۵۰ اندازه‌گیری IP با جریان متناوب در فرکانس‌های مختلف (روش حوزه‌ی فرکانس) صورت گرفت [نوروزی، ۱۳۹۲].

روش IP روشی است که اغلب در اکتشافات فلزات پایه بکار گرفته می‌شود. در اکتشاف مس، روش‌های مقاومت‌ویژه و IP بسیار کارایی دارند. علاوه بر اینکه مقدار قطبش‌القایی بالا در شناسایی زون‌های سولفورزه از اهمیت بالایی برخوردار است. با مقایسه توام مقاطع مقاومت‌ویژه و IP می‌توان تا

حدودی به نوع کانی‌زایی مس پی‌برد. به این گونه که وقتی مقدار IP بالا و مقاومت‌ویژه پایین باشد، کانسار از نوع اسکارن (دارای ضریب همبستگی منفی) و در صورتی که مقدار قطبش‌القایی بالا و مقاومت‌ویژه بالا (دارای ضریب همبستگی مثبت) است: کانسار از نوع پورفیری است [Sumner and Stewart, 1976].

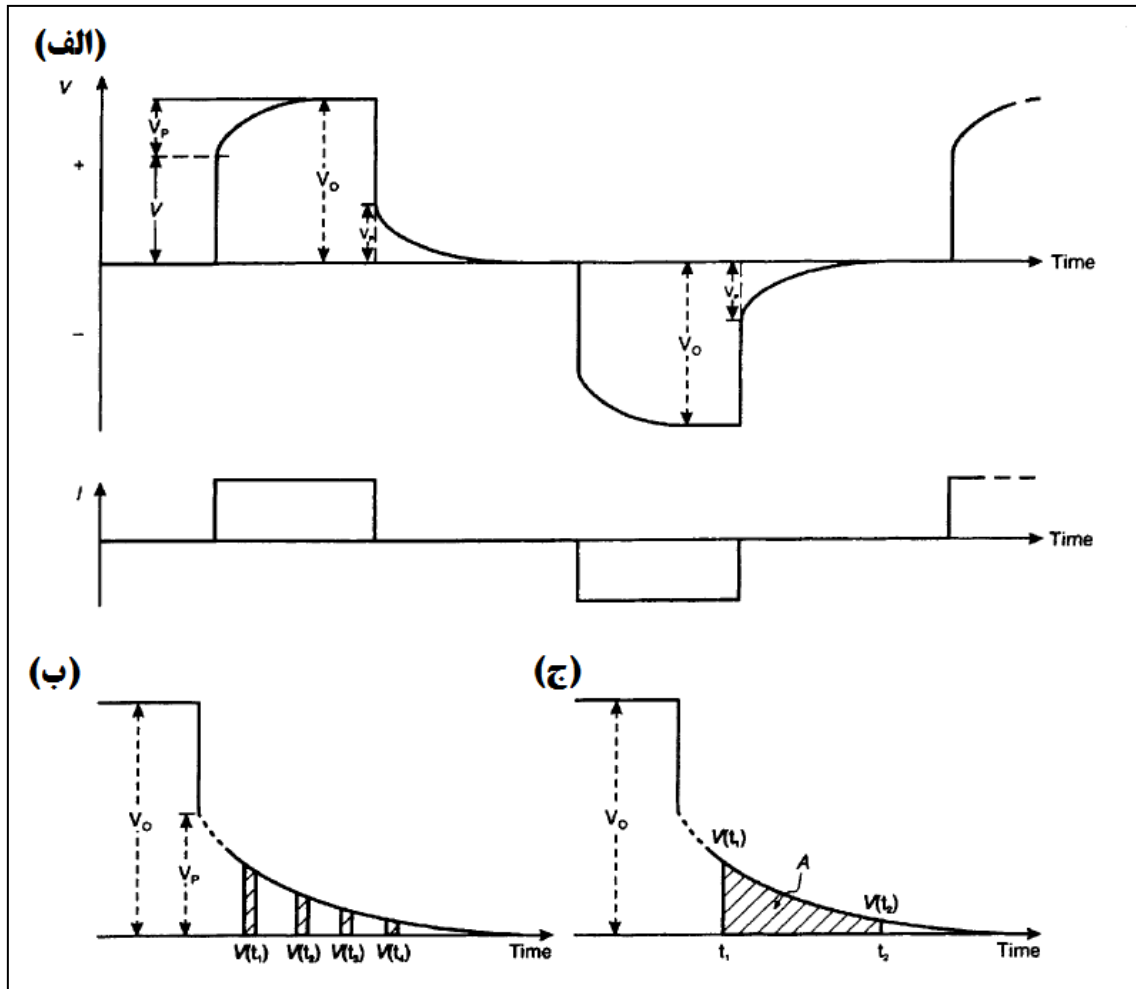
۲-۳-۱- روش‌های اندازه‌گیری IP

اندازه‌گیری‌های IP را به کمک دو الکتروود جریان و دو الکتروود پتانسیل و همراه با برداشت‌های مقاومت‌ویژه انجام می‌دهند. در این مطالعات از آرایه‌های دوقطبی-دوقطبی، مستطیلی و قطبی-دوقطبی بیشتر استفاده می‌کنند [نوروزی، ۱۳۹۲].

پدیده IP را می‌توان هم در حوزه‌ی زمان و هم در حوزه‌ی فرکانس مشاهده کرد. اگر چه پدیده IP را می‌توان مشابه با تخلیه یک خازن (حوزه‌ی زمان) و یا تغییرات امپدانس یک مدار شامل یک مقاومت و یک خازن موازی با آن (حوزه‌ی فرکانس) دانست [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰].

- حوزه‌ی زمان

هنگام اندازه‌گیری IP، جریان مستقیم (DC) طی مدت کوتاهی به زمین تزریق می‌شود. اگر پس از شارژ شدن زمین جریان را قطع کنند، ولتاژ اضافی (V_p) ایجاد شده بعد از زمان کوتاهی به مقدار صفر می‌رسد (شکل ۲-۵-الف) [Reynolds, 1997]. پتانسیل حالت شارژ زمین (V_0) دو قسمت است: یکی پتانسیل حقیقی مربوط به جریان تزریق شده و دیگری ولتاژ اضافی که از اثر قطبش زمین ایجاد شده است. پس از قطع کردن جریان، ولتاژ زمین ابتدا به میزان V به صورت لحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند (شکل ۲-۵-ب). در ادامه ولتاژ اضافی به صورت منحنی تخلیه می‌شود و به صفر می‌رسد. معمولاً اندازه‌گیری پتانسیل، روی منحنی زوال و در زمان کوتاهی پس از قطع جریان انجام می‌گیرد [نوروزی، ۱۳۹۲].



شکل ۲-۵- اندازه گیری IP در روش حوزه ی زمان، الف: منحنی تغییرات پتانسیل در حالت شارژ و تخلیه و تغییرات جریان تزریقی، ب: پارامتر قطبش ظاهری، ج: پارامتر بارپذیری [After Reynolds, 1997]

الف) قطبش پذیری: اگر اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده در زمان t (پس از قطع جریان) برابر ΔV_t باشد، نسبت این اختلاف پتانسیل به مقدار اختلاف پتانسیل در حالت شارژ (V_0) را قطبش القایی یا قطبش پذیری ظاهری P_a نامیده می شود [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰؛ نوروزی، ۱۳۹۲].

$$P_a = \frac{\Delta V_t}{V_0} \quad 2-2$$

اگر ΔV بر حسب میلی ولت و V بر حسب ولت باشد واحد قطبش پذیری ظاهری، میلی ولت بر ولت ($mV V^{-1}$) می باشد [کلاگری، ۱۳۷۱].

ب) بارپذیری: در بعضی مواقع، انتگرال زمانی نرمالیزه که نشان‌دهنده مساحت زیرمنحنی زوال بین زمان های t_1 و t_2 بعد از قطع جریان می‌باشد، برای بیان قطبش القایی مورد استفاده می‌گیرد. این پارامتر بارپذیری ظاهری نامیده شده و با $(M_{t_1, t_2}^T)_a$ نشان داده می‌شود، بنابراین:

$$(M_{t_1, t_2})_a = (1/V) \int_{t_1}^{t_2} \Delta V_{IP} dt \quad (3-2)$$

در صورتی که ΔV بر حسب میلی ولت، V بر حسب ولت و زمان بر حسب ثانیه اندازه‌گیری شوند (واحدهای متداول در برداشت‌های IP)، واحد بارپذیری میلی‌ولت ثانیه بر ولت ($mVsV^{-1}$) و یا میلی‌ثانیه (ms) می‌باشد [کلاگری، ۱۳۷۱].

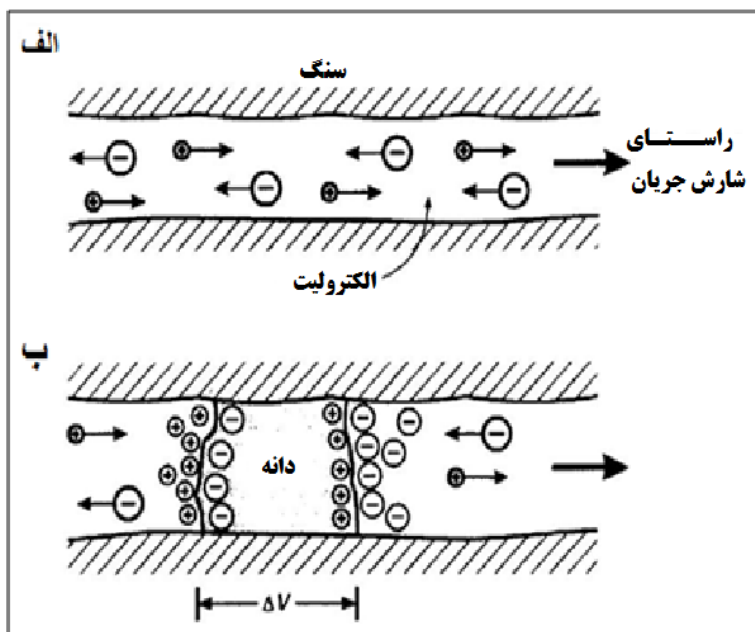
۲-۳-۲- منشأ پدیده قطبش القایی

علت دقیق ایجاد پدید IP مشخص نیست. اما دو ساز و کار اصلی برای توجیه این پدیده عبارتند از: قطبش الکتروودی^۱ (فلزی) و قطبش الکترولیتی (غشایی^۲) که هر دو با پدیده‌های الکتروشیمیایی در ارتباطند [نوروزی، ۱۳۹۲].

الف - قطبش الکتروودی (فلزی)

معمولاً رسانش الکتریکی از زمین به صورت یونی انجام می‌شود، اما در برخی مواقع ممکن است مسیر حرکت یون‌ها توسط ذرات کانی‌های با قابلیت هدایت الکترونی (مانند پیریت) مسدود شود (شکل ۲-۶). در چنین حالتی عبور جریان الکتریکی از یک الکتروود فلزی (رسانای الکترونی) که درون یک الکتروولیت فرو رفته است، در صورتی که سرعت کلیه فرآیندها در واکنش الکترولیتی یکسان نباشد، باعث تجمع پیوسته بار الکتریکی در مرز آنها می‌شود [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰].

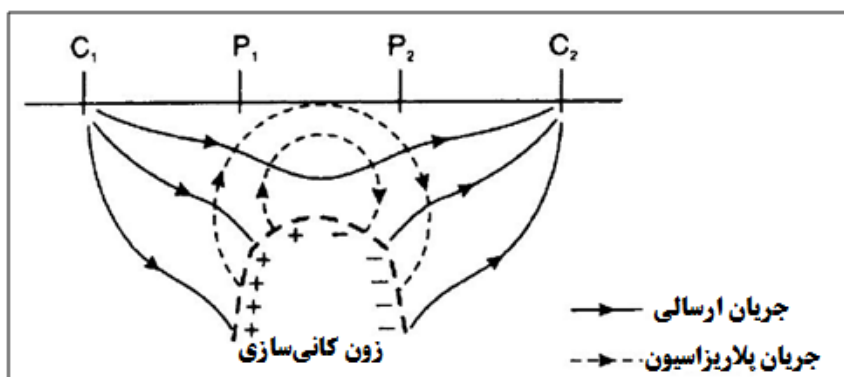
¹ electrode
² membrane



شکل ۲-۶- قطبش الکترودی، الف) شارش جریان در یک کانال باز ب) قطبش دانه رسانا که در کانال ارتباطی سنگ قرار گرفته است [After Reynolds, 1997]

زمانی که به این مجموعه ولتاژی اعمال می‌کنند، تعادل یونی به هم می‌خورد و در نتیجه موجب شارش جریان می‌شود؛ که تغییر اختلاف پتانسیل بین الکتروود و محلول را به دنبال دارد. هنگامی که ولتاژ اعمال شده را حذف کنند، تعادل یونی به واسطه پخش یون‌ها بر می‌گردد. این امر باعث تولید قطبش الکترودی می‌شود [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰].

این فرآیند مبنای اندازه‌گیری زوال ولتاژ در روش اندازه‌گیری حوزه زمان است. قطبش دانه‌ها به طور عمده پدیده‌ای سطحی است و این پدیده مطابقت شکل (۲-۷) دلیلی بر پاسخ قابل توجه IP برای کانی‌سازی‌های فلزی پراکنده است [انوروزی، ۱۳۹۲].



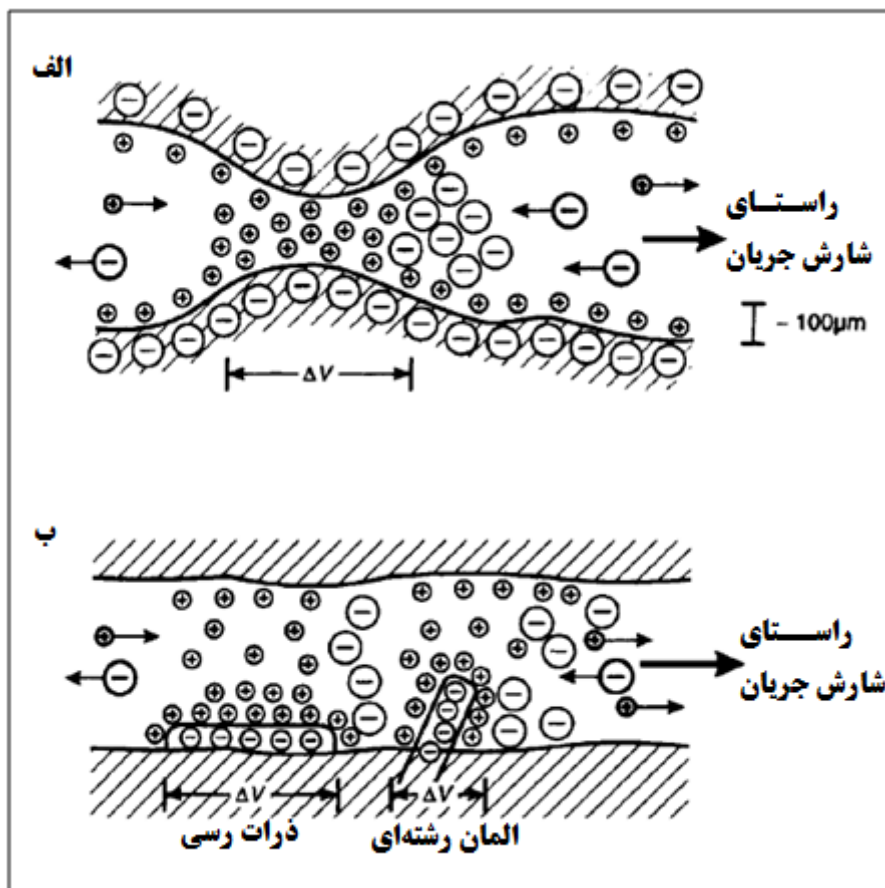
شکل ۲-۷- اثر ماکروسکوپی قطبش دانه‌ها در بالای یک کانی‌سازی افشان [After Reynolds, 1997]

ب- قطبش الکترولیتی (غشایی)

قطبش غشایی معمولاً IP زمینه محدودی اکتشافی را تشکیل می‌دهد و با کانی‌های غیرفلزی ارتباط دارد. بعضی اوقات ولتاژ اضافی در اثر این پدیده با ولتاژ کانی‌سازی ضعیف یکسان می‌شود که در این صورت تفکیک آنها با روش‌های IP معمول مشکل است [کلاگری، ۱۳۷۱]. به نظر می‌رسد که در این مواقع شرط ضروری، حضور ذرات رسی باشد. زیرا قطبش القایی بر روی ماسه‌های کوارتزی تمیز و یا محیط‌های مشابه عاری از رس مشاهده نمی‌شود. محتمل‌ترین دلیل قطبش غشایی، تبدلات یونی و تشکیل پتانسیل‌های پخش است [Reynolds, 1997].

سطح ذرات رس، لبه‌های مواد لایه‌ای و رشته‌ای و سطح بلورها معمولاً دارای بارهای منفی نامتوازنی هستند که ابری از یون‌های مثبت را از الکترولیت مجاور به سمت خود جذب می‌کنند. با عبور جریان الکتریکی از یک سیستم رس-الکترولیت، یون‌های مثبت به راحتی از این ابر یونی عبور می‌کنند؛ اما یون‌های منفی مسدود شده و زون‌های با تمرکز یون‌ها را تشکیل می‌دهند [Reynolds, 1997].

بعد از قطع جریان، بازگشت یون‌ها به حالت تعادل قبلی باعث تشکیل یک جریان بازماند شده و به صورت اثر IP ظاهر می‌شود. مشاهدات IP که تاکنون انجام شده مبنی بر این است که اثر IP الکترودی و غشایی شباهت داشته و هیچ شاخص متمایز کننده‌ای برای تفکیک بدون ابهام این دو اثر در مشاهدات صحرائی کشف نشده است [Reynolds, 1997].



شکل ۲-۸- چگونگی گسترش قطبش القایی غشایی، الف: تنگ شدگی در قسمتی از یک کانال ارتباطی، ب: بار منفی ذرات رسی و المان رشته‌ای موجود در دیواره کانال ارتباطی [After Reynolds, 1997]

۴-۲ روش VLF

۴-۲-۱- مقدمه

امروزه روش‌های الکترومغناطیس (EM) به طور وسیع در اکتشافات کانسارهای فلزی بکار می‌رود. روش‌های EM از پاسخ سنگ‌های زیرسطحی به میدان EM (مركب از مولفه‌های الکتریکی و مغناطیسی) بهره می‌گیرند و بر اساس القای جریان الکتریکی که در اجسام هادی مدفون توسط امواج الکترومغناطیس ایجاد شده‌اند، کار می‌کند [Telford, et al., 1990].

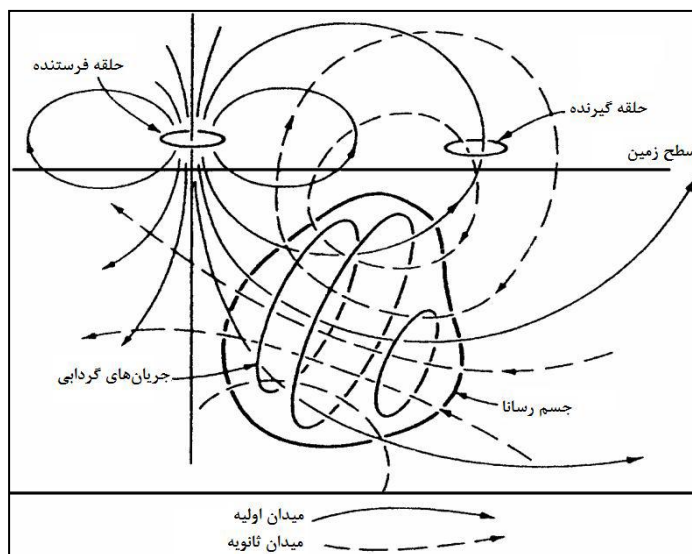
از این روش‌ها در ابتدا برای اکتشاف کانسارهای فلزی استفاده می‌شد؛ ولی بعد از آن در زمینه‌های دیگری مانند مطالعات هیدروکربورها و طی سال‌های اخیر در مطالعات هیدروژئولوژی و زیست‌محیطی نیز استفاده می‌شود [نوروزی، ۱۳۹۲].

روش‌های الکترومغناطیس به دو صورت غیرفعال (استفاده از میدان طبیعی) مانند مگنتوتلوریک^۱ (MT) و فعال (استفاده از میدان‌های تولید شده فرستنده) مانند VLF انجام می‌شود. [انوروزی، ۱۳۹۲].

این امواج از سطح زمین یا از بالای سطح زمین (داخل هواپیما) به زمین نفوذ کرده و در داخل سنگ‌های زیرزمینی انتشار می‌یابد [Telford, et al., 1990]. پارامتر فیزیکی اصلی موثر در این اندازه‌گیری‌ها رسانایی مواد است. سرعت برداشت‌های EM نسبت به روش‌های ژئوالکتریک بیشتر می‌باشد، اما به طور معمول تجهیزات و دستگاه‌های آن گران‌قیمت‌تر می‌باشند [انوروزی، ۱۳۹۲].

طرز کار این روش به گونه‌ای است که میدان الکترومغناطیس ایجاد شده از طریق پیچیده فرستنده، در زیر و بالای زمین منتشر می‌شود. در صورتی که سنگ‌های زیرسطحی رسانا نباشند، اختلاف موجی که در زیر سطح زمین منتشر می‌شود، نسبت به موجی که در بالای این سطح و در هوا حرکت می‌کند، چندان زیاد نیست. اما اگر محیط رسانایی در زیر سطح زمین وجود داشته باشد و موج ارسالی از آن عبور کند، مولفه مغناطیسی موج تابشی EM جریان‌های متناوبی را در داخل رسانا القا می‌کند؛ که آنها میدان مغناطیس ثانویه‌ای را ایجاد می‌کنند؛ که پیچیده‌گیرنده آن را دریافت می‌کند (شکل ۲-۹). از طرف دیگر، میدان اولیه‌ای که از هوا عبور می‌کند، نیز در گیرنده ثبت می‌شود. میدان ثانویه اندازه‌گیری شده از نظر دامنه و فاز نسبت به میدان اولیه متفاوت است. اختلاف این دو میدان اطلاعات حائز اهمیتی در مورد هندسه، گسترش و خواص الکتریکی محیط رسانا یعنی یک ناهنجاری زیرسطحی به دست می‌دهد [کلاگری، ۱۳۷۱؛ Telford, et al., 1990].

¹ Magnetotelluric



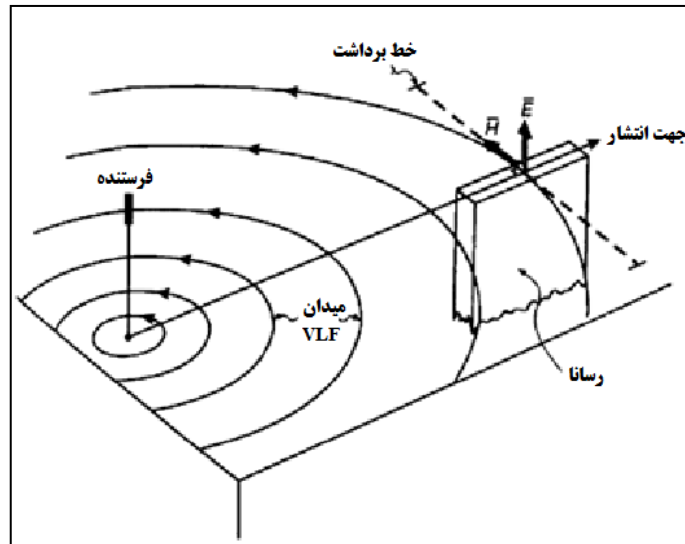
شکل ۲-۹- توزیع میدان‌های الکترومغناطیسی در حضور توده رسانا در زیر سطح [After Reynolds, 1997]

۲-۴-۲- روش VLF

منبع میدان مورد استفاده در روش VLF، امواج الکترومغناطیسی با فرکانس پایین (۲۵-۱۵ کیلو هرتز) می‌باشد. این امواج به‌طور پیوسته توسط تعداد زیادی از ایستگاه‌ها رادیویی پر قدرت در سراسر جهان منتشر می‌شوند. از این سیگنال‌ها می‌توان در فاصله‌های چند هزار کیلومتری از فرستنده آنها برای مطالعات اکتشافی با روش EM استفاده کرد [Milson, 2003].

بدلیل فاصله زیاد فرستنده و گیرنده در مطالعات اکتشافی می‌توان از فرضیه میدان تخت و افقی بودن آن در نقاط اندازه‌گیری استفاده نمود. به این ترتیب مطابق شکل (۲-۱۰) مولفه الکتریکی میدان الکترومغناطیسی (E) در صفحه قائم و مولفه مغناطیسی آن (H) در یک صفحه افقی و عمود بر امتداد انتشار قرار می‌گیرند. ساختار رسانایی که هم امتداد با جهت انتشار امواج فرستنده باشد، با قطع بردار مغناطیسی و القای جریان در رسانا، میدان مغناطیسی ثانویه را تولید می‌کند. با اندازه‌گیری مولفه حقیقی و موهومی نسبت میدان ثانویه مغناطیسی به میدان اولیه مغناطیسی در محل‌های مختلف می‌توان به سرعت اطلاعات ارزشمندی از ساختارهای زیرسطحی کسب نمود که در مطالعات اکتشافی اهمیت دارند. بدیهی است که ساختارهای رسانایی که امتداد آنها عمود بر امتداد انتشار امواج

قرار می‌گیرد، تحت تاثیر مشخص بردار میدان مغناطیسی میدان فرستنده قرار نمی‌گیرد [کلاگری، ۱۳۷۱ و نوروزی، ۱۳۹۲].



شکل ۲-۱۰- منبع VLF آنتنی بلند و قائم است که موج اولیه EM را ایجاد می‌کند و از آن برای برداشت های زاویه شیب در مطالعات اکتشافی استفاده می‌کنند [After Reynolds, 1997]

گیرنده VLF شامل دستگاه کوچک دستی است که در آن دو آنتن هوایی (پیچ) عمود بر هم و قابل تنظیم برای فرکانس‌های خاص فرستنده در نظر می‌گیرند. در دستگاه‌های پیشرفته از سه آنتن که محور آنها بر هم عمود است، استفاده می‌کنند. با این سیستم می‌توان امتداد سیگنال و موقعیت صفر را به طور خودکار به دست آورد. بعضی از این دستگاه‌ها اندازه‌گیری‌ها را با سیگنال‌های دریافتی از دو یا تعداد بیشتری فرستنده به طور همزمان انجام می‌دهند [نوروزی، ۱۳۹۲].

۲-۴-۳- بیضوی قطبش^۱

دستگاه‌های گیرنده امواج EM میدان‌های ثانویه حاصل از توده‌های مورد مطالعه به‌ضافه میدان اولیه را اندازه‌گیری می‌کنند. میدان برآیند (H_r) حاصل از میدان‌های اولیه (H_p) و ثانویه (H_s)، یک میدان الکترومغناطیسی است که به صورت بیضوی قطبیده شده است.

¹ Ellipticity polarization

$$\frac{H_p^2}{A^2 \cos^2 \varphi} + \frac{H_s^2}{B^2 \cos^2 \varphi} - \frac{2H_p H_s \sin \varphi}{AB \cos^2 \varphi} = 1 \quad (4-2)$$

که معادله (۴-۲)، معادله یک بیضی است. برای به دست آوردن این معادله دو فرض زیر در نظر گرفته شده است:

۱- H_p و H_s بر هم عمودند.

۲- H_s تنها از جریان‌های ناشی از رسانا به وجود آمده است.

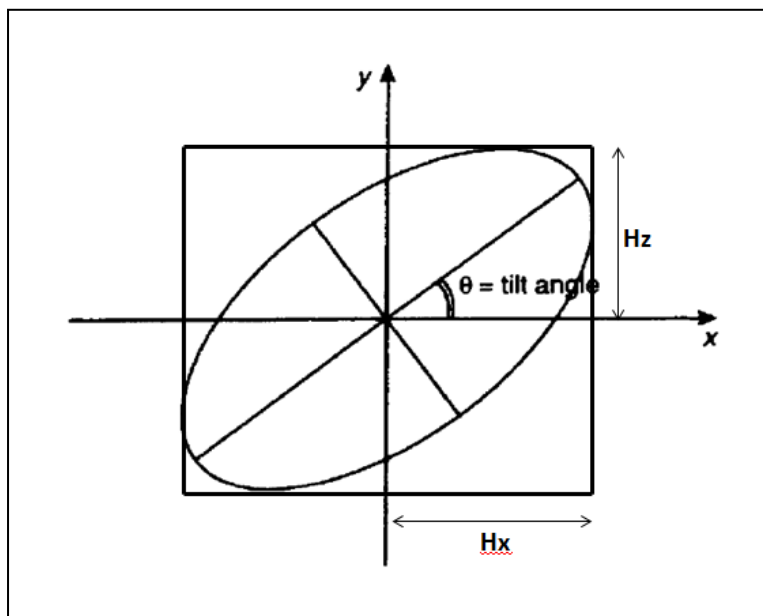
بیضی پلاریزاسیون می‌تواند در هر سطح فضایی قرار بگیرد، ولی معمولاً این سطح از امتداد

افقی یا قائم فقط مقدار کمی انحراف دارد، زیرا قطر بزرگ بیضی بر H_p منطبق است که در عمل از H_s

خیلی بزرگتر می‌باشد و چون میدان اولیه (H_p) به صورت افقی یا قائم انتخاب می‌شود، بنابراین بردار

برآیند به میدان اولیه نزدیکتر بوده و به طور تقریب از امتداد آن پیروی می‌کند [Telford, et al.,

1990].



شکل ۲-۱۱- پارامترهای بیضوی قطبش [After Reynolds, 1997]

۲-۴-۴- زاویه شیب^۱

زاویه‌ایی که بردار برآیند (H_r) با میدان اولیه می‌سازد، زاویه شیب (θ) نامیده می‌شود که در روش‌های زاویه شیب، هدف اندازه‌گیری تغییرات این زاویه می‌باشد.

در هر ایستگاه اندازه‌گیری حلقه گیرنده حول سه محور عمود بر هم چرخیده تا یک سیگنال صفر (null) به دست آید، در این حالت، صفحه حلقه گیرنده منطبق با صفحه بیضی قطبش است. با تعیین جهت سطح پلاریزاسیون می‌توان زاویه (θ) اندازه گرفت، بدین صورت که حلقه گیرنده را حول یک محور افقی عمود بر صفحه بیضی قطبش می‌چرخانیم تا سیگنال کمینه حاصل شود، در این حالت زاویه صفحه حلقه گیرنده با سطح افق همان زاویه شیب (θ) خواهد بود. در حالی که فرستنده یک سیم‌پیچ حلقوی ثابت و عمودی باشد، میدان اولیه (H_p) افقی و میدان ثانویه (H_s) در اطراف توده زیرسطحی به صورت دوایر متحدالمركز منتشر می‌شود. میدان برآیند (H_r) در فواصل دورتر از توده رسانا به سمت بالا شیب دارد و با نزدیک شدن حلقه گیرنده به توده رسانا، زاویه شیب (H_r) کم شده و در روی توده زاویه شیب (θ) صفر خواهد شد و دوباره با دور شدن حلقه گیرنده از توده رسانا زاویه شیب زیاد شده که جهت آن به سمت پایین می‌باشد.

¹ Tilt-angle

فصل سوم

برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های
ژئوفیزیکی در منطقه مورد مطالعه

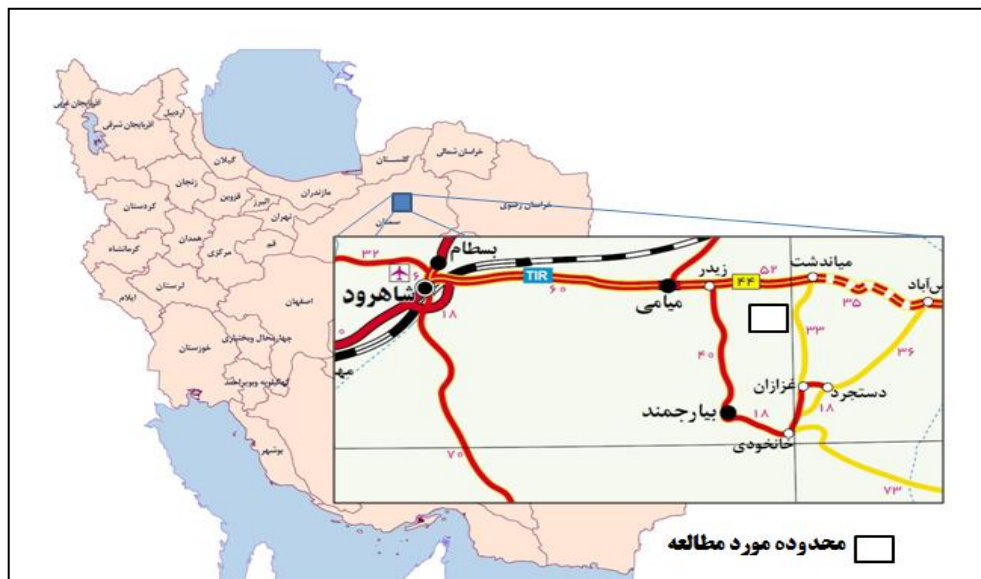
۱-۳ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه در کیلومتر ۸۵ محور شاهرود- مشهد و در ضلع جنوبی این جاده واقع شده است. کانسار مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی استان سمنان و شهرستان میامی واقع شده است؛ مختصات جغرافیایی چهارگوش آن در جدول (۱-۳) آمده شده است.

جدول ۱-۳- مختصات جغرافیایی گوشه‌های محدوده مورد مطالعه (زون 40S)

گوشه‌های چهارگوش	سیستم تصویر UTM	
	X	Y
A	۴۰۵۳۰۰	۴۰۲۶۶۰۰
B	۴۰۶۰۰۰	۴۰۲۶۶۰۰
C	۴۰۶۰۰۰	۴۰۲۵۶۰۰
D	۴۰۵۳۰۰	۴۰۲۵۶۰۰



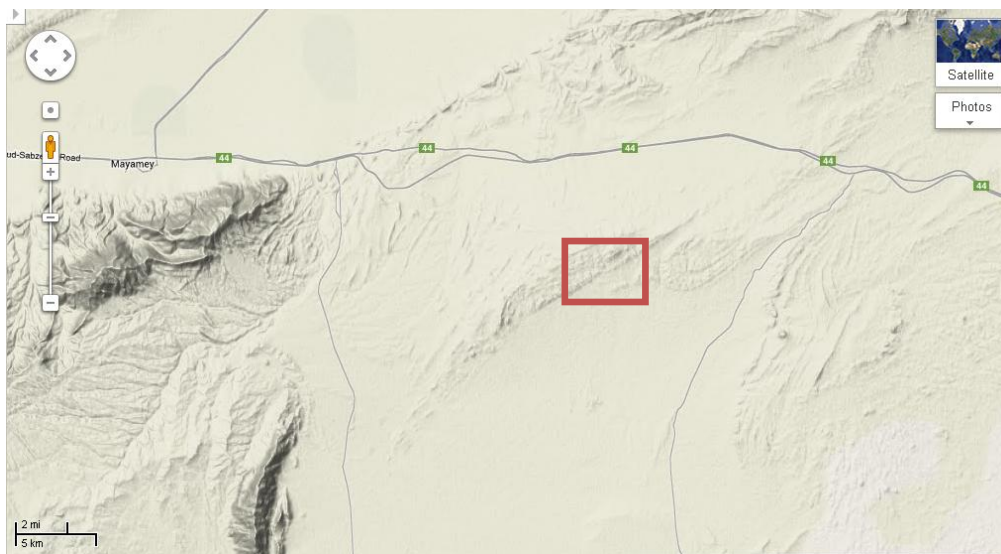
شکل ۱-۳- راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

۳-۱-۲- توپوگرافی منطقه

از ارتفاعات مهم ناحیه می‌توان به کوه‌های میامی (۲۴۱۷ متر) و سوخته‌کوه (۲۴۲۵ متر) اشاره نمود. رودخانه دائمی در تمام ناحیه وجود ندارد و مسیل‌های زیدر، کال‌طاقی و کفتاره از آبراهه‌های فصلی مهم بوده که در فصول بارندگی مسیر گذر سیل هستند. کوه طبق سر با ارتفاع ۱۴۵۰ متر، نزدیک‌ترین و مرتفع‌ترین به محدوده مطالعاتی می‌باشد؛ که در شمال شرقی محدوده‌ی معدنی واقع شده است. در کل محدوده مورد مطالعه دارای ارتفاع پستی بوده و اختلاف ارتفاع بین مناطق مختلف آن حداکثر حدود ۱۰۰ متر می‌باشد (شکل‌های ۲-۳ و ۳-۳) [ابراهیمی، ۱۳۹۳].



شکل ۳-۲- تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد نظر [تهیه شده از Google earth]



شکل ۳-۳- تصویر توپوگرافی محدوده بر روی نقشه گوگل [تهیه شده از Google Maps]

۳-۱-۳- وضعیت آب و هوایی

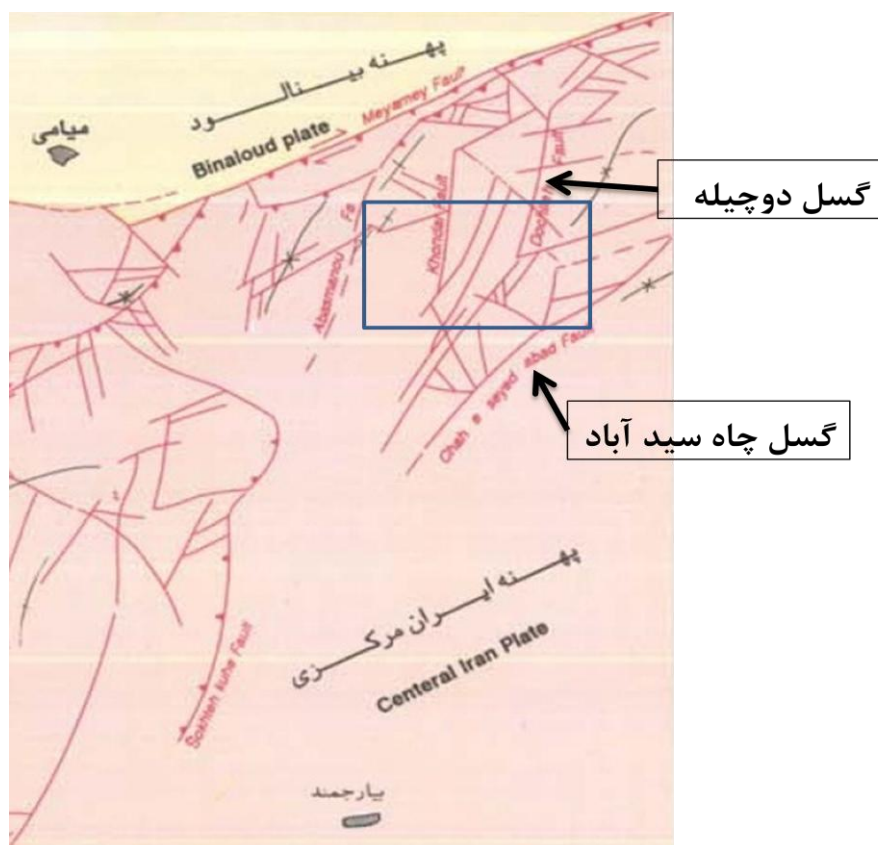
از دیدگاه کلی، منطقه‌ی مورد مطالعه دارای آب و هوایی سرد و خشک است. در بهار معتدل و تابستان گرم و خشک بوده و در پاییز و زمستان سرد می‌باشد؛ که در این فصول بارندگی به صورت برف و باران است. بیشتر مردم با کشاورزی و دامداری امرار معاش می‌کنند. آب مصرفی توسط چشمه‌ها و قنات‌ها و چاه تأمین می‌شود.

پوشش گیاهی منطقه عمدتاً بوته و عاری از درخت است؛ هر چند به میزان اندک درختچه‌های کوتاهی نیز در آن دیده می‌شود. نزدیک‌ترین روستا به منطقه، روستای غزازان است که دارای امکانات آب، برق، تلفن و... می‌باشد [ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۳].

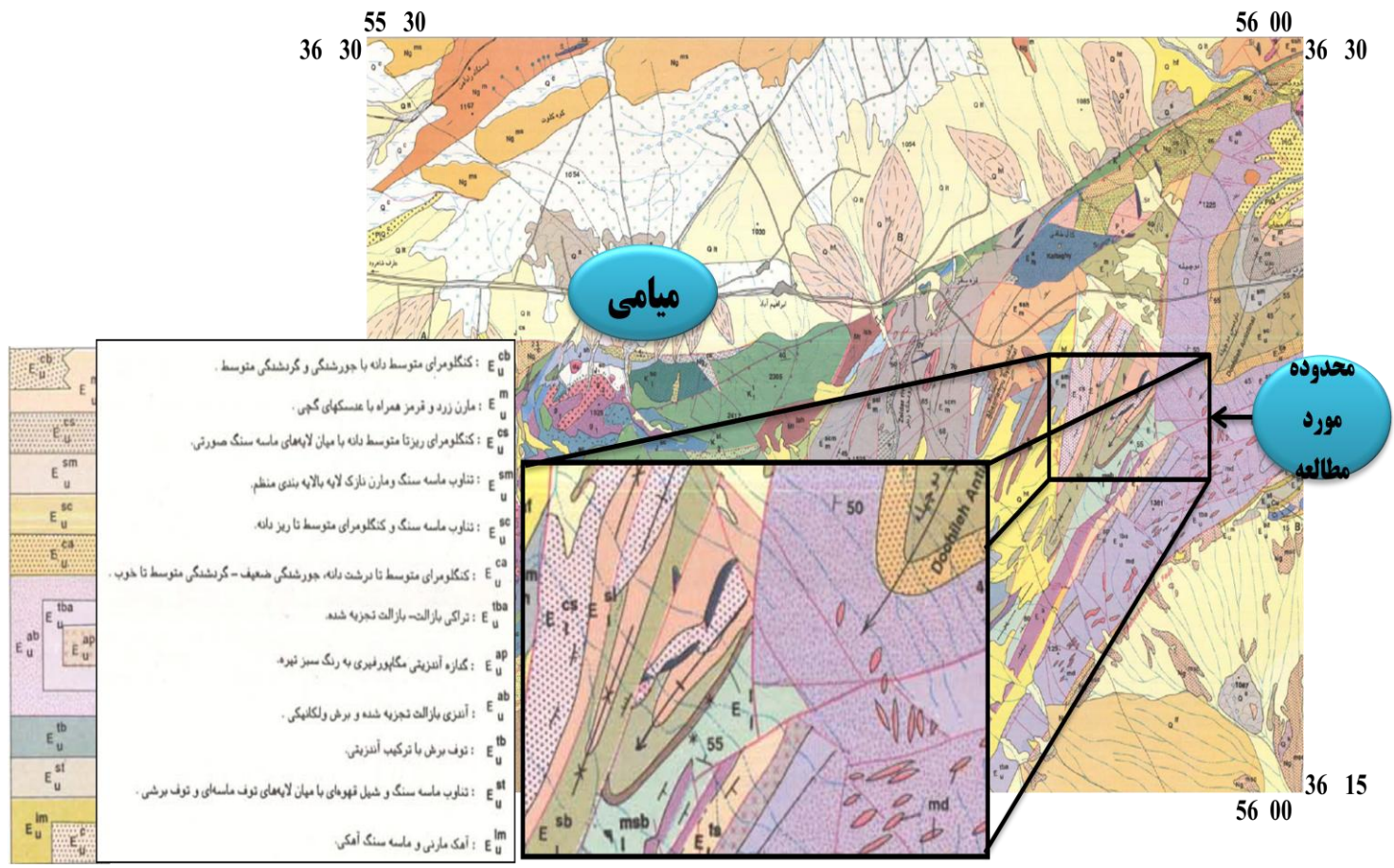
۳-۱-۴- زمین شناسی منطقه

این محدوده در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی قرار گرفته است که به دلیل پتانسیل‌های معدنی، به خصوص کانی‌سازی مس مورد توجه قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی در مرز زون ایران مرکزی و زون بینالود قرار گرفته که توسط گسل میامی از هم جدا می‌گردند. کانی‌سازی مس آسمانو در قسمت جنوبی گسل میامی واقع شده است و در بخش کوچکی از انتهای

شمالی زون ایران مرکزی قرار می‌گیرد. شهر میامی بزرگترین مرکز جمعیتی محدوده مذکور می‌باشد. مطابق شکل (۳-۴) گسل میامی که از شمال برگه مورد مطالعه عبور می‌کند، گسل‌های اصلی چاه سیدآباد و گسل دوچپله با روند جنوب خاوری-شمال باختری در شکل‌گیری مورفولوژی منطقه نقش اساسی دارند و ناحیه بین این گسل‌ها بالا آمده و بخش مرتفع را پدید آورده است، و دشت میامی در شمال و دشت بیارجمند در جنوب، در کناره این گسل‌ها شکل گرفته است و مطابق شکل (۳-۵) سنگ‌های آهکی کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی ائوسن، بخش‌های مرتفع و سنگ‌های سست (مارن و ماسه‌سنگ) نئوژن نواحی پست را درست کرده‌اند. از طرفی سازمان زمین‌شناسی کشور، [۱۳۷۹].



شکل ۳-۴- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه [سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۹]



شکل ۳-۵- بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه [سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۹]

واحدهای سنگی موجود در محدوده مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

- واحد E_1^{ml} : شامل تناوبی از مارن سبز با میان لایه‌های آهکی مارنی.

- واحد E_u^{tba} : شامل تراکی بازالت و بازالت تجزیه شده می‌باشد.

- واحد E_u^{ab} : این واحد گسترش قابل توجهی دارد و یک بازالت قهوه‌ای و سبز رنگ است. بخش

کانی‌سازی مس در این واحد قرار گرفته است و تقریباً یک روند شمالی- جنوبی دارد.

- واحد E_u^{ca} : شامل کنگلومرای متوسط تا درشت دانه می‌باشد.

- واحد E_u^{sc} : تناوب ماسه‌سنگ و کنگلومرای متوسط تا ریزدانه.

- واحد E_u^{sm} : تناوب ماسه‌سنگ و مارن نازک لایه، با لایه‌بندی منظم [سازمان زمین‌شناسی کشور،

۱۳۷۹].

واحدهای سنگی منطقه در برگیرنده ردیفی از سنگ‌های ژوراسیک و کرتاسه می‌باشد و حجم

قابل توجهی از نهشته‌های رسوبی و آتشفشانی ائوسن و سرانجام نهشته‌های نئوژن و کواترنر هستند.

سه توده آذرین در میان سنگ‌های منطقه نفوذ کرده و باعث دگرگونی گرمایی آنها شده است.

نهشته‌های ژوراسیک عمدتاً در جنوب شرقی شهر میامی و در جنوب شرقی نقشه قرار گرفته است و

به دلیل زمین‌ساخت شدیدی که منطقه را تحت تاثیر قرار داده و به طور کامل چین‌خورده است. این

نهشته‌ها در بخش‌هایی تحت تاثیر توده‌های آذرین قرار گرفته و متحمل دگرگونی مجاورتی شده است.

لیتولوژی غالب واحدهای ژوراسیک شیل، ماسه‌سنگ، شیل آهکی و کنگلومرا می‌باشد. نهشته‌های

کرتاسه در جنوب میامی و غرب بیارجمند با ضخامت‌های بالا تشکیل شده و ستیغ قله‌های مرتفع را

می‌سازد جنس آن از کنگلومرا، سنگ آهک و آهک‌های ضخیم تشکیل شده است [سازمان

زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۹].

واحدهای ائوسن رسوبی بیشترین گسترش را در منطقه دارد و با یک امتداد شمال-شرق- جنوب غرب ارتفاعات نه‌چندان بلندی را می‌سازد. در ناحیه میامی نهشته‌های ائوسن بیشتر از سنگ‌های رسوبی و کمتر از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده است. واحدهای رسوبی عمدتاً از ماسه سنگ، مارن و کنگلومرا تشکیل شده است.

واحدهای آتشفشانی ائوسن غالباً از توف، گدازه‌های آندزیتی سبز رنگ، آندزیت بازالت‌های قهوه‌ای و سبز و تراکی بازالت‌های تجزیه شده تشکیل شده‌اند. محدوده معدنی آسمانو در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی در واحد E_u^{ab} قرار گرفته است که یک بازالت قهوه‌ای و سبز رنگ با بافت پورفیریتیک با زمینه میکروولیتیک و پورفیرهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن است و در بعضی موارد به یک برش با ترکیب آندزیتی تبدیل می‌شود. ضخامت این واحد حدود ۱۳۵۰ متر است. ۵ منطقه بخش کانی‌سازی مس در این واحد قرار گرفته و در برخی مناطق روند شمالی- جنوبی و در برخی دیگر روندی شمال شرقی - جنوب غربی دارد که در این امتداد به طور پراکنده کانی‌زایی مس رخنمون دارد. کانی‌سازی به صورت مالاکیت، آزوریت، کوپریت و مس طبیعی قابل مشاهده هستند [ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۳].

۳-۱-۵- تفکیک زون‌های دگرسانی در منطقه

دگرسانی در منطقه آسمانو از گسترش وسیعی برخوردار است و به منطقه رخنمون رگه‌ها محدود نیست. بازالت‌های دانه درشت تحت تاثیر محلول‌های گرمابی قرار گرفته و تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی وسیعی در آنها ایجاد شده است. دگرسانی زئولیت- کربنات به طور گسترده در نواحی میانی نقشه مشخص می‌شود. مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد که اغلب سنگ‌ها به مجموعه‌ای از کلریت، کربنات و زئولیت تبدیل شده‌اند. دگرسانی‌های کلریتی و اکسید آهن در مجاورت رگه‌ها با وسعت بسیار محدود تشکیل شده است. از مرکز رگه‌ها به سمت حاشیه دگرسانی به سه دسته

۱) دگرسانی اکسید آهن، ۲) دگرسانی کلریتی، ۳) دگرسانی زئولیتی- کربناتی تقسیم می‌شود [ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۳].

۳-۱-۶- کانی‌زایی منطقه

براساس مطالعات کانی‌شناسی و روابط بافتی در مرحله اکتشاف سطحی، دو مرحله کانی‌سازی در منطقه آسمانو قابل تشخیص است. در مرحله اول مس خالص به صورت پراکنده در حفرات سنگ نهشته شده است. ابعاد آن تا ۵۰۰ میکرون هم می‌رسد. گاهی به صورت دانه‌های ریز در داخل کالکوسیت مشاهده می‌شود. مگنتیت به صورت بلورهای وجه‌دار وجود دارد که در بیشتر موارد هماتیت جایگزین آن شده است. کالکوسیت نیز با ابعاد دانه ریز به صورت پراکنده در متن سنگ و در حفرات کانی‌ها مانند الیوین و پیروکسن تشکیل شده است. در مرحله دوم، هیدروکسیدهای آهن در اثر دگرسانی سوپرژن از کانی‌های آهن‌دار تشکیل شده است. کانی‌ها در این مرحله به صورت رگه و رگچه‌ای و گاهاً به صورت پراکنده در متن سنگ مشاهده می‌شود. مس خالص، کوپریت، مالاکیت و کالکوسیت در داخل شکستگی‌ها در این مرحله تشکیل شده‌اند. مشخصات کانی‌سازی با کانی‌سازی مس تیپ «میشیگان» که از نوع رگه‌ای و پراکنده است مشابهت‌های زیادی دارد.

۳-۲ برداشت، پردازش و تفسیر

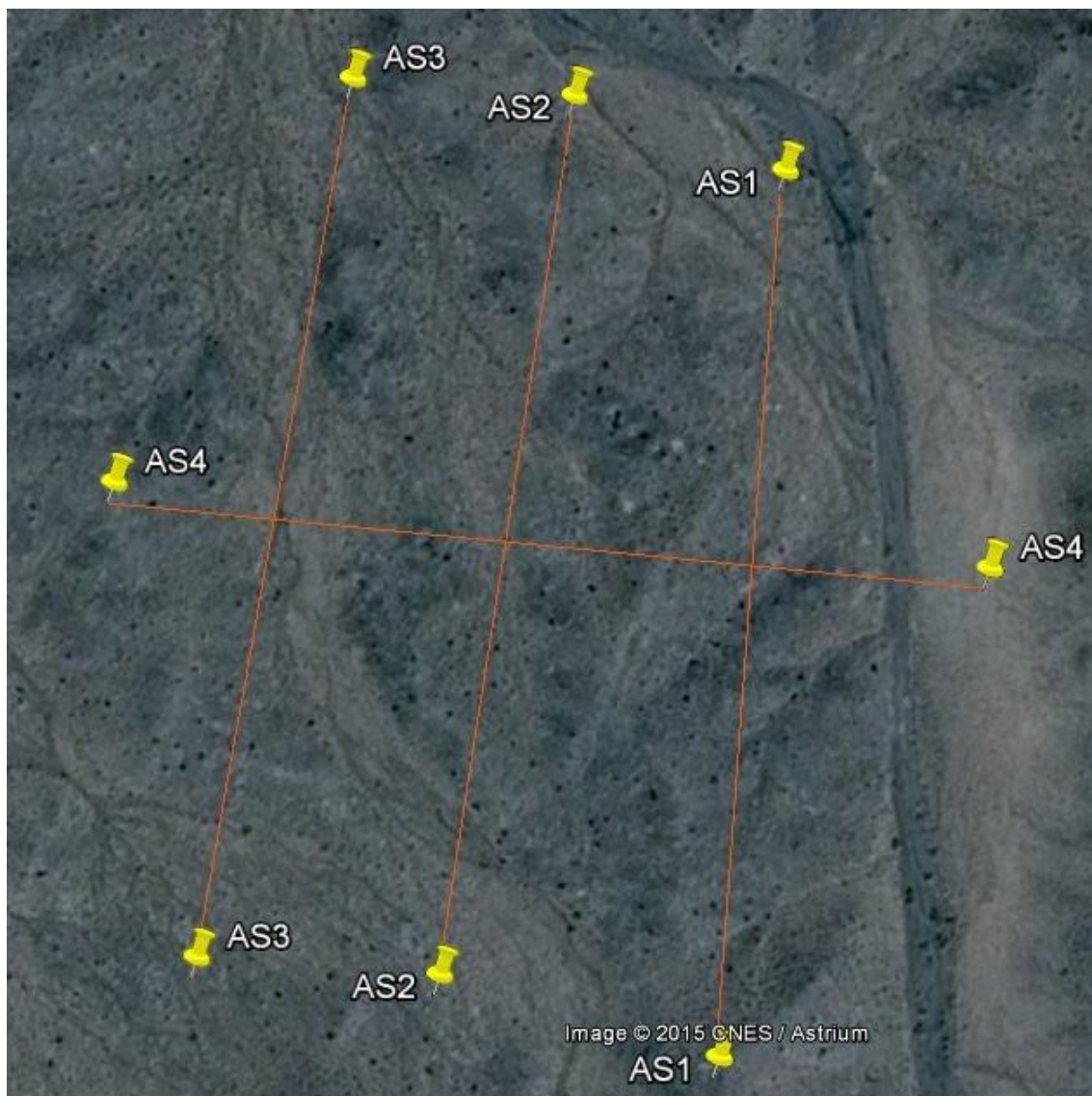
۳-۲-۱- مقدمه

با توجه به نوع ماده معدنی مس و کانی‌سازی که در این منطقه به صورت پراکنده و رگه‌ای در سنگ میزبان (بازالت‌های ائوسن) صورت گرفته؛ داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه، قطبش‌القایی و الکترومغناطیس VLF بر روی سه پروفیل عمود بر ساختارهای زمین‌شناسی و یک پروفیل عمود بر آنها اندازه‌گیری شده است. در ادامه این فصل، به شرح چگونگی برداشت داده‌های فوق، تجزیه، تحلیل و مدل‌سازی وارون آنها جهت تعیین گسترش کانی‌سازی در منطقه پرداخته می‌شود.

۳-۲-۲- شرح عملیات

در پاییز ۱۳۹۳، اینجانب به همراه گروهی از دانشگاه شاهرود جهت بررسی منطقه و برداشت داده‌های ژئوفیزیکی به اندیس معدنی آسمانو مراجعه کردیم. بعد از بررسی منطقه، با توجه به روند کانی‌سازی و ساختارهای زمین‌شناسی و آثار کارهای شدادی موجود در منطقه تصمیم بر آن شد که برداشت داده‌های ژئوفیزیک مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی در ۳ پروفیل با روند تقریباً شمالی- جنوبی با آزمون ۱۹۰ درجه و فاصله ۶۰ متری از یکدیگر به طول ۲۲۰ متر با فاصله الکترودی ۲۰ متر با آرایه دوقطبی- دوقطبی صورت بگیرند. همچنین جهت کنترل و نشان دادن ارتباط آنها با هم پروفیل دیگری عمود بر این ۳ پروفیل طراحی و داده‌های فوق‌الذکر روی آن برداشت شد. از طرفی برای تکمیل نتایج برداشت‌های روش VLF نیز روی همین پروفیل‌ها با فاصله ایستگاه‌های پنج متری صورت انجام گرفت. در شکل (۴-۱) نحوه قرارگیری پروفیل‌ها نشان داده شده است.

برای آرایه الکترودی دوقطبی- دوقطبی اندازه‌گیری را به طور معمول با در نظر گرفتن فاصله یکسان a برای الکترودهای جریان و الکترودهای پتانسیل و به ازای $n=1$ شروع می‌کنند. پس از آن با افزایش n ، عمق بررسی را افزایش می‌دهند. در این آرایه عدد صحیح n (گام) بیشتر از هشت نیست. زیرا به دلیل ثابت ماندن فاصله بین الکترودها از جمله الکترودهای پتانسیل با افزایش طول آرایش، مقدار اختلاف پتانسیل ضعیف می‌شود. در مطالعه حاضر از دستگاه Terrameter SAS4000 شرکت ABEM که دارای قابلیت اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه و IP می‌باشد؛ استفاده شده است (شکل ۴-۲ و ۴-۳). لذا این دستگاه می‌تواند مواردی را که رسانایی مشابه ولی IPهای مختلف دارند را از هم تشخیص دهد. این دستگاه به دلیل قابلیت کارکرد آسان و دارا بودن صفحه نمایش بزرگ، ظرفیت اجرایی بالا با چهار کانال داخلی، قابلیت اندازه‌گیری IP زمان حوزه‌ای و استفاده الکترودهای چندتایی، از نمونه‌های مشابه قدرت بیشتری دارد.



شکل ۳-۶- موقعیت پروفیل‌های ژئوفیزیکی برداشت شده در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳-۷- دستگاه Terrameter SAS4000 شرکت ABEM



شکل ۳-۸- برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی با استفاده از دستگاه Terrameter SAS4000

همچنین برای برداشت داده‌های VLF از دستگاه GEM GSM- 19T ساخت شرکت GEM systems استفاده شده است. این دستگاه یکی از جدیدترین نوآوری‌های دنیا در مغناطیس‌سنجی علاوه بر اندازه‌گیری VLF است. در این دستگاه قابلیت استخراج داده‌ها به صورت استاندارد XYZ برای استفاده آسان در نرم‌افزارها، خروجی قابل کنترل و برنامه‌ریزی، مقادیر ارتفاعی داده‌های ورودی برای مدل‌سازی، قابلیت چند سنسوره و گزینه VLF-EM برای کاوش‌های پیشرفته وجود دارد (شکل ۴-۴ و ۴-۵).



شکل ۳-۹- دستگاه GEM GSM- 19T ساخت شرکت GEM



شکل ۳-۱۰- برداشت داده‌های VLF با استفاده دستگاه GEM GSM- 19T

در برداشت داده‌ها از الکترودهای فلزی به عنوان الکتروود جریان و از الکترودهای غیرپلاریزه (pot) به عنوان الکتروود پتانسیل استفاده شده است.

برای مدل‌سازی وارون دو بعدی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی از نرم‌افزارهای RES2DINV و ZondRes2D استفاده شده است. نرم‌افزار RES2DINV با استفاده از داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و قطبش‌القایی و همچنین به کمک روش کمترین مربعات مدلی دوبعدی از زیرسطح زمین تولید می‌کند (Loke, 2012). نرم‌افزار ZondRes2D به منظور مدل‌سازی دوبعدی داده‌های ژئوالکتریک (مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی) طراحی شده است. توانایی منحصر بفرد این نرم‌افزار قراردادن مقاطع دوبعدی تفسیر شده در کنار هم و نمایش سه‌بعدی آنهاست.

تجزیه و تحلیل کمی و کیفی داده‌های VLF توسط نرم‌افزارهای KHFFILT و INV2DVLF صورت گرفته است. در نرم‌افزار KHFFILT، فیلتر کاروس- هجالت برای داده‌های مولفه‌های حقیقی و

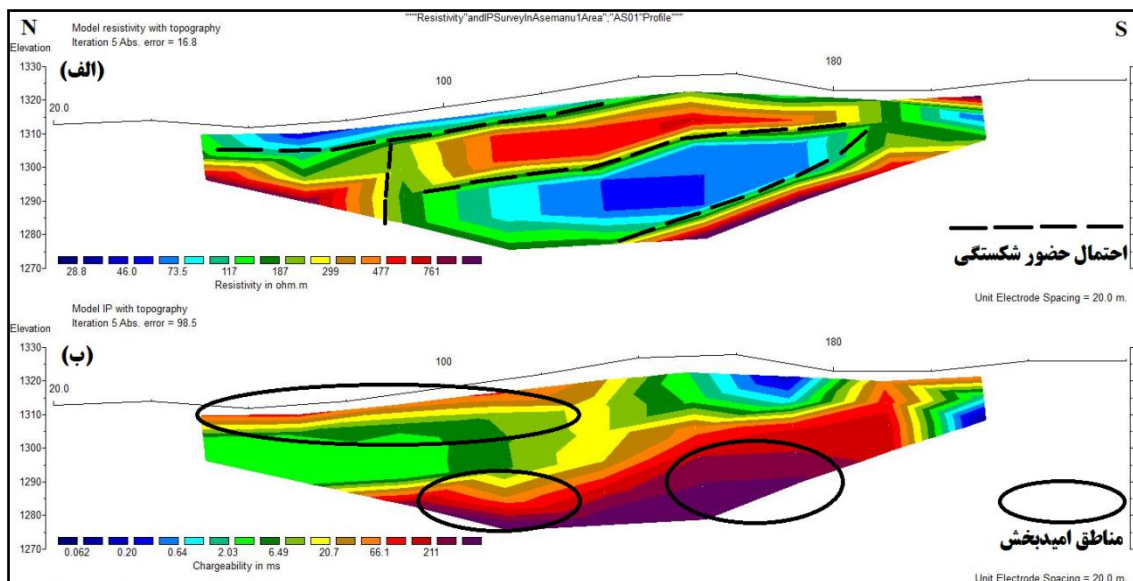
موهومی صورت می‌گیرد و همچنین مدل‌سازی و تفسیر کمی داده‌های VLF توسط نرم‌افزار INV2DVLF انجام می‌شود.

۳-۲-۳- ارائه و تفسیر داده های ژئوفیزیکی

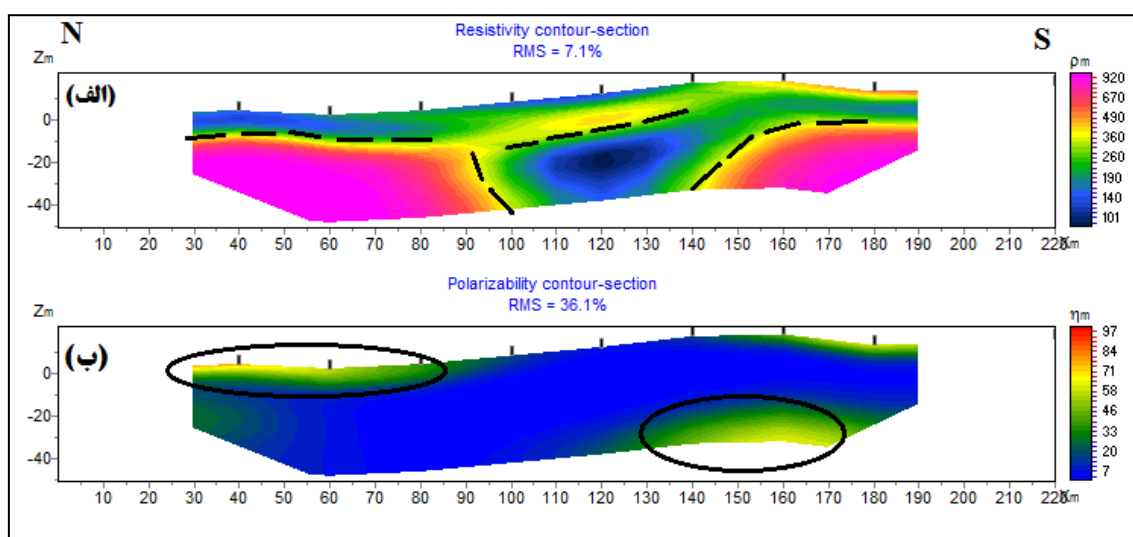
الف- پروفیل AS1

در شکل ۴-۶- الف، تغییرات ناگهانی مقاومت‌ویژه احتمال حضور شکستگی و گسل‌های موجود در ناحیه می‌باشد (خط‌چین‌های تیره در شکل). در محدوده ۱۰۰ تا ۱۸۰ متری و در عمق ۱۰ تا ۳۰ متری مقاومت‌ویژه پایین قابل مشاهده می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۴-۶-ب این محدوده که دارای بارپذیری بالایی است، احتمال وجود کانی‌زایی مس به صورت رگه‌ای می‌باشد. همچنین در بخش جنوبی دو مقطع مقاومت‌ویژه و بارپذیری مقادیر بالا است که بیانگر حضور احتمالی کانی‌زایی مس به صورت پورفیری می‌باشد. در محدوده ۴۰ تا ۱۴۰ متری از مبدا و در نزدیکی سطح همین مقاطع نیز مقاومت‌ویژه پایین و بارپذیری بالا دیده می‌شود؛ که با توجه به شواهد زمین‌شناسی و ساختار زمین‌شناسی می‌تواند نشانگر کانی‌زایی مس به صورت رگه و رگچه‌های متعدد باشد.

شکل ۴-۷ نشانگر نتایج مدل‌سازی با نرم‌افزار ZondRes2D است. این مقاطع نشانگر آن است که پروفیل AS1 احتمالاً دارای شکستگی‌های فراوان و همچنین دارای لایه بندی‌های متوالی خاصی می‌باشد. این شکستگی‌ها احتمالاً دارای شیب و امتداد همسان (امتداد شرقی- غربی و جهت شیب به سمت شمال) می‌باشند که شرایط لازم برای کانی‌زایی مس در این ناحیه دارا می‌باشند. مناطق امیدبخش در مقاطع شکل ۴-۶ نیز در شکل ۴-۷ قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۳-۱۱- مقاطع مدل سازی وارون پروفیل AS1 به کمک نرم افزار RES2DINV. الف: مقطع مقاومت ویژه ظاهری، ب: مقطع قطبش القایی.

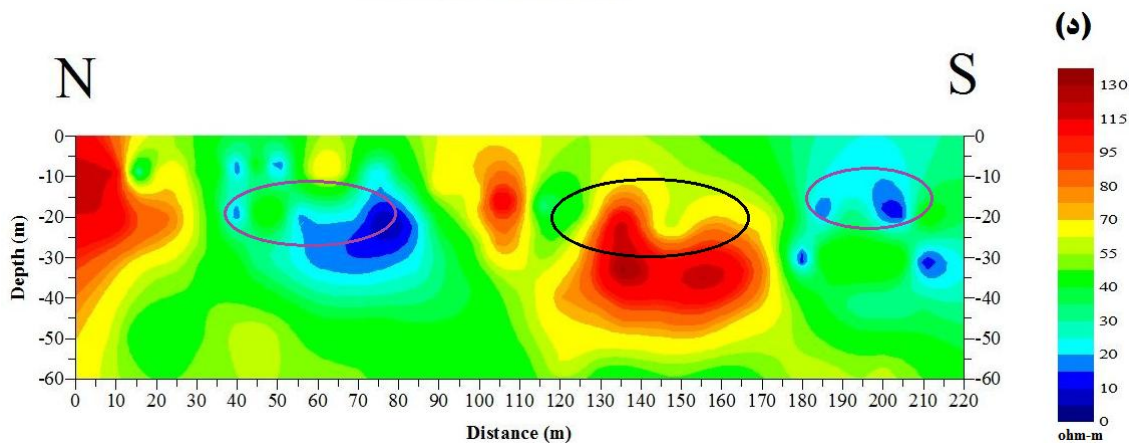
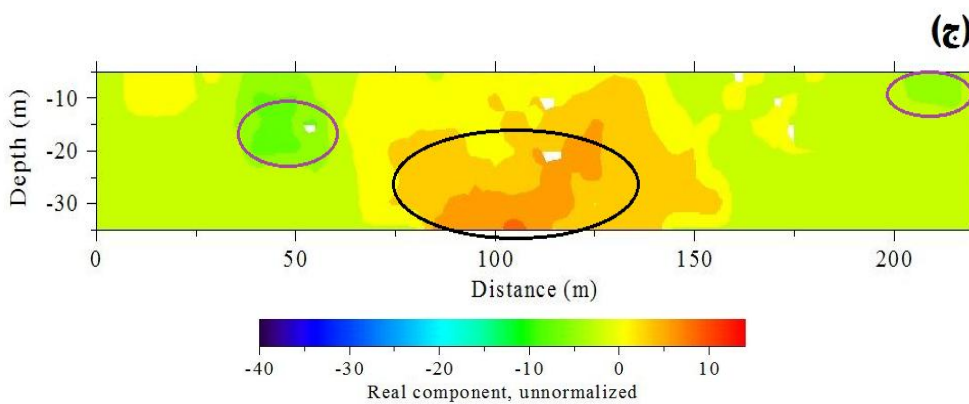
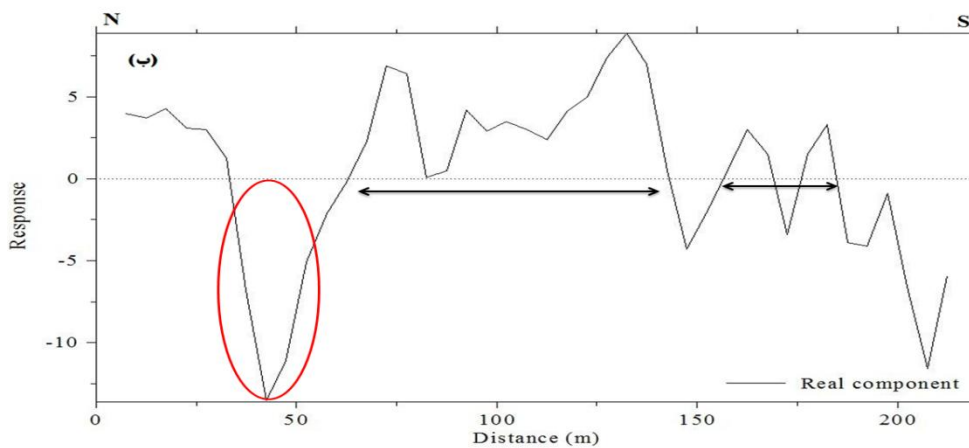
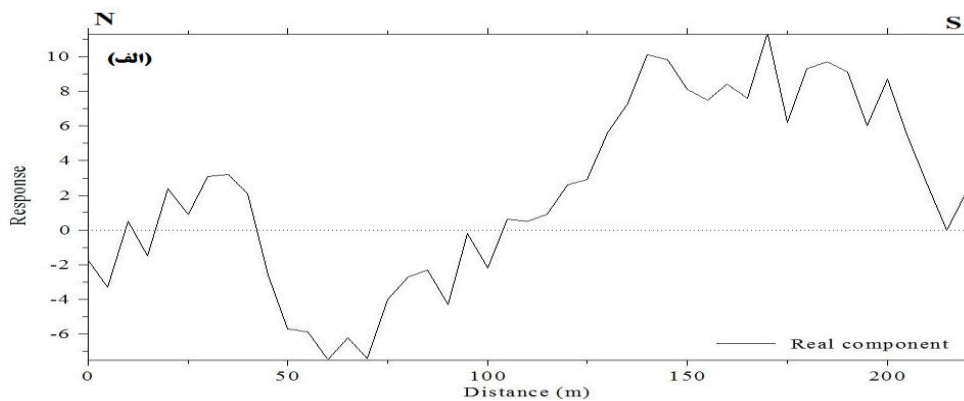


شکل ۳-۱۲- مدل دوبعدی پروفیل AS1 به کمک نرم افزار ZondRes2D. الف: مقاومت ویژه، ب: قطبش القایی

پروفیل مولفه حقیقی داده‌های خام روش VLF برای پروفیل AS1 در شکل (۴-۸-الف) آمده است. از روی این پروفیل نمی‌توان تفسیر مناسبی جهت شناسایی کانی‌زایی ارائه نمود. اما در نمودارهای داده‌های فیلتر شده (شکل ۴-۸-ب)، مراکز آنومالی‌ها را می‌توان به صورت پیک‌های مثبت در مرکز پروفیل مشاهده نمود. شبه مقطع چگالی جریان (شکل ۴-۸-ج)، نیز زون‌های رسانا را با

گسترش ۹۰ تا ۱۵۰ متری در مرکز پروفیل و در عمق ۱۰ الی ۳۰ متری نمایش می‌دهد؛ نشانگر زون شکسته و گسل خورده می‌باشد که معرف کانی‌سازی رگه‌ای در این ناحیه می‌باشد. همچنین در محدوده‌ها ۴۰ تا ۶۰ متری و ۱۹۰ الی ۲۱۰ متری در عمق ۱۰ الی ۳۰ متری نیز یک پیک منفی و یک زون چگالی جریان پایین رویت می‌شود که می‌توان آن را معرف یک زون کانی‌زایی مس پورفیری دانست. در مقطع وارون‌سازی شده داده‌های VLF (شکل ۴-۸-د) نیز لایه‌بندی‌های متوالی با تغییرات ناگهانی مقاومت‌ویژه قابل رویت می‌باشد، می‌تواند احتمال زون خرد شده باشد. در اشکال ۴-۸-ج و ۴-۸-د، مناطق دارای هم‌پوشانی نمایش داده شده‌اند.

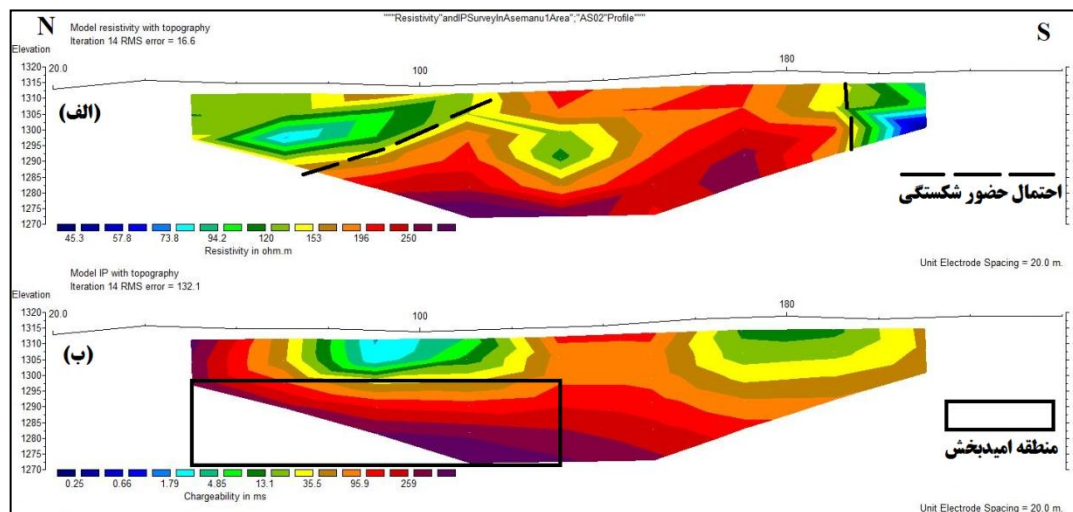
با توجه به مقاطع مقاومت‌ویژه، IP و VLF هم‌پوشانی در بسیاری از مناطق رویت می‌شود؛ بدین گونه که یک زون دارای مقاومت‌ویژه پایین و بارپذیری بالا در محدوده ۹۰ تا ۱۵۰ متری در عمق ۱۰ تا ۳۰ متری وجود دارد؛ احتمال بر وجود یک زون خرد شده و کانی‌زایی مس به صورت رگه‌ای می‌باشد. همچنین در شمال و جنوب محدوده مذکور دو زون با مقاومت‌ویژه بالا و بارپذیری بالا دیده می‌شود که احتمال کانی‌زایی مس پورفیری وجود دارد.



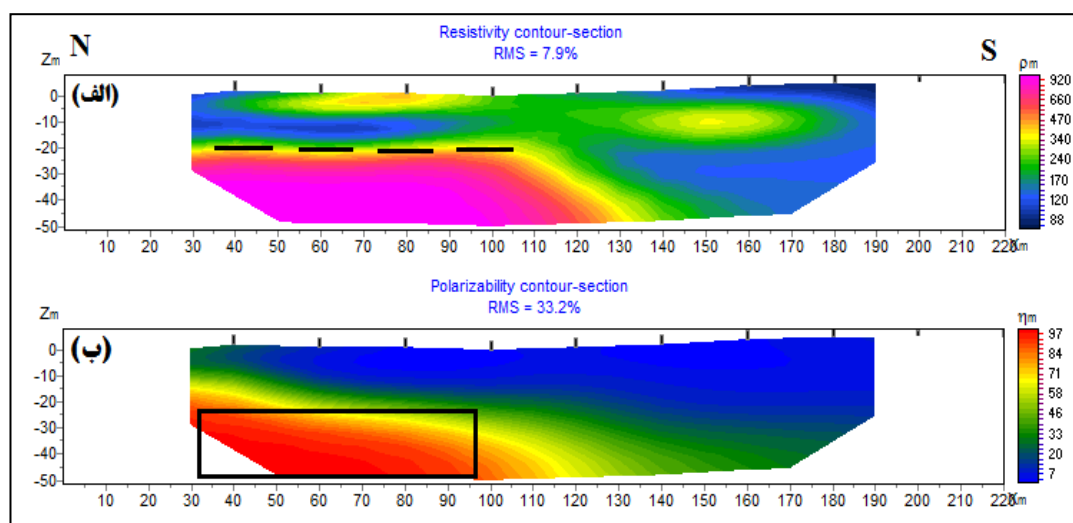
شکل ۳-۱۳- (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل AS1، (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده، (ج) شبه مقطع چگالی جریان، (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با وارون‌سازی داده‌های VLF پروفیل AS1

ب- پروفیل AS2

در اشکال ۴-۹-الف و ۴-۱۰-الف که مربوط به مدل مقاومت ویژه می باشند؛ در محدوده ابتدای پروفیل تا ۱۳۰ متری از مبدا و در عمق ۱۰ تا ۴۰ متری مقاومت ویژه بالایی قابل مشاهده است. با توجه به مقاطع ۴-۹-ب و ۴-۱۰-ب که در همین محدوده دارای بارپذیری بالایی هستند، احتمالاً کانیزایی مس به صورت پورفیری صورت گرفته است. همچنین با توجه به تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه در مقاطع احتمال حضور شکستگی وجود دارد.



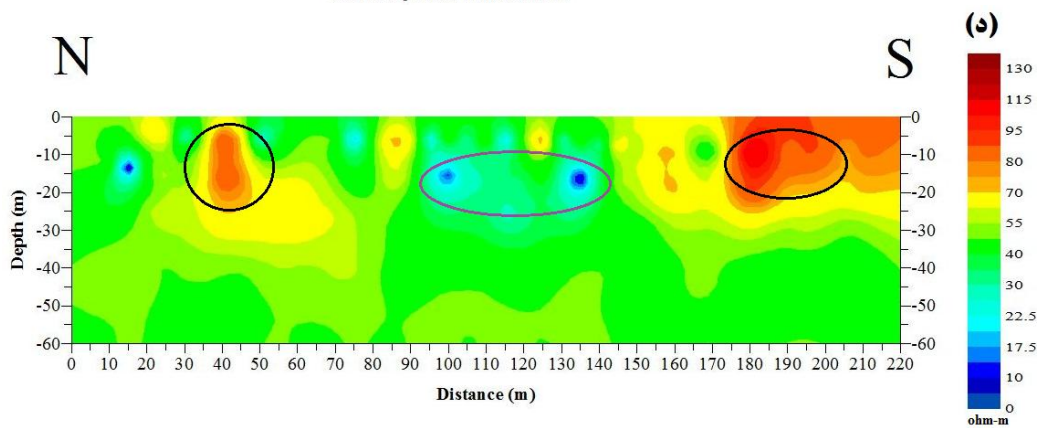
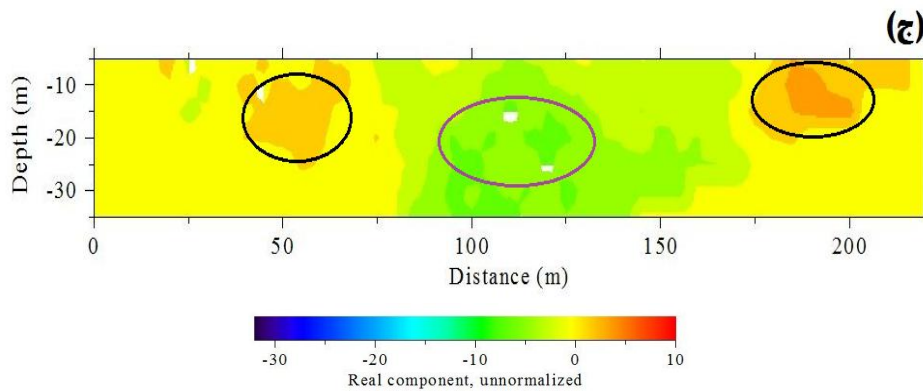
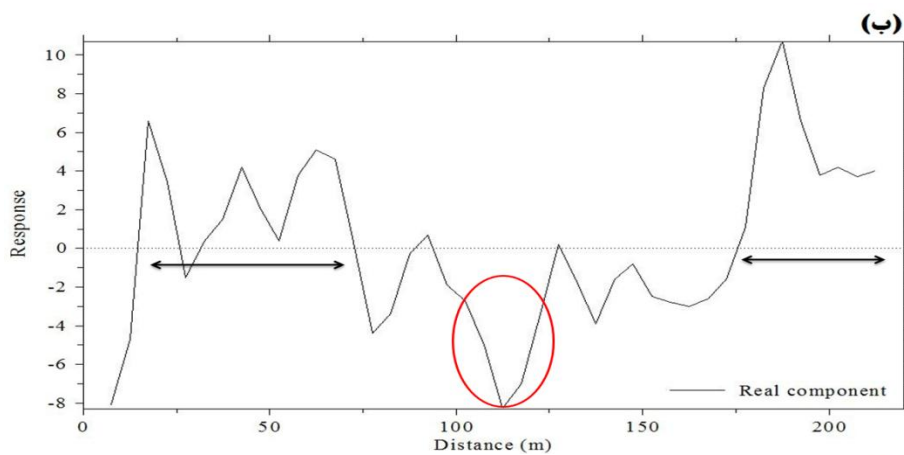
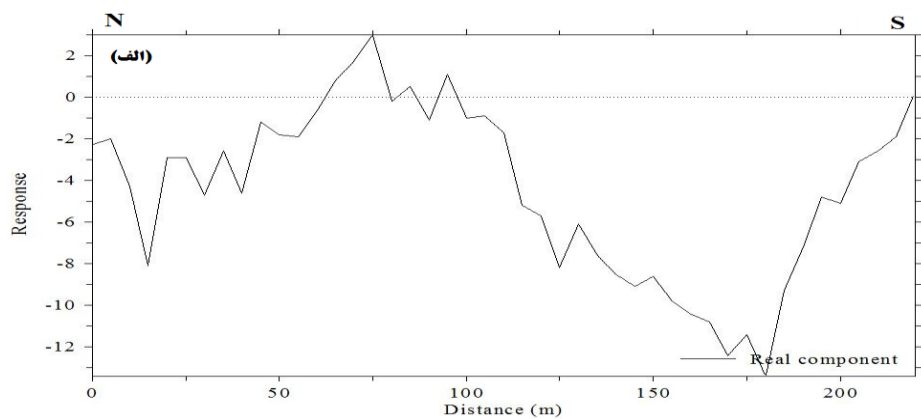
شکل ۳-۱۴- مقاطع مدل سازی وارون پروفیل AS2 به کمک نرم افزار RES2DINV، الف: مقطع مقاومت ویژه ظاهری، ب: مقطع قطبش القایی



شکل ۳-۱۵- مدل دوبعدی پروفیل AS2 به کمک نرم افزار ZondRes2D، الف: مقاومت ویژه، ب: قطبش القایی

همانگونه که نمودار داده‌های خام VLF (شکل ۴-۱۱-الف) نشان می‌دهد، پیک مثبت مناسبی دیده نمی‌شود اما پس از اعمال فیلتر کاروس- هجالت (شکل ۴-۱۱-ب) در محدوده ۲۰ الی ۷۰ متری چند پیک مثبت دیده می‌شود که در شبه مقطع چگالی جریان (شکل ۴-۱۱-ج) نیز به خوبی نمایان می‌باشد، احتمال کانی‌زایی مس به صورت رگه‌ای وجود دارد. همچنین در محدوده ۸۰ تا ۱۶۰ متری یک زون با پیک منفی و چگالی جریان پایین که نشانگر یک زون مقاوم و احتمالاً زون کانی‌زایی مس پورفیری می‌باشد، رویت می‌شود. در جنوب پروفیل نیز یک محدوده با چگالی جریان بالا دیده می‌شود، نشانگر زون خرد شده و کانی‌زایی به صورت رگه می‌باشد. در مقطع وارون‌سازی شده داده‌های VLF (شکل ۴-۱۱-د) نیز لایه‌بندی‌های متوالی با تغییرات ناگهانی مقاومت‌ویژه قابل رویت می‌باشد، می‌تواند احتمال زون خرد شده باشد. در اشکال (۴-۱۱-ج) و (۴-۱۱-د)، مناطق دارای هم‌پوشانی نمایش داده شده‌اند.

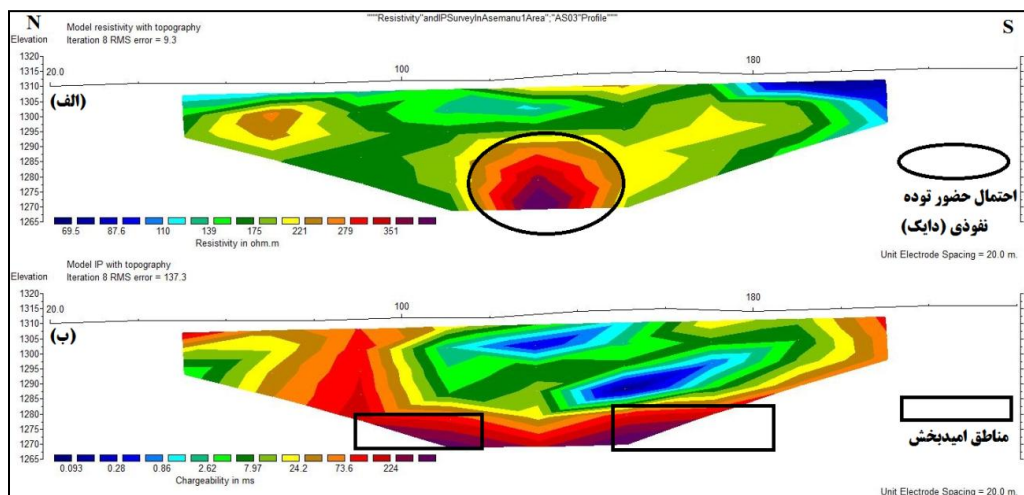
با مقایسه به مقاطع مختلف مقاومت‌ویژه، IP و VLF می‌توان دست یافت، که در شمال و جنوب پروفیل دو زون خرد شده که دال بر کانی‌زایی مس رگه‌ای با مقاومت‌ویژه پایین و بارپذیری بالا وجود دارند. همچنین یک زون با مقاومت‌ویژه و بارپذیری بالا در مرکز پروفیل وجود دارد که نشانگر زون کانی‌زایی مس پورفیری می‌باشد. این زون به سمت زون شمالی که دارای کانی‌زایی رگه‌ای می‌باشد، گسترش پیدا کرده است.



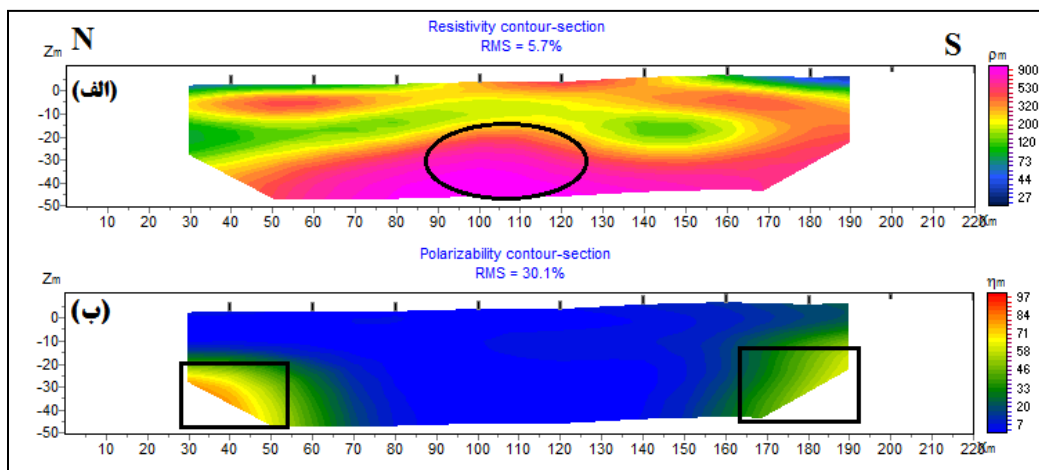
شکل ۳-۱۶- (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل AS2، (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده، (ج) شبه مقطع چگالی جریان، (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با وارون‌سازی داده‌های VLF پروفیل AS2

ج- پروفیل AS3

در مقطع وارون سازی شده داده های مقاومت ویژه (شکل ۴-۱۲-الف)، یک توده مقاوم در مرکز پروفیل نمایان است؛ اما با توجه به مقطع قطبش القایی در نرم افزار ZondRes2D (شکل ۴-۱۳-ب)، در همان محدوده بارپذیری کم بوده است؛ احتمال وجود یک توده نفوذی در مرکز این پروفیل می باشد. با توجه به شکل ۴-۱۳ در ابتدا و انتهای پروفیل نیز مقاومت ویژه بالا و بارپذیری بالا در اعماق بیشتر از ۲۰ متر نشان داده می شود؛ که مبین احتمال کانی زایی پورفیری در این نواحی می باشد.



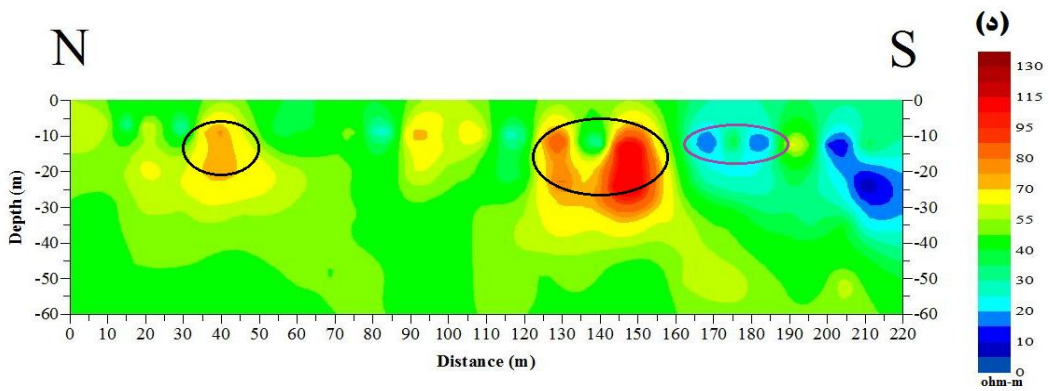
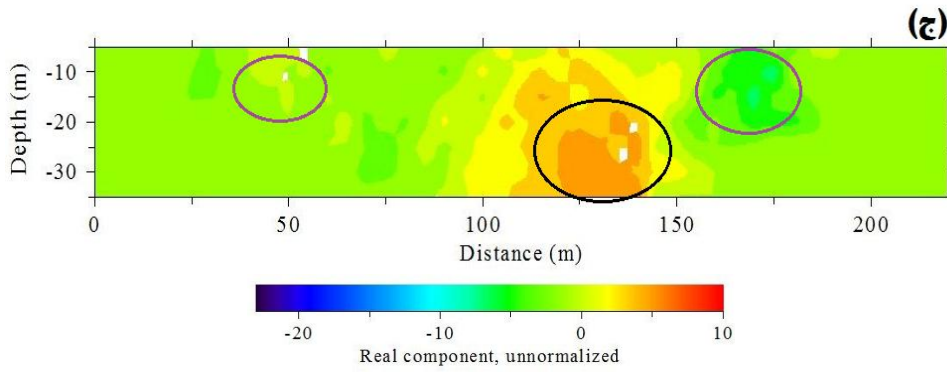
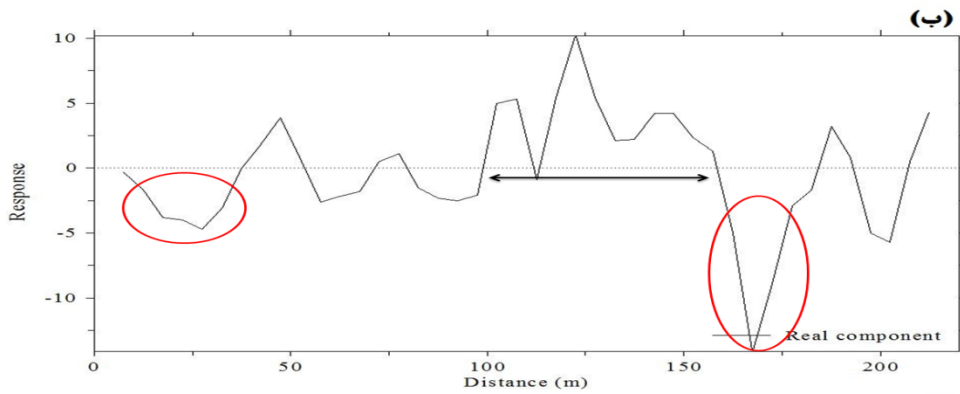
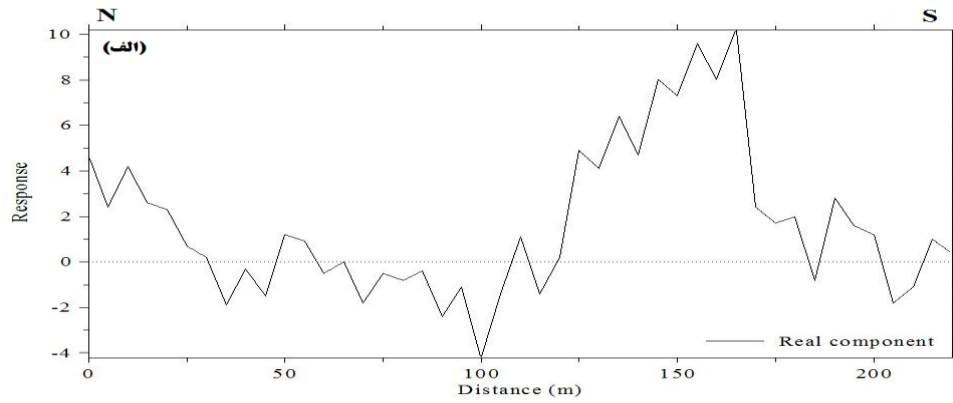
شکل ۳-۱۷- مقاطع مدل سازی وارون پروفیل AS3 به کمک نرم افزار RES2DINV، الف: مقطع مقاومت ویژه ظاهری، ب: مقطع قطبش القایی



شکل ۳-۱۸- مدل دوبعدی پروفیل AS3 به کمک نرم افزار ZondRes2D، الف: مقاومت ویژه، ب: قطبش القایی

در شکل ۴-۱۴-الف، نمودار داده‌های خام VLF آورده شده است، که نمی‌توان تفسیر مناسبی برای آن ارائه نمود. با اعمال فیلتر بر آنها (شکل ۴-۱۴-ب) می‌توان دو زون با پیک‌های منفی در ابتدا و محدوده ۱۵۰ تا ۱۸۰ متری پروفیل متمایز کرد، که با توجه به شبه مقطع چگالی جریان (شکل ۴-۱۴-ج)، محدوده‌های مذکور برای چگالی جریان پایین و مقاومت ویژه بالا می‌باشند، احتمال وجود زون‌های کانی‌زایی مس پورفیری وجود دارد. همچنین در محدوده ۱۰۰ الی ۱۵۰ متری نیز پیک‌های مثبت که چگالی جریان بالایی دارند، احتمال کانی‌زایی به صورت رگه‌ای می‌باشد، علت این امر احتمال حضور یک زون خرد شده با مقاومت پایین است. در اشکال ۴-۱۴-ج و ۴-۱۴-د، مناطق دارای هم‌پوشانی نمایش داده شده‌اند.

با مقایسه مدل‌های روش‌های مختلف احتمالاً دو زون کانی‌زایی پورفیری در ابتدا و محدوده ۱۵۰ تا ۱۸۰ متری در اعماق بیشتر از ۲۰ متر وجود دارند. همچنین با بررسی و تطبیق مقاطع مختلف، احتمال حضور یک زون با مقاومت ویژه بالا در مرکز پروفیل در عمق ۲۰ الی ۴۰ متری وجود دارد.

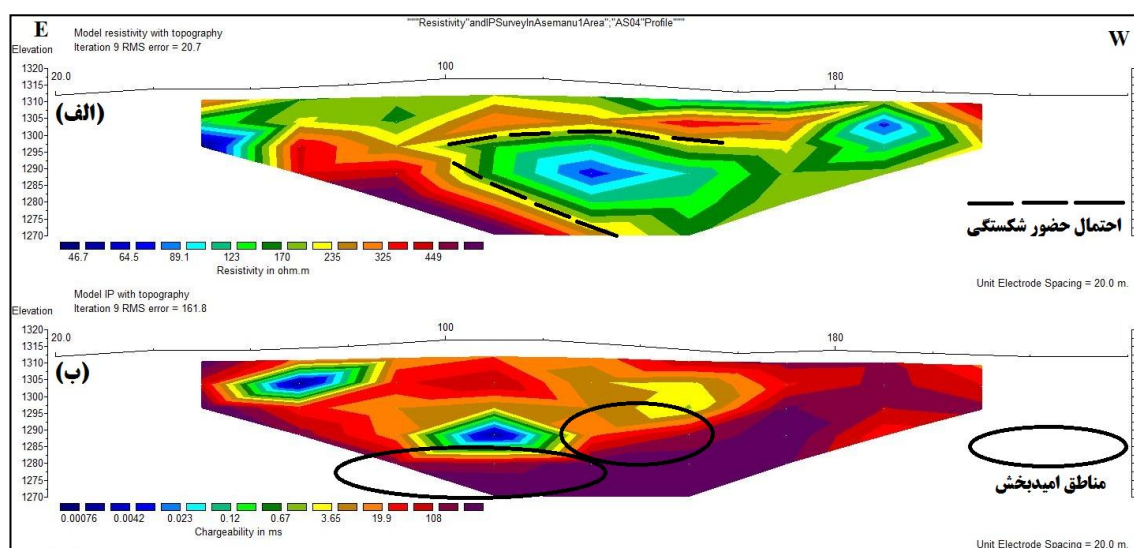


شکل ۳-۱۹- (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل AS3، (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده، (ج) شبه مقطع چگالی جریان، (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با وارون‌سازی داده‌های VLF پروفیل AS3

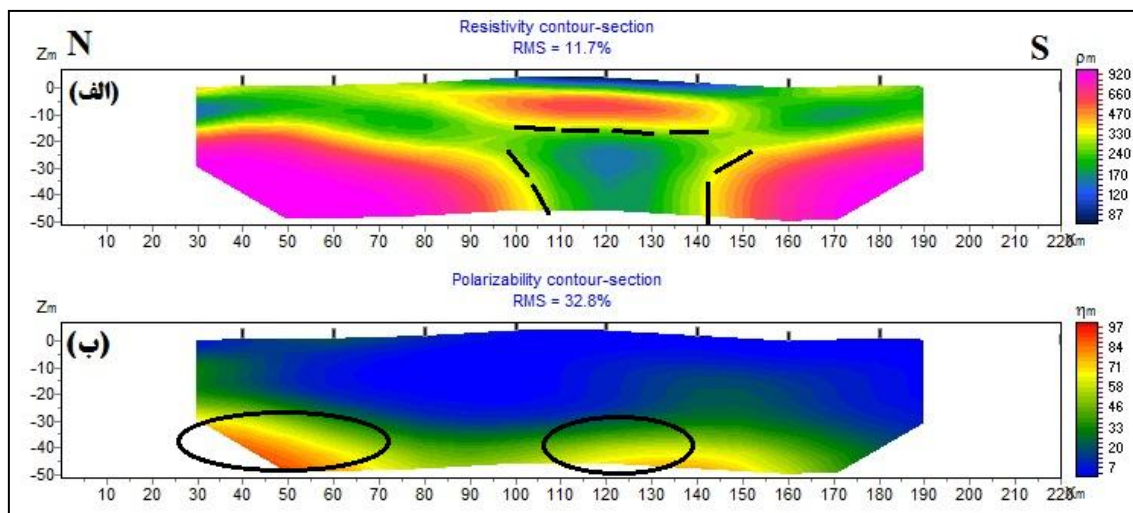
د- پروفیل AS4

با توجه به نحوه قرارگیری پروفیل‌ها نسبت به هم (شکل ۴-۱)، پروفیل AS4 حدوداً در فاصله ۱۰۰ متری از مبدا پروفیل‌های دیگر به صورت عمود بر آنها قرار دارد، به این گونه که پروفیل AS1 در فاصله ۶۰ متری، پروفیل AS2 در ۱۲۰ متری و پروفیل AS3 در ۱۸۰ متری از مبدا پروفیل AS4 قرار گرفته‌اند.

در شکل ۴-۱۵-الف، با توجه تغییرات ناگهانی مقاومت‌ویژه در محدوده ۱۰۰ تا ۱۴۰ متری و با عمق متغیر ۱۰ الی ۵۰ متری احتمال حضور یک شکستگی با شیب حدودی ۴۵ درجه به سمت غرب وجود دارد. با توجه به مقطع قطبش‌القایی (شکل ۴-۱۶-ب) و نحوه قرارگیری این پروفیل نسبت به پروفیل‌های دیگر نیز می‌توان به احتمال حضور یک توده کانی‌زایی مس پورفیری در بخش عمقی تمام پروفیل در عمق ۲۰ تا ۵۰ متری پی برد. همچنین یک توده با مقاومت‌ویژه پایین (مقاطع مقاومت‌ویژه) در محدوده ۱۰۰ تا ۱۴۰ متری از مبدا و در مرکز هر دو شکل ۴-۱۵-الف و ۴-۱۶-الف پروفیل نمایان است، با توجه به بارپذیری بالا این محدوده نشانگر احتمال کانی‌زایی مس به صورت رگه‌ای وجود دارد.

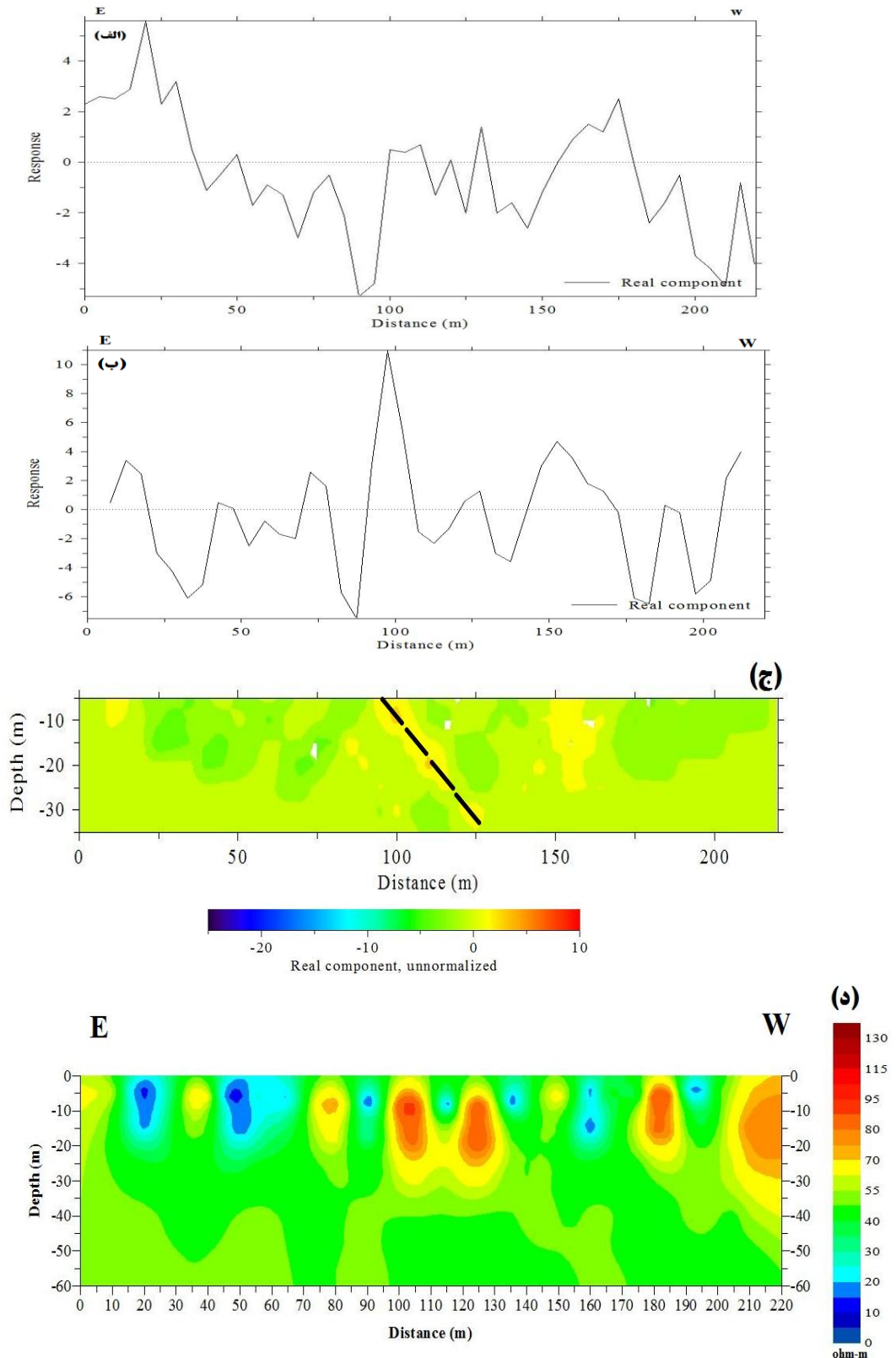


شکل ۳-۲۰- مقاطع مدل‌سازی وارون پروفیل AS4 به کمک نرم‌افزار RES2DINV ، الف: مقطع مقاومت‌ویژه‌ظاهری، ب: مقطع قطبش‌القایی



شکل ۳-۲۱- مدل دوبعدی پروفیل AS4 به کمک نرم افزار ZondRes2D ، الف: مقاومت ویژه، ب: قطبش القایی

همانگونه که نمودار داده‌های خام VLF (شکل ۴-۱۷- الف) نشان می‌دهد، پیک مثبت مناسبی دیده نمی‌شود اما پس از اعمال فیلتر کاروس- هجلت (شکل ۴-۱۷- ب) پیک مثبت قوی در ۱۰۰ متری از مبدا و چند پیک ضعیف‌تر در ابتدا و انتهای پروفیل دیده می‌شود، که احتمال کانی‌زایی به صورت رگه‌ای می‌باشد. همچنین با توجه به پیک‌های منفی و شبه مقطع چگالی جریان این محدوده‌ها نیز بیانگر حضور کانی‌زایی مس پورفیری می‌باشد. در شبه مقطع چگالی جریان نیز یک زون شکسته احتمالی نمایش داده شده است. در مقطع معکوس‌سازی شده داده‌های VLF (شکل ۴-۱۷- د) نیز لایه‌بندی‌های متوالی احتمالی با تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه قابل رویت می‌باشد و هم‌پوشانی نسبی خوبی با مقطع چگالی جریان دارد.



شکل ۳-۲۲- (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل AS4، (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده، (ج) شبه مقطع چگالی جریان، (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با وارون‌سازی داده‌های VLF پروفیل AS4

۳-۳ خلاصه تفاسیر و نتایج داده‌های ژئوفیزیکی

با توجه به نوع کانی‌سازی (پراکنده) در این منطقه، باید در مقاطع به دنبال مناطقی با مقاومت‌ویژه ظاهری و قطبش‌القایی بالا باشیم و از طرفی در مقطع چگالی جریان داده‌های VLF به دلیل وجود کانی‌سازی پراکنده مناطقی که دارای چگالی جریان کمتری هستند، دارای مقاومت‌ظاهری بالا می‌باشند؛ می‌توانند مناطق مستعد تلقی شوند. در تفاسیر قبلی نیز بحثی از مناطق مستعد کانی‌سازی به صورت رگه آورده شده؛ که با توجه به فواصل الکترونی زیاد و نداشتن شبکه برداشت منظم در این پژوهش به خوبی نمی‌توان آنها را ردیابی کرد. بنابراین سعی بر آن شده که مناطق امیدبخش در زمینه پورفیری مقایسه شوند..

داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی توسط دو نرم‌افزار قدرتمند مدل‌سازی وارون شده‌اند که می‌توان بر روی آنها مانور بیشتری داد اما متأسفانه برداشت VLF بیشتر به صورت کیفی و نیمه کمی مورد بررسی قرار داده شده است و تنها برای تشخیص مناطق دارای چگالی جریان کم و مقاومت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه به تفسیر و مقایسه این روش‌های بصورت پروفیل به پروفیل پرداخته می‌شود و در بخش بعدی با کمک از تصاویر سه بعدی روش‌های مختلف به تفسیر جامعی تری از منطقه پرداخته می‌شود. باید به نکته اشاره کرد که روش VLF برای شناسایی کانی‌زایی پورفیری به تنهایی مناسب نمی‌باشد بلکه برای پیدا کردن نواحی خرد شده و گسله که احتمالاً کانی‌سازی هم می‌باشند، توانایی دارد.

در پروفیل AS1، توالی لایه‌بندی با روند و شیب مشخص در مقاطع مقاومت‌ویژه و IP قابل رویت می‌باشند. با توجه به بحث‌های مذکور احتمال کانی‌سازی به صورت پورفیری در عمق ۱۰ الی ۳۰ متری در فواصل ۱۰۰ تا ۱۸۰ متری از مبدا وجود دارد. اما در مقطع چگالی جریان، این امر چندان نمایان نیست و بیشتر بحث کیفی را شامل می‌شود و در مقطع INV2DVLF نتایج حاصله از ژئوالکتریک از قبیل مقاومت بالا در مرکز پروفیل رویت می‌شود (شکل ۴-۸).

در پروفیل AS2، مقاطع ژئوالکتریک به خوبی، احتمال حضور یک منطقه کانی‌سازی پورفیری در عمق ۱۵ الی ۵۰ متری در نیمه اول پروفیل نشان می‌دهند. احتمال حضور چند شکستگی و گسل نیز محتمل می‌باشد (شکل ۴-۹). در مقاطع VLF نیز نتایج شاخصی جز یک ناحیه مقاوم در ابتدا و انتهای پروفیل به چشم نمی‌خورد.

در پروفیل AS3، مقاطع مقاومت‌ویژه از حضور یک توده مقاوم در مرکز پروفیل و گوشه‌های مقاطع خبر می‌دهند، اما در مقطع IP بارپذیری بالا جز ابتدا و انتهای پروفیل مورد شاخص دیگری دیده نمی‌شود. با این تفاسیر احتمال حضور یک توده نفوذی دایک در مرکز و کانی‌سازی پورفیری در اطراف آن بعید نیست (شکل ۴-۱۲). در مقاطع VLF نیز این پدیده مقاوم قابل رویت می‌باشد.

در پروفیل AS4 که عمود بر ۳ پروفیل قبلی می‌باشد، در مقاطع مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی در عمق ۲۰ الی ۴۰ متری در اکثر طول پروفیل مقاومت‌ویژه و بارپذیری بالا دیده می‌شود که می‌توان ارتباط خوبی بین پروفیل‌های قبلی را گوش زد کند (شکل ۴-۱۵). در مقاطع VLF آن نیز یک توالی خاصی از مقاومت‌های مختلف رویت می‌شود؛ وجود آن می‌تواند به دلیل تقاطع امتداد این پروفیل با روند شکستگی‌های منطقه باشد؛ زیرا روند شکستگی‌های منطقه شمال‌خاوری- جنوب‌باختری می‌باشد (شکل ۴-۱۷).

با توجه به وجود داده‌های قطبش‌القایی با اختلافات زیاد بارپذیری در نقاط مختلف (به دلیل کانی‌سازی پراکنده قوی)، خطا در نرم‌افزارهای وارون‌سازی بالا می‌باشد. در این پژوهش تلاش بر آن بوده، تا جایی که به اصل داده‌های برداشت شده لطمه نخورد تصحیح و ویرایش صورت گیرد.

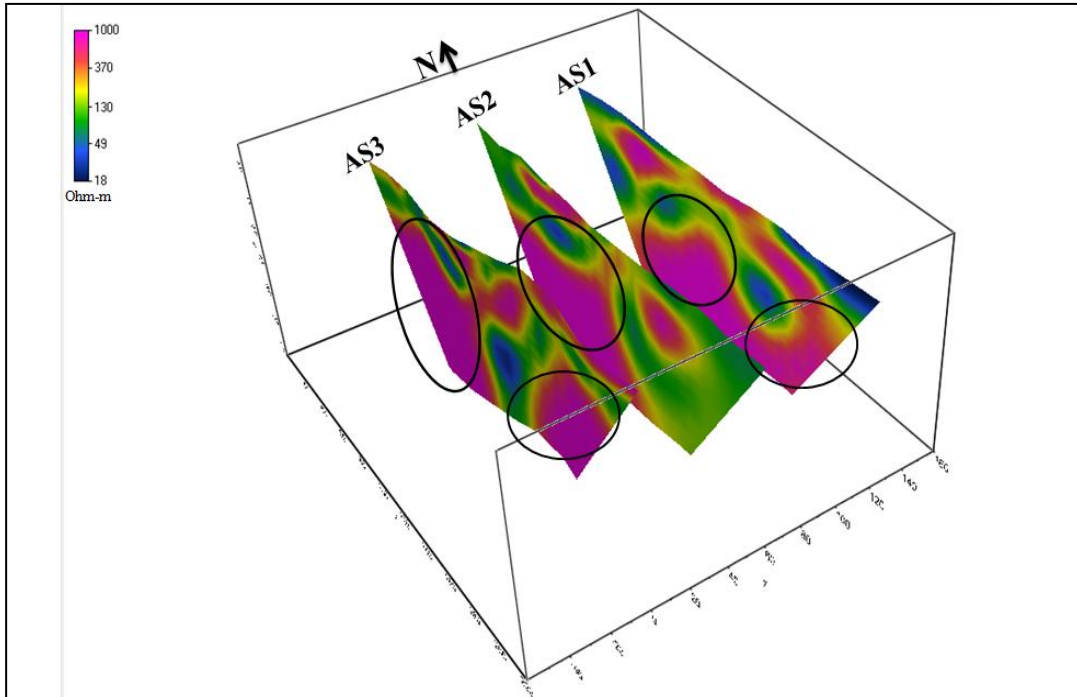
فصل چهارم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

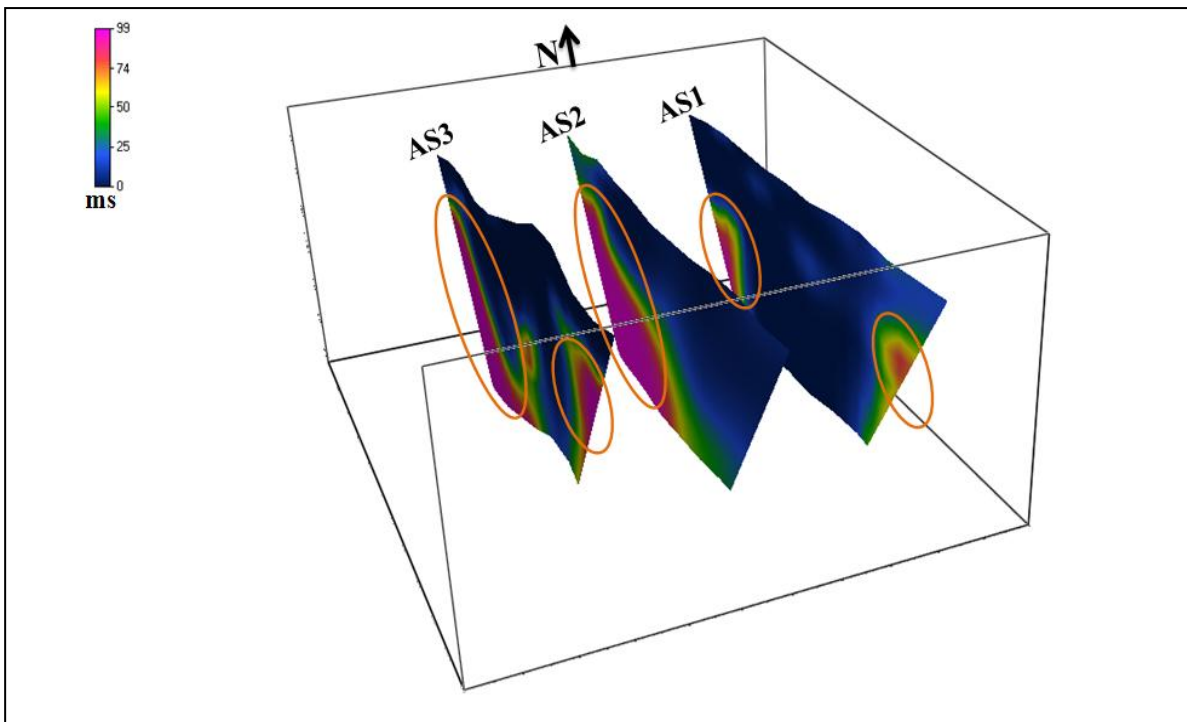
در این فصل سعی بر آن است که نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های روش‌های مختلف ژئوفیزیکی به‌کار گرفته شده در این مطالعه با یکدیگر مقایسه شوند و مزایا و معایب آن‌ها بیان شود. همچنین مقاطع دوبعدی موجود در فصل قبل به کمک نرم‌افزارهای ZondRes2D و VOXLER به صورت سه‌بعدی نمایش داده شوند؛ تا چگونگی ارتباط زیرسطحی پروفیل‌ها و مناطق مستعد کانی‌زایی بهتر شناسایی شوند.

۴-۱ نمایش سه‌بعدی نتایج حاصل از مدل‌سازی

با نگاه به نمایش سه‌بعدی داده‌های مقاومت‌ویژه (شکل ۵-۱) و نمایش سه‌بعدی داده‌های قطبش‌القایی (شکل ۵-۲) در محیط نرم‌افزار ZondRes2D یک توده مقاوم با بارپذیری بالا در شمال ۳ پروفیل در عمق بیش از ۲۰ متر دیده می‌شود، به این‌گونه که در پروفیل AS1 گسترش متوسط، در AS2 زیاد و در AS3 کم می‌باشد؛ که این نشانه حضور یک کانی‌زایی مس پورفیری را احتمال می‌دهد. در جنوب پروفیل‌های AS1 و AS3 نیز با همین مشخصات توده‌ای با مقاومت‌ویژه بالا و بارپذیری بالا دیده می‌شود که هر چه به سمت پروفیل AS3 (غرب) می‌رود، این توده مقاوم به سمت جنوب تغییر موقعیت داده و احتمال اتصال این دو توده در پروفیل‌های مذکور وجود دارد. نکته تأمل برانگیز این دو تصویر آن می‌باشد، که در زیر سطح لایه‌های متعدد و با روند شرقی-غربی و جهت شیب شمال وجود دارد.

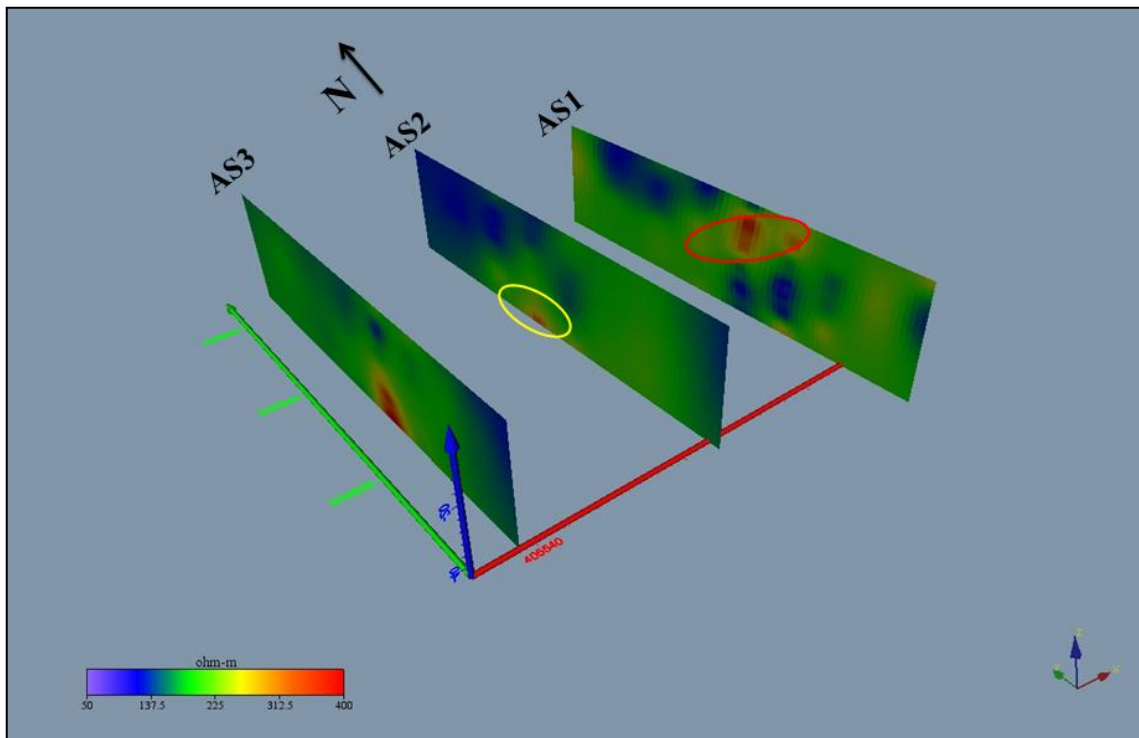


شکل ۴-۱- نمایش سه بعدی نتایج وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه با نرم افزار ZondRes2D

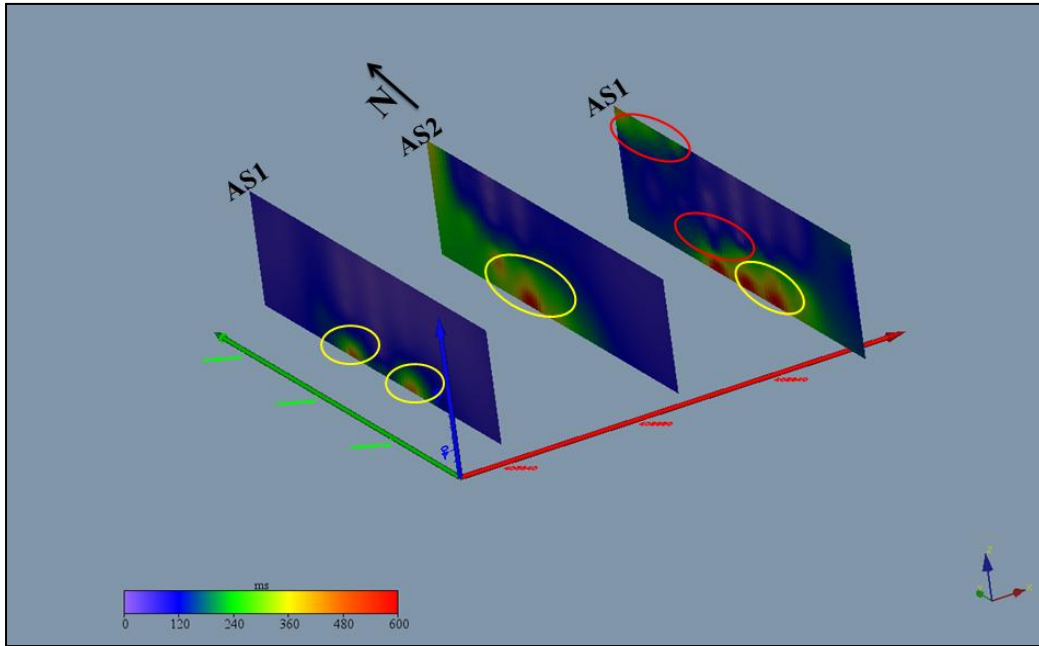


شکل ۴-۲- نمایش سه بعدی نتایج وارون سازی دوبعدی داده های قطبش القایی با نرم افزار ZondRes2D

در تصویر سه بعدی داده‌های مقاومت ویژه (شکل ۳-۵) توالی لایه‌هایی که قبلاً ارائه شد، دیده می‌شود و همچنین ارتباط معناداری بین ۳ پروفیل وجود دارد. همچنین با توجه به نمایش سه بعدی قطبش القایی (شکل ۴-۵)، در عمق سه پروفیل مقدار بارپذیری بالا است، که با نواحی مدل شده در (شکل ۲-۵) نیز انطباق دارد. در مناطقی از دو تصویر با رنگ زرد نمایش داده شده، مقاومت ویژه و قطبش القایی بالا است که احتمال کانی‌زایی مس پورفیری می‌باشد. همچنین در مناطقی که با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند، مقاومت ویژه پایین و بارپذیری بالا دیده می‌شود، احتمالاً کانی‌زایی رگه‌ای در آنها صورت گرفته است. نکته مهم دیگر با انطباق دادن تصاویر (شکل ۳-۵ و ۴-۵)، در اطراف توده نفوذی در پروفیل AS3 دو توده با بارپذیری بالا دیده می‌شود؛ که احتمال کانی‌سازی مس پورفیری در آن مناطق است.

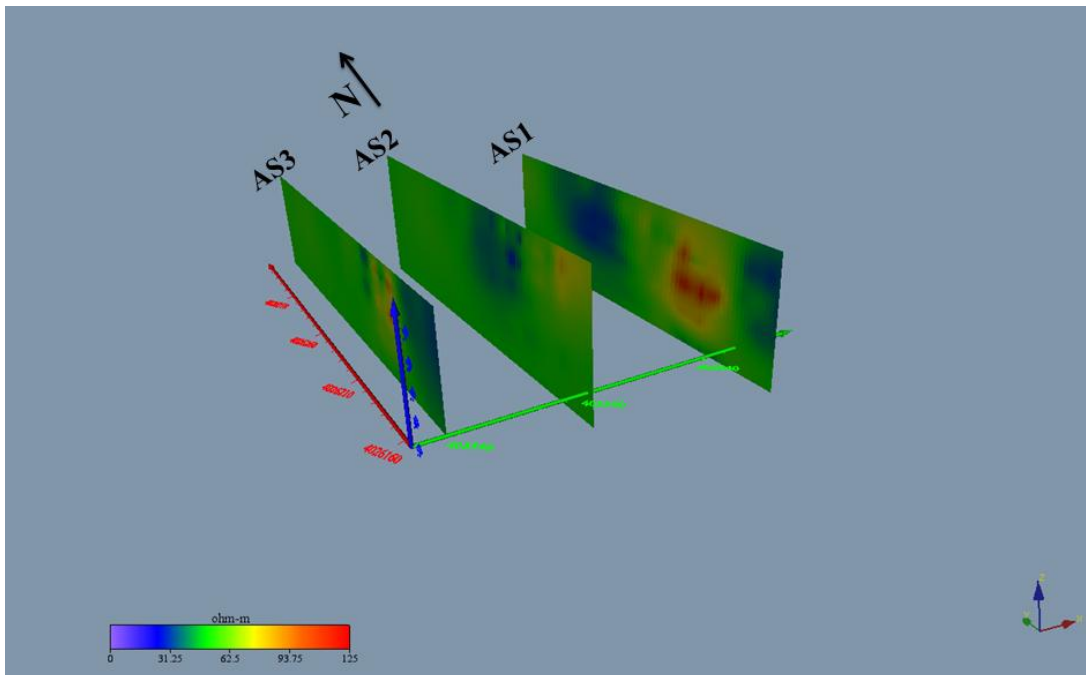


شکل ۳-۴- نمایش سه بعدی نتایج وارون‌سازی دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه توسط نرم‌افزار VOXLER



شکل ۴-۴- نمایش سه بعدی نتایج وارون سازی دوبعدی داده های قطبش القایی توسط نرم افزار VOXLER

شکل (۵-۵) نیز نمایش سه بعدی نتایج وارون سازی دوبعدی داده های VLF می باشد، که میزان مقاومت ویژه زیرسطحی زمین را به حالت سه بعدی نمایش می دهد. در این شکل نیز مانند شکل (۳-۵) توالی لایه بندی به خوبی قابل مشاهده می باشد و همچنین به خوبی ارتباط ۳ پروفیل را نشان می دهد.



شکل ۵-۴- نمایش سه بعدی مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های VLF توسط نرم افزار VOXLER

۲-۴ نتیجه گیری

با توجه به مطالعات و بحث‌های صورت گرفته، می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

۱- با در نظر گرفتن شواهد موجود و تیپ کانسار که اغلب به صورت پراکنده می‌باشد، زون‌هایی که مقاومت‌ویژه و بارپذیری بالا نشان می‌دهند به عنوان مناطق امیدبخش کانی‌زایی مس پورفیری معرفی می‌شوند.

این نوع کانی‌زایی در محدوده ۱۰۰ تا ۱۸۰ متری در عمق ۱۰ الی ۳۰ متری پروفیل AS1، در محدوده ۱۰ تا ۱۳۰ متری در عمق ۱۰ تا ۴۰ متری پروفیل AS2، در ابتدا و انتهای پروفیل AS3 در عمق بیش از ۲۰ متر و همچنین در امتداد تمام پروفیل AS4 در عمق ۲۰ تا ۵۰ متری دیده می‌شود.

۲- با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی و مدل‌های مقاومت‌ویژه و VLF، در منطقه شکستگی‌ها و گسل‌ها فراوانی وجود دارد، وجود آنها احتمال کانی‌سازی فلزی در درز و شکاف‌های منطقه را افزایش می‌دهد.

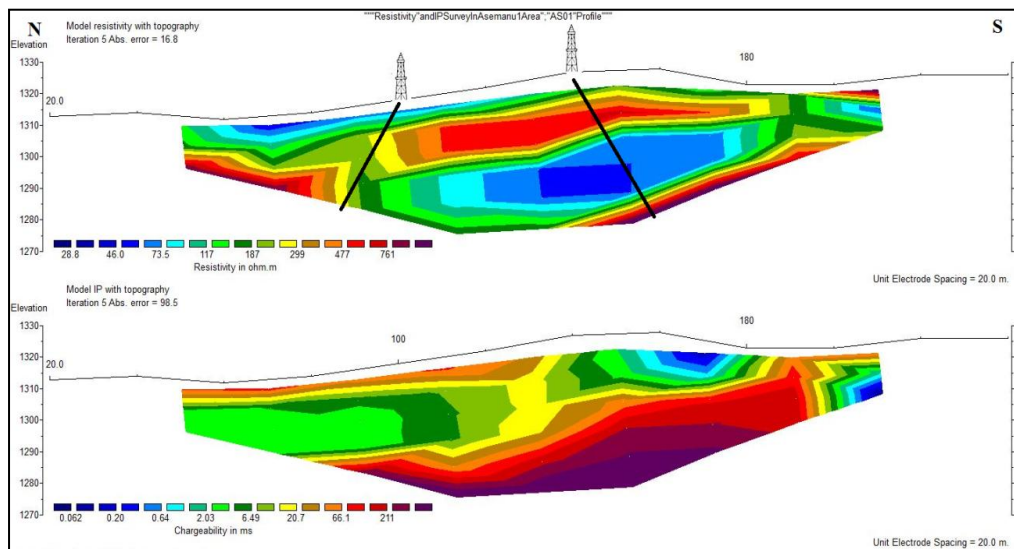
۳- با توجه به نمایش‌های سه بعدی نتایج مدل‌سازی‌ها، ارتباط کانی‌زایی در سه پروفیل مشهود بوده و نشان‌دهنده زون‌های کانی‌زایی به صورت پراکنده و احتمالاً دارای روند شرقی- غربی می‌باشند.

۳-۵ پیشنهادات

با توجه به نتایج مذکور، موارد زیر جهت مطالعات بیشتر در رابطه با این پژوهش پیشنهاد داده می‌شود:

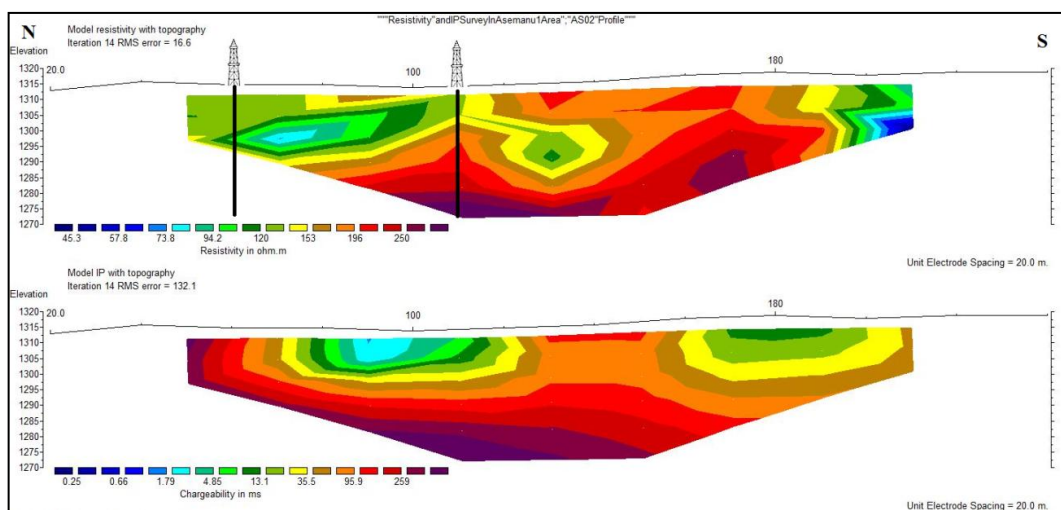
۱- بر اساس تفاسیر و نتایج به‌دست آمده، برای تحقیق بیشتر هفت نقطه حفاری به صورت مغزه‌گیری پیشنهاد می‌گردد که به شرح زیر می‌باشد.

- نقطه پیشنهادی اول بر روی تقاطع پروفیل AS1 با پروفیل AS4 واقع شده است. پیشنهاد می‌شود این حفاری با شیب ۷۰ درجه به سمت شمال، جهت بررسی کانی‌زایی سطحی و زیرسطحی تا عمق ۵۰ متری صورت گیرد (شکل ۵-۶).
- نقطه پیشنهادی دوم در فاصله ۱۴۰ متری از مبدا پروفیل AS1 واقع شده است؛ پیشنهاد می‌شود، این حفاری با شیب ۷۰ درجه به سمت جنوب، جهت بررسی محدوده با مقاومت‌ویژه کم و منطقه امیدبخش کانی‌زایی در زیرسطح تا عمق ۶۰ متری انجام شود (شکل ۵-۶).



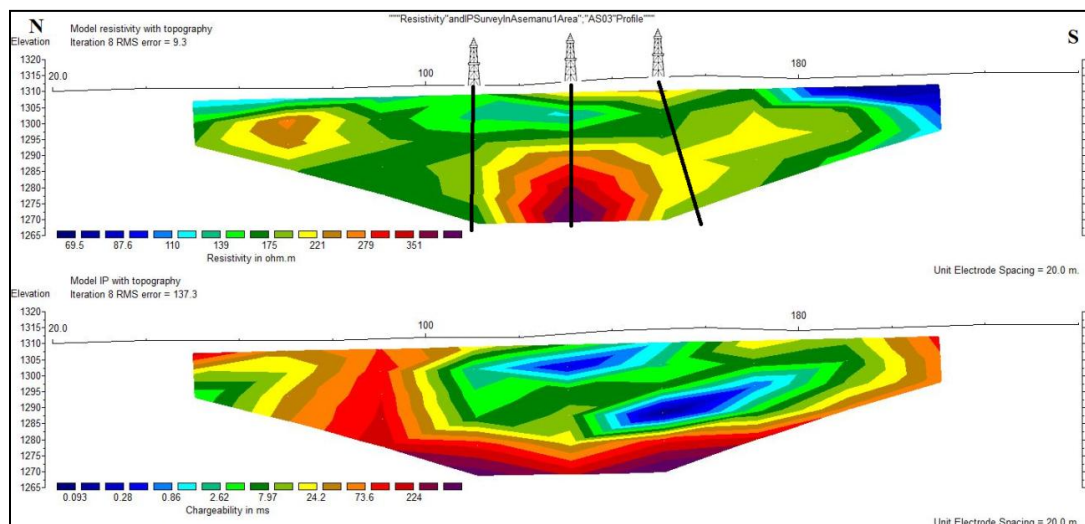
شکل ۴-۶- مدل دوبعدی مقاومت‌ویژه، قطبش‌القایی و نقاط پیشنهاد حفاری پروفیل AS1

- نقطه پیشنهادی سوم در فواصل ۴۰ متری از مبدا پروفیل AS2 واقع شده است؛ پیشنهاد می‌شود این حفاری به صورت عمود، جهت بررسی کانی‌زایی و ساختار زمین‌شناسی منطقه تا عمق ۶۰ متری صورت گیرد (شکل ۵-۷)
- نقطه پیشنهادی چهارم بر روی تقاطع پروفیل AS2 با پروفیل AS4 واقع شده است. پیشنهاد می‌شود این حفاری به صورت عمود، جهت بررسی کانی‌زایی سطحی و زیرسطحی تا عمق ۶۰ متری صورت گیرد (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷- مدل دوبعدی مقاومت و ویژه، قطبش القایی و نقاط پیشنهاد حفاری پروفیل AS2

- نقطه پیشنهادی پنجم بر روی تقاطع پروفیل AS3 با پروفیل AS4 واقع شده است. پیشنهاد می شود این حفاری به صورت عمود، جهت بررسی کانی زایی سطحی و زیر سطحی تا عمق ۶۰ متری صورت گیرد (شکل ۵-۸).
- نقطه ششم پیشنهادی در فواصل ۱۳۰ متری از مبدا پروفیل AS3 واقع شده است؛ پیشنهاد می شود این حفاری به صورت عمود، جهت بررسی توده نفوذی احتمالی و ساختار زمین شناسی منطقه تا عمق ۶۰ متری صورت گیرد (شکل ۵-۸)
- نقطه پیشنهادی هفتم در فاصله ۱۵۰ متری از مبدا پروفیل AS3 واقع شده است؛ پیشنهاد می شود، این حفاری با شیب ۸۰ درجه به سمت جنوب، جهت بررسی منطقه امیدبخش کانی زایی در زیر سطح تا عمق ۶۰ متری انجام شود (شکل ۵-۸).



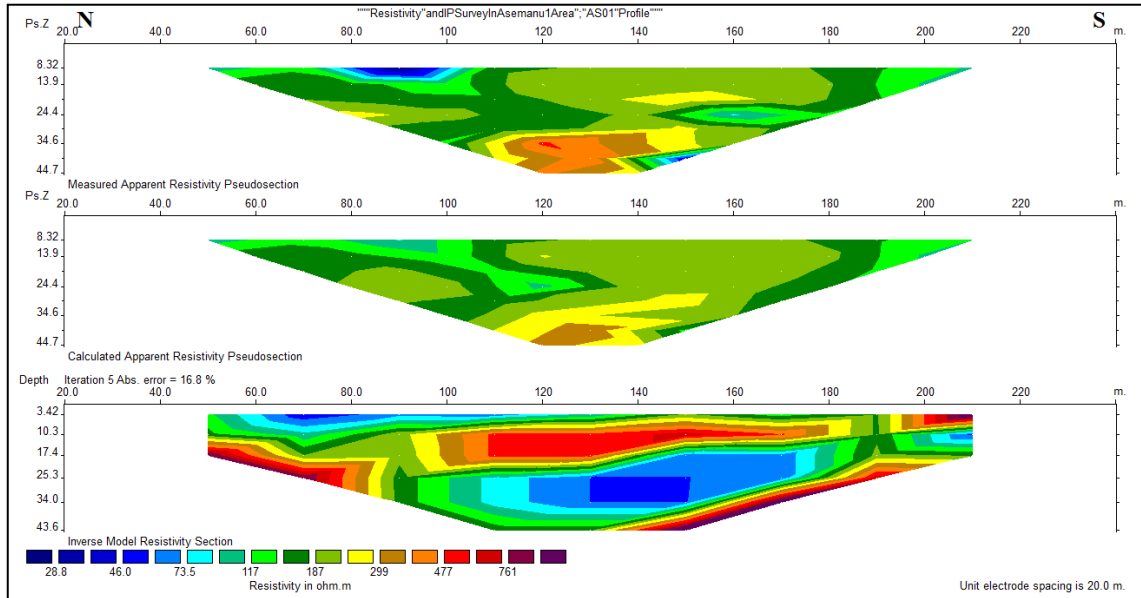
- شکل ۴-۸- مدل دوبعدی مقاومت ویژه، قطبش القایی و نقاط پیشنهاد حفاری پروفیل AS3
- ۲- با توجه به شواهد موجود در زمین شناسی منطقه و همراهی رگه های مگنتیت همراه با کانی زایی مس، پیشنهاد به برداشت و تفسیر داده های مغناطیس سنجی می شود.
- ۳- در صورت به نتیجه رسیدن حفاری های پیشنهادی، پیشنهاد می شود که برداشت داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی حوزه فرکانس به صورت سیستماتیک و شبکه منظم مربعی وفواصل الکتروود مختلف جهت بررسی بیشتر اعماق زیاد صورت بگیرد. همچنین شبه مقاطع اعماق امیدبخش رسم شود.

پیوست‌ها

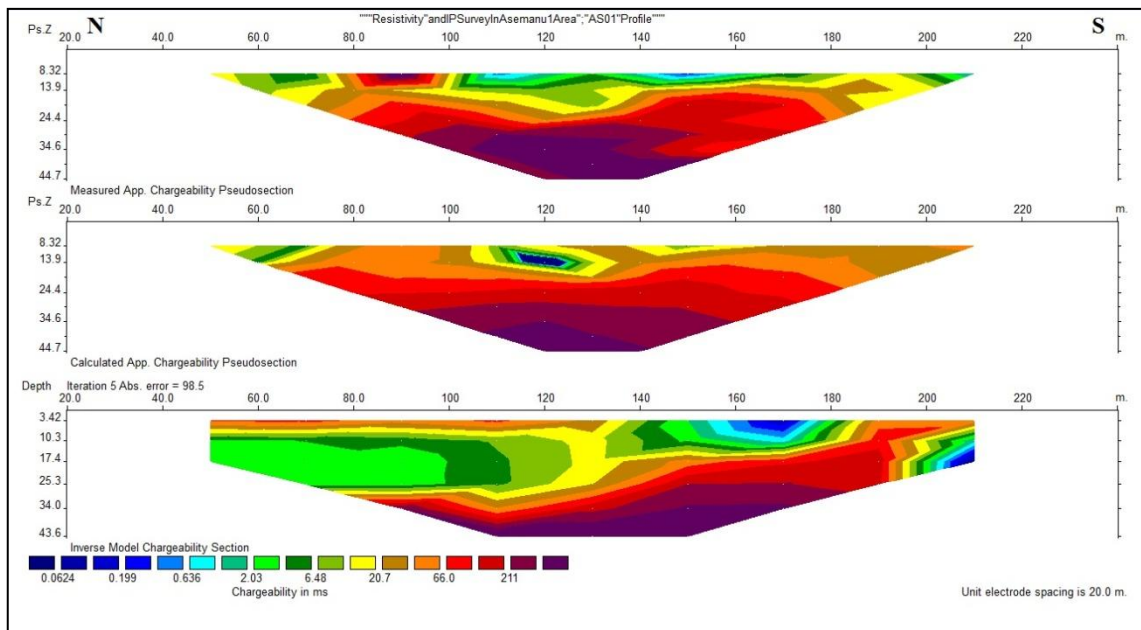
پیوست شماره یک

شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش القایی بر

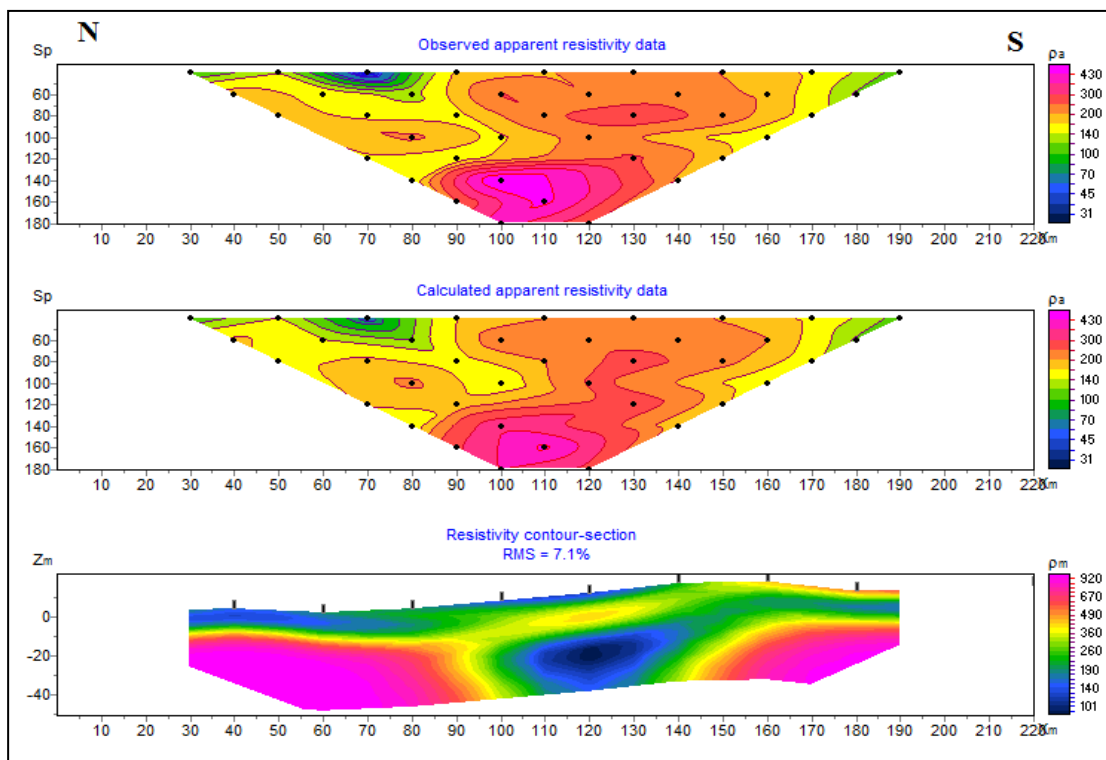
روی پروفیل AS1



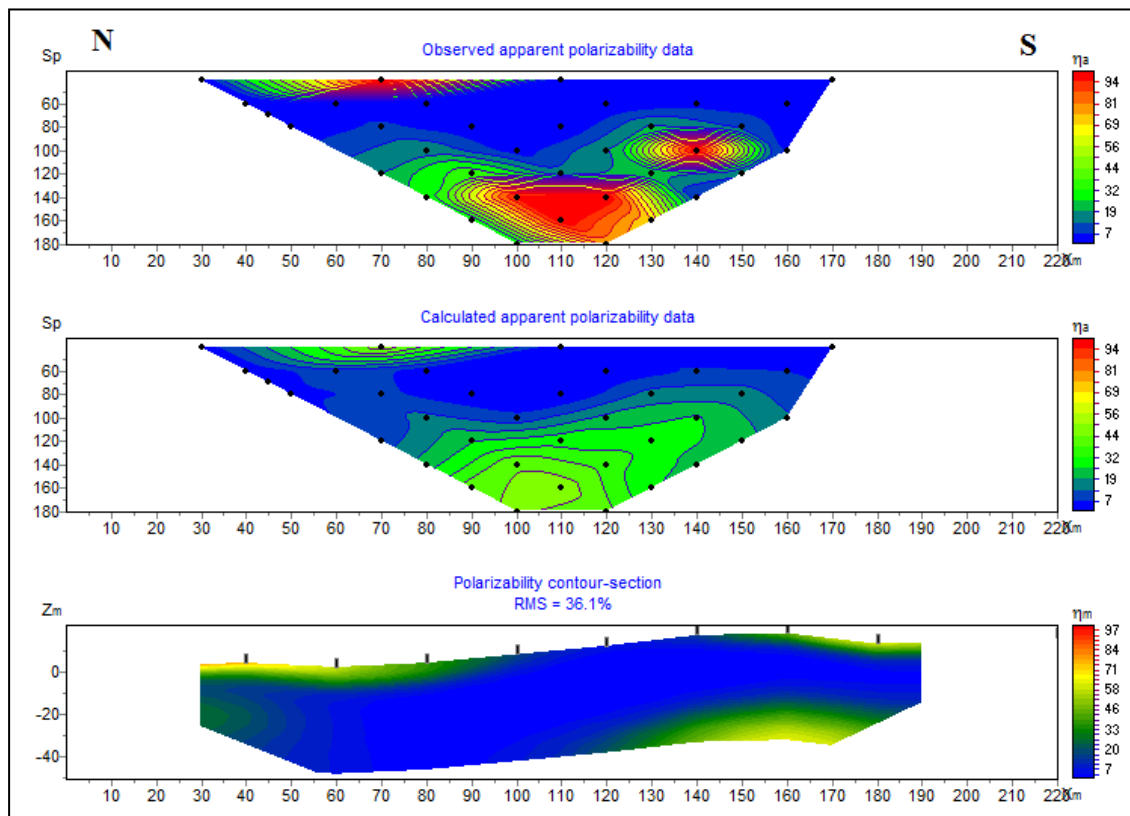
شکل الف-۱- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS1، توسط نرم‌افزار RES2DINV



شکل الف-۲- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش القایی بر روی پروفیل AS1، توسط نرم‌افزار RES2DINV



شکل الف-۳- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل AS1، توسط نرم افزار ZondRes2D

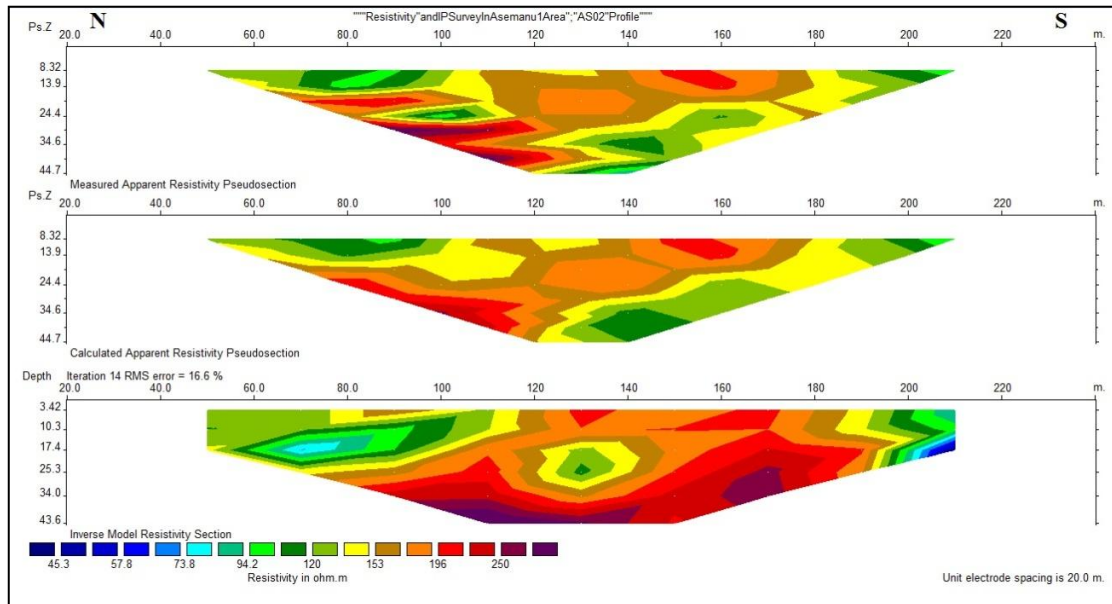


شکل الف-۴- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های قطبش القایی بر روی پروفیل AS1، توسط نرم افزار ZondRes2D

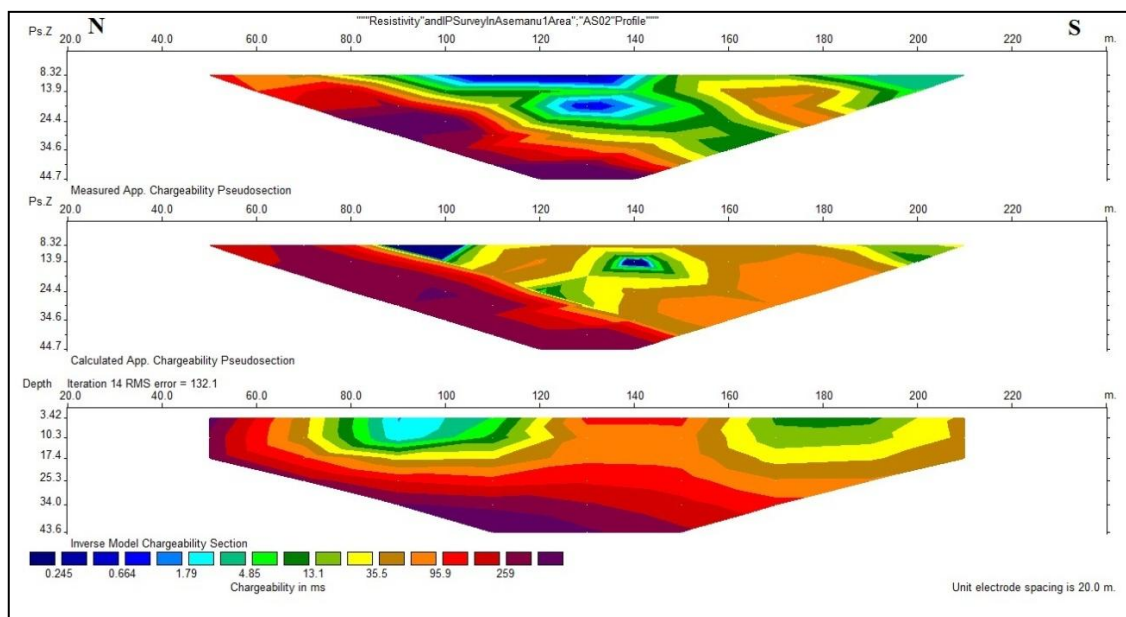
پیوست شماره دو

شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش القایی بر

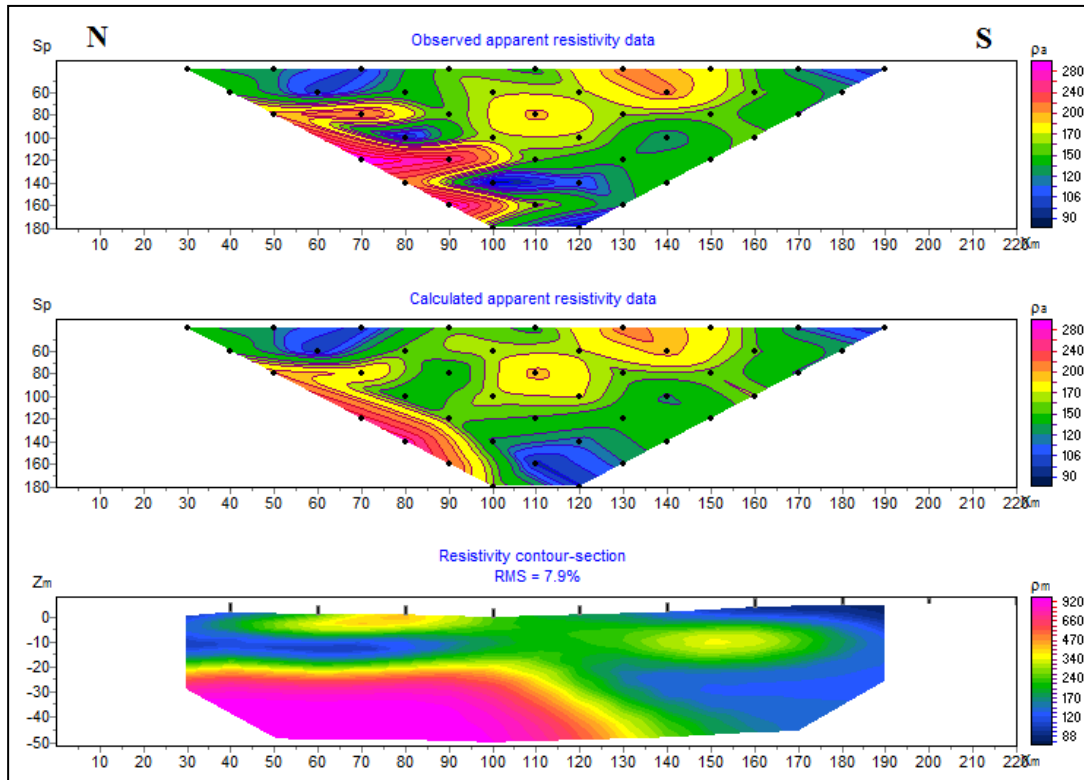
روی پروفیل AS2



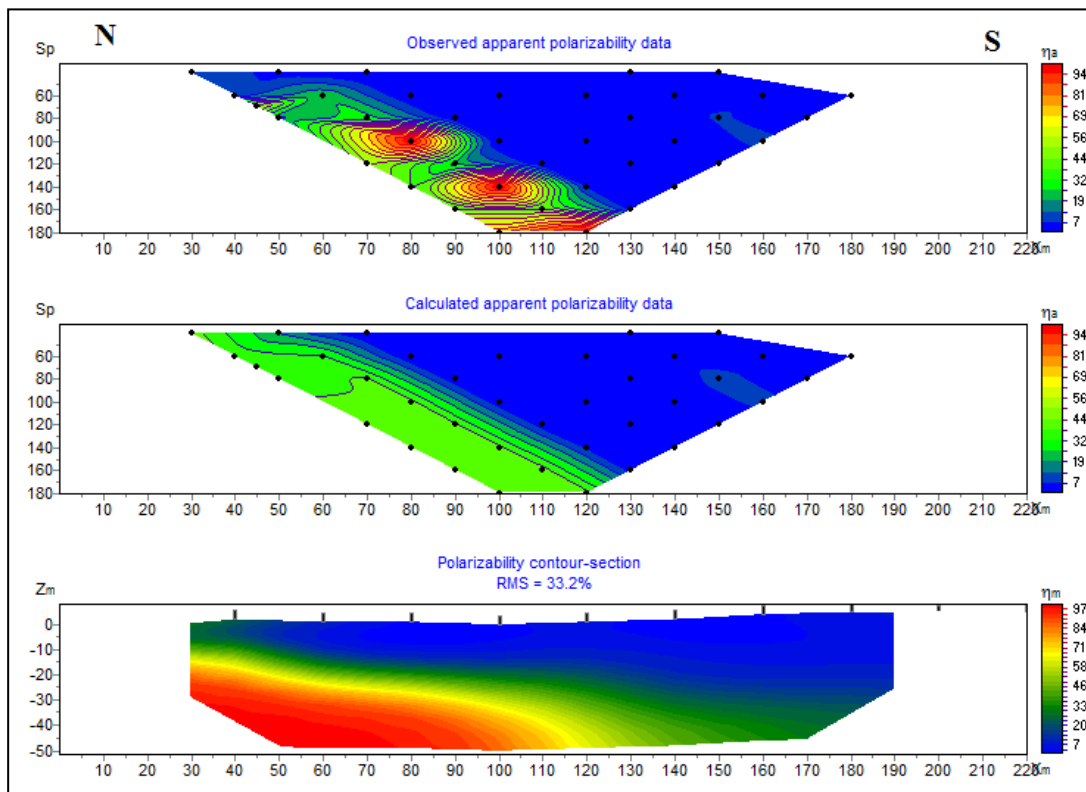
شکل الف-۵- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS2، توسط نرم‌افزار RES2DINV



شکل الف-۶- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش القایی بر روی پروفیل AS2، توسط نرم‌افزار RES2DINV



شکل الف-۷- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل AS2، توسط نرم افزار ZondRes2D

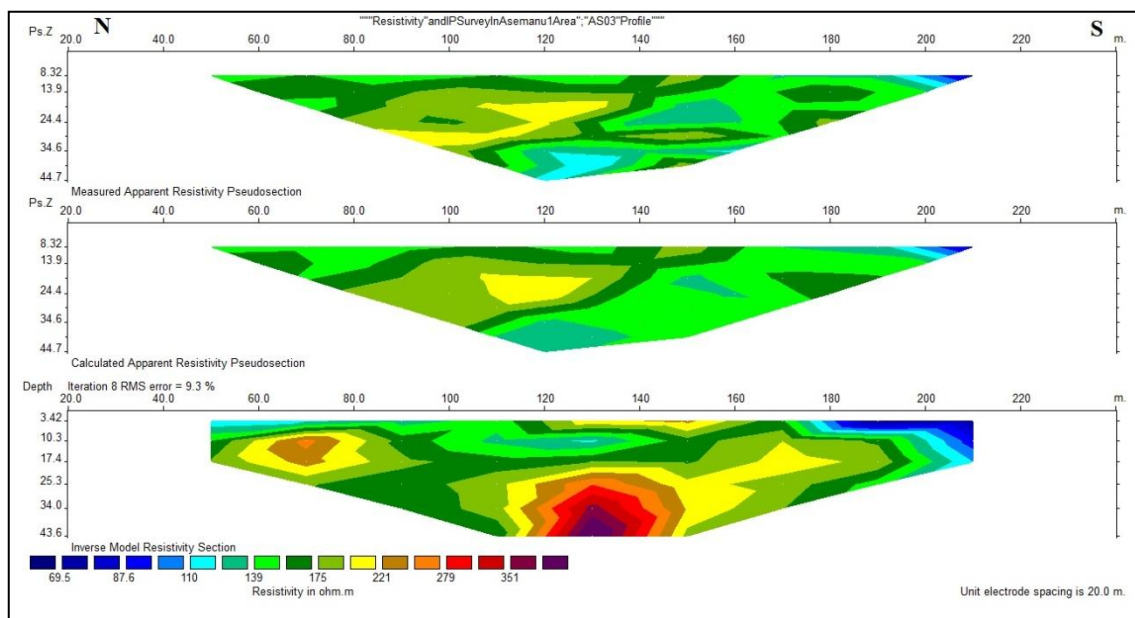


شکل الف-۸- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل AS2، توسط نرم افزار ZondRes2D

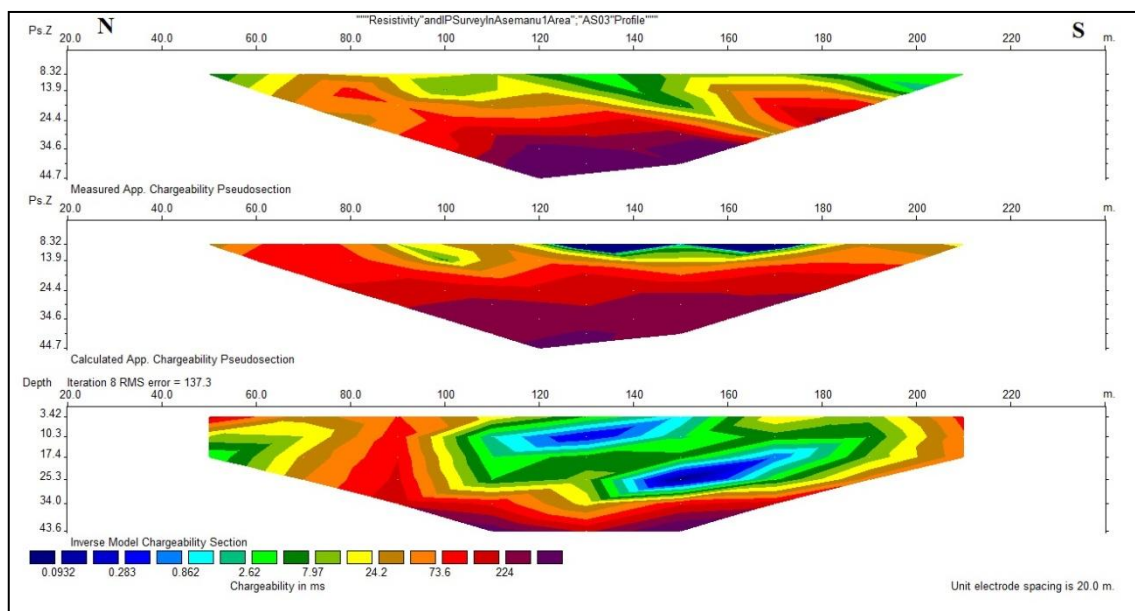
پیوست شماره سه

شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش القایی بر

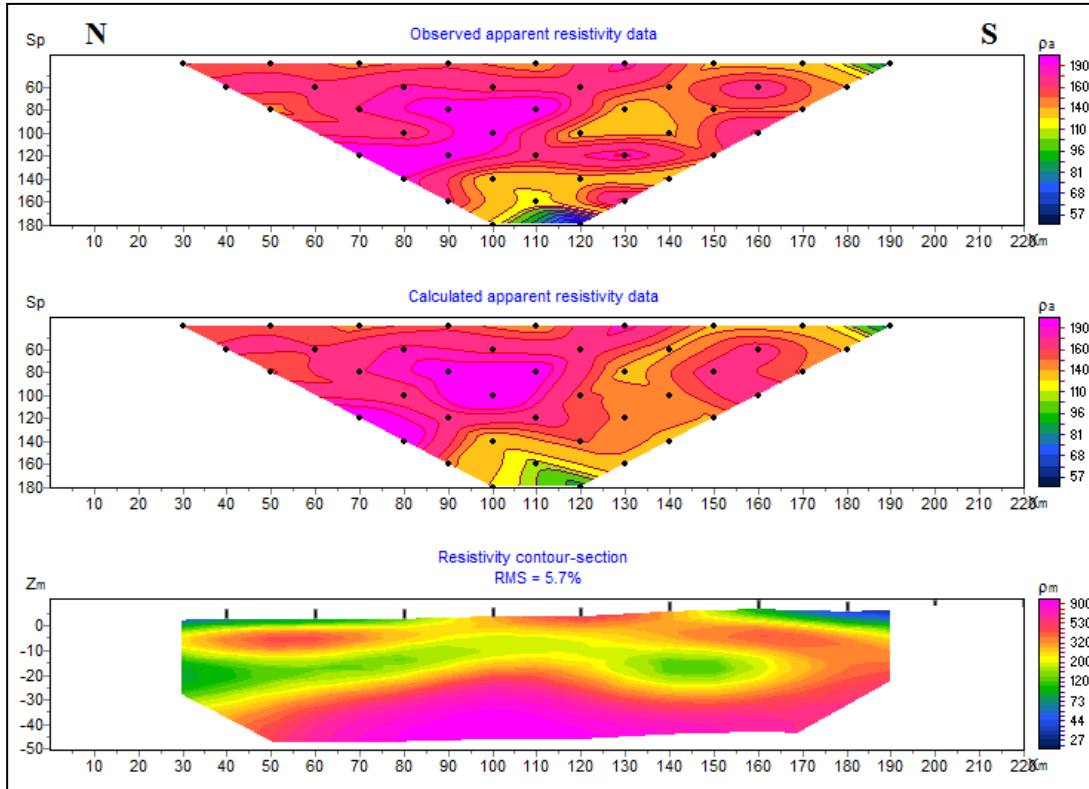
روی پروفیل AS3



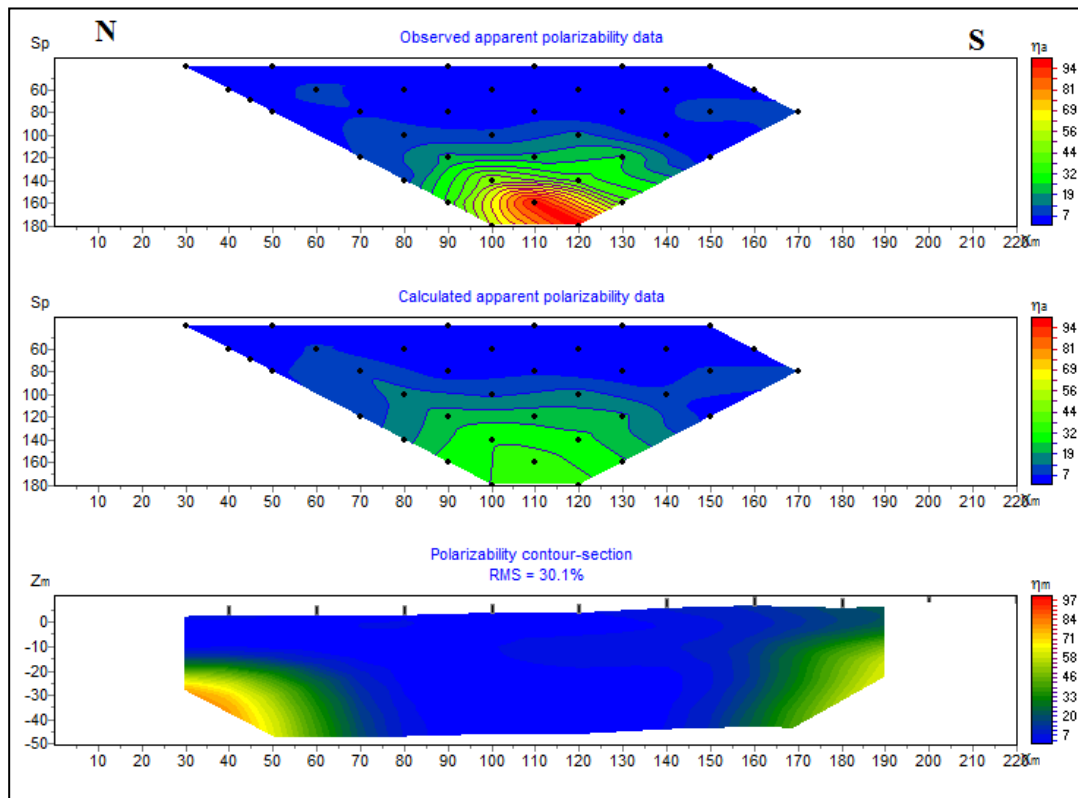
شکل الف-۹- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه بر روی پروفیل AS3، توسط نرم‌افزار RES2DINV



شکل الف-۱۰- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های قطبش القایی بر روی پروفیل AS3، توسط نرم‌افزار RES2DINV



شکل الف-۱۱- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل AS3، توسط نرم افزار ZondRes2D

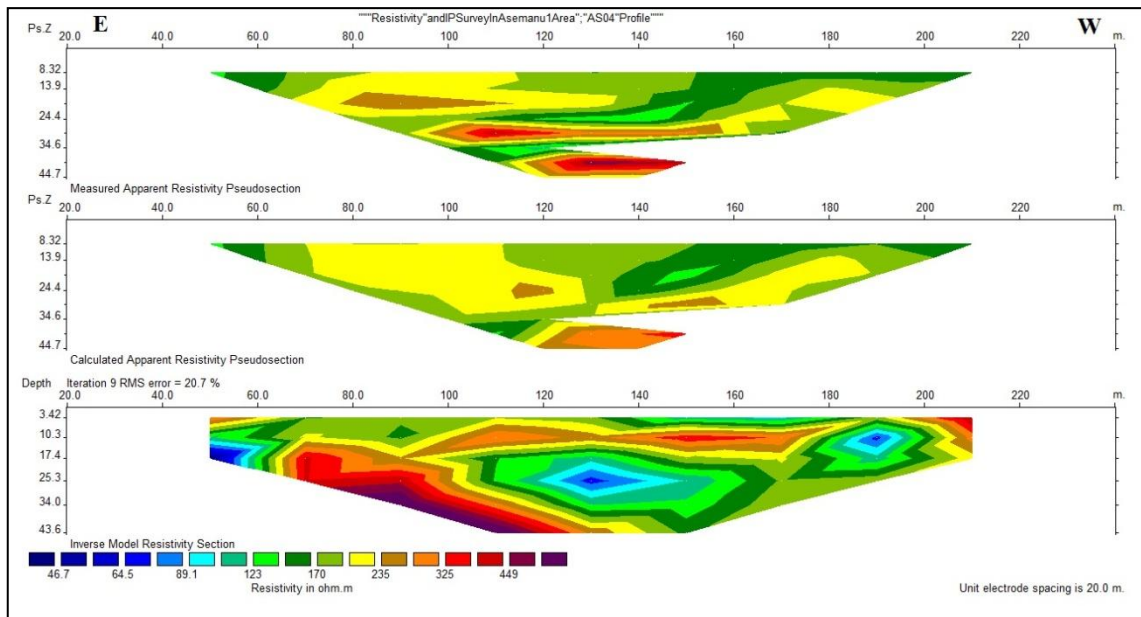


شکل الف-۱۲- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های قطبش القایی بر روی پروفیل AS3، توسط نرم افزار ZondRes2D

پیوست شماره چهار

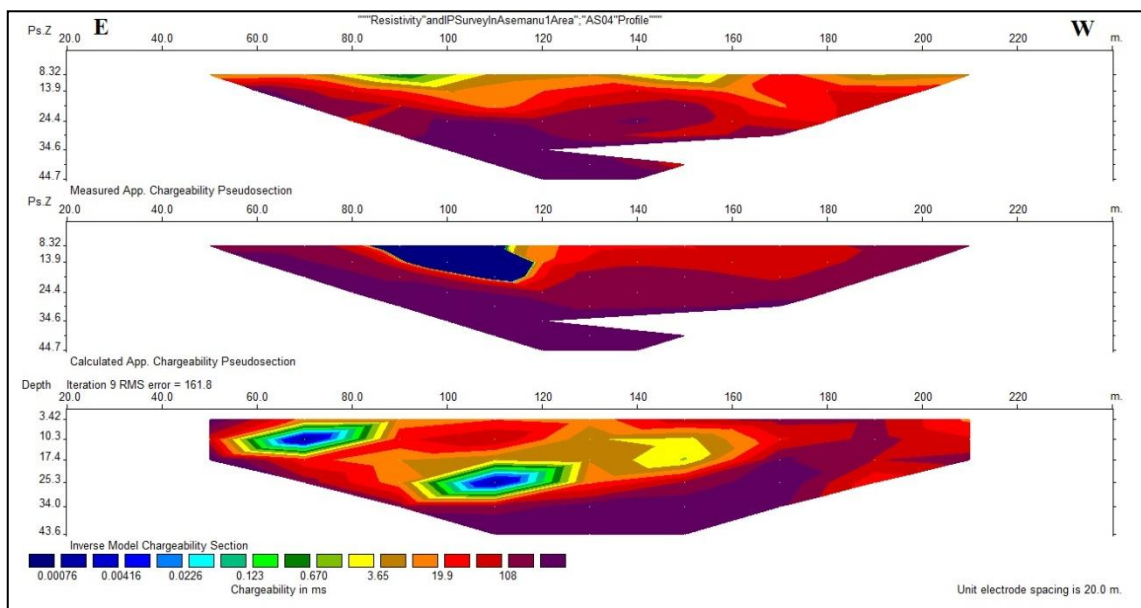
شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی بر

روی پروفیل AS1



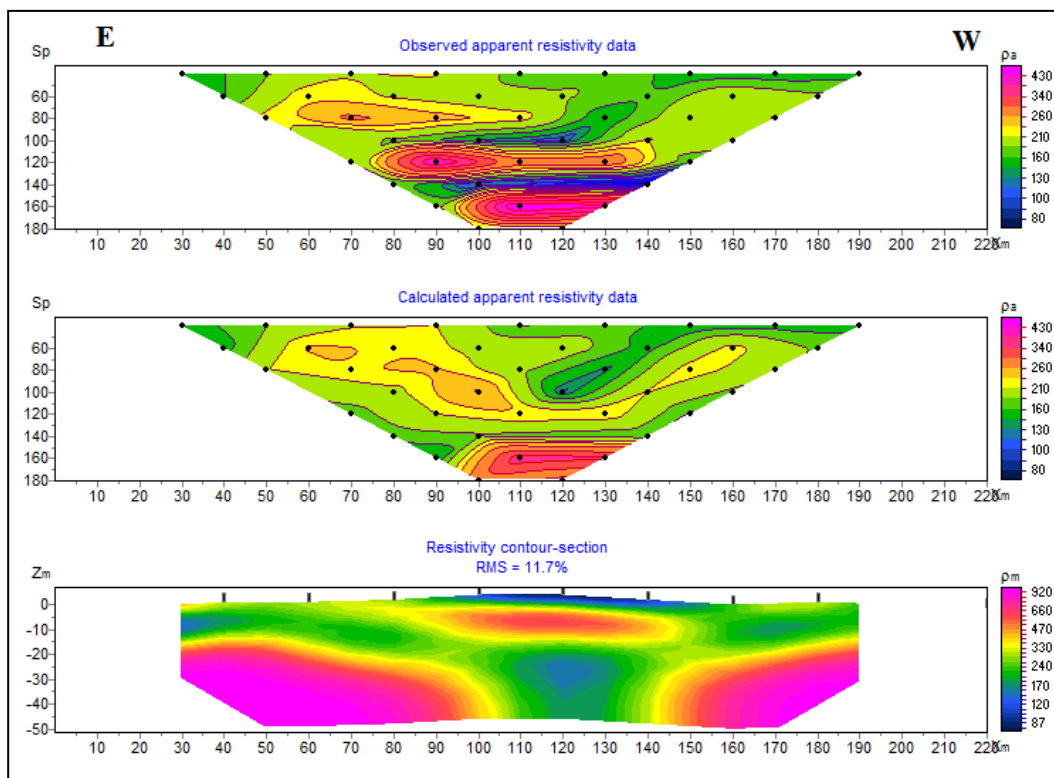
شکل الف-۱۳- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل AS4، توسط

نرم افزار RES2DINV

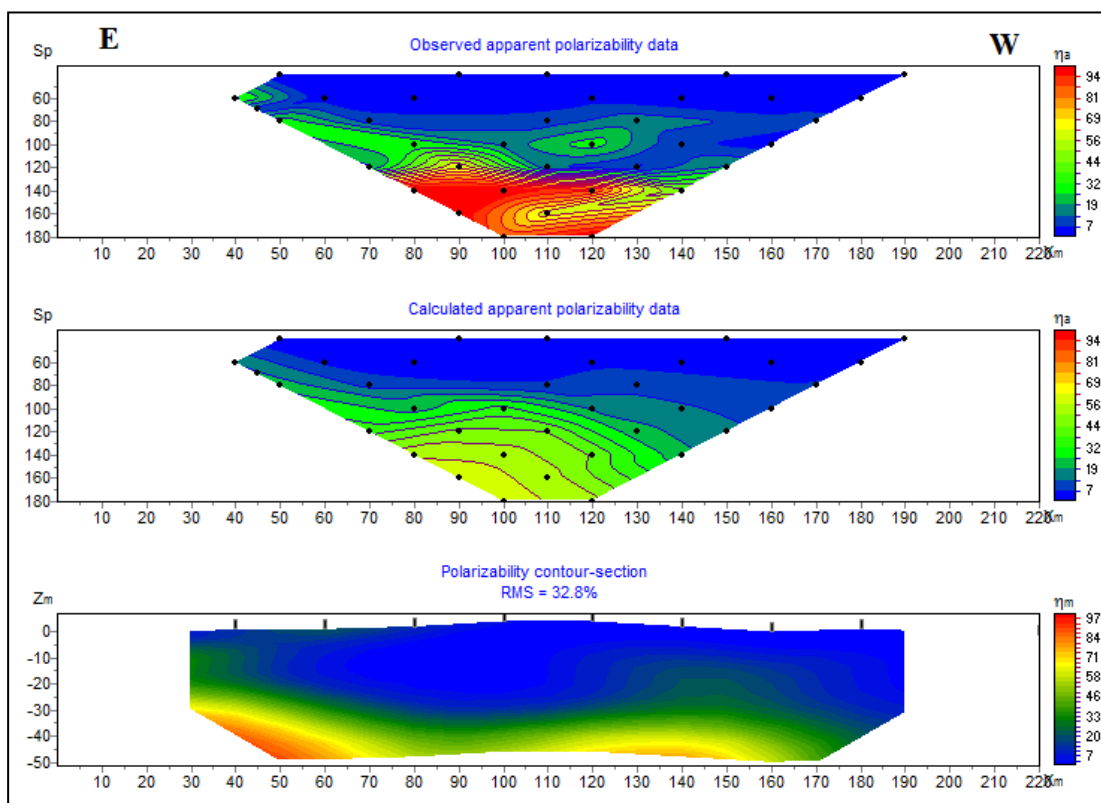


شکل الف-۱۴- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های قطبش القایی بر روی پروفیل AS4، توسط

نرم افزار RES2DINV



شکل الف-۱۵- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل AS4، توسط نرم افزار ZondRes2D



شکل الف-۱۶- شبه مقاطع و مقطع دوبعدی حاصل از مدل سازی داده های قطبش القایی بر روی پروفیل AS4، توسط نرم افزار ZondRes2D

منابع

منابع فارسی

- ابراهیمی س، عربامیری ع و بیاری ه، (۱۳۹۳)، "گزارش پایانی عملیات اکتشاف کانسار مس آسمانو"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.
- حجت آ و رنجبر ح، (۱۳۹۰)، "اصول ژئوالکتریک کاربردی"، چاپ اول، انتشارات ستایش، تهران.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۹)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی، تهران، تهران.
- سمنانی نژاد ا، (۱۳۸۷)، پایان‌نامه ارشد: "مدل‌سازی و تفسیر توام داده‌های پلاریزاسیون القایی (IP) و الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار پایین (VLF) در محدوده معدنی انجیره- تیران"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.
- رابینسون ای. کورو س، (۱۳۸۸)، "مبانی اکتشافات ژئوفیزیک"، ترجمه: محمدرضا حیدریان، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.
- عربامیری ع. و فتیحیان‌پور ن، (۱۳۷۹) "تعیین مناطق کانی‌سازی با استفاده از پردازش داده‌های قطبش‌القایی طیفی و مقاومت‌سنجی تپه سرخ ایرانکوه" پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، شماره ۵۷، ص ۵۵.
- کریم‌پور م.ح و سعادت س، (۱۳۸۴)، "زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ص ۵۲۲.
- کریم‌پور م.ح و ملک‌زاده آ و حیدریان م، (۱۳۸۷)، "اکتشاف ذخایر معدنی"، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
- کلاگری ع، (۱۳۷۱)، "اصول اکتشاف ژئوفیزیکی"، چاپ اول، انتشارات تابش، تهران، ص ۵۸۸.

- لطفی ن، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه ارشد: "مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه، قطبش‌القایی و VLF به منظور اکتشاف ذخایر جیوه منطقه خانگلی سیه چشمه ماکو"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.
- نوروزی غ، (۱۳۹۲)، "روش‌های الکتریکی در ژئوفیزیک اکتشافی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۷۵.

- ABEM Instrument AB, ABEM Terameter SAS 4000/SAS 1000 Manual.
- Amirkhani-Shiraz F., Ardejani F. D., Moradzadeh A. and Arab-Amiri A. R. (2013), "**Investigating the source of contaminated plumes downstream of the Alborz Sharghi coal washing plant using EM34 conductivity data, VLF-EM and DC-resistivity geophysical methods**". Exploration Geophysics, 1, 44, pp 16.
- Close. D. I., Roach. M. J., Bishop. J. R. and Lewis. R.J. G. (2001).Exploration geophysics, pp141-146, In:"**Electrical properties of porphyry mineralization at the Cadia Ridghway gold – copper deposit, NSW- empications for exploration**", Cambridge University press, London
- Doyle, H. A., (1990),"**Geophysical exploration for gold- A review**, Geophysics, 55, 2, 134- 146.
- Golden Software Inc, 2012, VOXLER, Ver 3 full user's guide.
- Hongtao, L. Jianming, L. Changming, Y. Jie, Y. and Zeng, Q., (2006), "**Integrated geological and Geophysical exploration for concealed ores beneath cover in the Chaihulanzi gold field, northern China**", Geophysical prospecting, Volume 54 Issue 5, Pages 605- 621.
- <http://www.google.com/earth/>
- Karous, M. and Hjelt, S.E., (1983). **Linear filtering of VLF dip angle measurements. Geophysical prospecting**, 31, 782-794.
- Kawasaki. K., Okada. K. and Kubota. R. (1986). The Minning Geology, pp 131- 147, In:"**Geophysical survery in the Hishikari mine area**", Japanese.
- Loke M. H., (2000), **Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, A practical guide to 2-D and 3-D surveys**.
- Loke, M. H. (2012), "**Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys' Course Notes for USGS Workshop 2-d and 3-d Inversion and Modeling of Sourface and Borehole Resistivity Data**. Pp 172.
- Luo, Z.Z. And Zang, G. (1998) "**Theory and application of Spectral Induced Polarization, Geophysical monograph series**" SEG publication., 8, pp 163.
- Milson. J. (2003), "**Field geophysics**", Cambridge University Press,UK. pp 48.

- Mooney, H. M. (1980). "**Handbook of engineering Geophysics'**, Vol. 2. Electrical Resistivity Bison Instruments. Inc., Minneapolis, Minnesota.
- Paterson, N. R., and Hallof, P., G., (1991), **Gold metallogeny and exploration-Geophysical exploration for gold**, Springer.
- Reynolds, J. .M. 1997. **An introduction to applied and environmental Geophysics**. John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- Sumner. Stewart j, (1976), **Principles of induced polarization for geophysical exploration**.
- Telford W.W.M. and Sheriff R.E. (1990), "**Applied geophysics**", Vol. 1, Cambridge University Press,UK. pp 340- 380.

-

Abstract

Nowadays the mineral resources cannot be identified exclusively using surface geological information. Geophysical methods are of the proper ones that are efficient in reconnaissance of mineral resources. The aim of this research is to detect the probable subsurface copper anomalies in Asemanoo mineral index using three geophysical methods. They are electrical resistivity (RES), induced polarization (IP) and very-low-frequency electromagnetic (VLF-EM) methods. In this study it is attempt to identify the prospective copper mineralized zones and to propose the best drilling locations by measuring, processing, modelling and interpretation of geophysical data. To achieve the goals, three parallel profiles each with 220m length in NS direction and another profile in E-W direction have been designed to measure geophysical data. The resistivity and induced polarization surveys have been performed using dipole-dipole array. In addition the VLF measurements were taken in 5m spacing on the same profiles.

The geo-electrical data was then inversely modeled by Res2DINV and ZondRes2D software. The VLF data also were considered qualitatively and quantitatively. To get a better view of the region and link the obtained results, the three dimensional (3D) illustrations of various data were provided using Voxler and ZondRes3D software. The obtained results indicate that studied region (Asemanoo mineral index) has many faults along with NE_SW and also this part of my study has probable of seam and scatter copper deposit in N_S at the depth of more than 20m . At the end the optimized drilling points for direct study of mineralization in the region were presented.

Keywords: Asemanoo copper index, resistivity (RES), induced polarization (IP), VLF-EM method, inverse modelling.



Shahrood University

Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

An integration of resistivity (RES), induced polarization (IP) and VLF-EM data for copper exploration in Asemanoo index- Mayamey.

Hamidreza Khavari

Supervisors:

Dr. Alireza Arab-Amiri

Dr. Ali Moradzadeh

Advisor

Mehdi Zareie

October 2015

