

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده معدن

شبیه سازی سه بعدی ژئوفیزیکی کانی سازی در محدوده اندیس اکتشافی مس مزده - نطنز به منظور طراحی نقاط بهینه حفاری

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن

محمد صادق علیزاده

استاد راهنما

دکتر نادر فتحیان پور

دکتر مرتضی طبائی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکتشاف معدن آقای محمد صادق علیزاده تحت
عنوان

**شبیه سازی سه بعدی ژئوفیزیکی کانی سازی در محدوده اندیس اکتشافی مس
مزرده - نطنز به منظور طراحی نقاط بهینه حفاری**

در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای اول پایان نامه دکتر نادر فتحیان پور

۲- استاد راهنمای دوم پایان نامه دکتر مرتضی طبائی

۳- استاد مشاور پایان نامه دکتر سید حسن طباطبایی

۴- استاد داور دکتر علی مرادزاده

۵- استاد داور دکتر هوشنگ اسدی هارونی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر نادر فتحیان پور

تقدیر و تشکر:

سپاس خدای را که توفیق عطا کرد تا مرحله‌ای دیگر از مراحل تحصیلی خود را با موفقیت به پایان رسانده و از محضر اساتید بزرگوار این دانشگاه در جهت افزایش علم و معرفت استفاده نمایم.

با تشکر و قدردانی از زحمات جناب آقای دکتر فتحیان‌پور که بنده را در زمینه انجام این پروژه همراهی کردند. بی شک اگر زحمات و همکاریهای ایشان نبود انجام این پروژه ممکن نبود. همچنین از جناب آقای دکتر طبائی استاد راهنمای دوم و دکتر طبائی که زحمت مشاوره‌ی این پروژه بر عهده ایشان بود و جناب آقای دکتر اسدی هارونی و دکتر مرادزاده که قبول زحمت نموده و داوری این پایان نامه را بر عهده گرفته و مطالعه نمودند تشکر می‌نمایم.

لازم می‌دانم از زحمات تمامی اساتید بزرگوار که طی دوران کارشناسی ارشد از محضرشان استفاده نمودم تشکر و قدردانی کنم. امید است که این پروژه گامی در جهت افزایش سطح علمی دانشجویان و مقدمه‌ای برای ادامه پروژه‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القائی با مدل‌سازی سه بعدی جهت کشف و شبیه‌سازی دقیق کانسارها مرتبط در ایران قرار بگیرد.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

تقدیم به پدر و مادرم عزیزم که در تمام زندگی همراه و
همیار همیشگی من بوده‌اند

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
هشت	فهرست مطالب
۱	چکیده
	فصل اول: مقدمه و اهداف پایان نامه
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- کانسارهای مس و ضرورت اکتشاف آنها
۴	۳-۱- روش های اکتشافی
۵	۴-۱- اهمیت موضوع پایان نامه
	فصل دوم: مبانی روش های ژئوالکتریکی
۶	۱-۲- انتخاب روش های ژئوفیزیکی مناسب
۶	۲-۲- انواع روش های الکتریکی
۶	۱-۲-۲- روش مقاومت ویژه ظاهری
۸	۲-۲-۲- روش قطبش القائی
۱۲	۳-۲- بررسی اثر توپوگرافی بر روی داده ها
۱۳	۴-۲- انتخاب آرایه ی مناسب
	فصل سوم: مدل سازی عددی پیشرو داده های مقاومت ویژه و قطبش القائی
۱۴	۱-۳- مقدمه
۱۴	۲-۳- اهمیت مدل سازی پیشرو
۱۵	۳-۳- روش های عددی مختلف در حل معادلات دیفرانسیلی
۱۵	۱-۳-۳- روش اجزاء محدود
۱۵	۲-۳-۳- روش تفاضل های محدود
۱۶	۳-۳-۳- روش نقاط محدود
۱۶	۴-۳-۳- روش معادلات انتگرالی
۱۶	۵-۳-۳- روش المان مرزی
۱۷	۴-۳-۳- اساس روش تفاضل محدود
۱۷	۵-۳- فرمولاسیون مدل سازی پیشرو داده های مقاومت ویژه الکتریکی
۱۷	۱-۵-۳- بررسی روابط پایه
۱۸	۲-۵-۳- شرایط مرزی
۲۰	۳-۵-۳- بررسی مدل سازی پیشرو سه بعدی به روش تفاضل محدود
۲۷	۶-۳- حذف تکینگی
۳۰	۷-۳- مدل سازی پیشرو داده های قطبش القائی
	فصل چهارم: پیاده سازی الگوریتم مدل سازی پیشرو سه بعدی و صحت سنجی آن
۳۲	۱-۴- مقدمه

۳۲	۲-۴- بررسی نتایج مدل‌سازی پیشرو مقاومت ویژه الکتریکی برای مدل‌های مصنوعی
۳۲	۴-۲-۱- مدل دایک قائم
۳۵	۴-۲-۲- منشور قائم در زمین دو لایه‌ای
۳۷	۴-۲-۳- بررسی و حذف اثر توپوگرافی در داده‌های مقاومت‌ویژه
۴۱	۴-۲-۴- بررسی مدل‌سازی پیشرو برای زمین تک شیب همراه با یک منشور مقاوم
۴۳	۴-۳- بررسی نتایج مدل‌سازی پیشرو قطبش القائی برای مدل‌های مصنوعی
۴۳	۴-۳-۱- منشور بارپذیر درون زمین بدون توپوگرافی
۴۶	۴-۳-۲- منشور بارپذیر درون زمین با توپوگرافی تک شیب
۴۸	۴-۴- بررسی اثر حذف تکنیگی
۴۹	۴-۴-۱- فرمولاسیون تحلیلی دایک قائم
۵۰	۴-۴-۲- مقایسه‌ی نتایج
	فصل پنجم: مدل‌سازی معکوس داده‌های اندیس اکتشافی مس مزده-نطنز
۵۲	۵-۱- مبانی مدل‌سازی معکوس
۵۲	۵-۱-۱- تعریف مدل‌سازی معکوس
۵۳	۵-۱-۲- انواع مدل‌سازی معکوس
۵۶	۵-۱-۳- استفاده از قیود در مدل‌سازی معکوس
۵۷	۵-۱-۴- محاسبه‌ی فاکتور تعدیل به کمک روش رگرسیون ریدج
۵۸	۵-۱-۵- نحوه‌ی محاسبه‌ی تابع حساسیت برای نیم فضای همگن
۶۰	۵-۱-۶- مقایسه تکنیک‌های بهینه‌سازی گوس - نیوتن و شبه - نیوتن در معکوس‌سازی
۶۱	۵-۱-۷- مدل‌سازی معکوس قطبش القائی
۶۳	۵-۲- بررسی نتایج مدل‌سازی معکوس برای مدل‌های مصنوعی
۶۳	۵-۲-۱- مدل‌سازی معکوس مقاومت‌ویژه برای یک منشور
۶۶	۵-۲-۲- مدل‌سازی معکوس قطبش القائی برای دایک قائم
۶۸	۵-۳- موقعیت جغرافیایی محدوده اندیس اکتشافی مس مزده - نطنز
۶۸	۵-۴- زمین‌شناسی محدوده
۷۱	۵-۵- طراحی و برداشت عملیات ژئوفیزیکی در محدوده
۷۲	۵-۶- بررسی نتایج حاصل از معکوس‌سازی
۷۳	۵-۶-۱- مقاطع و شبه‌مقاطع مقاومت‌ویژه و قطبش القائی حاصل از پروفیل ۳
۷۴	۵-۶-۲- مقاطع و شبه‌مقاطع مقاومت‌ویژه و قطبش القائی حاصل از پروفیل ۴-۳
۷۵	۵-۶-۳- مقاطع و شبه‌مقاطع مقاومت‌ویژه و قطبش القائی حاصل از پروفیل ۴
۷۶	۵-۶-۴- مقاطع و شبه‌مقاطع مقاومت‌ویژه و قطبش القائی حاصل از پروفیل ۴-۵
۷۸	۵-۶-۵- مقاطع و شبه‌مقاطع مقاومت‌ویژه و قطبش القائی حاصل از پروفیل ۵
۷۹	۵-۷- تفسیر مقاطع
۷۹	۵-۷-۱- پروفیل ۳

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷۹	۳-۷-۲- پروفیل ۴-۳
۷۹	۴-۷-۳- پروفیل ۴
۷۹	۴-۷-۴- پروفیل ۵-۴
۷۹	۵-۷-۵- پروفیل ۵
۸۰	۸-۵- مدل سه بعدی نهایی
۸۰	۱-۸-۵- مدل های سه بعدی نهایی برای داده های مقاومت ویژه
۸۳	۲-۸-۵- مدل های سه بعدی نهایی برای داده های قطبش القائی
	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۶	۱-۶- نتیجه گیری
۸۷	۲-۶- پیشنهادات
۸۹	پیوست
۹۲	مراجع
۹۴	چکیده انگلیسی

فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳	شکل (۱-۱): نمایش عیار - ذخیره انواع کانسارهای مس
۳	شکل (۱-۲): روند تغییرات ذخایر، عیار قابل استخراج، قیمت و مصرف جهانی مس
۷	شکل (۱-۲): مدل نیم فضای همگن
۸	شکل (۲-۲): قطع و وصل جریان و اثر جریان اضافی
۹	شکل (۳-۲): پدیده‌ی قطبش القائی الکترودی
۹	شکل (۴-۲): ایجاد قطبش غشایی در اثر باریک شدن مجاری عبور یونها
۹	شکل (۵-۲): ایجاد پدیده‌ی IP غشایی در اثر وجود ذرات رس و رشته‌هایی از کانی‌های الیافی
۱۰	شکل (۶-۲): اندازه‌گیری انتگرال زیر سطح منحنی افت پتانسیل برای برداشت‌های IP
۱۱	شکل (۷-۲): نمایش اختلاف فاز بین منحنی پتانسیل و منحنی جریان
۱۲	شکل (۸-۲): تأثیر توپوگرافی در الگوی خطوط جریان در زمین همگن
۱۴	شکل (۱-۳): انواع مدل‌های مختلف یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی
۲۱	شکل (۲-۳): نمایش جهت مثبت فرض شده برای محورهای مختصات در حل مسئله پیشرو سه‌بعدی
۲۳	شکل (۳-۳): مدل مش‌بندی در حالت سه‌بعدی
۲۸	شکل (۴-۳): خطای حاصل از تکنیکی
۲۹	شکل (۵-۳): مقایسه نتایج حاصل از حذف تکنیکی با نتایج تحلیلی
۳۰	شکل (۶-۳): مقایسه نتایج حاصل از حذف تکنیکی با نتایج تحلیلی
۳۰	شکل (۷-۳): مقایسه نتایج حاصل از حذف تکنیکی بهبود یافته در یک زمین دو لایه‌ای
۳۱	شکل (۸-۳): اندازه‌گیری IP در یک سیکل تزریق تا قطع جریان
۳۳	شکل (۱-۴): دایک قائم و نحوه‌ی مش‌بندی در مدل‌سازی سه‌بعدی
۳۴	شکل (۲-۴): مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از دو مدل برای پرش‌های الکترودی $n=1,2,\dots,8$
۳۴	شکل (۳-۴): مقطع بدست آمده از مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی
۳۵	شکل (۴-۴): مدل زمین دو لایه‌ای همراه با یک منشور در مرکز و نحوه‌ی مش‌بندی آن
۳۶	شکل (۵-۴): مقایسه نتایج حاصل از دو مدل برای یک ساختار
۳۷	شکل (۶-۴): مقطع مقاومت ویژه ظاهری بدست آمده از مدل‌سازی پیشرو دوبعدی و مدل‌سازی...
۳۸	شکل (۷-۴): مش‌بندی زمین با توپوگرافی تک شیب در مدل‌سازی دوبعدی و صفحه X-Z مدل...
۳۹	شکل (۸-۴): مقایسه نتایج مدل‌سازی سه‌بعدی با مدل‌سازی دوبعدی برای زمین تک شیب
۳۹	شکل (۹-۴): مقاطع بدست آمده برای زمین همگن با توپوگرافی تک شیب
۴۰	شکل (۱۰-۴): مقایسه بین نتایج مدل‌سازی پیشرو دوبعدی و سه‌بعدی برای زمین با توپوگرافی...
۴۱	شکل (۱۱-۴): مقاطع حاصل از مدل‌سازی پیشرو دوبعدی و سه‌بعدی
۴۲	شکل (۱۲-۴): نمایش مش مرکزی مدل
۴۳	شکل (۱۳-۴): مقایسه بین نتایج حاصل از دو مدل برای n های مختلف
۴۳	شکل (۱۴-۴): مقطع حاصل از دو مدل‌سازی برای ساختار شکل (۱۲-۴)
۴۴	شکل (۱۵-۴): نمایش بلوک بارپذیر انتخاب شده درون زمین با مقاومت ویژه ۱۰۰۰ اهم - متر

۴۵	شکل (۴-۱۶): مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی پیشرو داده‌های قطبش القائی
۴۶	شکل (۴-۱۷): مقاطع حاصل از مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی برای ساختار شکل (۴-۱۵)
۴۶	شکل (۴-۱۸): نمایش مش‌بندی زمین
۴۸	شکل (۴-۱۹): مقایسه نتایج بارپذیری ظاهری بدست آمده برای مدل دوبعدی و سه‌بعدی در ...
۴۸	شکل (۴-۲۰): مقاطع بدست آمده از مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی برای شکل (۴-۱۸)
۴۹	شکل (۴-۲۱): محل تصویرهای جریان در نزدیکی یک دایک قائم
۵۰	شکل (۴-۲۲): نمایش موقعیت دایک و نقاط اندازه‌گیری پتانسیل
۵۱	شکل (۴-۲۳): اثر حذف تکینگی در نزدیکی الکتروود جریان
۵۱	شکل (۴-۲۴): نمایش خطای نتایج عددی با فاصله گرفتن از محل الکتروود جریان
۵۳	شکل (۵-۱): محاسبه مقاومت ویژه هر سلول در معکوس‌سازی دوبعدی
۵۸	شکل (۵-۲): تعیین فاکتور تعدیل
۵۹	شکل (۵-۳): محاسبه تابع حساسیت در نقطه (X, Y, Z) برای آرایه قطبی - قطبی
۶۰	شکل (۵-۴): پارامترهای مورد استفاده در محاسبه‌ی مشتقات جزئی برای یک منشور مستطیلی ...
۶۵	شکل (۵-۵): نحوه‌ی مش‌بندی و موقعیت منشور در صفحه‌ی $X-Z$ (الف)، مدل نهایی بدست ...
۶۷	شکل (۵-۶): نحوه‌ی مش‌بندی و موقعیت دایک در صفحه‌ی $Y-Z$ (الف)، مدل نهایی بدست ...
۶۹	شکل (۵-۷): نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به محدوده
۶۹	شکل (۵-۸): نقشه‌ی زمین‌شناسی محدوده‌ی اکتشافی مزده
۷۰	شکل (۵-۹): موقعیت رگه، ترانشه‌ها و محل عکس‌های گرفته شده
۷۰	شکل (۵-۱۰): آلتراسیون پروپیلیتیک در حاشیه و دور از رگه
۷۰	شکل (۵-۱۱): رگچه‌های بافت استوک‌ورک در محدوده‌ی اکتشافی
۷۱	شکل (۵-۱۲): نقشه‌ی توپوگرافی و موقعیت پروفیل‌های برداشت شده روی آن، رگه‌ی مینرالیزه ...
۷۳	شکل (۵-۱۳): شبه مقاطع مقاومت‌ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۳	شکل (۵-۱۴): شبه مقاطع بارپذیری ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۳	شکل (۵-۱۵): مقاطع مقاومت‌ویژه واقعی و بارپذیری واقعی زیر سطحی حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۴	شکل (۵-۱۶): شبه مقاطع مقاومت‌ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۴	شکل (۵-۱۷): شبه مقاطع بارپذیری ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۴	شکل (۵-۱۸): مقاطع مقاومت‌ویژه واقعی حاصل از مدل‌سازی سه‌بعدی و مدل‌سازی دوبعدی با ...
۷۵	شکل (۵-۱۹): مقاطع بارپذیری واقعی حاصل از مدل‌سازی سه‌بعدی و مدل‌سازی دوبعدی با نرم‌افزار ...
۷۵	شکل (۵-۲۰): شبه مقاطع مقاومت‌ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۵	شکل (۵-۲۱): شبه مقاطع بارپذیری ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۶	شکل (۵-۲۲): مقاطع مقاومت‌ویژه واقعی و بارپذیری واقعی زیر سطحی حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۶	شکل (۵-۲۳): شبه مقاطع مقاومت‌ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۶	شکل (۵-۲۴): شبه مقاطع بارپذیری ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۷	شکل (۵-۲۵): مقاطع مقاومت‌ویژه واقعی حاصل از مدل‌سازی سه‌بعدی و مدل‌سازی دوبعدی با ...

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷۷	شکل (۵-۲۶): مقاطع بارپذیری واقعی حاصل از مدل‌سازی سه‌بعدی و مدل‌سازی دوبعدی با نرم‌افزار ...
۷۸	شکل (۵-۲۷): شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۸	شکل (۵-۲۸): شبه مقاطع بارپذیری ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده حاصل از معکوس‌سازی ...
۷۸	شکل (۵-۲۹): مقاطع مقاومت ویژه واقعی و بارپذیری واقعی زیر سطحی حاصل از معکوس‌سازی ...
۸۰	شکل (۵-۳۰): سه نمای مختلف از ساختار زیر سطحی توزیع مقاومت ویژه با حد مرزی ۳۰۰ اهم ...
۸۱	شکل (۵-۳۱): سه نمای مختلف از ساختار زیر سطحی توزیع مقاومت ویژه با حد مرزی ۶۰۰ اهم ...
۸۲	شکل (۵-۳۲): سه نمای مختلف از ساختار زیر سطحی توزیع مقاومت ویژه با حد مرزی ۵۰۰۰ اهم ...
۸۳	شکل (۵-۳۳): سه نمای مختلف از ساختار زیر سطحی توزیع بارپذیری با حد مرزی ۲۰ میلی‌ثانیه
۸۴	شکل (۵-۳۴): سه نمای مختلف از ساختار زیر سطحی توزیع بارپذیری با حد مرزی ۳۰ میلی‌ثانیه
۸۵	شکل (۵-۳۵): سه نمای مختلف از ساختار زیر سطحی توزیع بارپذیری با حد مرزی ۴۵ میلی‌ثانیه
۸۷	شکل (۶-۱): موقعیت، عمق و شیب گمانه‌ی پیشنهادی روی پروفیل ۴-۳

فهرست جداول

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۳	جدول (۲-۱): مقایسه برتری نسبی چند آرایه
۳۵	جدول (۴-۱): مشخصات هندسی و فیزیکی مدل
۴۱	جدول (۴-۲): مشخصات هندسی و فیزیکی مدل
۴۴	جدول (۴-۳): مشخصات هندسی و فیزیکی منشور و محیط
۴۷	جدول (۴-۴): مشخصات هندسی و فیزیکی مدل شکل (۴-۱۸)
۶۴	جدول (۵-۱): مشخصات منشور مقاوم برای تست معکوس‌سازی
۶۶	جدول (۵-۲): مشخصات هندسی و فیزیکی دایک و محیط بارپذیر جهت تست مدل معکوس

چکیده

افزایش قیمت فلزات و کاربرد فراوان آن در زندگی انسان نیاز روزافزون به کشف ذخایر فلزی را ایجاد می‌کند. از آنجا که کشور ایران روی کمر بند مس جهانی واقع است اکتشاف کانسارهای مس و مدل‌سازی صحیح آنها حائز اهمیت می‌باشد. رشد سریع کامپیوتر امکان مدل‌سازی کانسارهای پیچیده به صورت عددی را فراهم کرده است. روش‌های مختلف عددی در مدل‌سازی کانسارها به کار می‌رود که هر کدام یکسری معایب و مزایای خاص خود را دارد.

به منظور شبیه‌سازی دقیق کانسارها نیاز به مدل‌سازی معکوس می‌باشد. هسته اصلی مدل‌سازی معکوس، مدل‌سازی پیشرو است. در این پایان‌نامه از روش تفاضل محدود که یک روش عددی قدرتمند در حل معادلات دیفرانسیلی است جهت حل معادله حاکم بر محیط استفاده شده است. بعد از گسسته‌سازی معادله حاکم به روش تفاضل محدود، برنامه مدل‌سازی پیشرو و معکوس آن به کمک نرم‌افزار Matlab نوشته شده است.

در ابتدا برنامه‌ی نوشته شده بر روی مدل‌های مصنوعی جهت تست میزان صحت و دقت برنامه آزمایش شده است. نتایج حاصل از مدل‌های مصنوعی رضایت بخش بوده است. در ادامه این برنامه برای شبیه‌سازی سه‌بعدی کانسار مس مزده از توابع شهرستان نطنز به عنوان یک مورد عملی به کار رفته است. برنامه نوشته شده برای ۵ پروفیل P3، P34، P4، P45 و P5 از ۱۲ پروفیل برداشت شده روی این کانسار اجرا شده است. نتایج حاصل برای دو پروفیل P34 و P45 با نتایج بدست آمده از نرم‌افزار Res2dinv که یک نرم‌افزار مدل‌سازی معکوس دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القائی می‌باشد مقایسه شده است. در پایان نماهای مختلف سه‌بعدی از مدل نهایی بدست آمده برای کانسار در زیر این ۵ پروفیل برای حد مرزهای مختلف از توزیع بارپذیری و مقاومت ویژه رسم شده است.

نتایج بدست آمده نشان داده است که کانسار مربوطه گسترش عمقی زیادی ندارد (حداکثر ۵۰ تا ۶۰ متر). بارپذیری بالا در پروفیل‌های P3 و P34 دیده می‌شود. با توجه به مدل بارپذیر سه بعدی نهایی پیشنهاد می‌گردد بعد از الویت بندی کانسار فوق و تعیین درجه اهمیت آن یک گمانه بر روی پروفیل P34 با زاویه ۷۵ درجه نسبت به افق و به سمت غرب و در فاصله‌ی ۷۵ متری از ابتدای پروفیل و تا حداکثر عمق ۸۰ متر به منظور تأیید یا عدم تأیید ماده معدنی و صحت مدل‌سازی حفر گردد.

فصل اول

مقدمه و اهداف پایان نامه

۱-۱- مقدمه

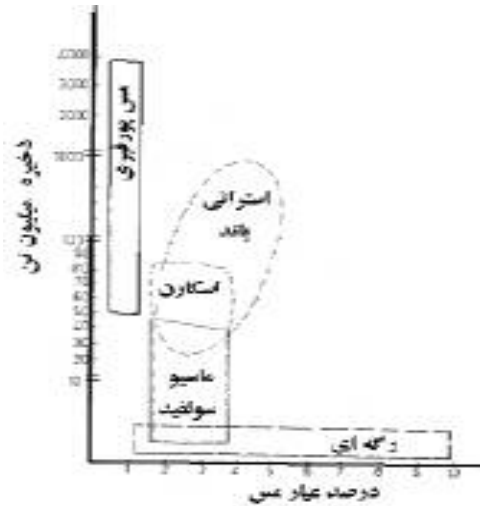
بشر از آغاز پیدایش پیوسته برای ادامه حیات به زمین و مواد تشکیل دهنده آن متکی بوده است. بنابراین کانی‌های موجود در پوسته زمین به نسبت اهمیت، همیشه مورد توجه انسان بوده و تلاش برای یافتن کانسارهای جدید و یا گسترش و استفاده هر چه بیشتر از کانسارهای موجود همچنان ادامه دارد. از میان انواع فراوان کانی‌ها، کانی‌های فلزی از جایگاه خاصی برخوردار هستند. نیاز روز افزون به فلزات پایه نظیر آهن، مس، سرب و روی از یک طرف و کاهش منابع سهل‌الوصول و سطحی این عناصر از طرف دیگر موجب شده تا ذخایر عمیق‌تر این فلزات مورد توجه قرار گیرند، بنابراین کشف این کانسارها روش‌های پیشرفته‌تر و پیچیده‌تر را در مطالعات اکتشافی طلب می‌کند.

وجود خاستگاه مناسب جهت تشکیل ماده معدنی نیز علاوه بر روش‌های اکتشافی مؤثر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کمربند ولکانیکی ارومیه- دختر که در نتیجه فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر صفحه ایران مرکزی تشکیل شده است، دارای اهمیت ژنتیکی بالایی می‌باشد. این کمربند ولکانیکی محل مناسبی جهت پی‌جویی و اکتشاف مس پورفیری می‌باشد. حضور کانسارهای بزرگی همچون مس سرچشمه، میدوک و سونگون و دیگر ذخایر کوچک و بزرگ در این زون، همچنین ارزش افزوده بالای فلز مس و عناصر همراه آن ضرورت پی‌جویی و اکتشافات کانسارهای مس را در این زون نشان می‌دهد.

طرح اکتشاف کانسار مس مزده- نطنز واقع در کمربند ولکانیکی ارومیه- دختر در راستای اکتشاف ذخایر مس پورفیری و رگه‌ای در این منطقه انجام شده است.

۱-۲- کانسارهای مس و ضرورت اکتشاف آنها

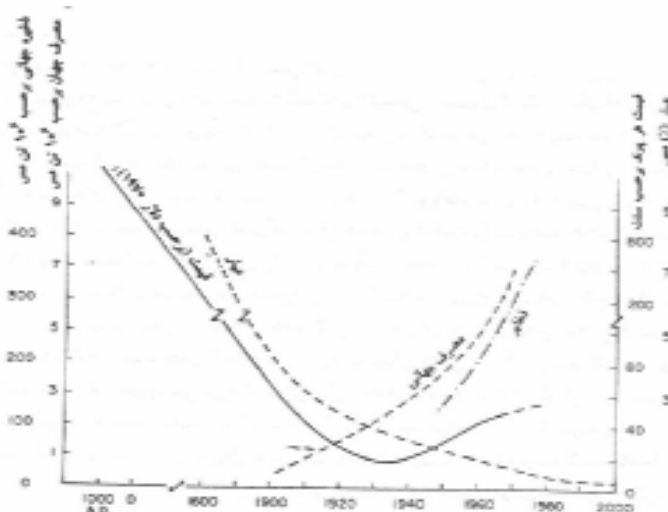
کانسارهای مهم مس عبارتند از: مس پورفیری، اسکارن‌های مس دار، ماسیوسولفیدهای مس دار، کانسارهای مس رسوبی استراتی‌باند و ذخایر مس رگه‌ای. نمودار عیار و میزان ذخیره آنها در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



شکل (۱-۱): نمایش عیار-ذخیره‌ی انواع کانسارهای مس [۱]

کانسارهای مس-مولیدن پورفیری برای اولین بار در دهه‌ی دوم قرن بیستم در آمریکای شمالی شناخته شده‌اند. از آن زمان این واژه برای طیف وسیعی از کانسارهای سولفیدی پراکنده مرتبط با توده‌های نفوذی تشکیل شده در کمر بند کوهزایی بکار برده شد. ترکیب سنگ‌های نفوذی درونگیر کانسار مس-مولیدن پورفیری از اسیدی تا متوسط تغییر می‌کند. معمول‌ترین ترکیب سنگ‌های درونگیر ترکیب کوارتز مونزونیتی می‌باشد، اما ترکیبات گوناگونی از سینیت تا دیوریت نیز گاه‌گاه دیده شده است.

افزایش اهمیت ذخایر تپ پورفیری به عنوان منابع جهانی مس، مولیدن و فلزات با ارزش چون طلا، نقره، سلینوم و تلوریم توجه بیش از حد به برنامه‌های اکتشافی این تپ کانسارها را توجیه می‌کند. شکل (۲-۱) روند تاریخی تولید و مصرف مس را نشان می‌دهد. حد پایینی عیار قابل استخراج در شکل نشان دهنده استفاده از ذخائر با عیار پایین و میزان ذخیره بالا (آنچه در نوع پورفیری مشهود است) در سال‌های اخیر است:



شکل (۲-۱): روند تغییرات ذخائر، عیار قابل استخراج، قیمت و مصرف جهانی مس [۲]

۱-۳- روش‌های اکتشافی

روش‌های اکتشاف نظیر روش‌های ژئوشیمی و ژئوفیزیکی، روش‌هایی هستند که نسبت به روش‌های حفاری بسیار ارزان‌تر و کم‌هزینه‌تر هستند، لذا این روش‌ها در بسیاری موارد باعث کاهش ریسک‌های هزینه و ادامه عملیات اکتشافی و سرمایه‌گذاری می‌شوند.

روش‌های مختلف ژئوشیمیایی مبتنی بر کشف هاله‌های اولیه و ثانویه می‌باشند. ترتیب به کارگیری روش‌های ژئوشیمیایی برای کشف این تیپ کانسارها، کشف هاله‌های ثانویه از طریق بررسی حوضه‌های آبریز و نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای و فلزسنجی خاک‌های برجاست. مرحله‌ی بعدی نمونه برداری لیتوژئوشیمیایی از سنگ درونگیر هاله می‌باشد.

روش‌های ژئوفیزیکی بر اساس کشف تغییرات یک یا چند ویژگی فیزیکی زمین ناشی از وجود آنومالی در محل، کار می‌کنند. انواع روش‌های ژئوفیزیکی عبارتند از: روش مغناطیسی، روش گراویتی، روش‌های الکتریکی، روش‌های الکترومغناطیس، می‌باشد. چون روش ژئوفیزیکی به کار گرفته شده در این پروژه جزو روش‌های الکتریکی می‌باشد، لذا بیشتر به آن پرداخته شده است.

هدف بررسی‌های الکتریکی این است که توزیع مقاومت زیر سطحی را با اندازه‌گیری روی سطح زمین مشخص کنیم. روش مقاومت‌ویژه از دهه‌ی ۱۹۲۰ با کارهای برادران شلمبرژه آغاز شد. تا حدود ۶۰ سال بعد از بررسی‌های سونداژزنی الکتریکی به طور معمول جهت تفسیر استفاده می‌شد. امروزه کارهای صحرائی با انواع آرایه‌های مختلف می‌تواند انجام شود لذا طراحی و انتخاب یک آرایه باید قبل از برداشت صورت گیرد.

برداشت‌های صورت گرفته مقادیر ظاهری پارامتر مدل را بدست می‌دهند و برای بدست آوردن مقادیر پارامترهای واقعی نیاز به مدل‌سازی معکوس است. شبه مقاطع الکتریکی نتایج گمراه کننده‌ای دارند و ممکن است مقطع مدل معکوس هیچ شباهتی به مقاطع ظاهری نداشته باشد. این امر مدل‌سازی معکوس در بدست آوردن یک مدل واقعی از داده‌های خام را ضروری می‌کند.

- روش مقاومت‌ویژه (RS) و قطبش القایی^۱ (IP) در اکتشاف کانسارها

یکی از مهمترین روش‌های الکتریکی روش مقاومت‌ویژه و قطبش القایی می‌باشد که غالباً به طور همزمان برداشت می‌شوند. چون در این تکنیک‌ها از چشمه‌ی مصنوعی جریان استفاده می‌شود لذا می‌توان با کنترل منبع مصنوعی جریان نتایج کمی و دقیقی بدست آورد. از این لحاظ این دو روش بر سایر روش‌های الکتریکی برتری دارند. عمده‌ترین عیب روش مقاومت‌ویژه حساسیت زیاد آن به تغییرات کوچک مقاومت در مجاورت سطح زمین می‌باشد، به عبارت دیگر سطح نویز بالا است.

برداشت‌های IP امروزه به طور وسیعی در کشف سولفیدهای پراکنده کاربرد دارند. اخیراً برداشت‌های IP کاربردهایی در محیط زیست پیدا کرده است. پاسخ IP زباله‌های دفن شده بسیار شدید می‌باشد (بیش از ۱۰۰ میلی‌ثانیه). تحقیقاتی نیز راجع به تشخیص اثرات هیدروکربن‌ها و سایر آلوده‌کننده‌ها روی ظرفیت تبادل یونی رس‌های و نتایج آن در پاسخ IP صورت گرفته است.

^۱ - Induced Polarization (IP)

۱-۴- اهمیت موضوع پایان نامه

شبه‌سازی دوبعدی ژئوفیزیکی روش متداول در نمایش و تفسیر داده‌های خام برداشت شده می‌باشد. مدل‌سازی دوبعدی در بسیاری از ساختارهای زمین‌شناسی نتایج قابل قبولی می‌دهد و هنوز هم به طور گسترده استفاده می‌شود. این امر به علت زمان و هزینه کم صرف شده برای انجام آن می‌باشد اما در شرایطی که با زمینی با ساختارهای پیچیده مواجهیم نیاز به مدل‌سازی سه بعدی می‌باشد و نتایج دوبعدی تفسیرهای اشتباه به دست خواهند داد.

پیشرفت در مدل‌سازی و معکوس‌سازی، تفاسیر صحیح‌تر و قابل فهم‌تر برای ژئوفیزیکدانان و زمین‌شناسان یک پروژه اکتشافی فراهم خواهد کرد. نمایش شبه مقاطع برداشت‌های IP-RS تنها برای ارزیابی کیفی داده‌ها و به عنوان قدم قبل از معکوس‌سازی مطرح است و نمی‌تواند نمایش درستی از توزیع بارپذیری و مقاومت ویژه‌ی زیر سطحی باشد. اینجاست که روش‌های مختلف معکوس‌سازی و معایب و مزایای هر یک مطرح شده و اهمیت خود را نشان می‌دهد.

در این پایان‌نامه سعی شده است با نوشتن برنامه مدل‌سازی پیشرو و معکوس سه‌بعدی داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القائی گامی در جهت شناساندن اهمیت و جایگاه مدل‌سازی سه‌بعدی و آشنایی با روند انجام آن برداشته شود. در فصل دوم مقدمه‌ای راجع به روش قطبش القائی و روش مقاومت‌سنجی ارائه شده است. در فصل سوم مبانی مدل‌سازی پیشرو داده‌های IP-RS بیان شده است. در فصل چهارم نتایج برنامه‌ی مدل‌سازی پیشرو نوشته شده به منظور صحت‌سنجی آن برای مدل‌های مصنوعی آورده شده است و در فصل پنجم مبانی مدل‌سازی معکوس و تست برنامه‌ی نوشته شده برای آن، روی مدل‌های مصنوعی بیان شده است. در ادامه برنامه‌ی نوشته شده روی داده‌های عملی برداشت شده برای کانسار مس مزده - نطنز اجرا و نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از نرم‌افزار معکوس‌سازی دوبعدی Res2dinv برای دو پروفیل مقایسه شده است. نهایتاً در فصل آخر نتیجه‌گیری و پیشنهادات لازم برای ادامه‌ی این پروژه بیان شده است و در پایان الگوریتم کلی که برنامه‌نویسی بر اساس آن انجام شده است در پیوست آورده شده است.

برنامه نوشته شده به طور کامل سه بعدی است اما تحصیل داده‌ها به صورت سه‌بعدی برای محدوده‌ی اندیس اکتشافی مس مزده - نطنز از ابتدا در نظر گرفته نشده بود و لذا مدل‌سازی انجام شده با استفاده از داده‌های برداشت شده‌ی دوبعدی صورت گرفته است.

فصل دوم

مبانی روش‌های ژئوالکتریکی

۲-۱- انتخاب روش‌های ژئوفیزیکی مناسب

در پروژه‌های اکتشافی بسته به اینکه در کدام مرحله اکتشاف باشیم یکسری عملیات طراحی می‌شود. بررسی‌های ژئوفیزیکی به عنوان یک تکنیک مؤثر در اکتشافات ذخایر معدنی هم در مراحل اولیه و هم در مراحل نهایی و تفصیلی عملیات اکتشافی کاربرد دارد. بسته به هدف مربوطه، وسعت منطقه‌ی مورد نظر در اکتشاف، میزان بودجه‌ی موجود در هر مرحله، روش ژئوفیزیکی متناسب با آن انتخاب می‌شود.

روش‌های هواپردی و دورسنجی به علت وسعت زیاد منطقه‌ی تحت پوشش معمولاً در مراحل اولیه اکتشاف (یعنی مرحله‌ی پی‌جویی) کاربرد دارد. روش‌های ژئوالکتریکی در مراحل اکتشاف مقدماتی، نیمه‌تفصیلی و تفصیلی کاربرد دارد.

۲-۲- انواع روش‌های الکتریکی

۱- روش مقاومت ویژه ۲- روش قطبش القایی ۳- روش پتانسیل خودزا

۲-۲-۱- روش مقاومت ویژه

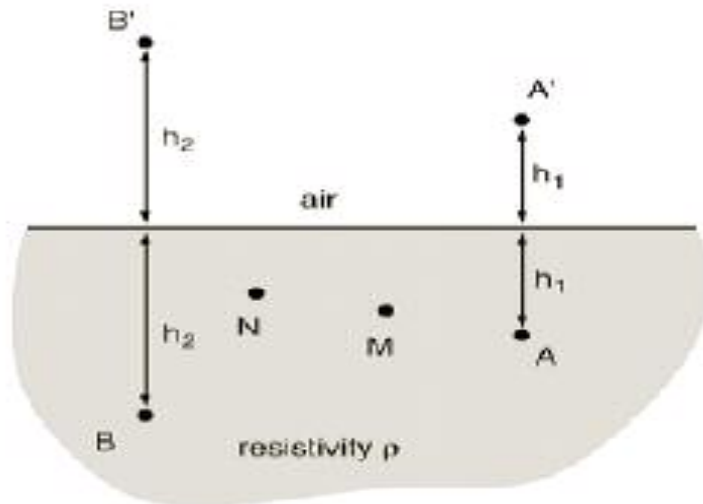
در برداشت‌های صحرائی با تزریق جریان الکتریکی به زمین، مقدار اختلاف پتانسیل بین دو نقطه اندازه‌گیری می‌شود. اگر A و B به ترتیب الکترودهای مثبت و منفی جریان باشد و I مقدار جریان تزریق شده به زمین باشد و همچنین ΔV اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده توسط دو الکترود M و N که در فاصله معینی از A و B قرار دارند باشد، مقدار مقاومت ویژه ظاهری به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\rho_{app} = G \frac{\Delta V}{I} = GR$$

(۲-۱)

که در آن G فاکتور هندسی^۱ می‌باشد. مقدار G را به دو روش تحلیلی^۲ و روش عمومی (کلی)^۳ می‌توان محاسبه کرد [۳].

$$\rho_{app} = GR \quad G = \frac{4\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{A'M} - \frac{1}{A'N} - \frac{1}{B'M} - \frac{1}{B'N}\right)} \quad (2-2)$$



شکل (۱-۲): مدل نیم فضای همگن [۳]

به منظور تفسیر آسان نتایج، بهتر است اختلاف پتانسیل بین پتانسیل واقعی و پتانسیلی که تحت شرایطی که زمین همگن است و در شرایط یکسان است محاسبه و مورد بررسی قرار گیرد. نسبت $\frac{\Delta v}{\Delta v_0}$ که در آن Δv اختلاف پتانسیل بدست آمده در سرزمین و Δv_0 اختلاف پتانسیل در یک زمین همگن با همان شرایط می‌باشد، می‌تواند به تنهایی به عنوان «مقاومت ویژه ظاهری» بررسی شود، البته در صورتی که مقاومت ویژه محیط همگن مرجع برابر واحد انتخاب شود. اگر مقاومت ویژه محیط مرجع برابر ρ_0 انتخاب شود آنگاه مقاومت ویژه ظاهری به صورت زیر بدست می‌آید [۳]:

$$\rho_{app} = \frac{\Delta v}{\Delta v_0} \rho_0 \quad (3-2)$$

اگر جریان I به زمین تزریق شده باشد داریم:

$$\rho_{app} = \frac{(\Delta v / I)}{(\Delta v_0 / I)} \rho_0 = \frac{R}{R_0} \rho_0 = \frac{\rho_0}{R_0} R = GR \quad (4-2)$$

که در آن R_0 مقاومت محاسبه شده برای محیط همگن می‌باشد. مقدار فاکتور هندسی کلی بر اساس معادله‌ی بالا به

$$\text{صورت } G = \frac{\rho_0}{R_0} \text{ تعریف می‌شود.}$$

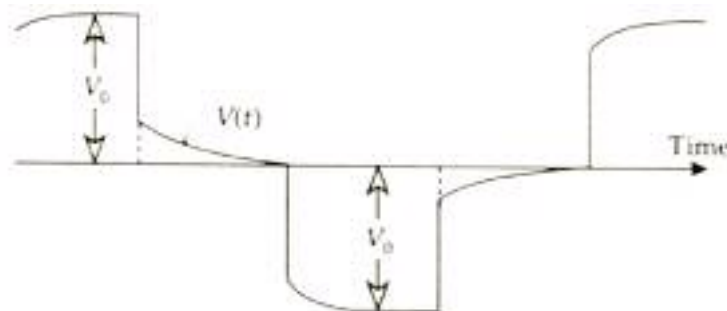
¹ - Geometric Factor

² - Analytical Approach

³ - General Approach

۲-۲-۲- روش قطبش القائی

روش قطبش القائی از عکس العمل خازنی^۱ زمین که عمدتاً برای کشف زون‌های حاوی کانی‌های فلزی سولفیدی پراکنده درون سنگ میزبان و همچنین کشف کانی‌های رسی استفاده می‌کند. همچنین از این روش برای ترسیم عکس العمل‌های الکتروشیمیایی برای آلودگی‌های زیست محیطی استفاده می‌شود. زمانی که جریان به زمین تزریق می‌شود پتانسیل یک افزایش ناگهانی یافته و سپس در طول زمان افزایش تدریجی می‌یابد تا به مقدار ثابت خود می‌رسد. بعد از قطع جریان نیز پتانسیل یک باره صفر نمی‌شود بلکه مدتی طول می‌کشد تا ولتاژ دو سر الکترودهای پتانسیل واپاشیده شود (شکل ۲-۲). این پدیده به اثر جریان اضافی یا قطبش القائی معروف می‌باشد.



شکل (۲-۲): قطع و وصل جریان (به صورت مستقیم و معکوس) و اثر جریان اضافی

الف- منشأ قطبش القائی

پدیده‌ی قطبش القائی و مکانیزم الکتروشیمیایی آن پیچیده می‌باشد. اگرچه تلاش‌هایی در دهه‌های اخیر به منظور پی بردن به پدیده‌ی اصلی که باعث ایجاد قطبش القائی در سنگ‌ها و خاک‌ها می‌شود صورت گرفته است. از جمله انتشار یونها نزدیک کانی‌های فلزی و یون‌های متحرک درون الکترولیت‌های پرکننده‌ی خلل و فرج می‌توان به عنوان منشأ قطبش القائی نام برد. علت دقیق قطبش القائی هنوز روشن نشده است ولی بیشترین احتمال این است که این پدیده از تأثیر مشترک چند فرایند فیزیکی و شیمیایی حاصل می‌شود. با این وجود دو مکانیزم اصلی که قابل درک و معقولانه می‌باشد عبارت است از [۴، ۵، ۶]:

۱- قطبش دانه‌ای^۲ (یا الکترودی یا ولتاژ اضافی)

۲- قطبش غشائی^۳ (یا الکترولیتی)

۱- قطبش الکترودی

جریان تزریق شده به زمین از طریق حرکت یونها درون آبهای زیرزمینی و گذشتن از فضاها متخلخل و یا شکستگی‌های درون سنگ صورت می‌گیرد. اگر مسیر این یونها توسط کانی‌های خاص مانند کانی‌های فلزی مسدود شده باشد، انتقال جریان توسط الکترونها فلزی صورت می‌گیرد و یونها مثبت و منفی در دو طرف این کانی فلزی انباشته می‌شوند (شکل ۲-۳). با قطع جریان این یونها به تدریج و طی یک مدت زمان خاص واپاشیده شده و پدیده‌ی قطبش القائی را بوجود می‌آورند.

^۱ - Capacitive action

^۲ - Grain (electrode) Polarization (Over voltage)

^۳ - Membrane (electrolytic) polarization