

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد

استفاده از روش های اکتشاف الکترومغناطیسی VLF و EM34-3 جهت مطالعه
اثرات زیست محیطی باطله های کارخانه زغالشویی البرز شرقی

دانشجو

فرزین امیرخانی شیراز

اساتید راهنما

دکتر علی مرادزاده

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

استاد مشاور

دکتر علیرضا عرب امیری

زمستان ۱۳۸۹

تقدیم به

دست‌های زحمتکش پدر

و

محبت‌های بی‌دریغ مادر

تقدیر و تشکر

سرآغاز حمد و سپاس پروردگار کریم را که یاری بخش این بنده حقیر بود.

نگارنده بر خود لازم می‌داند که از زحمات بی‌دریغ و راهنمایی‌های ارزشمند اساتید بزرگوار جناب آقایان دکتر علی مرادزاده و دکتر فرامرز دولتی ارده‌جانی در انجام این پایان‌نامه تشکر و قدردانی نماید. از استاد ارجمند جناب آقای دکتر علیرضا عرب امیری که در تمام مراحل کار صمیمانه مرا یاری نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از جناب آقای دکتر Monteiro Santos از دانشگاه لیسبون پرتغال به خاطر راهنمایی‌های ارزشمند و همچنین در اختیار قرار دادن نرم‌افزارهای تجاری لازم کمال تشکر را دارم.

از مدیریت و پرسنل فنی شرکت البرز شرقی، خصوصاً جناب آقای مهندس عباسی، رئیس کارخانه زغالشویی البرز شرقی به خاطر همکاری‌های مفید و ارزنده‌شان تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از جناب آقای مهندس مهدی زارعی، مسئول محترم آزمایشگاه ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود به خاطر همکاری‌های ارزشمندشان تشکر می‌نمایم.

از دوستان گرامی آقایان بهشاد جدیری، قاسم سلیم، سجاد شجاع مجیدآباد، حسین حاتمی، مصطفی رحیمی، علی خلیل‌زاده، فواد میثمی، اکبر شریفی، اسماعیل اسحق‌ی، یاسر مهدی‌زاده، ارژنگ رشمه‌کریم، مجتبی بساکی، فرشاد دارابی، ابوالفضل آبکار، کاظم غزنوی و سایر دوستان که مرا در برداشت داده‌های ژئوفیزیکی یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

داوران محترم جناب آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و سرکار خانم دکتر آرزو عابدی نیز با صبر و درایت این پایان‌نامه را مطالعه نموده و راهکارهای مفیدی ارائه نمودند که از ایشان نیز به واسطه همه تلاشهایشان قدردانم.

در پایان از دوستان گرامی آقایان کیومرث سیف‌پناهی، مهدی طاهرنژاد، علی حسینی، مسلم امیدباد و سایر دوستان که به هر نحوی بنده حقیر را در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

چکیده

آلودگی ناشی از مواد باطله کارخانه زغالشویی البرز شرقی مشکلات زیست محیطی زیادی را ایجاد نموده است. اکسید شدن پیریت موجود در باطله حاصل از شستشوی زغال در معرض اکسیژن هوا و رطوبت، باعث تولید زهاب اسیدی معدن (AMD) می‌شود. فرآیند اکسایش پیریت باعث تغییر در هدایت الکتریکی سنگ‌های در برگیرنده و آب زیرزمینی می‌شود، بنابر این روش‌های ژئوفیزیک الکترومغناطیسی و الکتریکی می‌توانند به طور موثر جهت به نقشه در آوردن زون‌های آلوده شده بکار روند. در تحقیق حاضر، روش الکترومغناطیسی با فرکانس خیلی پایین (VLF) بر روی ۱۱ پروفیل به موازات هم در راستای تقریباً شرقی-غربی و ۲ پروفیل در راستای تقریباً شمالی-جنوبی در پایین دست محل انباشت باطله‌ها جهت شناسایی زون‌های آلوده احتمالی و توزیع آنها در سفره آب‌های زیرزمینی برداشت شد. تفسیر کیفی داده‌های به دست آمده با استفاده از فیلتر فریزر و کاروس- هجالت انجام شده است. تفسیر کمی داده‌های VLF با استفاده از معکوس‌سازی داده‌های تیپر صورت گرفته است. نتایج حاصل از تفسیر روش VLF زون‌های آلوده احتمالی با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم متر را از عمق متوسط تا عمق بیش از ۴۰ متر به ویژه در سمت شرق ناحیه برداشت نشان می‌دهند. در ادامه جهت مطالعات بهتر، ۷ پروفیل با دستگاه EM34-3 به عنوان یکی دیگر از روش‌های اندازه‌گیری داده‌های الکترومغناطیسی منطبق بر پروفیل‌های روش VLF برداشت گردیده و مدل‌های معکوس دو بعدی و شبه سه بعدی داده‌های حاصل مورد تفسیر قرار گرفت. علاوه بر آن، ۲ پروفیل با روش مقاومت ویژه در راستای پروفیل-های EM34-3 برداشت گردید. مدل‌های دو بعدی روش EM34-3 نیز در برخی از پروفیل‌ها زون‌های آلوده احتمالی در عمق بیش از ۴۵ متر با گسترش بیشتر در سمت شرق را نشان می‌دهند که با نتایج حاصل از مدل شبه سه بعدی همخوانی مناسبی دارد. نتایج مدل‌سازی‌های حاصل از سه روش زون‌های آلوده احتمالی به صورت پراکنده با مقاومت ویژه کمتر از ۵۰ اهم-متر را عمدتاً در عمق بیش از ۳۰ متر در پایین دست محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با دور شدن از محل انباشت باطله‌ها از سمت شمال به جنوب (جهت حرکت جریان آب‌های سطحی) از میزان آلودگی احتمالی کاسته شده است. نتایج حاصل با مطالعات ژئوشیمی، هیدروژئوشیمی و ژئوفیزیکی قبلی انجام شده همخوانی مناسبی را نشان می‌دهند.

کلمات کلیدی: آلودگی زیست محیطی، زهاب اسیدی معدن، محل انباشت باطله، کارخانه زغالشویی البرز شرقی، روش الکترومغناطیسی VLF، روش الکترومغناطیسی EM34-3، مدل سازی معکوس.

فهرست مطالب

۱ فصل اول کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ آلودگی زیست محیطی ناشی از محل انباشت باطله کارخانجات زغالشویی	۴
۳-۱ بررسی سوابق کارهای انجام شده با روش VLF و EM34 در دهه اخیر	۵
۴-۱ اهمیت و ضرورت مطالعه	۱۰
۵-۱ اهداف پایان نامه و روش تحقیق	۱۱
۶-۱ ساختار پایان نامه	۱۲
۲ فصل دوم اصول روش های الکترومغناطیس مورد استفاده	۱۳
۱-۲ مقدمه	۱۴
۲-۲ روش های الکترومغناطیسی در حوزه فرکانس (FEM)	۱۵
۱-۲-۲ عمق پوسته (نفوذ)	۱۶
۲-۲-۲ عدد القاء	۱۷
۳-۲-۲ نسبت میدان ثانویه مغناطیسی (H_s) به میدان اولیه مغناطیسی (H_p)	۱۸
۱-۳-۲-۲ نسبت میدان ثانویه مغناطیسی به میدان اولیه مغناطیسی برای دو قطبی مغناطیسی قائم	۱۹
۲-۳-۲-۲ نسبت میدان ثانویه مغناطیسی به میدان اولیه مغناطیسی برای دو قطبی مغناطیسی افقی	۲۲
۴-۲-۲ اندازه گیری هدایت الکتریکی	۲۲

۲۳	.....	آرایش حلقه های روش FDEM	۵-۲-۲
۲۴	.....	پاسخ تجمعی زمین چند لایه ای	۳-۲
۲۹	.....	روش VLF	۴-۲
۲۹	.....	کمیت های مورد اندازه گیری در روش VLF	۱-۴-۲
۲۹	.....	زاویه شیب	۱-۱-۴-۲
۳۱	.....	اندازه گیری تابع مختلف تیپر در روش VLF	۲-۱-۴-۲
۳۲	.....	فیلتر فریزر و کاروس - هجالت	۲-۴-۲
۳۴	.....	مدل سازی	۵-۲
۳۵	.....	چگونگی مدل سازی عددی نرم افزارهای EM34-3D و EM34-2D، INV2DVLF	۱-۵-۲
۳۶	.....	معکوس سازی ساساکی	۲-۵-۲
۳۸	.....	فصل سوم برداشت و تفسیر داده های VLF	۳
۳۹	.....	مقدمه	۱-۳
۳۹	.....	موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی محدوده مورد مطالعه	۲-۳
۴۰	.....	چگونگی برداشت داده های ژئوفیزیکی	۱-۲-۳
۴۴	.....	ارائه و تفسیر داده های برداشت شده VLF	۳-۳
۴۴	.....	پروفیل V1	۱-۳-۳
۴۷	.....	پروفیل V2	۲-۳-۳
۴۹	.....	پروفیل V3	۳-۳-۳
۴۹	.....	پروفیل V4	۴-۳-۳

۵۲	.....	پروفیل V5	۵-۳-۳
۵۲	.....	پروفیل V6	۶-۳-۳
۵۵	.....	پروفیل V7	۷-۳-۳
۵۵	.....	پروفیل V8	۸-۳-۳
۵۸	.....	پروفیل V9	۹-۳-۳
۵۸	.....	پروفیل V10	۱۰-۳-۳
۶۱	.....	پروفیل V11	۱۱-۳-۳
۶۱	.....	پروفیل V12	۱۲-۳-۳
۶۴	.....	پروفیل V13	۱۳-۳-۳
۶۶	.....	نقشه فیلتر خطی فریزر جهت شناسایی گسترش سطحی مناطق آلوده احتمالی	۱۴-۳-۳
۶۶	.....	نمایش سه بعدی مدل مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF	۱۵-۳-۳
۶۹	.....	ارائه و تفسیر داده‌های EM34-3	۴ فصل چهارم
۷۰	.....	مقدمه	۱-۴
۷۱	.....	ارائه و تفسیر داده‌های EM34-3 برای هر یک از پروفیل‌ها	۲-۴
۷۱	.....	پروفیل EM1	۱-۲-۴
۷۵	.....	پروفیل EM2	۲-۲-۴
۷۶	.....	پروفیل EM3	۳-۲-۴
۷۹	.....	پروفیل EM4	۴-۲-۴
۸۱	.....	پروفیل EM5	۵-۲-۴

۸۳	.....	پروفیل EM6	۶-۲-۴
۸۵	.....	پروفیل EM7	۷-۲-۴
۸۷	.....	مدل شبه سه بعدی حاصل از داده‌های EM34	۸-۲-۴
۸۹	<u>مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه</u>		<u>۵ فصل پنجم</u>
۹۰	.....	مقدمه	۱-۵
۹۰	.....	مقایسه بین مدل‌های مقاومت ویژه حاصل از سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه	۲-۵
۹۰	.....	پروفیل‌های E1 و EM1، V3	۱-۲-۵
۹۲	.....	پروفیل‌های EM2 و V4	۲-۲-۵
۹۳	.....	پروفیل‌های E2 و EM3، V5	۳-۲-۵
۹۴	.....	پروفیل‌های EM4 و V6	۴-۲-۵
۹۶	.....	پروفیل‌های EM5 و V7	۵-۲-۵
۹۷	.....	پروفیل‌های EM6 و V8	۶-۲-۵
۹۸	.....	پروفیل‌های EM7 و V9	۷-۲-۵
۹۹	<u>نتیجه‌گیری و پیشنهادات</u>		<u>۶ فصل ششم</u>
۱۰۰	.....	جمع‌بندی نتایج و بحث روی آنها	۱-۶
۱۰۲	.....	پیشنهادات	۲-۶
۱۰۴	.....	منابع و مراجع	۷

فهرست پیوست‌ها

پیوست- الف مقایسه نمودار داده‌های مولفه حقیقی و مجازی اندازه‌گیری شده VLF و محاسبه شده با نرم‌افزار

INV2DVLF برای پروفیل‌های مختلف..... ۱۱۰

پیوست- ب مقایسه نمودار داده‌های هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 و داده‌های هدایت

الکتریکی محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D برای پروفیل‌های مختلف ۱۱۷

پیوست- ج فرمت داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در حالت‌های برداشت HDM و VDM به ازای سه

فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر و داده‌های مدل نهایی حاصل برای پروفیل EM1 ۱۲۴

فهرست اشکال

۲ فصل دوم اصول روش‌های الکترومغناطیس مورد استفاده ۱۳

شکل (۱-۲) اصول روش‌های الکترومغناطیسی القائی ۱۶

شکل (۲-۲) چگونگی ارسال سیگنال‌های الکترومغناطیسی جهت اندازه‌گیری میدان مغناطیسی مربوط به عدد القاء پایین و

عدد القاء بالا..... ۱۹

شکل (۳-۲) طرز قرار گیری سیم پیچ‌های فرستنده و گیرنده نسبت به هم در حالات افقی و قائم ۲۰

شکل (۴-۲) آرایش معمول حلقه‌ها برای روش‌های الکترومغناطیسی در حوزه‌ی فرکانس ۲۳

شکل (۵-۲) مقایسه پاسخ نسبی دوقطبی‌های افقی و قائم..... ۲۶

شکل (۲-۶) پاسخ تجمعی دوقطبی‌های افقی و قائم بر حسب عمق ۲۶

شکل (۲-۷) مدل زمین دو لایه‌ای ۲۸

شکل (۲-۸) نمودار زاویه شیب در بالای یک توده رسانا ۳۰

شکل (۲-۹) مقایسه بین مدل‌سازی معکوس پارامتری و هموار مثلاً برای داده‌های مقاومت ویژه ۳۵

۳ فصل سوم برداشت و تفسیر داده‌های VLF ۳۸

شکل (۳-۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن ۴۰

شکل (۳-۲) بخشی از نقشه زمین‌شناسی شاهرود ۴۱

شکل (۳-۳) نحوه قرارگیری پروفیل‌های برداشت داده‌های VLF (V1-V13)، EM34-3 (EM1-EM7) و مقاومت ویژه (E1)

(E2) نسبت به هم و دمپ باطله ۴۴

شکل (۳-۴) (الف) نمودار داده‌های VLF خام (مولفه حقیقی) پروفیل V1. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبه

شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF ۴۶

شکل (۳-۵) نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده (برای مدل مقاومت ویژه شکل (۳-۴) -

(د)) با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V1 ۴۷

شکل (۳-۶) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V2. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبه

مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF ۴۸

شکل (۳-۷) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V3. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبه

مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF ۵۰

شکل (۳-۸) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V4. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبه

مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF ۵۱

- شکل (۳-۹) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V5. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبهه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF ۵۳
- شکل (۳-۱۰) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V6. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبهه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF ۵۴
- شکل (۳-۱۱) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V7. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبهه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF ۵۶
- شکل (۳-۱۲) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V8. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبهه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF ۵۷
- شکل (۳-۱۳) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V9. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبهه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF ۵۹
- شکل (۳-۱۴) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V10. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبهه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF ۶۰
- شکل (۳-۱۵) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V11. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبهه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF ۶۲
- شکل (۳-۱۶) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V12. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبهه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF ۶۳
- شکل (۳-۱۷) (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V13. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر. (ج) شبهه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF ۶۵
- شکل (۳-۱۸) نقشه فیلتر خطی فریزر برای مولفه حقیقی داده‌های تیپر اندازه‌گیری شده با روش VLF برای پروفیل‌های V1

شکل (۳-۱۹) نمایش سه بعدی مدل مقاومت ویژه با معکوس سازی داده‌های VLF برای پروفیل‌های V1 تا V11

۶۸.....

۴ فصل چهارم ارائه و تفسیر داده‌های EM34-3 ۶۹

شکل (۴-۱) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰

و ۴۰ متر برای پروفیل EM1 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM ۷۲

شکل (۴-۲) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM1. (الف) $\lambda=0.3$.

(ب) $\lambda=3$. (ج) $\lambda=30$. (د) مدل دو بعدی روش مقاومت ویژه. ۷۳

شکل (۴-۳) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D به ازای سه

فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM1. (الف) در حالت HDM. (ب) در حالت VDM ۷۴

شکل (۴-۴) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰

و ۴۰ متر برای پروفیل EM2 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM ۷۵

شکل (۴-۵) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM2. (الف) $\lambda=0.3$.

(ب) $\lambda=3$. (ج) $\lambda=30$ ۷۶

شکل (۴-۶) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰

و ۴۰ متر برای پروفیل EM3 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM ۷۷

شکل (۴-۷) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM3. (الف) $\lambda=0.3$.

(ب) $\lambda=3$. (ج) $\lambda=30$. (د) مدل دو بعدی روش مقاومت ویژه. ۷۸

شکل (۴-۸) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰

و ۴۰ متر برای پروفیل EM4 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM ۷۹

شکل (۹-۴) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM4. (الف) $\lambda=0.3$.

(ب) $\lambda=3$. (ج) $\lambda=30$ ۸۰

شکل (۱۰-۴) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰،

۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM5 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM ۸۱

شکل (۱۱-۴) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM5. (الف) $\lambda=0.3$.

(ب) $\lambda=3$. (ج) $\lambda=30$ ۸۲

شکل (۱۲-۴) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰،

۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM6 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM ۸۳

شکل (۱۳-۴) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM6. (الف) $\lambda=0.3$.

(ب) $\lambda=3$. (ج) $\lambda=30$ ۸۴

شکل (۱۴-۴) نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰،

۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM7 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM ۸۵

شکل (۱۵-۴) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM7. (الف) $\lambda=0.3$.

(ب) $\lambda=3$. (ج) $\lambda=30$ ۸۶

شکل (۱۶-۴) برش‌های افقی (در عمق‌های ۱۰، ۲۵ و ۴۵ متر) از مدل شبه سه بعدی حاصل از معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های

EM34 ۸۸

۵ فصل پنجم مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه ۸۹

شکل (۱-۵) مقایسه بین نتایج مدل‌سازی معکوس سه روش VLF، EM34 و مقاومت ویژه برای پروفیل‌های V3، EM1 و E1.

(الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 (ج) مدل روش مقاومت ویژه ۹۱

شکل (۲-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل های V4 و EM2. (الف) مدل

مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 ۹۲

شکل (۳-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس سه روش VLF، EM34 و مقاومت ویژه برای پروفیل های V5، EM3 و E2.

(الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 (ج) مدل روش مقاومت ویژه ... ۹۴

شکل (۴-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل های V6 و EM4. (الف) مدل

مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 ۹۵

شکل (۵-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل های V7 و EM5. (الف) مدل

مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 ۹۶

شکل (۶-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل های V8 و EM6. (الف) مدل

مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 ۹۷

شکل (۷-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل های V9 و EM7.

(الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 ۹۸

فهرست جداول

۳ فصل سوم برداشت و تفسیر داده های VLF ۳۸

جدول (۱-۳) دستگاه های اندازه گیری و اطلاعات مربوط به هر یک از پروفیل ها. ۴۳

۴ فصل چهارم ارائه و تفسیر داده های EM34-3 ۶۹

جدول (۱-۴) عمق اسمی اکتشاف برای دستگاه EM34 با فواصل جدایش مختلف و فرکانس های متفاوت. ۷۰

فصل اول

کلیات

در ژئوفیزیک اکتشافی هدف پیدا نمودن منابع معدنی، شناسایی یکسری ساختارهای زیر سطحی، مطالعات هیدروژئولوژی، بررسی‌های زیست محیطی و ... می‌باشد که از اهمیت خاصی برخوردار هستند. جهت ثبت اثر هدف اکتشافی مورد نظر، با توجه به مطالعات اولیه بایستی از روش ژئوفیزیکی متناسب با آن استفاده شود. روش‌های ژئوفیزیکی به روش‌های استاتیکی (مثل ثقل سنجی، مغناطیس و ...) و روش‌های دینامیکی (مثل لرزه، الکترومغناطیس و ...) تقسیم می‌شوند. در روش‌های استاتیکی هیچ کنترلی بر ایجاد میدان وجود ندارد اما روش‌های دینامیکی از انعطاف پذیری خاصی برخوردار هستند و جهت دریافت پاسخ بهتر می‌توان میدان را طوری ارسال نمود که به نتیجه مطلوب منتهی شود.

روش‌های الکترومغناطیسی^۱ (EM) یکی از روش‌های ژئوفیزیکی می‌باشد که به صورت میدان‌های طبیعی (مثل مگنتوتلوریک، و ...) و مصنوعی قابل استفاده می‌باشند. همانند سایر روش‌های استاتیکی، کنترلی بر ایجاد میدان‌های طبیعی روش الکترومغناطیسی وجود ندارد. در روش میدان‌های مصنوعی با توجه به هدف مورد نظر و با طراحی یک شبکه برداشت مناسب و همچنین قابلیت دستگاه برداشت می‌توان در جهت دستیابی به نتیجه مطلوب گام برداشت. در روش‌های میدان مصنوعی EM معمولاً از دو سیم پیچ فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود. از طریق 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 نفوذ کرده و سبب ایجاد جریان القایی در توده‌های 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 سیم پیچ گیرنده که در فاصله کوتاهی از سیم پیچ فرستنده قرار دارد، اندازه‌گیری

1. Electromagnetic

می‌شود. عمق مورد تجسس در این روش به فرکانس جریان و میدان ارسالی به زمین، مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی، مشخصات سیم پیچ‌ها (حلقه‌ها)، فاصله جدایش سیم پیچ‌های 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 سیم پیچ گیرنده و انجام محاسباتی می‌توان به مطالعه تغییرات رسانندگی ساختارهای زیرزمینی پرداخت.

عوامل مختلفی باعث تغییر رسانندگی طبقات زیرسطحی می‌شوند که در بررسی‌های زیست محیطی می‌توان اضافه شدن آلاینده‌های رسانا یا مقاوم به واسطه آب از طریق شکستگی‌های زمین شناسی و تخلخل سنگ‌ها را نام برد که به این طریق غلظت ترکیبات آلی و یا غیر آلی را افزایش خواهند داد. بنابراین، آلاینده‌ها ویژگی‌های الکتریکی سنگ‌های در برگیرنده و آب‌های زیرزمینی را تغییر خواهند داد (Al-Tarazi et al., 2008). روش‌های الکترومغناطیسی طی سالیان متمادی جهت به نقشه در آوردن توزیع هدایت الکتریکی مواد زیرسطحی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دستگاه EM34-3 یکی از ابزارهای روش‌های الکترومغناطیسی است^۱ که برای اکتشاف توده‌ها و ساختارهای رسانا که تا عمق تقریبی ۶۰ متری قرار دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد (GEONICS, 2007). سودمندی این روش برای مطالعات هیدروژئولوژی و مطالعات زیست محیطی مخصوصاً جهت به نقشه در آوردن زبانه‌های^۲ آلودگی آب‌های زیرزمینی و توصیف دقیق محل دفن زباله‌ها بخوبی اثبات شده است (Monteiro Santos, 2004). این روش شامل دو سیم پیچ فرستنده و گیرنده می‌باشد که با سه فاصله جدایش متفاوت سیم پیچ با فرکانس‌های مختلف در حالت‌های برداشت با آرایش حلقه‌های متفاوت به صورت دوقطبی‌های افقی^۳ (HDM) و قائم^۱ (VDM) مورد استفاده قرار می‌گیرد (McNeill, 1980).

۱. در حقیقت EM34-3 نام دستگاه اندازه‌گیری الکترومغناطیسی است که برای اکتشافات کم عمق استفاده می‌شود. در این پایان‌نامه هر جا که صحبت از اکتشاف با این دستگاه مد نظر باشد روش EM34-3 به جای آن استفاده می‌شود.

2. Plume

3. Horizontal Dipole Mode

روش الکترومغناطیسی با فرکانس خیلی پایین^۲ (VLF-EM) یکی دیگر از روش‌های اکتشافی الکترومغناطیسی است که به منظور مطالعه ساختارهای زیر سطحی از فرستنده‌های رادیویی پر قدرت با فرکانس‌های ۱۵ تا ۳۰ کیلوهرتز، در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش گیرنده‌ها با اندازه‌گیری مولفه‌های حقیقی (زاویه شیب^۳) و موهومی (الپتیسیته یا بیضی‌وارگی^۴) میدان‌های ثانویه القاء شده به ویژه جهت مطالعات زیست محیطی، هیدروژئولوژی و تهیه نقشه مقاومت ویژه به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Monteiro Santos et al., 2006; Al-Tarazi et al., 2008). برای شناسایی بهتر ساختارهای زیرزمینی و اهداف زیست محیطی، داده‌های برداشت شده توسط فیلتر فریزر^۵ و کاروس- هجالت^۶ مورد تفسیر کیفی تا نیمه کمی قرار می‌گیرند. همچنین به منظور تفسیر کمی از روش مدل‌سازی معکوس داده‌های تیپر^۷ که از روی داده‌های برداشت شده محاسبه می‌شوند، استفاده می‌شود (Fraser, 1969; McNill and Labson, 1975; Karous and Hjelt, 1983; Monteiro Santos et al., 2006).

۱-۲ آلودگی زیست محیطی ناشی از محل انباشت باطله کارخانجات زغالشویی

فعالیت‌های معدنکاری و صنایع فرآوری جوار آنها سبب انباشته شدن مواد معدنی کم عیار و باطله در محیط اطراف می‌شود که این مسئله به نوبه خود باعث آلودگی‌های زیست محیطی در منطقه و مناطق پایین دست شده و در غالب موارد ورود مواد و آلاینده‌های مشتق شده از باطله‌ها و مواد کم عیار (دپو شده در اطراف محدوده‌های معدنکاری و کارخانجات فرآوری وابسته) به درون چرخه آب‌های زیرزمینی و سطحی منطقه، سبب

1. Vertical Dipole Mode
2. Very Low Frequency-EM (VLF-EM)
3. Tilt angle
4. Elipticity
5. Fraser
6. Karous- Hjelt
7. Tipper Data

آلودگی آنها شده و این مسئله اثرات زیان باری را برای محیط زیست سبب می شود. به ویژه کارخانجات شستشوی زغال از این امر مستثنی نبوده و اثرات مخربی را بر محیط زیست فراهم می آورد.

دمپهای باطله کم عیار زغال حاصل از شستشو، علاوه بر اشغال زمینهای وسیع، به دلیل همراهی با کانی پیریت مشکلات زیست محیطی عمده‌ای را همراه خواهد داشت. در این باطله‌ها کانی پیریت در معرض اکسیژن هوا و رطوبت محیط اکسید شده و زهاب اسیدی حاوی غلظت‌های بالای آهن، سولفات و pH پائین را تولید می‌نماید که معمولاً بسته به طبیعت لایه‌های دربرگیرنده زغال، پس از فرآیند اکسایش پیریت، غلظت برخی از فلزات سنگین مانند آهن، منگنز، کروم، کبالت و غیره افزایش می‌یابد. ناخالصی‌های حاصل از شستشوی زغال به صورت معلق یا محلول در آب، و همچنین فلزات و سولفات‌های حاصل از فرآیند اکسایش پیریت و تولید اسید وارد چرخه آب سطحی و زیرزمینی شده و سبب آلودگی‌های زیست محیطی می‌شوند. از این رو بررسی انتشار آلودگی جهت شناسایی زون‌های آلوده و تعیین محدوده آنها برای به کنترل در آوردن و یا اجرای طرح‌های زیست محیطی مربوطه از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است (دولتی و همکاران، ۱۳۸۷).

۱-۳ بررسی سوابق کارهای انجام شده با روش VLF و EM34 در دهه اخیر

مونتریو سنتوس^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۲ روش EM34 را در اطراف چشمه‌های آب معدنی (داغ و سرد) غنی از CO₂ مرتبط با سیستم‌های گسلی در منطقه ویلارلهو داریا^۲ واقع در شمال شرقی پرتغال و به مساحت تقریبی 2 km² جهت شناسایی ساختارهای رسانای کم عمق احتمالی مرتبط با چرخه آب‌های محلی را با معکوس سازی شبه سه بعدی بر اساس الگوریتم هموار منظم مورد بررسی قرار دادند. نواحی با هدایت الکتریکی بالا حاصل از

1 . Monterio Santos

2 . Vilarelho da Raia

مدل‌سازی روش EM34، با آنومالی‌های روش پتانسیل خودزا مرتبط با چشمه‌ها مورد تایید قرار گرفت (Monteiro Santos et al., 2002).

احمد^۱ و کارپنتر^۲ در سال ۲۰۰۳ روش‌های الکترومغناطیسی EM31 و EM34 را جهت به نقشه در آوردن توزیع هدایت الکتریکی در نواحی کارستی با موفقیت انجام دادند (Ahmed and Carpenter, 2003).

مونتریو سنتوس و همکاران در سال ۲۰۰۴ با روش VLF و مگنتوتلوریک به مطالعات هیدروژئولوژیکی در جزیره سانتیاگو پرداختند. داده‌های حاصل از روش VLF زون‌هایی با مقاومت ویژه کمتر از ۲۰ اهم-متر را در عمق حدود ۴۰ متری مرتبط با آب‌های شور مشخص نمود که با نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های روش مگنتوتلوریک نیز این زون‌ها مشاهده گردید (Monteiro Santos et al., 2004).

مونتریو سنتوس در سال ۲۰۰۴ روش EM34-3 را جهت مطالعات هیدروژئولوژیکی مورد استفاده قرار داد. مدل‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم معکوس‌سازی داده‌ها با نتایج حاصل از نمودارهای چاه‌ها و روش مقاومت ویژه همخوانی مناسبی داشت (Monteiro Santos, 2004).

شارما^۳ و بارانوال^۴ در سال ۲۰۰۵ روش VLF را همراه روش مقاومت ویژه جهت شناسایی زون‌های شکسته مرتبط با آب‌های زیرزمینی در سنگ‌های بستر مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل، زون‌های شکسته کم‌عمق را در شمال منطقه مورد مطالعه و زون‌های شکسته عمیق را در جنوب آن منطقه مرتبط با آب‌های زیرزمینی نشان دادند (Sharma & Baranwal, 2005).

-
1. Ahmed
 2. Carpenter
 3. Sharma
 4. Baranwal

مونتریو سنتوس و همکاران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش VLF در منطقه‌ای از پرتغال نشان دادند که دفن زباله باعث آلوده شدن محدوده‌ای از منطقه مورد نظر و همچنین آب‌های زیرزمینی شده است. تفسیر کیفی تا نیمه کمی داده‌های VLF با فیلتر فریزر و کاروس هجالت و تفسیر کمی آنها با مدل‌سازی معکوس داده‌ها به کمک اطلاعات موجود قبلی صورت گرفت. در مدل‌های مقاومت ویژه حاصل از معکوس‌سازی داده‌های VLF زون‌هایی با مقاومت ویژه زیر ۴۰۰ اهم- متر دیده شد که همخوانی مناسبی با نتایج مدل‌سازی حاصل از روش مقاومت ویژه و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در تایید آلوده بودن آب‌های زیرزمینی داشت (Monteiro Santos et al., 2006).

جاردنی^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۷ با روش EM34 و برداشت داده‌ها در دو فصل بهار و تابستان در منطقه‌ای از فرانسه به مطالعه و شناسایی فروچاله‌ها^۲ و به نقشه در آوردن آنها پرداختند که مقادیر بالای هدایت الکتریکی با اندازه‌گیری‌های روش پتانسیل خودزای انجام شده در محل که آنومالی‌های منفی در ارتباط با گودال‌ها را نشان داده‌اند، مطابقت دارد (Jardani et al., 2007).

رامش بابو^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۷ روش VLF را جهت شناسایی زون‌های شکسته حاوی اورانیوم در منطقه-ای از هند بکار بردند. نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌ها، زون‌هایی با مقاومت ویژه کمتر از ۱۰۰ اهم- متر را نشان دادند که با نتایج روش مغناطیس سنجی و حفر گمانه‌های اکتشافی مورد تایید قرار گرفت (Ramesh Babu et al., 2007).

1. Jardani

2. Sinkholes

3. Ramesh Babu

الترازی^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۸ با استفاده از روش VLF آلودگی ناشی از محل دفن زباله بر روی سفره‌های آهکی آب زیرزمینی با عمق کمتر از ۳۰ متر را در منطقه‌ای در کشور اردن مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی‌ها زبانه‌های آلودگی با مقاومت ویژه کمتر از ۲۰ اهم-متر تا عمق حدود ۴۰ متری را نشان دادند که با نتایج حاصل از مطالعات قبلی نظیر آنالیز نمونه‌ها و روش مقاومت ویژه همخوانی مناسبی داشت (Al-Tarazi et al., 2008).

راملهو^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۹ روش EM34-3 را به همراه روش مقاومت ویژه و روش لرزه‌نگاری (انعکاسی و انکساری) در منطقه‌ای در پرتغال جهت مطالعات هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی، به ویژه به منظور شناسایی زون‌های شکسته مرتبط با چرخه آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. محافظت سفره آب‌های زیرزمینی منطقه از آلودگی آب‌های ناشی از معادن روباز متروکه اورانیوم که به عنوان محل ذخیره مواد باطله معادن منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرند، از اهمیت خاصی برخوردار است. نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های EM34-3 همخوانی مناسبی با روش مقاومت ویژه و لرزه داشت که با اطلاعات حاصل از چاه‌های منطقه نیز مورد تایید قرار گرفت (Ramalho et al., 2009).

گورر^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۹ روش VLF را جهت شناسایی گسل‌های مرتبط با زلزله در نواحی در اطراف مناطق شهری در کشور ترکیه با موفقیت انجام دادند (Gürer et al., 2009).

ترینتافیلیس^۴ و بوچانان^۱ در سال ۲۰۱۰ در منطقه‌ای از استرالیا با استفاده از روش EM34-3 مطالعاتی در مورد شوری مواد زیرسطحی از عمق ۶ تا ۱۲ متری جهت به نقشه در آوردن توزیع فضایی مقدار شوری متوسط به

1. Al- Tarazi

2. Ramalho

3. Gürer

4. Triantafilis

منظور مدیریت بهتر زیست محیطی انجام دادند. آنها در نهایت یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه بین هدایت الکتریکی حاصل از آنالیز نمونه‌ها و داده‌های به دست آمده از روش EM34-3 را با استفاده از یک مدل خطی پیشرو ارائه نمودند (Triantafilis and Buchanan, 2010).

جدیری در سال ۱۳۸۵ روش VLF را همراه روش مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی جهت شناسایی زون‌های آلوده احتمالی ناشی از محل انباشت باطله‌های کارخانه زغالشویی البرز شرقی مورد بررسی قرار داد. تفسیر کیفی تا نیمه کمی داده‌های VLF تا حدودی توانست گسترش زون‌های آلوده احتمالی را مشخص نماید که زون‌های آلوده شناسایی شده با نتایج حاصل از برداشت و مدل سازی داده‌های روش مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در طی زمان‌های مختلف به صورت Time laps مورد تأیید قرار گرفت. همچنین نتایج ژئوفیزیکی حاصل با آنالیز نمونه‌های گرفته شده از دمپ باطله‌ها مبنی بر پتانسیل تولید آلودگی تأیید شد (جدیری، ۱۳۸۵).

مرادزاده و همکاران (۱۳۸۵) از روش VLF جهت شناسایی آلودگی حاصل از زهاب‌های اسیدی محل انباشت باطله‌های زغالشویی البرز شرقی شاهرود استفاده نمودند. بررسی‌ها بر روی ۶ پروفیل با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی زمین در پایین دست محل انباشت باطله‌ها انجام گرفت و در نهایت دو زون آلوده احتمالی در منطقه شناسایی گردید (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۵).

مرادزاده و همکارانش در سال ۱۳۸۶ طی کار جداگانه‌ای آلودگی ناشی از باطله‌های شستشوی زغال‌سنگ البرز شرقی را با روش VLF و ژئوالکتریک مورد بررسی قرار دادند. مدل‌سازی و تفسیر داده‌ها نشان دادند که سد باطله زغال کارخانه زغالشویی مناطق قابل توجهی را آلوده کرده است (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۶ الف و ب).

در ادامه مرادزاده و همکاران (۱۳۸۶) به مطالعه محدوده آلودگی ناشی از معدنکاری سرب و روی تاش شاهرود با روش‌های ژئوفیزیکی VLF، IP و مقاومت ویژه پرداختند. نتایج بررسی‌ها و مدل‌سازی‌های صورت گرفته نشان

داد که باطله‌های معدنی مناطق پایین دست محدوده را در راستای طول و عمق آلوده نمودند (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۶ ج a; Moradzadeh et al., 2008).

زارع در سال ۱۳۸۷ روش VLF را به همراه روش مقاومت ویژه جهت شناسایی و گسترش زون‌های آلوده احتمالی ناشی از مواد باطله حاصل از شستشوی زغال کارخانه زغالشویی البرز شرقی مورد مطالعه قرار داد. تفسیر کیفی تا نیمه کمی داده‌های VLF گسترش زون‌های آلوده به عمق بیشتر را نشان دادند که با انجام سونداژهای الکتریکی و برداشت سه بعدی داده‌های مقاومت ویژه انتشار آلودگی در آب‌های زیرزمینی با جزئیات بیشتر مورد تأیید قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های مطالعات ژئوشیمی زیست محیطی نیز انتقال فلزات سنگین به واسطه تولید زهاب اسیدی از مواد باطله به آب‌های زیرزمینی را مورد تأیید قرار داد (زارع، ۱۳۸۷).

۴-۱ اهمیت و ضرورت مطالعه

با توجه به اینکه امروزه مطالعات زیست محیطی نقش تعیین کننده در اجرای هر طرح صنعتی به ویژه طرح‌های معدنی دارد بنابراین ارزیابی اثرات و پیامدهای زیست محیطی به صورت دقیق در این گونه موارد از اهمیت فوق العاده ای برخوردار می باشد. کارخانجات زغالشویی از چنین امری مستثنی نبوده، به ویژه مواد باطله حاصل از فرآوری و محل نامناسب انباشت آنها یکی از عوامل اصلی مشکلات زیست محیطی در این مناطق می باشد. ورود عناصر سمی و فلزات سنگین ناشی از مواد باطله کارخانه زغالشویی البرز شرقی به سفره‌های آب زیرزمینی که به عنوان آب شرب و کشاورزی توسط اهالی منطقه در پایین دست مورد استفاده قرار می گیرد یکی از مشکلات و عوامل نگران کننده زیست محیطی این منطقه می باشد. علاوه بر این، آلودگی آب‌های سطحی و زیست‌گاه‌های گونه‌های مختلف حیوانی و رشد و تکثیر گونه‌های گیاهی را تهدید می کند. بنابر این محافظت از سفره‌های آب زیرزمینی منطقه امری ضروری به نظر می آید.

به همین منظور، روش VLF با توجه به سرعت زیاد اندازه‌گیری، عدم نیازمندی به فرستنده مصنوعی جهت اندازه‌گیری و هم‌اینکه مطالعات قبلی انجام شده با این روش در این منطقه به صورت کیفی تا نیمه کمی تفسیر شده‌اند، جهت تفسیر کمی به منظور تعیین عمق و گسترش آلودگی‌های احتمالی مورد استفاده قرار گرفت. جهت مطالعات دقیق‌تر و مقایسه بهتر برای اولین بار در کشورمان یکسری داده‌های EM با دستگاه EM34-3 (ساخت شرکت ژئونیکس) با توجه به سرعت بالای عملیات برداشت این روش، در منطقه برداشت گردید که نتایج چنین بررسی‌هایی می‌تواند برای سایر موارد مشابه و توسعه یک استراتژی کنترل زیست محیطی مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۵ اهداف پایان‌نامه و روش تحقیق

هدف اصلی مطالعه حاضر، برداشت و مدل‌سازی داده‌های VLF با دستگاه سوئدی WADI در پایین دست محل انباشت باطله‌های حاصل از کارخانه زغالشویی البرز شرقی می‌باشد. همچنین جهت ارائه تفسیر مناسب و همچنین فهم درست از گسترش سطحی و عمقی نواحی آلوده شده شناسایی شده از مرحله قبلی، برداشت و مدل‌سازی داده‌های EM با دستگاه EM34-3 در حالت‌ها و مدهای مختلف قرارگیری سیم پیچ‌های فرستنده و گیرنده با فرکانس و جدایش متفاوت سیم پیچ‌ها نیز انجام شده است. در ادامه جهت به نقشه در آوردن دقیق‌تری از گسترش سطحی و عمقی زون‌های آلوده شده محیط اطراف انباشت باطله، نتایج روش‌های مختلف مقایسه شده‌اند. به همین منظور ۱۱ پروفیل در راستای تقریباً شرقی- غربی و ۲ پروفیل در راستای تقریباً شمالی- جنوبی جهت اندازه‌گیری داده‌های VLF، همچنین ۷ پروفیل برای اندازه‌گیری داده‌های EM34-3 و ۲ پروفیل جهت اندازه‌گیری داده‌های روش مقاومت ویژه در راستای تقریباً شرقی- غربی در محدوده‌ای به وسعت ۹ هکتار انجام شد. مدل‌سازی داده‌های VLF با استفاده از نرم‌افزارهای تجاری KHFFILT (Pirttijarvi, 2004)، (Monteiro Santos, 2007 a) INV2DVLF انجام شده است. همچنین مدل‌سازی داده‌های EM34-3 به کمک

نرم افزارهای تجاری (Monteiro Santos, 2007 b) EM34-2D، (Monteiro Santos, 2007 b) EM34-3D و مدل سازی داده های مقاومت ویژه با نرم افزار RES2DINV (Lock, 2002) صورت گرفته است.

۱-۶ ساختار پایان نامه

این پایان نامه در ۶ فصل به شرح ذیل نگارش شده است:

در فصل اول کلیاتی در مورد آلودگی ناشی از باطله کارخانجات زغالشویی، مروری بر کارهای دیگران در زمینه الکترومغناطیس و اهداف کار اشاره گردیده است. در فصل دوم، اصول کلی روش های الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم چگونگی برداشت داده ها، موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه، چگونگی تفسیر کیفی تا نیمه کمی داده های VLF با نرم افزار KHFFILT و مدل سازی معکوس داده های VLF به کمک نرم افزار INV2DVLF جهت تفسیر کمی داده ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در فصل چهارم، مدل سازی معکوس دو بعدی و شبه سه بعدی داده های EM34-3 با نرم افزارهای EM34-2D و EM34-3D انجام شده است. در فصل پنجم مقایسه بین مدل های دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل آخر نتایج کار و پیشنهادات لازم جهت اجرای بهتر مدیریت زیست محیطی منطقه آورده شده است.

فصل دوم

اصول روش‌های الکترومغناطیس

مورد استفاده

۱-۲ مقدمه

روش‌های الکترومغناطیسی طی سالیان متمادی جهت به نقشه در آوردن توزیع هدایت الکتریکی مواد سطحی و زیر سطحی از جمله جهت به نقشه در آوردن زبانه‌های آلودگی آب‌های زیر زمینی، به نقشه در آوردن و کنترل نمودن نفوذ آب‌های شور، مشخص نمودن زباله‌های دفن شده یا متروکه به ویژه تعیین ضخامت آن‌ها، تهیه نقشه‌های زمین شناسی (انواع خاک یا سنگ، لیتولوژی، گسل‌ها و زون‌های خردشده)، مطالعه آب‌های زیرزمینی، کشف حفره‌های کارستی، کشف اشیاء فلزی (مغناطیسی و غیر مغناطیسی) و . . . مورد استفاده قرار گرفته‌اند (McNeill, 1980). به عنوان مثال کاگنیارد^۱ در سال ۱۹۵۳ روش معروف میدان طبیعی یعنی مگنتوتلوریک را جهت بررسی تغییرات میدان الکترومغناطیسی زمین به منظور توزیع هدایت الکتریکی با عمق مورد مطالعه قرار داد. به طور کلی روش‌های الکترومغناطیسی به روش‌های میدان طبیعی^۲ و منابع کنترل شده^۳ (چشمه‌های مصنوعی) طبقه بندی می‌شوند. روش‌های چشمه‌های مصنوعی، یکی از مهمترین و متداولترین روش‌ها برای اکتشافات ساختارهای زیرسطحی کم عمق می‌باشند. استفاده از روش‌های سیم پیچ دوگانه (با یک سیم پیچ فرستنده و یک سیم پیچ گیرنده) به صورت تجاری پس از سال ۱۹۷۰ به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Knoedel et al., 2007). روش‌های اکتشاف الکترومغناطیسی در این فصل براساس کاربرد میدان‌های الکترومغناطیسی با چشمه‌های مصنوعی در حوزه فرکانس^۴ (FDEM) توصیف شده‌اند.

-
1. Cagniard
 2. Natural Field
 3. Controlled Source
 4. Frequency-Domain Electromagnetic Methods (FDEM)

۲-۲ روش‌های الکترومغناطیسی در حوزه فرکانس (FDEM)

معمولی‌ترین اصول بکار رفته در روش‌های FDEM در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. این سیستم از دو سیم پیچ 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 سیم پیچ گیرنده که در فاصله کوتاهی از سیم پیچ فرستنده قرار دارد اندازه‌گیری می‌شود. میدان کلی یک تابع پیچیده شامل قسمت‌های حقیقی و مجازی می‌باشد. قسمت حقیقی که فاز یکسانی با میدان اولیه دارد، مولفه هم فاز^۱ نامیده می‌شود. قسمت مجازی که ۹۰ درجه با سیگنال فرستنده اختلاف فاز دارد، مولفه خارج از فاز^۲، غیر هم فاز^۳ یا مولفه مجازی^۴ نامیده می‌شود. عمق مورد تجسس در این روش به فرکانس جریان و اندازه میدان ارسالی به زمین، مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی، فاصله جدایش سیم پیچ‌های 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 سیم پیچ گیرنده و انجام محاسبات می‌توان به مطالعه تغییرات رسانندگی ساختارهای زیرزمینی پرداخت (McNeill, 1980; Knoedel et al., 2007). اگرچه ارتباط بین پارامترهای بیان شده پیچیده می‌باشد اما با انتخاب مناسب فاصله بندی سیم پیچ‌ها و فرکانس مطلوب می‌توان یک رابطه خطی بین هدایت الکتریکی زمین و میدان مغناطیسی ثانویه به دست آورد. عملیات با استفاده از فاصله بندی سیم پیچ و فرکانس که منجر به چنین

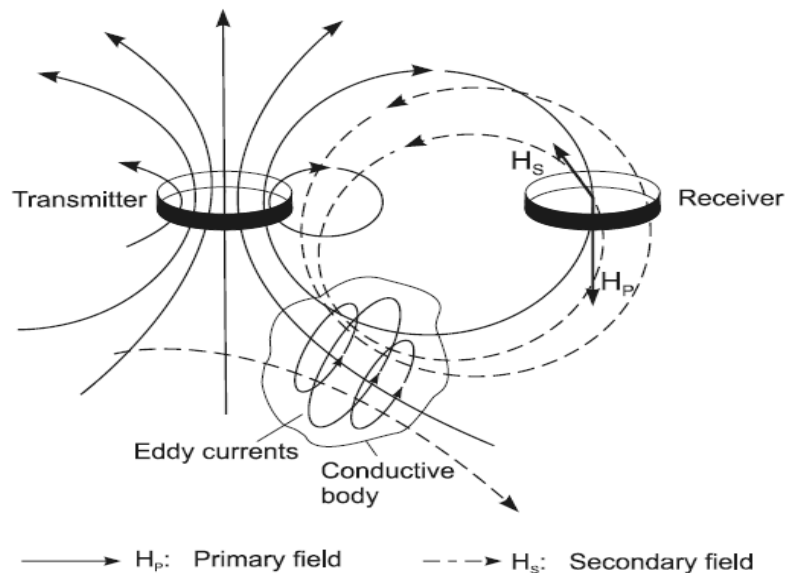
1. In-Phase Component

2. Out-of-Phase Component

3. Outphase Component

4. Imaginary (Quadrature) Component

رابطه خطی می‌شود عملیات در " اعداد القاء پایین ¹ (LIN) " نامیده می‌شود. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی با LIN این امکان را می‌دهد که هدایت الکتریکی به طور مستقیم تعیین گردد (McNeill, 1980). در ادامه مطالب مفهوم عدد القاء آورده شده است.



شکل (۱-۲). اصول روش‌های الکترومغناطیسی القایی (Knoedel et al., 2007).

۱-۲-۲ عمق پوسته

از لحاظ مفهومی عمق پوسته^۲ در یک زمین همگن میزان عمق نفوذی از امواج EM است که دامنه آن به $1/e$ مقدارش در سطح زمین کاهش می‌یابد (McNeill and Bosnar, 1999). عمق پوسته از رابطه (۱-۲) به دست می‌آید:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\sigma}} \quad (1-2)$$

1. Low Induction Numbers

2. Skin Depth

که در آن، δ عمق پوسته (متر)، ω فرکانس زاویه‌ای (هرتز)، μ_0 ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی خلاء (هنری بر متر یا نیوتن بر مربع آمپر) و σ هدایت ویژه الکتریکی زمین (موهوس بر متر) می‌باشد.

با جایگذاری $\omega = 2\pi f$ (Hz) و $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \approx 1.2566370614 \dots \times 10^{-6} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}(\text{N}\cdot\text{A}^{-2})$ در رابطه (۲-۱) عمق پوسته به صورت رابطه (۲-۲) ساده می‌شود:

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

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

همانطور که دیده می‌شود عمق پوسته با استفاده از هدایت الکتریکی زمین و فرکانس عملیات تعیین می‌شود، که با افزایش هدایت الکتریکی و فرکانس کاهش می‌یابد. آنچه که شاید کمتر قابل درک می‌باشد اینست که، هنگامی که موج EM به داخل نیم فضای هموزن منتشر می‌شود (یا به طور دقیق تر نفوذ می‌کند)، فاز مولفه‌های الکتریکی و مغناطیسی موج (نسبت به مقدار سطحی) به طور خطی با فاصله به داخل نیم فضا تغییر می‌کند و سرعت تغییر فاز با فاصله به داخل نیم فضا همراه با کاهش عمق پوسته (مثلاً با افزایش هدایت الکتریکی و فرکانس)، افزایش پیدا می‌کند (McNeill and Bosnar, 1999).

۲-۲-۲ عدد القاء

با توجه به مطالب بیان شده، پارامتری که تعیین می‌کند که آیا میدان ثانویه اندازه‌گیری شده با میدان اولیه اختلاف فاز دارد یا نه (به عبارت دیگر آیا اندازه‌گیری مولفه فاز مجازی میدان مغناطیسی ثانویه به طور مستقیم منجر به هدایت الکتریکی زمین خواهد شد)، نسبتی بین فاصله سیم پیچ گیرنده از سیم پیچ فرستنده (S)، و عمق پوسته (δ) در 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:

$$B = \frac{s}{\delta} \quad (3-2)$$

عدد القاء به دو صورت عدد القاء پایین و عدد القاء بالا^۱ تعریف می‌شود. در شکل (۲-۲) چگونگی ارسال سیگنال‌های الکترومغناطیسی جهت اندازه‌گیری میدان مغناطیسی مربوط به عدد القاء کم و عدد القاء زیاد نشان داده شده است (GEONICS Limited, 2009).

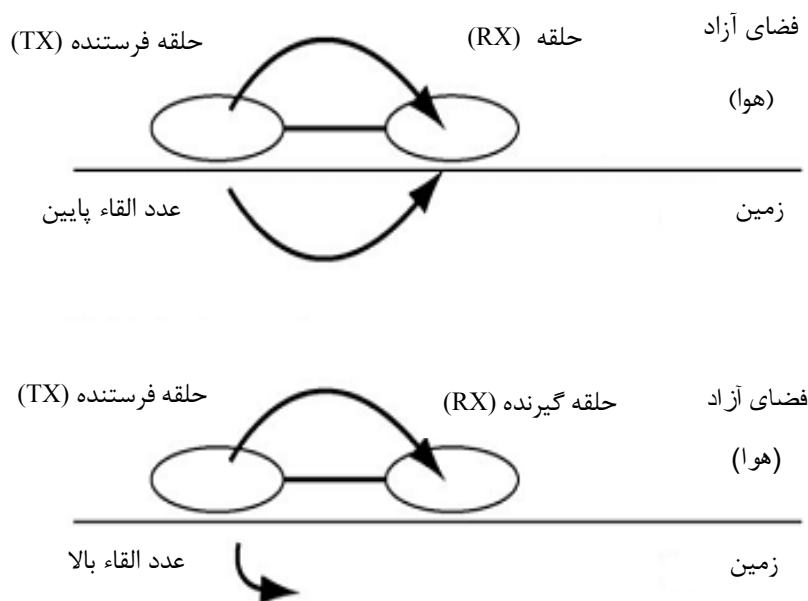
عدد القاء کم به اندازه گیری میدان مغناطیسی خیلی نزدیک به سیم پیچ فرستنده (خیلی کمتر از عمق نفوذ) مربوط می‌شود. در این حالت سیگنال‌های الکترومغناطیسی از سیم‌پیچ فرستنده به سیم پیچ گیرنده از طریق هوا و زمین ارسال می‌گردد (GEONICS Limited, 2009).

عدد القاء زیاد به اندازه گیری میدان مغناطیسی خیلی دور به سیم پیچ فرستنده (بیشتر از عمق نفوذ) مربوط می‌شود. در این حالت سیگنال‌های الکترومغناطیسی از سیم پیچ فرستنده به سیم پیچ گیرنده تنها از طریق هوا ارسال می‌گردد (GEONICS Limited, 2009).

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

با استفاده از مقادیر اختیاری فرکانس فرستنده، هدایت الکتریکی زمین و فاصله جدایش سیم پیچ‌ها برای حالت‌های قرارگیری سیم پیچ‌های فرستنده و گیرنده به صورت افقی یا قائم، می‌توان نسبت میدان ثانویه مغناطیسی به میدان اولیه مغناطیسی را در برداشت‌های EM محاسبه نمود. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد با اندازه گیری این نسبت در محل سیم پیچ گیرنده و انجام محاسبات لازم می‌توان به مطالعه تغییرات رسانندگی ساختارهای زیرزمینی پرداخت.

1. High Induction Number



شکل (۲-۲). چگونگی ارسال سیگنال‌های الکترومغناطیسی جهت اندازه‌گیری میدان مغناطیسی مربوط به عدد القاء پایین و عدد القاء بالا (GEONICS Limited, 2009).

برای فاصله جدایش فرستنده-گیرنده بزرگتر از پنج برابر قطر حلقه‌ها، حلقه‌ها همانند یک دو قطبی مغناطیسی عمل می‌کنند. همانند شکل (۲-۳) دو قطبی مغناطیسی قائم^۱ (VMD) وقتی حاصل می‌شود که سیم پیچ‌ها افقی، و دو قطبی مغناطیسی افقی^۲ (HMD) وقتی حاصل می‌شود که سیم پیچ‌ها قائم هستند (McNeill, 1980).

۲-۳-۱-۲ نسبت میدان ثانویه مغناطیسی به میدان اولیه مغناطیسی برای دو قطبی مغناطیسی قائم

در حالت دو قطبی مغناطیسی قائم سیم پیچ‌های فرستنده و گیرنده (حلقه‌ها به صورت افقی) کلر^۳ و فریشنخت^۱ (۱۹۶۶) نشان دادند که نسبت میدان ثانویه مغناطیسی اندازه‌گیری شده توسط سیم پیچ گیرنده به میدان

1. Vertical Magnetic Dipole

2. Horizontal Magnetic Dipole

3. Keller

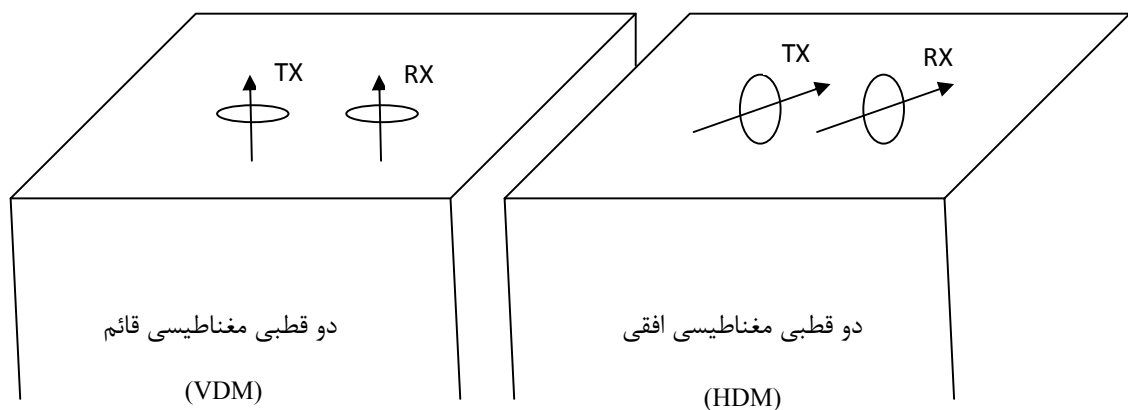
مغناطیسی اولیه که مستقیماً از سیم پیچ فرستنده ناشی می‌شود با استفاده از رابطه (۴-۲) به دست می‌آید
 (McNeill and Bosnar, 1999; Knoedel et al., 2007):

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

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

که در آن، H_p شدت میدان اولیه مغناطیسی، H_s شدت میدان ثانویه مغناطیسی و s فاصله سیم پیچ گیرنده از سیم پیچ فرستنده می‌باشد.

معادله فوق، تابع پیچیده‌ای از متغیر γs می‌باشد. بعبارتی دیگر، تابع پیچیده‌ای از فرکانس و هدایت الکتریکی زمین می‌باشد.



شکل (۳-۲). طرز قرارگیری سیم پیچ‌های فرستنده و گیرنده نسبت به هم در حالت افقی و قائم (McNeill, 1980).

تحت شرایط معین معادله (۴-۲) را می‌توان ساده نمود. کمیت γ_S با استفاده از رابطه (۵-۲) به دست می‌آید:

$$\gamma_S = \sqrt{2i} \frac{s}{\delta} = \sqrt{2i} B \quad (۵-۲)$$

و تحت شرایطی که $B \ll 1$ ، مثلاً وقتی که $|\gamma_S| \ll 1$ ، کافمن^۱ و کلر (۱۹۸۳) نشان دادند که این نسبت به صورت رابطه (۶-۲) تبدیل می‌گردد (McNeill and Bosnar, 1999):

$$\left(\frac{H_S}{H_P} \right) \approx \frac{iB^2}{2} = \frac{i\omega\mu_0\sigma s^2}{4} \quad (۶-۲)$$

بر اساس رابطه (۶-۲)، 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 سیم پیچ گیرنده دریافت می‌شود.

تحت شرایط یکسان عدد القاء کم، کافمن و کلر (۱۹۸۳) نشان دادند که همچنین یک مولفه هم فاز کوچک میدان ثانویه نسبت به میدان مغناطیسی اولیه وجود دارد، که به صورت رابطه (۷-۲) می‌باشد:

$$\left(\frac{H_S}{H_P} \right)_I \approx \frac{8B^3}{15} = \frac{2\sqrt{2}}{15} s^3 (\omega\mu_0\sigma)^{\frac{3}{2}} \quad (۷-۲)$$

باید توجه نمود که برای مقادیر کوچک B مولفه هم فاز میدان ثانویه مغناطیسی خیلی کوچکتر از مولفه فاز مجازی می‌باشد (McNeill and Bosnar, 1999; Knoedel et al., 2007).

۲-۳-۲-۲ نسبت میدان ثانویه مغناطیسی به میدان اولیه مغناطیسی برای دو قطبی مغناطیسی

افقی

کلر و فریشنخت (۱۹۶۶) همچنین برای آرایش دو قطبی افقی سیم پیچ‌های فرستنده و گیرنده (حلقه‌ها به صورت قائم) نسبت میدان مغناطیسی ثانویه به اولیه را به صورت رابطه (۸-۲) ارائه نمودند:

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right) = 2 \left\{ 1 - \frac{3}{(\gamma s)^2} + \left[3 + 3\gamma s + (\gamma s)^2 \right] \frac{e^{-\gamma s}}{(\gamma s)^2} \right\} \quad (۸-۲)$$

همانند قبل، تحت شرایط $|\gamma s| \ll 1$ ، معادله (۸-۲) به صورت رابطه (۹-۲) ساده می‌شود:

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right) \approx \frac{iB^2}{2} = \frac{i\omega\mu_0\sigma s^2}{4} \quad (۹-۲)$$

۴-۲-۲ اندازه گیری هدایت الکتریکی

با توجه به مطالب بیان شده، نسبت میدان مغناطیسی ثانویه به اولیه به طور خطی با هدایت الکتریکی زمین متناسب می‌باشد، که قرائت مستقیم هدایت الکتریکی ظاهری توسط دستگاه اندازه‌گیری را می‌توان از نسبت بین میدان‌های ثانویه و اولیه بر اساس رابطه (۱۰-۲) به دست آورد (McNeill, 1980):

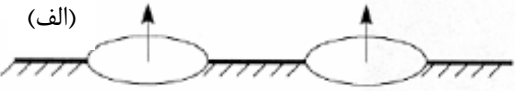

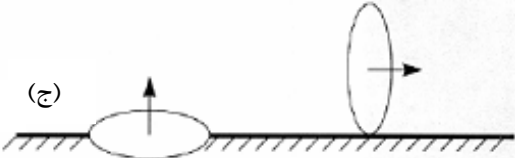
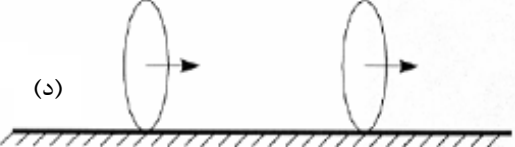
$$\sigma_a = \frac{4}{\omega\mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p}\right) \quad (۱۰-۲)$$

واحد هدایت الکتریکی در سیستم MKS موهس^۱ (زیمنس) بر متر یا به طور متداول‌تر میلی موهس بر متر می‌باشد.

1 . mho

۵-۲-۲ آرایش حلقه‌های روش FDEM

آرایش حلقه‌ها شدیداً بر عمق نفوذ، قابلیت تفکیک‌پذیری و حساسیت روش‌های EM تاثیر می‌گذارد. معمولی-ترین آرایش بکار رفته در روش‌های FDEM در شکل (۲-۴) نشان داده شده است. در عمل، عمدتاً آرایش حلقه‌های هم صفحه افقی^۱ (HCP) و هم صفحه قائم^۲ (VCP) مورد استفاده قرار می‌گیرد. تنها تعداد کمی از دستگاه‌ها برای آرایش‌های (ج) و (د) مناسب می‌باشند. در روش‌های FDEM، عمق نفوذ و قدرت تفکیک اهمیت خاصی دارند (Verma and Sharma, 1995).

فرستنده	گیرنده	جهت حلقه	جهت دو قطبی
(الف)		هم صفحه افقی (HCP, HLEM)	دو قطبی مغناطیسی قائم (VDM)
(ب)		هم صفحه قائم (VCP, VLEM)	دو قطبی مغناطیسی افقی (HMD)
(ج)		حلقه‌ها عمود بر هم (PERP)	دو قطبی‌های عمود بر هم (PERP)
(د)		هم محور قائم (HCA)	دو قطبی مغناطیسی افقی (HMD)

شکل (۲-۴). آرایش معمول حلقه‌ها برای روش‌های الکترومغناطیسی

در حوزه فرکانس (Knoedel et al., 2007).

1. Horizontal Coplanar

2. Vertical Coplanar

۲-۳ پاسخ تجمعی زمین چند لایه ای

پاسخ تجمعی برای محیط‌های لایه‌ای اساس بسیاری از مدل سازی‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری روش‌های الکترومغناطیسی می‌باشد. جهت محاسبه میدان مغناطیسی کل در سطح لایه‌های افقی زمین، محاسبه سهم هر یک از لایه‌ها به طور مستقل مورد نیاز است که تابعی از عمق و هدایت الکتریکی می‌باشد و در نهایت تمامی این مقادیر با هم جمع می‌گردند.

سهم نسبی میدان مغناطیسی ثانویه اندازه‌گیری شده در سطح زمین که از تمامی مواد موجود در زیر عمق Z ناشی شده است از طریق رابطه (۲-۱۱) به دست می‌آید که پاسخ تجمعی نامیده می‌شود و برای هر دو حالت قرارگیری سیم پیچ‌های فرستنده و گیرنده به صورت دو قطبی‌های افقی یا قائم ($R_{H,V}$) مورد استفاده قرار می‌گیرد (McNeill, 1980).

$$R = \int_Z^{\infty} S(Z) dZ \quad (2-11)$$

که در آن تابع $S(Z)$ پاسخ نسبی مواد (سهم نسبی میدان مغناطیسی ثانویه) در عمق‌های مختلف بر حسب تابعی از عمق می‌باشد که به صورت $\phi(Z)$ نیز نشان داده می‌شود و برای حالت‌های دو قطبی قائم و افقی به صورت روابط (۲-۱۲) و (۲-۱۳) به دست می‌آید :

$$S_V(Z) = \frac{4Z}{(4Z^2 + 1)^{3/2}} \quad (2-12)$$

$$S_H(Z) = 2 \frac{4Z}{(4Z^2 + 1)^{1/2}} \quad (2-13)$$

واضح است که تابع $S(Z)$ از رابطه (۲-۱۴) پیروی می‌کند:

$$\int_0^{\infty} S(Z) dZ = 1 \quad (۲-۱۴)$$

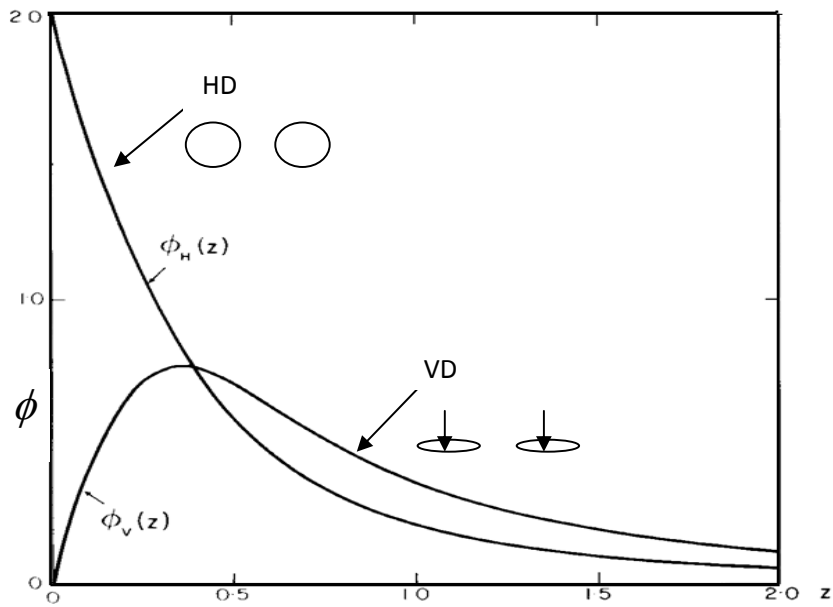
تابع $R(Z)$ ، یا همان تابع پاسخ تجمعی برای حالت‌های دو قطبی قائم و افقی از روابط (۲-۱۵) و (۲-۱۶) حاصل می‌گردد:

$$R_V(Z) = 1/(4Z^2 + 1)^{1/2} \quad (۲-۱۵)$$

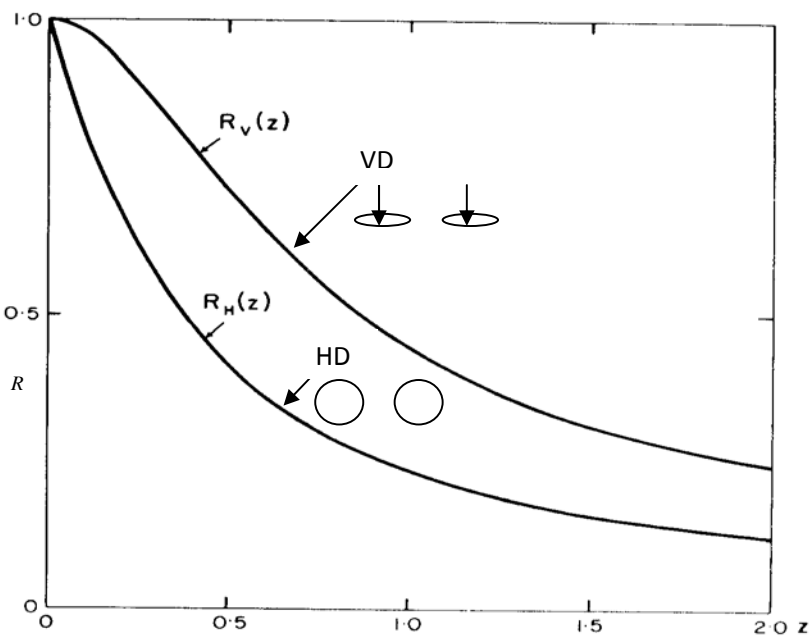
$$R_H(Z) = (4Z^2 + 1)^{1/2} - 2Z \quad (۲-۱۶)$$

در معادلات (۲-۱۲) تا (۲-۱۶) نشان دهنده عمق مورد نظر تقسیم بر فاصله جدایش سیم پیچ‌ها می‌باشد. شکل (۲-۵) پاسخ نسبی مواد (سهم نسبی میدان مغناطیسی ثانویه) در عمق‌های مختلف را نشان می‌دهد. محور افقی بیانگر عمق تقسیم بر فاصله جدایش سیم پیچ‌ها می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود تفاوت پاسخ حاصل برای مواد نزدیک سطح مشهودتر است. به عبارت دیگر روش دو قطبی افقی به تغییرات در مواد نزدیک سطح نسبتاً حساس است در حالیکه روش دو قطبی قائم به چنین تغییراتی نسبتاً غیر حساس است که حداکثر مقدار آن در $0.4Z$ می‌باشد.

شکل (۲-۶) تابع پاسخ تجمعی بر حسب عمق برای دو قطبی‌های افقی و قائم را نشان می‌دهد. مقایسه دو منحنی نشان می‌دهد که روش دو قطبی قائم، عمق اکتشافی موثر تقریباً دو برابر نسبت به روش دو قطبی افقی دارد (McNeill, 1980).



شکل (۲-۵). مقایسه پاسخ نسبی دو قطبی‌های افقی و قائم. در شکل محور افقی $z = \frac{d}{s}$ است که در آن d عمق و s فاصله حلقه‌ها می‌باشد (McNeill, 1980).



شکل (۲-۶). پاسخ تجمعی دو قطبی‌های افقی و قائم بر حسب عمق. در شکل محور افقی $z = \frac{d}{s}$ است که در آن d عمق و s فاصله حلقه‌ها می‌باشد (McNeill, 1980).

با توجه به مطالب بیان شده هدایت الکتریکی ظاهری با استفاده از رابطه (۱۷-۲) حاصل می‌شود:

$$\sigma_a = \int_0^{\infty} S(Z) \sigma(Z) dZ \quad (17-2)$$

همانند شکل (۷-۲) فرض کنید یک زمین دو لایه‌ای وجود دارد. بنابراین هدایت الکتریکی ظاهری لایه بالایی برابر است با :

$$\sigma_a = \sigma_1 [1 - R_V(Z)] \quad (18-2)$$

و هدایت الکتریکی ظاهری لایه دوم از رابطه (۱۹-۲) حاصل می‌شود:

$$\sigma_a = \sigma_2 R_V(Z) \quad (19-2)$$

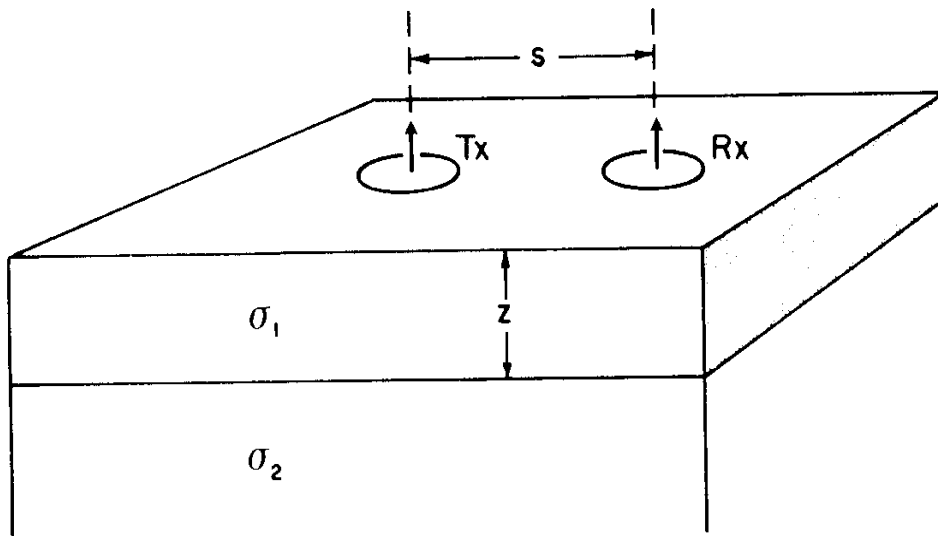
بنابراین هدایت الکتریکی ظاهری کل حاصل از مجموع دو لایه برابر است با:

$$\sigma_a = \sigma_1 [1 - R_V(Z)] + \sigma_2 R_V(Z) \quad (20-2)$$

برای یک زمین M لایه‌ای با اضافه نمودن سهم هر یک از لایه‌ها به طور مستقل و با وزن دهی به هر یک از لایه‌ها بر حسب عمق و هدایت الکتریکی، پاسخ تجمعی به صورت رابطه (۲۱-۲) بیان می‌شود :

$$\sigma_a = \sigma_1 [1 - R(Z_1)] + \sum_{i=2}^{M-1} \sigma_i [R(Z_{i-1}) - R(Z_i)] + \sigma_M R(Z_{M-1}) \quad (21-2)$$

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.



شکل (۲-۷). مدل زمین دو لایه‌ای (McNeill, 1980).

مشتقات هدایت الکتریکی ظاهری لایه‌ها نسبت به هدایت الکتریکی لایه‌ها عبارتند از :

$$\begin{aligned} \partial \sigma_a / \partial \sigma_1 &= [1 - R(Z_1)] \quad , \quad 1 < i < M \\ \partial \sigma_a / \partial \sigma_i &= [R(Z_{i-1}) - R(Z_i)] \\ \partial \sigma_a / \partial \sigma_M &= [R(Z_{M-1})] \end{aligned} \quad (2-22)$$

استفاده از پاسخ تجمعی که پاسخ مدل (و مشتقات آنها نسبت به هدایت الکتریکی بلوک‌ها) در هر نقطه اندازه-گیری را محاسبه می‌کند، معمولاً در مدل سازی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این بدان معنی است که تقابل الکترومغناطیسی بین بلوک‌های تشکیل دهنده مدل در نظر گرفته نمی‌شود. هرچند، قیدهای الگوریتم معکوس-سازی هموار هدایت الکتریکی هر بلوک تا حدودی به بلوک کناری وابسته است (Monteiro Santos, 2004).

۴-۲ روش VLF

روش VLF یکی از روش‌های ژئوفیزیکی الکترومغناطیسی با فرکانس خیلی پایین است که به دلیل سرعت بالا و هزینه پایین جهت مطالعات زیست محیطی، هیدروژئولوژی و اهداف اکتشافی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از فرستنده‌های رادیویی پر قدرت با فرکانس‌های ۱۵-۳۰ kHz، در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. امواج الکترومغناطیسی 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 (الیپتیسیته) میدان‌های ثانویه القاء شده را اندازه‌گیری می‌کنند. به منظور درک صحیح‌تر ساختارهای زیر سطحی، تفسیر کیفی تا کمی داده‌ها صورت می‌گیرد. جهت تفسیر کیفی تا نیمه کمی داده‌ها از روش فیلتر فریزر و کاروس- هجالت استفاده می‌شود. به منظور تفسیر کمی داده‌ها، معکوس‌سازی داده‌های تیپر مورد استفاده قرار می‌گیرد (McNeill & Labson, 1975; Telford et al., 1991; Milson, 2003).

۱-۴-۲ کمیت‌های مورد اندازه‌گیری در روش VLF

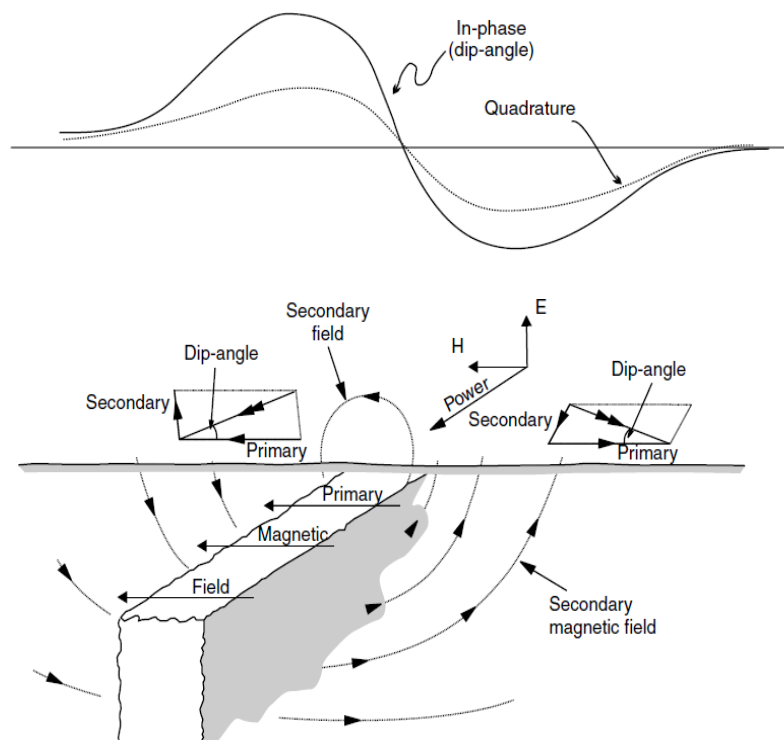
۱-۱-۴-۲ زاویه شیب

زاویه‌ای که بردار برآیند حاصل از میدان‌های اولیه و ثانویه (H_r) با سطح افق می‌سازد، زاویه شیب نام دارد که با θ نشان می‌دهند. در روش VLF میدان اولیه (H_p) افقی و میدان ثانویه (H_s) در اطراف توده زیرسطحی به صورت دوایر متحدالمرکز منتشر می‌شوند. مطابق شکل (۲-۸)، 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).

اسمیت^۱ و وارد^۲ (۱۹۷۴) نشان دادند که زاویه شیب را می‌توان با استفاده از رابطه (۲-۲۳) به دست آورد:

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2 \left(\frac{H_z}{H_x} \right) \cos \varphi}{1 - \left(\frac{H_z}{H_x} \right)^2} \right) \quad (2-23)$$

دامنه میدان ثانویه قائم نسبت به میدان افقی اولیه 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 (۲-۸). نمودار زاویه شیب در بالای یک توده رسنا (Milson, 2003).

1. Smith

2. Ward

الپتیسیته بیضوی قطبش بر اساس رابطه (۲-۲۴) به دست می‌آید:

$$\varepsilon = \frac{b}{a} = \frac{H_z H_x \sin \varphi}{|H_z e^{i\varphi} \sin \theta + H_x \cos \theta|^2} \quad (2-24)$$

زاویه شیب (θ) تقریباً با مولفه حقیقی $\frac{H_z}{H_x}$ برابر و الپتیسیته ($\varepsilon = \frac{b}{a}$) تقریباً با مولفه موهومی $\frac{H_z}{H_x}$ برابر

می‌باشد (McNill and Labson, 1975).

۲-۴-۱-۲ اندازه‌گیری توابع مختلف تیپر 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_x , H_y و H_z) رابطه خطی (۲-۲۵) برقرار است (Gharibi and Pedersen, 1998):

$$H_z = AH_x + BH_y \quad (2-25)$$

برای یک ساختار دو بعدی با گستردگی در امتداد محور x ، در واقع نسبت میدان مغناطیسی قائم به میدان

مغناطیسی افقی ($\frac{H_z}{H_y}$) همان تیپر است و شاخص مهمی در تشخیص ناپیوستگی‌های الکتریکی در تفسیر VLF

می‌باشد. اندازه تیپر در مقابل لبه‌های یک بی‌هنجاری دو بعدی عریض، زیاد و در روی خود آنومالی مقدار صفر خواهد داشت و در روی یک زمین لایه‌ای و همگن نیز مقداری برابر با صفر خواهد داشت. تابع مختلط تیپر به

ساختار زمین بستگی دارد و مستقل از جهت فرستنده می‌باشد (Gharibi & Pedersen, 1998).

عملاً در هر منطقه مورد مطالعه، محور x را در راستای ساختار زمین شناسی (ترجیحاً در جهت فرستنده VLF) و محور y را در راستای پروفیل قرار می‌دهند. در این حالت رابطه (۲-۲۵) به صورت رابطه (۲-۲۶) ساده می‌شود.

$$H_z = BH_y \quad (2-26)$$

زمانی که $A = 0$ باشد، تابع تیپر B برابر با B_{sca} (اسکالر) است.

۲-۴-۲ فیلتر فریزر و کاروس هجالت

فریزر یک فیلتر عددی ساده خطی برای داده‌های زاویه شیب (مولفه حقیقی) ارائه نموده است. این فیلتر جهت تفسیر بهتر آنومالی‌ها، کاهش نویزهای اتفاقی در داده‌ها، تبدیل نقطه فراگذر به پیک و تضعیف اثر طول موج در فواصل طولانی برای افزایش قدرت تفکیک پذیری آنومالی‌های محلی بکار می‌رود. در این روش با میانگین‌گیری از زاویه شیب، پیک‌هایی از محل آنومالی‌ها به دست می‌آید. اگر M_1, M_2, M_3 و M_4 به ترتیب داده‌های مربوط به ۴ نقطه برداشت متوالی باشد، جهت کاهش نویز با محاسبه میانگین ارزش وزنی عددی بر اساس رابطه (۲-۲۷) یک فیلتر بسیار موثر مربوط به مرکز این ۴ نقطه به صورت رابطه (۲-۲۸) 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.

$$\frac{1}{4}(M_2 - M_1) + \frac{1}{2}(M_3 - M_2) + \frac{1}{4}(M_4 - M_3) \quad (2-27)$$

$$F_{2,3} = (M_3 + M_4) - (M_1 + M_2) \quad (2-28)$$

کاروس و هجالت با استفاده از میدان مغناطیسی یک تئوری فیلتر کردن خطی جهت چگونگی رفتار پخش جریان برای یک صفحه فرضی در عمق‌های مختلف را ارائه نمودند. کوچکترین فیلتری که به طور صحیح داده‌های صحرایی را به چگالی جریان معادل (I) با خطای کمتر از ۸ درصد تبدیل می‌کند، به صورت رابطه (۲-۲۹) می‌باشد:

$$\frac{\Delta Z}{2\pi} I \left(\frac{\Delta x}{2} \right) = -0.205H_{-2} + 0.323H_{-1} - 1.446H_0 + 1.446H_1 - 0.323H_2 + 0.205H_3 \quad (2-29)$$

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 فرمول (۲-۳۰) برای فیلتر کردن در امتداد پروفیل مشابه روش فیلتر فریزر و همچنین از فرمول (۲-۳۱) برای محاسبه شبه مقطع چگالی جریان معادل برای هر پروفیل استفاده می‌شود (Karous and Hjelt, 1983; Peter and Laurs, 2002):

$$Filter(K-H) = 0.102H_{-3} - 0.059H_{-2} + 0.561H_{-1} - 0.561H_1 + 0.059H_2 - 0.102H_3 \quad (2-30)$$

$$I_a(0) = \frac{2\pi(-0.102H_{-3} + 0.059H_{-2} - 0.561H_{-1} + 0.561H_1 - 0.059H_2 + 0.102H_3)}{\Delta Z} \quad (2-31)$$

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

با استفاده از فیلتر کاروس-هجلت اثر نوفه‌های محلی به طور موثر تعدیل می‌یابد. علاوه بر آن شبه مقطع چگالی جریان ظاهری بر حسب عمق رسم شده و نقشه‌های توزیع چگالی جریان برای استفاده در تفسیر تهیه می‌شوند. 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 کانتورها تا حدودی نشان دهنده شیب رسانا می‌باشد (Karous and Hjelt, 1983).

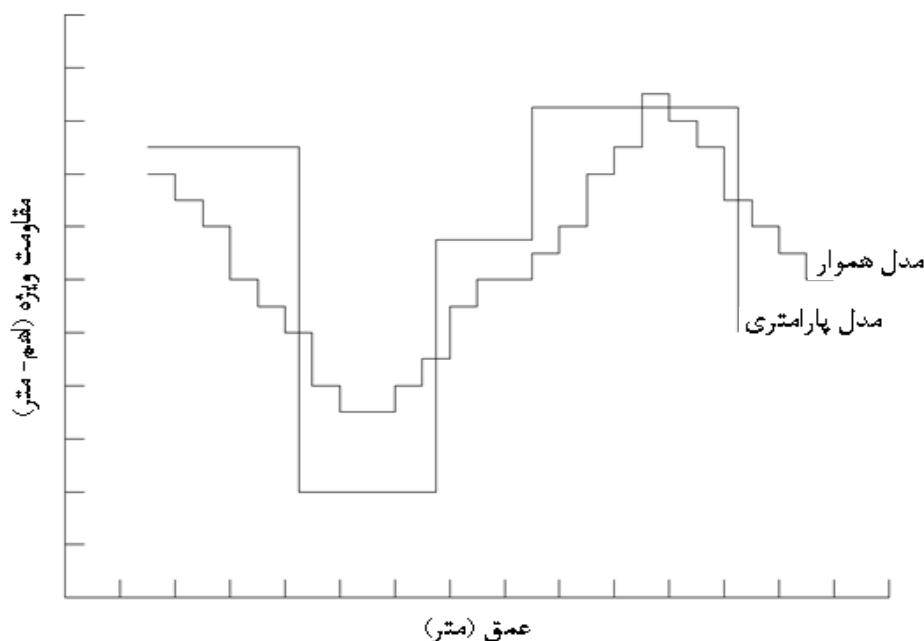
۲-۵ مدل سازی

به چگونگی ارتباط بین داده‌های مشاهده شده یا اندازه‌گیری شده و پارامترهای مورد مطالعه (یا ساختارهای مورد مطالعه) مدل سازی یا شبیه‌سازی گفته می‌شود که هدف آن فهم درست تر ساختارها، ارتباط نتایج حاصل با مدل و کمی سازی آنها، مشخص نمودن هندسه مدل (طول، عرض و ...) و ساختار لایه‌ها می‌باشد.

از آنجایی که تجزیه و تحلیل ساختارهای زیرسطحی مستقیماً از داده‌های ژئوفیزیکی کار مشکلی می‌باشد بنابراین مدل سازی ریاضی جهت تعبیر و تفسیر این ساختارها به صورت کیفی و کمی امری ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه در بیشتر مسائل ژئوفیزیکی هدف رسیدن از داده به مدل می‌باشد از مدل سازی معکوس استفاده می‌شود (اگر هدف رسیدن از مدل به داده باشد مدل سازی پیشرو مورد استفاده قرار می‌گیرد).

در ژئوفیزیک معکوس سازی داده‌ها عمدتاً به دو روش پارامتری و هموار انجام می‌شود (شکل ۲-۹). معکوس سازی پارامتری در مواقعی که داده‌ها کامل نبوده و از دقت کافی بهره‌مند نیستند، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. معکوس سازی پارامتری به ویژه جهت شناسایی تغییرات ناگهانی و مرزهای تیز همانند گسل‌ها قابلیت بهتری دارد. از آنجایی که در طبیعت معمولاً تغییرات داخل لایه‌های زمین به صورت نرم و هموار می‌باشد، بنابراین با افزایش یافتن پارامترها و برای شناسایی بهتر این تغییرات تدریجی ناهمگنی‌ها از معکوس سازی هموار استفاده می‌شود (چاکری، ۱۳۸۴; Loke and Barker, 1996).

تئوری مدل سازی معکوس از مجموعه ی تکنیک‌های ریاضی و آماری (حساب دیفرانسیل و انتگرال، جبر ماتریس، تخمین آماری و استنباطی و غیره) جهت بدست آوردن اطلاعات مفید درباره یک سیستم فیزیکی (یا جهان فیزیکی) از مشاهدات کنترل شده روی سیستم تشکیل یافته است (Meju, 1994).



شکل (۲-۹). مقایسه بین مدل‌سازی معکوس پارامتری و هموار مثلاً برای داده‌های مقاومت ویژه (Constable et al., 1987).

۲-۵-۱ چگونگی مدل‌سازی عددی نرم‌افزارهای INV2DVLF، EM34-2D و EM34-3D

نرم‌افزارهای INV2DVLF، EM34-2D و EM34-3D تحت DOS عمل می‌نمایند. این نرم‌افزارها توسط مونتریو سنتوس طراحی شده است. نرم‌افزار INV2DVLF مدل‌سازی عددی داده‌های صحرایی VLF و نرم‌افزارهای EM34-2D و EM34-3D به ترتیب مدل‌سازی عددی دو بعدی و شبه سه بعدی داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده را انجام می‌دهند. این نرم‌افزارها از روش عناصر محدود جهت معکوس‌سازی هموار داده‌ها استفاده می‌گیرند. این نرم‌افزارها جهت معکوس‌سازی داده‌ها ابتدا به یک مقدار اولیه به عنوان مقدار زمینه برای حل مساله پیشرو قبل از معکوس‌سازی نیاز دارند. با تعیین تعداد تکرار و ضریب لاگرانژ^۱ یا همان

1. Lagrange Multiplier

ضریب میرایی^۱، فایل‌های خروجی ساخته می‌شود. این فایل‌ها شامل اطلاعاتی نظیر داده‌های ورودی و محاسبه شده توسط نرم‌افزار، مدل نهایی و خطای مدل‌سازی است. جهت تفسیر داده‌ها می‌توان از این اطلاعات به ویژه از مدل نهایی به منظور ارائه مقاطع ژئوالکتریک به کمک نرم‌افزارهای موجود (به عنوان مثال Surfer)، استفاده نمود. نمونه‌ای از فایل ورودی و خروجی نرم‌افزار EM34-2D در پیوست (ج) ارائه شده است. در ادامه خلاصه‌ای از الگوریتم معکوس‌سازی به کار رفته در این نرم‌افزارها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۵-۲ معکوس‌سازی ساساکی

الگوریتم معکوس‌سازی هموار-مقید غیر خطی بکار گرفته در این نرم‌افزار بر مبنای روش ساساکی^۲ است که در سال ۱۹۸۹ ارائه شده است. مدل شبکه مورد استفاده در فرآیند معکوس‌سازی (به عنوان مثال برای داده‌های EM34)، شامل تعدادی بلوک می‌باشد که توزیع و اندازه آنها به موقعیت و تعداد فاصله جدایش سیم پیچ به کار رفته جهت به دست آوردن داده‌ها، بستگی دارد. روال مدل‌سازی پیشرو، جهت محاسبه پاسخ هدایت الکتریکی ظاهری مدل بر اساس پاسخ تجمعی ارائه شده توسط مک‌نیل^۳ (به بخش (۲-۳) مراجعه شود) است. معادله بهینه‌سازی در این روش به صورت رابطه (۲-۳۲) بیان می‌شود (Sasaki, 1989; Monteiro Santos, 2002; Monteiro Santos, 2004).

$$\delta P = (WJ^T WJ + \lambda C^T C)^{-1} WJ^T W(d - y) \quad (۲-۳۲)$$

1. Damping Factor

2. Sasaki

3. McNeill

که در آن، P بردار پارامترهای مدل (به طور مثال هدایت الکتریکی (σ_j) بلوک‌ها)، d داده‌های مشاهده شده، y بردار پاسخ مدل و J ماتریس ژاکوبین می باشد که عناصر آن با استفاده از $J_{ij} = \partial y_i / \partial \sigma_j$ به دست می‌آیند. W ماتریس قطری وزنی است که صحت داده‌های اندازه‌گیری شده را بیان می‌کند که همان معکوس واریانس داده‌ها می‌باشد. حرف T بالانویس، نشان دهنده ماتریس ترانپوز می‌باشد. کمیت λ ، ضریب لاگرانژ (ضریب میرایی) می‌باشد که دامنه تصحیحات پارامتر را کنترل می‌کند و بهترین مقدار آن به طور تجربی تعیین می‌شود. عناصر ماتریس C ضرایب مقادیر ناهموار هر پارامتر در بلوک‌ها می‌باشند. عناصر ماتریس C ، برابر با -4 ، 1 یا صفر می‌باشند (Monteiro Santos, 2002; Monteiro Santos, 2004).

یک فرآیند تکراری امکان بدست آوردن مدل نهایی را با استفاده از برازش نمودن پاسخ مجموعه داده‌ها بر داده‌های اندازه‌گیری شده با روش حداقل مربعات می‌دهد. عدم برازش بین داده‌ها و پاسخ مدل با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید (Monteiro Santos, 2004):

$$Q = ((d - y)^T (d - y) / N)^{1/2} \quad (2-33)$$

در رابطه (2-33)، N نشان دهنده تعداد داده‌ها است.

فصل سوم

برداشت و تفسیر داده‌های VLF

۳-۱ مقدمه

در مطالعات ژئوفیزیک زیست محیطی، شناخت اولیه از محیط مورد مطالعه اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین، در این فصل ابتدا توصیف محل، موقعیت جغرافیایی و شرایط زمین شناسی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه کار چگونگی برداشت داده‌های ژئوفیزیکی مورد مطالعه تشریح گردیده است. موضوع اصلی این فصل تفسیر داده‌های VLF برداشت شده با دستگاه سوئدی WADI می‌باشد. تفسیر کیفی داده‌ها به کمک نرم‌افزار KHFFILT جهت شناسایی آلودگی‌های احتمالی ناشی از محل انباشت باطله‌های کارخانه زغالشویی البرز شرقی انجام شده است. به منظور تعیین گسترش عرضی و عمقی آلودگی‌های احتمالی مدل‌سازی معکوس دو بعدی داده‌ها با نرم‌افزار INV2DVLF صورت گرفته است.

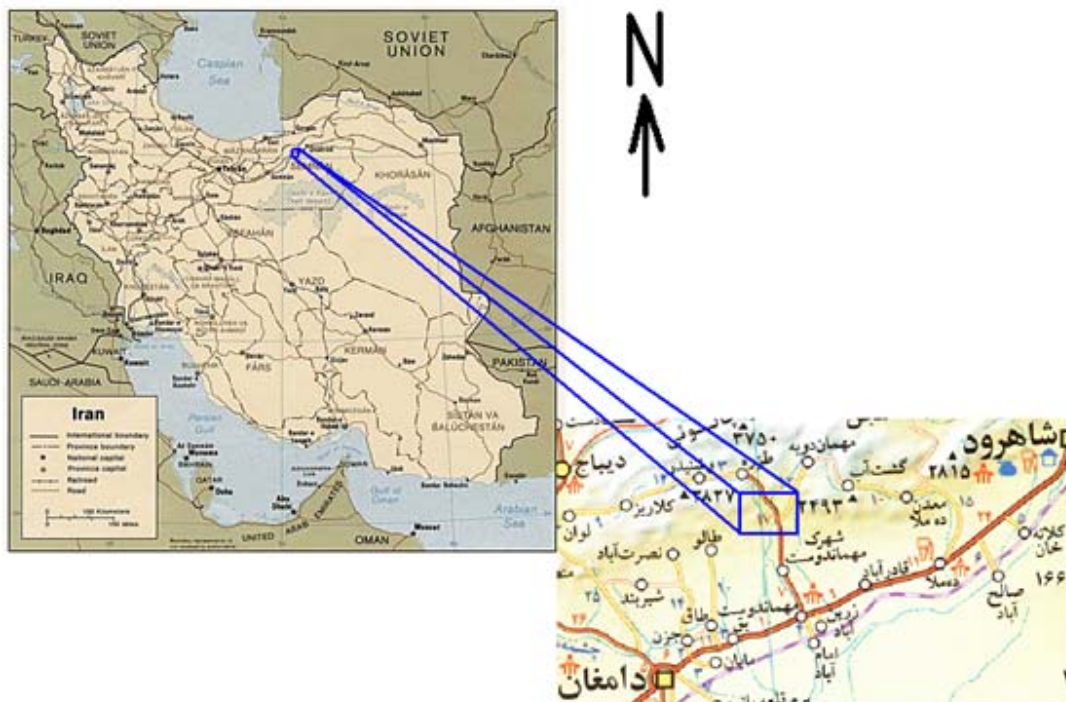
۳-۲ موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

منطقه اکتشافی در ۲۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان دامغان، ۷۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان شاهرود و در مسیر روستای مهماندوست-طرز (بعد از روستای مهماندوست) قرار دارد. شکل (۳-۱) نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد.

در ناحیه مورد بررسی، سنگ‌های پرکامبرین تا عهد حاضر به وفور دیده می‌شوند. سنگ‌های دوران سوم زمین شناسی در این منطقه بیشتر شامل آهک، کنگلومرا، ماسه سنگ و توف می‌باشند. نهشته‌های دوران چهارم زمین شناسی شامل کنگلومرا، ماسه، رس و سیلت به صورت پادگانه‌های آبرفتی و انواع تراس‌ها می‌باشند. در این منطقه، پدیده‌های تکتونیکی عمدتاً دارای روند شرقی-غربی می‌باشند.

شکل (۳-۲) نقشه زمین شناسی منطقه برداشت را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود محدوده مورد مطالعه با رسوبات مخروط افکنه‌ای پوشش یافته است. مهم‌ترین و فراوان‌ترین ماده معدنی منطقه زغال سنگ می‌باشد که در تناوب‌های شیلی سازند شمشک (مربوط به ژوراسیک) در سرتاسر منطقه به صورت رگه‌ها و

عدسی‌هایی گسترش دارد. این زغال سنگ از انواع چرب و کک شو بوده که توسط شرکت زغال سنگ البرز شرقی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (شرکت زغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۶۰؛ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۰).

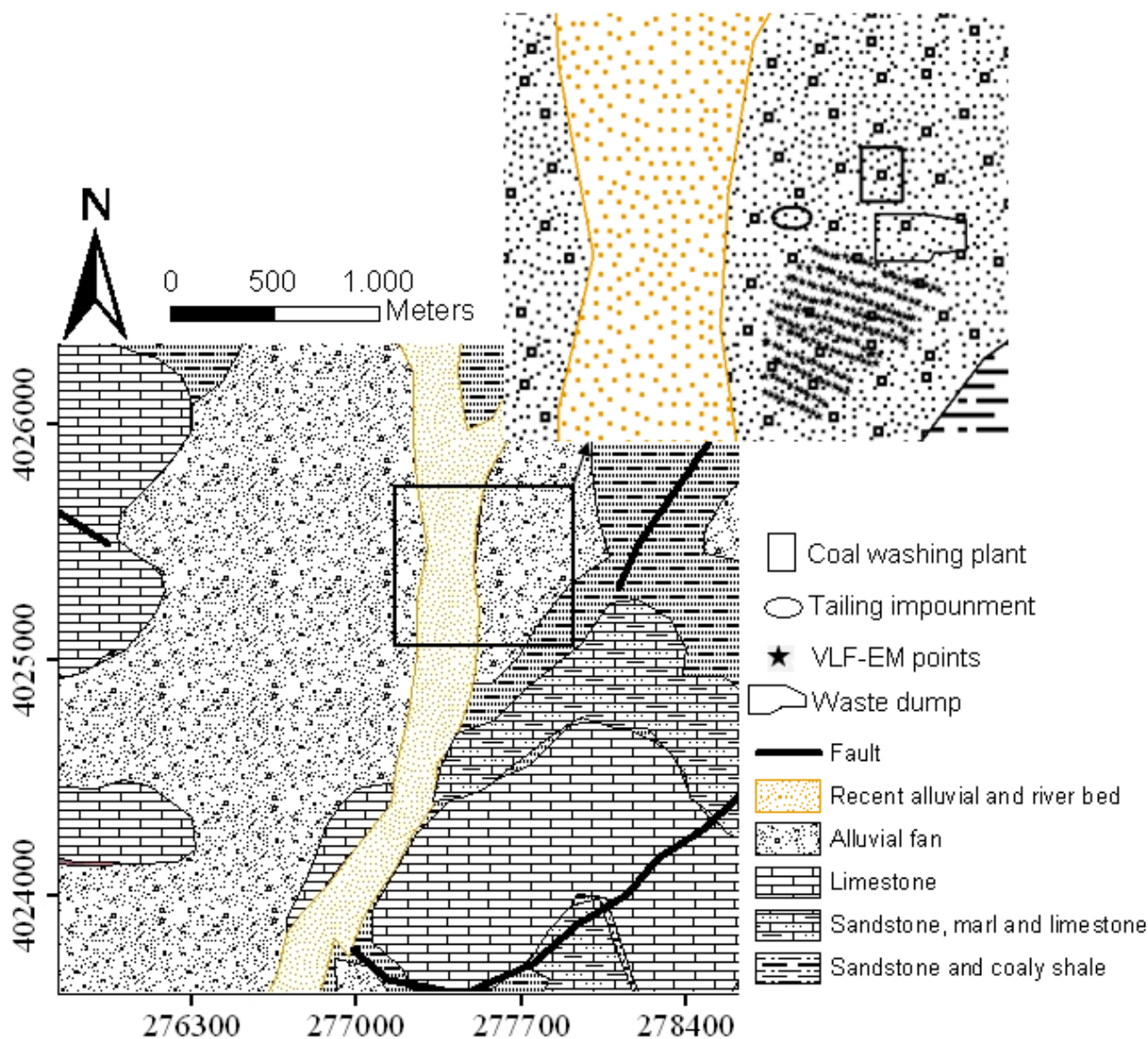


شکل (۱-۳). موقعیت منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به آن (موسسه جغرافیایی ایران، ۱۳۸۰).

۱-۲-۳ چگونگی برداشت داده‌های ژئوفیزیکی

جهت مطالعه اثرات زیست محیطی ناشی از دمپ باطله‌های کارخانه زغالشویی البرز شرقی ابتدا داده‌های VLF به کمک دستگاه سوئدی WADI در طول ۱۱ پروفیل موازی با راستای تقریباً شرقی- غربی و همچنین ۲ پروفیل در راستای تقریباً شمالی- جنوبی در محدوده‌های پایین دست محل انباشت باطله‌ها برداشت شدند

(شکل ۳-۳). فواصل نقاط اندازه‌گیری روی پروفیل‌ها ۱۰ متر، فواصل بین پروفیل‌های شرقی- غربی ۲۰ متر و پروفیل‌های شمالی- جنوبی ۳۰ متر و طول پروفیل‌ها از ۹۰ تا ۲۵۰ متر طراحی شد تا اطلاعات خوبی از گسترش جانبی و عمقی مناطق احتمالاً آلوده شده به دست آید.

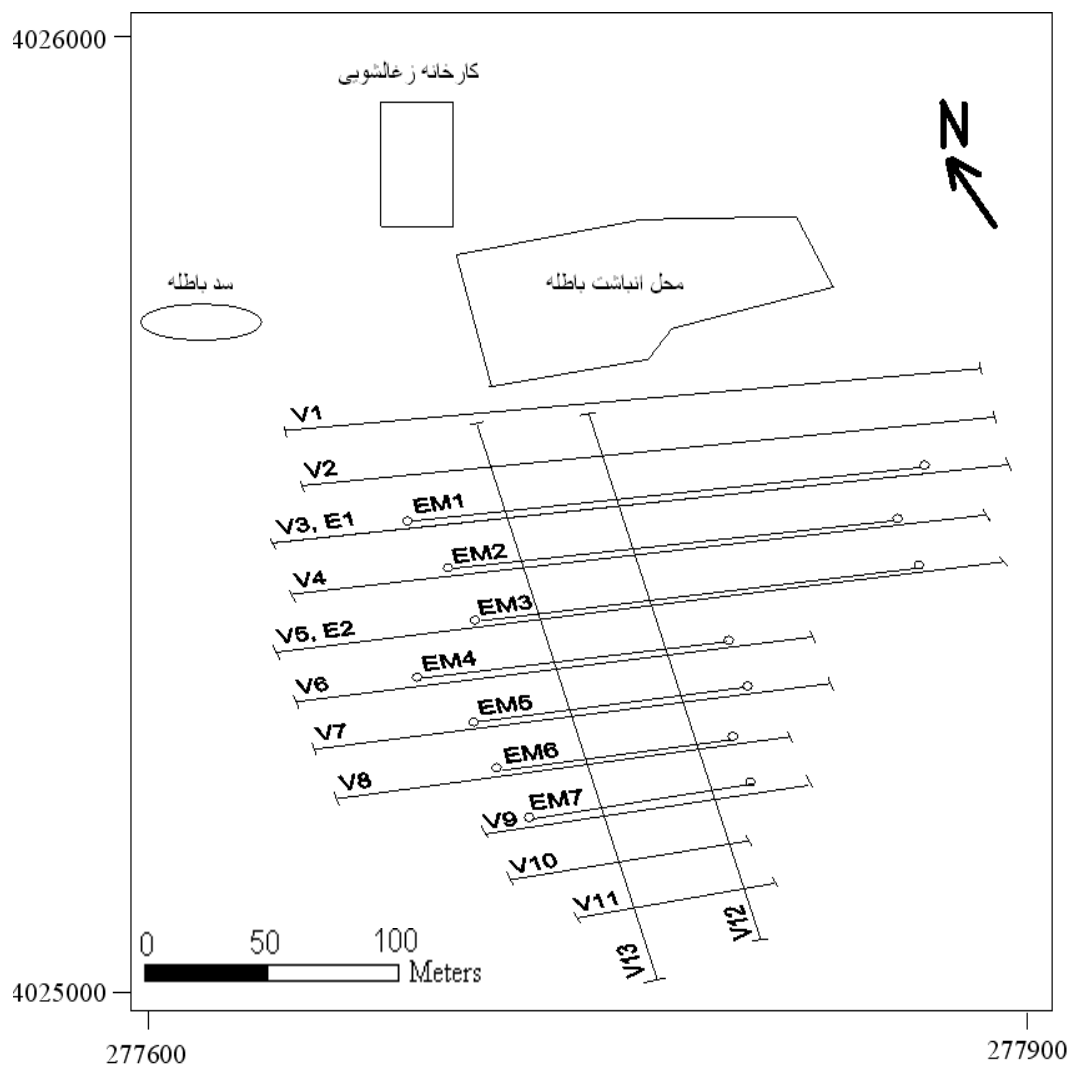


شکل (۳-۲). بخشی از نقشه زمین‌شناسی شاهرود، محدوده مورد مطالعه به صورت کادر مستطیلی مشخص شده است (اصلاح شده از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۰).

در این بررسی، فرستنده (UMS) روسیه با فرکانس ۱۷/۱ kHz برای پروفیل‌های شرقی- غربی و فرستنده (GBZ) انگلستان با فرکانس ۱۹/۶ kHz به عنوان مناسب‌ترین ایستگاه فرستنده امواج رادیویی VLF برای پروفیل‌های شمالی- جنوبی انتخاب شدند. در ادامه کار جهت مطالعات دقیق‌تر، برداشت داده‌های EM با استفاده از دستگاه EM34-3 ساخت شرکت GEONICS متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود بر روی ۷ پروفیل با سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر سیم پیچ‌ها با فرکانس‌های متفاوت در دو حالت آرایش برداشت HDM و VDM در راستای تقریباً شرقی- غربی انجام شد. جهت مقایسه دو روش فواصل نقاط اندازه‌گیری و فواصل بین پروفیل‌ها برای دستگاه EM34-3 یکسان با پروفیل‌های VLF و منطبق بر آنها در نظر گرفته شد. همچنین داده‌های مقاومت ویژه با دستگاه سوئدی SAS1000 متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود بر روی دو پروفیل با استفاده از آرایش دوقطبی- دوقطبی با طول دوقطبی‌های مساوی ۲۰ متر برای تعداد ۸ گام (N=1, 2, 3, . . .) (8 جدایش دوقطبی‌ها برداشت شدند. جدول (۱-۳) اطلاعات هر یک از پروفیل‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۳-۳) موقعیت نسبی پروفیل‌ها و همچنین محل انباشت باطله‌ها را نشان می‌دهد. آزمون پروفیل اول (V1) ۲۸۶ درجه می‌باشد. سپس به میزان ۲۰ متر عمود بر خط پروفیل اول حرکت کرده و بر روی پروفیل دوم (V2) با آزمون معکوس (۱۰۶ درجه) برداشت داده انجام گرفت. به همین منوال، برای پروفیل‌های بعدی به صورت یک در میان با آزمون یکسان با پروفیل‌های V1 و V2، برداشت داده انجام شد. امتداد این پروفیل‌ها (V1 تا V11) تقریباً شرقی- غربی در نظر گرفته شد. پروفیل‌های V12 و V13 عمود بر پروفیل‌های شرقی- غربی برداشت شدند. آزمون پروفیل V12، ۱۹۶ درجه می‌باشد. پروفیل V13 با آزمون معکوس ۱۶ درجه برداشت گردیده است که امتداد پروفیل‌های V12 و V13 تقریباً شمالی- جنوبی در نظر گرفته شده است.

جدول (۱-۳) دستگاه‌های اندازه‌گیری و اطلاعات مربوط به هر یک از پروفیل‌ها.

واحد اندازه‌گیری		نام دستگاه	
مولفه حقیقی و مجازی تیپر		WADI ABEM	
آزیموت پروفیل	طول پروفیل (متر)	نام پروفیل‌های VLF	
۲۸۶	۲۰۰	V1	
۱۰۶	۲۰۰	V2	
۲۸۶	۲۱۰	V3	
۱۰۶	۲۰۰	V4	
۲۸۶	۲۱۰	V5	
۱۰۶	۱۶۰	V6	
۲۸۶	۱۶۰	V7	
۱۰۶	۱۵۰	V8	
۲۸۶	۱۲۰	V9	
۱۰۶	۱۰۰	V10	
۲۸۶	۹۰	V11	
۱۹۶	۲۴۰	V12	
۱۶	۲۵۰	V13	
یادآوری: فاصله بین نقاط اندازه‌گیری پروفیل‌های V1 تا V13 برابر ۱۰ متر، فاصله بین پروفیل‌های V1 تا V11 برابر ۲۰ متر و فاصله بین پروفیل‌های V12 و V13 برابر ۳۰ متر می‌باشد.			
واحد اندازه‌گیری		نام دستگاه	
هدایت الکتریکی ظاهری		EM34-3	
آزیموت پروفیل	طول پروفیل	نام پروفیل‌های EM34-3	
منطبق بر V3	۱۷۰	EM1	
منطبق بر V4	۱۵۰	EM2	
منطبق بر V5	۱۵۰	EM3	
منطبق بر V6	۱۳۰	EM4	
منطبق بر V7	۱۲۰	EM5	
منطبق بر V8	۱۱۰	EM6	
منطبق بر V9	۱۱۰	EM7	
یادآوری: فاصله بین نقاط اندازه‌گیری پروفیل‌های EM1 تا EM7 برابر ۱۰ متر و فاصله بین پروفیل‌های EM1 تا EM7 برابر ۲۰ متر می‌باشد.			
واحد اندازه‌گیری		نام دستگاه	
مقاومت ویژه ظاهری		ABEM SAS 1000	
آزیموت پروفیل	طول پروفیل (متر)	نام پروفیل‌های مقاومت ویژه	
منطبق بر V3	۲۱۰	E1	
منطبق بر V5	۲۱۰	E2	
یادآوری: از آرایش دوقطبی- دوقطبی با طول دوقطبی‌های مساوی ۲۰ متر برای تعداد ۸ گام (N=1, 2, 3, . . . , 8) جدایش دوقطبی‌ها برای پروفیل‌های E1 و E2 با فاصله بین پروفیل‌های ۴۰ متر استفاده گردید.			



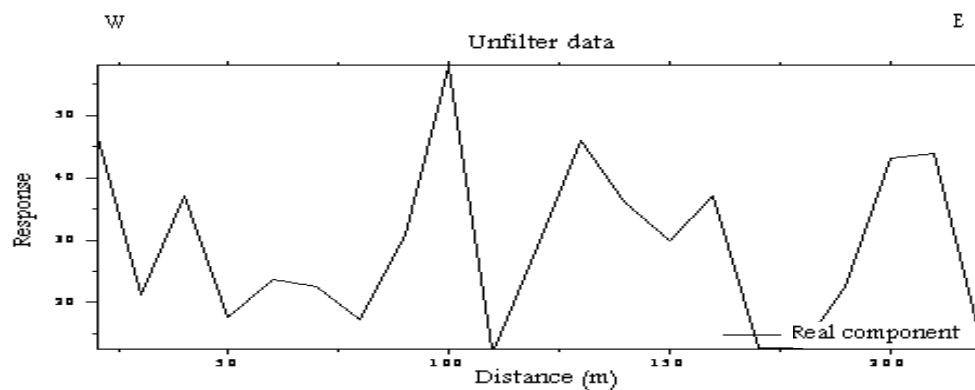
شکل (۳-۳). نحوه قرارگیری پروفیل‌های برداشت داده‌های VLF (V1-V13)،
EM34-3 (EM1-EM7) و مقاومت ویژه (E1, E2) نسبت به هم و دمپ باطله.

۳-۳ ارائه و تفسیر داده‌های برداشت شده VLF

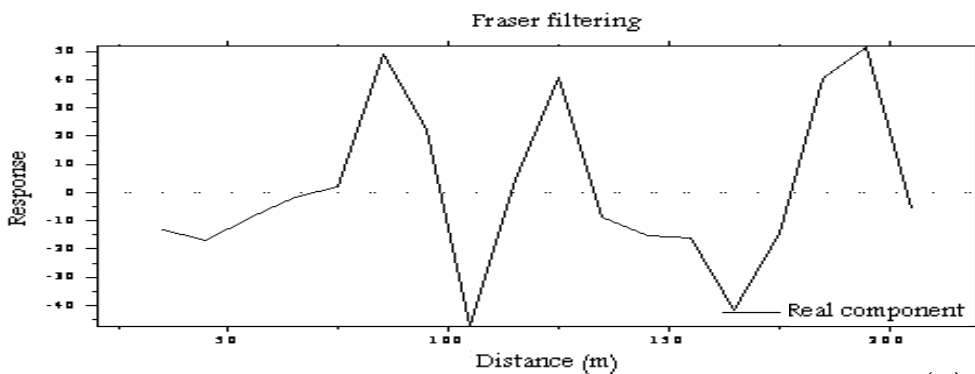
۱-۳-۳ پروفیل V1

پروفیل مولفه حقیقی داده‌های خام روش VLF برای پروفیل V1 در شکل (۳-۴-الف) آمده است. از روی این پروفیل نمی‌توان تفسیر مناسبی جهت شناسایی محل‌های آلوده ارائه نمود. اما در نمودار داده‌های فیلتر شده

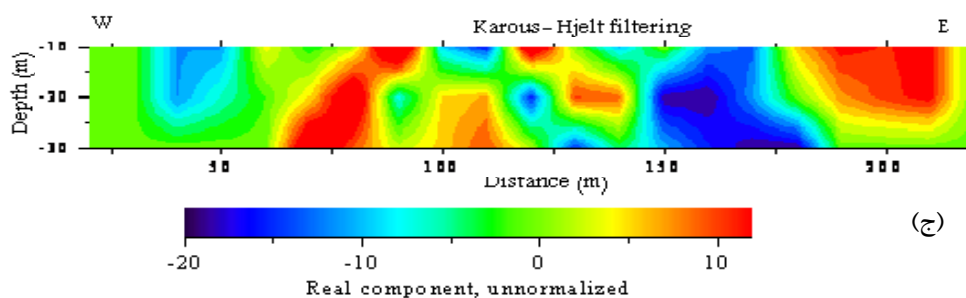
(شکل ۳-۴-ب) مراکز آنومالی‌ها را می‌توان به صورت پیک‌های مثبت در محل‌های ۸۵، ۱۲۵ و ۱۹۵ متری از مبدا پروفیل از سمت غرب به طرف شرق مشاهده نمود. شبه مقطع چگالی جریان نیز زون‌های رسانا را با گسترش طولی از ۱۸۰ متری تا ۲۲۰ متری در سمت شرق مشخص نموده است (شکل ۳-۴-ج). با توجه به اینکه مقاومت ویژه آب‌های آلوده کمتر از ۵۰-۱۰ اهم-متر و زهاب اسیدی معدن حدود ۲۰ اهم-متر می‌باشد (Reynolds, 1997)، حضور یک زون با مقاومت ویژه پائین (کمتر از ۲۵ اهم-متر) حاصل از نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های VLF (شکل ۳-۴-د) در فاصله حدود ۲۰۵ تا ۲۲۰ متری مبدا و از عمق ۸ تا ۲۶ متری ممکن است ناشی از آلودگی احتمالی حاصل از مواد باطله کارخانه زغالشویی البرز شرقی می‌باشد. بر اساس مطالعات قبلی انجام شده بر روی مواد باطله حاصل از شستشوی زغال کارخانه زغالشویی البرز شرقی (Doulati et al., 2008 b; Moradzadeh et al., 2008)، زهاب اسیدی تولید شده از این باطله‌ها سبب انتقال فلزات سنگین از طریق منافذ و حفرات رسوبات سطحی می‌شود. این رسوبات، تشکیلات زمین‌شناسی غالب در منطقه برداشت می‌باشد که در نتیجه این فرآیند مقاومت ویژه کاهش یافته است. نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های VLF در این قسمت همخوانی مناسبی با نمودار فیلتر شده داده‌های خام و شبه مقطع چگالی جریان دارد. اگر چه سایر آنومالی‌های دیگر حاصل از شبه مقطع چگالی جریان به ویژه در فاصله حدود ۷۵ متری قابل مشاهده می‌باشد. شکل (۳-۵) نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده مربوط به مدل نهایی شکل (۳-۴-د) را نشان می‌دهد که برازش نسبتاً خوبی بین این داده‌ها دیده می‌شود. برای پروفیل‌های V2-V13 این نمودارها در پیوست (الف) ارائه شده است.



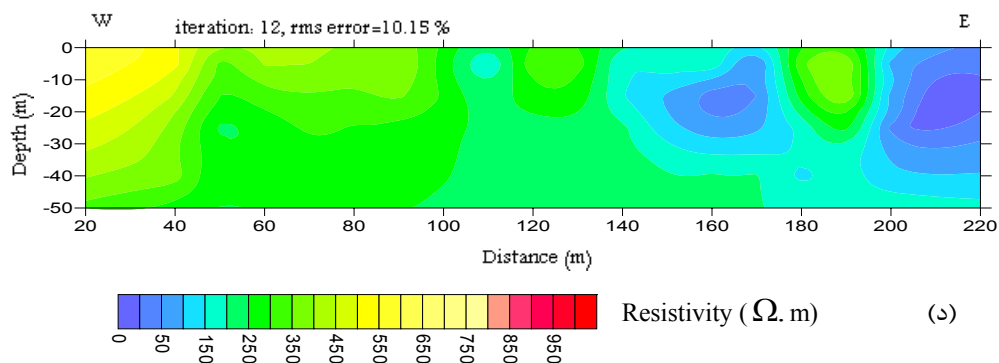
(الف)



(ب)



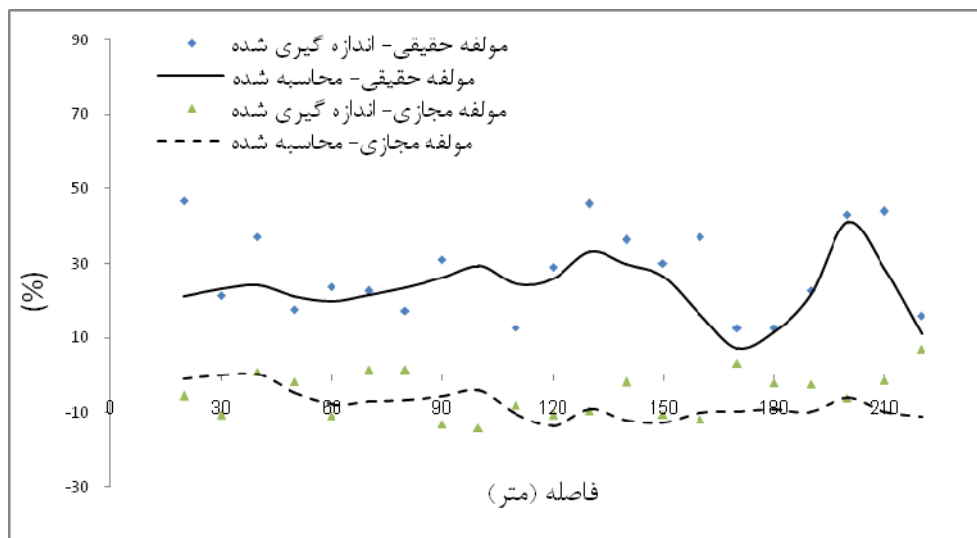
(ج)



(د)

شکل (۳-۴). (الف) نمودار داده‌های VLF خام (مولفه حقیقی) پروفیل V1. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

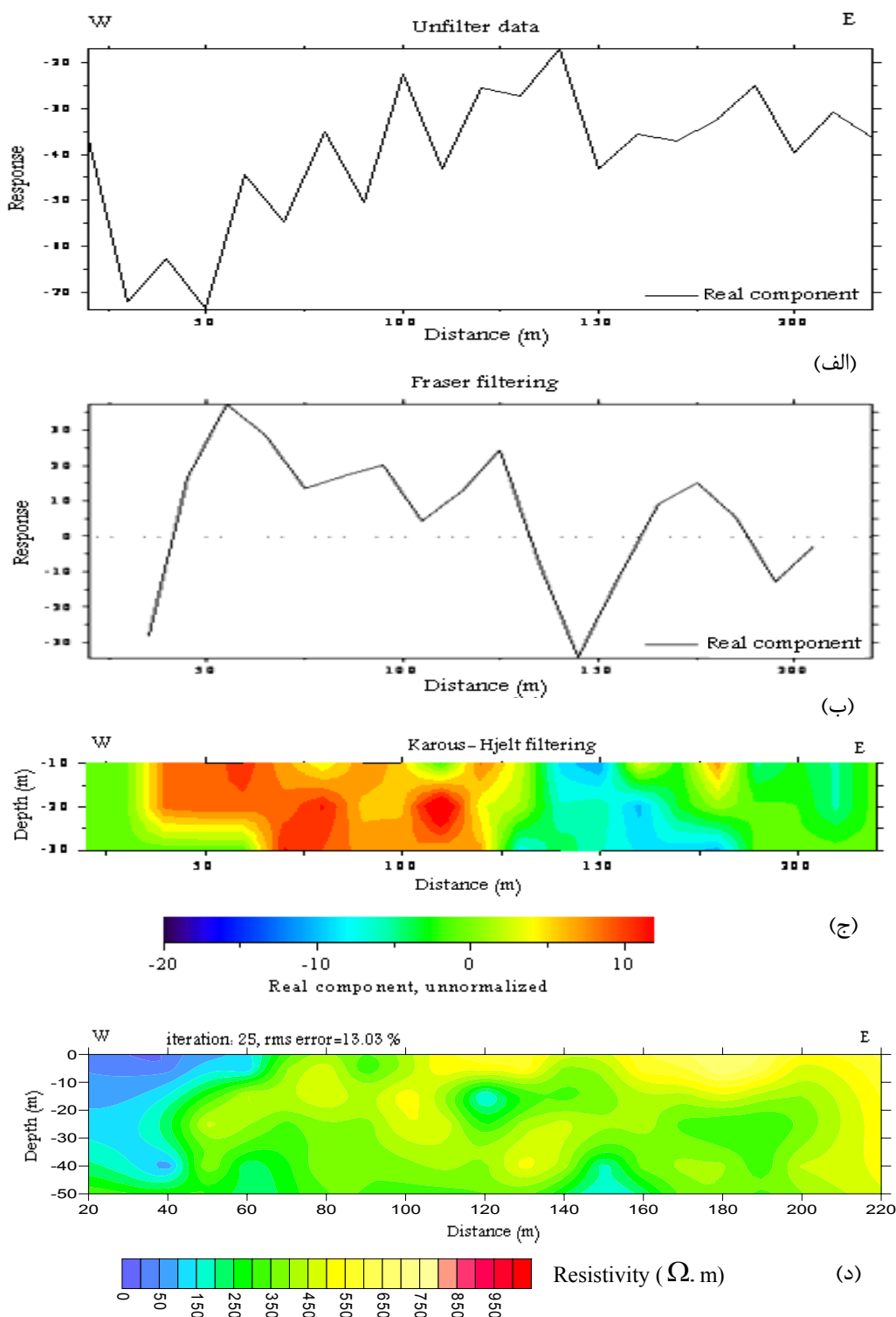
(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.



شکل (۳-۵). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده (برای مدل مقاومت ویژه شکل (۳-۴-د)) با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V1.

۳-۳-۲ پروفیل V2

با توجه به شکل (۳-۶-الف) که مربوط به داده‌های خام مولفه حقیقی برای پروفیل V2 می‌باشد، نمی‌توان تفسیر مناسبی از مراکز آنومالی‌ها ارائه نمود. اما در شکل (۳-۶-ب) مربوط به داده‌های فیلتر شده مولفه حقیقی و همچنین شکل (۳-۶-ج) شبه مقطع چگالی جریان، یک آنومالی بزرگ در سمت غرب قابل مشاهده است که تائیدی بر زون آلوده احتمالی حاصل از نتایج به دست آمده از مدل دو بعدی مقاومت ویژه در سمت غرب پروفیل با یک گسترش سطحی می‌باشد.



شکل (۳-۶). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V2. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

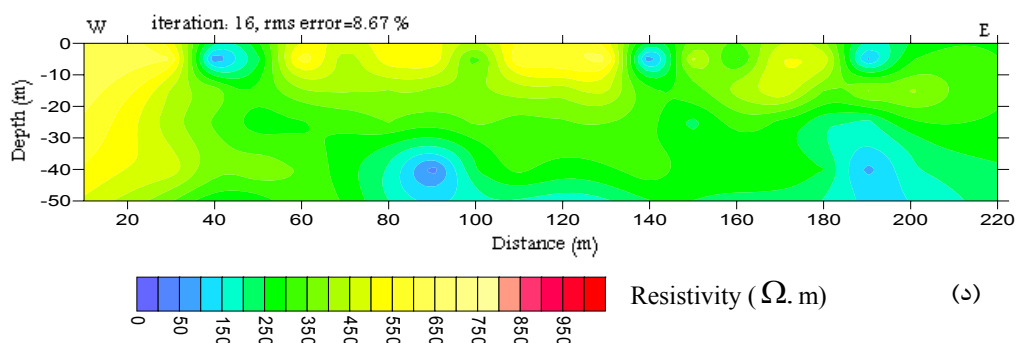
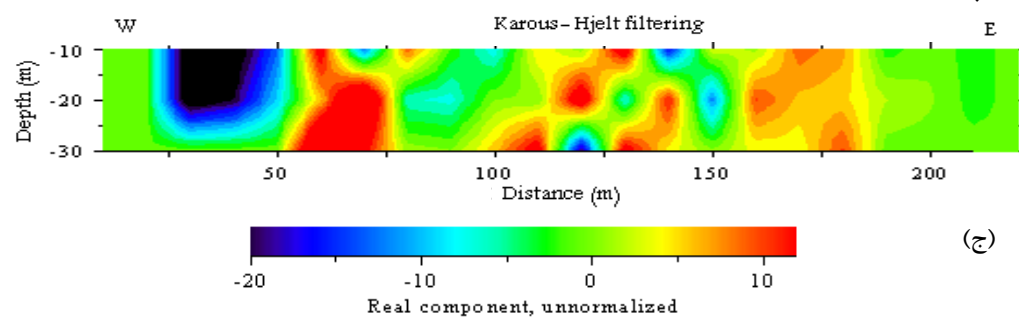
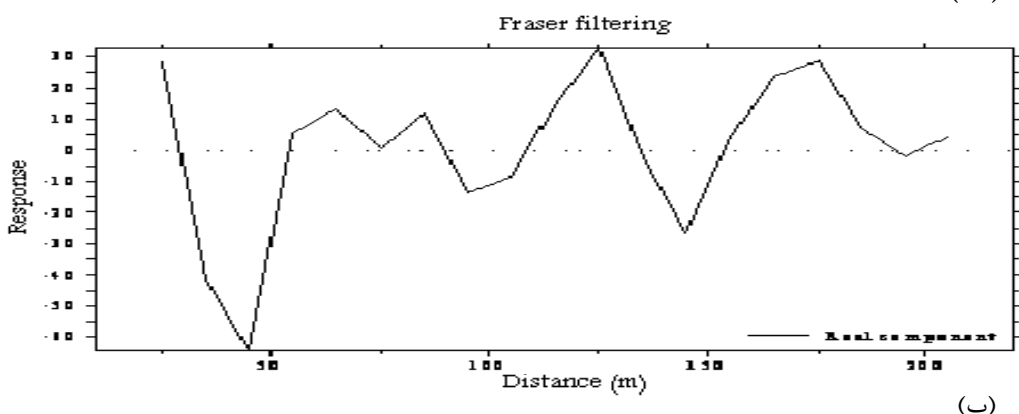
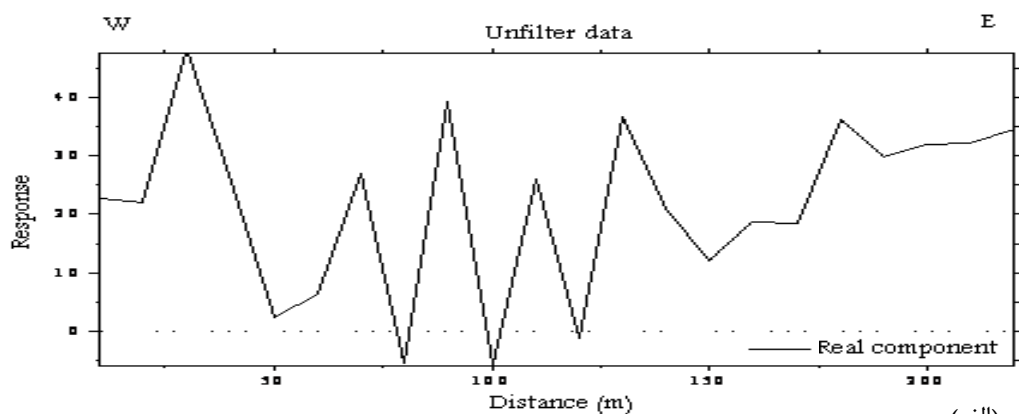
(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.

۳-۳-۳ پروفیل V3

شکل (۷-۳) نتایج حاصل از داده‌های VLF پروفیل V3 را نشان می‌دهد. تفسیر بر اساس نتایج داده‌های خام کار ساده‌ای نیست. نمودار مربوط به داده‌های فیلتر شده، مراکز آنومالی‌ها را به صورت پیک‌های مثبت در محل‌های ۶۵، ۸۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ متری از مبدا پروفیل نشان می‌دهد که در شبه مقطع چگالی جریان نیز این محل‌ها قابل مشاهده می‌باشند. مدل دو بعدی مقاومت ویژه نتایج حاصل از فیلتر نمودن داده‌ها را تا حدودی در این محل‌ها به صورت زون‌های کوچک با مقاومت ویژه پایین تأیید می‌کند.

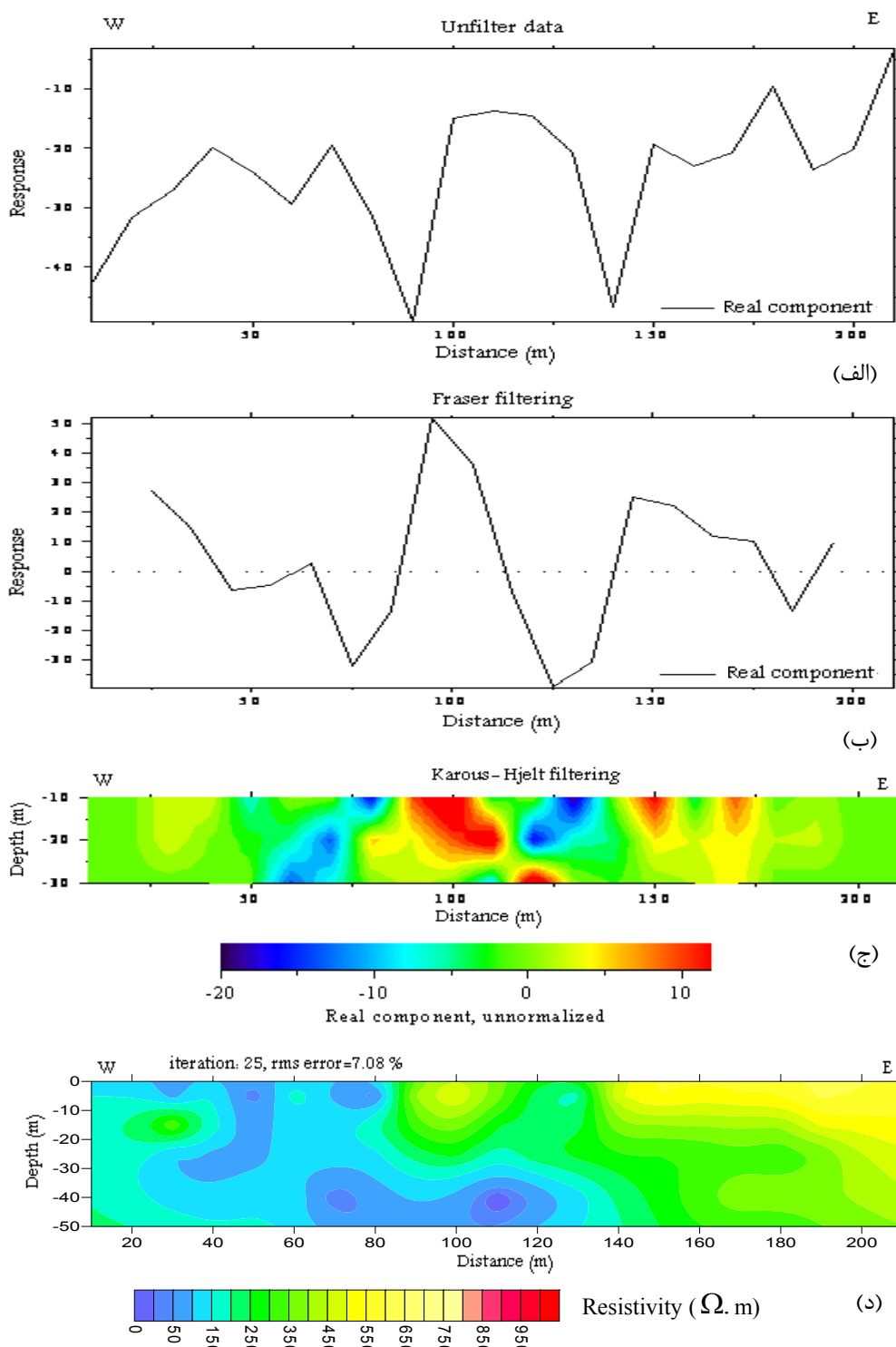
۴-۳-۳ پروفیل V4

شکل (۸-۳-د) مدل دو بعدی مقاومت ویژه مربوط به پروفیل V4 را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست، کاهش مقاومت ویژه با شروع یک گسترش سطحی در سمت غرب پروفیل و گسترش عمقی بیش از ۴۰ متر قابل مشاهده است. این کاهش مقاومت ویژه به خصوص در فاصله حدود ۱۱۰ متری از مبدا مشهود می‌باشد که با نتایج حاصل از نمودار داده‌های فیلتر شده در شکل (۸-۳-ب) و همچنین شبه مقطع چگالی جریان در شکل (۸-۳-ج) همخوانی مناسبی دارد که در آن آنومالی‌های کوچک حاصل از فیلتر نمودن با مدل دو بعدی مقاومت ویژه قابل شناسایی نیستند.



شکل (۷-۳). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V3. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.



شکل (۳-۸). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V4. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

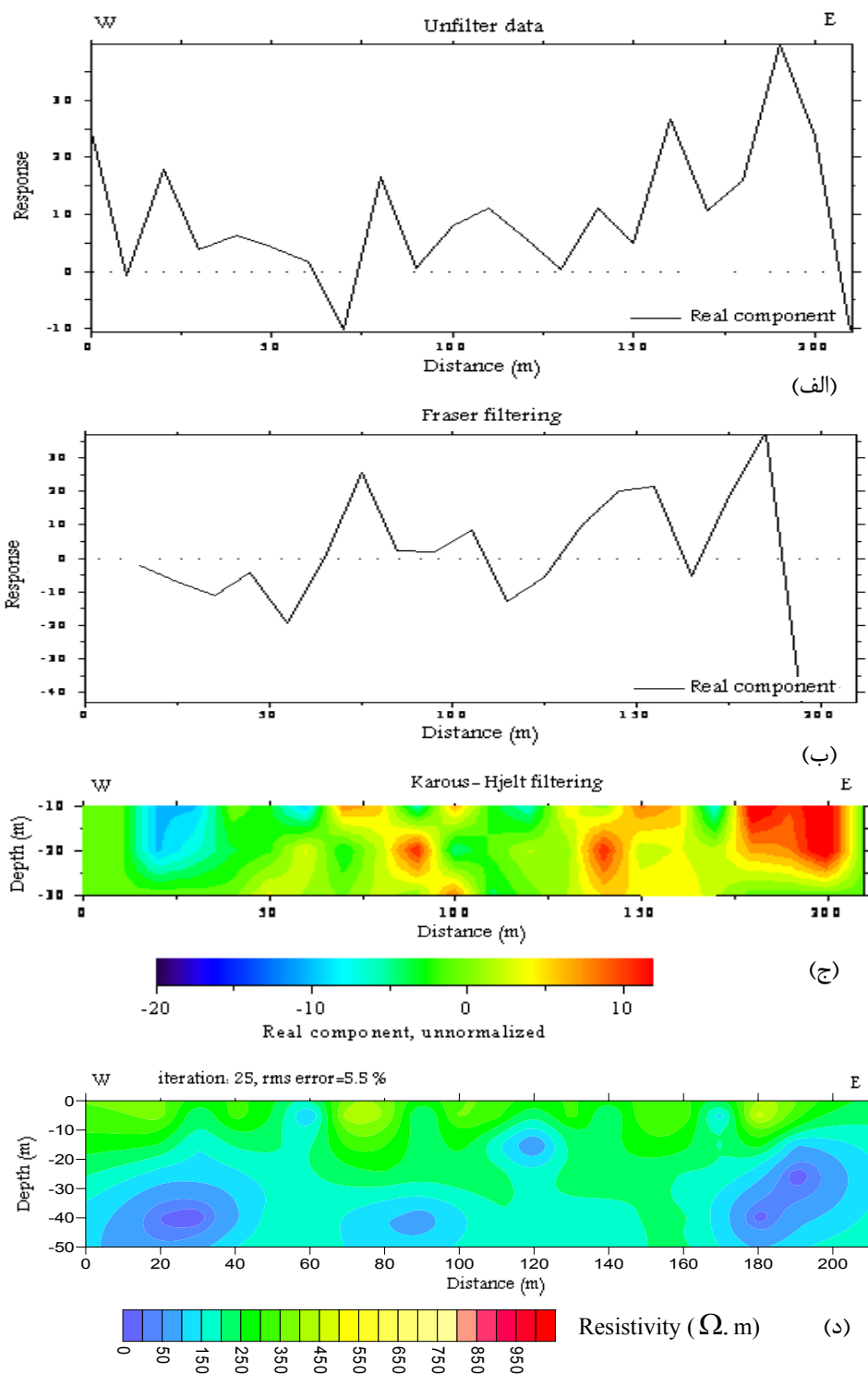
(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.

۳-۳-۵ پروفیل V5

با توجه به شکل (۳-۹-الف) که مربوط به داده‌های VLF خام مولفه حقیقی پروفیل V5 می‌باشد، نمی‌توان تفسیر مناسبی جهت شناسایی مراکز آنومالی ارائه نمود. اما در نمودار داده‌های فیلتر شده، مراکز آنومالی‌ها را می‌توان به صورت پیک‌های مثبت در محل‌های ۷۵، ۱۰۵، ۱۵۰ و ۱۸۰ متری از مبدا پروفیل (سمت غرب) مشاهده نمود. شبه مقطع چگالی جریان نیز زون‌های آلوده (مخصوصاً در سمت شرق) را با در نظر گرفتن گسترش عمقی آن‌ها مشخص نموده است. نتایج به دست آمده از معکوس سازی داده‌های VLF (شکل ۳-۹-د) دو زون آلوده با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر را نشان می‌دهد. مرکز اولین زون آلوده که در فاصله حدود ۲۵ متری از مبدا (سمت غرب) و در عمق حدود ۴۰ متری قرار دارد، با استفاده از تفسیر نیمه کمی به خوبی قابل شناسایی نیست. اما زون آلوده بعدی که از عمق حدود ۲۰ متری شروع شده و تا عمق ۴۰ متری در فاصله ۱۸۰ تا ۲۰۰ متری از مبدا به سمت غرب گسترش دارد، همخوانی مناسبی با نتایج حاصل از تفسیر نیمه کمی دارد.

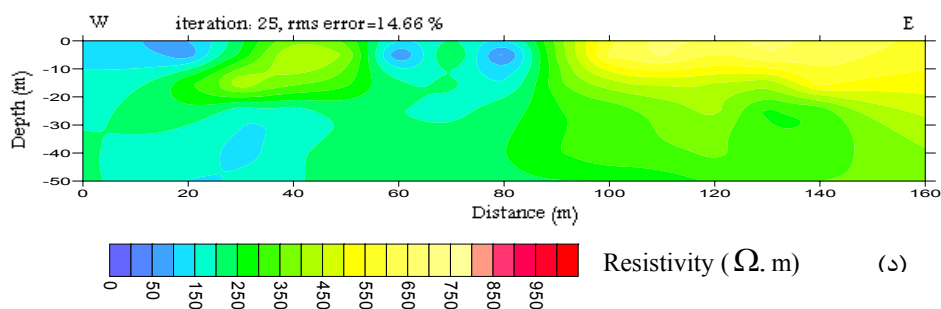
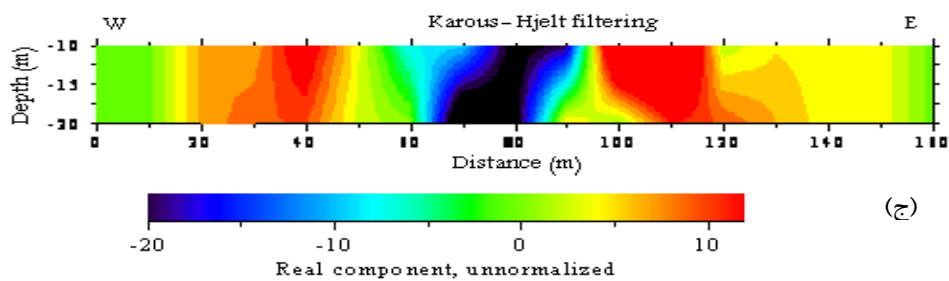
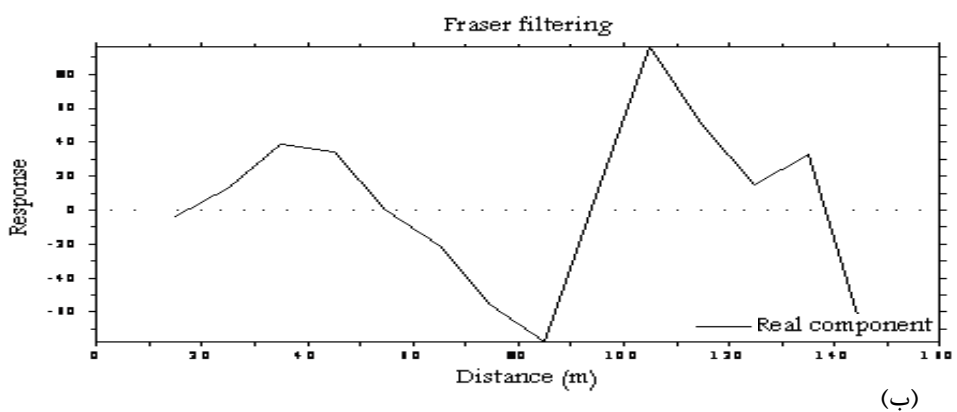
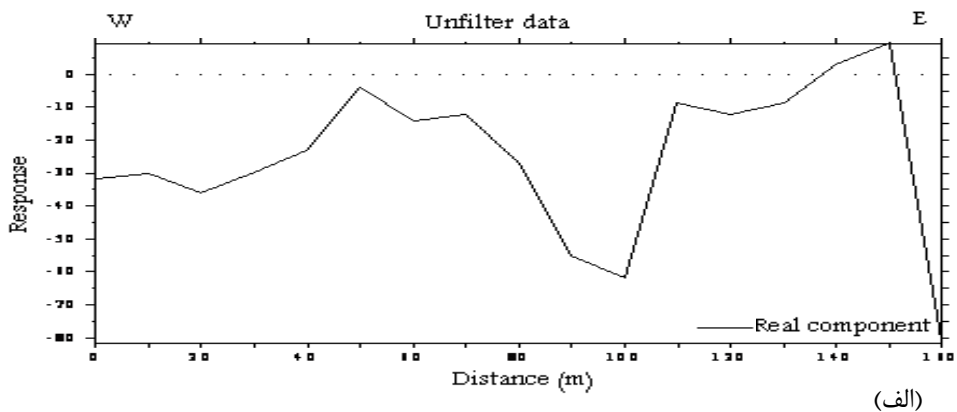
۳-۳-۶ پروفیل V6

شکل (۳-۱۰) نتایج مربوط به داده‌های VLF پروفیل V6 را نشان می‌دهد. در نمودار داده‌های فیلتر شده مراکز آنومالی‌ها به صورت پیک‌های مثبت در محل‌های ۴۰ و ۱۰۵ متری از مبدا پروفیل (سمت چپ) قابل مشاهده است که در نمودار مربوط به شبه مقطع چگالی جریان نیز این محل‌ها مشخص شده‌اند. آنومالی احتمالی در فاصله ۴۰ متری تا حدودی با نتایج حاصل از مدل دو بعدی داده‌های VLF که مقاومت ویژه پایین را در سمت غرب پروفیل نشان می‌دهد، تطابق دارد.



شکل (۳-۹). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V5. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.



شکل (۳-۱۰). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V6. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

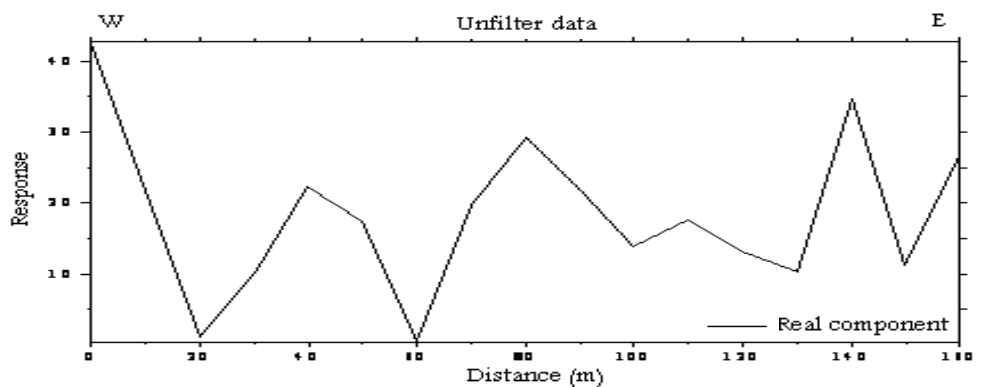
(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.

۷-۳-۳ پروفیل V7

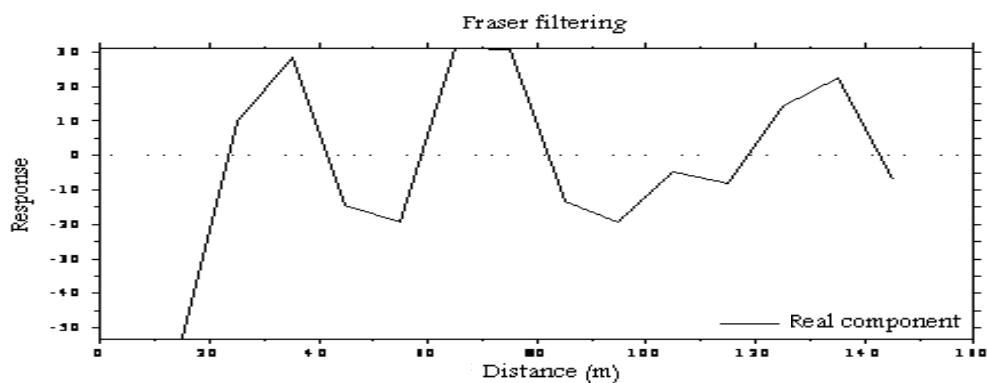
شکل (۱۱-۳) نیز نتایج مربوط به تفسیر داده‌های VLF پروفیل V7 را نشان می‌دهد. در مدل دو بعدی مقاومت ویژه شکل (۱۱-۳-د) در سمت شرق پروفیل (سمت راست) مقدار مقاومت ویژه کاهش یافته است. به ویژه مقادیر پایین مقاومت ویژه در فاصله حدود ۱۱۰ تا ۱۴۰ متری از مبدا و در اعماق بیشتر از ۲۰ متر و با یک گستردگی به سمت شرق به وضوح دیده می‌شود که تطابق مناسبی با نتایج حاصل از داده‌های فیلتر شده و همچنین شبه مقطع چگالی جریان دارد. این زون با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر را می‌توان به زهاب اسیدی تولید شده احتمالی از باطله‌ها نسبت داد.

۸-۳-۳ پروفیل V8

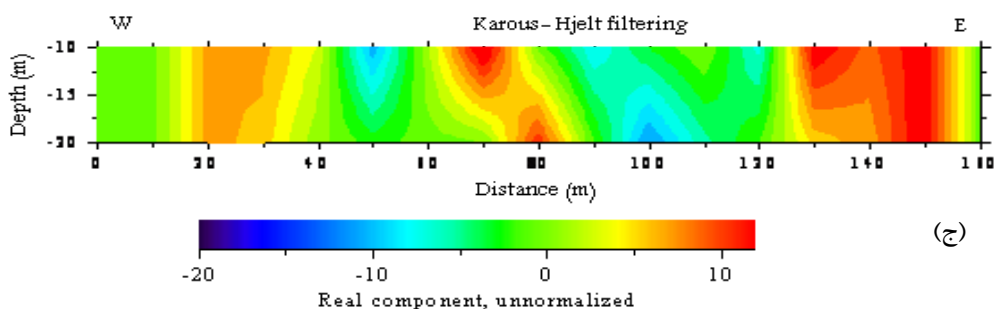
با توجه به شکل (۱۲-۳) که مربوط به داده‌های VLF پروفیل V8 می‌باشد، مراکز آنومالی‌ها را می‌توان به صورت پیک‌های مثبت در محل‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۵ متری از مبدا پروفیل در نمودار مربوط به داده‌های فیلتر شده مشاهده نمود. در شکل (۱۲-۳-ج) مربوط به شبه مقطع چگالی جریان در فاصله ۸۰ تا ۱۳۰ متری از مبدا پروفیل، چگالی جریان افزایش یافته است که باید حاکی از یک زون رسانا باشد. اما در مقطع دو بعدی مقاومت ویژه این زون قابل مشاهده نیست و فقط در سمت غرب پروفیل مقاومت ویژه نسبت به اطراف کمتر بوده و یک زون رسانای کوچک با مقاومت ویژه پایین در فاصله حدود ۲۰ متری با یک گسترش عمقی به سمت غرب قابل مشاهده است که می‌تواند در نتیجه آلودگی احتمالی باشد.



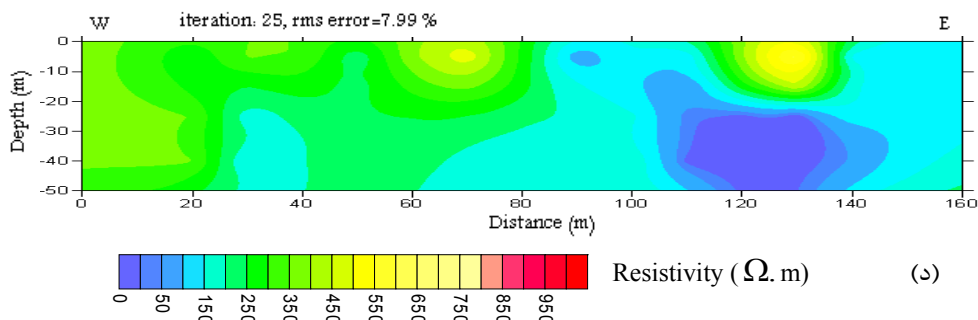
(الف)



(ب)



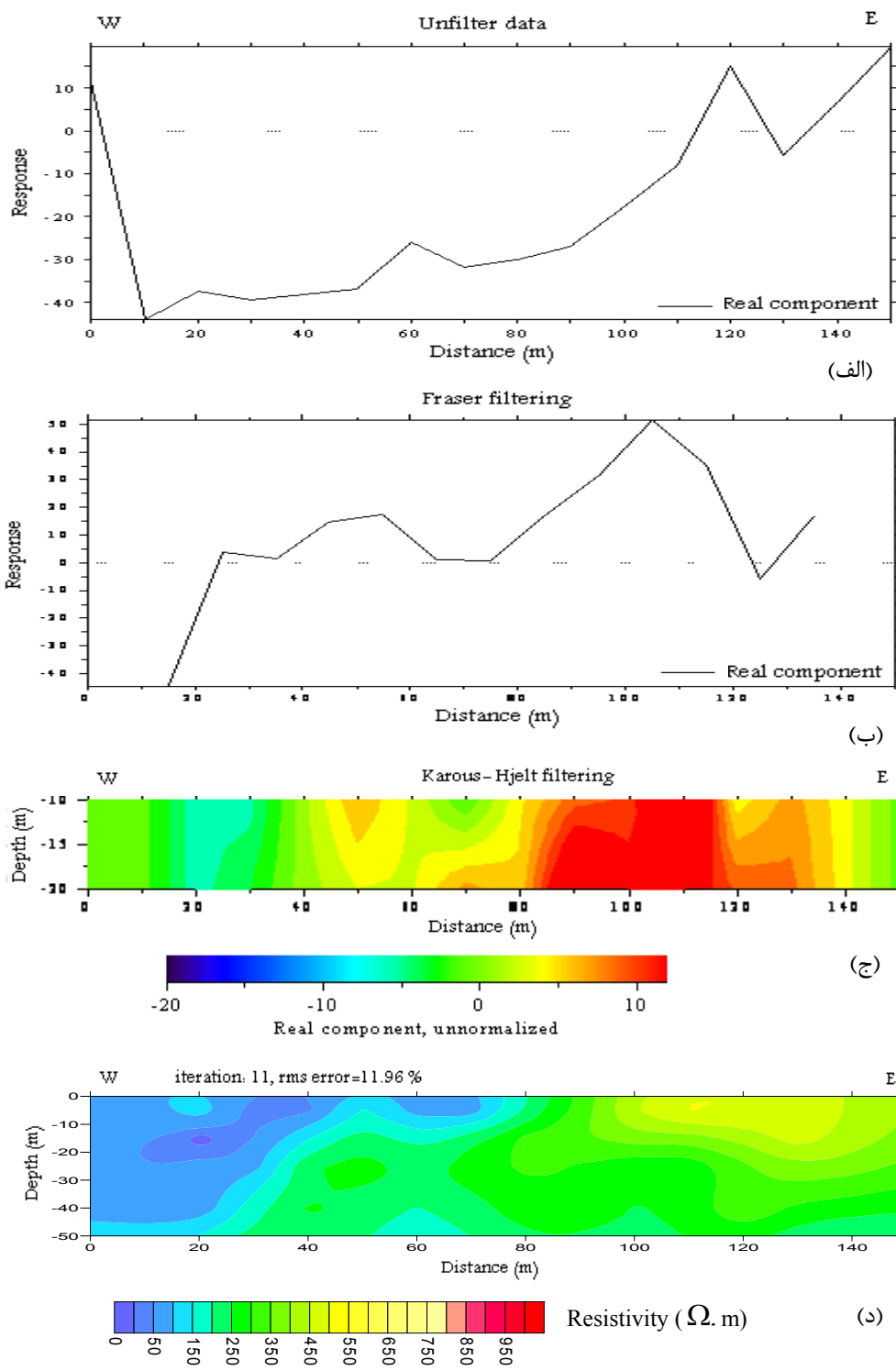
(ج)



(د)

شکل (۳-۱۱). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V7. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.



شکل (۳-۱۲). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V8. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

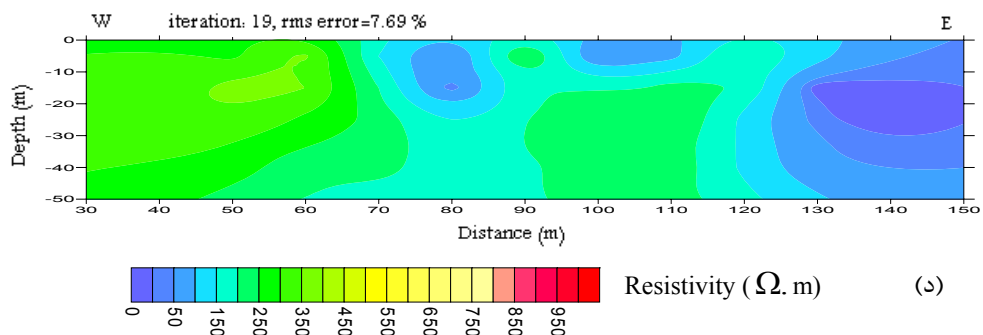
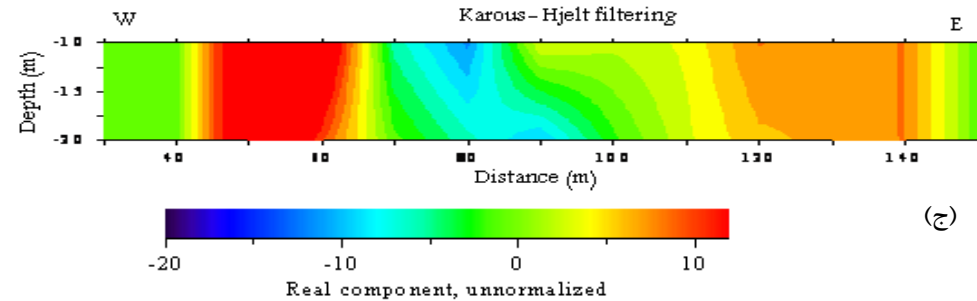
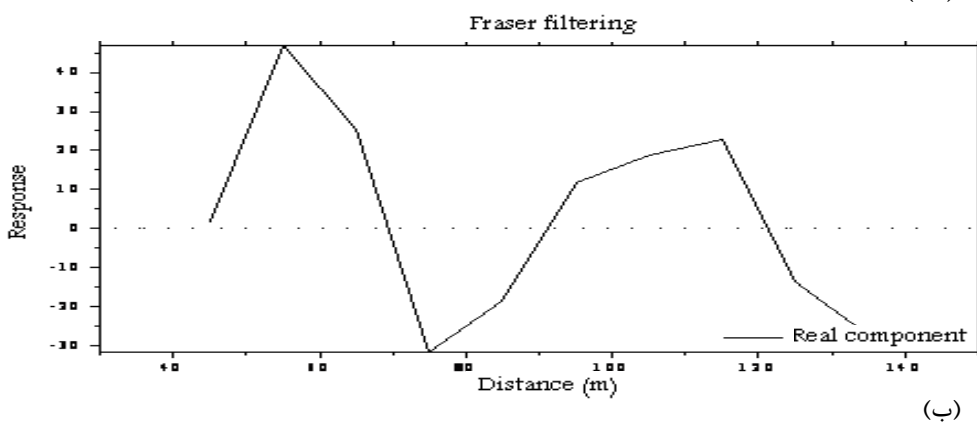
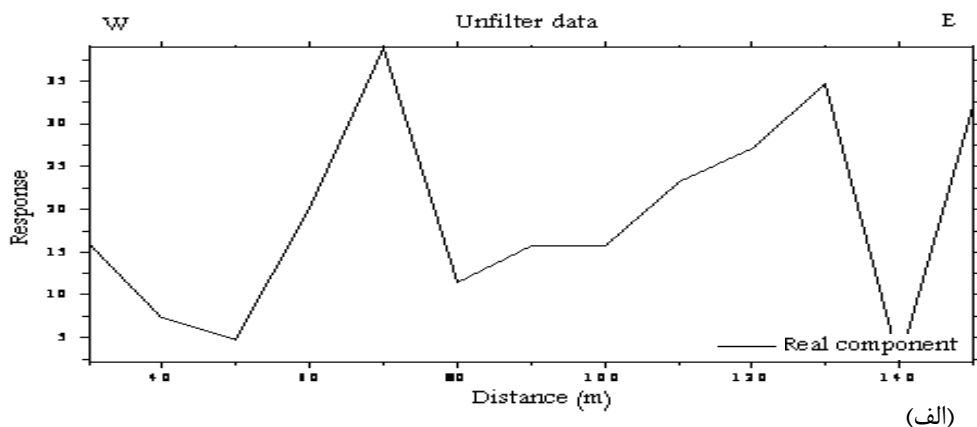
(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.

۳-۳-۹ پروفیل V9

شکل (۳-۱۳) نتایج مربوط به داده‌های VLF پروفیل V9 را نشان می‌دهد. نمودار مربوط به داده‌های فیلتر شده و همچنین شبه مقطع چگالی جریان دو زون رسانا یکی در سمت غرب در فاصله حدود ۴۵ تا ۶۵ متری و دیگری در سمت شرق در فاصله ۱۱۵ تا ۱۴۵ متری را نشان می‌دهد. در مدل دو بعدی مقاومت ویژه زون رسانای سمت شرق به ویژه در فاصله ۱۳۰ تا ۱۵۰ متری از مبدا و از عمق حدود ۱۵ تا ۲۵ متری با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر قابل مشاهده است که تاییدی بر آلودگی احتمالی در این سمت می‌باشد.

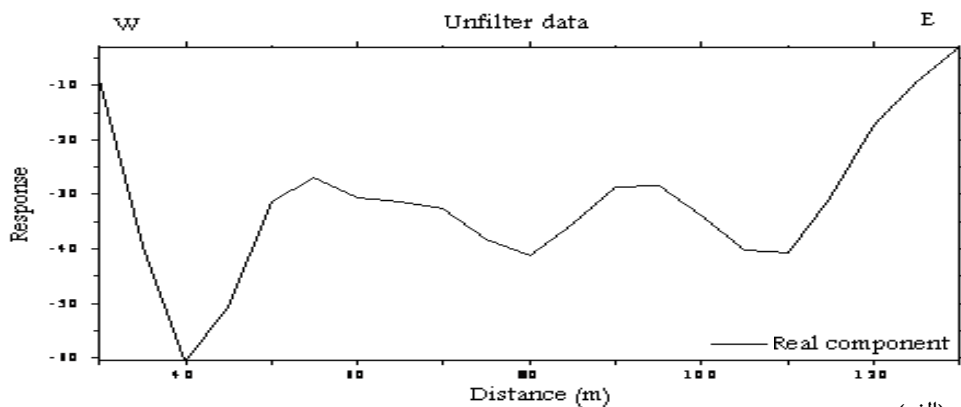
۳-۳-۱۰ پروفیل V10

شکل (۳-۱۴) نتایج مربوط به داده‌های VLF پروفیل V10 را نشان می‌دهد. در نمودار مربوط به داده‌های فیلتر شده مراکز آنومالی‌ها را می‌توان به صورت پیک‌های مثبت در محل‌های ۵۰، ۹۰ و ۱۱۵ متری از مبدا پروفیل مشاهده نمود. شبه مقطع چگالی جریان نیز زون‌های رسانا را در فاصله حدود ۳۸ تا ۵۲ متری در سمت غرب، زون رسانای با شدت کمتر در فاصله حدود ۸۵ متری و در سمت شرق در فاصله ۱۱۰ تا ۱۲۸ متری را نشان می‌دهد. مدل دو بعدی مقاومت ویژه فقط یک زون کوچک با مقاومت ویژه پایین در فاصله ۷۰ متری از سطح تا عمق حدود ۱۰ متر را نشان می‌دهد که در اینجا تطابق مناسبی بین نتایج حاصل از فیلتر نمودن داده‌ها و مدل‌سازی معکوس دیده نمی‌شود.

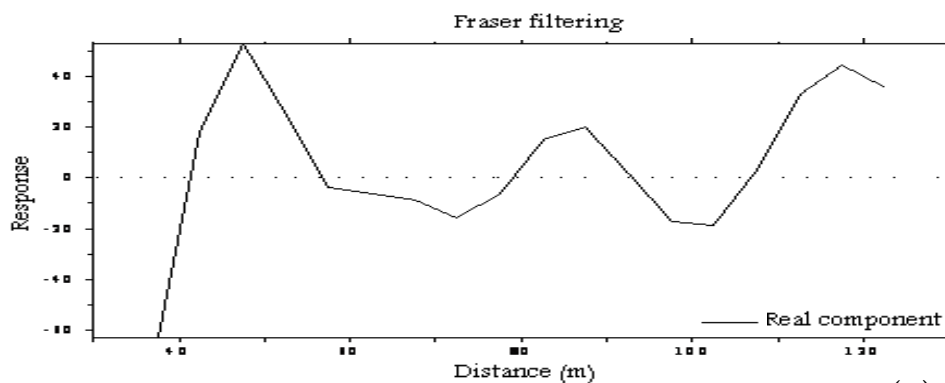


شکل (۳-۱۳). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V9. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

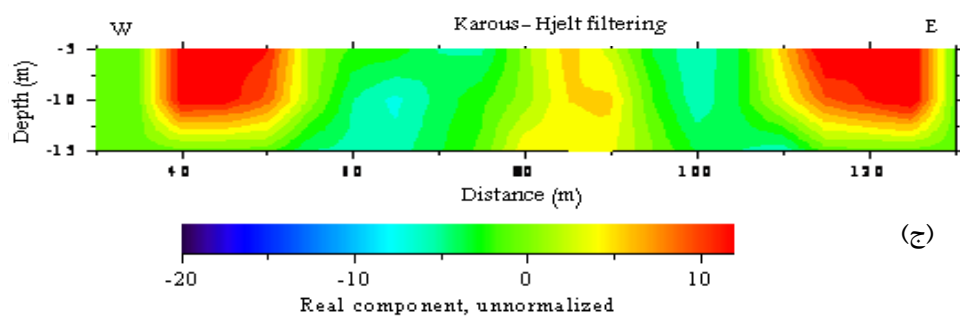
(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.



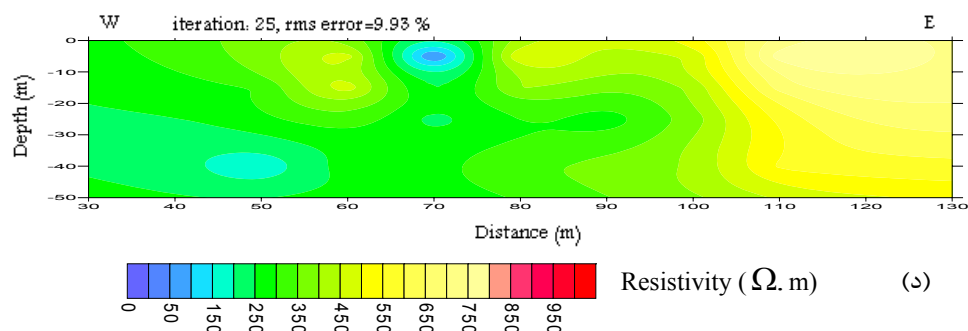
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل (۳-۱۴). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V10. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

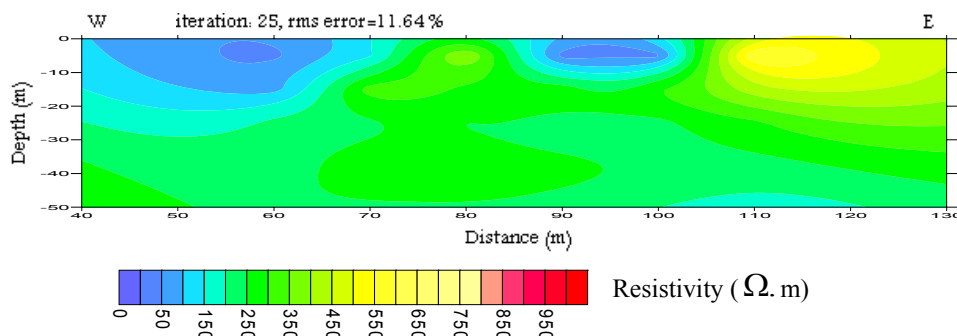
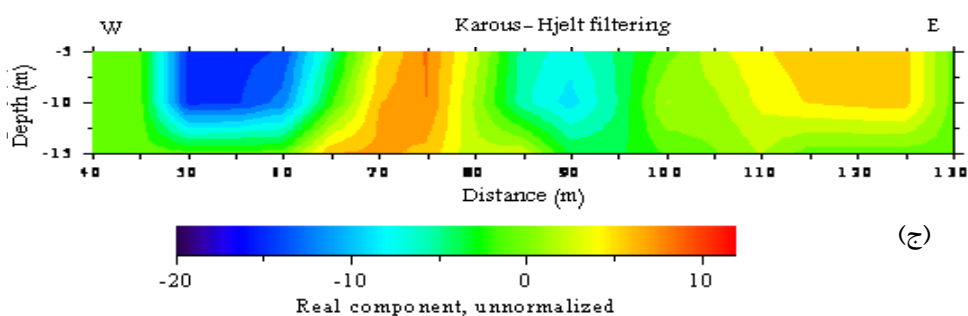
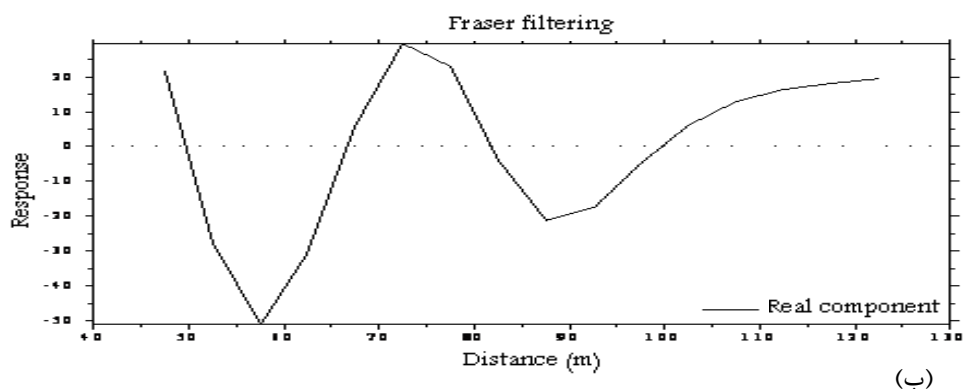
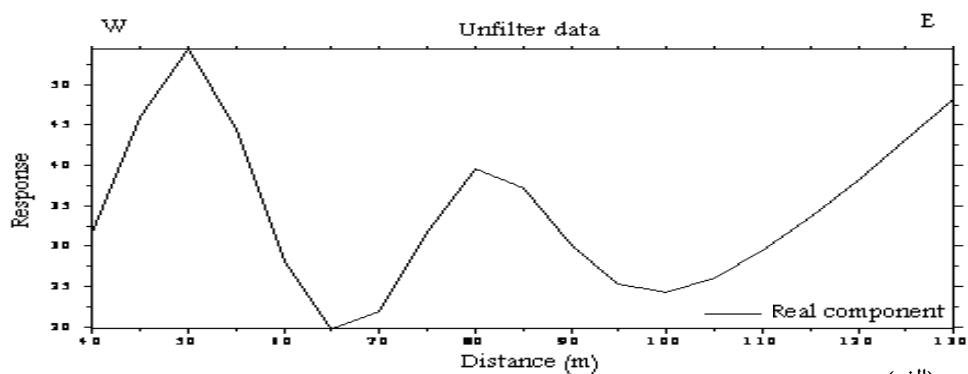
(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.

۳-۳-۱۱ پروفیل V11

شکل (۳-۱۵) نتایج مربوط به داده‌های VLF پروفیل V11 را نشان می‌دهد. نمودار داده‌های فیلتر شده در محل ۷۲ متری مراکز آنومالی را به صورت پیک مثبت نشان می‌دهد. همچنین در سمت شرق یک افزایش به سمت راست منحنی دیده می‌شود که در نمودار شبه مقطع چگالی جریان نیز این زون‌ها با شدت کمتر به ترتیب در فاصله ۶۵ تا ۷۸ متری و در فاصله ۱۱۰ تا ۱۲۵ متری قابل مشاهده‌اند. در مدل دو بعدی مقاومت ویژه دو زون رسانا یکی در ابتدای پروفیل تا فاصله ۷۰ متری و دیگری در فاصله ۸۰ تا ۱۰۰ متری با گسترش سطحی تا عمق حدود ۲۰ متری دیده می‌شود. با دور شدن نقاط اندازه‌گیری از محل انباشت باطله، زون‌های آلوده کمتر قابل مشاهده‌اند.

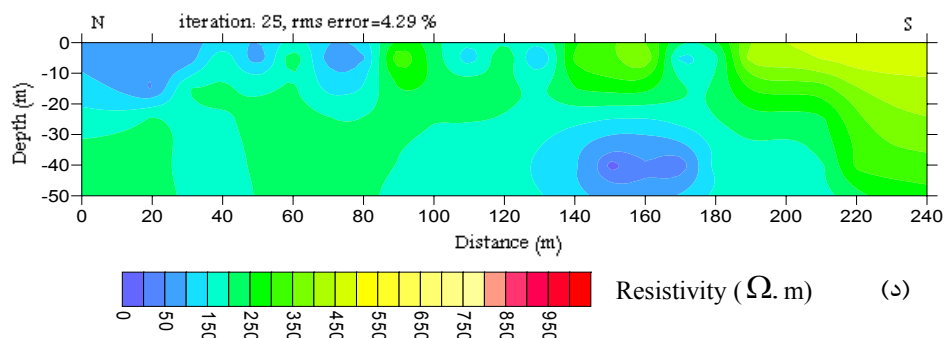
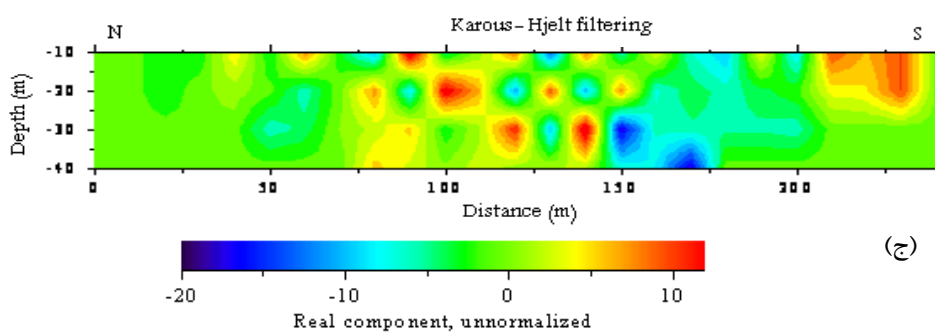
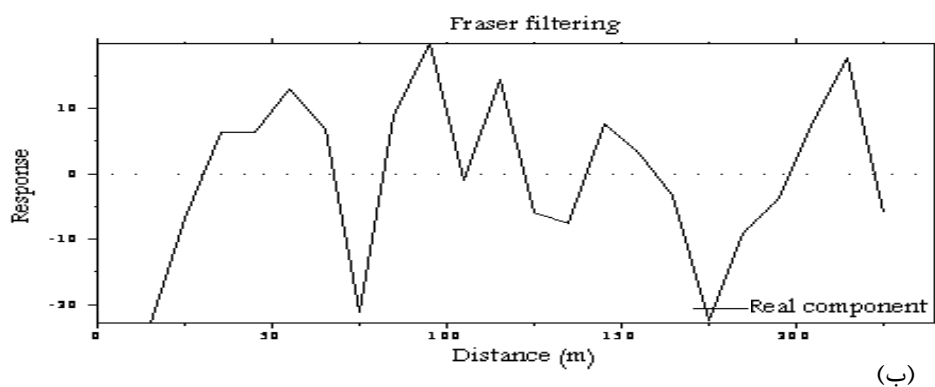
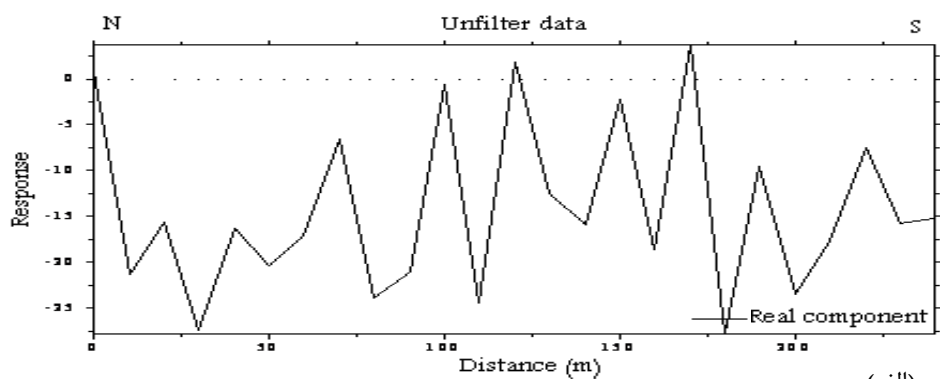
۳-۳-۱۲ پروفیل V12

مشابه پروفیل‌های قبلی بر اساس نمودار مربوط به داده‌های خام مولفه حقیقی برای پروفیل V12 (شکل ۳-۱۶-الف) که در راستای تقریبی شمالی-جنوبی می‌باشد، نمی‌توان تفسیر مناسبی را ارائه داد. نمودار مربوط به داده‌های فیلتر شده مولفه حقیقی (شکل ۳-۱۶-ب) نیز پیک‌های متعددی نشان می‌دهد. شبه مقطع چگالی جریان (شکل ۳-۱۶-ج) در فاصله ۷۵ تا ۱۳۰ متری زون‌های رسانای متعددی را نشان می‌دهد که بیانگر گسترش عمقی آلودگی احتمالی بر حسب تابعی از توزیع مسیرهای جریان و عدم پیوستگی آن‌ها می‌باشد. در سمت جنوب نیز در فاصله ۲۰۵ تا ۲۲۸ متری نیز زون رسانایی با شدت کمتر قابل مشاهده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌ها (شکل ۳-۱۶-د) زونی با مقاومت ویژه پایین در ابتدای پروفیل در سمت شمال تا فاصله ۸۰ متری با گسترش سطحی و همچنین یک زون آلوده احتمالی را در فاصله حدود ۱۴۰ تا ۱۷۸ متری و در عمق بیش از ۳۰ متر را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۵). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V11. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.

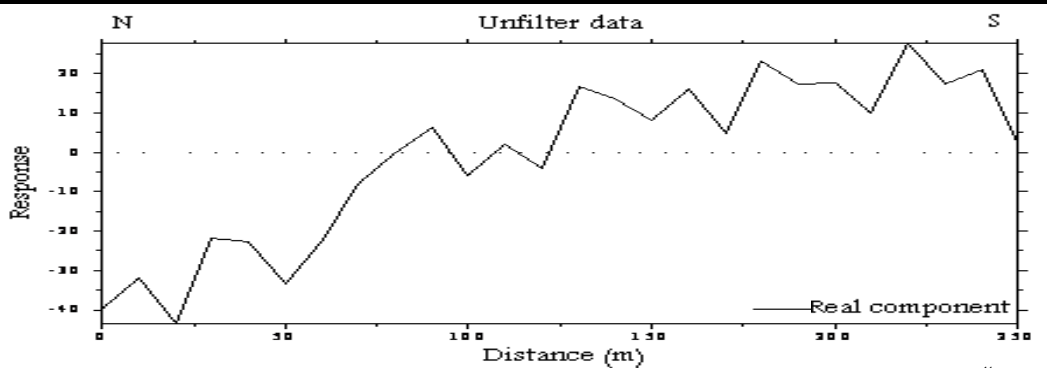


شکل (۳-۱۶). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V12. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

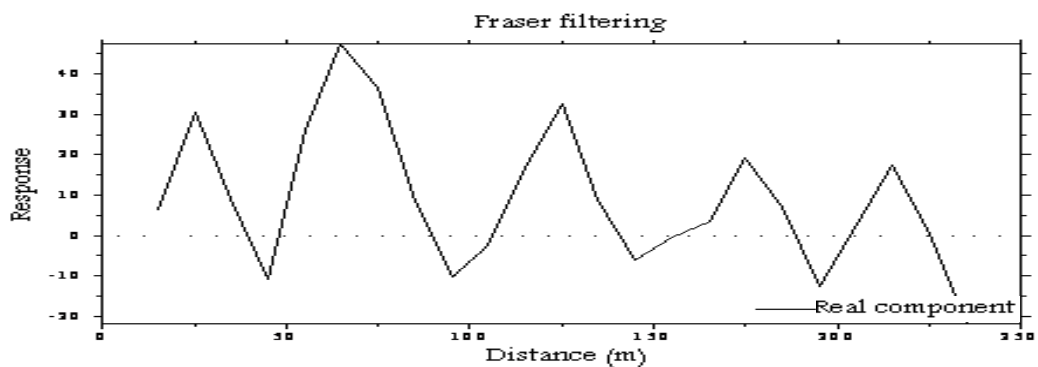
(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.

۳-۳-۱۳ پروفیل V13

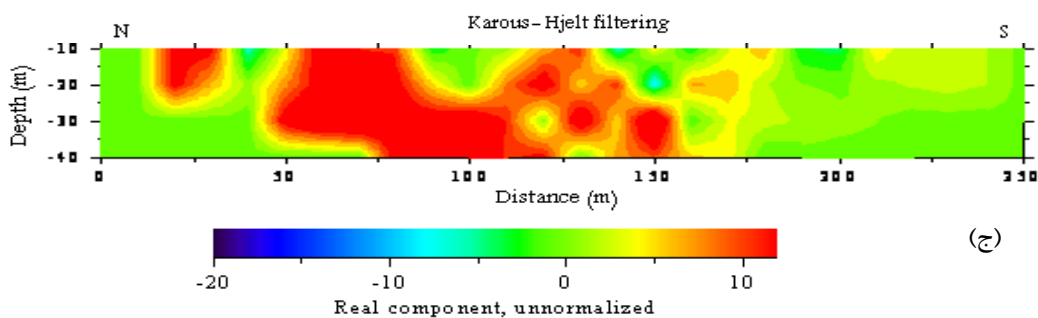
شکل (۳-۱۷) نتایج مربوط به داده‌های VLF پروفیل V13 را نشان می‌دهد. تفسیر بر اساس نمودار مربوط به داده‌های خام مولفه حقیقی و همچنین وجود پیک‌های متعدد در نمودار مربوط به داده‌های فیلتر شده مولفه حقیقی کار ساده‌ای نمی‌باشد. در شبه مقطع چگالی جریان زون رسانایی از ۳۰ تا ۱۳۰ متری مبدا گسترش دارد که در مدل دو بعدی مقاومت ویژه مشاهده نمی‌شود و فقط مقاومت ویژه در سمت جنوب کاهش یافته است.



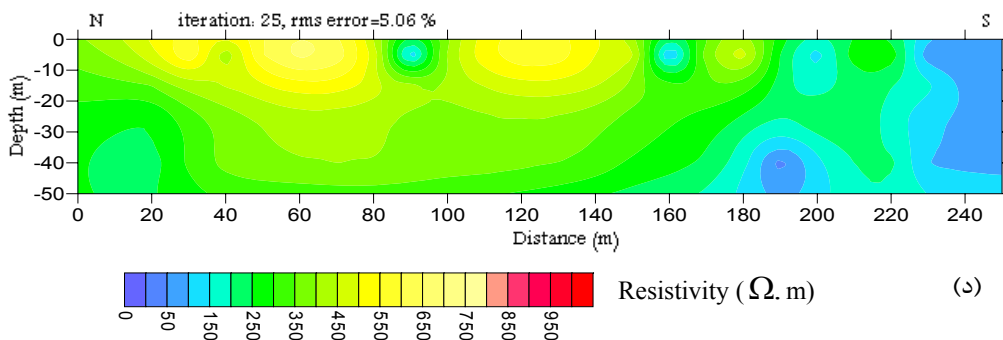
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل (۳-۱۷). (الف) نمودار داده‌های خام مولفه حقیقی پروفیل V13. (ب) نمودار داده‌های فیلتر شده با روش فریزر.

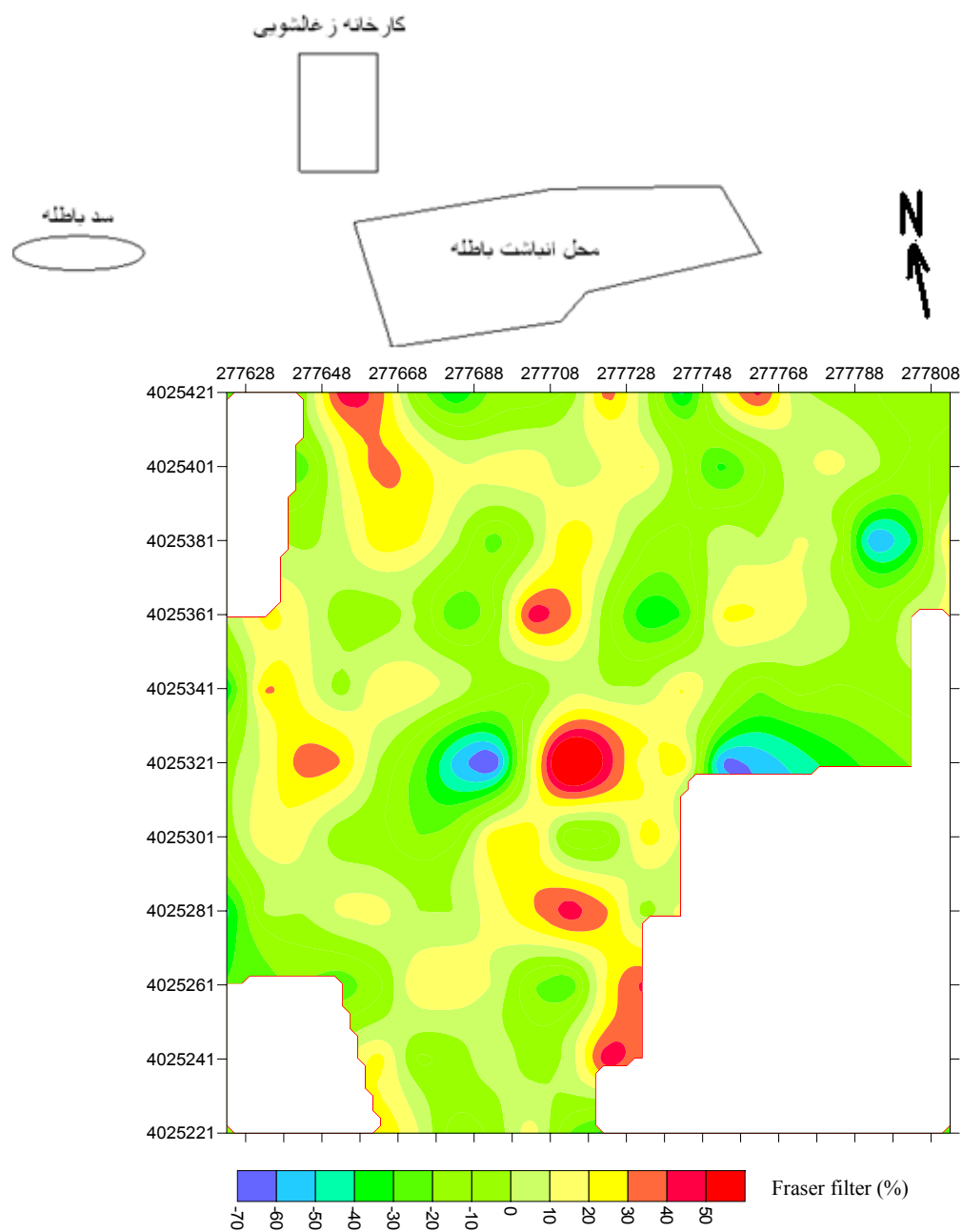
(ج) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF.

۳-۳-۱۴ نقشه فیلتر خطی فریزر جهت شناسایی گسترش سطحی مناطق آلوده احتمالی

شکل (۳-۱۸) نقشه فیلتر فریزر برای مولفه حقیقی تابع تیپر را که بر اساس رابطه (۲-۲۸) به دست آمده نشان می‌دهد. مولفه حقیقی تابع تیپر به توده‌های با مقاومت ویژه پایین حساس است، در حالی که مولفه مجازی به تغییرات خواص الکتریکی زمین حساس است (Monteiro Santos et al., 2006; Al-Tarazi et al., 2008). با توجه به شکل (۳-۱۸) چگونگی انتشار مسیرهای آلودگی احتمالی را می‌توان به محل انباشت باطله‌ها واقع در شمال و سد باطله واقع در شمال غربی منطقه برداشت نسبت داد. در قسمت شمال سه مسیر مرتبط با محل انباشت باطله‌ها با مقدار مثبت فیلتر فریزر که در وسط ناحیه برداشت به هم متصل می‌شوند، قابل مشاهده است. در قسمت غربی نیز یک مسیر مرتبط با سد باطله با مقدار مثبت فیلتر فریزر مشاهده می‌شود که به مسیرهای نفوذ آلودگی احتمالی ناشی از محل انباشت باطله‌ها متصل می‌شود.

۳-۳-۱۵ نمایش سه بعدی مدل مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF

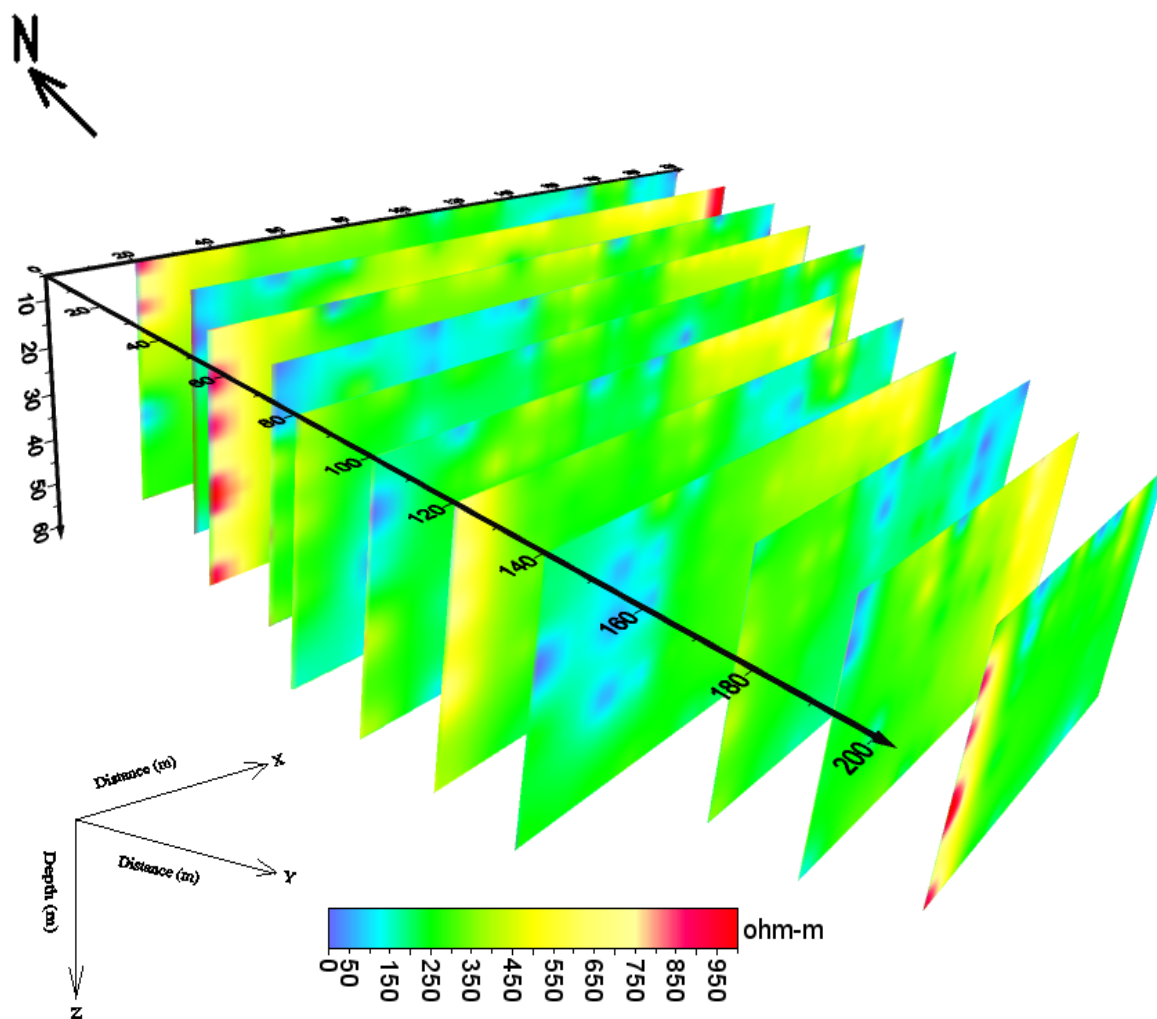
شکل (۳-۱۹) نمایش سه بعدی مدل مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF برای پروفیل‌های V1 تا V11 را نشان می‌دهد. مشخص نمودن چگونگی امتداد آلودگی‌ها، نحوه گسترش و روند حرکتی آن‌ها با توجه به متغیر بودن میزان بارش در فصول مختلف سال و همچنین عدم توزیع یکنواخت مسیرهای نفوذ آلاینده‌ها کار ساده‌ای نمی‌باشد. زون‌های گسسته با مقاومت ویژه پایین در عمق‌های متفاوت قابل مشاهده‌اند. این زون‌های گسسته با مقاومت ویژه پایین ممکن است از آلاینده‌هایی ناشی شده باشند که توسط زهاب اسیدی شسته شده و به اعماق پایین‌تر راه یافته‌اند. همانند نتایج حاصل از فیلتر فریزر دو منبع آلودگی احتمالی جهت تولید زهاب اسیدی وجود دارد: (۱) محل انباشت باطله‌ها که به طور گسترده ناحیه شمال پروفیل‌های برداشت را پوشش داده‌اند. (۲) سد باطله واقع در شمال غربی منطقه برداشت.



شکل (۳-۱۸). نقشه فیلتر خطی فریزر برای مولفه حقیقی داده‌های تیپر اندازه‌گیری شده با روش VLF برای پروفیل‌های V1 تا V11.

همان‌طور که از شکل (۳-۱۹) پیداست، آنومالی‌ها به صورت پراکنده و در زون‌های خاصی دیده می‌شوند. هتروژن بودن مواد و توزیع غیر یکنواخت مسیرهای نفوذ و جریان آب سبب شده که در تمام مناطق پایین دست

دمپ باطله آنومالی‌ها دیده نشوند. به عبارت دیگر، برخی از آنومالی‌ها از سطح شروع نمی‌گردند و مراکز آنومالی‌ها به مناطق پایین نفوذ کرده است. حذف منبع آلودگی در اثر عدم توزیع یکنواخت و ناگهانی بودن بارش‌های جوی است.



شکل (۳-۱۹). نمایش سه بعدی مدل مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF برای پروفیل‌های V1 تا V11.

فصل چهارم

ارائه و تفسیر داده‌های EM34-3

۱-۴ مقدمه

از میان روش‌های (EM) روش EM34-3 یکی از متداولترین و پرکاربردترین سیستم است که برای اکتشاف توده‌ها و ساختارهای رسانا که تا عمق تقریبی ۶۰ متری قرار دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد (GEONICS, 2007). سودمندی این روش برای مطالعات هیدروژئولوژی و مطالعات زیست محیطی مخصوصاً جهت به نقشه در آوردن زبانه‌های آلودگی در سیستم جریان آب‌های زیرزمینی و توصیف دقیق محل دفن زباله‌ها بخوبی اثبات شده است. در این روش از سه فاصله جدایش سیم پیچ‌ها (۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر) با فرکانس‌های متفاوت در حالت‌های برداشت مختلف استفاده می‌شود. جدول (۱-۴) عمق ظاهری اکتشاف برای دستگاه EM34 با فواصل جدایش مختلف و فرکانس‌های متفاوت در حالت‌های آرایش HDM و VDM را نشان می‌دهد. با برداشت داده های EM به کمک دستگاه EM34-3 در حالت‌ها و مدهای مختلف قرارگیری سیم پیچ‌های فرستنده و گیرنده و جدایش متفاوت سیم پیچ‌ها، و مدل‌سازی و تفسیر نتایج می‌توان گسترش سطحی و عمقی ساختارهای مورد مطالعه را با دقت به نقشه در آورد.

جدول (۱-۴) عمق اسمی اکتشاف برای دستگاه EM34 با فواصل

جدایش مختلف و فرکانس‌های متفاوت (GEONICS Limited, 2009)

دستگاه	فاصله جدایش	فرکانس ارسالی	جهت دو قطبی	عمق اسمی اکتشاف
EM34-3	۱۰ متر	۶/۴ کیلو هرتز	HD	۶/۸ متر (۲۲ فوت)
			VD	۱۴/۳ متر (۴۷ فوت)
EM34-3	۲۰ متر	۱/۶ کیلو هرتز	HD	۱۳/۵ متر (۴۴ فوت)
			VD	۲۸/۶ متر (۹۴ فوت)
EM34-3	۴۰ متر	۰/۴ کیلو هرتز	HD	۲۷ متر (۸۹ فوت)
			VD	۵۷ متر (۱۸۸ فوت)

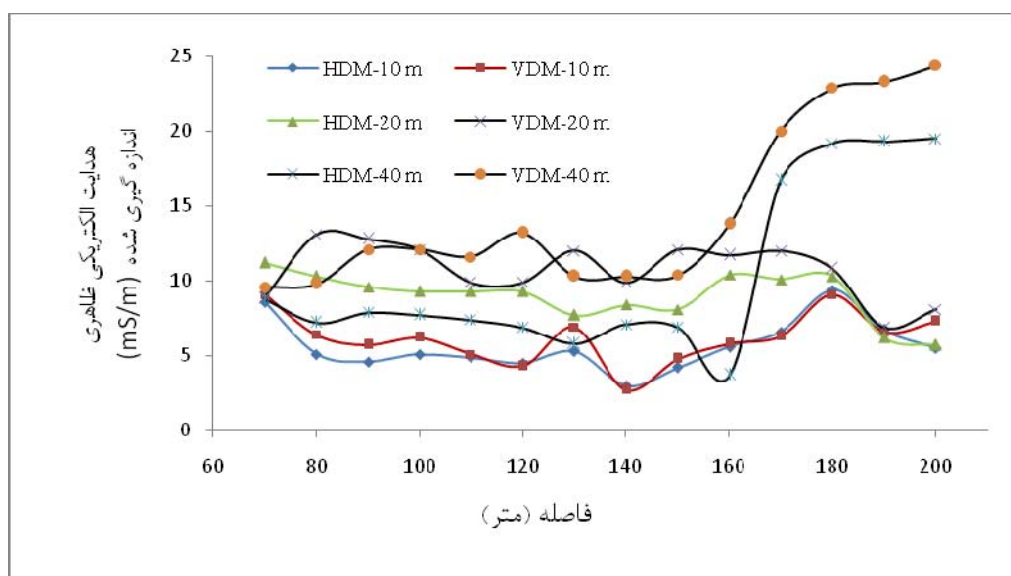
جهت مدل‌سازی داده‌ها، برداشت به صورت پروفیل زنی و سونداژزنی جهت به نقشه در آوردن ساختار مورد مطالعه و گسترش آن در جهت‌های مختلف انجام می‌گیرد. پروفیل زنی اطلاعات مورد نیاز درباره تغییرات جانبی هدایت الکتریکی در یک محدوده عمقی معین را فراهم می‌کند. این محدوده عمقی با فاصله سیم پیچ‌های فرستنده-گیرنده نسبت مستقیم و با فرکانس عملیات و هدایت الکتریکی زمین نسبت معکوس دارد. تفسیر داده‌های پروفیل زنی بیشتر به صورت نتایج کیفی می‌باشد. روش‌های سونداژ زنی جهت اکتشاف توزیع قائم هدایت الکتریکی زمین بکار می‌روند. سونداژزنی با استفاده از تغییر فرکانس (سونداژزنی پارامتری) یا تغییر فاصله جدایش سیم پیچ‌ها (سونداژزنی هندسی) یا ترکیبی از هر دو حاصل می‌شود. تفسیر کمی با استفاده از مدل سازی و معکوس‌سازی داده‌های سونداژ زنی در طول هر پروفیل به دست می‌آید.

۲-۴ ارائه و تفسیر داده‌های EM34-3 برای هر یک از پروفیل‌ها

۱-۲-۴ پروفیل EMI

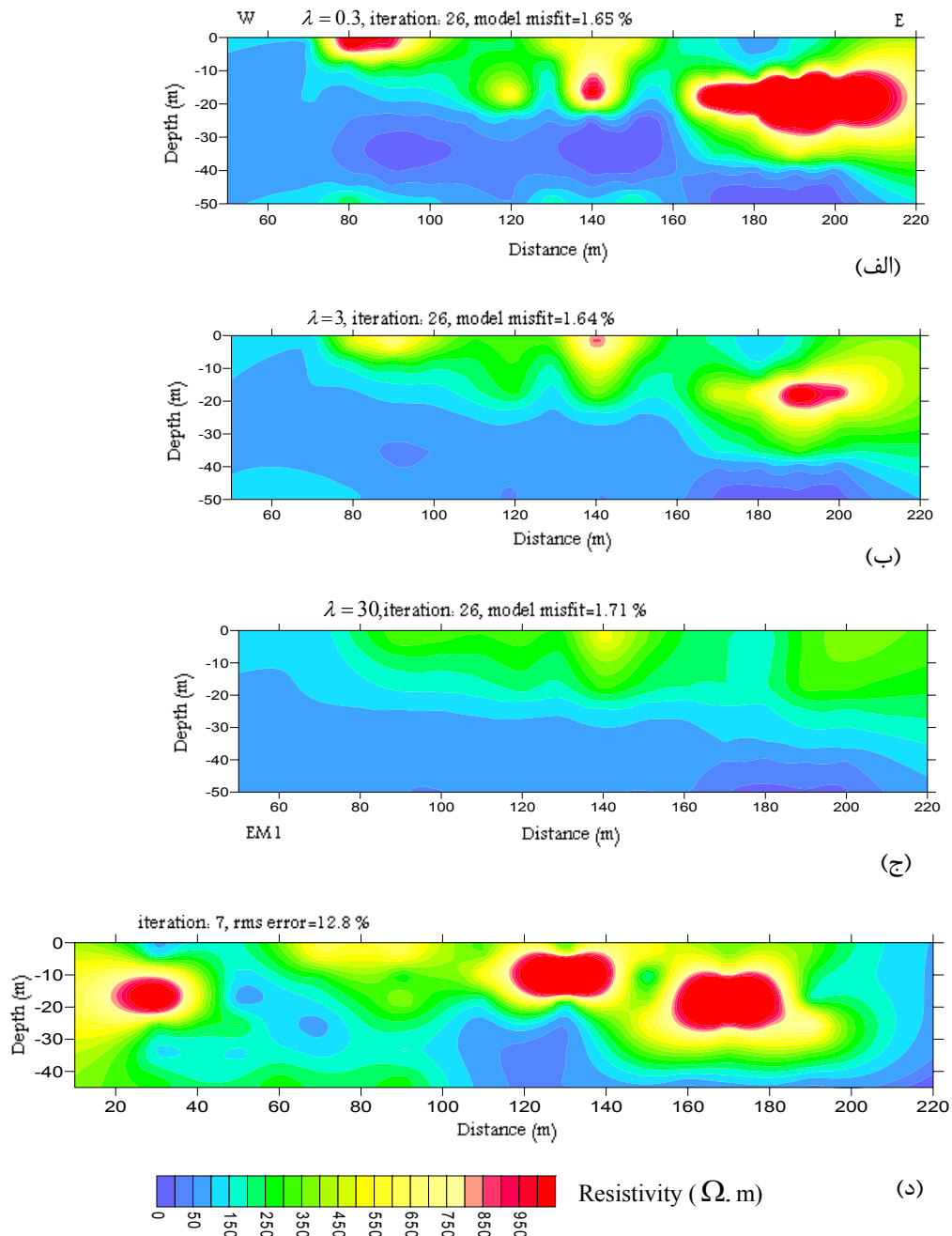
شکل (۱-۴) نمودار مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی ظاهری با دستگاه EM34 برای پروفیل EMI را نشان می‌دهد. در فاصله ۱۶۰ متری از مبدا مقدار هدایت الکتریکی ظاهری به ازای فاصله جدایش ۴۰ متر افزایش یافته است. با توجه به عمق اکتشاف مربوط به فاصله جدایش ۴۰ متر (جدول (۱-۴))، وجود یک زون آنومال در این قسمت در اعماق قابل استنباط است. شکل (۲-۴) نتایج مربوط به مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از داده‌های EM34-3 مربوط به پروفیل EMI (منطبق بر پروفیل V3) را نشان می‌دهد. این مدل به ازای سه λ (ضریب لاگرانژ یا همان ضریب میرایی) متفاوت $\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ و به طور همزمان و ترکیب داده‌ها در دو حالت HDM و VDM ارائه شده است. با توجه به اینکه مدل‌های حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده تا حد امکان باید کمترین ناهمواری و عدم برازش را داشته باشند (Constable et al., 1987)، همانطور که مشاهده می‌شود با بیشتر شدن مقدار λ مدل‌ها هموارتر می‌شوند. با توجه به اینکه مقاومت ویژه آب‌های آلوده کمتر از ۵۰-۱۰ اهم-متر و آب اسیدی معدن حدود ۲۰ اهم-متر می‌باشد، حضور یک زون با

مقاومت ویژه پائین (کمتر از ۲۵ اهم- متر) در فاصله حدود ۱۶۵ تا ۲۰۰ متری از مبدا و در عمق‌های بیشتر از ۴۵ متری حاصل از سه مدل (شکل ۴-۲) با λ های متفاوت تائیدی بر آلودگی احتمالی در این قسمت می‌باشد که همخوانی مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری شده (شکل ۴-۱) به ازای فاصله جدایش ۴۰ متر دارد. از طرفی نباید عمق سطح آب‌های زیر زمینی را در تفسیر مسایل زیست محیطی نادیده گرفت. سطح آب زیرزمینی در منطقه متغیر بوده چون میزان بارندگی در فصول مختلف سال متفاوت می‌باشد. بر اساس مطالعات قبلی انجام شده توسط مرادزاده و همکاران (۱۳۸۶ الف) در این منطقه عمق سطح آب زیرزمینی در ناحیه برداشت پروفیل‌های EM34-3 حدود ۳۵ متر می‌باشد. از اینرو، این احتمال وجود دارد که آلودگی حاصل از محل انباشت باطله‌ها و همچنین ناشی از سدهای باطله توسط بارش‌های جوی و از طریق درز و شکاف‌ها و مجاری باز، به آب‌های زیرزمینی راه یافته باشند.



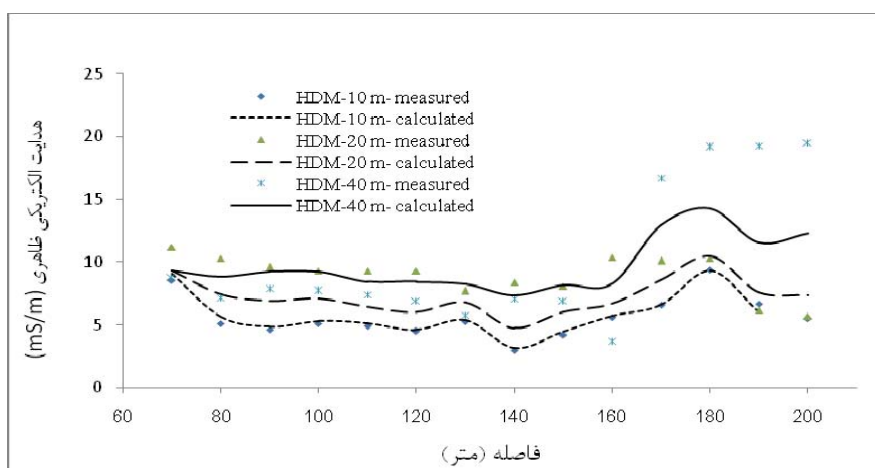
شکل (۴-۱). نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM1 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM.

شکل (۲-۴) مدل دو بعدی روش مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل EM1 را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود روند کلی تغییرات مقاومت ویژه در دو مدل، به ویژه شکل (۲-۴) الف و شکل (۲-۴) د مشابه می‌باشد.

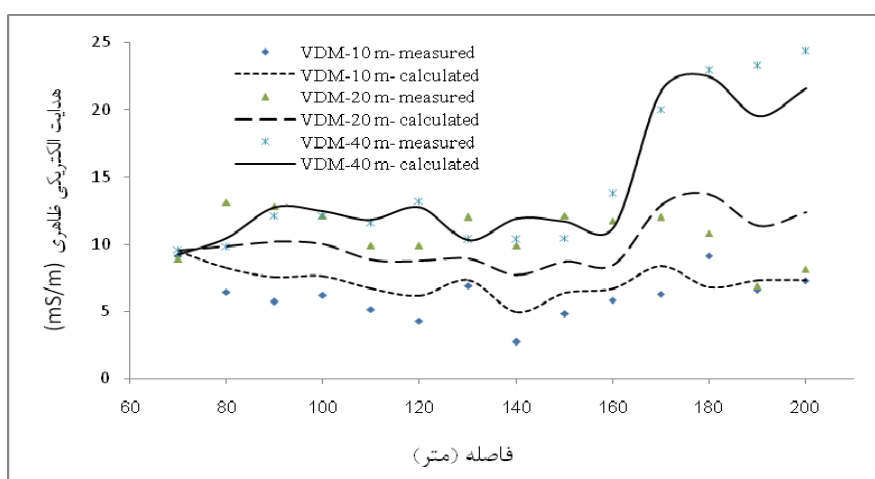


شکل (۲-۴). مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM1. (الف) $\lambda = 0.3$. (ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$. (د) مدل دو بعدی روش مقاومت ویژه.

اگرچه با افزایش λ مدل‌های حاصل از داده‌های EM34 هموارتر می‌شوند، اما جزئیات موجود از بین می‌روند. مقایسه بیشتر بین مدل‌ها در فصل پنجم ارائه می‌شود. شکل (۳-۴) نتایج مربوط به هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده و پاسخ محاسبه شده مربوط به آنها برای مدل شکل (۳-۴-۲) را در حالت HDM و VDM نشان می‌دهد. با توجه به درصد خطای پایین (کمتر از ۲ درصد) ملاحظه می‌شود که برازش نسبتاً خوبی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده وجود دارد. برای پروفیل‌های EM2 تا EM7 این نمودارها در پیوست (ب) ارائه شده است.



(الف)

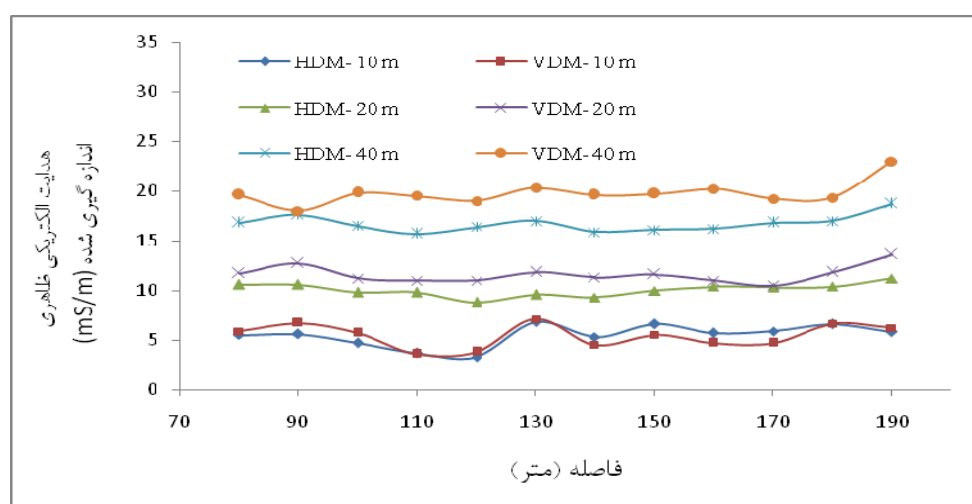


(ب)

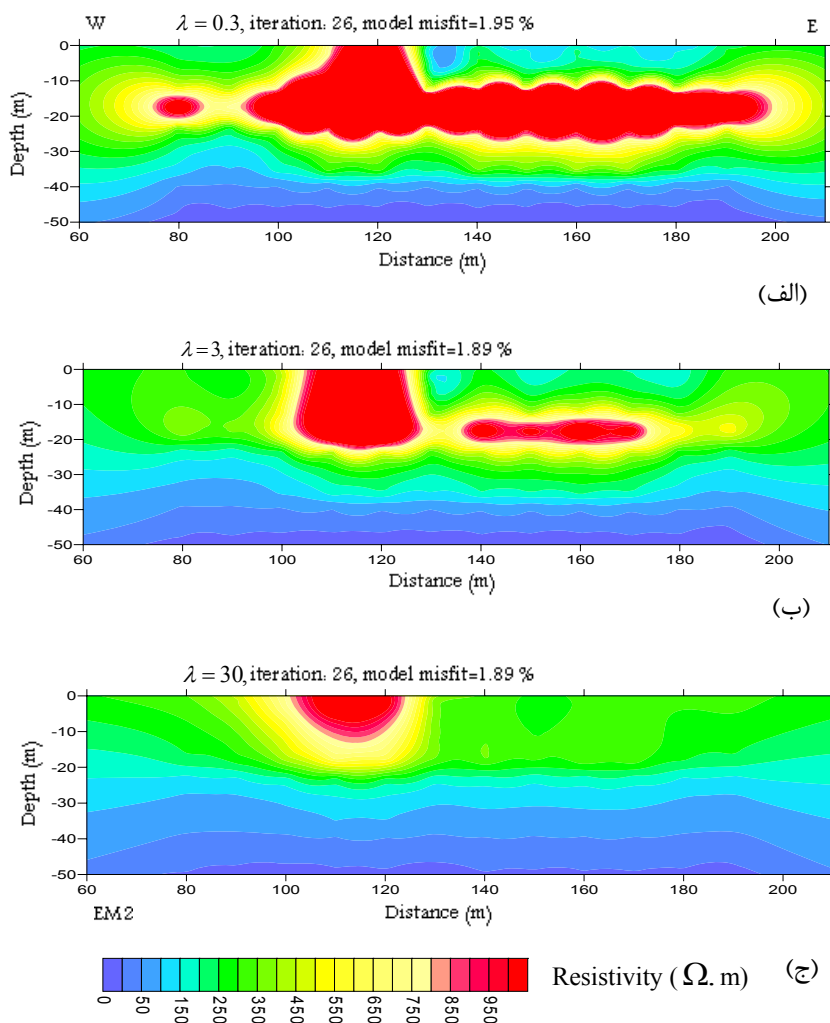
شکل (۳-۴). نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM1. الف) در حالت HDM. ب) در حالت VDM.

۲-۲-۴ پروفیل EM2

شکل (۴-۴) نمودار مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی ظاهری با دستگاه EM34 برای پروفیل EM2 را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴-۴) یک ساختار لایه‌ای به ویژه در اعماق پایین‌تر همراه با افزایش هدایت الکتریکی ظاهری قابل مشاهده است. شکل (۴-۵) نتایج مربوط به مدل‌سازی ترکیبی دو بعدی داده‌های EM34-3 مربوط به پروفیل EM2 (منطبق بر پروفیل V4) را به ازای λ های متفاوت نشان می‌دهد. مشابه پروفیل EM1 همانطور که از نتایج مدل‌سازی پیداست، با افزایش مقدار λ مدل‌ها هموارتر می‌شوند. روند کاهش مقاومت ویژه از سطح به عمق و همچنین ساختار لایه‌ای در عمق بیش از ۲۰ متر حاصل از مدل‌سازی با داده‌های ظاهری اندازه‌گیری شده همخوانی مناسبی دارد. یک زون با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر در فاصله حدود ۸۰ تا ۱۹۵ متری از مبدا پروفیل و در اعماق بیشتر از ۴۵ متری مشاهده می‌شود که این کاهش مقاومت ویژه احتمالاً ناشی از ورود فلزات سنگین مرتبط با محل‌های انباشت باطله به آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشد که ممکن است آلودگی احتمالی را سبب شده باشد. با توجه به شکل (ب-۱) ارائه شده در پیوست (ب) و خطای پایین مدل‌سازی (کمتر از ۲ درصد) برازش خوبی بین داده‌ها و مدل نهایی وجود دارد.



شکل (۴-۴). نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM2 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM.

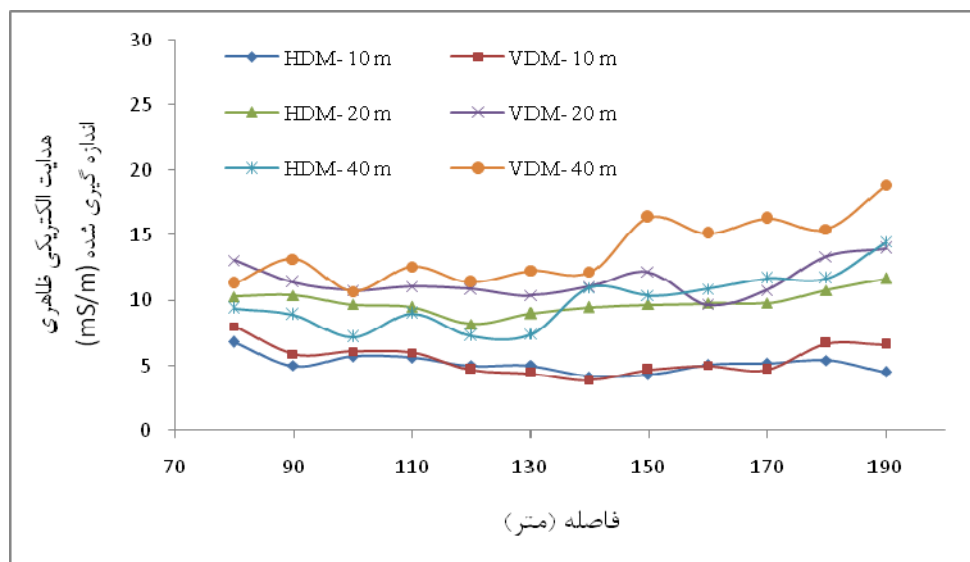


شکل (۴-۵). مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM2. (الف) $\lambda = 0.3$. (ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$.

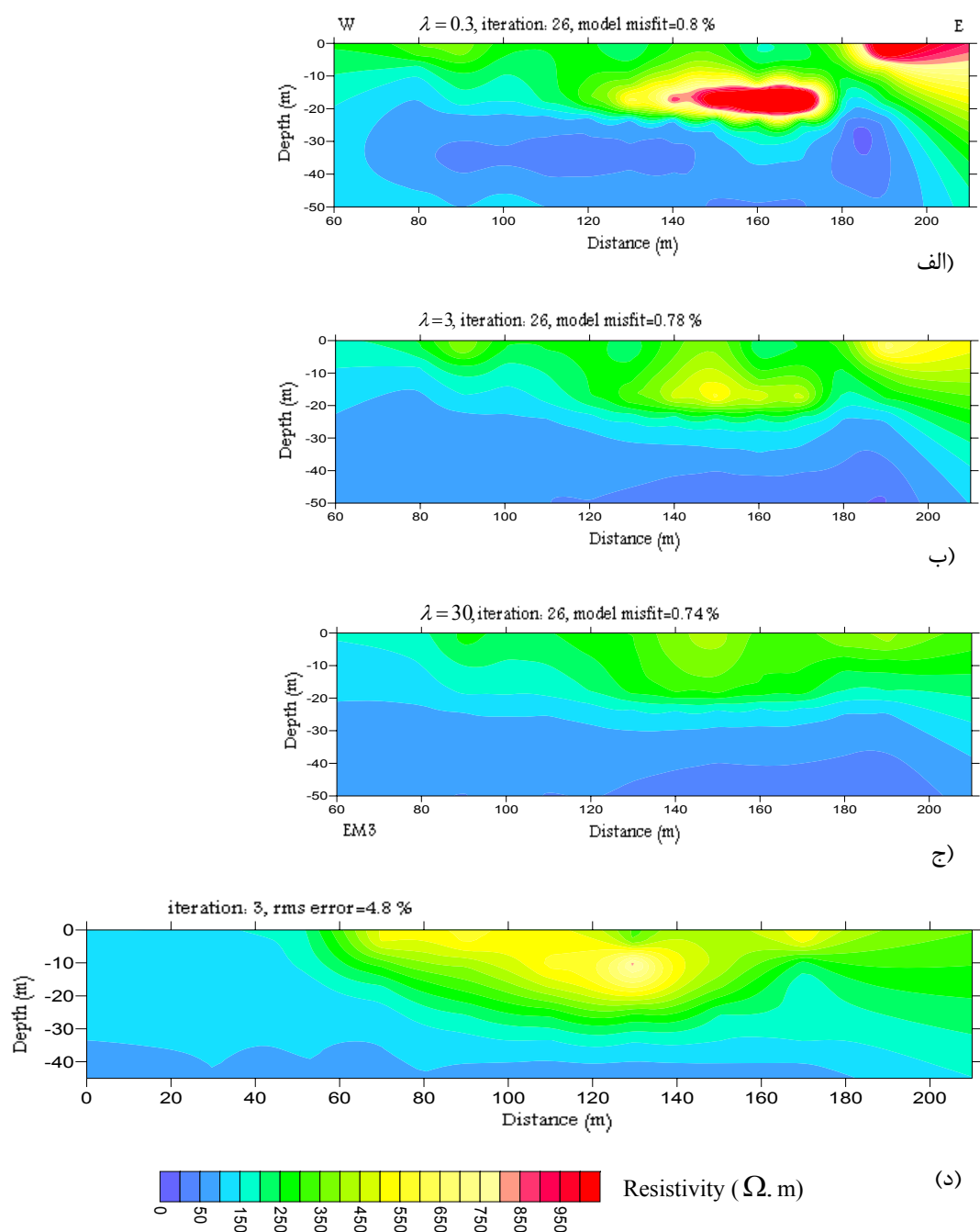
۳-۲-۴ پروفیل EM3

شکل (۴-۶) نمودار مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی ظاهری با دستگاه EM34 برای پروفیل EM3 را نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی ظاهری در فاصله ۱۵۰ تا ۱۹۰ از مبدا برای فاصله جدایش ۴۰ متر افزایش یافته است. با توجه به عمق اکتشافی بیشتر فاصله جدایش ۴۰ متر، وجود یک زون با هدایت الکتریکی بالا در اعماق پایین‌تر قابل انتظار است. شکل (۴-۷) نتایج مربوط به مدل‌سازی دو بعدی ترکیبی داده‌های

EM34-3 را برای پروفیل EM3 (منطبق بر پروفیل V5) نشان می‌دهد. مشابه پروفیل‌های قبلی مدل‌های با $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ نتایج بهتری را از لحاظ همواری مدل، نسبت به مدل با $\lambda = 0.3$ نشان می‌دهند، اما با افزایش همواری جزئیات از بین رفته است. هرچند روند کلی تغییرات مقاومت ویژه به صورت کاهشی از سطح به عمق مشابه می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۷) روند کلی تغییر مقاومت ویژه در مدل روش مقاومت ویژه نیز یکسان با این مدل‌ها می‌باشد و همخوانی مناسبی بین نتایج حاصل از دو روش EM34 و مقاومت ویژه وجود دارد. خطای مدل‌سازی نیز در دو روش پایین می‌باشد. در فاصله حدود ۱۲۰ تا ۲۰۰ متری از مبدا و در عمق‌های بیش از ۳۵ متری (تقریباً منطبق بر سطح آب زیرزمینی) یک زون با مقاومت ویژه ۲۵ تا ۵۰ اهم-متر مشاهده می‌شود. هرچند مقاومت ویژه آب اسیدی معدن حدود ۲۰ اهم-متر می‌باشد، اما مقاومت ویژه آب‌های آلوده از ۱۰ تا ۵۰ اهم-متر تغییر می‌نماید. شاید بتوان این زون را به آلودگی نسبت داد. یا اینکه از تشکیلات زمین‌شناسی ناشی شده باشد.



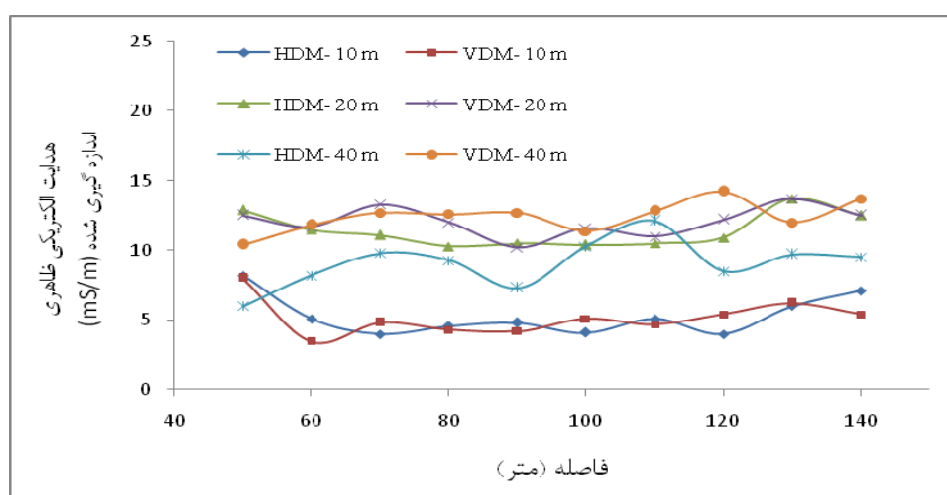
شکل (۴-۶). نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM3 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM.



شکل (۴-۷). مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM3. (الف) $\lambda = 0.3$. (ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$. (د) مدل دوبعدی روش مقاومت ویژه.

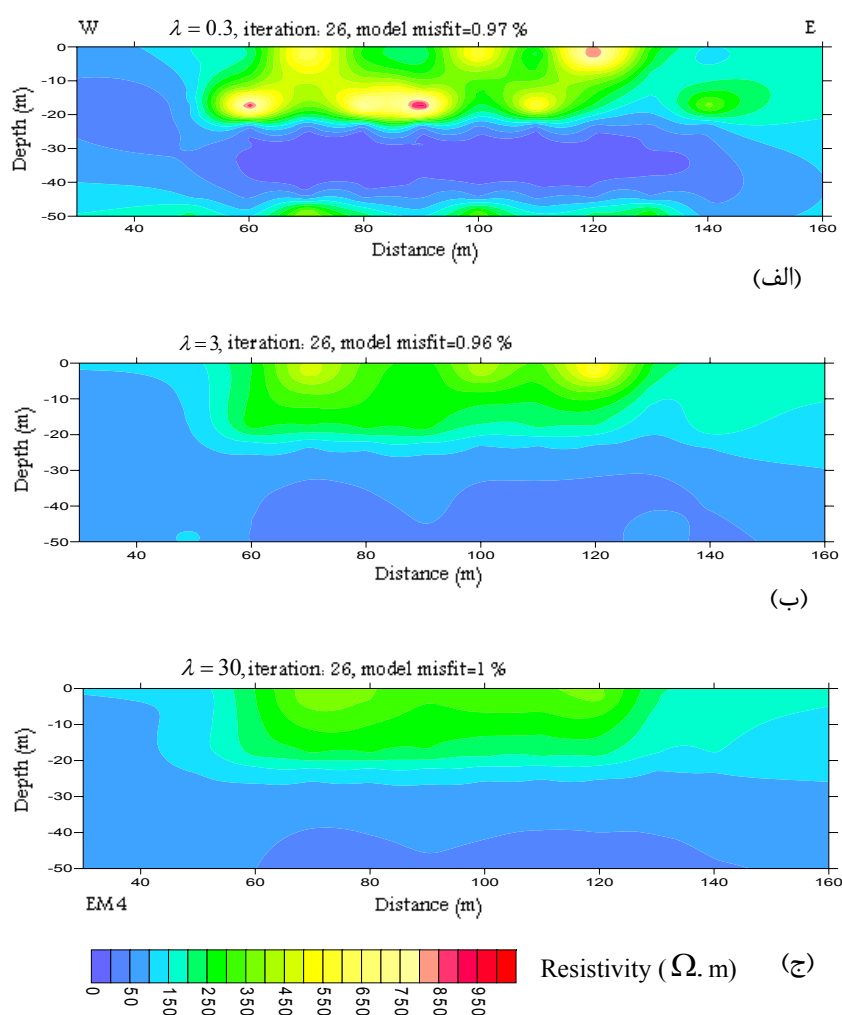
۴-۲-۴ پروفیل EM4

شکل (۸-۴) نمودار مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی ظاهری با دستگاه EM34 برای پروفیل EM4 را نشان می‌دهد. تفسیر بر اساس داده‌های ظاهری اندازه‌گیری شده کار ساده‌ای نمی‌باشد. با توجه به روند تغییرات هدایت الکتریکی به صورت تناوبی می‌توان نتیجه گرفت که ساختارهای موجود حالت لایه‌ای ندارند. شکل (۹-۴) نتایج مربوط به مدل‌سازی دو بعدی ترکیبی داده‌های EM34-3 مربوط به پروفیل EM4 (منطبق بر پروفیل V6) را نشان می‌دهد. در ابتدا و انتهای مدل در عمق‌های سطحی‌تر نسبت به وسط مقطع مدل مقاومت ویژه کاهش یافته است. در مدل با $\lambda = 0.3$ جزئیات بیشتری به ویژه یک زون با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر در فاصله حدود ۶۰ تا ۱۴۰ متری از مبدا و در عمق‌های بین ۲۵ تا ۴۰ متری قابل مشاهده است به طوری که در عمق بیش از ۴۰ متر مقاومت ویژه دوباره افزایش یافته است. اما در مدل با $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ این افزایش مقاومت ویژه مشاهده نمی‌شود. این زون با مقاومت ویژه پایین (کمتر از ۲۵ اهم-متر) تقریباً در همین فاصله برای مدل با $\lambda = 3$ در عمق‌های بیش از ۳۲ متر و برای مدل با $\lambda = 30$ در عمق‌های بیش از ۳۸ متری و با مقاومت ویژه ۲۵ تا ۵۰ اهم-متری قابل ملاحظه می‌باشد.



شکل (۸-۴). نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM4 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM.

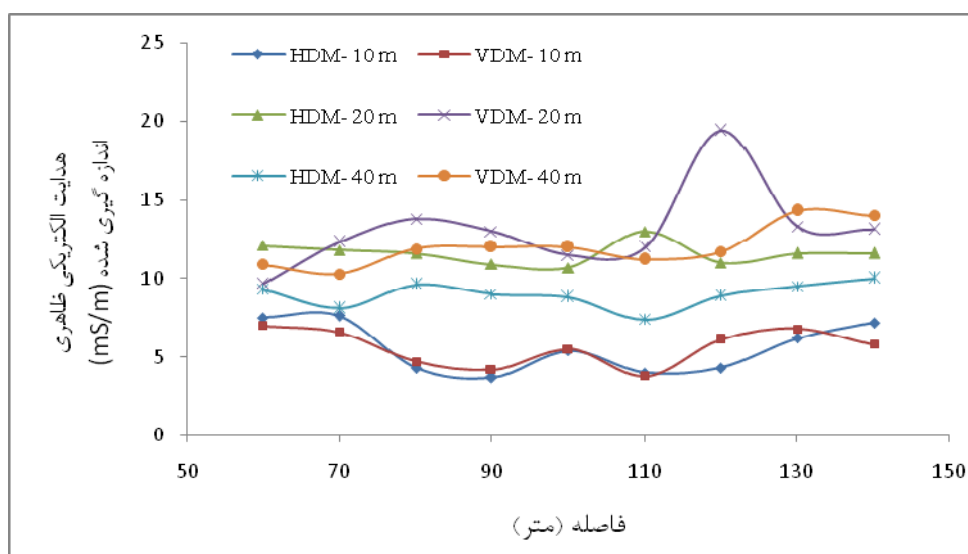
مشابه پروفیل‌های قبلی در اینجا نیز این زون با مقاومت ویژه پایین را می‌توان به آلودگی احتمالی نسبت داد که به آب‌های زیرزمینی راه یافته‌اند. خطای مدل‌سازی در این پروفیل کمتر از یک درصد می‌باشد. با مقایسه نمودار داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در پیوست (ب) می‌توان نتیجه گرفت که دقت مدل‌سازی خوب می‌باشد.



شکل (۴-۹). مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM4. (الف) $\lambda = 0.3$. (ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$.

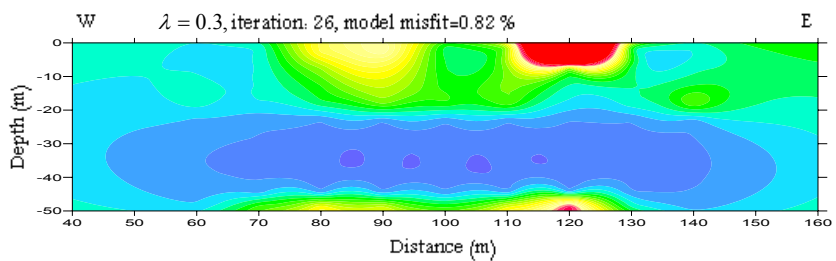
۴-۲-۵ پروفیل EM5

شکل (۴-۱۰) نمودار مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی ظاهری با دستگاه EM34 برای پروفیل EM5 را نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی ظاهری در ابتدا و انتهای پروفیل به ازای فاصله جدایش ۱۰ متر نسبت به وسط پروفیل افزایش یافته است. به ازای فاصله جدایش ۲۰ متر در حالت HDM در فاصله ۱۱۰ متری و در حالت VDM در فاصله ۸۰ متری و به طور چشم‌گیر در فاصله ۱۲۰ متری هدایت الکتریکی ظاهری افزایش یافته است. برای فاصله جدایش ۴۰ متر در انتهای پروفیل روند افزایشی هدایت الکتریکی ظاهری قابل مشاهده است. شکل (۴-۱۱) مربوط به نتایج مدل‌سازی دو بعدی ترکیبی داده‌های EM34-3 روی پروفیل EM5 (منطبق بر پروفیل V7) را نشان می‌دهد. در مدل با $\lambda = 0.3$ یک زون با مقاومت ویژه ۲۵ تا ۵۰ اهم-متر در فاصله حدود ۶۵ تا ۱۴۰ متری از مبدا و در عمق‌های تقریبی بین ۲۵ تا ۴۳ متری قابل مشاهده است.

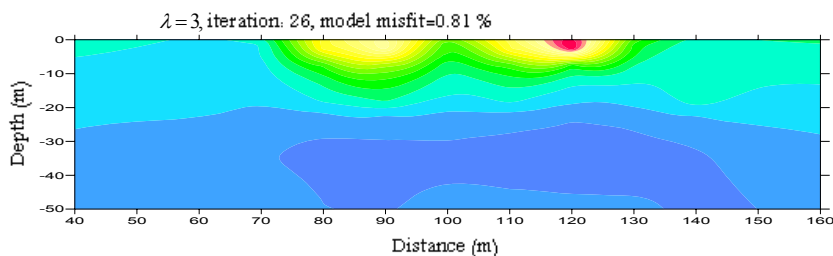


شکل (۴-۱۰). نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM5 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM.

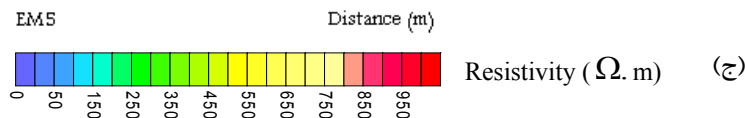
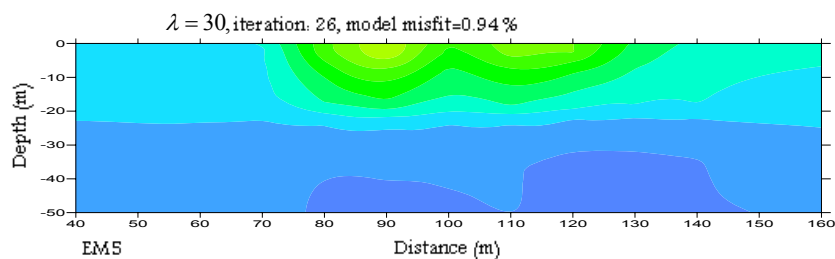
چند زون بسیار کوچک با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر نیز در داخل این زون دیده می‌شود. این زون با مقاومت ویژه پایین برای مدل با $\lambda = 3$ در فاصله حدود ۷۵ تا ۱۵۰ متری در عمق‌های بیش از ۲۵ متری با ضخامت متغیر و برای مدل با $\lambda = 30$ به صورت دو زون، یکی در فاصله تقریبی ۷۸ تا ۱۱۰ متری از مبدا در عمق‌های بیش از ۴۰ متر و زون بعدی در فاصله ۱۱۰ تا ۱۴۸ متری در عمق‌های بیش از ۳۲ متری با مقاومت ویژه ۲۵ تا ۵۰ اهم-متر قابل ملاحظه‌اند. این زون‌ها به صورت لکه‌های آلودگی احتمالی قابل تفسیر می‌باشند. نتایج حاصل از مدل‌سازی همخوانی مناسبی با داده‌های ظاهری اندازه‌گیری شده دارند.



(الف)



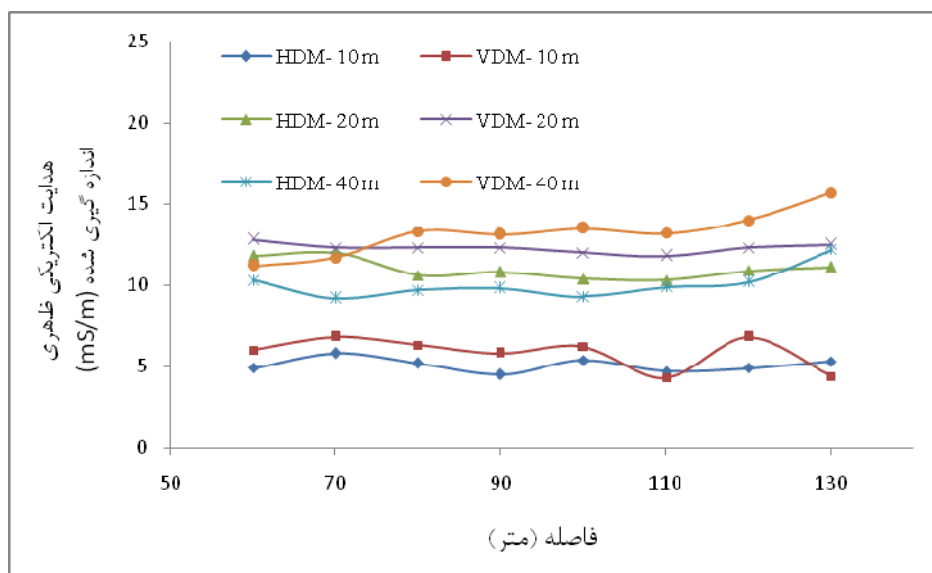
(ب)



شکل (۴-۱۱). مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM5. (الف) $\lambda = 0.3$. (ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$.

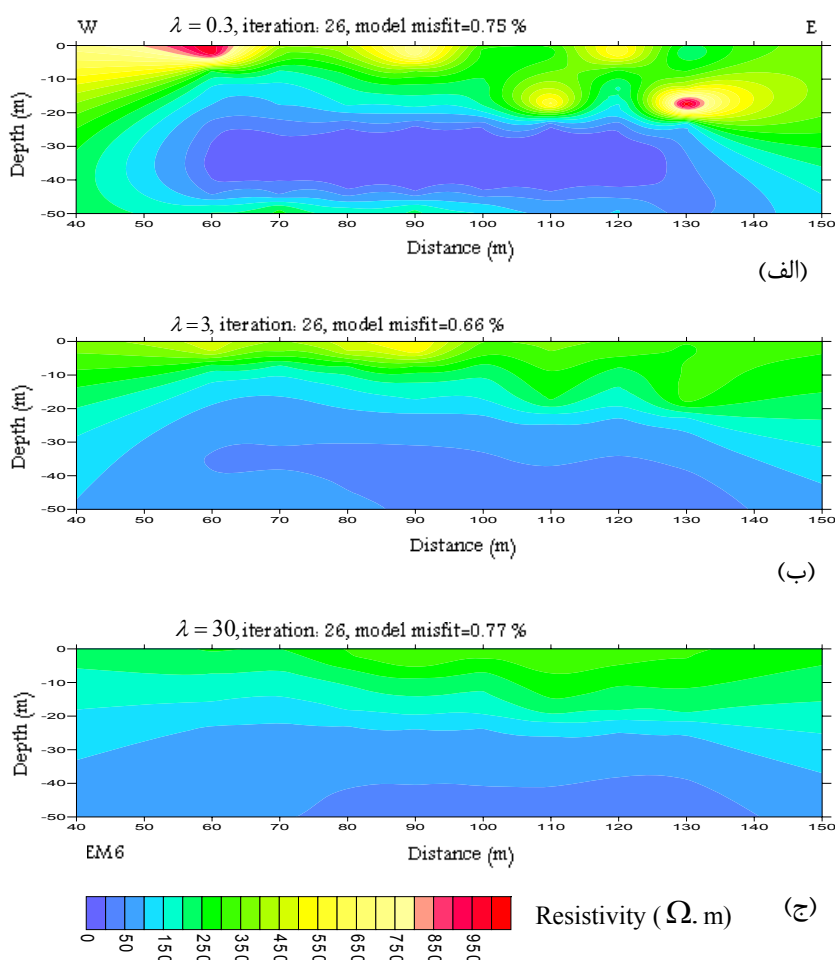
۶-۲-۴ پروفیل EM6

شکل (۴-۱۲) نمودار مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی ظاهری را برای پروفیل EM6 نشان می‌دهد. به ازای فاصله جدایش ۱۰ متر در حالت VDM در فاصله ۱۱۰ متری از مبدا کاهش و در فاصله ۱۲۰ متری از مبدا افزایش هدایت الکتریکی ظاهری قابل مشاهده است. برای فاصله جدایش ۴۰ متر در حالت VDM افزایش هدایت الکتریکی ظاهری از فاصله ۸۰ متری مبدا تا انتهای پروفیل چشم‌گیر است. شکل (۴-۱۳) نتایج مدل‌سازی دو بعدی ترکیبی داده‌های EM34-3 مربوط به پروفیل EM6 (منطبق بر پروفیل V8) را نشان می‌دهد. روند کلی تغییرات مقاومت ویژه از سطح به عمق کاهش یافته است. در مدل با $\lambda = 0.3$ یک زون با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر در فاصله حدود ۶۰ تا ۱۲۷ متری از مبدا و در عمق‌های حدود ۲۵ تا ۴۳ متری قابل مشاهده است.



شکل (۴-۱۲). نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM6 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM.

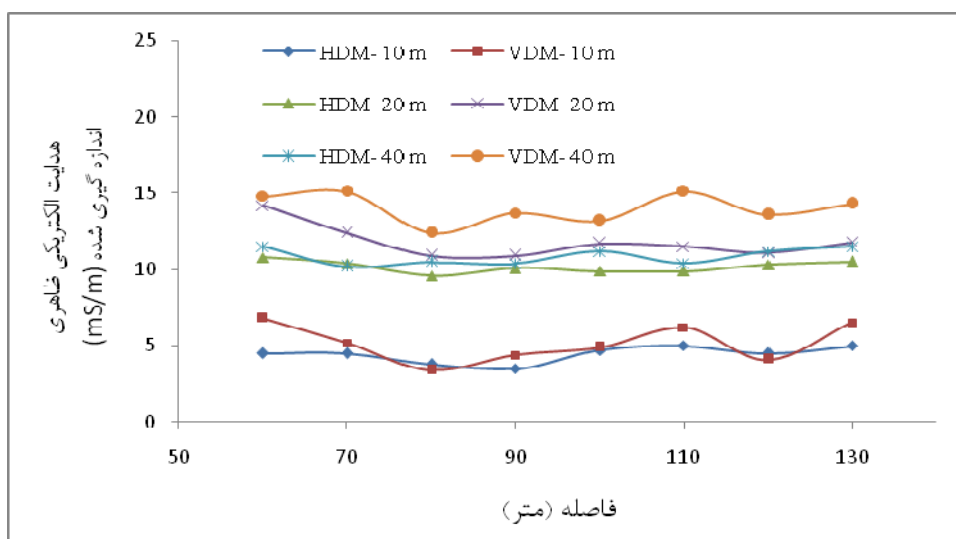
این زون با مقاومت ویژه پایین (۲۵ تا ۵۰ اهم-متر) برای مدل با $\lambda = 3$ در فاصله حدود ۶۰ تا ۱۳۸ متری از مبدا در عمق‌های بیش از ۳۱ متر و برای مدل با $\lambda = 30$ در فاصله حدود ۷۴ تا ۱۴۰ متری از مبدا در عمق‌های بیش از ۳۸ متری با مقاومت ویژه ۲۵ تا ۵۰ اهم-متر قابل ملاحظه است. شاید بتوان این زون‌ها را نیز به آلودگی احتمالی نسبت داد. خطای مدل‌سازی برای این پروفیل زیر یک درصد می‌باشد و همخوانی مناسبی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده وجود دارد (شکل (ب-د) از پیوست ب).



شکل (۴-۱۳). مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM6. (الف) $\lambda = 0.3$. (ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$.

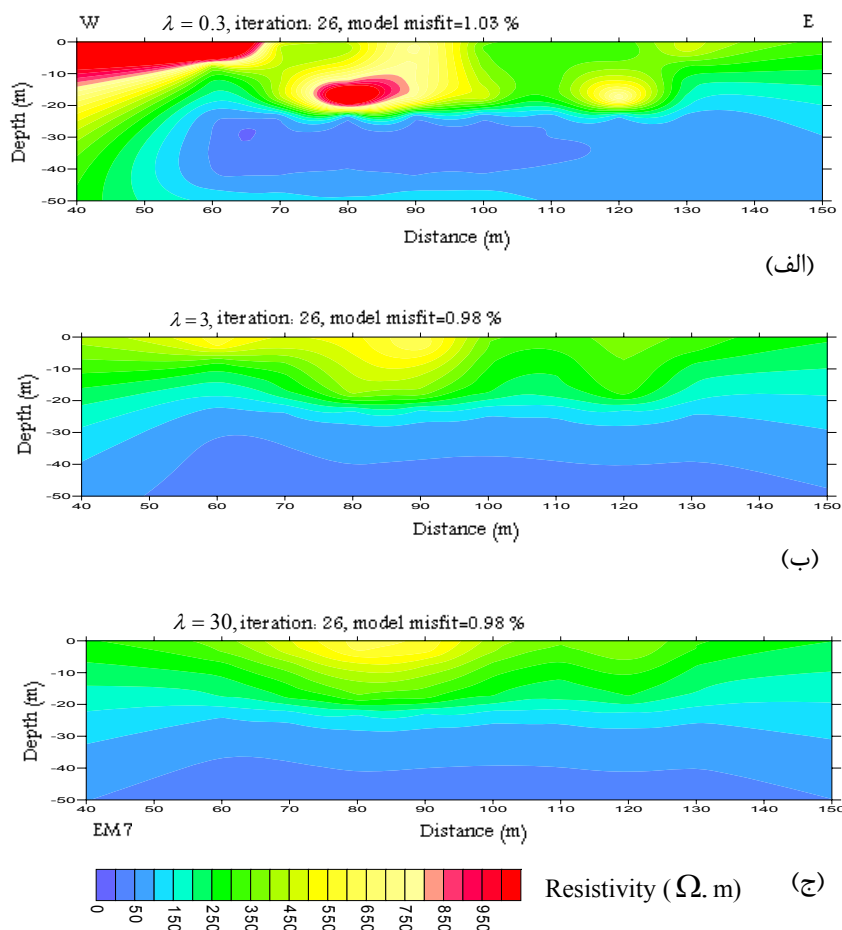
۷-۲-۴ پروفیل EM7

شکل (۴-۱۴) نمودار مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی ظاهری را برای پروفیل EM7 نشان می‌دهد. هدایت ظاهری الکتریکی برای فاصله جدایش ۲۰ و ۴۰ متر نسبت به فاصله هدایت الکتریکی ظاهری فاصله جدایش ۱۰ متر افزایش یافته است که نشان می‌دهد هدایت الکتریکی با افزایش عمق افزایش یافته است. نتایج مربوط به مدل‌سازی دو بعدی ترکیبی داده‌های EM34-3 مربوط به پروفیل EM7 (منطبق بر پروفیل V9) در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است. روند کاهش مقاومت ویژه با افزایش عمق در مدل با داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری همخوانی مناسبی دارد. حالت لایه‌ای در عمق بیش از ۲۰ متر به ویژه برای مدل با $\lambda = 30$ و $\lambda = 3$ قابل مشاهده است. در مدل با $\lambda = 0.3$ یک زون با مقاومت ویژه ۲۵ تا ۵۰ اهم-متر در فاصله تقریبی ۶۰ تا ۱۱۵ متری از مبدا و در عمق‌های حدود ۲۵ تا ۴۲ متری قابل مشاهده است. برای مدل با $\lambda = 3$ زون با مقاومت ویژه پایین در فاصله حدود ۵۰ تا ۱۵۰ متری از مبدا و در عمق‌های بیش از



شکل (۴-۱۴). نمودار داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM7 در حالت‌های دو قطبی HDM و VDM.

۳۱ متری و برای مدل با $\lambda = 30$ در تمام طول پروفیل و در عمق‌های بیش از ۳۷ متری با مقاومت ویژه کمتر از ۵۰ اهم-متر قابل ملاحظه است. به نظر می‌آید این نواحی با مقاومت ویژه پایین با آلودگی احتمالی در ارتباط باشند. خطای پایین مدل‌سازی در این پروفیل نیز نشان از دقت مدل‌سازی دارد.

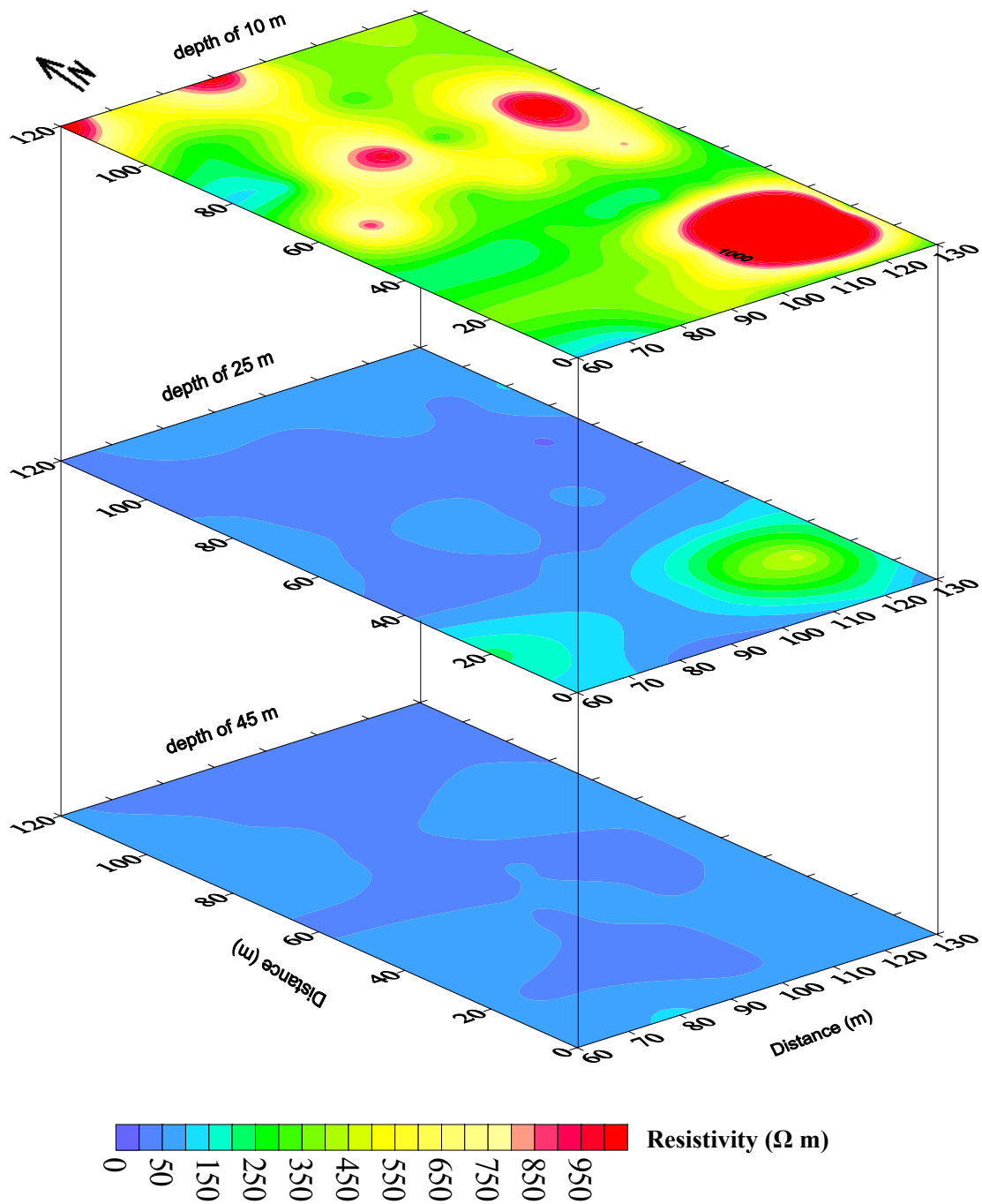


شکل (۴-۱۵). مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM7. (الف) $\lambda = 0.3$. (ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$.

با توجه به نتایج حاصل از پروفیل‌های EM1 تا EM7، عدم پیوستگی منبع آلودگی احتمالی با زون‌های مشخص شده، ناشی از تناوب در بارش‌های جوی است که در اثر بارندگی بخشی از آلودگی احتمالی تولیدی تا عمقی نفوذ می‌نماید.

۴-۲-۸ مدل شبه سه بعدی حاصل از داده‌های EM34

شکل (۴-۱۶) مدل شبه سه بعدی حاصل از معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 به ازای سه برش افقی در عمق‌های ۱۰، ۲۵ و ۴۵ متر می‌باشد که به کمک نرم افزار EM34-3D حاصل شده است. این مدل برای تمامی دسته داده‌های موجود با سه فاصله جدایش در حالت‌های برداشت افقی و قائم حلقه‌ها حاصل شده است. با توجه به کمبود داده در ابتدا و انتهای برخی پروفیل‌ها، یک شبکه منظم در وسط پروفیل‌ها جهت مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. با مقایسه مدل شبه سه بعدی و مدل‌های دو بعدی، الگوی تغییرات مقاومت ویژه مشابه می‌باشد. مقدار مقاومت ویژه در عمق ۱۰ متری بالا می‌باشد، اما در عمق ۲۵ متری مقدار مقاومت ویژه کاهش یافته است به طوری که مقدار تغییرات مقاومت ویژه با شروع از شمال غربی و با گسترش بیشتر در وسط مقطع در راستای شرقی-غربی، ۲۵ تا ۵۰ اهم-متر می‌باشد. این الگوی مقاومت ویژه پایین در عمق ۴۵ متری از ضلع شمالی شروع شده و با دور شدن از محل انباشت باطله‌ها به سمت جنوب مقطع کاهش یافته است. مقادیر مقاومت ویژه پایین (۲۵ تا ۵۰ اهم-متر) می‌تواند از زبانه‌های آلودگی احتمالی ناشی شده باشد که الگوی پراکندگی این آلودگی و فلزات سنگین ناشی از زهاب اسیدی حاصل از باطله‌ها موجود در بالا دست و یا سد باطله واقع در شمال غربی منطقه تحت پوشش را نشان می‌دهد. با توجه کارهای ژئوفیزیکی قبلی انجام شده با روش VLF و ژئوالکتریک در زمینه آلودگی در این منطقه (مرادزاده و همکاران (۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ الف و ب)) و همچنین نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های گرفته شده از باطله‌ها، خاک منطقه و چاههای موجود (دولتی و همکاران، ۱۳۸۷) که افزایش غلظت فلزات سنگین را نشان داده‌اند، بنابراین وجود زبانه‌های آلودگی دور از انتظار نمی‌باشد.



شکل (۴-۱۶). برش‌های افقی (در عمق‌های ۱۰، ۲۵ و ۴۵ متر) از مدل شبه سه بعدی حاصل از معکوس سازی ترکیبی داده‌های EM34.

فصل پنجم

مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی سه روش
VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه

۱-۵ مقدمه

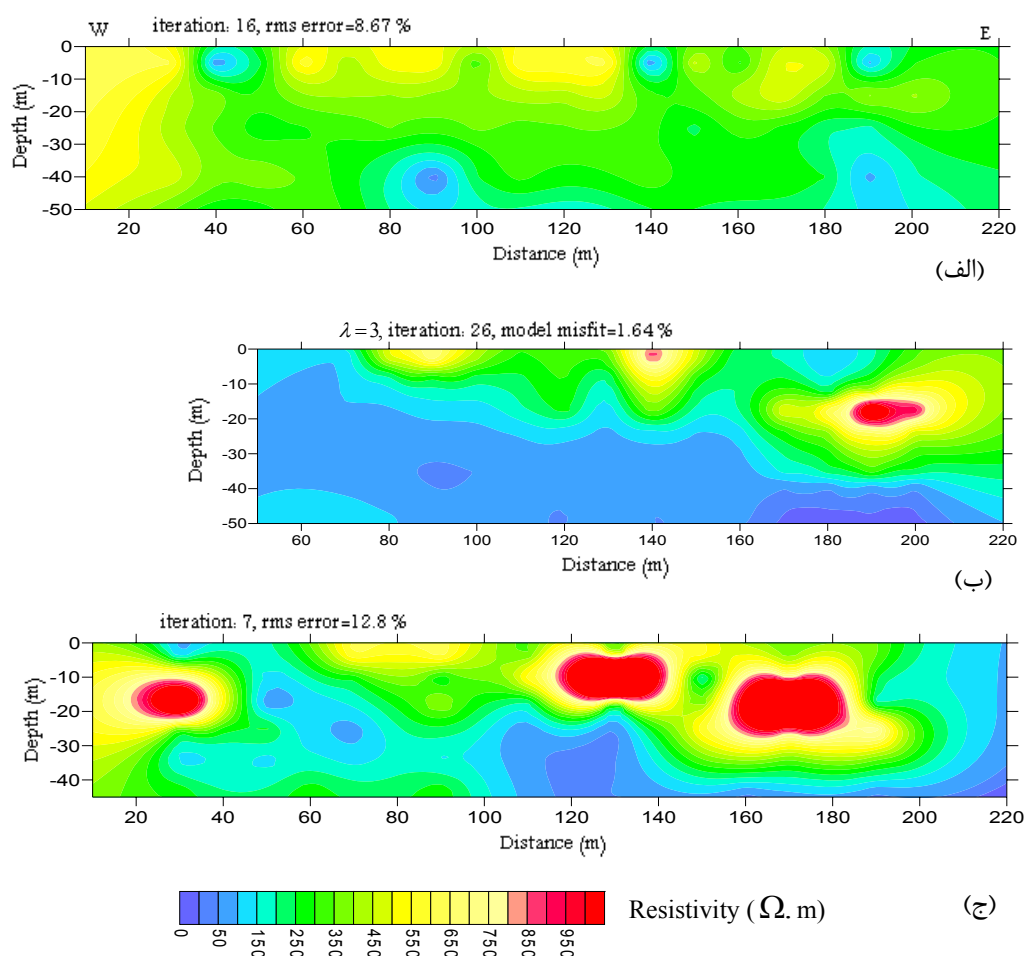
از آنجایی که هیچ روش ژئوفیزیکی به تنهایی نمی‌تواند به طور دقیق ساختارهای زیرسطحی را مشخص نماید، لذا استفاده از چند روش ژئوفیزیکی به درک بهتر ساختارهای زیرسطحی کمک می‌نماید. در این فصل مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی دو بعدی با سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه صورت گرفت. با توجه به تفاوت در ماهیت این روش‌ها طبیعتاً پاسخ یکسانی برای تغییرات ساختارهای زیرسطحی قابل انتظار نمی‌باشد. باید دقت نمود که روش VLF از یک فرکانس جهت اندازه‌گیری داده‌ها بهره می‌گیرد و این در حالی است که در روش EM34 سه فرکانس مختلف به ازای هر فاصله جدایش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۵ مقایسه بین مدل‌های مقاومت ویژه حاصل از سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه

۱-۲-۵ پروفیل‌های V3، EM1 و E1

شکل (۱-۵) نتایج مربوط به مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس را با استفاده از سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه برای پروفیل V3، EM1 و E1 (منطبق بر هم) نشان می‌دهد. با مقایسه سه مدل به دست آمده مقدار مقاومت ویژه پایین، با یک گسترش سطحی در فاصله حدود ۴۰ تا ۶۰ متری از مبدا (سمت غرب) و کاهش مقدار آن در عمق‌های بیشتر با دور شدن از مبدا در سمت شرق، قابل مشاهده است (شکل ۱-۵ الف و ج). روند کلی تغییرات مقاومت ویژه حاصل از سه روش همخوانی نسبتاً مناسبی با یکدیگر دارند. دو روش EM34 و مقاومت ویژه تطابق بهتری با هم نسبت به روش VLF دارند. در روش VLF از یک فرکانس، اما در روش EM34 از سه فرکانس استفاده می‌شود. همچنین خطای مدل سازی روش EM34 کمتر از ۲ درصد می‌باشد، بنابراین دقت مدل سازی آن بهتر از روش VLF می‌باشد. به طور کلی مقاومت ویژه از سطح به عمق کاهش یافته است. مقدار مقاومت ویژه پایین (کمتر از ۵۰ اهم-متر) در فاصله تقریبی ۱۲۰ متری از مبدا در عمق بیش از ۳۰ متری (شکل ۱-۵ ج) و همچنین در محدوده ۱۷۰ تا ۲۰۰ متری از مبدا در عمق‌های

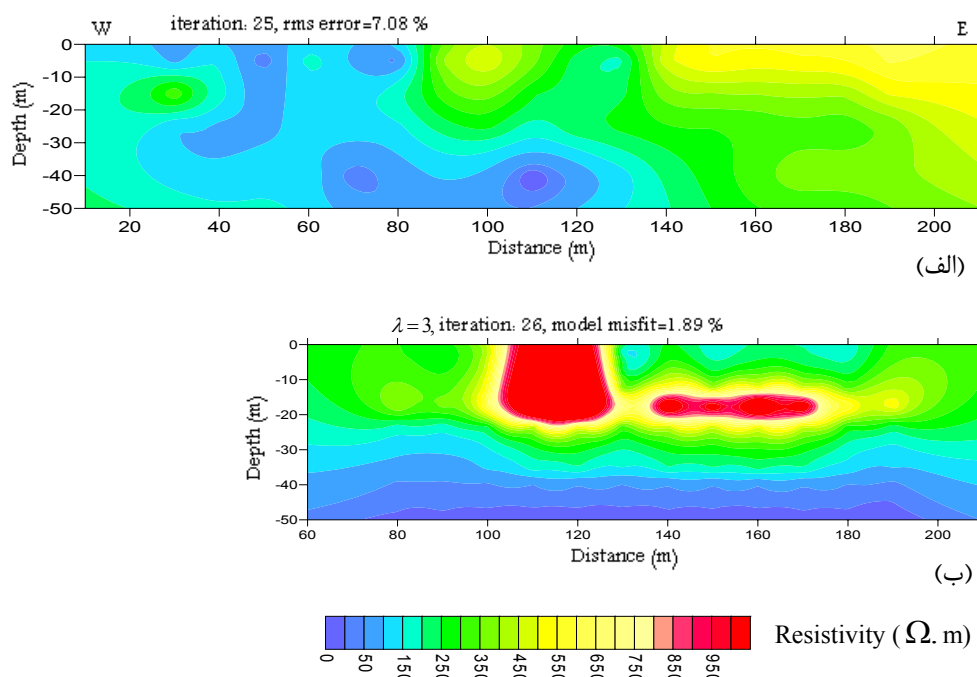
بیش از ۴۰ متری (شکل ۵-۱ ب) را می توان به زبانه های آلودگی های احتمالی ناشی از زهاب اسیدی حاصل از باطله های معدنی موجود در نواحی بالا دست و یا سد باطله واقع در شمال غربی نسبت داد. مسیر حرکتی این فلزات سنگین از طریق درزه و شکاف ها و به ویژه فضاهای خالی رسوبات سطحی می باشد. توزیع غیر یکنواخت مسیرهای نفوذ و جریان و تناوبی بودن بارندگی سبب شده است که آنومالی ها در عمق های متفاوت مشاهده شوند.



شکل (۵-۱) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس سه روش VLF، EM34 و مقاومت ویژه، برای پروفیل V3، EM1 و E1. (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3. (ج) مدل مقاومت ویژه.

۲-۲-۵ پروفیل های V4 و EM2

شکل (۲-۵) مدل های دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از معکوس سازی داده های VLF و EM34-3 را برای پروفیل های V4 و EM2 (منطبق بر هم) نشان می دهد. در سمت شرق پروفیل همخوانی کمتری بین دو مدل مشاهده می شود. در مدل روش VLF در فاصله ۱۴۰ تا ۲۱۰ متری مقاومت ویژه بالا می باشد، اما در مدل روش EM34-3 در این فاصله تا عمق تقریبی ۲۵ متر بالا می باشد و در عمق بیش از ۲۵ متر مقدار آن در سراسر مدل کاهش یافته است. در فاصله حدود ۶۰ تا ۱۴۰ متری از مبدا در عمق های بیش از ۳۰ متری روند تغییر کاهش مقاومت ویژه در دو روش مشهود می باشد. زون های کوچک با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر به ویژه در فاصله حدود ۱۱۰ متری در عمق تقریبی ۴۰ متری در مدل حاصل از داده های VLF مشخص شده است.

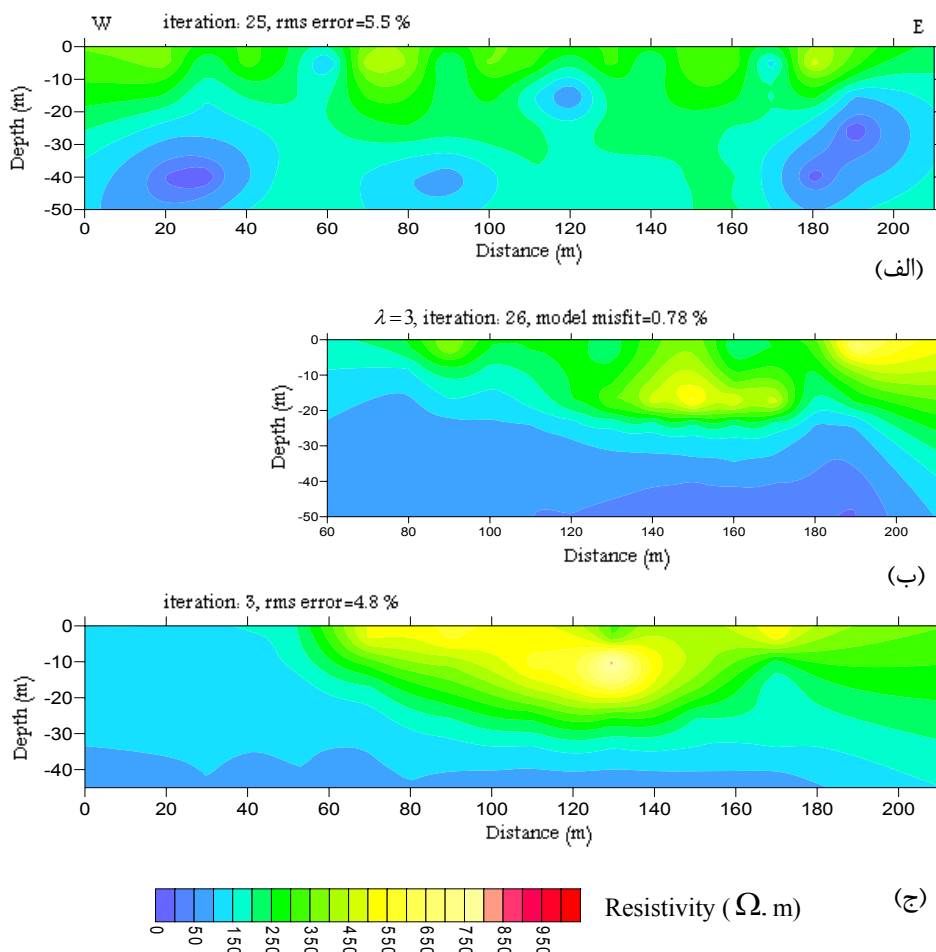


شکل (۲-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس دو روش VLF و EM34، برای پروفیل V4 و EM2 (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3.

در مدل حاصل از داده‌های EM34-3 مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر در فاصله حدود ۷۵ تا ۲۰۰ متری و در عمق‌های بیشتر از ۴۵ متری مشاهده می‌شود، که این نواحی با مقاومت ویژه پایین می‌توانند تاییدی بر آلودگی احتمالی باشند. با توجه تفاوت ذکر شده در ماهیت دو روش و خطای پایین (کمتر از ۲ درصد) مدل سازی روش EM34-3، دقت این روش بهتر می‌باشد.

۵-۲-۳ پروفیل‌های V5، EM3 و E2

شکل (۵-۳) نتایج مربوط به مدل سازی دو بعدی داده‌های سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه را برای پروفیل‌های EM3، V5 و E2 (منطبق بر هم) نشان می‌دهد. روند کلی تغییرات مقاومت ویژه در سه روش تقریباً مشابه می‌باشد. همخوانی نتایج دو روش EM34-3 و مقاومت ویژه با هم بهتر از روش VLF مشهود است و خطای مدل سازی این دو روش نیز کمتر از روش VLF می‌باشد. در مدل حاصل از داده‌های VLF سه زون با مقاومت ویژه پایین در بخش تحتانی مدل دیده می‌شود. زون اولی در فاصله حدود ۲۵ متری از مبدا و در عمق تقریبی ۴۰ متری، زون دومی در بخش میانی در موقعیت ۹۰ متری از مبدا و زون سوم در فاصله بین ۱۸۰ تا ۱۹۵ متری و در اعماق بین ۲۰ تا ۴۰ متری قابل مشاهده می‌باشند که می‌توان این زبانه‌های گسسته را مرتبط با آلودگی احتمالی دانست. در نتایج روش EM34-3 یک زون با مقاومت ویژه کمتر از ۵۰ اهم-متر در فاصله بین ۱۲۰ تا ۲۰۰ متری و در اعماق بیش از ۳۵ متری نمایان است که در نتایج روش مقاومت ویژه این زون به صورت یک لایه تقریباً پیوسته به طرف مبدا پروفیل قابل مشاهده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مدل سازی هر سه روش تا حدودی توانسته‌اند زونی با مقاومت ویژه پایین‌تر از ۵۰ اهم-متر را در عمق بیش از ۳۰ متر در بخش میانی و انتهایی پروفیل شناسایی نمایند که علت کاهش مقاومت ویژه آن احتمالاً به دلیل نفوذ زبانه‌های آلوده کننده ناشی از محل انباشت باطله‌های معدنی در نواحی بالا دست پروفیل است.

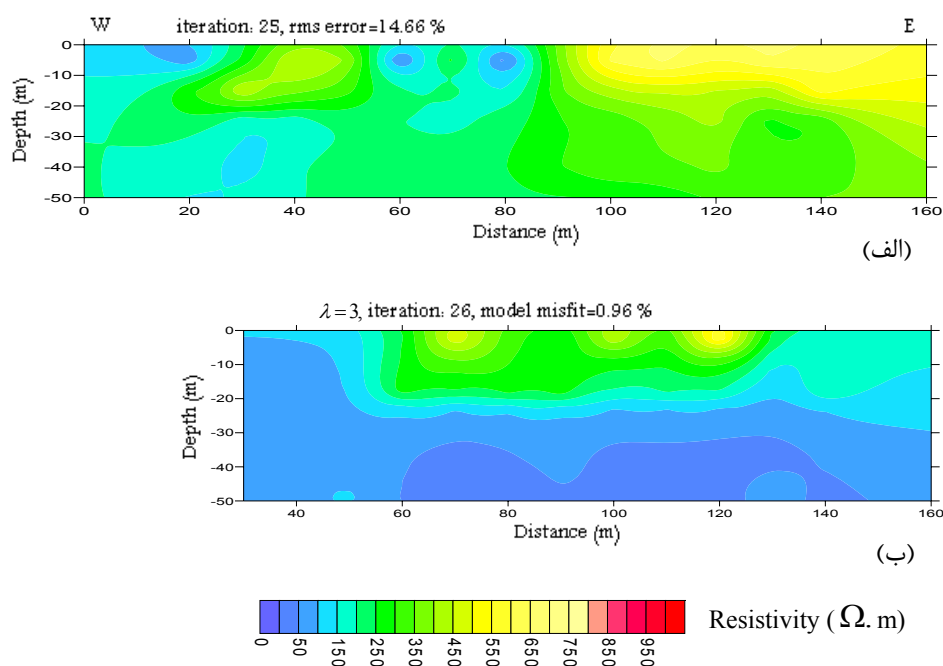


شکل (۳-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس سه روش VLF، EM34 و مقاومت ویژه، برای پروفیل V5، EM3 و E2. (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3. (ج) مدل مقاومت ویژه.

۴-۲-۵ پروفیل های V6 و EM4

مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس برای دو روش VLF و EM34-3 مربوط به پروفیل های V6 و EM4 (منطبق بر هم) در شکل (۴-۵) نشان داده شده است. با توجه به ماهیت دو روش، اختلاف در مدل های حاصل دور از انتظار نمی باشد. از آنجایی که در روش EM34-3 از سه فاصله جدایش در دو حالت

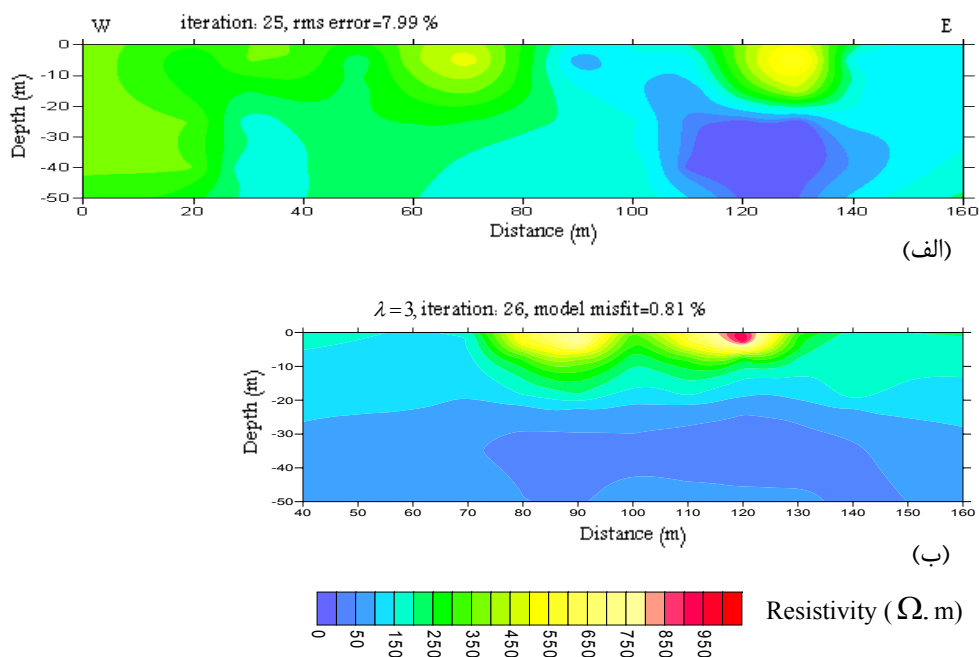
HDM و VDM با عمق اکتشافی متفاوت دار داده‌های سه فرکانس استفاده می‌شود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دقت این روش نسبت به روش VLF که از یک فرکانس بهره می‌گیرد، بهتر می‌باشد. در سمت شرق تفاوت در نتایج دو مدل محسوس می‌باشد، به طوری که در مدل روش VLF مقاومت ویژه بالا و در مدل روش EM34-3 مقاومت ویژه پایین می‌باشد. خطای مدل سازی روش VLF بالا (بیش از ۱۴ درصد) می‌باشد. خطای مدل سازی روش EM34-3 کمتر از یک درصد می‌باشد، بنابراین نتایج آن باید بیشتر مد نظر گرفته شود. در مدل حاصل از داده‌های EM34-3 یک زون با مقاومت ویژه پایین (کمتر از ۵۰ اهم-متر) در فاصله حدود ۶۰ تا ۱۴۷ متری و در عمق‌های بیش از ۳۲ متری قابل مشاهده است که می‌توان آن را به آلودگی احتمالی آب‌های زیرزمینی ناشی از محل انباشت باطله‌ها نسبت داد.



شکل (۴-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس دو روش VLF و EM34، برای پروفیل V6 و EM4. (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3.

۵-۲-۵ پروفیل های V7 و EM5

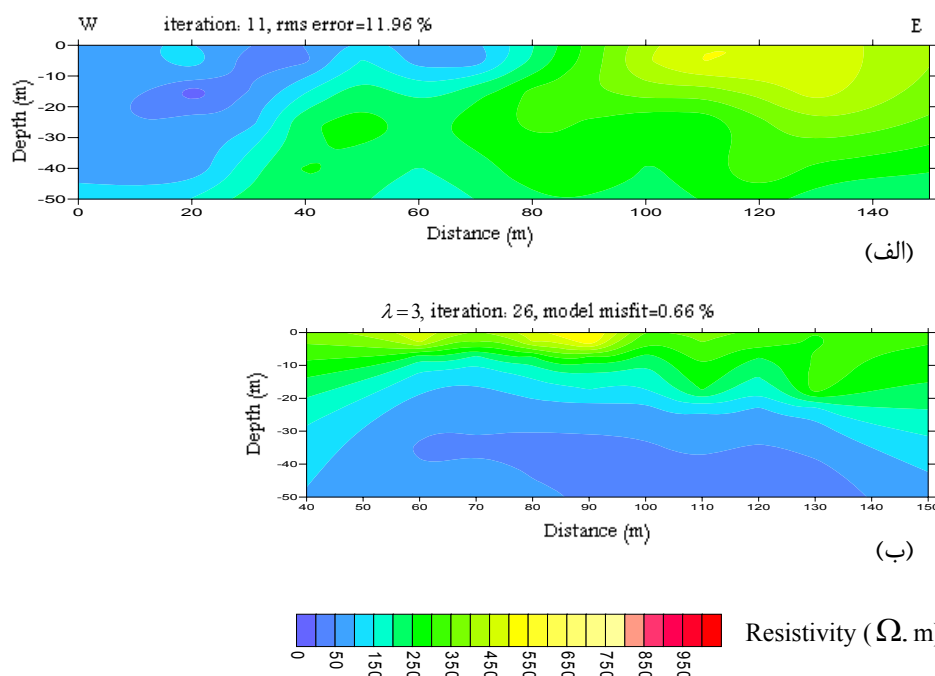
شکل (۵-۵) مدل های دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از معکوس سازی داده های روش VLF و EM34-3 را برای پروفیل های V7 و EM5 (منطبق بر هم) نشان می دهد. با مقایسه دو مدل، مقدار مقاومت ویژه در مدل روش VLF در فاصله ۶۰ تا ۸۰ متری و در فاصله ۱۲۰ تا ۱۴۰ متری از مبدا تا عمق تقریبی ۲۰ متری بالا می باشد که در مدل روش EM34-3 در فاصله ۷۰ تا ۱۳۰ متری تا عمق تقریبی ۲۰ متری این زون با مقاومت ویژه بالا قابل مشاهده است. مقدار مقاومت ویژه پایین (کمتر از ۲۵ اهم- متر) در فاصله بین ۱۱۰ تا ۱۳۷ متری از مبدا و در اعماق بیشتر از ۲۰ متر در مدل VLF به وضوح دیده می شود. وجود این زون با مقدار مقاومت ویژه ۲۵ تا ۵۰ اهم- متر و با گسترش جانبی بیشتر در فاصله حدود ۷۵ تا ۱۵۰ متری در عمق های بیش از ۲۵ متری و با ضخامت متغیر در مدل روش EM34-3، می تواند تائیدی بر گسترش آلودگی احتمالی در سمت شرق پروفیل باشد.



شکل (۵-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس دو روش VLF و EM34، برای پروفیل V7 و EM5 (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3.

۵-۲-۶ پروفیل‌های V8 و EM6

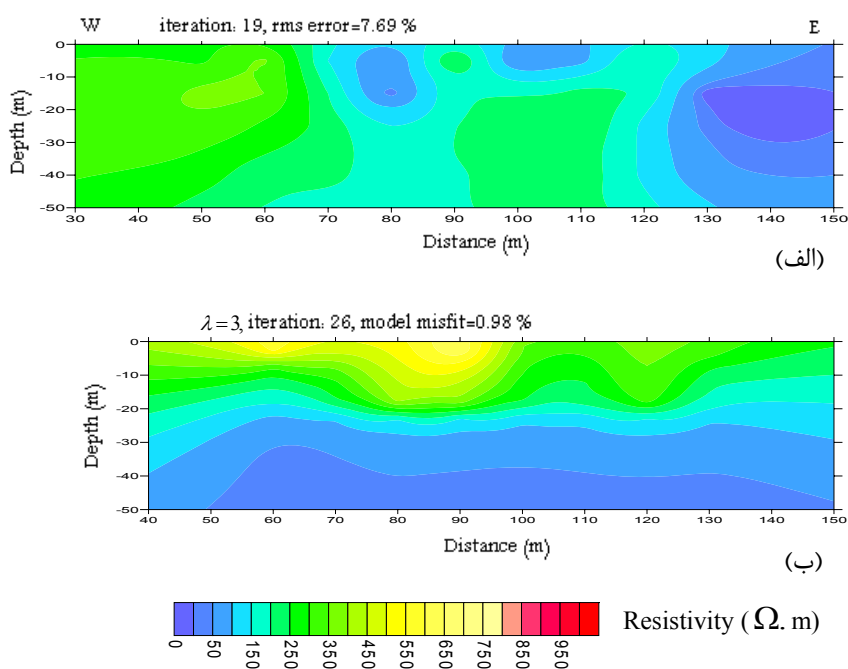
شکل (۵-۶) نتایج مدل‌سازی دو بعدی داده‌های روش VLF و EM34-3 را برای پروفیل‌های V8 و EM6 (منطبق بر هم) نشان می‌دهد. نتایج مدل‌سازی دو روش تطابق مناسبی را به خصوص برای اعماق بیش از ۲۰ متر ندارند. با توجه به مطالب ذکر شده در ارتباط با تفاوت در ماهیت دو روش و همچنین خطای مدل‌سازی بالا (بیش از ۱۱ درصد) روش VLF و خطای مدل‌سازی پایین (کمتر از یک درصد) روش EM34-3، دقت مدل‌سازی روش EM34-3 بهتر می‌باشد. در سمت غرب مدل حاصل از داده‌های VLF (شکل ۵-۶ الف)، مقاومت ویژه نسبت به اطراف کمتر بوده که می‌تواند ناشی از انتقال آلودگی احتمالی به اعماق بیشتر در سمت چپ پروفیل باشد. ولی همانگونه که داده‌های حاصل از EM34-3 نشان می‌دهد، زون با مقاومت ویژه پایین (کمتر از ۵۰ اهم-متر) در فاصله بین ۶۰ تا ۱۳۸ متری از مبدا و در اعماق بیش از ۳۱ متر می‌تواند به آلودگی احتمالی نسبت داده شود که به سمت راست پروفیل گسترش عمقی بیشتری دارد.



شکل (۵-۶) مقایسه بین نتایج مدل‌سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3، برای پروفیل V8 و EM6. (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3.

۷-۲-۵ پروفیل های V9 و EM7

شکل (۷-۵) مدل های دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از معکوس سازی داده های روش VLF و EM34-3 را برای پروفیل های V9 و EM7 (منطبق بر هم) نشان می دهد. در سمت شرق مدل حاصل از داده های VLF به ویژه در فاصله بین ۱۳۰ تا ۱۵۰ متری از مبدا و فاصله عمقی بین ۱۵ تا ۲۵ متری، زونی با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم- متر قابل مشاهده است که می تواند ناشی از آلودگی احتمالی باشد. گسترش آن به سمت راست پروفیل به حالت توده ای می باشد ولی در مدل روش EM34-3 به صورت لایه ای قابل مشاهده است. در مدل حاصل از داده های EM34-3، زونی با مقاومت ویژه پایین در فاصله بین ۵۰ تا ۱۵۰ متری از مبدا و در عمق های بیش از ۳۱ متری مشاهده می شود که ارتباط آن با آلودگی احتمالی یا وجود لایه ای زمین شناسی با مقاومت ویژه پایین نیازمند در اختیار بودن داده های بیشتر زمین شناسی، ژئوفیزیکی و حفاری است.



شکل (۷-۵) مقایسه بین نتایج مدل سازی معکوس دو روش VLF و EM34، برای پروفیل V9 و EM7. (الف) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3. (ب) مدل مقاومت ویژه روش VLF.

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ جمع‌بندی نتایج و بحث روی آنها

امروزه استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی به منظور مطالعات زیست محیطی کاربرد وسیع‌تری پیدا نموده است. در تحقیق حاضر جهت مطالعه اثرات ناشی از مواد باطله کارخانه زغالشویی البرز شرقی روش‌های الکترومغناطیسی VLF و EM34-3 مورد استفاده قرار گرفت. نتایج کار به شرح زیر ارائه می‌گردد:

جهت تفسیر کیفی تا نیمه کمی داده‌های حاصل از روش VLF، از فیلترهای فریزر و کاروس- هجالت استفاده گردید. این روش‌ها تا حدودی می‌توانند زون‌های رسانی مرتبط با آلودگی احتمالی را مشخص نمایند. جهت مشخص نمودن عمق و گسترش آنومالی‌ها، مدل‌سازی معکوس روی داده‌های VLF به صورت مدل‌های دو بعدی مقاومت ویژه ارائه می‌شود. این مدل‌ها در برخی از پروفیل‌ها توانسته است زون‌های گسسته با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر را در ارتباط با آلودگی احتمالی در اعماق مختلف مشخص نمایند. عمده زون‌های آلوده احتمالی با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر از عمق متوسط تا عمق بیش از ۴۰ متر به ویژه در سمت شرق مشاهده می‌شوند. در پروفیل‌های V1، V4، V5، V7، V8، V9 و V13 این زون‌های با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر دیده می‌شوند. با توجه به مدل‌های دو بعدی روش VLF و نمایش سه بعدی آنها (شکل ۳-۱۹) ملاحظه می‌شود که آنومالی‌ها به صورت پراکنده و در زون‌های خاصی دیده می‌شوند. هتروژن بودن مواد و توزیع غیر یکنواخت مسیرهای نفوذ و جریان آب سبب شده که در تمام مناطق پایین دست دمپ باطله آنومالی‌ها دیده نشوند. به عبارت دیگر، برخی از آنومالی‌ها از سطح شروع نمی‌گردند و مراکز آنومالی‌ها به مناطق پایین نفوذ کرده است. حذف منبع آلودگی ممکن است در اثر عدم توزیع یکنواخت و ناگهانی بودن بارش‌های جوی است.

در ادامه روش EM34-3 جهت شناسایی بهتر زون‌های آلوده احتمالی بر روی ۷ پروفیل منطبق بر پروفیل‌های روش VLF مورد استفاده قرار گرفت. نتایج معکوس‌سازی دوبعدی روش EM34-3 توانست زون‌های آلوده احتمالی با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم-متر را در دو پروفیل EM1 و EM2 به ازای سه ضریب لاگرانژ متفاوت

$\lambda = 0.3$ ، $\lambda = 3$ و $\lambda = 30$ در اعماق بیش از ۴۵ متر و با همین مقاومت ویژه پایین به صورت زون‌های کوچک و بزرگ تنها به ازای $\lambda = 0.3$ در پروفیل‌های EM3 تا EM7 در عمق حدود ۲۵ تا ۴۰ متر را مشخص سازد. همچنین در تمامی ۷ پروفیل EM، نواحی با مقاومت ویژه ۲۵ تا ۵۰ اهم-متر عمدتاً در عمق بیش از ۳۰ متر شناسایی گردید. مدل شبه سه بعدی حاصل از معکوس‌سازی داده‌های EM34-3 در عمق‌های مختلف ۱۰، ۲۵ و ۴۵ متری الگوی تغییرات مقاومت ویژه مشابه مدل‌های دو بعدی را به نمایش می‌گذارد. مقدار مقاومت ویژه ۲۵ تا ۵۰ اهم-متر در عمق ۲۵ و ۴۵ متر احتمالاً مرتبط با زهاب اسیدی تولیدی از محل انباشت باطله‌ها می‌باشد.

مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی سه روش VLF، EM34 و مقاومت ویژه برای پروفیل‌های منطبق بر هم صورت گرفت. با توجه به تفاوت در ماهیت این روش‌ها طبیعتاً پاسخ یکسانی برای تغییرات ساختارهای زیرسطحی به دست نیامده است. اما روند کلی تغییرات در بیشتر موارد مشابه می‌باشد. نتایج مدل‌سازی‌های حاصل از دو روش EM34-3 و مقاومت ویژه تطابق بهتری با یکدیگر نسبت به روش VLF نشان دادند. مدل‌سازی هر سه روش توانسته‌اند زونی با مقاومت ویژه پایین‌تر از ۵۰ اهم-متر را در عمق‌های متفاوت (عمدتاً بیش از ۳۰ متر) و در بخش‌های مختلف پروفیل‌های برداشت شناسایی نمایند که علت کاهش مقاومت ویژه آن احتمالاً به دلیل نفوذ زبانه‌های آلوده کننده ناشی از محل انباشت باطله‌های معدنی در نواحی بالا دست پروفیل است.

شاید این سوال به وجود آید که آیا این زون‌های با مقاومت ویژه پایین (کمتر از ۲۵ اهم-متر) نمی‌توانند به علت وجود لایه و یا توده‌های (لنزهای) رسی در داخل رسوبات باشند؟ اگر این موارد صحت داشته باشند، این مناطق بایستی خودشان را به صورتی لایه‌ای با مقاومت ویژه بسیار پایین در سونداژهای الکتریکی قبلی انجام شده (زارع، ۱۳۸۷) که در اطراف محدوده اندازه‌گیری واقع شده‌اند، نشان می‌دادند. این در حالی است که نتایج مدل‌سازی داده‌های سونداژهای فوق‌الذکر زونی با مقاومت ویژه ۳۵ تا ۵۰ اهم-متر (لایه آبدار) را در عمق ۳۰ تا ۳۵ متری در شمال و جنوب نشان می‌دهند و لایه‌های بالایی و پایینی لایه آبدار با مقاومت ویژه ۲۰۰ تا ۳۵۰

اهم- متر شناسایی شدند. و یا اینکه این زون‌ها (زون‌های رسی) بایستی به صورت مناطقی با بارپذیری بالا خودشان را در مطالعات قطبش القایی (IP) در مدل‌سازی‌های صورت گرفته قبلی نشان می‌دادند (جدیری، ۱۳۸۵). در صورتی که اندازه‌گیری‌های صورت گرفته قبلی روی دو پروفیل تقریباً شمالی- جنوبی در همین منطقه و تکرار آنها در زمان‌های مختلف و مدل‌سازی لحظات زمانی (time laps) آنها درست بودن فرضیه‌های فوق را زیر سوال می‌برد. چرا که ایشان نشان داده که به علت ورود فلزات ناشی از اکسیداسیون پیریت و تشکیل زهاب اسیدی و تراوش آنها به داخل رسوبات و انحلال یک سری کاتیون‌ها و آنیون‌ها و ورود آنها به چرخه آب‌های زیرزمینی منطقه باعث می‌شود تا محدوده‌ای که در هر بار تکرار اندازه‌گیری IP و آن هم روی یک پروفیل معین، دارای بارپذیری (شارژ ابیلیته) بیشتری می‌گردد وسیع‌تر می‌شود. این مطالب خود شواهدی بر این است که زون‌های آنومال شناسایی شده (زون‌های با مقاومت ویژه کمتر از ۲۵ اهم- متر) احتمالاً ناشی از آلودگی آب زیرزمینی منطقه است. از طرفی دیگر نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های گرفته شده از باطله‌ها، خاک منطقه و چاه‌های موجود (دولتی و همکاران، ۱۳۸۷) که افزایش غلظت فلزات سنگین را نشان داده‌اند و همچنین انباشت باطله‌ها طی سالیان متوالی (بیش از ۳۲ سال) در بالا دست محل مورد مطالعه، وجود زبانه‌های آلودگی دور از انتظار نمی‌باشد. بنابراین نواحی با مقاومت ویژه پایین حاصل از مدل‌سازی دو بعدی سه روش VLF، EM34 و مقاومت ویژه و نمایش سه بعدی روش VLF (شکل ۳-۱۹) و روش EM34-3 (شکل ۴-۱۶) احتمالاً ناشی از آلودگی‌های تولیدی به واسطه زهاب اسیدی تولید شده از اکسیداسیون پیریت موجود در باطله‌های حاصل از شستشوی زغال می‌باشند.

۲-۶ پیشنهادات

با توجه به مطالعات انجام شده روی آلودگی ناشی از کارخانه زغالشویی البرز شرقی، محافظت نواحی اطراف کارخانه به ویژه سفره‌های آب زیرزمینی از آلودگی تولیدی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین پیشنهاداتی به شرح زیر بیان می‌شود:

- برای تایید نتایج حاصل از برداشت‌های ژئوفیزیکی در منطقه، حفر حداقل یک گمانه در پایین دست باطله‌ها ضروری به نظر می‌رسد تا با نمونه‌برداری و آنالیز نتایج آلودگی احتمالی بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.
- قبل از حفاری بهتر است در منطقه مورد نظر و به ویژه در نواحی که به نظر می‌رسد آلوده شده باشند چند سونداژ (حداکثر ۱۰ عدد) الکتریکی مقاومت ویژه و IP انجام شود تا ابهام موجود در خصوص اینکه آیا زون‌های با مقاومت ویژه پایین در اثر وجود لنزها و یا لایه‌های رسی هستند و یا در اثر آلودگی واقعی حل گردد.
- برای تکمیل کار پیشنهاد می‌شود که در مناطقی که آلودگی گسترده‌تر است، اندازه‌گیری قطبش القایی روی حداقل چند پروفیل نیز انجام شود. علاوه بر آن آنالیز آب‌های موجود بالا دستی و پایین دستی منطقه برای شناسایی آلودگی‌های احتمالی مفید می‌باشد.
- انتخاب محل مناسب انباشت باطله (به طور مثال بر روی لایه‌های ضخیم و نفوذ ناپذیر) یکی از عوامل موثر جهت جلوگیری از آلوده شدن سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد. در این راستا انجام مطالعات دقیق زمین شناسی و زمین شناسی ساختمانی ضروری به نظر می‌رسد.
- جهت جلوگیری از اکسایش پیریت همراه باطله‌ها، متراکم کردن باطله‌ها جهت جلوگیری از نفوذ اکسیژن و ایجاد پوشش گیاهی سازگار روی محل انباشت باطله‌ها ضروری به نظر می‌رسد.
- برای جلوگیری از اکسایش پیریت و تولید زهاب اسیدی، پوشاندن سطح باطله‌ها با یک لایه رسی یا با پوشش پلاستیکی ضخیم برای جلوگیری از نفوذ اکسیژن توصیه می‌گردد.
- جهت حفظ اکوسیستم طبیعی منطقه و برگرداندن آن به حالت اولیه، ایجاد پوشش گیاهی یکی از عوامل موثر می‌باشد.

منابع و مراجع

- دولتی ارده‌جانی، ف.، شفائی، ض.، مرادزاده، ع.، خالوکاکائی، ر.، و جدیری، ب.، ۱۳۸۷. ارزیابی مشکلات زیست محیطی کارخانه زغالشویی البرز شرقی و ارائه راهکارهای کنترلی (طرح پژوهشی)، کارفرما: شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، مجری: دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، ۲۰۲ ص.
- جدیری، ب.، ۱۳۸۵. تلفیق مدل‌سازی ریاضی و مطالعات ژئوفیزیک زیست محیطی مواد حاصل از شستشوی کارخانه زغالشویی البرز شرقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۷۷ ص.
- چاکری، م.، ۱۳۸۴. مدل‌سازی معکوس پارامتری و هموار دو بعدی داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۶۵ ص.
- زارع، م.، ۱۳۸۷. مطالعات زیست محیطی روی انتشار آلودگی از مواد حاصل از شستشوی کارخانه زغالشویی البرز شرقی با استفاده از مدل‌سازی دو بعدی ریاضی و مطالعات ژئوفیزیکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۵۳ ص.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۳۸۰، نقشه زمین‌شناسی منطقه شاهرود.
- مرادزاده، ع.، دولتی ارده‌جانی، ف.، و جدیری شکری، ب.، ۱۳۸۵. شناسایی آلودگی حاصل از پسماندهای اسیدی محل انباشت باطله‌های زغالشویی البرز شرقی. اولین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. ۳۴۶۲-۳۴۵۵.
- شرکت زغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۶۰. گزارش فنی اکتشاف تفصیلی منطقه رزمجا، ۲۴۱ ص.
- مرادزاده، ع.، دولتی ارده‌جانی، ف.، و زارع، م.، ۱۳۸۶ الف. استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی ژئوالکتریک و VLF جهت شناسایی آلودگی ناشی از باطله‌های ناشی از زغالسنگ. پنجمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. ۱۵۲۵-۱۵۱۷.

مرادزاده، ع.، دولتی ارده‌جانی، ف.، و زارع، م.، ۱۳۸۶ ب. مطالعات زیست محیطی دپو باطله‌های زغالشویی البرز شرقی با استفاده از برداشت و مدل‌سازی سه بعدی داده‌های ژئوالکتریک. سیزدهمین کنفرانس ژئوالکتریک ایران. ۱۲۶-۱۲۳.

مرادزاده، ع.، دولتی ارده‌جانی، ف.، و فلاح پیشه، س.، ۱۳۸۶ ج. مطالعه محدوده آلودگی ناشی از معدنکاری سرب و روی تاش با روش‌های ژئوفیزیکی VLF، IP و مقاومت ویژه. سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران. ۲۸۸-۲۸۳.

موسسه جغرافیایی ایران. ۱۳۸۰، اطلس راه‌های ایران، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی و گیتاشناسی.

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. *Environmental Geology* 44, 705–716.

Al-Tarazi, E., Abu Rajab, J., Al-Naqa, A., El-Waheidi, M., 2008. Detecting leachate plumes and groundwater pollution at Ruseifa municipal landfill utilizing VLF-EM method. *Journal of Applied Geophysics* 65, 121–131.

Constable, S.C., Parker, R.L. and Constable, C.G., 1987. Occam's inversion—a practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data, *Geophysics*, 52(03), 289–300.

Doulati Ardejani, F., Jodieri Shokri, B., Moradzadeh, A., Soleimani, E., Ansari Jafari, M., 2008. A combined mathematical geophysical model for prediction of pyrite oxidation and pollutant leaching associated with a coal washing Waste dump. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 5 (4), 517-526.

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 Two Digital Meters).

GEONICS Limited., 2009: <http://www.geonics.com/html/em34.html>

Gharibi, m. and Pedersen, L.B., 1998. Transformation of VLF data into apparent resistivities and phases. *Geophysics*, 64, 1393-1402.

- Gürer, A., Bayrak, M., Gürer, Ö.F. , 2009. A VLF survey using current gathering phenomena for tracing buried faults of Fethiye–Burdur Fault Zone, Turkey. *Journal of Applied Geophysics* 68, 437–447.
- 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 measurements. *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.
- Loke M.H., and Barker , R., 1996, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi- Newton method. *Geophysical prospecting*, 44, 131-152.
- Lock, M.H., (2002). Res2dinv ver.2.1, Geotomo software.
- McNeill, J.D., 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Geonics, Technical Note TN-6.
- McNeill, J. D., 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.
- Meju, M.A., 1994. *Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Practice*, Society of Exploration Geophysicists, Course Notes, Volume 6.
- Milson. J., 2003. *Field geophysics*. Cambridge University Press.
- Monteiro Santos F.A., Eugenio P. Almeida, R. Castro, R. Nolasco, and Luis Mendes Victor, 2002. A hydrogeological investigation using EM34 and SP surveys. *Earth Planets Space*, 54, 655–662.
- Monteiro Santos, F.A. 2004. 1D laterally constrained inversion of EM34 profiling data. *Journal of Applied Geophysics* 56, 123– 134.
- Monteiro Santos, F.A., Eugenio, P., Gomes, M., and Pina, A., 2004. Hydrogeological investigation in Santiago Island (Cabo Verde) using magnetotellurics and VLF methods. *Journal of Applied Geophysics* 45, 421–430.

Monteiro Santos, F.A., Mateus, A., Figueiras, J., Gonçalves, 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.

Monteiro Santos, F.A. 2007 a. Instructions for running prepVLF and INV2DVLF 2-D inversion of VLF-EM single frequency programs., version-1.1.

Monteiro Santos, F.A. 2007 b. Instructions for Running EM34-2D and EM34-3D Programs for 1-D constrained inversion of EM34 data., version-2.0.

Moradzadeh, A., Doulati Ardejani, F., and Fallah Pisheh, S., 2008 a. An investigation on the environmental effects of sulphide mine using geophysical studies. 10th IMWA congress. 379-382.

Moradzadeh, A., Doulati Ardejani, F., Jodieri Shokri, B., Sarkheil, H., Osanloo, M., 2008 b. A method for coal waste disposal site selection for prevention of environmental impacts. IMWA Symposium 2007: Water in Mining Environments, R. Cidu and F. Frau (Eds), 27th - 31st May 2007, Cagliari, Italy

Peter, J.H., and Laurs S.B., 2002. VLF surveying to delineate longwall mine induced fractures. The leading EDGE.

Pirttijärvi, M., 2004. Karous–Hjelt and Fraser filtering of VLF measurements. Manual of the KHFFILT Program.

Ramalho, E., Carvalho, J., Barbosa S., Monteiro Santos, F.A., 2009. Using geophysical methods to characterize an abandoned uranium mining site, Portugal. *Journal of Applied Geophysics* 67, 14–33.

Ramesh Babu, V., Ram, S., and Sundararajan, N., 2007. Modeling and inversion of magnetic and VLF-EM data with an application to basement fractures: A case study from Raigarh, India. *Geophysics* 45, 187-198.

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

Sasaki, Y., 1989. Two-dimensional joint inversion of magnetotelluric and dipole–dipole resistivity data. *Geophysics* 54, 254–262.

Sharma, S.P., Baranwal, V.C., 2005. Delineation of groundwater-bearing fracture zones 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.

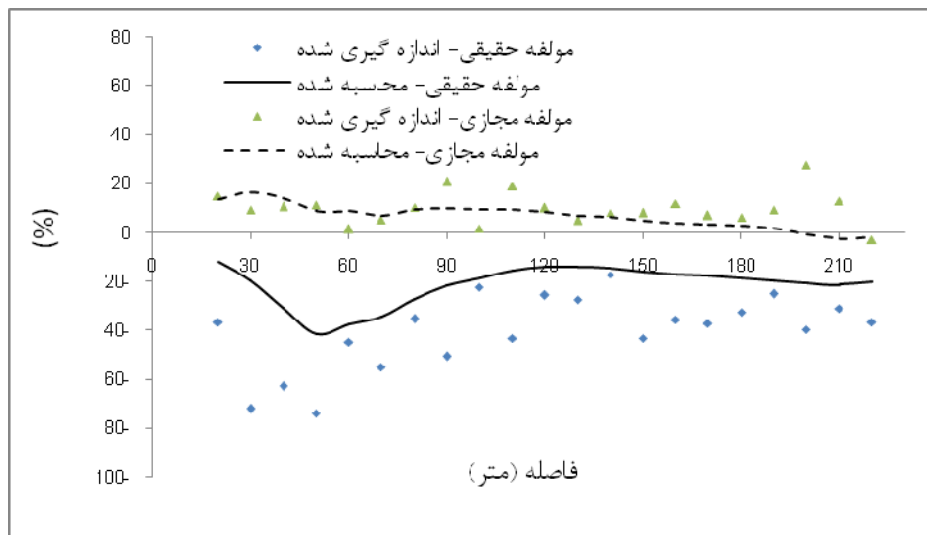
Triantafilis, J., Mostyn Buchanan, S., 2010. Mapping the spatial distribution of subsurface saline material in the Darling River valley. Journal of Applied Geophysics 70, 144–160.

Verma, S. K. & Sharma, S. P. 1995. Focused resolution of thin conducting layers by various dipole EM systems. Geophysics, 60, 381-389.

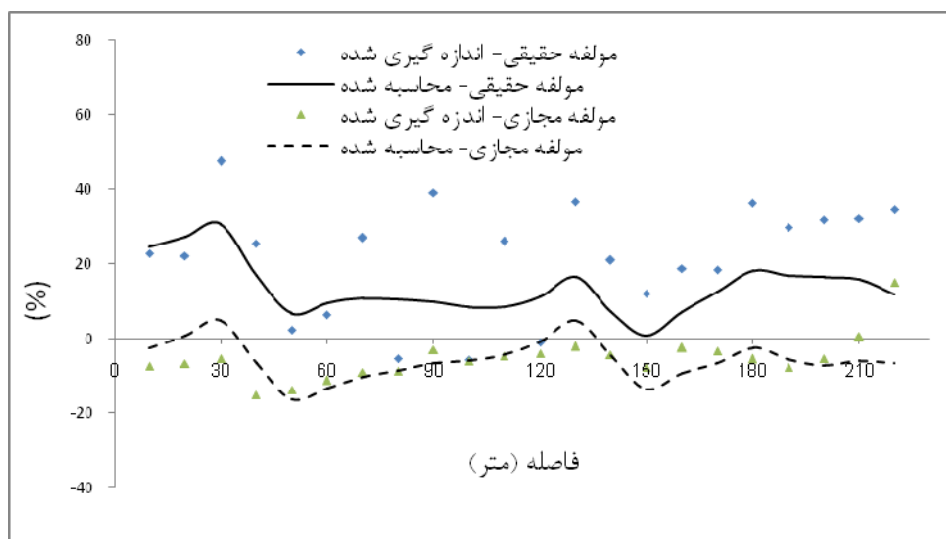
پیوست الف

مقایسه نمودار داده‌های مولفه حقیقی و مجازی اندازه‌گیری شده VLF

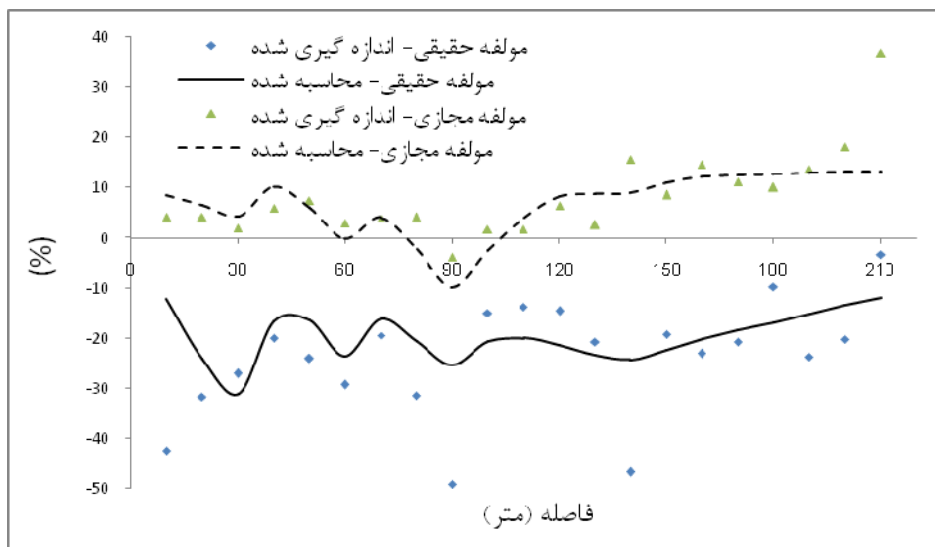
و محاسبه شده با نرم‌افزار IN2DVLF برای پروفیل‌های مختلف



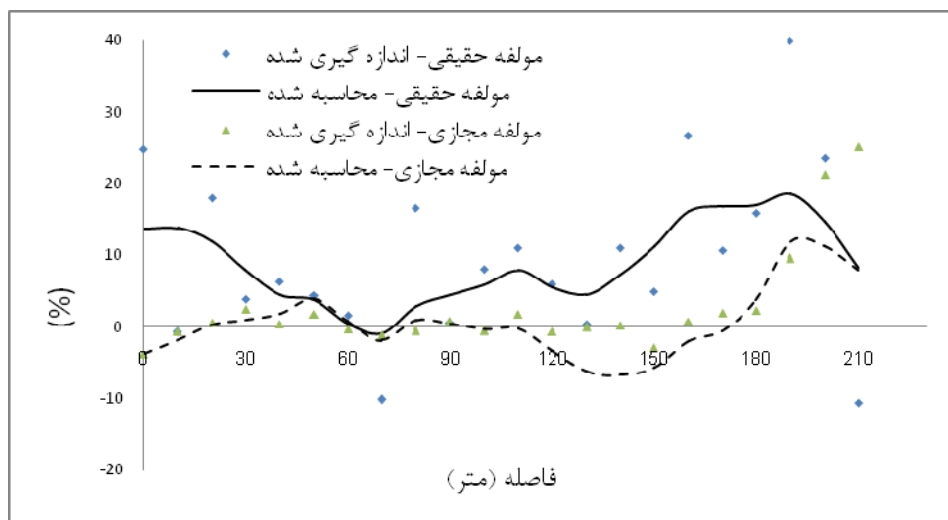
شکل (الف-۱). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V2.



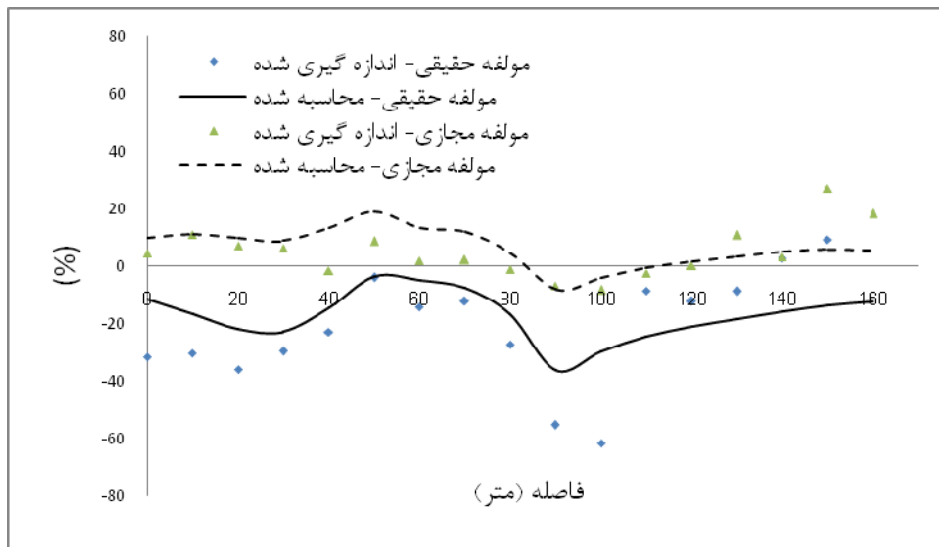
شکل (الف-۲). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V3.



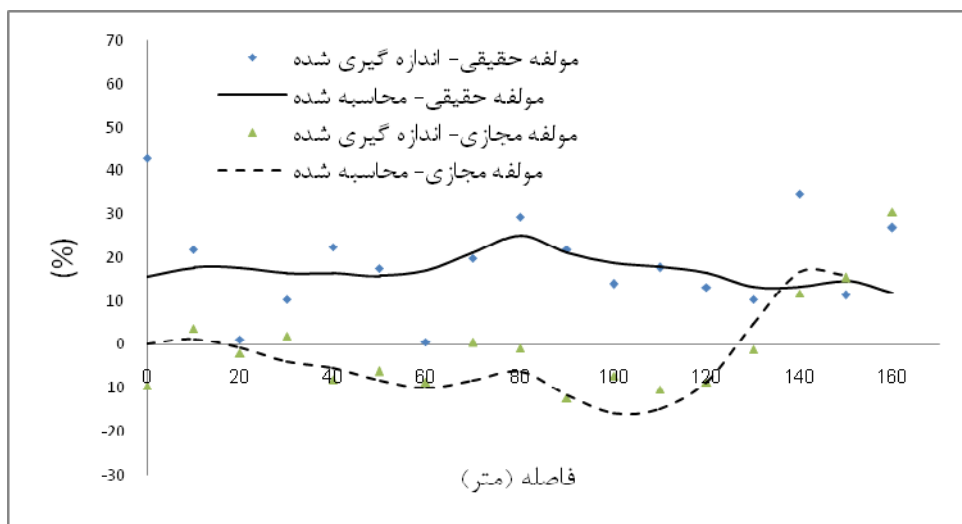
شکل (الف-۳). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V4.



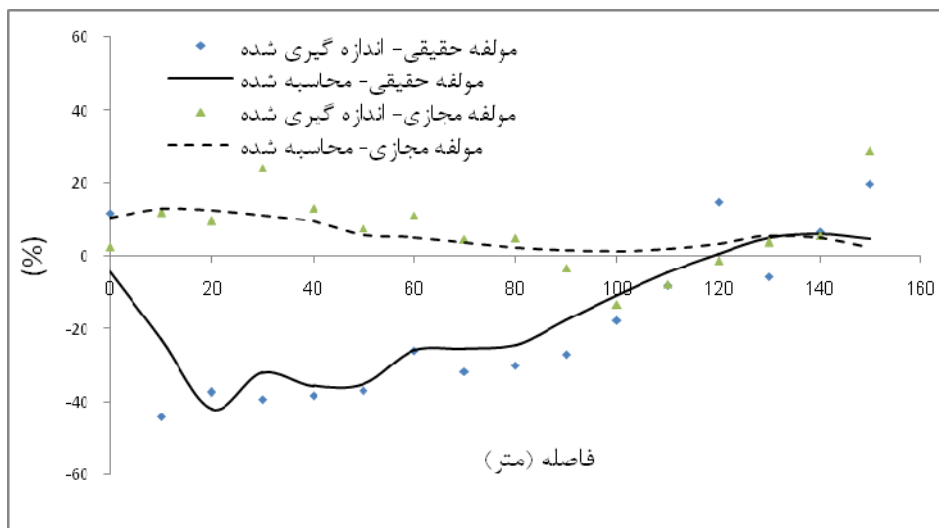
شکل (الف-۴). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V5.



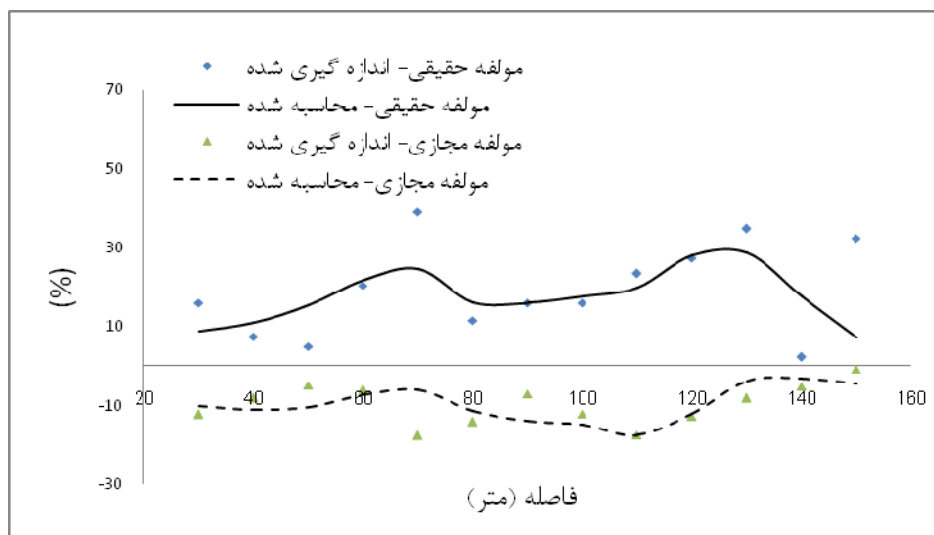
شکل (الف-۵). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V6.



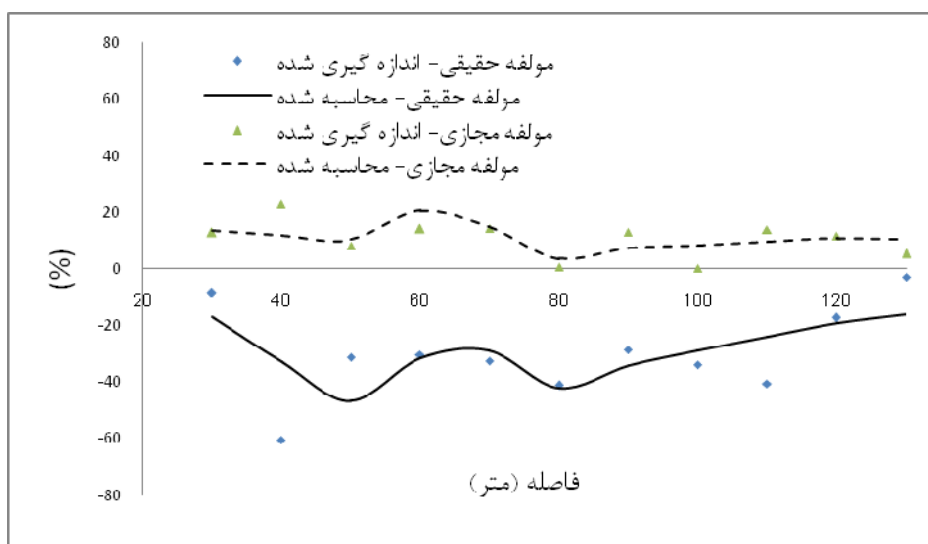
شکل (الف-۶). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V7.



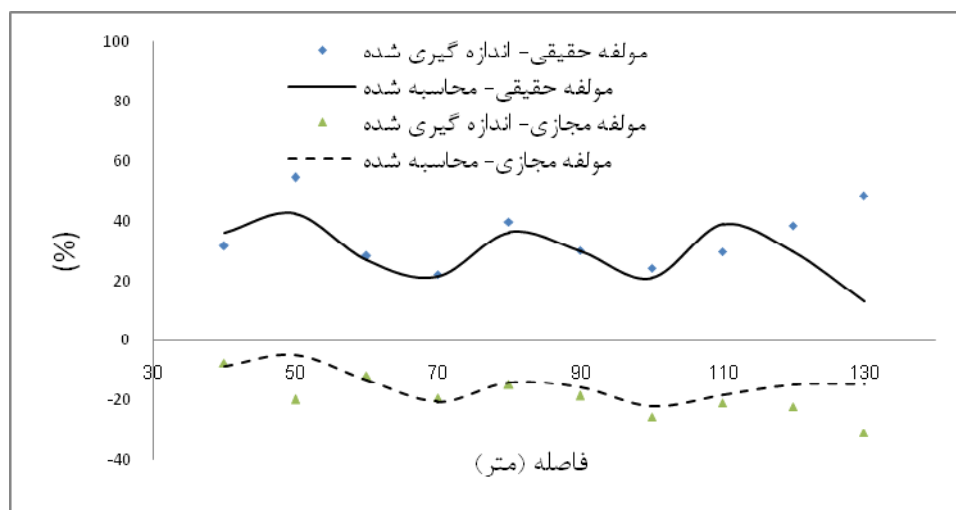
شکل (الف-7). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V8.



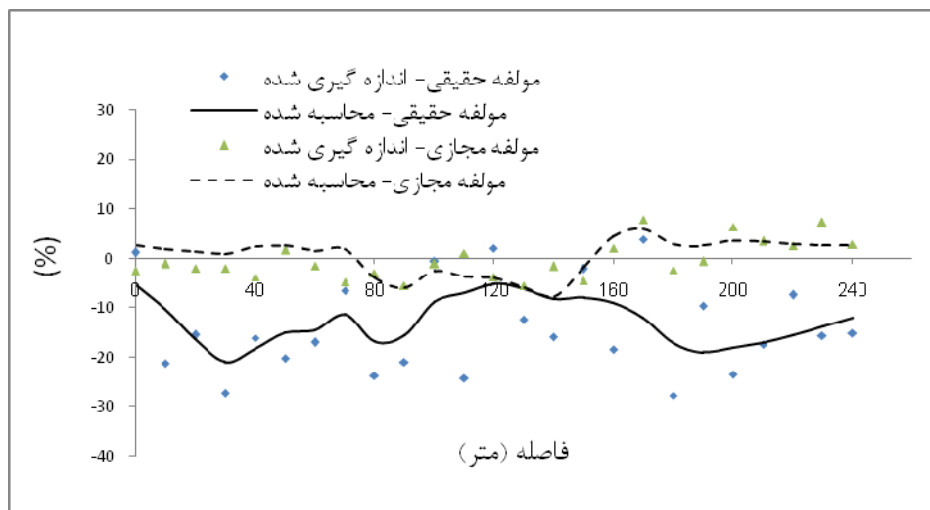
شکل (الف-8) نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V9.



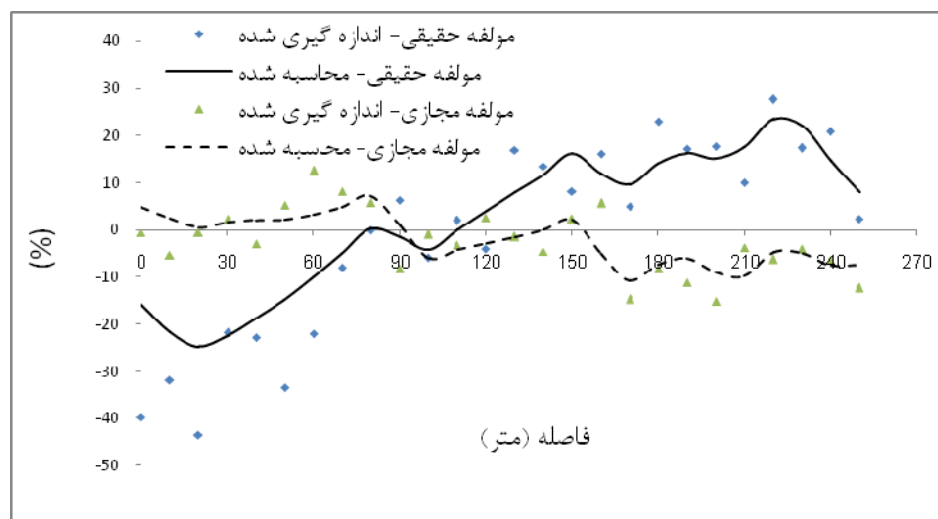
شکل (الف-۹). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V10.



شکل (الف-۱۰). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V11.



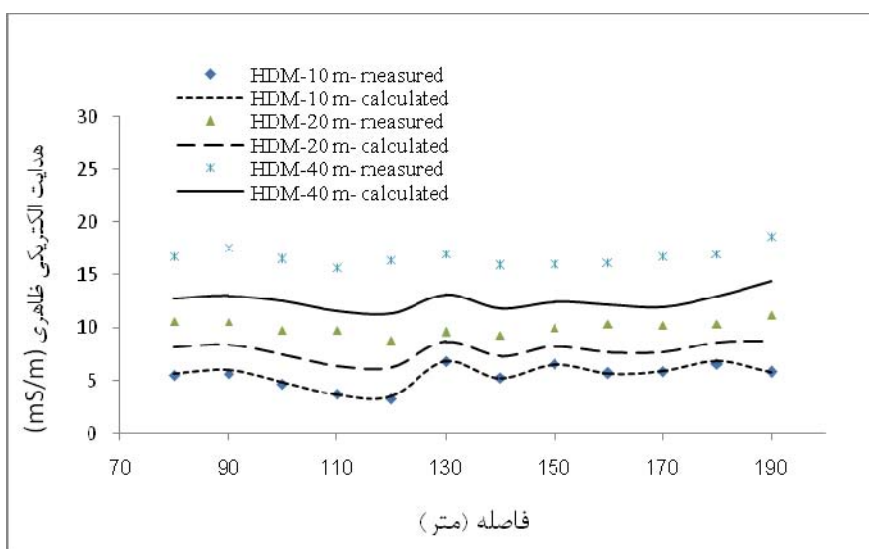
شکل (الف-۱۱). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V12.



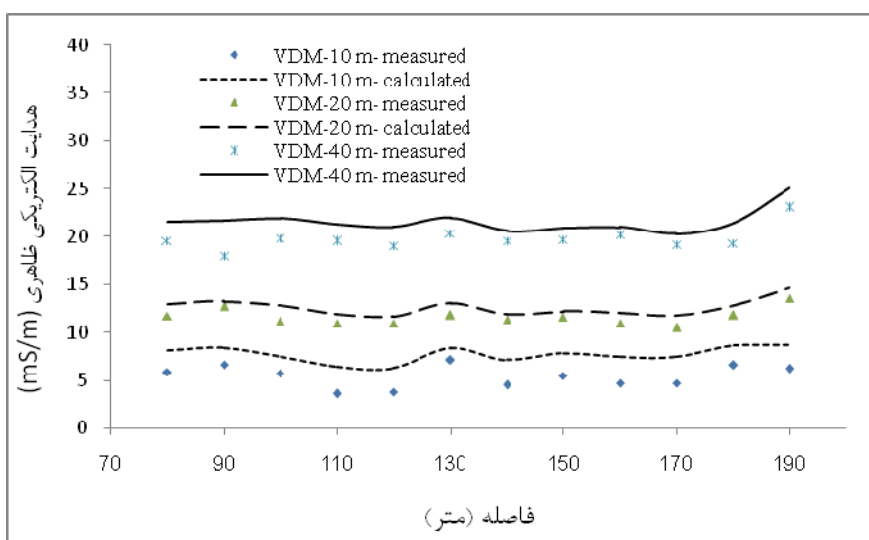
شکل (الف-۱۲). نمودار مولفه حقیقی و موهومی داده‌های VLF اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار INV2DVLF برای پروفیل V13.

پیوست ب

مقایسه نمودار داده‌های هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده با دستگاه EM34-3 و داده‌های هدایت الکتریکی محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D برای پروفیل‌های مختلف

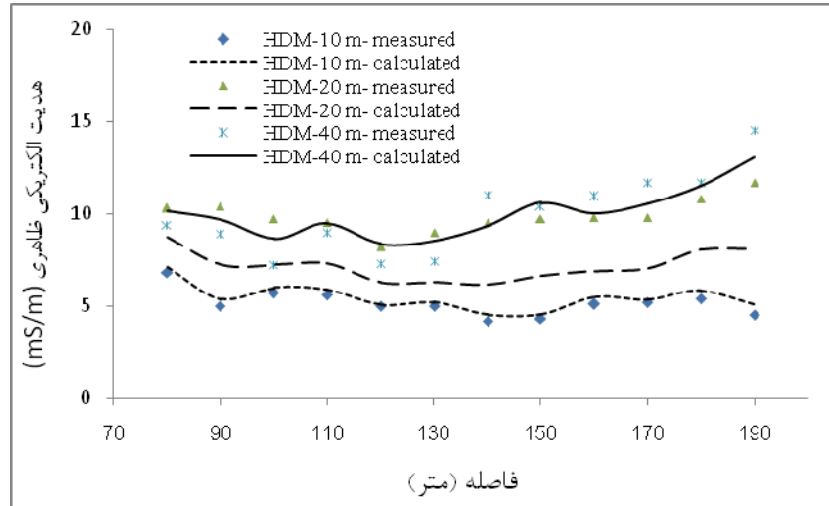


(الف)

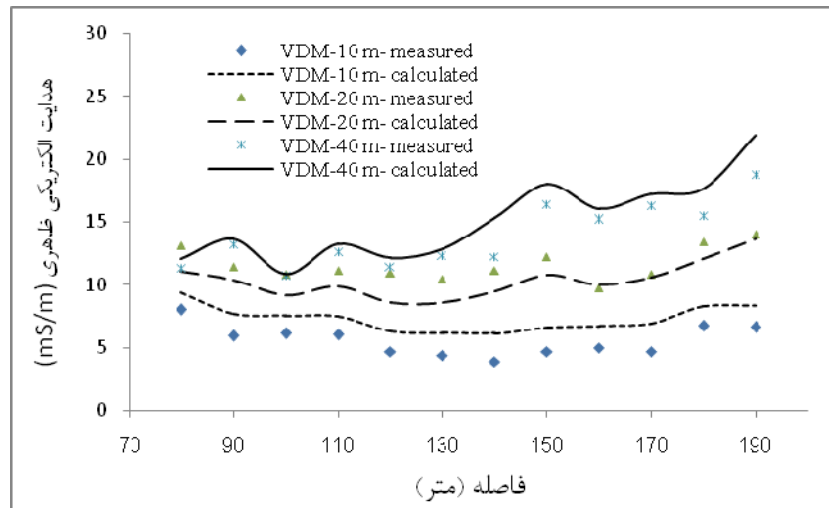


(ب)

شکل (ب-۱). نمودار داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM2. (الف) در حالت HDM. (ب) در حالت VDM.

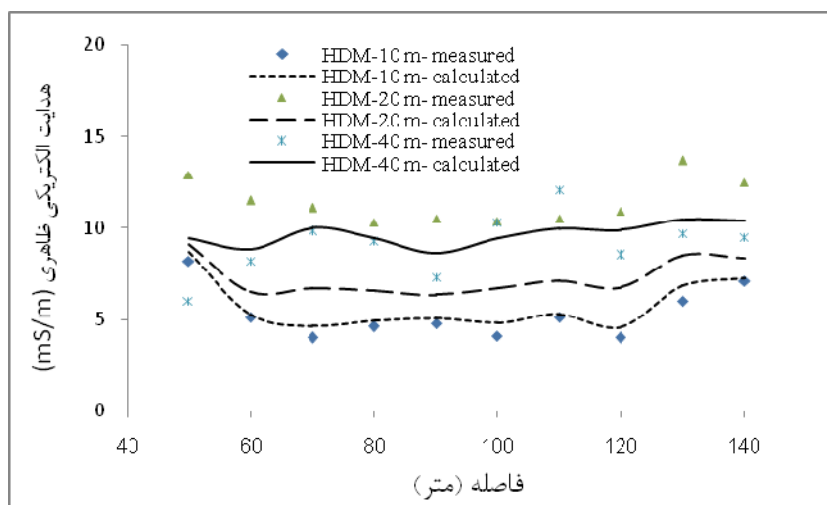


(الف)

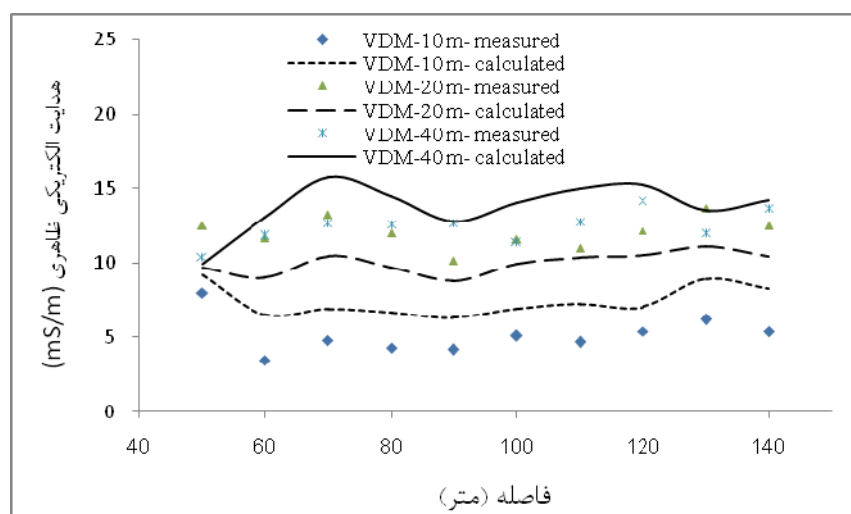


(ب)

شکل (ب-۲). نمودار داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM3. الف) در حالت HDM. ب) در حالت VDM.

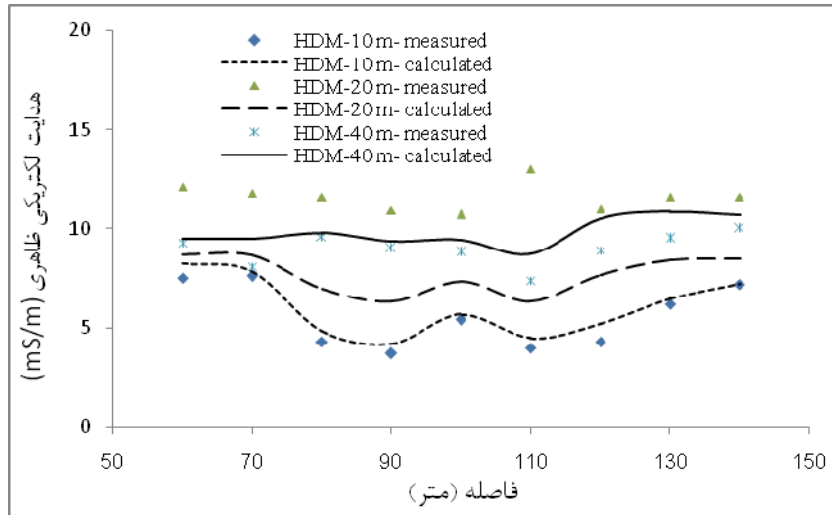


(الف)

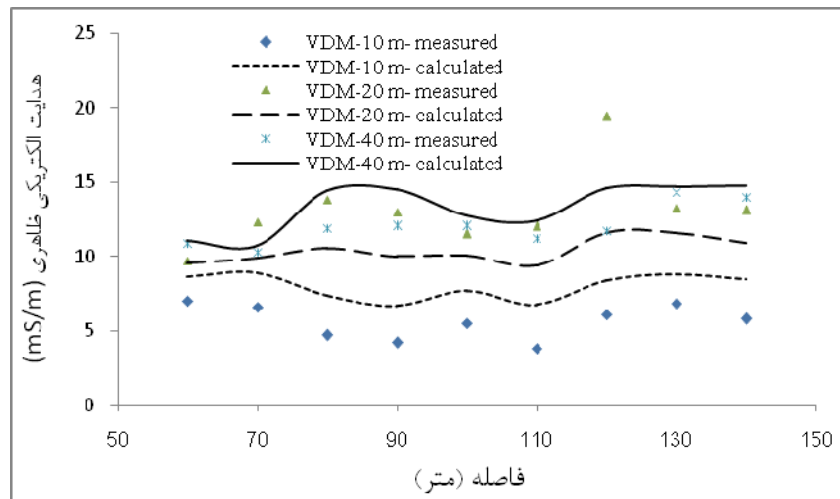


(ب)

شکل (ب-۳). نمودار داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM4. (الف) در حالت HDM. (ب) در حالت VDM.

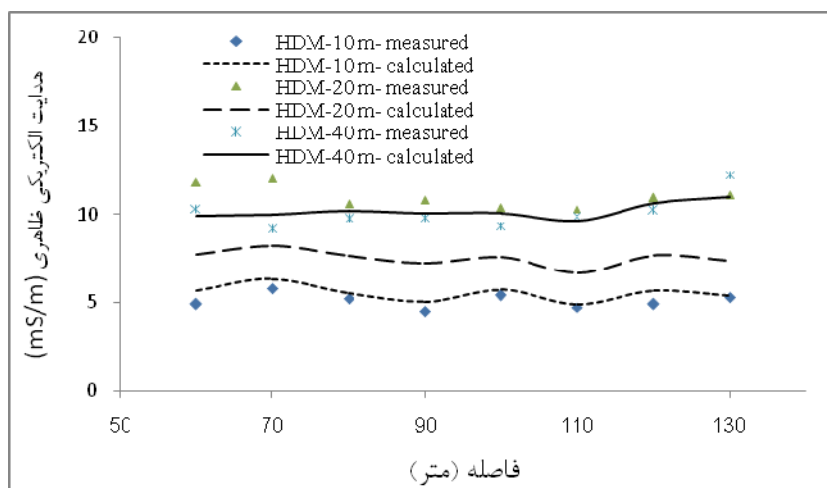


(الف)

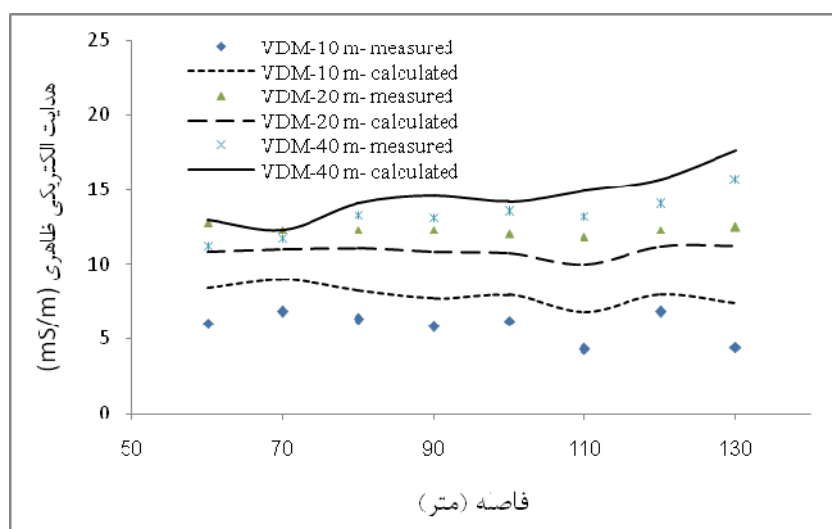


(ب)

شکل (ب-۴). نمودار داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM5. (الف) در حالت HDM. (ب) در حالت VDM.

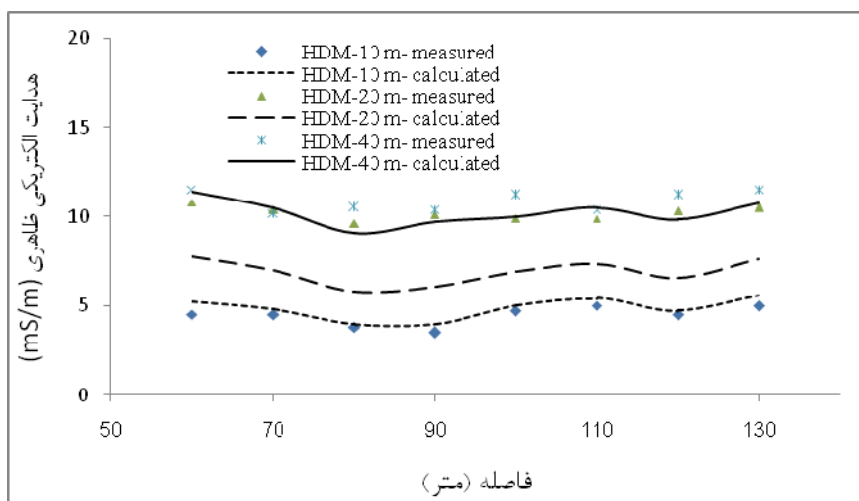


(الف)

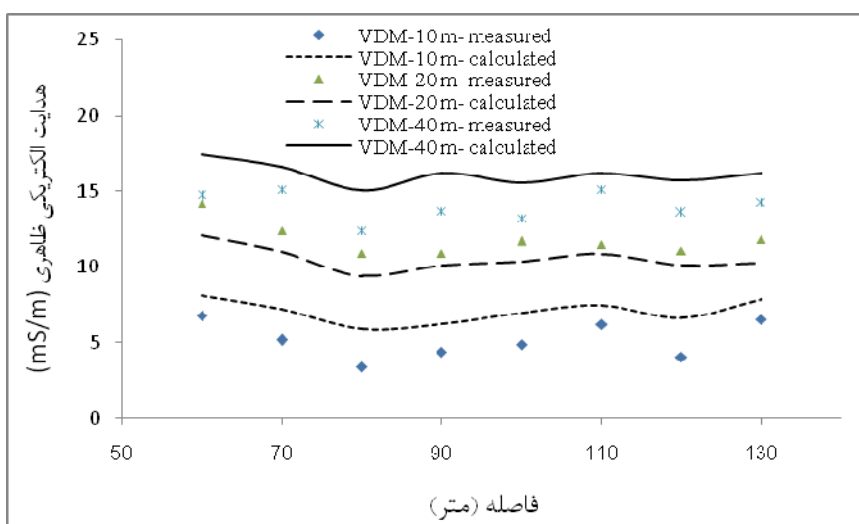


(ب)

شکل (ب-۵). نمودار داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM6. الف) در حالت HDM. ب) در حالت VDM.



(الف)



(ب)

شکل (ب-۶). نمودار داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با نرم‌افزار EM34-2D به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر برای پروفیل EM7. (الف) در حالت HDM. (ب) در حالت VDM.

پیوست ج

فرمت داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده
در حالت‌های برداشت HDM و VDM به ازای سه فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر
و داده‌های مدل نهایی حاصل برای پروفیل EM1

ج- ۱) داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در حالت‌های برداشت HDM و VDM به ازای سه

فاصله جدایش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متر مربوط به پروفیل EMI

coils spacing (m) 10.000000

x HDMob HDMcal VDMob VDMcal

70.0 8.60 9.31 9.10 9.29

80.0 5.10 5.35 6.40 8.48

90.0 4.60 4.76 5.70 7.64

100.0 5.10 5.28 6.20 7.70

110.0 4.90 5.30 5.10 6.52

120.0 4.50 4.86 4.30 5.81

130.0 5.30 5.20 6.90 7.54

140.0 3.00 3.25 2.70 4.91

150.0 4.20 4.34 4.80 6.54

160.0 5.60 5.73 5.80 6.72

170.0 6.60 6.75 6.30 8.10

180.0 9.40 9.51 9.10 9.58

190.0 6.70 6.13 6.60 7.16

200.0 5.50 5.13 7.30 7.15

coils spacing (m) 20.000000

x HDMob HDMcal VDMob VDMcal

70.0 11.20 9.31 8.90 9.35

80.0 10.30 7.48 13.10 10.24

90.0 9.60 7.00 12.80 10.50

100.0 9.30 7.19 12.10 10.21

110.0 9.30 6.48 9.90 8.77

120.0 9.30 6.00 9.90 8.51

130.0 7.70 6.88 12.00 9.25

140.0 8.40 4.89 9.90 8.05

150.0	8.10	6.16	12.10	9.16
160.0	10.40	6.68	11.70	8.50
170.0	10.10	8.54	12.00	12.70
180.0	10.30	10.44	10.80	13.51
190.0	6.20	7.62	6.90	11.23
200.0	5.70	7.39	8.10	12.23

coils spacing (m) 40.000000

x HDMob HDMcal VDMob VDMcal

70.0	8.80	9.34	9.60	9.36
80.0	7.20	8.90	9.80	10.10
90.0	7.90	9.41	12.10	12.63
100.0	7.70	9.32	12.10	12.28
110.0	7.40	8.51	11.60	11.99
120.0	6.90	8.52	13.20	13.29
130.0	5.80	8.29	10.30	9.86
140.0	7.10	7.61	10.30	12.06
150.0	6.90	8.35	10.40	11.39
160.0	3.70	8.30	13.80	11.10
170.0	16.70	12.99	20.00	21.91
180.0	19.16	14.33	22.90	22.77
190.0	19.30	11.58	23.30	19.61
200.0	19.50	12.27	24.40	21.75

ج - ۲) داده‌های مدل نهایی به دست آمده با نرم‌افراز EM34-2D برای پروفیل EM1

مقاومت ویژه (ohm.m), هدایت ویژه (mS/m) X, z,

70.000000	-1.250000	9.354112	106.904900
70.000000	-2.500000	9.354112	106.904900
80.000000	-1.250000	8.624190E-01	1159.529000
80.000000	-2.500000	8.624190E-01	1159.529000
90.000000	-1.250000	1.050489	951.937700
90.000000	-2.500000	1.050489	951.937700
100.000000	-1.250000	2.191730	456.260700
100.000000	-2.500000	2.191730	456.260700
110.000000	-1.250000	4.070323	245.680800
110.000000	-2.500000	4.070323	245.680800
120.000000	-1.250000	4.203263	237.910400
120.000000	-2.500000	4.203263	237.910400
130.000000	-1.250000	1.996977	500.756800
130.000000	-2.500000	1.996977	500.756800
140.000000	-1.250000	1.635970	611.258200
140.000000	-2.500000	1.635970	611.258200
150.000000	-1.250000	1.693781	590.395200
150.000000	-2.500000	1.693781	590.395200
160.000000	-1.250000	4.698030	212.855100
160.000000	-2.500000	4.698030	212.855100
170.000000	-1.250000	6.043340	165.471400
170.000000	-2.500000	6.043340	165.471400
180.000000	-1.250000	10.651100	93.887040
180.000000	-2.500000	10.651100	93.887040
190.000000	-1.250000	5.753978	173.792800
190.000000	-2.500000	5.753978	173.792800

200.000000	-1.250000	3.466521	288.473700
200.000000	-2.500000	3.466521	288.473700
70.000000	-7.500000	9.257380	108.021900
80.000000	-7.500000	4.560267	219.285400
90.000000	-7.500000	3.217691	310.781900
100.000000	-7.500000	3.932693	254.278700
110.000000	-7.500000	4.023407	248.545600
120.000000	-7.500000	3.328812	300.407500
130.000000	-7.500000	4.355563	229.591400
140.000000	-7.500000	1.378846	725.244200
150.000000	-7.500000	2.846216	351.343700
160.000000	-7.500000	4.739191	211.006500
170.000000	-7.500000	4.225294	236.669900
180.000000	-7.500000	7.253879	137.857300
190.000000	-7.500000	3.890867	257.012100
200.000000	-7.500000	2.397292	417.137300
70.000000	-12.500000	9.160649	109.162600
80.000000	-12.500000	8.258116	121.093000
90.000000	-12.500000	5.384893	185.704700
100.000000	-12.500000	5.673656	176.253200
110.000000	-12.500000	3.976490	251.478000
120.000000	-12.500000	2.454361	407.438000
130.000000	-12.500000	6.714149	148.939200
140.000000	-12.500000	1.121722	891.486700
150.000000	-12.500000	3.998652	250.084300
160.000000	-12.500000	4.780351	209.189700
170.000000	-12.500000	2.407248	415.412100
180.000000	-12.500000	3.856661	259.291700
190.000000	-12.500000	2.027756	493.155900

200.000000	-12.500000	1.328064	752.976000
70.000000	-17.500000	9.063918	110.327600
80.000000	-17.500000	11.955960	83.640270
90.000000	-17.500000	7.552094	132.413600
100.000000	-17.500000	7.414618	134.868700
110.000000	-17.500000	3.929574	254.480500
120.000000	-17.500000	1.579910	632.947400
130.000000	-17.500000	9.072735	110.220400
140.000000	-17.500000	8.645977E-01	1156.607000
150.000000	-17.500000	5.151087	194.133800
160.000000	-17.500000	4.821512	207.403800
170.000000	-17.500000	5.892020E-01	1697.211000
180.000000	-17.500000	4.594423E-01	2176.552000
190.000000	-17.500000	1.646454E-01	6073.658000
200.000000	-17.500000	2.588350E-01	3863.466000
70.000000	-23.333330	11.082390	90.233240
80.000000	-23.333330	18.177020	55.014530
90.000000	-23.333330	24.349550	41.068530
100.000000	-23.333330	20.826410	48.015960
110.000000	-23.333330	13.754580	72.703080
120.000000	-23.333330	9.006861	111.026500
130.000000	-23.333330	17.259300	57.939780
140.000000	-23.333330	23.526410	42.505420
150.000000	-23.333330	25.323540	39.488950
160.000000	-23.333330	11.015130	90.784260
170.000000	-23.333330	1.997026	500.744700
180.000000	-23.333330	1.374838	727.358200
190.000000	-23.333330	6.920972E-01	1444.884000
200.000000	-23.333330	9.301014E-01	1075.152000

70.000000	-29.166670	13.100860	76.330850
80.000000	-29.166670	24.398070	40.986840
90.000000	-29.166670	41.147000	24.303110
100.000000	-29.166670	34.238200	29.207150
110.000000	-29.166670	23.579580	42.409580
120.000000	-29.166670	16.433810	60.850160
130.000000	-29.166670	25.445860	39.299120
140.000000	-29.166670	46.188220	21.650540
150.000000	-29.166670	45.496000	21.979960
160.000000	-29.166670	17.208740	58.110000
170.000000	-29.166670	3.404850	293.698700
180.000000	-29.166670	2.290234	436.636500
190.000000	-29.166670	1.219549	819.975400
200.000000	-29.166670	1.601368	624.466200
70.000000	-35.000000	15.119340	66.140470
80.000000	-35.000000	30.619130	32.659320
90.000000	-35.000000	57.944450	17.257910
100.000000	-35.000000	47.649990	20.986360
110.000000	-35.000000	33.404580	29.936020
120.000000	-35.000000	23.860760	41.909810
130.000000	-35.000000	33.632420	29.733210
140.000000	-35.000000	68.850040	14.524320
150.000000	-35.000000	65.668450	15.228010
160.000000	-35.000000	23.402360	42.730740
170.000000	-35.000000	4.812673	207.784700
180.000000	-35.000000	3.205630	311.951100
190.000000	-35.000000	1.747000	572.409700
200.000000	-35.000000	2.272634	440.018100
70.000000	-39.583330	12.833510	77.921010

80.000000	-39.583330	21.765140	45.945020
90.000000	-39.583330	41.041430	24.365620
100.000000	-39.583330	34.758100	28.770270
110.000000	-39.583330	27.225830	36.729830
120.000000	-39.583330	23.320950	42.879890
130.000000	-39.583330	24.224460	41.280590
140.000000	-39.583330	49.072360	20.378070
150.000000	-39.583330	45.376120	22.038020
160.000000	-39.583330	20.405520	49.006360
170.000000	-39.583330	18.834960	53.092770
180.000000	-39.583330	18.469190	54.144230
190.000000	-39.583330	15.458670	64.688640
200.000000	-39.583330	17.383710	57.525100
70.000000	-44.166670	10.547680	94.807560
80.000000	-44.166670	12.911160	77.452400
90.000000	-44.166670	24.138410	41.427750
100.000000	-44.166670	21.866210	45.732650
110.000000	-44.166670	21.047070	47.512540
120.000000	-44.166670	22.781140	43.895950
130.000000	-44.166670	14.816490	67.492380
140.000000	-44.166670	29.294690	34.135880
150.000000	-44.166670	25.083790	39.866390
160.000000	-44.166670	17.408670	57.442630
170.000000	-44.166670	32.857240	30.434690
180.000000	-44.166670	33.732740	29.644790
190.000000	-44.166670	29.170330	34.281410
200.000000	-44.166670	32.494800	30.774160
70.000000	-48.750000	8.261855	121.038200
80.000000	-48.750000	4.057170	246.477200

90.000000	-48.750000	7.235385	138.209600
100.000000	-48.750000	8.974329	111.428900
110.000000	-48.750000	14.868320	67.257100
120.000000	-48.750000	22.241330	44.961330
130.000000	-48.750000	5.408521	184.893400
140.000000	-48.750000	9.517018	105.074900
150.000000	-48.750000	4.791453	208.705000
160.000000	-48.750000	14.411830	69.387420
170.000000	-48.750000	46.879520	21.331270
180.000000	-48.750000	48.996300	20.409700
190.000000	-48.750000	42.882000	23.319810
200.000000	-48.750000	47.605880	21.005810

Abstract

Pollution associated with the waste materials produced by Alborz Sharghi coal washing plant has created many environmental problems. When pyrite in the waste materials is exposed to the atmosphere and moisture produces acid mine drainage (AMD). Pyrite oxidation causes change in the conductivity of surrounding rocks and groundwater, so the electromagnetic and electrical geophysical methods could be effectively used to map the polluted zones. Very low frequency electromagnetic (VLF-EM) method was carried out on 11 parallel profiles at approximate direction of east-west and on 2 profiles at approximate direction of north-south in downstream of the waste dump to detect likely polluted zones and their distribution in groundwater aquifer. Qualitative interpretation was performed on raw VLF data using the Fraser and the Karous-Hjelt filters. Quantitative interpretation was then performed with inversion of the tipper data. The results obtained from the interpretation of VLF-EM method indicate likely contaminated zones with a resistivity value lower than 25 Ω -m at intermediate depths and at depths below 40 m, especially in the east of the profiles. An electromagnetic survey was also conducted using EM34-3 system on 7 profiles at a approximate direction of east-west and match with VLF profiles. The two-dimensional (2D) and quasi-three-dimensional inversion modeling of EM34-3 data have been performed. In addition, two resistivity profiles at same direction of EM34-3 profiles were conducted. 2D models of EM34-3 methods related to some profiles indicate likely polluted zones at the depths below 45 m with a resistivity value lower than 25 Ω -m and more extension to the east, which have good agreement with the result of quasi-three-dimensional model. The modeling results from three methods indicate the contaminated zones at different locations with a resistivity value lower than 50 Ω -m, especially at the depths below 30 m in downstream of the waste dump. In general, we can conclude that with going far from the waste dump, from north to south (direction of groundwater flow), the pollution load reduces. The results obtained from this work have good agreement with the previous geochemical, hydrogeochemical and geophysical studies in the study area.

Key Words: Environmental pollution, Acid mine drainage (AMD), Waste dump, Alborz Sharghi coal washing plant, VLF-EM method, EM34-3 method, Inverse modeling.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**Investigation of the environmental impacts of the
Alborz Sharghi coal washing plant using
electromagnetic (VLF & EM34-3) geophysical method**

A thesis submitted in fulfillment the requirements
for the award of the degree
Master of Engineering in Mining Exploration

By:

F. Amirkhani Shiraz

Supervisors:

Dr. A. Moradzadeh

Dr. F. Doulati

Advisors:

Dr. A.R. Arabamiri

December 2010