

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

مهندسی اکتشاف معدن

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

عنوان:

بررسی پتانسیل کانی‌زایی شمال محدوده چک‌چک در استان یزد به وسیله داده‌های سنجش از

دور و مغناطیس‌سنجی

دانشجو

علی اکبر عالی

استاد راهنما

دکتر حمید آقاجانی

دکتر سید رضا قوامی ریابی

بهمن ۱۳۹۸

## تصویب نامه



## تقدیم به

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می‌نمایم به:

- محضر ارزشمنند و مادر عزیزم به خاطر همدی تلاش‌های محبت‌آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده‌اند و با مهر بانی چگونه زیستن را به من آموختند.
- به استادان فرزانه و فریفته‌ای که در راه کسب علم و معرفت مراداری نمودند.
- به آنان که در راه کسب دانش را بنمایم بودند.
- به آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه‌ی راهم بود.

## تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌دانم از راهنمایی‌های اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر حمید آقاجانی و آقای دکتر رضا قوامی‌ریابی که در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه مرا یاری نموده‌اند صمیمانه سپاسگزاری نمایم. از اساتید عزیز جناب آقای دکتر علیرضا عرب امیری و آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی که داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در نهایت از اساتید محترم دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود و همه دوستان عزیزی که به هر نحوی مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نموده‌اند، نهایت تشکر را دارم.

## تعمیر نامه

اینجانب **علی اکبر عالی**، دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن (اکتشاف معدن) دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده رساله با عنوان "**بررسی پتانسیل کانی‌زایی شمال محدوده چک‌چک در استان یزد به‌وسیله داده‌های سنجش از دور و**

**مغناطیس‌سنجی**"، تحت راهنمایی دکتر حمید آقاجانی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این رساله، توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های دیگر پژوهشگران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این رساله تاکنون توسط خود و یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر به دانشگاه صنعتی شاهرود، تعلق دارد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه صنعتی شاهرود یا Shahrood University of Technology به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آوردن نتایج اصلی رساله تاثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از رساله رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این رساله ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این رساله در مواردی که به حوزه اطلاعاتی شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است) اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

علی اکبر عالی

آذرماه ۱۳۹۸

### مالکیت نتایج و حق انتشار

\* تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده، متعدد به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی، در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

\* استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این رساله بدون ذکر منبع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

**اهداف:** هدف از تحقیق موردنظر، یافتن مناطق امیدبخش در محدوده چک چک استان یزد است. محدوده مورد مطالعه در بازه عرض جغرافیایی ۳۲ تا ۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ تا ۵۵ درجه شرقی واقع شده است.

**متدولوژی:** در این تحقیق برای تهیه لایه‌های مؤثر در شناسایی مناطق امیدبخش از اطلاعات زمین‌شناسی موجود در چهار نقشه یکصد هزار محدوده چک چک در استان یزد، داده‌های ماهواره‌ای لندست ۷ و سنتینل ۲ و داده‌های مغناطیسی هوایی استفاده شده است. لایه‌های اطلاعاتی واحد سنگی، گسل‌ها و خطواره‌ها، دگرسانی و اکسید آهن و توده‌های نفوذی سطحی و عمیق‌تر با استفاده از داده زمین‌شناسی، سنجش از دور و ژئوفیزیک هوایی تهیه شده است. این لایه‌ها در محیط GIS با روش‌های همپوشانی و منطق فازی تلفیق شده‌اند. پس از تهیه نقشه محدوده‌های امیدبخش کانی‌زایی، در یک محدوده به روش مغناطیس زمینی تعدادی نقطه برداشت شده است. داده‌های برداشت شده تصحیح و نقشه‌های مختلف تهیه شد و مناسب‌ترین محل‌های کانی‌زایی برای ادامه فعالیت‌های اکتشاف مشخص شده است.

**یافته‌ها:** براساس یافته‌های تحقیق ترکیب باندی نسبت‌های ۳/۱ و ۴/۳ و ۵/۷ سنجنده ETM+ مناطق اکسید آهن دار، پوشش گیاهی و آلتراسیون و کانی‌های رسی و ترکیب باندی نسبت‌های ۱۱/۱۲ و ۴/۱۱ و ۴/۲ سنجنده سنتینل مناطق اکسید آهن، کانی‌های آهن دار و آلتراسیون و کانی‌های رسی را به وضوح نشان داد. با استفاده از داده‌های دورسنجی تعیین دقیق واحدهای سنگی که امکان پتانسیل کانی‌زایی، آلتراسیون‌های آرژیلیک و فیلیک و پروپلیتیک، مناطق حاوی کانی‌های آهن دار و اکسید آهن و گسل‌ها و خطواره‌ها میسر شد. در پردازش داده‌های مغناطیس هوایی نیز با افزایش درجه‌ی منحنی برازش به یک سطح درجه‌ی سوم، مناطق

آنومال بهتر مشخص شدند. پس از اعمال فیلتر مشتق قائم بر روی داده‌های مغناطیس‌هوایی چون اثر بی‌هنجاری‌های بزرگ و عمیق از بین رفته بود، بی‌هنجاری‌های سطحی بهتر شناسایی شدند. نتایج حاصل از سیگنال تحلیلی نشان‌دهنده‌ی وجود توده‌ها با بی‌هنجاری‌های متعدد مغناطیس و بارزکننده‌ی موقعیت تقریبی لبه‌های بی‌هنجاری در ناحیه مورد مطالعه بود. نقشه‌ی حاصل از اعمال فیلتر تیلت، سیگنال تحلیلی و همچنین نقشه‌ی حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت‌های مختلف، گسل و خطواره‌های ناحیه را مشخص کرد. لایه‌های اطلاعاتی گسل و خطواره، واحدهای سنگی مرتبط با کانی‌زایی، اکسید آهن، آلتراسیون و توده‌های نفوذی با دو روش دانش محور هم پوشانی شاخص چند کلاسه و فازی تلفیق شدند که باعث شناسایی مناطق آنومال شد. نتایج این دو روش تقریباً یکدیگر را تأیید نمود. در تحلیل داده‌های مغناطیس‌زمینی نیز پس از حذف اثر IGRF در داده‌های مغناطیس‌زمینی مشخص گردید که محدوده دارای چند بیشینه در جنوب غرب و بیشینه‌های دیگری در شمال شرق محدوده است. این بی‌هنجاری‌ها منطبق بر واحدهای سنگی آذرین (ریولیت) و گسل‌های محدوده هستند.

**نتیجه‌گیری:** به کمک تلفیق لایه‌های اکتشافی زمین‌شناسی، دورسنجی و مغناطیس‌سنجی هوایی، محدوده‌های آنومال و امیدبخش در منطقه موردنظر به دست آمد. براساس نتایج حاصله مناطق مناسب برای اکتشاف پیشنهاد گردید.

واژگان کلیدی: داده‌های سنجش از دور، مغناطیس‌سنجی، تلفیق داده‌ها، GIS، محدوده‌های امیدبخش.

## فهرست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ۱- عالی، ع، آفاجانی، ح، بهمن ۱۳۹۸. "مطالعات دورسنجی با استفاده از داده‌های Sentinel و ETM+ به منظور بررسی کانه‌زایی فلزی در شرق اردکام استان یزد"، هشتمین کنفرانس مهندسی معدن، دانشگاه بیرجند.

## فهرست مطالب

و	چکیده.....
۱	<b>فصل اول: کلیات.....</b>
۲	۱-۱ مقدمه.....
۳	۲-۱ بیان مسئله.....
۴	۳-۱ ضرورت انجام تحقیق.....
۴	۴-۱ اهداف تحقیق.....
۵	۵-۱ پیشینه مطالعاتی.....
۵	۱-۵-۱ پیشینه مطالعات در ایران.....
۹	۲-۵-۱ پیشینه مطالعات در خارج از ایران.....
۱۱	۶-۱ روش تحقیق.....
۱۲	۷-۱ ساختار پایان نامه.....
۱۵	<b>فصل دوم: تهیه لایه‌های اطلاعاتی سنجش از دور و زمین‌شناسی.....</b>
۱۶	۱-۲ مقدمه.....
۱۶	۲-۲ سنجش از دور.....
۱۷	۱-۲-۲ کاربرد سنجش از دور در اکتشاف کانسارها.....
۱۸	۳-۲ داده‌های ماهواره‌ای.....
۱۹	۱-۳-۲ طیف‌های جذب و انعکاس کانی‌ها و سنگ‌ها.....
۲۰	۲-۳-۲ معرفی برخی سنجنده‌ها و ماهواره‌ها.....
۲۵	۳-۳-۲ قدرت تفکیک سنجنده.....
۲۷	۴-۳-۲ پردازش داده‌های دورسنجی.....
۳۳	۴-۲ نتایج پردازش داده‌های دورسنجی.....

۳۳	نتایج مربوط به ترکیب رنگی کاذب نسبت بانندی
۳۵	نتایج روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit)
۳۷	نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)
۴۸	نتایج فاکتور شاخص بهینه
۴۹	نتایج حاصل از پردازش داده‌های دورسنجی
۵۳	زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه
۵۳	موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه
۵۳	شرایط اقلیمی محدوده مورد مطالعه
۵۳	زمین‌شناسی عمومی
۵۵	زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک محدوده مورد مطالعه
۵۶	چینه‌شناسی محدوده

## فصل سوم: تهیه لایه اطلاعاتی مغناطیس‌هوایی

۶۶	مقدمه
۶۶	روش مغناطیس‌سنجی
۶۷	اجزای میدان مغناطیسی
۶۸	خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها
۷۰	روش‌های مغناطیس‌سنجی
۷۳	تبدیلات و پردازش‌ها بر روی داده‌های مغناطیسی
۷۸	نتایج پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی
۸۰	نتایج حاصل از نقشه آنومالی باقیمانده
۸۳	نتایج حاصل از مشتق قائم
۸۴	نتایج حاصل از سیگنال تحلیلی
۸۴	نتایج حاصل از مشتق تیلت



۸۵.....۳-۳-۵ نتایج حاصل از مشتق افقی.....

۸۷.....۳-۳-۶ نتایج حاصل از پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی.....

### **۱۹..... فصل چهارم: تلفیق لایه‌های اطلاعاتی اکتشافی در محیط GIS**

۹۰..... ۱-۴ مقدمه.....

۹۰..... ۲-۴ تلفیق لایه‌های اطلاعاتی اکتشافی.....

۹۱..... ۱-۲-۴ روش منطق فازی.....

۹۳..... ۲-۲-۴ روش همپوشانی شاخص چند کلاسه.....

۹۵..... ۳-۴ نتایج تلفیق لایه‌های اکتشافی.....

۹۵..... ۱-۳-۴ کلاسه‌بندی و وزندهی به لایه‌های اطلاعاتی به کمک روش همپوشانی شاخص چند کلاسه.....

۹۹..... ۲-۳-۴ تلفیق لایه‌ها با استفاده از روش همپوشانی شاخص چند کلاسه.....

۱۰۰..... ۳-۳-۴ نتایج منطق فازی.....

۱۰۹..... ۴-۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....

### **۱۱۱..... فصل پنجم: بررسی مطالعات مغناطیس زمینی**

۱۱۲..... ۱-۵ مقدمه.....

۱۱۲..... ۲-۵ موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی.....

۱۱۳..... ۳-۵ زمین‌شناسی محدوده اکتشافی کهرنگ.....

۱۱۴..... ۴-۵ طراحی شبکه برداشت.....

۱۱۵..... ۵-۵ دستگاه مورد استفاده.....

۱۱۶..... ۶-۵ برداشت.....

۱۱۷..... ۷-۵ اندازه‌گیری مقادیر مغناطیسی نقاط برداشت و ایستگاه مبنا.....

۱۱۷..... ۸-۵ پیش پردازش یا تصحیح داده‌ها.....

۱۱۷..... ۱-۸-۵ تصحیح روزانه.....

۱۱۷..... ۲-۸-۵ تصحیح طول و عرض جغرافیایی.....

۱۱۷.....	۳-۸-۵ تصحیح ارتفاع.....
۱۱۸.....	۴-۸-۵ اثر میدان مغناطیسی هسته زمین.....
۱۱۸.....	۹-۵ پیش پردازش‌های انجام شده بر روی داده‌های مغناطیس‌سنجی محدوده مورد مطالعه.....
۱۲۱.....	۱۰-۵ پردازش و تفسیر کیفی داده‌های مغناطیس.....
۱۲۱.....	۱-۱۰-۵ اعمال فیلتر برگردان به قطب.....
۱۲۲.....	۲-۱۰-۵ اعمال فیلتر روند سطحی.....
۱۲۵.....	۳-۱۰-۵ اعمال فیلتر ادامه فراسو.....
۱۲۹.....	۴-۱۰-۵ اعمال فیلتر مشتق قائم.....
۱۳۰.....	۵-۱۰-۵ اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی.....
<b>۱۳۳.....</b>	<b>فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....</b>
۱۳۴.....	۱-۶ نتیجه‌گیری.....
۱۳۶.....	۲-۶ پیشنهادات.....
۱۳۸.....	منابع.....

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: نمایش طیف‌های الکترومغناطیس ..... ۱۹
- شکل ۲-۲: نمودار درصد انعکاس امواج الکترومغناطیس در محدوده ۰/۵ تا ۲/۵ میکرومتر ..... ۲۰
- شکل ۳-۲: طیف انعکاسی برخی از کانی‌ها ..... ۲۶
- شکل ۴-۲: تصویر ماهواره‌ای قبل و بعد از تصحیح هندسی تصویر ..... ۲۸
- شکل ۵-۲: رفتار طیفی برخی اکسیدهای آهن ..... ۳۱
- شکل ۶-۲: تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۳ و ۲ و ۱ سنجنده Etm+ ماهواره لندست ۷ ..... ۳۳
- شکل ۷-۲: تصویر حاصل از ترکیب باندهای نسبت‌های ۳/۱ و ۴/۳ و ۵/۷ سنجنده ETM+ ..... ۳۴
- شکل ۸-۲: تصویر حاصل از ترکیب باندهای نسبت‌های ۱۱/۱۲ و ۴/۱۱ و ۴/۲ سنجنده سنتینل ..... ۳۵
- شکل ۹-۲: تصویر حاصل از ترکیب رنگی کاذب به روش Ls-Fit از سنجنده ETM+ ..... ۳۶
- شکل ۱۰-۲: تصویر حاصل از ترکیب رنگی کاذب به روش LS-Fit از سنجنده سنتینل ..... ۳۷
- شکل ۱۱-۲: تصویر حاصل از PC4- بدست آمده از اعمال PCA (اکسید آهن) ..... ۳۹
- شکل ۱۲-۲: تصویر حاصل از PC4 به دست آمده از اعمال PCA (کانی‌های رسی) ..... ۳۹
- شکل ۱۳-۲: تصویر حاصل از PC5 به دست آمده از اعمال PCA (پوشش گیاهی) ..... ۳۹

- شکل ۲-۱۴: تصویر حاصل از ترکیب بان‌دی RGB=PC4,PC5,PC4 ..... ۴۰
- شکل ۲-۱۵: تصویر حاصل از PC4 به دست آمده از اعمال روش کروس‌تا (اکسید آهن) ..... ۴۱
- شکل ۲-۱۶: تصویر حاصل از PC4- به دست آمده از اعمال روش کروس‌تا (آلتراسیون) ..... ۴۲
- شکل ۲-۱۷: تصویر حاصل از PC8- به دست آمده از اعمال PCA (اکسید آهن) ..... ۴۳
- شکل ۲-۱۸: تصویر حاصل از PC7- به دست آمده از اعمال PCA (آلتراسیون) ..... ۴۴
- شکل ۲-۱۹: تصویر حاصل از PC7- به دست آمده از اعمال PCA (پوشش گیاهی) ..... ۴۴
- شکل ۲-۲۰: تصویر حاصل از ترکیب بان‌دی PC8- و PC6 و PC7- ..... ۴۵
- شکل ۲-۲۱: تصویر حاصل از PC5- جهت بارزسازی اکسید آهن ..... ۴۶
- شکل ۲-۲۲: تصویر حاصل از PC3 جهت بارزسازی پوشش گیاهی ..... ۴۶
- شکل ۲-۲۳: تصویر حاصل از PC4 جهت بارزسازی آلتراسیون ..... ۴۷
- شکل ۲-۲۴: تصویر حاصل از ترکیب بان‌دی RGB=PC5,PC3,PC4 ..... ۴۷
- شکل ۲-۲۵: تصویر حاصل از ترکیب بان‌دی ۵۳۱ سنجنده ETM+ ..... ۴۸
- شکل ۲-۲۶: تصویر حاصل از ترکیب بان‌دی ۲، ۱۱، ۸ سنجنده سنتینل ..... ۴۹
- شکل ۲-۲۷: نقشه خروجی واحدهای سنگی پتانسیل‌دار محدوده ..... ۵۰

- شکل ۲-۲۸: نقشه خروجی آلتراسیون‌های محدوده ..... ۵۱
- شکل ۲-۲۹: نقشه خروجی آهن و اکسید آهن ..... ۵۲
- شکل ۲-۳۰: نقشه خروجی گسل‌ها و خطواره‌ها ..... ۵۳
- شکل ۲-۳۱: نقشه حاصل از چهار نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مهدی‌آباد و زرین ..... ۶۳
- شکل ۲-۳۲: نقشه حاصل از گسل‌های مستخرج از نقشه زمین‌شناسی ..... ۶۴
- شکل ۳-۱: اجزای میدان مغناطیس ..... ۶۷
- شکل ۳-۲: میانگین و دامنه تغییرات خودپذیری مغناطیسی سنگ‌های مختلف ..... ۶۹
- شکل ۳-۳: نمایی از پیمایش مغناطیس‌سنجی هوایی و زمینی ..... ۷۰
- شکل ۳-۴: مراحل مختلف تصحیح داده‌های میدان مغناطیسی ..... ۷۵
- شکل ۳-۵: نقشه میدان مغناطیس کل محدوده مورد مطالعه ..... ۷۹
- شکل ۳-۶: نقشه‌ی پتانسیل مغناطیسی پس از اعمال تصحیح IGRF ..... ۸۰
- شکل ۳-۷: نقشه‌ی باقیمانده حاصل از اعمال فیلتر حذف روند (trend) (درجه یک) ..... ۸۱
- شکل ۳-۸: نقشه‌ی باقیمانده حاصل از اعمال فیلتر حذف روند (trend) (درجه دو) ..... ۸۲
- شکل ۳-۹: نقشه‌ی باقیمانده حاصل از اعمال فیلتر حذف روند (trend) (درجه سه) ..... ۸۲
- شکل ۳-۱۰: نقشه مشتق قائم اول ..... ۸۳

- شکل ۳-۱۱: نقشه حاصل از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی ..... ۸۴
- شکل ۳-۱۲: نقشه حاصل از اعمال فیلتر زاویه تیلت ..... ۸۵
- شکل ۳-۱۳: نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در راستای آزیموت ۴۵ درجه ..... ۸۶
- شکل ۳-۱۴: نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در راستای آزیموت ۱۳۵ درجه ..... ۸۶
- شکل ۳-۱۵: نقشه رقومی توده‌های نفوذی و خطواره‌های حاصل از پردازش داده‌های مغناطیسی ..... ۸۸
- شکل ۴-۱: مراحل کاربرد منطق فازی به‌طور نمادین ..... ۹۲
- شکل ۴-۲: نمایش چندتایی (چند کلاسه) شواهد فضایی ..... ۹۴
- شکل ۴-۳: نقشه چند کلاسه از لایه زمین‌شناسی ..... ۹۶
- شکل ۴-۴: نقشه چند کلاسه‌ای از چگالی گسل‌های محدوده ..... ۹۷
- شکل ۴-۵: نقشه دو کلاسه از اکسید آهن در محدوده ..... ۹۸
- شکل ۴-۶: نقشه دو کلاسه از آلتراسیون در محدوده ..... ۹۸
- شکل ۴-۷: نقشه سه کلاسه لایه توده نفوذی ..... ۹۹
- شکل ۴-۸: تلفیق نتایج به روش همپوشانی شاخص چند کلاسه ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۹: لایه زمین‌شناسی وزن داده شده ..... ۱۰۳

- شکل ۴-۱۰: لایه خطواره وزن داده شده ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۱۱: لایه اکسید آهن (حاصل از دورسنجی) وزن داده شده ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۱۲: لایه آلتراسیون وزن داده شده ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۱۳: توده نفوذی (حاصل از مغناطیس‌سنجی) وزن داده شده ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۱۴: نقشه پتانسیل مطلوب محدوده مورد مطالعه به روش فازی با گاما ۰/۹ ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۵: نقشه پتانسیل مطلوب محدوده مورد مطالعه به روش فازی با گاما ۰/۸ ..... ۱۰۸
- شکل ۵-۱: نقشه راه‌های دسترسی به محدوده کهرنگ ..... ۱۱۲
- شکل ۵-۲: نقشه زمین‌شناسی محلی محدوده کهرنگ ..... ۱۱۳
- شکل ۵-۳: شبکه برداشت طراحی شده برای داده‌های مغناطیس‌سنجی در محدوده مورد مطالعه ..... ۱۱۴
- شکل ۵-۴: پروفیل‌های برداشت در محدوده مورد مطالعه ..... ۱۱۵
- شکل ۵-۵: تصویری از دستگاه مغناطیس‌سنج پروتون مدل GSM 19T شرکت GEMSYS کانادا ..... ۱۱۶
- شکل ۵-۶: نمایی از شبکه برداشت در محدوده به همراه نقشه مغناطیس کل محدوده ..... ۱۱۷
- شکل ۵-۷: نقشه میدان مغناطیسی کل محدوده (TMI) ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۸: نقشه حاصل از میدان مغناطیسی کل زمین (اثر IGRF) در محدوده ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۹: نقشه میدان کل مغناطیسی محدوده پس از حذف اثر IGRF ..... ۱۲۱

- شکل ۵-۱۰: نقشه میدان مغناطیسی کل پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب. .... ۱۲۲
- شکل ۵-۱۱: نقشه‌های بی‌هنجاری باقیمانده حاصل از حذف روند سطحی درجه یک ..... ۱۲۳
- شکل ۵-۱۲: نقشه‌های بی‌هنجاری باقیمانده حاصل از حذف روند سطحی درجه دو ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۱۳: نقشه‌های بی‌هنجاری باقیمانده حاصل از حذف روند سطحی درجه سه ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۱۴: گسترش به سمت بالا ۲۰ متر ..... ۱۲۶
- شکل ۵-۱۵: گسترش به سمت بالا ۵۰ متر ..... ۱۲۷
- شکل ۵-۱۶: گسترش به سمت بالا ۹۰ متر ..... ۱۲۷
- شکل ۵-۱۷: گسترش به سمت بالا ۱۵۰ متر ..... ۱۲۸
- شکل ۵-۱۸: گسترش به سمت بالا ۲۰۰ متر ..... ۱۲۸
- شکل ۵-۱۹: گسترش به سمت بالا ۳۰۰ متر ..... ۱۲۹
- شکل ۵-۲۰: نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق قائم مرتبه اول بر روی داده‌های محدوده ..... ۱۳۰
- شکل ۵-۲۱: نقشه حاصل از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های محدوده. .... ۱۳۱



## فهرست جداول

- جدول ۱-۲: انواع ماهواره‌های مورد استفاده در مطالعات زمین‌شناسی ..... ۱۷
- جدول ۲-۲: خصوصیات ماهواره‌های لندست ۱ تا ۶ ..... ۲۱
- جدول ۳-۲: خصوصیات ماهواره سنتینل-۲ ..... ۲۵
- جدول ۴-۲: نتایج مقادیر ویژه حاصل از اعمال PCA بر روی باندهای ۱-۷ سنجنده ETM+ ..... ۳۸
- جدول ۵-۲: نتایج مقادیر ویژه حاصل از روش کروستا بر روی باندهای ۱ و ۳ و ۴ و ۵ سنجنده ETM+ ..... ۴۱
- جدول ۶-۲: نتایج مقادیر ویژه حاصل از روش کروستا بر روی باندهای ۱ و ۳ و ۴ و ۵ سنجنده ETM+ ..... ۴۲
- جدول ۷-۲: نتایج اعمال PCA بر روی تمام باندهای سنتینل ..... ۴۳
- جدول ۸-۲: نتایج اعمال PCA بر روی باندهای ۲ و ۴ و ۸ و ۱۱ و ۱۲ سنتینل ..... ۴۵
- جدول ۱-۴: طبقه‌بندی لایه زمین‌شناسی برای تلفیق به روش همپوشانی شاخص چند کلاسه ..... ۹۵
- جدول ۲-۴: طبقه‌بندی لایه چگالی گسل برای تلفیق به روش همپوشانی شاخص چند کلاسه ..... ۹۶
- جدول ۳-۴: طبقه‌بندی لایه توده‌های نفوذی برای تلفیق به روش همپوشانی شاخص چند کلاسه ..... ۹۹
- جدول ۴-۴: وزن دهی کلاس‌ها در روش فازی ..... ۱۰۲
- جدول ۱-۵: بخشی از داده‌های مغناطیس‌سنجی برداشت شده در محدوده مورد مطالعه ..... ۱۱۹



# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱ مقدمه

زیربنای بحث صنعت و اکتشاف در یک جامعه را می‌توان اکتشاف مواد معدنی دانست. دلیل این امر این است که انسان از همان ابتدا و براساس نوع نیازی که داشت، به اکتشاف مواد معدنی پرداخت. این تلاش محدود به گذشته نبوده و در حال حاضر نیز با استفاده از روش‌های مدرن به اکتشاف مواد معدنی پرداخته می‌شود تا چرخ صنعت به‌طور پیوسته بچرخد. از طرفی تداوم زندگی انسان و هر موجود زنده‌ای که بر روی زمین زندگی می‌کند، در گرو طبیعت و امکاناتی است که طبیعت آن‌ها را عرضه می‌کند. از این‌رو به مواد معدنی که در پوسته زمین وجود دارند، توجه ویژه‌ای می‌شود و هر روز به تلاش بر یافتن کانسارهای جدید و یا گسترش هر چه بیشتر از کانسارهای موجود افزوده می‌گردد (دانشور سایین و رسا، ۱۳۸۸).

از جمله دانشی که به اکتشاف کانسارها کمک می‌کند، سنجش از دور است. نقش مهم سنجش از دور در اکتشاف معادن و ذخایر معدنی و به دنبال آن اقتصاد و صنعت کشور غیرقابل انکار است. به کمک سنجش از دور می‌توان از الگوهای ساختاری و شکستگی‌های موجود نقشه‌برداری کرد و مناطق کانی‌زایی را در یک محدوده مشخص نمود (Sirvastav et al., 2000).

از طرفی مغناطیس‌سنجی را می‌توان از جمله روش‌های قدیمی در ژئوفیزیک معرفی کرد که در بسیاری از فعالیت‌های اکتشافی و به‌خصوص اکتشاف ذخایر آهن مورد استفاده قرار گرفته است. اگر داده‌های مغناطیس‌سنجی به‌طور صحیح برداشت شوند و تفسیر درستی بر روی آن‌ها صورت بپذیرد، در کنار سایر اطلاعات اکتشافی، اطلاعات مهمی را در مورد موقعیت، عمق و ابعاد ذخایر آهن ارائه می‌دهند. همچنین هزینه‌ها را تا حد بسیار زیادی کاهش می‌دهند (Robinson et al., 2005).

برای آن‌که بررسی‌های اکتشافی مفید واقع گردند، از تلفیق داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیکی، عکس‌های ماهواره‌ای و نشانه‌های معدنی استفاده می‌شود. به کمک تلفیق اطلاعات می‌توان اطلاعات مفیدی در مورد ساختارها، منشأ، سنگ‌های میزبان و برآیندهای کانی‌سازی به دست آورد که در انتها به شناسایی نواحی امیدبخش معدنی منجر می‌شود (جاهدی و همکاران، ۱۳۸۳). روش تلفیق اطلاعات

الگوی مطالعاتی استاندارد جهانی است که امکان دستیابی به نتایج موردنظر را فراهم می‌سازد (ابوتراب و همکاران، ۱۳۹۴). به این دلیل که پدیده‌های زمین‌شناسی همراه با عدم قطعیت هستند، به‌منظور اطمینان در تعیین مناطق مناسب بررسی‌های اکتشافی تفضیلی باید از روش‌های تلفیقی استفاده کرد (Malczewski, 1999). GIS<sup>1</sup> سیستمی مناسب برای جمع‌آوری و مرتب‌سازی داده‌ها و ترکیب و تلفیق آن‌ها به‌منظور حصول نتایج پربار می‌باشد (Bonham-Carter, 1996).

## ۲-۱ بیان مسئله

محدوده موردنظر در واحد زمین‌شناسی ایران مرکزی قرار دارد و در این مجموعه‌ی تکتونیکی مواد معدنی متنوعی به‌صورت‌های رگه‌ای و توده‌ای و رسوبی تشکیل شده که یکی از بخش‌های معدنی کشور به‌حساب می‌آید. کانی‌زایی‌های زیادی نظیر آهن و سرب و روی و انواع خاک‌های رس و سنگ‌های ساختمانی (مرمر) و ذخایر تبخیری در محدوده وجود دارد از این‌رو مطالعه در این محدوده مورد توجه قرار می‌گیرد (مستوفی، ۱۳۸۰). امروزه با توجه به این که اکثر منابع سطحی اکتشاف شده‌اند و برای اکتشاف منابع عمیق‌تر صرفاً با به‌کارگیری اطلاعات زمین‌شناسی سطحی نمی‌توان منابع معدنی را جستجو کرد و نمی‌توان در رابطه با مشخصات فیزیکی و هندسی منابع نظر داد و همچنین در ارزیابی منابع و اقتصادی بودن آن به مشکل می‌خوریم، به اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی، دورسنجی روش‌های نوین اکتشاف روی آورده‌ایم. روش‌های دورسنجی از جمله روش‌های ارزان و کم‌هزینه می‌باشند و محدوده‌ی وسیعی در طول موج‌های مختلف را در برمی‌گیرد. بنابراین یکی از بهترین روش‌های پی‌جویی می‌باشد. البته از این روش در صورتی که سطح زمین پوشیده از رسوبات نباشد، می‌توان استفاده کرد. زمانی که سطح زمین پوشیده از رسوبات است از روش‌های ژئوفیزیکی می‌توان کمک گرفت. استفاده هم‌زمان از داده‌های زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوفیزیکی این امکان را در اختیار قرار می‌دهد که بتوان مطالعات سطحی و زیرسطحی را به‌طور هم‌زمان انجام داد و به درک صحیح‌تری از محدوده دست یافت (Abrams et al., 1988).

روش‌های ژئوفیزیکی با صرف هزینه کمتر نسبت به روش‌های حفاری اطلاعات نسبتاً دقیقی از

---

<sup>1</sup> - Geographical Information System

ساختارهای زیرسطحی در اختیار ما قرار می‌دهد. در مقایسه با روش‌های حفاری یا بسیاری از دیگر روش‌های اکتشاف، روش‌های ژئوفیزیک سبب کاهش قابل توجه هزینه‌ها می‌شود. این روش‌ها، ضمن بررسی و اکتشاف مواد معدنی در محدوده وسیع با هزینه بسیار کمتر نسبت به روش‌های حفاری، اطلاعات دقیقی فراهم می‌آورند. روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های مناسبی می‌باشند که در پی‌جویی و اکتشاف منابع مختلف کارایی بالایی دارند (Gautneb et al., 2000)؛ در این پژوهش از روش‌های ژئوفیزیکی مغناطیس‌هوایی و مغناطیس‌زمینی جهت پی‌بردن به ساختارهای زیرسطحی استفاده شده است. محدوده اکتشافی مورد مطالعه که در محدوده کوه چک‌چک واقع است به‌وسیله پردازش داده‌های مغناطیس‌هوایی و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل و لندست ۷ مورد پردازش قرار خواهد گرفت. هدف این پژوهش یافتن نقاط آنومال و بررسی پتانسیل کانی‌زایی در این محدوده با استفاده از تلفیق داده‌های اکتشافی می‌باشد؛ که این نقاط برای ادامه مراحل اکتشافی پیشنهاد می‌شوند.

### ۳-۱ ضرورت انجام تحقیق

داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند کمک شایانی در اکتشاف کانسارها کنند و در جامعه علمی امروزه به آن‌ها بسیار توجه شده‌است و باعث کشف کانسارهای معدنی زیادی در سطح جهان گردیده است. در صورتی که بررسی داده‌های سنجش از دور با دیگر لایه‌های اکتشافی مثل مغناطیس‌سنجی و... تلفیق شوند، نتایج بهتری حاصل خواهد شد. به خصوص داده‌های ژئوفیزیکی که در عین ارزان بودن، نتایج قابل توجهی را به دنبال دارد

محدوده مورد مطالعه در زون ایران مرکزی قرار گرفته است و به لحاظ کانی‌زایی بسیار غنی می‌باشد. به‌طوری‌که معادن فلزی بزرگی نظیر آهن چادرملو و چغارت و سرب و روی کوشک و انجیره و ده‌ها معدن غیرفلزی باریت و کائولن آهک و نمک و غیره و معدن اورانیوم دلیل بر وجود انواع مواد معدنی مختلف در این محدوده می‌باشد. از این‌رو مطالعات و کار اکتشافی در این محدوده امری ضروری می‌باشد.

### ۴-۱ اهداف تحقیق

در این مطالعه با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مغناطیس‌سنجی، پتانسیل کانی‌زایی محدوده

چک‌چک در استان یزد مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های دورسنجی مورد استفاده تصاویر گرفته شده از ماهواره سنتینل و لندست ۷ می‌باشد. از این‌رو داده‌های مغناطیس‌هوایی محدوده نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. لذا هدف از این مطالعه بررسی داده‌های سنجش از دور و مغناطیس‌سنجی و تلفیق نتایج این دو روش برای رسیدن به پتانسیل کانی‌زایی در محدوده چک‌چک می‌باشد.

مهم‌ترین هدف از انجام این تحقیق یافتن نقاط آنومال می‌باشد که در ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شده و در مرحله بعد با استفاده از داده‌های مغناطیس‌سنجی به صحت‌سنجی و موقعیت دقیق و ساختار زیرسطحی مواد معدنی پرداخته خواهد شد. از آنجایی که استفاده مطلق از یک روش اکتشافی به نتیجه مطلوب نمی‌رسد، در این محدوده به تلفیق داده‌های اکتشافی پرداخته خواهد شد.

## ۵-۱ پیشینه مطالعاتی

### ۱-۵-۱ پیشینه مطالعات در ایران

از جمله تحقیقات مرتبط با موضوع پایان‌نامه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کاویانی صدر و همکاران در سال ۱۳۹۲ به بررسی موضوعی با عنوان «ارتباط وضعیت ساختاری با کانه‌زایی بر اساس داده‌های مغناطیس‌هوایی، ماهواره‌ای و مطالعات صحرایی محدوده معدنی چشمه خوری (شمال باختر بیرجند)» پرداختند. در این تحقیق به منظور رسیدن به اهداف اکتشافی و تشخیص ناهنجاری‌های مواد معدنی به تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوایی برای شناسایی گسل‌های پنهان و منشأ نفوذ محلول‌های هیدروترمال جهت فلزی پایه و گران‌بها پرداخته شد. پهنه‌های برشی موجود در محدوده به کمک آشکار شدن یک خطواره مغناطیسی و تمرکز میدانی بر روی آن شناسایی شدند. این پهنه‌های برشی بر فاز کانی‌زایی در محدوده مؤثر بودند. براساس بررسی‌های میدانی نیز این نتیجه حاصل گردید که روند پهنه‌های برشی اکثراً دگرسان شده‌اند. در ادامه روش‌های مغناطیس‌سنجی‌هوایی، ماهواره‌ای و پیمایش‌های میدانی با یکدیگر تلفیق شدند که در نتیجه آن سه روند عمده ساختاری شمال باختر- جنوب خاور، خاوری- باختری و شمال خاور- جنوب باختر مشخص شد. در نهایت محققان نتیجه‌گیری کردند که کاربرد هم‌زمان سه روش مغناطیس‌سنجی‌هوایی، ماهواره‌ای و پیمایش‌های میدانی در تأیید خطواره‌ها و زون‌های دگرسانی

محدوده و تفکیک آن‌ها از انواع کاذب را می‌توان به‌عنوان روش بهینه در ثبت خطواره‌های اصلی، ناهنجاری‌های مربوطه و مناطق مستعد کانی‌زایی در این محدوده و محدوده‌های معدنی مشابه معرفی کرد.

شایسته‌فر و همکاران در سال ۱۳۹۳ به بررسی موضوعی با عنوان «اکتشاف کرومیت با استفاده از آنالیز داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی ۱:۵۰۰۰۰:۱ آبدشت، اسفندقه کرمان» پرداختند. در این تحقیق به‌منظور بررسی داده‌های ژئوفیزیک هوایی محدوده از فیلترهای دیجیتال برگردان به قطب، مشتق اول و دوم، سیگنال تحلیلی و ادامه فراسو بر روی نقشه شدت کل میدان مغناطیسی استفاده شد و به کمک این فیلترها توده‌های مغناطیسی دیده شده در محدوده شناسایی شدند. الگوی مغناطیسی محدوده موردنظر به کمک نقشه‌های حاصل شده مقایسه آن‌ها با کانسارهای کرومیت محدوده به دست آمد. علاوه بر این مطالعات زمین‌شناسی نیز در محدوده انجام گرفت و نتایج حاصل از آن با الگوی مغناطیسی به دست آمده مقایسه گردید. در ادامه و براساس نتایج حاصل و همچنین نقشه مشتق قائم و ادامه فراسو، ۲۵ محدوده به-منظور اکتشافات تفضیلی شناسایی شدند.

روحبخش و همکاران در سال ۱۳۹۳ به بررسی موضوعی با عنوان «مطالعات دورسنجی و مغناطیس‌سنجی در اکتشاف کانسنگ آهن در محدوده درنجال، شمال غربی طبس» پرداختند. در این تحقیق در مرحله نخست به پردازش تصاویر استر با روش نقشه‌برداری زاویه طیفی پرداخته شد تا زون‌های اکسید آهن مشخص شوند. در مرحله بعد به بررسی مغناطیس‌سنجی زمینی بخشی از محدوده مورد مطالعه پرداخته شد. میزان تغییرات شدت کل میدان برابر با  $2/920$  گاما بود. این میزان شدت میدان نشان‌دهنده نفوذ توده‌های دیابازی در سازند کربناتی کلشانه بود. آنالیز کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نیز بر روی محدوده انجام گردید که نتایج آن حضور مگنتیت و هماتیت را در نقطه آنومالی مغناطیسی A تأیید نمود. بر همین اساس محققان نتیجه گرفتند که دورسنجی به‌عنوان روشی کارآمد همراه با روش مغناطیس‌سنجی به‌عنوان روشی کمکی سبب شناسایی توده‌های دیابازی به‌عنوان منشأ کانی‌سازی آهن می‌گردد.

کاشفی و همکاران در سال ۱۳۹۴ به بررسی موضوعی با عنوان «پتانسیل‌یابی ذخایر کرومیت با



استفاده از تلفیق داده‌های ژئوفیزیک و ژئوشیمی، دورسنجی و زمین‌شناسی در محیط GIS در محدوده تربت حیدریه» پرداختند. در این تحقیق به منظور بررسی داده‌های دورسنجی از نرم‌افزار ENVI و به کمک تصاویر استر استفاده شد. هدف از بررسی داده‌های دورسنجی جداسازی و همچنین تفکیک دگرسانی‌هایی بود که مرتبط با ذخایر کرومیت بودند. برای تحلیل این داده‌ها از روش نسبت بانندی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. در ادامه به منظور پردازش داده‌های ژئوشیمیایی از روش زونالیت‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از سه نوع داده زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوشیمیایی در محیط نرم‌افزار GIS تلفیق شدند و به کمک آن مناطق مستعد کانی‌سازی کرومیت شناسایی شدند.

صفایی و همکاران در سال ۱۳۹۴ به بررسی موضوعی با عنوان «اکتشاف کانسار آهن سنقر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مغناطیس‌سنجی» پرداختند. در این تحقیق از روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی، نسبت بانندی و روش کمترین مربعات رگرسیون شده بر روی تصاویر داده‌های Aster به منظور شناسایی مناطق اکسید آهن استفاده شد. همچنین از محدوده بازدید صحرایی به عمل آمد. برای چهار محدوده که دارای رخنمون‌های مگنتیتی بودند، شبکه برداشت مغناطیس‌سنجی طراحی و برداشت شد. روش‌های تفسیر دوبعدی داده‌های مغناطیسی فقط کیفی و نصف کمی بوده و مناسب بکار بردن در تعیین پارامترهای کمی و هندسی کانی‌سازی نمی‌باشند. با در نظر گرفتن به ساختار ناآشنا کان‌سنگ آهن، مدل‌سازی معکوس سه‌بعدی، یکی از روش‌های کاربردی جهت تفسیر کمی داده‌های مغناطیس‌سنجی هست که مدل توزیع خودپذیری مغناطیسی سنگ‌ها را در سه بعد به تصویر می‌کشد.

سعادت در سال ۱۳۹۵ به بررسی موضوعی با عنوان «زمین‌شناسی، ژئوشیمی و مطالعات مغناطیس‌سنجی زمینی در اکتشاف ذخایر آهن محدوده کلاته ناصر، خراسان جنوبی» پرداختند. در این تحقیق مقادیر  $F2O3$  بین ۳۱ تا ۹۶ درصد،  $P2O5$  حداکثر ۰/۴۵ درصد و  $TiO2$  بین ۰/۰۲ تا ۰/۵۴ درصد در نمونه‌های کانسنگ متغیر بود. بیشترین شدت میدان در محدوده حدود ۷۰۰۰۰ و کمترین آن حدود ۴۰۰۰۰ نانو تسلا اندازه‌گیری شد. نقشه‌های شدت کل، برگردان به قطب، سیگنال تحلیلی، مشتق اول قائم و ادامه فراسو تهیه شد. نتایج به دست آمده از حفاری‌های انجام شده، انطباق بسیار خوبی با بررسی‌های

مغناطیس‌سنجی داشت و گسترش کانی‌سازی آهن تا عمق ۵۰ متر آشکار شد. میزان پایین پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های نفوذی و آلتراسیون ضعیف آن‌ها نشان داد که این توده‌ها نقش اصلی در کانی‌سازی آهن ندارند و توده نفوذی مولد کانی‌سازی با فاصله و به احتمال زیاد در اعماق بیشتر قرار دارد.

رضایی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی موضوعی با عنوان «تصویرسازی کانسار آهن اجت‌آباد با استفاده از داده‌های مغناطیس‌سنجی» پرداختند. در این تحقیق به منظور شناسایی وضعیت عمقی و گسترش جانبی کانسار از روش مغناطیس‌سنجی استفاده شد. پس از برداشت داده‌ها و انجام تصحیحات لازم بر روی این داده‌ها و اعمال صافی برگردان به قطب چندین بی‌هنجاری در محدوده شناسایی شد. نتایج نشان داد که هشت بی‌هنجاری مثبت مغناطیسی در این محدوده وجود دارد. با انجام صافی گسترش به سمت بالا و مدل‌سازی وارون سه‌بعدی داده‌های مغناطیسی، گسترش جانبی و عمقی توده‌های بی‌هنجاری تصویرسازی گردید. بررسی‌های انجام گرفته نشان داد که از بین این هشت توده، تعداد هفت عدد آن‌ها با کانی‌سازی همراه بوده و تنها یک توده بی‌هنجاری موجود به احتمال زیاد توده نفوذی است. همچنین مدل‌سازی نشان داد که عمق کانی‌سازی بین ۱۰ تا ۱۰۰ متر است.

#### در محدوده مورد مطالعه نیز:

عمرانی (۱۳۷۱) پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های نفوذی ناحیه زرین (اردکان یزد) را در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود مورد مطالعه قرار داده است. طبق این مطالعه ماگمای سازنده گرانیت زرین پر آلومینیوم و آلکالن می‌باشد و به همراه شواهد صحرایی و سنگ‌شناسی دلالت بر این دارد که از تیپ S می‌باشد. بعلاوه این توده جزء گرانیت‌های بعد از کوهزایی و از نوع درون ورقی بوده و نشان می‌دهد که در دوره نسبتاً آرام بعد از کوهزایی تکوین یافته است. در مقیاس ناحیه‌ای نقشه زمین‌شناسی این ورقه (در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰) در سال ۱۳۸۳ توسط یوسفی و حسینی تهیه شده است که در این مطالعه به‌عنوان نقشه پایه مورد استفاده قرار گرفته است.

سپهری‌راد در سال ۱۳۸۷ به ارائه گزارش بازدید از معادن متروکه و معرفی نواحی امیدبخش معدنی

ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰۰ زرین پرداخت. در این گزارش تمامی واحدها و سازندهای تشکیل دهنده منطقه مشخص گردید.

عباسی و ادیب در سال ۱۳۹۴ به بررسی موضوعی با عنوان «ارتباط کانی زایی فلزی با ساختارها بر روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰۰ اردکان یزد بر اساس داده‌های ژئوفیزیک، زمین‌شناسی و دورسنجی» پرداختند. در این تحقیق نتیجه گرفته شد بیشترین تمرکز کانسارهای فلزی در مرکز، شرق و جنوب غرب ناحیه در امتداد گسل‌های اصلی مانند پشت بادام و چاپدونی و گسل‌های فرعی مرتبط قرار دارند.

شرکت آرکا در سال ۱۳۹۵ عملیات گرانی سنجی را به منظور تکمیل مطالعات مغناطیس سنجی جهت اکتشاف سنگ آهن در محدوده‌ای به وسعت حدود ۲۰ کیلومترمربع در شمال شرق شهرستان اردکان در نزدیکی روستای توت (محدوده سنگ آهن حوض ولی) انجام داد. برای رسیدن به این هدف، یک شبکه با فاصله نقاط ۵۰ متر و فاصله خطوط برداشت ۱۵۰ متر طراحی شد که باعث اکتشاف آنومالی‌های دیگر در محدوده گردید (شرکت تعاونی معدنی یاقوت ظفر یزد، ۱۳۹۷).

شرکت آلومینای ایران نیز در سال ۱۳۹۸ ذخیره‌ی کانسار بوکسیت چک‌چک ۲،۲۸۷،۱۰۳ تن با میانگین  $SiO_2=10.37$  و  $Al_2O_3=46.39$  با اعمال عیار حد مجتمع آلومینای جاجرم (۲/۶۶) برآورد کرد.

#### ۱-۵-۲ پیشینه مطالعات در خارج از ایران

Moon در سال ۱۹۸۹ به بررسی موضوعی با عنوان «تلفیق لایه‌های اکتشافی ژئوفیزیکی، دورسنجی و زمین‌شناسی با استفاده از روش Dempster-Shafer» پرداخت. در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که از نظر تئوری، به نظر می‌رسد روش Dempster-Shafer مناسب‌ترین روش است، اما در عمل چندین مشکل وجود دارد که باید بر آن‌ها غلبه کرد. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات وابستگی جزئیات اکتشافی کوچک است که در حال حاضر تنها با رویکرد موردی قابل تعریف است.

Rokos و همکاران در سال ۲۰۰۰ به بررسی موضوعی با عنوان «تجزیه و تحلیل ساختاری برای کانی سازی طلا با استفاده از سنجش از دور و تکنیک‌های ژئوشیمیایی در محیط GIS: جزیره لسووس، هلاها» پرداختند. در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-تی ام و اسپات و مدل ارتفاعی دیجیتال (DEM)

محدوده مورد مطالعه با استفاده از تکنیک‌های فیلترینگ مکانی برای افزایش و شناخت خطوط قابل توجه از نظر زمین‌شناسی و همچنین عملیات جبری با نسبت بانندی به صورت دیجیتالی پردازش شدند. آنالیز مؤلفه اصلی (PCA)، برای شناسایی مناطق دگرسان شده انجام شد. نمودارهای آماری گل رز آماری از نقشه‌های خطوط و داده‌های میدانی جمع‌آوری شده به دست آمد. به منظور بررسی ارتباط الگوی تکتونیکی با پهنه‌بندی و ژئومورفولوژی میدان آتشفشانی محدوده مورد مطالعه، نقشه خطی مشتق شده و تصاویر با نسبت بانندی در محیط GIS ایجاد شد. مناطق هدف مورد نظر جهت کانی سازی احتمالی نیز با استفاده از تکنیک‌های ژئوشیمیایی، مانند آنالیز پراش XRD و عناصر کمیاب مشخص شد. سرانجام، با ترکیب اطلاعات ساختاری با اطلاعات ژئوشیمیایی، نتیجه‌گیری مقدماتی در مورد امکان اندازه‌گیری مواد معدنی، نوع (سولفیداسیون زیاد یا کم) و میزان کانی سازی حاصل شد.

Raj Saxena و همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی موضوعی با عنوان «تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی و دورسنجی در اکتشاف آب‌های زیرزمینی در منطقه زهیرآباد هند» پرداختند. در این تحقیق نقشه‌های محلی زمین‌شناسی، ساختارها و ژئومورفولوژی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تهیه شد. بررسی مقاومت ژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه انجام شد. سرانجام با تلفیق لایه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و داده‌های ژئوفیزیکی، پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. معیارهای تجزیه و تحلیل GIS بر اساس شرایط آب زیرزمینی و داده‌های مقاومت ژئوشیمیایی در منطقه تعریف شد و وزن مناسب با توجه به سهم نسبی نسبت به خروجی مورد نظر، به هر لایه اطلاعاتی اختصاص یافت. این مطالعه نشان داد که در مناطق دارای بازالت، تشکیل آب‌های زیرزمینی بیشتر به شکستگی وابسته است.

Pereira و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی موضوعی با عنوان «استفاده از روش مغناطیس‌سنجی به منظور اکتشاف طلا در محدوده شمالی حوضه رسوبی کاماکوئا برزیل» پرداختند. در این تحقیق ۹ خط مغناطیس‌سنجی زمین با طول ۱۲۰۰ متر از هر کدام و در کل ۱۰۸۰۰ متر و ۷۲۰ ایستگاه مطالعه انجام شد. نتایج حاکی از وجود کانی سازی فیلونین در شکستگی‌ها بود که برخی از آن‌ها در معرض عمل

هوازدگی، آزادسازی و حمل طلا از طریق عمل آب و رسوب آن در امتداد رسوبات جریان پایین دست گابرو قرار گرفته بودند.

Barak و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی موضوعی با عنوان «اکتشاف کانسار مس پورفیری کاهنگ با استفاده از تلفیق پیشرفته داده‌های زمین‌شناسی، سنجش از دور، ژئوشیمیایی و مغناطیس‌سنجی» پرداختند. در این تحقیق برای تهیه لایه زمین‌شناسی از پوشش واحدهای سنگی و لایه‌های تکتونیکی استفاده شد. از تصاویر ASTER به منظور تشخیص تغییرات استفاده شد. فرآیندهای مورد استفاده برای تهیه لایه دگرسانی، روش‌های مبتنی بر تصویر شامل RGB، نسبت بانندی و آنالیز مؤلفه اصلی و همچنین روش‌های مبتنی بر طیف از جمله نقشه‌برداری زاویه طیفی بود. به منظور تهیه لایه ژئوشیمیایی، از روش‌های آماری چند متغیره مانند ماتریس همبستگی پیرسون و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای روی داده‌ها استفاده شد که نشان داد که هم مس و هم مولیبدن مؤثرترین عناصر کانی سازی هستند. برای جداسازی ناهنجاری ژئوشیمیایی از الگوسازی غلظت عددی استفاده شد و در نهایت، لایه ژئوشیمیایی با پوشش دهی دو لایه آماده مس و مولیبدن به دست آمد. به منظور تهیه لایه مغناطیسی، نقشه سیگنال تحلیلی داده‌های مغناطیس انتخاب شد. سرانجام، تلفیق FIS روی لایه‌ها اعمال شد. در نهایت، نقشه پتانسیل معدنی با ۳۳ گمانه حفاری شده در محدوده مورد مطالعه مقایسه شد. صحت مدل پس از دستیابی به درصد توافق ۷۰/۶٪ بین نتایج مدل و داده‌های واقعی از گمانه‌ها تأیید شد و در نتیجه مناطق مناسب برای حفاری بعدی پیشنهاد شد.

از دیگر تحقیقات در این زمینه می‌توان به مطالعات Rothery و همکاران در افیولیت‌های عمان در سال ۱۹۸۷، Kusky و Ramadan در جنوب شرق مصر در سال ۲۰۰۱، Aydal و همکاران در سال ۲۰۰۶ اشاره کرد. همچنین Yaoguo در سال ۱۹۹۸ از فیلترهای پایین‌گذر جهت تعیین مناطق بی‌هنجاری مواد معدنی استفاده کرد.

## ۶-۱ روش تحقیق

مراحل انجام این پایان‌نامه به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

۱- جمع‌آوری اطلاعات شامل کتب، مقالات، نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به محدوده مورد مطالعه،

۲- مطالعات کتابخانه‌ای در ارتباط با محدوده مورد مطالعه و موضوعات مشابه در ایران و سایر نقاط جهان،

۳- پردازش تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های مختلف و تفسیر نتایج به‌منظور استخراج خطواره‌ها، مناطق دگرسانی و واحدهای سنگی،

۴- تهیه داده‌های مغناطیس‌سنجی و اعمال تصحیحات لازم و پردازش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Geosoft و اعمال فیلترهای روند سطح:

- ادامه فراسو و فرسو،

- مشتقات،

- سیگنال تحلیلی،

- تعیین نقشه آنومال،

۵- رقوم‌سازی نقشه‌های زمین‌شناسی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی حاصل از روش مغناطیس‌سنجی و تصاویر ماهواره‌ای

۶- در نهایت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با نرم‌افزار GIS و ارائه مدل نهایی از ساختار آنومالی‌ها

۷- صحت‌سنجی مدل اکتشافی نهایی بر اساس بررسی شواهد صحرایی در راستای انتخاب و اولویت‌بندی زون‌های اکتشافی

## ۷-۱ ساختار پایان‌نامه

این مجموعه براساس مطالعات انجام، با ساختار زیر تنظیم شده است:

فصل اول به مقدمه و کلیات پایان‌نامه اختصاص داده شده است که در مورد هدف، ضرورت تحقیق و

روش انجام پژوهش و پیشینه مطالعاتی مشابه توضیح داده شد.

در فصل دوم به روش شناسی کار پرداخته شده است که شامل مبانی سنجش از دور، مغناطیس-سنجی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی است.

در فصل سوم به مطالعات زمین‌شناسی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و پردازش داده‌های مغناطیس‌هوایی و نتیجه‌گیری و تلفیق این لایه‌ها پرداخته شده است.

در فصل چهارم یکی از مناطق آنومال که با مطالعات ناحیه‌ای مشخص شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجایی که در این محدوده عملیات مغناطیس‌سنجی صورت گرفته است، به پردازش و تفسیر این داده‌ها در این فصل پرداخته شده است و در

فصل پنجم شامل نتایج کلی پایان‌نامه و پیشنهادهای مرتبط ارائه گردیده است.





فصل دوم  
تهیه لایه‌های اطلاعاتی سنجش از دور و  
زمین‌شناسی

## ۱-۲ مقدمه

با توجه به اینکه سنجش از دور و مغناطیس‌سنجی دانش‌های جدیدی هستند، انجام تحقیق می‌تواند به معرفی هر چه بهتر این دانش‌ها در زمینه اکتشاف مناطق معدنی بپردازد. از طرفی انجام این تحقیق مناطق کانی‌زا را در محدوده چک‌چک شناسایی می‌کند که نتیجه آن می‌تواند زمینه را برای انجام مطالعات تفصیلی فراهم نماید. همچنین این تحقیق می‌تواند راهی برای انجام سایر تحقیقات مشابه در مناطق کانی‌زای دیگر باشد. از این‌رو در این فصل به بیان مطالعات سنجش از دور و زمین‌شناسی پرداخته می‌شود.

## ۲-۲ سنجش از دور

به دانش به دست آوردن اطلاعات از یک جسم بدون تماس فیزیکی با آن جسم سنجش از دور می‌گویند. اطلاعات به دست آمده توسط جسم دیگری نسبت به جسم دیگر، محدوده یا پدیده‌ای خاص به دست می‌آید (Gupta et al., 2003). از جمله داده‌های جمع‌آوری شده توسط سنجش از دور می‌توان به داده‌های ژئوفیزیک هوابرد، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای اشاره کرد (علوی پناه، ۱۳۸۹).

اطلاعات به دست آمده توسط سنجش از دور ماهیتی تصویری و یا رقومی دارد. اطلاعات رقومی حاصل از بازتاب امواج الکترومغناطیس از سطح پدیده‌های زمینی می‌باشد که به وسیله ماهواره‌ها ثبت می‌شوند. داده‌های به دست آمده از خاک و آب و یا عوارض سطح زمین می‌باشند (Lillesand et al., 2004).

در مورد تصاویر ماهواره‌ای می‌توان گفت که اطلاعات زیادی از لایه‌های مختلف زمین در اختیار کاربر قرار می‌دهد. داده‌های ماهواره‌ای به دلیل در دسترس بودن، یکپارچه بودن، تنوع طیفی، وسیع بودن و ارزان قیمت بودن آن‌ها، مورد استقبال بیشتری نسبت به دیگر روش‌های مطالعاتی می‌باشد. از مزایای این روش نسبت به دیگر روش‌ها می‌توان به دسترسی سریع به نقاط دورافتاده، دسترسی آسان به داده‌ها و دقت بالای این روش اشاره نمود (علوی پناه، ۱۳۸۹). انواع ماهواره‌هایی که در مطالعات زمین‌شناسی استفاده می‌شوند، در جدول (۱-۲) نشان داده شده‌اند.

جدول ۱-۲: انواع ماهواره‌های مورد استفاده در مطالعات زمین‌شناسی به همراه طول موج‌های مربوطه (Pal et al., 2006)

	TM, ETM*	SPOT	FUYO-1	ASTER
<b>Bands</b>	۷	۴	۸	۱۴
<b>Swath(km)</b>	۱۸۵	۶۰	۷۵	۶۰
<b>VNIR</b>	۳۰	۲۰	۲۴*۱۸	۱۵
<b>SWIR</b>	۳۰		۲۴*۱۸	۳۰
<b>TIR</b>	۱۲۰			۹۰
<b>Bandspectral</b>				
۱	۰/۵۲-۰/۵۴	۰/۵۰-۰/۵۹	۰/۵۲-۰/۶۰	۰/۵۲-۰/۶۰
۲	۰/۵۲-۰/۶۰	۰/۶۱-۰/۶۸	۰/۶۳-۰/۶۹	۰/۶۳-۰/۶۹
۳	۰/۶۳-۰/۶۹	۰/۷۲-۰/۸۹	۰/۷۶-۰/۸۶	۰/۷۶-۰/۸۶
۴	۰/۷۶-۰/۹۰	۰/۵۰-۰/۷۴	۰/۷۶-۰/۸۶	۱/۶-۱/۷
۵	۱/۵۵-۱/۷۵		۱/۶-۱/۷	۲/۱۴-۲/۱۸
۶	۱۰/۴-۱۲/۵		۲/۰۱-۲/۱۲	۲/۱۸-۲/۲۲
۷	۲/۳۵-۲/۸		۲/۱۳-۲/۱۵	۲/۲۳-۲/۲۸
۸	۰/۵۰-۰/۹۰		۲/۲۷-۲/۴۰	۲/۲۹-۲/۳۶
۹				۲/۳۶-۲/۴۳
۱۰				۸/۱۲-۸/۴۸
۱۱				۸/۴۸-۸/۸۲
۱۲				۸/۹۲-۹/۲۸
۱۳				۱۰/۲-۱۱
۱۴				۱۱-۱۱/۶

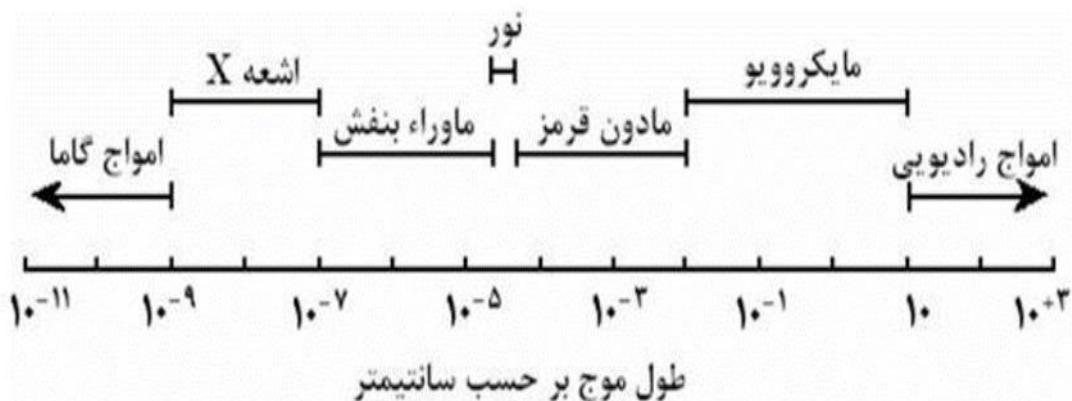
### ۱-۲-۲ کاربرد سنجش از دور در اکتشاف کانسارها

در شناسایی ایالت‌ها، کمربندها و مکان‌های کانه‌زایی از داده‌های سنجش از دور استفاده می‌شود، زیرا این داده‌ها از پوشش بالایی محدوده‌ای، پوشش‌های چند طیفی و چند زمانی برخوردار می‌باشند. از سنجش از دور و GIS برای شناسایی حرفه‌ای ذخایر معدنی استفاده می‌شود. با استفاده از طیف الکترومغناطیس می‌توان به اطلاعات خوبی در این زمینه دست یافت. سنجش از دور دارای کاربردهای زیادی در زمینه اکتشاف کانسار است که از جمله آن‌ها می‌توان موارد زیر را نام برد (Gupta, 2003):

- ۱- در طول نواحی با احتمال کانی‌سازی، دورسنجی به نقشه‌برداری از واحدهای سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی، خطواره‌های بزرگ و روندهای ساختاری می‌پردازد.
- ۲- این امکان وجود دارد که الگوهای ساختاری و شکستگی‌های محلی کانسارهای خاص را تشکیل دهند. از این رو به کمک دورسنجی به نقشه‌برداری آن‌ها پرداخته می‌شود.
- ۳- مناطق دگرسان شده مرتبط با توده‌های کانسار تعیین و شناسایی می‌شود.
- ۴- تهیه اطلاعات زمین‌شناسی پایه با استفاده از داده‌های سنجش از دور
- ۵- بسیاری از کانسارها با سازندهای خاص و یا واحدهای سنگ‌شناسی خاصی ارتباط دارند. در یک ایالت کانه‌زایی تعدد شکستگی‌ها و خطواره‌ها می‌تواند راهنمای اکتشاف کانسار باشد؛ زیرا شکستگی‌ها مجرای عبور سیالات کانه‌زا هستند. شکستگی‌های محلی در تصاویر لندست و با استفاده از روش‌های پردازش تصویر مثل استفاده از فیلترهای واضح‌سازی عوارض خطی قابل تشخیص هستند.

### ۳-۲ داده‌های ماهواره‌ای

تشعشعات الکترومغناطیسی همان انرژی ساطع شده از خورشید می‌باشد که به صورت امواج و با سرعت ثابت ( $3 \times 10^8$  m/s) انتشار می‌شود. گونه‌ای از این امواج که با چشم غیرمسلح دیده می‌شوند، نور نام دارند. امواج الکترومغناطیسی در هنگام رسیدن به زمین دارای طول موج‌های مختلفی می‌باشند. بر همین اساس، از نقطه نظر طول موج مورد دسته‌بندی قرار می‌گیرند. این امواج مرز مشخصی نداشته و قابل تفکیک نیستند و به صورت طیفی پیوسته بوده‌اند. در شکل (۱-۲) امواج الکترومغناطیسی بر اساس طول موج دسته‌بندی و مشخص شده است (Lillesand et al., 2004).



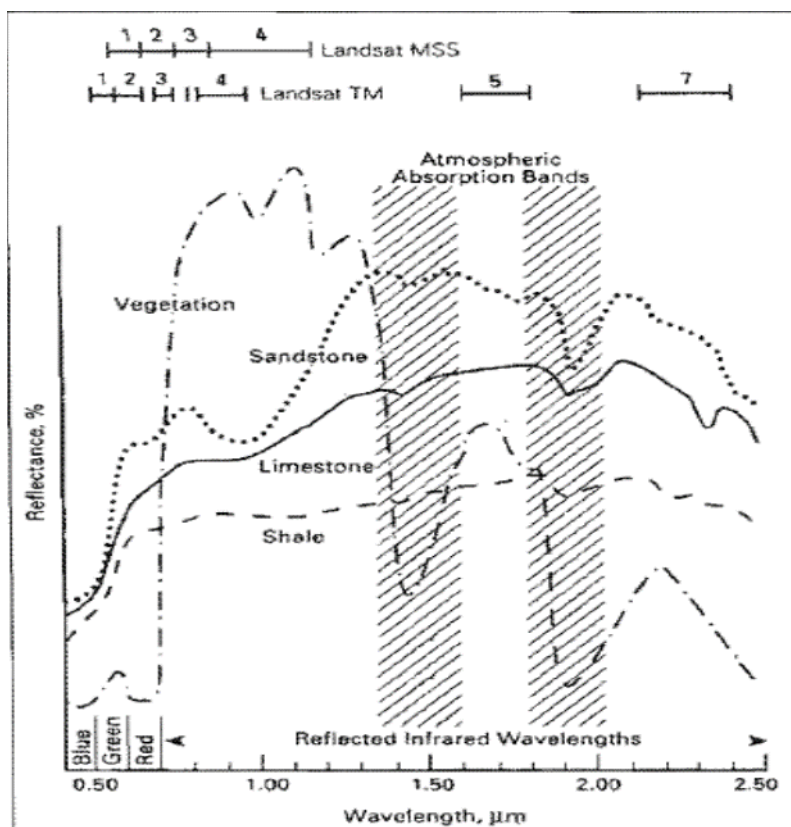
شکل ۱-۲: نمایش طیف‌های الکترومغناطیس (Lillesand et al., 2004)

### ۱-۳-۲ طیف‌های جذب و انعکاس کانی‌ها و سنگ‌ها

بزرگ‌ترین منبع امواج الکترومغناطیس دریافت شده در کره زمین، خورشید می‌باشد. بخش محدودی از امواج الکترومغناطیس نور مرئی است. محدوده دریافتی امواج جذب شده در اتمسفر به‌طور معمول دارای طول موج ۱/۵ و ۲ میکرومتر است (کریم‌پور، ۱۳۹۱).

در هنگام برخورد امواج الکترومغناطیس با سطح زمین، این امواج توسط سنگ، خاک، آب و یا پوشش گیاهی و در محدوده طول موج خاصی جذب می‌شوند و مابقی امواج منعکس می‌شوند. سنگ‌ها از کانی‌های متفاوتی تشکیل شده‌اند و از این‌رو خاصیت جذب و انعکاس امواج در آن‌ها متفاوت است. در نتیجه با پردازش داده‌های ماهواره می‌توان کانی‌ها را از هم تفکیک نمود (Sabins, 1997).

درصد نور انعکاسی در محدوده طول موج ۰/۵ تا ۲/۵ میکرومتر حاصل از امواج مرئی و مادون قرمز برای ماسه، سنگ، شیل و آهک در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. بیشترین بازتاب در باند ۴ لندست و ۷ و ۵ را گیاهان تشکیل می‌دهند. جذب و بازتاب در سنگ، ماسه، شیل و آهک با یکدیگر یکسان نبوده و از همین‌رو می‌توان آن‌ها را از یکدیگر به راحتی شناسایی و تفکیک نمود (Sabins, 1997).



شکل ۲-۲: نمودار درصد انعکاس امواج الکترومغناطیس در محدوده ۰/۵ تا ۲/۵ میکرومتر برای گیاه، ماسه سنگ، شیل و آهک. پهنای باندهای تصاویر ماهواره لندست MSS و سنجنده TM در شکل نشان داده شده است (Sabins, 1997).

## ۲-۳-۲ معرفی برخی سنجنده‌ها و ماهواره‌ها

### الف- ماهواره لندست

ماهواره‌های لندست شامل دو نسل از ماهواره‌ها هستند. این ماهواره‌ها به وسیله سازمان ملی هوانوردی و فضانوردی آمریکا طراحی و در مدار کره زمین قرار داده شدند. نسل اول این ماهواره از ماهواره لندست ۱، ۲، ۳ و نسل دوم این ماهواره از ماهواره لندست ۴، ۵ تشکیل داده است. ماهواره نسل اول که همگی دارای ۱/۵ متر قطر، ۳ متر بلندی و حدود ۹۵۳ کیلوگرم می‌باشند، با همدیگر مشابه و یکسان هستند. ماهواره لندست ۷ در مدار زمین قرار گرفته است و به صورت فعال می‌باشد. در جدول (۲-۲) توضیحات مختصری از مشخصات عمومی و تاریخچه ماهواره‌های سری لندست نمایش داده شده است. این ماهواره‌ها از سری

ماهواره‌های خورشید آهنگ<sup>۱</sup> می‌باشند و در هر ۹۹ دقیقه یک بار به دور زمین گردش می‌کنند. ماهواره‌های این چینی به گونه‌ای طراحی شده که در حدود ساعت ۹:۴۵ به وقت محلی از روی سر خط استوا گذر کنند (علوی پناه، ۱۳۸۹).

جدول ۲-۲: خصوصیات ماهواره‌های لندست ۱ تا ۶ (علوی پناه، ۱۳۸۹)

زمان پوشش کامل زمین / ارتفاع مدار	باند های TM	باند های MSS	باند های RBV	زمان از کار افتادن	زمان پرتاب	ماهواره
۱۸ روز / ۹۰۰ کیلومتر	-----	۷،۶،۵،۴	۳،۲،۱	۶ ژانویه ۱۹۷۸	۲۳ جولای ۱۹۷۲	لندست ۱
۱۸ روز / ۹۰۰ کیلومتر	-----	۷،۶،۵،۴	۳،۲،۱	۲۵ فوریه ۱۹۸۲	۲۲ جولای ۱۹۷۵	لندست ۲
۱۸ روز / ۹۰۰ کیلومتر	-----	۷،۶،۵،۴*	a,b,c,d	۳۱ مارس ۱۹۸۳	۵ مارس ۱۹۷۸	لندست ۳
۱۶ روز / ۷۰۵ کیلومتر	۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱	۴،۳،۲،۱	-----	-----	۱۶ جولای ۱۹۸۲	لندست ۴
۱۶ روز / ۷۰۵ کیلومتر	۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱	۴،۳،۲،۱	-----	-----	۵ اکتبر ۱۹۹۳	لندست ۵
-----	-----	-----	-----	ناموفق	۱ مارس ۱۹۸۴	لندست ۶

### ب- سنجنده لندست

سنجنده MSS که نام دیگر آن اسکن کننده چند طیفی است، در جهت عمود بر مسیر پرواز و به صورت نوارهای متوالی به تصویربرداری می‌پردازد. آینه‌ای متحرک دارای حرکت غربی-شرقی، در سنجنده‌های MSS ماهواره‌های نسل اول لندست (لندست‌های ۱، ۲، ۳) تعبیه شده که امواج منعکس شده از

1- Sun-synchronous

یک نوار به پهنای ۴۷۴ متر (در شش نوار کوچک‌تر و هر نوار دارای پهنای ۷۹ متر تقسیم شده است) را به آینه می‌رساند. میدان دید لحظه‌ای در لندست‌های ۱ و ۲ که در ۴ باند تصویربرداری می‌کنند، برابر با ۷۹\*۷۹ متر روی زمین می‌باشد. اگرچه به دلیل پوشش مشترک، قطعات ۷۹\*۷۹ متری، در ثبت به ابعاد ۷۹\*۵۶ متر توسط ثبت‌کننده‌های سنجنده تبدیل می‌شود که این همان پیکسل یا قدرت تفکیک زمینی نام دارد. پیکسل یا قدرت تفکیک، کوچک‌ترین واحد تشکیل‌دهنده تصویر از مساحتی از زمین که قابل تشخیص می‌باشد است (علوی پناه، ۱۳۸۹).

تعبیه دوربین در لندست ۳ بجای سه دوربین، دو دوربین می‌باشد که با مشخصات فاصله کانونی ۲۳۶ میلی‌متر و با ابعاد تصویربرداری ۹۸\*۹۸ کیلومتر کار می‌کند و هر دوی دوربین‌ها از نواری به پهنای ۱۸۳ کیلومتر تصویربرداری می‌کنند. سنجنده دیگری با نام MSS که چند طیفی می‌باشد در ماهواره‌های لندست ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به کار گرفته شده است. پیمایش سطح زمین و تصویربرداری توسط این سنجنده به صورت نوارهای باریک یا خط اسکن در جهت عمود بر مسیر پرواز ماهواره (سکو) است (علوی پناه، ۱۳۸۹).

سنجنده‌های R.B.V در نسل دوم لندست‌ها حذف شدند. مدل پیشرفته سنجنده نقشه‌بردار موضوعی MSS، TM می‌باشد و در سری لندست‌های ۴ و ۵ مورد استفاده قرار گرفت. باندهای ۴، ۵، ۶ و ۷ این سری سنجنده‌های در MSS به باندهای ۱، ۲، ۳ و ۴ و در لندست به ۴ و ۵ تغییر نام پیدا کرده است. در سنجنده TM نه فقط محدوده دید لحظه‌ای یا IFOV و قدرت تفکیک مکانی GRE نسبت به سنجنده MSS بهبود یافته، بلکه قدرت تفکیک طیفی و قدرت تفکیک رادیومتری آن هم افزایش یافته است. محدوده دید لحظه‌ای همان اطلاعات مرتبط با محدوده‌ای از زمین است که به صورت لحظه‌ای توسط سنجنده برداشت می‌شود و بر روی ثبات ذخیره می‌گردد. به این اطلاعات پیکسل می‌گویند. قدرت تفکیک شامل محدوده مساحتی از زمین می‌باشد که قابل تشخیص برای سنجنده است. قدرت تفکیک طیفی نیز همان تعداد باند-های طیفی در یک سنجنده می‌باشد. به طور مثال در سیستم MSS که در لندست ۱ و ۲ مستقر است، میزان قدرت تفکیک کیفی برابر با ۴ می‌باشد و در لندست ۳ برابر با ۵ است. قابلیت تقسیم امواج بازتاب



شده هر باند به درجات و گام‌های خاکستری را قدرت تفکیک می‌نامند و به عبارتی دیگر ولتاژ ثبت شده از هر محدوده دید لحظه‌ای و در هر باند به‌طور قراردادی به درجات مختلفی از گام‌های خاکستری تقسیم می‌شود که در سیستم MSS از صفر تا ۶۴ و در سیستم TM از صفر تا ۲۵۵ مقدار را به خود می‌گیرد. برای نشان دادن انعکاس صفر یا رنگ سیاه از درجه‌ی صفر و از درجه‌ی ۲۵۵ یا ۶۴ برای حداکثر انعکاس با رنگ سفید استفاده می‌شود (علوی پناه، ۱۳۸۹).

ویژگی‌های باندهای مختلف لندست ۸ به شرح زیر است (علوی پناه، ۱۳۸۹):

- باند ۱ (آبی): بیشترین نفوذ در آب را دارد و جهت تعیین مناطق خشک و بیابانی بکار می‌رود.
- باند ۲ (آبی): بیشترین میزان نفوذپذیری در آب متعلق به این باند است و مناسب نقشه‌برداری در آب‌های کم عمق و تشخیص خاک از پوشش گیاهی و درختان پهن برگ از سوزنی می‌باشد.
- باند ۳ (سبز): از آنجا که در این باند میزان بازتاب گیاهان سالم بسیار زیاد است، پس این باند مناسب برای گیاهان سالم و مطالعات باستان‌شناسی است. همچنین جهت شناسایی اکسید آهن بکار می‌رود.
- باند ۴ (قرمز): برای باند جذب کلروفیل از بازتاب‌های این باند استفاده می‌شود و برای شناسایی گونه‌های گیاهی بکار می‌رود. البته برای تشخیص مرزهای زمین‌شناسی و نوع خاک، مطالعات باستان‌شناسی و اکسید آهن نیز از این باند استفاده می‌شود.
- باند ۵ (مادون قرمز انعکاسی): اطلاعات حاصل از این باند جهت تشخیص میزان تراکم پوشش گیاهی و گونه گیاهی، میزان رطوبت خاک و تجمع آب در محدوده مناسب می‌باشد.
- باند ۶ (مادون قرمز میانی): حساسیت این باند به میزان رطوبت در بافت گیاهان و خاک مرتبط است. اطلاعات حاصل از این باند برای تشخیص ابر، برف و یخ مفید است و از آن برای مطالعات هیدرولوژی، کانی‌های رسی و بعضی سنگ‌ها استفاده می‌شود.
- باند ۷ (مادون قرمز میانی): در مطالعات سنگ‌شناسی به‌طور فزاینده‌ای از اطلاعات این باند استفاده می‌شود. به کمک اطلاعات این باند می‌توان به جذب کانی‌های رسی پی برد و برای شناسایی زون‌های دگرسانی مرتبط با کانسازسازی و مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی استفاده می‌شود.

باند ۸ (پانکروماتیک): این باند مناسب برای مشخص کردن خطواره‌های محدوده و مطالعه درزه‌ها و گسل‌های مهم در محدوده و البته مطالعات شهری می‌باشد، زیرا قدرت تفکیک در این باند بالا می‌باشد.

باند ۹ (باند ابرهای تیپ سیروس): مناسب برای شناسایی ابرهای سیروس می‌باشد. در این باند سطح زمین قابل شناسایی نمی‌باشد، مگر اینکه بازتاب بالایی از جسم در سطح زمین صورت گیرد یا نزدیک ماهواره باشد.

باند ۱۰، ۱۱ (مادون قرمز حرارتی): مناسب برای تشخیص میزان و اندازه‌گیری شار پراکنده در طول موج مادون قرمز حرارتی می‌باشد. در این باند به شناسایی درجه حرارت سطح زمین پرداخته شده است، جهت نقشه‌برداری منابع ژئوترمال و سنگ‌شناسی، دسته‌بندی توده‌های گیاهی و سنجش درصد رطوبت خاک کاربرد دارد.

### ج - ماهواره سنتینل

از جمله سری ماهواره‌های جدید، ماهواره‌های سری سنتینل هستند. این سری از ماهواره‌ها را اتحادیه اروپا طراحی کرده‌اند و در مدار زمین قرار داده‌اند. در حال حاضر ۵ سری از این ماهواره‌ها به فضا پرتاب شده‌اند. از جمله سری ماهواره‌ای سنتینل که در مباحث معدنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ماهواره سنتینل سری ۲ می‌باشند. این ماهواره در تاریخ ژوئن ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شده است. از جمله ویژگی‌های این ماهواره برخورداری از توان تفکیک مکانی و طیفی خوب، دسترسی رایگان به داده‌ها و همچنین دارا بودن پتانسیل و قابلیت مناسب در مطالعات سنجش از دور است. این ماهواره دارای دو سری ماهواره سنتینل-۲A و سنتینل-۲B است. ماهواره سنتینل-۲A از ۱۳ باند تشکیل شده است. تصاویر سنتینل دارای عرض ۲۹۰ کیلومتر هستند. این نوع از ماهواره قابلیت بارزسازی کانی‌های آهن را دارا می‌باشد (Van Der Werff et al., 2016).

خصوصیات این نوع ماهواره را می‌توان در جدول (۲-۳) مشاهده نمود.

جدول ۲-۳: خصوصیات ماهواره سنتینل-۲ (Van Der Werff et al., 2016)

باند	میانگین طول موج	توان تفکیک مکانی (متر)
Coastal aerosol	۰/۴۳	۶۰
Blue	۰/۴۹	۱۰
Green	۰/۵۶	۱۰
Red	۰/۶۵	۱۰
Vegetation Red Edge	۰/۷۰	۲۰
Vegetation Red Edge	۰/۷۴	۲۰
Vegetation Red Edge	۰/۷۸	۲۰
NIR	۰/۸۴	۱۰
Narrow NIR	۰/۸۶	۲۰
Water vapour	۰/۹۴	۶۰
SWIR – Cirrus	۱/۳۷	۶۰
SWIR	۱/۶۱	۲۰
SWIR	۲/۱۹	۲۰

### ۲-۳-۳ قدرت تفکیک سنجنده

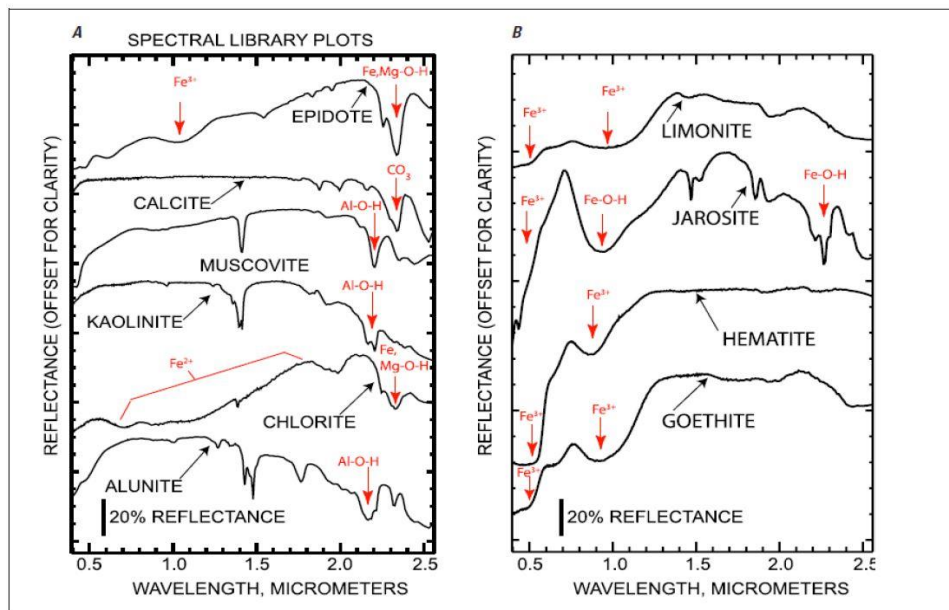
کوچک‌ترین واحد تشکیل‌دهنده تصویر را قدرت تفکیک می‌نامند. قدرت تفکیک سنجنده‌ها را می‌توان به صورت قدرت تفکیک مکانی، قدرت تفکیک طیفی و قدرت تفکیک زمانی بررسی نمود.

### الف - قدرت تفکیک مکانی

منظور از قدرت تفکیک مکانی کوچک‌ترین پدیده‌ای است که می‌توان بر روی یک تصویر تشخیص داد. با کاهش ناحیه‌ای که از آن عکس برداری می‌شود، می‌توان به جزئیات بیشتر و واضح‌تری دست یافت و به دنبال آن قدرت تفکیک مکانی را افزایش داد. اگر در یک تصویر، کوچک‌ترین پدیده قابل ثبت خود جسم بزرگی باشد، در این صورت تصویر از قدرت تفکیک مکانی کمی برخوردار است. در مقابل اگر کوچک‌ترین پدیده‌ای که بر روی یک عکس نمایان می‌شود، جسم کوچکی باشد، در این صورت تصویر از قدرت تفکیک مکانی خوبی برخوردار است (باباحمدی، ۱۳۸۸).

## ب- قدرت تفکیک طیفی

اساس سیستم‌های سنجش از دور دریافت انرژی الکترومغناطیس براساس طول موج‌های خاص است. براساس کاربردی که باند طیفی ممکن است داشته باشد، یک باند طیفی می‌تواند عریض و یا باریک باشد. منظور از قدرت تفکیک طیفی تعداد و پهناهای باند طیفی است که سنجنده‌ها به‌واسطه آن‌ها به شناسایی عوارض می‌پردازند. باندهای دارای عرض کمتر و باریک‌تر دارای قدرت تفکیک طیفی بیشتری هستند. همین امر باعث گردیده است تا در سیستم‌های تصویربرداری پانکروماتیک برای ثبت روشنایی یک محدوده از یک باند پانکروماتیک استفاده گردد. طیف انعکاسی برخی از کانی‌ها را می‌توان در شکل (۲-۳) مشاهده نمود (باباحمدی، ۱۳۸۸).



شکل ۲-۳: طیف انعکاسی برخی از کانی‌ها

## ج- قدرت تفکیک زمانی

منظور از قدرت تفکیک زمانی مدت زمانی است که طول می‌کشد تا سنجنده دوباره از یک ناحیه تصویربرداری کند. تصاویر با قدرت تفکیک زمانی متفاوت برای کاربردهای متفاوتی استفاده می‌شوند. قدرت تفکیک زمانی می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات به‌وجود آمده در سطح زمین باشد (باباحمدی، ۱۳۸۸).

## د- قدرت تفکیک پرتو سنجی

منظور از قدرت تفکیک پرتوسنجی تعداد سطوح رقومی یا تعداد گام‌های خاکستری است که به‌منظور نمایش اطلاعات دریافتی از سنجنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعداد گام‌های بیشتر برابر با افزایش جزئیات و اطلاعات به دست آمده از سنجنده‌ها است. در تصاویر رقومی منظور از قدرت تفکیک پرتوسنجی تعداد بیت‌هایی است که هر سلول تصویری نیاز دارد تا مقدار شدت نور را ذخیره کند (باباحمدی، ۱۳۸۸).

## ۲-۳-۴ پردازش داده‌های دورسنجی

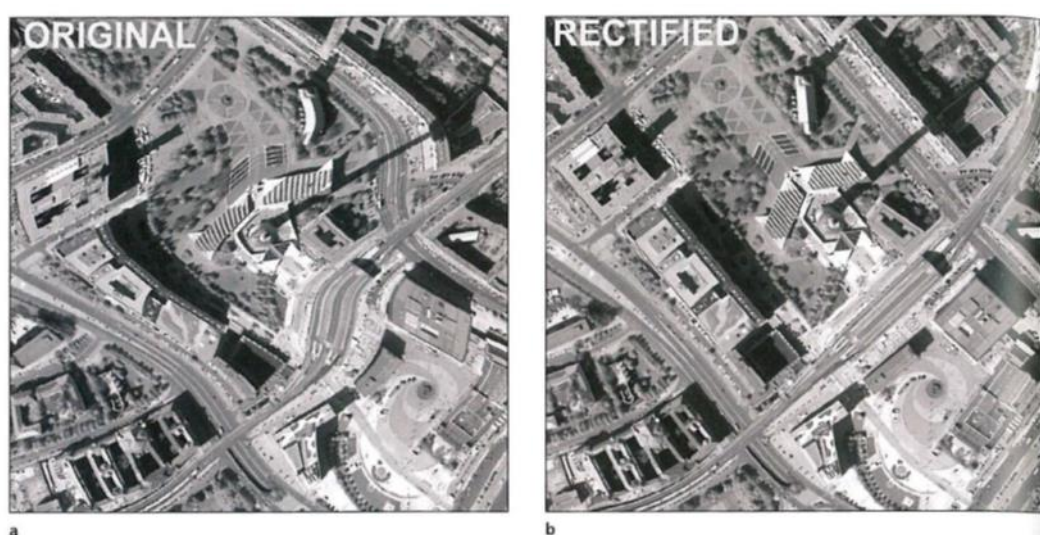
داده‌های دورسنجی همان تصاویر ماهواره‌ای هستند. منظور از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، بارزسازی تصاویر است. به این منظور باید از الگوریتم‌های بارزسازی تصاویر برای افزایش کیفیت ظاهری تصاویر به صورت چشمی و یا رایانه‌ای استفاده نمود. به‌منظور دریافت اطلاعات مفید از تصاویر ماهواره‌ای، انجام پیش-پردازش‌ها و تصحیحات قبل از پردازش اصلی ضروری می‌باشد. برای رسیدن به این مقصود ابتدا باید تصاویر ترمیم شوند و در مرحله بعد به کمک تکنیک بارزسازی، اطلاعات از آن‌ها استخراج شوند. بسته به اینکه تصاویر از کدام سنجنده دریافت شده‌اند، همچنین کیفیت اطلاعات رقومی و نوع کاربرد تصاویر چگونه است، نوع عملیات پیش‌پردازش می‌تواند متفاوت باشد (Sabins, 1997). از جمله پیش‌پردازش‌هایی که بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌شود به شرح زیر است:

## الف- تصحیح هندسی

یکی از مشکلاتی که در اغلب تصاویر ماهواره‌ای مشاهده می‌شود، کژدیس بودن آن‌ها است. به علت این مشکل نمی‌توان از تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان نقشه‌های اجرایی استفاده کرد. کژدیس می‌تواند به علل چون تغییر در ارتفاع، تغییر در سرعت سکوی تصویربرداری، تغییر جهت سکوی عکس‌برداری، انحنای زمین و جابه‌جایی عارضه‌ای ایجاد گردد. به کمک تصحیح هندسی می‌توان کژدیس‌هایی که در تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد را برطرف نمود و تصویری هم‌ارز یک نقشه به دست آورد (Lillesand et al., 2004).

تصحیح هندسی به دو روش اعمال می‌شود. این روش به صورت همزمان استفاده می‌شوند. در روش اول باید مدار ماهواره و موقعیت آن در زمان برداشت تصویر به صورت دقیق مشخص باشد. در روش دوم نیز باد طول و عرض جغرافیایی نقاطی مشخص به نام نقاط کنترلی (GCP) مشخص باشد. روش دوم در سال‌های ابتدایی علم سنجش از دور به وجود آمد. کاربرد این دو روش در مناطق مسطح بسیار بالا است، اما در مناطق برجسته اطلاعات کاملی را ارائه نمی‌دهند (Liang et al., 2001).

هر دو شیوه یاد شده در تصحیح تصاویر مناطق مسطح کارایی خوبی دارند ولی در نواحی بسیار برجسته نتیجه کاملی به دست نمی‌دهد (Liang et al., 2001). در شکل (۲-۴) می‌توان نمونه‌ای از اعمال تصحیح هندسی بر روی تصویر ماهواره‌ای را مشاهده نمود.



شکل ۲-۴: تصویر ماهواره‌ای قبل و بعد از تصحیح هندسی تصویر a تصویر خام و تصویر b تصویر تصحیح شده (Gupta, 2003)

### ب- تصحیح جوی IARR<sup>1</sup>

IARR روشی برای کالیبره نمودن بازتابش متوسط داخلی است. این روش با استفاده از طیف میانگین به کالیبراسیون تصاویر ماهواره‌ای می‌پردازد. براساس این روش باید داده‌های طیفی را به بازتابی نسبی تبدیل نمود. طیف میانگینی که برای صحنه ورودی استفاده می‌شود، طیف مرجع است. برای تصحیح باید

<sup>1</sup> - Internal average relative reflectance

این طیف مرجع را به هر پیکسل تقسیم نمود و طیفی ظاهری ایجاد کرد (علوی پناه، ۱۳۸۹).

پس از تصحیح‌های لازم روی تصاویر ماهواره‌ای از روش‌های مختلفی برای پردازش تصاویر استفاده می‌شود که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

### ج- روش ترکیب رنگی کاذب (RGB)

به کمک این روش، اطلاعات چند طیفی در محدوده طول موج‌های مختلف با هم در سه فیلتر سبز، آبی و قرمز ترکیب می‌شوند، به گونه‌ای که چشم انسان بتواند آن‌ها را ببیند. هر جسمی در هر طول موج دارای انعکاس مخصوص به خود است. انسان می‌تواند ترکیب انعکاس رنگ‌های قرمز، سبز و آبی در محدوده مرئی را ببیند. در ابزارهای نمایش تصاویر از این ویژگی چشم انسان الهام گرفته شده است تا انسان بتواند تصاویر را مشاهده کند. بیشتر روش‌های نمایش رنگ در سیستم‌های رایانه‌ای، نمایش افزایشی است. منظور از نمایش افزایشی این است که یک نور سفید از ترکیب افزایش سه رنگ قرمز، سبز و آبی ایجاد می‌گردد. از این روش ترکیب رنگ‌های قرمز، سبز و آبی (RGB) باند ۳، باند ۲ و باند ۱ سنجنده ETM+ را ترکیب رنگ واقعی می‌نامند. دیگر ترکیباتی که به عنوان قرمز، سبز و آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند را ترکیب رنگی دروغین می‌نامند. اساس سایر روش‌ها بر روش ترکیب رنگی استوار است. دلیل این امر این است که نتایجی که از سایر روش‌ها به دست آورد را می‌توان با باندهای طیفی دلخواه در کانال‌های قرمز، سبز و آبی دلخواه قرار داد و ترکیب رنگی ایجاد نمود که تفسیر آن به راحتی امکان‌پذیر است (Oppenheimer, 1998).

در روش‌های آماری نمی‌توان تفاوت پدیده‌های زمین‌شناسی و غیر زمین‌شناسی را از یکدیگر تفکیک نمود. از این روش استفاده از این روش‌ها توصیه نمی‌شود. از این روش باید هر باند را جداگانه و به کمک چشم ارزیابی کرد و سپس آن سه باندها را که به بهترین شکل خصوصیات مورد نظر را بارز می‌سازند، انتخاب نمود. برای تشخیص مناسب بودن باندهای انتخاب شده باید گفت بهترین سه باند انتخاب شده باندهایی هستند در نمودار هیستوگرام آن‌ها تشابه ظاهری مشاهده نشود؛ یعنی دارای همبستگی پایینی باشد. سه باندها که به این طریق انتخاب می‌شوند، در بردارنده بیشترین اطلاعات هستند (Rothery, 1987).

به منظور انتخاب باندهای مناسب برای تهیه یک تصویر رنگی در محیط RGB، روش‌های مختلفی وجود دارد. در این تحقیق از روش ضریب شاخص بهینه (OIF) استفاده شده است.

روش ضریب شاخص بهینه (OIF) یک محاسبه‌ی آماری است که امکان بهره‌مندی از همه‌ی ترکیبات سه باندهی ممکن، برای استفاده به‌عنوان RGB را می‌دهد. با استفاده از مقادیر OIF مشخص شده می‌توان مناسب‌ترین ترکیب باندهی را انتخاب نمود. الگوریتم محاسبه‌ی OIF برای هر کدام از ترکیبات سه باندهی به صورت رابطه (۱-۲) می‌باشد (Chavez et al., 1982):

$$OIF = \text{Max} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \sigma(i)}{\sum_{j=1}^n |r(j)|} \right] \quad (1-2)$$

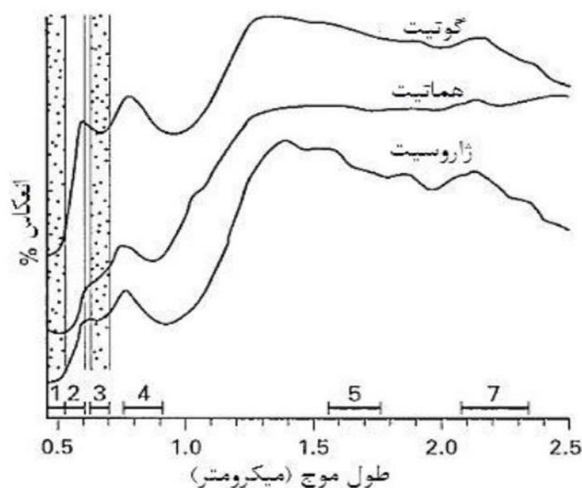
که در آن OIF فاکتور شاخص بهینه‌سازی،  $\sigma(i)$  انحراف معیار باند و  $r(j)$  مقدار همبستگی بین دو باند می‌باشد بیشترین مقدار OIF مشخص شده، که بیشترین انحراف معیار و کمترین همبستگی بین باندها (باند انتخابی) را دارد، به‌عنوان گزینه‌ی مطلوب انتخاب می‌شود.

#### د- روش نسبت‌های باندهی

منظور از نسبت باندهی تقسیم نمودن مقادیر درجه روشنایی پیکسل‌ها در یک باند طیفی به مقادیر درجه روشنایی پیکسل‌ها در باند طیفی دیگر است. دلیل ارائه چنین نسبت‌گیری این است که نسبت‌گیری سبب بارز شدن و آشکار شدن تغییراتی می‌شود که در تصویر باندهای تک نمی‌توان آن‌ها را مشاهده کرد (علوی پناه، ۱۳۸۹). در تصاویری که به کمک نسبت باندهی ایجاد می‌شوند، تغییرات طیفی پدیده‌ها و عوارض بارزتر از تصاویر باندهای تک از همان پدیده‌ها است. مهم‌ترین دلیل برای این تفاوت این است که در تصاویر نسبت‌های باندهی پارامترهایی که اثرات نامطلوب دارند، مانند اثر توپوگرافی، حذف می‌گردند (کریم پور، ۱۳۹۱).

در شکل (۲-۵) می‌توان رفتار طیفی برخی اکسیدهای آهن را مشاهده نمود. کانی‌های آهن‌دار در طول موج ۰/۵ تا ۰/۷ رفتار منحصربه‌فردی دارند.





شکل ۲-۵: رفتار طیفی برخی اکسیدهای آهن (Gao, 2009)

## ه- روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی

آنالیز مؤلفه‌های اصلی روشی است که برای کاهش حجم اطلاعات و هم‌چنین استفاده هم‌زمان از چندین باند اطلاعاتی استفاده می‌شود. از جمله مسائلی که در اطلاعات باندهای سنجنده‌های چند طیفی وجود دارد، تشابه بازتاب پدیده‌ها و به دنبال آن هم‌پوشانی حساسیت طیفی باندها است. این امر باعث می‌شود که طیف باندها دارای همبستگی زیادی باشند. همبستگی زیاد باعث ایجاد تکراری شدن اطلاعات می‌شود. از این رو تفسیر داده‌های ماهواره‌ای به واسطه تراکم اطلاعات بهتر صورت می‌پذیرد. میزان همبستگی بین باندها را می‌توان به کمک ماتریس همبستگی مشخص کرد و از آن در روش مؤلفه‌های اصلی استفاده کرد. روش مؤلفه‌های اصلی به دو روش مؤلفه‌های استاندارد و مؤلفه‌های انتخابی انجام می‌شود (Gabr et al., 2010).

### ۱- آنالیز مؤلفه‌های اصلی استاندارد

در این روش ماتریس کواریانس همان ماتریس همبستگی است و از تمام اطلاعات استفاده می‌شود. ماتریس همبستگی باعث نرمالایز شدن باندهای طیفی اصلی به واریانس واحد می‌شود. استفاده از ماتریس همبستگی زمانی پیشنهاد می‌گردد که قرار به استفاده از داده‌هایی با محدوده‌های دینامیکی مختلف باشد (Gabr et al., 2010).

## ۲- روش انتخاب مؤلفه‌های اصلی جهت‌دار یا روش کروستا

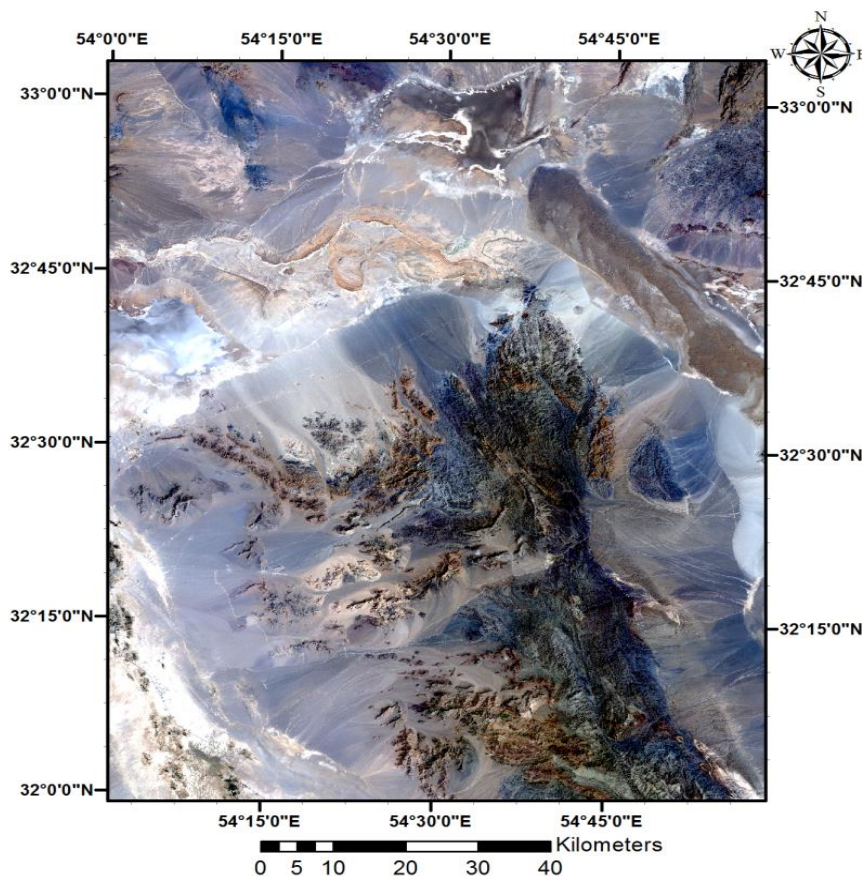
این روش که با نام‌های روش کروستا، روش مؤلفه‌های انتخابی و روش مؤلفه‌های اصلی جهت‌دار شناخته می‌شود، شامل آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی است که در آن تنها از باندهایی استفاده می‌شود که اطلاعات خاصی را در برداشته باشد و سایر باندها را در نظر نمی‌گیرد. انتخاب باندها براساس ویژگی‌های جذب و بازتاب کانی‌ها است (Tangestani et al., 2008).

### و- روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit)

روش کمترین مربعات رگرسیون شده با استفاده از روش کمترین مربعات به تخمین یک باند بر اساس ترکیب خطی باندهای دیگر می‌پردازد. این تکنیک با این فرض است که باندهای به کار گرفته شده به‌عنوان مقادیر ورودی می‌توانند رفتار سایر باندها را به‌صورت یک عبارت خطی بیان کنند. این مقدار در واقع باند پیش‌گویی شونده (باند مدل) نامیده شده و به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود. طبیعت بعضی کانی‌های خاص اثرهای انعکاسی خود را تنها در یک باند خاص نشان می‌دهند. لذا میان مقادیر محاسبه شده آن‌ها توسط روش کمترین مربعات و مقادیر واقعی اختلاف مشاهده می‌شود که این اختلاف باقی مانده نامیده شده و به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود. روش کمترین مربعات بر اساس مقادیر باقی مانده اقدام به استخراج مناطق حاوی کانی‌های موردنظر می‌نماید. در داده‌های ETM+ باند ۷ برای آلتراسیون و باند ۳ برای اکسید آهن که حاوی اطلاعات هستند برای تخمین انتخاب می‌شوند. از آنجایی که آلتراسیون‌ها در باند ۷ جذب بالایی دارند باقی مانده منفی و به‌صورت پیکسل‌های سیاه ظاهر می‌شوند که باید باند ۷ را معکوس کرد تا پیکسل‌های سیاه که نشان‌دهنده هیدروکسیل‌ها هستند، به رنگ سفید تبدیل شوند. اکسیدهای آهن باقی مانده باند ۳ نیز به‌صورت باقی مانده بزرگ مثبت (پیکسل‌های روشن) دیده شده است. علاوه بر این از همه باندها برای تخمین باقی مانده باند ۴ (تفکیک گیاهان) استفاده شده است که نتیجتاً برای تشکیل یک ترکیب رنگی کاذب (RGB) از این باقی مانده‌ها می‌توان استفاده نمود (شبانکاره، ۱۳۸۶).

## ۴-۲ نتایج پردازش داده‌های دورسنجی

به منظور ایجاد یک دید کلی از محدوده از تصویر رنگی ترکیبی حاصل از سه باندهای ۱، ۲ و ۳ از سنجنده Etm+ در محیط RGB استفاده شد. در تصویر حاصله، به دلیل قرارگیری باندهای سه رنگ قرمز و سبز و آبی تصویر حقیقی از محدوده تهیه شد (شکل ۲-۶). با مقایسه این تصویر با سایر تصاویر خروجی دیگر و نقشه زمین‌شناسی می‌توان به نتایج ایده آل رسید.

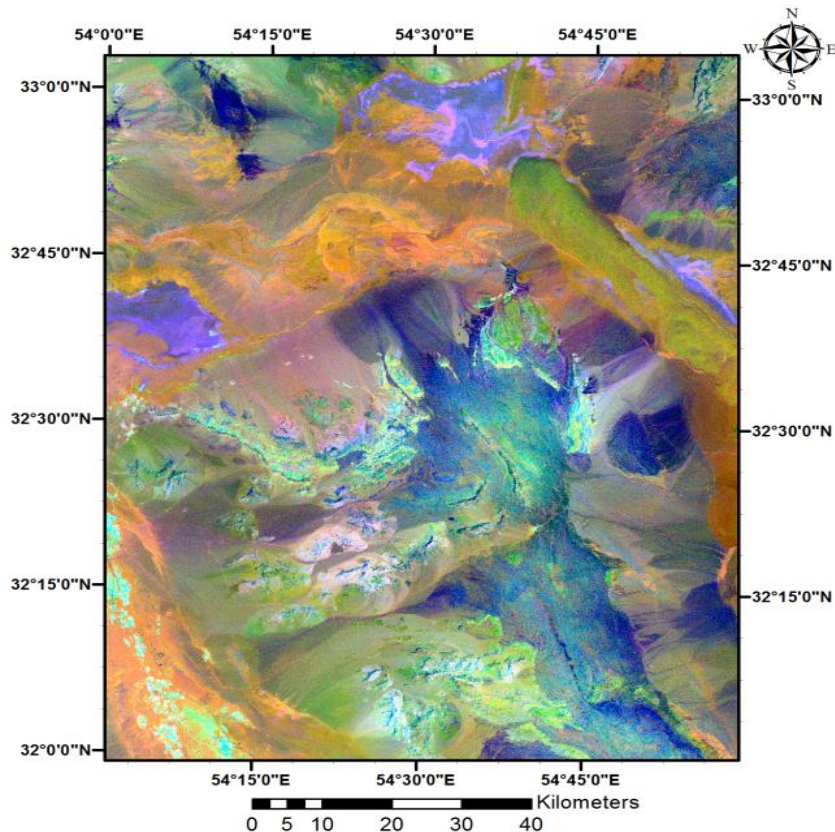


شکل ۲-۶: تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۱ و ۲ و ۳ از سنجنده Etm+ ماهواره لندست ۷

### ۱-۴-۲ نتایج مربوط به ترکیب رنگی کاذب نسبت باندهای

به منظور آشکارسازی مناطق آلتراسیون و اکسید محدود از تصاویر ترکیب رنگی کاذب استفاده گردید. استفاده از رنگ‌ها، باعث ایجاد اطلاعات بصری و مفهومی بیشتری از تصویر می‌شود. برای تفسیر بصری زون‌های آلتراسیون با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای از ترکیب‌های رنگی کاذب (RGB) استفاده می‌شود. از آنجایی که اکسیدهای آهن در باندهای ۳ سنجنده Etm+ انعکاس بالا و در باندهای ۱ این سنجنده

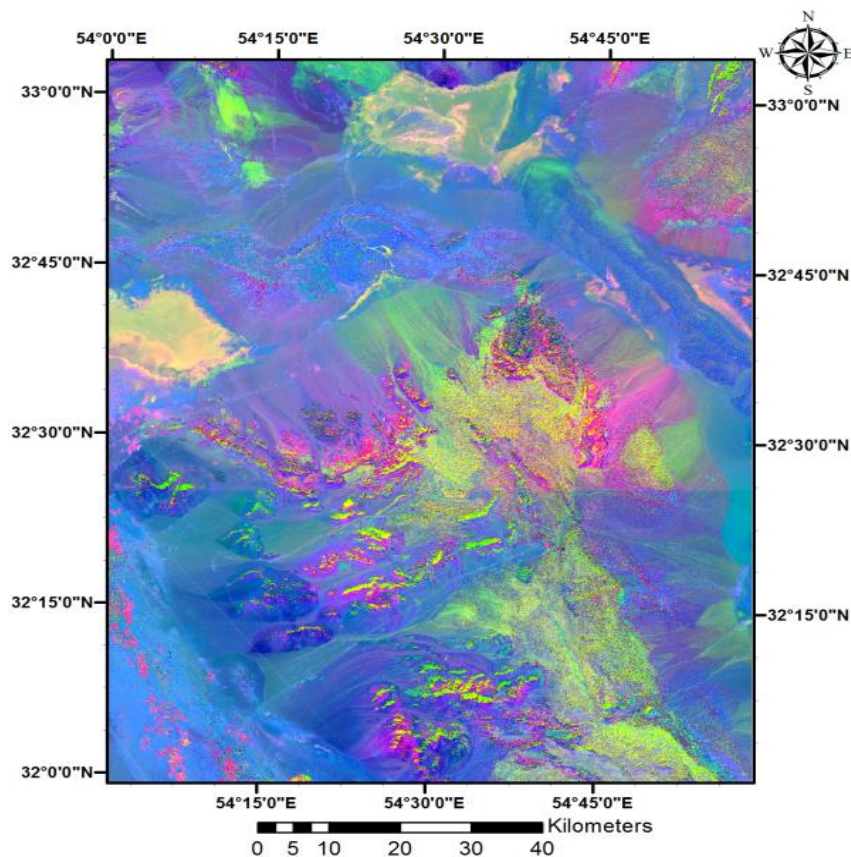
جذب بالا (انعکاس کم) دارند می‌توان از نسبت باندهی ۳/۱ جهت بارزسازی اکسیدهای آهن محدوده استفاده نمود. همچنین از نسبت باندهی ۴/۳ جهت بارزسازی پوشش گیاهی و از نسبت باندهی ۵/۷ جهت بارزسازی آلتراسیون و کانی‌های رسی با پیکسل روشن استفاده شد. تصویر حاصل از ترکیب باندهی نسبت‌های ۳/۱ و ۴/۳ و ۵/۷ سنجنده ETM+ را می‌توان در شکل (۷-۲) مشاهده کرد.



شکل ۷-۲: تصویر حاصل از ترکیب باندهای نسبت‌های ۳/۱ و ۴/۳ و ۵/۷ سنجنده ETM+ در شکل (۷-۲) اکسید آهن به رنگ قرمز تا صورتی و پوشش گیاهی به رنگ سبز و کانی‌های رسی و آلتراسیون به رنگ آبی کمرنگ دیده می‌شوند.

در سنجنده سنتینل اکسیدهای آهن در باند ۴ انعکاس بالا و در باند ۲ این سنجنده جذب بالا (انعکاس کم) دارند. می‌توان از نسبت باندهی ۴/۲ جهت بارزسازی اکسیدهای آهن محدوده استفاده نمود همچنین از نسبت باندهی ۴/۱۱ جهت بارزسازی کانی‌های آهن‌دار و از نسبت باندهی ۱۱/۱۲ جهت بارزسازی آلتراسیون و کانی‌های رسی با پیکسل روشن استفاده شد. تصویر حاصل از ترکیب باندهای نسبت‌های ۱۱/۱۲ و ۴/۱۱ و ۴/۲ سنجنده سنتینل را می‌توان در شکل (۸-۲) مشاهده کرد. در این تصویر اکسید آهن به رنگ

آبی و کانی‌های رسی و آلتراسیون به رنگ صورتی دیده می‌شوند.



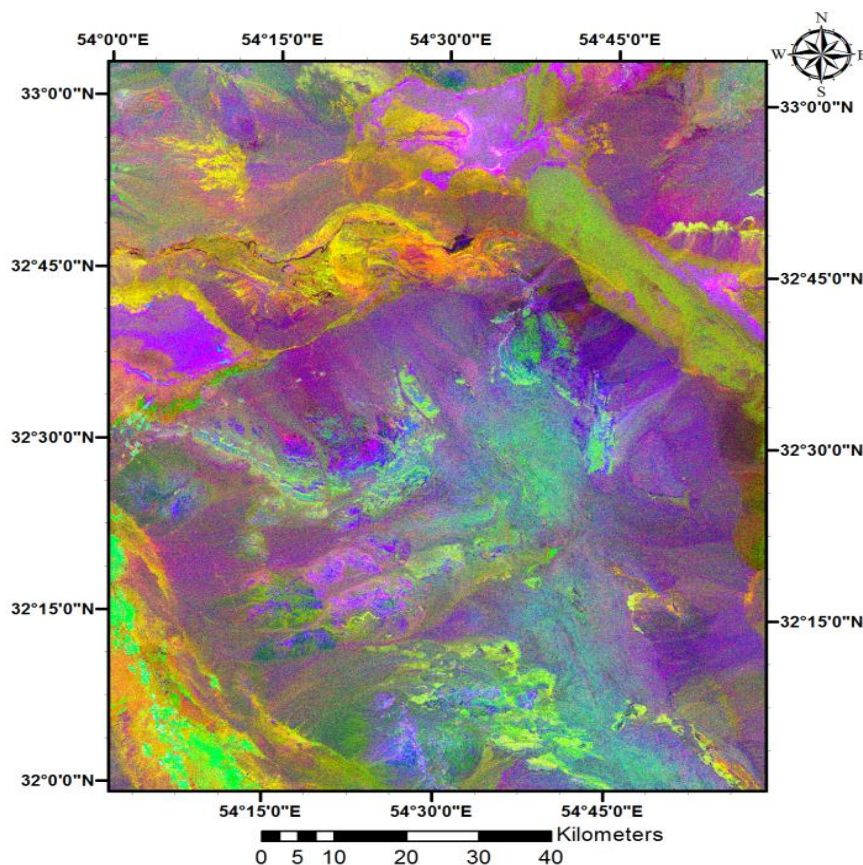
شکل ۲-۸: تصویر حاصل از ترکیب باندهای نسبت‌های ۱۱/۱۲ و ۴/۱۱ و ۴/۲ سنجنده سنتینل

### ۲-۴-۲ نتایج روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit)

روش کمترین مربعات بر اساس مقادیر باقی مانده اقدام به استخراج مناطق حاوی کانی‌های موردنظر می‌نماید. در داده‌های ETM+ باند ۷ برای آلتراسیون و باند ۳ از آنجا که حاوی اطلاعات هستند، برای استخراج مناطق حاوی اکسید آهن در تخمین انتخاب شدند. با توجه به این نکته که آلتراسیون‌ها در باند ۷ جذب بالایی دارند، باقی‌مانده منفی و به صورت پیکسل‌های سیاه ظاهر می‌شوند. برای این منظور باید باند ۷ را معکوس کرد تا پیکسل‌های سیاه که نشان‌دهنده هیدروکسیل‌ها هستند، به رنگ سفید تبدیل شوند. اکسیدهای آهن باقی‌مانده باند ۳ نیز به صورت باقی‌مانده بزرگ مثبت (پیکسل‌های روشن) دیده می‌شود. علاوه بر این از همه باندها برای تخمین باقی‌مانده باند ۴ (تفکیک گیاهان) استفاده شد که نتیجتاً برای تشکیل یک ترکیب رنگی کاذب (RGB) از باقی‌مانده‌ی معکوس باند ۷ (-R7) و باقی‌مانده‌ی باند ۴ (R4) باقی‌مانده باند ۳ (R3) استفاده شد. این تصویر را می‌توان در شکل (۲-۹) مشاهده نمود. در این شکل

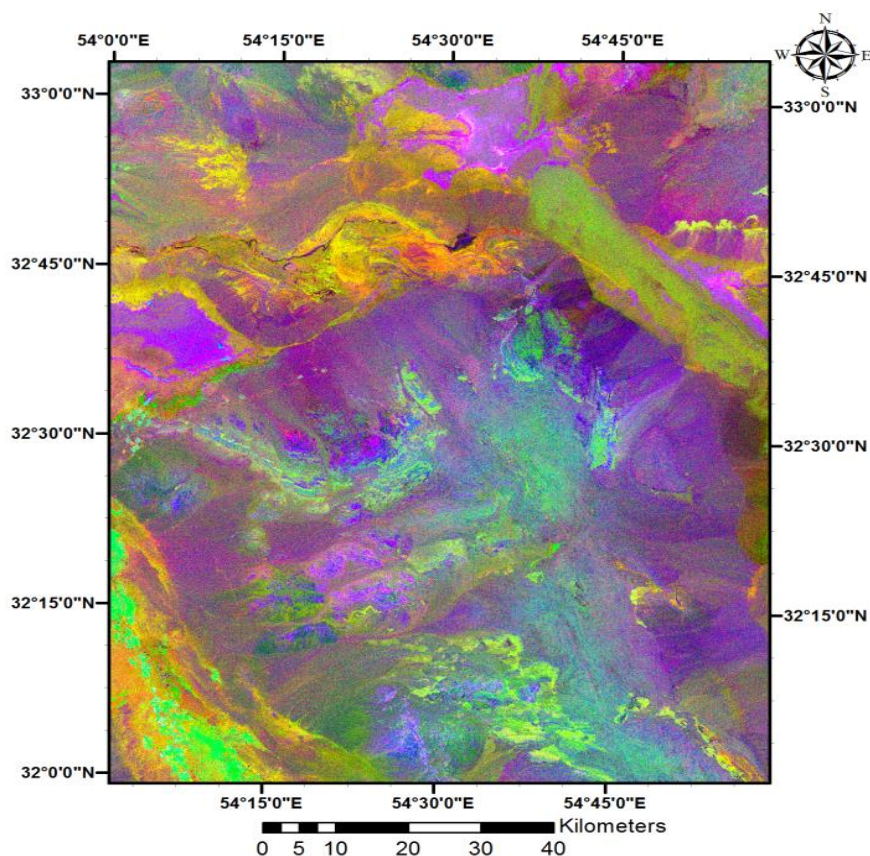


پیکسل‌های صورتی بیانگر اکسید آهن و پیکسل‌های آبی بیانگر آلتراسیون پروپلیتیک و آلتراسیون آرژیلیک می‌باشد.



شکل ۲-۹: تصویر حاصل از ترکیب رنگی کاذب به روش Ls-Fit از سنجنده ETM+

از ترکیب رنگی کاذب باقی‌مانده‌های باندهای ۴ و ۸ و ۱۱ (R4 و R8 و R11) سنجنده سنتینل جهت بارزسازی اکسید آهن و آلتراسیون استفاده شد. تصویر حاصل را می‌توان در شکل (۲-۱۰) مشاهده کرد. در این تصویر نیز پیکسل‌های صورتی بیانگر اکسید آهن و پیکسل‌های آبی بیانگر آلتراسیون پروپلیتیک و آلتراسیون آرژیلیک می‌باشد.



شکل ۲-۱۰: تصویر حاصل از ترکیب رنگی کاذب به روش Ls-Fit از سنجنده سنتینل

### ۲-۴-۳ نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

همان‌طور که بیان شد از این روش جهت کاهش بعد داده‌ها و متمرکز کردن اطلاعات و حذف نویز استفاده می‌شود. در این مطالعه از دو روش آنالیز مؤلفه اصلی استاندارد و آنالیز مؤلفه اصلی جهت‌دار یا همان روش کروسا جهت تحقق اهداف استفاده شد.

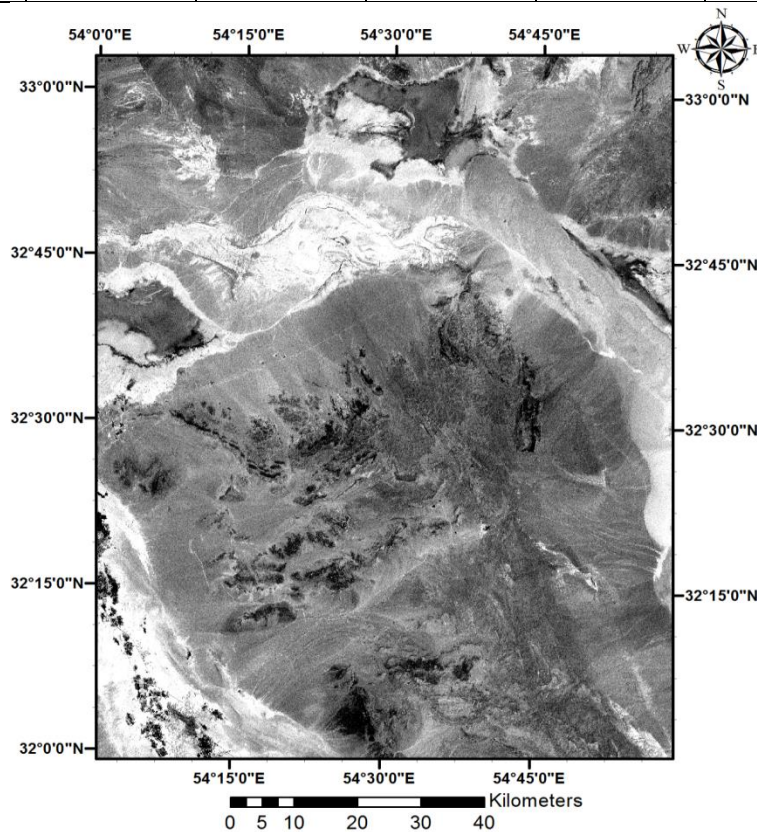
### الف- آنالیز مؤلفه‌های اصلی استاندارد بر روی داده‌های سنجنده ETM+

جدول (۲-۴) لیست مقادیر ویژه و بردارهای ویژه حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی استاندارد بر روی ۶ باند از سنجنده ETM+ در ناحیه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه اکسیدهای آهن در باندهای ۱ و ۲ جذب بالا و در باند ۳ بازتابش بالایی دارند و با توجه به جدول (۲-۴) تصویر مربوط به PC4- بیانگر حضور کانی‌های اکسید آهن در ناحیه مورد مطالعه است. در شکل (۲-۱۱) نقشه حاصل از PC4- نشان داده شده است. در این شکل پیکسل‌های روشن بیانگر مناطق حاوی اکسیدهای آهن است، چرا که مقادیر ویژه

باندهای ۱ و ۳ به ترتیب دارای مقادیر منفی و مثبت هستند. در این تصویر برخلاف تصویر حاصل از نسبت باندهای ۱ و ۳، پیکسل‌های روشن بر واحدهای آهکی در نقشه زمین‌شناسی منطبق نیستند، بلکه انطباق خوبی با توده‌های نفوذی و سنگ‌های اولترامافیک دارند. همچنین با توجه به جدول و انعکاس بالا باند ۵ و جذب بالا باند ۷ برای کانی‌های رسی، PC4 بیانگر آرتزاسیون آرژیلیک به صورت پیکسل‌های روشن می‌باشد (شکل ۲-۱۲). با توجه به رفتار منحصر به فرد پوشش گیاهی در باندهای ۳ و ۴ و جدول می‌توان از PC5 جهت بارسازی پوشش گیاهی با پیکسل روشن استفاده کرد (شکل ۲-۱۳).

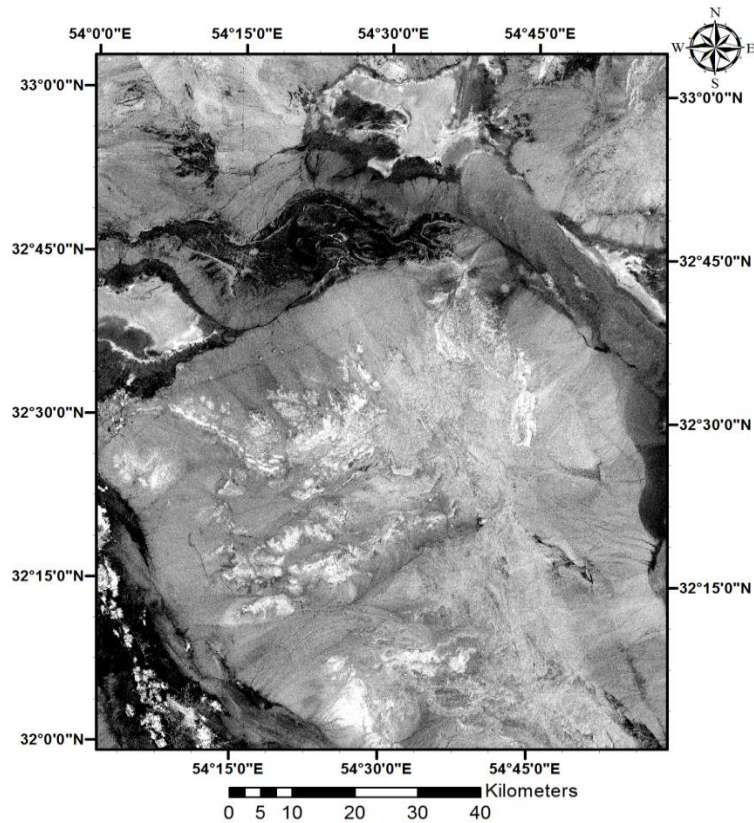
جدول ۲-۴: نتایج مقادیر ویژه حاصل از اعمال PCA بر روی باندهای ۱-۷ سنجنده ETM+

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
PC1	۰/۳۶۶۰۶۵	۰/۳۶۷۳۶۸	۰/۴۷۲۹۱۶	۰/۳۶۲۴۹۶	۰/۴۶۱۴۵۱	۰/۴۵۹۳
PC2	-۰/۴۸۵۰۸	-۰/۳۵۹۸۳	-۰/۲۵۸۲۶	-۰/۰۷۷۲۵	۰/۵۶۱۳۴۶	۰/۴۶۲۴۵۷
PC3	۰/۵۵۸۴۲۴	۰/۰۹۴۴۴۶	-۰/۳۳۳۷۶	-۰/۶۰۷۴۷	-۰/۰۸۲۴	۰/۵۷۳۶۴۶
PC4	۰/۳۸۷۲۰۶	-۰/۰۴۷۸۵	-۰/۵۰۳۸۵	۰/۱۸۳۶۱۶	۰/۵۴۸۵۹۳	-۰/۵۰۹۱۶
PC5	۰/۱۱۴۴۶۹	-۰/۰۷۴۹۲	-۰/۴۷۲۸۵	۰/۶۷۶۱۵۱	-۰/۱۴۱۷۱۷	۰/۳۷۱۶۷۶
PC6	۰/۳۹۴۷۵۲	-۰/۸۴۷۷۹	۰/۳۴۷۵۷۸	۰/۰۵۲۰۸۲	-۰/۰۰۶۵۳۱	۰/۰۰۸۵۵

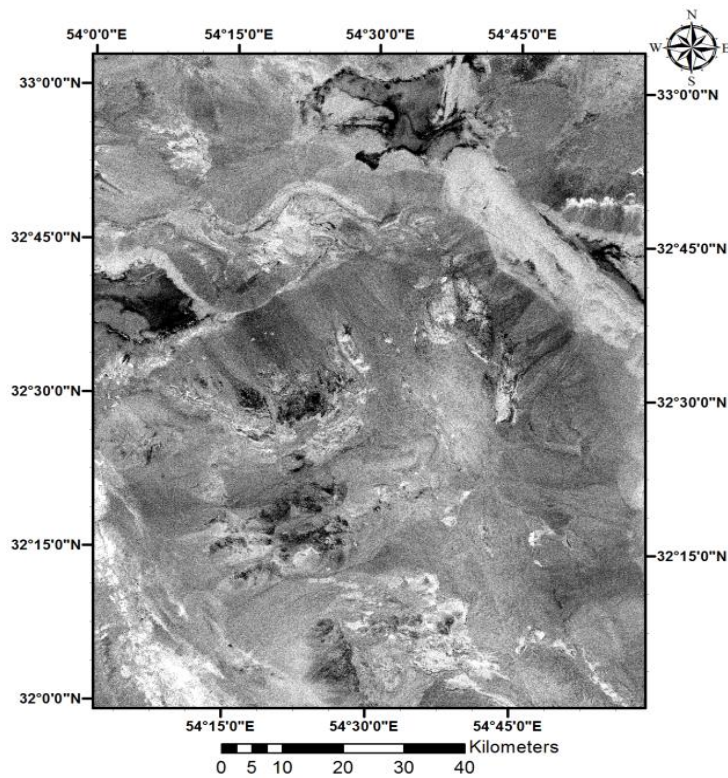




شکل ۲-۱۱: تصویر حاصل از PC4 - بدست آمده از اعمال PCA (اکسید آهن)

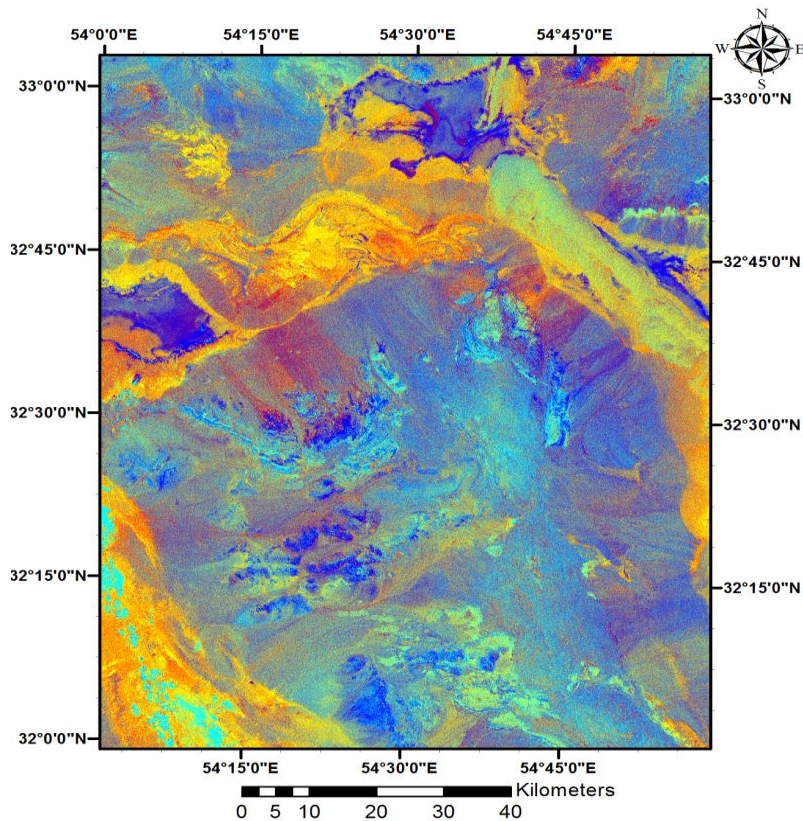


شکل ۲-۱۲: تصویر حاصل از PC4 به دست آمده از اعمال PCA (کانی های رسی)



شکل ۲-۱۳: تصویر حاصل از PC5 به دست آمده از اعمال PCA (پوشش گیاهی)

جهت استفاده بهتر از نتایج PC کار شده از ترکیب باندهی RGB=-PC4,PC5,PC4 استفاده شد. در این ترکیب باندهی اکسید آهن به رنگ قرمز تا صورتی و پوشش گیاهی به رنگ سبز کم‌رنگ و شفاف و آلتراسیون به رنگ آبی تا فیروزه‌ای درآمد. تصویر حاصل را می‌توان در شکل (۲-۱۴) مشاهده کرد.



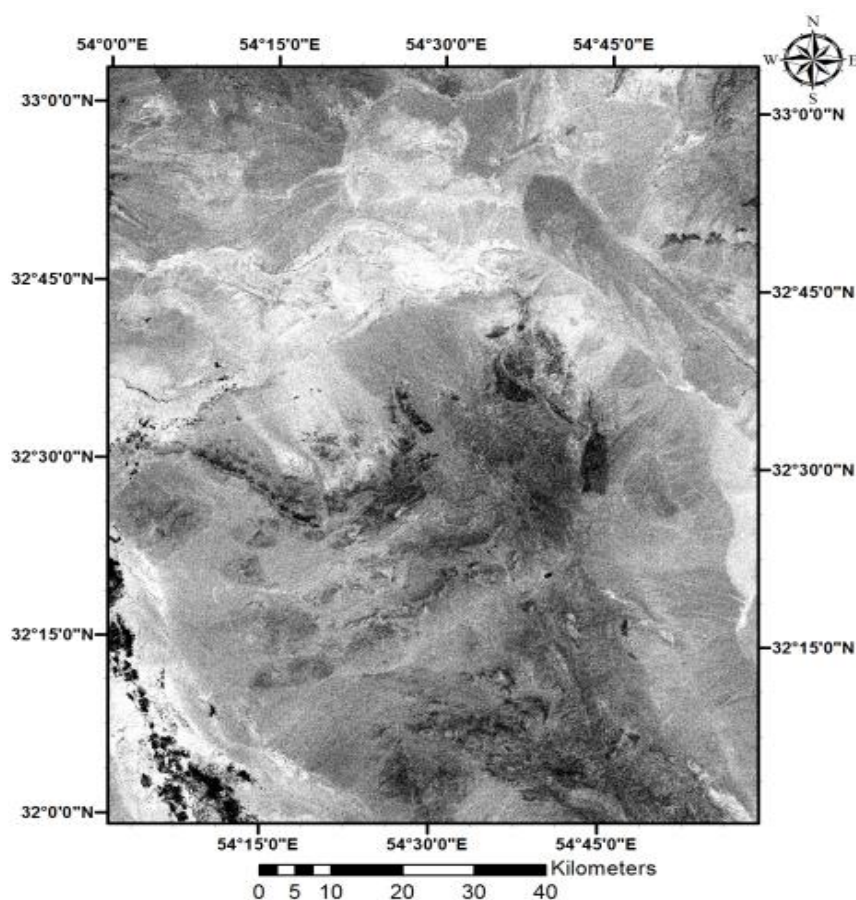
شکل ۲-۱۴: تصویر حاصل از ترکیب باندهی RGB=-PC4,PC5,PC4

### ب- نتایج روش کروستا بر روی داده‌های سنجنده ETM+

جدول (۲-۵) نتیجه آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام شده بر روی باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ سنجنده ETM+ را برای بارزسازی اکسیدهای آهن در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به این جدول، تصویر حاصل از PC4 جدول (۲-۵)، اکسیدهای آهن را با پیکسل‌های روشن نمایش می‌دهد. شکل (۲-۱۵) نقشه حاصل از PC4 جدول (۲-۵) را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۵: نتایج مقادیر ویژه حاصل از روش کروستا بر روی باندهای ۱ و ۳ و ۴ و ۵ سنجنده ETM+

Eigenvector	Band 1	Band 3	Band 4	Band 5
PC1	۰/۴۳۷۰۳۷	۰/۵۶۴۷۲۲	-۰/۴۳۳۰۳	۰/۴۳۳۰۳
PC2	۰/۶۰۷۰۱۷	۰/۲۵۴۹۵۴	۰/۰۱۰۸۸۶	۰/۰۱۰۸۸۶
PC3	۰/۶۲۱۲۱۱	-۰/۳۹۰۱۸	۰/۵۷۶۰۸	-۰/۵۷۶۰۸
PC4	-۰/۲۳۳۷۲	۰/۶۸۱۰۶۱	-۰/۶۹۳۱۸	۰/۶۹۳۱۸

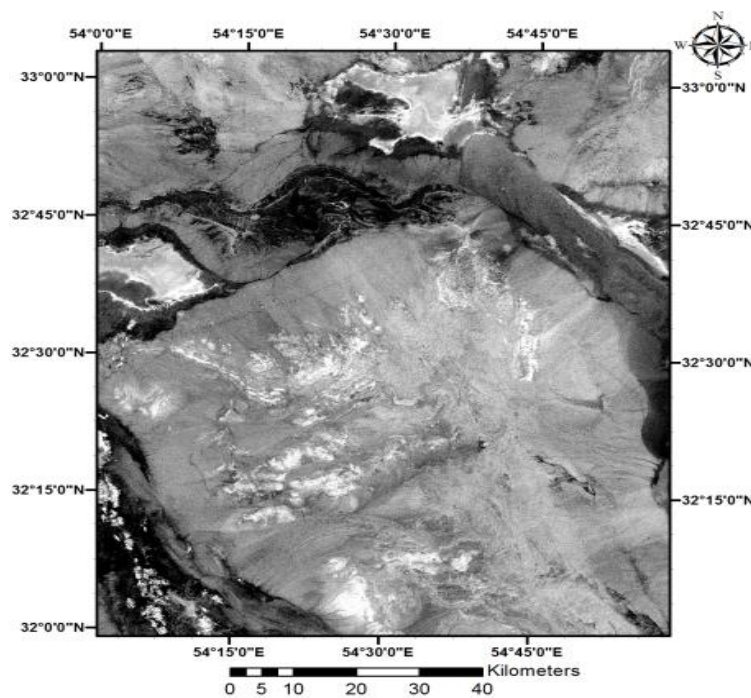


شکل ۲-۱۵: تصویر حاصل از PC4 به دست آمده از اعمال روش کروستا (اکسید آهن)  
 جدول (۲-۶) نتیجه آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام شده بر روی باندهای ۱، ۳، ۵ و ۷ سنجنده ETM+ را برای بارسازی آلتراسیون در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به این جدول، تصویر حاصل از PC4- جدول (۲-۶)، آلتراسیون را با پیکسل‌های روشن نمایش می‌دهد. شکل (۲-۱۶) نقشه حاصل از PC4- جدول (۲-۶) را نشان می‌دهد.



جدول ۲-۶: نتایج مقادیر ویژه حاصل از روش کروسستا بر روی باندهای ۱ و ۳ و ۴ و ۵ سنجنده ETM+

Eigenvector	Band 1	Band 3	Band 5	Band 7
PC1	۰/۴۲۶۰۹۳	۰/۵۵۰۹۴۱	۰/۵۳۹۸۶۹	۰/۴۷۲۷۰۵
PC2	۰/۶۲۷۰۸۲	۰/۳۹۱۸۵	-۰/۵۰۶۵۴	-۰/۴۴۳۴۴
PC3	۰/۵۸۲۹۸۲	-۰/۶۵۸۷۸	۰/۱۷۴۹۹	۰/۴۴۲۱۷۳
PC4	-۰/۲۹۲۱۴	۰/۳۳۰۰۳۷	-۰/۶۴۹۱	۰/۶۱۹۹۹



شکل ۲-۱۶: تصویر حاصل از PC4- به دست آمده از اعمال روش کروسستا (آلتراسیون).

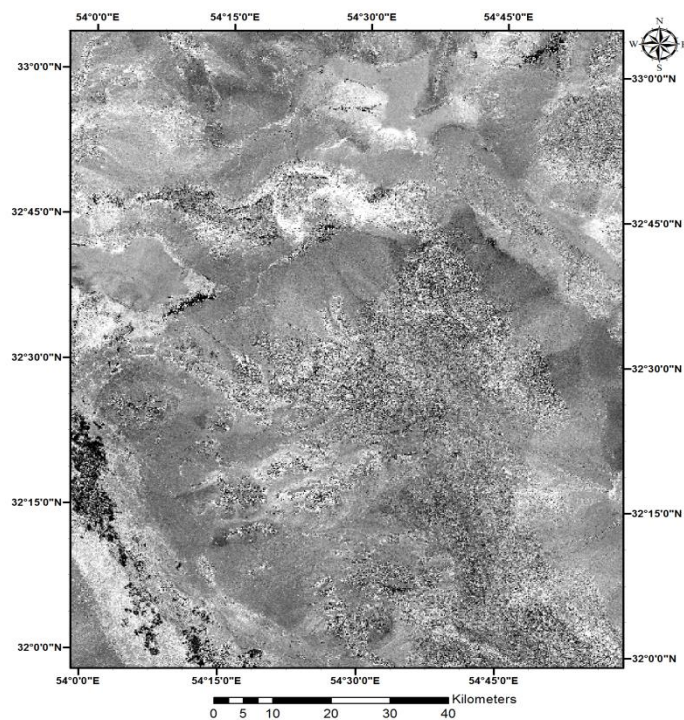
### ج- نتایج اعمال PCA بر روی تمام باندهای سنتینل

جدول (۲-۷) نتایج اعمال PCA بر روی تمام باندهای سنتینل را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج جدول (۲-۷) ملاحظه می‌گردد، بیشترین اختلاف انعکاس و جذب در باندهای ۲ و ۴ جهت بارز سازی اکسید آهن در PC8 مشاهده می‌شود. اما به دلیل این که اکسید آهن در باند ۴ بیشترین انعکاس و در باند ۲ بیشترین جذب را داراست باید از PC8- جهت بارز سازی اکسید آهن با پیکسل روشن استفاده کنیم (شکل ۲-۱۷). همچنین بیشترین اختلاف انعکاس و جذب در باندهای ۱۲ و ۱۱ جهت بارز سازی آلتراسیون

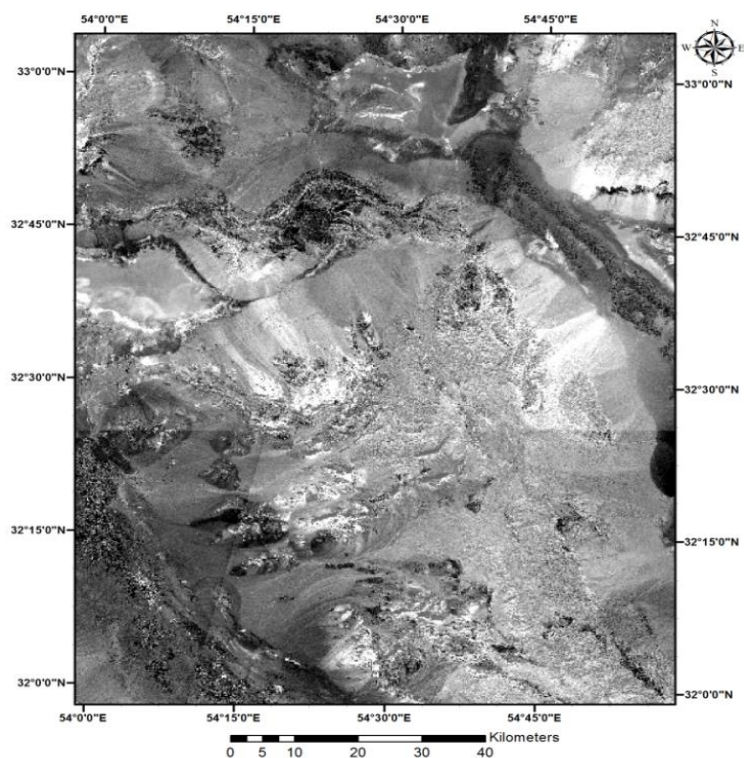
در PC7 مشاهده می‌شود. اما به دلیل این که کانی‌های بارز ساز آلتراسیون در باند ۱۱ بیشترین انعکاس و در باند ۱۲ بیشترین جذب را دارا است، باید از PC7- جهت بارزسازی آلتراسیون با پیکسل روشن استفاده کنیم (شکل ۲-۱۸). از آنجایی که پوشش گیاهی در باند ۸ رفتار منحصر به فرد دارد و در PC6 بیشترین انعکاس را دارد از PC6 جهت بارزسازی پوشش گیاهی استفاده شد (شکل ۲-۱۹).

جدول ۲-۷: نتایج اعمال PCA بر روی تمام باندهای سنتینل

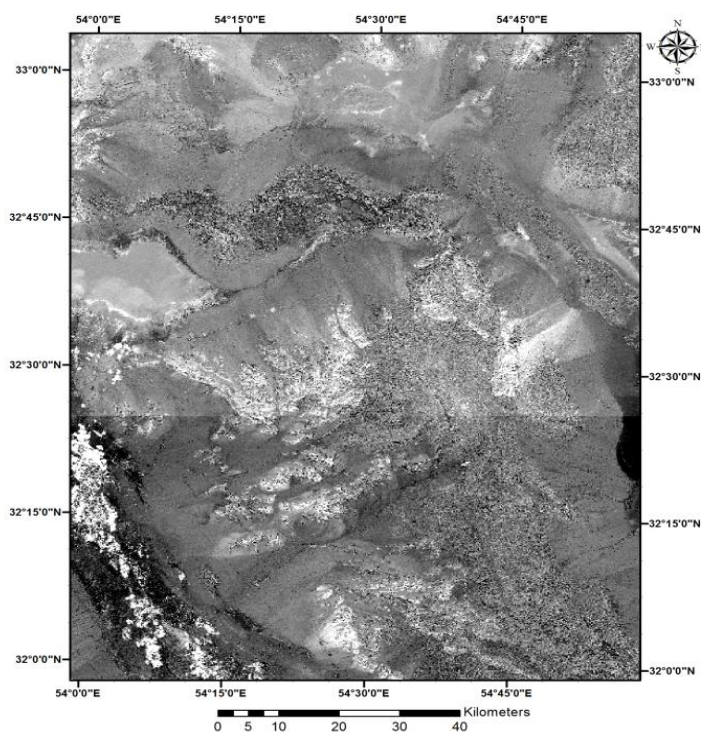
Eigenvector	Band TCI	Band 13	Band 12	Band 11	Band 10	Band 9	Band 8	Band 7	Band 6	Band 5	Band 4	Band 3	Band 2	Band 1
PC 1	-0.01971	-0.33423	-0.36699	-0.40194	-0.00828	-0.17185	-0.32217	-0.32437	-0.30956	-0.29478	-0.2797	-0.20555	-0.16871	-0.14621
PC 2	-0.015771	-0.07507	0.506751	0.487517	0.071506	0.285964	-0.13035	-0.14335	-0.15343	-0.16254	-0.24933	-0.26986	-0.30906	-0.30782
PC 3	-0.001421	0.138285	-0.33701	-0.28737	0.14136	0.770225	0.232185	0.086452	0.087937	0.046455	-0.00447	-0.0808	-0.17811	-0.24888
PC 4	-0.00485	-0.22909	0.113636	0.010806	0.088675	0.495422	-0.22422	-0.21717	-0.16212	-0.09255	-0.07282	0.166994	0.352344	0.62573
PC 5	0.028762	-0.34141	0.138101	-0.02951	0.055647	0.006656	0.459211	-0.32652	-0.26805	-0.17885	0.432401	0.321823	0.175765	-0.34171
PC 6	-0.013261	0.249354	-0.35645	0.370251	-0.01994	-0.08156	0.509217	-0.01018	-0.19869	-0.47174	-0.21965	-0.15728	0.047727	0.264155
PC 7	-0.00754	0.219161	0.571881	-0.60712	-0.18194	-0.03043	0.285771	0.066574	-0.05114	-0.24224	-0.1546	-0.15573	-0.03905	0.158669
PC 8	-0.049677	0.301028	0.035696	-0.0399	0.205409	-0.02567	-0.11527	0.009321	0.005403	-0.07964	-0.4953	0.318385	0.567608	-0.41543
PC 9	0.024548	0.624422	-0.01873	-0.01216	-0.02779	0.047556	-0.39246	-0.07848	-0.39539	-0.21383	0.44345	0.165289	-0.13948	-0.01721
PC 10	-0.001169	-0.23489	-0.04828	0.072469	-0.60615	0.155736	-0.1529	0.449403	0.114789	-0.42635	-0.02099	0.330563	-0.03229	-0.12051
PC 11	0.013645	-0.17055	0.068294	-0.06464	0.708371	-0.10158	-0.09699	0.446639	0.128536	-0.43069	0.161157	0.021259	-0.09296	0.061708
PC 12	0.006159	0.136782	-0.0031	0.008658	-0.01815	-0.00389	-0.07333	-0.53946	0.736793	-0.35415	0.091022	0.054994	-0.06778	0.015274
PC 13	0.012806	-0.02722	-0.01491	0.016641	-0.1337	0.069792	-0.13294	0.098629	0.061229	-0.13418	0.337226	-0.67566	0.573873	-0.16473
PC 14	0.997405	0.007297	-0.00211	-0.00039	0.000697	0.001376	-0.00627	-0.00095	-0.00146	-0.00113	-0.06909	0.000041	0.014497	-0.00974



شکل ۲-۱۷: تصویر حاصل از PC8- به دست آمده از اعمال PCA (اکسید آهن)



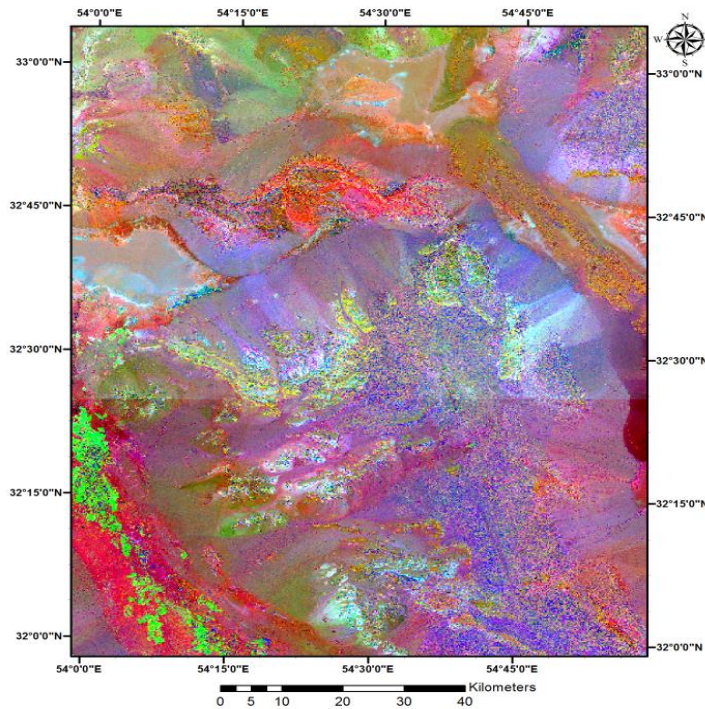
شکل ۲-۱۸: تصویر حاصل از PC7 - به دست آمده از اعمال PCA (آلتراسیون).



شکل ۲-۱۹: تصویر حاصل از PC7 - به دست آمده از اعمال PCA (پوشش گیاهی).



از ترکیب باندهای PC8- و PC6 و PC7- شکل (۲-۲۰) حاصل شد. در این شکل مناطق قرمز متمایل به صورتی نشان دهنده اکسید آهن و مناطق آبی تا آبی کمرنگ نشان دهنده آلتراسیون در ناحیه مورد مطالعه می باشد.



شکل ۲-۲۰: تصویر حاصل از ترکیب باندهای PC8- و PC6 و PC7-

#### د- نتایج روش کروسا بر روی داده های سنتینل

جدول (۲-۸) نتایج اعمال PCA بر روی باندهای ۲ و ۴ و ۸ و ۱۱ و ۱۲ سنتینل را نشان می دهد.

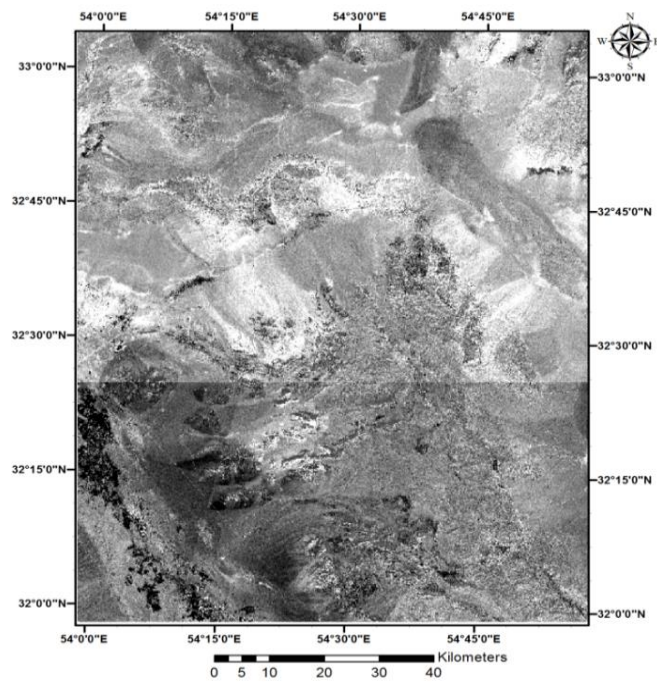
جدول ۲-۸: نتایج اعمال PCA بر روی باندهای ۲ و ۴ و ۸ و ۱۱ و ۱۲ سنتینل

Eigenvector	Band 12	Band 11	Band 8	Band 4	Band 2
PC1	-۰/۵۲۳۰۵۸	-۰/۵۷۰۵۲	-۰/۴۴۵۹۴	-۰/۳۸۵۸۱	-۰/۲۳۰۶۶
PC2	-۰/۴۶۱۵۶۷	-۰/۴۱۸۷۵	۰/۴۳۰۲۴۸	۰/۴۸۸۶۹۹	۰/۴۳۳۱۹۹
PC3	-۰/۱۹۹۲۳۷	۰/۰۲۹۹۰۴	۰/۵۹۵۰۸۹	۰/۰۰۳۱۷۱	-۰/۷۷۷۹۹
PC4	-۰/۶۴۲۵۵۶	۰/۶۵۴۵۹۳	۰/۰۶۴۲۴۷	-۰/۳۱۳۱۴	۰/۲۳۷۵۸۱
PC5	۰/۲۴۶۵۶۳	-۰/۲۶۴۱۴	۰/۵۰۷۷۰۳	-۰/۷۱۷۱۲	۰/۳۱۲۱۱۲۶

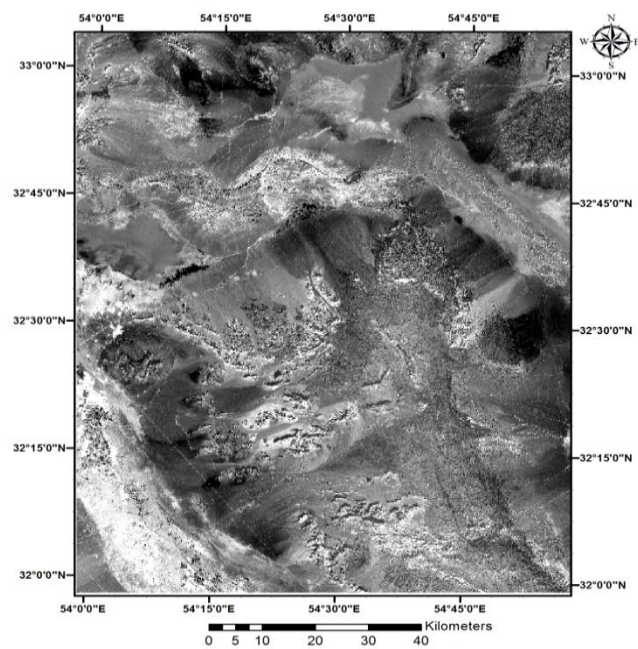
با توجه به نتایج جدول (۲-۸) و رفتار منحصر به فرد عوارض در باندهای مختلف که در قبل اشاره شد،

نتایج زیر حاصل می شود:

از PC5- جهت بارزسازی اکسید آهن و از PC3 جهت بارزسازی پوشش گیاهی و از PC4 جهت بارزسازی آلتراسیون با پیکسل روشن استفاده شد. این نتایج را می توان در شکل های (۲۱-۲) تا (۲۳-۲) مشاهده کرد.

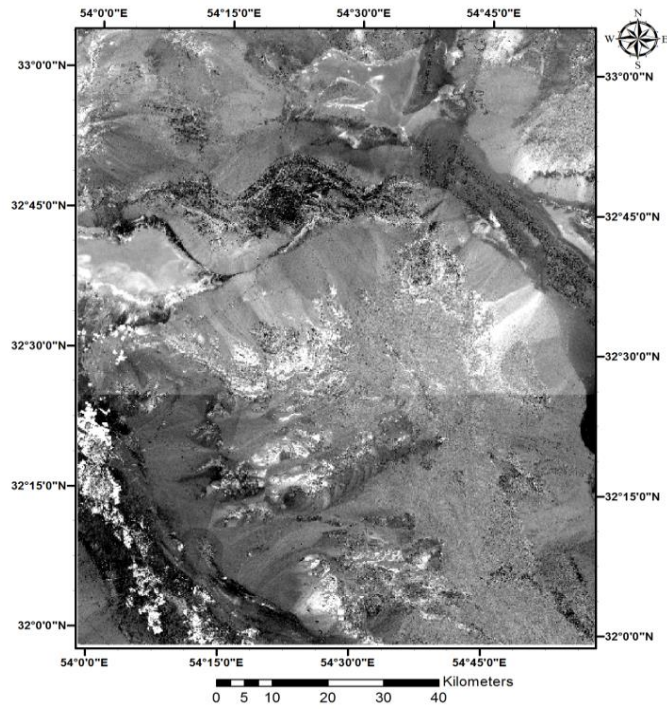


شکل ۲-۲۱: تصویر حاصل از PC5- جهت بارزسازی اکسید آهن



شکل ۲-۲۲: تصویر حاصل از PC3 جهت بارزسازی پوشش گیاهی

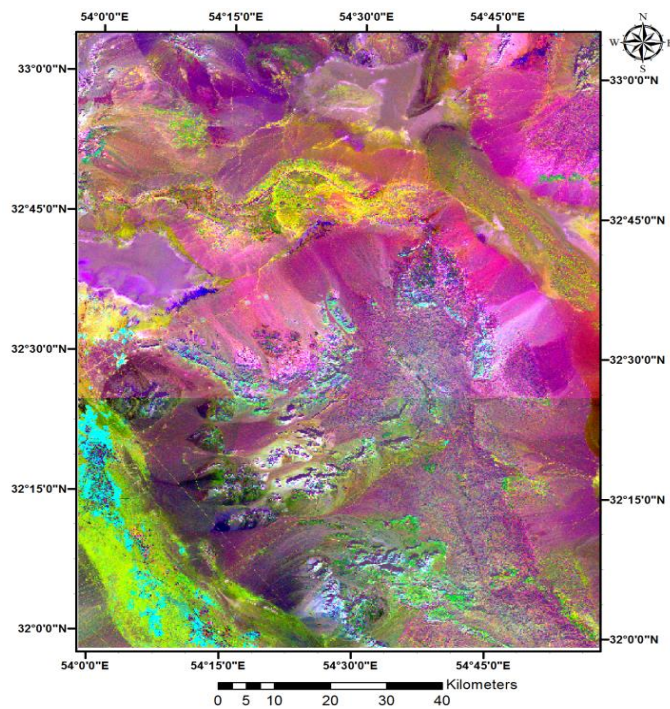




شکل ۲-۲۳: تصویر حاصل از PC4 جهت بارزسازی آلتراسیون

استفاده از ترکیب باندهای نتایج بالا کمک بهتری در شناسایی آلتراسیون و اکسید آهن می‌کند. از

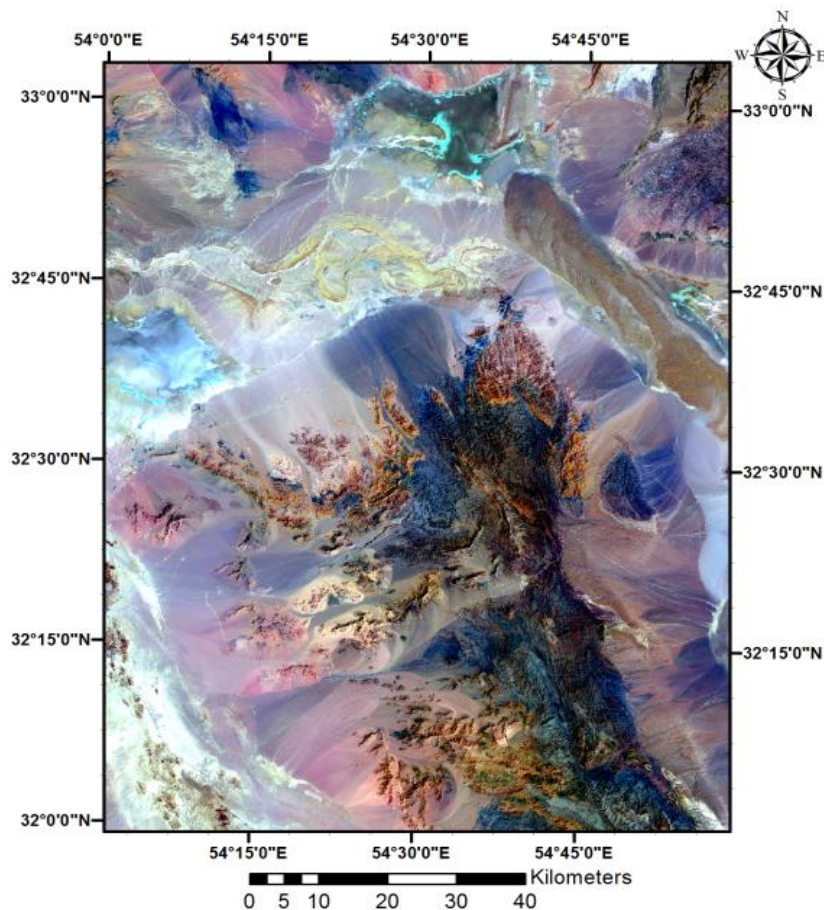
این‌رو در شکل (۲-۲۴) می‌توان تصویر حاصل از ترکیب باندهای RGB=PC5,PC3,PC4 را مشاهده کرد.



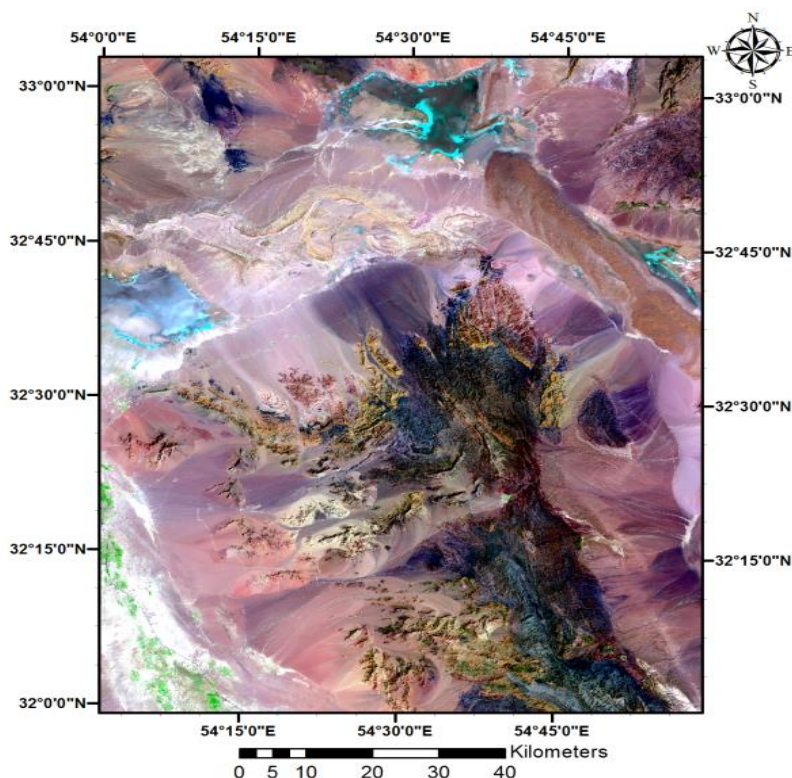
شکل ۲-۲۴: تصویر حاصل از ترکیب باندهای RGB=PC5,PC3,PC4

## ۴-۴-۲ نتایج فاکتور شاخص بهینه

پس از اعمال این روش بر روی باندهای مختلف دو سنجنده، ترکیب باندی ۵۳۱ در سنجنده ETM+ و ترکیب باندی ۲، ۱۱، ۸ در سنجنده سنتینل دارای بیشترین مقدار فاکتور شاخص بهینه (OIF) بودند. در واقع می‌توان گفت هیستوگرام این سه باند انتخابی دارای کمترین همبستگی می‌باشند و بیشترین اطلاعات را می‌توان از آن استخراج نمود. در ادامه جهت تفکیک واحدهای سنگی از این ترکیب‌های باندی استفاده شد. شکل (۲-۲۵) تصویر حاصل از ترکیب باندی ۵۳۱ سنجنده ETM+ تعیین شده با فاکتور شاخص بهینه و شکل (۲-۲۶) تصویر حاصل از ترکیب باندی ۲، ۱۱، ۸ سنجنده سنتینل تعیین شده با فاکتور شاخص بهینه را نشان می‌دهند.



شکل ۲-۲۵: تصویر حاصل از ترکیب باندی ۵۳۱ سنجنده ETM+ تعیین شده با فاکتور شاخص بهینه



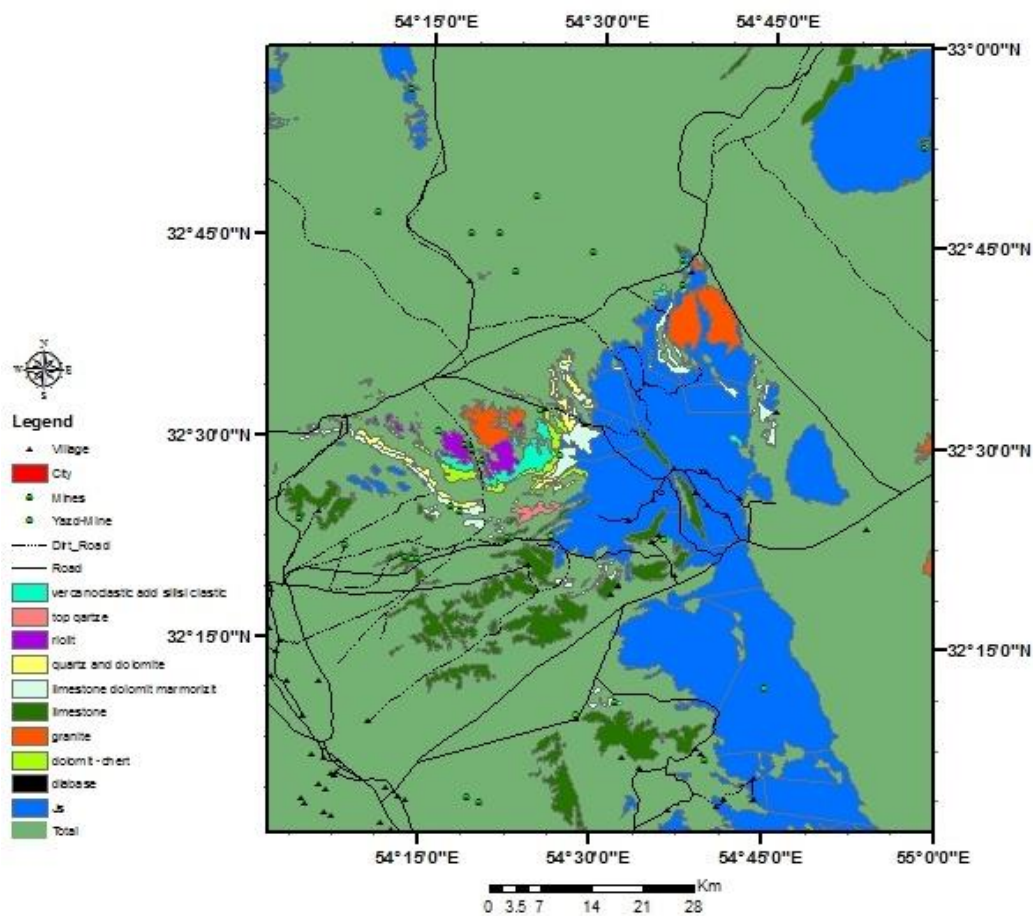
شکل ۲-۲۶: تصویر حاصل از ترکیب بان‌دی ۲، ۱۱، ۸ سنجنده سنتینل تعیین شده با فاکتور شاخص بهینه

### ۲-۴-۵ نتایج حاصل از پردازش داده‌های دورسنجی

با استفاده از اطلاعات به دست آمده از پردازش داده‌های دورسنجی و تلفیق و مقایسه‌ی آن با دیگر اطلاعات نتایج زیر حاصل شد.

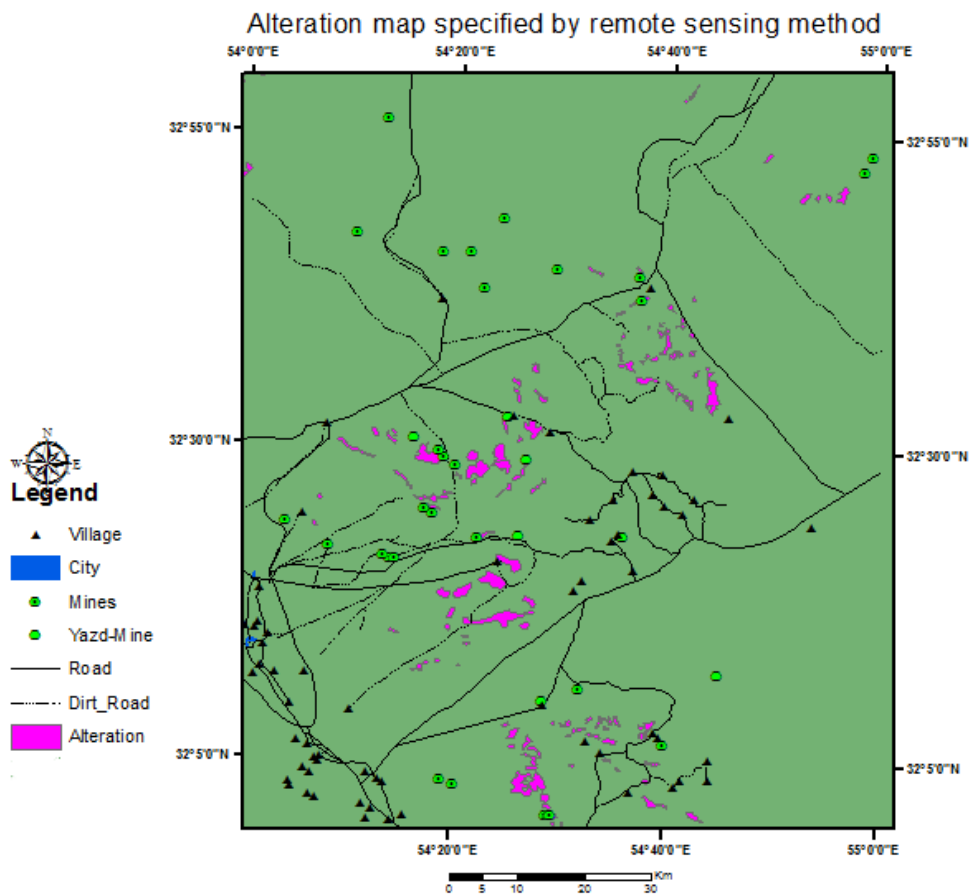
- ۱- تعیین دقیق واحدهای سنگی که امکان پتانسیل کانی‌زایی در آن وجود دارد با استفاده از ترکیب اطلاعات فاکتور شاخص بهینه و ترکیب بان‌دی و نسبت بان‌دی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (شکل ۲-۲۷).





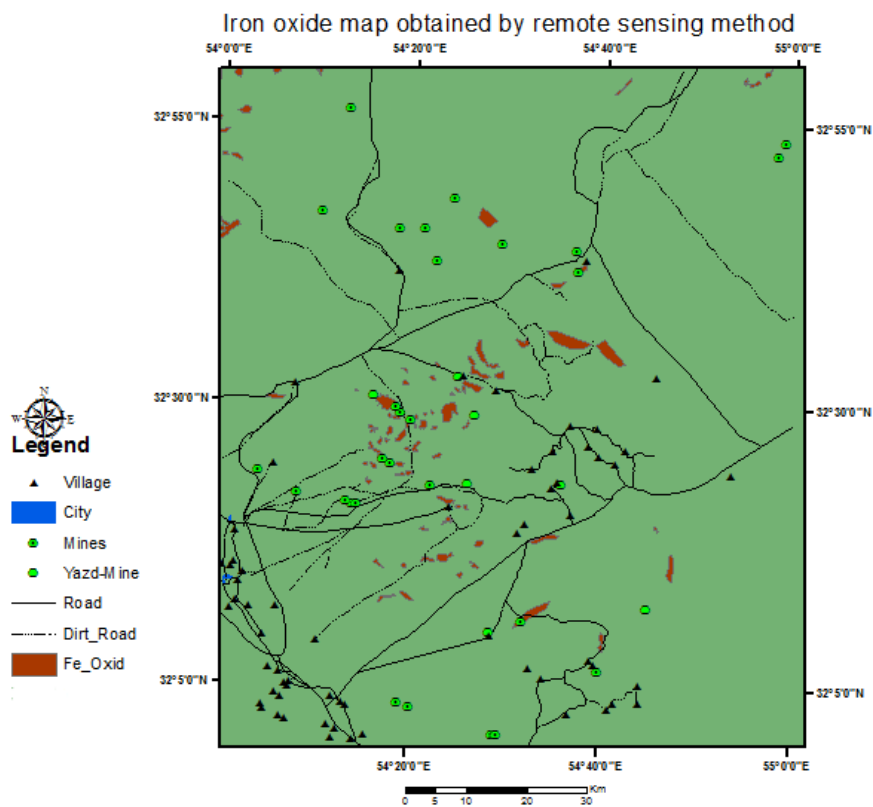
شکل ۲-۲۷: نقشه خروجی واحدهای سنگی پتانسیل دار محدوده  
 ۲- آلتراسیون‌های آرژیلیک و فیلیک و پروپلیتیک با استفاده از رفتار طیفی کانی‌های شاخص این  
 زون‌ها در باندهای مختلف و کمک‌گیری از تکنیک‌های نسبت بانندی و آنالیز مؤلفه اصلی و ترکیب  
 بانندی مشخص شدند (شکل ۲-۲۸).

این نتایج از قسمت‌هایی که تصویر حاصل از ترکیب بانندی و ترکیب بانندی حاصل از نسبت‌های  
 بانندی و ترکیب بانندی حاصل از روش کروس‌تا با یکدیگر همپوشانی داشت و یکدیگر را تأیید می‌کرد، حاصل  
 شد.

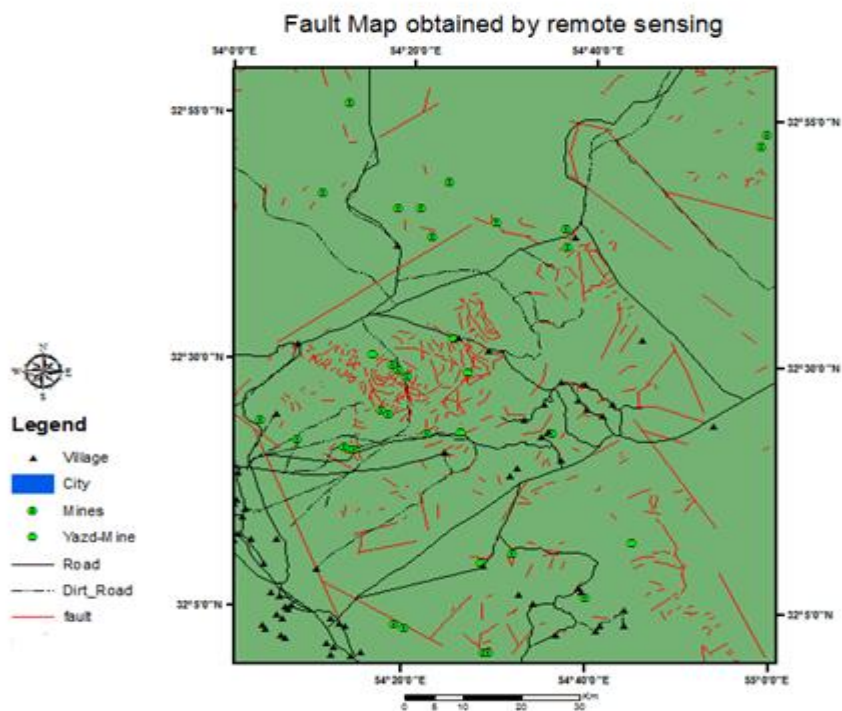


شکل ۲-۲۸: نقشه خروجی آلتراسیون های محدوده

۳- تعیین مناطق حاوی کانی های آهن دار و اکسید آهن با استفاده از نسبت های باندی و کروستا. این مناطق از همپوشانی نسبت باندی ۳/۱ و PC5 اعمال شده بر روی ۶ باند و PC کروستای اعمال شده بر روی باندهای ۱ و ۳ و ۴ و ۵ سنجنده ETM+ اکسید آهن مشخص شد و از معکوس PC9 اعمال شده بر روی ۹ باند سنجنده ASTER کانی های آهن دار نیز تعیین شد (شکل ۲-۲۹).



شکل ۲-۲۹: نقشه خروجی آهن و اکسید آهن  
 ۴- تعیین گسل و خطواره‌ها با استفاده از فیلتر جهتی و ترکیب رنگی (شکل ۲-۳۰).



شکل ۲-۳۰: نقشه خروجی گسل‌ها و خطواره‌ها

## ۵-۲ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

### ۱-۵-۲ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه واقع در استان یزد در اطراف کوه چک‌چک قرار داد. کوه چک‌چک در فاصله‌ی ۴۷ کیلومتری شرق اردکان و ۶۹ کیلومتری شمال یزد قرار دارد که دارای مسیر آسفالتی می‌باشد. مختصات محدوده عرض جغرافیایی ۳۳ تا ۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ تا ۵۵ درجه شرقی و ارتفاع متوسط ۱۷۳۰ متر است.

### ۲-۵-۲ شرایط اقلیمی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه محدود به زمین‌های گسسته‌ای می‌شود. محدوده مورد نظر محدوده‌ای نیمه کوهستانی است. این محدوده به کمک شبکه‌ای از آبراهه‌ها و رودخانه‌های فصلی که نسبتاً کم عمق هستند، قطع شده است. از آنجا که محدوده مورد مطالعه در استان یزد و در نزدیکی کویر مرکزی قرار دارد، میزان بارش سالیانه در آن حدود ۹۰ میلی‌لیتر در سال است و این ناحیه جز مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود. دمای محدوده در تابستان به حدود ۴۸ درجه سانتی‌گراد و در زمستان به حدود منفی ۴ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (شرکت تعاونی معدنی یاقوت ظفر یزد، ۱۳۹۷).

### ۳-۵-۲ زمین‌شناسی عمومی

در مجموعه ایران مرکزی، اوج تحولات ساختمانی به دوران مزوزوئیک باز می‌گردد. در دوران مزوزوئیک شکستگی‌ها و انشقاق سبب تشکیل حوضه‌های اقیانوسی نئوتتیس شد که آثاری از آن تا دوران ترشیری نیز نمایان است. در تعدادی از حوضه‌های رسوبی نیز عبور کرتاسه به پالئوسن بدون هیچ انقطاعی قابل مشاهده است. در ایران مرکزی، فعالیت‌های ماگمایی در دوره ترشیری نیز ادامه پیدا کرد و اوج آن در دوره ائوسن بود. در طول فعالیت‌های ماگمایی در ترشیری، ولکانیسم نیز مشاهده گردید که در نتیجه آن به جز مناطق زاگرس و کپه داغ، تمام نقاط ایران برونزدهای سنگ آذرین را دارا می‌باشند. فعالیت‌های ماگمایی در ایران مرکزی بسیار متنوع بوده و شاخص این فعالیت‌های مرکزی کمربند ماگمایی ارومیه-دختر است (Dimitrijevic, 1973).

در ایران مرکزی، شروع رخساره‌های رسوبی مربوط به ترشیری با کنگلومرای قاعده‌ای و ماسه‌سنگ است. این کنگلومرای قاعده‌ای و ماسه‌سنگ روی سنگ‌های قدیمی‌تر را به صورت دگرشیب پوشانده است. همچنین در زون ایران مرکزی در برخی مناطق رسوبات کرتاسه پایانی با دگرشیبی فرسایشی در زیر رسوبات ترشیری قرار گرفته‌اند. رخساره‌های قاره‌ای در این زون به کمک توده‌های آتشفشانی مانند گدازه‌های زیردریایی و قاره‌ای پوشیده شده‌اند. این مواد آتشفشانی گاهی حتی رسوبات هم‌دوره خود را نیز پوشانده‌اند. از نظر جغرافیایی، آتشفشان‌های سنوزوئیک ایران و توده سنگ‌های آذرین درونی در سه محدوده وسیع گسترش دارند که عبارتند از (Dimitrijevic, 1973):

- ایران مرکزی یا آتشفشان‌های محدوده ارومیه- دختر که گاه بنام سه‌پند- بزمان نیز نامیده شده‌اند که به صورت نوار طولی به طول ۱۷۰۰ کیلومتر (تبریز تا بزمان) و به عرض تقریبی ۱۰۰ کیلومتر، به موازات روراندگی زاگرس و در فاصله ۲۰۰-۱۵۰ کیلومتری از آن قرار دارد.

- البرز به طول ۱۵۰۰ کیلومتر که فعالیت‌های ماگمایی سنوزوئیک به‌ویژه در جنوب آن قرار دارد.

- بلوک لوت در شرق ایران که سنگ‌های ماگمایی سنوزوئیک وسعت زیادی را به‌ویژه در شمال آن تحت پوشش خود قرار داده است.

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق براساس تقسیمات ساختاری زمین‌شناسی در باختر زون ایران مرکزی، بلوک یزد و در غرب نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ اردکان و چهار برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مهدی‌آباد و زرین و اردکان و خرانق قرار می‌گیرد. رخنمون‌های سنگی قابل توجهی در این محدوده وجود ندارد و بیشتر محدوده پوشیده از آبرفت می‌باشد. در این محدوده دره‌های تنگی که به شکل ۷ بودند، در نتیجه انباشته شدن رسوبات در قسمت‌های شمالی به شکل U درآمده‌اند. سیستم‌های آبراهه‌ای در این محدوده از نوع سیستم‌های آبراهه‌ای شاخه‌ای می‌باشد. بلندترین بخش محدوده را ناحیه‌ای در شمال آن با



ارتفاع حدود ۳۰۰۰ متر و پست‌ترین بخش محدوده را ناحیه‌ای با ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متر تشکیل داده‌است. سنگ‌های آتشفشانی، نفوذی و رسوبی که در محدوده دیده می‌شود، مقدار کمی دگرگون شده‌اند و در سطح رخنمون پیدا کرده‌اند. سن این سنگ‌ها براساس شباهت ظاهری با سری ریزو، اینفراکامبرین حدس زده شد، اما شواهد میکروپالئونتولوژی نشان داد که این سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی که کمی دگرگون شده‌اند و در سطح رخنمون پیدا کرده‌اند، متعلق به دوره اردویسین زیرین می‌باشند (شرکت کارا، ۱۳۹۵).

محدوده موردنظر در سازند زیرو قرار دارد. از لحاظ لیتولوژی، این سازند دارای سنگ‌های تخریبی، ولکانیکی و ولکانوکلاستیک است. براساس مشاهدات چینه‌شناسی، سن واحدهای سنگی این محدوده پراکامبرین زیرین تخمین زده شده است. محدوده مورد مطالعه از سنگ‌های دگرگون شده آتشفشانی و ولکانوکلاستیک در حد ریولیت و توف ریولیتی تشکیل شده است. سنگ‌های کلاستیک سیاه دگرگون شده نیز در محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود. رسوبات آبرفتی به‌صورت پادگانه و مخروط افکنه‌های قدیمی برخی از بخش‌های محدوده را پوشانده‌اند. سن رسوبات آبرفتی در محدوده، دوره کواترنری است (شرکت کارا، ۱۳۹۵).

#### ۲-۵-۴ زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در کمربند ماگمایی ارومیه- دختر و بلوک یزد قرار دارد. در این محدوده امتداد گسل‌های غرب- جنوب شرقی امتدادلغز راستگرد است و دارای شیب ۷۵ تا ۸۰ درجه به طرف جنوب شرق است. حرکت این گسل‌ها قائم نرمال است که جابجایی نرمال آن‌ها بسیار بیشتر از جابجایی افقی می‌باشد (شرکت تعاونی معدنی یاقوت ظفر یزد، ۱۳۹۷).

جابه‌جایی در گسل‌های شمال غرب- جنوب شرقی چپ‌گرد است. این گسل‌ها به سبب راستالغز بودن شدید، دره‌های رودخانه‌ای بزرگی را تشکیل داده‌اند. شکستگی‌های کوچک‌تر در شمال شرق- جنوب غربی و کمتر شمال غرب- جنوب شرقی وجود دارند. گسل‌هایی که در قسمت شمال شرق- جنوب غربی قرار دارند، جوان‌تر هستند و سبب جابه‌جایی گسل‌های شمال غرب- جنوب شرقی شده‌اند. مطالعات درزه - نگاری و فراوانی گسله‌های محدوده کانسار، سیستم شکستگی و گسله غالب در محدوده را سیستم‌های

شمال غرب- جنوب شرقی و شمال شرق- جنوب غربی نشان می‌دهد (شرکت تعاونی معدنی یاقوت ظفر یزد، ۱۳۹۷).

## ۲-۵-۵ چینه‌شناسی محدوده

### الف- سازند ریزو

این سازند در محدوده شمال محدوده رخنمون دارد. قاعده این سازند مشخص نیست و سازند دزو به- طور هم‌شیب روی آن قرار می‌گیرد. لیتولوژی آن شامل سنگ‌های تخریبی، ولکانیکی و ولکانوکلاستیک است. فسیلی در آن دیده نمی‌شود؛ ولی با توجه به موقعیت چینه‌شناسی و مقایسه آن با رخنمون‌های این سازند در مناطق دیگر، سن این سازند پرکامبرین پسین در نظر گرفته شده است. این سازند به دو بخش تفکیک گردید که عبارتند از بخش  $PC_7^1$  شامل مجموعه دگرگون شده سنگ‌های ولکانیکی و ولکانوکلاستیک در حد ریولیت و توف ریولیتی است. این واحد به دلیل همجواری با گرانیت کهرنگ دگرگونی بالاتری را نسبت به واحد دیگر این سازند تحمل نموده است. بخش  $PC_7^2$  شامل مجموعه سیلتی، ولکانیکی و ولکانوکلاستیک سیاه رنگ است که در متن خود گاه‌ها دارای کربنات می‌باشد. مطالعه پتروگرافی سنگ‌های این واحد را از انواع ریولیت، توقف و توف ریولیتی تعیین می‌کند. سازند دزو این سازند در محدوده شمال محدوده رخنمون دارد. با توجه به اینکه در زیر این سازند، سازند ریزو با سن پرکامبرین پسین به‌طور هم- شیب قرار دارد و می‌توان قسمت بالای سازند ریزو را معادل واحد شیلی بالایی (u.sh.m) سازند سلطانیه دانست و با توجه به اینکه در بالای این سازند شیل‌های قرمز تا ارغوانی به‌طور هم‌شیب قرار گرفته است که می‌توان آن را معادل زایگون در نظر گرفت، لذا این سازند را می‌بایستی معادل با هم ارز جانبی بخش دولومیت بالایی (u.D.m) سازند سلطانیه و سازند پاروت دانست. بنابراین سن این سازند کامبرین زیرین است. این سازند در محدوده به دو واحد تقسیم گردید که به ترتیب عبارتند از:

واحد  $C_{dz}^1$ : این واحد با طبقات سنگ‌های کربناته تا خاکستری تیره، قهوه‌ای و قرمز به‌طور تدریجی

آغاز می‌شود و از تناوب سنگ‌های کربناته (معمولا دولومیتی دگرگون شده)، توف، توف ریولیتی و دیگر سنگ‌های ولکانو کلاستیکی تشکیل شده است که گاه‌ها دارای طبقات شیل و ماسه سنگ نیز می‌باشد. در بخش‌های بالایی این واحد به تدریج سنگ‌های کربناته بر سنگ‌های ولکانیکی و ولکانو کلاستیکی غالب می‌شوند و تا جایی که به تدریج با افزایش تبخیر این حوضه در زمان کامبرین در بخش‌هایی از محدوده طبقات ضخیم گچ افزوده می‌شود.

واحد  $C_{dz}^2$ : این واحد شامل لایه‌های ضخیم گچ و لایه‌های نازک دولومیت است و نیز در بخش‌هایی در اثر تکتونیک از جمله در محور چین‌ها ضخامت گچ‌ها زیاد شده و به هم خوردگی‌هایی مشاهده می‌شود. سازند دزو در بالاترین بخش خود از حدود ۱۰۰ متر آهک استروماتولیت‌دار و چرت‌دار دولومیتی تشکیل می‌شود ( $C_{dz}^3$ ).

### ب- سازند باروت

این سازند در میانه شرقی محدوده رخنمون دارد. همبری زیرین و بالایی آن مشخص نیست و به صورت قطعات پراکنده مشاهده می‌شود که می‌توان آن را اجزاء باقیمانده Nappe دانست. این واحد شامل دولومیت‌های سیاه و قهوه‌ای است که در آن آثار استروماتولیت، باندها و نودول‌های چرت سیاه دیده می‌شود. استروماتولیت‌ها از نوع لامینار و موجی شکل است. در بین لایه‌های دولومیتی، لایه‌های شیل قرمز تا ارغوانی موجود است. این واحد هم‌ارز جانبی بخش بالایی سازند دزو است و بر اساس توالی چین‌شناسی به پایین‌ترین قسمت کامبرین تعلق دارد.

### پ- کامبرین زیرین

این سازند در محدوده شمال محدوده رخنمون دارد. کنتاکت پایینی آن به‌طور هم‌شیب بر روی سازند دزو قرار گرفته است و در محل دالمه سازند دزو به صورت بین‌انگشتی به شیل‌های قرمز تا ارغوانی قاعده این سازند تبدیل می‌شود. کنتاکت بالایی آن به‌طور هم‌شیب در زیر سازند کوهبنان قرار دارد. این

واحد را می‌بایستی هم ارز جانبی سازندهای زاگون و لالون دانست. سن این واحد کامبرین آغازین است. این سازند به سه بخش تقسیم شده است که از پایین به بالا عبارتند از:

بخش ۱<sup>۱</sup> €: این واحد که با ۳ متر تناوب شیل ماسه‌ای، دولومیت نازک لایه، رگه‌های چرتی و کوارتزیت نازک لایه شروع می‌شود، از حدود ۲۶۵ متر شیل گچ‌دار و شیل کلاستیک، اسلیت و فیلیت همراه چند لایه دولومیت نازک لایه و چند لایه گدازه ویولیتی و توف ریولیتی تشکیل گردیده است. در این واحد از پایین به بالا دانه‌بندی ریزتر می‌شود و ماسه‌سنگ‌های لینوکلاست‌دار و پیل‌دار جای خود را به شیل ماسه-ای و ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز می‌دهد. بهترین رخنمون این واحد در شرق کوه پیرزن و در انتهای مقطع دالمه است.

بخش ۲<sup>۲</sup> €: این واحد با کم شدن ماسه‌سنگ‌ها و افزایش مقدار گچ در سنگ‌ها شروع می‌شود. این واحد دارای ماسه‌سنگ‌های شیلی گچ‌دار و بین لایه‌های ماسه‌سنگی متاگرویوکی است. ضخامت این واحد حدود ۸۵ متر می‌باشد. بهترین رخنمون این واحد در انتهای مقطع دالمه در شرق کوه پیرزن و جنوب کوه چهر است.

بخش ۳<sup>۳</sup> €: متن اصلی این واحد ماسه‌سنگ‌های دانه درشت متوسط تا ضخیم لایه است. رنگ سطح هوازده آن سیاه و خاکستری تیره است. رنگ سطح تازه سنگ‌های آن قهوه‌ای و خاکستری روشن است. لینوکلاست‌ها و ولکانوکلاست‌ها نیز در لایه‌های این واحد دیده می‌شوند. در روی این ماسه‌سنگ‌ها حدود ۱۵ تا ۲۰ متر شیل و ماسه سنگ خاکستری و قهوه‌ای دگرگون شده میکادار دیده می‌شود. ضخامت لایه‌های این بخش خیلی کم (حدود ۲ تا ۳ سانتی‌متر) بوده و حجم بیشتر را شیل تشکیل می‌دهد. این واحد در شمال شرق ورقه اردکان در کوه چهر، جنوب رنجشو و شمال کوه دربید بخوبی رخنمون دارد و هرچه به سمت غرب پیش می‌رود از ضخامت این واحد کاسته می‌شود. به‌طور کلی ضخامت این عضو حدود ۴۰۰ متر است.

## ت- سازند کوهبنان CK

این سازند در محدوده شمال محدوده رخنمون دارد. ضخامت این سازند حدود ۸۰-۱۲۰ متر است. کنتاکت پایینی این سازند به‌طور هم‌شیب و منقطع بر روی واحد  $\epsilon_2$  قرار دارد و در حد بالایی خود به‌طور دگرشیب توسط سازند پادها پوشیده می‌شود. سن این سازند بخش بالای کامبرین آغازین تا کامبرین میانی است. این سازند در محدوده مورد مطالعه از پنج بخش تشکیل شده است که عبارتند از:

- ۱- کوارتزیت زیرین<sup>۱</sup>: ضخامت این بخش در کوه پیرزن حدود ۴۱ متر است. در داخل خود تناوبی سفید و کمی قرمز رنگ دارد در آن لایه‌های قرمز دانه درشت‌تر است و در محیطی با درجه اکسیداسیون بالاتر گذاشته شده است.
- ۲- دولومیت زیرین: این بخش شامل دولومیت و دولومیت چرت‌دار قهوه‌ای تا خاکستری رنگ است. در بالاترین لایه‌ها شیل ارغوانی به آن اضافه می‌شود. این بخش حدود ۱۲-۱۳ متر ضخامت دارد.
- ۳- شیل میانی: این بخش شامل تناوبی از شیل‌های ارغوانی و دولومیت چرت‌دار است. ندولار<sup>۲</sup> بوده و حاوی ساختمان کانال‌های پرشده<sup>۳</sup> است. ضخامت این بخش ۲۲-۲۳ متر است.
- ۴- دولومیت بالایی: این بخش شامل دولومیت ماسیو است که در بخش بالایی آن آثار استروماتولیت و بقایای فسیل‌های کفزی نامشخص دیده می‌شود. ضخامت این بخش حدود ۲۱-۲۲ متر است.
- ۵- شیل بالایی: این بخش با شیل‌های ارغوانی و یک لایه دولومیت قهوه‌ای شروع می‌شود و با شیل‌های ارغوانی پایان می‌یابد. ضخامت این بخش حدود ۴۰ متر است.

## ث- سازند پاده آ

---

<sup>1</sup> - Base Quarteite

<sup>2</sup> - Neclular

<sup>3</sup> - channel fill

این سازند در محدوده شمالی و در شمال و جنوب میانه شرقی محدوده رخنمون دارد. ضخامت آن در کوه پیرزن حدود ۴۳۸ متر است. غالب سنگ‌های این سازند را کوارتزیت‌های سفیدرنگ، ماسه سنگ و شیل‌های به‌صورت بین لایه‌ای و میان لایه‌ای دولومیتی زیتونی رنگ تشکیل می‌دهد. کنتاکت پایینی این سازند با دگرشیبی بر روی سازند کوهبنان قرار دارد و کنتاکت بالایی آن به‌طور هم‌شیب توسط سازند بهرام پوشیده شده است. در رخنمون کوه باشی (جنوب شرق کوه چک‌چک) کنتاکت پایینی این سازند مشاهده نمی‌شود. پایین‌ترین افق‌های قابل مشاهده کوارتزیت‌های شیری رنگ است. کمی بالاتر یک لایه ۳-۴ متری آهک دولومیتی سیاه‌رنگ وجود دارد. در روی این لایه مجدداً کوارتزیت‌های شیری رنگ وجود دارد که در بین آن میان لایه‌های نازک سیلتی-شیلی خاکستری تیره و افق‌های دولومیت نخودی رنگ با ضخامت ۱-۳ متر و حاوی باندهای چرتی سیاه وجود دارد. افق‌های پایینی قدری ماسه‌ای و رنگ آن متمایل به قرمز است. در حد بالایی خود به‌طور هم‌شیب توسط سازند بهرام پوشیده می‌شود. در قسمت‌های بالایی این سازند یک لایه یک تا دو متری نخودی رنگ دیده می‌شود که حاوی پلت‌های سیاه‌رنگ فسفاخته است و سیمان آن کربناته است. سن این سازند با توجه به قطعات فسیل ماهی‌های زره‌دار و همچنین فسیل‌های پالیئومورف که در قاعده سازند بهرام بافت گردید و با توجه به فسیل‌های پالیئومورف دونین زیرین می‌باشد.

### ج- سازند تاشک

این سازند در محدوده جنوب و میانه باختری محدوده رخنمون دارد. همبری پایینی این سازند به‌گونه هم‌شیب بر روی سازند دزو است و همبری بالایی آن در محدوده جنوب محدوده با دگرشیبی کم در زیر سازند پاها است. در بخش میانه باختری بر روی آن سازندی نمی‌نشیند. قاعده این سازند شامل شیل‌های قرمز تا ارغوانی است که لایه‌های پیروکلاستیک در آن دیده می‌شود. در این شیل‌ها، به‌ویژه در بخش‌های زیرین، نقاط گرد سفید رنگی دیده می‌شود که در مرکز آن‌ها دانه‌های سنگی کوچک سیاه رنگی دیده می‌شود. این دانه‌های سنگی کوچک در بردارنده عناصر رادیواکتیو است. واپاشی این عناصر سبب ایجاد پرتوهای

یون ساز می‌شود و این پرتوها کانی‌های پیرامون این دانه‌ها را دچار تخریب و دگرگونی کرده است. آن چنان که سبب تغییر رنگ آن‌ها از ارغوانی به سفید شده است. بررسی پتروگرافی، این شیل‌ها را از نوع سنگ‌های توفی - آهکی نشان می‌دهد. این شیل‌ها سپس به سمت بالا به‌گونه تناوبی به ماسه سنگ تبدیل می‌شود. به‌گونه‌ای که لایه‌های ماسه‌سنگی به‌طور کامل جانشین شیل‌ها می‌شوند. ضخامت لایه‌های ماسه‌سنگی نزدیک به ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متر است و رنگ این ماسه‌سنگ‌ها سبز تا خاکستری تیره است و جلا و درخشندگی در آن دیده می‌شود که به آن ظاهری توفی و ولکانیک می‌دهد. بررسی پتروگرافی سنگ‌های این بخش را از نوع ماسه‌سنگ ساب‌گرویوکی تا ساب‌لیتارنیت‌دار آهکی ریز تا متوسط دانه آغشته به اکسید آهن نشان می‌دهد. این سازند را می‌بایستی هم ارز سازند داهو و یا مجموع دو سازند زایگون و لالون دانست. بنابراین سن این سازند را می‌بایستی میانه‌ها و یا سرانجام‌های کامبرین آغازین در نظر گرفت.

#### چ - سازند شتری

این سازنده در محدوده جنوبی و جنوب باختری محدوده رخنمون دارد. همبری زیرین این سازند به - گونه نگرشی بر روی سازند پادها جای دارد و همبری زیرین آن نیز به‌گونه دگرشیب در زیر واحد Rj (شیل و ماسه‌سنگ‌های تریاس - ژوراسیک) جای دارد. این سازند شامل دولومیتی ریزدانه است که سطح هوازده آن نخودی رنگ است و در آن نوارهای با سطح هوازده قرمز آجری دیده می‌شوند. رنگ سطح تازه آن خاکستری تا صورتی است. این سازند لایه‌بندی خوبی نشان می‌دهد و اندازه لایه‌ها نازک تا متوسط است. در قاعده این سازند در محدوده جنوبی نزدیک به ۱۰ متر ماسه سنگ و سیلتستون خاکستری بسیار شیره دیده می‌شود. پس از آن نزدیک به ۷ متر دولومیت با سطح هوازده زرد رنگ است. در دو دولومیت نزدیک به ۵ تا ۶ متر شیل‌های خاکستری تا سبز تیره و خاکستری تا سبز روشن و ماسه سنگ خاکستری دیده می‌شوند. احتمال دارد که واحد ماسه‌سنگی قاعده این سازند نزدیک به ۱۰ متر ماسه سنگ و سیلتستون هم ارز واحد  $R^{S,lt}$  (سازند ماسه‌سنگی - تربیتی معادل سوخ شیل) اردکان باشد و لایه شیلی پس از دولومیت نیز هم‌ارز لایه توفی موجود در قاعده سازند شتری اردکان و نزدیک روستای شالمه باشد. از این‌رو، می‌توان ماسه سنگ

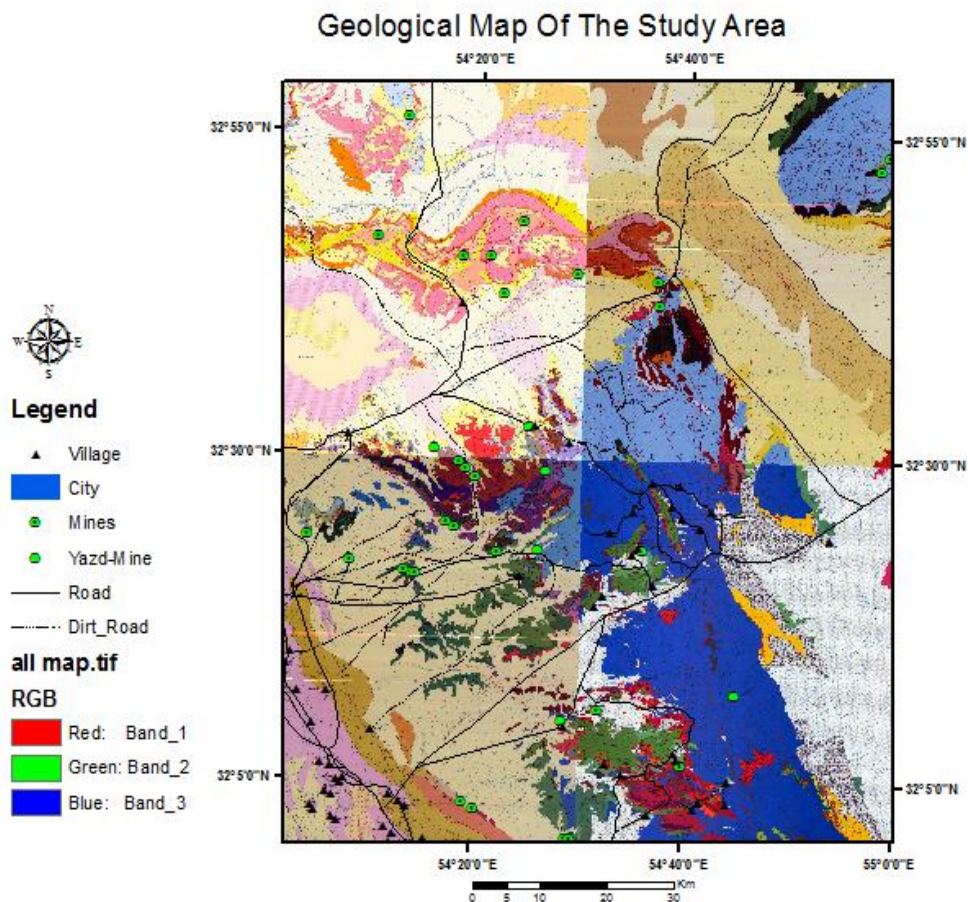
و سیلتستون آغاز این سازند را قاعده پیشروی دریای تریاس دانست. بر روی دولومیت‌های نخودی رنگ سازند شتری در محدوده جنوبی و محدوده جنوب باختری، آهک‌های خاکستری تا سفید با حالت موسوی دیده می‌شوند که می‌بایستی هم ارز آهک اسپهک باشند. بررسی میکروسکوپی نمونه دولومیتی که از محدوده جنوبی برداشته شده است، این سنگ را سنگ آهک اسپایی دولومیتی شده و نیز بررسی میکروسکوپی نمونه آهک خاکستری که از جنوب باختری گرانیات زمین برداشته شد، آن را سنگی دولومیتی شده که در آن بلورهای دولومیت جانشین بلورهای کلسیت شده‌اند، تعیین کرد.

### ح- شیل و ماسه‌سنگ‌های تریاس-ژوراسیک

این واحد در محدوده شمال خاوری و همچنین جنوب باختری محدوده رخنمون دارد و دارای گسترش زیادی است. همبری زیرین این واحد به‌گونه دگرشیب بر روی سازند شتری جای گرفته است و همبری زیرین آن نیز به‌گونه دگرشیب در زیر کنگلومرای قاعده کرتاسه جای می‌گیرد. این واحد شامل تناوبی از شیل، ماسه سنگ و سیلتستون خاکستری تیره و گاهی متمایل به قرمز است. بخش‌های بالینی این واحد به‌طور عمده شیلی با میان لایه‌های آهکی است و بخش‌های بالایی آن بیشتر ماسه‌سنگی است. در بخش‌های شیلی پایینی لایه‌های نازک ذغالی دیده می‌شود. در لایه‌های ماسه‌سنگی این واحد آثار پرشمار ریپل مارک و طبقه‌بندی متقاطع با زاویه کم دیده می‌شود. این واحد در پیرامون گرانیات زرین دگرگون شده و سنگ‌های آن به شیست و هورنفلس تبدیل شده‌اند. در این واحد آثار سنگواره‌های گیاهی پرشمار در لایه‌های سیلتی و ماسه‌ای وجود دارد.

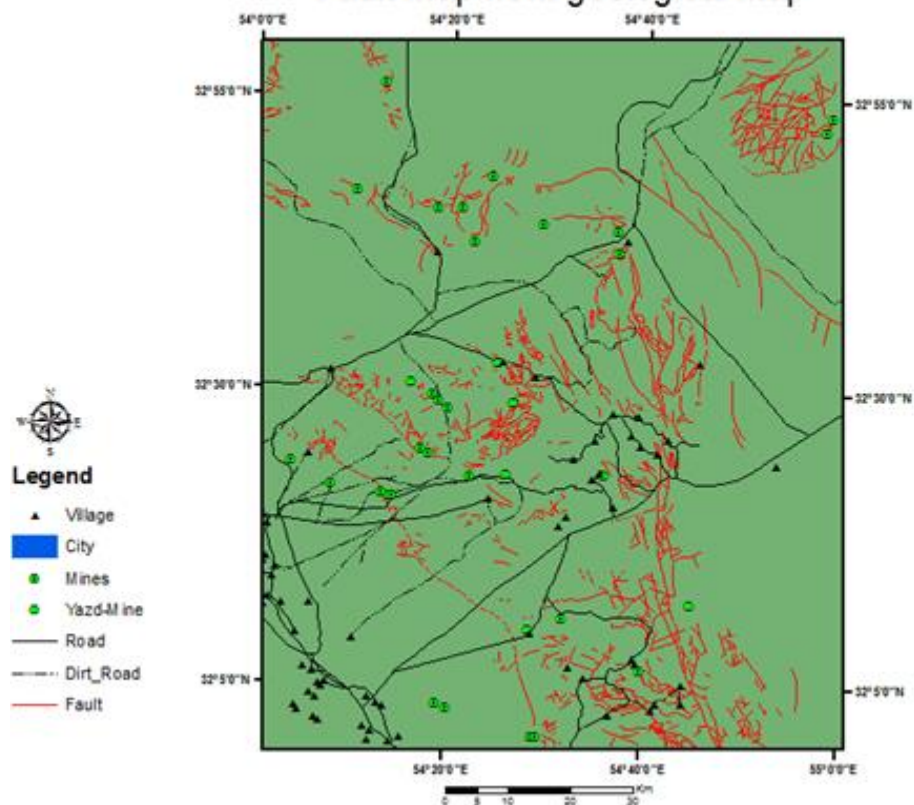
در این تحقیق چهار نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مهدی‌آباد، زرین، اردکان و خرانق پس از مختصات دهی به اندازه کافی برش داده شد تا نقشه کل محدوده مورد بررسی تهیه شود (شکل ۲-۳۱).





شکل ۲-۳۱: نقشه حاصل از چهار نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مهدی‌آباد و زرین و اردکان و خرانق با توجه به این نقشه و تصویر ماهواره‌ای، فایل رقومی جاده‌های اصلی، فرعی، روستاها و شهرها مشخص شد. همچنین از روی این نقشه کلیه اندیس‌های معدنی و معادن متروکه و مناطق دارای پتانسیل شناسایی شد. لایه گسلی مستخرج از نقشه زمین‌شناسی تهیه شد (شکل ۲-۳۲).

### Fault map from geological map



شکل ۲-۳۲: نقشه حاصل از گسل‌های مستخرج از نقشه زمین‌شناسی

## فصل سوم

### تهیه لایه اطلاعاتی مغناطیس هوایی

مغناطیس‌سنجی از جمله روش‌های ژئوفیزیکی است که می‌تواند محدوده وسیعی را با هزینه‌های کمتر مورد بررسی قرار دهد. اساس این روش بر خاصیت مغناطیسی کانی‌ها می‌باشد. یکی از لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی در این تحقیق، لایه اطلاعات مغناطیس‌هوایی می‌باشد. در این فصل به بیان نتایج حاصل از روش مغناطیس‌هوایی در محدوده پرداخته می‌شود.

### ۲-۳ روش مغناطیس‌سنجی

برای دستیابی به خصوصیات زیر سطحی زمین از نگاه آنومالی میدان‌های مغناطیس، از روش مغناطیس‌سنجی استفاده می‌شود. این آنومالی‌ها نشأت گرفته از ویژگی‌های مغناطیسی واحدهای سنگی زیر سطحی هستند. اگرچه تمامی کانی‌های سنگ‌ساز خاصیت مغناطیسی نداشته و تنها تعداد محدودی از آن‌ها دارای خاصیت مغناطیسی هستند، اما همین تعداد محدود کانی دارای خاصیت مغناطیسی، سبب تشکیل آنومالی‌های مغناطیسی چشم‌گیری شده‌اند. بر همین اصل، مغناطیس‌سنجی کاربردهای زیادی را دارد. این روش در مقیاس کوچک برای مطالعات مهندسی و باستان‌شناسی جهت شناسایی اجسام فلزی کاربرد داشته است و در مقیاس بزرگ برای زمینه‌های مطالعه زمین‌شناسی محدوده‌ای کاربرد دارد. سنجش‌های مغناطیسی قادر به برداشت زمینی، هوایی و دریایی بوده و در زمینه‌های مختلف کاربرد داشته است. سرعت بالای هوایی در این روش باعث شده تا در شناسایی ذخایر معدنی حاوی کانی‌های مغناطیسی بسیار مورد استفاده قرار گیرد (مشهدی، ۱۳۹۵).

به‌طور کلی مواد از نظر حضور در میدان مغناطیسی به سه دسته دیامغناطیس، پارامغناطیس و فرومغناطیس تقسیم می‌شوند. مواد دیامغناطیس خودپذیری منفی دارند. مواد پارامغناطیس دارای خودپذیری مثبت ضعیف و مواد فرومغناطیس دارای خودپذیری قوی و مثبت هستند. اکسیدهای آهن که از جمله کانی‌های فرومغناطیس هستند، هدف اصلی اکتشافات مغناطیس‌سنجی هستند. کانی‌های دارای خاصیت مغناطیسی بالا بر روی میدان مغناطیسی زمین اثرگذار هستند. دستگاه‌هایی مانند پروتون یا بخار

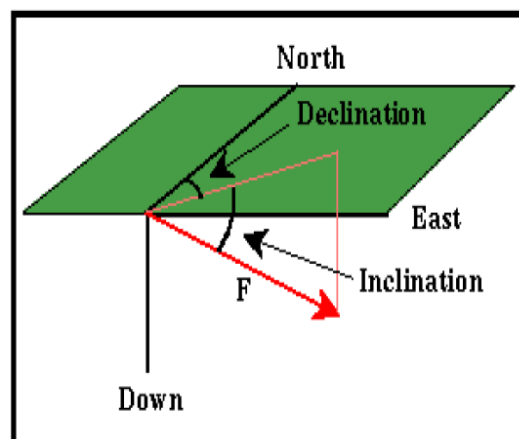
سزیم برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین با دقت نانوتسلا مورد استفاده قرار می‌گیرند. میدان مغناطیسی زمین از جمع میدان ناحیه‌ای و بی‌هنجاری‌های محلی حاصل می‌شود. مغناطیس‌القایی در حضور میدان مغناطیسی طبق رابطه (۱-۳) به دست می‌آید (Currenti et al., 2007):

$$J = KH \quad (1-3)$$

در این رابطه منظور از H میدان مغناطیسی بر حسب تسلا است. K خودپذیری مغناطیسی را نشان می‌دهد که پارامتری بدون واحد است و J نیز مغناطیس‌القایی بر حسب آمپر متر است.

### ۱-۲-۳ اجزای میدان مغناطیسی

میدان مغناطیسی در هر نقطه از زمین دارای مؤلفه‌های متفاوتی است. پژوهشگران و محققین علوم زمین مؤلفه‌های نشان داده شده در شکل (۱-۳) را برای بیان میدان مغناطیسی استفاده می‌کنند.



شکل ۱-۳: اجزای میدان مغناطیس

اجزای میدان مغناطیسی در ادامه معرفی شده‌اند (Telford et al., 1991):

- زاویه انحراف<sup>۱</sup>: زاویه میان شمال جغرافیایی و تصویر میدان مغناطیسی در صفحه افق را زاویه انحراف می‌نامند. این زاویه با علامت مثبت در جهت حرکت عقربه‌های ساعت مشخص می‌گردد و مقدار آن از صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می‌کند.

<sup>۱</sup> - Declination

- زاویه میل<sup>۱</sup>: زاویه میان میدان مغناطیسی و تصویر آن در صفحه افقی را زاویه میل می‌نامند. اگر زاویه میل دارای مقدار مثبت باشد، یعنی آن که جهت میدان به سمت پایین است و مقادیر منفی نشان‌دهنده این مورد است که جهت میدان مغناطیسی به سمت بالا است. زاویه میل می‌تواند بین ۹۰ تا ۹۰- درجه تغییر نماید.

- استوای مغناطیسی: منظور از استوای مغناطیسی مکانی است که بر روی زمین واقع شده است و زاویه میل در آن صفر است. در این مکان بردار میدان مغناطیسی در صفحه افق قرار دارد. این مکان با استوای جغرافیایی ارتباطی ندارد.

- قطب مغناطیس مکانی بر روی سطح زمین است که در آنجا زاویه میل ۹۰ درجه بوده و به عبارتی بردار میدان مغناطیسی زمین عمود می‌باشد. این مکان‌ها نیز ارتباطی با قطب‌های جغرافیایی ندارند.

علاوه بر موارد ذکر شده موارد دیگری چون میدان القا شده حاصل از سنگ‌های پوسته نیز در زمره مؤلفه‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند که دارای منشأ خارجی هستند. همچنین قابل ذکر است که منشأ میدان مغناطیسی کل هسته خارجی است که باعث القا شدن خاصیت مغناطیسی در سنگ‌ها پوسته زمین می‌گردد.

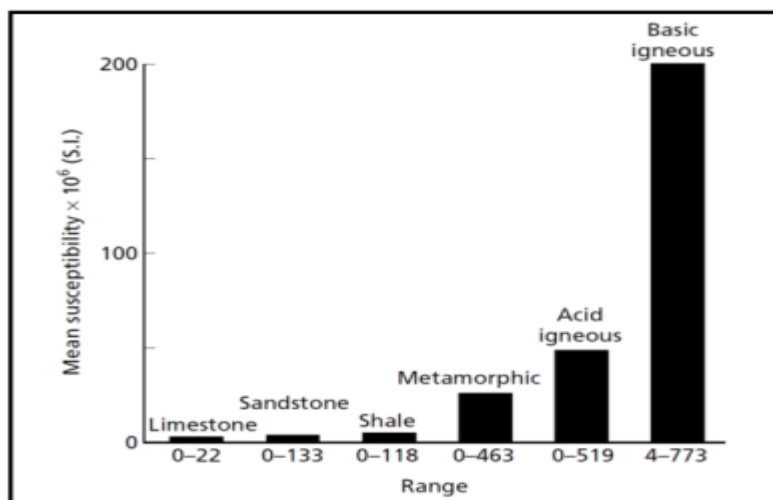
### ۲-۲-۳ خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها

تعداد زیادی از کانی‌های سنگ‌ساز دارای خودپذیری مغناطیسی ضعیف هستند. در این کانی‌ها خاصیت مغناطیسی مربوط به بخش کوچک کانی‌های مغناطیسی در ترکیب آن‌ها است. کانی‌های مغناطیسی تنها در دو گروه از سنگ‌ها حضور دارند. گروه اول اکسیدهای آهن-تیتانیوم هستند که در آن‌ها کانی‌های مغناطیسی سری محلول‌های جامد وجود در محدوده مگنتیت تا الوو-اسپینل حضور دارند.

---

<sup>1</sup> - Inclination

هماتیت نیز از جمله اکسیدهای آهن است، اما این اکسید از آنجا که در دسته آنتی فرومغناطیسها قرار می‌گیرد، آنومالی مغناطیسی تشکیل نمی‌دهد. گروه دوم شامل سولفیدهای آهن است که در آنها خودپذیری مغناطیسی وابسته به ترکیب شیمیایی آنها است. مهم‌ترین کانی مغناطیسی مگنتیت با دمای کوری ۵۷۸ درجه سانتی‌گراد است. خاصیت مغناطیسی در سنگ‌ها را می‌توان براساس میزان مگنتیت موجود در آنها دسته‌بندی کرد. بر این اساس تقسیم‌پذیری سنگ‌ها را می‌توان در شکل (۳-۲) مشاهده کرد.



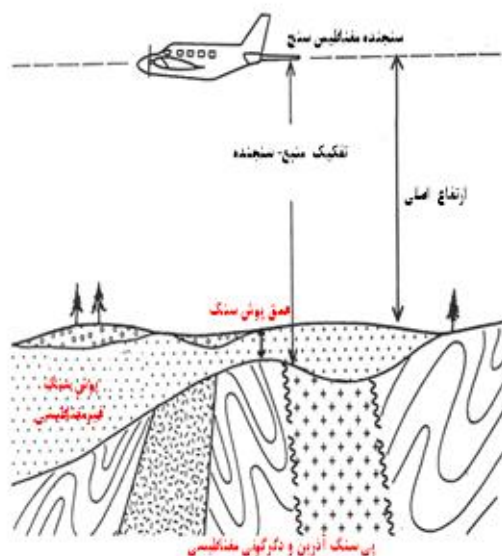
شکل ۳-۲: میانگین و دامنه تغییرات خودپذیری مغناطیسی سنگ‌های مختلف (Kearey et al., 2013). در سنگ‌های آذرین به دلیل حضور مگنتیت بالا در ترکیب آنها، شدت مغناطیسی بالا است. هرچه خاصیت اسیدی در سنگ‌های آذرین بالاتر می‌رود، میزان مگنتیت در ترکیب آنها کاهش می‌یابد و بر همین اساس سنگ‌های بازی دارای خودپذیری مغناطیسی بیشتر نسبت به سنگ‌های اسیدی هستند. در سنگ‌های دگرگونی نیز در صورت کم بودن فشار جزئی اکسیژن، مگنتیت دوباره جذب می‌شود و آهن و اکسیژن به هم در فازهای دیگر کانی می‌پیوندند. از این رو در سنگ‌های دگرگونی فشار جزئی اکسیژن سبب تشکیل مگنتیت در فرآیندهای دگرگونی می‌شود. معمولاً محتوای مگنتیتی سنگ‌ها یا به عبارت دیگر خودپذیری مغناطیسی آنها به شدت متغیر است و همپوشانی قابل توجهی بین لیتولوژی‌های مختلف می‌تواند وجود داشته باشد. معمولاً شناسایی کردن قطعی لیتولوژی مسبب هر آنومالی، تنها با اطلاعات مغناطیسی آن امکان‌پذیر نیست. سنگ‌های رسوبی غیر مغناطیسی هستند مگر اینکه محتوی مقدار قابل توجهی از مگنتیت در بخش کانی‌های سنگین خود باشند. مکان‌هایی که آنومالی‌های مغناطیسی بر روی

رسوبات پوشش‌دهنده مناطق دیده شده است، آنومالی عمدتاً به علت یک پی‌سنگ آذرین یا دگرگونی بوده یا اینکه گاه به خاطر نفوذهایی در سنگ رسوبی بوده است (مشهدی، ۱۳۹۵).

علت اصلی آنومالی‌های مغناطیسی در سنگ‌ها می‌توان به مواردی چون دایک‌ها، گسل‌خوردگی‌ها، چین‌خوردگی‌ها، سیل‌ها، پی‌سنگ‌های دگرگونی و توده‌های کانساری مگنتیتی اشاره کرد. به‌طور کلی می‌توان گفت که تقریباً در دمای حدود ۶۰۰ درجه تمام کانی‌های مغناطیسی خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند (مشهدی، ۱۳۹۵).

### ۳-۲-۳ روش‌های مغناطیس‌سنجی

روش‌های مغناطیس‌سنجی از جمله روش‌های ژئوفیزیکی هستند. از این روش برای اکتشاف منابع معدنی استفاده می‌گردد. این روش به دو صورت زمینی و هوایی استفاده می‌شود. روش مغناطیس‌سنجی هوایی از آن‌جا که از سطح پوشش زیاد در زمان‌های کمتر برخوردار است، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل (۳-۳) می‌توان نمایی از پیمایش مغناطیس‌سنجی هوایی و زمینی را مشاهده کرد.



شکل ۳-۳: نمایی از پیمایش مغناطیس‌سنجی هوایی و زمینی



## الف - مغناطیس‌سنجی هوایی

در اکتشاف کانسارهای معدنی، مغناطیس‌سنجی اغلب به صورت اندازه‌گیری مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمانی که اندازه‌گیری مغناطیسی به صورت مستقیم صورت بپذیرد، علاوه بر شناسایی کانی‌های مغناطیسی، کانی‌های غیرمغناطیسی نیز شناسایی می‌شوند. به کمک ابزارهای پیشرفته امکان اندازه‌گیری بسیار جزئی شدت میدان مغناطیسی در سنگ‌های رسوبی که در نزدیکی سطح زمین قرار دارند، وجود دارد. از جمله روش‌هایی که به این اندازه‌گیری می‌پردازند، مغناطیس‌سنجی هوایی است. مغناطیس‌سنجی هوایی به علت وزن کم و سادگی ارزان‌ترین روش موجود نیز می‌باشد. از روش مغناطیس‌سنجی برای تعیین محل گسل‌های بزرگ و مناطق خردشده و شکسته که اغلب در ارتباط با کانی‌سازی هستند، استفاده می‌شود. از جمله مزایایی که این روش دارد، می‌توان به سرعت زیاد، پوشش گسترده، اقتصادی بودن و راحتی کار نام برد (روحانی و همکاران، ۱۳۸۸).

از جمله دستگاه‌هایی که در روش مغناطیس‌سنجی هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، دستگاه بخار سزیم است. این دستگاه به کمک هواپیما جابه‌جا می‌شود. هواپیما در خطوط مشخصی حرکت می‌کند. قرائت‌ها به کمک این دستگاه در فاصله زمانی ۰/۱ ثانیه انجام می‌شود. مهم‌ترین مشکلی که در روش مغناطیس‌سنجی هوایی وجود دارد، حفظ خطوط پرواز و خارج نشدن هواپیما از آن است. به کمک ابزار GPS می‌توان این مشکل را تا حد قابل قبولی حل نمود. چون مگنتیت یک بخش بسیار ناچیز در رسوبات می‌باشد، نقشه‌های مغناطیسی نحوه توزیع مواد مغناطیسی در پی‌سنگ‌های بلورین زیر رسوبات را ثبت می‌کنند. حتی رسوباتی که حاوی مگنتیت هستند بر روی سنسورهای هوایی اثر کمی دارند که این تا حدودی به علت جهت‌گیری نامنظم و رندوم دانه‌های مگنتیت است و دیگر آن که ریزش‌دگی و ورقه‌شدگی دانه‌های بزرگ‌تر مگنتیت باعث می‌شود با افزایش ارتفاع، میدان مغناطیسی ناشی از آن‌ها به شدت کاهش یابد. قطعات آهن در تمام مناطق پر جمعیت وجود دارند و بر روی مگنتومترهای زمینی اثر می‌گذارند و از طرفی سرعت سنجش زمینی کم است پس اکثر عملیات‌های اکتشافی مغناطیسی به صورت هوابردی انجام می‌شوند. فاصله خطوط پروازی با گذشت زمان به شدت کاهش یافته و امروزه به ۱۰۰ متر هم رسیده است

(روحانی و همکاران، ۱۳۸۸).

در مطالعات مغناطیس هوایی، دگرشکلی در نقشه‌های مغناطیس هوایی به‌صورت عارضه‌های زیر نمایان می‌گردد (Korhonen et al., 2004):

الف) از جمله معمول‌ترین حالاتی که ممکن است در یک نقشه مغناطیس هوایی دیده شود و معرف دگرشکلی‌های شکننده هستند، نواحی خطی و باریک دارای مغناطیسی پایین هستند. منظور از این نواحی این است که یک پهنه مغناطیسی باریک خطی که دارای شدت مغناطیسی کم است و بر اثر هوازدگی در طول یک گسل خوردگی ایجاد شده است، به دلیل تبدیل کانی‌های مغناطیسی به غیرمغناطیسی در دو طرف گسل دارای ویژگی مغناطیسی شبیه به هم است.

ب) نواحی خطی و باریک دارای مغناطیس بالا یکی دیگر از دگرشکلی‌های موجود در نقشه‌های مغناطیس هوایی است. این نواحی ممکن است در اثر وجود یک عامل خارجی قطع گردند.

ج) از جمله نشان‌گرهای خوب در یک دگرشکلی مغناطیسی، ناپیوستگی/جاب‌جایی است که در ناهنجاری‌های مغناطیسی به‌صورت آشفتن حضور دارند.

د) قطع ناگهانی در عمق منابع مغناطیسی

و) پله‌های مغناطیسی نیز از جمله دیگر دگرشکلی‌های مغناطیسی هستند که نشان‌دهنده همبندی-های دارای خردشدگی بالای واحدهای سنگی هستند.

ه) جاب‌جایی واضح و تند در ناهنجاری‌های مغناطیسی که نشان‌دهنده پهنه‌های برخی شکننده یا همان گسل‌ها هستند.

## ب- مغناطیس‌سنجی زمینی

مغناطیس‌سنجی زمینی در مناطق کوچکی که از قبل تعیین شده‌اند، انجام می‌گیرد. فاصله نقاط اندازه‌گیری در این روش بین ۱۰ تا ۱۰۰ است. البته در مناطقی که دارای گرادیان مغناطیسی شدید هستند، این فاصله کمتر می‌شود. به‌منظور اعمال روش مغناطیس‌سنجی زمینی، باید از نزدیکی به خطوط

آهن، ماشین‌ها، جاده‌ها، فنس‌ها و هر آنچه که امکان دارد بر میدان محلی مغناطیسی محلی اثر بگذارد، اجتناب کرد. از جمله دستگاه‌هایی که برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مگنتومترهای فلاکس‌گیت و پروتون هستند. چون مغناطیس‌سنج‌های پیشرفته به ترازبایی دقیق احتیاج ندارند، پس یک عملیات مغناطیس‌سنجی زمینی همیشه بسیار سریع‌تر از گرانی‌سنجی پیش می‌رود (Kearey et al., 2013).

### ۳-۲-۴ تبدیلات و پردازش‌ها بر روی داده‌های مغناطیسی

#### الف- تصحیح تغییرات روزانه

به چندین روش مختلف می‌توان اثر تغییرات روزانه را بر داده‌های مغناطیسی حذف نمود. زمانی که مغناطیس‌سنجی به صورت زمینی انجام می‌شود، می‌توان از روشی مشابه دریافت مطالعات گراویمتری استفاده نمود و مگنتومتری که به طور ثابت در ایستگاه مبنا قرار دارد، به صورت دوره‌ای قرائت‌هایی را در طول روز انجام دهد. در مرحله بعد تغییراتی که در قرائت‌های مبنا مشاهده می‌شود، در بین قرائت‌های مربوط به ایستگاه‌های برداشت شده در طول روز براساس زمان قرائت‌ها توزیع شود. قرائت‌های مبنا که در روش مغناطیس‌سنجی انجام می‌شود، فقط برای تصحیح کردن تغییرات موقتی در میدان مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین می‌توان از یک مگنتومتر Base که به قرائت پیوسته تغییرات میدان مغناطیسی در یک نقطه ثابت در نزدیکی محل مورد مطالعه و یا در داخل محدوده، استفاده کرد. در مقیاس ناحیه‌ای برای تصحیح تغییرات روزانه می‌توان از نتایج مربوط به یک رصدخانه مغناطیسی استفاده نمود. در مغناطیس‌سنجی هوایی نیز می‌توان از خطوط پروازی متقاطع برای تصحیح تغییرات روزانه استفاده نمود (Chianese et al., 2006).

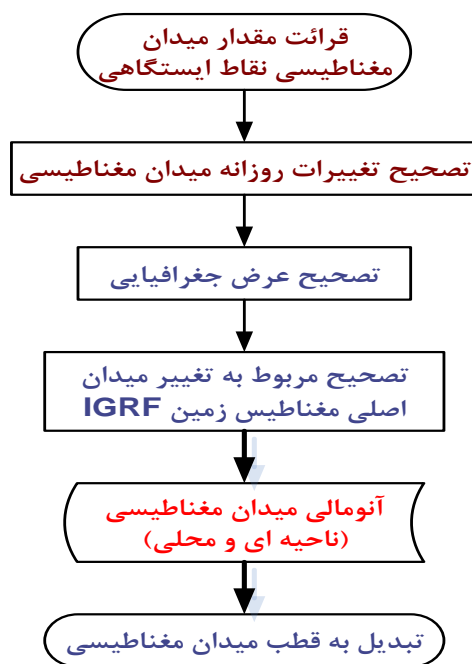
#### ب- تصحیح IGRF (میدان مرجع ژئومغناطیس جهانی)

به منظور حذف میدان مغناطیسی ناحیه‌ای زمین از مدل IGRF که مدلی از میدان ناحیه‌ای است، استفاده می‌شود. انتخاب مدل‌های میدان ناحیه‌ای وابسته به برداشت‌های ماهواره‌ای و زمینی دارد. در مدل‌های میدان ناحیه‌ای، میدان که شامل ارتفاع می‌باشد، به صورت تابعی از مکان و زمان نشان داده می‌شود. از آنجا که تغییرات سالانه به آرامی صورت می‌پذیرد، از وجود آن‌ها چشم‌پوشی می‌شود. داده‌هایی که برای محاسبه مدل IGRF مورد استفاده قرار می‌گیرند، داده‌های حاصل از سامانه ناوبری هستند که به صورت تابع مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهم‌ترین تصحیح در پردازش داده‌ها تصحیح مغناطیس بازماند است. به کمک این تصحیح اثر میدان مغناطیسی ناحیه‌ای زمین حذف می‌شود (روحانی و همکاران، ۱۳۸۸).

### ج- فیلتر برگردان به قطب

بی‌هنجاری‌های مغناطیسی دارای ماهیتی دوقطبی هستند. عاملی که سبب تولید این بی‌هنجاری می‌شود، حدوداً در وسط این دو قطبی قرار می‌گیرد. در نقشه شدت کل میدان مغناطیسی، برداری که از میدان مغناطیسی توده زمین به دست می‌آید، همراه با بردار مغناطیسی زمین جمع می‌شود. در نهایت بردار برآیند برابر با شدت کل میدان مغناطیسی در هر نقطه است. زاویه میل و انحراف مغناطیسی زمین تابعی از موقعیت جغرافیایی نقاطی است که اندازه‌گیری شده‌اند. همین امر سبب وابستگی شکل یک بی‌هنجاری مغناطیسی به جهت القاشوندگی مغناطیسی زمین علاوه بر شکل و خودپذیری مغناطیسی ساختمان‌های زیرسطحی می‌گردد. همین امر سبب پیچیدگی تحلیل نقشه‌های مغناطیسی می‌شود. به منظور حل این مشکل از فیلتر برگردان به قطب استفاده می‌شود. به کمک این فیلتر می‌توان اثر دوقطبی را تبدیل به یک قطبی کرد و به کمک آن محل بی‌هنجاری‌های مغناطیسی را بهتر مشخص کرد (علمدار و انصاری، ۱۳۸۸).

به طور کلی مراحل مختلف تصحیح داده‌های میدان مغناطیسی را می‌توان در شکل (۳-۴) مشاهده کرد.



شکل ۳-۴: مراحل مختلف تصحیح داده‌های میدان مغناطیسی

#### د- نقشه باقیمانده

برای جدایش آنومالی‌ها از یکدیگر به روش مغناطیس‌سنجی، نیاز به ایجاد نقشه باقیمانده است. نقشه باقیمانده به کمک برازش یک سطح به صورت صفحه یا رویه و حذف یک روند از داده‌ها به دست می‌آید. سطح موردنظر می‌تواند درجه یک، دو، سه و حتی بیشتر باشد (Chianese et al., 2006).

#### ه- مشتق قائم

هدف استفاده از مشتقات، آشکارسازی مؤلفه‌هایی است که دارای طول موج بلندتر میدان بی‌هنجاری هستند. زمانی که از نقشه‌های مشتق استفاده می‌شود، بی‌هنجاری‌های سطحی به صورت بارزتر مشخص هستند. مشتق قائم نوعی فیلتر بالاگذر محسوب می‌شود. این مشتق سبب افزایش بسامدهای بالا نسبت به بسامدهای پایین می‌شود. مشتق قائم اثر ناحیه‌ای که دارای طول موج بلندتر است را حذف می‌نماید و به این ترتیب اثر بی‌هنجاری‌های مجاور تجزیه می‌شود. امکان استفاده از مشتق‌های قائم گوناگونی از میدان مغناطیسی وجود دارد. مشتق قائم (گرادیان قائم) اول، هم‌ارز فیزیکی با اندازه‌گیری همزمان میدان

مغناطیسی در دو نقطه قائم در بالای یکدیگر، تفریق داده‌ها و تقسیم نتایج با جداسازی مکانی قائم نقاط اندازه‌گیری است. مشتق قائم دوم یک گرادیان قائم از مشتق قائم اول است و مانند آن عمل می‌کند. از نقشه‌ی مشتق قائم اول می‌توان برای تعیین خطواره‌ها و گسل‌های احتمالی محدوده نیز استفاده کرد. کاربرد مشتق دوم وقتی ضرورت پیدا می‌کند که به اطلاعات با کیفیت بالا و افزایش قدرت تفکیک نتایج بسامد زیاد نیاز باشد. مراتب بالای توان در مشتق (یعنی مشتق سوم و بالاتر) به علت ایجاد نویز زیاد و تداخل با داده‌های اصلی تقریباً هرگز در پردازش و تفسیر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد (روحانی و همکاران، ۱۳۸۸).

## و- سیگنال تحلیلی<sup>۱</sup>

سیگنال تحلیلی تابعی به کمک عمل مشتق‌گیری به میدان مغناطیسی وابسته می‌شود. رابطه این سیگنال مطابق رابطه (۲-۳) است (Roest et al., 1992):

$$|A(X, Y)| = \left[ \left( \frac{\partial m}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial m}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial m}{\partial z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2-3)$$

در این رابطه  $m$  بی‌هنجاری مغناطیسی می‌باشد. وابستگی سیگنال تحلیلی به جهت مغناطیسی شدن و جهت میدان زمین است. در استفاده از سیگنال تحلیلی توده‌هایی که هندسه یکسان و مشابه دارند، سیگنال برابری دریافت می‌کنند. همزمان با تقارن بیشینه‌ها، در قسمت‌های بالایی لبه‌های توده‌های عریض و دقیقاً در بالای مرکز توده‌های باریک تشکیل می‌گردند. به کمک سیگنال تحلیلی می‌توان همچنین با موقعیت یک منبع مغناطیسی، بدون توجه به مغناطیس باقیمانده مربوط به منابع گوناگون را تعیین کرد (Roest et al., 1992).

## ز- مشتق تیل<sup>۲</sup>

از جمله روش‌هایی که در داده‌های مغناطیس‌سنجی به‌منظور تعیین لبه‌های بی‌هنجاری استفاده

<sup>۱</sup> - Analysis Signal

<sup>۲</sup> - Tilt derivative

می‌شود، فیلتر مشتق زاویه‌ی تیلت یا TDX است. رابطه ریاضی این فیلتر به شرح رابطه (۳-۳) می‌باشد (آگاه و همکاران، ۱۳۸۳):

$$TDX = \tan^{-1} \left[ \frac{\left( \frac{\partial f}{\partial z} \right)}{\sqrt{\left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2}} \right] \quad (3-3)$$

در رابطه فیلتر مشتق تیلت، TDX زاویه‌ی تیلت و f میدان پتانسیل برداشت شده است. این فیلتر دارای مزایایی چون بدون بعد بودن و استفاده از تغییرات زاویه تیلت در بالای توده‌های معدنی به‌منظور شناسایی آن‌ها است.

### ک- مشتق افقی

اگر معرف برداشت گسسته میدان پتانسیل در یک صفحه افقی باشد، به‌عنوان مثال ماتریس  $\phi_{i,j}$  که  $i=1,2,\dots$  و  $j=1,2,\dots$  داده‌های میدان پتانسیل در یک شبکه برداشت افقی با محور افقی x در راستای شرق - غرب و محور شمالی y در راستای شمال - جنوب و فواصل برداشت به ترتیب  $\Delta x$  و  $\Delta y$  باشد. مشتق افقی  $\phi(x,y)$  نسبت به محورهای x و y در نقطه (i,j) طبق رابطه (۴-۳) قابل محاسبه است (Blakely, 1996):

$$\frac{d\phi(x,y)}{dx} = \frac{\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j}}{2\Delta x} \quad (4-3)$$

$$\frac{d\phi(x,y)}{dy} = \frac{\phi_{i,j+1} + \phi_{i,j-1}}{2\Delta y}$$

ماکزیمم مقدار گرادیان افقی کل در بالای لبه‌های توده قرار می‌گیرد، اندازه گرادیان افقی کل میدان پتانسیل که به‌طور خلاصه گرادیان افقی نامیده می‌شود از رابطه (۵-۳) به دست می‌آید (Blakely, 1996):

$$h(x,y) = \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5-3)$$

در این رابطه T میدان پتانسیل و  $\left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)$  و  $\left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)$  به ترتیب مشتقات افقی داده‌های میدان پتانسیل در جهت‌های x و y می‌باشد که توسط رابطه بالا محاسبه می‌شوند.

به دلیل ماهیت دوقطبی میدان مغناطیسی در عمل کمتر از این میدان‌ها برای محاسبه گرادیان افقی استفاده می‌شود در مقابل داده‌های گرانی نتیجه خوبی را ایجاد می‌کند در مواردی که برداشت مغناطیس‌سنجی انجام شده باشد می‌توان آنومالی مغناطیسی را به آنومالی شبه‌گرانی تبدیل و سپس با محاسبه گرادیان افقی آن به تخمین مرز پرداخت. استفاده از آنومالی گرانی و یا شبه‌گرانی در محاسبه گرادیان افقی بیشتر در برداشت‌های کوچک مقیاس زمینی که نویزهای فرکانس بالا داده‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اهمیت دارد. در برداشت‌های بزرگ مقیاس و هوایی می‌توان مستقیماً از آنومالی مغناطیسی برداشت شده استفاده نمود (Blakely, 1996).

### ل - تحلیل ادامه فراسو

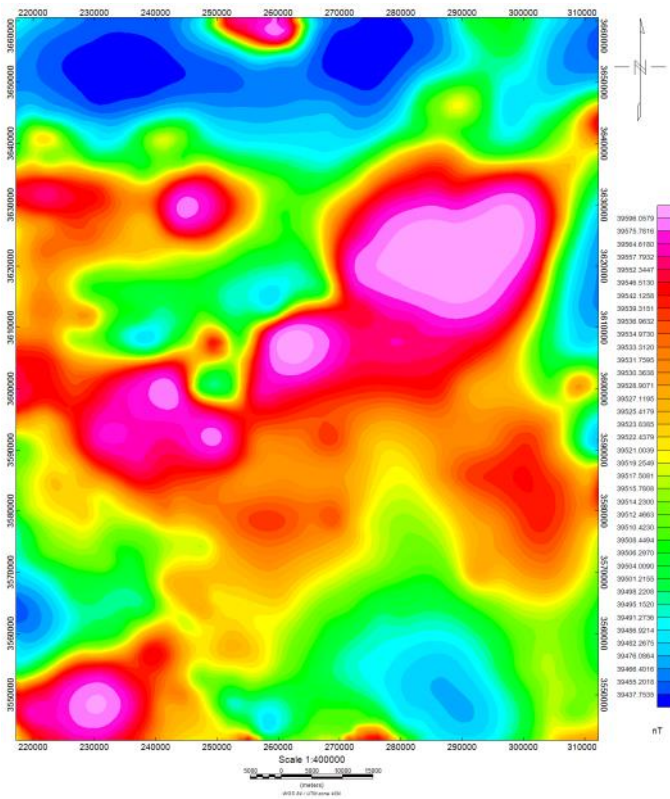
اساس این روش تصویرسازی داده‌های میدان پتانسیل از یک سطح مبنا بر روی سطح بالاتر از سطح مبنا به کمک روابط ریاضی است. با استفاده از این تحلیل تأثیرات سطحی حذف می‌گردند و در نتیجه تأثیراتی که در عمق قرار دارند، بارز می‌شوند. در این روش بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با طول موج کوتاه‌تر حذف می‌شود و دامنه نوفه کاهش می‌یابد (Tarlowski et al., 1997).

### ۳-۳ نتایج پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی

همان‌گونه که ذکر گردید داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی محدود به صورت نقشه میدان مغناطیس کل از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه و مورد تفسیر قرار گرفت. برداشت‌های مغناطیس‌سنجی هوایی در این محدوده در سال ۱۹۷۵ توسط شرکت مکفار آمریکا با استفاده از هواپیما انجام شده است. ارتفاع پرواز در این برداشت ۲۵۰۰ متر و فاصله پروازهای برداشت ۷/۵ کیلومتر می‌باشد. میدان مغناطیسی نشان-دهنده میدان کل زمین است. میدان کل زمین در هر نقطه شامل مجموع اثر ناحیه‌ای و اثر محلی در آن نقطه است. به کمک نقشه میدان کل زمین می‌توان دیدی کلی نسبت به روند تغییرات میدان در محدوده را به دست آورد. به کمک نقشه میدان کل زمین می‌توان میزان کم و با زیاد بودن میدان را به صورت کیفی به دست آورد. برای تهیه این نقشه باید اثرات میدان مغناطیسی مربوط به هسته را به کمک در نظر گرفتن مقادیر



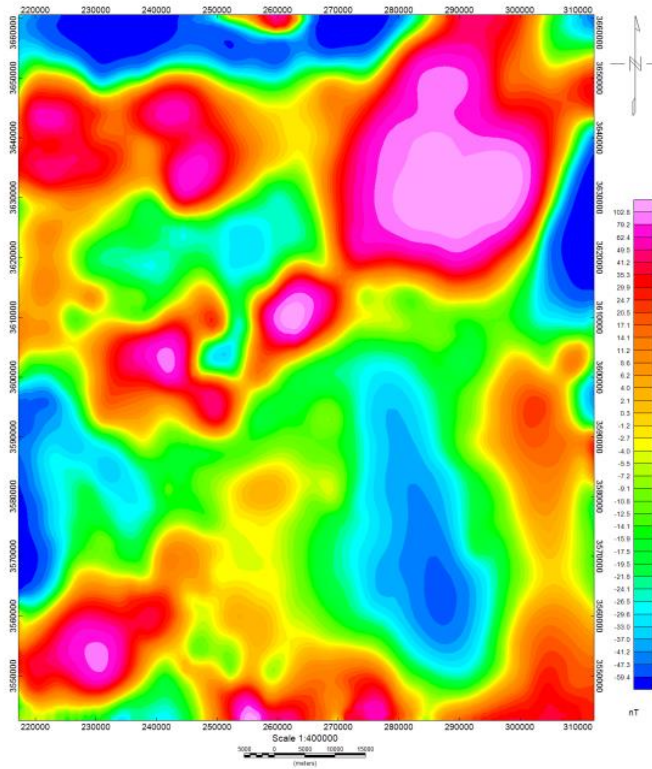
IGRF رسم نمود. شکل (۳-۵) نقشه میدان مغناطیس کل را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵: نقشه میدان مغناطیس کل محدوده مورد مطالعه

در ابتدا به تصحیح IGRF یا میدان مرجع ژئومغناطیس جهانی پرداخته شد. برای حذف میدان مغناطیسی ناحیه‌ای زمین، از مدل میدان ناحیه‌ای زمین یا IGRF استفاده شد. مدل‌های استاندارد میدان ناحیه‌ای زمین بر اساس برداشت‌های ماهواره‌ای و زمینی است. این مدل‌ها میدان را به صورت تابعی از مکان و زمان برآورد می‌کند که شامل ارتفاع است. تغییرات سالانه خیلی آرام است و در زمان برداشت در نظر گرفته نمی‌شوند. داده‌های به دست آمده از سامانه‌ی ناوبری برای محاسبه‌ی IGRF به منزله‌ی تابعی از مکان، مورد استفاده قرار می‌گیرند. تصحیح مغناطیس با زماند اولین و مهم‌ترین تصحیح در پردازش داده‌ها است که اثر میدان مغناطیسی محدوده‌ای زمین را حذف می‌کند و میدان به جامانده، فقط میدان ناشی از بی‌هنجاری‌های موجود خواهد بود. در شکل (۳-۶) نقشه‌ی پتانسیل مغناطیسی پس از اعمال تصحیح IGRF نشان داده شده است. به کمک این شکل مقادیر مربوط به آنومالی‌های موجود در محدوده به دست آمد. براساس این نقشه تغییرات میدان مغناطیسی مربوط به هسته در مناطق شمال شرقی دارای مقادیر بیشینه است. مقدار میدان کل از شمال غرب به شمال شرق افزایش یافته است. محدوده‌ای از جنوب محدوده نیز

دارای مقادیر بالای میدان کل است.

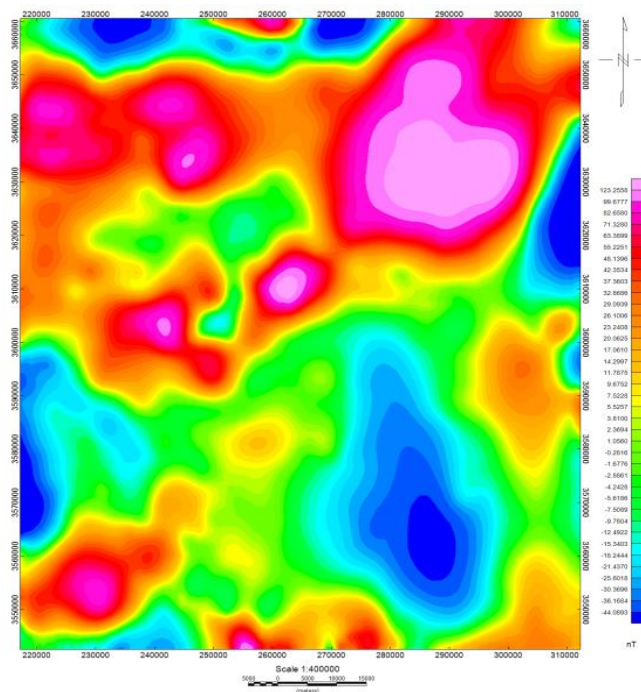


شکل ۳-۶: نقشه‌ی پتانسیل مغناطیسی پس از اعمال تصحیح IGRF

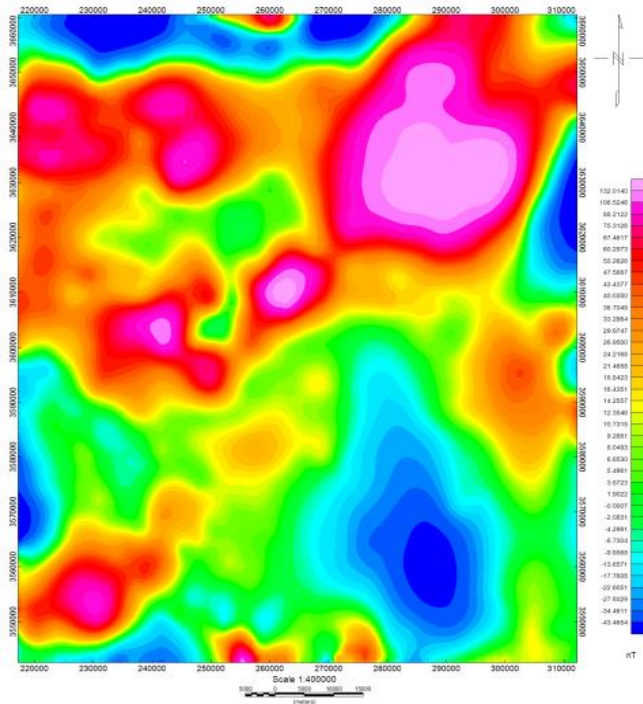
### ۱-۳-۳ نتایج حاصل از نقشه آنومالی باقیمانده

مقادیر میدان مغناطیسی در نتیجه تأثیر پدیده‌های زمین‌شناسی تغییر می‌کنند. هر الگوی دیده شده در نقشه میدان کل مجموع مغناطیس منابع محلی و منابع ناحیه‌ای وسیع‌تر یا دورتر است. بر همین اساس آنومالی اندازه گرفته شده از یک منبع تحت تأثیر آنومالی‌های ناشی از منابع دیگر نیز هست. مسلماً در برخی مناطق اثر میدان مغناطیس ناشی از یک منبع آنومال آن قدر زیاد است که باعث تضعیف اثرات دیگر آنومالی‌ها می‌شود. به همین سبب در غالب موارد آنومالی‌های اهداف مورد توجه، به وسیله آنومالی‌های ناحیه‌ای پنهان می‌شود. محدوده موردنظر نیز شامل آنومالی‌های محلی و ناحیه‌ای می‌باشد. به منظور تشخیص آنومالی‌های ناحیه‌ای از محلی باید گفت که آنومالی‌های ناحیه‌ای دارای فرکانس فضایی پایین هستند. اما آنومالی‌های محلی دارای فرکانس فضایی بالا هستند. همچنین آنومالی‌های ناحیه‌ای از طول موج بلندتری نسبت به آنومالی‌های محلی برخوردار هستند. در کارهای اکتشافی اغلب تفسیر و مدل‌سازی عددی برای

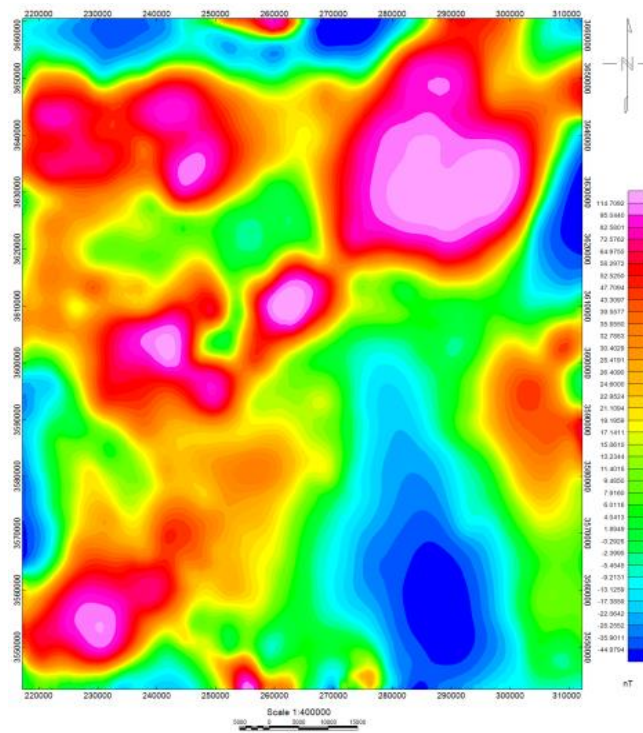
داده‌های نقشه میدان باقی‌مانده انجام می‌شود و اعتبار تفسیر به درجه جداسازی آنومالی‌های باقی‌مانده بستگی دارد. بر همین اساس باید از فیلتر روند سطحی به منظور شناسایی اثر ساختارهای محلی و تفکیک آنومالی‌ها استفاده نمود. این نقشه از برازش یک سطح به صورت صفحه یا رویه و حذف یک روند از داده‌ها حاصل می‌شود که این سطح می‌تواند درجه‌ی یک، دو و سه و یا بیشتر باشد. شکل (۷-۳) نقشه‌ی باقیمانده‌ی حاصل از برازش یک سطح درجه یک را نشان می‌دهد. این شکل تا حدودی مناطق آنومال را نشان می‌دهد. ولی با افزایش درجه‌ی منحنی برازش به یک سطح درجه‌ی سوم، می‌توان مناطق آنومال را بهتر مشخص کرد. با بررسی مناطق به دست آمده از این تصاویر و مقایسه با داده‌های زمین‌شناسی، می‌توان بهتر تصمیم‌گیری کرد. در شکل‌های (۸-۳) و (۹-۳) می‌توان نقشه‌ی باقیمانده‌ی حاصل از برازش یک سطح درجه دو و سه را مشاهده کرد.



شکل ۷-۳: نقشه‌ی باقیمانده حاصل از اعمال فیلتر حذف روند (trend) با استفاده از برازش یک صفحه (درجه یک)



شکل ۳-۸: نقشه‌ی باقیمانده حاصل از اعمال فیلتر حذف روند (trend) با استفاده از برازش یک صفحه (درجه دو)



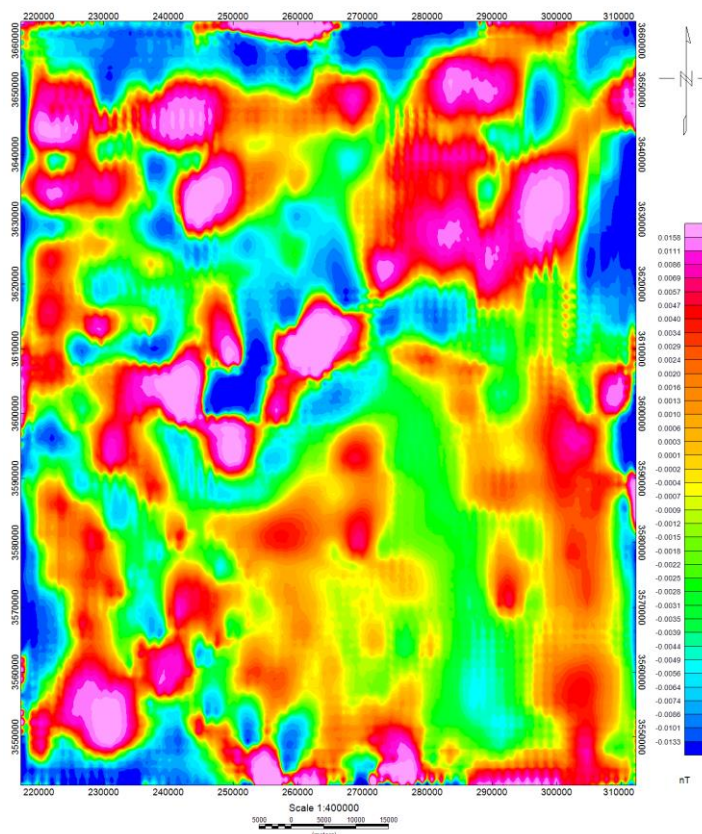
شکل ۳-۹: نقشه‌ی باقیمانده حاصل از اعمال فیلتر حذف روند (trend) با استفاده از برازش یک صفحه (درجه سه)



با بررسی نقشه‌های آنومالی باقیمانده چنین به نظر می‌رسد آنومالی‌های موجود روی نقشه‌های باقی‌مانده مرتبه‌های اول و دوم روند سطح در دو زون یک و دو تقریباً فرم یکسانی را نشان می‌دهند.

### ۲-۳-۳ نتایج حاصل از مشتق قائم

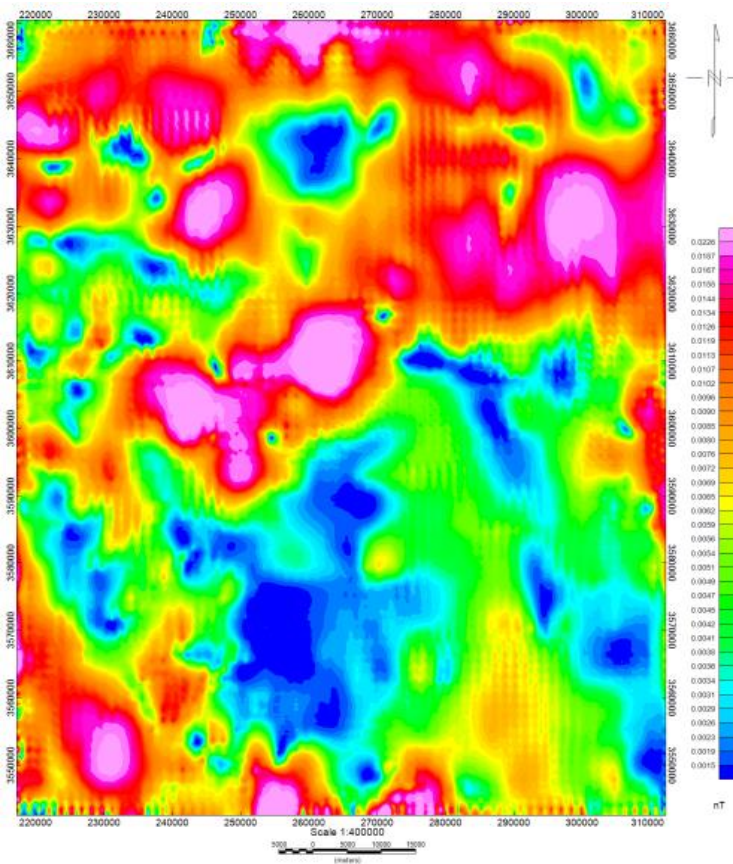
مرحله بعد نوبت استفاده از فیلتر مشتق قائم است. مشتق قائم (گرادیان قائم) اول، هم‌ارز فیزیکی با اندازه‌گیری هم‌زمان میدان مغناطیسی در دو نقطه قائم در بالای یکدیگر، تفریق داده‌ها و تقسیم نتایج با جداسازی مکانی قائم نقاط اندازه‌گیری است. نقشه به دست آمده در نتیجه اعمال فیلتر مشتق قائم اول روی داده‌های مغناطیسی محدودی مورد مطالعه در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده‌است. در این نقشه، چون اثر بی‌هنجاری‌های بزرگ و عمیق از بین رفته است، در نتیجه تجزیه‌ی توده‌های مغناطیسی را می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۳-۱۰: نقشه مشتق قائم اول

### ۳-۳-۳ نتایج حاصل از سیگنال تحلیلی

سپس نوبت به استفاده از فیلتر سیگنال تحلیلی است. سیگنال تحلیلی تابعی است که میدان مغناطیسی را با مشتق ارتباط می‌دهد. شکل (۳-۱۱) نقشه حاصل از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی را نشان می‌دهد. این شکل نشان‌دهنده وجود توده‌ها با بی‌هنجاری‌های متعدد مغناطیس و بارزکننده‌ی موقعیت تقریبی لبه‌های توده‌های مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه است.

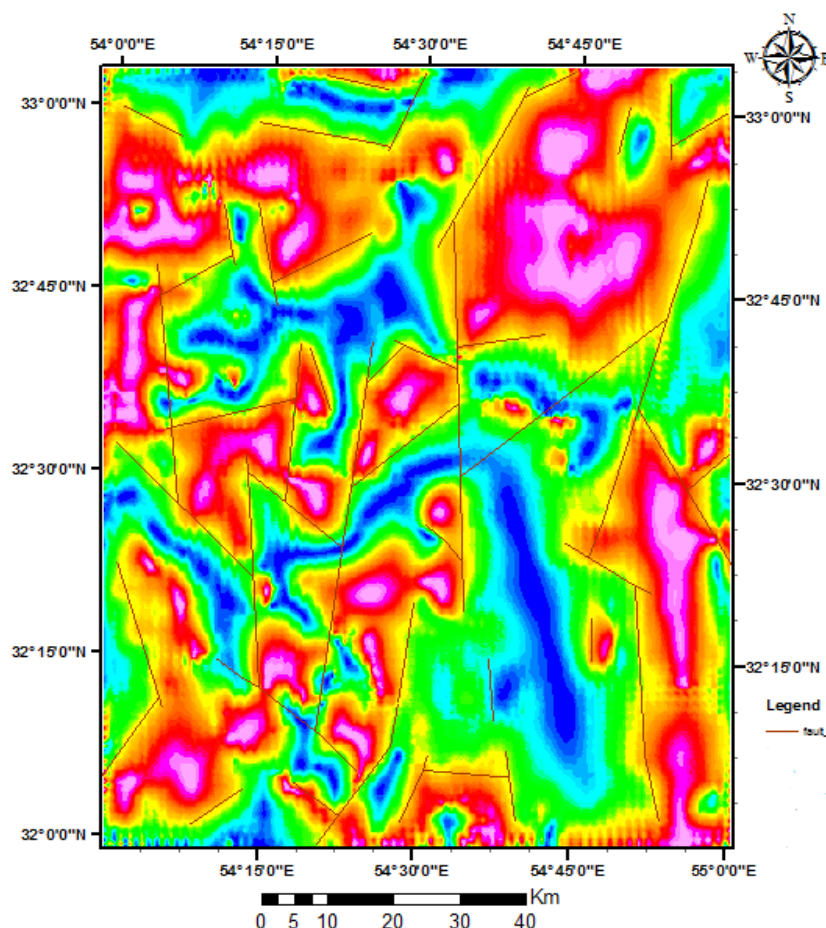


شکل ۳-۱۱: نقشه حاصل از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی

### ۴-۳-۳ نتایج حاصل از مشتق تیلت

تکنیک دیگر برای تعیین لبه‌های بی‌هنجاری‌ها، اعمال فیلتر مشتق زاویه‌ی تیلت یا TDX است. این فیلتر دارای مزایایی چون بدون بعد بودن و استفاده از تغییرات زاویه تیلت در بالای توده‌های معدنی به-منظور شناسایی آن‌ها است. در این تحقیق از این روش برای مشخص کردن خطواره‌ها و گسل‌های عمقی

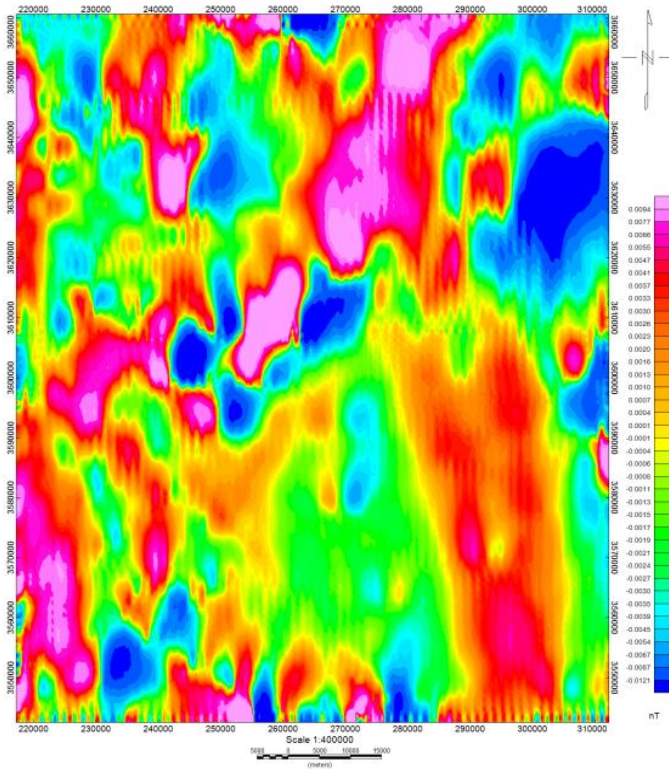
حاصل از داده‌های مغناطیسی استفاده شده‌است. با کاربرد این روش روی داده‌های محدوده نتایج به صورت شکل (۱۲-۳) به دست آمد.



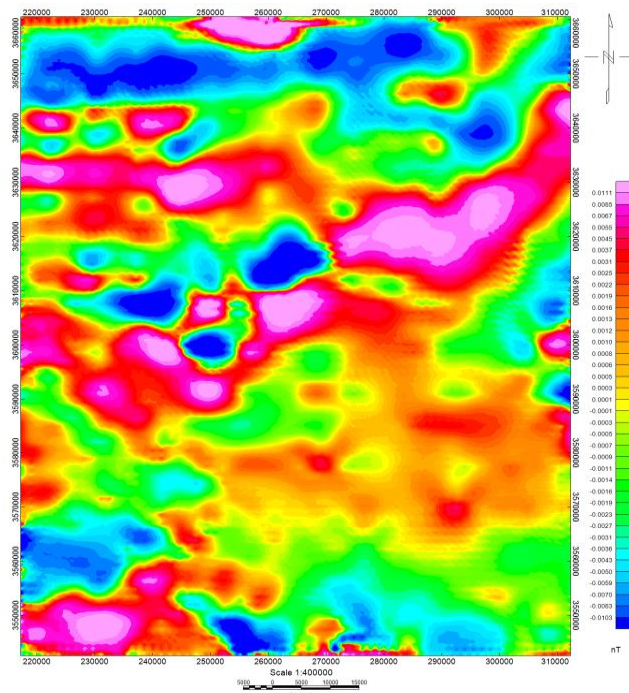
شکل ۱۲-۳: نقشه حاصل از اعمال فیلتر زاویه تیلت

### ۳-۳-۵ نتایج حاصل از مشتق افقی

در مرحله بعد از فیلتر مشتق افقی استفاده شد. اندازه گرادیان افقی کل میدان پتانسیل به طور خلاصه گرادیان افقی نامیده می‌شود. در این تحقیق از فیلتر مشتق افقی برای شناسایی گسل‌های محدوده مورد مطالعه استفاده شده‌است. این فیلتر در جهات مختلف بر روی داده‌ها اعمال شد. در شکل (۱۳-۳) و (۱۴-۳) اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت آزیموت ۱۳۵ و ۴۵ درجه بر روی داده‌های مغناطیس هوایی محدوده نشان داده شده‌است.



شکل ۳-۱۳: نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در راستای آزیموت ۴۵ درجه



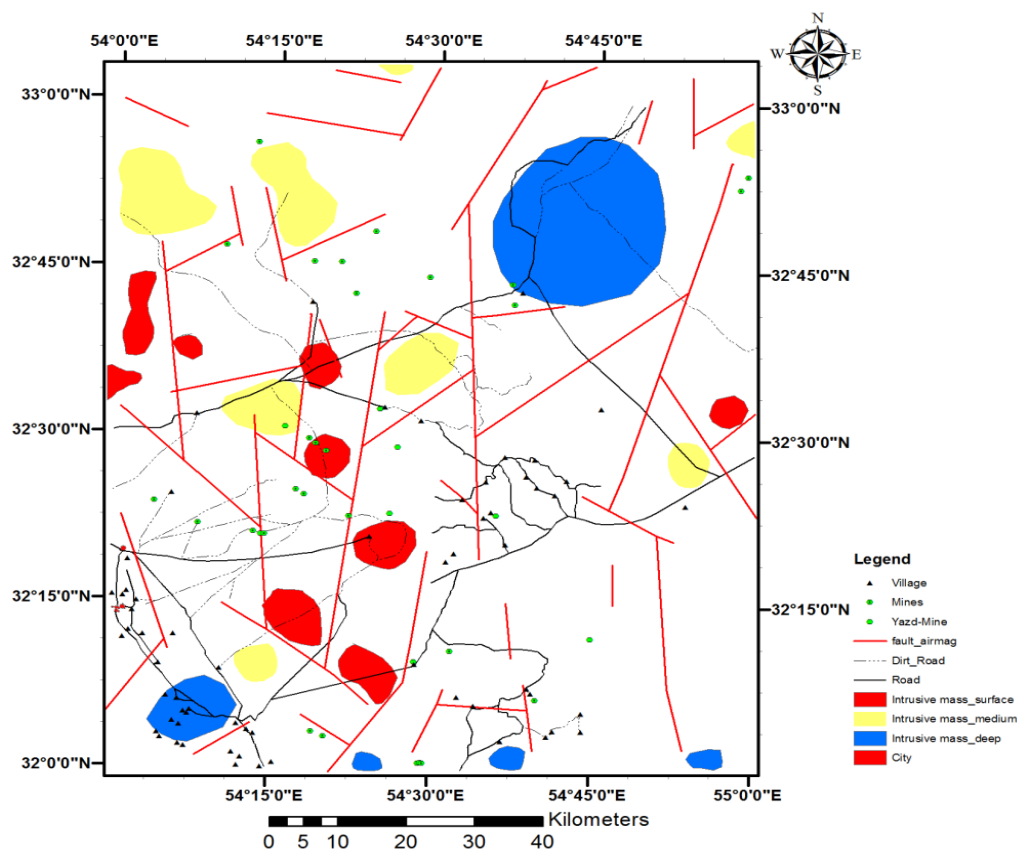
شکل ۳-۱۴: نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در راستای آزیموت ۱۳۵ درجه



### ۳-۳-۶ نتایج حاصل از پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی

همان‌طور که در بخش‌های قبل به آن اشاره شد، نقشه‌ی حاصل از اعمال فیلترهای حذف روند درجه‌های مختلف و نقشه‌ی حاصل از اعمال فیلتر مشتق قائم و نقشه‌های گسترش به سمت بالا برای جداسازی بی‌هنجاری‌های محدوده، رقومی شده و برای تلفیق با دیگر لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳-۱۵). برای تعیین عمق توده‌های نفوذی با استفاده از داده‌های مغناطیسی شبکه‌ای، اولین شرط لازم تعیین محل برخورد مرز توده‌های مغناطیسی است که این امر با تعریف یک تابع میدان مغناطیسی انجام شد که در محل برخورد ساختارهای مغناطیسی بیشترین مقدار را داشته باشد. همچنین استفاده از فیلتر سیگنال تحلیلی به اندازه‌گیری عمق توده نفوذی پرداخت.

همچنین با استفاده از نقشه‌ی حاصل از اعمال فیلتر تیلت، سیگنال تحلیلی و همچنین نقشه‌ی حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت‌های مختلف، گسل‌های مغناطیسی محدوده جداسازی شده و جهت تلفیق به صورت رقومی آماده‌سازی شد.



شکل ۳-۱۵: نقشه رقمی توده‌های نفوذی و خطواره‌های حاصل از پردازش داده‌های مغناطیسی

## فصل چهارم

# تلفیق لایه‌های اطلاعاتی اکتشافی در محیط GIS

#### ۴-۱ مقدمه

با توجه به اصول و مبانی که در فصل گذشته بیان شد، در این فصل به بررسی نتایج تلفیق داده‌ها در محیط GIS پرداخته می‌شود. با توجه به این مطالعات صورت گرفته، اطلاعاتی نظیر لایه گسل، لایه آلتراسیون، لایه اکسید آهن و لایه واحدهای سنگی تهیه می‌شوند. در نهایت این لایه‌های اطلاعاتی جهت بررسی پتانسیل کانی زایی در محدوده تلفیق خواهند شد.

#### ۴-۲ تلفیق لایه‌های اطلاعاتی اکتشافی

یکی از پدیده‌های بارز در زمین‌شناسی عدم وجود قطعیت است. بر همین اصل برای دستیابی به نتایج مناسب در تعیین محدوده‌های پتانسیل دار، به خصوص برای تعیین مکان‌های مناسب بررسی‌های اکتشافی، از شیوه‌های مختلف مدل‌سازی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی استفاده می‌شود. به‌منظور اکتشاف در یک محدوده نیاز به تجزیه و تحلیل زمین‌شناسی است. برای رسیدن به این هدف نیاز به تفسیر و تلفیق داده‌های برداشت شده از محدوده موردنظر است (Carranza, 2008). چنین تلفیقی نیازمند به سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌گونه‌ای طراحی شده است که جمع‌آوری، تجزیه، تحلیل، ذخیره و بروز رسانی و نمایش اطلاعات در آن به بهترین شکل موجود انجام گیرد. نرم‌افزار ARCGIS یکی از بهترین و قدرتمندترین نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی است. در این نرم‌افزار می‌توان بانک‌های اطلاعاتی تولید کرد و به مدیریت داده‌ها، تلفیق و ادغام داده‌ها، ارائه خروجی‌های مختلف به‌صورت نقشه، نمودار و جداول متنوع پرداخت (Malczewski, 1999).

از روش‌های گوناگونی در رابطه تلفیق لایه‌های اکتشافی معادن و یافتن احتمال کانه‌زایی استفاده می‌شود. این روش‌ها به‌طور معمول بر اساس داده‌ها (داده محور) و یا بر اساس مدل‌های مفهومی کانی‌سازی و دانش کارشناسی (کارشناس محور) می‌باشند. استفاده صحیح و دقیق از تمامی داده‌های موجود در مشخص نمودن محدوده‌های دارای پتانسیل بالای ذخایر معدنی بسیار اهمیت دارد (Bonham-Carter et al., 1994).

برای تلفیق داده‌ها و اطلاعات اکتشافی برای دستیابی به مناطق مناسب ذخایر معدنی از روش‌های

زیادی استفاده می‌شود که در این تحقیق از روش‌های زیر استفاده شده است. این روش‌ها به‌طور خلاصه توضیح داده شده است:

الف- روش منطق فازی

ب- روش شاخص همپوشانی

#### ۱-۲-۴ روش منطق فازی

این روش توسط پروفیسور لطفعلی عسگرزاده در سال ۱۹۶۰ مطرح گردید. مرز تدریجی در مواقعی مورد استفاده می‌گیرد که در مورد بود یا نبود یک پدیده خاص ابهام وجود داشته باشد. منطق فازی در این رابطه عملگرهایی دارد که به تصمیم‌گیری در این موارد می‌پردازد. در زیر به شرح این عمل‌گرها پرداخته می‌شود (ALesheikh et. Al., 2008):

عملگر AND فازی: عملگر AND فازی مشابه عملگر AND در منطق بولین عمل می‌کند. عملگر بولین طبق رابطه (۱-۴) تعریف می‌شود:

$$\mu_{\text{combination}} = \text{Min}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (1-4)$$

در این رابطه ارزش  $\mu_A$  عضویت فازی برای نقشه A در یک موقعیت خاص و  $\mu_B$  ارزش عضویت برای نقشه B است. این عملگر نقشه‌هایی را ایجاد می‌کند که به کمک مقادیر کوچک‌تر عضویت فازی در هر نقطه کنترل می‌شود. عملگر AND زمانی مناسب است که وجود دو یا بیش از دو جزء از شواهد برای اثبات درستی فرضیه ضروری باشند.

عملگر OR فازی: عدد حداکثر واحد کنترل بر خروجی در این عملگر می‌باشد. در مواقعی از این عملگر استفاده می‌شود که شواهد بسیار اندک و ناکافی باشند؛ بنابراین هر شاهدهی می‌تواند کاربردی باشد. این عملگر به‌صورت زیر عمل می‌کند.

$$\mu_{\text{combination}} = \text{Max}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (2-4)$$

عملگر Algebraic SUM فازی: نتایج این عملگر تقریباً شبیه OR فازی است. تنها تفاوتی که دارد

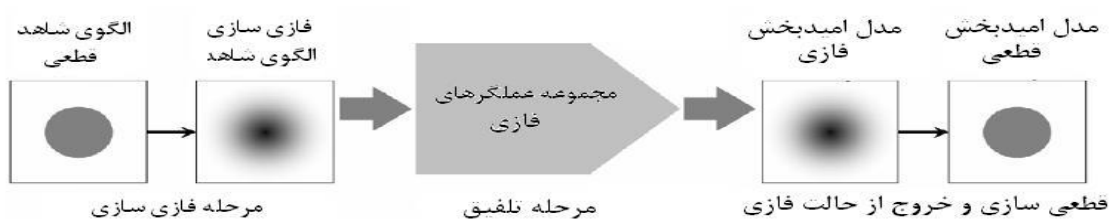
این است که تمامی اعداد، بر خروجی تأثیر می‌گذارند. در نتیجه این عملگر ماهیت افزایشی دارد. به‌طور مثال اگر دو شاهد، مطلوب فرضیه در این عملگر باشند، خروجی، عددی بیشتر از دو شاهد و حتی بزرگ‌تر از عدد حداکثر می‌شود.

عملگر Gamma operation: خروجی این عملگر عددی بین صفر و یک است، بدین صورت که بر اساس تعیین عدد  $\gamma$ ، میان عملگرهای Product و SUM نوسان می‌کند. این عملگر به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{\text{combination}} = \left( \prod_{i=1}^n \mu_i \right)^{1-\gamma} \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right)^{\gamma} \quad (3-4)$$

به کمک نظریه فازی می‌توان بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که دارای عدم قطعیت هستند، را توضیح و تشریح کرد. منطق فازی در سیستم جغرافیایی سبب می‌گردد تا ابهام بین پدیده‌ها بهتر شناسایی شود. این ابهامات موجود می‌تواند ناشی از عدم قطعیت موجود در مرز بین داده‌های مکانی و عدم قطعیت در عضویت یا عدم عضویت نقاط نقشه در مجموعه‌ای از یک ویژگی خاص باشد. همین امر باعث می‌گردد تا نتایجی که از روش منطق فازی حاصل می‌شوند، به واقعیت نزدیک‌تر باشند. در مجموعه فازی، میزان درجه عضویت برای هر پدیده مشخص می‌گردد که شامل بازه‌ای بین صفر تا یک است (ALesheikh et al., 2008)

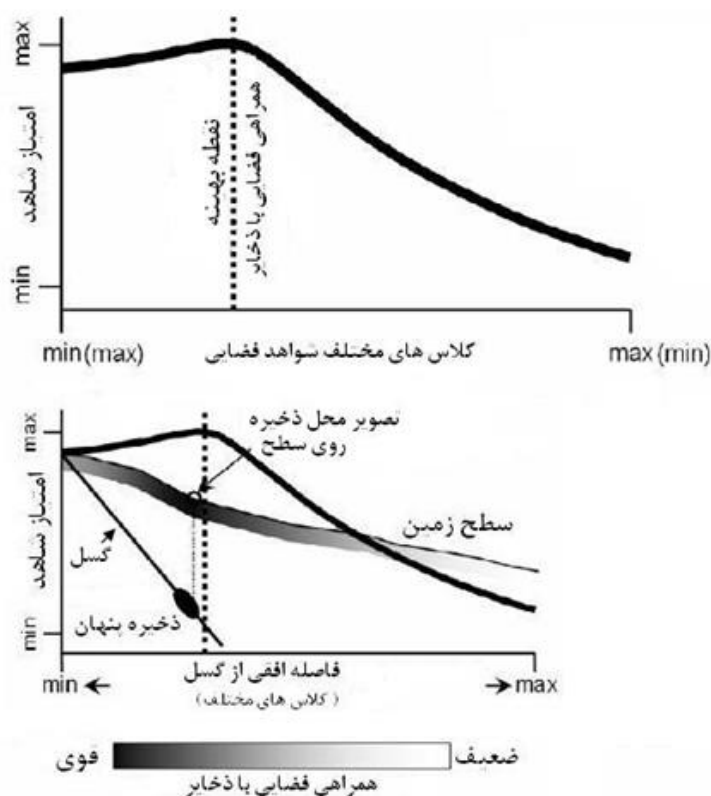
منطق فازی شامل سه مرحله اصلی است که می‌توان آن را در شکل (۲-۴) مشاهده نمود.



شکل ۴-۱: مراحل کاربرد منطق فازی به‌طور نمادین (Carranza, 2008)

## ۲-۲-۴ روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه

از جمله روش‌های تلفیقی روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه است. در این روش، نقشه‌های حاصله معیارهای پی‌جویی دارای بیشتر از دو کلاس را نشان می‌دهند. از جمله فرضیاتی که در این روش در نظر گرفته می‌شود این است که الگوهای مختلف نقشه‌های شاهد دارای درجه اهمیت متفاوت از نظر میزان وابستگی به ایجاد و تمرکز هدف موردنظر زیرزمینی هستند و بر همین اساس دارای ارزش‌های وزنی مختلفی بر مبنای کاربرد روش در مدل‌سازی داده‌های فضایی هستند. در این روش ویژگی‌های زمین‌شناسی که نشان‌دهنده تمرکز هدف هستند، دارای بالاترین امتیاز هستند. الگوهایی که دارای کمترین امتیاز هستند، همان الگوهای نشان‌دهنده عدم حضور شواهد مناسب هستند. در این الگوها همراهی مثبت و معنی‌داری بین منظرهای زمین‌شناسی و اهداف زیرزمینی وجود ندارد. در شکل (۲-۴) می‌توان نمایش چندتایی (چند کلاسه) شواهد فضایی را مشاهده نمود. مطابق این شکل برای محله‌ای داخل محدوده مناسب فاصله از گسله‌ای مشخص یعنی در جاهایی که همراهی مثبت با ذخیره معدنی بهینه است، امتیاز تخصیص یافته به شاهد بالاترین است؛ اما این امتیاز از یک مقدار بیشینه در محل حد آستانه به آرامی کاهش می‌یابد تا به کم‌ترین مقدار در حداقل فاصله از گسل برسد. برای محله‌ای خارج از این فاصله یعنی دورتر از حد آستانه، امتیاز تخصیص یافته با شیب بیش‌تری به سرعت کاهش یافته تا به یک مقدار حداقل در بیش‌ترین فاصله از گسل برسد. بنابراین نمایش چند کلاسه شواهد در مدل‌سازی پتانسیل مطلوب یک ذخیره زیرزمینی به خصوص در حالتی که سطح اطلاعات و دانش به کار رفته ظاهراً کامل بوده و یا وقتی که دقت و قدرت تفکیک‌کنندگی داده‌های فضایی راضی‌کننده است، مناسب‌تر می‌باشد.



شکل ۴-۲: نمایش چندتایی (چند کلاسه) شواهد فضایی (After Carranza, 2008)

این روش در واقع نوع بسط داده شده روش مدل سازی هم پوشانی شاخص دوتایی است. هر یک از  $J$  امین الگوها (کلاس ها) از نقشه شاهد  $i$  ام دارای یک وزن  $S_{ij}$  به منظور نمایش میزان وابستگی به ذخایر معدنی می باشد. امتیاز تخصیص یافته به الگوها می تواند یک عدد صحیح یا حقیقی مثبت باشد. هیچ محدودیتی برای دامنه امتیاز تخصیص وزن به الگوها وجود ندارد، به جز این که دامنه امتیاز تخصیص یافته به الگوها در همه نقشه های شاهد باید سازگار و با هم هماهنگی داشته باشند. یعنی باید دارای مقادیر حداقل و حداکثر یکسانی باشند. در واقع کنترل برتری های نسبی در نقشه های شاهد در حالت در نظر گرفتن دامنه تغییرات متفاوت وزن ها برای یک نقشه شاهد نسبت به دیگر نقشه های شاهد عملی نیست. اهمیت نسبی یک نقشه شاهد در مقایسه با دیگر نقشه های شاهد به وسیله تخصیص وزن های  $W_i$  کنترل می شود. این امتیاز معمولاً عدد صحیح مثبت است. نقشه های شاهد وزن دار سپس با استفاده از معادله (۴-۴) با هم ترکیب می شوند که در واقع میانگین وزن ها را برای هر محل محاسبه می کند.



$$S = \frac{\sum_i^n S_{ij} W_i}{\sum_i^n W_i} \quad (1-4)$$

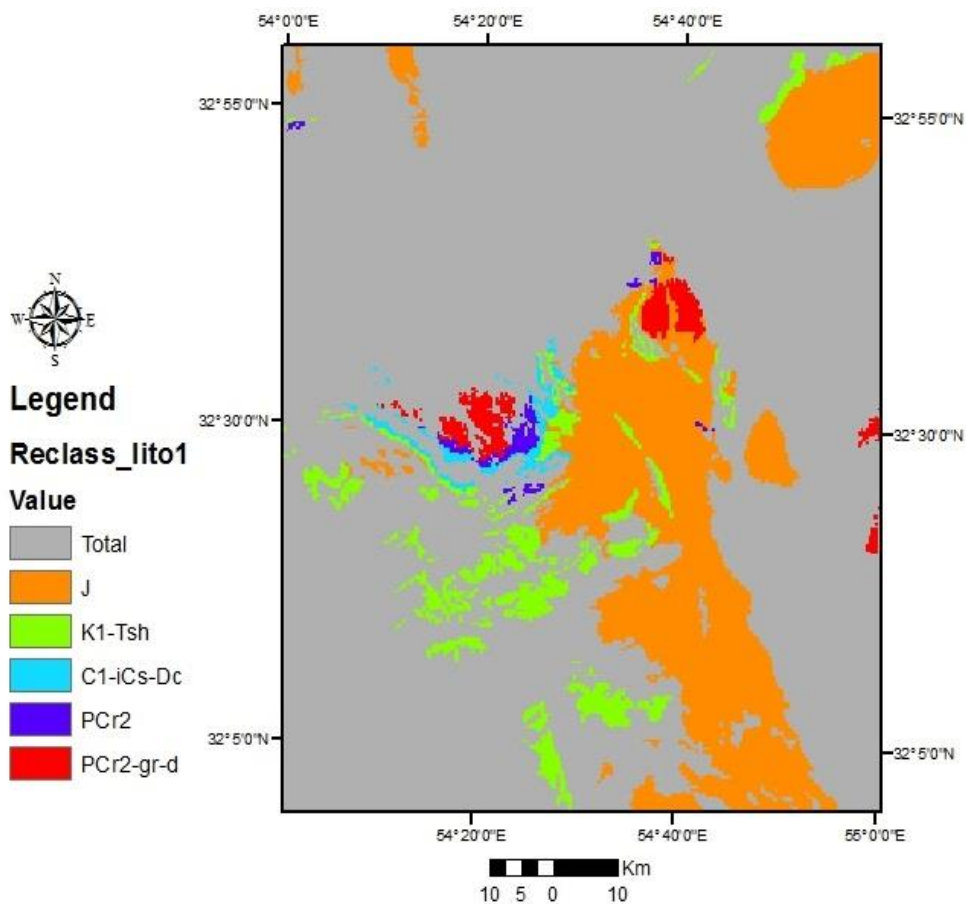
که در آن  $S$  مقدار خروجی میانگین وزنی برای هر محل، برابر مجموع حاصل ضرب  $S_{ij}$  وزن کلاس  $i$  از نقشه شاهد  $i$  ام و  $W_i$  وزن نقشه شاهد می‌باشد. بنابراین علاوه بر انعطاف‌پذیری در تخصیص وزن به الگوهای شاهد، مزیت روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه در مقایسه با مدل‌سازی به روش هم‌پوشانی شاخص دو تایی این است که عدم قطعیت را نیز در نظر گرفته و در پیش‌بینی دخالت می‌دهد. ضعف این روش در تلفیق خطی شواهد است که باعث می‌شود نقش فرایندهای مؤثر در کانی‌سازی مستقیماً در نظر گرفته نشود (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۹).

### ۳-۴ نتایج تلفیق لایه‌های اکتشافی

۱-۳-۴ کلاسه‌بندی و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی به کمک روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه همان‌طور که گفته شد در روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه علاوه بر کلاس‌های حاضر در هر نقشه، خود نقشه‌ها در تلفیق نهایی نیز وزن‌دهی می‌شوند. در این تحقیق با توجه به ویژگی‌های پارامترهای اکتشافی و نیز سنگ‌های موجود در محدوده و ارتباط آن‌ها با کانی‌زایی طبق جدول (۱-۴) طبقه‌بندی انجام گرفت که وقتی در شش کلاس قرار گرفت به نتایج به‌صورت شکل (۳-۴) درآمد.

جدول ۱-۴: طبقه‌بندی لایه زمین‌شناسی برای تلفیق به روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه.

امتیاز	شناسه	واحد سنگی
۱۰	PCr1	ریولیت
۱۰	gr	گرانیت
۸	d	دپاباز
۶	PCr2	ولکانو کلاستیک و سیلیسی کلاستیک
۴	C1	تپ کوارتز (top quartz)
۴	iCs	دولومیت-چرت
۴	Dc	کوارتز و دولومیت
۲	Tsh	سنگ آهک-دولومیت (marmorzit)
۲	K1	سنگ آهک
۱	J	شیل و ماسه سنگ

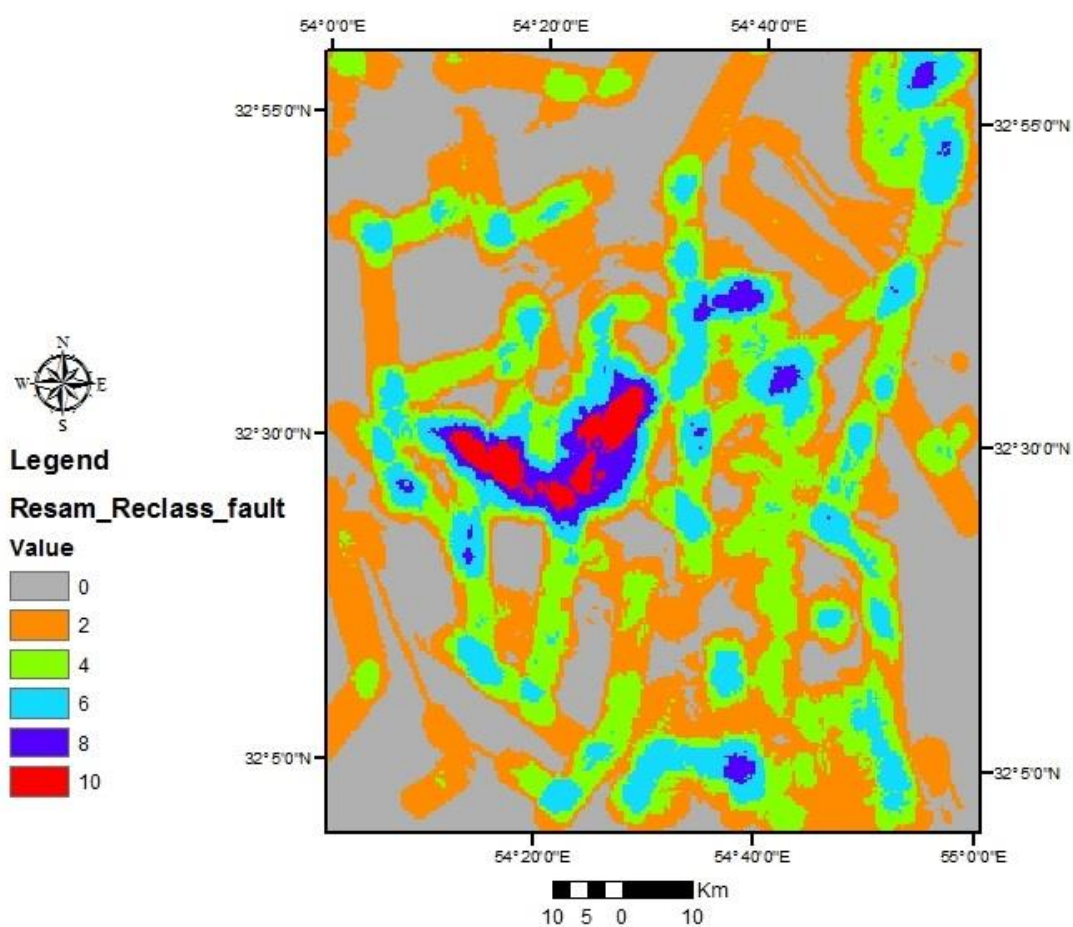


شکل ۳-۴: نقشه چند کلاسه از لایه زمین‌شناسی

به‌منظور بررسی وضعیت خطواره‌ها و نقش این لایه در تمرکز کانی‌زایی بر اساس شرایط موجود در شش طبقه طبق جدول (۲-۴) کلاس‌بندی شد. در شکل (۴-۴) نقشه طبقه‌بندی شده چگالی گسل نشان داده شده است.

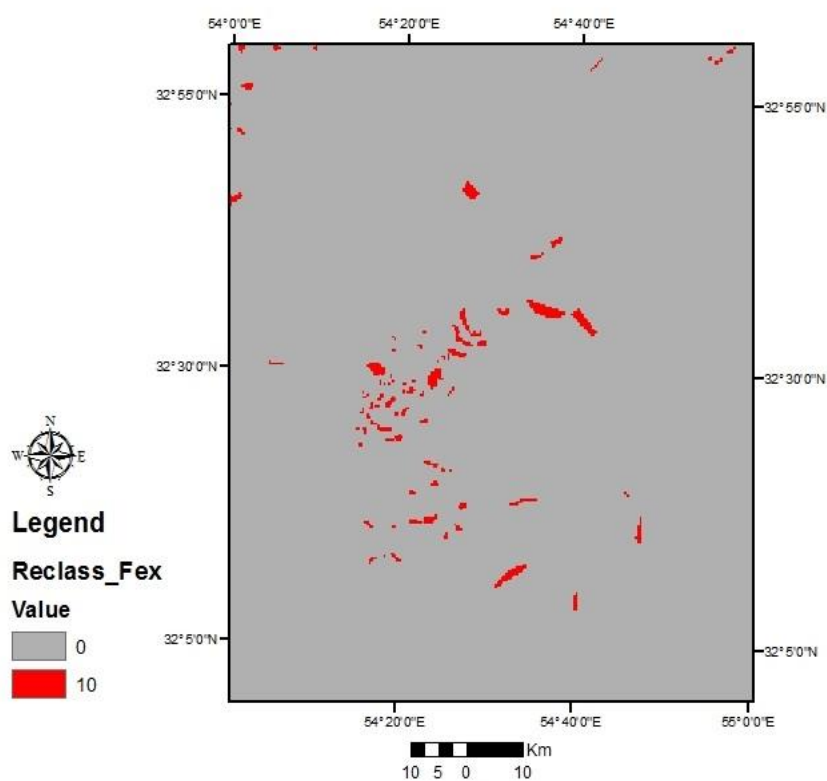
جدول ۲-۴: طبقه‌بندی لایه چگالی گسل برای تلفیق به روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه.

[1.132-2.170]	[0.664-1.132]	[0.340-0.664]	[0.128-0.340]	[0-0.128]	No Data	چگالی گسل
۱۰	۸	۶	۴	۲	۰	امتیاز

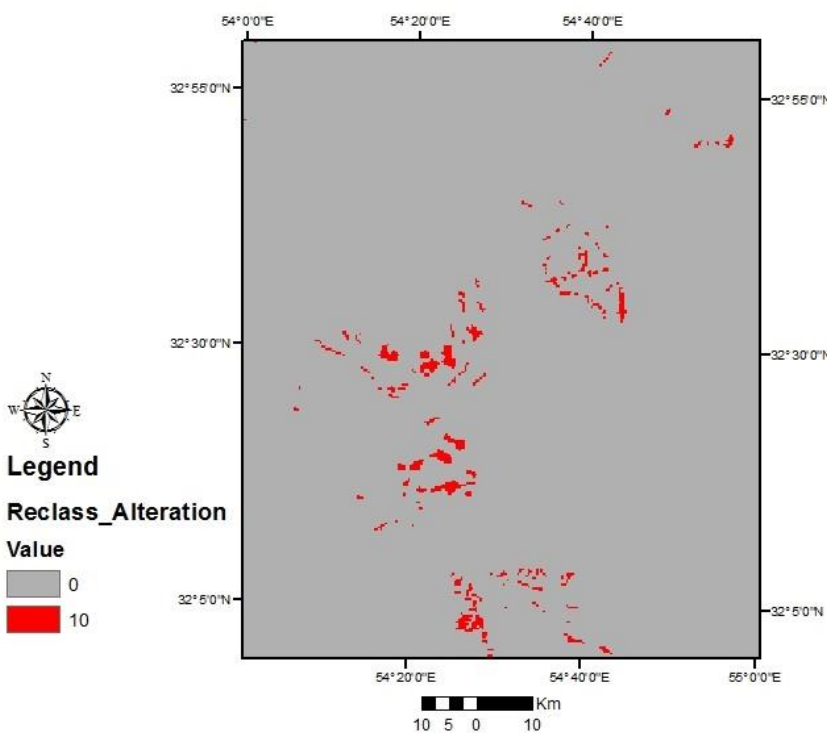


شکل ۴-۴: نقشه چند کلاسه‌ای از چگالی گسل‌های محدوده

همچنین هر یک از نقشه‌های حاصل از مطالعات دورسنجی که نتیجه آن آلتراسیون و اکسید آهن می‌باشد، به صورت دو کلاسه در نقشه‌های (۳-۵) و (۳-۶) تهیه شده‌اند. در این نقشه‌ها به مناطق حاوی اکسید آهن و آلتراسیون امتیاز ۱۰ و به بقیه نقاط امتیاز صفر داده شد.



شکل ۴-۵: نقشه دو کلاسه از اکسید آهن در محدوده

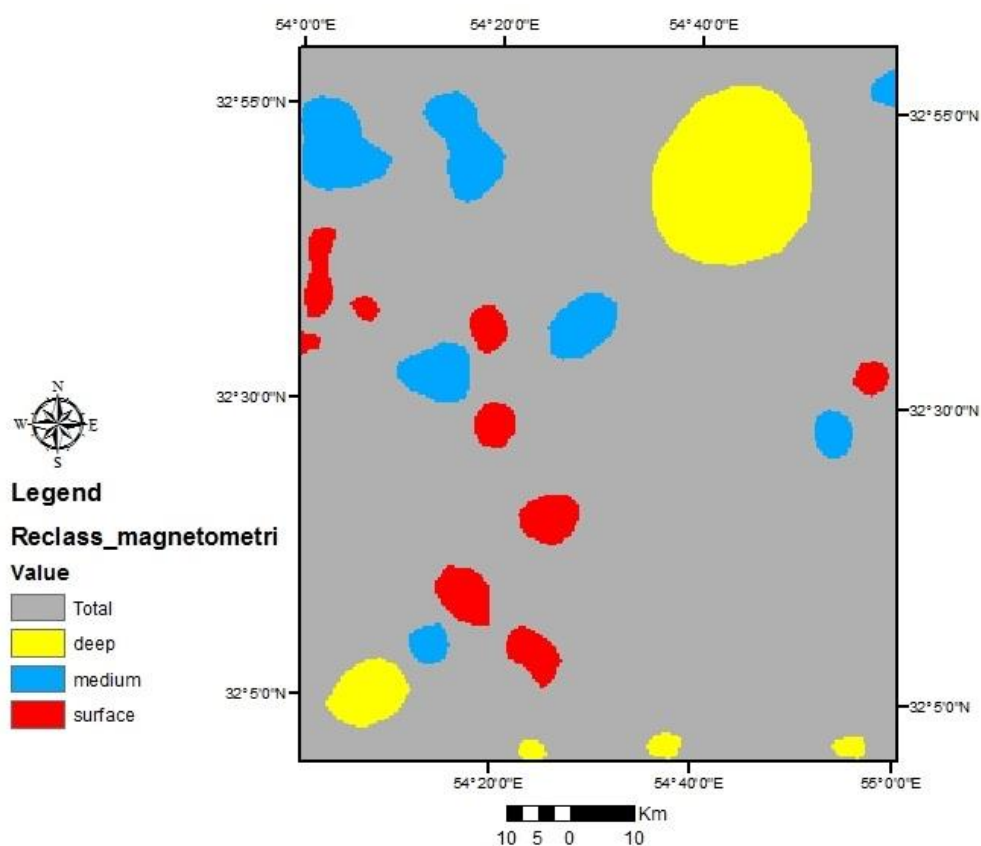


شکل ۴-۶: نقشه دو کلاسه از آلتراسیون در محدوده

توده‌های نفوذی با استفاده از نتایج مغناطیس‌هوایی تشخیص داده شدند و در چهار کلاس طبقه‌بندی شدند و مطابق جدول (۳-۴) امتیازدهی شد.

جدول ۳-۴: طبقه‌بندی لایه توده‌های نفوذی برای تلفیق به روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه.

عمیق	متوسط	سطحی	No Data	توده نفوذی
۳	۶	۱۰	۰	امتیاز

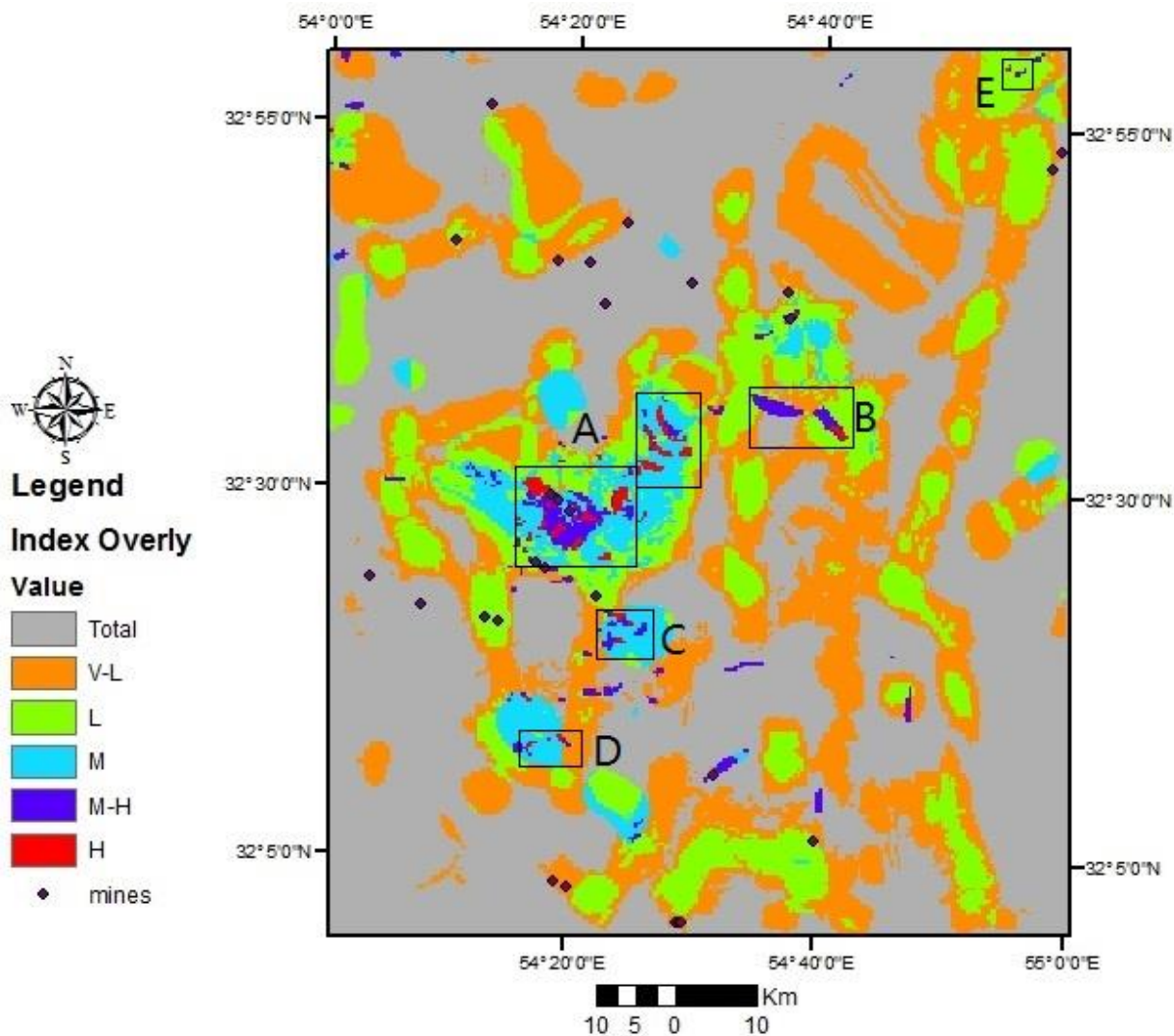


شکل ۴-۷: نقشه سه کلاسه لایه توده نفوذی

۴-۳-۲ تلفیق لایه‌ها با استفاده از روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه

همان‌طور که اشاره شد در روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه علاوه بر کلاس‌های هر لایه، خود لایه نیز بر اساس ارتباط با کانی‌زایی وزن‌دهی می‌شود. از این‌رو در این مطالعه به جهت مشاهده اندیس‌های معدنی آهن در این محدوده به لایه اکسید آهن بیشترین وزن یعنی ۸ از ۱۰ و به ترتیب اهمیت به لایه گسل وزن ۶ و به لایه توده‌های نفوذی وزن ۵، به لایه زمین‌شناسی و نوع سنگ‌های تشکیل‌دهنده (ریولیت

گرانیت و ..) وزن ۳ و در نهایت به لایه آلتراسیون وزن ۱ داده شد. پس از وزن‌دهی به لایه‌های موجود، این لایه‌ها به روش هم‌پوشانی شاخص چندکلاسه تلفیق شدند. در این نقشه پنج محل آنومالی اصلی مشخص شد. آنومالی A در اولویت قرار دارد و با اندیس‌های معدنی انطباق بالایی دارد.



شکل ۴-۸: تلفیق نتایج به روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه

#### ۳-۳-۴ نتایج منطق فازی

روش منطق فازی روشی است که در آن لایه‌های مختلف در سطوح مختلف، وزن‌دهی شده و دانش کارشناسی در آن دارای بیشترین نقش می‌باشد. در این روش، فاکتورهای مختلف کنترل‌کننده کانی‌سازی از جمله سنگ میزبان، ساختارها، آنومالی ژئوفیزیکی و بررسی‌های دورسنجی و کارهای قدیمی انجام شده

تعیین می‌گردند و به هر لایه اطلاعاتی (عضو فازی) وزن خاصی بین صفر تا یک بسته به اهمیت آن داده می‌شود. عدد یک نشان‌دهنده درجه عضویت فازی کامل و عدد صفر نشان‌دهنده عدم وجود عضویت فازی می‌باشد. در بعضی از لایه‌ها، با توجه به شعاع تأثیر آن‌ها، ممکن است تا چندین متر اطراف لایه موردنظر با توجه به شعاع تأثیر وزن‌دهی شوند (پشنگ، ۱۳۹۱).

بعد از تعیین فاکتورهای کنترل‌کننده کانی‌سازی، به‌وسیله عملگرهای فازی موجود که در فصل گذشته معرفی شدند، لایه‌های اطلاعاتی موردنظر تلفیق می‌شوند.

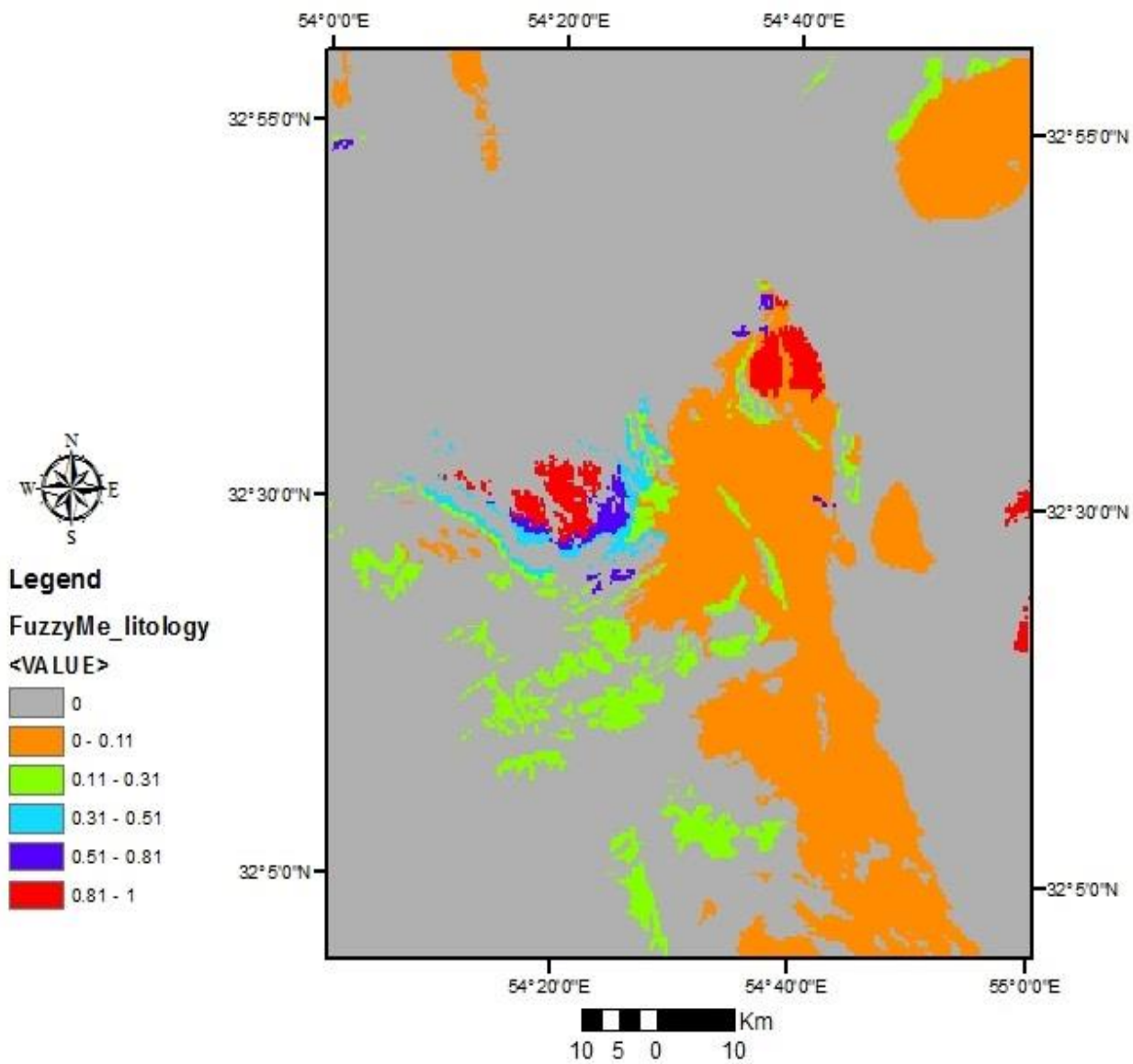
کلاسه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی موجود پس از جمع‌آوری اطلاعات و آماده‌سازی لایه‌ها که در بخش قبل توضیح داده شد، کلاسه‌بندی آن‌ها مجدد انجام شده و به‌صورت شبکه درآورده شدند. انواع لایه‌ها و کلاس‌های ایجاد شده به همراه وزن کلاس‌ها در جدول (۴-۴) ارائه شده است.

جدول ۴-۴: وزن دهی کلاس‌ها در روش فازی

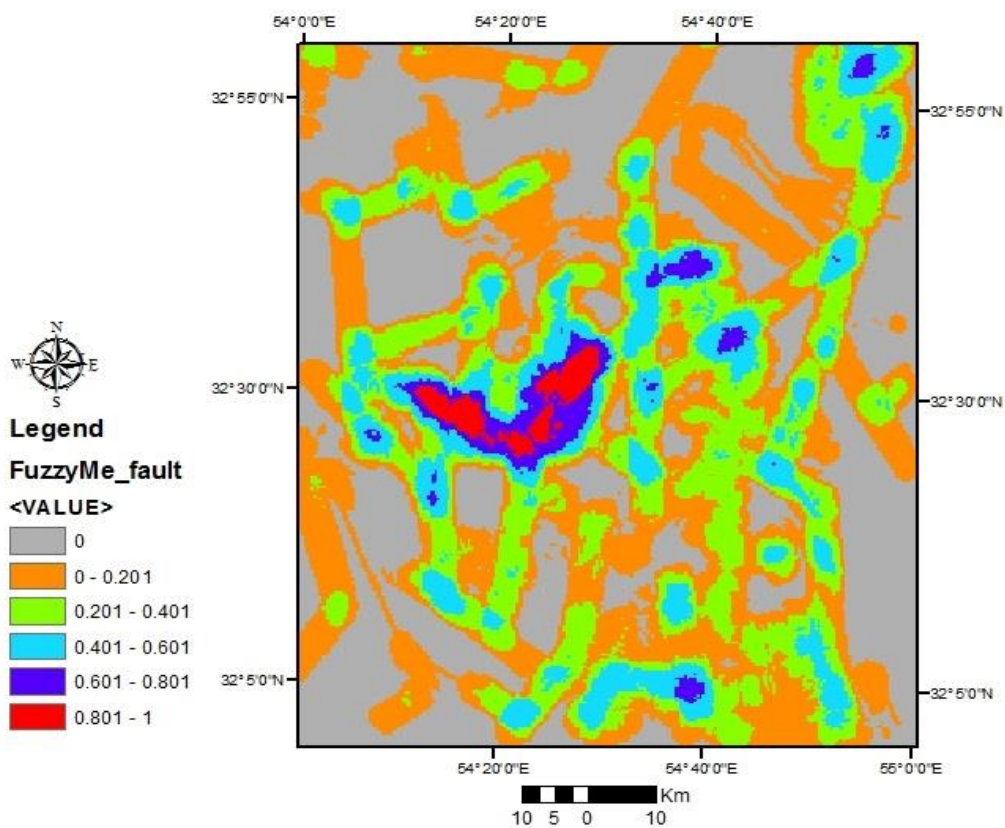
رستر	ستون	کلاس	وزن
توده نفوذی	No data	۱	۰
	سطحی	۲	۱
	متوسط	۳	۰/۶
	عمیق	۴	۰/۳
چگالی گسل و خطواره	No data	۱	۰
	۰-۰/۱۲۸	۲	۰/۲
	۰/۱۲۸-۰/۳۴۰	۳	۰/۴
	۰/۳۴۰-۰/۶۶۴	۴	۰/۶
	۰/۶۶۴-۱/۱۳۲	۵	۰/۸
	۱/۱۳۲-۲/۱۷۰	۶	۱
لایه زمین‌شناسی	PCr1	۱	۱
	gr	۱	۱
	d	۲	۰/۸
	PCr2	۳	۰/۶
	C1	۴	۰/۴
	iCs	۴	۰/۴
	Dc	۴	۰/۴
	Tsh	۴	۰/۴
	K1	۵	۰/۲
	J	۵	۰/۲
	NO data	۵	۰/۲
	۶	۰	



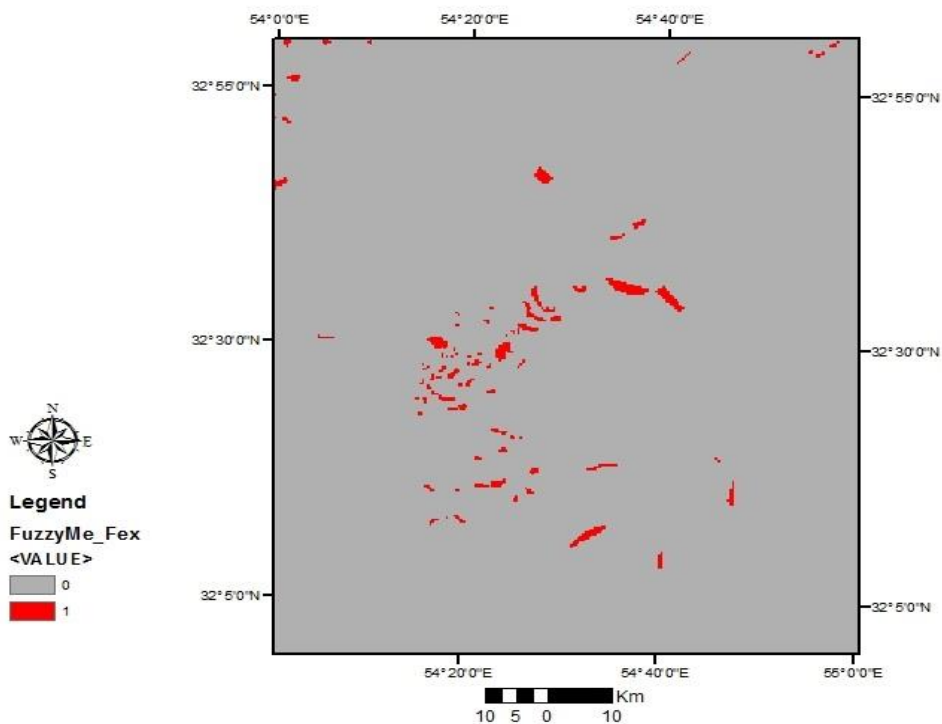
در شکل‌های (۴-۹) تا (۴-۱۳) لایه‌های اطلاعاتی کلاسه‌بندی شده زمین‌شناسی، چگالی خطواره‌ها، اکسید آهن، آلتراسیون و توده‌های نفوذی نشان داده شده‌اند. لازم به ذکر است که لایه گسل ایجاد شده، حاصل از مطالعات مغناطیس، دورسنجی و زمین‌شناسی است.



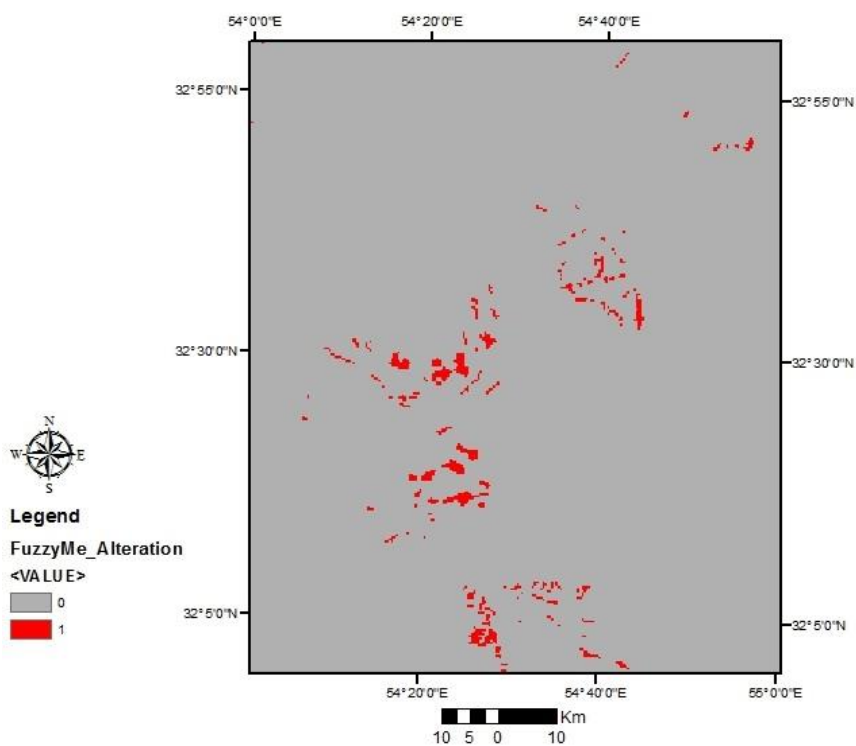
شکل ۴-۹: لایه زمین‌شناسی وزن داده شده



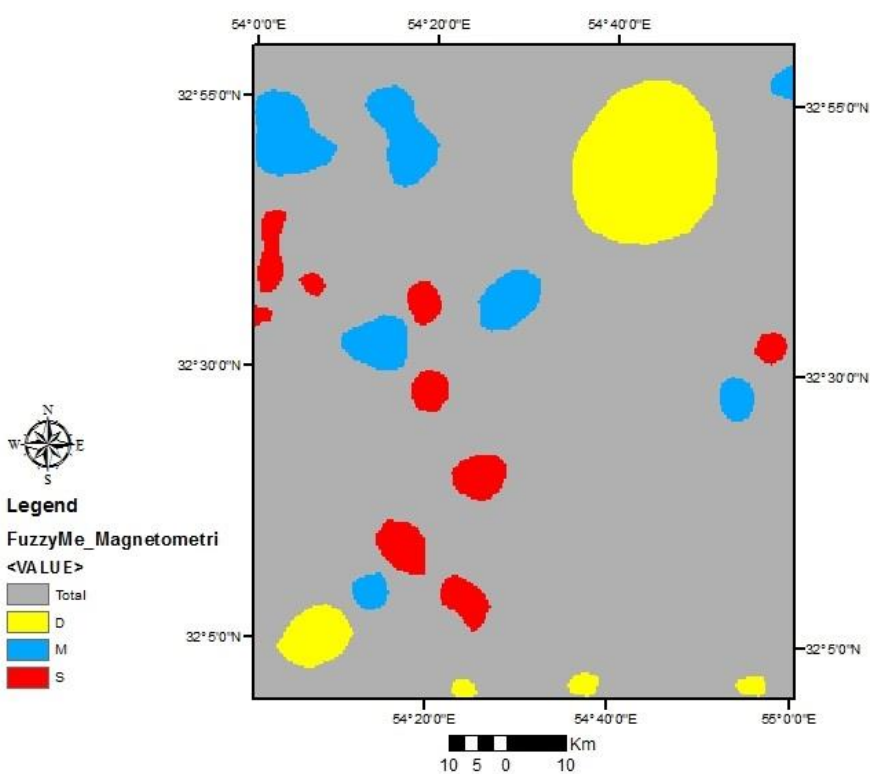
شکل ۴-۱۰: لایه خطواره وزن داده شده



شکل ۴-۱۱: لایه اکسید آهن (حاصل از دورسنجی) وزن داده شده



شکل ۴-۱۲: لایه آلتراسیون وزن داده شده

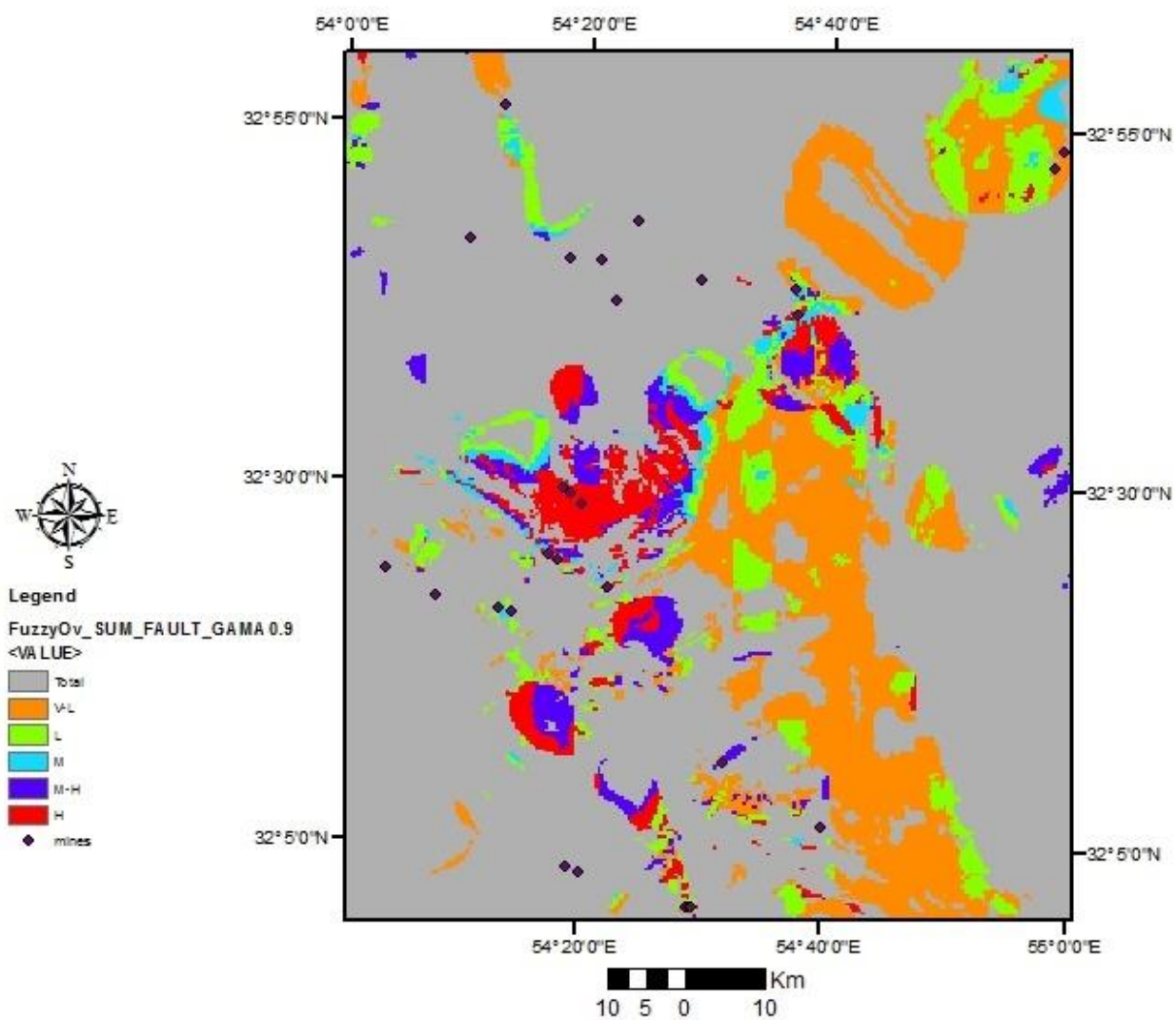


شکل ۴-۱۳: توده نفوذی (حاصل از مغناطیس سنجی) وزن داده شده

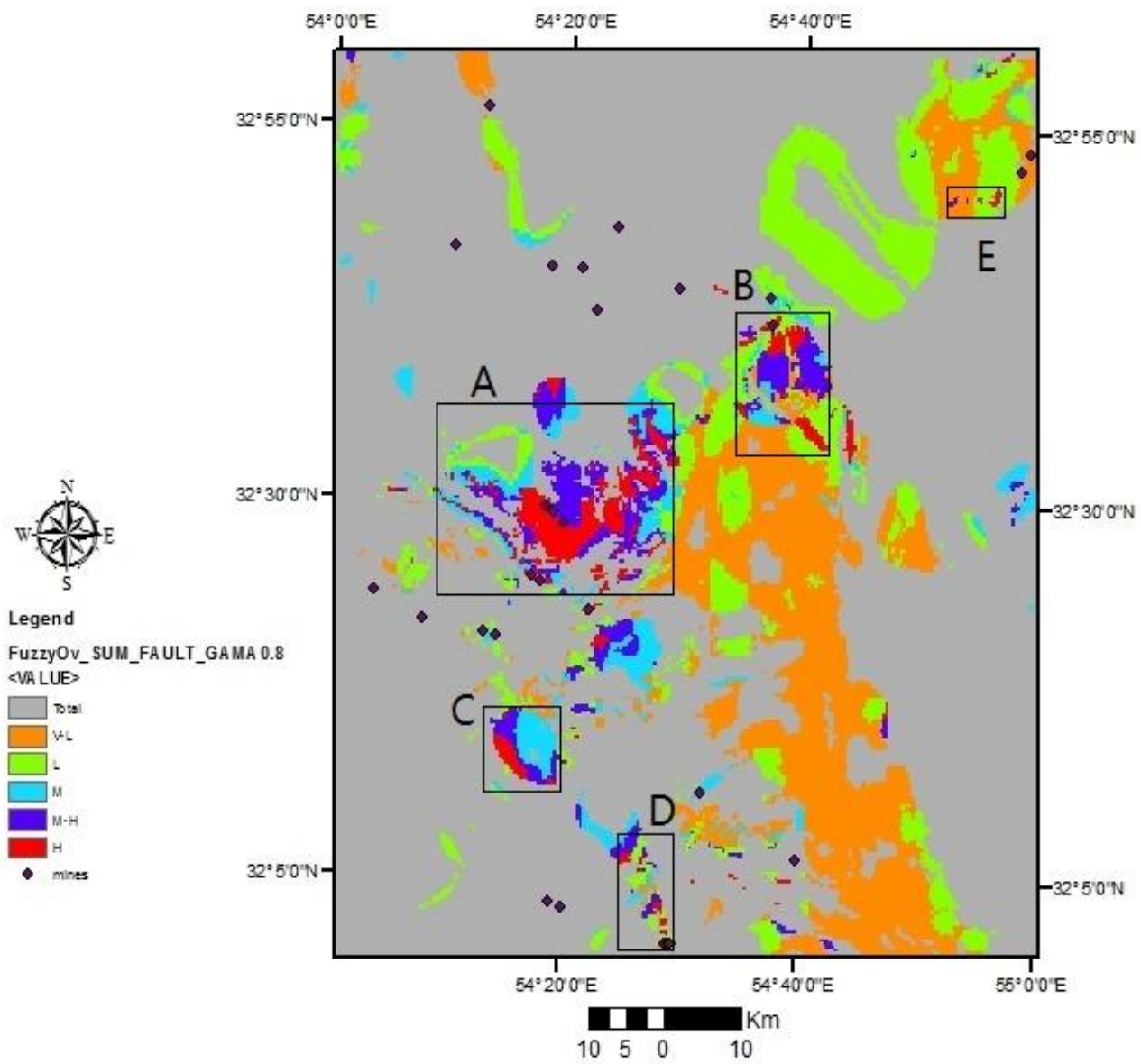
مدل منطق فازی محدوده مورد مطالعه در روش فازی، به صورت درختی عمل می‌شود. یعنی نقشه‌ها

به صورت دو یا چندتایی در مراحل مختلف تلفیق می گردند تا نقشه نهایی به دست آید. برای رسیدن به این منظور، ابتدا لایه های مختلف کنترل کننده کانی سازی شامل انواع لایه های مرتبط مثل ساختارهای کنترل-کننده کانی سازی، مغناطیس و زمین شناسی تعیین می گردند. برای اجرای روش فازی بایستی ابتدا درجه اهمیت فاکتورهای کنترل کننده کانی سازی تعیین گردد. در این مرحله انواع لایه های اطلاعاتی با توجه به مطالعات و بررسی های انجام شده در محدوده وزن دهی می گردند. این نتایج در جدول (۴-۴) قابل مشاهده است. با توجه به اهمیت داده ها در هر مرحله از عملگرهای فازی جمع و گاما استفاده می شود. در این مطالعه لایه های اطلاعاتی زمین شناسی، اکسید آهن، آلتراسیون و توده نفوذی با استفاده از عملگر فازی جمع جبری ترکیب شدند و در نهایت با استفاده از عملگر فازی گاما با لایه چگالی گسل های محدوده نقشه نهایی به دست آمد (شکل ۴-۱۴ و ۴-۱۵).

جهت اطمینان از دو مقدار گامای ۰/۸ و ۰/۹ در این تحقیق استفاده شد. همان طور که در بخش های قبل اشاره شد، هرچه قدر گاما به یک نزدیک باشد، ترکیب حاصله به جمع جبری نزدیک تر خواهد بود. هر یک از نقشه های زمین شناسی، دورسنجی و مغناطیس هوایی در پی جویی های مقدماتی می توانند قابل اعتماد باشند. از این رو این سه لایه با استفاده از عملگر فازی جمع جبری ترکیب شدند و سپس نتایج آن با دو مقدار گامای ۰/۸ و ۰/۹ با نقشه خطواره و گسل تلفیق شد.



شکل ۴-۱۴: نقشه پتانسیل مطلوب محدوده مورد مطالعه به روش فازی با گاما ۰/۹



شکل ۴-۱۵: نقشه پتانسیل مطلوب محدوده مورد مطالعه به روش فازی با گاما ۰/۸

#### ۴-۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از دو روش هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه و منطق فازی تلفیق لایه‌های زمین‌شناسی، گسل و خطواره، اکسید آهن، آلتراسون و توده‌های نفوذی که حاصل از مطالعات دورسنجی و مغناطیس‌سنجی محدوده می‌باشد، انجام شد و نتیجه هر روش به صورت یک نقشه ارائه گردید. هر دو این روش‌ها یکدیگر را تأیید می‌نمایند. یعنی تقریباً با هم منطبق بوده و می‌توان از هر دو این نقشه‌ها برای معرفی مناطق امیدبخش استفاده نمود. همان‌طور که در شکل (۴-۱۵) مشخص است، در هر یک از این نقشه‌ها نقاط امیدبخش با کادر مشکی معرفی شده است. نتایج حاصل از گامای ۰,۸ مناطق امیدبخش را بهتر و متمرکزتر نشان می‌دهد.





## فصل پنجم

### بررسی مطالعات مغناطیس زمینی

## ۱-۵ مقدمه

پس از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی از محدوده چک‌چک، چندین محدوده به‌عنوان، محدوده‌های امیدبخش معرفی شدند. به‌منظور بررسی بیشتر، یکی از محدوده‌ها بنام کهرنگ انتخاب و داده‌های مغناطیس در دو بخش برداشت شده است که در ادامه به تجزیه و تحلیل آن پرداخته می‌شود.

## ۲-۵ موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی

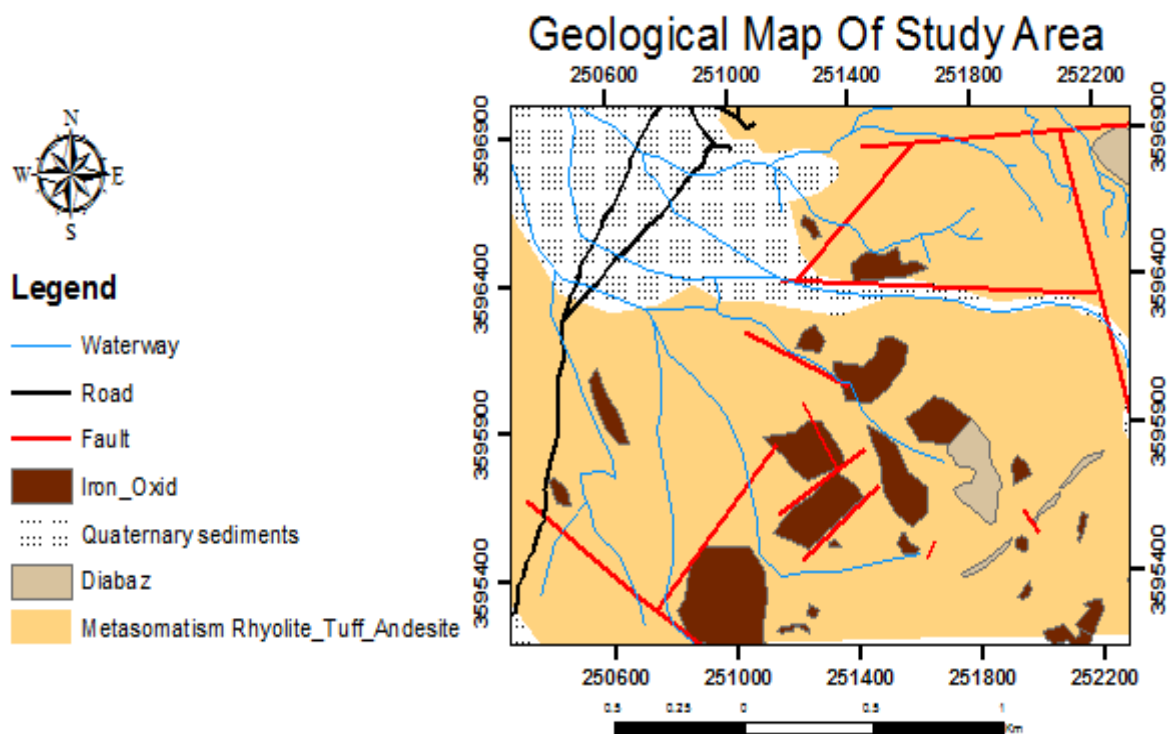
محدوده اکتشافی مورد مطالعه در شمال کوه چک‌چک و در قسمت جنوب غربی روستای توت قرار داد. راه دسترسی به محدوده ابتدا باید ۶۷ کیلومتر جاده آسفالتی از شهر اردکان تا روستای توت را پیمود و سپس فاصله ۸ کیلومتری بین این روستا تا محدوده موردنظر را به‌صورت مسیر خاکی طی کرد. مختصات محدوده در ۲۵۰۲۰۰ تا ۲۵۲۴۰۰ متر طولی و در ۳۵۹۵۳۰۰ تا ۳۵۹۷۰۰۰ متر عرضی و ارتفاع متوسط ۱۷۳۰ متر از سیستم UTM قرار دارد. در شکل (۱-۵) نقشه راه دسترسی به محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۵: نقشه راه‌های دسترسی به محدوده کهرنگ

### ۳-۵ زمین‌شناسی محدوده اکتشافی کهرنگ

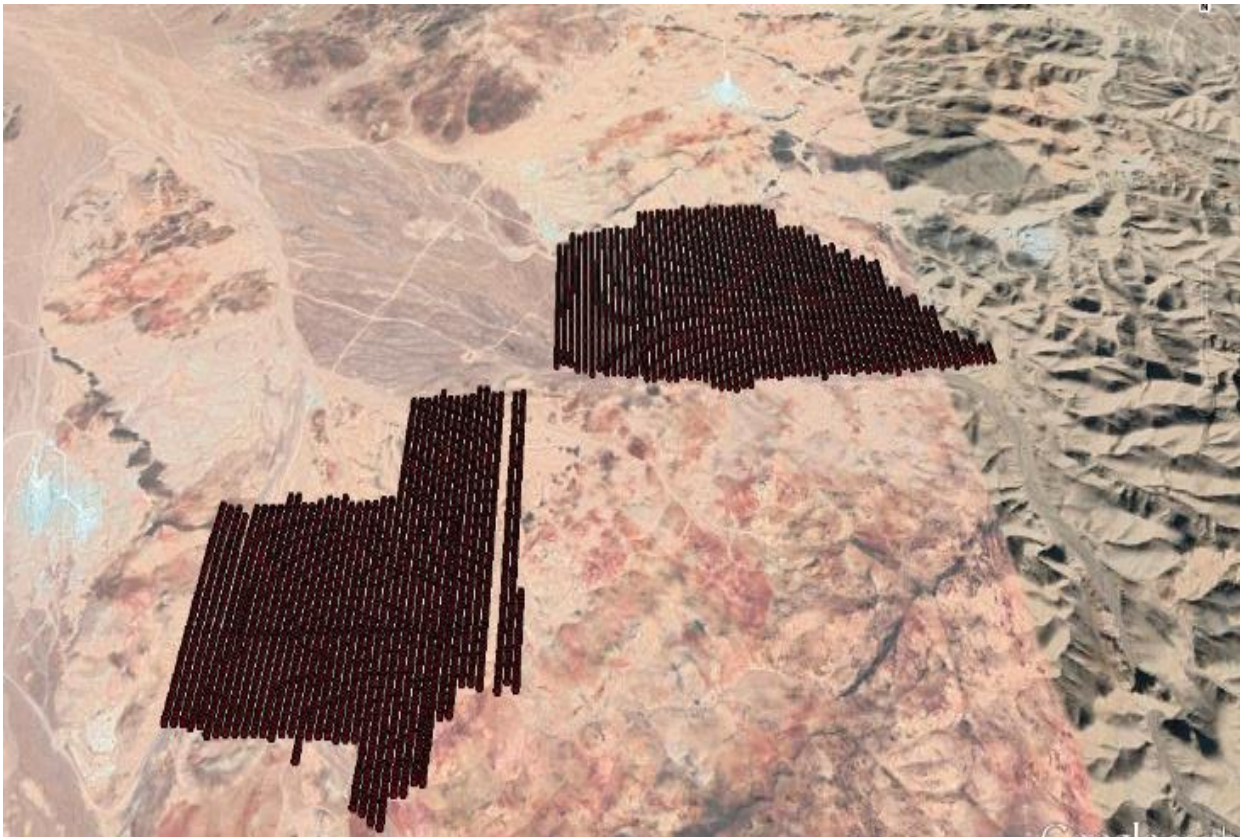
محدوده اکتشافی مورد مطالعه بیشتر به وسیله آبرفت‌های جدید، ریولیت‌های تجزیه شده و فلدسپات-های هوازده و رخنمون‌های کمی از دیاباز پوشیده شده‌است. این سنگ‌ها عمدتاً با ناخالصی‌های اکسیدی دیده می‌شوند. در تعدادی از نقاط محدوده بیرون‌زدگی‌هایی از دیاباز همراه با ناخالصی‌های اکسید آهن و همچنین سنگ‌های ساب و لکانیک مانند کوارتز مونزونیت دیده می‌شود. وسعت زیاد محدوده را توف‌های آندزیتی و ریولیت‌های هوازده پوشانده است. در حاشیه غربی محدوده نیز رگه‌های سیلیسی با ضخامت کم تا متوسط حضور دارند. بافت سنگ‌های ناحیه بافت میکروپورفیری است. در سنگ‌های محدوده کانی‌های فلزی مانند پیریت، کالکوپریت، هماتیت، هیدروکسید آهن و اکسید تیتانیوم وجود دارند (شرکت تعاونی معدنی یاقوت ظفر یزد، ۱۳۹۷). نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده محدوده اکتشافی در شکل (۲-۵) ارائه شده است.



شکل ۲-۵: نقشه زمین‌شناسی محلی محدوده کهرنگ

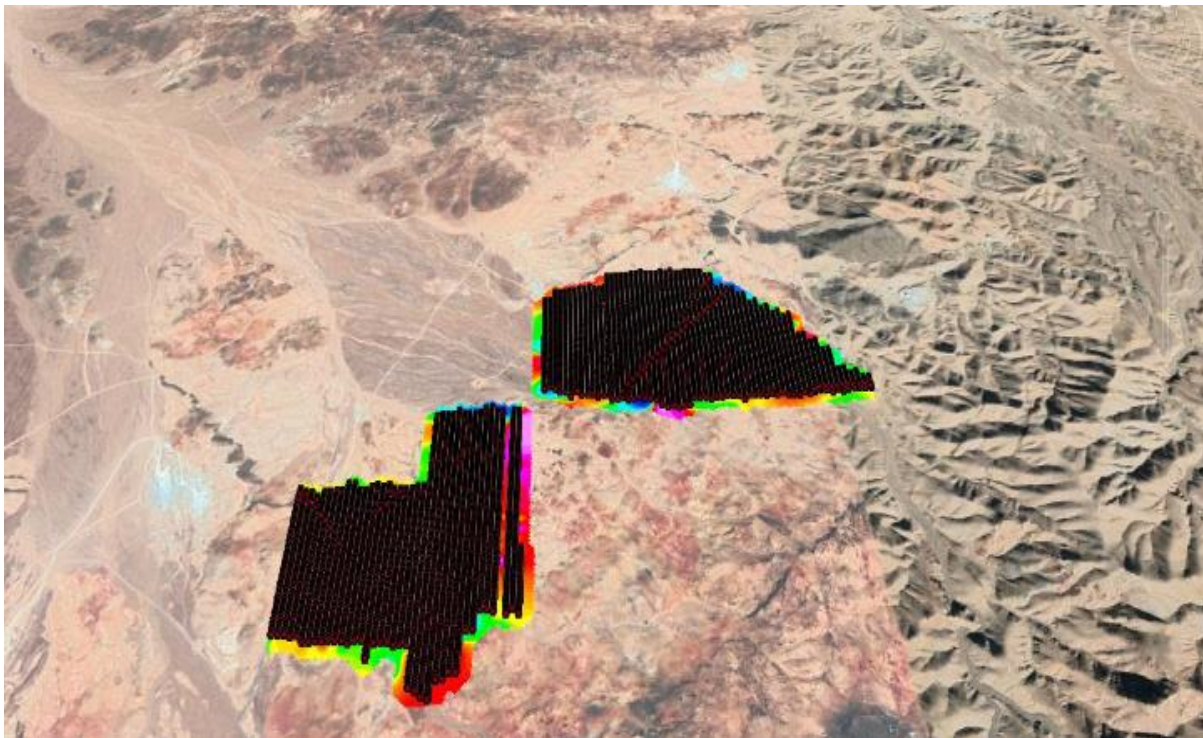
## ۴-۵ طراحی شبکه برداشت

با توجه به روند ساختارهای زمین‌شناسی محدوده و مطالعات قبلی انجام شده و همچنین برخی ترانسه‌های حفر شده و نظر کارفرما شبکه برداشت به صورت پروفیل‌های شمالی جنوبی مطابق شکل (۳-۵) طراحی شده بود. در این ناحیه تعداد ۶۲۲۲ نقطه در یک شبکه با ابعاد ۲۰ در ۱۰ متر در طی دو مرحله قبل از حضور نگارنده توسط شرکت تعاونی یا قوت ظفر یزد برداشت شده بود. فاصله ۲۰ متر بین پروفیل‌های برداشت و فاصله ۱۰ متر بین نقاط برداشت روی هر پروفیل در نظر گرفته شده بود. علت انتخاب این ابعاد برای شبکه برداشت وجود توده‌های کوچک آهن در زیر رسوبات بوده است که با استفاده از این شبکه حداکثر حساسیت مورد جستجو واقع شدند. در شکل‌های (۳-۵) و (۴-۵) می‌توان تصاویری از شبکه برداشت طراحی شده برای داده‌های مغناطیس‌سنجی را مشاهده کرد.



شکل ۳-۵: شبکه برداشت طراحی شده برای داده‌های مغناطیس‌سنجی در محدوده مورد مطالعه





شکل ۵-۴: پروفیل‌های برداشت در محدوده مورد مطالعه

#### ۵-۵ دستگاه مورد استفاده

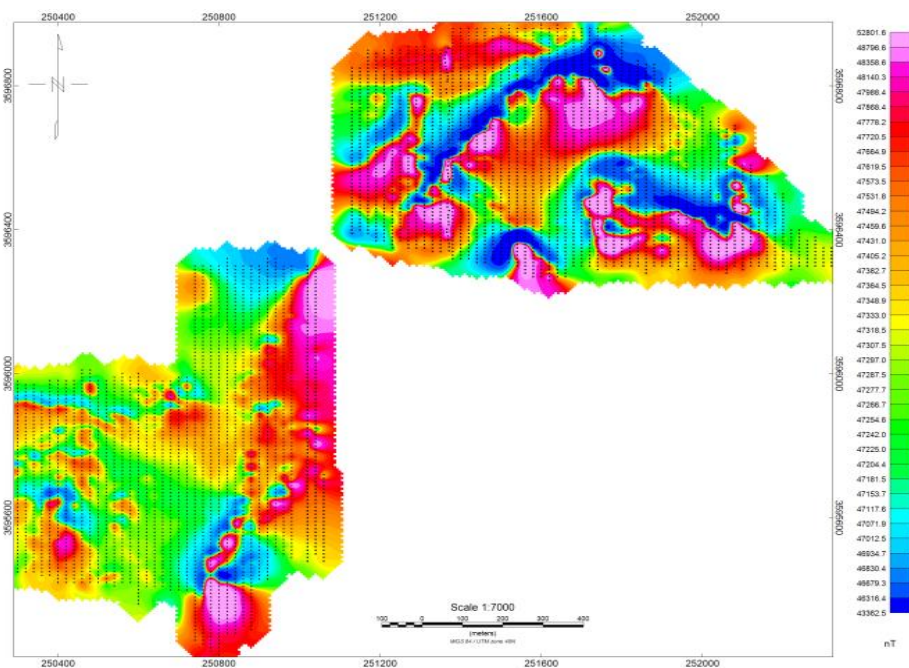
برداشت داده‌های مغناطیسی این پروژه با دستگاه مغناطیس‌سنج پروتون مدل 19T جدیدترین مدل مغناطیس‌سنج کمپانی GEMSYS ساخت کشور کانادا انجام شده است. برخلاف مگنتومتر فلاکس‌گیت، این نوع از مگنتومترها تنها می‌توانند بزرگی میدان کلی مغناطیسی زمین را مشخص نمایند. مخزن استوانه‌ای شکل که از مایعی اشباع از اتم‌های هیدروژن پر شده است و به دور آن یک سیم‌پیچ پیچیده شده است، بخش حساسیت دستگاه را تشکیل می‌دهد. تصویری از این مغناطیس‌سنج را می‌توان در شکل (۵-۵) مشاهده کرد. این دستگاه با داشتن مزایای فراوان و استفاده از فناوری پروتون پرسیزن پیشرفت‌های زیادی در علوم زمین به وجود آورده است. این دستگاه با دارا بودن قدرت تفکیک مغناطیسی  $0.1$  نانو تسلا قدرت بسیار بالایی در جدایش آنومالی مغناطیسی ایجاد می‌کند.



شکل ۵-۵: تصویری از دستگاه مغناطیس سنج پروتون مدل GSM 19T شرکت GEMSYS کانادا

## ۶-۵ برداشت

در شکل (۶-۵) نمایی از شبکه برداشت در محدوده به همراه نقشه مغناطیس کل محدوده نشان داده شده است. براساس شکل، برداشت داده‌ها بر روی دو محدوده مختلف انجام گرفت. مطابق شکل (۶-۵) حداقل شدت میدان مغناطیسی در این محدوده ۴۳۳۶۲ نانو تسلا و حداکثر شدت میدان مغناطیسی ۵۲۸۰۱ نانو تسلا است. حداکثر تغییرات میدان مغناطیسی در این محدوده ۹۴۳۹ نانو تسلا می‌باشد.



شکل ۵-۶: نمایی از شبکه برداشت در محدوده به همراه نقشه مغناطیس کل محدوده

### ۷-۵ اندازه‌گیری مقادیر مغناطیسی نقاط برداشت و ایستگاه مبنا

برای تصحیح داده‌های مغناطیسی باید قبل از هر قرائت، به اندازه‌گیری مقدار مغناطیسی در ایستگاه مبنا پرداخت. در مرحله بعد دستگاه مغناطیس‌سنج بر روی نقطه مبنا استقرار می‌گردد و قرائت روزانه ایستگاه‌ها به وسیله دستگاه دیگری انجام می‌شود. پس از انجام اندازه‌گیری‌های لازم، داده‌ها از دستگاه تخلیه می‌گردند و در نرم‌افزار تشکیل پایگاه‌های داده می‌دهند. از این داده‌ها برای تصحیح و پردازش داده‌ها استفاده می‌شود.

### ۸-۵ پیش‌پردازش یا تصحیح داده‌ها

#### ۱-۸-۵ تصحیح روزانه

تغییرات روزانه دارای دوره تناوب هستند و به صورت متناوب، همانند جذر و مد، بر روی پدیده‌ها اثر می‌گذارند. دامنه ماکزیمم تأثیر تغییرات روزانه، ۵۰ نانوتسلا در طول روز است. این تغییرات را با روش‌هایی که در قبل ذکر گردید می‌توان حذف کرد.

#### ۲-۸-۵ تصحیح طول و عرض جغرافیایی

یکی از نکات حائز اهمیت در داده‌های مغناطیس‌سنجی این است که در برداشت این داده‌ها، مقدار عرض و طول جغرافیایی زیاد تأثیرگذار نیستند. میزان گرادیان قائم میدان کل از یک بیشینه تقریبی ۰/۱ گاما بر فوت در قطبین زمین تا کمینه ۰/۰۰۵ گاما بر فوت در استوای مغناطیسی متغیر است. تغییرات میدان مغناطیسی بین استوا و قطب‌ها بزرگ‌تر از ۱۰ گاما است. از این‌رو نیاز به تصحیح‌های مغناطیسی مربوط عرض جغرافیایی نیست. از طرفی با توجه به موقعیت ایران، تغییرات مغناطیسی در طول جغرافیایی ایران کم است و در نتیجه نیاز به انجام این تصحیح نیست.

#### ۳-۸-۵ تصحیح ارتفاع

توپوگرافی می‌تواند تأثیر به‌سزایی بر روی داده‌های مغناطیس زمینی داشته باشد. این تصحیح در

اکتشاف مواد معدنی فرومغناطیس که تغییرات میدان خیلی زیاد است؛ مورد نیاز نیست، ولی در مواردی که مقادیر کم میدان مغناطیس در تصمیم‌گیری‌ها تأثیرگذار باشد، باید مورد توجه قرار گیرد. در این پروژه مقدار اثر توپوگرافی روی داده‌های مغناطیس قابل توجه نبود، از این رو این تصحیح نیز بر روی داده‌ها انجام نشد.

#### ۴-۸-۵ اثر میدان مغناطیسی هسته زمین

برای تهیه نقشه‌های بی‌هنجاری میدان مغناطیسی، ابتدا باید اثرات میدان مغناطیسی مربوط به هسته زمین با در نظر گرفتن مقادیر IGRF<sup>۱</sup>، محاسبه کرد و از داده‌ها کم نمود. حاصل این عمل مقادیر باقیمانده مربوط به بی‌هنجاری‌های موجود در محدوده است. سپس برای تهیه نقشه بی‌هنجاری میدان کل مغناطیسی محدوده داده‌ها شبکه‌بندی می‌شوند.

#### ۹-۵ پیش‌پردازش‌های انجام شده بر روی داده‌های مغناطیس‌سنجی محدوده مورد مطالعه

همان‌گونه که بیشتر توضیح داده شد، ابتدا تصحیح روزانه بر روی داده‌ها انجام شد و سپس پردازش‌های لازم بر روی داده‌ها به وسیله نرم‌افزار Oasis montaj اعمال شد. در جدول (۵-۱) می‌توان مقداری از این داده‌ها را مشاهده کرد.

---

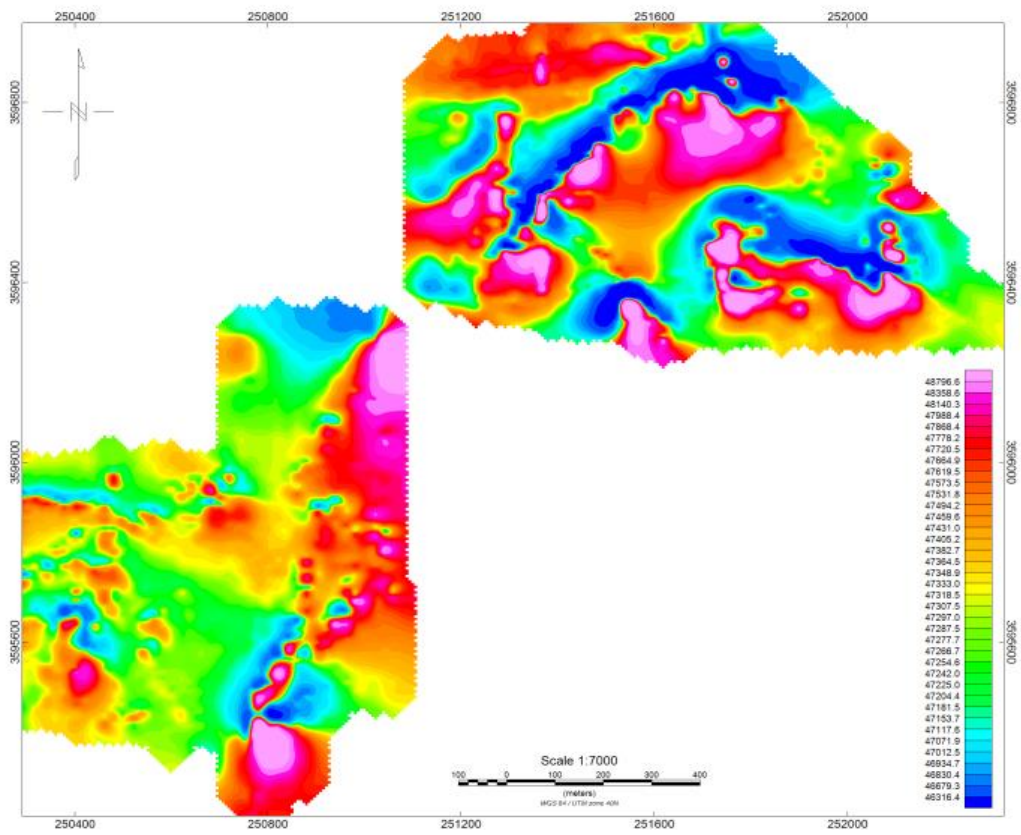
<sup>۱</sup>. International Geomagnetic Reference Field



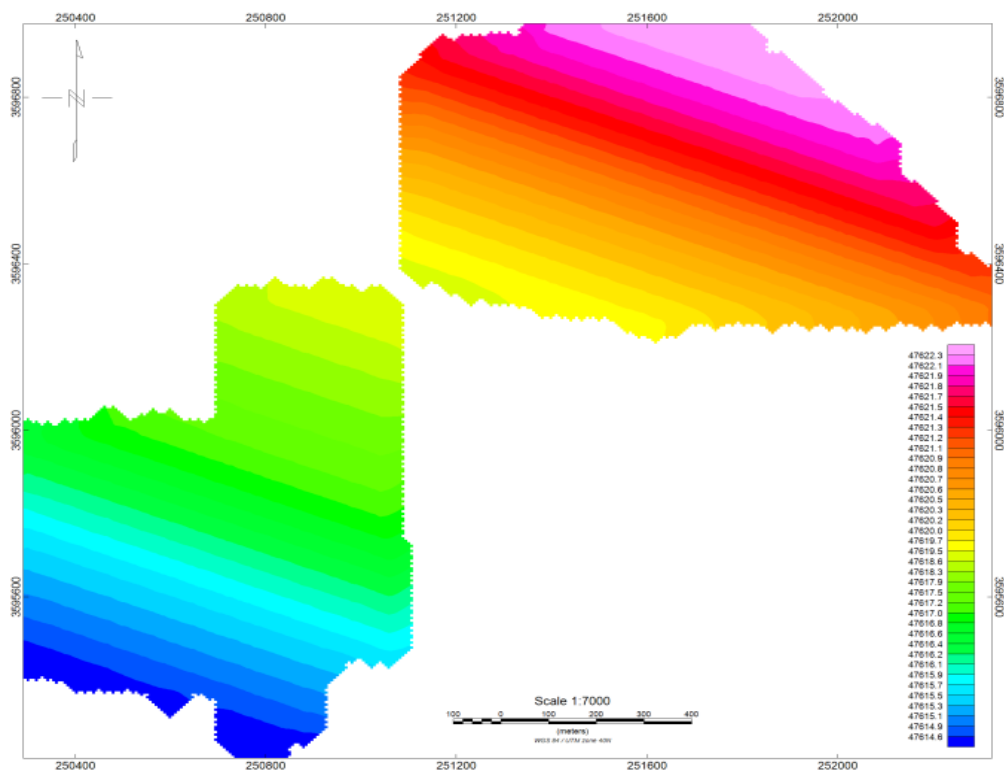
جدول ۵-۱: بخشی از داده‌های مغناطیس‌سنجی برداشت شده در محدوده مورد مطالعه

Sheet1	X	Y	nT	time	sq	int nT	long	lat	z	inc	dec	igrf	RES
1820.0	250820	3595730	47332.22	153004.30	99	47332.22	54.20.55.28	32.28.15.24	1450	50.75	3.99	47616.3784	-284.1584
1821.0	250820	3595720	47338.07	153019.10	99	47338.07	54.20.55.29	32.28.14.92	1450	50.75	3.99	47616.3387	-278.2687
1822.0	250820	3595710	47326.02	153033.90	99	47326.02	54.20.55.30	32.28.14.59	1450	50.75	3.99	47616.2990	-290.2790
1823.0	250820	3595700	47305.32	153047.60	99	47305.32	54.20.55.31	32.28.14.27	1450	50.75	3.99	47616.2592	-310.9392
1824.0	250820	3595690	47285.08	153058.50	99	47285.08	54.20.55.32	32.28.13.94	1450	50.75	3.99	47616.2195	-331.1395
1825.0	250820	3595680	47258.27	153111.80	99	47258.27	54.20.55.33	32.28.13.62	1450	50.75	3.99	47616.1797	-357.9097
1826.0	250820	3595670	47232.84	153123.20	99	47232.84	54.20.55.34	32.28.13.30	1450	50.75	3.99	47616.1400	-383.3000
1827.0	250820	3595660	47171.80	153136.90	99	47171.80	54.20.55.35	32.28.12.97	1450	50.75	3.99	47616.1003	-444.3003
1828.0	250820	3595650	47086.46	153149.60	99	47086.46	54.20.55.36	32.28.12.65	1450	50.75	3.99	47616.0605	-529.6005
1829.0	250820	3595640	47057.48	153202.30	99	47057.48	54.20.55.37	32.28.12.32	1450	50.75	3.99	47616.0208	-558.5408
1830.0	250820	3595630	47052.08	153215.80	99	47052.08	54.20.55.38	32.28.12.00	1450	50.75	3.99	47615.9811	-563.9011
1831.0	250820	3595620	47024.34	153229.30	99	47024.34	54.20.55.39	32.28.11.67	1450	50.75	3.99	47615.9413	-591.6013
1832.0	250820	3595610	46941.96	153241.60	19	46941.96	54.20.55.40	32.28.11.35	1450	50.75	3.99	47615.9016	-673.9416
1833.0	250820	3595600	46890.39	153253.10	99	46890.39	54.20.55.41	32.28.11.03	1450	50.75	3.99	47615.8619	-725.4719
1834.0	250820	3595590	46728.84	153306.20	99	46728.84	54.20.55.42	32.28.10.70	1450	50.75	3.99	47615.8221	-886.9821
1835.0	250820	3595580	46496.15	153320.10	99	46496.15	54.20.55.43	32.28.10.38	1450	50.75	3.99	47615.7824	-1119.6324
1836.0	250820	3595570	46546.43	153333.40	99	46546.43	54.20.55.44	32.28.10.05	1450	50.75	3.99	47615.7427	-1069.3127
1837.0	250820	3595560	47298.97	153345.80	99	47298.97	54.20.55.44	32.28.09.73	1450	50.75	3.99	47615.7029	-316.7329
1838.0	250820	3595550	47761.63	153358.20	99	47761.63	54.20.55.45	32.28.09.40	1450	50.75	3.99	47615.6632	145.9632
1839.0	250820	3595540	*	153412.50	79	48567.29	54.20.55.46	32.28.09.08	1450	50.75	3.99	47615.6234	951.6616
1840.0	250820	3595530	49372.94	153426.90	99	49372.94	54.20.55.47	32.28.08.75	1450	50.75	3.99	47615.5837	1757.3537
1841.0	250820	3595520	*	153438.70	29	48683.62	54.20.55.48	32.28.08.43	1450	50.75	3.99	47615.5440	1068.0710
1842.0	250820	3595510	47994.29	153454.60	99	47994.29	54.20.55.49	32.28.08.11	1450	50.75	3.99	47615.5042	378.7858
1843.0	250820	3595500	47782.03	153508.60	99	47782.03	54.20.55.50	32.28.07.78	1450	50.75	3.99	47615.4645	166.5655
1844.0	250820	3595490	47672.02	153521.40	99	47672.02	54.20.55.51	32.28.07.46	1450	50.75	3.99	47615.4248	56.5952
1845.0	250820	3595480	47507.18	153534.70	99	47507.18	54.20.55.52	32.28.07.13	1450	50.75	3.99	47615.3850	-108.2050
1846.0	250820	3595470	47207.27	153549.20	99	47207.27	54.20.55.53	32.28.06.81	1450	50.75	3.99	47615.3453	-408.0753
1847.0	250820	3595460	46869.69	153604.10	99	46869.69	54.20.55.54	32.28.06.48	1450	50.75	3.99	47615.3055	-745.6155
1848.0	250820	3595450	46429.57	153619.10	99	46429.57	54.20.55.55	32.28.06.16	1450	50.75	3.99	47615.2658	-1185.6958
1849.0	250820	3595440	46144.71	153633.20	99	46144.71	54.20.55.56	32.28.05.83	1450	50.75	3.99	47615.2261	-1470.5161
1850.0	250820	3595430	46228.01	153647.60	99	46228.01	54.20.55.57	32.28.05.51	1450	50.75	3.99	47615.1863	-1387.1763
1851.0	250820	3595420	47238.64	153705.90	99	47238.64	54.20.55.58	32.28.05.19	1450	50.75	3.99	47615.1466	-376.5066

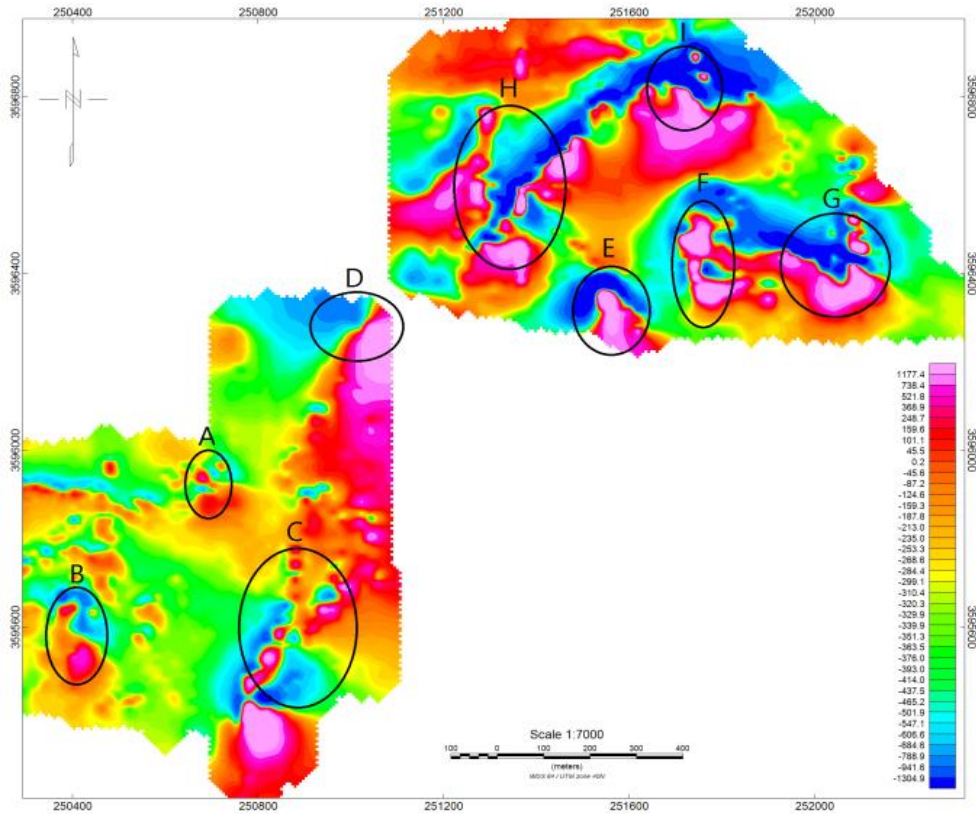
نقشه میدان کل مغناطیسی محدوده کهرنگ بعد از اعمال تصحیح روزانه در شکل (۵-۷) ارائه شده است. برای حذف اثر مغناطیس هسته زمین، اثر IGRF در محدوده اکتشافی محاسبه و از داده‌های مغناطیس برداشت شده کاسته شد. نقشه اثر IGRF در محدوده مورد مطالعه در شکل (۵-۸) و نقشه میدان کل مغناطیسی محدوده کهرنگ پس از حذف اثر IGRF در شکل (۵-۹) ارائه شده است. با توجه به شکل (۵-۹) محدوده دارای چند بیشینه در جنوب غرب (بی‌هنجاری A و B و C و D) و بیشینه‌های دیگری در شمال شرق (بی‌هنجاری‌های E و F و G و H و I) محدوده است. این بی‌هنجاری‌ها منطبق بر واحدهای سنگی آذرین (ریولیت) و گسل‌های محدوده هستند. در قسمت مرکزی محدوده یک دوقطبی وجود دارد که به دلیل ناقص بودن داده‌ها خیلی قابل اعتماد نیست و پس از برداشت داده‌های اطراف باید مورد پردازش و تفسیر قرار گیرد (بی‌هنجاری D).



شکل ۵-۷: نقشه میدان مغناطیسی کل محدوده (TMI)



شکل ۵-۸: نقشه حاصل از میدان مغناطیسی کل زمین (اثر IGRF) در محدوده



شکل ۵-۹: نقشه میدان کل مغناطیسی محدوده پس از حذف اثر IGRF

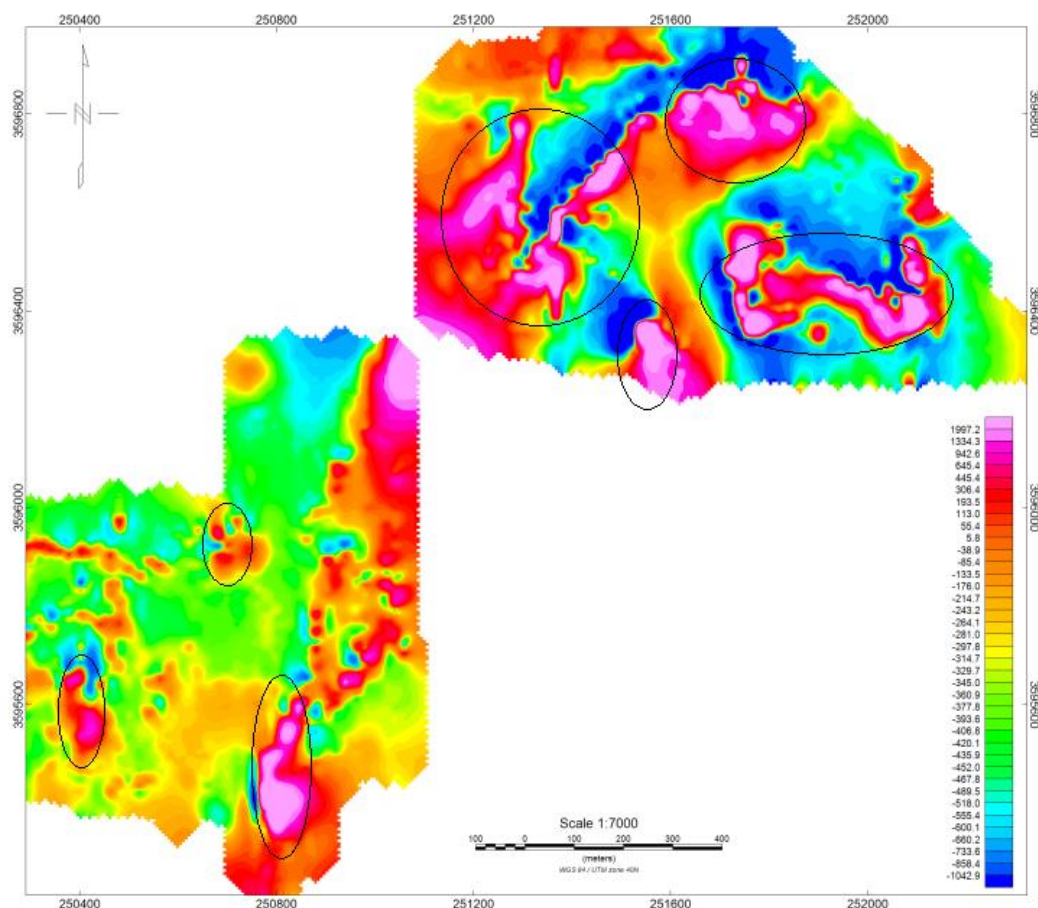
## ۵-۱۰ پردازش و تفسیر کیفی داده‌های مغناطیس

پس از تهیه نقشه میدان کل مغناطیسی محدوده پس از حذف اثر IGRF نیاز به انجام پردازش‌های لازم بر روی این داده‌ها است. پردازش‌های موردنظر به شرح زیر بر روی داده‌ها انجام گردید.

### ۵-۱۰-۱ اعمال فیلتر برگردان به قطب

تبدیل یا فیلتر برگردان به قطب، میدان مغناطیسی را از یک عرض مغناطیسی که در آن بردار میدان مغناطیسی زمین شیب‌دار است، به قطب مغناطیسی یعنی جایی که میدان مغناطیسی قائم می‌باشد، منتقل می‌کند. در نتیجه اعمال این فیلتر، شکل نامتقارن بی‌هنجاری مغناطیسی نسبت به منبع به وجود آورنده آن متقارن شده، باعث جانمایی درست بی‌هنجاری بر روی توده و همین‌طور تعیین وضعیت شیب توده می‌شود.

نقشه حاصل از اعمال فیلتر برگردان به قطب روی نقشه میدان کل مغناطیسی پس از حذف اثر IGRF در شکل (۵-۸) ارائه شده است. مطابق نقشه (۵-۱۰) و بیشینه‌ها و کمینه‌هایی که در نقشه (۵-۷) مشاهده می‌شود، می‌توان گفت آنومالی‌های A و B و C در جهت شمال شیب دارند و آنومالی D در جهت شمال غرب و آنومالی‌های E و F و G و H و I دارای شیب به سمت شمال شرق هستند.



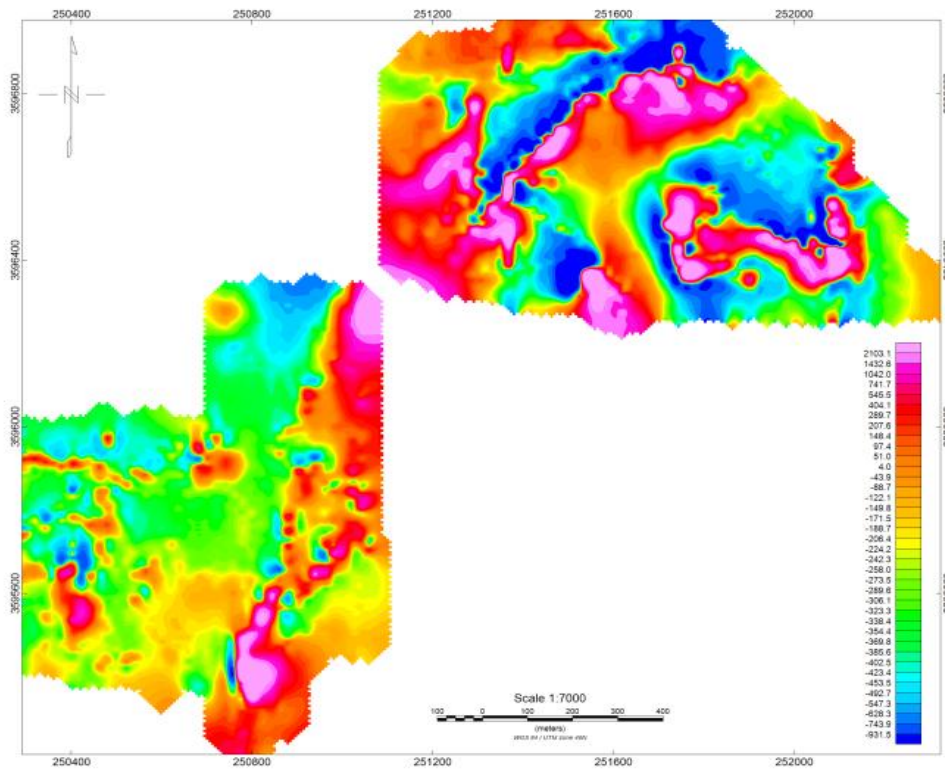
شکل ۵-۱۰: نقشه میدان مغناطیسی کل پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب.

### ۵-۱۰-۲ اعمال فیلتر روند سطحی

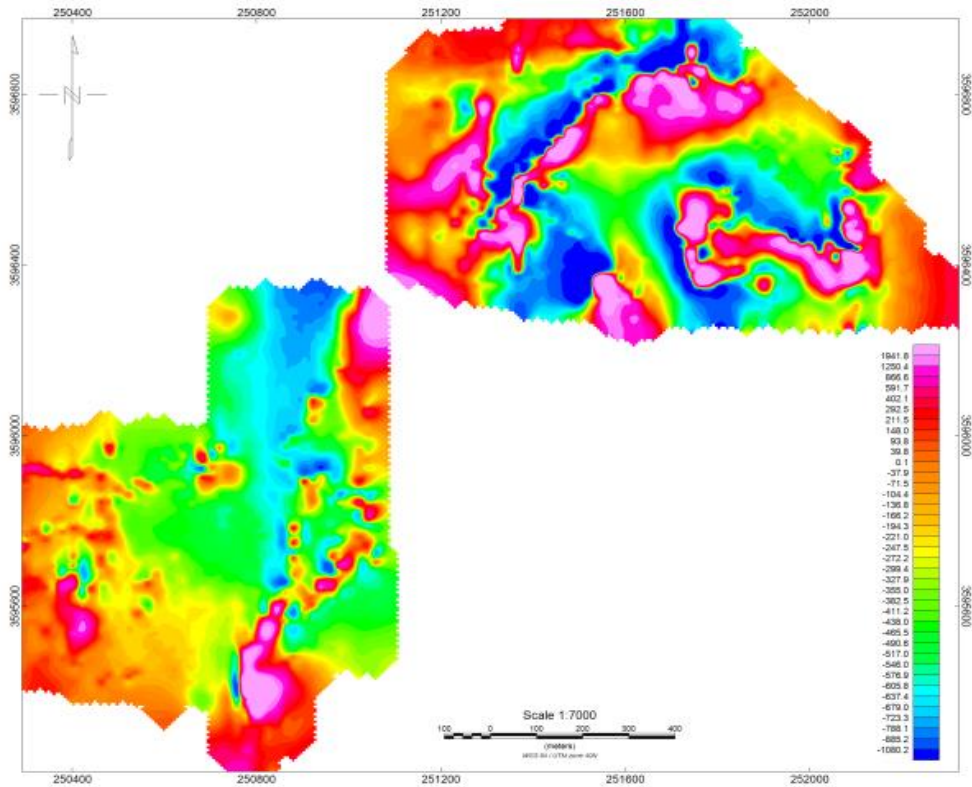
این فیلتر برای به دست آوردن بی‌هنجاری باقی‌مانده استفاده می‌شود. در این روش از برازش چند جمله‌ای با درجات مختلف بر داده‌های برداشت شده استفاده می‌شود. اساس این فیلتر بر مبنای سطحی استوار است که بهترین تطابق را نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده داشته باشد. این سطح به‌عنوان اثرات ناحیه‌ای در نظر گرفته می‌شود. بعد از کم کردن این مقادیر از داده‌های مشاهده‌ای بی‌هنجاری مغناطیسی



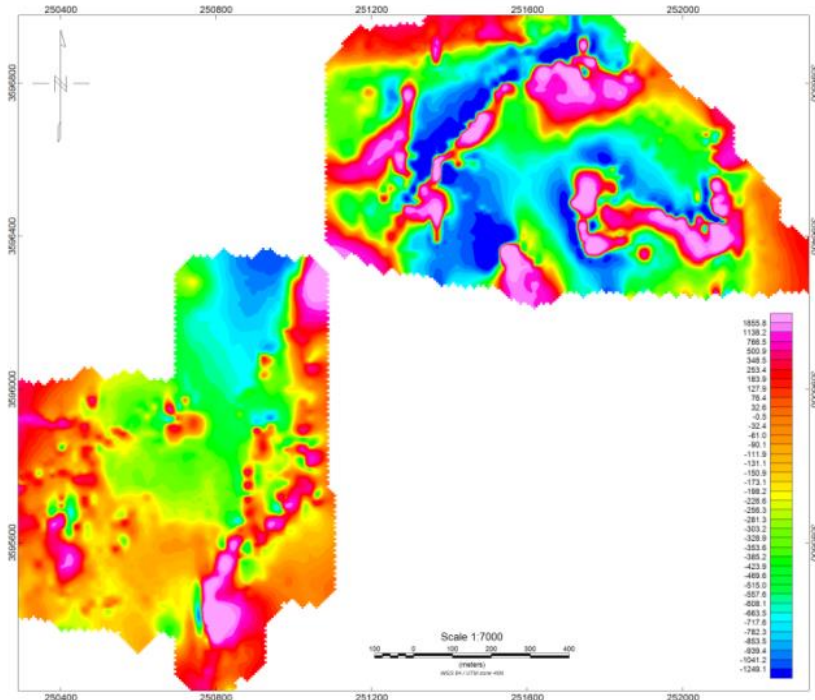
باقی مانده حاصل می‌گردد. این فیلتر بر روی نقشه میدان مغناطیسی برگردان به قطب اعمال شد. نقشه‌های بی‌هنجاری باقی مانده حاصل از سطح روندهایی با درجات ۱ تا ۳ در شکل‌های (۵-۱۱) تا (۵-۱۳) ارائه شده است.



شکل ۵-۱۱: نقشه‌های بی‌هنجاری باقی مانده حاصل از حذف روند سطحی درجه یک



شکل ۵-۱۲: نقشه‌های بی‌هنجاری باقی‌مانده حاصل از حذف روند سطحی درجه دو



شکل ۵-۱۳: نقشه‌های بی‌هنجاری باقی‌مانده حاصل از حذف روند سطحی درجه سه

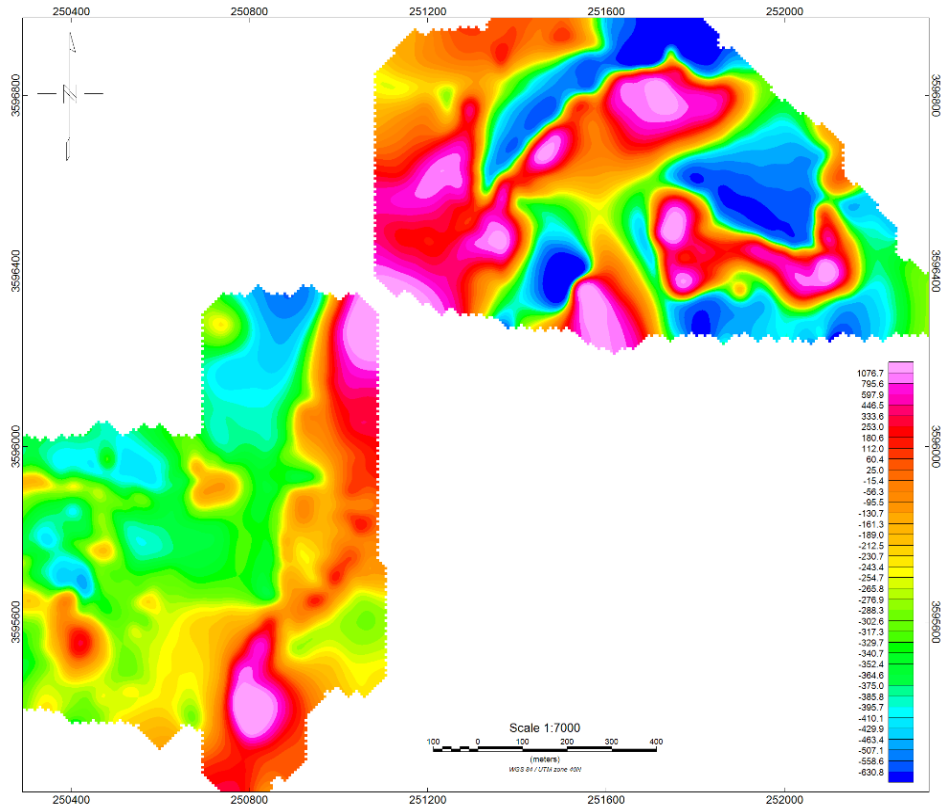
مطابق با نقشه‌های حاصله که تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و فقط گسترش کمینه‌ها و بیشینه‌ها

اندکی متفاوت است، می‌توان آنومالی‌های محدوده را با نقشه حاصل از حذف روند سطحی درجه یک انطباق داد. زیرا با بقیه نتایج هم‌خوانی بیشتری دارد. بنابراین از این نقشه می‌توان در تفسیر و تشخیص بی‌هنجاری‌های باقیمانده استفاده کرد.

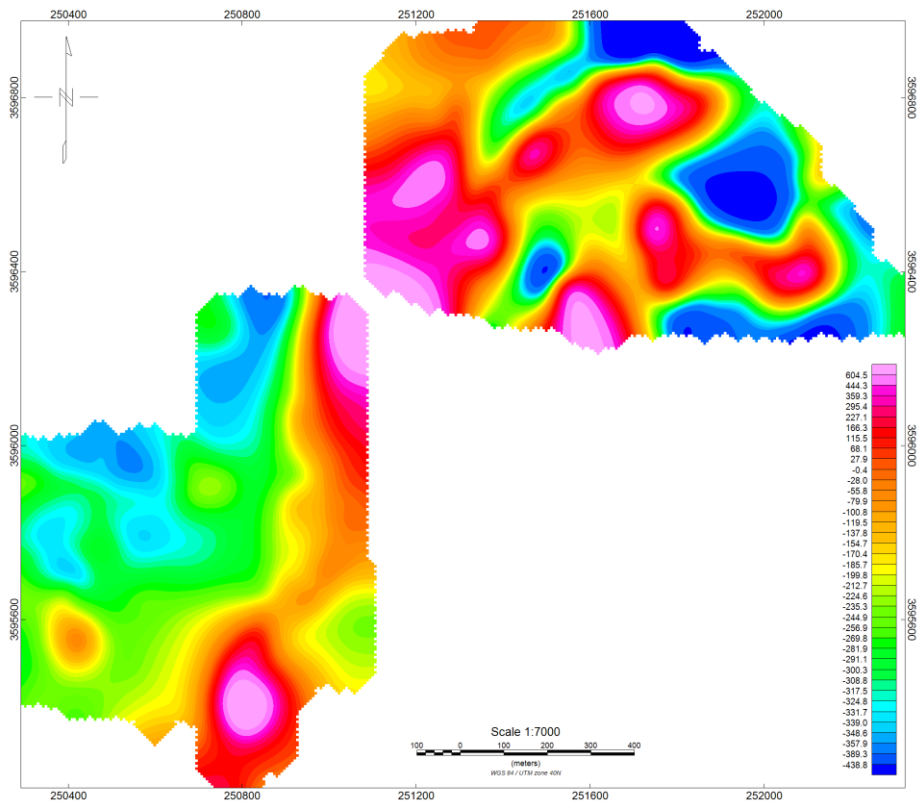
### ۵-۱۰-۳ اعمال فیلتر ادامه فراسو

یکی از مراحل مهم در پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس، جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی از ناحیه‌ای است. فرایند ادامه فراسو یک تبدیل ریاضی روی داده‌های برداشت شده است که باعث تضعیف بی‌هنجاری‌هایی با طول موج کوتاه می‌شود. به عبارت دیگر، ادامه فراسو اثر بی‌هنجاری‌های سطحی را تضعیف می‌کند. بنابراین می‌توان آن را در حکم ابزاری مناسب برای جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی با طول موج کوتاه از ناحیه‌ای با طول موج بلند به کار گرفت. در روش ادامه فراسو، انتخاب ارتفاع بهینه گسترش میدان اهمیت بسیار زیادی دارد؛ زیرا ارتفاع کمتر از مقدار بهینه سبب باقی ماندن اثر بی‌هنجاری‌های محلی در داده‌ها می‌شود و در مقابل ارتفاع بیشتر از مقدار بهینه سبب تضعیف مضاعف اثر بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای در داده‌ها می‌شود.

ادامه فراسو روی داده‌های محدوده کهرنگ برای ارتفاع‌های صفر تا ۲۰۰ متر با گام ۱۰ متر روی نقشه برگردان به قطب محدوده کهرنگ اعمال شده است. تعدادی از نقشه‌های ادامه فراسو در شکل‌های (۵-۱۴) تا (۵-۱۹) ارائه شده است. مطابق این نقشه‌ها بی‌هنجاری ناحیه‌ای در این محدوده در قسمت مرکز محدوده مغناطیس بالایی نشان می‌دهد و در قسمت شمال شرق و جنوب غرب محدوده دارای مقدار پایینی است و می‌توانند آنومالی‌های محلی باشند.

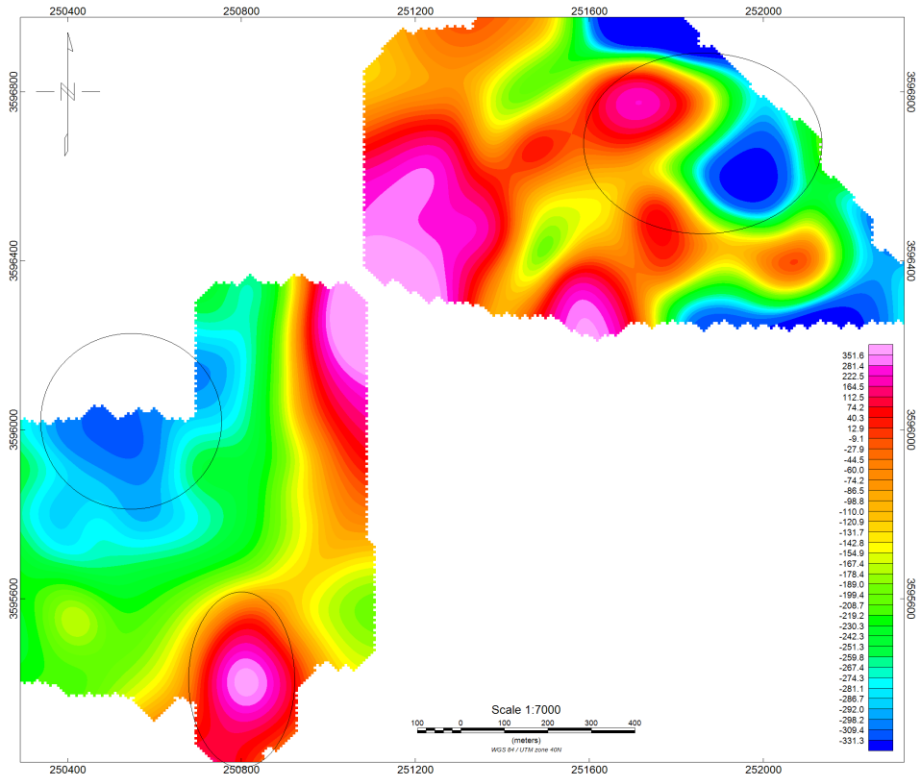


شکل ۵-۱۴: گسترش به سمت بالا ۲۰ متر

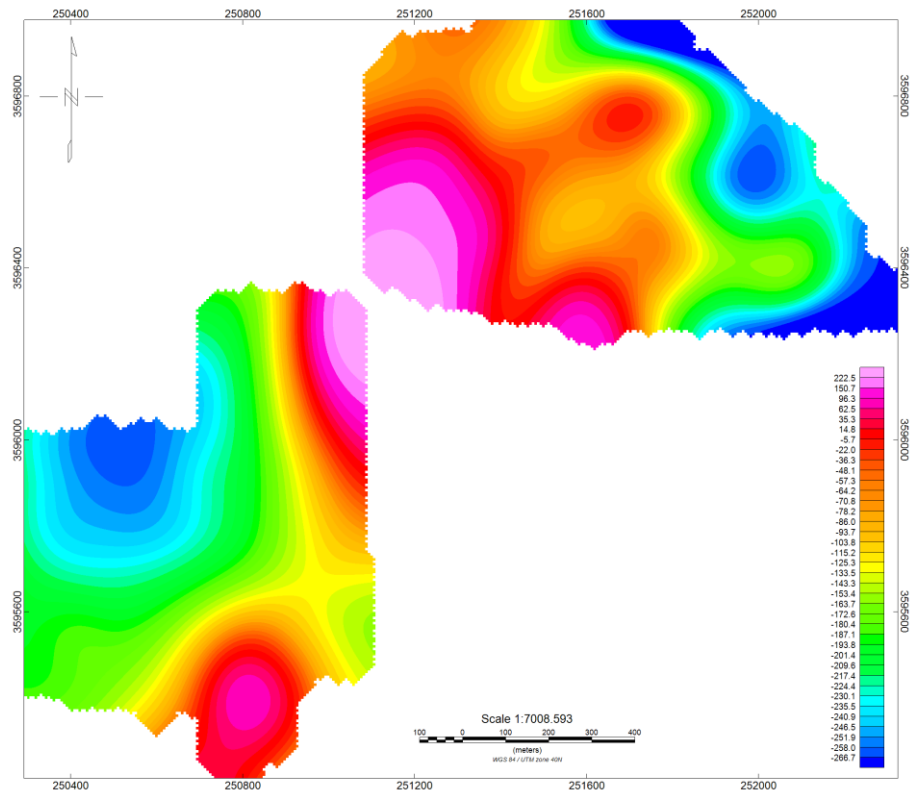




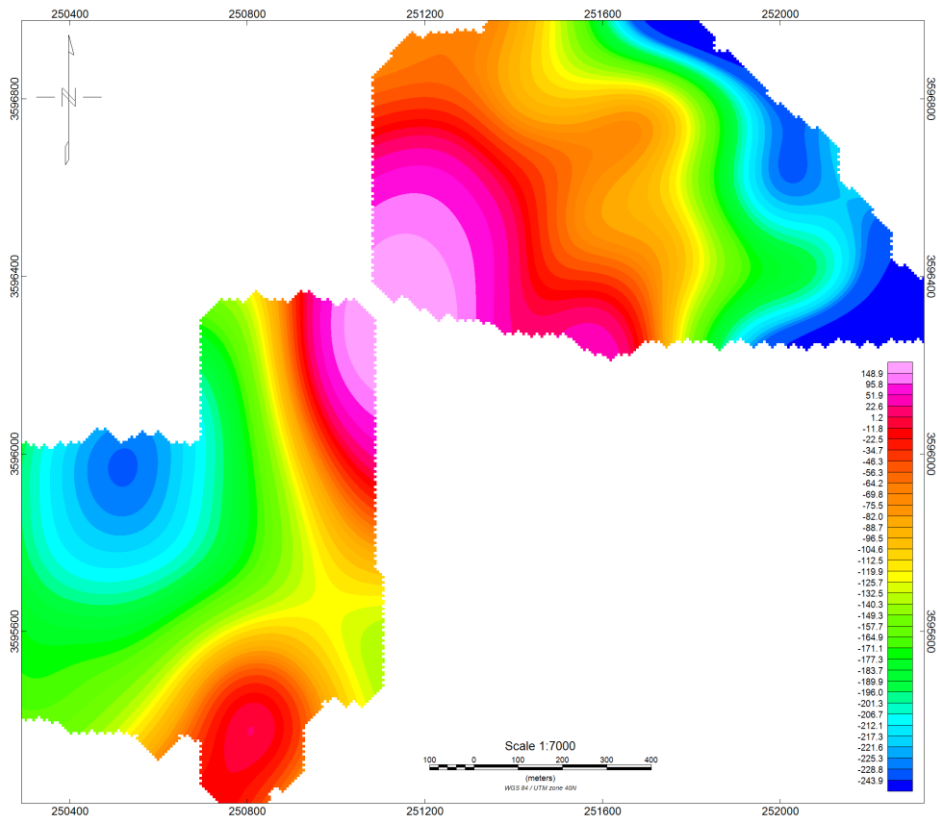
شکل ۵-۱۵: گسترش به سمت بالا ۵۰ متر



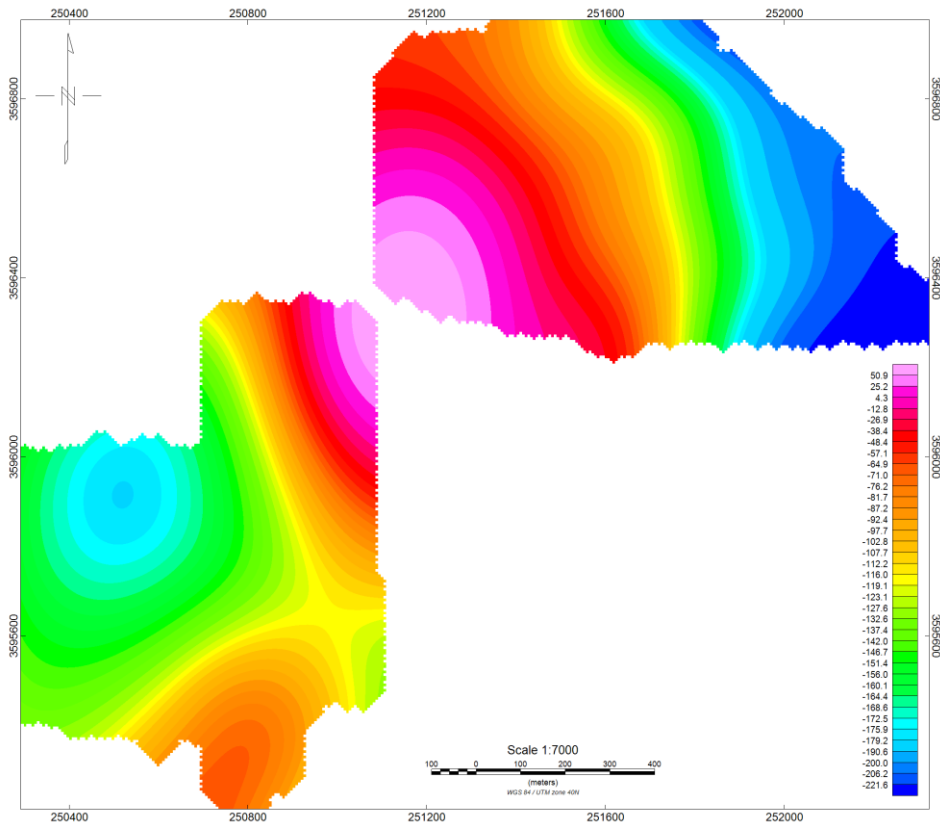
شکل ۵-۱۶: گسترش به سمت بالا ۹۰ متر



شکل ۵-۱۷: گسترش به سمت بالا ۱۵۰ متر



شکل ۵-۱۸: گسترش به سمت بالا ۲۰۰ متر

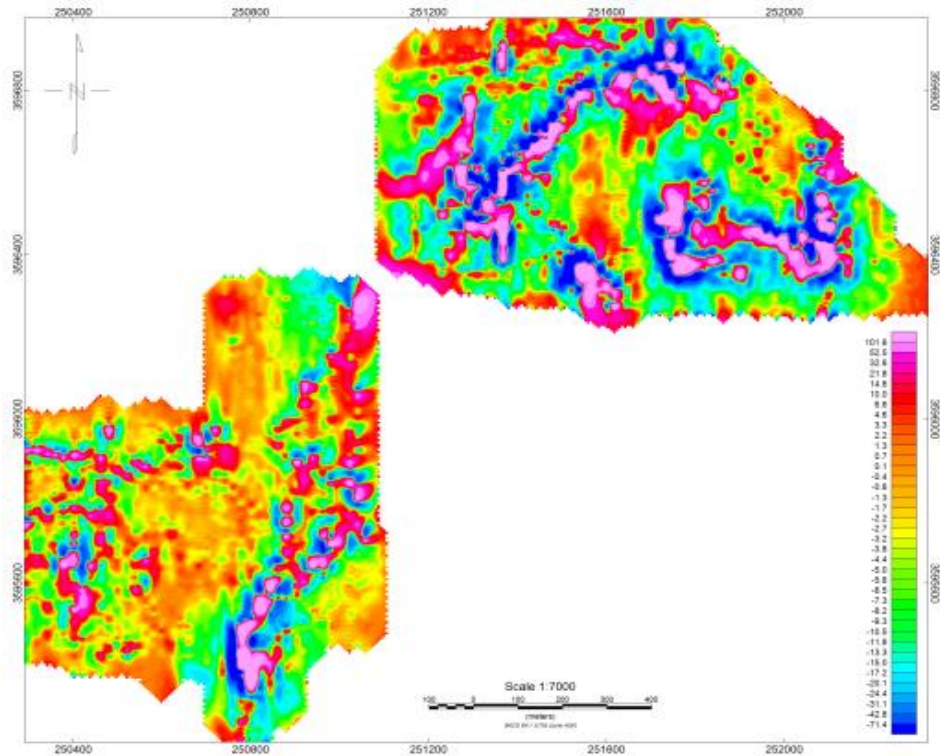


شکل ۵-۱۹: گسترش به سمت بالا ۳۰۰ متر

مطابق اشکال فوق به نظر می‌رسد که در محدوده اکتشافی بخش شمال شرق تغییرات زیادی نداشته و زمانی که تغییر ارتفاع از ۹۰ متر بیشتر شد، اثر آنومالی ناحیه‌ای واضح‌تر شده‌اند.

#### ۵-۱۰-۴ اعمال فیلتر مشتق قائم

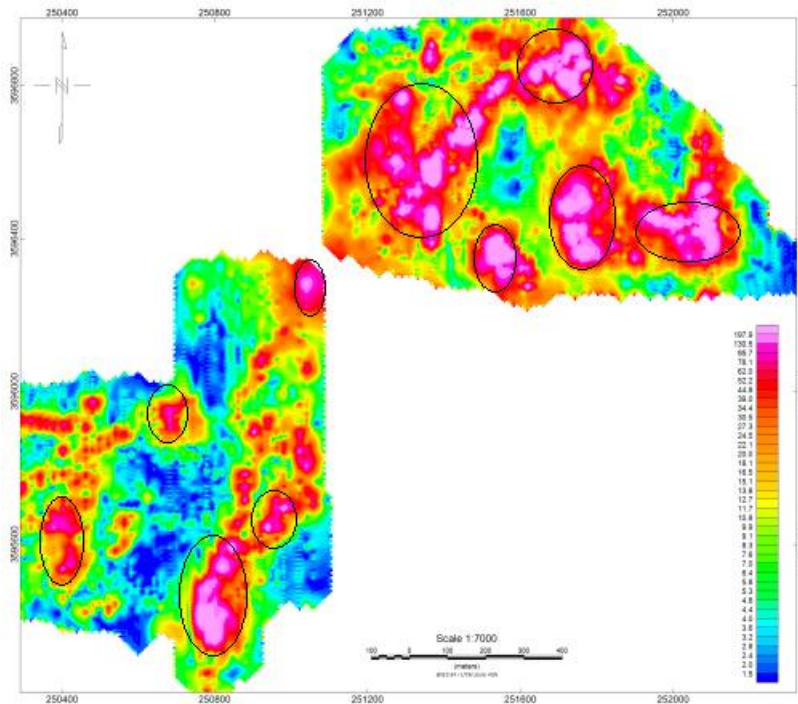
فیلتر مشتق قائم یکی از مهم‌ترین ابزارها در تعیین لبه‌های بی‌هنجاری و مرز زون‌های زمین‌شناسی است. این فیلتر نیز بر روی نقشه میدان مغناطیسی برگردان به قطب اعمال شد. نقشه‌های مشتق قائم مرتبه ۱ و ۲ نیز تهیه گردید. به دلیل نویز بالا در مشتق قائم مرتبه ۲ از آن صرف‌نظر شد. شکل (۵-۲۰) مشتق قائم مرتبه ۱ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نقشه مشتق قائم مرتبه اول (شکل ۵-۲۰) مشاهده می‌شود، بی‌هنجاری‌های سطحی و نوفه کم است و محدوده بی‌هنجاری‌ها تا حدودی و مرز آن‌ها به خوبی مشخص شده است. ولی در نقشه مشتق قائم مرتبه دوم میزان نوفه و اغتشاش زیاد شده و امکان تفکیک و جدایش بی‌هنجاری‌ها وجود ندارد.



شکل ۵-۲۰: نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق قائم مرتبه اول بر روی داده‌های محدوده

### ۵-۱۰-۵ اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی

این فیلتر کاملاً مستقل از جهت مغناطیسه شدن سنگ‌ها و جهت میدان مغناطیس زمین می‌باشد. در نتیجه تمام اجسام با هندسه یکسان سیگنال تحلیلی یکسانی دارند. معمولاً پیک این فیلتر مستقیماً بالای لبه اجسام پهن و بالای مرکز اجسام باریک قرار می‌گیرد. در نتیجه با این فیلتر می‌توان تا حدود زیادی به هندسه توده‌های مغناطیسی پی برد. این فیلتر بر روی نقشه میدان مغناطیسی برگردان به قطب اعمال شده است. نقشه سیگنال تحلیلی در شکل (۵-۲۱) نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر بیشینه در این نقشه در قسمت‌های شمال شرق، جنوب غرب و مرکز دیده می‌شود. با مقایسه این نقشه با نقشه برگردان به قطب به نظر می‌رسد که آنومالی‌های F و G و همچنین H و I در شمال شرق پیوسته هستند.



شکل ۵-۲۱: نقشه حاصل از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های محدوده.

### جمع‌بندی

پردازش‌های انجام شده بر روی داده‌های مغناطیس زمینی به روش‌های گسترش به سمت بالا و مشتقات افقی و قائم و سیگنال تحلیلی و ... در دو محدوده موردنظر موجب کشف آنومالی‌های A تا I شد که در اشکال بالا نشان داده شده است.

با توجه به دوقطبی‌های همگن در نقشه مغناطیس باقیمانده احتمال کانی سازی آهن در این محدوده زیاد است.

از نتایج مشتق فراسو بر روی نقشه مغناطیس باقی مانده کف آنومالی‌ها به‌طور تقریبی مشخص شد.

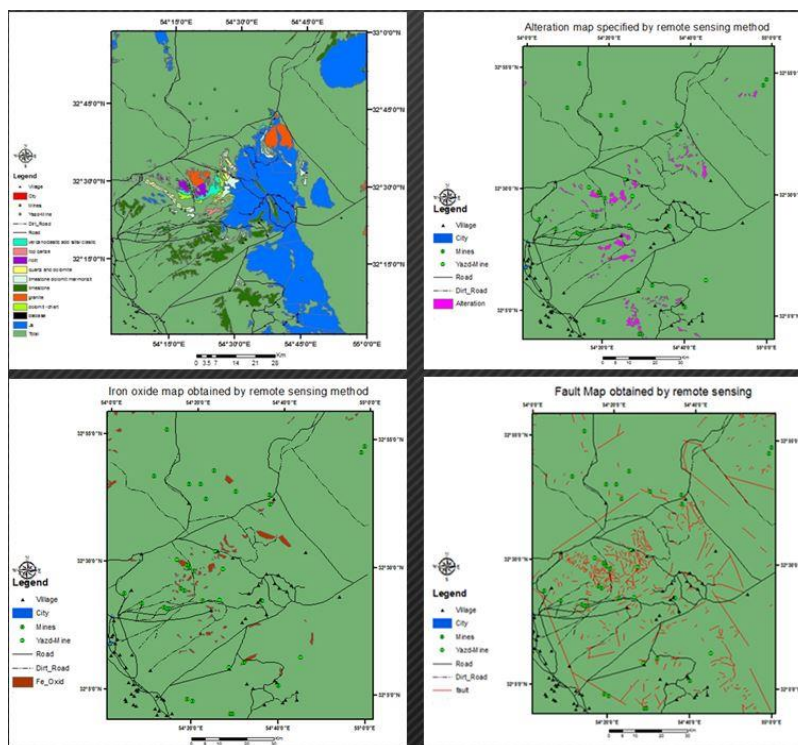


## فصل ششم

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## نتیجه گیری

- از لحاظ زمین شناسی ناحیه اکتشافی در چهار نقشه زمین شناسی مهدی آباد، زرین، خرانق و اردکان قرار گرفته که این چهار نقشه پس از رقومی سازی برش داده شد و در کنار همدیگر قرار گرفت که نتایج زیر از آن در محیط GIS حاصل گردید.
- (۱) کلیه واحدهای سنگی مرتبط با کانی زایی (۲) اندیس های معدنی و معادن متروکه (۳) روستاها و شهرها (۴) جاده اصلی و فرعی (۵) گسل و خطواره
- مطالعات دورسنجی بر روی تصاویر ماهواره ای سنتینل و لندست ۷ با تکنیک های نسبت بانندی، ترکیب بانندی و فاکتور شاخص بهینه، کمترین مربعات رگرسیون شده و تحلیل مؤلفه اصلی و کروستا انجام گردید که نتایج زیر حاصل گردید.

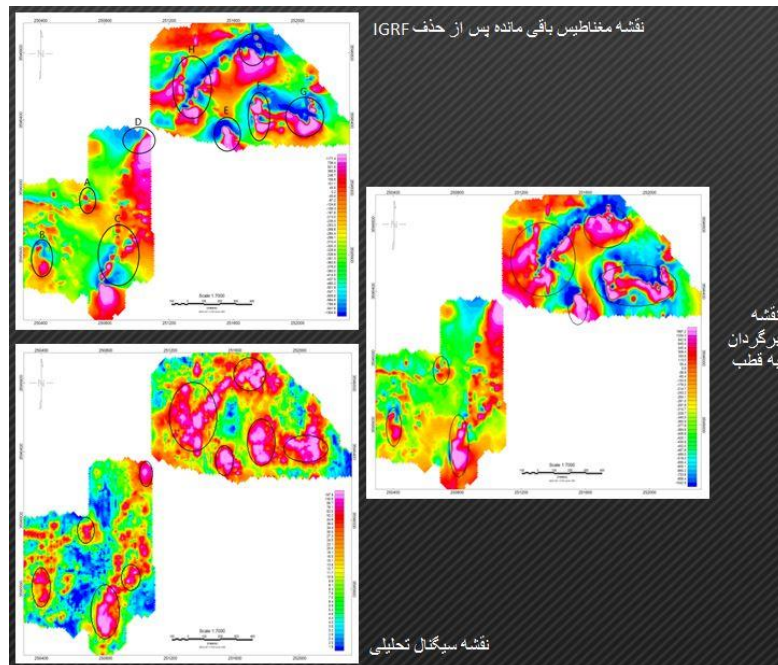


- تعیین دقیق واحدهای سنگی که امکان پتانسیل کانی زایی، آلتراسیون های آرژیلیک و فیلیک و پروپلیتیک، مناطق حاوی کانی های آهن دار و اکسید آهن و گسل ها و خطواره ها میسر شد.
- از پردازش داده های مغناطیس هوایی گسل و خطواره و توده های نفوذی مطابق شکل زیر حاصل





- مطالعات مغناطیس سنجی زمینی بر روی یکی از مناطق آنومال انجام شد که نتایج آن به صورت شکل زیر است.



- پس از حذف اثر IGRF در داده‌های مغناطیس زمینی مشخص گردید که محدوده دارای چند بیشینه در جنوب غرب و بیشینه‌های دیگری در شمال شرق محدوده است. این بی‌هنجاری‌ها منطبق بر واحدهای سنگی آذرین (ریولیت) و گسل‌های محدوده هستند.
- با اعمال فیلتر برگردان به قطب بر روی داده‌های مغناطیس زمینی مشخص گردید که آنومالی‌های A و B و C در جهت شمال شیب دارند و آنومالی D در جهت شمال غرب و آنومالی‌های E و F و G و H و I دارای شیب به سمت شمال شرق هستند.
- با اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های مغناطیس زمینی مشخص گردید که آنومالی‌های F و G و همچنین H و I در شمال شرق پیوسته هستند.
- با اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی شکل و محل تقریبی آنومالی نیز مشخص گردید.

## ۱-۶ پیشنهادات

- با توجه به وجود اندیس‌های معدنی و ذخایر دفن شده در زیر رسوبات در این ناحیه پیشنهاد

می‌شود از روش‌های مغناطیس‌سنجی هوایی و یا مغناطیس‌زمینی با فواصل کم جهت‌شناسایی آنومالی‌ها استفاده گردد.

- از دیگر روش‌های دانش‌محور جهت تلفیق داده‌ها استفاده گردد و نتایج آن با دو روش انجام شده مقایسه گردد.

- جهت تعیین دقیق عمق و شکل و حجم آنومالی در داده‌های مغناطیس‌زمینی از مدل‌سازی استفاده شود.

- از سایر روش‌های ژئوفیزیکی مانند گرانی‌سنجی و ژئوالکتریک که کمک به شناسایی دقیق مرز آنومالی آهن می‌کند، در محدوده اکتشافی کهرنگ استفاده شود.

- با توجه به بازدید صورت گرفته از محدوده کهرنگ پیشنهاد می‌گردد مطالعات ژئوشیمیایی نیز در این منطقه صورت گیرد.

## منابع

- ابوتراب، ش.، خاکزاد، ا.، قریب، ف.، مهدی‌زاده تهرانی، س. (۱۳۹۴). "پتانسیل‌یابی طلای‌آبی ترمال در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط GIS"، *انجمن علوم زمین*، (۲۱)، ص ۱۱۱-۱۲۴.
- باباحمدی، ع. (۱۳۸۸). *کاربردهای سنجش از دور (RS) در زمین‌شناسی*، تهران، انتشارات آوای قلم.
- جاهدی، ف.، فرخی، ش. (۱۳۸۳). *ترجمه کتاب مبانی سنجش از دور*، انجمن سنجش از دور ژاپن، انتشارات مرکز سنجش از دور ایران.
- حسینی، س.، کامکار روحانی، ا.، عرب‌امیری، ع.، ابراهیمی، س. (۱۳۸۸). "پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیسی، دورسنجی و زمین‌شناسی به‌منظور اکتشاف ذخایر آهن در شمال شرق میامی"، *سی و یکمین همایش علوم زمین، تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*.
- دانشور صابین، ل.، رسا، ا. (۱۳۸۸). "بررسی و تلفیق داده‌های زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوشیمی به‌منظور شناسایی محدوده‌های امیدبخش در برکه ۱:۵۰۰۰۰ ده بیرآبان (سیستان بلوچستان)"، *بیست و هفتمین همایش علوم زمین، تهران، ص ۶۳-۸۷*.
- دزفولیان، م.، اکبرپورشیرازی، م. (۱۳۹۰). "مدل‌سازی سنگ‌شناسی در میدان گازی پارس جنوبی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی"، *پژوهش نفت*، ص ۲۰-۱۲.
- رضایی، م.، مرادزاده، ع.، آقاجانی، ح.، نجاتی، ع. (۱۳۹۵). "تصویرسازی کانسار آهن اجتاباد با استفاده از داده‌های مغناطیس‌سنجی"، *مجله ژئوفیزیک ایران*، (۱)، ص ۷۲-۶۱.

- روحبخش، پ.، کریم‌پور، م.، ملک‌زاده، آ. (۱۳۹۳). "مطالعات دورسنجی و مغناطیس‌سنجی در اکتشاف کانسنگ آهن در محدوده درنجال، شمال غربی طبس"، *هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران*.
- سعادت، س. (۱۳۹۵). "زمین‌شناسی، ژئوشیمی و مطالعات مغناطیس‌سنجی زمینی در اکتشاف ذخایر آهن محدوده کلاته ناصر، خراسان جنوبی"، *مجله زمین‌شناسی اقتصادی*، (۲)، ۸، ص ۶۰۷-۵۹۳.
- شایسته‌فر، م.، محمدی، م.، رضایی، ع.، رنجبر، ح. (۱۳۹۳). اکتشاف کرومیت با استفاده از آنالیز داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی ۱:۵۰۰۰۰ آبدشت، اسفندقه کرمان، *فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین*، (۹۴)، ۲۴، ص ۳۵-۴۰.
- شرکت تعاونی معدنی یاقوت ظفر یزد. (۱۳۹۷). "گزارش پایان اکتشاف معدن سنگ آهن کهرنگ".
- شرکت کارا. (۱۳۹۵). "مطالعات گرانی‌سنجی و تلفیق نتایج با مطالعات مغناطیس‌سنجی محدوده سنگ آهن حوض ولی".
- صفایی، ص.، فرهنگیان، م.، افشاری، س.، کیانپوریان، ص. (۱۳۹۴). "اکتشاف کانسار آهن سنقر با استفاده از داده‌های ماهواره ای و مغناطیس‌سنجی، *کنگره بین‌المللی تخصصی علوم و زمین*.
- عباس زاده، م.، هزارخانی، ا. (۱۳۸۹). "نقشه‌برداری دگرسانی‌های گرمابی با استفاده از تصاویر استر در محدوده رابر، کرمان"، *مجله علوم زمین*، (۸۷)، ص ۱۲۸-۱۲۳.
- عباسی، م.، ادیب، ا. (۱۳۹۴)، "ارتباط کانی‌زایی فلزی با ساختارها در محدوده اردکان یزد بر اساس داده‌های ژئوفیزیک، زمین‌شناسی و دورسنجی"، *سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین*.

- علمدار، ک.، انصاری، ع. (۱۳۸۸). "تفسیر بی‌هنجاری‌های میدان مغناطیسی با روش تصویرسازی پارامترهای توده (SPI)", *مجله ژئوفیزیک ایران*، (۲) ۳، ص ۲۵-۴۰.
- علوی پناه، ک. (۱۳۸۹). "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین"، انتشارات دانشگاه تهران.
- قدسی‌پور، ح. (۱۳۸۸). "مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ هفتم، ص ۲۲۰-۲۲۶.
- کاشفی، ا.، ضیایی، م.، ضیایی، م.، پشنگ، ع. (۱۳۹۴). "پتانسیل‌یابی ذخایر کرومیت با استفاده از تلفیق داده‌های ژئوفیزیک و ژئوشیمی، دورسنجی و زمین‌شناسی"، *هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران*.
- کاویانی صدر، خ.، خطیب، م.، زرین‌کوب، م. (۱۳۹۲). "ارتباط وضعیت ساختاری با کنهزائی بر اساس داده‌های مغناطیس‌هوایی، ماهواره‌ای و مطالعات صحرایی محدوده معدنی چشمه خوری (شمال باختر بیرجند)", *مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*، (۹) ۱۰، ص ۵۴-۶۲.
- کریم‌پور، م. (۱۳۹۴). "زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- مستوفی، ر. (۱۳۸۰). "نقش معادن در توسعه اجتماعی و اقتصادی روستاهای بخش خرانق"، *مجله جغرافیا و توسعه*، (۱۳) ۳، ص ۱۸۸-۲۱۲.
- مشهدی، ر. (۱۳۹۵). "نگاهی بر مغناطیس‌سنجی و کاربردهای آن". *فصلنامه علمی، تخصصی مهندسی معدن*، (۳۷) ۱۹، ص ۲۷-۴۰.
- ملکی، ا.، حصادی، ه.، نادریان، ب. (۱۳۹۲). "مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان حوضه آبریز مرگ"، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، (۱۲) ۵، ص ۱۵۴۸-۱۵۵۴.
- Abrams, M. J., Rothery, D. A., & Pontual., A. (1988). "Mapping in the Oman ophiolite using enhanced Landsat Thematic Mapper images". *Tectonophysics*, 151(1-4), 387-401.

- Alesheikh, A. A., Soltani, M. J., Nouri, N., & Khalilzadeh, M. (2008). "Land assessment for flood spreading site selection using geospatial information system". *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5(4), 455-462.
- Aydal., D., Arda1, E., & Dumanlilar, Ö. (2007). "Application of the Crosta technique for alteration mapping of granitoidic rocks using ETM+ data: case study from eastern Tauride belt (SE Turkey)". *International Journal of Remote Sensing*, 28(17), 3895-3913.
- Barak, S., Bahroudi, A., & Jozanikohan, G. (2018). "Exploration of Kahang porphyry copper deposit using advanced integration of geological., remote sensing, geochemical., and magnetics data". *Journal of Mining and Environment*, 9(1), 19-39.
- Bierwirth, P. (2002). **Evaluation of ASTER satellite data for geological applications.** *Consultancy Report to Geoscience Australia.*
- Bonham-Carter, G.F., (1994). "Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS". *Computer methods in the geoscientists*, 13, p.398.
- Bonham-Carter, G. F. (1996). "Geographic Information Systems for Geosciences, Modeling With GIS". *Computer Methods in the Geosciences Vol. 13.*
- Carranza, E. J. M. (2008). *Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS (Vol. 11).* Elsevier.
- Chavez, P. S., Berlin, G. L., & Sowers, L. B. (1982). "Statistical method for selecting landsat MSS". *International journal of remote sensing*, 8(1), 23-30.
- Chianese, D., D'Emilio, M., Bavusi, M., Lapenna, V., & Macchiato, M. (2006). "Magnetic and ground probing radar measurements for soil pollution mapping in the industrial area of Val Basento (Basilicata Region, Southern Italy): a case study". *Environmental Geology*, 49(3), 389-404.
- Currenti, G., Napoli, R., Carbone, D., Del Negro, C., & Ganci, G. (2007). "Inverse modeling in geophysical applications". **In *Applied And Industrial Mathematics In Italy II* (pp. 279-290).**
- Dai, F. C., & Lee, C. F. (2002). "Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong". *Geomorphology*, 42(3-4), 213-228.
- Gautneb, H. Å. V. A. R. D., & Tveten, E. I. N. A. R. (2000). "The geology, exploration and characterisation of graphite deposits in the Jennestad area, Vesteralen, northern Norway". **NORGES GEOLOGISKE UNDERSOKELSE, 436, 67-74.**

- Girouard, G., Bannari, A., El Harti, A., & Desrochers, A. (2004). "Validated spectral angle mapper algorithm for geological mapping: comparative study between QuickBird and Landsat-TM". In *XXth ISPRS congress, geo-imagery bridging continents, Istanbul, Turkey* (pp. 12-23).
- Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Mizuhiko, S., Ueda, K., & Mauger, A. J. (2005). "Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia". *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 159-172.
- Gao, J. (2009). **Decision Tree Image Analysis, Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery book.**
- Gupta, R. P., (2003). "**Remote Sensing Geology. Second Edition. Springer-Verlag**". Berlin.655pp.
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2013). "*An introduction to geophysical exploration*". John Wiley & Sons.
- Korhonen, K., Paananen, M., & Paulamäki, S. (2004). "*Interpretation of Lineaments from Airborne Geophysical and Topographic Data: An Alternative Model Within Version 1.2 of the Formark Modelling Project*". SKB.
- Kusky, T. M., & Ramadan, T. M. (2002). "Structural controls on Neoproterozoic mineralization in the South Eastern Desert, Egypt: an integrated field, Landsat TM, and SIR-C/X SAR approach". *Journal of African Earth Sciences*, 35(1), 107-121.
- Li, Y., & Oldenburg, D. W. (1996). "3-D inversion of magnetic data". *Geophysics*, 61(2), 394-408.
- Li, Y., & Oldenburg, D. W. (1998). "Separation of regional and residual magnetic field data". *Geophysics*, 63(2), 431-439.
- Liang, S., Fang, H., & Chen, M. (2001). "Atmospheric correction of Landsat ETM+ land surface imagery. I. Methods". *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 39(11), 2490-2498.
- Lillesand, T.M., Chipman, J.W., Kiefer, R.W., (2004). "**Remote sensing and image interpretation**". New York.
- Malczewski, J., (1999). "**GIS and multicriteria decision analysis**", published in Canada and printed in USA, 392p.



- Malczewski, J. (2006). "Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis". *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 8(4), 270-277.
- Moon, W. M. (1989). "Integration of remote sensing and geophysical/geological data using Dempster-Shafer approach". In *12th Canadian Symposium on Remote Sensing Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (Vol. 2, pp. 838-841). IEEE.
- Oppenheimer, C. (1998). "Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing". *Geological Magazine*, 135(6), 819-842.
- Pal, S.K., Bhattacharya, A.K. and Majumdar, T.J., (2006). "Geological interpretation from Bouguer gravity data over the Singhbhum-Orissa Craton and its surroundings: a GIS approach". *Journal of Indian Geophysical Union*, 10(4), pp.313-325.
- Parker, R. L., & Huestis, S. P. (1974). "The inversion of magnetic anomalies in the presence of topography". *Journal of Geophysical Research*, 79(11), 1587-1593.
- Pereira, A. M., Moreira, C. A., Bortolin, J. R. M., Lopes, S. M., & Nardy, A. J. R. (2015). "Magnetometric exploration in intrusive basic with evidence of gold in northern region of the Camaquã Sedimentary Basin (RS)". *Rem: Revista Escola de Minas*, 68(2), 163-169.
- Ranjbar, H., (2017). Arsia Moghtaderi Farid Moore. *Journal of Applied Remote Sensing*, 16027, p.1.
- Robinson, E.S. and Coruh, C. (translated by Haydarian Shahri, M.R.), (2005). "Basic exploration geophysics". Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, 750 pp.
- Roest, W. R., Verhoef, J., & Pilkington, M. (1992). Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57(1), 116-125.
- Rokos, D., Argialas, D., Mavrantza, R., Seymour, K. S., Vamvoukakis, C., Kouli, M., ... & Denes, G. (2000). "Structural analysis for gold mineralization using remote sensing and geochemical techniques in a GIS environment: island of Lesbos, Hellas". *Natural Resources Research*, 9(4), 277-293.
- Rothery, D. A. (1987). "Improved discrimination of rock units using Landsat Thematic Mapper imagery of the Oman ophiolite". *Journal of the Geological Society*, 144(4), 587-597.
- Rowan, L. C. (1998). "Analysis of simulated advanced spaceborne thermal emission and reflection (ASTER) radiometer data of the Iron Hill, Colorado, study area for mapping lithologies". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D24), 32291-32306.

- Srivastav, S. K., Bhattacharya, A., Kamaraju, M. V. V., Reddy, G. S., Shrimal., A. K., Mehta, D. S., ... & Burger, H. (2000). "Remote sensing and GIS for locating favourable zones of lead-zinc-copper mineralization in Rajpura-Dariba area, Rajasthan, India". *International Journal of Remote Sensing*, 21(17), 3253-3267.
- Tangestani, M. H., Mazhari, N., Agar, B., & Moore, F. (2008). "Evaluating Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semi-arid area, northern Shahr-e-Babak, SE Iran". *International Journal of Remote Sensing*, 29(10), 2833-2850.
- Tarlowski, C., Gunn, P. J., & Mackey, T. (1997). "Enhancements of the magnetic map of Australia". *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 77-82.
- Van Der Werff, H., & Van Der Meer, F. (2016). "Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI provide data continuity for geological remote sensing". *Remote sensing*, 8(11), 883.
- Volesky, J. C., Stern, R. J., & Abdelsalam, M. G. (2001). "Mineral exploration with LANDSAT ETM+ and ASTER data in the Wadi Bidah mineral district, Saudi Arabia". *In GSA Annual Meeting*.

## ABSTRACT

**Aims:** The purpose of this research is to find promising areas in the Chk-Chak area of Yazd province. The study range is in the latitude of 33 to 33 degrees north and longitude 54 to 55 degrees east.

**Methodology:** In this study, were used the geological information in four maps of 100,000 populated areas in Yazd province, Landsat 7 and Sentinel 2 satellite aerial magnetic data and aerial magnetic data to provide effective layers for identifying promising areas. Lithic unit information layers, faults and lineaments, alteration and iron oxide, and deeper intrusive intrusions have been prepared using geological, remote sensing, and aerial geophysical data. These layers are integrated in GIS environment with fuzzy overlay and logic methods. A number of points have been harvested in a range by terrestrial magnetization after plotting promising mineralization zones. The extracted data were corrected and various maps were prepared and the most suitable mineralization sites were identified for the continuation of exploration activities.

**Results:** Based on the findings of the study, the bond composition of 3.1, 4.3 and 5.7 ETM + zinc oxide zones, vegetation and alteration and clay minerals and clay compositions ratios of 11.12 and 4.11 And 4.2 Sentinel sensors clearly showed iron oxide, ferrous and alteration minerals and clay minerals. precise determination of rock units allowing mineralization potential, argillic and phyllic and propylitic alterations, zones containing iron and iron oxide minerals and faults and lineaments were made possible by using remote sensing data. In the processing of aeromagnetic data, the anomalous regions were better characterized by increasing the degree of curve fitting to a third degree level. Surface anomalies were better identified after applying vertical derivative filters to aeromagnetic data because the effect of large and deep anomalies had disappeared. The results of the analytical signal showed the presence of masses with multiple magnetic abnormalities, indicating the approximate position of the abnormal edges in the study area. The map obtained by applying Tilt filter, analytical signal as well as map derived by applying horizontal derivative filter in different directions, faults and lineaments. The fault layers and lineaments, rock units associated with mineralization, iron oxide, alteration and intrusive bodies were combined with two knowledge-based methods of multi-class and fuzzy index overlap that identified the anomalous zones. The results of these two methods almost confirmed each other. The

analysis of terrestrial magnetism data also revealed that the range has several peaks in the southwest and other peaks in the northeast after eliminating the effect of IGRF on the terrestrial magnetism data. These anomalies are consistent with igneous rock units (rhyolites) and fault faults.

**Conclusion:** Promising anomalous ranges were obtained in the area by combining geological, telemetry and aeromagnetic exploration layers. Suitable areas for exploration were suggested based on the results.

**KEYWORDS:** Remote sensing data, Magnetometry, Data integration, GIS, Promising ranges.



**Faculty of Mining, Petroleum and Geophysical Engineering  
Mining Exploration Engineering**

**Thesis for Master's Degree**

**Title**

**Investigation of Mineralization Potential of North of Chak-Chak  
Range in Yazd Province By Using Remote Sensing and Magnetometry Data**

**By:**

**Ali Akbar Aali**

**Supervisors:**

**Dr. Hamid Aghajani**

**Dr. Seyed Reza Ghavami Riyabi**

**February 2020**