

رسالة محمد



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

برداشت، مدل سازی و تفسیر داده های مغناطیس و الکترونیک جهت اکتشاف یکی از کانسارهای آهن سنگان خواف

مصطفی غلامی

استاد راهنما:

دکتر علی مرادزاده

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

استاد مشاور:

مهندس جهاندار کدیور

شهریور ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مصطفی غلامی

تحت عنوان: برداشت، مدل سازی و تفسیر داده های مغناطیسی و الکتریکی زمینی کانسار آهن منطقه سنگان خواف

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

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:

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

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

تقدیر و تشکر

اکنون که به لطف خداوند متعال این پایان نامه به پایان رسیده، بر من واجب است تا از زحمات و راهنمایی‌های مشفقانه اساتید گرامی ام آقایان دکتر علی مرادزاده و دکتر فرامرز دولتی ارده‌جانی و همچنین استاد مشاورم جناب آقای مهندس جهاندار کدیور صمیمانه تشکر نمایم. همچنین از جناب آقایان دکتر پیروز، دکتر کامکار، دکتر انصاری و سرکار خانم دکتر عابدی نیز به دلیل علوم ارزشمندی که در این سالها به من آموختند کمال تشکر را دارم. از خانم دکتر عابدی و جناب آقای دکتر قوامی نیز به دلیل کمک‌های فراوانی که در بخش‌های زمین‌شناسی و مطالعات آنالیز شیمیایی این پایان نامه به بنده ابراز داشته‌اند سپاسگزارم. از جناب مهندس مهیار یوسفی نیز به سبب راهنمایی‌های کارساز و مؤثرشان در بخش دورسنجی این تحقیق بسیار ممنونم.

از مسئولین شرکت سنگ آهن پلاسری امیرسنگان پارسینان به خصوص جناب آقای مهندس حسن سعادت‌ی مدیر عامل محترم، جناب آقای مهندس ابوالفضل غیور مسئول فنی و همکاری مهندس محمدی و مهندس باقری جهت مساعدت و راهنمایی ایشان در طول مدت انجام عملیات صحرایی نهایت سپاس و قدردانی بعمل می‌آید.

از داوران محترم جناب دکتر کامکار و دکتر قوامی که زحمت داوری این پایان‌نامه را به عهده گرفته‌اند، بی‌نهایت قدردان می‌باشم. از تمامی کارمندان محترم دانشکده معدن و ژئوفیزیک به ویژه جناب مهندس کبیریان، آقای شاه حسینی و آقای رجبی سپاسگزارم.

من در انجام این تحقیق مدیون همه عزیزان و دوستانی هستم که به هر نوعی مرا یاری کرده‌اند و از همه آنان صمیمانه تشکر می‌نمایم مخصوصاً برادران و خواهران عزیزم که همیشه قدردان آنان می‌باشم. امید است این تحقیق برای جامعه معدنی کشور سودمند باشد.

چکیده

امروزه اهمیت مواد معدنی و مخصوصاً ذخایر آهن در اقتصاد یک مملکت بر کسی پوشیده نیست. نیاز مداوم و فزاینده بهره‌برداری از ذخایر معدنی در سال‌های اخیر موجب پیشرفت و توسعه بسیاری از روش‌های ژئوفیزیکی برای اکتشاف و آشکارسازی این ذخایر شده است.

هدف از تحقیق حاضر اکتشاف و مدل‌سازی یکی از کانسارهای آهن منطقه سنگان خواف واقع در جنوب شرق استان خراسان رضوی می‌باشد. بدین منظور ابتدا عکس ماهواره‌ای ASTER منطقه تهیه و توسط نرم‌افزار پردازش تصویر ENVI مورد بررسی قرار گرفت. سپس شدت قائم مغناطیسی در ۴۴۱ نقطه، بر روی ۲۱ پروفیل با شبکه اکتشافی ۲۵×۲۵ متر برداشت گردید. بعد از انجام تصحیحات اولیه، برای تفکیک و آشکارسازی بهتر آنومالی‌های مغناطیسی از روش‌های مختلف گسترش به سمت بالا، گسترش به سمت پایین، مشتق دوم قائم و روند سطحی در قالب نرم‌افزار Modelvision pro استفاده گردید.

پس از تفسیر کیفی، داده‌ها به صورت کمی مورد بررسی قرار گرفتند که بدین منظور آنومالی‌های حاصل ابتدا به صورت دوبعدی و سپس همه آنومالی‌های موجود به طور همزمان مورد مدل‌سازی سه بعدی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این مدل‌سازی‌ها حاکی از وجود توده‌هایی است که در بازه عمقی از سطح تا حدود ۷۵ متری قرار دارند. از میان سه توده‌ای که مورد مدل‌سازی قرار گرفته است، توده A از بقیه بزرگتر و دارای مقدار قابلیت مغناطیسی بیشتری است و احتمال می‌رود که درصد بیشتری مگنتیت داشته باشد در حالی که دو توده دیگر احتمالاً بیشتر به صورت هماتیت و گوتیت می‌باشند.

سپس برای بررسی بیشتر آنومالی‌ها از نظر گسترش عمقی و کسب نتایج بهتر از روند کانی‌سازی، سه پروفیل مقاومت ویژه در این محدوده برداشت و توسط نرم‌افزار RES²DINV مورد مدل‌سازی قرار گرفت. در مدل‌های مربوط به این سه پروفیل قسمت‌هایی که دارای مقاومت ویژه زیاد است به عنوان آنومالی محسوب شدند و گسترش عمقی از سطح زمین تا حدود ۴۰ متری را دارا هستند.

فهرست مطالب

ج	تصویب نامه
ه	تقدیر و تشکر
و	چکیده
ز	فهرست مطالب
ک	فهرست اشکال
م	فهرست جداول

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱- مقدمه
۲	۱-۲- نقش روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف ذخایر معدنی
۳	۱-۳- نقش روش‌های دورسنجی در اکتشافات
۴	۱-۴- مطالعات پیشین در منطقه سنگان و محدوده مورد نظر
۶	۱-۵- ضرورت انجام پایان‌نامه
۷	۱-۶- هدف از انجام پایان‌نامه
۸	۱-۷- ساختار پایان‌نامه

فصل دوم: زمین‌شناسی و عملیات صحرایی

۱۰	۲-۱- مقدمه
۱۱	۲-۲- راه‌های دسترسی
۱۱	۲-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه
۱۳	۲-۴- زمین‌شناسی
۱۳	۲-۴-۱- زمین‌شناسی منطقه‌ای معادن سنگان
۱۳	۲-۴-۲- ژنز سنگ آهن سنگان
۱۳	۲-۴-۳- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

۱۸.....	۲-۵- عملیات صحرائی
۱۸.....	۲-۵-۱- بازدید مقدماتی
۱۹.....	۲-۵-۲- طراحی پروفیل‌های ژئومغناطیس
۱۹.....	۲-۵-۳- قرائت شدت میدان مغناطیسی ایستگاه‌های برداشت، توسط دستگاه مغناطیس‌سنج
۱۹.....	فلاکس‌گیت
۱۹.....	۲-۵-۴- برداشت داده‌های مقاومت ویژه
۲۰.....	۲-۵-۵- نمونه برداری از رگه ماده معدنی به منظور شناسایی کانی‌ها
۲۱.....	۲-۶- مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی
۲۱.....	۲-۶-۱- تهیه مقاطع صیقلی از نمونه‌های برداشت شده
۲۱.....	۲-۶-۲- اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی نمونه‌های برداشت شده
۲۲.....	۲-۶-۳- آنالیز شیمیایی ^۱ XRF
۲۳.....	۲-۶-۴- بررسی مقاطع صیقلی

فصل سوم: بررسی‌های دورسنجی

۳۱.....	۳-۱- مقدمه
۳۲.....	۳-۲- تفسیر رقومی اطلاعات ماهواره‌ای
۳۳.....	۳-۳- پیش‌پردازش
۳۳.....	۳-۴- بارزسازی تصویر
۳۴.....	۳-۵- طبقه‌بندی
۳۴.....	۳-۶- پس‌پردازش‌های طبقه‌بندی
۳۴.....	۳-۷- اهداف پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه
۳۵.....	۳-۸- موزائیک و آماده‌سازی تصاویر ASTER محدوده مورد مطالعه
۳۷.....	۳-۹- ترکیبات و تبدیل فضاهای رنگی
۳۸.....	۳-۱۰- محاسبات بانندی و نسبت‌گیری طیفی

^۱ X-Ray -Fluorescence

- ۳-۱۰-۱- شناسایی نواحی دارای ترکیبات اکسید آهن ۳۹
- ۳-۱۱- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PC) ۴۲
- ۳-۱۲- تفکیک گسل‌ها ۴۲
- ۳-۱۳- نتیجه‌گیری ۴۴

فصل چهارم: روش مغناطیس‌سنجی

- ۴-۱- مقدمه ۴۷
- ۴-۲- مفاهیم و تعاریف ۴۸
- ۴-۲-۱- میدان مغناطیسی زمین و مؤلفه‌های آن ۴۸
- ۴-۲-۲- ضریب قابلیت مغناطیسی سنگ‌ها ۵۰
- ۴-۳- مراحل به کارگیری روش مغناطیس‌سنجی در اکتشافات ژئوفیزیکی ۵۱
- ۴-۳-۱- جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها ۵۲
- ۴-۳-۲- کاهش داده‌ها و اعمال تصحیحات ۵۲
- ۴-۳-۳- تفکیک آنومالی‌ها ۵۲
- ۴-۳-۴- تعیین پارامترهای فیزیکی منبع به وجود آورنده آنومالی ۵۳
- ۴-۳-۵- تفسیر مدل فیزیکی به مفهوم زمین‌شناسی ۵۳
- ۴-۴- تفکیک، تعبیر و تفسیر کیفی آنومالی‌ها ۵۳
- ۴-۴-۱- مقدمه ۵۳
- ۴-۴-۲- نقشه شدت قائم مغناطیسی ۵۴
- ۴-۴-۳- استفاده از فیلتر روند سطحی ۵۵
- ۴-۴-۴- روش مشتق دوم قائم ۵۷
- ۴-۴-۵- روش گسترش به سمت بالا ۶۰
- ۴-۴-۶- روش گسترش به سمت پایین ۶۴
- ۴-۴-۷- مقایسه روش‌های تفکیک آنومالی‌ها ۶۶
- ۴-۵- مدل‌سازی و تفسیر کمی آنومالی‌ها ۶۷

۶۷	.....مقدمه	۴-۵-۱
۶۸	.....مدل سازی دوبعدی	۴-۵-۲
۷۲	.....مدل سازی سه بعدی	۴-۵-۳

فصل پنجم: روش مقاومت ویژه

۷۷	.....مقدمه	۵-۱
۷۷	.....طبقه بندی روش های الکتریکی	۵-۲
۷۸	.....رسانایی	۵-۳
۸۰	.....توصیف یک مقطع ژئوالکتریک	۵-۴
۸۱	.....مقاومت ویژه کانی ها و سنگ ها	۵-۵
۸۵	.....تفسیر مقاطع ژئوالکتریکی منطقه مورد نظر	۵-۶

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۲	.....جمع بندی	۶-۱
۹۳	.....نتیجه گیری و پیشنهادات	۶-۲

منابع و ماخذ

۹۵	.....منابع و مراجع	
۹۷	.....پیوست الف	

فهرست اشکال

فصل دوم: زمین‌شناسی و عملیات صحرائی

- شکل ۱-۲: موقعیت منطقه در سطح استان و راه‌های دسترسی به آن..... ۱۲
- شکل ۲-۲: موقعیت منطقه مورد نظر در محدوده معدن خصوصی و نسبت به معدن دولتی سنگان ۱۲
- شکل ۳-۲: بخشی از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ تایباد..... ۱۵
- شکل ۴-۲: نمایی از دایکها و اکسیدهای آهن سطحی..... ۱۵
- شکل ۵-۲: نمایی از دایکها و اکسیدهای آهن سطحی از زاویه مخالف..... ۱۶
- شکل ۶-۲: نمایی از سنگ میزبان (توف)..... ۱۶
- شکل ۷-۲: وجود لیمونیت در رخنمون های سطحی..... ۱۷
- شکل ۸-۲: اکسید های آهن به همراه ناخالصی‌ها..... ۱۷
- شکل ۹-۲: ماده معدنی به همراه سنگ میزبان..... ۱۸
- شکل ۱۰-۲: موقعیت ایستگاه‌های برداشت مغناطیس و نقاط نمونه‌برداری شده به همراه پروفیل‌های الکتریک..... ۲۰
- شکل ۱۱-۲: هماتیت و بافت اسکلتی مربوط به آن در نمونه S_۱..... ۲۵
- شکل ۱۳-۲: هماتیت و مگنتیت در نمونه S_۵..... ۲۶
- شکل ۱۴-۲: وجود سیلیس و باطله زیاد در نمونه S_۶..... ۲۷
- شکل ۱۵-۲: بلور مگنتیت در نمونه S_{۱۲}..... ۲۷
- شکل ۱۶-۲: پدیده مارتیتی شدن در نمونه S_{۱۱}..... ۲۸
- شکل ۱۷-۲: بافت شعاعی در هماتیت (نمونه S_{۱۳})..... ۲۸
- شکل ۱۸-۲: پدیده مارتیتی شدن در نمونه S_{۱۴}..... ۲۹

فصل سوم: بررسی‌های دورسنجی

- شکل شماره ۱-۳: تصویر ASTER ناحیه سنگان با RGB=۲,۳,۱..... ۳۶
- شکل ۲-۳: تصویر ASTER محدوده مورد مطالعه با RGB=۲,۳,۱..... ۳۷
- شکل شماره ۳-۳: ترکیب رنگی با RGB= ۸,۳,۱ با اعمال Enhance linear ۲٪ از منطقه مورد مطالعه..... ۳۸
- شکل شماره ۴-۳: ترکیب رنگی با Gaussian Enhancement RGB=۵/۳+۱/۲, ۱, ۲ از مناطق دارای اکسیدهای آهن از منطقه مورد مطالعه..... ۴۰
- شکل شماره ۵-۳: ترکیب رنگی با Linear ۲٪ RGB=۲/۱, ۳, ۳/۲ از منطقه مورد مطالعه..... ۴۱
- شکل شماره ۶-۳: ترکیب رنگی با Gaussian Enhancement RGB=۴/۳, ۲, ۳ از منطقه مورد مطالعه..... ۴۱
- شکل شماره ۷-۳: ترکیب رنگی با Gaussian Enhancement PC=۴, ۶, ۹ از منطقه مورد مطالعه..... ۴۳
- شکل ۸-۳: نقشه نهایی گسل‌های منطقه..... ۴۴

فصل چهار: روش مغناطیس‌سنجی

- شکل ۴-۱: نمایش شماتیک عناصر مغناطیسی زمین (Dobrin & Savit, ۱۹۸۸)..... ۵۰
- شکل ۴-۲: نقشه شدت مغناطیسی قائم منطقه (بر حسب نانو تسلا)..... ۵۵
- شکل ۴-۳: نقشه آنومالی باقی‌مانده مغناطیسی روش روند سطحی مرتبه ۵ همراه با آنومالی‌های A, B و C..... ۵۶
- شکل ۴-۴: نقشه آنومالی ناحیه‌ای مغناطیسی روش روند سطحی مرتبه ۵..... ۵۶
- شکل ۴-۵: نقشه تلفیقی آنومالی باقی‌مانده مغناطیسی روند ۵ و عکس ماهواره‌ای منطقه..... ۵۸
- شکل ۴-۶: نقشه مشتق دوم قائم داده‌های مغناطیسی منطقه در حوضه زمان..... ۵۹
- شکل ۴-۷: نقشه مشتق دوم قائم داده‌های مغناطیسی منطقه در حوزه فرکانس..... ۵۹
- شکل ۴-۸: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۱۰ متر..... ۶۱
- شکل ۴-۹: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۲۰ متر..... ۶۱
- شکل ۴-۱۰: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۳۰ متر..... ۶۲
- شکل ۴-۱۱: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۴۰ متر..... ۶۲
- شکل ۴-۱۲: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۵۰ متر..... ۶۳
- شکل ۴-۱۳: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۷۰ متر..... ۶۳
- شکل ۴-۱۴: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۱۲۰ متر..... ۶۴
- شکل ۴-۱۵: نقشه گسترش به سمت پایین داده‌های مغناطیسی منطقه با عمق ۲۰ متر..... ۶۵
- شکل ۴-۱۶: نقشه گسترش به سمت پایین داده‌های مغناطیسی منطقه با عمق ۳۰ متر..... ۶۵
- شکل ۴-۱۷: نقشه گسترش به سمت پایین داده‌های مغناطیسی با عمق ۵۰ متر..... ۶۶
- شکل ۴-۱۸: نقشه آنومالی باقی‌مانده مغناطیسی و پروفیل‌های رسم شده جهت انجام مدل‌سازی دو بعدی..... ۶۹
- شکل ۴-۱۹: مدل دو بعدی آنومالی A با خطای $RMS = 1/983$ ۷۰
- شکل ۴-۲۰: مدل دو بعدی آنومالی B با خطای $RMS = 1/735$ ۷۰
- شکل ۴-۲۱: مدل دو بعدی آنومالی C با خطای $RMS = 1/560$ ۷۱
- شکل ۴-۲۲: مدل‌سازی سه بعدی بر روی نقشه آنومالی باقی‌مانده روند ۵ مغناطیسی منطقه با خطای $RMS = 3/777$ ۷۳
- شکل ۴-۲۳: نمای سه بعدی داده‌های اندازه‌گیری شده..... ۷۵
- شکل ۴-۲۴: نمای سه بعدی از پاسخ مدل سه بعدی به همراه مدل‌های بدست آمده..... ۷۵

فصل پنج: روش مقاومت ویژه

- شکل ۵-۱: آرایش دوقطبی- دوقطبی..... ۸۰
- شکل ۵-۲: نتیجه مدل‌سازی معکوس دو بعدی داده‌های ژئوالکتریک پروفیل P_1 ، از بالا به پایین: شبه مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، شبه مقطع داده‌های محاسبه‌ای (پاسخ مدل) و مقطع ژئوالکتریک حاصل از مدل‌سازی..... ۸۷

شکل ۳-۵: نتیجه مدل سازی معکوس دو بعدی داده های ژئوالکتریک پروفیل P_2 ، از بالا به پایین: شبه مقطع داده های اندازه گیری شده، شبه مقطع داده های محاسبه ای (پاسخ مدل) و مقطع ژئوالکتریک حاصل از مدل سازی ۸۸

شکل ۴-۵: نتیجه مدل سازی معکوس دو بعدی داده های ژئوالکتریک پروفیل P_2 ، از بالا به پایین: شبه مقطع داده های اندازه گیری شده، شبه مقطع داده های محاسبه ای (پاسخ مدل) و مقطع ژئوالکتریک حاصل از مدل سازی ۸۹

شکل ۵-۵: نقشه ترکیبی مغناطیس و الکتریک منطقه مورد نظر ۹۰

فهرست جداول

جدول ۱-۲: مقادیر ضریب قابلیت مغناطیسی نمونه های برداشت شده.....	۲۲
جدول ۲-۲: درصد عناصر موجود در نمونه های پودر شده به کمک آنالیز XRF.....	۲۴
جدول ۳-۲: مقدار اکسیدهای موجود در نمونه ها پس از اعمال افت حرارتی.....	۲۴
جدول ۱-۴: مقادیر ضریب قابلیت مغناطیسی سنگ ها و کانی های مختلف.....	۵۱
جدول ۲-۴: نتایج حاصل از مدل سازی دو بعدی تمام پروفیل ها.....	۷۲
جدول ۳-۴: نتایج حاصل از مدل سازی سه بعدی تمام پروفیل ها.....	۷۴
جدول ۱-۵: مقاومت ویژه بعضی سنگ ها و کانی ها.....	۸۲
جدول الف-۱: مقاومت ویژه الکتریکی بعضی کانی ها.....	۹۸

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

ژئوفیزیک به طور کلی شامل مطالعه زمین توسط اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی سنگ‌ها با استفاده از وسایل مناسب و بکارگیری تکنیک‌های بخصوص در سطح زمین می‌باشد.

باید خاطرنشان نمود که روش‌های ژئوفیزیکی فقط قادرند اهدافی را آشکار سازند که از لحاظ برخی خواص فیزیکی با محیط اطراف خود اختلاف قابل توجهی داشته باشند. معمولاً خواص فیزیکی سنگ‌ها که در مطالعات ژئوفیزیکی مورد مطالعه قرار می‌گیرند، شامل خواص کشسانی، دانسیته، هدایت یا مقاومت الکتریکی، قابلیت مغناطیس‌شدگی، هدایت گرمایی و رادیواکتیویته است. بر همین اساس روش‌های ژئوفیزیکی را می‌توان به صورت زیر رده بندی نمود:

روش لرزه‌ای، روش گرانی‌سنجی، روش مغناطیس‌سنجی، روش‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی، روش پرتوسنجی، روش دماسنجی، رادیومتری و روش‌های چاه پیمایی.

۱-۲- نقش روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف ذخایر معدنی

استخراج پیوسته و فزاینده سوخت‌های فسیلی و کانی‌های اقتصادی از دل زمین موجبات کمبود قریب الوقوع آنها را فراهم نموده که موجب توسعه بسیاری از روش‌های ژئوفیزیکی با دقت‌های زیاد برای آشکارسازی نهشته‌ها و ساختارهای پنهانی شده است.

در اوایل قرن بیستم پی‌جویی برای کانی‌های اقتصادی منحصراً به رخنمون‌های سطحی سنگ‌های روی زمین محدود می‌شد. ولی امروزه برای کشف ذخایر جدید باید پی‌جویی را به زیر سطح زمین گسترش داد و این امر از نظر اقتصادی توسط اکتشاف ژئوفیزیکی امکان پذیر خواهد بود. در حقیقت از آغاز دهه ۱۹۴۰ بود که روش‌های ژئوفیزیکی بطور جدی در امر اکتشاف نفت و گاز و نهشته‌های معدنی بکار گرفته شده‌اند. اغلب صنایع سنگین یا سبک شدیداً به کانی‌های اقتصادی (اعم از فلزی و غیر فلزی) به عنوان مواد خام اولیه وابسته می‌باشند. در حقیقت وجود آنها برای ثبات اقتصادی صنایع کشورها الزامی می‌باشد. در حال حاضر در اکتشافات معدنی از روش‌های ژئوفیزیکی (مثل انواع روش‌های ژئوالکتریک، مغناطیس‌سنجی، و گرانی‌سنجی) استفاده‌های فراوانی می‌شود. توسط روش‌های مختلف ژئوفیزیکی می‌توان محدوده آنومالی‌های معدنی را تعیین و حتی محل حفاری‌ها را توسط نقشه‌های ژئوفیزیکی با دقت بالایی مشخص کرد [کلاگری، ۱۳۷۱].

۱-۳- نقش روش‌های دورسنجی در اکتشافات

سنجش‌ازدور (Remote Sensing) از زمره روش‌های جمع‌آوری داده محسوب می‌شود که در آن‌ها تماس مستقیم فیزیکی با اشیاء مورد اندازه‌گیری در حداقل ممکن نگه داشته می‌شود. در مقابل روش‌های زمینی که در آن‌ها عامل انسانی وظیفه تفسیر و برداشت را برعهده دارد و معمولاً در تماس مستقیم یا با فاصله کم از اشیاء مورد اندازه‌گیری انجام می‌شود، در سنجش از دور ، جمع‌آوری داده بر عهده سنجنده است.

از جمله کاربردهای سنجش‌ازدور می‌توان به استفاده از آن در زمین‌شناسی، آب‌شناسی، معدن، شیلات، کارتوگرافی، جغرافیا، مطالعات زیست‌شناسی، مطالعات زیست‌محیطی، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، هواشناسی، کشاورزی، جنگلداری، توسعه اراضی و به طور کلی مدیریت منابع زمینی و غیره اشاره کرد. افزون بر این یک سیستم سنجش‌ازدور می‌تواند حد و مرز پدیده‌های زمینی اعم از مرز انواع خاک‌ها، سنگ‌ها، گیاهان، محصولات کشاورزی گوناگون و ... را مشخص کند. سنجش از دور در

اکتشافات معدنی نیز کاربرد دارد. بدون شک استفاده از این تکنولوژی در مطالعات اکتشافی و منابع طبیعی و سایر موارد نه تنها سرعت انجام مطالعات را بیشتر می‌کند، بلکه از نظر دقت و هزینه و نیروی انسانی نیز بسیار با صرفه‌تر است. در اکتشاف ذخایر معدنی از روش‌های مختلف آشکارسازی برای تفکیک و تشخیص شواهد کنترل‌کننده کانی‌سازی (لیتولوژی، ساختارهای زمین‌شناسی و دگرسانی) استفاده می‌گردد. مطالعه تصاویر ماهواره‌ای یک منطقه قبل از کار صحرایی به دلایل ذیل یک امر کاملاً مفید است:

- توجه خاص به مناطقی که در آن مطالعه جزئیات از طریق کنترل زمینی دارای اهمیت بیشتری است.

- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به علت دید بسیار وسیع (نسبت به عکس‌های هوایی) این اجازه را به مفسر می‌دهد که همبستگی بین عوارض مختلف زمین‌شناسی ناحیه را تعیین کند.

- مطالعه و پردازش داده‌های ماهواره‌ای در تشخیص نوع واحدهای سنگی، همبری‌ها، خطواره‌ها، آلتراسیون و غیره امکانات زیادی را در اختیار قرار می‌دهد.

- داده‌های ماهواره‌ای بصورت رقومی برداشت می‌شوند و این مساله امکان اعمال برخی روش‌های ریاضی و تکنیک‌های پردازش را به ما می‌دهد.

هدف مطالعه حاضر بررسی وجود توده‌های آهن‌دار در منطقه سنگان خواف است و از آنجا که نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تایباد به دلیل پوشیده بودن منطقه از واریزه‌ها و آبرفت‌ها و همچنین کوچک بودن مقیاس آن اطلاعات محدودی را به ما می‌دهد و همچنین نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خواف نیز محدوده مورد نظر را که در نزدیکی روستای سنگان واقع است شامل نمی‌شود، از روش‌های دورسنجی برای تکمیل مطالعات استفاده می‌شود.

۴-۱ مطالعات پیشین در منطقه سنگان و محدوده مورد نظر

آثار و شواهد موجود از کارهای معدنکاری قدیمی و نوشته‌های حمداله مستوفی در کتاب نزهت القلوب

دلالت بر این موضوع دارد که تاریخ معدنکاری در محدوده سنگ آهن سنگان به قرن هشتم یا نهم هجری (حدود ۶۰۰ سال قبل) برمی گردد. [گزارشات داخلی شرکت ملی فولاد، ۱۳۸۴]

با پی جویی و شناسایی سنگ آهن سنگان توسط شرکت پی وابسته به شرکت باریت ایران در سال ۱۳۵۴ فعالیت جدید اکتشافی در این منطقه آغاز شد. پس از پیروزی انقلاب اسلامی، این منطقه مورد بازدید گروه های کارشناسی شرکت ملی فولاد قرار گرفت و مشخص گردید که این ذخایر دارای پتانسیل اقتصادی است و برای شروع مطالعات بعدی قابل توجیه است. بر اساس این گزارشات شرکت ملی فولاد ایران با خرید حق معدنکاری، عملیات اکتشافی را از نیمه دوم سال ۱۳۶۲ در این منطقه شروع نمود.

در ادامه مطالعات اکتشافی سنگ آهن سنگان و به منظور انجام مطالعات امکان سنجی (در دو مرحله)، در اواخر سال ۱۹۹۰ میلادی (۱۳۶۹) قرارداد همکاری فی مابین وزارت معادن و فلزات و شرکت مهندسیین مشاور BHP (استرالیایی) منعقد گردید. مطالعات امکان سنجی مقدماتی توسط مهندسیین مشاور BHP در ماه می سال ۱۹۹۱ میلادی به اتمام رسید. این مطالعات ذخایر و مشخصه های معدنی و متالورژیکی کانسار سنگ آهن سنگان را مورد مقایسه و ارزیابی قرار داد. مطالعات زمین شناسی با مرور و بررسی داده ها شروع شد و یک پایگاه اطلاعاتی کامپیوتری از داده های موجود تشکیل گردید. مطالعات زمین شناسی در این مرحله از امکان سنجی تأیید نمود که کانسار سنگ آهن سنگان از تیپ اسکارن و دارای ذخیره ای معادل ۵۴۱ میلیون تن سنگ آهن با عیار متوسط آهن ۴۲/۳ درصد و گوگرد ۰/۷۵ درصد می باشد. همچنین در سال ۱۹۹۸ - ۱۹۹۷ میلادی مهندسیین مشاور SBI، گزارشات مهندسیین مشاور BHP را در زمینه آنومالی های B و C شمالی بررسی و مورد ارزیابی قرار داده است که بر پایه این گزارش ذخیره آنومالی B معادل ۲۲۲ میلیون تن با عیار متوسط آهن ۴۱/۲ درصد و ذخیره آنومالی C شمالی معادل ۹۷ میلیون تن با عیار متوسط آهن ۵۱/۵ درصد محاسبه و تعیین شده است. [گزارشات داخلی شرکت ملی فولاد ۱۳۸۴].

در مورد محدوده مورد نظر در مطالعه حاضر باید خاطر نشان کرد که مطالعه خاصی روی آن صورت نگرفته است. اطلاعات مربوط به واحدهای چینه شناسی در ناحیه چهارگوش تایباد بسیار محدود و کم است. نقشه زمین شناسی ایران که توسط شرکت ملی نفت ایران در سال ۱۳۵۵ تهیه شده از جمله اطلاعات و مدارکی است که مستقیماً به این ناحیه مرتبط است. یک نقشه مغناطیس هوایی ۱/۱۰۰۰۰۰ و یک نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ از منطقه موجود می باشد که به دلیل کوچکی محدوده مورد نظر این نقشه ها کاربردی ندارند.

لازم به ذکر است که محدوده ای که در این پایان نامه بر روی آن کار شده است متعلق به معدن سنگ آهن پلاسری شرکت خصوصی امیر سنگان پارسیان می باشد. عمده ذخایر این معدن قسمت پلاسری آن بوده و محدوده مورد نظر فقط بخش کوچکی از قسمت غیر پلاسری آن است. داده های این پایان نامه تحت حمایت شرکت تحقیقاتی معدنی بانی عظمت به مدیریت عامل مهندس جهاندار کدیور بر اساس قراردادی به شماره ق-۱۴۸ مورخه ۸۷/۲/۱۶ که با شرکت امیر سنگان پارسیان منعقد شده بود، توسط نگارنده برداشت شد.

۱-۵- ضرورت انجام پایان نامه

با توجه به اینکه عمده فعالیت شرکت امیرسنگان پارسیان بر روی قسمت پلاسری معدن فوق می باشد، هیچ گونه گزارش مکتوبی که نشان دهنده سابقه مطالعات اکتشافی منطقه مورد نظر باشد وجود ندارد. به همین دلیل قبل از هر گونه اقدامی برای بهره برداری، انجام یک سری مطالعات اکتشافی منجمله مطالعات دورسنجی و اکتشافات ژئوفیزیکی در مراحل اولیه برای کسب اطلاعاتی از شکل و گسترش کانی سازی در عمق ضروری می باشد.

۱-۶- هدف از انجام پایان نامه

با توجه به مطالب گفته شده در قسمت قبل هدف از انجام این کار تحقیقی، اکتشاف کانسار آهن محدوده موردنظر واقع در ۳۵ کیلومتری جنوب شرق شهرستان خواف به روش‌های دور سنجی و ژئوفیزیکی می‌باشد. جهت رسیدن به این هدف ابتدا عکس ماهواره‌ای ASTER منطقه از آزمایشگاه دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود تهیه و توسط نرم افزار پردازش تصویر ENVI (۲۰۰۳, RSI ENVI) مطالعات دورسنجی بر روی آن صورت گرفت تا اینکه نهایتاً نقاط احتمالی دارای آنومالی مشخص شدند. سپس یک شبکه مناسب جهت برداشت مغناطیسی به وسعت ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر طراحی شد و عملیات برداشت داده‌ها به اجرا درآمد. سپس با انجام مدل سازی و تعبیر و تفسیر کمی و کیفی داده‌ها همراه با تهیه مقاطع و نقشه‌های مربوطه توسط نرم‌افزار Model Vision Pro [Encom, ۲۰۰۳] جهت اکتشاف مقدماتی کانسار در خصوص مناطق امید بخش اظهار نظر خواهد شد. در ادامه جهت شناخت بیشتر وضعیت منطقه مورد نظر چند پروفیل الکتریک نیز بر روی قسمت‌هایی که لازم به نظر برسد زده خواهد شد و داده‌ها توسط نرم افزارهای مربوطه مانند RES²DINV [Loke, ۲۰۰۴] پردازش و مدل‌سازی خواهند شد. جهت نیل به این مقصود بایستی مراحل زیر انجام گردد:

۱. جمع‌آوری کلیه اطلاعات زمین‌شناسی و معدنی منطقه
۲. انجام بازدید صحرایی به منظور ارزیابی چگونگی پیاده سازی شبکه برداشت طراحی شده روی زمین
۳. انجام عملیات صحرایی برداشت داده‌های مغناطیسی توسط دستگاه مغناطیس‌سنج
۴. انجام تصحیحات لازم روی داده‌های خام برداشت شده
۵. تهیه نقشه شدت مغناطیسی منطقه
۶. اعمال پردازش لازم جهت مشخص سازی آنومالی‌های مغناطیسی مورد نظر

۷. تعبیر و تفسیر کیفی نقشه‌های تهیه شده و تعیین مناطق امیدبخش معدنی

۸. مدل سازی کامپیوتری مورد نیاز جهت تعیین گسترش سطحی و زیرزمینی آنومالی‌های شناسایی شده

۹. تفسیر کیفی و کمی مدل‌سازی‌های صورت گرفته و پیشنهاد مناطق امید بخش معدنی جهت اکتشافات بعدی

۱۰. برداشت، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه

۱۱. در نهایت جهت تکمیل مطالعات، نتایج ژئوفیزیکی حاصل با اطلاعات زمین‌شناسی منطقه تلفیق می‌گردد.

۷-۱- ساختار پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر شش فصل می باشد. در فصل اول پس از شرح کلیاتی در مورد نقش روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف درباره سابقه مطالعات انجام شده بحث گردید و در نهایت به ضرورت و اهداف پایان‌نامه اشاره شد. فصل دوم شامل موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های دسترسی، عملیات صحرایی، نمونه برداری، آنالیز نمونه‌ها و زمین‌شناسی منطقه می باشد. فصل سوم شامل ارائه توضیحاتی در مورد روش دورسنجی و گزارش پردازش تصویر منطقه مورد نظر می‌باشد. فصل چهارم مروری بر روش مغناطیس‌سنجی و گزارش کامل تفکیک و تفسیر کیفی آنومالی‌ها و همچنین مدل-سازی دو بعدی، سه بعدی و تفسیر کمی آنومالی‌های منطقه مورد نظر است. در فصل پنجم نیز در ابتدا توضیحاتی در مورد روش ژئوالکتریک آورده شده است و سپس گزارش مدل‌سازی دایک‌های مربوطه نیز به تبع آن داده شده است و

در نهایت در فصل شش از کل بحث موجود نتیجه‌گیری به عمل آمده و نقاط لازم و امیدبخش جهت حفاری و دیگر فعالیت‌های اکتشافی پیشنهاد می‌گردد.

فصل دوم

زمین‌شناسی و عملیات صحرائی

۲-۱- مقدمه

معدن سنگ آهن سنگان از بزرگ‌ترین معادن شرق ایران بوده و شامل بخش‌های دولتی و خصوصی می‌باشد. این کانسار، در فاصله ۳۰۸ کیلومتری جنوب خاوری مشهد و در حدود ۱۸ کیلومتری شمال خاوری روستای سنگان در استان خراسان رضوی قرار دارد. این کانسار شامل سه محدوده غربی (آنومالی‌های 'A'، 'B'، 'C' شمالی و جنوبی)، مرکزی (شامل آنومالی‌های باغک، دردوی، باغک شرقی و سنج‌دک) و شرقی (مشمتمل بر آنومالی‌های معدنجوی سابق، غار سم‌آهنی، فرزنه شرقی و فرزنه غربی) است. محدوده کانسار سنگ‌آهن سنگان در مجموع به شکل مستطیلی است که طول آن حدود ۱۱ کیلومتر و عرض آن در حدود ۷ کیلومتر است.

در این پایان‌نامه، یکی از بخش‌های خصوصی معادن منطقه سنگان مورد بررسی قرار گرفته است. معدن خصوصی سنگ آهن پلاسری شرکت امیرسنگان پارسیان در استان خراسان رضوی و در حوزه استحفاظی شهرستان خواف و در مجاورت روستاهای برآباد و بخش سنگان قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه در قسمت نسبتاً میانی معدن ققنوس ۲ و در قسمت غیر پلاسری آن وابسته به شرکت امیرسنگان پارسیان و در محل رخنمون دایک‌های هماتیته و مگنتیتی می‌باشد (شکل ۲-۲).

در این فصل، بعد از آوردن موقعیت جغرافیایی و راههای ارتباطی و شرح زمین‌شناسی منطقه و ارائه گزارش فعالیت‌های پیشین، عملیات صحرایی تشریح می‌گردد و در انتها، مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی منطقه موردنظر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲- راههای دسترسی

نزدیکترین شهرستان به محل کانسار، خواف است که ۴۰ کیلومتر با آن فاصله دارد. فاصله کانسار با شهرستان تایباد واقع در شمال خاوری آن ۷۰ کیلومتر است. دسترسی به محل کانسار از دو مسیر آسفالت به شرح زیر امکان پذیر است:

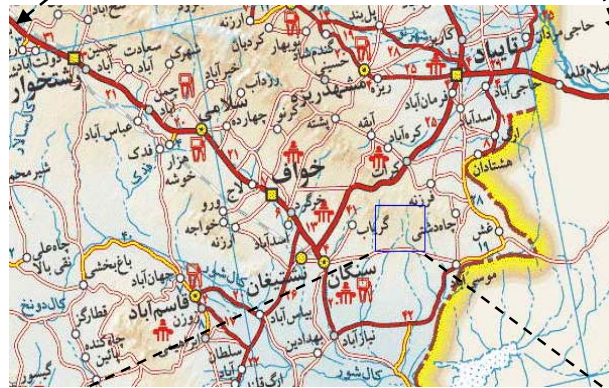
- مشهد، تربت حیدریه، خواف، سنگان، معدن

- مشهد، فریمان، تربت جام، تایباد، سنگان، معدن

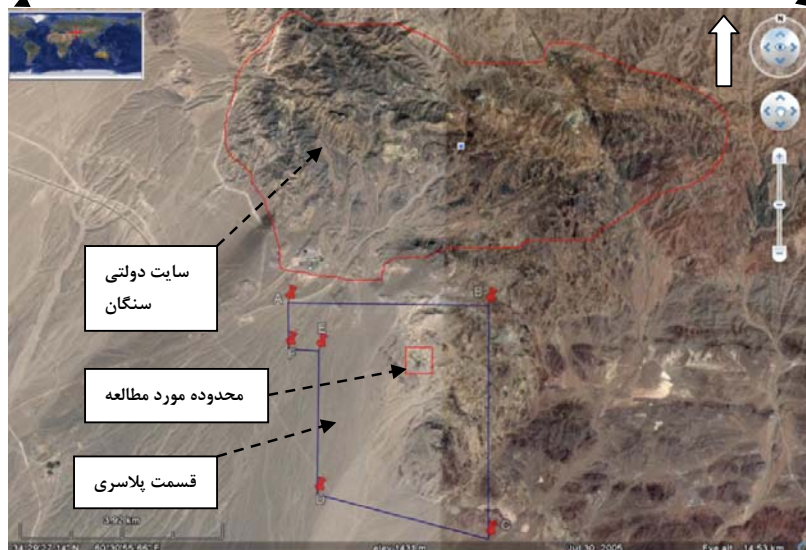
خط آهن سراسری که از شهرستان تربت حیدریه به سوی مرز افغانستان در حال احداث است، از جنوب سایت معدن سنگان عبور خواهد نمود. جهت دسترسی به محل فوق از طریق جاده خواف- تایباد حدود ۱۵ کیلومتر طی طریق کرده تا به آبادی سنگان می‌رسیم سپس با حرکت به سمت شمال غرب منطقه در حدود ۱۰ کیلومتر، معدن قابل دسترسی خواهد بود.

۲-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه

محدوده مورد نظر دارای وسعت ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر بین طول‌های جغرافیایی $22^{\circ} 26' E$ و $22^{\circ} 42' E$ و عرض‌های جغرافیایی $5^{\circ} 26' N$ و $4^{\circ} 26' N$ ، در شمال شرق روستای سنگان در نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تایباد واقع شده است. در شکل (۱-۲) موقعیت جغرافیایی منطقه سنگان در سطح استان خراسان و راه‌های ارتباطی آن مشخص شده است. همچنین شکل ۲-۲، موقعیت محدوده مورد نظر را نسبت به معدن خصوصی و همچنین نسبت به معدن دولتی سنگان روی عکس ماهواره‌ای مشخص می‌سازد.



شکل ۱-۲: موقعیت منطقه در سطح استان و راه‌های دسترسی به آن [نقشه راه‌های ایران، ۱۳۸۲].



شکل ۲-۲: موقعیت منطقه مورد نظر در محدوده معدن خصوصی و نسبت به معدن دولتی سنگان

۲-۴- زمین شناسی

۲-۴-۱- زمین شناسی منطقه‌ای معادن سنگان

از دیدگاه زمین‌شناسی منطقه‌ای، معادن سنگ آهن سنگان در ناحیه چهار گوش تایباد در استان خراسان رضوی قرار گرفته است. این ناحیه از سوی خاور با کشور افغانستان هم مرز است. برجستگی عمده آن رشته‌کوه بلند و مرتفعی است که همانند قطر چهارگوش از شمال باختری به جنوب خاوری کشیده شده است و با عنوان رشته‌کوه اصلی مشخص گردیده است. قدیمی‌ترین سنگهای ناحیه که در رشته کوه اصلی برونزد دارند بر اساس نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تایباد، شامل سنگ‌های دگرگون‌شده آتشفشانی و رسوبی می‌باشند و به زمان پرکامبرین نسبت داده شده‌اند و جوان‌ترین رسوبات ناحیه را نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم تشکیل داده‌اند (نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تایباد).

۲-۴-۲- ژنز سنگ آهن سنگان

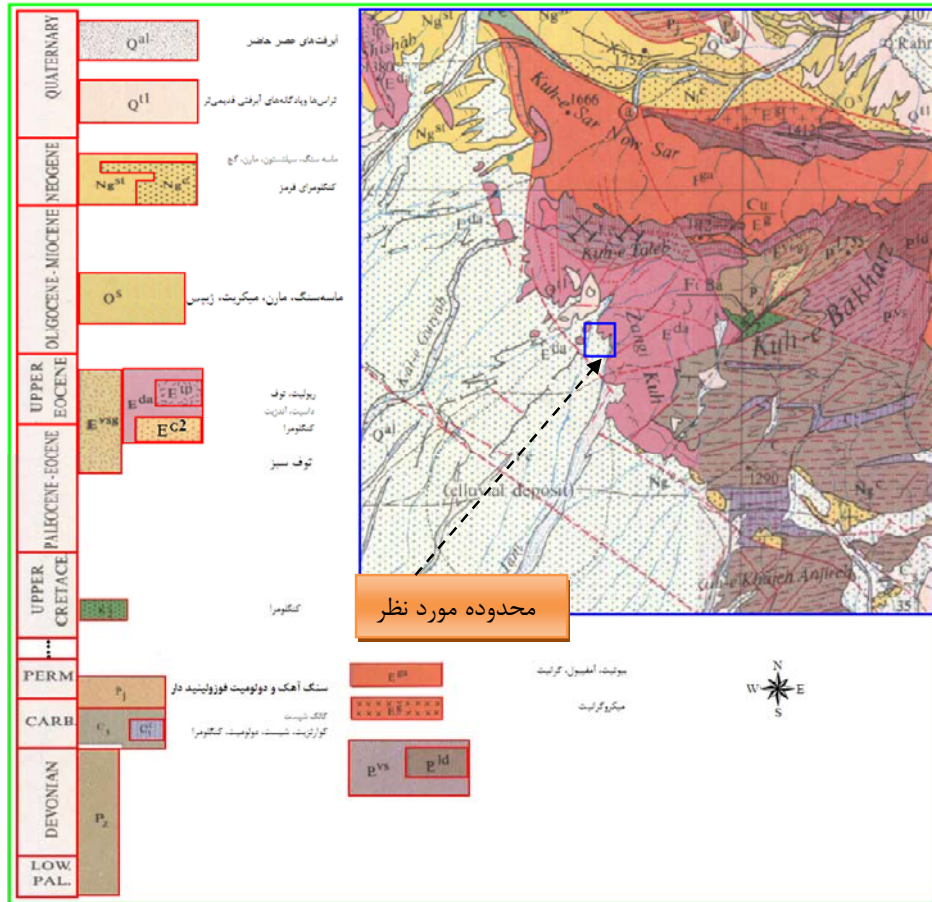
تاکنون مدل‌های مختلفی برای سنگ آهن سنگان پیشنهاد گردیده است که از بین این مدل‌ها و ساختارها مدل اسکارن از همه قابل قبول‌تر است [بومری و یعقوب‌پور، ۱۳۷۱]. در سنگان مگنتیت‌ها رابطه بسیار نزدیکی با اسکارن در دو افق چینه‌ای شامل بقایای غیر آلتره آهک و دولومیت از خود نشان می‌دهند. علاوه بر آن ارتباط بسیار روشن و واضحی نیز ما بین کانی‌سازی ماده معدنی و گرانیات سرنوسر دیده می‌شود [گزارشات داخلی شرکت ملی فولاد، ۱۳۸۴].

۲-۴-۳- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

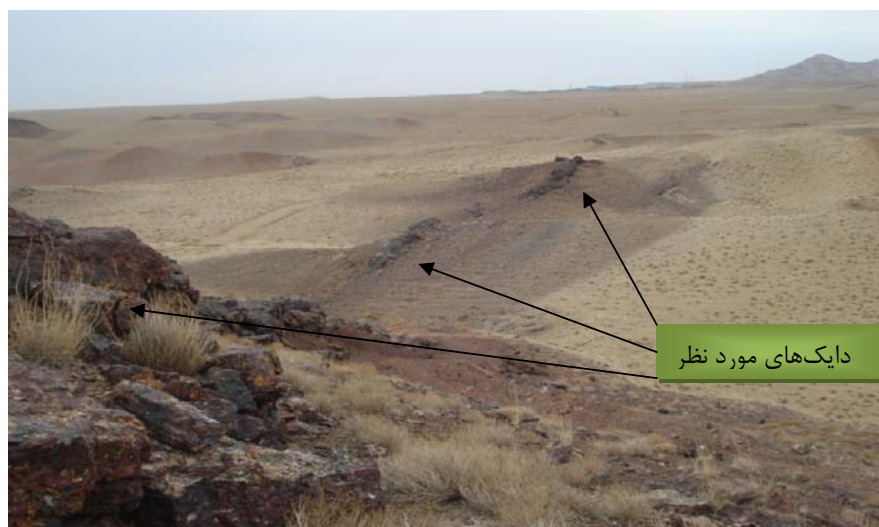
محدوده معدن ققنوس ۲ وابسته به معادن خصوصی شرکت امیرسنگان پارسیان در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. تقریباً نیمی از این محدوده در قسمت پلاستی قرار دارد که از نظر زمین‌شناسی عمومی در دوره کواترنری همراه با رسوبات آبرفتی و در بین طبقات آن قرار گرفته است که با توجه به شدت جریان سیلاب‌ها در ادوار گذشته، دانه بندی رسوبات آبرفتی و بالطبع دانه‌بندی پلاسرها تغییر

می‌نماید به طوری که در جریان‌های سیلابی شدیدتر، رسوبات درشت‌تر (با دانه‌بندی در حد قلوه‌سنگ) و در زمان جریان‌های سیلابی ضعیف و یا نسبتاً راکد، رسوبات دانه ریزتر (رسی و سیلتی) و احیاناً گچی بر جای گذاشته شده‌اند. غالب این نوع رسوبگذاری از نوع مخروط افکنه‌ای بوده که تا چندین کیلومتر امتداد یافته است. دشت رسوبگذاری شده، از منظر ژئومورفولوژی توپوگرافی ملایمی داشته و ارتفاعات آبرفت‌ها در حد تپه ماهور بوده و توسط آبراهه‌هایی از یکدیگر جدا شده‌اند. غالب این آبراهه‌ها خصوصاً نوع قدیمی‌تر و با پهنه گسترده‌تر دارای رسوبات پلاستی است که به دلیل خاصیت ثقلی سنگ آهن، رسوبات پلاستی بر جای مانده‌اند. به دلیل اینکه رسوبات یاد شده فاقد عناصر مزاحم شیمیایی هستند لذا استخراج و فرآوری با هزینه کم از مزیت‌های قابل توجه پلاسترها می‌باشد [کدیور، ۱۳۸۷].

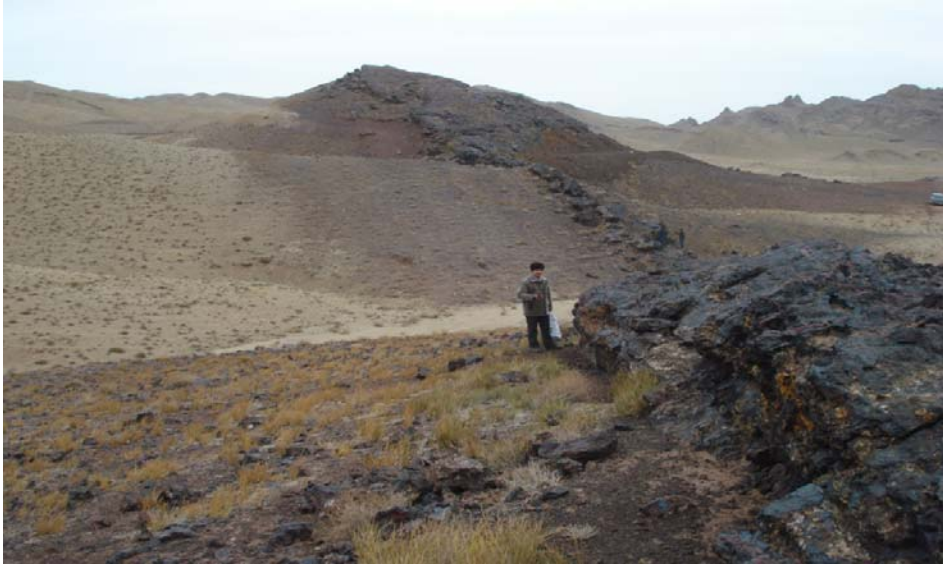
منطقه مورد مطالعه همانطور که در نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تایید مشخص شده است (که البته با توجه به کوچکی مقیاس، زیاد دقیق هم نیست)، در قسمت رخنمون‌های آندزیتی و داسیتی قرار دارد و به زمان ائوسن بالایی نسبت داده شده‌اند (شکل ۲-۳). لازم بذکر است که محدوده مورد نظر با علامت مربع در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. از آنجا که منطقه مورد نظر در محدوده مرزی این آندزیت‌ها و داسیت‌ها واقع شده است، تراس‌ها، پادگانه‌ها و رسوبات آبرفتی قدیم و جدید دوره کواترنری در بین آن‌ها وارد شده و رسوبگذاری کرده‌اند. در این منطقه، یک رگه و یا به عبارتی دایک به طول حدود ۲۰۰ متر با گسترش شمال‌غربی-جنوب‌شرقی رخنمون دارد که حاوی اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد (شکل ۲-۴ و ۲-۵). همچنین در این منطقه، آندزیت‌ها، داسیت‌ها و توف‌هایی که هوازده و تخریب شده هستند نیز وجود دارند. لازم به ذکر است جنس نمونه‌هایی که از کنار بعضی از دایک‌های آهن برداشته شد و در همبری با این دایک‌ها هستند، توف می‌باشد (شکل ۲-۶). در شکل ۲-۷ می‌توان لیمنیت را مشاهده نمود که این امر می‌تواند حاکی از سطحی بودن کانی‌های منطقه باشد. همچنین شکل ۲-۸ اکسیدهای آهن به همراه ناخالصی‌ها را نشان می‌دهد.



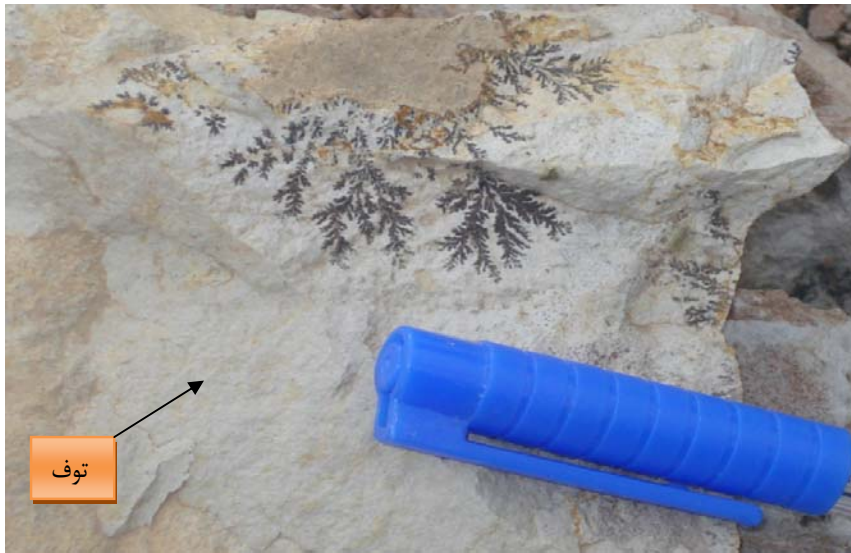
شکل ۲-۳: بخشی از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ تایباد



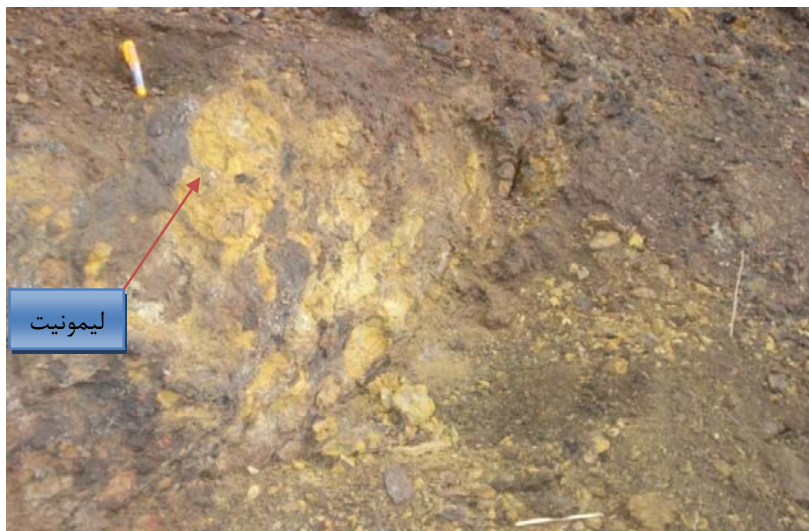
شکل ۲-۴: نمایی از دایکها و اکسیدهای آهن سطحی



شکل ۲-۵: نمایی از دایکها و اکسیدهای آهن سطحی از زاویه مخالف



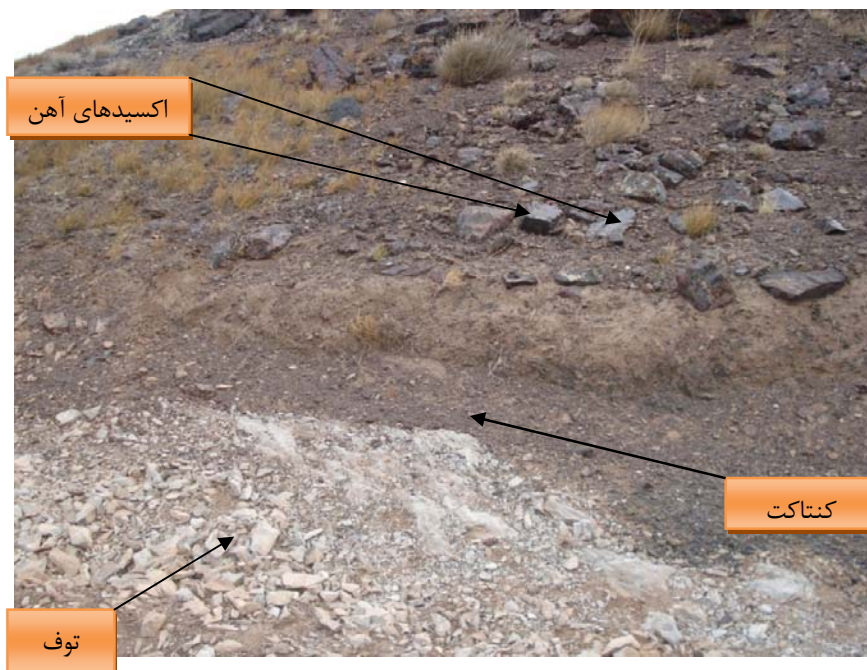
شکل ۲-۶: نمایی از سنگ میزبان (توف)



شکل ۲-۷: وجود لیمونیت در رخنمون های سطحی



شکل ۲-۸: اکسید های آهن به همراه ناخالصی ها



شکل ۲-۹: ماده معدنی به همراه سنگ میزبان

۲-۵- عملیات صحرائی

بطور کلی عملیات صحرائی انجام شده در این منطقه شامل پنج مرحله زیر می‌باشد:

۱. بازدید مقدماتی
۲. طراحی پروفیل‌ها
۳. قرائت شدت میدان مغناطیسی ایستگاه‌های برداشت توسط دستگاه مغناطیس سنج فلاکس گیت.
۴. برداشت داده‌های مقاومت ویژه
۵. نمونه برداری

۲-۵-۱- بازدید مقدماتی

بازدید مقدماتی جهت یافتن یک دید کلی از محدوده عملیاتی، شناسایی رخنمون‌های سنگی منطقه، تعیین شیب و امتداد لایه‌ها، آگاهی بیشتر از زمین‌شناسی منطقه، شناسایی راه‌های ارتباطی منطقه عملیاتی و ایجاد یک طراحی اولیه خطوط برداشت داده‌ها صورت گرفت. همچنین عکس GOOGLE

EARTH منطقه نیز تهیه شد و با توجه به همه این موارد طراحی شبکه برداشت انجام شد.

۲-۵-۲- طراحی پروفیل‌های ژئومغناطیس

در منطقه مورد مطالعه ۲۱ پروفیل مغناطیس سنجی شامل ۴۴۱ ایستگاه برداشت به فواصل ۲۵ متر از هم پیاده گردید. فواصل پروفیل‌ها از همدیگر مساوی و برابر ۲۵ متر بوده است. همچنین یک پروفیل برداشت مغناطیس سنجی شامل ۲۱ ایستگاه برداشت به فواصل ۲۵ متر از هم در جهت عمود بر پروفیل‌های فوق‌الذکر نیز طراحی گردید (شکل ۲-۱۰).

۲-۵-۳- قرائت شدت میدان مغناطیسی ایستگاه‌های برداشت، توسط مغناطیس‌سنج

فلاکس گیت

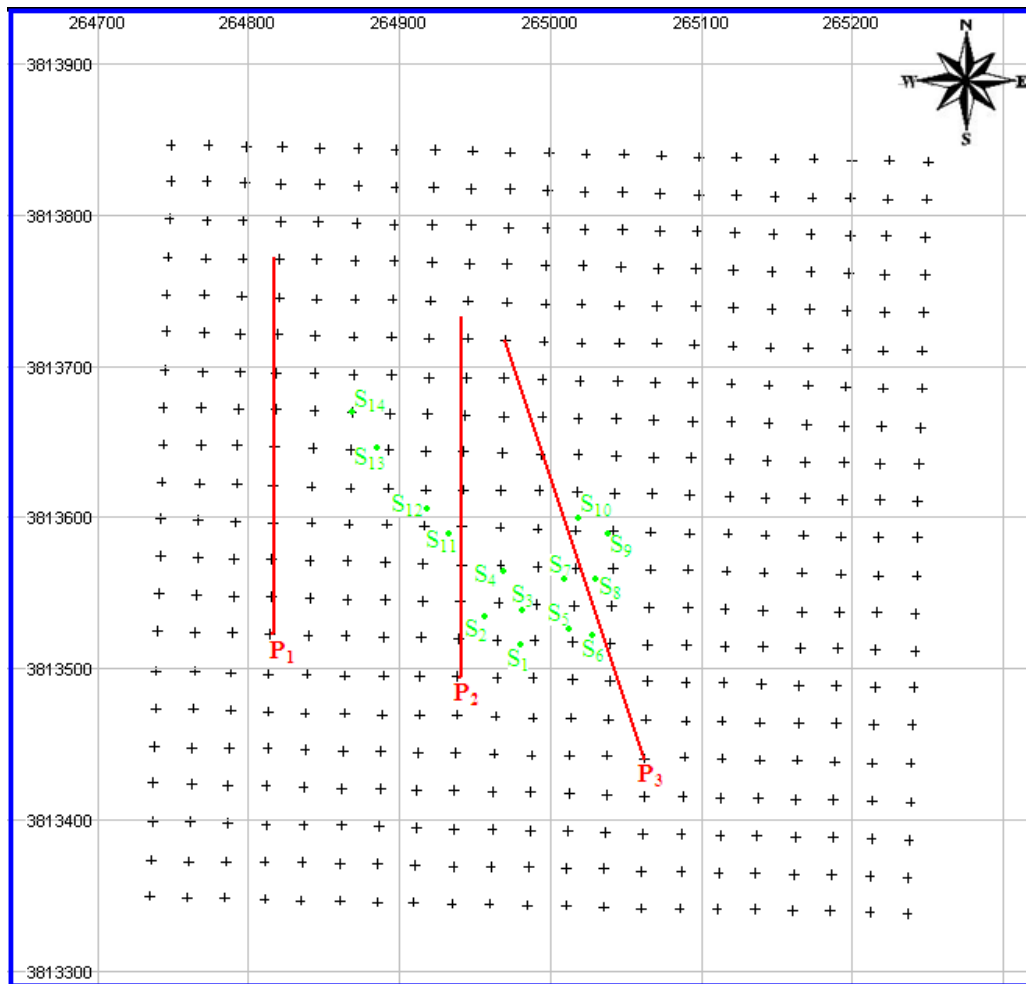
برای برداشت شدت میدان مغناطیسی قائم، تمام ایستگاه‌های برداشت، (اعم از ایستگاه‌های اصلی و ایستگاه‌های قرائت و نقاط کنترلی) توسط دستگاه مغناطیس‌سنج فلاکس گیت برداشت شده‌اند. روش برداشت بدین صورت بوده که در ابتدای شروع برداشت روزانه یک ایستگاه به عنوان ایستگاه اصلی در نظر گرفته می‌شد و شدت میدان مغناطیسی در این ایستگاه قرائت و ثبت می‌گردید. سپس ایستگاه‌های فیلد قرائت می‌گردید.

برای انجام تصحیح روزانه، هر بیست دقیقه به ایستگاه اصلی برگشته و دوباره شدت میدان مغناطیسی در این ایستگاه قرائت و ثبت می‌شد. بدین ترتیب عملیات برداشت شدت میدان مغناطیسی تمام پروفیل‌های طراحی شده صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که در زمان برداشت به دلیل شرایط آب و هوا و وزش باد، برداشت به کندی صورت می‌پذیرفت. در شکل ۲-۱۰ این نقاط برداشت شده با علامت‌های بعلاوه نشان داده شده‌اند.

۲-۵-۴- برداشت داده‌های مقاومت ویژه

به دلیل اینکه هیچ اطلاعات حفاری و مطالعات اکتشافی از بلوک مورد نظر در این پایان نامه موجود نمی‌باشد و جهت بررسی بیشتر آنومالی‌ها از نظر سطحی و عمقی، ۳ پروفیل آزمایشی ژئوالکتریک

برداشت شد که در فصل ۵ مشاهده می‌شود. داده‌های فوق با آرایش دوقطبی دوقطبی برداشت شدند و توسط نرم‌افزار Res²Dinv مدل‌سازی و تفسیر گردیدند که نتایج آن در قسمت‌های بعد ارائه خواهد شد. در شکل ۲-۱۰ این سه پروفیل به رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.



شکل ۲-۱۰: موقعیت ایستگاه‌های برداشت مغناطیس و نقاط نمونه‌برداری شده به همراه پروفیل‌های الکتریک

۲-۵-۵- نمونه برداری از رگه ماده معدنی به منظور شناسایی کانی‌ها

در پایان عملیات صحرایی، برای انجام مطالعات زمین‌شناسی بیشتر بر روی ذخیره معدنی منطقه مورد نظر تعداد ۱۴ نمونه دستی از مناطق مختلف ناحیه مورد مطالعه، برداشت گردید که این نقاط با رنگ سبز در شکل ۲-۱۰ مشخص شده‌اند.

۲-۶- مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی

با توجه به اینکه عملیات ژئوفیزیکی بر اساس خواص فیزیکی کانی‌ها صورت می‌گیرد، لذا شناسایی کانی‌های منطقه ضروری است. بر این اساس نمونه‌برداری از رگه‌ها و دایک‌ها صورت گرفت. منطقه مورد نظر شامل یک سری دایک‌های مگنتیتی، هماتیتی، گوتیتی و به طور کلی اکسیدهای آهن می‌باشد که در اطراف آن سنگ‌های آذرین سالم (غالباً آندزیت و داسیت) آندزیت‌های تخریب شده و هوازده، توف، کوارتزیت و رسوبات آبرفتی می‌باشد [کدیور، ۱۳۸۷]. بر طبق نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تایباد، یک گسل احتمالی یا پنهان در این منطقه عمل نموده است که این موضوع توسط عکس‌های ماهواره‌ای و پردازش آن در این پایان‌نامه تأیید گردیده است و جالب اینجاست که دایک‌های مورد نظر به موازات این گسل قرار دارند. این دایک‌ها چون سطحی می‌باشند به اکسیدهای آهن از قبیل هماتیت، گوتیت، لیمونیت و غیره اکسید شده‌اند که در بعضی قسمت‌ها این امر کاملاً مشهود است. همچنین در بعضی قسمت‌ها مقدار سیلیس زیادی مشاهده می‌گردد که به عنوان کانی مزاحم تلقی می‌گردد (شکل ۲-۸). در بعضی قسمت‌ها نیز آهن‌ریا به این سنگ‌ها می‌چسبد که نشان از خاصیت مغناطیسی بالاتری نسبت به بقیه نقاط دارد.

۲-۶-۱- تهیه مقاطع صیقلی از نمونه‌های برداشت شده

به منظور مطالعه بیشتر و مشخص شدن نوع کانی و انجام آزمایشات مختلف و به دست آوردن اطلاعات بیشتر از چگونگی کانی‌سازی در منطقه فوق‌الذکر، تعداد ۱۴ نمونه دستی برداشته شد که ۸ نمونه از آن انتخاب و در کارگاه تهیه مقطع دانشگاه صنعتی شاهرود توسط نگارنده و با نظارت کامل کارشناس مربوطه ۸ مقطع بزرگ میکروسکوپی تهیه شد.

۲-۶-۲- اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی نمونه‌های برداشت شده

از آنجایی که برای مدل‌سازی آنومالی‌های موردنظر، دانستن ضریب خودپذیری مغناطیسی ضروری می‌باشد، ضریب خودپذیری مغناطیسی تعداد ۱۳ نمونه برداشت شده در آزمایشگاه زمین‌شناسی

دانشگاه فردوسی مشهد اندازه‌گیری شده و نتایج حاصل در جدول (۱-۲) نشان داده شده است.

جدول ۱-۲: مقادیر ضریب قابلیت مغناطیسی نمونه‌های برداشت شده

شماره نمونه	خودپذیری مغناطیسی (SI)	شماره نمونه	خودپذیری مغناطیسی (SI)	شماره نمونه	خودپذیری مغناطیسی (SI)
S _۱	۰/۰۰۰۰۹	S _۶	۰/۰۸۴۵۹	S _{۱۱}	۰/۰۲۳۵۰
S _۲	۰/۰۰۰۱۱	S _۷	۰/۰۰۲۹۵	S _{۱۲}	۰/۰۰۰۰۱
S _۳	۰/۰۰۰۰۳	S _۸	۰/۰۰۶۶۵	S _{۱۳}	۰/۰۰۳۴۵
S _۴	۰/۰۰۰۲۴	S _۹	۰/۰۰۱۱		
S _۵	۰/۱۰۲۵	S _{۱۰}	۰/۱۹		

۲-۶-۳- آنالیز شیمیایی^۱ XRF

برای انجام آنالیز به روش فلورسانس اشعه X، تعداد شش نمونه انتخاب و در آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه صنعتی شاهرود تحت نظارت کارشناس مربوطه تبدیل به پودر گردید و از هر کدام مقدار پانزده گرم برداشته و به وسیله دستگاه XRF دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود این آنالیز انجام شد. این آنالیز مقدار درصد اکسیدها و همچنین مقدار درصد عناصر موجود در نمونه را به خوبی نشان می‌دهد.

همچنین برای تعیین میزان افت حرارتی (L.O.I) مقدار پنج گرم از هر نمونه از شش نمونه پودر شده بعد از توزین توسط ترازوی دیجیتال با دقت چهار رقم اعشار داخل کوره آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه با حرارت حدود ۸۰۰ درجه به مدت حداقل هشت ساعت قرار داده شد. نمونه‌ها بعد از خارج شدن از کوره و سرد شدن نسبی، دوباره توزین گردیدند. این مقدار افت را باید بر روی مقادیر عناصر موجود در آزمایش XRF لحاظ کرد. این عامل صرف نظر از این که در پخت گندله موجب افزایش مصرف انرژی و در حمل و نقل موجب بالا رفتن هزینه می‌شود، در اثر کاهش وزن سنگ معدن در مراحل پخت گندله، موجب افزایش درصد آهن در گندله پخته نسبت به سنگ آهن وارده به کوره می‌شود [گزارشات داخلی شرکت ملی فولاد، ۱۳۸۴]. جدول ۲-۲ در صد عناصر موجود در نمونه‌های پودر

^۱ X-Ray -Fluorescence

شده را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۲-۳ نیز مقدار اکسیدهای موجود در این نمونه‌ها را پس از اعمال مقدار افت حرارتی نشان می‌دهد.

کلیه کانسنگ‌های آهن بر حسب مقدار آهن کل به سنگ آهن کم عیار (مقدار آهن ما بین ۲۰ تا ۳۵ درصد) سنگ آهن با عیار متوسط (مقدار آهن ما بین ۳۵ تا ۴۵ درصد) سنگ آهن پر عیار (مقدار آهن بیش از ۴۵ درصد) تقسیم و تفکیک شده است (منظور از آهن کل، مجموع آهن خالص موجود در سنگ معدن به شکل اکسیدهای مختلف آن از قبیل مگنتیت، هماتیت و یا اکسیدهای دو ظرفیتی آهن است) [گزارشات داخلی شرکت ملی فولاد ۱۳۸۴].

بر پایه همین تعریف و بر اساس نتایج آزمایش XRF، نمونه‌های S_۱ و S_۰ آهن کم عیار و نمونه‌های S_۲، S_{۱۰}، S_{۱۲} و S_{۱۴} آهن پرعیار به شمار می‌آیند.

همان‌طور که در جدول ۲-۳ ملاحظه می‌شود مقدار اکسید سیلیس با افزایش مقدار آهن در سنگ معدن نسبت عکس دارد و در نتیجه مقدار آن در سنگ معدن کم عیار به نسبت سنگ آهن با عیار متوسط و سنگ آهن پر عیار از افزایش بیشتری برخوردار است. این وضعیت کاملاً مشابه شرایط موجود در سنگ آهن ایران مرکزی نظیر معادن چغارت، چادرملو، چاه‌گز و میشدوان است. جالب اینجاست که با توجه به نکته بالا مقدار آهن در S_{۱۰} برابر ۷۸/۷۲ درصد و در S_۰ برابر ۲۵/۰۱ درصد می‌باشد [گزارشات داخلی شرکت ملی فولاد ۱۳۸۴].

۲-۶-۴- بررسی مقاطع صیقلی

تمامی مقاطع تهیه شده در مرحله قبل در آزمایشگاه کانی شناسی نوری دانشگاه صنعتی شاهرود مطالعه شدند. مطالعات کانی‌های فلزی با میکروسکوپ انعکاسی وجود مگنتیت، مارتیت، هماتیت و گوتیت را مشخص نموده است. همچنین در مطالعه میکروسکوپی مقاطع صیقلی تهیه شده، مشخص گردید که در این ناحیه مگنتیت به هماتیت تبدیل شده است (پدیده مارتیتی شدن). شکل ۲-۱۱ بافت اسکلتی مربوط به هماتیت را در نمونه S_۱ نشان می‌دهد.

جدول ۲-۲: درصد عناصر موجود در نمونه‌های پودر شده به کمک آنالیز XRF

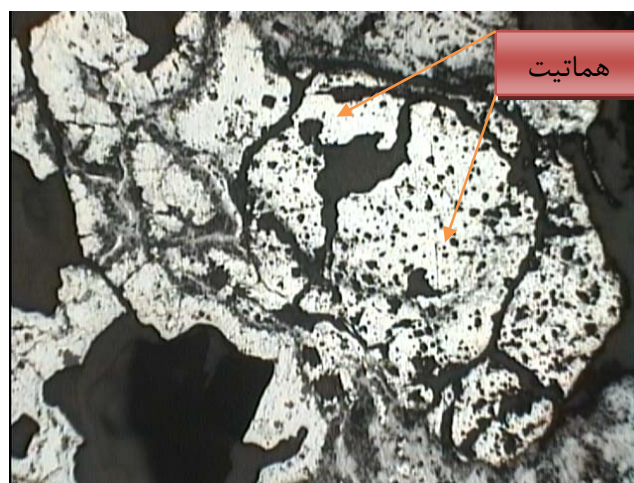
شماره نمونه‌ها	Fe	Mn	Ti	Ca	K	P	Si	Al	Mg	Na
S _۱	۲۴/۰۹	۱۱/۲۷	۰/۰۰۹۳	۰/۹۲	۰/۶۲	۰/۰۳	۵۸/۵۴	۴/۰۹	۰/۲۲	۰/۱۵
S _۲	۴۵/۲۲	۱۷/۱۵	۰/۰۰	۲/۲۴	۰/۲۶	۰/۰۴	۳۳/۰۸	۱/۳۸	۰/۴۵	۰/۱۴
S _۵	۲۵/۰۱	۱۰/۰۵	۰/۰۰۴۵	۰/۴۸	۰/۱۳	۰/۰۲	۶۰/۰۲	۳/۹۳	۰/۲۳	۰/۰۸
S _{۱۰}	۷۸/۷۲	۱۰/۴۷	۰/۰۳۰۹	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۰۶۹	۷/۶۷	۱/۴۸	۰/۳۶	۰/۱۹
S _{۱۲}	۴۵/۹۶	۱۸/۹۳	۰/۰۱	۲/۹۰	۰/۲۲	۰/۰۴	۲۷/۰۶	۴/۱۴	۰/۵۲	۰/۱۹
S _{۱۴}	۵۳/۴۷	۲۰/۹۴	۰/۰۰	۲/۷۳	۰/۶۶	۰/۰۷	۱۹/۰۰	۲/۳۲	۰/۳۶	۰/۴۰

جدول ۲-۳: مقدار اکسیدهای موجود در نمونه‌ها پس از اعمال افت حرارتی

Sample S _۱		Sample S _۲		Sample S _۵	
Al ₂ O ₃	۴/۵۰۲۷	Al ₂ O ₃	۱/۹۵۵۲	Al ₂ O ₃	۴/۴۹۰۳
SiO ₂	۶۹/۴۳۵۵	SiO ₂	۴۴/۲۵۷	SiO ₂	۷۱/۳۸۷۹
Fe ₂ O ₃	۱۴/۱۲۴۱	Fe ₂ O ₃	۳۱/۷۷۰۶	Fe ₂ O ₃	۱۴/۵۲۰۹
Na ₂ O	۰/۱۳۹۷	Na ₂ O	۰/۱۲۷۹	Na ₂ O	۰/۰۷۳۲
K ₂ O	۰/۳۵۲۹	K ₂ O	۰/۱۸۱۱	K ₂ O	۰/۰۷۷۰
CaO	۰/۶۰۰۵	CaO	۱/۷۷۴۷	CaO	۰/۳۱۰۶
MgO	۰/۲۳۱۱	MgO	۰/۴۹۷۳	MgO	۰/۲۴۸۷
MnO	۶/۰۸۵۱	MnO	۱۱/۱۳۳۱	MnO	۵/۳۹۰۹
P ₂ O _۵	۰/۰۴۱۵	P ₂ O _۵	۰/۰۵۵۰	P ₂ O _۵	۰/۰۳۰۸
TiO ₂	۰/۰۰۷۱	TiO ₂	۰/۰۰	TiO ₂	۰/۰۰۳۰
LOI	۴/۴۷۹۲	LOI	۸/۲۴۷۶	LOI	۳/۴۶۶۱
Sample S _{۱۰}		Sample S _{۱۲}		Sample S _{۱۴}	
Al ₂ O ₃	۲/۰۸۵۴	Al ₂ O ₃	۵/۲۸۷۹	Al ₂ O ₃	۲/۸۶۸۹
SiO ₂	۱۰/۹۶۷۳	SiO ₂	۳۶/۰۴۹۱	SiO ₂	۲۵/۹۲۷۵
Fe ₂ O ₃	۶۴/۹۹۸۱	Fe ₂ O ₃	۳۳/۶۵۴۲	Fe ₂ O ₃	۴۲/۰۵۶۸
Na ₂ O	۰/۱۸۱۰	Na ₂ O	۰/۱۷۱۶	Na ₂ O	۰/۳۶۸۲
K ₂ O	۰/۳۰۵۷	K ₂ O	۰/۱۶۰۵	K ₂ O	۰/۴۹۳۲
CaO	۰/۵۲۶۳	CaO	۲/۳۵۶۹	CaO	۲/۳۴۴۰
MgO	۰/۴۰۴۱	MgO	۰/۵۵۲۴	MgO	۰/۴۰۶۵
MnO	۷/۹۶۹۲	MnO	۱۲/۷۳۹۱	MnO	۱۵/۱۱۸۸
P ₂ O _۵	۰/۱۰۲۴	P ₂ O _۵	۰/۰۵۴۹	P ₂ O _۵	۰/۱۰۶۵
TiO ₂	۰/۰۳۱۵	TiO ₂	۰/۰۱۱۰	TiO ₂	۰/۰۰
LOI	۱۲/۴۲	LOI	۸/۹۶۲۱	LOI	۱/۳۰۹۲

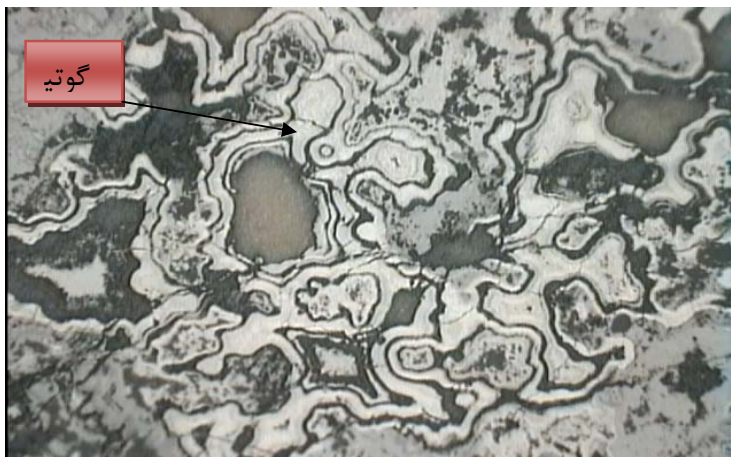
شکل‌های ۱۲-۲ تا ۱۸-۲ به خوبی کانی‌های مگنتیت، هماتیت، مارتیت، گوتیت و دیگر اکسیدهای آهن را نشان می‌دهند.

در نمونه‌های صیقلی مذکور تیغه‌های هماتیت از کشیدگی کمی برخوردار هستند که این احتمالاً به خاطر بالا بودن درجه حرارت می‌باشد. نکته دیگری که باید به آن توجه شود این است که نمونه‌های برداشت‌شده سطحی می‌باشند که در بعضی مقاطع این موضوع بارز است. لازم به ذکر است بر اساس مطالعه انجام شده توسط بومری در کانسنگ آهن سنگان درجه مارتیتیزاسیون و درصد کانی‌های سولفوری با افزایش عمق برعکس یکدیگر تغییر می‌کنند به طوری که هر چه به اعماق می‌رویم کانی‌های سولفوری زیاد و مارتیتیزاسیون کم می‌شود و بالعکس [بومری و یعقوب‌پور، ۱۳۷۱].



شکل ۲-۱۱: هماتیت و بافت اسکلتی مربوط به آن در نمونه S۱

مشاهده می‌شود که در بعضی مقاطع، بلورهای مگنتیت بیشتری نسبت به دیگر مقاطع وجود دارد و همچنین این نمونه‌ها دارای ضریب قابلیت مغناطیسی زیادی می‌باشند.



شکل ۲-۱۲: گوتیت و بافت متحدالمرکز مربوط به آن (نمونه S_{۱۰})



شکل ۲-۱۳: هماتیت و مگنتیت در نمونه S_۵

همچنین آزمایشات XRF، درصد بالای سیلیس و دیگر کانی‌های باطله را در نمونه S_۶ (شکل ۲-۱۴) نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۴: وجود سیلیس و باطله زیاد در نمونه S_۶



شکل ۲-۱۵: بلور مگنتیت در نمونه S_{۱۲}



شکل ۲-۱۶: پدیده مارتیتی شدن در نمونه S_{۱۱}



شکل ۲-۱۷: بافت شعاعی در هماتیت (نمونه S_{۱۳})



شکل ۲-۱۸: پدیده مارتیتی شدن در نمونه Si_4

فصل سوم

بررسی‌های دورسنجی

۳-۱- مقدمه

یکی از ابزارهای مؤثر در زمینه مطالعات علوم زمین استفاده از سنجش از دور و پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. استفاده از این فناوری اغلب موجب کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در وقت می‌گردد. فناوری دورسنجی از جمله ابزارهای نوینی است که دستیابی و استخراج اطلاعات پایه، برای مدیریت منابع زمین را میسر می‌سازد. با استفاده از این فناوری می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند. با توجه به اینکه در پروژه حاضر از این روش استفاده شده در ادامه مختصری از کلیات این روش ذکر می‌گردد. سنجش از دور را می‌توان تکنولوژی کسب اطلاعات و تصویربرداری از زمین با استفاده از تجهیزات هوانوردی مثل هواپیما، بالن یا تجهیزات فضایی مثل ماهواره نامید. سنجش از دور، علم و هنر به دست آوردن اطلاعات در مورد هر موضوع تحت بررسی به وسیله ابزاری است که در تماس فیزیکی با آن نباشد. این فناوری بر سنجیدن اشیاء از مسافتی خاص دلالت دارد یعنی بدون اینکه شخص در تماس با آن جسم باشد، ویژگی‌های آن جسم را تشخیص داده و مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهد. داده‌های سنجش از دور به دلیل یکپارچه و وسیع بودن، تنوع طیفی، تهیه پوشش‌های تکراری و ارزان بودن، در مقایسه با سایر روش‌های گردآوری اطلاعات از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار است که امروزه ابزار پیشرو در مطالعه سطح زمین و عوامل تشکیل‌دهنده آن محسوب می‌شود. سنجش از دور علاوه بر اینکه مشکل

دسترسی به محل و حضور فیزیکی در آن را که لازمه روش‌های زمینی و سنتی است، مرتفع ساخته و آن را به حداقل رسانده و با ایجاد پوشش خوبی از منطقه مورد مطالعه، امکان دید کلی و عام‌تر از آن را فراهم می‌سازد. اساس سیستم‌های سنجش از دور بر ارسال و اندازه‌گیری انرژی امواج الکترومغناطیس به طرف زمین است. انرژی امواج الکترومغناطیس برگشتی از طرف اشیاء به سمت سنجنده حرکت می‌کند و توسط آن دریافت، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. معروف‌ترین نوع این انرژی همان نور است که عمده‌ترین منبع تولید آن خورشید می‌باشد [فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴]. نوع دیگری از سنجنده‌ها امواج EM با فرکانس بسیار بالا را به سمت زمین ارسال و بازتاب آن‌ها را ثبت و مورد بررسی قرار می‌دهند.

برای سنجش از دور تاکنون تعاریف بسیاری ارائه شده است که برخی از مهمترین آنها عبارتند از:

- سنجش از دور دانش پردازش و تفسیر تصاویری است که حاصل ثبت تعامل انرژی الکترو مغناطیس و اشیاء می‌باشند.
- سنجش از دور به معنای برداشت سطح زمین از فضا با استفاده از خصوصیات امواج الکترو مغناطیس منعکس یا منتشر شده از سطح اشیاء است. کاربرد سنجش از دور در مدیریت منابع طبیعی، تولید نقشه‌های کاربری و پوششی و حفظ طبیعت می‌باشد.

سنجش از دور علم و هنر (یا فن آوری) به دست آوردن اطلاعات درباره یک شیء منطقه یا پدیده، از طریق پردازش و آنالیز داده‌های اخذ شده بوسیله یک دستگاه (بدون تماس مستقیم با شیء منطقه یا پدیده مورد مطالعه) است.

۳-۲- تفسیر رقومی اطلاعات ماهواره‌ای

منظور از تجزیه و تحلیل رقومی اطلاعات ماهواره‌ای، بررسی و اندازه‌گیری ارزش‌های رقومی آنهاست که استخراج نتایج جزئی و دقیق‌تر را نسبت به آنچه از تفسیر آنالوگ به دست می‌آید، ممکن می‌سازد.

هر تصویر به صورت شبکه‌ای منظم از اعداد می‌باشد که این اعداد نشان‌دهنده میزان انرژی الکترومغناطیس ثبت شده توسط سنجنده می‌باشد. برای هر پیکسل در هر باند فرکانسی، عددی متناظر با آن باند وجود دارد که از کنار هم قرار دادن این پیکسل‌ها تصویر باند مربوطه حاصل می‌شود. مثلاً اگر سنجنده‌ای ۵ باند فرکانس داشته باشد آنگاه هر پیکسل تصویر آن دارای ۵ مقدار است بنابراین هر تصویر، فایل متشکل از اعداد و ارقام و گاه اطلاعات متنی جانبی است. تصاویر رقومی نسبت به عکس‌ها طبیعتی گسسته دارند به همین دلیل می‌توان بسیاری از الگوریتم‌ها را به طور قانونمند بر روی آنها اعمال نمود. به طور کلی می‌توان مجموعه عملیاتی را که در مسیر تجزیه و تحلیل رقومی اطلاعات ماهواره‌ای صورت می‌گیرد در چهار مرحله زیر خلاصه کرد: [فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴].

۱- پیش‌پردازش

۲- بارزسازی تصویر

۳- طبقه‌بندی اطلاعات

۴- پس‌پردازش و بررسی‌های نهائی

۳-۳- پیش‌پردازش

داده‌های خام ماهواره‌ای دارای خطاهای متعددی است که قبل از استفاده باید خطاها را بررسی و برای رفع آنها اقدام کرد. در مرحله پیش‌پردازش، با یک سری عملیات روی داده‌های خام، خطاهای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و غیره مورد تصحیح قرار می‌گیرند. مقدار پیش‌پردازش مورد نیاز بسته به نوع سنجنده، کیفیت داده‌های رقومی و نوع کاربرد از تصویر، متفاوت است [فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴].

۳-۴- بارزسازی تصویر

به منظور اخذ نتایج بهتر و نیز آشکارسازی بهتر تصاویر مجموعه عملیاتی با نام بارزسازی مانند بسط

تباين، تعديل خطی هیستوگرام، فیلترگذاری، محاسبات تصویری، تفریق تصاویر، تقسیم تصاویر و تبدیل مؤلفه‌های اصلی بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌شود [فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴].

۳-۵- طبقه‌بندی

در طبقه‌بندی اطلاعات سعی می‌شود که با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای، ارزش‌های طیفی پیکسل‌های تصویر با نمونه‌های آموزشی مقایسه شود و پیکسل‌ها در طبقات قابل تفکیک قرار داده شوند. با توجه به این که هدف اصلی فناوری سنجش از دور شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمینی است، بنابراین طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مهمترین مرحله تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای محسوب می‌گردد. طبقه‌بندی در واقع کاربرد خواص طیفی یا مکانی تصویر رقومی، برای تقسیم‌بندی جزئی‌تر تصویر به رده‌های معنی‌دار با انواع مختلف پوشش است. بیشتر رده‌بندی‌کننده‌های رایج فقط بر اساس رنگ کار می‌کنند چرا که عملکرد آنها بر روی مقادیر منفرد پیکسل در هر طول موج است. هر پیکسل بسته به خواص طیفی آن بدون در نظر گرفتن پیکسل‌های پیرامون، به یک رده، سیما یا نوعی پوشش تخصیص داده می‌شود [فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴].

۳-۶- پس‌پردازش‌های طبقه‌بندی

معمولاً نتایج طبقه‌بندی به طور خام نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و نیاز به پردازش‌هایی به منظور آماده‌سازی این داده‌ها، برای اهداف بعدی و نزدیک شدن به شکل نهایی دلخواه وجود دارد. یکی از اعمالی که معمولاً پس از طبقه‌بندی انجام می‌شود ترکیب کلاس‌های مختلف و تولید یک نقشه جدید است. عملیاتی نظیر انتخاب‌ها، برداری نمودن، ترکیب با اطلاعات و داده‌های دیگر، مقیاس‌گذاری، تعیین و تغییر سیستم مختصات، درج اطلاعات جانبی و ... را می‌توان از جمله عملیات پس‌پردازش طبقه‌بندی عنوان کرد [فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴].

۳-۷- اهداف پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه

مهمترین اهداف اصلی پردازش تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های دورسنجی در مطالعه حاضر را می‌توان

تشخیص مناطق دارای اکسید آهن از قبیل، مگنتیت، هماتیت، گوتیت و معرفی نواحی امیدبخش جهت مراحل بعدی اکتشاف دانست.

برای رسیدن به اهداف فوق در فصل حاضر از تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای مانند ترکیب رنگی مجازی (RGB)، تقسیم باندها (Band Ratioing) و اعمال فیلتر (Directional Filtering) و ... استفاده شد که در ادامه تکنیک‌های مورد استفاده و نتایج مربوطه تشریح می‌شود.

۳-۸- آماده سازی تصاویر ASTER محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه تحت پوشش تصویر ASTER با مشخصات زیر قرار دارد:

Proj: UTM, Zone 41N

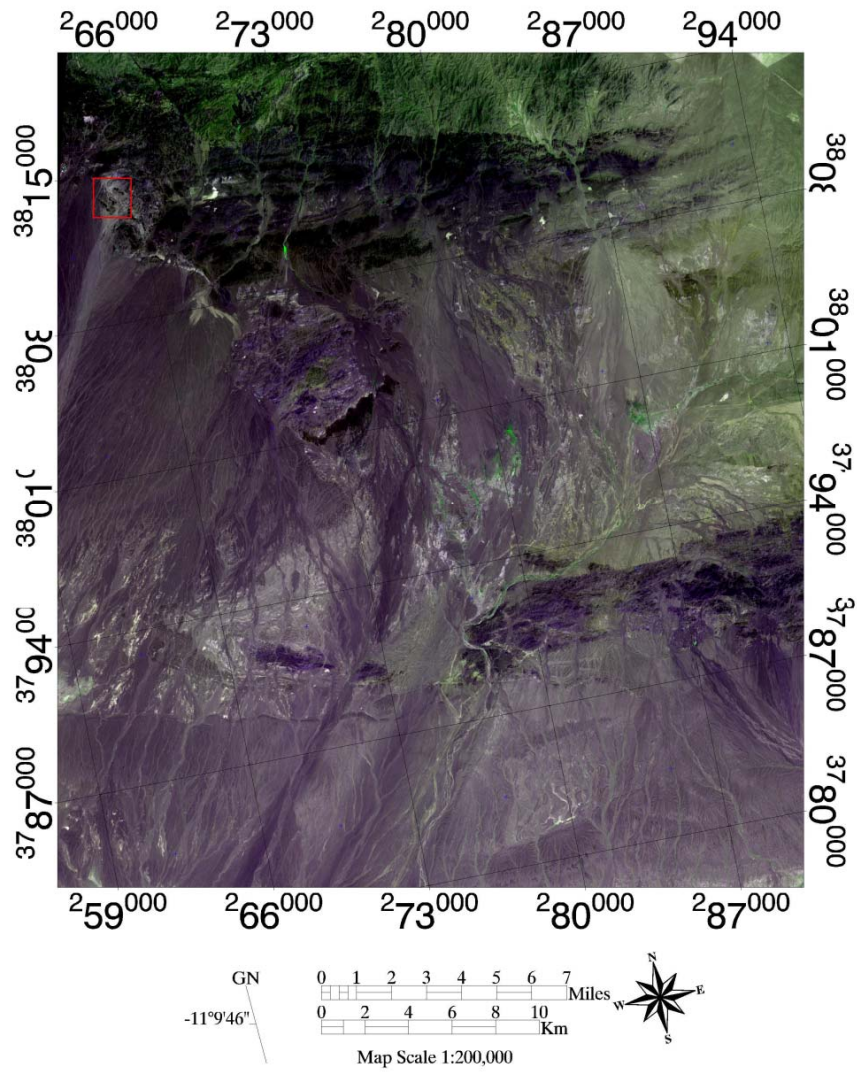
Datum: WGS-84

Rotation: -11.162651

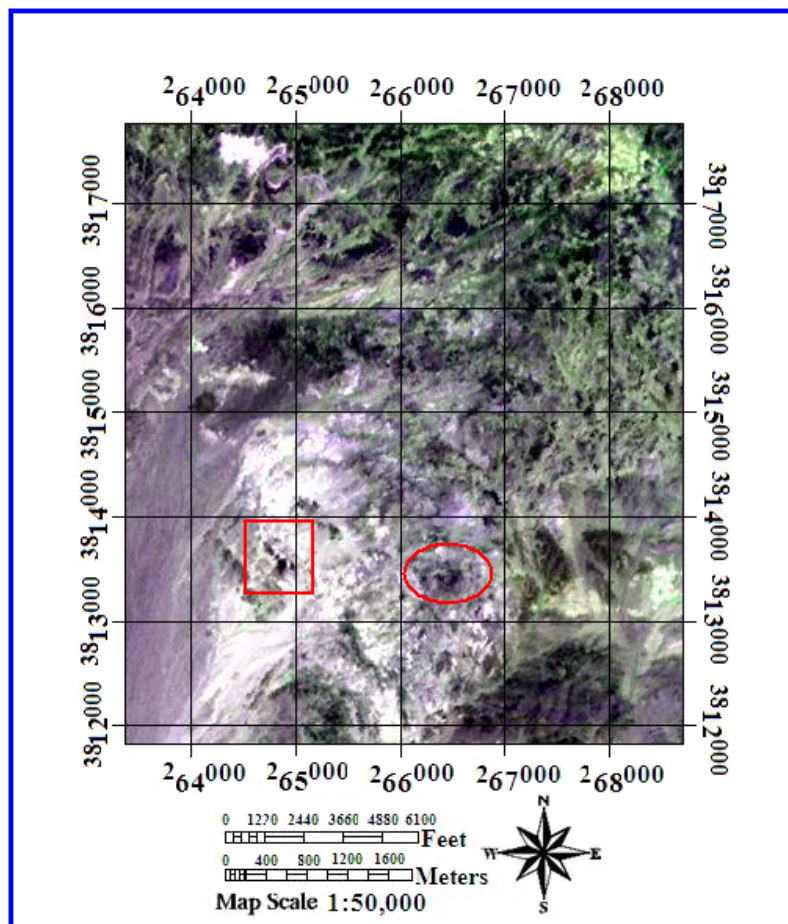
این تصویر با $RGB=2, 3, 1$ در شکل شماره ۳-۱ نشان داده شده است.

روی این تصویر پس از آماده‌سازی اولیه، عمل جداسازی زیر مجموعه مکانی انجام شد. به این صورت که ابتدا ناحیه مورد مطالعه به صورت یک فایل برداری به یک ناحیه انتخابی تبدیل شد. سپس تصویر اولیه با استفاده از این ناحیه انتخابی برش داده شد تا زیر مجموعه مکانی مورد نظر (محدوده مورد مطالعه) به دست آید. این تصویر با $RGB=2, 3, 1$ در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. این تصویر نسبت به تصویر شکل ۳-۱ از وضوح بالاتری برخوردار است و عوارض سطحی منطقه بهتر نمایان شده‌اند.

لازم به توضیح است که در شکل‌هایی که در ادامه ارائه خواهند شد، قسمتی که با بیضی مشخص شده است به عنوان نقطه شاهد و الگو در نظر گرفته شده است و در این نقطه رخنمون‌های مگنتیتی و هماتیتی و بطور کلی اکسیدهای آهن وجود دارند. این نقاط دارای خصوصیات بسیار شبیه منطقه مورد نظر هستند.



شکل شماره ۳-۱: تصویر ASTER ناحیه سنگان با RGB=۲,۳,۱



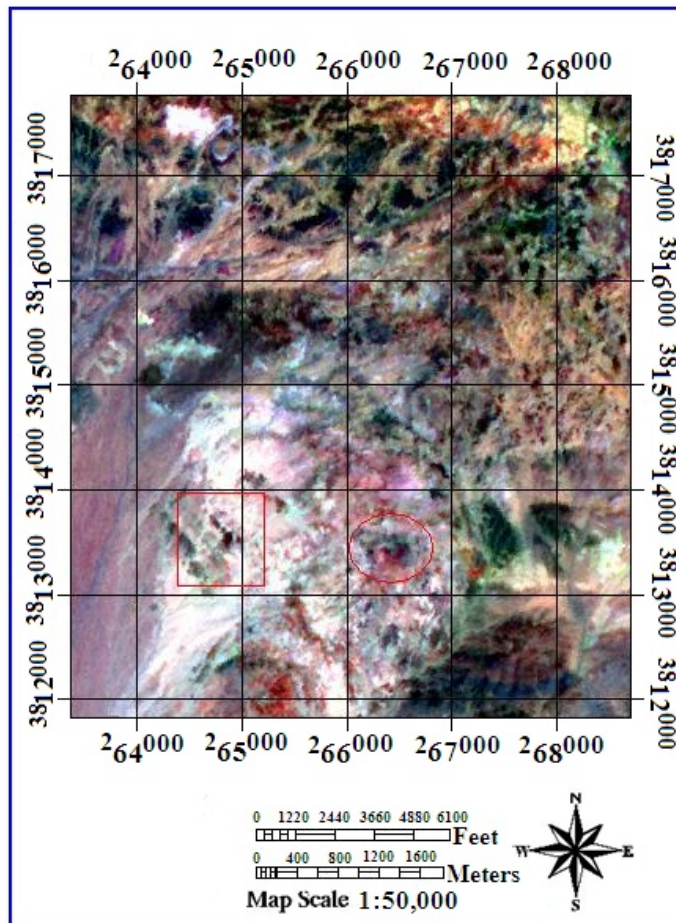
شکل ۳-۲: تصویر ASTER محدوده مورد مطالعه با $RGB=۲,۳,۱$

۳-۹- ترکیبات و تبدیل فضاهای رنگی

فضاهای رنگی برای تعریف چگونگی نمایش تصاویر چندباندی و فهم داده‌های تصویری بیان می‌گردند. دیگر کاربرد مهم فضاهای رنگی انجام تبدیلات و تغییرات تصویری با استفاده از آنها می‌باشد. تصاویر رنگی موجب وضوح بهتر پدیده و تفسیر راحت‌تر آنها می‌شود.

در منطقه مورد مطالعه نیز سعی شد تا با اعمال ترکیبات رنگی مناسب، نقاط احتمالی وجود کانی‌سازی و نیز مناطق دارای آلتراسیون شناسایی شود که در ادامه تشریح می‌شوند.

ترکیب رنگی جالبی با $RGB=۸,۳,۱$ استفاده شد که بعد از اعمال بارزسازی $\%۲$ Linear در شکل ۳-۳ می‌توان آن را ملاحظه نمود. در این ترکیب، منطقه مورد نظر بسیار شبیه نقطه شاهد می‌باشد و از دیگر مناطق اطراف به خوبی متمایز شده است.



شکل شماره ۳-۳. ترکیب رنگی با $RGB=۸,۳,۱$ با اعمال $\%۲$ Enhance linear از منطقه مورد مطالعه

۳-۱۰- محاسبات باندی و نسبت گیری طیفی

تقسیم مقادیر درجه روشنایی یک باند طیفی به باند طیفی قابل انطباق دیگر را، نسبت گیری طیفی گویند. نسبت گیری طیفی برای متمایز ساختن تغییراتی که توسط تغییرات روشنایی در تک باندها ممکن نیست، به کار می‌رود. مهمترین فایده نسبت گیری، ایجاد تصاویر کاملاً مستقل از شرایط

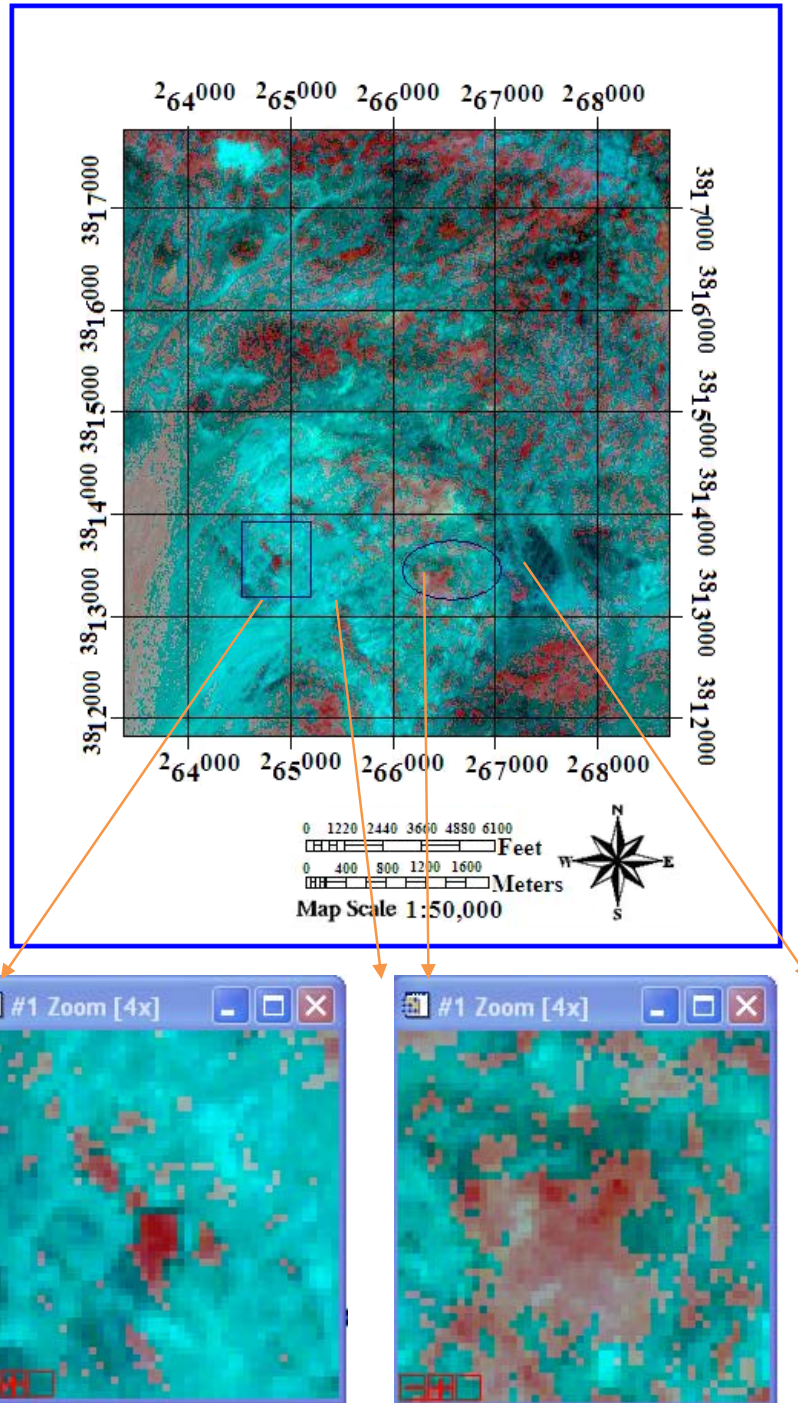
درجات روشنایی است و بدین ترتیب تصویر نسبت‌گیری به طور معنی‌داری آثار پستی و بلندی را کاهش می‌دهد. در بررسی حاضر نیز سعی شد تا با استفاده از تکنیک تقسیم‌بندی و سپس اعمال ترکیب رنگی مناسب، نواحی دگرسانی

شناسایی شوند. در مورد تصویر منطقه مورد مطالعه ابتدا نسبت‌های طیفی $2/1$ (۲ به ۱)، $4/3$ و $(5/3+1/2)$ ساخته شد [Brostad Associates Ltd, ۲۰۰۸]. در این نسبت‌های اعمال شده تغییرات ظریف طیفی پدیده‌ها نسبتاً بهتر از تصویر خام آن نمایان شدند که این به دلیل حذف عوامل و پارامترهایی که تاثیر نامطلوب- مانند اثر توپوگرافی - دارند می‌باشد. سپس ترکیبات مختلفی با استفاده از این نسبت‌ها تشکیل گردید که در ادامه تشریح می‌شود.

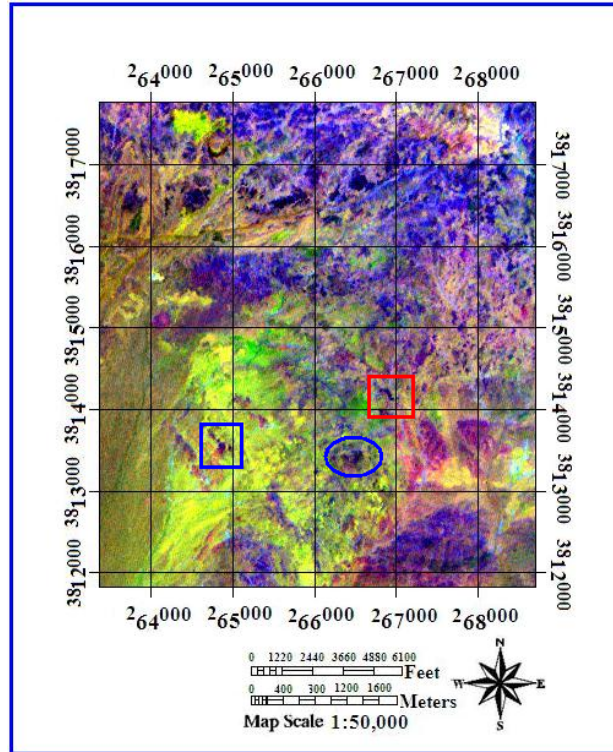
۳-۱۰-۱- شناسایی نواحی دارای ترکیبات اکسید آهن

با انجام تقسیم‌بندی $2/1$ ، $4/3$ و $(5/3+1/2)$ سعی شد تا محل احتمالی آلتراسیون‌ها (به طور کلی) و همچنین محل احتمالی اکسیدهای آهن دو ظرفیتی و سه ظرفیتی شناسایی گردد. همچنین با اعمال فیلتر $3/2$ سعی شد تا نواحی با پوشش گیاهی آشکار گردد. لازم به ذکر است که منطقه سنگان از نظر پوشش گیاهی فقیر است. پس از این مرحله با اعمال ترکیب رنگ $RGB=5/3+1/2, 1, 2$ و سپس بهبود کنتراست، Gaussian Enhancement، تصویر شکل شماره ۳-۴ حاصل شد. در این تصویر نواحی دارای ترکیبات آهن در محل‌های مشخص شده بر روی تصویر نمایان می‌باشد که بزرگ شده آنها در قسمت جداگانه نشان داده شده است. همان طور که در قسمت بزرگ شده عکس مشخص است تشابه بسیار خوبی بین انعکاس طیفی این دو قسمت بزرگ شده وجود دارد. به منظور مشخص شدن بهتر مناطق نمایان شده در شکل ۳-۴ از دو ترکیب رنگی دیگر به صورت‌های $RGB=2/1, 3, 3/2$ با تقویت کنتراست ۲% Linear و $RGB=4/3, 2, 3$ با بهبود کنتراست Gaussian استفاده شد که به ترتیب در شکل‌های ۳-۵ و ۳-۶ نشان داده شده است. در این دو شکل ملاحظه می‌شود که مناطق مورد نظر که شامل اکسیدهای آهن می‌باشند به صورت واضحی از مناطق آندزیتی و داسیتی مجاور خود متمایز گشته‌اند. در شکل ۳-۵

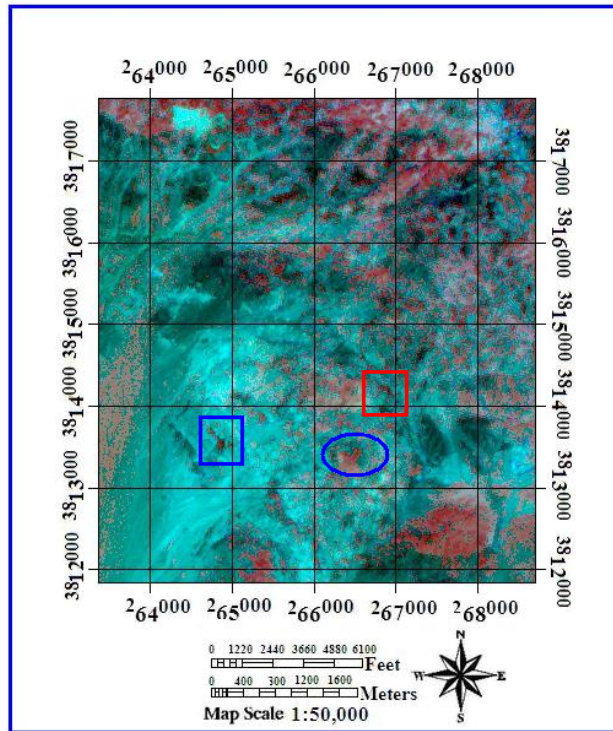
نقاط آبی فیروزه‌ای که البته میزان آن کم نیز می‌باشد نمایانگر پوشش گیاهی است.



شکل شماره ۳-۴: ترکیب رنگی با Gaussian Enhancement_۱, _۲, _۱/۲ + ۱/۳ = ۰ RGB مناطق دارای اکسیدهای آهن از منطقه مورد مطالعه



شکل شماره ۳-۵: ترکیب رنگی با ۲% Linear. RGB=۲/۱,۳,۳/۲ از منطقه مورد مطالعه



شکل شماره ۳-۶: ترکیب رنگی با Gaussian Enhancement. RGB=۴/۳,۲,۳ از منطقه مورد مطالعه

لازم بذکر است در شکل‌های ۳-۵ و ۳-۶، قسمتی که با مربع قرمز رنگ مشخص شده است از جمله نقاط پیشنهادی می‌باشد زیرا انعکاس طیفی آن بسیار مشابه انعکاس طیفی منطقه مورد نظر می‌باشد.

۳-۱۱- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ (PC)

به منظور استفاده از چندین باند اطلاعاتی و کاهش حجم اطلاعات از روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی می‌توان بهره گرفت. بیشتر داده‌های باندهای سنجنده‌های چند طیفی به خاطر تشابه بازتاب پدیده‌ها و هم‌پوشانی حساسیت طیفی باندها، دارای همبستگی بالایی با هم می‌باشند. این همبستگی بالا، نوعی تکرار اطلاعات بوده و با متراکم کردن اطلاعات در تصویر به تفسیر بهتر داده‌های ماهواره‌ای کمک می‌شود (کریم‌پور، ۱۳۸۴). به همین منظور با بررسی‌های زیاد سرانجام ترکیب رنگی Gaussian Enhancement $PC=۴,۶,۹$ اعمال شد که ملاحظه می‌شود محدوده مورد نظر به خوبی نسبت به بقیه مناطق بارز شده است. با توجه به مناطق مشخص شده در شکل ۳-۷ کاملاً بارز است که انطباق واضحی با محل‌های به دست آمده با سایر ترکیبات وجود دارد. در این شکل ناحیه دارای اکسید آهن با رنگ تیره و نواحی اطراف آن با رنگ‌های زرد، قرمز، نارنجی و ... دیده می‌شوند.

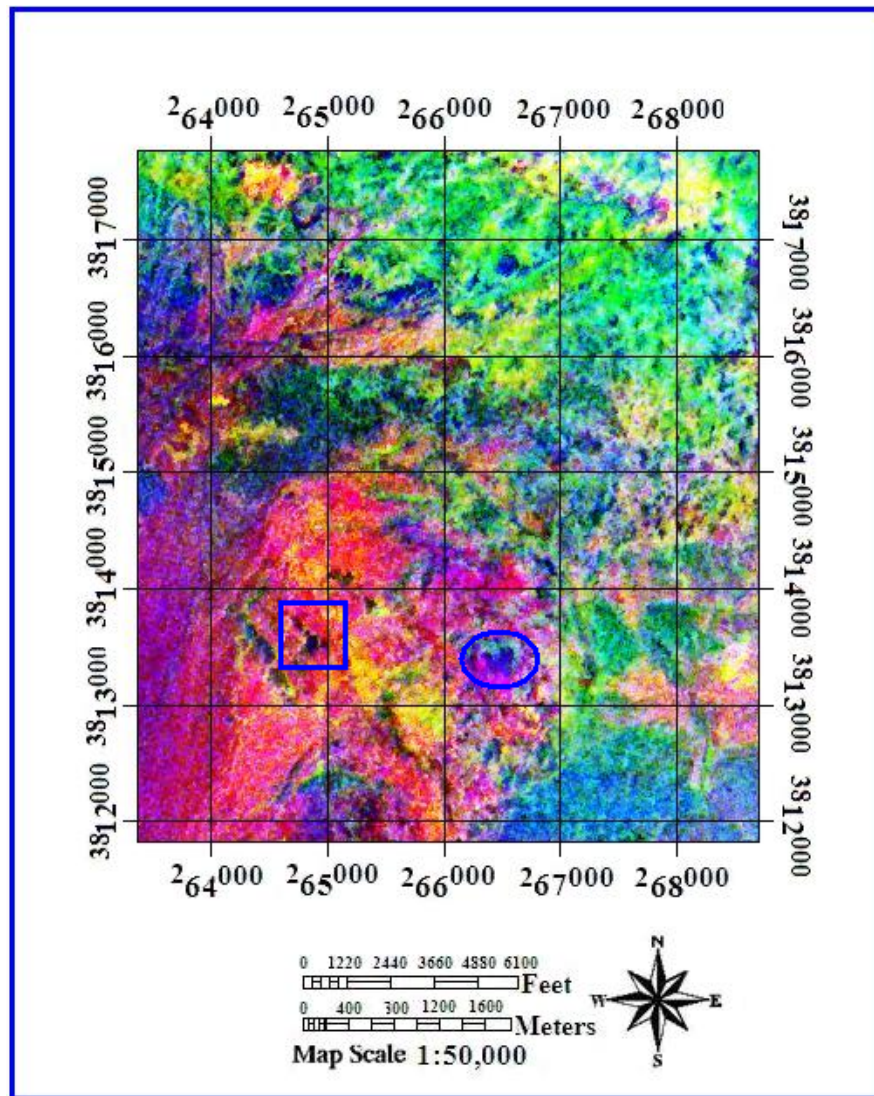
۳-۱۲- تفکیک گسل‌ها

ترسیم نقشه گسل‌ها با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای روش بسیار مناسب و قابل اعتمادی می‌باشد. تا کنون روش‌های گوناگونی برای واضح سازی و استخراج گسل‌ها با استفاده از پردازش داده‌های رقومی ارائه گردیده است. این روش‌ها عبارتند از: الگوریتم‌های واضح‌سازی حاشیه، تصاویر نسبی فیلترهای حوزه فرکانس، الگوریتم آشکارسازی خط، فیلترهای جهتی و غیره. در این پایان نامه از روش فیلترهای جهتی استفاده گردیده است. لذا برای این منظور از تصاویر باند ۲ استفاده شد و فیلتر جهتی (۳*۳ directional) با زاویه ۱۲۰ درجه بر روی آن اعمال شد. نقشه نهایی گسل‌های منطقه در شکل ۳-۸ آورده شده است و محدوده مورد مطالعه در این پایان نامه نیز با علامت مربع

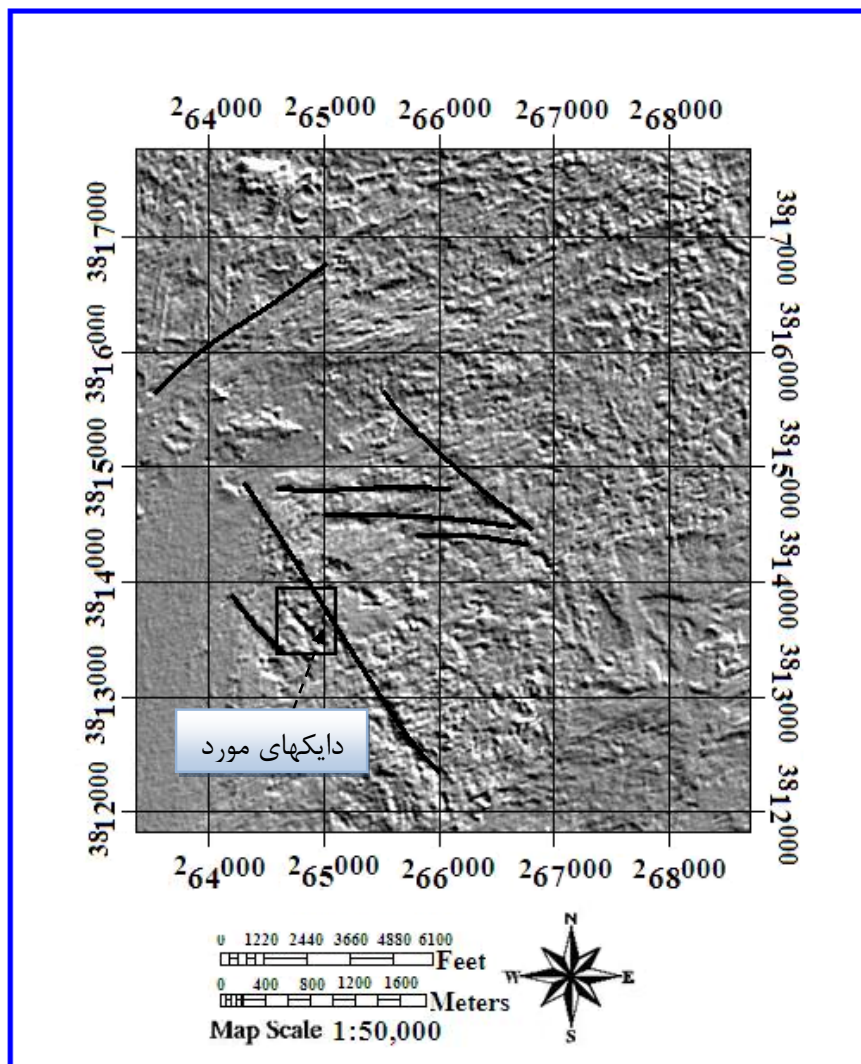
^۱ Principle component

مشخص گردیده است. همان طور که ملاحظه می شود، رگه ها و دایک های مورد مطالعه به موازات گسل های مجاور خود قرار دارند.

در تصویر ۳-۸ قسمت مشخص شده ناحیه ای است که برجستگی خاصی را در تصویر نشان می دهد که با نقاط به دست آمده در تصاویر قبلی مطابقت دارد.



شکل شماره ۳-۷: ترکیب رنگی با Gaussian Enhancement $\sigma=4,6,9$ PC از منطقه مورد مطالعه



شکل ۳-۸: نقشه نهایی گسل‌های منطقه

۳-۱۳- نتیجه‌گیری

سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از روش‌هایی است که در مراحل اکتشافات اولیه در مناطق ناشناخته مفید است. هدف از این پایان‌نامه، معرفی مناطق امید بخش برای پی‌جویی کانی‌سازی آهن با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای در جنوب شرق استان خراسان رضوی می‌باشد. به این منظور از تصاویر سنجنده ASTER از ماهواره Tera استفاده شده است. به طور کلی روش‌های مختلفی که

در رابطه با دورسنجی و نمایان ساختن آلتراسیون‌ها در ایران و دیگر مناطق دنیا صورت گرفته با توجه به عواملی همچون آب و هوا، پوشش گیاهی و ترکیب و ساختار سنگها در مناطق مختلف دارای محدودیتهایی است و در نتیجه لازم است در هر منطقه با توجه به ویژگیهایی که عنوان شد روشهای مناسب اعمال شود. در این مطالعه روش‌های مختلفی از قبیل نسبت گیری طیفی باندها، اجرای ترکیب‌های رنگی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تفکیک گسل‌ها به اجرا درآمد و با این کار مناطقی که احتمال می‌رفت دارای اکسیدها و کانی‌های آهن باشد (از جمله محدوده مورد مطالعه)، آشکارسازی شدند. با نسبت گیری طیفی تغییراتی که توسط تغییرات روشنایی در تک باندها ممکن نبود متمایز و آشکار شدند. بعد از اعمال این روش و استفاده از ترکیبات رنگی مناسب که باعث وضوح بهتر و تفسیر راحت آنها می‌شود نواحی دارای اکسیدهای آهن مشخص شدند و نسبت به مناطق در برگیرنده خود که عمدتاً آندزیت، داسیت و به طور کلی جریانات ولکانیکی می‌باشند کاملاً متمایز شدند همچنین با مطالعه دقیق روی محل رخنمون‌های مذکور و همچنین بررسی انعکاس طیفی آنها مشخص گردید که در نوع انعکاس طیفی این محل‌ها با سایر نقاط تفاوت وجود دارد. واضح است که در هر قسمت از منطقه که این نوع انعکاس طیفی وجود داشته باشد می‌توان احتمال حضور اکسید آهن را پیش بینی نمود. کلاً هدف مطالعات دورسنجی همین است که از آن به عنوان ابزاری برای مطالعات اولیه استفاده کرد تا بتوان مناطق بیشتری را مورد بررسی قرار داد و در نتیجه هزینه‌های اکتشافی را که بسیار زیاد و هنگفت می‌باشند تقلیل داد. در مجموع می‌توان گفت که روش دورسنجی تا حد قابل قبولی توانسته است انتظارات را برآورده نماید.

فصل چہار

روش مغناطیس سنجی

۴-۱- مقدمه

کاوش‌های مغناطیسی از قدیمی‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی اکتشافی بوده که طی سالیان متمادی در پی‌جویی نفت و کانی‌های اقتصادی (منجمله آهن) مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکتشاف مغناطیسی برای کانی‌های اقتصادی کلاً برای یکی از سه هدف زیر صورت می‌گیرد.

۱- جستجوی مستقیم برای کانی‌های مغناطیسی مثل کانی‌های آهن غنی از مگنتیت.

۲- استفاده از مگنتیت به عنوان کانی رد یاب برای اکتشاف دیگر کانی‌ها.

۳- تعیین عمق، اندازه، و یا ساخت زون‌های کانی‌سازی شده که از آنها هیچگونه آثار سطحی وجود ندارد. گسل‌ها و زون‌های خرد شده و یا دیگر اشکال مشابه که می‌توانند در اعماق زمین حاوی ذخایر معدنی باشند، توسط روش‌های مغناطیسی قابل پی‌جویی می‌باشند [کلاگری، ۱۳۷۱].

تا سال ۱۹۴۰ روش مغناطیس‌سنجی بیشتر در مناطق خشکی مورد استفاده قرار می‌گرفت. اما امروزه بیشتر کارهای مغناطیسی توسط هواپیما (برداشت هوایی) انجام می‌گیرد. این به علت سرعت

عمل، هزینه نسبتاً کم و همچنین راحتی کار می‌باشد [Dobrin & Savit, ۱۹۸۸]

تقریباً ۹۰ درصد آهن تولیدی جهان از ذخایر رسوبی که اصولاً از نظر منشاء اولیتی و یا سیلیسی هستند، تهیه می‌گردند. ۱۰ درصد مابقی در ارتباط با سنگ‌های آذرین مافیک و اولترامافیک و یا اسکارنها می‌باشند. نسبت مگنتیت به هماتیت کانسنگ‌های آهن موجود در سنگ‌های آذرین بیشتر از انواع دیگر سنگها است در نتیجه به راحتی توسط روش مغناطیسی قابل اکتشاف می‌باشند. ذخایر هماتی غیر مغناطیسی می‌باشند ولی اغلب آنها از نظر ژنتیکی در رابطه با مگنتیت هستند. از این نظر این نوع ذخایر را می‌توان به طور غیر مستقیم توسط روش مغناطیسی مورد پی‌جویی قرار داد [کلاگری، ۱۳۷۱].

۴-۲- مفاهیم و تعاریف

برای درک اثرات مغناطیس مربوط به سنگ های زمین لازم است اطلاعاتی در زمینه اصول اساسی مغناطیس داشته باشیم. بدیهی است اطلاعات بیشتر را می‌توان از کتب و مراجع مختلف منجمله [Dobrin & Savit, ۱۹۹۸ - Telford. et all., ۱۹۹۰] به دست آورد.

۴-۲-۱- میدان مغناطیسی زمین و مؤلفه‌های آن

کره زمین را می‌توان مانند یک مغناطیس غول آسا^۱ فرض کرد که تولید یک میدان مغناطیسی القایی در داخل زمین، سطح زمین و نیز در فضای جو خارج از زمین می‌نماید. در هر نقطه از سطح زمین این میدان مغناطیسی توسط یک بردار تعریف می‌شود و بنابراین برای مشخص کردن این بردار باید مقدار و امتداد این بردار میدان را بشناسیم. میدان مغناطیسی زمین و مؤلفه‌های آن به صورت زیر تعریف می‌شوند:

F شدت کل میدان مغناطیسی زمین، H مؤلفه افقی میدان زمین یا شدت میدان افقی، Z مؤلفه قائم میدان زمین یا شدت مؤلفه عمودی، D زاویه انحراف میدان مغناطیسی^۲ که عبارت است از زاویه بین

^۱ E.Thellier
^۲ Declination

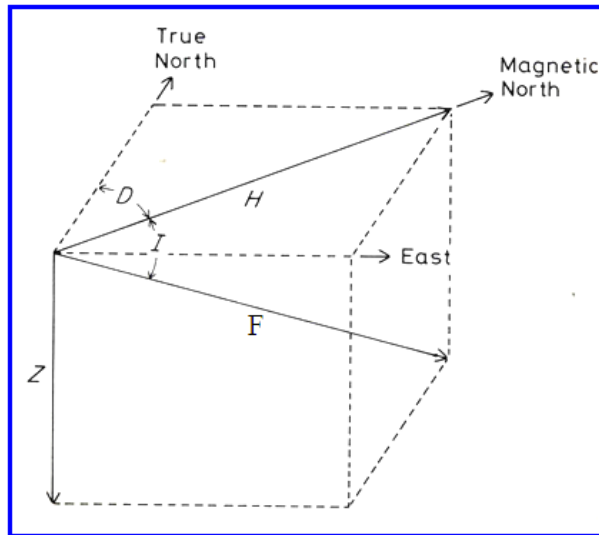
H و شمال جغرافیایی این زاویه در صورتیکه H در شرق واقع شده باشد مثبت و در صورتیکه در غرب واقع شده باشد منفی است (شکل ۴-۱).

زاویه میل^۱ که عبارت است از زاویه بین F و H، در صورتیکه F بطرف داخل زمین قرار گرفته باشد مثبت بوده و اگر F بطرف خارج زمین باشد، منفی خواهد بود. هرگاه دستگاه مختصات فضایی در شکل ۴-۱ را در نظر بگیریم در این صورت روابط ساده‌ای بین مؤلفه‌های میدان مغناطیسی زمین وجود خواهد داشت.

صفحه قائمی را که شامل بردارهای F و H است، صفحه نصف النهار مغناطیسی^۲ گویند که با صفحه نصف النهار جغرافیایی زاویه D را می‌سازد [کلاگری، ۱۳۷۱]. روابط گفته شده و شکل مربوط به آنها که شرح داده شد، متعلق به نقاط واقع در نیم کره شمالی است که در آنها زاویه F مثبت و مؤلفه Z هم مثبت و به طرف داخل کره زمین می‌باشد و جهت F نیز به طرف پائین است، بنابراین در ایران که در نیمکره شمالی واقع است جهت F به طرف پائین می‌باشد.

Z، H و F برحسب گاما، I و D برحسب درجه بیان می‌شوند. تغییرات زاویه I در ایران بین ۵۳ تا ۵۸ درجه می‌باشد.

۱. Inclination
۲. Magnetic Meridian



شکل ۴-۱: نمایش شماتیک عناصر مغناطیسی زمین [Dobrin & Savit, ۱۹۸۸]

۴-۲-۲- ضریب قابلیت مغناطیسی سنگ‌ها^۱

ضریب قابلیت مغناطیسی سنگ‌ها دارای اهمیت زیادی در برداشت‌های مغناطیسی می‌باشد. این پارامتر همان نقشی را در مغناطیس ایفا می‌کند که چگالی در برداشت‌های گرانی دارد [Telford. et all., ۱۹۹۰]

جدول ۴-۱ مقادیر مختلف ضریب قابلیت مغناطیسی را در سنگ‌ها و کانی‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، به‌طور کلی سنگ‌های آذرین نوع بازیک با حداکثر مقدار ضریب قابلیت مغناطیسی (بستگی به کانی‌های آهن دارد) و نوع اسیدی در حد کمتر قرار دارند. سنگ‌های دگرگونی دارای ضریب قابلیت مغناطیس‌شدن متغیری می‌باشند که بستگی به مقدار آهن در کانی‌های آن دارد. در سنگ‌های رسوبی نیز بستگی به مقدار مگنتیت، آنها دارای ضریب قابلیت مغناطیس‌شدن متفاوتی می‌باشند [Telford. et all., ۱۹۹۰].

^۱ Magnetic Susceptibility of rocks

جدول ۴-۱: مقادیر ضریب قابلیت مغناطیسی سنگ‌ها و کانی‌های مختلف [Telford et al, ۱۹۹۰]

مقدار متوسط ضریب قابلیت مغناطیسی $\times 10^3$ (SI)	نام کانی	مقدار متوسط ضریب قابلیت مغناطیسی $\times 10^3$ (SI)	نام سنگ
۰/۱	گرافیت	۰/۱	دولومیت
-۰/۰۱	کوارتز	۰/۳	سنگ آهک
-۰/۰۱	سنگ نمک	۰/۴	ماسه‌سنگ
۰/۰۲	ذغال‌سنگ	۰/۷	آمفیبولیت
۰/۲	رس	۶/۰	اسلیت
۰/۷	اسفالریت	۲/۵	گرانیت
۱/۵	پیریت	۰/۲-۳۵	ریولیت
۲/۵	لیمونیت	۱۷	دولریت
۳	آرسنوپیریت	۷۰	گابرو
۶/۵	هماتیت	۷۰	بازالت
۷	کرومیت	۸۵	دیوریت
۱۵۰۰	پیروتیت	۱۲۵	پیروکسنیت
۱۸۰۰	ایلمنیت	۱۵۰	پریدوتیت
۶۰۰۰	مگنتیت	۱۶۰	آندزیت

۴-۳- مراحل به کارگیری روش مغناطیس سنجی در اکتشافات ژئوفیزیکی

به کارگیری روش مغناطیس سنجی را برای اکتشافات ژئوفیزیکی می‌توان در ۵ مرحله زیر خلاصه

نمود [Hinze, ۱۹۹۰].

۴-۳-۱- جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها

این مرحله شامل طراحی شبکه برداشت و جمع‌آوری داده‌ها می‌باشد. در مرحله طراحی شبکه برداشت ابتدا بایستی مشخص شود که برداشت به صورت زمینی انجام می‌شود یا هوایی. سپس بر اساس نوع برداشت و مشخصات منطقه، پارامترهایی از قبیل فواصل ایستگاه‌های برداشت، امتداد پروفیل‌های برداشت، فواصل پروفیل‌ها، ارتفاع پرواز و نوع وسیله اندازه‌گیری و غیره تعیین و طراحی می‌شوند.

۴-۳-۲- برگردان داده‌ها و اعمال تصحیحات

داده‌های مغناطیسی برداشت شده در صحرا حاوی نویز و تغییرات گذرا که بایستی از سیگنال‌های مفید مربوط به آنومالی‌های زمین‌شناسی که مورد توجه عملیات اکتشافی می‌باشند، حذف گردند. برای این منظور روش‌های محاسباتی و یا مشاهده‌ای وجود داشته و با اعمال این روش‌ها می‌توان نویزها را به حداقل ممکن کاهش داد و آماده تفسیر نمود.

۴-۳-۳- تفکیک آنومالی‌ها

وقتی تمام نویزهای قابل پیش‌بینی در میدان‌های مغناطیسی از داده‌های مشاهده شده حذف شدند، مؤلفه آنومالی حاصل می‌گردد که طیف وسیعی از اثرات منابع زمین‌شناسی را شامل می‌شوند که در اعماق مختلف زمین واقع شده‌اند و دارای اختلاف تاثیر پذیری مغناطیسی متفاوت می‌باشند که بایستی این آنومالی‌ها از یکدیگر جدا شوند و آنومالی مربوط به منبع مورد مطالعه ایزوله گردد. این کار را می‌توان با به کارگیری بسیاری از روش‌های مختلف تفکیک آنومالی‌ها از جمله روش‌های روند سطحی^۱، مشتق^۲، گسترش به سمت بالا^۳، و گسترش به سمت پایین^۴، و روش برگردان به قطب^۵

^۱ Trend surface method

^۲ Derivative method

^۳ Upward continuation method

^۴ Downward continuation method

^۵ Reduction to the pole

داد [Telford et al, ۱۹۹۰]. با شناسایی منبع آنومالی تا این مرحله و تعیین محل آن، تفسیر کیفی خاتمه می‌یابد.

۴-۳-۴- تعیین پارامترهای فیزیکی منبع به وجود آورنده آنومالی

ابتدا مشخصات و خصوصیات آنومالی (مثل شکل آن، اندازه، دامنه، شیب) با اطلاعات زمین‌شناسی مورد مطالعه ترکیب می‌گردد تا یک مدل مفهومی برای منبع آنومالی پیشنهاد گردد. سپس یک تخمین اولیه از هندسه (اندازه، عمق) آنومالی و تفاوت پارامتر فیزیکی آنومالی با زمین‌های اطراف و در برگیرنده (اختلاف دانسیته، اختلاف تاثیرپذیری مغناطیسی) صورت می‌پذیرد. این مدل فیزیکی اولیه منبع از طریق مدل‌سازی پیشرو^۱ و معکوس^۲ اصلاح می‌گردد [آگاه، ۱۳۸۳].

۴-۳-۵- تفسیر مدل فیزیکی به مفهوم زمین‌شناسی

در مرحله نهایی، مدل فیزیکی با استفاده از اصول و اطلاعات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به علاوه اطلاعات مربوط به خصوصیات فیزیکی لیتولوژی‌های مختلف به صورت مفهوم زمین‌شناسی تفسیر می‌گردد.

استفاده از روش مغناطیس‌سنجی در این پایان‌نامه، پنج مرحله فوق‌الذکر را شامل می‌شود.

۴-۴- تفکیک، تعبیر و تفسیر کیفی آنومالی‌ها

۴-۴-۱- مقدمه

برای پردازش و مدل‌سازی داده‌های مذکور با نرم‌افزار ModelVision pro لازم است که این داده‌ها به صورت یکی از فرمت‌های ورودی تعریف شده در نرم‌افزار مرتب گردند. در این پایان‌نامه داده‌ها تحت فرمت نقطه‌ای مرتب و به نرم‌افزار وارد گردیدند. در مرحله بعد نوبت به رسم نقشه‌های داده‌ها می‌رسد

^۱ Forward modeling
^۲ Inversion modeling

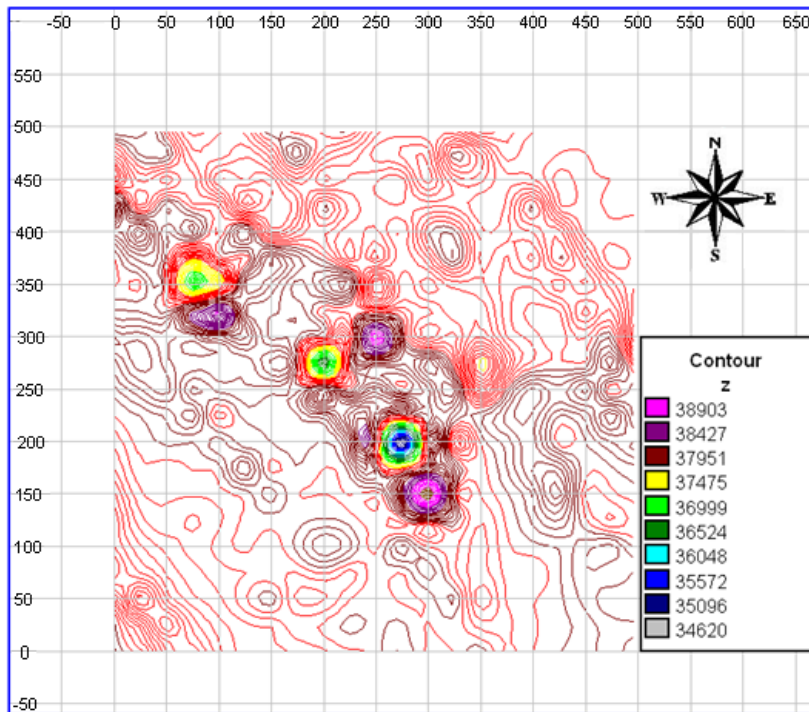
که به صورت کننتوری تهیه شد.

پس از اتمام مرحله آماده‌سازی داده‌ها، مرحله پردازش داده‌ها شروع گردید. اولین قدم در این مرحله تفکیک آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده از هم می‌باشد که برای این منظور از چهار روش مشتق قائم، گسترش به سمت بالا، گسترش به سمت پایین و روند سطحی در نرم افزار ModelVision pro استفاده گردید. در نهایت نقشه‌های حاصل از هر یک از روش‌های تفکیک آنومالی‌های فوق الذکر به صورت زیر تفسیر کیفی می‌گردند تا محل و نوع منبع مولد آنومالی‌ها به طور تقریبی مشخص گردد.

۴-۴-۲- نقشه شدت قائم مغناطیسی

در نقشه شدت قائم مغناطیسی منحنی‌های تراز به صورت هموار با فواصل ۲۰ نانو تسلا به کمک نرم‌افزار فوق‌الذکر رسم شده‌اند شکل (۴-۲). همان طور که در شکل ۴-۲ مشاهده می‌شود در بخش‌های میانی نقشه، منحنی‌های تراز مغناطیسی از شمال غربی به جنوب شرقی دارای روندی مشخص و با بقیه نقاط فرق دارد. بطوری که در این راستا تعداد سه آنومالی دوقطبی به وضوح مشخص است. این آنومالی‌ها انطباق بسیار خوبی با رخنمون‌ها و مشاهدات صحرائی دارند. لازم به ذکر است که زاویه میل و زاویه انحراف به ترتیب $52/6$ ، $3/1$ و شدت میدان متوسط منطقه 48406 نانو تسلا می‌باشد. این اعداد را می‌توان در نرم‌افزار Model vision pro و در قسمت تصحیح IGRF آن بدست آورد. به اینصورت که مختصات جغرافیایی یک نقطه از منطقه را به همراه ارتفاع آن و تاریخ انجام پروژه وارد نموده در نتیجه نرم‌افزار، زوایای میل و انحراف و شدت میدان متوسط منطقه را می‌دهد.

آنومالی‌های موجود در نقشه شدت میدان مغناطیس می‌توانند مجموع اثرات توده‌های نفوذی عمیق (یا اثرات ناحیه‌ای) و توده‌های آهن‌دار (یا اثرات محلی موجود) در منطقه باشند که می‌بایست برای بهتر نشان دادن توده‌های آهن‌دار، فیلترهای مختلفی را بر روی این داده‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده برای تفکیک آنومالی‌ها اعمال کرد.

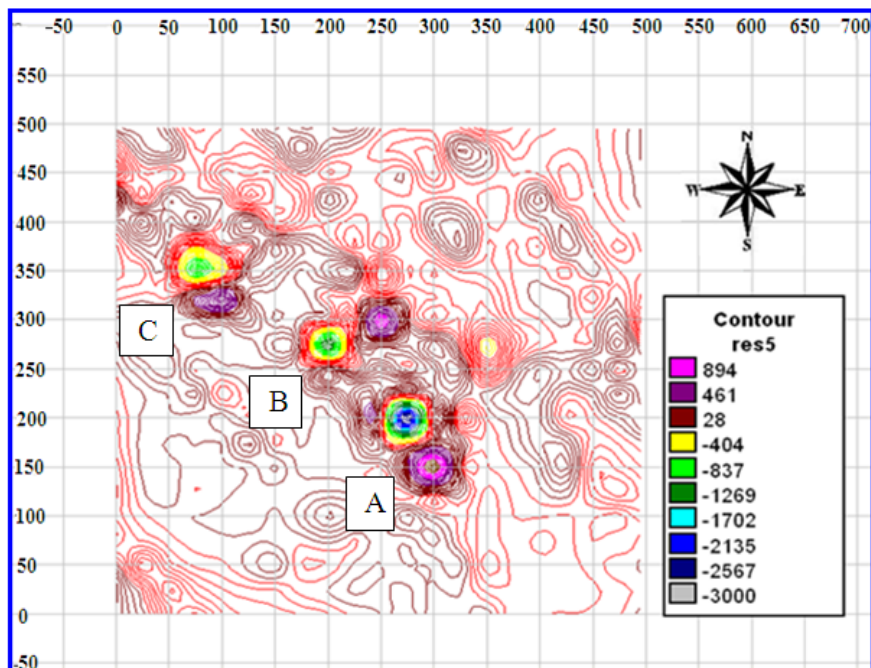


شکل ۴-۲: نقشه شدت مغناطیسی قائم منطقه (بر حسب نانو تسلا)

۴-۴-۳- استفاده از فیلتر روند سطحی

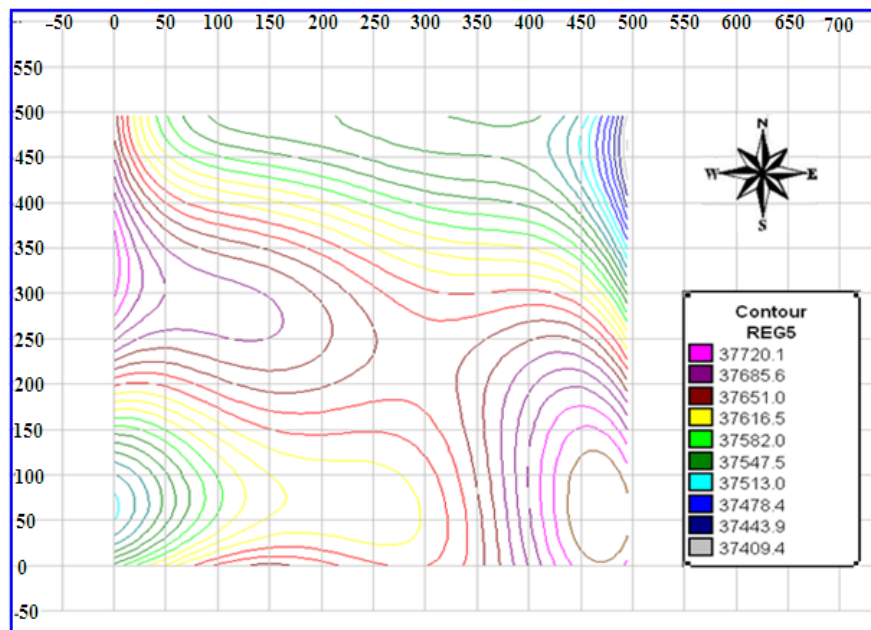
نقشه شدت قائم مغناطیسی در نرم افزار ModelVison pro با استفاده از روش روند سطحی در هفت روند ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ مورد تفکیک قرار گرفت که از میان نقشه‌های حاصل، نقشه‌های آنومالی ناحیه‌ای و باقی‌مانده روند ۵ با استفاده از آزمون آماری F [Sarma& selvaraj, ۱۹۹۰] و مقایسه با نقشه‌های حاصل از ۶ روند دیگر و با توجه به شواهد و رخنمون‌های زمین‌شناسی منطقه جهت تعبیر و تفسیر انتخاب شدند (شکل‌های ۴-۳ و ۴-۴).

با بررسی نقشه آنومالی باقی‌مانده روند ۵ شکل (۴-۳) تعدادی آنومالی (A، B و C) در ناحیه مورد مطالعه به چشم می‌خورد که تمامی آن‌ها دارای روند شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشند. شکل ۴-۴ نقشه آنومالی ناحیه‌ای منطقه را که مربوط به روند سطحی مرتبه ۵ می‌باشد، نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴: نقشه آنومالی باقی مانده مغناطیسی روش روند سطحی مرتبه ۵ همراه با آنومالی های A، B و C (بر

حسب نانو تسلا)



شکل ۴-۴: نقشه آنومالی ناحیه ای مغناطیسی روش روند سطحی مرتبه ۵ (بر حسب نانو تسلا)

نقشه آنومالی ناحیه‌ای مغناطیسی (شکل ۴-۴) بیشتر منعکس کننده اثرات مغناطیسی مربوط به سنگ‌های آذرین نفوذی بوده که در اعماق زیاد واقع شده‌اند. در این نقشه اثرات مربوط به توده‌های معدنی سطحی حذف شده‌اند.

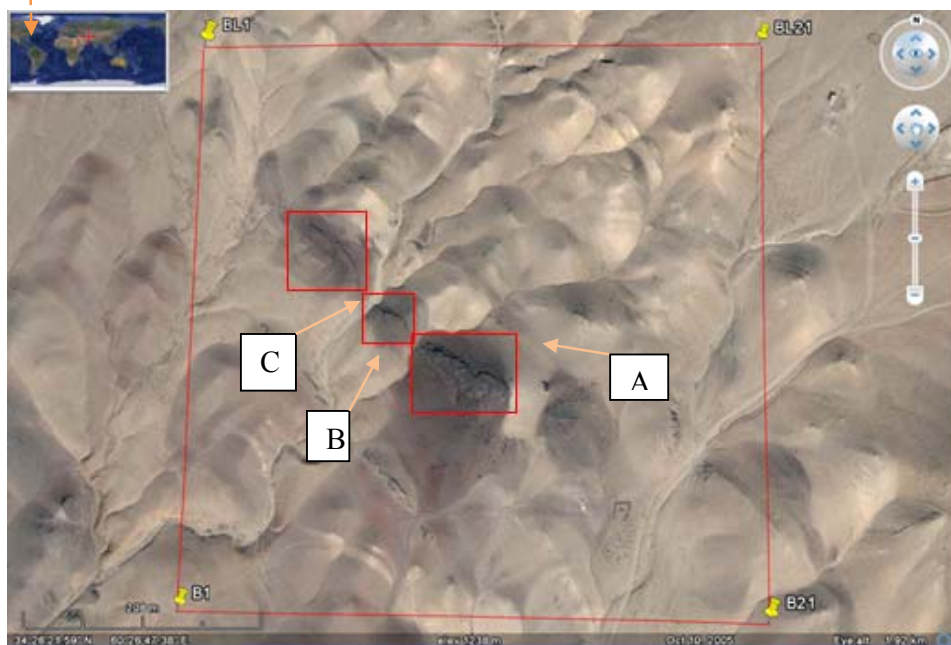
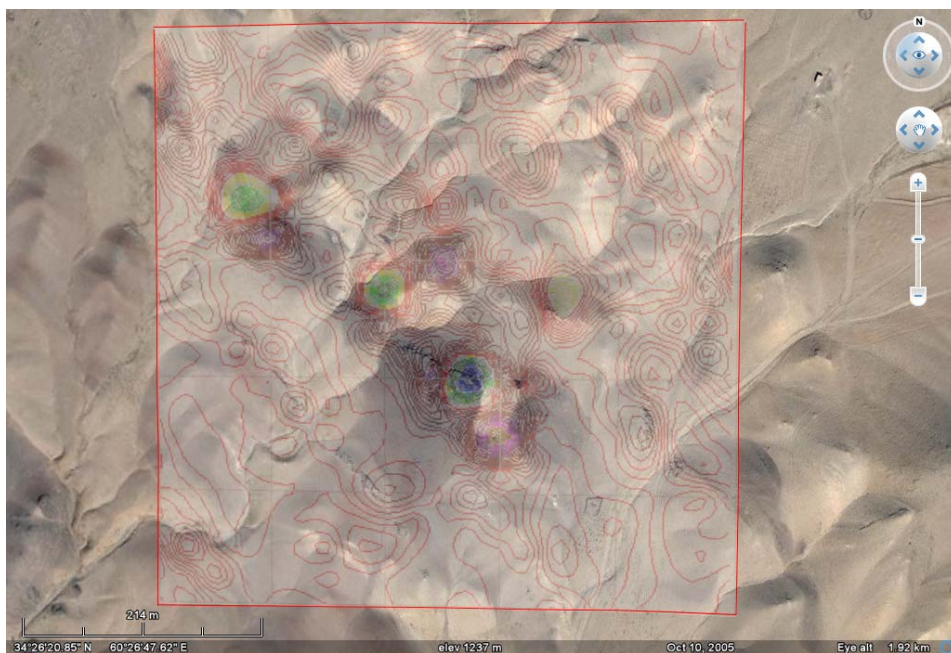
در شکل ۴-۵ نقشه آنومالی باقی‌مانده روند ۵ مغناطیسی بر روی عکس ماهواره‌ای منطقه (www.GoogleEarth.com) آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تطابق نسبتاً خوبی بین رخنمون‌های آهن‌دار منطقه و آنومالی‌های مغناطیسی وجود دارد.

۴-۴-۴- روش مشتق دوم قائم

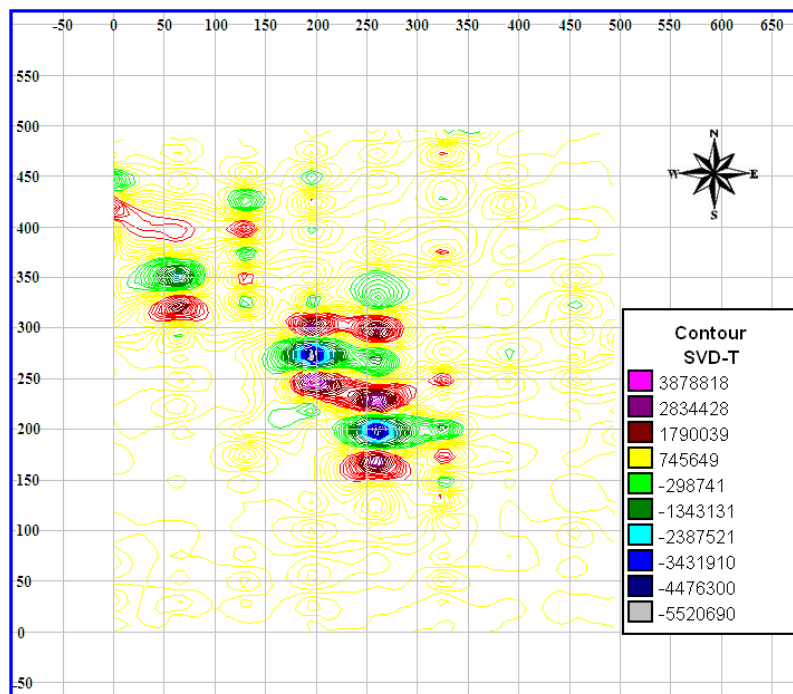
روش مشتق دوم قائم توسط نرم افزار Modelvison Pro در دو حوزه زمان و فرکانس بر روی نقشه شدت قائم مغناطیس اعمال و نقشه‌های حاصل رسم گردید.

در نقشه‌های حاصل از این دو روش در دو حوزه زمان (شکل ۴-۶) و فرکانس اثرات ناحیه‌ای بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و شدت مغناطیسی باقی‌مانده مربوط به توده‌های سطحی است.

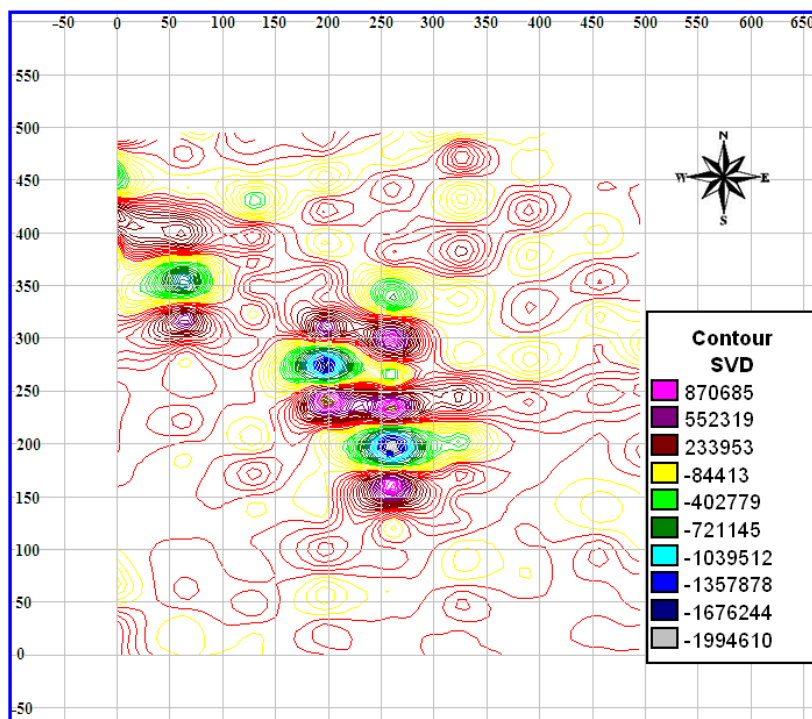
در نقشه مشتق دوم قائم در حوزه فرکانس (شکل ۴-۷) نیز آنومالی‌های مشخص شده در نقشه مشتق دوم قائم در حوزه زمان قابل مشاهده می‌باشند با این تفاوت که شکل‌ها نسبت به آنومالی‌های مشخص شده در نقشه مشتق در حوزه زمان کمی تغییر کرده است. بایستی متذکر شد که آنومالی‌های مشخص شده بر روی نقشه‌های حاصل از روش مشتق نسبت به آنومالی‌های مشخص شده در روش روند سطحی (شکل ۴-۳) مقداری تغییر و جابجایی دارند. این مطلب ناشی از افزایش نویز در روش مشتق قائم می‌باشد.



شکل ۴-۵: نقشه تلفیقی آنومالی باقی مانده مغناطیسی روند ۵ و عکس ماهواره‌ای منطقه



شکل ۴-۶: نقشه مشتق دوم قائم داده‌های مغناطیسی منطقه در حوضه زمان (بر حسب نانو تسلا)



شکل ۴-۷: نقشه مشتق دوم قائم داده‌های مغناطیسی منطقه در حوزه فرکانس (بر حسب نانو تسلا)

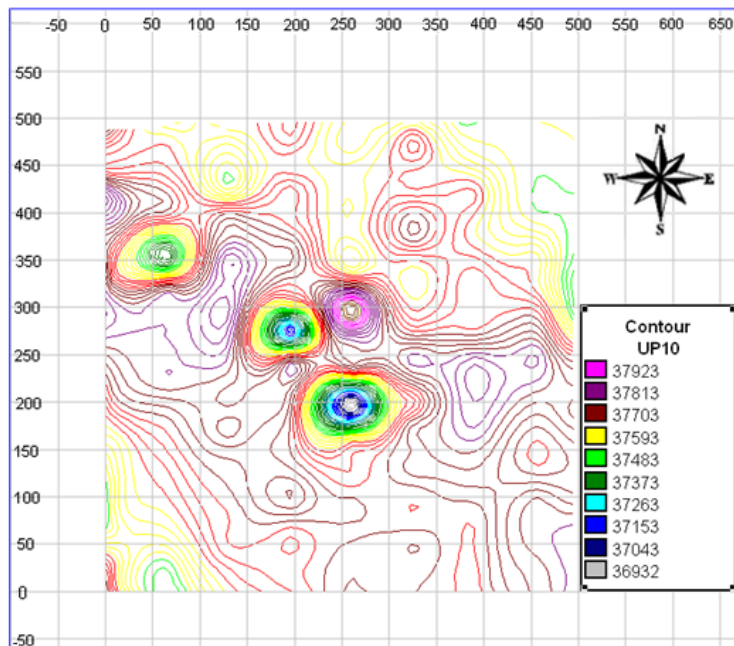
۴-۴-۵- روش گسترش به سمت بالا

در این روش داده‌های میدان پتانسیل از یک سطح مبنا به طریق ریاضی بر روی سطوح تراز در بالای سطح مبنای اصلی تصویر می‌شوند. بدین ترتیب تأثیرات سطحی حذف شده و تأثیرات عمیق به وضوح مشخص می‌شوند. به عبارت دیگر این روش آنومالی‌های با طول موج کوتاه‌تر را حذف کرده و دامنه آنومالی‌ها را تضعیف و نویز را کاهش می‌دهد. بنابراین، این روش مانند یک فیلتر پایین‌گذر عمل می‌کند [Reynolds, ۱۹۹۷]. در نقشه‌های گسترش به سمت بالا هر چه از سطح زمین دور شویم آنومالی‌های کوچک با طول موج کوتاه ضعیف‌تر شده و در نتیجه فقط آنومالی‌های ناحیه‌ای با طول موج بلند باقی خواهند ماند.

روش گسترش به سمت بالا با هفت ارتفاع ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۷۰، ۵۰ و ۱۲۰ متر بر روی نقشه شدت مغناطیسی اعمال و نقشه مربوط به هر یک از آنها رسم گردید (شکل‌های ۴-۸ تا ۴-۱۴).

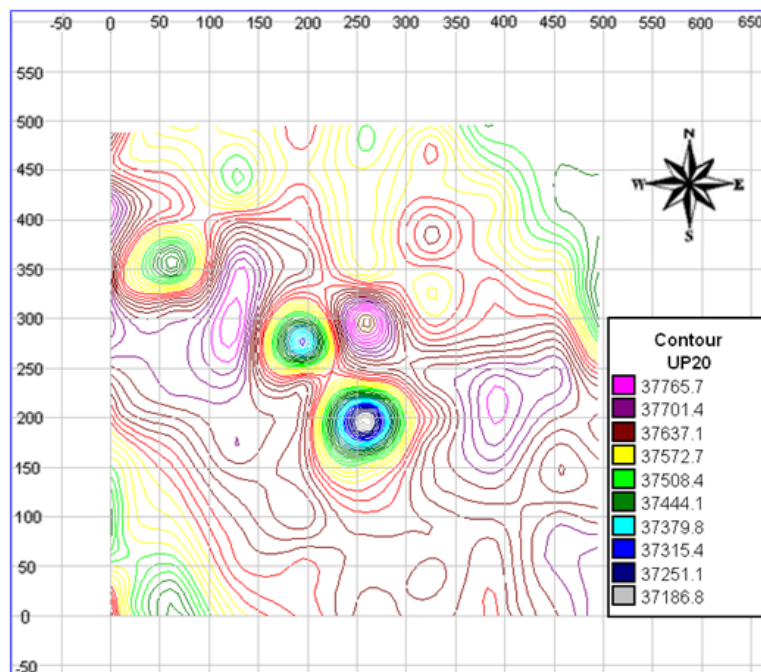
نقشه‌های گسترش به سمت بالا در هفت ارتفاع اعمال شده از یک روند خاصی تبعیت می‌کنند. تمامی این نقشه‌ها همانند نقشه روند سطحی مرتبه ۵ نشان دهنده آنومالی‌های مشخصی در جهت - شمال غربی - جنوب شرقی در منطقه می‌باشند.

با بررسی هفت نقشه مذکور مشخص می‌شود که با افزایش ارتفاع گسترش، منحنی‌های تراز هموارتر می‌شوند تا اینکه در ارتفاع ۱۲۰ متر بطور تقریبی دیگر اثری از آنومالی‌های محلی در نقشه گسترش به سمت بالا دیده نمی‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان گفت که آنومالی‌های فوق‌الذکر مربوط به توده‌های سطحی بوده که عمق این توده‌ها خیلی کمتر از ۱۲۰ متر می‌باشد.



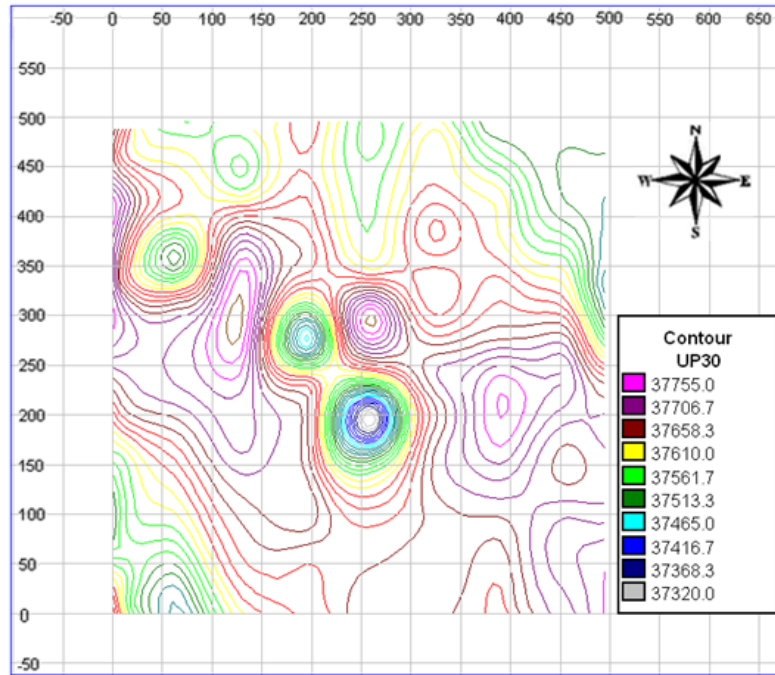
شکل ۴-۸: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۱۰ متر (بر حسب نانو

تسلا)



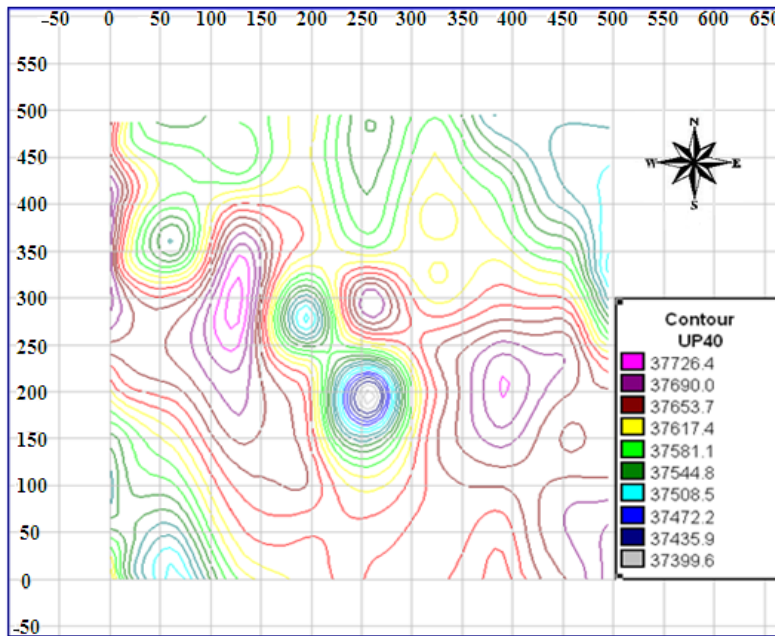
شکل ۴-۹: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۲۰ متر (بر حسب نانو

تسلا)

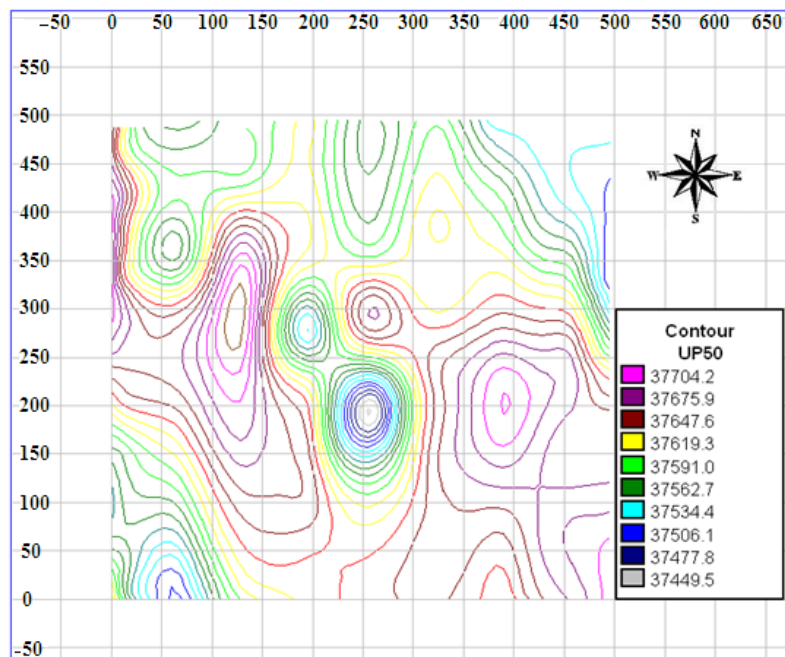


شکل ۴-۱۰: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۳۰ متر (بر حسب نانو

تسلا)

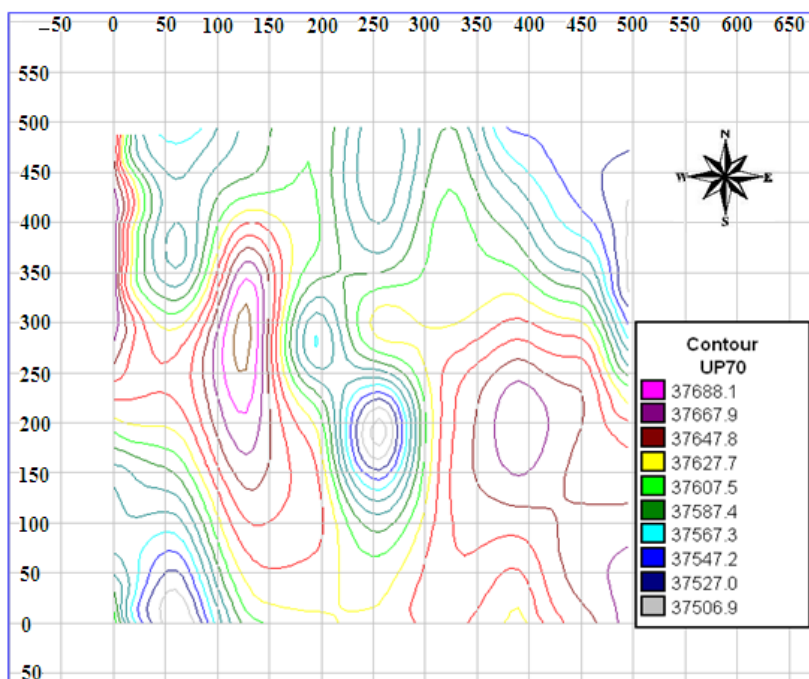


شکل ۴-۱۱: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۴۰ متر



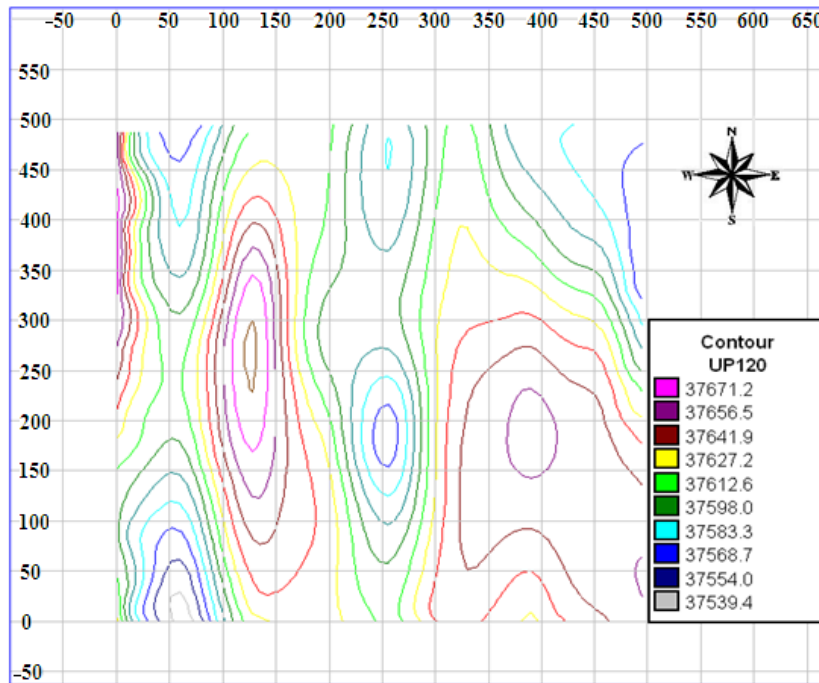
شکل ۴-۱۲: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۵۰ متر (بر حسب نانو

تسلا)



شکل ۴-۱۳: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۷۰ متر (بر حسب نانو

تسلا)



شکل ۴-۱۴: نقشه گسترش به سمت بالای داده‌های مغناطیسی منطقه با ارتفاع ۱۲۰ متر (بر حسب نانو

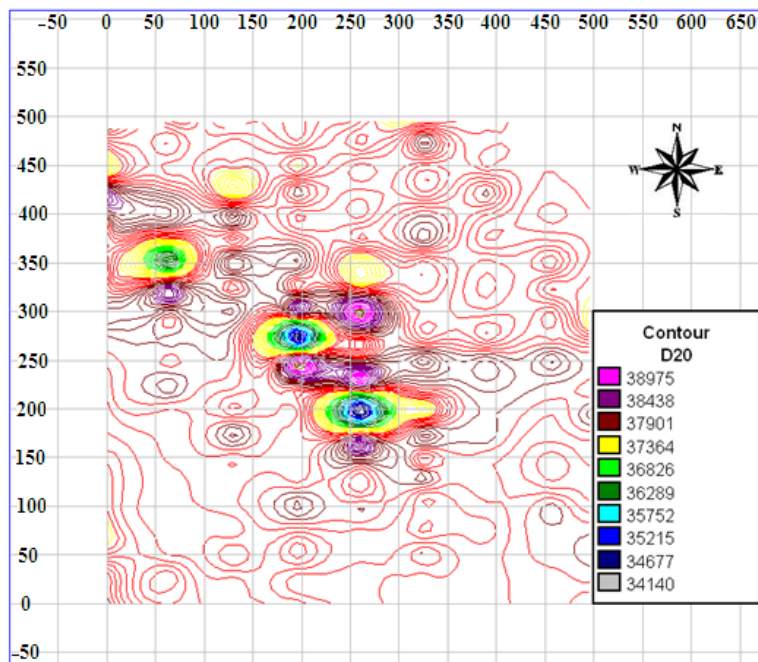
تسلا)

۴-۴-۶- روش گسترش به سمت پایین

در نرم افزار ModelVision pro روش گسترش به سمت پایین با سه عمق ۲۰، ۳۰، و ۵۰ متر بر روی نقشه شدت قائم مغناطیس اعمال گردید.

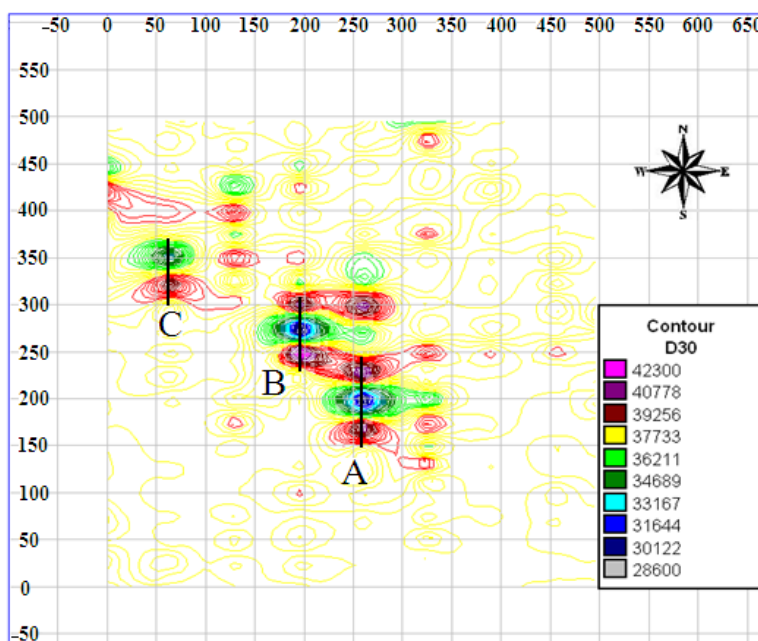
در نقشه گسترش به سمت پایین، هر دو آنومالی‌های سطحی و اثرات منطقه‌ای دیده می‌شوند. با نزدیک شدن به عمق تقریبی توده‌های آهن‌دار، اثرات مغناطیسی مربوط به این توده‌ها به طور بارز دیده می‌شود (شکل ۴-۱۶). با گذر از عمق این توده‌ها اغتشاشات و نویزهایی در نقشه گسترش به سمت پایین (شکل ۴-۱۷) دیده می‌شود.

این نقشه‌های گسترش به سمت پایین نیز حاکی از خطی بودن روند کانی‌سازی در امتداد دایک‌های منطقه است.



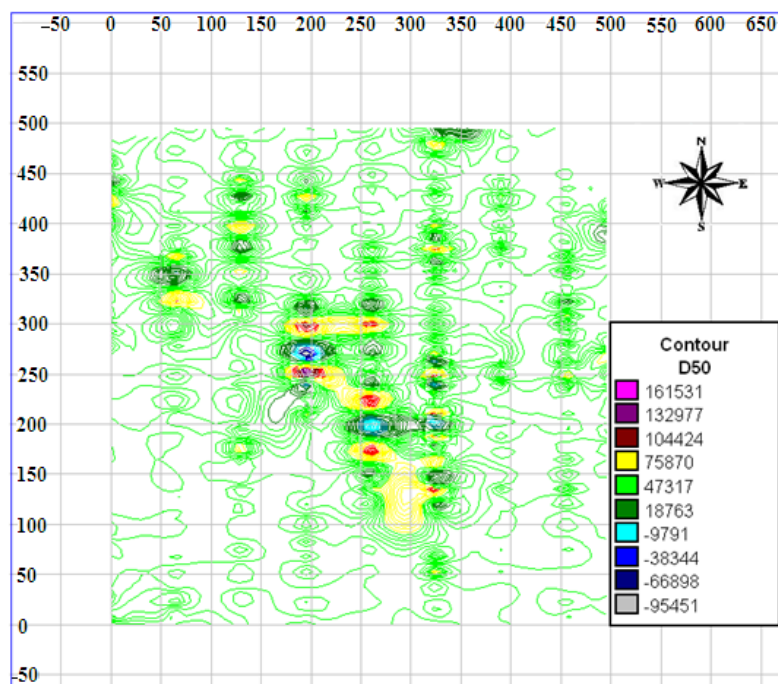
شکل ۴-۱۵: نقشه گسترش به سمت پایین داده‌های مغناطیسی منطقه با عمق ۲۰ متر (بر حسب نانو

تسلا)



شکل ۴-۱۶: نقشه گسترش به سمت پایین داده‌های مغناطیسی منطقه با عمق ۳۰ متر (بر حسب نانو

تسلا)



شکل ۴-۱۷: نقشه گسترش به سمت پایین داده‌های مغناطیسی با عمق ۵۰ متر (بر حسب نانو تسلا)

نتایج حاصل از سه نقشه مذکور تا حدودی نتایج به دست آمده از روش‌های قبلی را تایید می‌کنند. به عنوان مثال آنومالی‌های A، B و C نشان داده شده در نقشه گسترش به سمت پایین مغناطیسی با عمق ۳۰ متر (شکل ۴-۱۶) به ترتیب بر آنومالی‌های A، B و C نقشه آنومالی باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۵ مغناطیسی تقریباً هم‌پوشانی دارند. نتایج حاصل از این روش حاکی از سطحی بودن توده‌های آهن‌دار می‌باشد.

۴-۴-۷- مقایسه روش های تفکیک آنومالی‌ها

اگر روش‌هایی که تا به حال به کار گرفته شدند را با هم بررسی کنیم، ملاحظه می‌شود که این روش‌ها در تفکیک آنومالی‌ها تا حد قابل قبولی موفق بوده و نتایج آنها با هم تطابق خوبی دارند. یکی از مهمترین روش‌هایی که در تفکیک آنومالی‌های مغناطیسی این ناحیه مورد استفاده قرار گرفت، روش روند سطحی بود. این روش از تک تک اطلاعات به منظور تفکیک آنومالی‌های سطحی و عمقی

استفاده می‌نماید. در این روش بدون این که تغییری در دامنه و شکل آنومالی‌ها ایجاد شود، تاثیرات سطحی از تاثیرات ناحیه‌ای تفکیک گشته‌اند. اما در دیگر روش‌های یاد شده به دلیل افزایش نویز تفکیک آنومالی‌ها به طور کامل انجام نگرفته و آنومالی‌های سطحی با تغییر شکل و جابجایی نشان داده شده‌اند [آگاه، ۱۳۸۳]، لذا خطای محاسبات به مراتب خیلی کمتر از دیگر روش‌های یاد شده است.

از طرف دیگر هر یک از روش‌های فوق با توجه به منطق و ریاضیات حاکم بر آن نتیجه‌ای خاص می‌دهد. بنابراین نباید انتظار داشت که روش‌های مذکور نتایج کاملاً یکسانی را نشان دهند. با توجه به مطالب گفته شده در بالا می‌توان نتیجه گرفت که در عمل بایستی آنومالی‌ها با چند روش مورد تفکیک قرار گیرند سپس با مقایسه نتایج، بهترین آنها انتخاب و تفسیر گردند.

با مقایسه محل و نوع منبع مولد آنومالی‌های موجود در منطقه، مرحله تفسیر کیفی پایان می‌پذیرد. در کل، نتایج حاصل از مرحله تفکیک آنومالی‌های مغناطیسی با روش‌های مختلف نشان می‌دهند که آنومالی‌های مشخص شده در نقشه‌های باقی‌مانده مربوط به توده‌های نفوذی، سطحی می‌باشند که حداکثر عمق آنها نمی‌تواند از ۷۰ تا ۱۰۰ متر بیشتر باشد. برای تأیید این مطلب و تعیین پارامترهای هندسی و فیزیکی منابع مولد آنومالی‌ها، نیاز به مدل‌سازی و تفسیر کمی می‌باشد. بنابراین در قسمت بعدی به شرح مدل‌سازی‌های انجام شده و در نهایت تفسیر نتایج آنها خواهیم پرداخت.

۴-۵- مدل‌سازی و تفسیر کمی آنومالی‌ها

۴-۵-۱- مقدمه

از آنجایی که نقشه‌های حاصل از مرحله تفکیک آنومالی‌ها هیچ گونه اطلاعاتی را در مورد پارامترهای هندسی (نظیر عمق، شیب، شکل و...) و فیزیکی (مثل خود پذیری مغناطیسی) ساختمان‌های به دست آمده فراهم نمی‌سازند، لذا جهت تعیین این پارامترها باید بر روی توده‌های مورد نظر مدل‌سازی

انجام گردد. با توجه به این که به نظر می‌رسد نقشه آنومالی باقی‌مانده روند ۵ بهترین نتیجه را نشان داده است، فلذا جهت انجام مدل سازی آنومالی های موجود در منطقه انتخاب می‌گردد.

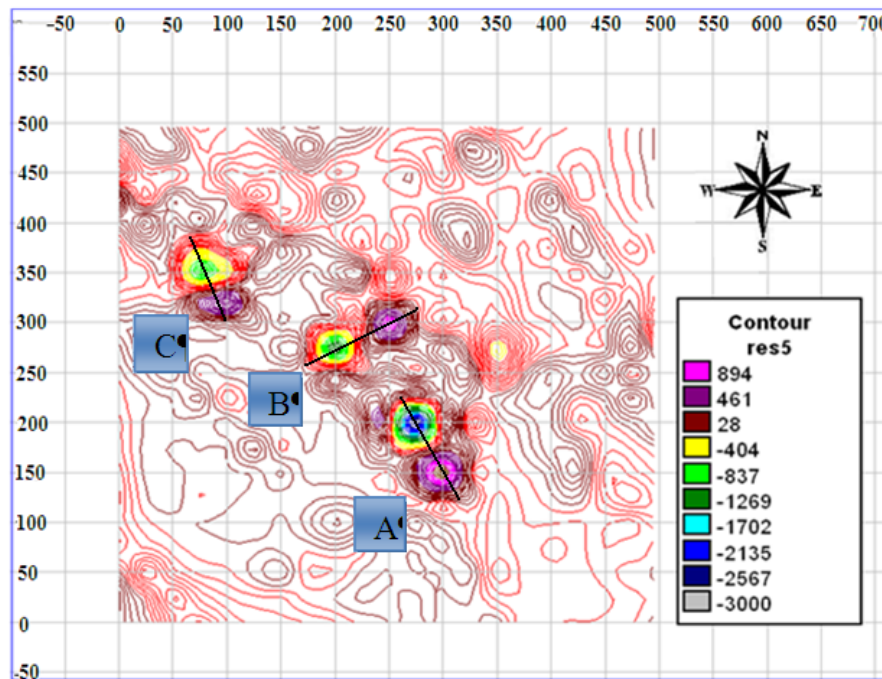
اگر چه آنومالی‌های مشاهده شده در نقشه آنومالی باقی‌مانده مغناطیسی طبیعت و ساختار سه‌بعدی دارند ولی در ابتدا برای اینکه یک دید اولیه از مشخصات هر یک از منابع بوجود آورنده آنومالی‌ها در دست داشته باشیم مدل‌سازی دو بعدی را بصورت جداگانه روی هر یک از آن‌ها انجام می‌دهیم و بعد از آن همه آنومالی‌ها همزمان بصورت سه‌بعدی مدل می‌شوند و در نهایت این نتایج با هم مقایسه خواهند شد [طیبی، ۱۳۸۵].

۴-۵-۲- مدل سازی دوبعدی

برای این منظور ۳ پروفیل در راستای محور دوقطبی‌های A، B و C مشخص شده در نقشه آنومالی باقی‌مانده روند ۵ مغناطیس رسم گردید (شکل ۴-۱۸). در ابتدا، برای مدل‌سازی دو بعدی بر روی یک پروفیل، مقطع عرضی آن رسم و مقدار $2/7$ و $5/2$ گرم بر سانتیمتر مکعب به ترتیب برای دانسیته زمینه و توده مغناطیسی فرضی در نظر گرفته شد. همچنین در مورد آنومالی‌های مختلف مقدار خودپذیری مغناطیسی مربوط به همان محل، که در آزمایشگاه اندازه گیری شده، برای مدل فرضی در نظر گرفته شد و مقدار خودپذیری مغناطیسی سنگ‌های زمینه $0/00001$ در نظر گرفته شد.

سپس یک پلیگون به عنوان مدل اولیه بر روی مقطع عرضی آن پروفیل رسم و جواب حاصل از آن به وسیله مدل‌سازی پیشرو محاسبه گردید. لازم به توضیح است که شکل پلیگون مذکور با توجه به شواهد زمین‌شناسی و رخنمون‌های موجود و دوقطبی بودن آنومالی‌ها به صورت یک دایک تقریباً شبیدار انتخاب گردید. در مرحله بعد، با بررسی خطای حاصل از این مدل فرضی، مشخص گردید که خطای مدل‌سازی بیشتر از خطای هدف (که در اینجا ۲ انتخاب شده است) می‌باشد. لذا جهت انطباق منحنی‌های مقادیر

اندازه‌گیری شده و محاسبه شده از مدل‌سازی و کاهش خطا، مدل‌سازی معکوس پارامتری انجام گردید [مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۴].

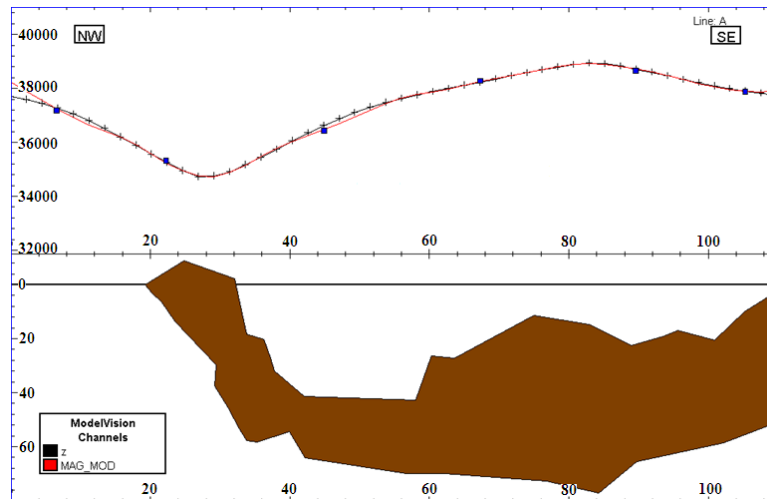


شکل ۴-۱۸: نقشه آنومالی باقی‌مانده مغناطیسی و پروفیل‌های رسم شده جهت انجام مدل‌سازی دو بعدی (بر حسب نانو تسلا)

بدین منظور ابتدا در جعبه مدل‌سازی معکوس پارامترهای هندسی (از جمله عمق مدل و...) و فیزیکی (از جمله دانسیته و خودپذیری مغناطیسی و...) پلیگون مورد نظر، یک به یک آزاد گذاشته شد و با عملیات تکرار (۲۰ تکرار) جواب حاصل از پلیگون محاسبه گردید. این عملیات تکرار شد تا اینکه خطای مدل‌سازی به کمتر یا مساوی خطای هدف رسید و منحنی‌های پاسخ مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده بر هم برازش نمودند. شکل ۴-۱۹ نتایج مدل‌سازی بر روی آنومالی A را نشان می‌دهد.

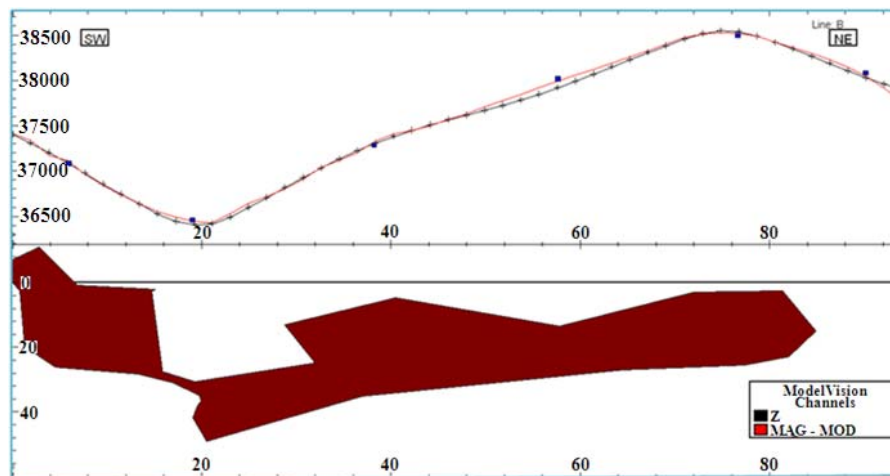
در این مدل مشاهده می‌شود که نتایج با رخنمون‌ها و شواهد زمین‌شناسی منطقه انطباق تقریباً خوبی دارد و سعی شده است که مدل اولیه با توجه به شکل رخنمون انتخاب گردد. همچنین این مدل نشان می‌دهد که از گسترش عمقی بیشتری نسبت به دو مدل دیگر برخوردار است و حداکثر عمق ماده

معدنی کمتر از ۷۰ متر می باشد. لازم بذکر است در سه شکل ۱۹-۴، ۲۰-۴ و ۲۱-۴ نقاط مشکی رنگ، داده های اندازه گیری شده و منحنی قرمز رنگ منحنی پاسخ مدل از داده های محاسبه ای می باشد.



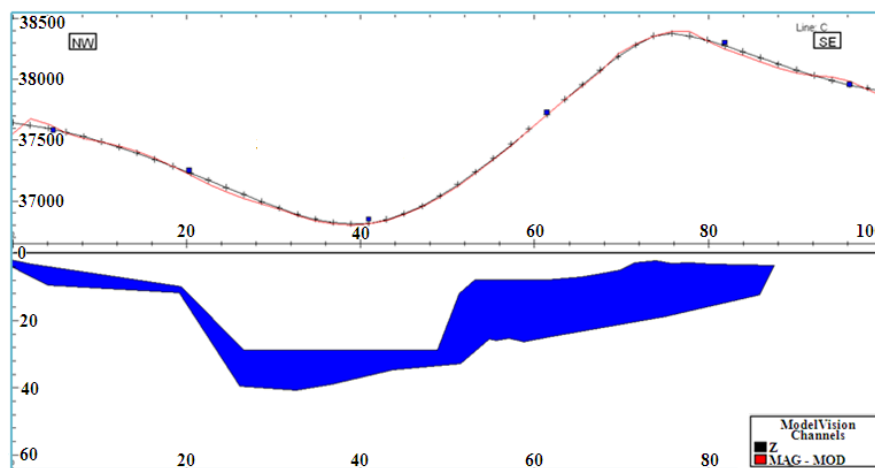
شکل ۱۹-۴: مدل دو بعدی آنومالی A با خطای $RMS= 1/983$.

در مدل دوبعدی مربوط به آنومالی B (شکل ۲۰-۴) مشاهده می شود که ماده معدنی، زیاد گسترش عمقی ندارد و یک رخنمون هم در قسمت جنوب غربی آن دیده می شود.



شکل ۲۰-۴: مدل دو بعدی آنومالی B با خطای $RMS= 1/735$.

نتایج حاصل از مدل‌سازی دوبعدی پروفیل C (شکل ۴-۲۱) نیز با رخنمون‌های منطقه مورد مطالعه تطابق نسبتاً خوبی دارد. نتایج مدل‌سازی روی آنومالی C گواه بر وجود ماده معدنی در عمق کمتر از ۴۰ متر می‌باشد. لازم به ذکر است که در هر سه مورد آنومالی یاد شده نتایج با رخنمون‌های منطقه و همچنین عکس ماهواره‌ای GOOGLE EARTH مربوطه چک شده است.



شکل ۴-۲۱: مدل دوبعدی آنومالی C با خطای $RMS= 1/560$.

در جدول ۲-۴ نتایج حاصل از مدل‌سازی دوبعدی تمام پروفیل‌ها آورده شده است. با توجه به نتایج این جدول، عمق به دست آمده از مدل‌سازی نشان دهنده تشکیل کانسار در نزدیکی سطح زمین می‌باشد که تا حد قابل قبولی با تفسیرهایی که در مرحله تفکیک آنومالی‌ها انجام شد تطابق دارد.

جدول ۴-۲: نتایج حاصل از مدل سازی دو بعدی تمام پروفیل‌ها.

نام آنومالی	A	B	C
خطای مدل‌سازی (RMS)	۱/۹۸۳	۱/۷۳۵	۱/۵۶۰
دانسیتته بر حسب gr/cm ^۳	۵/۱	۵/۱	۵/۱
خود پذیری مغناطیسی	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱۲۱۴	۰/۰۰۷۴۳۴
آزیموت	۶۱/۴	-۲۵.۳	۵۷
پلانژ	۵/۱	۱۱.۸	-۷/۲
X	۲۸۷/۲	۲۱۸/۶	۹۱
Y	۱۷۱/۷	۲۸۵/۴	۳۳۷/۷
Z	۴۲	۲۴	۲۵
طول پروفیل	۱۱۰	۹۶	۱۰۰

۴-۵-۳- مدل سازی سه بعدی

جهت تایید مدل‌سازی‌های دو بعدی انجام شده در قسمت قبل و بررسی وضعیت گسترش سه بعدی

توده‌ها، مدل‌سازی سه بعدی بر روی نقشه آنومالی باقی‌مانده مغناطیسی منطقه انجام گردید.

مدل سازی سه بعدی بر خلاف مدل‌سازی دوبعدی، بر روی تمام پروفیل‌های انتخابی روی نقشه

باقی‌مانده به طور همزمان انجام گردید. در این جا برای شروع مدل‌سازی ابتدا مقدار ۲/۷ و ۵/۱ گرم بر

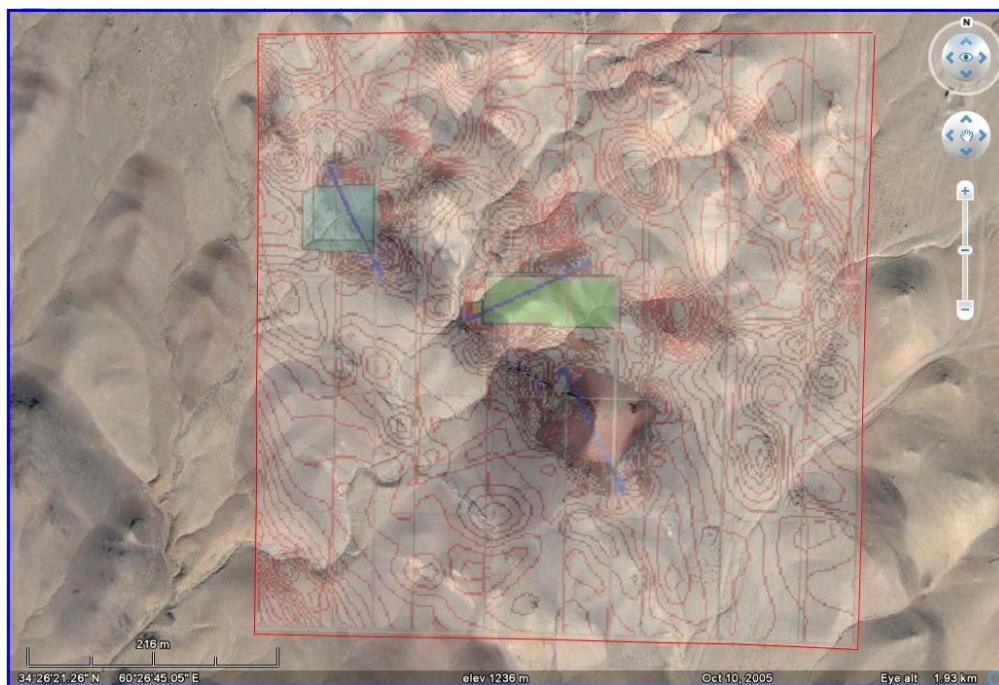
سانتیمتر مکعب به ترتیب برای دانسیته زمینه و پلیگون‌ها و همچنین مقدار خودپذیری مغناطیسی

۰/۰۰۱۲ به عنوان فرض اولیه برای آنومالی در نظر گرفته شد. سپس بر روی تمام آنومالی‌های موجود

در نقشه آنومالی

باقی مانده مغناطیسی یک پلیگون رسم و پاسخ آنها با مدل سازی پیشرو سه بعدی محاسبه گردید (شکل ۴-۲۴).

پس از بررسی خطای مدل سازی مشخص گردید که این خطا از خطای هدف (که در اینجا ۴ انتخاب شده است) بیشتر است. لذا در مرحله بعد به منظور انطباق پاسخ مدل و داده های اندازه گیری شده و کاهش خطا از مدل سازی معکوس پارامتری استفاده گردید. مدل سازی معکوس سه بعدی نیز همانند مدل سازی معکوس دو بعدی با انتخاب پارامترهای آزاد و عملیات تکرار (با ۲۰ تکرار) انجام گرفت [مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۴]. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد پس از رسیدن خطای مدل سازی به کمتر یا مساوی خطای هدف، مدل سازی پایان می پذیرد. پس از چند مرحله تکرار عملیات مدل سازی، خطای آن به ۳/۷۷۷ رسید که در مقایسه با خطای هدف تعیین شده قابل قبول می باشد. نتایج حاصل از مدل سازی سه بعدی در جدول ۴-۳ آورده شده است.



شکل ۴-۲۲: مدل سازی سه بعدی بر روی نقشه آنومالی باقی مانده روند ۵ مغناطیسی منطقه با خطای $RMS= 3/777$.

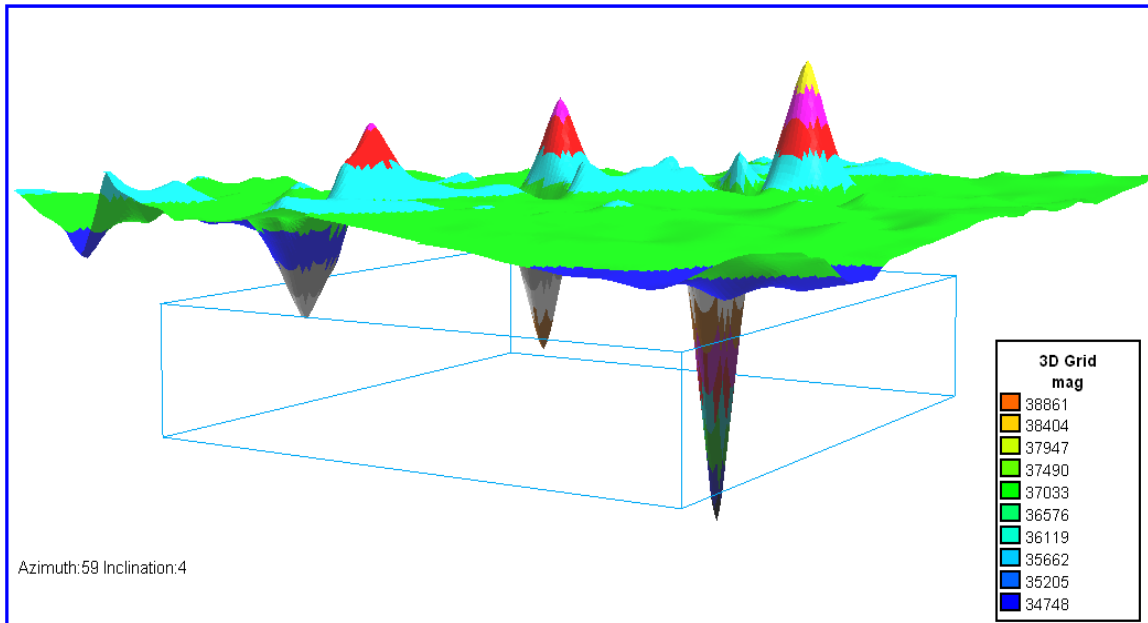
جدول ۴-۳: نتایج حاصل از مدل‌سازی سه بعدی تمام پروفیل‌ها

نام آنومالی	حجم (m ^۳)	طول (مرکز آنومالی)	عرض (مرکز آنومالی)	عمق (متر)	خودپذیری مغناطیسی
A	۳۶۶۷۰۷	۲۶۵۰۳۳	۳۸۱۳۵۰۹	۴۵	۰/۰۱۵۲۳
B	۲۳۶۸۰۰	۲۶۴۹۷۷	۳۸۱۳۶۲۵	۳۹	۰/۰۰۷۲
C	۱۰۴۰۴۱	۲۶۴۸۳۴	۳۸۱۳۶۹۰	۳۰	۰/۰۰۲۹۹۷

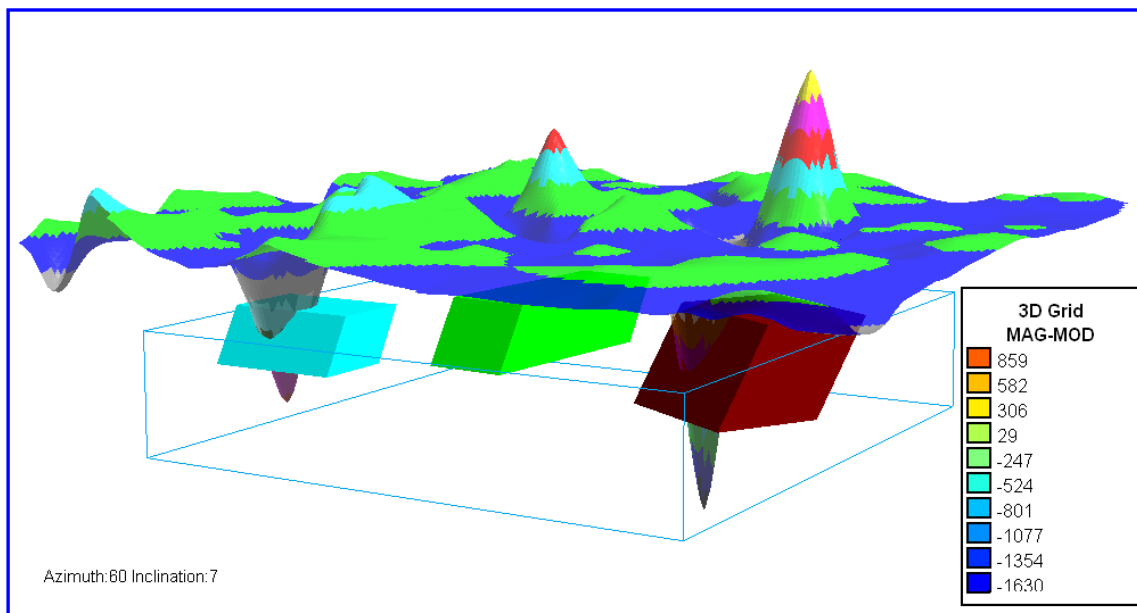
با مقایسه نتایج جدول ۴-۲ که مربوط به مدل‌سازی دو بعدی بوده و جدول ۴-۳ که مربوط به مدل‌سازی سه بعدی می‌باشد، می‌توان دریافت که اعماق پیش‌بینی شده توسط دو روش از انطباق قابل قبولی برخوردارند. همچنین بر اساس این دو جدول، آنومالی A دارای ضریب قابلیت مغناطیسی اندکی بیشتر از دو آنومالی دیگر است که دلیل آن همراهی مقداری کانی مگنتیت با این آنومالی می‌باشد. مشاهدات زمین‌شناسی و مطالعات میکروسکوپی مقاطع تهیه شده نیز این مطلب را تا حدودی تایید می‌نمایند.

شکل‌های ۴-۲۳ و ۴-۲۴ به ترتیب نمای سه بعدی داده‌های اندازه‌گیری شده و نمای سه بعدی از پاسخ مدل سه بعدی به همراه مدل‌های بدست آمده از آن‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این دو شکل ملاحظه می‌شود مقادیر به دست آمده از مدل‌سازی در انطباق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشند. لذا با توجه به این موضوع نتیجه گرفته می‌شود که مدل‌سازی سه بعدی تا حد قابل قبولی توانسته است خصوصیات منابع مولد آنومالی را بازسازی نماید.

حال برای شناسایی هر چه بیشتر این آنومالی‌ها از نظر سطحی و عمقی مطالعات بیشتر ژئوفیزیکی به کمک روش مقاومت ویژه بر روی آن‌ها صورت خواهد گرفت که در فصل بعد درباره آن بحث خواهد شد.



شکل ۴-۲۳: نمای سه بعدی داده‌های اندازه‌گیری شده



شکل ۴-۲۴: نمای سه بعدی از پاسخ مدل سه بعدی به همراه مدل‌های بدست آمده

فصل پنچ

روش مقاومت ویژه

۵-۱- مقدمه

عبور جریان‌های الکتریکی از درون زمین آثاری را بوجود می‌آورند که هدف کاوش‌های الکتریکی آشکارسازی این آثار است. جریان می‌تواند در اثر عوامل طبیعی درون زمین جاری شود و یا اینکه به طور مصنوعی به درون زمین فرستاده شود. عبور جریان از درون زمین در اثر عوامل طبیعی می‌تواند در نتیجه واکنش‌های اکسیداسیون و احیا، یا تغییرات یونسفری میدان مغناطیسی در اثر طوفان‌های مغناطیسی خورشید باشد.

فرستادن جریان به شکل مصنوعی به درون زمین می‌تواند به صورت تزریق مستقیم جریان یا به کمک القای الکترومغناطیسی صورت گیرد. کاوش‌هایی که به وسیله تزریق جریان با الکتروود صورت می‌گیرند، کاوش‌های جریان مستقیم یا DC نامیده می‌شوند. در این روش‌ها برای از بین بردن اثر نوفه‌ها (که سیگنال‌های ناخواسته می‌باشد)، جهت جریان در بازه‌های زمانی معینی مرتباً عوض می‌شود. گاهی این روش را کاوش‌های گالوانیک نیز می‌نامند. روش‌هایی که در آنها جریان به صورت القای مغناطیسی شارش می‌یابد، که اصطلاحاً کاوش‌های الکترومغناطیسی یا EM نامیده می‌شوند. [Telford et al, ۱۹۹۰].

۵-۲- طبقه بندی روش‌های الکتریکی

بر اساس نوع چشمه انرژی مورد استفاده، روش‌های الکتریکی را می‌توان به دو دسته روش‌های چشمه طبیعی و روش‌های چشمه مصنوعی تقسیم کرد. روش دیگر، تقسیم بندی بر اساس حوزه^۱ بکاررفته است. بر این اساس دو دسته روش وجود دارد که عبارت است از روش‌های زمان حوزه‌ای، و روش‌های فرکانس حوزه‌ای. مثلاً روش SP یک روش زمان حوزه‌ای است و روش‌های مقاومت ویژه، VLF، GPR، MT، و CSMT فرکانس حوزه‌ای می‌باشند. اندازه‌گیری برخی از روش‌ها نظیر IP و EM را می‌توان در هر دو حوزه انجام داد [Telford et al, ۱۹۹۰].

^۱ Domain

۵-۳- رسانندگی

وقتی یک پتانسیل الکتریکی به ماده‌ای اعمال می‌شود، توانایی آن ماده برای عبور دادن جریان از خود را رسانایی می‌گویند. وارون رسانایی، مقاومت ویژه نامیده می‌شود. برای یک استوانه صلب به طول L و سطح مقطع A ، اگر مقاومت الکتریکی بین دو انتهای استوانه R باشد، مقاومت ویژه الکتریکی (ρ) استوانه چنین تعریف می‌شود:

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (1-5)$$

اگر L برحسب متر، A برحسب متر مربع و R برحسب اهم باشد، یکای ρ ، اهم-متر (Ωm) خواهد بود.

طبق قانون اهم، مقاومت الکتریکی را می‌توان برحسب ولتاژ دو سر استوانه و جریانی که از آن عبور می‌کند نوشت:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2-5)$$

که در آن، R برحسب اهم، V برحسب ولت و I برحسب آمپر است.

با جایگذاری رابطه (۲-۵) در (۱-۵) رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\rho = \frac{V}{I} \frac{A}{L} = \frac{V/L}{I/A} = \frac{E}{j} \quad (3-5)$$

که در آن، E شدت میدان الکتریکی، و j چگالی جریان الکتریکی است. با توجه به اینکه رسانایی (σ) عکس مقاومت است داریم:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{j}{E} \quad (4-5)$$

تفاوتی اساسی بین مقاومت ویژه و رسانایی وجود دارد. مقاومت، کمیتی است که با شارش بار در مواد مخالفت می‌کند، حال آنکه رسانندگی الکتریکی عبارت است از تحرک شار حاملان بار.

گرچه مفهوم رسانندگی از نظر فیزیکی شاید بنیادی‌تر از مقاومت به نظر آید، ولی در ژئوفیزیک اکتشافی از لحاظ سازگاری ابعادی و سابقه تاریخی کاربرد مقاومت ویژه، بیشتر به مقاومت ویژه اشاره می‌شود تا رسانایی. زیرا روش مقاومت ویژه معمولاً در فرکانس‌های پایین انجام می‌شود. در پدیده‌های الکتریکی فرکانس بالاتر که پیچیده‌تر هستند، معمولاً با مفهوم رسانایی سر و کار داریم.

با توجه به رابطه (۱-۵) و (۲-۵) و شکل ۱-۵ رابطه زیر را می‌توان بازنویسی نمود

$$\rho_a = K V_{MN} / I$$

(۵-۵)

که در آن:

ρ_a = مقاومت ویژه ظاهری،

V_{MN} = اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود پتانسیل،

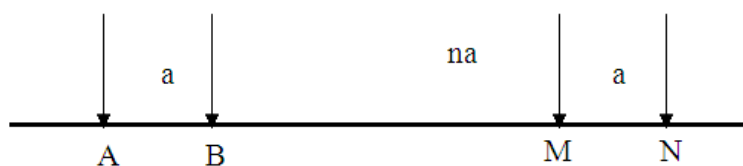
I = شدت جریان ارسالی به درون زمین

K = فاکتور هندسی مربوط به آرایش الکتروودی که تابعی از چهار متغیر فاصله یعنی AN ، BM ، AM و BN می‌باشد.

آرایشهای الکتروودی گوناگونی برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرد و آرایش دوقطبی-دوقطبی^۱ (شکل ۱-۵) یکی از مرسوم‌ترین آنها می‌باشد که در مطالعه حاضر نیز مورد استفاده قرار گرفت. مقدار مقاومت ویژه ظاهری در این آرایش از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_{aa} = \pi n(n+1)(n+2)a \frac{\Delta V}{I} \quad (۶-۵)$$

^۱ Dipol – Dipol Array



شکل ۵-۱: آرایش دوقطبی- دوقطبی

در شکل فوق $AB=MN=a$ و $BM=na$ است که در آن $n=1, 2, \dots$ می باشد.

۵-۴- توصیف یک مقطع ژئوالکتریک

در ژئوفیزیک اکتشافی گاهی لازم است میانگینی از خواص الکتریکی، در حجم بزرگی از سنگ در نظر گرفته شود. این حجم می تواند همگن یا ناهمگن باشد. برخی از سنگ ها می توانند تا هزاران متر از مقطع خود خصوصیات تقریباً یکنواختی نشان دهند، درحالی که برخی دیگر ممکن است از لایه های متناوبی با مقاومت ویژه های متفاوت تشکیل شده باشند. مساله این است که چگونه می توان میانگینی از مقاومت ویژه یک مجموعه از سنگ های ناهمگن را تعیین کرد. مجموعه سنگ های یک مقطع می توانند یک توالی رسوبی، یا یک سنگ متراکم با توده های گسل خورده و درزدار باشند (مثل یک توده نفوذی آذرین).

در بررسی خصوصیات الکتریکی یک توالی لایه ای از سنگ ها باید به تفاوت یک "مقطع ژئوالکتریک" و یک "مقطع زمین شناسی" توجه داشت. در یک مقطع ژئوالکتریکی مرز بین لایه ها به وسیله تفاوت مقاومت ویژه بین آنها مشخص می شود، در حالی که در یک مقطع زمین شناسی برای تعیین مرز لایه ها از ترکیبی از خصوصیات زمین شناختی، نظیر معیارهای سنگ شناسی و دیرینه شناسی استفاده می شود. برخی از این معیارهای زمین شناختی، بخصوص دیرینه شناسی (فسیل ها)، ارتباطی با خواص الکتریکی سنگ ندارند، زیرا خواص الکتریکی سنگ توسط بافت و محتوی آب آن تعیین می گردد. مرزهای زمین شناسی و ژئوالکتریکی تنها هنگامی برهم منطبق می شوند که بافت سنگ ها در گذر از مرز ناگهان تغییر کند. یک واحد زمین شناسی ممکن است از چندین نوع سنگ با بافت های کاملاً

متفاوت تشکیل شده باشد. از اینرو خود این واحد زمین‌شناسی را می‌توان به چندین واحد ژئوالکتریکی تقسیم کرد. عکس این حالت نیز صادق است. یعنی ممکن است یک سازند زمین‌شناسی که از چندین واحد تشکیل شده است، تنها معادل با یک مقطع ژئوالکتریکی باشد.

۵-۵- مقاومت ویژه کانی‌ها و سنگ‌ها

در میان ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها و کانی‌ها، مقاومت ویژه الکتریکی بزرگترین تغییرات را نشان می‌دهد. در یک رده بندی، سنگ‌ها و کانی‌ها را به رساناهای خوب، متوسط و ضعیف تقسیم بندی کرده‌اند [Telford et all, ۱۹۹۰]:

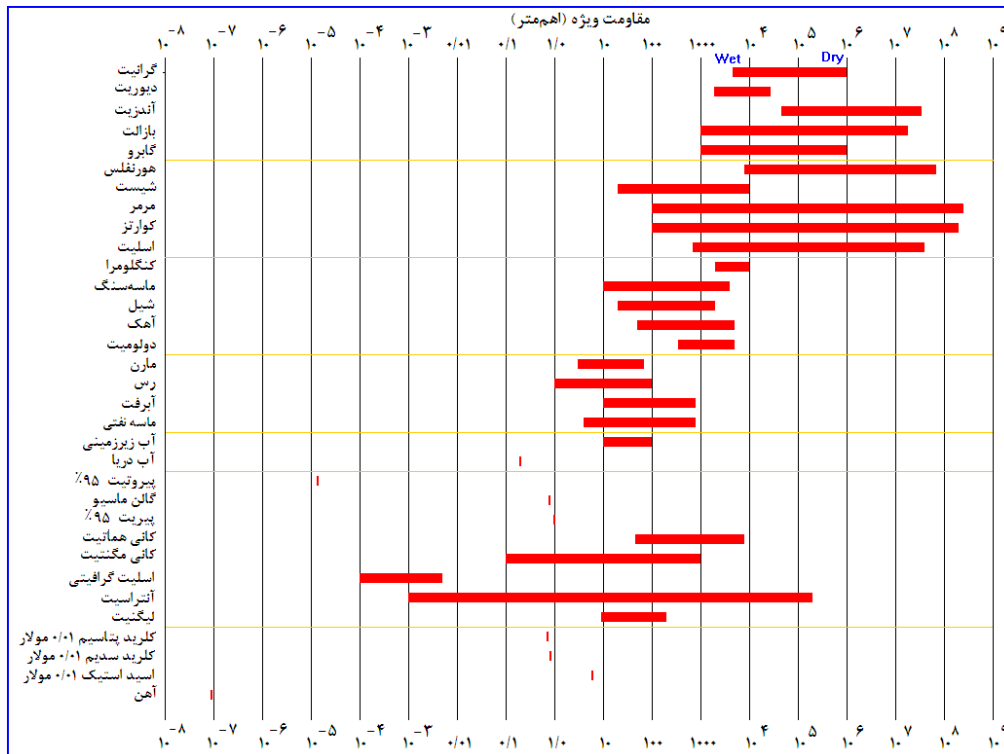
(الف) کانی‌های با مقاومت ویژه 10^{-8} تا حدود یک اهم متر

(ب) کانی‌ها و سنگ‌های با مقاومت ویژه ۱ تا 10^7 اهم متر

(ج) کانی‌ها و سنگ‌های با مقاومت ویژه بالاتر از 10^7 اهم متر

گروه (الف) شامل فلزات، گرافیت، سولفیدها باستثنای اسفالریت، سینابر و استینیت، کلیه آرسنیدها و سولفوآرسنیدها باستثنای $Sb As_2$ ، آنتی مونیدها باستثنای برخی از ترکیبات سرب، تلوریدها و برخی از اکسیدها مثل مگنتیت، منگنیت، پیرولولوزیت و ایلمنیت می‌باشد. بیشتر اکسیدها، کانه‌ها و سنگ‌های متخلخل آبدار در زمره رساناهای متوسط هستند. کانی‌های معمولی سازنده سنگ‌ها، سیلیکات‌ها، فسفات‌ها و کربنات‌ها، نیترات‌ها، سولفات‌ها، برات‌ها و غیره جزء رساناهای ضعیف هستند [Telford et all, ۱۹۹۰]. در جدول ۵-۱، مقاومت ویژه برخی از سنگ‌ها و کانی‌ها ارائه شده است.

جدول ۵-۱: مقاومت ویژه بعضی سنگ‌ها و کانی‌ها [Loke, ۲۰۰۴]



افراد مختلفی در این زمینه تحقیقات گسترده‌ای داشته‌اند که خلاصه و چکیده آن را می‌توان در کتاب تلفورد مشاهده نمود [Telford et al, ۱۹۹۰]. در پژوهشی که توسط پاراسنیس^۱ در سال ۱۹۵۶ انجام شد، مقاومت ویژه الکتریکی برخی کانی‌ها از جمله پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت، کبالتیت، گالن، هماتیت، مگنتیت و . . . در مناطق مختلف سوئد اندازه‌گیری شد. نتایج به همراه برخی دیگر از داده‌های مربوط به نمونه‌ها به صورت یک جدول ارائه شدند که در جدول الف-۱ واقع در پیوست الف آورده شده است. این نتایج می‌توانند برای یک کارشناس ژئوفیزیک که با استفاده از روش‌های الکتریکی به دنبال کانی‌ها است مفید باشند. برجسته‌ترین ویژگی مقادیر مقاومت ویژه در این گونه جداول، تغییرات زیاد آن از یک نمونه به نمونه دیگر می‌باشد. حتی بر روی یک نمونه، مقاومت ویژه در یک گستره وسیعی تغییر می‌کند که در اینجا به برخی از دلایل آن اشاره می‌شود.

^۱ Parasnis

مقاومت بین دانه‌ای^۱ نیز یک فاکتور بسیار مهم می‌باشد. اگر ذرات از همدیگر به وسیله لایه‌های کم و بیش غیرهادی و نازکی عایق شده باشند، مقاومت ویژه آن نمونه سنگ می‌تواند خیلی زیاد و یا حتی نامحدود باشد، اگر چه درصد ذرات هادی خیلی هم بالا باشد (نمونه‌های پیریت به شماره‌های ۵۷ - ۵۲ جدول شماره الف-۱). به علاوه اگر مقاومت‌های بین دانه‌ای بسیار متغیر باشند، مقادیر مقاومت ویژه تغییرات بزرگی را در قسمت‌های مختلف نمونه نشان می‌دهند. اعتقاد بر این است که این موضوع علت متغیر بودن مقادیر مقاومت ویژه در بسیاری از نمونه‌های هماتیت و مگنتیت است.

نمونه‌ها گاهی اوقات بصورت لایه لایه یا نواری می‌باشند. در چنین مواقعی مقاومت ویژه به مقاومت بین لایه‌ای وابسته است همچنین مقدار اندازه‌گیری شده به جدایش الکترودی نیز وابسته است. این موضوع واضح و آشکار است که نحوه توزیع کانی‌های هادی تاثیر زیادی در مقاومت ویژه دارد. زمانی که دو یا چند کانی هادی به طور همگن در یک نمونه سنگ معدنی پراکنده شده باشند، در حالت کلی یک مقاومت ویژه میانگین بین همه مقاومت ویژه‌های کانی‌های تشکیل دهنده آن نمونه مورد انتظار است [Parasnis, ۱۹۵۶].

به نظر می‌رسد که پیروتیت و گرافیت، در میان کانی‌های معمول تر همواره رساناهای خوب هستند، در حالی که پیریت، گالن و مگنتیت غالباً به شکل کپه‌ای رساناهای ضعیفی هستند، هر چند کریستال‌های منفرد آنها رسانندگی بالایی دارند. اسفالریت خالص عملاً نارسا است ولی در ترکیب با ناخالصی‌ها ممکن است مقاومت ویژه کوچکی تا ۰/۱ اهم متر داشته باشد. گرافیت غالباً پیوند اتصالی در زنا‌های کانی می‌باشد و سبب می‌شود این مناطق رساناهای خوبی باشند [Telford et all, ۱۹۹۰]. کانسنگ هماتیت دارای یک مقدار زیاد و توزیع گسترده مقاومت ویژه است. همانطور که قبلاً گفته شد اعتقاد بر این است که توزیع گسترده، ناشی از مقاومت متغیر مواد تشکیل دهنده بین دانه‌ای است. هماتیت خالص به عنوان یک ماده غیر هادی الکتروسیسته در دمای معمولی شناخته می‌شود.

^۱Inter – granular

ناخالصی‌های کوچک (اغلب به کوچکی یک یا دو درصد) مانند TiO_2 هدایت الکتریکی آن را به طور خیلی زیادی افزایش می‌دهند.

با توجه به جدول الف-۱ در پیوست الف، واضح است که نمونه‌های هماتیتهی که شامل مگنتیت هستند (شماره‌های ۲، ۴ و ۱۶) مقاومت ویژه‌های کمی دارند.

کانسنگ مگنتیت دارای مقدار مقاومت ویژه نسبتاً کم و تغییرات زیاد از یک نمونه به نمونه دیگری است. هیچ گونه ارتباط مهم و قابل توجهی بین مقاومت ویژه و محتوای کانسنگ وجود ندارد.

نمونه‌های مگنتیت شماره ۳۴ الی ۴۳ (جدول الف-۱ در پیوست الف)، یک گروه نسبتاً همگن با مقاومت ویژه متوسط می‌باشند. در مقابل، نمونه‌های شماره ۱ الی ۶ دارای توزیع بسیار گسترده‌ای از مقاومت ویژه می‌باشند. این یافته‌ها در ارتباط با خصوصیات کانی‌شناسی هر دو گروه می‌باشد.

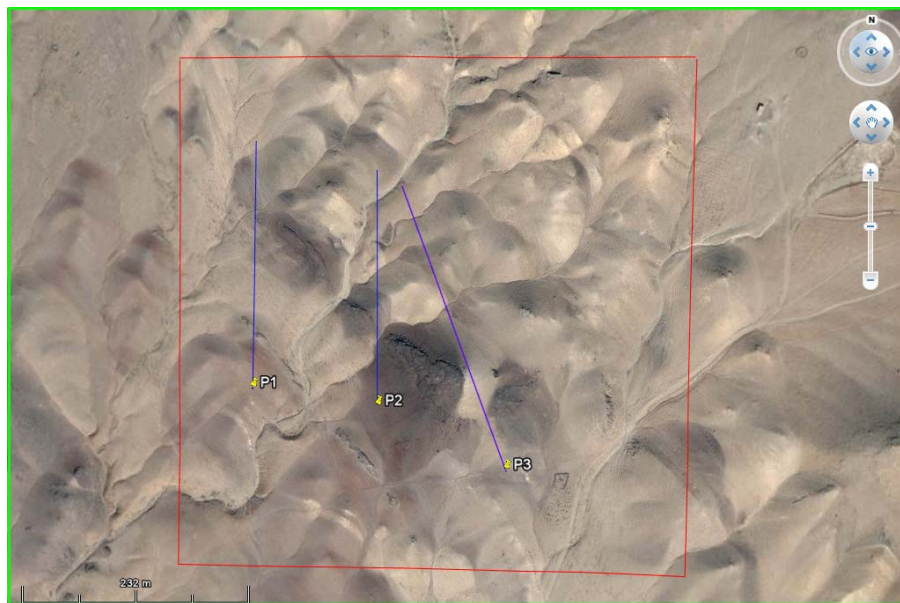
در اکتشاف یک کانسنگ باید عوامل و مسائل زیادی را در نظر گرفت. ولی در شرایط مساوی، پیریت، کالکوپیریت، پروتیت، آرسنوپیریت، مگنتیت و گرافیت، اهدافی عالی برای اکتشافات الکتریکی هستند. امکان اکتشاف کانسنگ‌های هماتیتهی به وسیله روش‌های الکتریکی به صورت خیلی زیادی به سنگ‌های در برگیرنده آن وابسته است. هماتیت قرمز (به عنوان یک عایق) احتمالاً به سختی توسط روش‌های الکتریکی کشف می‌شود. از آن جایی که هماتیت تیغه‌ای^۱ با مقادیری ناخالصی TiO_2 مقاومت ویژه کمی دارد، تحت شرایط مطلوب، می‌تواند برای اکتشافات الکتریکی مناسب باشد [Parasnis, ۱۹۵۶].

البته باید خاطر نشان کرد که مواردی که در بالا ذکر شد بسیار عمومی و کلی هستند. این غیر قابل تصور نیست که اکتشاف یک کانسنگ غیر هادی (مثلاً هماتیت) در بعضی شرایط خاص می‌تواند به سادگی موادی همچون پیریت برای اکتشافات الکتریکی باشد [Parasnis, ۱۹۵۶].

^۱ Specular

۵-۶- تفسیر مقاطع ژئوالکتریکی منطقه مورد نظر

بعد از آن که روش مغناطیس‌سنجی به کار گرفته شد و نواحی دارای خاصیت مغناطیسی مشخص گردیدند و بر روی این نواحی مدل‌سازی دو بعدی و سه بعدی انجام شد و به دلیل فقدان هر گونه اطلاعات حفاری عمیق در بلوک فوق و بررسی بیشتر آنومالی‌ها از نظر سطحی و عمقی، داده‌های مقاومت ویژه برای ۳ پروفیل (پروفیل‌های P_1 ، P_2 و P_3) برداشت و تفسیر شدند. برداشت داده‌ها برای پروفیل‌های یاد شده با آرایش دوقطبی دوقطبی (دایپل - دایپل) اندازه‌گیری گردیده است و فواصل جابجایی الکترودی AB برابر ۱۰ متر و $n=1$ تا $n=7$ می‌باشد. در شکل ۵-۱ موقعیت این ۳ پروفیل بر روی عکس ماهواره‌ای به نمایش در آمده است. همان‌طور که در شکل ۵-۱ مشخص است پروفیل‌های ژئوالکتریک P_1 و P_2 دارای جهت شمالی - جنوبی بوده و پروفیل ژئوالکتریک P_3 دارای جهت شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد.



شکل ۵-۱: موقعیت ۳ پروفیل ژئوالکتریک بر روی منطقه مورد مطالعه

بعد از عملیات برداشت، این داده‌ها توسط نرم‌افزار RES2DINV تفسیر و مدل‌سازی معکوس شدند. پروفیل ژئوالکتریک P_1 به طول حدود ۲۵۰ متر در سمت چپ امتداد دایک‌ها اعمال شد تا از میزان

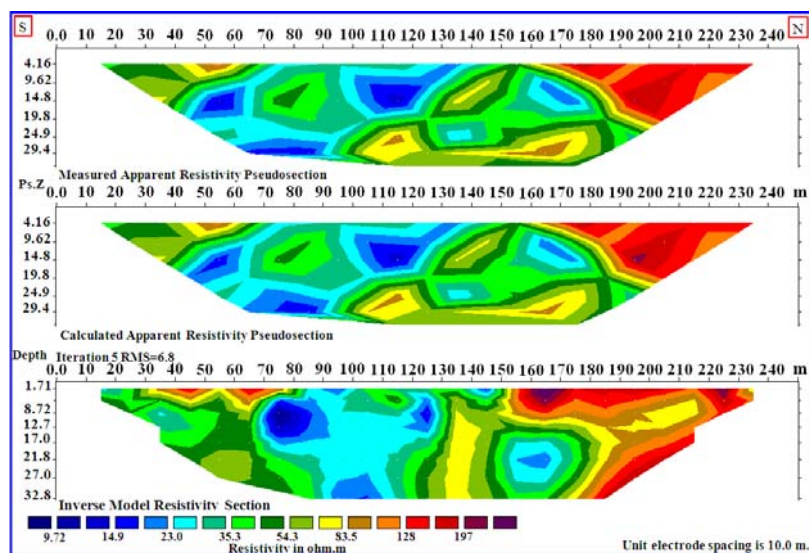
گسترش آن‌ها به سمت شمال غرب محدوده اطلاعاتی به دست آید که نتایج مدل‌سازی این پروفیل در شکل ۵-۲ نشان داده شده است.

پروفیل ژئوالکتریک P_2 به طول حدود ۲۳۰ متر در وسط و پروفیل ژئوالکتریک P_2 به طول ۳۰۰ متر هم در سمت راست امتداد دایک‌ها اعمال شد که مقاطع ژئوالکتریک حاصل از مدل‌سازی مربوط به این پروفیل‌ها به ترتیب در شکل‌های ۵-۳ و ۵-۴ نشان داده شده است.

شکل ۵-۵ نقشه مغناطیس منطقه را به همراه پروفیل‌های دوبعدی مغناطیس و مدل‌های سه‌بعدی مغناطیس و پروفیل‌های مقاومت ویژه بر روی نقشه Google Earth در غالب یک نقشه تلفیقی نشان می‌دهد. در این نقشه پروفیل‌های ژئوالکتریک با رنگ آبی و پروفیل‌های مدل دو بعدی مغناطیس با رنگ سبز نشان داده شده‌اند. در این شکل بر روی پروفیل‌های P_1 ، P_2 و P_2 ، قسمت‌هایی که در مدل‌های ژئوالکتریک به عنوان نواحی امیدبخش می‌توان در نظر گرفت، با رنگ زرد مشخص گردیده است.

در شکل ۵-۲ با مقایسه شبه مقاطع داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های محاسبه‌ای می‌شود فهمید که مدل‌سازی از دقت تقریباً خوبی برخوردار است طوری که خطای مدل‌سازی پایین است. در قسمت شبه مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده قسمتی که دارای مقاومت ویژه زیاد می‌باشد از فاصله حدود ۱۶۰ متری شروع می‌شود و با افزایش فاصله از مبدأ حجم آن نیز افزایش پیدا می‌کند و می‌تواند به عنوان آنومالی در نظر گرفته شود. در بررسی نتایج مقطع مدل‌سازی پروفیل P_1 (شکل ۵-۲)، حضور آنومالی با مقاومت ویژه بیشتر از ۱۴۰ اهم متر در فاصله $x=155$ تا حدود $x=200$ متری و گسترش عمقی از نزدیک سطح تا حدود ۹ متری مشهود است و برای تایید این امر باید خاطر نشان کرد که این بازه در امتداد دایک‌ها و رگه‌های مورد نظر می‌باشد که می‌تواند کانی آهن‌دار و به طور کلی اکسیدهای آهن باشد و در سطح زمین نیز آثار کانی‌سازی و اکسیدهای آهن را می‌توان مشاهده کرد که این امر نیز خود می‌تواند گواهی بر کانی‌سازی در زیر سطح باشد. همچنین نقطه $x=190$ متر از

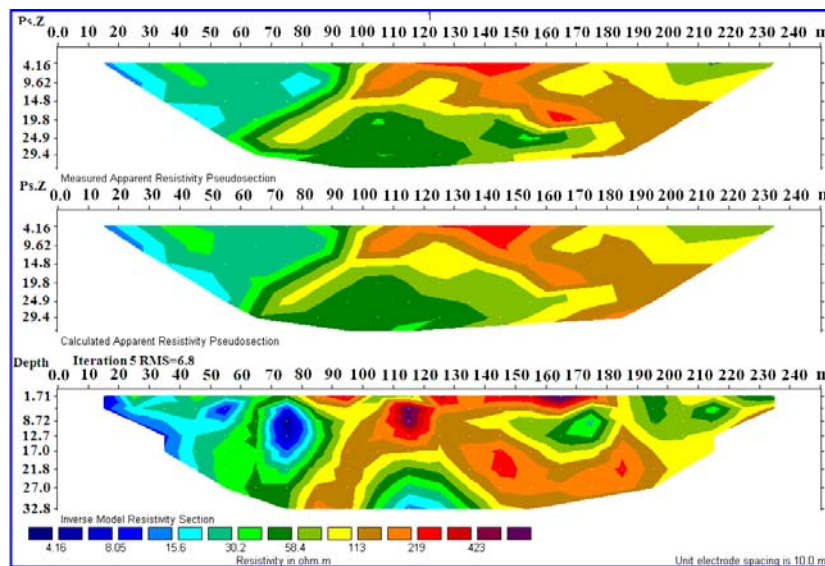
پروفیل P_1 مقاومت ویژه در تلاقی با نقطه $X=30$ متر از پروفیل C دو بعدی مغناطیس می‌باشد که در شکل ۵-۵ قابل مشاهده است. در این نقطه از پروفیل P_1 با توجه به مقاومت ویژه بالاتر آن از عمق حدود ۲۵ متر به بعد احتمال وجود ماده معدنی می‌رود (شکل ۵-۲) و پروفیل مغناطیس C نیز تا حد قابل قبولی این موضوع را تأیید می‌کند (شکل ۴-۲۱).



شکل ۵-۲: نتیجه مدل‌سازی معکوس دو بعدی داده‌های ژئوالکتریک پروفیل P_1 ، از بالا به پایین: شبه مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، شبه مقطع داده‌های محاسبه‌ای (پاسخ مدل) و مقطع ژئوالکتریک حاصل از مدل‌سازی

در شکل ۵-۳ با مقایسه شبه مقاطع داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های محاسبه‌ای ملاحظه می‌شود که مدل‌سازی از دقت خوبی تقریباً خوبی برخوردار است طوری که خطای مدل‌سازی تقریباً پایین است. در قسمتی که مربوط به شبه مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد ملاحظه می‌شود که یک آنومالی شیبدار با مقاومت ویژه بالا وجود دارد که از فاصله حدود ۱۰۰ متری از مبدأ شروع شده و با افزایش فاصله شیب آن نیز افزایش می‌یابد. در مورد نتایج مدل‌سازی پروفیل مقاومت ویژه P_2 در شکل ۵-۳ نیز می‌توان آنومالی با مقاومت ویژه بیشتر از ۲۰۰ اهم متر را حد فاصل $X=107$ متر تا $X=125$ متر با گسترش عمقی حدود ۵ متر تا ۱۵ متر مشاهده نمود. همچنین نقطه $X=113$ متر در پروفیل P_2 در تلاقی با نقطه $X=16$ متر از پروفیل مدل دو بعدی B مغناطیس می‌باشد (شکل ۴-۲۰). با مقایسه این نقطه تلاقی در دو شکل ۵-۳ و ۴-۲۰ می‌توان گفت که تا حدود قابل قبولی مدل

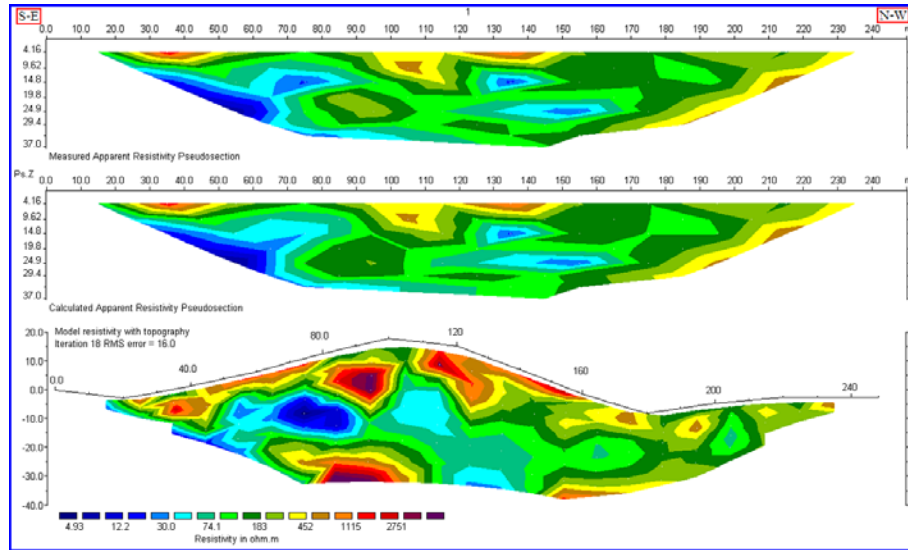
مغناطیس مدل الکتریک را تأیید می‌کند. نکته دیگر این است که مقاومت ویژه کانی‌های آهن‌دار در پروفیل P_2 بیشتر از مقاومت ویژه کانی‌های آهن‌دار موجود در پروفیل P_1 می‌باشد که این امر به احتمال زیاد به دلیل مقدار بیشتر سیلیس در ماده معدنی موجود در پروفیل P_2 می‌باشد و آزمایشات XRF نیز این موضوع را تأیید می‌نمایند (جدول ۲-۳).



شکل ۳-۵: نتیجه مدل‌سازی معکوس دو بعدی داده‌های ژئوالکتریک پروفیل P_2 ، از بالا به پایین: شبه مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده، شبه مقطع داده‌های محاسبه‌ای (پاسخ مدل) و مقطع ژئوالکتریک حاصل از مدل‌سازی

در شکل ۴-۵ نیز با مقایسه شبه مقاطع داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های محاسبه‌ای می‌توان دید که مدل‌سازی از دقت تقریباً قابل قبولی برخوردار است طوری که خطای مدل‌سازی نسبتاً پایین است. در قسمت شبه مقطع داده‌های اندازه‌گیری شده یک آنومالی با مقاومت ویژه بالا حد فاصل نقطه ۹۵ متری تا نقطه ۱۴۵ متری از مبدأ و گسترش عمقی حدود ۱۷ متر ملاحظه می‌شود که می‌تواند شاهدهی بر کانی‌سازی آهن باشد. همان‌طور که در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود برای کسب نتایج دقیق‌تر، تصحیحات توپوگرافی نیز بر روی مدل ژئوالکتریک P_2 اعمال گردیده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی این پروفیل حکایت از وجود یک آنومالی بیشتر از ۴۵۰ اهم متر حد فاصل $X=85$ متر تا $X=100$ متر با گسترش عمقی حدود ۷ متر تا ۱۵ متر و یک آنومالی در فاصله $X=80$ متر تا $X=105$ متر

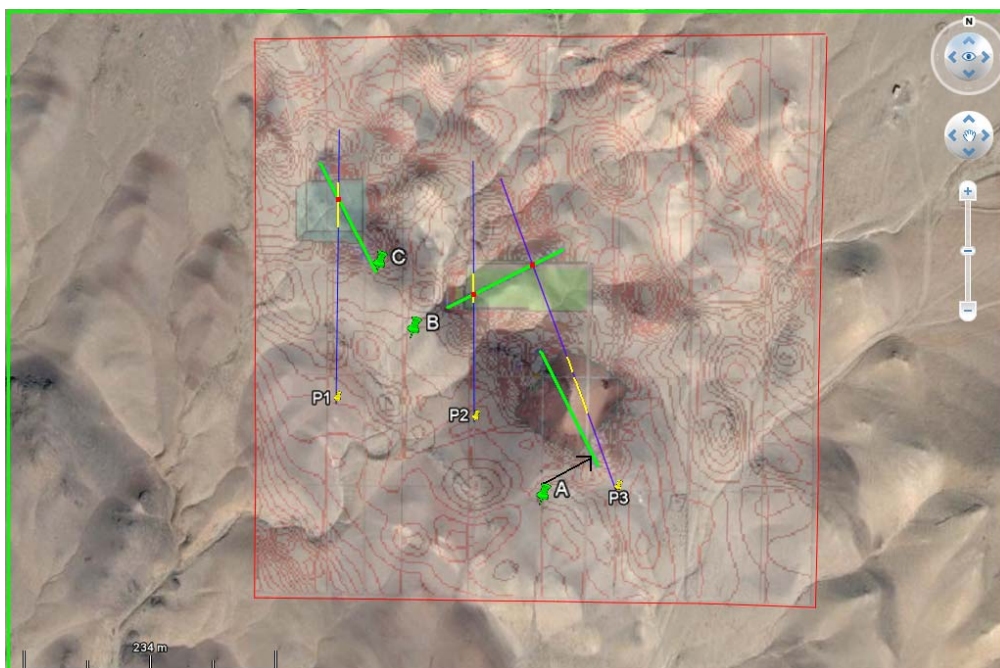
متر با گسترش عمقی ۲۵ متر تا حدود ۴۰ متر و همچنین یک آنومالی دیگر حد فاصل $X=112$ متر تا $X=125$ متر با گسترش عمقی ۳ متر تا ۱۰ متر دارد.



شکل ۴-۵: نتیجه مدل سازی معکوس دو بعدی داده های ژئوالکتریک پروفیل P_2 ، از بالا به پایین: شبه مقطع داده های اندازه گیری شده، شبه مقطع داده های محاسبه ای (پاسخ مدل) و مقطع ژئوالکتریک حاصل از مدل سازی

همچنین در این پروفیل P_2 ، آن قسمت هایی که گفته شد به احتمال زیاد ماده معدنی می باشد، دارای مقادیر مقاومت ویژه بالاتری نسبت به نواحی آهن دار دو پروفیل P_1 و P_2 می باشد که علت آن به احتمال زیاد، وجود سیلیس بالاست و آزمایش XRF نیز این موضوع را تا حد زیادی تأیید می کند (جدول ۲-۳).

همان طور که در شکل ۵-۵ مشاهده می شود پروفیل مدل ژئوالکتریک P_2 با پروفیل دوبعدی مغناطیس A برخوردی ندارد ولی با پروفیل دوبعدی مغناطیسی B تلاقی دارد. این نقطه تلاقی در فاصله حدود ۲۱۵ متری از پروفیل P_2 (شکل ۴-۵) و فاصله ۸۴ متری از پروفیل دوبعدی مغناطیسی B (شکل ۴-۲۰) قرار دارد. همان طور که در شکل ۴-۵ مشخص است در این نقطه از مدل ژئوالکتریک هیچ گونه کانی حاوی اکسید آهنی مشاهده نمی شود و همچنین در نقطه مزبور در مدل مغناطیسی مربوط به شکل ۴-۲۰ نیز ماده معدنی مدل شده به انتها می رسد و این دو مدل تا حد قابل قبولی توانسته اند یکدیگر را تأیید نمایند.



شکل ۵-۵: نقشه ترکیبی مغناطیس و الکتریک منطقه مورد نظر

در تفسیر این سه پروفیل ژئوالکتریک قسمت‌هایی که به عنوان نواحی امید بخش معرفی شدند، دارای مقاومت ویژه بالاتری نسبت به محیط اطراف خود بودند. برای علت این امر باید خاطر نشان کرد همان طور که قبلاً در ابتدای فصل گفته شد خاصیت مقاومت ویژه بیشترین گستره تغییرات را در بین خواص کانی‌ها و سنگ‌ها دارد. به عنوان مثال کانی هماتیت دارای گستره مقاومت ویژه از حدود ۷۰ اهم متر تا نزدیک ۱۰۰۰۰ اهم متر می‌باشد (جدول ۵-۱). حال باید گستره مقاومت ویژه آن کانی خاص را برای منطقه مورد نظر مشخص کرد. در این پایان‌نامه، مقاومت ویژه این نواحی امید بخش با توجه به شواهد زمین‌شناسی، مشاهدات صحرایی، نتایج آزمایشات XRF، نظر کارشناسان منطقه مورد نظر و مدل‌های مغناطیسی انتخاب شدند.

در مجموع می‌توان گفت که این سه پروفیل تا حد قابل قبولی توانسته‌اند همسو با مدل‌های مغناطیس باشند.

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- جمع‌بندی

هدف از این پایان نامه، اکتشاف و مدل‌سازی یکی از کانسارهای آهن سنگان خواف واقع در معدن خصوصی سنگ آهن شرکت امیر سنگان پارسیان می‌باشد. در ابتدا برای داشتن یک دید کلی از منطقه، روش دورسنجی مورد استفاده قرار گرفت و برای این منظور از عکس ماهواره‌ای ASTER استفاده شد و این عکس که یک عکس چند طیفی (در ۱۴ باند مختلف) می‌باشد، توسط نرم افزار پردازش تصویر ENVI بررسی و تکنیک‌های مختلفی روی آن اعمال شد و چند محدوده از جمله محدوده مورد نظر این تحقیق، مشخص و بارزسازی شدند.

سپس از روش مغناطیس سنجی برای اکتشاف استفاده شد. محدوده مورد نظر، مربعی شکل (هر ضلع حدود ۵۰۰ متر) بوده و مساحت آن ۲۵ هکتار است و ۲۱ پروفیل شمالی جنوبی بر روی آن پیاده گردید. همچنین تعدادی نمونه برای انجام مطالعات کانی‌شناسی، آنالیز شیمیایی XRF و اندازه‌گیری ضریب قابلیت مغناطیسی سنگ‌ها جمع‌آوری شد. مطالعات زمین‌شناسی و کانی‌شناسی در حالت کلی نشانگر آن است که توده‌های آهن‌دار غالباً از کانی هماتیت و گوتیت و درصد کمی از کانی مگنتیت تشکیل شده‌اند.

بعد از انجام تصحیحات اولیه روی داده‌های مغناطیسی، روش‌های مختلف تفکیک آنومالی‌ها به کار گرفته شد و نقشه‌های تهیه شده با این روش‌ها با هم مقایسه و بعد از آن مورد تفسیر کمی و کیفی قرار گرفتند.

سپس برای کسب دید بهتر از روند گسترش کانی‌سازی و بررسی بیشتر آنومالی‌ها از نظر سطحی و عمقی، سه پروفیل ژئوالکتریک در این محدوده برداشت شد. سپس این داده‌ها توسط نرم‌افزار RES2DINV تفسیر و مدل‌سازی شدند.

۶-۲- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در قسمت مغناطیس‌سنجی این پایان‌نامه از روش‌های مختلف جداسازی آنومالی شامل روش‌های روند سطحی، مشتق دوم قائم، گسترش به سمت بالا و گسترش به سمت پایین استفاده شد و بررسی‌ها نشان می‌دهند که این روش‌ها نتایج نسبتاً مشابهی از خود بروز می‌دهند. سپس برای اینکه مدل‌سازی کمی و کیفی صورت گیرد، از نقشه آنومالی باقی‌مانده تهیه شده با روش روند سطحی مرتبه ۵ استفاده گردید.

برای تفسیر کیفی، نقشه شدت مغناطیسی قائم و نقشه‌های باقی‌مانده تهیه شده با روش‌های مختلف تفکیک آنومالی با هم مقایسه شدند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که این آنومالی‌ها از گسترش عمقی زیادی برخوردار نمی‌باشند و حداکثر تا عمق ۱۰۰ متر گسترش دارند. لذا برای تفسیر کمی از مدل‌سازی عددی دو بعدی و سه بعدی جهت تعیین شکل، وضع قرار گیری، خودپذیری مغناطیسی و عمق احتمالی توده‌های معدنی استفاده شد.

طی بررسی‌های انجام‌گرفته، ۳ توده آهن‌دار در این محدوده مدل‌سازی شد. نتایج نشان می‌دهند که این توده‌ها عمدتاً هماتیت، مگنتیت و گوتیت می‌باشند و تا عمق حداکثر ۷۰ متری قرار دارند.

آنومالی A دارای رخنمونی به ارتفاع تقریباً ۱۲ متر از سطح زمین بوده و از گستردگی سطحی و عمقی بیشتر نسبت به دو توده دیگر برخوردار است.

بعد از مدل‌سازی داده‌های ژئوالکتریک، مشخص شد که مناطق احتمالی کانی‌سازی شده آهن‌دار از انطباق نسبتاً خوبی با نتایج مدل‌سازی‌های مغناطیسی برخوردار می‌باشند. بر طبق این مدل‌ها مناطق دارای کانی‌های آهن از مقاومت ویژه بالاتری برخوردارند.

با توجه به مدل‌های ارائه شده اگر دو پروفیل P_1 و P_2 بیشتر امتداد پیدا می‌کردند، احتمال اینکه با توده‌های با مقاومت ویژه بالای دیگری در زیر سطح مواجه می‌شدیم وجود داشت و این موضوع را شواهد و آثار کانی‌سازی و واریزه‌های موجود در منطقه و همچنین عکس GOOGLE EARTH تایید میکنند.

در پایان پیشنهاد می‌شود که چند پروفیل ژئوالکتریک دیگر نیز به موازات این سه پروفیل ژئوالکتریک (P_1 ، P_2 و P_3) و در مابین آن‌ها و دو پروفیل دیگر در سمت چپ P_1 و دو پروفیل دیگر هم در سمت راست P_3 و همچنین چند پروفیل دیگر بصورت عمود بر آنها برداشت شود تا اطلاعات دقیقتری از گسترش زیرسطحی ماده معدنی به دست آید. علاوه بر آن پیشنهاد می‌شود تا پس از برداشت داده‌های جدید ژئوالکتریک، آنها با داده‌های مغناطیسی بصورت ترکیبی (Joint) مورد مدل‌سازی قرار گیرند تا بدینوسیله بتوان اطلاعات کامل‌تری از گسترش آنومالی‌ها در زیر زمین پیدا نمود تا بر اساس آن‌ها نقاطی دقیق برای حفاری بتوان پیشنهاد نمود.

فهرست منابع

منابع فارسی

آگاه، آ، (۱۳۸۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد "مدل سازی و تفسیر داده های گرانی و مغناطیس ناحیه طبس"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

بومری، م. یعقوب پور، ع. (۱۳۷۱)، "بررسی انواع اسکارن های آهن سنگان"، اولین سمپوزیوم شرق ایران، صفحه ۱۶-۱۳، مشهد.

سازمان زمین شناسی کشور، (۱۳۵۴)، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تایباد، چاپ تهران

طاهرکیا، ح، (۱۳۷۵)، "اصول و کاربرد سنجش از دور" چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران
طیبی، ب، پایان نامه ارشد "اکتشاف و مدل سازی کانسار آهن اجت آباد به روش مغناطیس سنجی"،
دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

فاطمی ب و رضایی ی، (۱۳۸۴)، "مبانی سنجش از دور" چاپ اول، انتشارات آزاده، تهران
کدیور ج، (۱۳۸۷)، "گزارش مطالعات ژئوفیزیک منطقه سنگان" ارائه شده به شرکت امیر سنگان
پارسیان، ۱۷ صفحه

کریم پور م ح، (۱۳۸۴)، "اکتشاف ذخایر معدنی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد،
مشهد

کلاگری ع ا، (۱۳۷۱)، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، چاپ اول، انتشارات علی اصغر کلاگری،
تهران

گزارشات داخلی شرکت ملی فولاد، (۱۳۸۴). گزارش آنومالی A، ۲۶۲ صفحه
مرادزاده علی، دولتی ارده جانی ف، آگاه آزاده و طباطبایی رئیسی ه (۱۳۸۴)، "اکتشاف تله های
هیدروکربوری طبس با روش جدید وارون سازی سه بعدی داده های گرانی"، مجله فیزیک زمین و
فضا، جلد ۳۱، شماره ۲، صفحه ۳۴-۲۳.

نقشه راه های ایران، (۱۳۸۲)، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی

منابع انگلیسی

Brostad Associates Ltd, (۲۰۰۸), Aster Mineral Exploration

Dobrin M. B and Savit C. H. (۱۹۸۸), "Introduction to geophysical prospecting",

McGrav-Hill

- Encom Technology Pty Ltd, (۲۰۰۳). Reference Manual of Modelvision Pro Microsoft.
- Fedi M., Rapollam A. and Russo G. (۱۹۹۹). "Upward continuation of scattered potential field data" **Geophysics**, ۶۴, ۴۴۳-۴۵۱.
- Hinz W. J.,(۱۹۹۰). The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies, ۷۰-۱۲۶, In: "**Geotechnical and environmental geophysics**", Ward(ED), The Society of Exploration Geophysics.
- [Http://www.RSInc.com/envi](http://www.RSInc.com/envi)
- [Http://www.googleearth.com](http://www.googleearth.com)
- Loke M. H.,(۲۰۰۴), Tutorial: ۲D and ۳D electrical imaging surveys, www.geoelectrical.com,
- Parasnis D. S.,(۱۹۰۶), "The electrical resistivity of some sulphide and oxide minerals and their ores", **Geophysical prospecting**., ۴, pp ۲۴۹-۲۷۸.
- Reynolds, J. M., (۱۹۹۷), "**An introduction to applied and environmental geophysics**", John Wiley & Sons, ۹۷۶.
- Sarma D. D. and Selvaraj J. B.,(۱۹۹۰), "Two-dimensional orthonormal trend surfaces for prospecting". **Computers and Geosciences**., ۱۶, ۸۹۷-۹۰۹.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sherrif. R. E., (۱۹۹۰), "**Applied Geophysics**", Cambridge university press, ۷۷۰.

پیوست الف

جدول الف-۱: مقاومت ویژه الکتریکی بعضی کانی‌ها (۱۹۵۶, paransis)

نام کانی	شماره	موقعیت	مقاومت ویژه (اهم سانتی‌متر)	وزن مخصوص	Vo l % ore	وزن مخصوص گانگ	کانی گانگ اصلی	ملاحظات
پیریت	۵۰	Håkansboda	۰/۰۳-۰/۳ (۵)					
	۵۱	Håkansboda	۰/۱۲-۱۰ (۷)					
	۵۲	Perstorp	۲/۴ (۵) ± ۷/۲					
	۵۳	Perstorp	۶/۱ (۶) ± ۱۳/۸					
	۵۴	Perstorp	۳/۳ (۵) ± ۸/۹					
	۵۵	Vadstena- Skänninge	۲۳ (۶) ± ۴۸					
	۵۶	Vadstena- Skänninge	۲۲ (۵) ± ۱۲۲					
	۵۷	Vadstena- Skänninge	۱۱ (۵) ± ۱۰۴					
	۵۸	Kelva	۰/۰۵-۵/۰ (۱۶)					
	۵۹	Kelva	-۰/۰۴ (۴) ۰/۰۰۳					
پیروتیت	۱	Nasafjäll	-۰/۰۶ (۵۵) ۰/۰۰۲	۴/۵				
	۲	Nasafjäll	۰/۰۰۳	۴/۷	۹۶	۷/۵	گالن	
	۳	Kalix	(۸) ۰/۱۴ ± ۰/۴۰	۴/۲	۷۵	۳/۰	کوارتز +	درز و شکستگیهای جزئی، نمونه های صیقلی
	۴	Kalix	(۴) ۰/۱۱ ± ۰/۵۹	۳/۹۲	۵۸	۳/۰	آمفیبول	
	۵	Kalix	(۴) ۰/۱۵ ± ۰/۶۹	۳/۸۱	۵۱	۳/۰		
	۱۵	Högås level	۰/۰۷ (۸) ± ۰/۱۲	۴/۳۶	۸۸	۲/۷۵		صیقلی شده، درزهای فراوان
هماتیت	۱	Malmberget	۴۰-۱۲۰۰۰ (۳)	۵/۱	۱۰۰			
	۲	Malmberget	۰/۴۰=۰/۲۳ (۵)	۵/۱۵	۱۰۰			مگنتیت
	۳	Malmberget	۶۰-۵۰۰ (۵)	۵/۳	۱۰۰			
	۴	Malmberget	۱۰-۳۰۰ (۶)	۵/۱	۱۰۰			مگنتیت
	۵	Gällivare	<۶۰۰۰۰	۵/۲	۱۰۰			
	۱۶	St.Blankagr.	-۳۰۰ (۵) ۱۸۰ (۳۵)	۴/۶	۷۹	۲/۷	کوارتز	مگنتیت
مگنتیت	۱	Malmberget	۴۷ (۴-۱۲۵) (۶)	۴/۸۲	۸۳	W		

۲	Baron	-۰/۱۰ (۸) ۰/۰۰۵	۵/۱	۹۶	۲/۷	کوارتز	
۳	Ridderstolpe	۵۰-۲۰۰۰(۱۳)	۵/۱	۹۶	۲/۷	کوارتز	
۴	Dennewitz	۱۲(۵)±۳۳ ۲ (۵)±۸	۴/۹۵	۹۰	۲/۷	کوارتز	
۵	Fredrika	۹(۵)±۲۱ ۱/۶(۳)±۳/۱	۴/۹۰	۸۸	۲/۷	کوارتز	
۶	Hertigen	۵۰(۱۰)±۱۶۵	۴/۹	۸۸	۲/۷	کوارتز	
۳۴	Dannemora	۶ (۶)±۱۳	۴/۴	۶۷	۲/۸	کلریت	spiegelmalin
۳۵	Dannemora	-۴/۰(۹) ۲/۰(۰/۲)	۴/۴۷	۷۰	۲/۸	کلریت	spiegelmalin
۳۶	Dannemora	(۰/۳-۸/۰)(۱۳) ۲/۶	۴/۸۵	۸۶	۲/۸	کلریت	spiegelmalin
۳۷	Dannemora	(۰/۲-۴/۳)(۱۰) ۱/۷	۴/۹۵	۹۰	۲/۸	کلریت	spiegelmalin
۳۸	Dannemora	۳۵(۹-۷۰)(۸)	۴/۰	۵۰	۲/۸	کلریت	spiegelmalin
۳۹	Dannemora	(۰/۰۲-۱/۸)(۶) ۰/۶	۳/۷۸	۴۲	۲/۸	کلریت	Slaty
۴۰	Dannemora	۵ (۵)±۱۰	۴/۳	۶۳	۲/۸	کلریت	slaty
۴۱	Dannemora	(۱/۴-۱۵) (۸) ۸/۰	۴/۰۵	۵۲	۲/۸	کلریت	spiegelmalin
۴۲	Dannemora	۰/۵ (۱۴)±۱/۱	۴/۲	۵۹	۲/۸	کلریت	spiegelmalin
۴۳	Dannemora	۱۰-۳۰۰ (۵)	۴/۵	۷۱	۲/۸	کلریت	spiegelmalin

Abstract

Nowadays, mining of the ore deposits, in particular, iron minerals have a significant role in the economy of any country. Amongst the exploration techniques, the geophysical methods are superior in the detection of the ore bodies. The main purpose of this research is to explore and model one of the iron deposits in the Sangan region which is located in the south-east of the Khorasan razavi province, north-east Iran. To achieve the goal, the ASTER images of the study area were first provided. ENVI as a computer-based image processing software was used to process the ASTER images. The vertical component of the magnetic intensity was then acquired at 44 stations along 11 profiles with a 100 × 100 m exploration mesh. Various filtering methods including upward continuation, downward continuation, second vertical derivative and trend surface were applied on the measured data in order to separate regional and residual effects. Model Vision Pro software which has been developed by ENCOM Company, Australia, was used to carry out the filtering and separation processes when the necessary corrections were made on the raw measured magnetic data. Two- and three dimensional modeling were performed on the residual effects of the iron anomalies after a qualitative interpretation. The results obtained from the modeling process show that the magnetic anomalies are located in shallow depths ranged from earth surface to an approximate depth of 100 m. In order to have a better insight into the interpretations made on the study area, the results of the magnetic method was compared with those results obtained by an electrical resistivity method. The resistivity data were modeled using Res3Dinv software. The interpretation of the resistivity data are agreed with the magnetic method in the identification of the iron deposits at the shallow depths. However, the maximum extension of the deposits was detected to be about 40 m by the resistivity method.

Keywords: ASTER images, ENVI, image processing, vertical component, Magnetic survey, modeling, iron deposit, Model Vision Pro, residual and regional effects, two- and three- dimensional modeling, electrical resistivity, Res3Dinv,



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering

**Data acquisition, modelling and interpretation of magnetic
and geoelectrical data for Sangan iron deposit**

Mostafa Gholami

Supervisor:

Dr. Moradzadeh

Dr. Dolati

Advisor:

Jahandar Kadivar

Date:

Summer ۱۳۸۸