بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

استفاده از روش‌های اکتشاف الکترومغناطیسی VLF و EM34-3 جهت مطالعه اثرات زیست محیطی باطله‌های کارخانه زغالشویی البرز شرقی

دانشجو

فرزین امیرخانی شیراز

اساتید راهنما

دکتر علی مرادزاده

دکتر فرامرز دولتی ارده‌جانی

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 اردەجانی 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- هجلت 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 روشVLF 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 الکترومغناطیس VLF، روش الکترومغناطیس EM34-3، مدل سازی معکوس.

فهرست مطالب

۱ فصل اول کلیات ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ آلودگی زیست محیطی ناشی از محل انباشت باطله کارخانجات زغالشویی ۴

۱-۳ بررسی سوابق کارهای انجام شده با روش VLF و EM34 در دهه اخیر ۵

۱-۴ اهمیت و ضرورت مطالعه ۱۰

۱-۵ اهداف پایان‌نامه و روش تحقیق ۱۱

۱-۶ ساختار پایان‌نامه ۱۲

۲ فصل دوم اصول روش‌های الکترومغناطیس مورد استفاده ۱۳

۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲ روش های الکترومغناطیسی در حوزه فرکانس (FEM) ۱۵

۲-۲-۱ عمق پوسته (نفوذ) ۱۶

۲-۲-۲ عدد القاء ۱۷

۲-۲-۳ نسبت میدان ثانویه مغناطیسی (H_S) به میدان اولیه مغناطیسی (H_P) ۱۸

۲-۲-۳-۱ نسبت میدان ثانویه مغناطیسی به میدان اولیه مغناطیسی برای دو قطبی مغناطیسی قائم ۱۹

۲-۲-۳-۲ نسبت میدان ثانویه مغناطیسی به میدان اولیه مغناطیسی برای دو قطبی مغناطیسی افقی ۲۲

۲-۲-۴ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ۲۲

۲-۲-۵ آرایش حلقه های روش FDEM ۲۳
۲-۳ پاسخ تجمعی زمین چند لایه‌ای ۲۴
۲-۴ روش VLF ۲۹
۲-۴-۱ کمیت‌های مورد اندازه‌گیری در روش VLF ۲۹
۲-۴-۱-۱ زاویه شیب ۲۹
۲-۴-۱-۲ اندازه‌گیری تابع مختلف تیپر در روش VLF ۳۱
۲-۴-۲ فیلتر فریزر و کاروس - هجلت ۳۲
۲-۵ مدل‌سازی ۳۴
۲-۵-۱ چگونگی مدل‌سازی عددی نرم‌افزارهای INV2DVLF، EM34-2D و EM34-3D ۳۵
۲-۵-۲ معکوس‌سازی ساساکی ۳۶

۳ فصل سوم برداشت و تفسیر داده‌های VLF ۳۸

۳-۱ مقدمه ۳۹
۳-۲ موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی محدوده مورد مطالعه ۳۹
۳-۲-۱ چگونگی برداشت داده‌های ژئوفیزیکی ۴۰
۳-۳ ارائه و تفسیرداده‌های برداشت شده VLF ۴۴
۳-۳-۱ پروفیل V1 ..... ۴۴
۳-۳-۲ پروفیل V2 ..... ۴۷
۳-۳-۳ پروفیل V3 ..... ۴۹
۳-۳-۴ پروفیل V4 ..... ۴۹

۳-۳-۵ پروفیل V5 ..... ۵۲
۳-۳-۶ پروفیل V6 ..... ۵۲
۳-۳-۷ پروفیل V7 ..... ۵۵
۳-۳-۸ پروفیل V8 ..... ۵۵
۳-۳-۹ پروفیل V9 ..... ۵۸
۳-۳-۱۰ پروفیل V10 ..... ۵۸
۳-۳-۱۱ پروفیل V11 ..... ۶۱
۳-۳-۱۲ پروفیل V12 ..... ۶۱
۳-۳-۱۳ پروفیل V13 ..... ۶۴
۳-۳-۱۴ نقشه فیلتر خطی فریزر جهت شناسایی گسترش سطحی مناطق آلوده احتمالی ۶۶
۳-۳-۱۵ نمایش سه بعدی مدل مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF ۶۶

۴ فصل چهارم ارائه و تفسیر داده‌های EM34-3 ..... ۶۹

۴-۱ مقدمه ۷۰
۴-۲ ارائه و تفسیر داده‌های EM34-3 برای هر یک از پروفیل‌ها ۷۱
۴-۲-۱ پروفیل EM1 ..... ۷۱
۴-۲-۲ پروفیل EM2 ..... ۷۵
۴-۲-۳ پروفیل EM3 ..... ۷۶
۴-۲-۴ پروفیل EM4 ..... ۷۹
۴-۲-۵ پروفیل EM5 ..... ۸۱

۴-۲-۶ پروفیل EM6 ..... ۸۳
۴-۲-۷ پروفیل EM7 ..... ۸۵
۴-۲-۸ مدل شبه سه بعدی حاصل از داده‌های EM34 ..... ۸۷

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

۵-۱ مقدمه ۹۰
۵-۲ مقایسه بین مدل‌های مقاومت ویژه حاصل از سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه ۹۰
۵-۲-۱ پروفیل‌های V3، EM1 و E1 ..... ۹۰
۵-۲-۲ پروفیل‌های V4 و EM2 ..... ۹۲
۵-۲-۳ پروفیل‌های V5، EM3 و E2 ..... ۹۳
۵-۲-۴ پروفیل‌های V6 و EM4 ..... ۹۴
۵-۲-۵ پروفیل‌های V7 و EM5 ..... ۹۶
۵-۲-۶ پروفیل‌های V8 و EM6 ..... ۹۷
۵-۲-۷ پروفیل‌های V9 و EM7 ..... ۹۸

۶ فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۹

۶-۱ جمع‌بندی نتایج و بحث روی آنها ۱۰۰
۶-۲ پیشنهادات ۱۰۲

۷ **منابع و مراجع** ۱۰۴

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 (۲-۱) اصول روش‌های الکترومغناطیسی القائی ۱۶

شکل (۲-۲) چگونگی ارسال سیگنال های الکترومغناطیسی جهت اندازه گیری میدان مغناطیسی مربوط به عدد القاء پایین و عدد القاء بالا ۱۹

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

شکل (۲-۴) آرایش معمول حلقه ها برای روش های الکترومغناطیسی در حوزه ی فرکانس ۲۳

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

شکل (۲-۶) پاسخ تجمعی دوقطبی‌های افقی و قائم برحسب 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 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) شبه مقطع چگالی جریان. (د) مدل دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی داده‌های VLF ۵۳

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 ۵۴

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 ۵۶

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 ۵۷

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 ۵۹

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 ۶۰

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 ۶۲

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 ۶۳

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 ۶۵

شکل (۳-۱۸) نقشه فیلتر خطی فریزر برای مولفه حقیقی داده‌های تیپر اندازه‌گیری شده با روش VLF برای پروفیل‌های V1 تا V11 ۶۷

شکل (۳-۱۹) نمایش سه بعدی مدل مقاومت ویژه با معکوس‌سازی 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 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. 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 معکوس‌سازی 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 معکوس‌سازی 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 (۴-۹)مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM4. (الف) $\lambda = 0.3$.
(ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$ ۸۰
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 ۸۱
شکل (۴-۱۱) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM5. (الف) $\lambda = 0.3$.
(ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$ ۸۲
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 ۸۳
شکل (۴-۱۳) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM6. (الف) $\lambda = 0.3$.
(ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$ ۸۴
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 ۸۵
شکل (۴-۱۵) مدل‌های دوبعدی مقاومت ویژه با معکوس‌سازی ترکیبی داده‌های EM34-3 برای پروفیل EM7. (الف) $\lambda = 0.3$.
(ب) $\lambda = 3$. (ج) $\lambda = 30$ ۸۶
شکل (۴-۱۶) 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 ازمدل‌سازی سه روش VLF، EM34-3 و مقاومت ویژه ۸۹

شکل (۵-۱) 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 (۵-۲) مقایسه بین نتایج مدل‌سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل‌های V4 و EM2. (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 ..... ۹۲

شکل (۵-۳) مقایسه بین نتایج مدل‌سازی معکوس سه روش VLF، EM34 و مقاومت ویژه برای پروفیل‌های V5، EM3 و E2. (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 (ج) مدل روش مقاومت ویژه ... ۹۴

شکل (۵-۴) مقایسه بین نتایج مدل‌سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل‌های V6 و EM4. (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 ..... ۹۵

شکل (۵-۵) مقایسه بین نتایج مدل‌سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل‌های V7 و EM5. (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 ..... ۹۶

شکل (۵-۶) مقایسه بین نتایج مدل‌سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل‌های V8 و EM6. (الف) مدل مقاومت ویژه روش VLF. (ب) مدل مقاومت ویژه روش EM34-3 ..... ۹۷

شکل (۵-۷) مقایسه بین نتایج مدل‌سازی معکوس دو روش VLF و EM34-3 برای پروفیل‌های 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 داده‌های VLF ۳۸

جدول (۳-۱) دستگاه‌های اندازه‌گیری و اطلاعات مربوط به هر یک از پروفیل‌ها. ۴۳

۴ فصل چهارم ارائه و تفسیر داده‌های EM34-3 ..... ۶۹

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

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

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 ایـجاد میدان وجود ندارد اما روش‌های دینامیکی از انعطاف پذیری خاصی برخوردار هستند و جهت دریافت پاسخ بهتر می توان میدان را طوری ارسال نمود که به نتیجه مطلوب منتهی شود.

روش‌های الکترومغناطیسی[1] (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 سـیم پیچ فرستنده و گیرنده استفـاده 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 می شود. 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 می شود که همراه با میدان اولیه توسط سیم پیچ گیرنده که در فاصله کوتاهی از سیم پیچ فرستنده قرار دارد، اندازه گیری

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 اندازه گیری 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[1] 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[2] 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[3] (HDM) و قائم[1] (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. Horzintal Dipole Mode

روش الکترومغناطیسی با فرکانس خیلی پایین[2] (VLF-EM) یکی دیگر از روش‌های اکتشافی الکترومغناطیسی است که به منظور مطالعه ساختارهای زیر سطحی از فرستنده‌های رادیوئی پرقدرت با فرکانس‌های ۱۵ تا ۳۰ کیلوهرتز، در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش گیرنده‌ها با اندازه‌گیری مولفه‌های حقیقی (زاویه شیب[3]) و موهومی (الیپتیسیته یا بیضی‌وارگی[4]) 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[5] و کاروس- هجلت[6] مورد تفسیر کیفی تا نیمه کمی قرار می‌گیرند. همچنین به منظور تفسیر کمی از روش مدل‌سازی معکوس داده‌های تیپر[7] 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 می‌آورد.

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[1] و همکاران در سال ۲۰۰۲ روش EM34 را در اطراف چشمه‌های آب معدنی (داغ و سرد) غنی از CO_2 مرتبط با سیستم‌های گسلی در منطقه ویلارلهو داریا[2] واقع در شمال شرقی پرتغال و به مساحت تقریبی $2\ km^2$ 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