





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های EM34-3 و VLF در اندیس مس

دوچپله – میامی و مقایسه نتایج حاصله با داده‌های مقاومت‌ویژه و IP

مینو احمدی

اساتید راهنما :

دکتر علیرضا عرب‌امیری

دکتر علی مرادزاده

استاد مشاور

مهندس مهدی زارعی

شهریور ۱۳۹۴

تقدیم به

مادرم، آن که آفتاب مهرش در آستانه
قلبم هم‌چنان پابرجاست و هرگز غروب
نخواهد کرد.

و با بوسه بر دستان پدرم به او که نمی-
دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی و
سختوتش

تقدیر و تشکر

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق را هم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم . از استادان فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر علیرضا عربامیری و آقای دکتر علی مرادزاده به عنوان استاتید راهنما که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند و از ابتدای راه و در طی انجام این تحقیق، با راهنمایی‌های خود مرا در نگارش این اثر یاری نمودند و همچنین از آقای مهندس مهدی زارعی که در برداشت‌های صحرایی این پایان‌نامه مرا یاری کردند؛ کمال تشکر را دارم. از خانم دکتر سوسن ابراهیمی به خاطر کمک‌های بی‌دریغ‌شان صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از جناب آقای دکتر Monterio Santos از دانشگاه لیسبون پرتغال به خاطر برنامه مورد استفاده EM34-2D و INV2DVLF و علاوه بر آن به خاطر انجام مدل‌سازی داده‌ها با نرم‌افزار EM4SOIL و راهنمایی‌های ارزشمندشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از مهندس هادی بیاری مسئول معدن مس دوچپله به خاطر همکاری ارزنده شان تشکر می‌نمایم. از آقای مهندس فرزین امیرخانی به دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی‌چشم‌داشت ایشان که بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان‌تر نمودند، کمال تشکر را دارم.

از دوستان گرامی خانم‌ها شهرزاد کوثری، زهرا محمدی و آذر عباس‌زاده که مرا در برداشت داده‌های ژئوفیزیکی یاری نمودند؛ سپاس‌گذارم.

سپاس فراوان از پدر و مادر عزیزم... این دو معلم بزرگوام... که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاور بی‌چشم‌داشت برای من بوده‌اند و با سپاس فراوان از زحمات بی‌دریغ و همراهی همیشگی خواهر عزیزم.

و در آخر از سایر کسانی که در تدوین این تحقیق مرا یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **مینو احمدی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک (ژئوالکتریک) دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان: **برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های EM34-3 و VLF در اندیس مس دوچپله – میامی و مقایسه نتایج حاصله با داده‌های مقاومت-ویژه و IP** تحت راهنمایی آقای دکتر علیرضا عرب‌امیری و آقای دکتر علی مرادزاده 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 صنعتی 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.

چکیده

یکی از روش‌های ژئوفیزیکی برای اکتشاف کانسارهای فلزی مانند مس، روش‌های الکترومغناطیسی است. روش‌های الکترومغناطیس (EM) به تغییرات خواص الکتریکی مواد زیرسطحی حساس بوده و قادر به تعیین نواحی با رسانندگی الکتریکی شاخص می‌باشند. در این تحقیق هدف برداشت، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های EM با ابزارهای EM34-3 و روش‌های الکترومغناطیس با فرکانس پایین (VLF) برای اکتشاف مس در ناحیه ای از شهرستان میامی، استان سمنان می‌باشد. به همین منظور برداشت داده‌ها بر روی ۳ پروفیل به نام‌های P01، P02 و P07 با امتداد تقریبی شرقی-غربی و یک پروفیل به نام P06 به منظور کنترل پروفیل‌های قبلی با امتداد تقریبی شمالی-جنوبی انجام شد. برداشت‌های EM34-3 با دو آرایه حلقه‌های فرستنده و گیرنده افقی (دوقطبی قائم) و حلقه‌های قائم (دوقطبی افقی) انجام شده است.

نتایج مدل‌سازی وارون داده‌های دستگاه EM34-3 و داده‌های VLF و نمایش سه‌بعدی مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون آنها سه روند کانی‌سازی احتمالی مس پورفیری را به صورت تقریبی شمالی-جنوبی در سنگ میزبان بازالتی نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد سه زون کانی‌سازی احتمالی مس در پروفیل P01 در فاصله‌های ۰ تا ۲۰، ۶۰ تا ۱۲۰ و ۱۴۰ تا ۱۷۰ متری مبدا پروفیل و نیز سه زون کانی‌سازی احتمالی مس در پروفیل P02 در فواصل ۰ تا ۱۰، ۲۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۸۰ متری مبدا پروفیل مشاهده می‌شوند. همچنین پروفیل P07 دارای دو زون کانی‌سازی احتمالی مس در فواصل ۵ تا ۷۰ و ۸۰ تا ۱۱۰ متری مبدا پروفیل می‌باشند. شایان ذکر است در تمام طول پروفیل P06 زون‌های آنومال با رسانندگی پایین در عمق تقریبی ۱۰ متر موجود می‌باشند.

در آخر به منظور تفسیر بهتر، نتایج حاصل از وارون سازی داده های فوق با نتایج حاصل از مدل سازی وارون داده های IP و RES که قبلاً در منطقه در امتداد دو پروفیل برداشت شده است، مقایسه شده است. مقایسه نتایج مدل سازی داده ها نشانگر قدرت تفکیک بالاتر روش های IP و مقاومت ویژه برای

اعماق بیشتر از ۴۰ متر است

واژه های کلیدی: کانسار مس، داده های VLF و EM34، داده های IP و مقاومت ویژه، زون های کانی

سازی، مدل سازی وارون.

مقالات مستخرج از پایان نامه:

- ۱- مدل سازی داده های EM34 و VLF برداشت شده در اندیس مس دوچپله جهت شناسایی مناطق دارای مس، دومین کنفرانس بین المللی زمین شناسی کاربردی، مشهد، ۲۸ تا ۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴.
- ۲- مدل سازی داده های EM34 برداشت شده در اندیس مس دوچپله و مقایسه نتایج حاصله با مدل مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۳ و ۴ اسفند ۱۳۹۳.
- ۳- شناسایی مناطق احتمالی حضور مس با استفاده از نمایش سه بعدی داده های EM34-3 برداشت شده در اندیس مس دوچپله، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دامغان، ۱۸ و ۱۹ شهریور ۱۳۹۴.

فهرست مطالب

۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ بررسی سوابق کارهای انجام شده با روش VLF و EM34 در سال‌های اخیر
۴	۳-۱ اهمیت و ضرورت مطالعه
۵	۴-۱ اهداف پایان‌نامه
۵	۵-۱ روش تحقیق
۶	۶-۱ ساختار پایان‌نامه
۷	فصل دوم: اصول روش الکترومغناطیس مورد استفاده
۸	۱-۲ مقدمه
۹	۲-۲ روش‌های الکترومغناطیس در حوزه فرکانس (FDEM)
۱۰	۱-۲-۲ عمق پوست
۱۱	۲-۲-۲ عدد القاء
۱۲	۳-۲-۲ نسبت میدان مغناطیسی ثانویه (Hs) به میدان مغناطیسی اولیه (Hp)
۱۴	۴-۲-۲ آرایش حلقه‌ها در روش‌های الکترومغناطیس حوزه فرکانس
۱۵	۵-۲-۲ پاسخ تجمعی زمین چند لایه‌ای
۱۸	۳-۲ روش VLF
۱۸	۱-۳-۲ کمیت‌های مورد اندازه‌گیری در روش VLF
۲۰	۲-۳-۲ اندازه‌گیری تابع تیپر در روش VLF
۲۱	۳-۳-۲ فیلتر فریزر و کاروس - هجالت
۲۲	۴-۲ مدل‌سازی
۲۵	فصل سوم: برداشت، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های EM34-3 و VLF
۲۶	۱-۳ مقدمه
۲۶	۲-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه
۲۷	۳-۳ زمین‌شناسی عمومی منطقه
۳۰	۴-۳ مراحل کانی‌زایی در منطقه دوجبله براساس مطالعات کانی‌شناسی و روابط بافتی
۳۰	۱-۴-۳ مرحله اول
۳۱	۲-۴-۳ مرحله دوم
۳۱	۵-۳ برداشت داده‌های EM34

۳۳	۳-۶ مدل سازی و تفسیر داده های برداشت شده EM34-3
۳۳	۳-۶-۱ پروفیل P01
۳۷	۳-۶-۲ پروفیل P02
۴۱	۳-۶-۳ پروفیل P07
۴۶	۳-۶-۴ پروفیل P06
۴۹	۳-۷ مدل سازی داده ها با استفاده از نرم افزار EM4SOIL
۴۹	۳-۷-۱ پروفیل P01
۵۱	۳-۷-۲ پروفیل P02
۵۳	۳-۷-۳ پروفیل P07
۵۴	۳-۷-۴ پروفیل P06
۵۶	۳-۸ نمایش سه بعدی مقاطع EM
۵۶	۳-۸-۱ نمایش سه بعدی داده های EM34-3 توسط نرم افزار EM4SOIL
۵۶	۳-۸-۲ نمایش سه بعدی داده های EM34-3 با نرم افزار VOXLER
۵۸	۳-۹ مدل سازی و تفسیر داده های VLF
۵۸	۳-۹-۱ پروفیل P01
۶۰	۳-۹-۲ پروفیل P02
۶۲	۳-۹-۳ پروفیل P07
۶۴	۳-۹-۴ پروفیل P06
۶۷	فصل چهارم: مقایسه نتایج مدل سازی وارون داده های EM34-3 و VLF با مقاطع موجود IP و RES
۶۸	۴-۱ مقدمه
۶۸	۴-۲ مقایسه نتایج مدل سازی انواع موجود و برداشت شده در منطقه مورد مطالعه
۶۸	۴-۲-۱ پروفیل P01
۶۹	۴-۲-۲ پروفیل P06
۷۱	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۲	۵-۱ نتیجه گیری
۷۲	۵-۲ پیشنهادات
۷۵	منابع
	پیوست- الف نمودار داده های مولفه حقیقی و موهومی (مجازی) محاسبه شده و اندازه گیری شده VLF با استفاده از
۷۸	نرم افزار INV2DVLF

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: اصول روش‌های الکترومغناطیس القایی. ۱۰
- شکل ۲-۲: اصول اندازه‌گیری EM حوزه فرکانس و ترکیب میدان‌ها. ۱۳
- شکل ۳-۲: طرز قرارگیری سیم‌پیچ‌های فرستنده و گیرنده نسبت به هم در حالت افقی و قائم. ۱۵
- شکل ۴-۲: پاسخ تجمعی برای دوقطبی‌های قائم و افقی. ۱۶
- شکل ۵-۲: نمودار زاویه شیب در بالای یک توده رسانا. ۱۹
- شکل ۱-۳: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد نظر. ۲۶
- شکل ۲-۳: موقعیت منطقه مورد نظر و راه‌های دسترسی به منطقه در عکس هوایی. ۲۷
- شکل ۳-۳: نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰ منطقه دوچپله. ۲۹
- شکل ۴-۳: نمایش آرایش حلقه‌ها در برداشت داده‌های EM با دستگاه EM34-3. ۳۲
- شکل ۵-۳: محل پروفیل‌های برداشت در منطقه مورد مطالعه بر روی عکس هوایی. ۳۳
- شکل ۶-۳: نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر بر روی پروفیل P01. (الف) حالت دوقطبی افقی. (ب) حالت دوقطبی قائم. کادر زرد رنگ منطقه آنومالی احتمالی را نشان می‌دهد. ۳۴
- شکل ۷-۳: مدل دوبعدی هدایت‌الکتریکی با استفاده از وارون‌سازی توام داده‌های هر دو مد به ترتیب از بالا به پایین برای EM34-3 بر روی پروفیل P01، با سه ضریب میرایی $\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ نشان داده شده است. ۳۵
- شکل ۸-۳: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش VDM با (ب) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های EM34-3 پروفیل P01. ۳۶
- شکل ۹-۳: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش HDM با (ب) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های EM34-3 پروفیل P01. ۳۷
- شکل ۱۰-۳: نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر بر روی پروفیل P02. (الف) حالت دوقطبی افقی. (ب) حالت دوقطبی قائم. کادرهای زرد رنگ مناطق احتمال وجود آنومال را نشان می‌دهند. کادر مشکی احتمال وجود زون گسله می‌باشد. ۳۸
- شکل ۱۱-۳: مدل دوبعدی هدایت‌الکتریکی با استفاده از وارون‌سازی توام داده‌های هر دو مد EM34-3 پروفیل P02. به ترتیب از بالا به پایین با سه ضریب لاگرانژ $\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ نشان داده شده‌اند. خط قرمز وجود یک زون گسله با رسانندگی بالا را نشان می‌دهد. ۳۹

شکل ۳-۱۲: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش HDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های هر دو مد دستگاه EM34-3، پروفیل P02. کادره‌ای زرد مناطق با رسانندگی بالا مربوط به رسوبات رودخانه‌ای را نشان می‌دهد. ۴۰

شکل ۳-۱۳: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش VDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام هر دو مد دستگاه داده‌های EM34-3، پروفیل P02. ۴۱

شکل ۳-۱۴: نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر بر روی پروفیل P07. (الف) حالت دوقطبی افقی. (ب) حالت دوقطبی قائم. ۴۲

شکل ۳-۱۵: مدل دوبعدی هدایت‌الکتریکی با استفاده از وارون‌سازی توام داده‌های هر دو مد EM34-3 پروفیل P07. به ترتیب از بالا به پایین با سه ضریب لاگرانژ $\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ نشان داده شده‌اند. خط‌چین در مقطع با ضریب میرایی ۰.۳ نشان دهنده کاهش میزان رسانندگی لایه‌های زیرسطحی از عمق تقریبی ۱۵ متری می‌باشد. ۴۳

شکل ۳-۱۶: موقعیت ترانشه نسبت به پروفیل P07 و انطباق منطقه سطحی با هدایت‌الکتریکی پایین در فاصله تقریبی ۴۰ تا ۷۰ متری مبدا. ۴۴

شکل ۳-۱۷: نمایی از ترانشه حفر شده در منطقه و مشاهده رسوبات رودخانه‌ای متخلخل (کادر قرمز). ۴۴

شکل ۳-۱۸: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش VDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام هر دو مد دستگاه داده‌های EM34-3، پروفیل P07. ۴۴

شکل ۳-۱۹: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش HDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های هر دو مد دستگاه EM34-3، پروفیل P07. خط‌چین مشکی بر روی مقطع مدل‌سازی شده دو منطقه با رسانندگی بالا و پایین را جدا کرده است. ۴۵

شکل ۳-۲۰: نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر بر روی پروفیل P06. (الف) حالت دوقطبی قائم. (ب) حالت دوقطبی افقی. ۴۶

شکل ۳-۲۱: مدل دوبعدی هدایت‌الکتریکی با استفاده از وارون‌سازی توام داده‌های هر دو مد دستگاه EM34-3 بر روی پروفیل P06. مقاطع از بالا به پایین برای $\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ می‌باشند. در مقطع با ضریب میرایی ۰.۳، منطقه آنومال احتمالی در محدوده نقطه‌چین نشان داده شده است. ۴۷

شکل ۳-۲۲: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری در آرایش حلقه قائم (HDM) با (ب) مقطع حاصل از وارون‌سازی توام داده‌های هر دو مد دستگاه EM34-3 پروفیل P06. ۴۸

شکل ۳-۲۳: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری در آرایش حلقه قائم (VDM) با (ب) مقطع حاصل از وارون‌سازی توام داده‌های هر دو مد دستگاه EM34-3 پروفیل P06. ۴۹

شکل ۳-۲۴: (الف) نمودارهای داده‌های خام هدایت‌الکتریکی در دو روش برداشت VDM و HDM با (ب) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون توام در نرم‌افزار EM4SOIL. کادره‌ای مشکی مناطق احتمالی آنومال را نشان می‌دهند. ۵۰

شکل ۳-۲۵: مقایسه مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های پروفیل P01 با دو نرم‌افزار EM4SOIL (بالا) و EM34-2D (پایین). ۵۱

شکل ۳-۲۶: (الف) نمودارهای داده‌های خام هدایت الکتریکی در دو روش برداشت VDM و HDM مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌ها در نرم‌افزار EM4SOIL. کادرهای مشکی مناطق احتمالی آنومال را نشان می‌دهند. ۵۲
شکل ۳-۲۷: مقایسه مقطع پروفیل P02 در مدل‌سازی با دو نرم‌افزار EM4SOIL (بالا) و EM34-2D (پایین). خط‌های قرمز احتمال وجود گسل در منطقه می‌باشند. ۵۲

شکل ۳-۲۸: (الف) نمودارهای داده‌های خام هدایت الکتریکی در دو روش برداشت VDM و HDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی در نرم‌افزار EM4SOIL. کادرهای مشکی مناطق احتمالی آنومال و دایره قرمز نشان دهنده رسوبات رودخانه‌ای می‌باشند. ۵۳

شکل ۳-۲۹: مقایسه مقطع پروفیل P07 در مدل‌سازی با دو نرم‌افزار EM4SOIL (بالا) و EM34-2D (پایین) کادرهای زرد ساختارهای احتمالی آنومال کانی‌سازی مس پورفیری می‌باشند. ۵۴

شکل ۳-۳۰: (الف) نمودارهای داده‌های خام هدایت الکتریکی در دو روش برداشت VDM و HDM مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌ها در نرم‌افزار EM4SOIL. کادرهای مشکی مناطق احتمالی آنومال را نشان می‌دهند. ۵۵

شکل ۳-۳۱: مقایسه مقطع پروفیل P06 در مدل‌سازی با دو نرم‌افزار EM4SOIL (بالا) و EM34-2D (پایین) را نشان می‌دهد. کادرهای زرد ساختارهای احتمالی آنومال می‌باشند. ۵۵

شکل ۳-۳۲: نمایش سه‌بعدی نتایج حاصل از وارون‌سازی دوبعدی داده‌های EM34-3 توسط نرم‌افزار EM4SOIL. فلش‌های قرمز روند کانی‌سازی را نشان می‌دهند. ۵۶

شکل ۳-۳۳: نمایش سه‌بعدی نتایج وارون‌سازی داده‌های EM34-3 توسط نرم‌افزار VOXLER. شکل بالا دید به سمت جنوب غرب و شکل پایین دید به سمت شمال شرق. ۵۷

شکل ۳-۳۴: (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل P01. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده VLF با روش فریزر. دایره قرمز مناطق احتمالی آنومال را نشان می‌دهد. ۵۹

شکل ۳-۳۵: (الف) شبه‌مقطع چگالی جریان حاصل از اعمال فیلتر کاروس- هجلیت. (ب) مقطع مقاومت‌ویژه وارون‌سازی داده‌های VLF برای پروفیل P01. ۶۰

شکل ۳-۳۶: (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل P02. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر داده‌های VLF. دایره قرمز منطقه احتمالی آنومال را نشان می‌دهد. ۶۱

شکل ۳-۳۷: (الف) شبه‌مقطع چگالی جریان حاصل از اعمال فیلتر کاروس- هجلیت. (ب) مقطع مقاومت‌ویژه با وارون‌سازی داده‌های VLF برای پروفیل P02. ۶۲

شکل ۳-۳۸: (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل P07. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر که در آن دایره قرمز منطقه احتمالی آنومال می‌باشد. ۶۳

شکل ۳-۳۹: الف) شبه‌مقطع چگالی جریان حاصل از اعمال فیلتر کاروس- هجالت. ب) مقطع مقاومت‌ویژه با وارون- سازی داده‌های VLF پروفیل P07.

۶۳

شکل ۳-۴۰: الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل P06. ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر داده‌های VLF.

۶۴

شکل ۳-۴۱: الف) شبه‌مقطع چگالی جریان حاصل از اعمال فیلتر کاروس- هجالت. ب) مقطع مقاومت‌ویژه با معکوس- سازی داده‌های VLF.

۶۵

شکل ۴-۱: الف) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون دوبعدی داده‌های مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی ب) مقطع رسانندگی حاصل از مدل‌سازی وارون دوبعدی داده‌های EM34-3 ج) مقطع مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون دوبعدی داده‌های VLF برای پروفیل P01. مناطق احتمالی کانی‌سازی مس پورفیری با دایره مشکی بر روی مقاطع نشان داده شده است.

۶۹

شکل ۴-۲: الف) مقطع حاصل از مدل‌سازی مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی ب) مقطع رسانندگی حاصل از مدل- سازی وارون دوبعدی داده‌های EM34-3 ج) مقطع مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون دوبعدی داده‌های VLF برای پروفیل P06. مناطق احتمالی کانی‌سازی بر روی شکل با بیضی نشان داده شده‌اند.

۷۰

شکل ۵-۱: نقاط حفاری پیشنهادی بر روی پروفیل P01 (مقطع بالا) و پروفیل P06 (مقطع پایین).

۷۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱: عمق ظاهری اکتشاف برای دستگاه EM34-3 با فاصله جدایش‌های متفاوت در دو حالت حلقه‌های افقی و قائم

۳۲

جدول ۳-۲: دستگاه اندازه‌گیری و اطلاعات مربوط به پروفیل‌های برداشت شده در منطقه مورد نظر

۳۲

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

در ژئوفیزیک اکتشافی هدف پیدا نمودن منابع معدنی، شناسایی ساختارهای زیرسطحی، مطالعات هیدروژئولوژی، بررسی‌های زیست‌محیطی و ... می‌باشد. انتخاب روش ژئوفیزیکی برای اکتشاف یک ماده معدنی معین، به طبیعت ماده معدنی و همچنین سنگ‌های اطراف آن بستگی دارد. با انتخاب روش مناسب، می‌توان گاهی مستقیماً حضور کانسار را اثبات نمود.

روش‌های الکترومغناطیس (EM)^۱ از روش‌های سودمند برای تعیین توزیع رسانندگی الکتریکی مواد زیر سطحی می‌باشند [Jardani et al, 2007]. روش‌های الکترومغناطیسی به دو صورت میدان‌های طبیعی و مصنوعی قابل استفاده می‌باشند. دستگاه EM34 یکی از ابزارهای روش‌های میدان مصنوعی می‌باشد؛ که در آن از دو سیم‌پیچ فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود. از طریق سیم‌پیچ فرستنده جریان متناوبی با فرکانس مشخص ارسال می‌شود؛ که در نتیجه آن میدان اولیه مغناطیسی با فرکانس جریان ارسالی ایجاد می‌شود که بخشی از آن به درون زمین نفوذ کرده و سبب ایجاد جریان گردابی در توده‌های رسانای زیرسطحی می‌شود. این جریان خود میدان ثانویه مغناطیسی متغیری را بوجود می‌آورد که همراه با میدان اولیه توسط سیم‌پیچ گیرنده دریافت می‌شود. در این روش، برداشت توسط سه فاصله جدایش متفاوت سیم‌پیچ با فرکانس‌های مختلف در حالت‌های برداشت با آرایش حلقه‌های متفاوت به صورت دوقطبی‌های افقی^۲ (HDM) و قائم^۳ (VDM) مورد استفاده قرار می‌گیرد [McNeill, 1980]. از این دستگاه جهت به نقشه درآوردن توزیع هدایت الکتریکی زیرسطحی استفاده می‌شود [Monterio Santos, 2004]. روش الکترومغناطیس با فرکانس خیلی پایین^۴ (VLF) یکی از روش‌های مورد استفاده برای مطالعه ساختارهای زیرسطحی می‌باشد. در این روش از فرستنده‌های رادیویی پر قدرت با فرکانس‌های ۱۵ تا ۲۵ کیلوهرتز، که در سراسر جهان قرار گرفته‌اند، استفاده می‌-

¹ Electromagnetic (EM)

² Horizontal Dipole Mode

³ Vertical Dipole Mode

⁴ Very Low Frequency

شود. در روش VLF، گیرنده، مولفه حقیقی (زاویه شیب^۱) و موهومی (الپتیسیته^۲) نسبت میدان‌های ثانویه القایی به میدان اولیه مغناطیسی را اندازه‌گیری می‌کند؛ که جهت اکتشاف مواد معدنی، شناسایی آلودگی‌های زیست‌محیطی، هیدروژئولوژی و تهیه نقشه‌های مقاومت‌ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرد [Monterio Santos et al., 2006]. برای تفسیر بهتر کیفی تا نیمه کمی داده‌های VLF بر روی داده‌های آن فیلتر فریزر^۳ و کاروس- هجالت^۴ اعمال می‌شود [Karous and Hjelt, 1983].

۱-۲ بررسی سوابق کارهای انجام شده با روش VLF و EM34 در سال‌های اخیر

تری^۵ در سال ۱۹۹۶ با استفاده از روش‌های الکترومغناطیسی توانستند مناطق دارای نیکل، مس و کبالت را در منطقه لابرادور کانادا اکتشاف کنند [Terry J. Crebs, 1996].

باسکور^۶ و کاندانسایر^۷ در سال ۲۰۰۳ از داده‌های VLF به منظور تفسیر کیفی اکتشاف کالکوپیریت توده‌ای استفاده کرده‌اند و نشان دادند که روش VHF روشی کم هزینه‌تر و به صرفه‌تر نسبت به روش مگنتوتلوریک برای مناطق با وسعت کم می‌باشد [Ahmet T. Basokur and M.Emin, 2003].

مونتریو سنتوس^۸ در سال ۲۰۰۴، الگوریتم وارون‌سازی داده‌های EM34 را ارائه کرده است؛ هم‌چنین این الگوریتم را با استفاده از داده‌های مصنوعی و داده‌های حاصل از مطالعات هیدروژئولوژیکی مورد سنجش قرار داده و با مقایسه با نمودارهای چاه‌پیمایی و روش مقاومت‌ویژه نتیجه گرفت که این

¹ Tilt angle

² Eliptisite

³ Fraser

⁴ Karous- Hjelt

⁵ Terry

⁶ Basokur

⁷ Candansayar

⁸ Monterio Santos

الگوریتم در وارون سازی داده های EM34 به خوبی عمل می کند [Monterio Santos, 2004].

کامکار روحانی و همکاران در سال ۱۳۸۷ به تفسیر داده های VLF با استفاده از تابع اسکالر تیپر پرداخته اند و در یک مطالعه موردی در اصفهان توانستند از این تابع به منظور تشخیص محدوده های بی هنجاری رسانی فلزی را شناسایی کنند. [کامکار روحانی و همکاران، ۱۳۸۷].

موارد فوق قابلیت روش های اکتشاف VLF و EM34 را در موارد مختلف نشان می دهند.

۳-۱ اهمیت و ضرورت مطالعه

با توجه به اهمیت مس و از طرفی اتمام ذخایر مس با عیار بالا، بشر برای به دست آوردن این فلز ارزشمند به استخراج فلز مس از کانسنگ هایی با عیار بسیار پایین روی آورده است. روش های الکترومغناطیس یکی از روش هایی است که برای شناسایی مواد معدنی سولفیدی مورد استفاده قرار می گیرد. دستگاه های الکترومغناطیس بدون داشتن تماس با زمین، قادر به القای جریان در توده های رسانی زیرسطحی می باشند. این دستگاه ها قادرند در زمان کوتاهی تعداد زیادی داده را برداشت کنند و نیازی به کابل های ارتباطی ندارند. روش الکترومغناطیس حوزه فرکانس، روشی سریع و پرکاربرد می باشد و تفسیر داده های حاصل از آن نسبتاً راحت است. هم چنین این روش امروزه پیشرفت زیادی از نظر سخت افزاری و نرم افزاری نیز داشته است. برداشت داده های VLF برای مطالعه ساختارهای زمین شناسی تا عمق حداکثر ۱۰۰ متر استفاده می شود. از این رو به نظر می رسد برداشت داده های VLF و EM34 برای شناسایی ساختارهای زیرسطحی اندیس مس دوچپله میامی روشی سریع و ارزان و در صورت رسیدن به نتیجه، پیشنهادی قابل قبول و اقتصادی برای سایر مناطق مشابه در کنار به کارگیری روش های مقاومت سنجی و پلاریزاسیون القایی باشد. مطالعات زمین شناسی و برداشت ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی که قبلاً در منطقه انجام گرفته شده است، احتمال کانی-

سازی مس در منطقه را نشان می‌دهد. در این تحقیق، به منظور شناسایی بهتر عمق و محدوده کانی-سازی برداشت الکترومغناطیس در منطقه مورد نظر انجام شده است

۴-۱ اهداف پایان‌نامه

با توجه به مطالعات زمین‌شناسی و برداشت IP و مقاومت‌ویژه که قبلاً در منطقه انجام شده احتمال کانه‌سازی مس در این منطقه وجود دارد.

در این پایان‌نامه هدف اصلی برداشت، مدل‌سازی تفسیر داده‌های EM با استفاده از دستگاه EM34-3 در دو آرایش حلقه‌های افقی و قائم با فرکانس‌های متفاوت در حلقه‌های فرستنده و گیرنده، به منظور شناسایی مناطق محتمل کانی‌سازی در محدوده معدنی دوجبله می‌باشد. همچنین جهت ارائه نتایج بهتر و تفسیر مناسب‌تر، برداشت داده‌های VLF با دستگاه GSM 19T نیز بر روی پروفیل‌های EM34 صورت گرفته شده است.

۵-۱ روش تحقیق

عملیات ژئوفیزیکی به منظور اکتشاف کانسار مس در منطقه دوجبله انجام شد. این عملیات شامل برداشت EM34 و VLF در طول چهار پروفیل صورت گرفته است. جهت میل به هدف، برداشت داده‌ها بر روی سه پروفیل با امتداد شمال‌غربی - جنوب‌شرقی و یک پروفیل با امتداد شمال‌شرقی - جنوب‌غربی انجام شده است. سپس مدل‌سازی داده‌های برداشت شده EM با استفاده از نرم‌افزار EM34-2D [Monterio Santos, 2007] و مدل‌سازی داده‌های VLF با استفاده از نرم‌افزارهای INV2DVLF [MonterioSantos, 2007] و KHFFILT [Pirttijarvi, 2004] صورت گرفته است. نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های هر دو روش EM و VLF با نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و

پلاریزاسیون القایی که قبلاً در منطقه انجام شده، مقایسه شده است.

۱-۶ ساختار پایان نامه

این پایان نامه در ۵ فصل به شرح ذیل نگارش شده است:

فصل اول کلیاتی در مورد اهمیت و ضرورت پایان نامه در این تحقیق و مروری بر سوابق و کارهای انجام شده قبلی است. در فصل دوم اصول کلی روش های الکترومغناطیس مورد استفاده بررسی شده است. در فصل سوم به زمین شناسی عمومی منطقه و عملیات برداشت و مدل سازی داده های EM و VLF و مقایسه مقاطع EM حاصل از مدل سازی نرم افزار EM34-2D با مقاطع مدل سازی شده با نرم افزار تجاری EM4SOIL [www.Emtomo.com] پرداخته شده است. در فصل چهارم مقایسه بین مدل های دوبعدی حاصل از چهار روش VLF، EM34-3، مقاومت ویژه و IP مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل پنجم نیز نتیجه گیری و پیشنهادات آمده است.

فصل دوم

اصول روش الکترومغناطیس مورد

استفاده

۱-۲ مقدمه

روش‌های الکترومغناطیس به تغییرات خواص الکتریکی مواد زیرسطحی حساس بوده و قادر به تعیین ساختارهای با هدایت الکتریکی بالا نسبت به زمینه خود (ناشی از حضور فلزات، سیالات و غیره) می‌باشند. در میان کلیه روش‌های ژئوفیزیکی، روش‌های الکترومغناطیسی گستردگی بیشتری در سیستم ابزاری پیدا کرده‌اند [Reynolds, 1997]. از روش‌های الکترومغناطیسی علاوه بر اکتشاف مواد معدنی از آنها در به نقشه درآوردن توزیع هدایت الکتریکی مواد سطحی و زیر سطحی، شناسایی زبانه‌های آلودگی آب‌های زیرزمینی، به نقشه درآوردن و کنترل نفوذ آب‌های شور، مشخص نمودن زباله‌های دفن شده و متروکه به ویژه ضخامت آن‌ها، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی (انواع خاک یا سنگ، لیتولوژی، گسل‌ها و زون‌های خرد شده)، مطالعه آب‌های زیرزمینی، کشف حفره‌های کارستی، کشف اشیاء فلزی (مغناطیسی و غیر مغناطیسی) و ... استفاده می‌شود [McNeill, 1980]. به طور کلی روش‌های الکترومغناطیسی به روش‌های میدان طبیعی^۱ و منابع کنترل شده^۲ (چشمه‌های مصنوعی) طبقه‌بندی می‌شوند. روش‌های چشمه‌های مصنوعی، یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای اکتشافات ساختارهای زیرسطحی کم‌عمق می‌باشند. در این روش‌ها از جریان‌های متناوب با فرکانس بالا و میدان مغناطیسی به طور همزمان استفاده می‌شود [قاسم‌العسگری، ۱۳۸۳]. در این حالت حلقه‌های فرستنده و گیرنده هر دو نسبت به میدان‌های الکترومغناطیسی القایی حساس هستند. تفاوت عمده این روش با روش‌های الکتریکی و مغناطیسی در این است که اختلاف بین میدان فرستنده و گیرنده مورد توجه است. بدین معنی که اگر محیط انتشار امواج الکترومغناطیسی همگن باشد، اختلاف بین دو میدان (فرستنده و گیرنده) بسیار ناچیز است؛ ولی اگر محیط انتشار ناهمگن و یا ناهمسانگرد باشد، تفاوت-های دو میدان، بی‌هنجاری الکترومغناطیسی را ایجاد می‌کند [قاسم‌العسگری، ۱۳۸۳]. در این فصل مبانی تئوری روش‌های الکترومغناطیس به کار برده شده در این پایان‌نامه به طور مختصر مورد بررسی

¹ Natural Field

² Controlled Source

قرار گرفته است.

۲-۲ روش‌های الکترومغناطیس در حوزه فرکانس (FDEM)^۱

روش‌های الکترومغناطیسی را می‌توان به دو روش حوزه زمان (TEM)^۲ و حوزه فرکانس (FDEM) طبقه‌بندی کرد [Reynolds, 1997]. اندازه‌گیری در سیستم حوزه زمان بر حسب تابعی از زمان انجام می‌گیرد که در این سیستم با قطع ناگهانی جریان DC در حلقه فرستنده، میدان الکترومغناطیسی گذرابی ایجاد می‌شود؛ که سبب القاء جریان گردابی در زمین می‌شود؛ این جریان خود سبب ایجاد میدان ثانویه می‌شود که با گذشت زمان پس از قطع جریان، میدان القایی به عمق‌های بیشتری انتشار می‌یابد [Knodel et al., 2007]. در سیستم حوزه فرکانس از چند فرکانس که متناظر با فاصله جدایش سیم‌پیچ‌ها می‌باشد، استفاده می‌شود. سیستم حوزه فرکانس از دو سیم‌پیچ فرستنده و گیرنده تشکیل شده است که از سیم پیچ فرستنده جریان متناوبی با فرکانس مشخص ارسال می‌شود؛ که در نتیجه آن میدان اولیه مغناطیسی متغیری با فرکانس جریان ارسالی بوجود آمده و بخشی از آن به درون زمین ارسال شده و سبب ایجاد جریان القایی در زون‌های رسانای زیرسطحی می‌شود. این جریان به نوبه خود میدان ثانویه مغناطیسی متغیری (دارای فرکانس یکسان با میدان اولیه مغناطیسی، اما با دامنه و فاز متفاوت با آن) را سبب می‌شود؛ که همراه با میدان اولیه توسط سیم‌پیچ گیرنده که در فاصله کوتاهی از سیم‌پیچ فرستنده قرار دارد، اندازه‌گیری می‌شود. میدان کلی یک تابع پیچیده شامل قسمت‌های حقیقی و موهومی می‌باشد. قسمت حقیقی دارای فاز یکسانی با میدان اولیه می‌باشد؛ که به آن مولفه هم‌فاز^۳ گفته می‌شود. قسمت مجازی دارای ۹۰ درجه اختلاف فاز با سیگنال

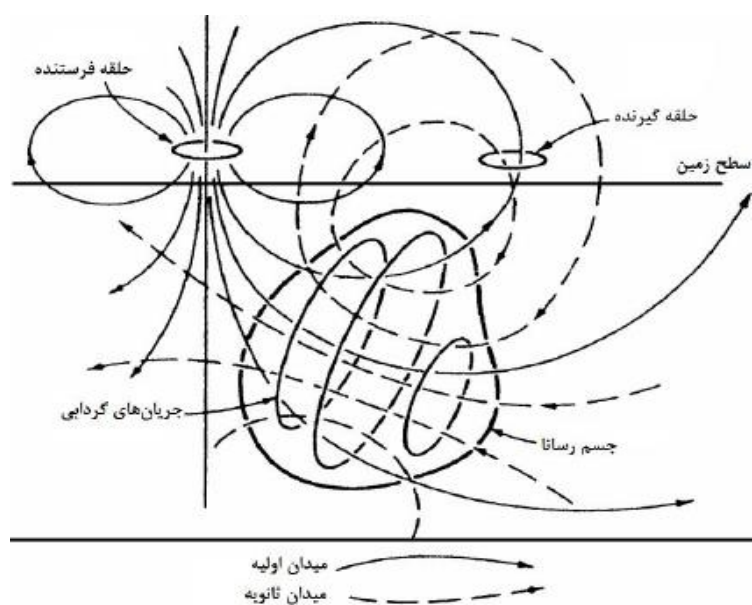
^۱ Frequency- Domain Electromagnetic (FDEM)

^۲ Time Domain EM (TDEM or TEM)

^۳ In-Phase Component

فرستنده می‌باشد و به آن مولفه خارج از فاز^۱، غیر هم‌فاز^۲ یا مولفه مجازی^۳ گفته می‌شود [McNeill, 1980; Knoedel et al., 2007].

عمق تجسس در برداشت‌های الکترومغناطیس حوزه فرکانس به فرکانس جریان و اندازه میدان ارسالی به زمین، مقاومت‌ویژه ساختارهای زیرسطحی، فاصله جدایش سیم‌پیچ‌های فرستنده و گیرنده و نحوه قرارگیری آنها نسبت به هم بستگی دارد. با اندازه‌گیری نسبت میدان‌های ثانویه و اولیه مغناطیسی و اختلاف فاز آنها در محل سیم‌پیچ گیرنده و انجام محاسبات می‌توان به مطالعه تغییرات رسانندگی ساختارهای زیرزمینی پرداخت [McNeill, 1980; Knoedel et al., 2007]. شکل (۱-۲) اصول اندازه‌گیری EM حوزه فرکانس و ترکیب میدان‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱: اصول روش‌های الکترومغناطیس القایی [After Knoedel et al, 2007].

¹ Out- of-Phase Component²Outphase Component³ Imaginary (Quadrature) Component

۱-۲-۲ عمق پوست^۱

یکی از راه‌های رایج برای پی‌بردن به عمق نفوذ موج EM، عمق پوست است. عمق پوست، عمقی است که در آن دامنه یک موج تخت نسبت به دامنه اولیه، به اندازه $1/e$ یا ۳۷٪ کاهش می‌یابد [Reynolds, 1997] عمق پوسته از رابطه (۱-۲) به دست می‌آید:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad (1-2)$$

در رابطه فوق، δ عمق پوست (متر)، ω فرکانس زاویه‌ای (هرتز)، μ_0 ضریب نفوذپذیری مغناطیسی خلاء (هنری بر متر یا نیوتن بر مربع آمپر) و σ هدایت ویژه الکتریکی زمین (موهو بر متر) می‌باشند.

بعد از جایگزینی مقادیر ثابت $\omega = 2\pi f$ و $\mu = \mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 C^2}$:

$$\delta \cong 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (2-2)$$

در رابطه (۲-۲)، ρ مقاومت ویژه (اهم-متر) و f فرکانس (هرتز) می‌باشد.

همان‌طور که دیده می‌شود عمق پوست با استفاده از هدایت الکتریکی زمین و فرکانس عملیات تعیین می‌شود، که با افزایش هدایت الکتریکی و فرکانس کاهش می‌یابد. عمق نفوذ می‌تواند توسط فاصله جدایش حلقه‌ها یا فرکانس کنترل شود؛ که اغلب ترکیبی از هر دو می‌باشد [Kirsch, 2009].

۲-۲-۲ عدد القاء

پارامتری که وجود و یا عدم وجود اختلاف فاز بین میدان اولیه با میدان ثانویه اندازه‌گیری شده را تعیین می‌کند، نسبتی بین فاصله سیم‌پیچ گیرنده از سیم‌پیچ فرستنده (S)، و عمق پوسته (δ) در

¹ Skin Depth

زمین می‌باشد که این نسبت مهم به عنوان عدد القاء (B) در سیستم‌های برداشت شناخته می‌شود [McNeill and Bosnar, 1999]. عدد القاء از رابطه (۳-۲) به دست می‌آید [امیرخانی شیراز، ۱۳۸۹]:

$$B = \frac{s}{\delta} \quad (۳-۲)$$

عدد القاء کم به اندازه‌گیری میدان مغناطیسی خیلی نزدیک به سیم‌پیچ فرستنده (خیلی کمتر از عمق نفوذ) مربوط می‌شود. در این حالت سیگنال‌های الکترومغناطیسی از سیم‌پیچ فرستنده به سیم‌پیچ گیرنده از طریق هوا و زمین ارسال می‌گردد [Geonics Limited, 2009].

عدد القاء زیاد به اندازه‌گیری میدان مغناطیسی خیلی دور از سیم‌پیچ فرستنده (بیشتر از عمق نفوذ) مربوط می‌شود. در این حالت سیگنال‌های الکترومغناطیسی از سیم‌پیچ گیرنده تنها از طریق هوا ارسال می‌گردد [Geonics Limited, 2009].

۳-۲-۲ نسبت میدان مغناطیسی ثانویه (H_s) به میدان مغناطیسی اولیه (H_p)

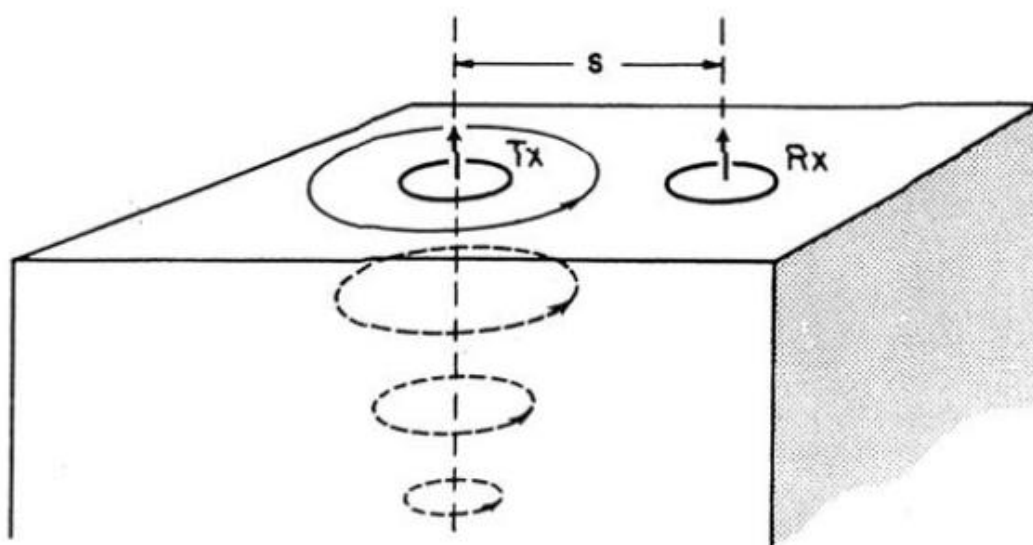
با استفاده از مقادیر فرکانس فرستنده، رسانندگی الکتریکی زمین و فاصله جدایش سیم‌پیچ‌ها برای حالت‌های قرارگیری سیم‌پیچ‌های فرستنده و گیرنده به صورت افقی یا قائم، می‌توان نسبت میدان ثانویه مغناطیسی به میدان اولیه مغناطیسی را در برداشت‌های EM محاسبه نمود. در فاصله جدایش فرستنده - گیرنده بزرگ‌تر از پنج برابر قطر حلقه‌ها، سیستم همانند یک دوقطبی مغناطیسی عمل می‌کند. دوقطبی مغناطیسی قائم (VDM) وقتی حاصل می‌شود که سیم‌پیچ‌ها افقی و دوقطبی مغناطیسی افقی (HDM) وقتی حاصل می‌شود که سیم‌پیچ‌ها قائم هستند [McNeill, 1980].

در حالت دوقطبی مغناطیسی قائم مطابق شکل (۲-۲)، نسبت میدان ثانویه مغناطیسی اندازه‌گیری شده توسط سیم‌پیچ گیرنده به میدان مغناطیسی اولیه که مستقیماً از سیم‌پیچ فرستنده ناشی می‌شود با استفاده از رابطه (۴-۲) به دست می‌آید [McNeill and Bosnar, 1999; Knoedel et al., 2007]:

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right) = \frac{2}{(\gamma s)^2} \{9 - [9 + 9\gamma s + 4(\gamma s)^2 + (\gamma s)^3]e^{-\gamma s}\} \quad (4-2)$$

$$\gamma = \sqrt{i\omega\mu_0\sigma} \quad i = \sqrt{-1}$$

که در آن H_p شدت میدان مغناطیسی اولیه، H_s شدت میدان مغناطیسی ثانویه، S فاصله سیم پیچ گیرنده از سیم پیچ فرستنده می باشد و H_0 نفوذپذیری مغناطیسی هوای آزاد می باشد.



شکل ۲-۲: اصول اندازه گیری EM حوزه فرکانس و ترکیب میدان ها [McNeill, 1980].

تحت شرایط معین، معادله (۴-۲) را می توان ساده نمود. کمیت γs با استفاده از رابطه (۵-۲) به دست می آید:

$$\gamma s = \sqrt{2i} \frac{s}{\delta} = \sqrt{2i} B \quad (5-2)$$

و تحت شرایطی که $B \ll 1$ ، مثلاً وقتی که $|\gamma s| \ll 1$ ، کافمن و کلر (۱۹۸۳) نشان دادند که این نسبت به رابطه زیر تبدیل می گردد. این شرایط در طراحی دستگاه EM34-3 لحاظ شده است [McNeill and Bosnar, 1999]:

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right)_{\text{VMD}} \approx \left(\frac{H_s}{H_p}\right)_{\text{HMD}} \approx \frac{iB^2}{2} = \frac{i\omega\mu_0\sigma s^2}{4} \quad (6-2)$$

بر اساس این رابطه، بزرگی میدان مغناطیسی ثانویه با هدایت الکتریکی زمین مستقیماً متناسب است و میدان مغناطیسی ثانویه با میدان مغناطیسی اولیه ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد. حالت $B=1$ به عنوان "عملیات در مقادیر پایین عدد القاء" شناخته می‌شود. فرکانس فرستنده تحت این شرایط به اندازه کافی کم می‌باشد. به طوری که می‌توان از تاثیر خود القائی ذاتی و متقابل در هر شار جریان زمین صرف‌نظر کرد؛ که در آن میدان مغناطیسی به وسیله سیم‌پیچ گیرنده دریافت می‌شود [امیرخانی شیراز، ۱۳۸۹].

هم‌چنین کلر و فریشنخت (۱۹۶۶) برای آرایش دو قطبی افقی سیم‌پیچ‌های (حلقه‌ها به صورت قائم) نسبت میدان مغناطیسی ثانویه به اولیه را به صورت رابطه (۷-۲) ارائه نمودند:

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right) = 2 \left\{ 1 - \frac{3}{(\gamma s)^2} + [3 + 3\gamma s + (\gamma s)^2] \frac{e^{-\gamma s}}{(\gamma s)^2} \right\} \quad (7-2)$$

تحت شرایط $|\gamma s| \ll 1$ که در طراحی دستگاه EM34-3 لحاظ شده است، معادله (۷-۲) به صورت زیر ساده می‌شود:

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right) \approx \frac{iB^2}{2} = \frac{i\omega\mu_0\sigma s^2}{4} \quad (8-2)$$

نسبت میدان مغناطیسی ثانویه به اولیه به طور خطی با هدایت الکتریکی زمین متناسب می‌باشد، قرائت مستقیم هدایت الکتریکی ظاهری توسط دستگاه اندازه‌گیری را می‌توان از نسبت بین میدان‌های ثانویه و اولیه بر اساس رابطه (۹-۲) به دست آورد [McNeill, 1980]:

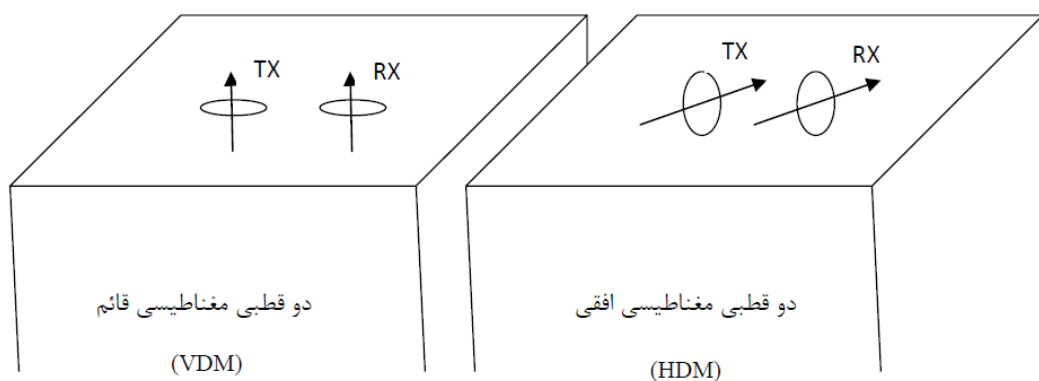
$$\sigma_a = \frac{4}{\omega\mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p}\right) \quad (9-2)$$

واحد هدایت الکتریکی در سیستم MKS موهوس (زیمنس) بر متر یا به طور متداول تر میلی موهوس بر

متر می‌باشد.

۴-۲-۲ آرایش حلقه‌ها در روش‌های الکترومغناطیس حوزه فرکانس

به نحوه قرارگیری حلقه‌های فرستنده و گیرنده نسبت به یکدیگر، آرایش حلقه‌ها گفته می‌شود. انتخاب آرایش حلقه‌ها در روش الکترومغناطیس امری بسیار مهم است؛ زیرا آرایش حلقه‌ها بر عمق نفوذ جریان، قابلیت تفکیک‌پذیری تاثیرگذار می‌باشد. معمول‌ترین آرایش‌های به کار رفته در روش‌های FDEM در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. در عمل، عمدتاً آرایش حلقه‌های هم‌صفحه افقی^۱ (HCP) و هم‌صفحه قائم^۲ (VCP) مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتخاب نوع آرایش حلقه‌ها به عمق تجسس و هدف اکتشافی بستگی دارد.



شکل ۳-۲: طرز قرارگیری سیم‌پیچ‌های فرستنده و گیرنده نسبت به هم در حالت افقی و قائم [McNeill, 1980]

۵-۲-۲ پاسخ تجمعی زمین چند لایه‌ای

اگر یک لایه نازک افقی در عمق Z (Z حاصل از تقسیم عمق واقعی بر فاصله جدایش حلقه‌ها) از

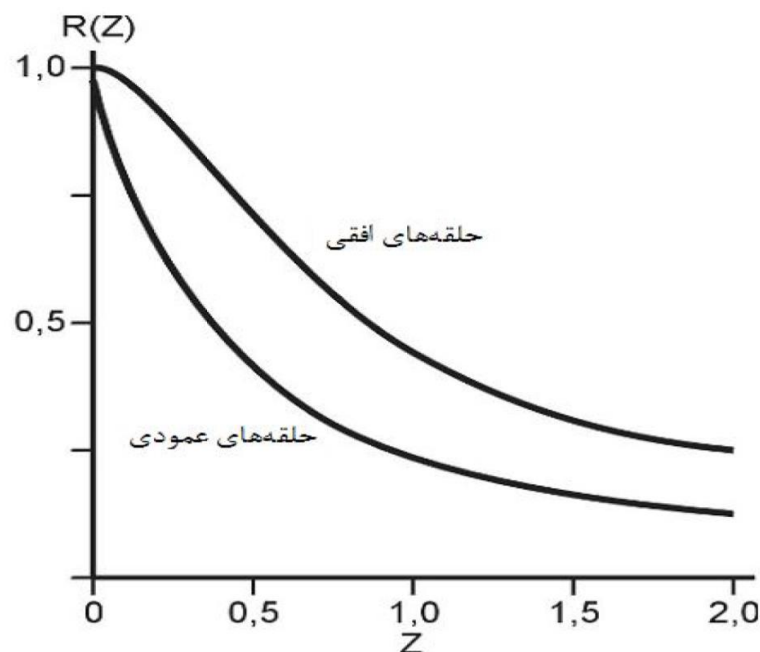
^۱ Horizontal Coplanar

^۲ Vertical Coplanar

زمین قرار گرفته باشد، آن گاه سهم نسبی این لایه نازک در میدان مغناطیسی ثانویه (H_s) اندازه‌گیری شده، تابع پاسخ پالس لحظه‌ای ($\emptyset$) نامیده می‌شود [Reynolds, 1997].

پاسخ تجمعی در محیط‌های لایه‌ای اساس کار بسیاری از مدل‌سازی‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری روش‌های الکترومغناطیسی می‌باشد. برای محاسبه میدان مغناطیسی کل در سطح لایه‌های افقی زمین، سهم هر یک از لایه‌ها به طور مستقل باید محاسبه گردد که هر کدام تابعی از عمق و هدایت-الکتریکی می‌باشند و در نهایت تمامی این مقادیر با هم جمع می‌گردند [McNeill, 1980].

جمع همه پاسخ‌های پالس لحظه‌ای برای همه عمق‌ها تا عمق Z ، از نظر ریاضی به صورت انتگرال همه توابع پاسخ پالس لحظه‌ای بیان می‌گردد. سهم کلی که از این طریق محاسبه می‌شود، تابع پاسخ تجمعی $R(Z)$ نامیده می‌شود. برای دوقطبی‌های HDM و HDM شکل‌های مختلفی دارد [Reynolds, 1997] که در شکل (۲-۴) نشان داده شده است [امیرخانی شیراز، ۱۳۸۹].



شکل ۲-۴: پاسخ تجمعی برای دوقطبی‌های قائم و افقی [After Kirsch, 2009]

تابع $R(Z)$ ، یا همان تابع پاسخ تجمعی برای حالت‌های دوقطبی قائم ($R_v(Z)$) و افقی ($R_h(Z)$) از

روابط (۱۰-۲) و (۱۱-۲) حاصل می‌گردد [Kirsch, 2009]:

$$R_V(Z) = \frac{1}{\sqrt{4+Z^2+1}} \quad (10-2)$$

$$R_H(Z) = \sqrt{4+Z^2+1} - 2Z \quad (11-2)$$

در یک مدل دولایه، سهم لایه بالایی در رسانندگی ظاهری اندازه‌گیری شده به صورت رابطه (۱۲-۲) عبارتست از [Reynolds, 1997]:

$$\sigma_a = \sigma_1(1 - R) \quad (12-2)$$

که در آن σ_1 رسانندگی حقیقی اولین لایه و R تابع پاسخ تجمعی برای جهت یافتگی دوقطبی مورد نظر (VD یا HD) می‌باشد. سهم ناشی از لایه دوم توسط رابطه (۱۳-۲) محاسبه می‌شود [Reynolds, 1997]:

$$\sigma_a = \sigma_2 R \quad (13-2)$$

که در آن σ_2 رسانندگی حقیقی مواد مربوط به لایه دوم می‌باشد. رسانندگی ظاهری کل از جمع این دو سهم به صورت رابطه (۱۴-۲) است [Reynolds, 1997]:

$$\sigma_a = \sigma_1[1 - R] + \sigma_2 R \quad (14-2)$$

برای یک زمین M لایه‌ای با اضافه نمودن سهم هر یک از لایه‌ها به طور مستقل و با وزن‌دهی به هر یک از لایه‌ها بر حسب عمق و هدایت الکتریکی، پاسخ تجمعی به صورت رابطه (۱۵-۲) بیان می‌شود [McNeill, 1980]:

$$\sigma_a = \sigma_1[1 - R(Z_1)] + \sum_{i=2}^{M-1} \sigma_i[R(Z_{i-1}) - R(Z_i)] + \sigma_M R(Z_{M-1}) \quad (15-2)$$

که در آن σ_i بیانگر هدایت الکتریکی i امین لایه و Z_i عمق i امین لایه تقسیم بر فاصله جدایش سیم-

پیچ‌ها می‌باشد که برای زمین‌های از دو لایه تا M-1 لایه قابل بسط می‌باشد.

۲-۳ روش VLF

روش VLF^۱ یکی از روش‌های ژئوفیزیکی الکترومغناطیسی با فرکانس خیلی پایین است که به دلیل سرعت بالا و هزینه پایین جهت مطالعات زیست‌محیطی، هیدروژئولوژی و اهداف اکتشافی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از فرستنده‌های رادیویی پر قدرت با فرکانس‌های ۱۵-۲۵ kHz، در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. امواج الکترومغناطیس منتشر شده از این فرستنده‌ها شامل میدان الکتریکی قائم و میدان مغناطیسی افقی متناوب عمود بر هم است. در این روش، دستگاه گیرنده مولفه‌های حقیقی (زاویه شیب) و موهومی (الپتیسیته) نسبت میدان‌های ثانویه القاء شده مغناطیسی را به میدان اولیه مغناطیسی (این نسبت تیپر نیز نامیده می‌شود) اندازه‌گیری می‌کند. به منظور درک صحیح‌تر ساختارهای زیرسطحی، تفسیر کیفی تا کمی داده‌ها صورت می‌گیرد. جهت تفسیر کیفی تا نیمه کمی داده‌ها از روش فیلتر فریزر و کاروس- هجلت استفاده می‌شود. به منظور تفسیر کمی داده‌ها، معکوس‌سازی داده‌های تیپر (نسبت بین مولفه قائم(القایی) و افقی مغناطیسی) مورد استفاده قرار می‌گیرد [McNeill & Labson, 1975; Telford et al., 1991; Milson, 2003].

۲-۳-۱ کمیت‌های مورد اندازه‌گیری در روش VLF

الف - زاویه شیب

زاویه شیب همان زاویه بین محور بزرگ بیضی قطبش با افق می‌باشد. در روش VLF میدان اولیه (H_p) افقی و میدان ثانویه (H_s) در اطراف توده زیرسطحی به صورت دوایر متحدالمرکز منتشر می‌-

¹Very Low Frequency

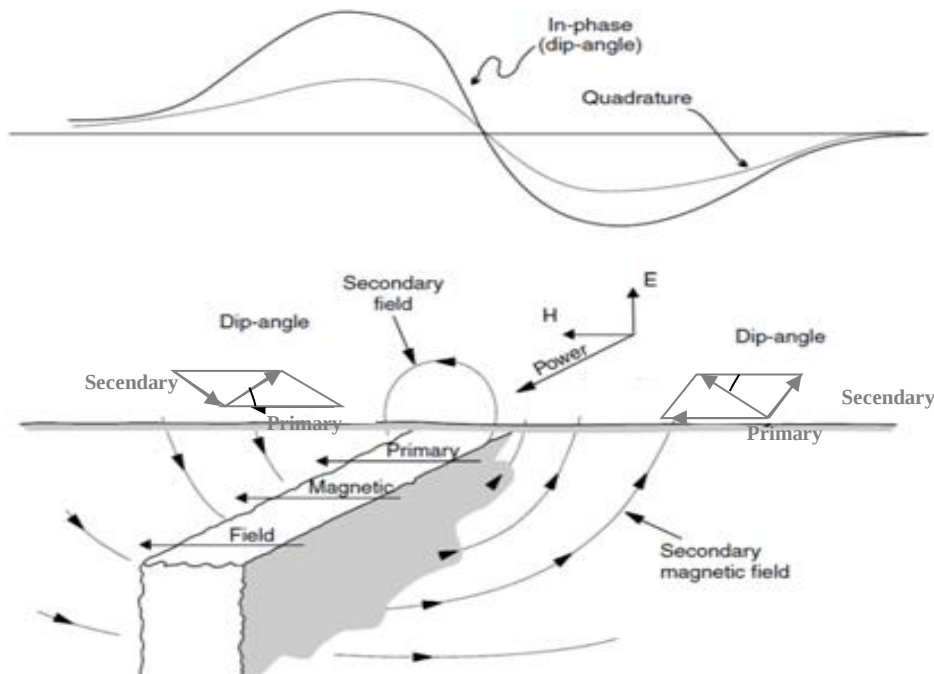
شوند. مطابق شکل (۵-۲)، میدان برآیند (H_r) در اطراف فرستنده به سمت بالا شیب دارد. با نزدیک شدن حلقه گیرنده به ساختار هادی، شیب میدان برآیند (H_r) کم شده و در روی توده، این شیب (θ) صفر می‌شود. با دور شدن حلقه گیرنده از زون هادی زاویه شیب زیاد شده؛ که جهت آن به سمت پایین می‌باشد [McNeill and Labson, 1975].

زاویه شیب را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۶-۲) به دست آورد [Smith and Ward, 1974]:

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2 \left(\frac{H_z}{H_x} \right) \cos \varphi}{1 - \left(\frac{H_z}{H_x} \right)^2} \right] \quad (16-2)$$

φ اختلاف فاز بین میدان ثانویه و اولیه مغناطیسی است.

دامنه میدان ثانویه قائم نسبت به میدان افقی کوچک‌تر است به طوری که میدان افقی با H_x و میدان قائم با $H_z e^{i\varphi}$ بیان می‌شود [McNeill and Labson, 1975].



شکل ۵-۲: نمودار زاویه شیب در بالای یک توده رسنا [Milson, 2003].

ب- الیپتیسیت

الیپتیسیت بیضوی قطبش بر اساس رابطه (۱۷-۲) به دست می‌آید:

$$\varepsilon = \frac{b}{a} = \frac{H_z H_x \sin \varphi}{|H_z e^{i\varphi} \sin \theta + H_x \cos \theta|^2} \quad (17-2)$$

تانژانت زاویه شیب (θ) و الیپتیسیت ($\varepsilon = \frac{b}{a}$) به ترتیب تقریب خوبی از مولفه حقیقی و موهومی تابع

تیر یعنی $\frac{H_z}{H_x}$ می‌باشند [McNeill and Labson, 1975].

۲-۳-۲ اندازه‌گیری تابع تیر در روش VLF

در فواصل بسیار زیاد از فرستنده VLF، میدان اولیه را می‌توان به صورت امواج تخت در نظر گرفت. در

این صورت بین مولفه‌های افقی و قائم میدان مغناطیسی (H_z و H_y ، H_x) رابطه خطی (۱۸-۲) برقرار

است [Gharibi and Pedersen, 1998]:

$$H_z = AH_x + BH_y \quad (18-2)$$

عملاً در هر نقطه مورد مطالعه، محور x را در جهت فرستنده VLF و محور y را در راستای پروفیل

قرار می‌دهند. از آن‌رو برای یک ساختار دوبعدی که در امتداد آن در جهت محور x قرار گرفته باشد

که در آن $B = \frac{H_z}{H_y}$ تابع اسکالر تیر است بخش حقیقی و موهومی آن توسط دستگاه‌های VLF

اندازه‌گیری می‌شود. رابطه (۱۸-۲) به شکل رابطه (۱۹-۲) ساده می‌شود.

$$H_z = BH_y \quad (19-2)$$

۳-۳-۲ فیلتر فریزر و کاروس - هجالت

فیلتر فریزر جهت تفسیر بهتر آنومالی‌ها، کاهش نوفه‌های اتفاقی در داده‌ها، تبدیل نقطه فراگذر به پیک و تضعیف اثر طول موج در فواصل طولانی برای افزایش قدرت تفکیک‌پذیری آنومالی‌های محلی به کار می‌رود. در این فیلتر با میانگین‌گیری از زاویه شیب، پیک‌هایی از محل آنومالی‌ها بدست می‌آید. اگر M_1, M_2, M_3 و M_4 به ترتیب داده‌های مربوط به ۴ نقطه برداشت متوالی باشند، برای کاهش نوفه با محاسبه میانگین ارزش وزنی عددی بر اساس رابطه (۲۰-۲) یک فیلتر بسیار موثر مربوط به مرکز این ۴ نقطه به صورت رابطه (۲۱-۲) حاصل می‌شود. در واقع مقدار $F_{2,3}$ بین دو نقطه برداشت M_2 و M_3 و مقدار $F_{3,4}$ بین دو نقطه برداشت M_3 و M_4 قرار می‌گیرد [Fraser, 1969]. به همین ترتیب $F_{i,i+1}$ ‌های بعدی بین دو نقطه برداشت M_i و M_{i+1} به دست می‌آید.

$$\frac{1}{4}(M_2 - M_1) + \frac{1}{2}(M_3 - M_2) + \frac{1}{4}(M_4 - M_3) \quad (20-2)$$

$$F_{2,3} = (M_3 + M_4) - (M_1 + M_2) \quad (21-2)$$

کوچک‌ترین فیلتری که به طور صحیح داده‌های صحرایی را به چگالی جریان ظاهری (I) با خطای کمتر از ۸ درصد تبدیل می‌کند، به صورت رابطه (۲۲-۲) می‌باشد:

$$(22-2)$$

$$\frac{\Delta Z}{2\pi} I\left(\frac{\Delta x}{2}\right) = -0.205H_{-2} + 0.323H_{-1} - 1.446H_0 + 1.446H_1 - 0.323H_2 + 0.205H_3$$

که در آن ΔZ ضخامت صفحه جریان فرضی، Δx فاصله بین نقاط برداشت و عمق صفحه جریان (زیر نقطه مرکزی شش نقطه اندازه‌گیری) و H میدان مغناطیسی قائم نرمال شده برای هر یک از شش نقطه اندازه‌گیری است. با محاسبه فیلتر معکوس در عمق‌های مختلف ($\Delta x, 2\Delta x, 3\Delta x, \dots$) مطالعه تغییرات چگالی جریان با عمق امکان‌پذیر می‌باشد. چگالی جریان حاصل می‌تواند به تفسیر پهنا و

شیب شکستگی بر حسب عمق کمک کند. برای سهولت کار در بیشتر موارد از رابطه (۲-۲۳) برای فیلتر کردن در امتداد پروفیل مشابه روش فیلتر کاروس- هجلت و همچنین از رابطه (۲-۲۴) برای محاسبه شبه مقطع چگالی جریان معادل برای هر پروفیل استفاده می‌شود [Karous and Hjelt, 1983; Peter and Laurs, 2002].

(۲-۲۳)

$$Filter(K - H) = 0.102H_{-3} - 0.059H_{-2} + 0.561H_{-1} - 0.561H_1 + 0.059H_2 - 0.102H_3$$

(۲-۲۴)

$$I_a(0) = \frac{2\pi(-0.102H_{-3} + 0.059H_{-2} - 0.561H_{-1} + 0.561H_1 - 0.059H_2 + 0.102H_3)}{\Delta Z}$$

که در آن، $I_a(0)$ چگالی جریان ظاهری در نقطه صفر می‌باشد؛ که در نقطه مرکزی شش نقطه اندازه‌گیری قرار دارد.

با استفاده از فیلتر کاروس- هجلت می‌توان اثر نوفه‌های محلی را از بین برد و شبه مقطع چگالی جریان ظاهری را بر حسب عمق ترسیم کرد. در این نقشه‌ها نواحی با چگالی جریان بالا متناظر با محل قرارگیری رساناهای خوب، چگالی جریان پایین نشان دهنده نواحی با مقاومت ویژه بالا و روند الگوی منحنی‌های تراز تا حدودی نشان دهنده شیب رسانا می‌باشد [Karous and Hjelt, 1983].

۲-۴ مدل سازی

مدل سازی داده‌ها توسط نرم افزارهای INV2DVLF، EM34-2D انجام می‌گیرد و همچنین نمایش سه بعدی مقاطع مدل سازی شده توسط نرم افزار Voxler انجام می‌شود. به منظور تهیه اطلاعات کمی از چگونگی توزیع هدایت الکتریکی زیرسطحی، داده‌های EM باید به توزیع مقادیر رسانندگی حقیقی و

یا عمق تبدیل شوند؛ که توسط این نرم‌افزار انجام می‌گیرد. داده‌های ورودی به این نرم‌افزارها رسانندگی ظاهری می‌باشد. نرم‌افزار EM34-2D از روش‌های اجزا محدود در معکوس‌سازی هموار داده‌ها استفاده می‌کند و برای این منظور به یک مقدار اولیه به عنوان مقدار زمینه برای حل مساله پیشرو قبل از معکوس‌سازی نیاز دارد. این مدل‌سازی پیشرو بر اساس تابع پاسخ تجمعی و وارون‌سازی بر اساس روش منظم‌سازی است که پارامترها، رسانندگی سلول‌ها می‌باشد. سپس با تعیین تعداد تکرار و ضریب میرایی فایل خروجی ساخته می‌شود. زیر سطح زمین به سلول‌هایی تقسیم می‌شود و رسانندگی هر سلول با در نظر گرفتن تغییرات هموار محاسبه می‌شود [Monterio Santos, 2007]. سپس جهت تفسیر داده‌ها و تهیه مدل نهایی از نرم‌افزار Surfer استفاده می‌شود. نرم‌افزار INV2DVLF نیز برای مدل‌سازی عددی داده‌های VLF استفاده می‌شود. به منظور تهیه مدل نهایی از این داده‌ها نیز از نرم‌افزار Surfer استفاده می‌شود.

الگوریتم معکوس‌سازی استفاده شده در نرم‌افزار EM34-2D بر اساس روش ساساکی^۱ می‌باشد. در این مدل شبکه شامل تعدادی بلوک متناسب با آرایش و فاصله سیم‌پیچ‌های فرستنده و گیرنده در برداشت داده می‌باشد. در مدل‌سازی پیشرو این نرم‌افزار از پاسخ تجمعی به منظور محاسبه هدایت الکتریکی ظاهری مدل استفاده می‌شود. معادله بهینه‌سازی این روش به شکل رابطه زیر می‌باشد [Monterio Santos, 2002 ; Sasaki, 1989; Santos, 2004]:

$$\delta P = (WJ^TWJ + \lambda C^TC)^{-1}WJ^TW(d - y) \quad (2-25)$$

P بردار پارامتر مدل، d داده‌های مشاهده شده، y بردار پاسخ مدل، J ماتریس ژاکوبین و W ماتریس قطری وزنی می‌باشند و کمیت λ ضریب میرایی می‌باشد که دامنه تصحیحات پارامتر را کنترل می‌کند. در ماتریس ژاکوبین عناصر آن از $J_{ij} = \partial y_i / \partial \sigma_j$ حاصل می‌شوند. همچنین ماتریس قطری وزنی صحت داده‌های اندازه‌گیری شده را بیان می‌کند.

¹Sasaki

عناصر C (ضرایب مقادیر ناهموار هر پارامتر در بلوک‌ها) برابر -4 ، 1 و یا صفر می‌باشند. مدل نهایی از برازش پاسخ مجموعه داده‌ها بر داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از روش حداقل مربعات به‌دست می‌آید و عدم برازش داده‌ها و پاسخ مدل از رابطه (۲۶-۲) بدست می‌آید [Monterio Santos, 2004]:

$$Q = ((d - y)^T (d - y) / N)^{1/2} \quad (26-2)$$

در این رابطه N تعداد داده‌ها می‌باشد.

فصل سوم

برداشت، مدل سازی و تفسیر

داده‌های EM34-3 و VLF

۱-۳ مقدمه

با استفاده از روش‌های الکترومغناطیس می‌توان میدان ناشی از وجود یک توده رسانا در زیر سطح زمین را مشخص نمود و با مدل‌سازی این داده‌ها چگونگی قرارگیری توده مذکور را تخمین زد. در این فصل ابتدا موقعیت جغرافیایی، شرایط زمین‌شناسی و نحوه کانی‌سازی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است، سپس تفسیر داده‌های EM34 برداشت شده با استفاده از دستگاه EM34-3 و مدل‌سازی داده‌های EM34-2D و EM4SOIL انجام شده و همچنین تفسیر داده‌های VLF برداشت شده با دستگاه GSM 19T و مدل‌سازی داده‌های حاصل با نرم‌افزار IN2DVLF و اعمال فیلتر KHFFILT به منظور تفسیر کیفی داده‌های VLF پرداخته شده است.

۲-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه

محدوده مورد مطالعه در استان سمنان در محدوده‌ی شهرستان شاهرود و از توابع شهرستان میامی می‌باشد (شکل ۱-۳) در ۷۲ کیلومتر محور شاهرود- مشهد و در ضلع جنوبی این جاده واقع شده است. موقعیت منطقه مورد نظر بر روی عکس هوایی در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



شکل ۱-۳ : موقعیت جغرافیایی منطقه مورد نظر [ابراهیمی، ۱۳۹۱].



شکل ۳-۲: موقعیت منطقه مورد نظر و راه‌های دسترسی به منطقه در عکس هوایی (www.google/earth.com).

۳-۳ زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد نظر در ورقه ۱:۱۰۰۰ میامی (شکل ۳-۳) واقع شده است. در کل منطقه، با توجه به تنوع در ترکیب نهشته‌ها، نوع فرسایش و گسترش واحدهای سنگی یکسان نیستند. سنگ‌های آهکی کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی ائوسن، بخش‌های مرتفع و سنگ‌های سست (مارن و ماسه‌سنگ) نئوژن نواحی پست را درست کرده‌اند. گسل میامی از شمال برگه مورد مطالعه عبور می‌کند و گسل‌های اصلی چاه سیدآباد و گسل کی‌کی با روند جنوب شرقی، شمال‌غربی در شکل‌گیری مورفولوژی منطقه نقش اساسی را 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. ورقه میامی بخش کوچکی از انتهای شمالی پهنه ایران مرکزی است. 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. گستره‌ی مورد بررسی در منطقه‌ی مرزی پهنه ایران مرکزی و پهنه بینالود جای دارد. بخش اصلی ورقه میامی، در جنوب

گسل میامی قرار گرفته در پهنه ایران مرکزی و مناطق شمالی این گسل، در محدوده پهنه‌ی بینالود واقع شده است (ابراهیمی، ۱۳۹۱).

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؛ 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 و از کنگلومرا، سنگ آهک و آهک‌های ضخیم تشکیل شده است. واحدهای ائوسن رسوبی بیشترین گسترش را در منطقه دارد و با یک امتداد شمال‌شرقی- جنوب‌غربی 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 ماسه‌سنگ، 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 دوچپله میامی در واحد E_u^{ab} قرار گرفته است. این واحد شامل بازالت‌های آندزیتی قهوه‌ای و سبز رنگ با بافت پورفیریتیک با زمینه میکرولیتیک و پورفیرهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن است و در بعضی موارد به یک برش با ترکیب آندزیتی تبدیل می‌شود. بخش کانی‌سازی مس در این واحد قرار گرفته و تقریباً روند شمالی- جنوبی دارد؛ که در این امتداد به طور پراکنده در حدود ۱/۵ کیلومتر رخنمون دارد [ابراهیمی، ۱۳۹۱].



شکل

۳-۴ مراحل کانی‌زایی در منطقه دوچيله براساس مطالعات کانی‌شناسی و روابط

بافتی

در منطقه مورد مطالعه کانی‌سازی به صورت پراکنده و رگه‌ای در آلکالی بازالت‌های ائوسن تشکیل شده است. کانی‌سازی شامل مس طبیعی، کالکوسیت، مگنتیت، کوپریت و ملاکیت است؛ که با دگرسانی اکسید آهن، کلریتی و زئولیت-کربنات همراه است. مشخصات کانی‌سازی با کانی‌سازی مس تپ «میشیگان» مشابهت‌های زیادی دارد؛ که برای تعیین تپ کانی‌سازی پیشنهاداتی ارائه خواهد شد. مشخصات کلی کانسارهای تپ می‌شیگان به شرح زیر می‌باشد [ابراهیمی، ۱۳۹۱].

۱- کانی‌سازی شامل مس طبیعی، کالکوسیت، دیژنیت و ملاکیت است؛ که همراه با نقره می‌باشد.

۲- سنگ میزبان این تپ کانی‌سازی بازالت‌های حفره‌دار و یا در زمینه‌ای از لایه‌های کنگلومرا در فوران‌های بازالتی است.

۳- کانی‌سازی به صورت رگه‌ای و پراکنده صورت گرفته است.

۴- دگرسانی در دیواره رگه‌ها با آلبیتی شدن پلاژیوکلازها، کلسیتی‌شدن، کلریتی و اپیدوتی‌شدن و زئولیتی‌شدن همراه است.

۵- این نوع کانسارها در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه و فشار پایین تشکیل می‌شوند.

به نظر می‌رسد مس و سایر مواد ضمن دگرگونی‌های خفیف از سنگ‌های مافیک آزاد شده و با سیال‌های نه چندان داغ به طرف مناطق کم فشار حرکت کرده است و کانی‌های مس را درون حفرات و شکستگی‌های موجود در بازالت‌ها تشکیل داده است. براساس مطالعات کانی‌شناسی و روابط بافتی، دو مرحله کانی‌سازی در منطقه دوچيله قابل تشخیص است [ابراهیمی، ۱۳۹۱]:

۳-۴-۱ مرحله اول

در این مرحله 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 وجه دار با ابعاد ۴۰-۵۰۰ میکرون وجود دارد؛ که در بیشتر موارد هماتیت جایگزین آن شده است. کالکوسیت نیز با ابعاد بسیار دانه ریز کمتر از ۵۰ میکرون به صورت پراکنده در متن سنگ و در حفرات کانی ها مانند الیوین و پیروکسن تشکیل شده است.

۳-۴-۲ مرحله دوم

در این مرحله، هیدروکسیدهای آهن در اثر دگرسانی سوپرژن از کانی های آهن دار تشکیل شده است. کانی ها به صورت رگه و رگچه ای و در بعضی مناطق به صورت پراکنده در متن سنگ مشاهده می-شود. مس خالص، کوپریت، مالاکیت و کالکوسیت در داخل شکستگی ها در این مرحله تشکیل شده اند.

۳-۵ برداشت داده های EM34

برداشت EM در منطقه دوچيله بر روی اندیس مس با استفاده از دستگاه EM34-3، در امتداد چهار پروفیل که فاصله ایستگاه های برداشت ۵ متر از یکدیگر، انجام شد. برداشت داده های EM با سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر با سه فرکانس ۴/۶، ۱/۶ و ۰/۴ کیلوهرتز در دو حالت آرایش برداشت HDM و VDM در امتداد پروفیل ها انجام شده است (شکل ۳-۴). استفاده از فواصل متفاوت بین پیچه ها و حالت های قرارگیری متفاوت اجازه می دهد تا تصویری از توزیع هدایت الکتریکی زیرسطحی به دست آید [Monterio Santos, 2004]. برای مدل سازی داده ها، برداشت به صورت ترتیب سونداژنی و پروفیل زنی صورت گرفته است. در سونداژنی تغییرات در عمق های مختلف با کاهش فرکانس در هر ایستگاه برداشت بررسی می شود. تفسیر کمی با استفاده از مدل سازی داده ها در طول هر پروفیل به دست می آید. در جدول (۳-۱) مشخصات پروفیل های اندازه گیری و در شکل (۳-۵) محل آنها نشان داده شده است. در جدول (۳-۲) دستگاه اندازه گیری و اطلاعات مربوط به پروفیل های برداشت شده در منطقه مورد نظر نشان داده شده است.



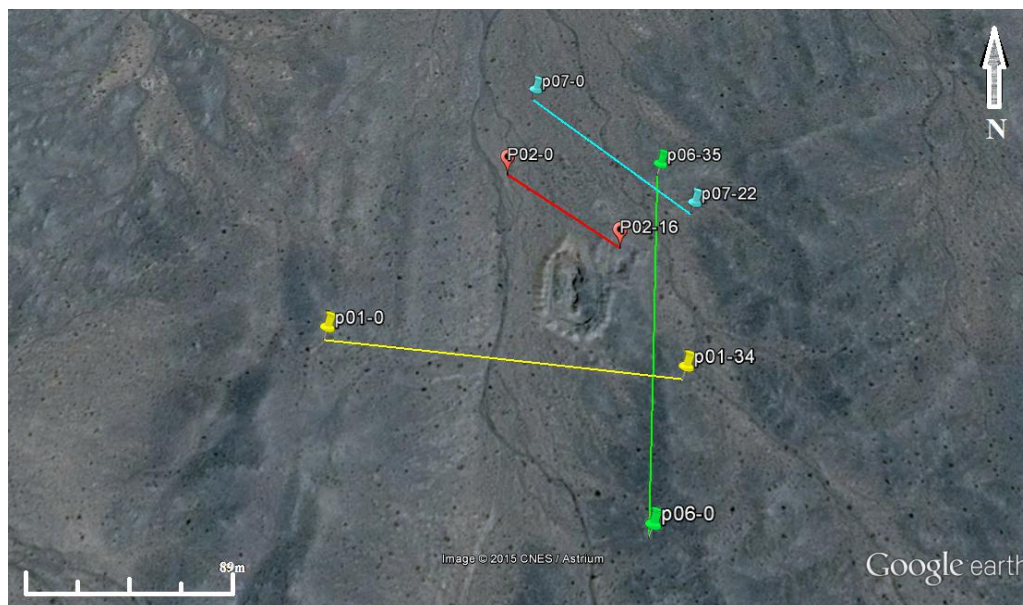
شکل ۳-۴: نمایش آرایش حلقه‌ها در برداشت داده‌های EM با دستگاه EM34-3.

جدول ۳-۱: عمق ظاهری اکتشاف برای دستگاه EM34-3 با فاصله جدایش‌های متفاوت در دو حالت حلقه‌های افقی و قائم [Geonics, 2007].

عمق ظاهری اکتشاف		فرکانس ارسال	فاصله جدایش
دوقطبی قائم (VDM)	دوقطبی افقی (HDM)		
۱۵ متر	۷,۵ متر	۶,۴ کیلو هرتز	۱۰ متر
۳۰ متر	۱۵ متر	۱,۶ کیلو هرتز	۲۰ متر
۶۰ متر	۳۰ متر	۰,۴ کیلو هرتز	۴۰ متر

جدول ۳-۲: دستگاه اندازه‌گیری و اطلاعات مربوط به پروفیل‌های برداشت شده در منطقه مورد نظر.

نام دستگاه		واحد اندازه گیری
Em34-3		هدایت الکتریکی ظاهری
پروفیل	طول پروفیل	آزیموت پروفیل
P01	۱۷۰	۹۵
P02	۸۰	۱۱۵
P07	۱۱۰	۱۱۵
P06	۱۷۰	۳۶۵



شکل ۳-۵: محل پروفیل‌های برداشت در منطقه مورد مطالعه بر روی عکس هوایی [www.google/earth.com].

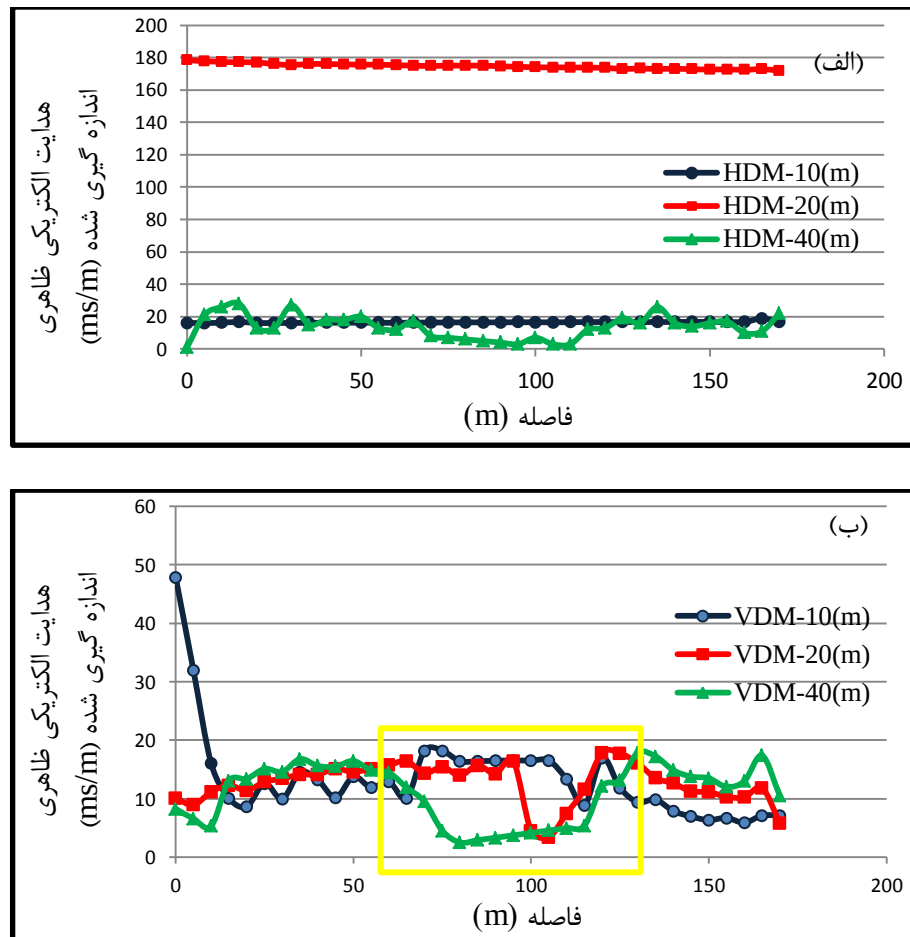
۳-۶ مدل‌سازی و تفسیر داده‌های برداشت شده EM34-3

۳-۶-۱ پروفیل P01

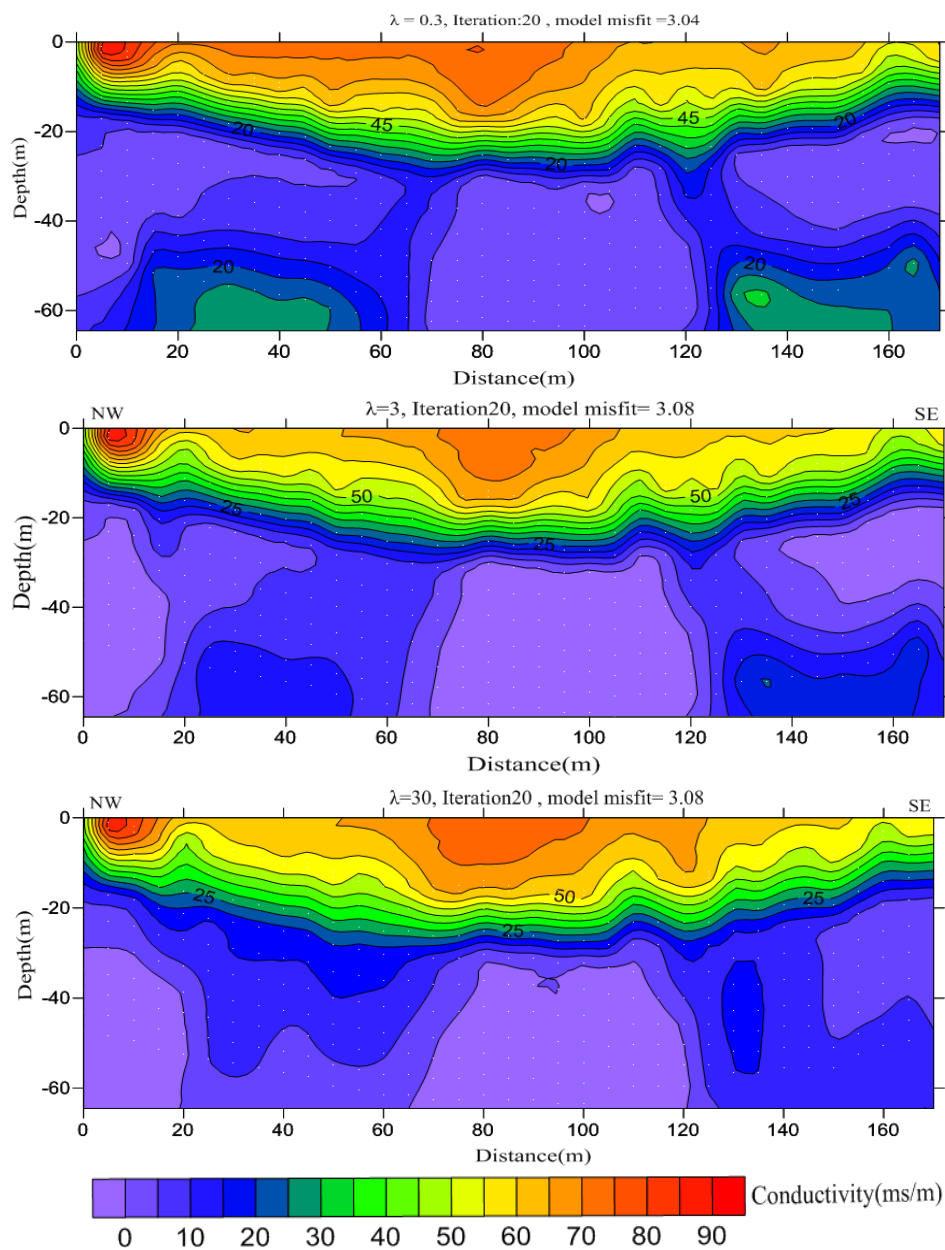
پروفیل P01 به طول ۱۷۰ متر با امتداد تقریباً شرقی - غربی، عمود بر ساختارهای زمین‌شناسی منطقه طراحی شده است. شکل (۳-۶) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری برداشت شده بر روی این پروفیل را توسط دو آرایش حلقه‌های فرستنده و گیرنده‌ی افقی و قائم، با سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متری را در فواصل ۵ متری (فواصل نقاط اندازه‌گیری) نشان می‌دهد. با توجه به نمودار HDM که اطلاعات آن مربوط به اعماق کم می‌باشد، تغییرات هدایت‌الکتریکی ظاهری چندانی در عمق‌های کم مشاهده نمی‌شود. اما در نمودار VDM کاهش هدایت‌الکتریکی ظاهری به ازای فاصله جدایش ۴۰ متر، در فاصله ۶۰ تا ۱۲۰ متری مبدا مشاهده می‌شود؛ با توجه به عمق متناظر با فاصله جدایش ۴۰ متری احتمال وجود کانی‌سازی مس پورفیری در سنگ میزبان بازالیتی وجود دارد.

مقاطع حاصل از مدل‌سازی داده‌ها با سه ضریب میرایی (لاگرانژ) ۰,۳، ۳ و ۳۰ در دو حالت برداشت

حلقه‌های افقی و قائم در شکل (۷-۳) نشان داده شده است. هرچه مقدار ضریب میرایی افزایش یابد، مدل هموارتر می‌شود؛ اما جزئیات از بین می‌رود. به همین دلیل مقطع با ضریب لاگرانژ ۰,۳ برای تفسیر در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در مناطق سطحی رسانندگی بالا مشاهده می‌شود که با توجه به مطالعات زمین‌شناسی منطقه می‌توان این میزان رسانندگی را به وجود رسوبات رودخانه‌ای و آلتراسیون در سنگ‌های بازالتی هستند. در اعماق بیشتر سه منطقه با رسانندگی پایین نشان داده شده است که می‌تواند به دلیل وجود احتمالی مس به صورت پراکنده درون سنگ میزبان بازالتی باشد. همان‌طور که در سه مقطع دیده می‌ود هرچه میزان ضریب میرایی افزایش می‌یابد شناسایی محدوده زون‌های احتمالی کانی‌سازی کمتر می‌شود.



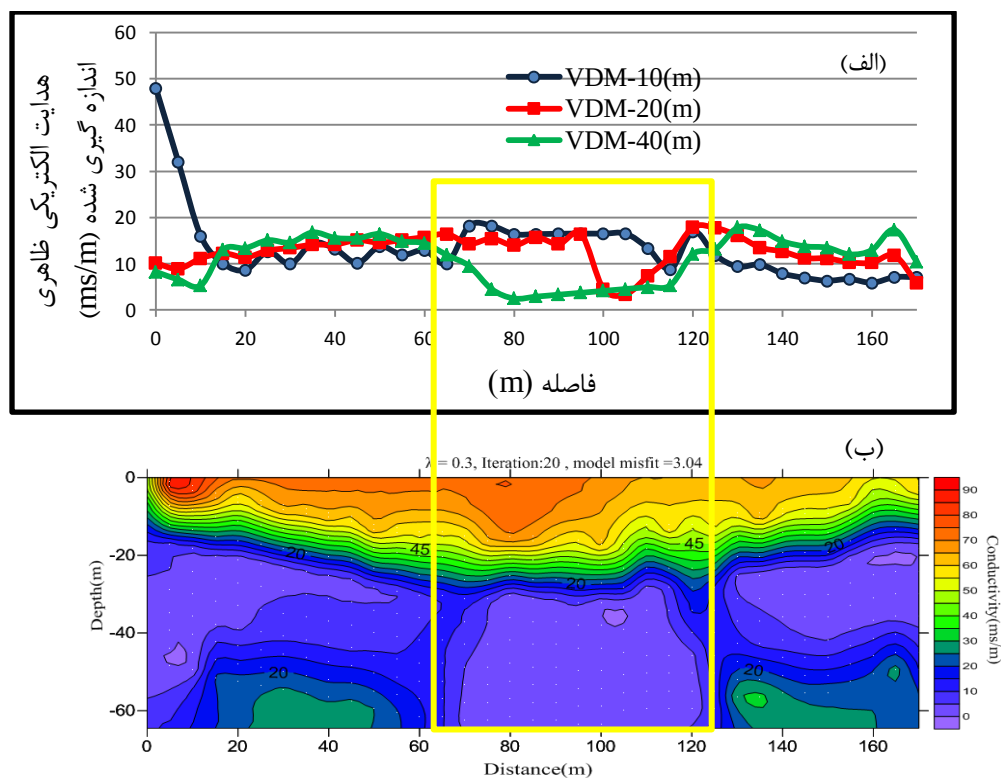
شکل ۳-۶: نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر بر روی پروفیل P01. (الف) حالت دوقطبی افقی. (ب) حالت دوقطبی قائم. کادر زرد رنگ منطقه آنومالی احتمالی را نشان می‌دهد.



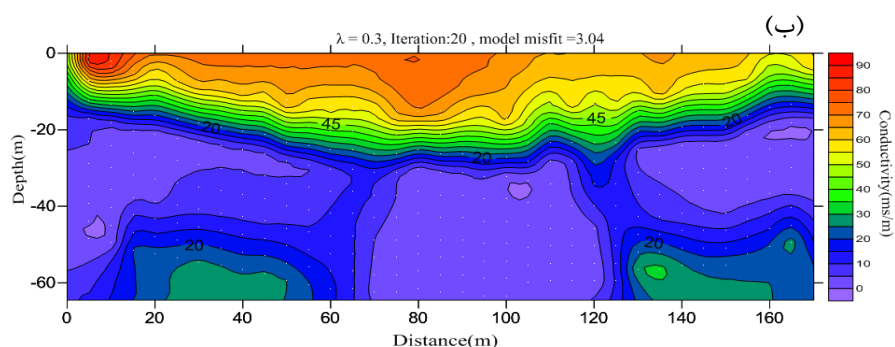
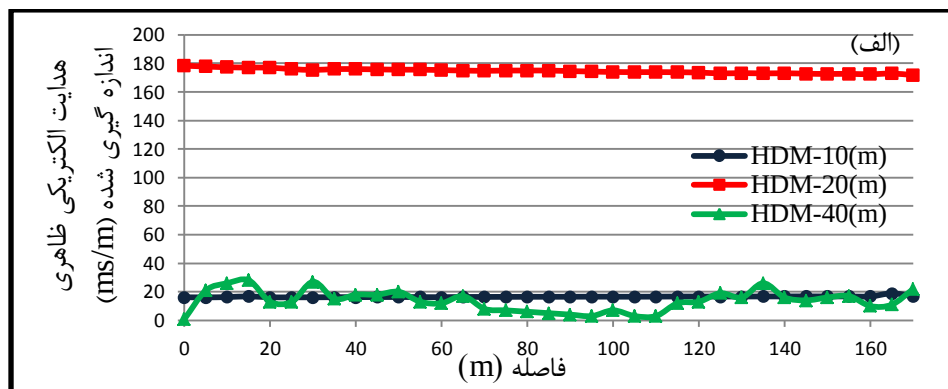
شکل ۳-۷: مدل دوبعدی هدایت الکتریکی با استفاده از وارون سازی توام داده های هر دو مد به ترتیب از بالا به پایین برای EM34-3 بر روی پروفیل P01، با سه ضریب میرایی $\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ نشان داده شده است.

با مقایسه مقطع حاصل از مدل سازی با نمودارهای داده های هدایت الکتریکی ظاهری (شکل ۳-۸)، می توان مشاهده کرد که نمودار داده ها در آرایش حلقه افقی (VDM)، به تغییرات ساختارهای زیرسطحی در عمق بیشتر حساس است و انطباق خوبی با مقاطع دارد. کادر زرد رنگ منطقه آنومال احتمالی را

در داده‌های خام هدایت الکتریکی ظاهری و انطباق آن با زون با مقاومت‌ویژه بالا در مقطع مدل‌سازی شده نشان می‌دهد. هم‌چنین در شکل (۳-۹) مقطع مدل‌سازی شده با نمودار داده‌های خام در آرایش حلقه قائم (HDM) مقایسه شده است. بالا بودن میزان رسانندگی در فاصله جدایش ۲۰ متری حلقه‌ها به دلیل وجود روباره‌های رسانا و آلتراسیون سنگ میزبان بازالتی می‌باشد و به دلیل لایه آتره شده در عمق کم در فاصله جدایش ۲۰ متر میزان بالا رسانندگی با تغییرات خیلی کم مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۸: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش VDM با (ب) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های EM34-3 پروفیل P01

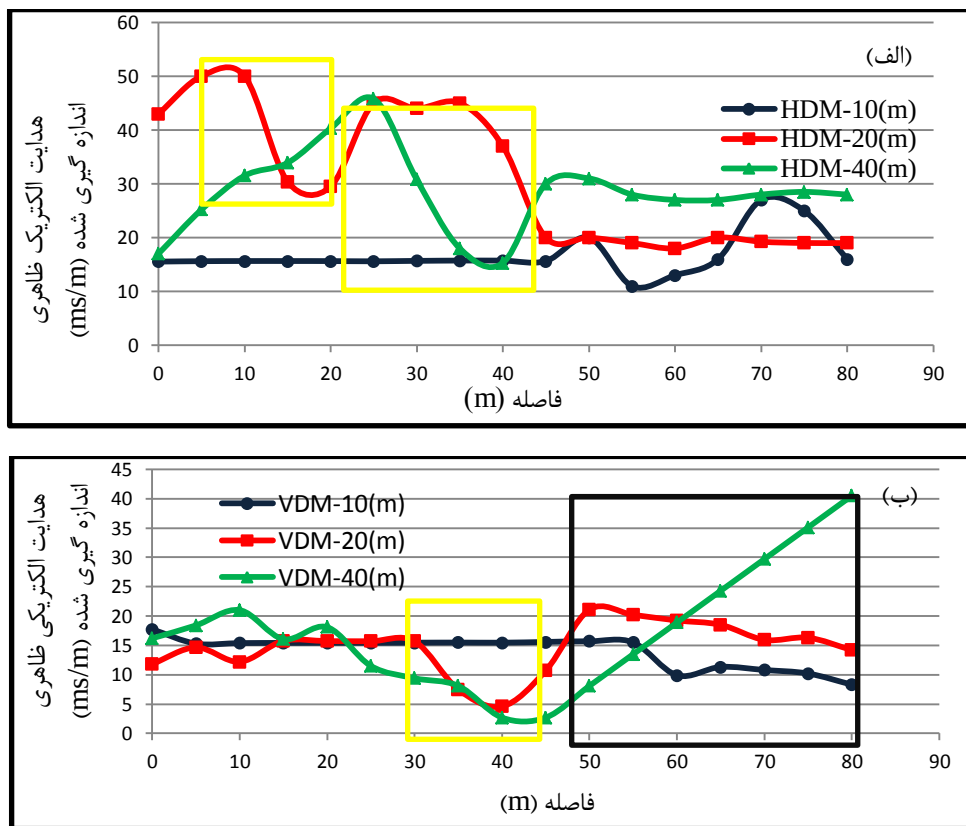


شکل ۳-۹: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش HDM با (ب) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های EM34-3 پروفیل P01.

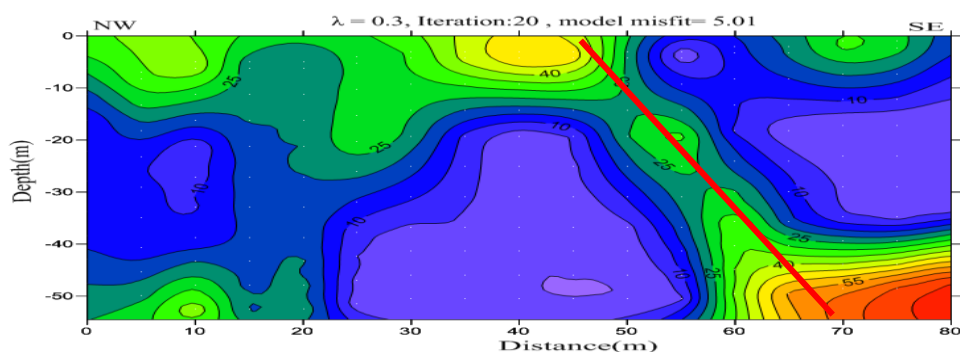
۳-۶-۲ پروفیل P02

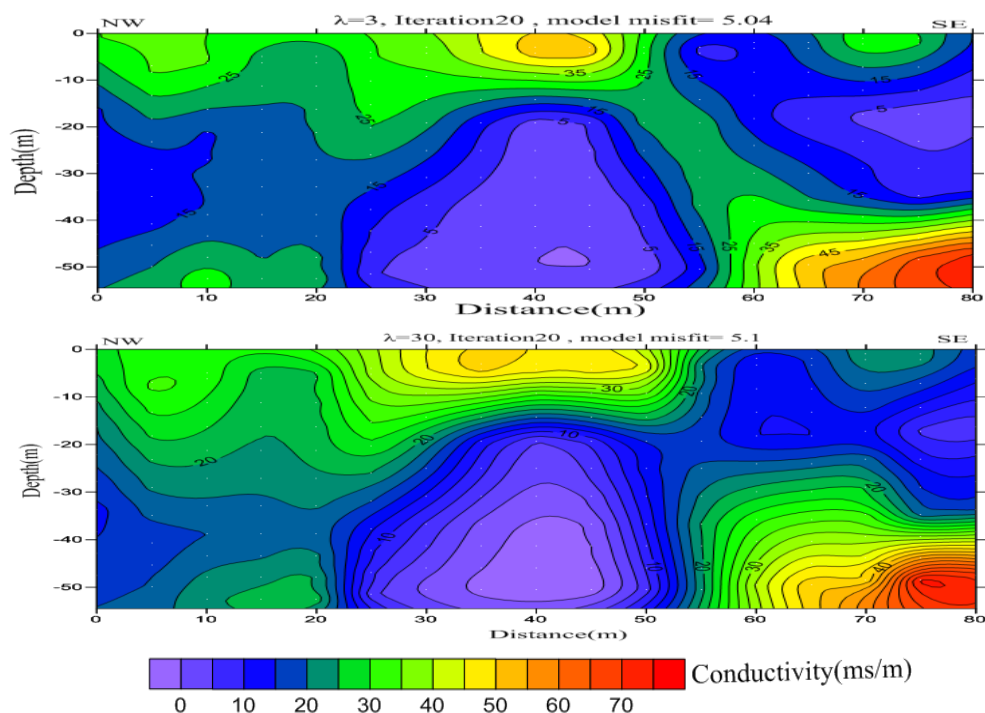
پروفیل P02 به طول ۸۰ متر به طور عمود بر ساختارهای زمین‌شناسی منطقه طراحی شده است. این پروفیل با امتداد شمال‌غربی - جنوب‌شرقی می‌باشد. شکل (۳-۱۰) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری برداشت شده توسط دو آرایش حلقه افقی و قائم را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار HDM، در فاصله حدوداً ۱۰ تا ۲۰ متری و ۲۵ تا ۴۴ متری مبدا به ازای فاصله جدایش ۲۰ و ۴۰ متر میزان هدایت الکتریکی ظاهری کاهش پیدا کرده است؛ که می‌تواند به دلیل وجود زون آنومال باشد. در نمودار VDM نیز کاهش هدایت الکتریکی ظاهری در فاصله‌ی حدوداً ۲۰ تا ۴۰ متری مبدا به ازای فاصله جدایش ۲۰ و ۴۰ دیده می‌شود. افزایش هدایت الکتریکی از فاصله حدودی ۴۰ متری مبدا به ازای فاصله جدایش ۲۰ و ۴۰ متری حلقه‌ها مشاهده می‌شود که می‌توان گفت شاید به دلیل یک زون گسله باشد و برای اطمینان باید با مقطع حاصل از مدل‌سازی مقایسه شود. در شکل (۳-۱۱) مقاطع

حاصل از مدل سازی وارون توام داده های هر دو مد HDM و VDM با سه ضریب میرایی (لاگرانژ) متفاوت نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۰: نمودار داده های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه گیری شده به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر بر روی پروفیل P02. (الف) حالت دوقطبی افقی. (ب) حالت دوقطبی قائم. کادرهای زرد رنگ مناطق احتمال وجود آنومال را نشان می دهند. کادر مشکی احتمال وجود زون گسله می باشد.





شکل ۳-۱۱: مدل دوبعدی هدایت الکتریکی با استفاده از وارون سازی توام داده های هر دو مد EM34-3 پروفیل P02، به ترتیب از بالا به پایین با سه ضریب لاگرانژ $\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ نشان داده شده اند. خط قرمز وجود یک زون گسله با رسانندگی بالا را نشان می دهد.

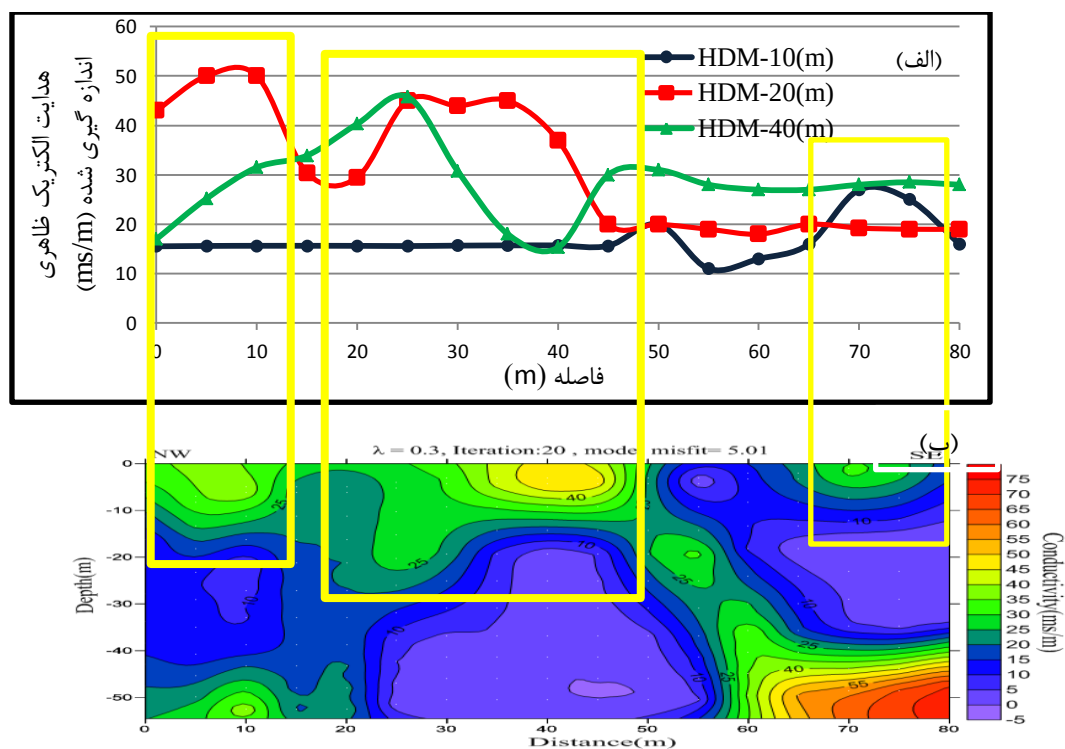
با توجه به مقاطع حاصل از مدل سازی، در فاصله های حدودا ۰ تا ۱۵ متری مبدا در عمق تقریبی ۱۵ متری، فاصله ۲۰ تا ۶۰ از عمق ۱۳ متری و ۵۲ تا ۸۰ متری مبدا از نزدیک سطح زمین تا اعماق ۲۰ و بیشتر، ساختارهای احتمالی آنومال با هدایت الکتریکی پایین مشاهده می شود. یک ساختار خطی در مقطع مدل سازی شده با رسانندگی بالا دیده می شود که با توجه به ساختارهای زمین شناسی منطقه بالا بودن میزان رسانندگی به دلیل یک زون خرد شده گسله می باشد.

در شکل های (۳-۱۲) و (۳-۱۳) انطباق بسیار خوبی بین نمودار داده های خام هدایت الکتریکی ظاهری و مقطع این پروفیل وجود دارد.

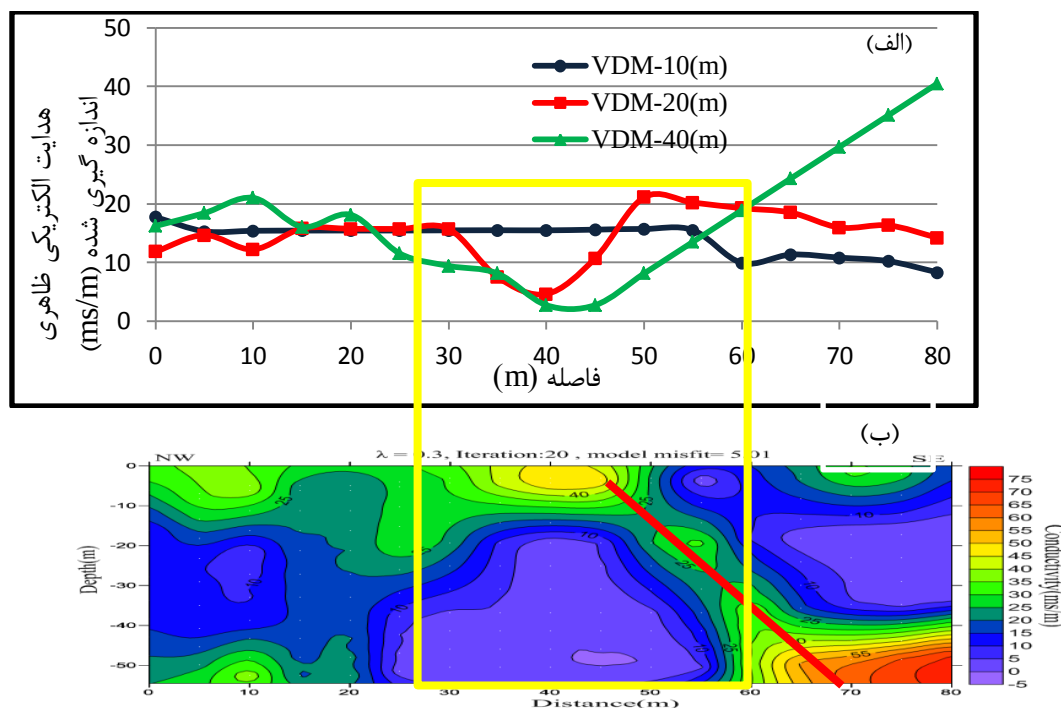
در شکل (۳-۱۲) از مقایسه نمودار HDM با مقطع مدل سازی وارون توام داده های هر دو مد دستگاه EM34-3 می توان مشاهده کرد که در این نمودار تغییرات سطحی هدایت الکتریکی ظاهری به خوبی

مشاهده می‌شود. در فاصله‌های ۰ تا ۱۵، ۶۵ تا ۷۶ و ۲۰ تا ۵۰ متری مبدا در اعماق کم در نمودار با فاصله جدایش ۲۰ متری حلقه‌ها میزان هدایت الکتریکی افزایش پیدا کرده است که به دلیل وجود رسوبات رودخانه‌ای رسانا می‌باشد. در نمودار HDM با فاصله جدایش ۴۰ متری از فاصله ۲۵ تا ۴۰ متری مبدا با عمق تقریبی ۱۷ متری تاثیر ساختاری با مقاومت ویژه بالا مشاهده می‌شود.

در شکل (۴-۱۳) یک زون آنومال در نمودار با فاصله جدایش ۲۰ و ۴۰ متر، از عمق تقریبی ۱۵ متری با رسانندگی پایین مشاهده می‌شود. همچنین یک ساختار خطی با هدایت الکتریکی بالا در نمودارهای با فاصله جدایش ۲۰ و ۴۰ متری از فاصله ۴۰ متری مبدا مشاهده می‌شود که این ساختار در مقطع مدل‌سازی وارون به خوبی دیده می‌شود. بالا بودن میزان رسانندگی این زون به دلیل وجود خردشدگی می‌باشد.



شکل ۳-۱۲: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش HDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های هر دو مد دستگاه EM34-3، پروفیل P02. کادریهای زرد مناطق با رسانندگی بالا مربوط به رسوبات رودخانه‌ای را نشان می‌دهد.

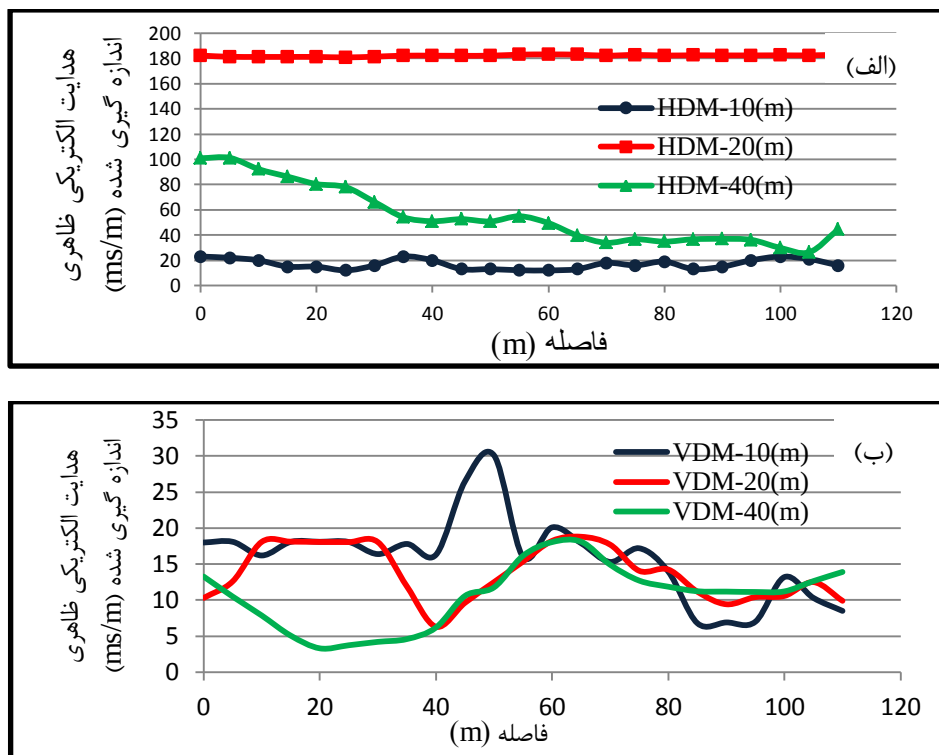


شکل ۳-۱۳: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش VDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام هر دو مد دستگاه داده‌های EM34-3، پروفیل P02.

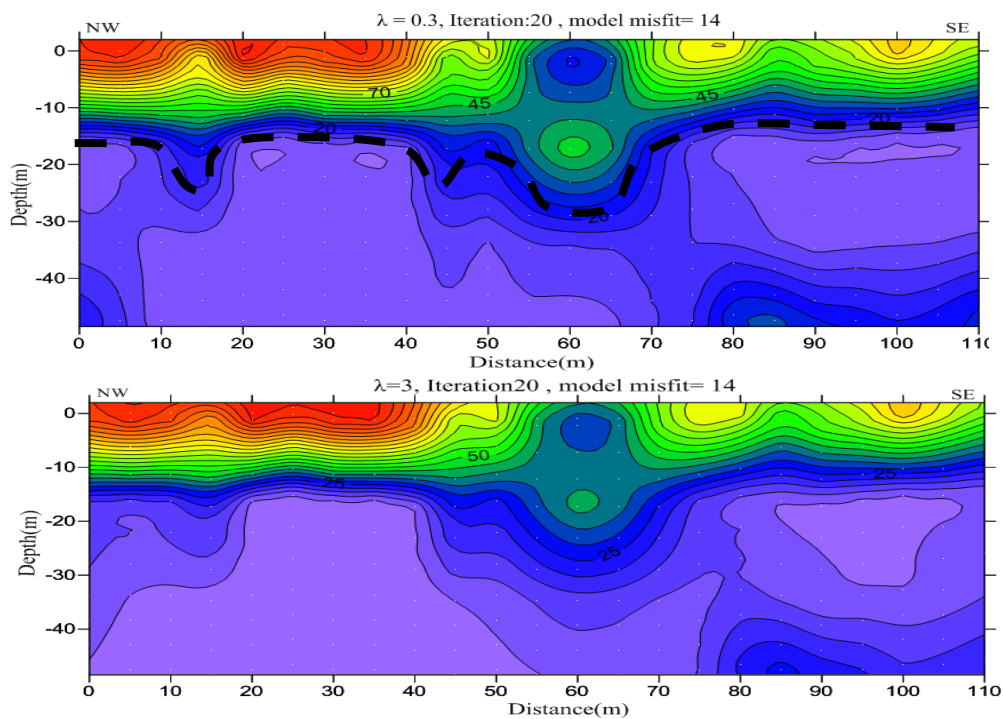
۳-۶-۳ پروفیل P07

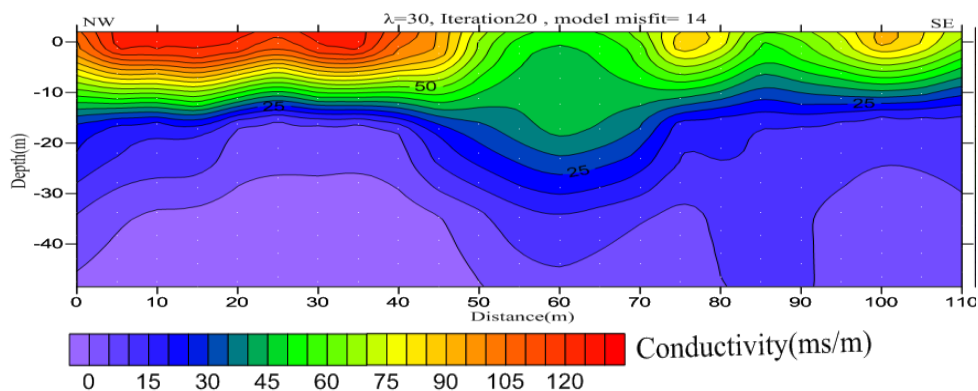
پروفیل P07 به طول ۱۱۰ متر و دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد. شکل (۳-۱۴) نمودار مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی ظاهری برای این پروفیل را نشان می‌دهد. در نمودار VDM به ازای فاصله جدایش ۲۰ و ۴۰ متر در فاصله‌های ۱۵ تا ۵۵ و ۷۵ تا ۱۱۰ متری مبدأ، کاهش هدایت الکتریکی به خوبی مشاهده می‌شود. شکل (۳-۱۵) مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های هر دو مد این پروفیل را با سه ضریب میرایی نشان می‌دهد. با توجه به مقاطع از عمق حدوداً ۱۵ متری سطح زمین ساختارهای احتمالی آنومال با هدایت الکتریکی پایین مشاهده می‌شوند. یک زون فروافتاده یا پرشده نیز در فاصله حدوداً ۶۰ تا ۷۰ متری مبدأ در مقاطع قابل مشاهده است. همچنین به دلیل وجود رسوبات رودخانه‌ای و آلتراسیون سنگ بازالتی تا اعماق حدوداً ۵ متری میزان رسانندگی بالا می‌باشد. در مقطع با ضریب میرایی ۰,۳ کاهش میزان رسانندگی لایه‌های

زیرسطحی از عمق تقریبی ۱۵ متری با خط‌چین نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴: نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر بر روی پروفیل P07. الف) حالت دوقطبی افقی. ب) حالت دوقطبی قائم.





شکل ۳-۱۵: مدل دوبعدی هدایت الکتریکی با استفاده از وارون سازی توام داده های هر دو مد EM34-3 پروفیل P07، به ترتیب از بالا به پایین با سه ضریب لاگرانژ $\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ نشان داده شده اند. خط چین در مقطع با ضریب میرایی ۰,۳ نشان دهنده کاهش میزان رسانندگی لایه های زیرسطحی از عمق تقریبی ۱۵ متری می باشد

در شکل (۳-۱۶)، در فاصله حدودا ۵۵ متری مبدا یک زون با هدایت الکتریکی پایین وجود دارد که با توجه به ترانشه موجود در منطقه پایین بودن هدایت الکتریکی این منطقه به دلیل رسوبات متخلخل رودخانه ای می باشد. با توجه به ترانشه ای که در منطقه به صورت تقریبا عمود بر پروفیل P07 زده شده است (شکل ۳-۱۷)، می توان نتیجه گرفت که در فاصله حدودی ۶۰ تا ۷۰ متری مبدا یک پرشدگی با رسوبات رودخانه ای وجود دارد.

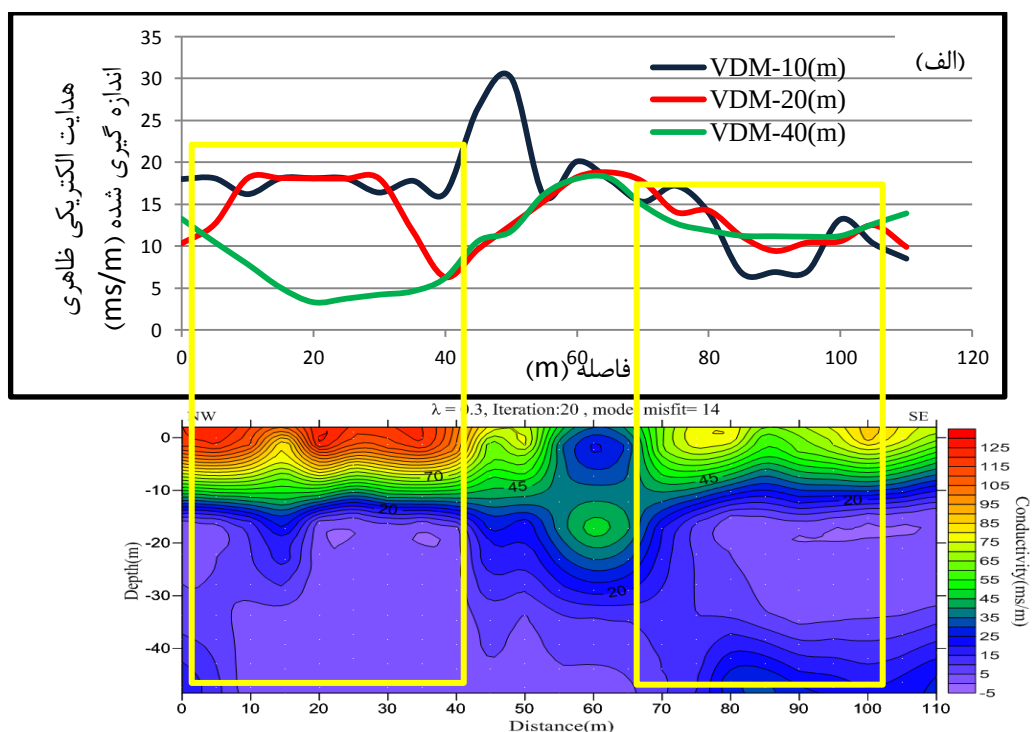


شکل ۳-۱۶: موقعیت ترانشه نسبت به پروفیل P07 و انطباق منطقه سطحی با هدایت الکتریکی پایین در فاصله تقریبی ۴۰ تا ۷۰ متری مبدا.



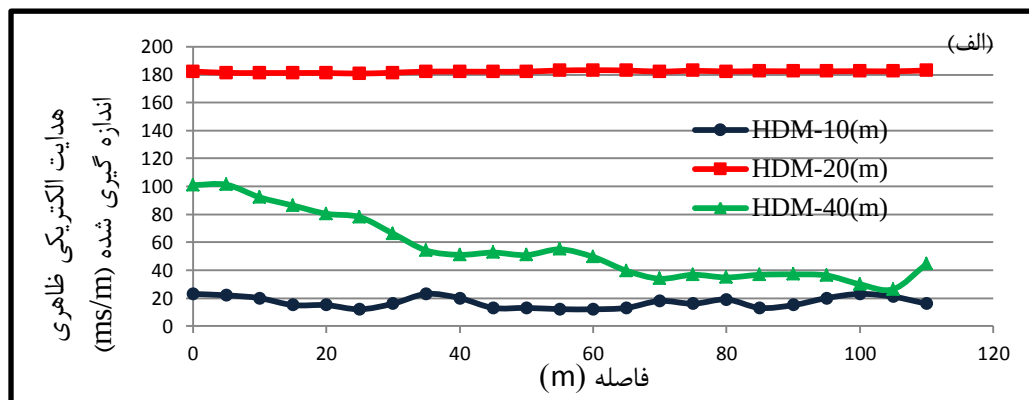
شکل ۳-۱۷: نمایی از ترانشه حفر شده در منطقه و مشاهده رسوبات رودخانه‌ای متخلخل (کادر قرمز).
دید به سمت شمال غرب

در شکل (۳-۱۸) مقایسه نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری با مقطع مدل‌سازی وارون توام هر دو مد دستگاه EM34-3 نشان داده شده است. با توجه به شکل، در فاصله‌های تقریبی ۱۰ تا ۵۰ و ۸۰ تا ۱۱۰ متری مبدا متناظر با عمق تقریبی ۱۵ متری دو زون با رسانندگی پایین نشان داده شده است.

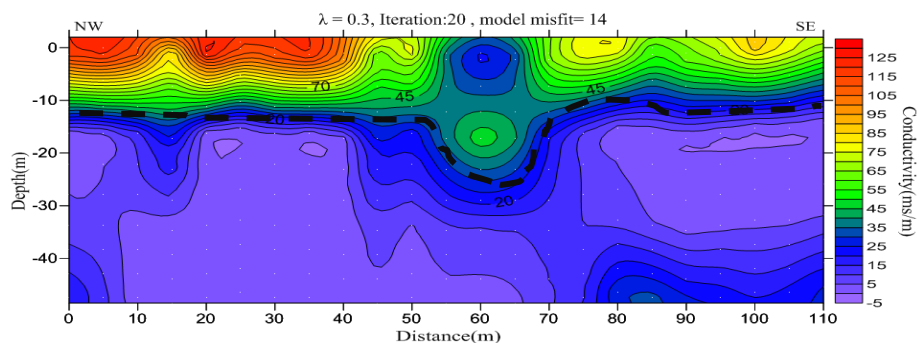


شکل ۳-۱۸: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش VDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام هر دو مد دستگاه داده‌های EM34-3، پروفیل P07.

در شکل (۳-۱۹) مقایسه نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش HDM با مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون توام هر دو مد دستگاه EM34-3 نشان داده شده است. با توجه به شکل، در فاصله‌های تقریبی ۱۰ تا ۵۰ و ۸۰ تا ۱۱۰ متری مبدا متناظر با عمق تقریبی ۱۵ متری دو زون با رسانندگی پایین نشان داده شده است را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در عمق تقریبی کمتر از ۱۵ متر میزان رسانندگی بالا می‌باشد. هرچه از سطح زمین به عمق بیشتر می‌رود میزان رسانندگی در تمامی لایه‌ها کاهش می‌یابد و از عمق تقریبی ۱۵ متری به دلیل وجود زون‌های احتمالی آنومال می‌باشد که با خط‌چین نشان داده شده است.



(ب)

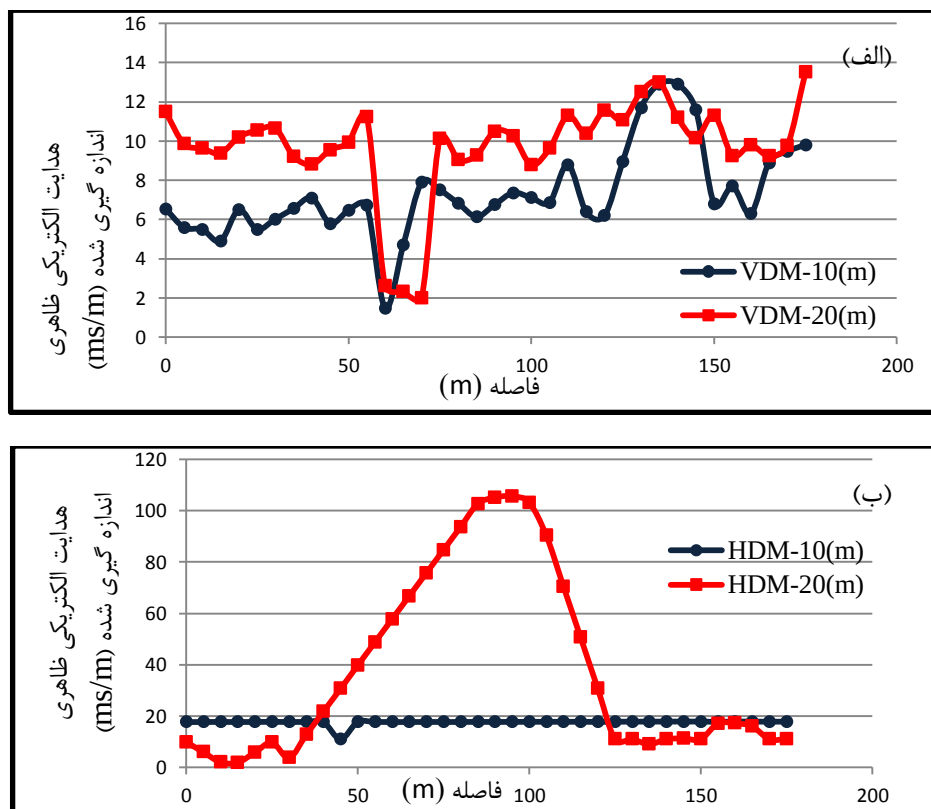


شکل ۳-۱۹: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری برداشت شده در آرایش HDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌های هر دو مد دستگاه EM34-3، پروفیل P07. خط‌چین مشکی بر روی مقطع مدل‌سازی شده دو منطقه با رسانندگی بالا و پایین را جدا کرده است.

۳-۶-۴ پروفیل P06

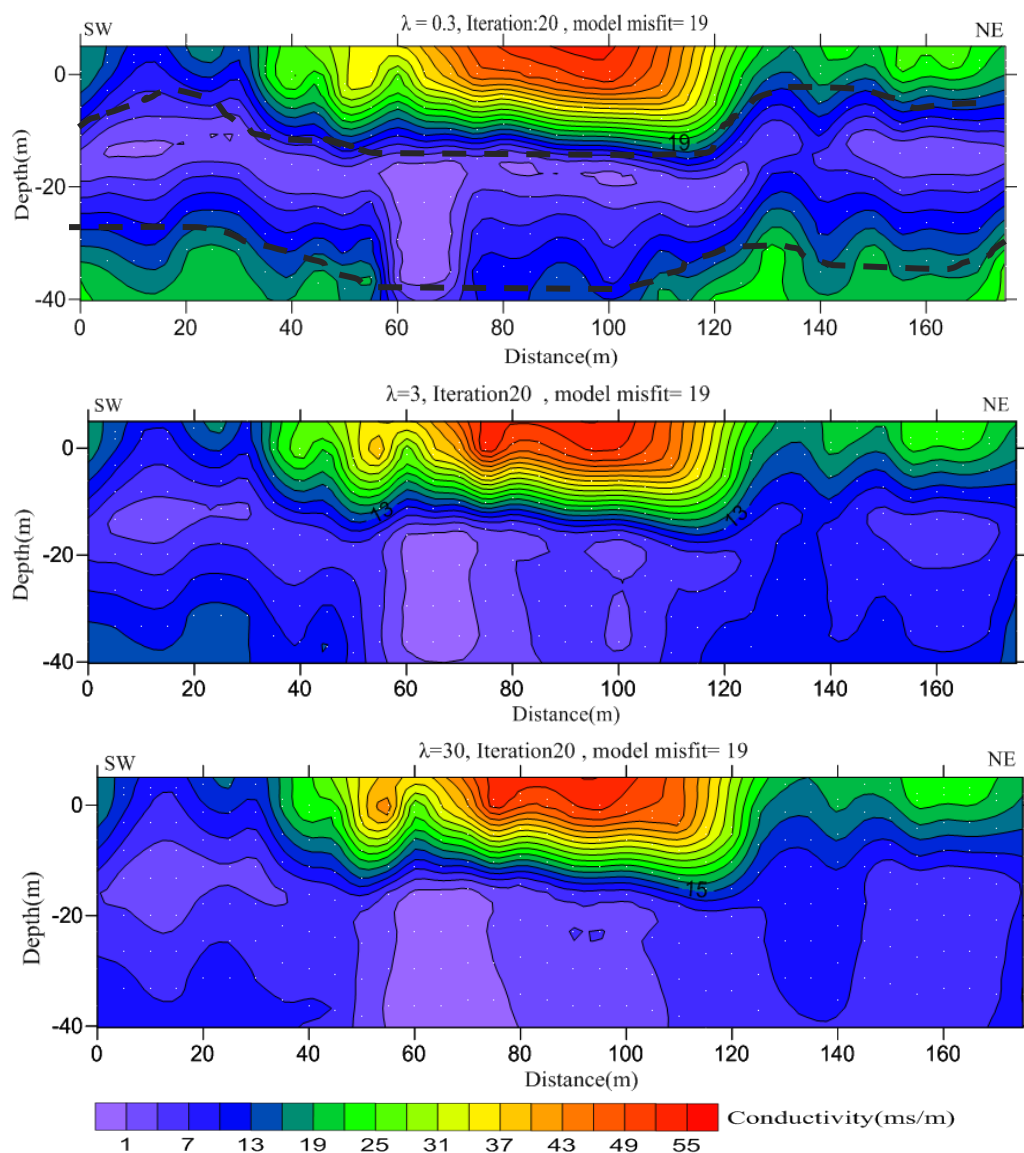
پروفیل P06 به طول ۱۷۰ متر با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی، به شکل عمود بر سه پروفیل دیگر به منظور کنترل برداشت طراحی شده است. در این پروفیل به دلیل وجود نوفه‌های الکترومغناطیسی و محدودیت دستگاه در دقت برداشت با فاصله جدایش ۴۰ متر، داده‌ها قابل مدل‌سازی نبودند.

شکل (۳-۲۰-الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده در آرایش VDM را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودار داده‌ها در این روش برداشت، (نمودار مربوط به فاصله جدایش ۲۰ متر)، در فاصله‌های حدوداً ۶۰ تا ۸۰ متری و ۱۴۰ متری مبدا به ازای هر دو فاصله جدایش ۱۰ و ۲۰ متر کاهش هدایت‌الکتریکی ظاهری به وضوح دیده می‌شود. در نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری HDM (شکل ۳-۲۰-ب) به ازای فاصله جدایش ۲۰ متری حلقه‌ها از یکدیگر در فاصله‌های ۴۰ تا ۱۲۰ متری مبدا افزایش هدایت‌الکتریکی ظاهری مشاهده می‌شود.



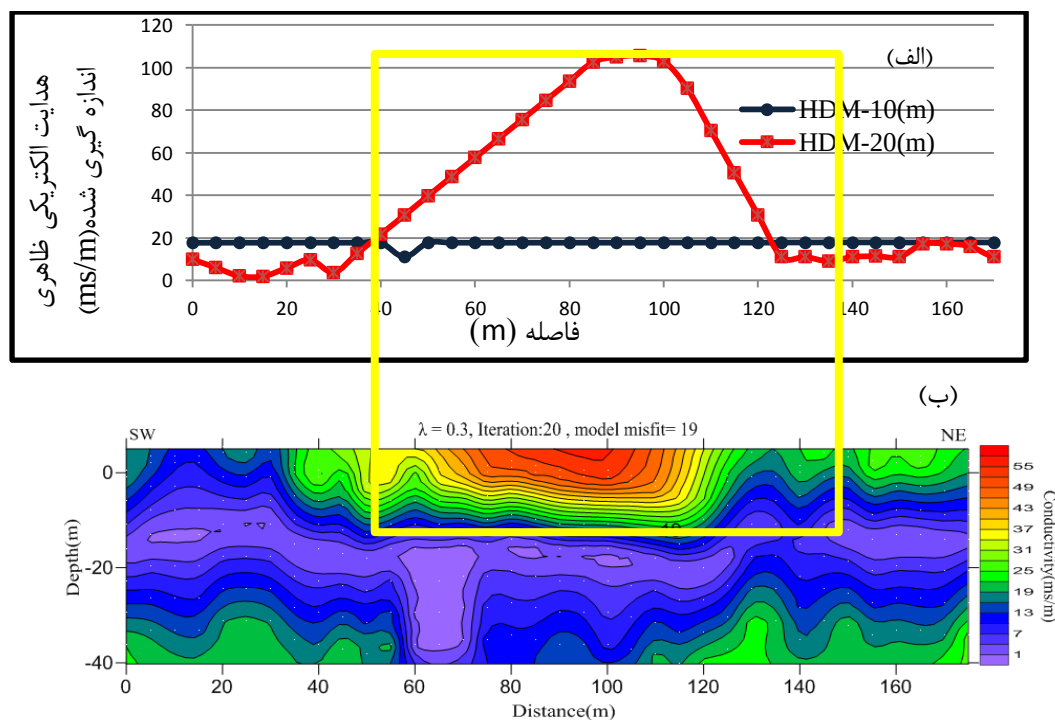
شکل ۳-۲۰: نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر بر روی پروفیل P06. الف) حالت دوقطبی قائم. ب) حالت دوقطبی افقی.

با توجه به مقاطع حاصل از مدل سازی وارون توام هر دو مد با سه ضریب میرایی متفاوت (شکل ۳-۲۱)، یک ساختار آنومال با رسانندگی پایین در فاصله حدوداً ۶۰ تا ۸۰ متری مبدا از عمق حدوداً ۲۰ متر قابل مشاهده می باشد. همان طور که در شکل مشاهده می شود سه منطقه با رسانندگی پایین که تقریباً به صورت پیوسته در سراسر مقطع قرار گرفته است؛ که می توان آنها را به ساختارهای آنومال احتمالی نسبت داد.



شکل ۳-۲۱: مدل دوبعدی هدایت الکتریکی با استفاده از وارون سازی توام داده های هر دو مد دستگاه EM34-3 بر روی پروفیل P06. مقاطع از بالا به پایین برای $\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ می باشند. در مقطع با ضریب میرایی ۰، ۳، منطقه آنومال احتمالی در محدوده نقطه چین نشان داده شده است.

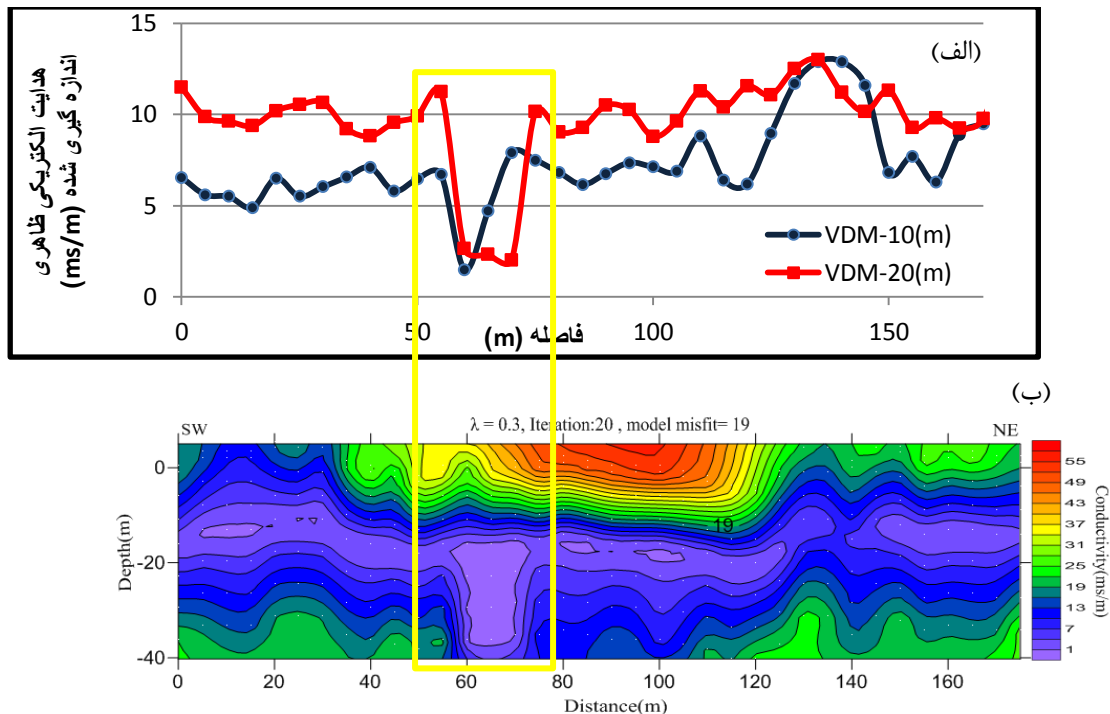
در شکل (۳-۲۲) مقایسه نمودار داده‌های خام هدایت‌الکتریکی ظاهری در آرایش HDM، با مقطع مدل‌سازی شده پروفیل P06 نشان داده شده است. این نمودار نسبت به تغییرات رسانندگی نزدیک سطح زمین حساسیت بیشتری داشته و در نمودار مربوط به فاصله برداشت ۲۰ متر می‌توان ساختارهای با هدایت‌الکتریکی بالا را در فاصله‌های ۴۰ تا ۱۲۰ متری مبدا مشاهده کرد؛ که انطباق قابل ملاحظه‌ای با مقطع رسانندگی این پروفیل نیز دارد. این ساختارها می‌توانند به آلتراسیون در سنگ میزبان و یا وجود رسوبات رودخانه‌ای مرتبط باشد.



شکل ۳-۲۲: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت‌الکتریکی ظاهری در آرایش حلقه قائم (HDM) با (ب) مقطع حاصل از وارون‌سازی توام داده‌های هر دو مد دستگاه EM34-3 پروفیل P06.

شکل (۳-۲۳) مقایسه نمودار داده‌های خام در روش حلقه‌های افقی (VDM) را با مقطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد. افت هدایت‌الکتریکی ظاهری نمودار در فاصله حدوداً ۵۰ تا ۷۷ متری مبدا انطباق خوبی با هدایت‌الکتریکی مقطع داشته و می‌توان احتمالاً آن را به کانی‌سازی مس به صورت پورفیری در سنگ میزبان بازالتی نسبت داد زیرا به دلیل پراکنده بودن ذرات ریز مس در متن سنگ بازالتی با مقاومت‌ویژه بالا این زون کانی‌سازی نیز به صورت ساختاری با رسانندگی پایین

نمایش داده می‌شود.



شکل ۳-۲۳: مقایسه (الف) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری در آرایش حلقه قائم (VDM) با (ب) مقطع حاصل از وارون‌سازی توام داده‌های هر دو مد دستگاه EM34-3 پروفیل P06.

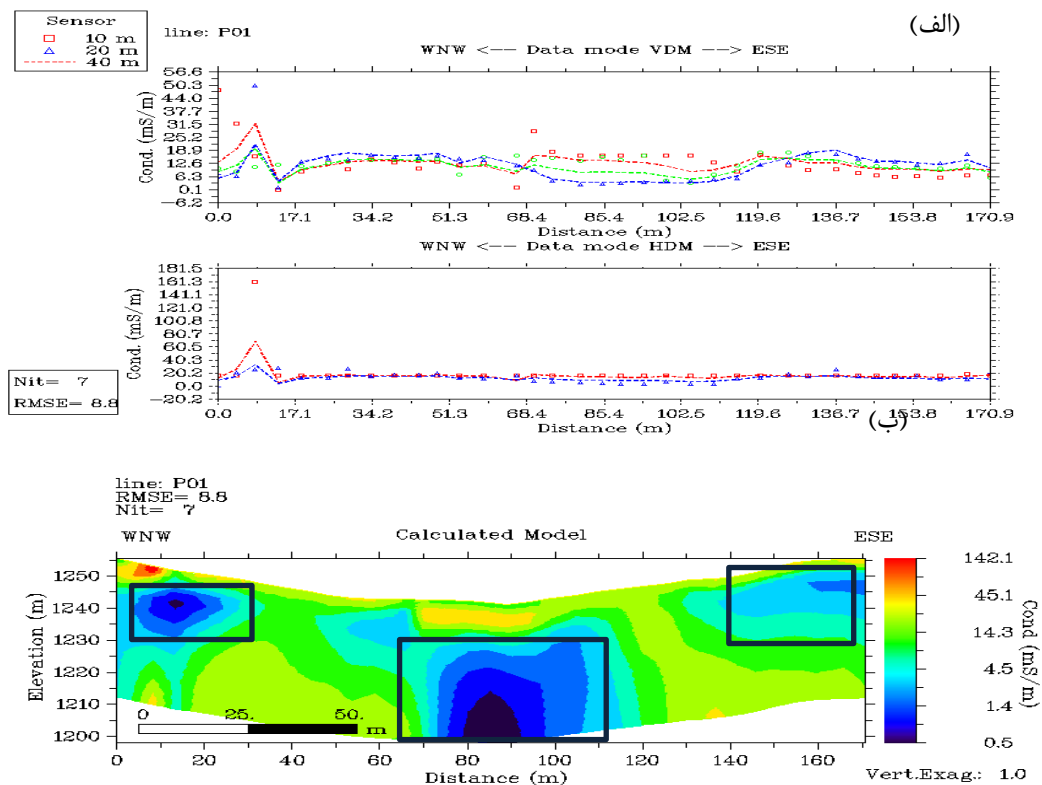
۳-۷ مدل‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار EM4SOIL^۱

۳-۷-۱ پروفیل P01

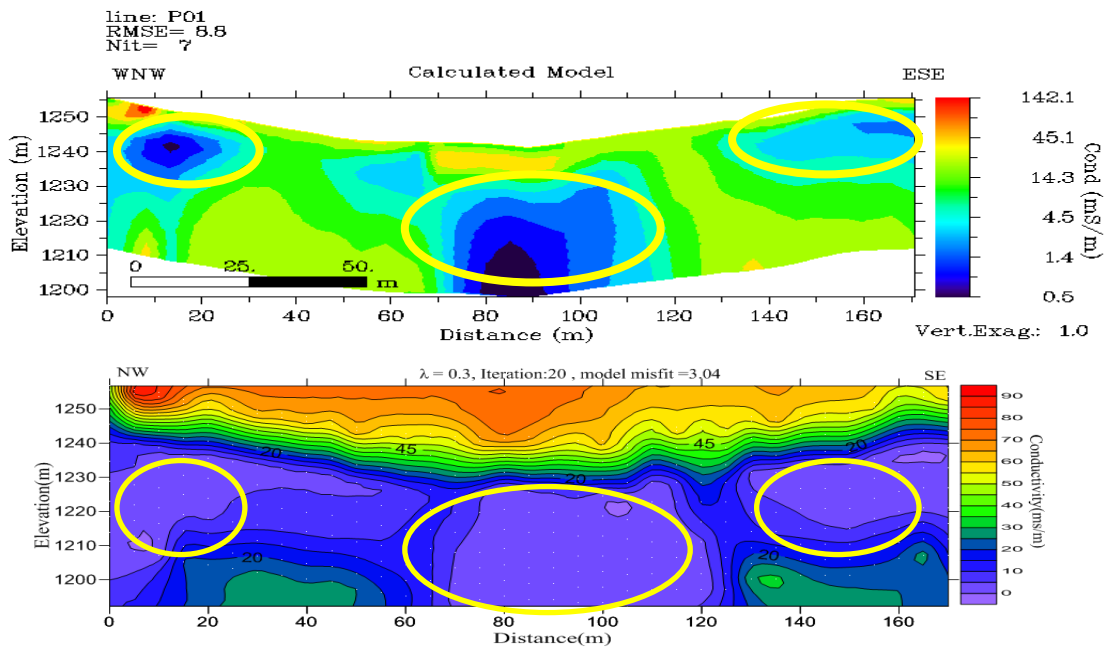
مقطع حاصل از وارون‌سازی دوبعدی همزمان داده‌های توام هر دو مد مربوط به پروفیل P01 به همراه نمودار داده‌های خام هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده و محاسبه شده (پاسخ مدل) برای دو آرایش برداشت VDM و HDM، به وسیله نرم‌افزار EM4SOIL در شکل (۳-۲۴) نشان داده شده

^۱ لازم به ذکر است که تمام داده‌های برداشت شده جهت مقایسه و کنترل نتایج با نرم‌افزار تجاری EM4SOIL، توسط دکتر مونتریو سنتوس مدل‌سازی و عودت داده شدند.

است. سه منطقه آنومال احتمالی در فواصل ۰ تا ۲۰، ۷۰ تا ۱۲۰ و ۱۴۰ تا ۱۶۰ متری مبدا با هدایت الکتریکی پایین به رنگ آبی دیده می‌شوند. انطباق ساختارهای آنومال در مدل‌سازی وارون داده‌های EM34-3 در دو نرم‌افزار EM4SOIL و EM34-2D در شکل (۳-۲۵) به خوبی مشاهده می‌شود. در هر دو مقطع سه زون آنومال احتمالی از عمق تقریبی ۱۵ متری با رسانندگی پایین مشاهده می‌شوند. پراکنده بودن مس در سنگ میزبان بازالتی به صورت یک زون با مقاومت ویژه بالا خود را نشان می‌دهد.



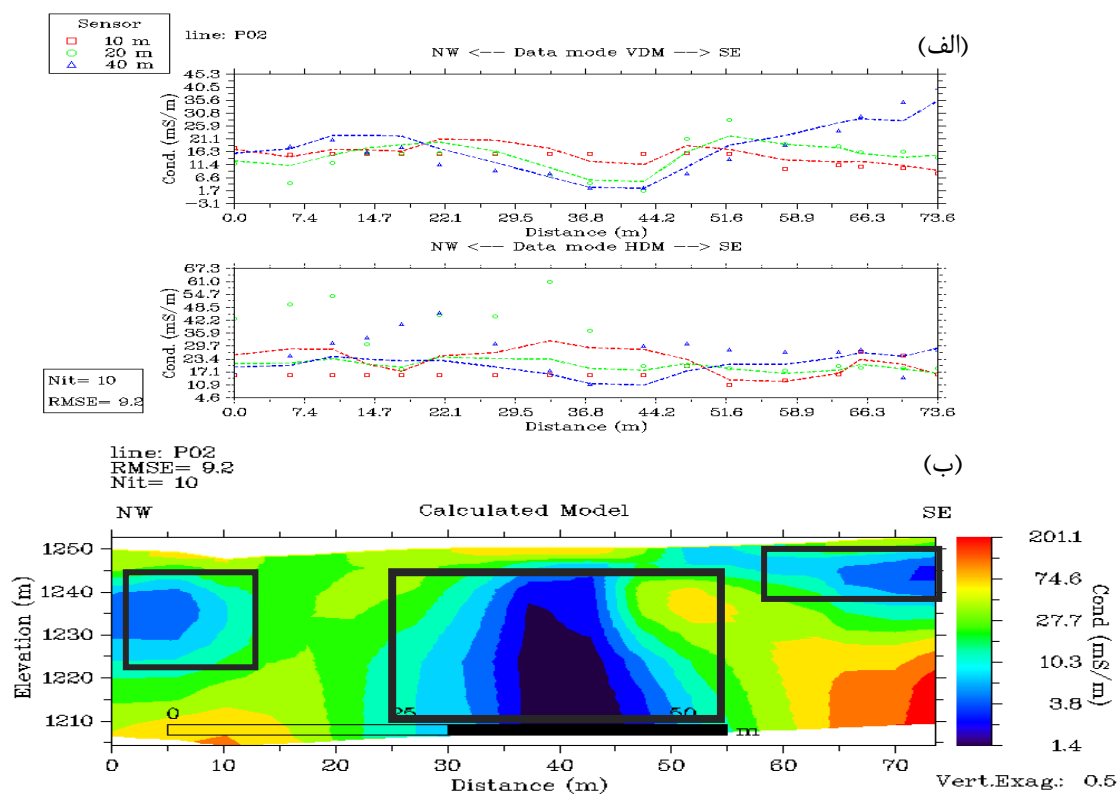
شکل ۳-۲۴: (الف) نمودارهای داده‌های خام هدایت الکتریکی در دو روش برداشت VDM و HDM با (ب) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون توام در نرم‌افزار EM4SOIL. کادره‌ای مشکی مناطق احتمالی آنومال را نشان می‌دهند.



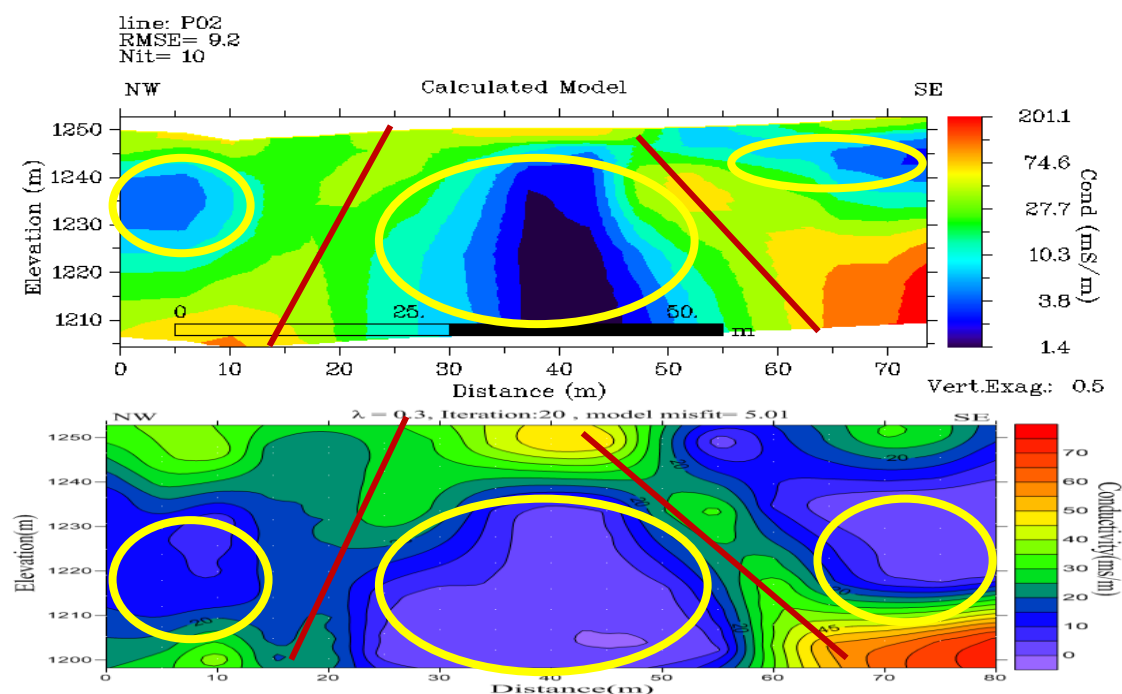
شکل ۳-۲۵: مقایسه مقطع حاصل از مدل سازی وارون توام داده های پروفیل P01 با دو نرم افزار EM4SOIL (بالا) و EM34-2D (پایین).

۲-۷-۳ پروفیل P02

مقطع مربوط به پروفیل P02 و نمودار داده های خام هدایت الکتریکی ظاهری رسم شده آن در دو آرایش برداشت VDM و HDM، به وسیله نرم افزار EM4SOIL در شکل (۳-۲۶) نشان داده شده است. سه منطقه احتمالی آنومال در فاصله های ۰ تا ۱۰ متری، ۲۵ تا ۵۵ متری و ۵۵ تا ۷۰ متری با هدایت الکتریکی پایین مشاهده می شوند. در شکل (۳-۲۷) همخوانی خوبی بین دو مقطع حاصل از مدل سازی دو نرم افزار EM4SOIL و EM34-2D مشاهده می شود. در هر دو مقطع سه زون آنومال با رسانندگی پایین مشاهده می شود. دو ساختار خطی در هر دو مقطع در فاصله های ۱۵ و ۵۰ متری مبدا مشاهده می شود که با توجه به آن که منطقه دوچپله دارای شکستگی ها و گسل های فراوانی به دلیل وجود گسل بزرگ میامی می باشد، این شکستگی ها که با رسانندگی بالا نشان داده شده است می توانند مربوط به یک ساختار گسله باشد.



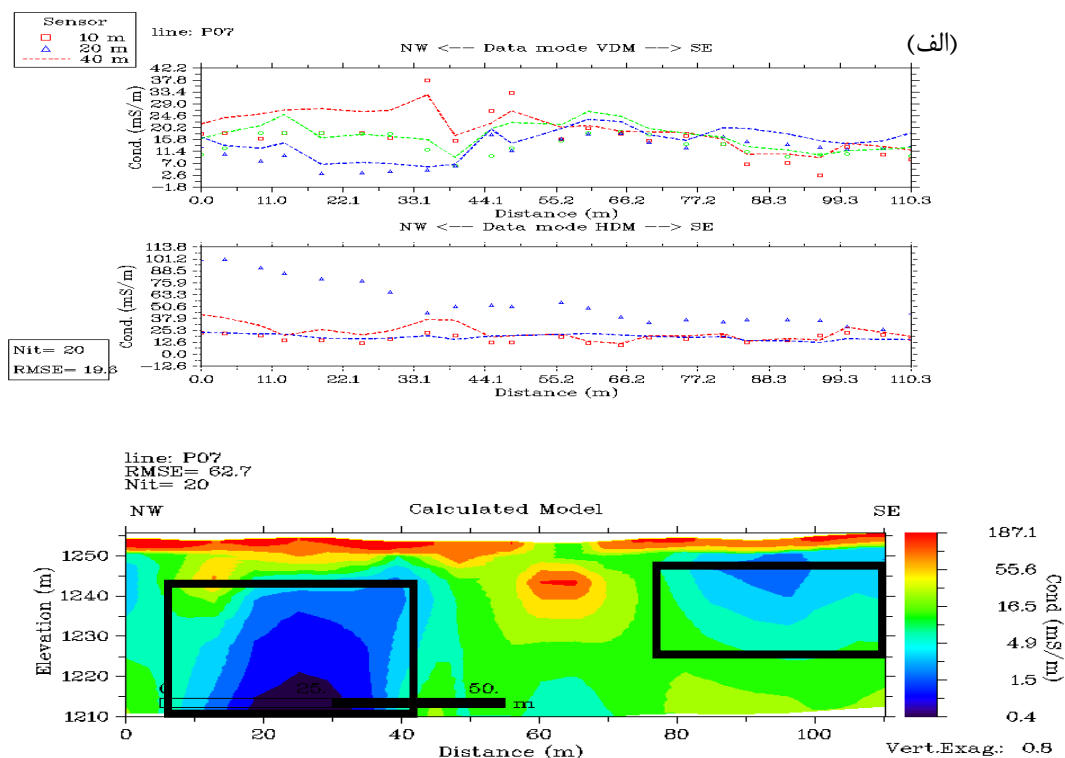
شکل ۳-۲۶: (الف) نمودارهای داده‌های خام هدایت الکتریکی در دو روش برداشت VDM و HDM مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون توام داده‌ها در نرم‌افزار EM4SOIL. کادرهای مشکی مناطق احتمالی آنومال را نشان می‌دهند.



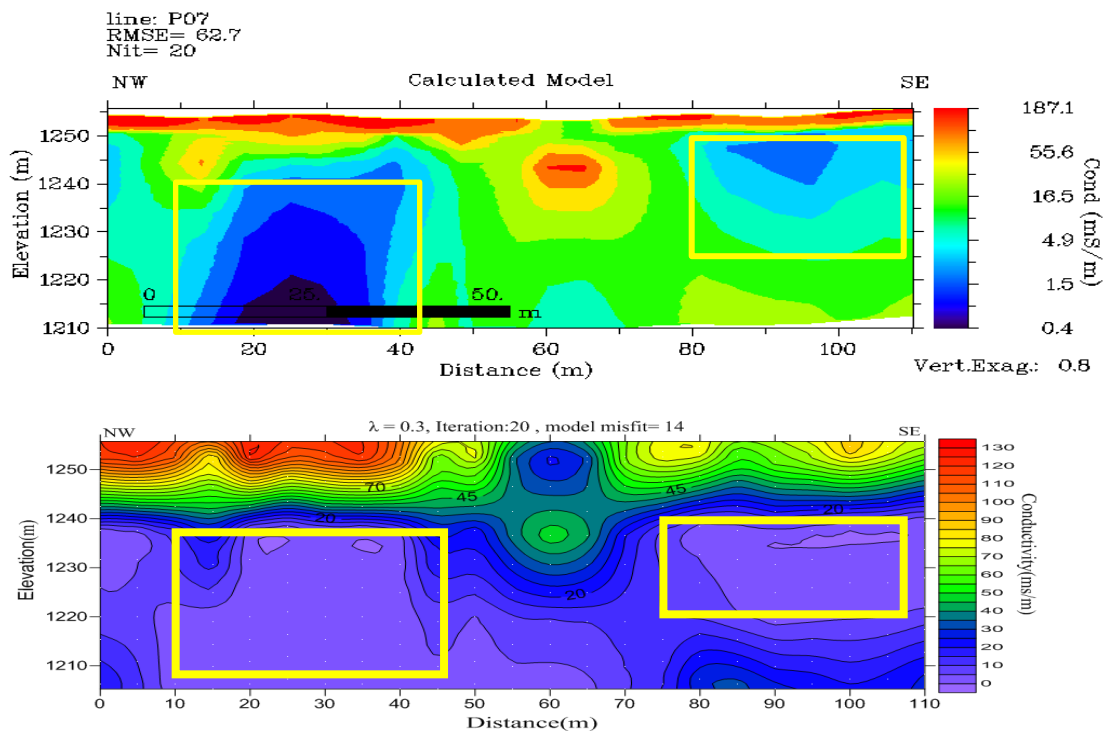
شکل ۳-۲۷: مقایسه مقطع پروفیل P02 در مدل‌سازی با دو نرم‌افزار EM4SOIL (بالا) و EM34-2D (پایین). خط - های قرمز احتمال وجود گسل در منطقه می‌باشند.

۳-۷-۳ پروفیل P07

مقطع مربوط به پروفیل P07 و نمودار داده‌های خام هدایت الکتریکی ظاهری رسم شده آن با آرایش-های VDM و HDM، به وسیله نرم‌افزار EM4SOIL در شکل (۳-۲۸) نشان داده شده است. دو منطقه احتمالی آنومال با رسانندگی پایین نسبت به اطراف خود در فاصله‌های ۰ تا ۴۵ و ۸۰ تا ۱۰۵ متری مبدا مشاهده می‌شود. در فاصله‌ی ۵۷ تا ۶۵ متری مبدا، از سطح زمین تا عمق حدوداً ۵ متری، یک ساختار با هدایت الکتریکی کمتر نسبت به دو طرف خود مشاهده می‌شود؛ که با توجه به مطالعات زمین‌شناسی قبلی احتمالاً به دلیل وجود رسوبات رودخانه‌ای متخلخل می‌باشد. شکل (۳-۲۹) گویای هم‌خوانی بالای بین دو مقطع حاصل از مدل‌سازی دو نرم‌افزار EM4SOIL و EM34-2D است. دو زون آنومال به خوبی در هر دو مقطع مشاهده می‌شود. روباره‌های رسانا از سطح زمین تا عمق ۵ متری با رسانندگی بالا در هر دو مقطع دیده می‌شوند.



شکل ۳-۲۸ (الف) نمودارهای داده‌های خام هدایت الکتریکی در دو روش برداشت VDM و HDM با مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی در نرم‌افزار EM4SOIL. کادره‌های مشکی مناطق احتمالی آنومال و دایره قرمز نشان دهنده رسوبات رودخانه‌ای می‌باشند.

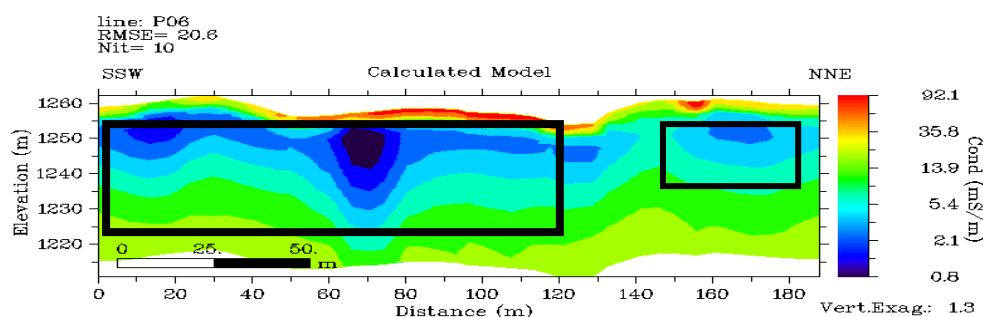
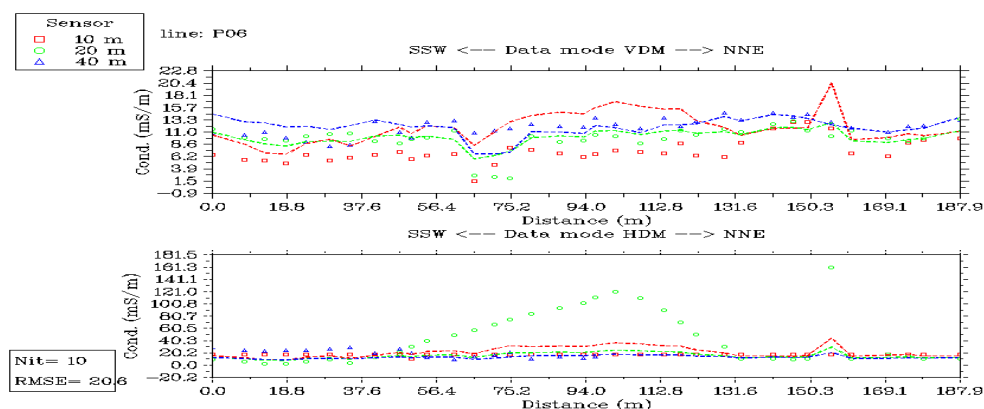


شکل ۳-۲۹: مقایسه مقطع پروفیل P07 در مدل سازی با دو نرم افزار EM4SOIL (بالا) و EM34-2D (پایین).

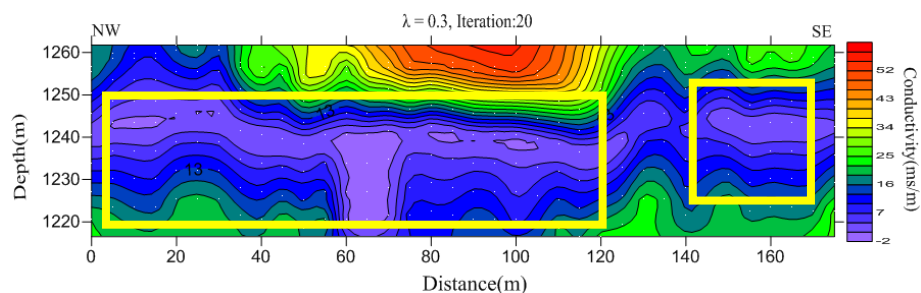
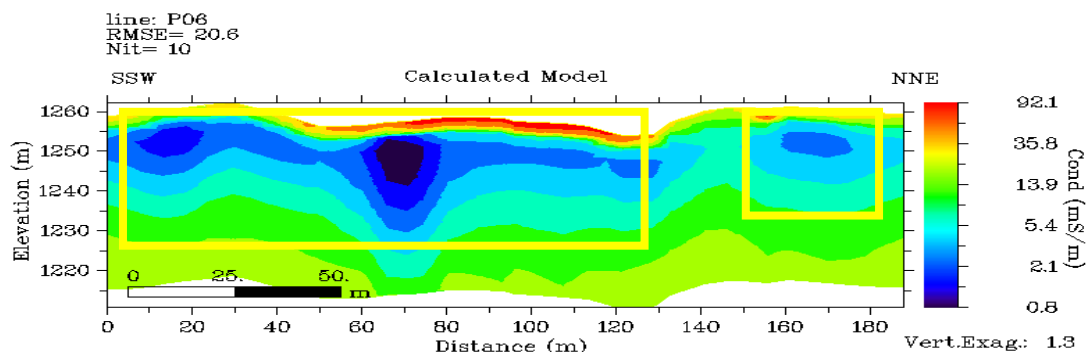
کادرهای زرد ساختارهای احتمالی آنومال کانی سازی مس پورفیری می باشند.

۳-۷-۴ پروفیل P06

مقطع مربوط به پروفیل P06 و نمودار داده های خام هدایت الکتریکی ظاهری رسم شده آن در آرایش برداشت VDM و HDM، در شکل (۳-۳۰) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳-۳۱) مناطق آنومال احتمالی با رسانندگی پایین از فاصله ۰ تا ۱۶۰ متری مبدا به صورت سه زون متصل به هم در هر دو مقطع مدل سازی وارون توام داده های هر دو مد دستگاه EM34-3 با دو نرم افزار EM34-2D و EM4SOIL دیده می شود. در هر دو مقطع زون آنومال از عمق تقریبی ۱۰ متری شروع می شود. در عمق کمتر از ۱۰ متر همان طور که مشاهده می شود روباره ای با رسانندگی بالا و یا سنگ میزبان آلتزه شده، وجود دارد.



شکل ۳-۳۰: (الف) نمودارهای داده‌های خام هدایت الکتریکی در دو روش برداشت VDM و HDM مقطع (ب) حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌ها در نرم‌افزار EM4SOIL. کادرهای مشکی مناطق احتمالی آنومال را نشان می‌دهند.

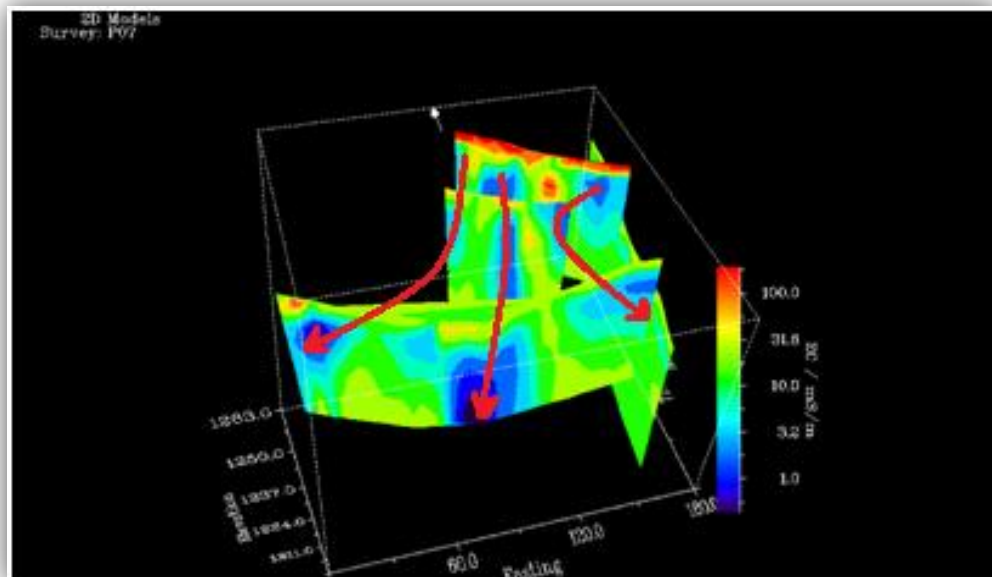


شکل ۳-۳۱: مقایسه مقطع پروفیل P06 در مدل‌سازی با دو نرم‌افزار EM4SOIL (بالا) و EM34-2D. (پایین) را نشان می‌دهد. کادرهای زرد ساختارهای احتمالی آنومال می‌باشند.

۳-۸ نمایش سه بعدی مقاطع EM

۳-۸-۱ نمایش سه بعدی داده های EM34-3 توسط نرم افزار EM4SOIL

شکل (۳-۳۲) نمایش سه بعدی مقاطع حاصل از وارون سازی ترکیبی توام داده های EM34-3 را با استفاده از نرم افزار EM4SOIL نشان می دهد. روند کانی سازی مس به صورت پورفیری (نواحی آبی رنگ) داخل سنگ میزبان بازالتی که دارای رسانندگی پایین می باشد، به خوبی در شکل دیده می شود. فلش های قرمز رنگ بر روی شکل این روند را نشان می دهند.

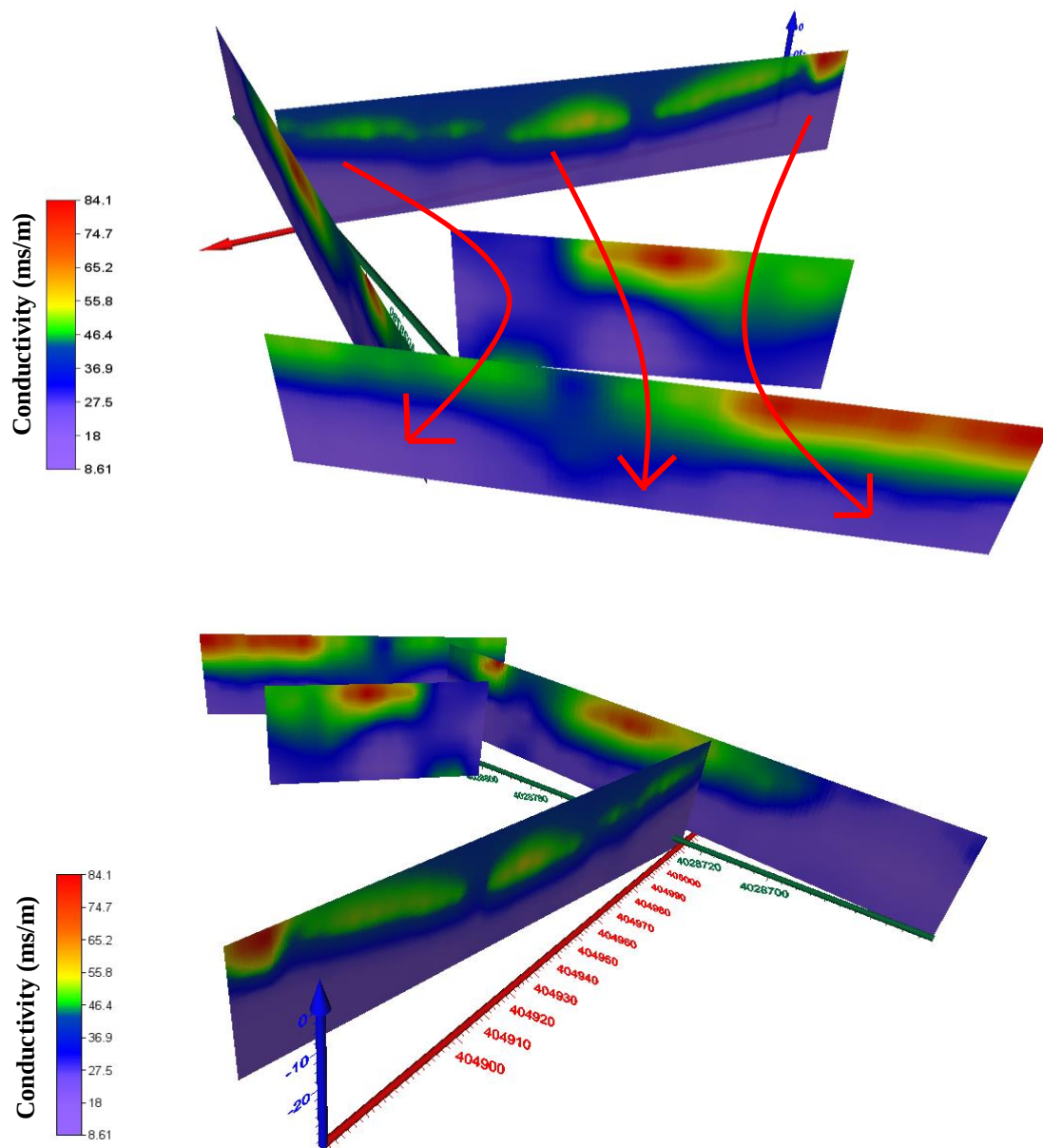


شکل ۳-۳۲: نمایش سه بعدی نتایج حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های EM34-3 توسط نرم افزار EM4SOIL. فلش های قرمز روند کانی سازی را نشان می دهند.

۳-۸-۲ نمایش سه بعدی داده های EM34-3 با نرم افزار VOXLER

در شکل (۳-۳۳) مقاطع حاصل از وارون سازی ترکیبی داده های EM34-3 به صورت سه بعدی در نرم افزار VOXLER نمایش داده شده است. ساختارهای با هدایت الکتریکی پایین که با رنگ آبی در شکل دیده می شوند، زون های کانی سازی احتمالی مس در سنگ میزبان بازالتی را نشان می دهند. با اینکه تعداد

پروفیل‌های برداشتی در منطقه محدود بوده است؛ اما روند کانی‌سازی به خوبی در شکل مذکور دیده می‌شود.



شکل ۳-۳۳: نمایش سه‌بعدی نتایج وارون‌سازی داده‌های EM34-3 توسط نرم‌افزار VOXLER. شکل بالا دید به سمت جنوب غرب و شکل پایین دید به سمت شمال شرق.

۳-۹ مدل سازی و تفسیر داده های VLF

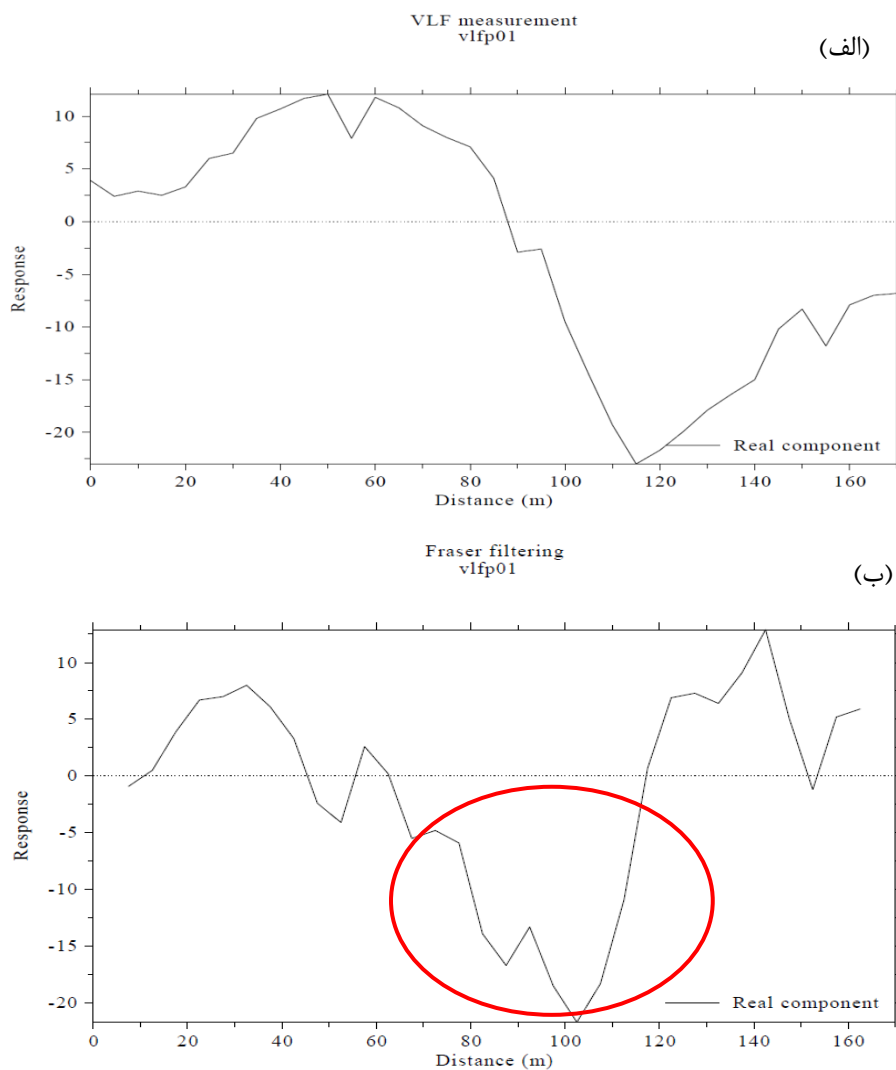
برای شناسایی ساختارهای احتمالی حاوی مس در منطقه مورد مطالعه و بررسی دقیق تر، برداشت داده های VLF با استفاده از دستگاه GSM 19T، بر روی چهار پروفیل (P01، P02، P07 و P06) که فواصل نقاط اندازه گیری بر روی آنها ۵ متر می باشد؛ انجام شده است. مناسب ترین ایستگاه فرستنده امواج رادیویی VLF برای این برداشت، فرستنده (UMS) روسیه با فرکانس ۱۷/۱ kHz می باشد. داده های خروجی از دستگاه به صورت مولفه های حقیقی و موهومی تابع تیپر، با استفاده از نرم افزار INV2DVLF مدل سازی شده و سپس به صورت مقاطع دوبعدی مقاومت ویژه نمایش داده شده اند. همچنین با استفاده از نرم افزار KHFFILT، نمودار داده های فیلتر فریزر و شبه مقطع چگالی جریان حاصل از اعمال فیلتر کاروس- هجالت بدست آمده اند.

۳-۹-۱ پروفیل P01

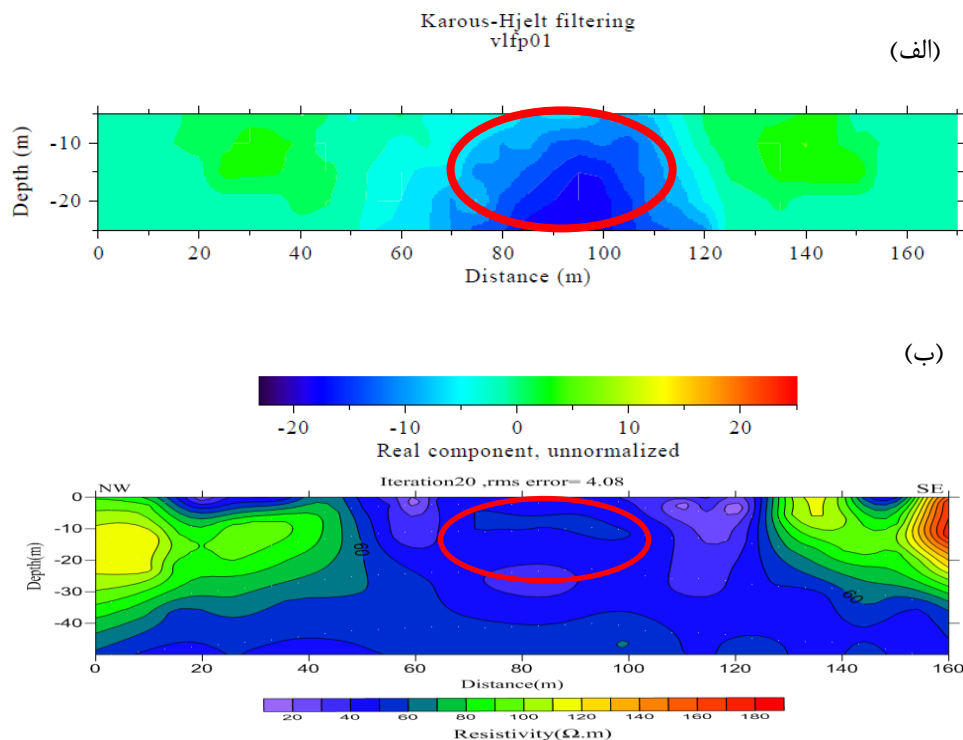
شکل (۳-۳۴-الف) نمودار مولفه حقیقی داده های خام برداشت شده را نشان می دهد. شکل (۳-۳۴-ب) نمودار داده ها را با اعمال فیلتر فریزر نمایش می دهد. فیلتر مزبور مناطق آنومال را به صورت پیک نشان می دهد. با توجه به این که مناطق آنومال در این منطقه شامل مس پورفیری با مقاومت ویژه بالا می باشد لذا پیک های منفی نشان دهنده مناطق امیدبخش می باشند. با توجه به شکل (۳-۳۴-ب) پیک منفی اصلی بعد از اعمال فیلتر فریزر در فاصله ۷۰ تا ۱۲۰ متری مبدا مشاهده می شود.

شکل (۳-۳۵-الف) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل P01 با استفاده از نرم افزار فیلتر کاروس- هجالت و شکل (۳-۳۵-ب) مقطع مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های VLF با نرم افزار INV2DVLF را نشان داده است. در شبه مقطع چگالی جریان زون های با رسانایی پایین نشان دهنده مناطق احتمالی مس به شکل پورفیری در سنگ میزبان بازالتی می باشند (زونی که با بیضی قرمز در شکل ۴-۳۲-الف مشخص شده است). همچنین می توان هم خوانی مناسبی را بین شبه مقطع چگالی

جریان و مقطع مقاومت ویژه مشاهده کرد.



شکل ۳-۳۴ : (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل P01. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده VLF با روش فریزر. دایره قرمز مناطق احتمالی آنومال را نشان می‌دهد.

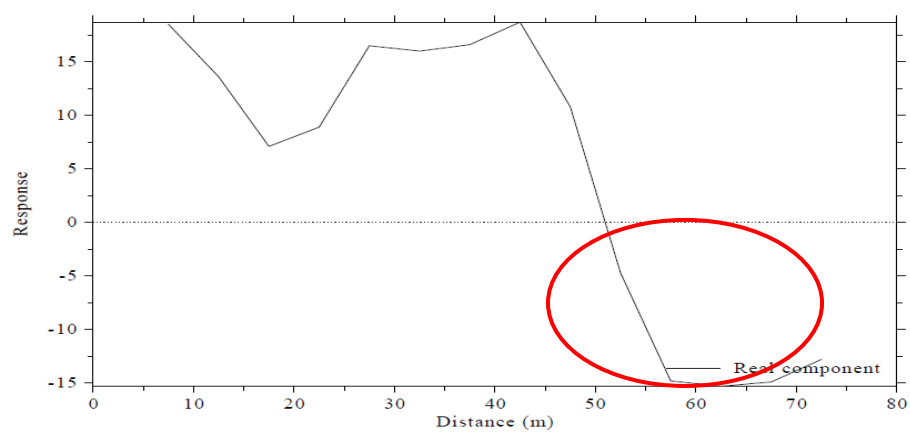
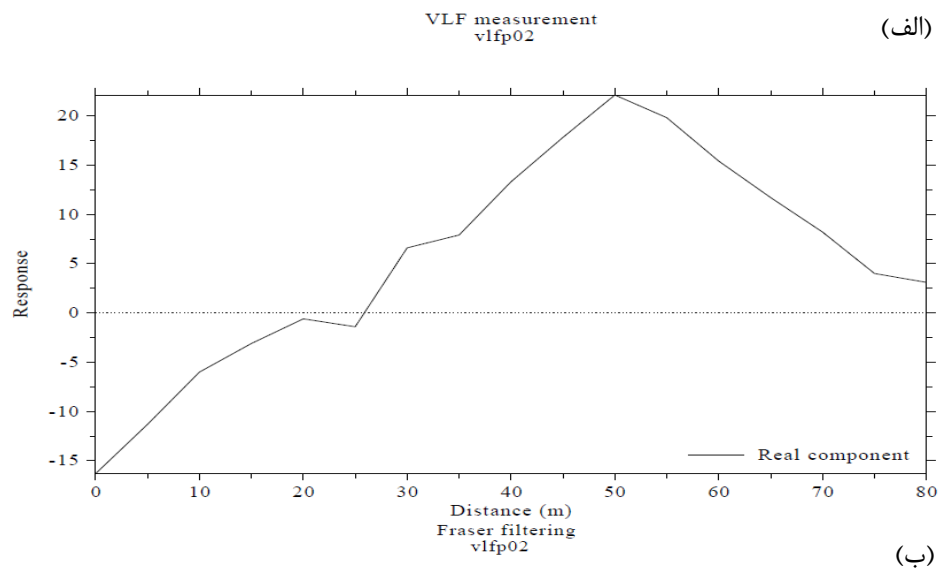


شکل ۳-۳۵: الف) شبه مقطع چگالی جریان حاصل از اعمال فیلتر کاروس- هجلت. ب) مقطع مقاومت ویژه وارون سازی داده های VLF برای پروفیل P01.

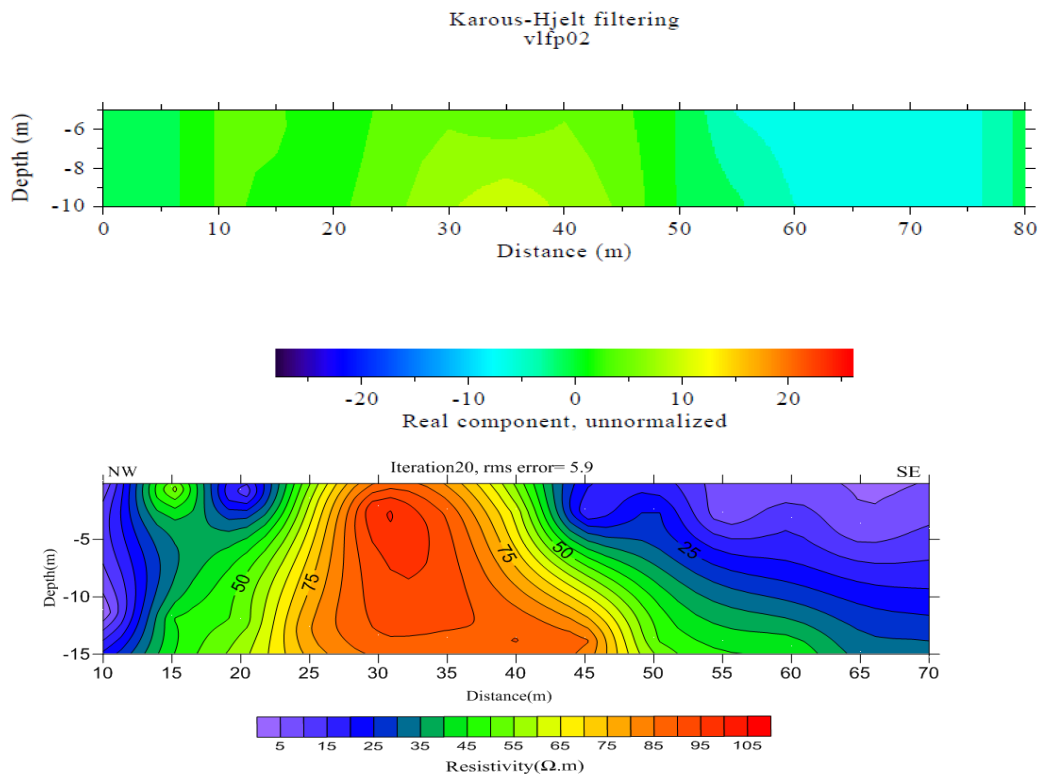
۳-۹-۲ پروفیل P02

شکل (۳-۳۶-الف) نمودار داده های خام مولفه حقیقی مربوط به پروفیل P02 و شکل (۳-۳۶-ب) نمودار داده های مولفه حقیقی با اعمال فیلتر فریزر را نشان می دهد. پیک منفی در فاصله ۵۸ متری مبدا نشان دهنده مرکز ناحیه آنومال احتمالی است. علاوه بر آن در شکل (۳-۳۷-الف) و (۳-۳۷-ب) شبه مقطع چگالی جریان و نتایج مدل سازی وارون دو بعدی آمده است. در مقطع چگالی جریان از فاصله ۵۰ متری مبدا زونی با چگالی جریان پایین مشاهده می شود که در مقطع حاصل از مدل سازی وارون نیز این زون با مقاومت ویژه تقریبی ۴۰ اهم متر نشان داده می شود. در فاصله ۲۰ تا ۵۰ متری مبدا در مقطع چگالی جریان منطقه ای با چگالی جریان بالا مشاهده می شود که در مقطع وارون سازی شده VLF با مقاومت ویژه بالا این منطقه دیده می شود؛ بالا بودن مقاومت ویژه در این منطقه به دلیل تاثیر زون آنومال احتمالی می باشد که در زیر این منطقه قرار گرفته است و سبب شده است تا اثر

ساختار سطحی با رسانندگی بالا از بین برود.



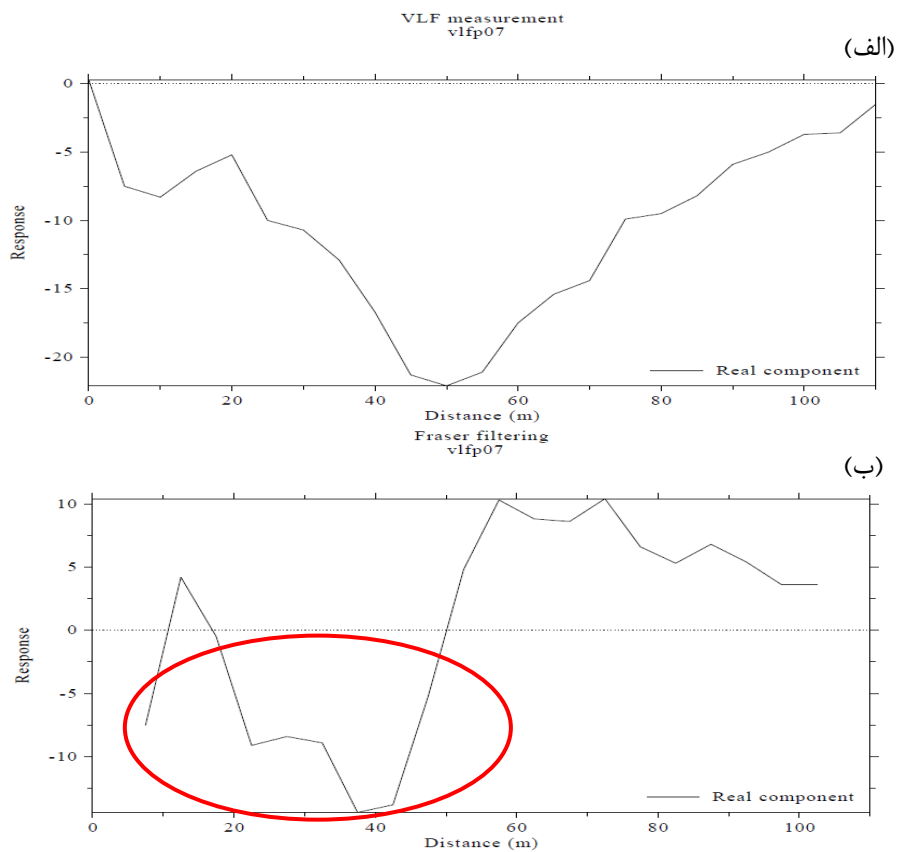
شکل ۳-۳۶: الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل P02. ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر داده‌های VLF. دایره قرمز منطقه احتمالی آنومال را نشان می‌دهد.



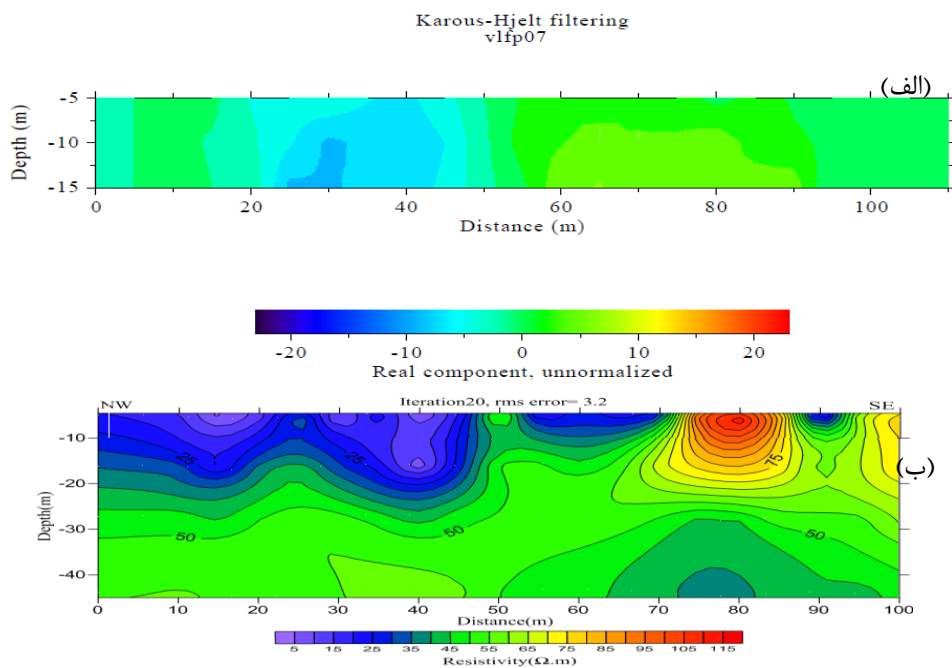
شکل ۳-۳۷: الف) شبه مقطع چگالی جریان حاصل از اعمال فیلتر کاروس- هجلت. ب) مقطع مقاومت ویژه با وارون- سازی داده‌های VLF پروفیل P02.

۳-۹-۳ پروفیل P07

با توجه به شکل (۳-۳۸)، که به ترتیب مربوط به داده‌های خام و فیلتر شده با روش فریزر پروفیل P07 می‌باشد، می‌توان مرکز آنومالی را به صورت پیک منفی در فاصله حدوداً ۲۰ تا ۵۰ متری مبدا مشاهده نمود. در شکل (۳-۳۹-الف) شبه‌مقطع چگالی جریان مربوط به مولفه حقیقی این پروفیل با اعمال فیلتر کاروس- هجلت نمایش داده شده است. در مقطع چگالی جریان ساختاری با چگالی جریان پایین در فاصله ۲۰ تا ۵۰ متری مبدا را نشان می‌دهد؛ که این ساختار در مقطع مدل‌سازی وارون داده‌های VLF در زیر روباره‌ای رسانا دیده می‌شود. از فاصله حدوداً ۵۵ متری مبدا در مقطع چگالی جریان، چگالی جریان افزایش پیدا کرده است که این منطقه در مقطع حاصل از وارون‌سازی داده‌های VLF نیز با ساختاری با مقاومت ویژه پایین مشاهده می‌شود.



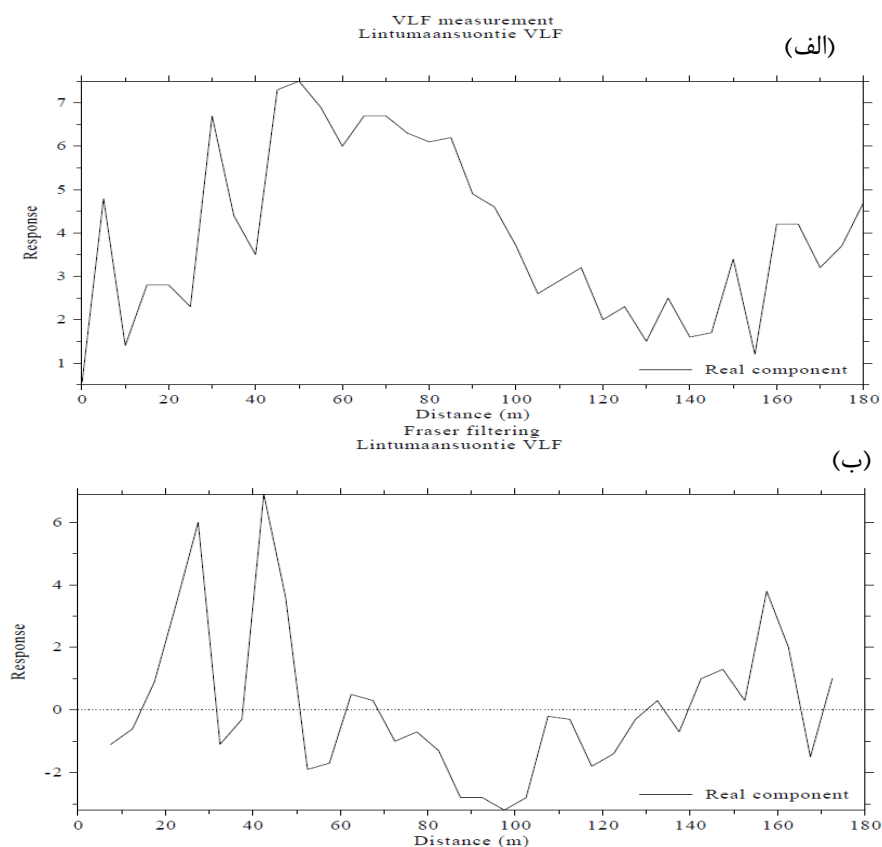
شکل ۳-۳۸: (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل P07. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر که در آن دایره قرمز منطقه احتمالی آنومال می‌باشد.



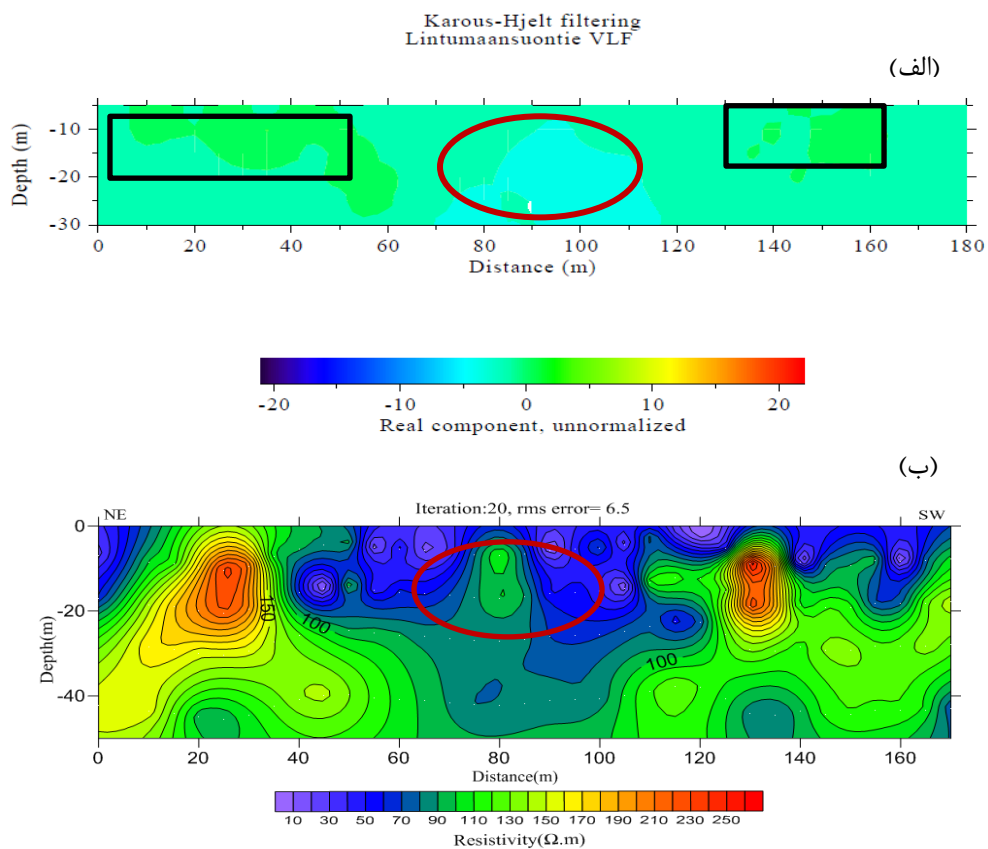
شکل ۳-۳۹: (الف) شبه‌مقطع چگالی جریان حاصل از اعمال فیلتر کاروس- هجلت. (ب) مقطع مقاومت‌ویژه با وارون- سازی داده‌های VLF پروفیل P07.

۳-۹-۴ پروفیل P06

شکل (۳-۴۰-ب) مربوط به نمودار مولفه حقیقی داده‌های VLF با اعمال فیلتر فریزراست، که در آن تعداد زیادی پیک‌های منفی مشاهده می‌شود. در شکل (۳-۴۱) شبه‌مقطع چگالی جریان و مقطع مقاومت‌ویژه حاصل از وارون‌سازی دوبعدی داده‌های VLF نشان داده شده است که گسترش عمقی و جانبی ساختارهای مقاوم مربوط به کانی‌سازی در این پروفیل زیاد می‌باشد. به جز دو منطقه که با کادر مشکی بر روی شکل (۳-۴۱-الف) نشان داده شده و مربوط به روباره‌های رسانا می‌باشد؛ احتمالاً در بقیه مناطق در این پروفیل از نظر عمقی و جانبی مقاومت‌ویژه بالا معرف کانی‌سازی مس پورفیری صورت گرفته است. همخوانی مناسبی بین شبه‌مقطع چگالی جریان و مقطع مقاومت‌ویژه حاصل از وارون‌سازی مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۴۰ : الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل P06. ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر داده‌های VLF.



شکل ۳-۴۱: (الف) شبه‌مقطع چگالی جریان حاصل از اعمال فیلتر کاروس-هجلت. (ب) مقطع مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.

فصل چهارم

مقایسه نتایج مدل سازی وارون داده های

EM34-3 و VLF با مقاطع موجود

IP و RES

۴-۱ مقدمه

به منظور شناسایی و درک بهتر از زون‌های احتمالی آنومالی در منطقه مورد از چند روش ژئوفیزیکی استفاده شده است. در این فصل از داده‌های مقاومت‌ویژه (RES) و پلاریزاسیون القایی (IP) که توسط گرگانی (۱۳۹۲)، با استفاده از دستگاه ABEM SAS4000 بر روی دو پروفیل P01 و P06 انجام شده است؛ استفاده شده و نتایج حاصل از مدل‌سازی آنها با نتایج حاصل از مطالعه حاضر مقایسه می‌شود.

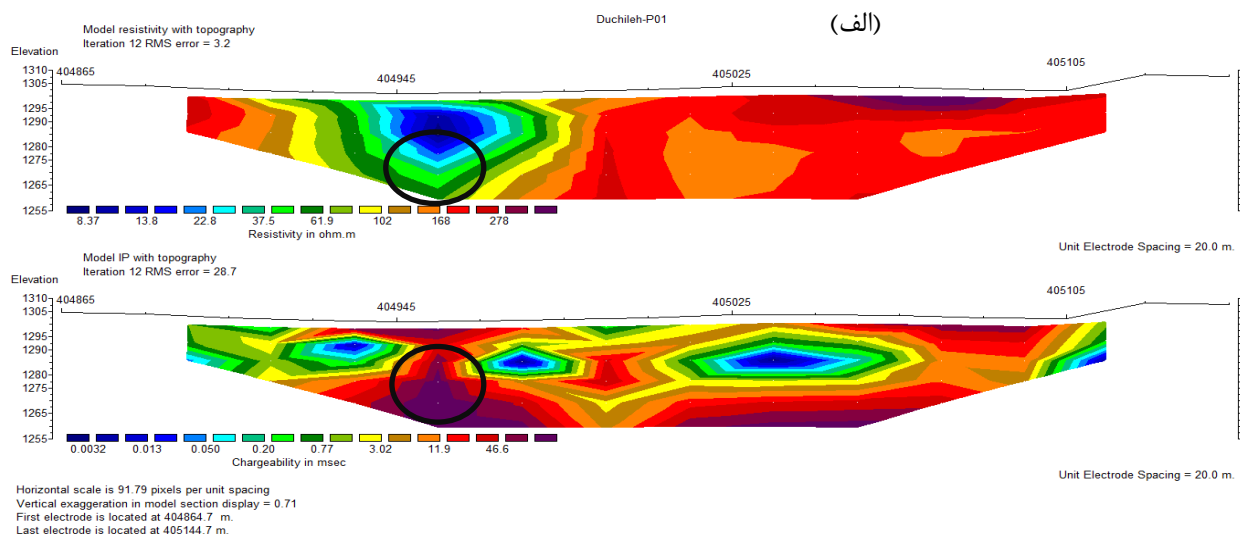
۴-۲ مقایسه نتایج مدل‌سازی انواع موجود و برداشت شده در منطقه مورد

مطالعه

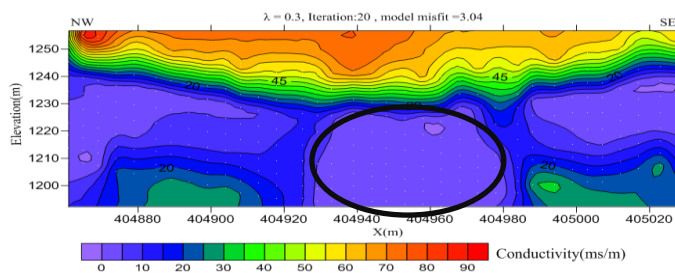
۴-۲-۱ پروفیل P01

در شکل (۴-۱-الف) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های RES و IP با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV برای پروفیل P01 با فاصله الکترودی ۲۰ متر نشان داده شده است. آقای گرگانی (۱۳۹۲) در برداشت داده‌ها از آرایش دوقطبی - دوقطبی و جابه‌جایی الکترودهای پتانسیل تا $n=8$ استفاده نمود. در پایان‌نامه حاضر، از فاصله ۰ تا ۱۵۵ متری این پروفیل برداشت EM و VLF با فاصله جدایش ۵ متر انجام شده است (شکل ۴-۱-ب و ج). شکستگی موجود در مقطع مقاومت‌ویژه به خوبی در مقطع رسانندگی نیز مشاهده می‌شود. مناطق احتمالی آنومال با دایره مشکی بر روی مقاطع نشان داده شده است. هم‌خوانی بسیار خوبی بین مقاطع مشاهده می‌شود. در مقطع VLF به دلیل وجود روباره‌های رسانا در اعماق کمتر از ۵ متر، به خوبی نمی‌توان زون آنومال با مقاومت‌ویژه بالا را که در فاصله حدوداً ۴۰۴۹۳۰ تا ۴۰۴۹۷۰ قرار گرفته است، شناسایی کرد. عمق نفوذ در برداشت VLF نسبت به مقاومت‌ویژه و EM کمتر می‌باشد. برداشت EM34-3 عمق نفوذ کمتری نسبت به روش مقاومت‌ویژه دارد؛ اما برای شناسایی زون‌های آنومال فلزی در اعماق کمتر از ۵۰ و یا ۶۰ متر کاربرد

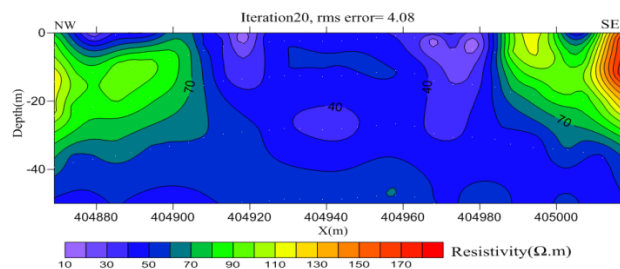
گسترده‌ای دارد.



(ب)



(ج)

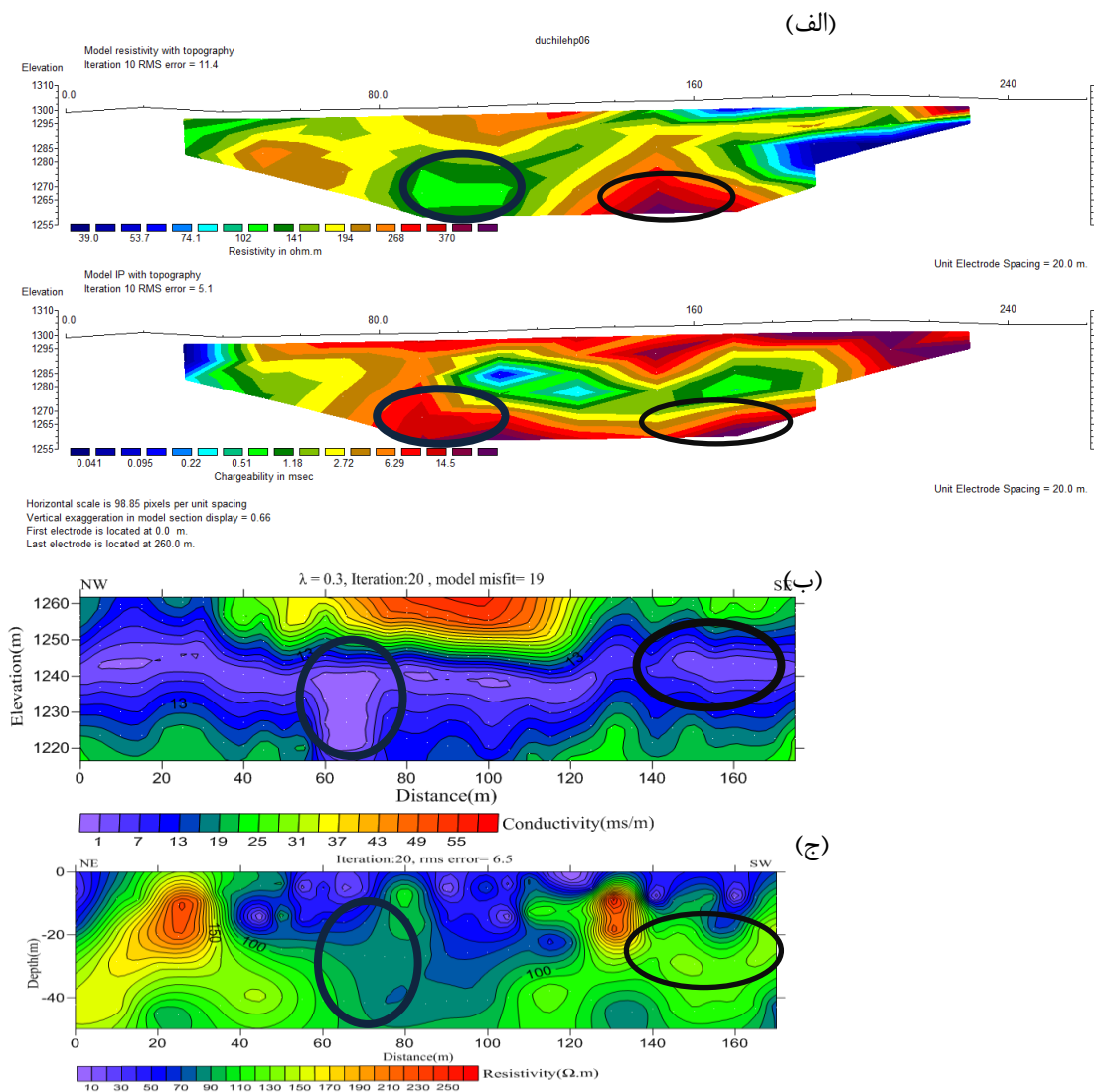


شکل ۴-۱: الف) مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون دوبعدی داده‌های مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی (ب) مقطع رسانندگی حاصل از مدل‌سازی وارون دوبعدی داده‌های EM34-3 (ج) مقطع مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون دوبعدی داده‌های VLF برای پروفیل P01. مناطق احتمالی کانی‌سازی مس پورفیری با دایره مشکی بر روی مقاطع نشان داده شده است.

۴-۲-۲ پروفیل P06

شکل (۴-۲) نتایج مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه، پلاریزاسیون القایی، EM34-3 و VLF را نشان

می‌دهد. این برداشت‌ها بر روی پروفیل P06 انجام گرفته است. از آنجا که ماهیت برداشت‌ها و دستگاه‌های برداشتی در روش‌های مختلف ژئوفیزیکی متفاوت می‌باشند، نمی‌توان انتظار داشت که نتایج در تمام مقاطع یکسان باشند. در مقطع مقاومت‌ویژه، IP و EM34 مناطق احتمالی کانی‌سازی بر روی شکل با دایره نشان داده شده‌اند؛ تغییرات ساختاری نیز در تمامی مقاطع به صورت نسبتاً مشابه مشاهده می‌شوند.



شکل ۴-۲: (الف) مقطع حاصل از مدل‌سازی مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی (ب) مقطع رسانندگی حاصل از مدل‌سازی واریون دوبعدی داده‌های EM34-3 (ج) مقطع مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی واریون دوبعدی داده‌های VLF برای پروفیل P06. مناطق احتمالی کانی‌سازی بر روی شکل با بیضی نشان داده شده‌اند.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

اهم نتایج حاصل از مطالعه انجام گرفته به شرح زیر می‌باشد:

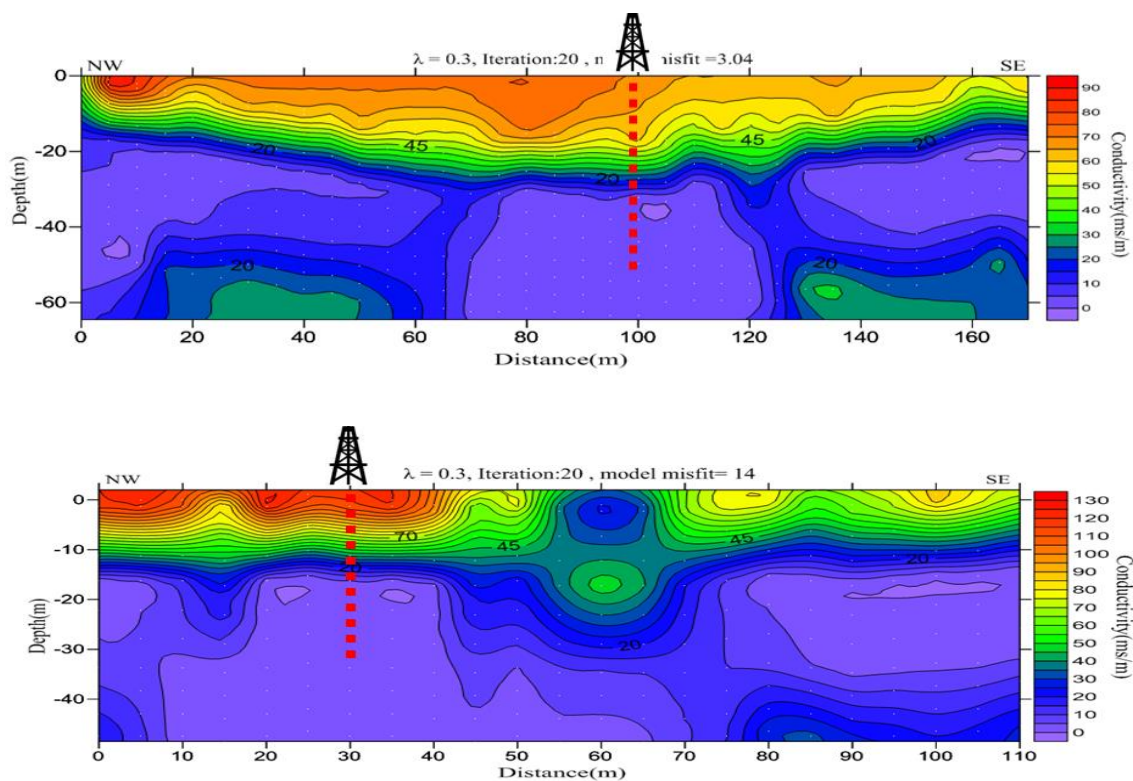
- ۱- با لحاظ تمامی نتایج و شواهد زمین‌شناسی می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً سه زون آنومال احتمالی با رسانندگی پایین از عمق تقریبی ۱۰ متر در تمامی پروفیل‌های برداشت شده وجود دارد. این مناطق ممکن است به واسطه کانه‌زایی مس پورفیری در سنگ میزبان بازالتی باشند.
- ۲- با مقایسه مدل‌سازی وارون داده‌های EM34-3 و VLF مشاهده شد که در منطقه تا عمق تقریبی ۵ متر سنگ‌های بازالتی آلت‌ره شده و رسوبات رودخانه‌ای با رسانندگی بالا وجود دارد.
- ۳- با توجه به نمایش سه‌بعدی داده‌های مدل‌سازی شده می‌توان سه روند کانه‌زایی با امتداد تقریبی شمالی جنوبی را در منطقه مشاهده کرد که در بخش‌های میانی عمق زون کانی‌سازی احتمالی و گسترش آن بیشتر می‌شود.
- ۴- مقایسه مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های برداشت شده EM34-3 و VLF بر روی دو پروفیل P01 و P06 با مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های موجود IP و RES روی آنها صحت وجود زون‌هایی با مقاومت‌ویژه بالا و بارپذیری بالا را در بخش میانی و سمت راست این پروفیل‌ها به ترتیب در اعماق بیش از ۱۰ و ۲۰ متری تأیید می‌نماید که ممکن است مربوط به کانی‌سازی مس پورفیری موجود در منطقه دوجیله باشد.
- ۵- نتایج مدل‌سازی وارون دوبعدی انواع داده‌های برداشت شده و از قبل موجود در امتداد دو پروفیل P01 و P06 نشانگر قدرت تفکیک بالاتر روش‌های IP و RES برای اعماق بیشتر از ۴۰ متر است.

۵-۲ پیشنهادات:

برای تأیید مناطق کانی‌سازی احتمالی تعیین شده در این مطالعه پیشنهاداتی به شرح زیر ارائه می‌شود.

۱- برداشت منظم IP و RES (در حوزه فرکانس و زمان) در یک شبکه فشرده‌تر با دستگاه دقیق‌تر IPR12 بر روی محل‌های تعیین شده کانی‌سازی احتمالی مس پورفیری منطقه و مدل‌سازی وارون توام داده‌های مقاومت‌ویژه، بارپذیری، فاکتور فلزی و درصد اثر فرکانسی.

۲- بر اساس تفسیرهای انجام شده بر روی مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های EM34-3 و VLF و مقایسه آن با مقاطع IP و RES پیشنهاد می‌شود در محل‌هایی که احتمال کانه‌سازی مس وجود دارد حفاری‌هایی بر روی پروفیل P01 در فاصله ۱۰۰ متری مبدا تا عمق تقریبی ۵۰ متر و بر روی پروفیل P07 در فاصله ۳۰ متری مبدا تا عمق تقریبی ۴۰ متر به شرح نشان داده شده در شکل-های زیر صورت گیرد و مغزه‌های حاصل مورد تجزیه و تحلیل لازم قرار گیرند.



شکل ۵-۱: نقاط حفاری پیشنهادی بر روی پروفیل P01 (مقطع بالا) و پروفیل P06 (مقطع پایین).

۳- برای تفسیر بهتر و دقیق‌تر بهتر از برداشت سه‌بعدی داده‌های IP و RES استفاده شود.

منابع

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. (۱۳۷۹)، نقشه زمین‌شناسی میامی.

ابراهیمی س، (۱۳۹۱)، "گزارش زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ منطقه مس دوجیله"، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

امیرخانی شیراز، ف، مرادزاده، ع، و دولتی اردجانی، ف، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه ارشد: "استفاده از روش‌های اکتشاف الکترومغناطیس VLF و EM34-3 جهت مطالعه اثرات زیست‌محیطی باطله‌های کارخانه زغالشویی البرز شرقی"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

قاسم‌العسگری، م، (۱۳۸۳) "اصول ژئوفیزیک اکتشافی" جلد اول، چاپ اول، انتشارات آیپژ، تهران، ص ۲۳۷.

گرگانی، یزدان، (۱۳۹۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی به منظور اکتشاف کانسار مس دوجیله- میامی"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

References

Ahmed S. and Carpenter P.J. (2003) "Geophysical response of filled sinkholes, soil pipes and associated bedrock fractures in thin mantled karst, east central Illinois Enviromental Geology" 44, 705-716.

Fraser, D.C. (1969), “*Contouring of VLF-EM data. Geophysics*”, 34, 958-967.

GEONICS, (2007), “*EM34-3 and EM34-3XL OPERATING INSTRUCTIONS (for model with Tow Digital Meters)*”.

Garibibi, m. and Pedersen, L.B, (1998), “*Transformation of VLF data into apparent resistivities and phases*”, *Geophysics*, 64, 1393-1402.

Jardani A., A. Revil, F. Santos, C. Fauchard and J.P. Dupont. (2007), “Detection of preferential infiltration pathways in sinkholes using joint inversion of self-potential and EM-34 conductivity data”, *Geophysical Prospecting*, 55, 749-760.

Karous, M. and Hjelt, S.E. (1983), “*Linear filtering of VLF dip angle measurments. Geophysical prospecting*”, 31, 782-794.

Knoedel, K., Lange, G. and Voigt, H.J. (2007), “*Handbook of Field Methods and Case Studies Environmental Geology*”, Springer, Berlin.

Lock, M.H. (2002). Res2dinv ver3.5, Geotomo software.

McNeill, J.D.(1980), “*Electromagnetiv terrain conductivity measurement at low induction numbers. Geonics*”, Technical Note TN-6

McNeill, J.D., and Labson, V.F., 1975, “*Geological mapping using VLF Radio Field, in Electromagnetic methods in Applied Geophysics*”. Edited by Nabighian M.N, (1991), society of exploration geophysics.

McNeill, J.D., and M. Bosnar, 1999, “Application of dipole-dipole electromagnetic systems for geological depth sounding: Geonics Limited”, Technical Note TN-31

Monterio Santos, F.A., Mateus, A., Figueiras, J., and Goncalves, M.A, (2006), “*Mapping groundwater contamination around a landfill facility using the VLF-EM*

method- a case study". Journal of Applied Geophysics 60, 115-125.

Monterio Santos, F.A. (2007a), "*Instructions for running prepVLF and IN2DVLF 2-D inversion of VLF-EM single frequency programs*", ver-1.1.

Monterio Santos, F.A. (2007b), "*Instructions for running EM34-2D and EM34-3D Programs for 1-D constrained inversion of EM34 data*", ver-1.1.

Reynolds, J.M. (1997), "*An introduction to applied and environmental Geophysics*". John Wiley and Sons Ltd, Chichester.

Sharma, S.P., and Baranwal, V.C. (2005) "*Delineation of groundwater-bearing fracture zone in a hard rock area integrating very low frequency electromagnetic and resistivity data*" Journal of Applied geophysics 57, 155-166.

Telford W.M., Geldart L.P, and Sheriff R.E. (1991), "*Applied geophysics*", second edition Cambridge university press, p 45-47 and 522-560.

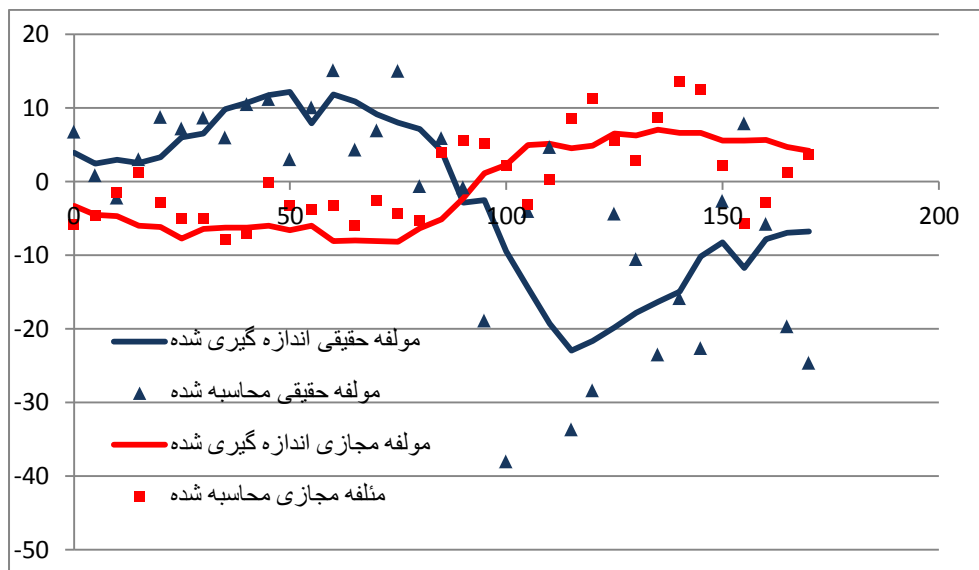
Terry J. Crebs, (1996), "*Discovery geophysics of the Voisey's Bay Ni-Cu-Co deposits, Labrador, Canada*", SEG Technical Program Expanded Abstracts 1996: pp. 617-618

پیوست الف

نمودار داده‌های مولفه حقیقی و موهومی (مجازی)

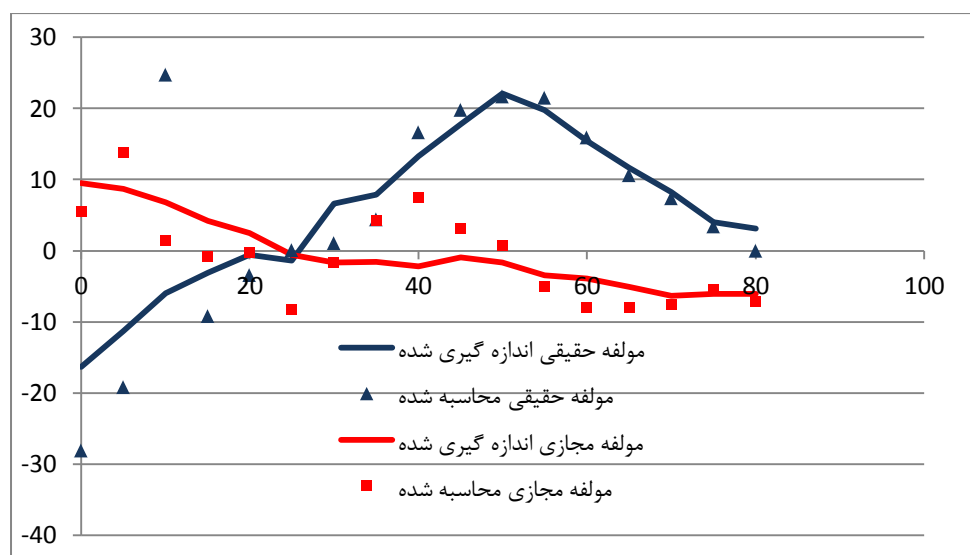
محاسبه شده و اندازه‌گیری شده **VLF** با استفاده از

INV2DVLF نرم‌افزار



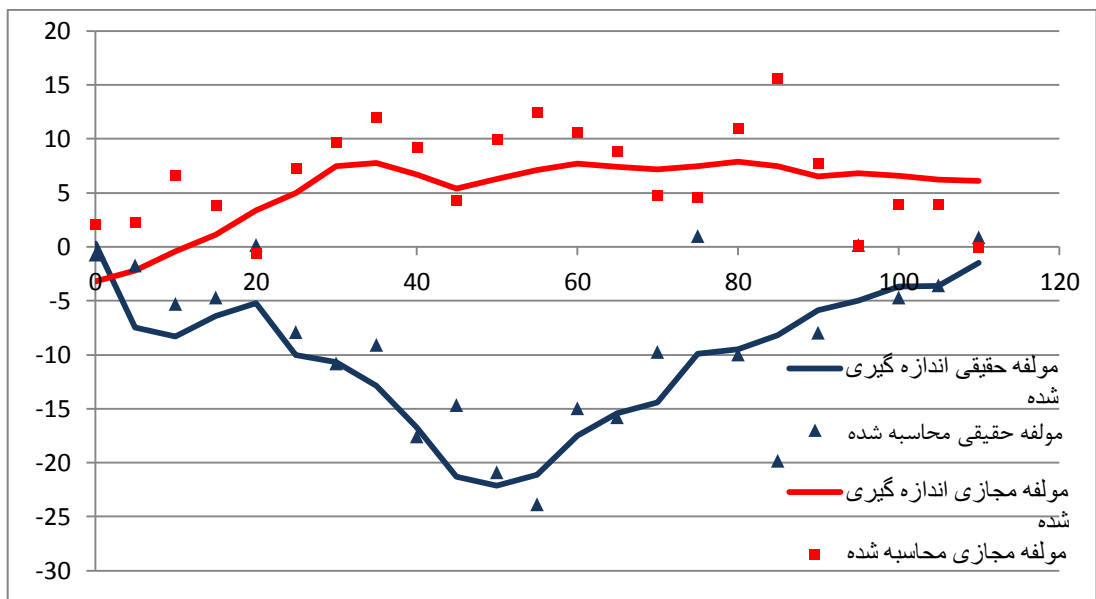
شکل الف-۱: نمودار داده‌های مولفه حقیقی و مجازی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده VLF با استفاده از نرم-

افزار INV2DVLF برای پروفیل P01



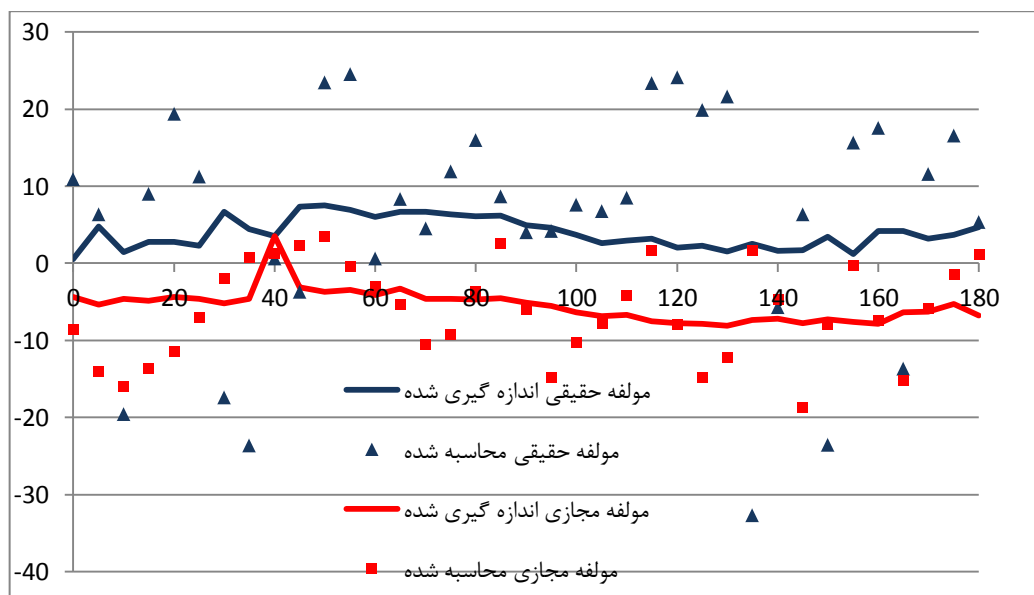
شکل الف-۲: نمودار داده‌های مولفه حقیقی و مجازی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده VLF با استفاده از

نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل P02



شکل الف-۳: نمودار داده‌های مولفه حقیقی و مجازی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده VLF با استفاده از نرم‌افزار

INV2DVLF برای پروفیل P07



شکل الف-۴: نمودار داده‌های مولفه حقیقی و مجازی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده VLF با استفاده از نرم‌افزار

INV2DVLF برای پروفیل P06

Abstract

One of the geophysical methods for metal ores exploration (e.g. Copper) is electromagnetic (EM) techniques. These methods are sensitive to the variation of electrical property of subsurface materials; hence, these are enabling to detection of zones with indicator electrical conductivity. The aims of this study is collecting, modeling and interpreting of EM data for copper exploration by using the VLF and EM34-3 equipment in Mayamay city which is located in Semnan province. To achieve this purpose, the EM data was measured on 3 profiles (P01, P02 and P07) with E-W direction and one controlling profile (P06) with N-S direction was done. . EM34-3 data collection with using two different transmitters and receiver arrays which is called vertical dipole (VDM) and horizontal dipole (HDM) polarization modes was done. The results of data inversion modeling in EM34-3 equipment, VLF data and inverse model 3D show of sections, illustrated there is three trends of possible porphyry copper mineralization in roughly North-South in basaltic host rocks. The results illustration, 3 possible anomaly zones are in P01 profile in 0 to 20, 60 to 120 and 140 to 170 meters from the profile source and also 3 possible anomaly zone in P02 profile at 0 to 10, 20 to 60 and 60 to 80 meters have been seen. Also P07 profile has 2 possible anomaly zones at 5 to 70 and 80 to 110 meters from the source profile. Throughout the P06 profile, the anomaly zones with low conductivity at the depth of approximately 10 meters of their origin are available. In the end, to have a better interpretation, the results of 2D inversion of EM data were compared with IP and RES data along two profiles which obtained in previously collection. This comparison of results indicates that the resolution of IP and RES methods is higher for depth more than 40 meters.

Keywords: Copper Deposit, VLF and EM34 Data, IP and RES Data, Mineralization Zones, Inversion Model.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**Surveying, Processing, modeling and interpretation of EM34 and VLF
data in Dochileh copper index, Mayamey and comparing results with
resistivity modeling and IP in Dochileh copper Index**

Minoo Ahmadi

Supervisors:

Dr. Alireza Arab Amiri & Dr. Ali Moradzadeh

Adviser:

Mehdi Zarei

September 2015