

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

کاربرد سنجش از دور در اکتشاف فلزات پایه در جنوب شرق دریاچه نمک قم

نگارنده: الهام عبداللهی

اساتید راهنما:

دکتر حمید آقاجانی

دکتر آرزو عابدی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۶

تقدیم اثر

تقدیم به پدر و مادرم

که از محاسن صلابت

از رفقایشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

خواهر و برادران عزیزتر از جانم که وجودشان شادی، بخش و مایه آرامش من است.

شکر و قدردانی

پس از ارادت خاضعانه به درگاه خداوند بی همتا، به رسم ادب و احترام بر خود واجب می دانم از کسانی که در تهیه این تحقیق مرایاری نموده اند شکر و قدردانی نمایم.

در ابتدا از اساتید فرزانه و بزرگوارم به ویژه آقای دکتر حمید آقا جانی و خانم دکتر آرزو عابدی که با راهنمایی ها و نظرات ارزنده - شان نقش مهمی در به ثمر رساندن این پایان نامه داشته اند صمیمانه شکر و قدردانی می نمایم و سلامتی و موفقیت ایشان را از ایزد منان خواستارم.

از آقای مهندس مهدی ضیایی و مهندس وحید زارعی که از تجربیات آنها در انجام این تحقیق استفاده شده است تقدیر و شکر می کنم.

از اعضای خانواده ام که با صبر و بردباری مشوق من در این راه بوده اند و دوستان عزیزم که هر کدام به نوعی در انجام این پروژه نقش داشته اند قدردانی می کنم.

الهام عبدالمسی

تابستان ۱۳۹۶

تعهد نامه

اینجانب الهام عبداللهی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معدن- اکتشاف دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کاربرد سنجش ازدور در اکتشاف فلزات پایه در جنوب شرق دریاچه نمک قم تحت راهنمایی آقای دکتر حمید آقاجانی و خانم دکتر آرزو عابدی به عنوان استاد راهنما متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام <<دانشگاه صنعتی شاهرود>> و یا <<shahrood university of technology>> به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج ازپایان نامه / رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۹۶/۰۶/۲۲

الهام عبداللهی

مالکیت نتایج و حق و نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

از مهمترین مراحل اکتشاف معدنی مرحله اکتشاف مقدماتی می باشد که در این مرحله اغلب کارشناس با حجم زیادی از داده ها با ماهیت متفاوت همچون داده های زمین شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و دورسنجی روبه رو می شود. در روش های سنتی هر یک از مجموعه اطلاعات یادشده به طور جداگانه تحلیل و تفسیر می شدند؛ اما امروزه با استفاده از روش های تلفیق اطلاعات، می توان بررسی های اکتشافی را به صورت یکجا بر روی تمامی داده های در دسترس از منطقه مورد مطالعه انجام داد. بدیهی است نتایجی که با در نظر گرفتن کلیه داده ها و ارتباط بین آنها به دست می آید، دارای دقت و اطمینان بیشتری است.

منطقه مورد مطالعه بخشی از ورقه های زمین شناسی یکصد هزارم کوه یخاب، کوه لطیف، کوه دم، سرخشاد و قلعه سردار را در بر گرفته و جنوب شرق دریاچه نمک قم واقع شده است. هدف از این تحقیق تعیین مناطق مستعد برای کانی سازی فلزی با استفاده از تلفیق لایه های مختلف اطلاعاتی در محیط GIS می باشد. برای این منظور از داده های زمین شناسی، ماهواره ای و ژئوفیزیکی استفاده شد. در بخش دورسنجی تصاویر ماهواره ای ASTER و ETM+ با ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، کمترین مربعات رگرسیون شده، آنالیز مولفه اصلی و نقشه بردار زاویه طیفی پردازش شدند و آلتراسیون های آرژلیک، فیللیک، پروپلیتیک و مناطق حاوی اکسیدهای آهن شناسایی شده و واحدهای سنگی نیز تفکیک شد. نتایج نشان می دهد اغلب، دگرسانی ها در واحدهای آذرین دوران ائوسن اتفاق افتاده، که موقعیت مناطق بارز شده برای دگرسانی آرژلیک با موقعیت مناطقی که بر روی نقشه زمین شناسی برای این دگرسانی مشخص شده تطابق دارد. خطواره ها نیز با استفاده از فیلترهای مختلف تشخیص داده شد که روند شمال غرب - جنوب شرق، روند غالب برای گسل های منطقه تشخیص داده شد. در بخش ژئوفیزیک از داده های مغناطیس هوابرد منطقه استفاده شد و در نقشه های حاصل از اعمال فیلترهای مختلف مانند

برگردان به قطب، مشتق قائم و زاویه تمایل موقعیت و محل توده‌های نفوذی موجود در منطقه شناسایی شد.

در انتها لایه‌های اطلاعاتی که شامل لایه دگرسانی، لایه واحد سنگی و لایه خطواره‌ها می‌باشد، در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه و با استفاده از روش همپوشانی ساده تلفیق گردیده و نقشه مناطق مطلوب تهیه شد. سپس مناطق با اولویت اکتشافی در منطقه مورد مطالعه برای انجام فعالیت‌های اکتشافی تعیین شد. برای ارزیابی مطلوبیت نقشه به دست آمده موقعیت کانسارهای شناخته شده در منطقه بررسی و معلوم شد که کانسار طلای کوه دم یکی از مناطق است که به عنوان نواحی امیدبخش معرفی شده و می‌تواند صحت نتایج را تایید کند. همچنین گزارش متالوژنی موجود از منطقه نیز حضور آنومالی عناصر فلزی مانند مس، طلا، سرب و روی را در بخش‌های معرفی شده تایید می‌کند.

کلمات کلیدی: زمین‌شناسی، سنجش از دور، مغناطیس هوایی، تلفیق، مناطق امیدبخش، جنوب شرق دریاچه نمک قم

مقالات مستخرج

- عبداللهی ا. آقاجانی ح . عابدی آ.، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM+ برای شناسایی دگرسانی آرژلیک در جنوب شرق دریاچه نمک قم ، بیست و چهارمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۶ و ۷ بهمن ماه ۱۳۹۵، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- عبداللهی ا. آقاجانی ح . عابدی آ.، مطالعات دورسنجی برای بارزسازی دگرسانی‌های آرژلیک، پروپیلیتیک و فلیک در جنوب شرق دریاچه نمک قم، نهمین همایش ملی زمین‌شناسی اقتصادی ایران ۱۶-۱۷ شهریور ۱۳۹۶، دانشگاه بیرجند.

فهرست مطالب

فصل اول	۱
کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ موقعیت جغرافیای منطقه و راه‌های ارتباطی آن	۳
۳-۱ ژئومورفولوژی و آب و هوای منطقه	۳
۴-۱ کارهای انجام شده قبلی در منطقه	۴
۵-۱ ضرورت و هدف انجام تحقیق	۵
۶-۱ روش انجام تحقیق و گردآوری اطلاعات	۶
۷-۱ داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده	۶
۸-۱ ساختار پایان‌نامه	۷
۹-۱ نمودار جریان کاری تحقیق	۷
فصل دوم	۹
زمین‌شناسی منطقه جنوب شرق دریاچه‌ی نمک قم	۹
۱-۲ مقدمه:	۱۰
۲-۲ شرح واحدهای سنگی منطقه	۱۱
۱-۲-۲ پالئوزوئیک	۱۱
۲-۲-۲ کرتاسه	۱۱
۳-۲-۲ پالئوسن	۱۱
۴-۲-۲ واحدهای ائوسن	۱۱
۵-۲-۲ الیگوسن	۱۳
۶-۲-۲ میوسن	۱۳
۷-۲-۲ پلیوسن	۱۳
۸-۲-۲ کواترنر	۱۴
۳-۲ کانی‌سازی در منطقه	۱۴
۱-۳-۲ کانی‌سازی مس	۱۵
۲-۳-۲ کانی‌سازی آهن	۱۵
فصل سوم	۱۷

۱۷	اصول و روش کار تحقیق (سنجش از دور).....
۱۸	۱-۳ مقدمه
۱۸	۲-۳ تاریخچه سنجش از دور
۱۹	۳-۳ فیزیک دورسنجی
۲۰	۴-۳ سنجنده
۲۱	۱-۴-۳ ماهواره لندست، سنجنده $ETM+$
۲۱	۲-۴-۳ ماهواره تراء، سنجنده $ASTER$
۲۲	۵-۳ ویژگی تصاویر ماهواره‌ای
۲۳	۶-۳ سنجش از دور و اکتشاف مواد معدنی
۲۵	۷-۳ پیشینه تحقیق
۲۸	۸-۳ آماده‌سازی و پیش‌پردازش
۲۸	۱-۸-۳ موزاییک
۲۸	۲-۸-۳ برش تصویر
۲۹	۹-۳ پردازش داده‌ها
۲۹	۱-۹-۳ روش ترکیبات رنگی
۳۰	۲-۹-۳ روش نسبت بانندی
۳۱	۳-۹-۳ روش آنالیز مولفه اصلی (PCA)
۳۲	۴-۹-۳ روش آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی (کروستا)
۳۲	۵-۹-۳ روش برازش کمترین مربعات ($ls-fit$)
۳۳	۶-۹-۳ روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM)
۳۵	فصل چهارم
۳۵	پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه جنوب شرق دریاچه‌ی نمک قم
۳۶	۱-۴ مقدمه
۳۶	۲-۴ پردازش تصاویر $ETM+$
۳۶	۱-۲-۴ پیش‌پردازش تصاویر
۳۹	۳-۲-۴ نسبت بانندی
۴۱	۴-۲-۴ ترکیب رنگی تصاویر نسبتی
۴۲	۵-۲-۴ آنالیز مولفه اصلی:
۴۴	۶-۲-۴ آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی (کروستا)

۴-۲-۷ ترکیب تصاویر حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی به صورت تصویر رنگی.....	۴۶
۴-۲-۸ روش برازش کمترین مربعات.....	۴۷
۴-۳-۳ پردازش تصاویر استر.....	۴۸
۴-۳-۱ ترکیب رنگی کاذب.....	۴۸
۴-۳-۲ تصاویر نسبتی.....	۴۹
۴-۳-۳ ترکیب رنگی از تصاویر نسبتی.....	۵۱
۴-۳-۴ تحلیل مولفه اصلی انتخابی (کروستا).....	۵۲
۴-۳-۶ نقشه‌بردار زاویه طیفی.....	۵۶
۴-۴ استخراج خطواره‌ها و گسل‌ها.....	۵۶
۴-۴-۱ فیلترگذاری.....	۵۷
۴-۵ جمع‌بندی.....	۵۹
فصل پنجم.....	۶۱
پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی.....	۶۱
۵-۱ مقدمه.....	۶۲
۵-۲ مبانی و مفاهیم روش مغناطیس‌سنجی.....	۶۲
۵-۳ برگردان به قطب.....	۶۳
۵-۴ نقشه سیگنال تحلیلی.....	۶۵
۵-۵ نقشه مشتق اول قائم.....	۶۶
۵-۶ مشتق تیلر.....	۶۷
فصل ششم.....	۶۹
تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS.....	۶۹
۶-۱ مقدمه.....	۷۰
۶-۲ مدل‌سازی به روش شاخص همپوشانی.....	۷۰
۶-۲-۱ مدل سازی به روش شاخص همپوشانی ساده.....	۷۱
۶-۳ لایه‌های اطلاعاتی.....	۷۲
۶-۳-۱ لایه اطلاعاتی واحد سنگی.....	۷۳
۶-۳-۲ لایه اطلاعاتی دگرسانی.....	۷۴
۶-۳-۳ لایه اطلاعاتی گسل.....	۷۴
۶-۴ تلفیق لایه‌های اطلاعاتی.....	۷۵

فصل هفتم.....	۷۷
اعتبارسنجی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	۷۷
۱-۷ اعتبارسنجی مناطق دارای پتانسیل.....	۷۸
۲-۷ نتیجه‌گیری.....	۸۰
۳-۷ پیشنهادات.....	۸۲

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه..... ۳
- شکل ۱-۲: نمودار جریان کاری تحقیق..... ۸
- شکل ۱-۲: نقشه زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۱۰
- شکل ۱-۳: شمایی از فرآیند سنجش از دور..... ۲۰
- شکل ۲-۳: محدوده طیف امواج الکترومغناطیس..... ۲۰
- شکل ۳-۳: ساختار تصاویر ماهواره‌ای..... ۲۳
- شکل ۳-۴: نواحی جذب و بازتاب برخی کانی‌های دگرسانی..... ۲۴
- شکل ۵-۳: نمودار ارزش رقومی باند ۱ و ۲ و وضعیت مولفه‌های اصلی..... ۳۲
- شکل ۳-۶: زاویه بین بردار طیف تصویر و طیف مرجع..... ۳۴
- شکل ۱-۴: نمودار طیف یک پیکسل..... ۳۷
- شکل ۲-۴: تصویر حاصل از RGB721 برای تفکیک واحدهای سنگی..... ۳۸
- شکل ۳-۴: نواحی جذب و بازتاب کانیهای دگرسانی..... ۳۹
- شکل ۴-۴: تصویر حاصل از نسبت بانندی ۵ به ۷..... ۴۰
- شکل ۵-۴: نمودار بازتاب کانی‌های اکسید آهن..... ۴۱
- شکل ۶-۴: تصویر حاصل از نسبت بانندی ۳ به ۱..... ۴۱
- شکل ۷-۴: تصویر حاصل از RGB(5/7, 5/4, 3/1)..... ۴۲
- شکل ۸-۴: تصویر حاصل از PC3- برای اکسید آهن..... ۴۳
- شکل ۹-۴: تصویر به دست آمده از PC4- برای کانی‌های رسی..... ۴۴
- شکل ۱۰-۴: تصویر PC3 کروستا برای اکسیدهای آهن..... ۴۵
- شکل ۱۱-۴: تصویر PC4- کروستا برای کانی‌های رسی..... ۴۶
- شکل ۱۲-۴: تصویر RGB(H F+H F)..... ۴۷
- شکل ۱۳-۴: تصویر RGB(-LS- FIT7, LS-FIT3, LS-FIT4)..... ۴۸
- شکل ۱۴-۴: تصویر حاصل از ترکیب رنگی RGB(468)..... ۴۹

- شکل ۴-۱۵: تصویر به دست آمده از نسبت بانندی ۵ به ۶ ۵۰
- شکل ۴-۱۶: تصویر به دست آمده از نسبت بانندی ۴ به ۵ ۵۰
- شکل ۴-۱۷: تصویر به دست آمده از نسبت بانندی ۵ به ۸ ۵۰
- شکل ۴-۱۸: تصویر حاصل از نسبت بانندی ۲ به ۱ ۵۱
- شکل ۴-۱۹: تصویر حاصل (RGB(4/5,5/8,5/6) ۵۲
- شکل ۴-۲۰: تصویر به دست آمده از PC3 کروستا برای کانی‌های رسی ۵۳
- شکل ۴-۲۱: تصویر به دست آمده از PC4- کروستا برای دگرسانی پروپلیتیک ۵۳
- شکل ۴-۲۲: تصویر به دست آمده از PC4 برای دگرسانی فلیک ۵۴
- شکل ۴-۲۳: تصویر به دست آمده از PC3 برای مناطق حاوی اکسید آهن ۵۵
- شکل ۴-۲۴: تصویر ترکیب رنگی (RGB(PC3, -PC4, PC3) ۵۵
- شکل ۴-۲۵: تصویر به دست آمده از اعمال روش SAM ۵۶
- شکل ۴-۲۶: گسل‌های استخراج شده در راستای شمال غرب - جنوب شرق ۵۸
- شکل ۴-۲۷: گسل‌های استخراج شده در راستای شرقی - غربی ۵۸
- شکل ۴-۲۸: گسل‌های استخراج شده از نقشه زمین‌شناسی ۵۹
- شکل ۴-۲۹: نقشه نهایی دگرسانی‌های استخراج شده از تصاویر سنجنده ETM+ ۶۰
- شکل ۴-۳۰: نقشه نهایی دگرسانی‌های استخراج شده از تصاویر سنجنده ASTER ۶۰
- شکل ۵-۱: عنصرهای میدان مغناطیسی ۶۴
- شکل ۵-۲: نقشه مغناطیس باقیمانده برگردانده شده به قطب ۶۵
- شکل ۵-۳: نقشه سیگنال تحلیلی ۶۶
- شکل ۵-۴: نقشه حاصل از اعمال مشتق قائم اول ۶۷
- شکل ۵-۵: نقشه مشتق تیل ۶۸
- شکل ۶-۱: الگوریتم تلفیق کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی ۷۲
- شکل ۶-۲: نقشه نهایی سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۷۳
- شکل ۶-۳: نقشه نهایی دگرسانی منطقه مورد مطالعه ۷۴

- شکل ۴-۶: لایه چگالی گسل طبقه‌بندی شده منطقه مورد مطالعه ۷۵
- شکل ۵-۶: نقشه پتانسیل مطلوب منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش همپوشانی ساده ۷۵
- شکل ۱-۷: نقشه متالوژنی انارک و موقعیت محدوده مورد مطالعه در آن ۷۹
- شکل ۲-۷: موقعیت کانسارها بر روی نقشه پتانسیل مطلوب ۷۹
- شکل ۳-۷: نقشه موقعیت مناطق امیدبخش معرفی شده ۸۱

فهرست جداول

جدول ۱-۳: مشخصات سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷.....	۲۱
جدول ۲-۳: مشخصات سنجنده استر.....	۲۲
جدول ۱-۴: مقادیر OIF محاسبه شده برای باندهای سنجنده ETM+.....	۳۸
جدول ۲-۴: مقادیر بردار ویژه برای ۶ باند تصویر.....	۴۲
جدول ۳-۴: مقادیر بردار ویژه برای اکسید آهن.....	۴۴
جدول ۴-۴: مقادیر بردار ویژه برای باندهای ۱-۴-۵-۷.....	۴۵
جدول ۴-۴: نتایج مولفه اصلی انتخابی بر روی باندهای ۱، ۴، ۶ و ۷.....	۵۲
جدول ۵-۴: مقادیر بردار ویژه برای باندهای ۱، ۴، ۵ و ۸.....	۵۳
جدول ۶-۴: مقادیر بردار ویژه برای باندهای ۴، ۵، ۶ و ۹.....	۵۴
جدول ۷-۴: مقادیر بردار ویژه برای باندهای ۱، ۲، ۳ و ۴.....	۵۴

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

بشر از آغاز پیدایش برای ادامه حیات به زمین و مواد تشکیل دهنده آن وابسته بوده است که از میان این مواد فلزات از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. استفاده روزافزون از فلزات باعث شده است که انسان جهت تامین نیازهای خود با استفاده از روش‌های مختلف، درصدد اکتشاف و استحصال این مواد از زمین باشد. بی شک اکتشاف این مواد کار ساده‌ای نبوده و روش‌های خاص خود را می‌طلبد. با توجه به هزینه بالای مطالعات صحرایی، محققین حوزه علوم زمین به طور پیوسته در جست‌وجوی روش‌هایی برای کاهش هزینه، زمان و افزایش دقت در زمینه اکتشاف مواد معدنی هستند بنابراین استفاده از روش‌های نوین مانند دورسنجی اهمیت پیدا می‌کند. سنجش از دور عبارت است از علم به دست آوردن اطلاعات در مورد یک شی، منطقه و یا پدیده از طریق آنالیز داده‌های جمع‌آوری شده به وسیله یک ابزار که در تماس مستقیم با شی، منطقه و یا پدیده مورد مطالعه نمی‌باشد. با توجه به این نکته که مناطق دگرسان شده و گسل‌ها معیارها و نشانه‌های مهمی برای اکتشاف کانسارها هستند و وسعت این زون‌ها تا چندین برابر خود توده معدنی است، از آنها به عنوان راهنمایی در جهت اکتشاف کانسارها استفاده می‌شود.

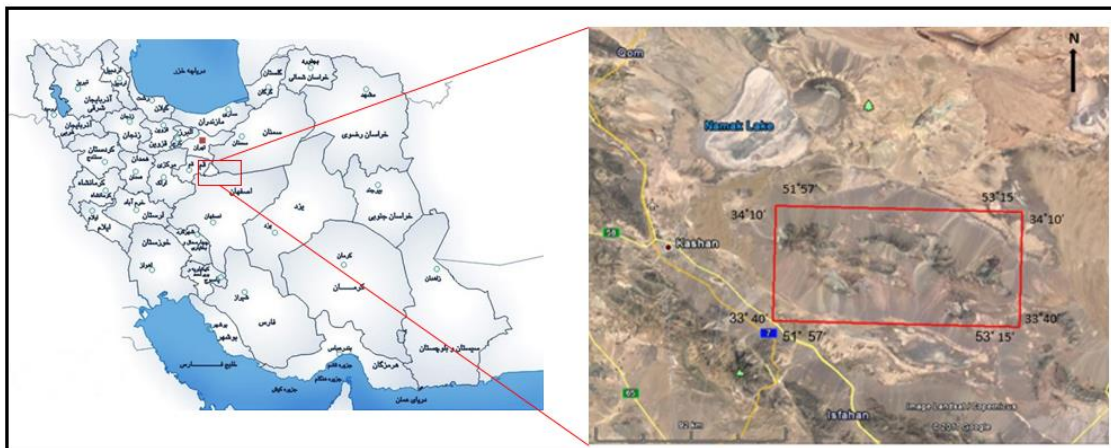
داده‌های سنجش از دور ابزاری است که در سال‌های اخیر در شناسایی این عوامل که نشانه‌های کانی-سازی فلزی می‌باشند کمک بسیاری می‌کند به ویژه این روش در شناسایی ذخایر معدنی در نواحی خشک موثرتر است. بنابراین با استفاده از روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌توان محدوده‌های امیدبخش و دارای پتانسیل کانی‌سازی را در مدت زمان کوتاه‌تر و با صرف هزینه کمتر نسبت به روش‌های دیگر شناسایی کرده و در یک توده خاص بازدید صحرایی را برنامه‌ریزی کرد. مطالعات زیادی بر روی کاربرد تصاویر ماهواره‌ای جهت شناسایی مناطق دگرسانی و اکتشاف مواد معدنی توسط افرادی چون گوئتز و همکاران (۱۹۷۵) در آریزونا، بنت و همکاران (۱۹۹۳) در مکزیک، یتکین (۲۰۰۳) در ترکیه، توماسو و روبینستون (۲۰۰۷) در آرژانتین، دیوید و همکاران (۲۰۱۲) در کانادا، سالم و همکاران (۲۰۱۶) در مصر و عبدالکریم و همکاران (۲۰۱۷) در مصر انجام شده است. در ایران نیز مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است که می‌توان به تحقیقات آقاجانی (۱۳۸۰) در منطقه اسفندقه، رنجبر و شهریاری

(۱۳۸۵) در کرمان، یوسفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) در منطقه جبال بارز، ماهوش‌محمدی و همکاران (۱۳۹۲) در منطقه خونی و کال - کافی اصفهان، رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) در منطقه ترو، قورچی و همکاران (۱۳۹۴) در جنوب سبزوار، صفری و همکاران (۱۳۹۴) در برگه فردوس (خراسان جنوبی) اشاره کرد.

در این تحقیق با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مغناطیس هوایی سعی در شناسایی مناطق مستعد برای کانی‌سازی فلزی در منطقه مورد مطالعه خواهیم داشت.

۲-۱ موقعیت جغرافیای منطقه و راه‌های ارتباطی آن

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق دریاچه نمک قم بین مختصات $51^{\circ}57'$ تا $53^{\circ}15'$ طول شرقی و $33^{\circ}40'$ تا $34^{\circ}10'$ عرض شمالی واقع شده است و بخشی از برگه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کوه‌یخاب، کوه لطیف، کوه دم، سرخشاد و قلعه سردار در استان اصفهان را شامل می‌شود. از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری منطقه در زون ایران مرکزی قرار می‌گیرد. شکل (۱-۱) موقعیت محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳-۱ ژئومورفولوژی و آب و هوای منطقه

ناحیه مورد مطالعه بخش وسیعی از استان اصفهان را دربر می‌گیرد. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا حدود ۷۰۰ متر است. از جنبه اقلیمی این منطقه با آب‌وهوای گرم و خشک در حاشیه کویر مرکزی

ایران قرار گرفته و آب و هوای منطقه بیابانی است و مشخصه ویژه آن تغییر شدید و سریع درجه حرارت، کمی بارش باران و وزش بادهای تند در طول سال است. منابع آب زیرزمینی در این منطقه محدود است.

۱-۴ کارهای انجام شده قبلی در منطقه

از جمله مهم‌ترین مطالعات انجام شده در سطح منطقه، می‌توان به مطالعات زمین‌شناسی شرکت تکنواکسپورت در سال ۱۹۸۱ اشاره کرد.

شرکت تکنواکسپورت (۱۹۸۴) به تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی یکصد هزار کوه یخاب، کوه دم، کوه لطیف، سرخشاد و قلعه سردار پرداختند که توسط رومانکو مورد تجدید نظر قرار گرفته و گزارش آن تهیه گردید.

رومانکو و همکاران (۱۹۸۴) با استفاده از داده‌های ایزوتوپی، ژئوشیمی و بازدید صحرایی به بررسی پتانسیل منطقه از نظر فلززایی پرداخته و نتایج کار خود را در گزارشی تحت عنوان متالوژنی انارک آوردند و مناطقی را به عنوان مناطق مستعد کانی‌زایی معرفی نمودند. خواجه‌علی (۱۳۷۶) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود زمین‌شناسی و پتروولوژی سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی کوه‌های یخاب را مورد مطالعه قرار داد. کنعانیان و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی ارتباط ژنتیکی بین بخش‌های مختلف توده، منشا ماگمای سازنده و جایگاه تکنوتیکی توده نفوذی کوه دم پرداخته‌اند. سرجوقیان و همکاران (۱۳۹۰) فرآیندهای موثر در شکل‌گیری توده نفوذی کوه دم را با استفاده از شواهد ژئوشیمیایی مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که توده اسیدی کوه دم با منشأ پوسته زیرین مرحله‌ای از اختلاط ناقص یا آمیختگی ماگمایی را پشت سر گذاشته است؛ اما توده نفوذی حدواسط - مافیک بر اثر اختلاط پیشرفته‌تر ماگمای مشتق از گوشته و ماگمای پوسته‌ای حاصل شده است. سمیه حمیدپناه (۱۳۹۱) به بررسی ساختار و محیط تکنوتیکی توده نفوذی کوه دم پرداخته است. براساس مطالعات پتروگرافی وی در منطقه رخداد چهار فاز ماگمایی شناسایی شده و نقشه گستردگی گسل‌های منطقه و روند آنها مشخص شده است.

سرجوقیان و همکاران (۱۳۹۴) به سن‌سنجی توده نفوذی کوه‌دم پرداخته و آن را به ائوسن زیرین تا میانی نسبت دادند. جعفری کلکان و جمالی (۱۳۹۴) در بررسی ژئوشیمی خود از منطقه کوه‌یخاب هاله‌های لیتوژئوشیمیایی آن را مورد کاوش و منطقه‌بندی ژئوشیمی قرار دادند. آنها پس از آنالیز نمونه‌ها و مطالعات صحرایی وجود آنومالی طلا، نقره، مس، مولیبدنیم و سرب را تایید کردند.

۱-۵ ضرورت و هدف انجام تحقیق

منابع زیرزمینی شامل مواد معدنی، آب زیرزمینی نقش مهمی در تولید انرژی ایفا می‌کنند. علاوه بر این صنایع مختلف برای تولیدات خود نیازمند مواد خام مختلف زیرزمینی همانند مواد معدنی فلزی و غیرفلزی، نفت و آب می‌باشند. همچنین بخش مهمی از درآمد دولت و بخش خصوصی و ماده اولیه بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی دیگر همچنین حجم قابل توجهی از اشتغال افراد وابسته به استخراج بهره‌برداری منابع زیرزمینی می‌باشد. بنابراین اکتشاف ذخایر معدنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌شود. امروزه روش‌های اکتشافی از حالت سنتی خارج شده و استفاده از روش‌های نوین رونق پیدا کرده است. از جمله اهداف این روش‌ها کاهش هزینه‌های اجرایی پروژه‌های اکتشافی است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و علم سنجش از دور یکی از این روش‌ها می‌باشد. مطالعه و پردازش داده‌های ماهواره‌ای در تشخیص عوارضی نظیر نوع واحد سنگی، کنتاکت‌ها، ساختارهای خطی و مناطق دگرسانی می‌تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم در شناسایی و اکتشاف ذخایر فلزی نظیر مس، آهن و طلا مفید باشند. از مزایای این تکنیک شناسایی یک محدوده وسیع با دقت قابل قبول، سرعت بالا و هزینه کم می‌باشد.

مطالعات قبلی انجام شده در منطقه بیشتر به بررسی زمین‌شناسی، تکتونیک و پترولوژی منطقه پرداخته و کمتر از دیدگاه کانی‌زایی بوده است. با توجه به این نکته که مطالعات دورسنجی در منطقه مورد مطالعه تاکنون صورت نگرفته است، در این پایان‌نامه با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوفیزیکی سعی در شناسایی مناطق مستعد کانی‌سازی در منطقه شده است؛ تا اهداف اکتشافی در محدوده‌های کوچکتری مورد بررسی‌های بعدی قرارگیرد. برای رسیدن به این اهداف از نقشه‌های زمین‌شناسی،

تصاویر سنجنده‌های ^۱ETM+ و ^۲ASTER و داده‌های مغناطیس‌هوایی استفاده شد و سپس نتایج آنها برای تعیین مناطق امیدبخش در نرم‌افزار Arc GIS تلفیق شد.

۱-۶ روش انجام تحقیق و گردآوری اطلاعات

در این تحقیق، نخست ویژگی‌های مواد معدنی فلزی و عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی آنها بررسی شده و سپس به جمع‌آوری و مطالعه منابع موجود پرداخته می‌شود. با تهیه داده‌های منطقه مربوطه، از روش‌های مختلف پردازش داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی لندست و ترا برای شناسایی و تفکیک دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی، خطواره‌ها و گسل‌ها استفاده شده است. به این منظور از روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، تحلیل مولفه‌های اصلی، کروستا و نقشه‌بردار زاویه طیفی استفاده شده است. برای انجام عمل پیش‌پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای موجود از نرم‌افزارهای ^۳ENVI و ArcGIS استفاده و سپس نتایج حاصل با نتایج بررسی‌های مغناطیس‌سنجی هوایی و گزارش‌های موجود از منطقه اعتبار-سنجی شده است.

۱-۷ داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER (مربوط به سال ۲۰۰۳) و سنجنده ^۱ETM+ (مربوط به سال ۲۰۰۱)، داده‌های مغناطیس‌هوایی و نقشه‌های زمین-شناسی محدوده مورد نظر است. برای انجام پردازش تصاویر ماهواره‌ای از نسخه ۴,۷ نرم‌افزار ENVI، محاسبات آماری نرم‌افزار EXCEL، رقومی‌کردن نقشه‌ها از نسخه ۱۰,۳ نرم‌افزار ARC GIS و برای پردازش داده‌های مغناطیسی از نسخه ۶,۴ نرم‌افزار Oasis Montaj استفاده شده است.

^۱ Enhanced Thematic Mapping

^۲ Advance Spaceborn Thermal Emission And Radiometer

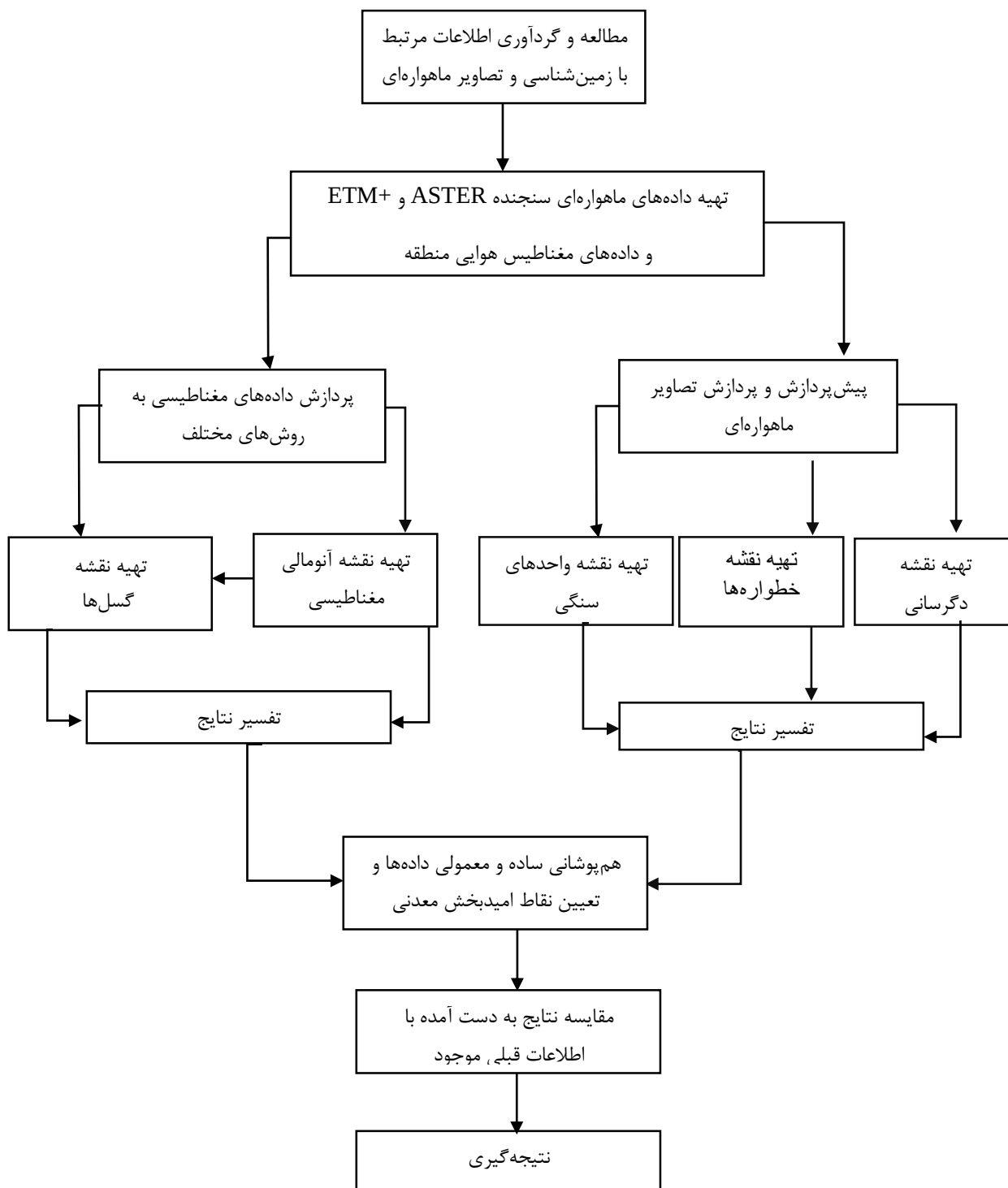
^۳ Environment for Visualizing Image

۸-۱ ساختار پایان نامه

این پایان نامه شامل ۷ فصل است. در فصل اول توضیحاتی درباره‌ی کلیات منطقه، ضرورت، اهداف و روش تحقیق ارائه شده است. فصل دوم متشکل از اطلاعات زمین شناسی براساس نقشه‌ها و گزارش‌های زمین شناسی موجود خواهد بود. در فصل سوم به مبانی دورسنجی و کاربرد آن در اکتشاف معدن پرداخته خواهد شد. در فصل چهارم پردازش و تفسیر تصاویر سنجنده‌های ETM+ و ASTER آورده شده است. در فصل پنجم به تجزیه و تحلیل داده‌های مغناطیس هوایی پرداخته شده و مناطقی که اهمیت اکتشافی دارند مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل ششم نحوه تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و نحوه انجام عملیات تلفیق توضیح داده شده است. در نهایت در فصل هفتم نتایج حاصل از بررسی‌های صورت گرفته اعتبارسنجی شده و نتایج حاصل از این تحقیق و پیشنهادات ارائه شده است.

۹-۱ نمودار جریان کاری تحقیق

برای انجام این تحقیق از داده‌های سنجش از دور و مغناطیس هوایی و نیز داده‌های زمین شناسی موجود استفاده شده است. نتایج بررسی‌های انجام شده براساس نتایج بررسی‌های قبلی اعتبارسنجی شده است. در شکل (۹-۱) نمودار جریان کاری مراحل تحقیق این پایان نامه ارائه شده است.



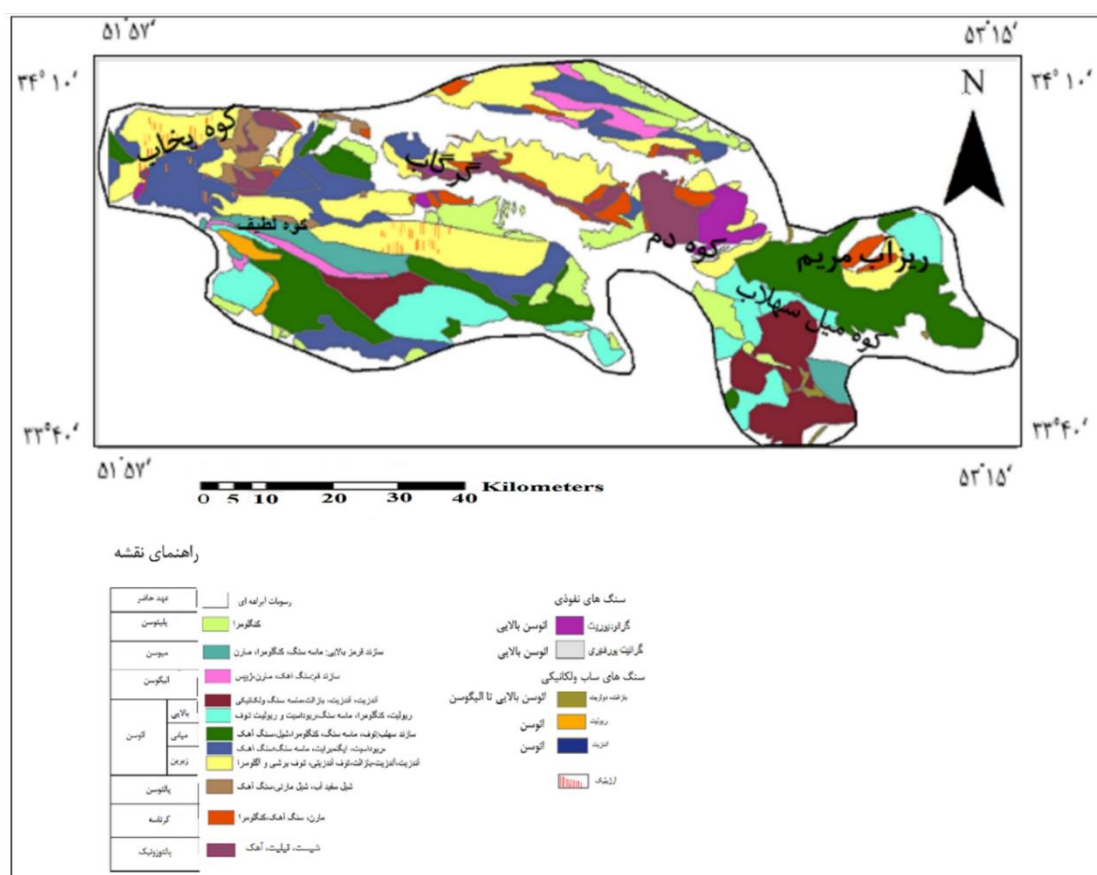
شکل ۱-۲: نمودار جریان کاری تحقیق

فصل دوم

زمین‌شناسی منطقه جنوب شرق دریاچه‌ی نمک قم

۱-۲ مقدمه:

با توجه به قرارگیری محدوده مورد مطالعه در پنج برکه زمین‌شناسی، نقشه‌های موجود پس از زمین-مرجع شدن موزاییک شده و سپس منطقه مورد نظر که بین مختصات $33^{\circ}40'$ تا $34^{\circ}10'$ عرض شمالی و $51^{\circ}57'$ تا $53^{\circ}15'$ طول شرقی قرار می‌گیرد از نقشه کلی جدا گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 به رقومی‌سازی و ساده‌سازی نقشه پرداخته شد (شکل ۱-۲). در ادامه به معرفی واحدهای رخنمون‌دار در منطقه براساس نقشه‌های زمین‌شناسی کوه یخاب، کوه‌دم، کوه لطیف، قلعه-سردار و سرخشاد و گزارش زمین‌شناسی انارک (Technoexport, 1984) پرداخته می‌شود.



شکل ۱-۲: نقشه زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

۲-۲ شرح واحدهای سنگی منطقه

با توجه به نقشه زمین‌شناسی و گزارش موجود واحدهای سنگی منطقه از قدیم به جدید عبارتند از:

۲-۲-۱ پالئوزوئیک

سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک مانند شیست و فیلیت قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در منطقه است. سنگ‌های دگرگونی کوه دم با ترکیب سنگی فیلیت و آهک بلورین با میان لایه‌های ماسه سنگ دگرگون شده تقریباً بیشتر آنها تحت نفوذ و تزریق رگه‌های کوارتز قرار گرفته‌اند. این واحد دارای روند شرقی-غربی بوده و از کوه دم تا کوه گرگاب دارای رخنمون است. در شمال کوه لطیف طبقاتی همانند سری کوه دم رخنمون دارد که متشکل از آهک متبلور و فیلیت در حد رخساره شیست سبز است و ترکیب سنگی و رخساره‌ای همسان کوه دم دارد. در ورقه زمین‌شناسی کوه یخاب نیز واحدهای همسان دارای رخنمون هستند.

۲-۲-۲ کرتاسه

این واحد متشکل از مارن، سنگ آهک و کنگلومرا است و رخنمون‌هایی در کوه دم و گرگاب دارد.

۲-۲-۳ پالئوسن

سنگ‌های پالئوسن از مواد تخریبی دانه درشتی تشکیل شده است. در شمال غرب منطقه در کوه گرگاب از کنگلومرای قرمز قهوه‌ای در گودی‌های به جای مانده از کرتاسه را پر کرده است. در این مجموعه میان لایه‌هایی از ماسه سنگ کوارتزار و مارن قرمز وجود دارد. قطعات کنگلومرا گردش‌گی خوبی یافته‌اند و عموماً از سنگ‌های آهکی کرتاسه جدا شده‌اند. روی طبقات کنگلومرا لایه‌های آهکی حاوی فسیل‌های پالئوسن وجود دارد.

۲-۲-۴ واحدهای ائوسن

بخش عمده منطقه به وسیله سنگ‌های آتشفشانی ائوسن پوشیده شده است و دارای گسترش شمال-غرب-جنوب شرق هستند. توده‌های آتشفشانی ائوسن همراه آذرآواری‌های مربوطه در جهت جانبی و قائم به سرعت نسبت به هم تغییر و تبدیل نشان می‌دهند و همین امر باعث دشواری در مطالعه و تحلیل

این سری است. سن مجموعه ائوسن از پایین تا بالای ائوسن را شامل می شود و به طور عمده متشکل از سنگ های آتشفشانی یا رسوبی است.

۲-۲-۴-۱ ائوسن زیرین

ائوسن زیرین به دو واحد پایینی با ترکیب سنگ های آندزیتی و بالایی به طور عمده شامل ریوداسیت، توف و ایگنمبریت تقسیم شده است. واحد آندزیت زیرین که با دگرشیبی مشخص روی واحدهای پالئوزوئیک، کرتاسه و پالئوسن جای گرفته درکوه گرگاب جنس پورفیری و به ندرت آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت بازالت دارد. ضخامت این واحد ۲۷۰-۲۶۰ متر تخمین زده می شود.

در بین کوه میل سهلاب و کوه دم شامل میان لایه های آتشفشانی و ماسه سنگ توفی گراولستون و کنگلومرای حاصل از فرسایش گدازه های آندزیتی است. در بخش بالایی این مقطع سنگ های تخریبی فراوان هستند. علاوه بر آندزیت، داسیت، توف و توفیت نیز در منطقه وجود دارد. کل ضخامت این واحد در این منطقه بالغ بر ۷۴۵ متر می شود که ۲۱۵ متر آن شامل طبقات ماسه سنگ- کنگلومرا است. ریوداسیت، توف و ایگنمبریت روی ردیف آتشفشانی بین کوه سهلاب و کوه دم جای دارد و سن آن ائوسن زیرین می باشد. این مجموعه شامل صفر تا ۳۱۰ متر توف داسیتی، آندزیت، ایگنمبریت، توف، داسیت و ریوداسیت است که در سایر مقاطع بعضی از طبقات یا وجود ندارد یا توسط رخساره دیگری جایگزین شده است. در کوه گرگاب ترکیبی از طبقات توف داسیتی، توف برش - کنگلومرا آهک گرهرکی، مارن، توف داسیتی، آهک، مارن، توفیت، ایگنمبریت و ریوداسیت وجود دارد که روی آنها را کنگلومرای سازند سهلاب می پوشاند. ضخامت این واحد ۱۷۴ متر بوده و در کوه دم ضخامت آن به ۲۲۰ متر می رسد. سن این سری ائوسن زیرین می باشد.

۲-۲-۴-۲ ائوسن میانی

سازند سهلاب عموماً شامل تناوب مارن، کنگلومرا، آهک، توف ریولیتی، ایگنمبریت و توف است که با داشتن رنگ الوان، لایه بندی منظم و ضخامت های متغیر در تصاویر ماهواره ای به خوبی قابل تفکیک و شناسایی می باشد.

۲-۲-۴-۳ ائوسن فوقانی

در بخش جنوب شرق محدوده به خصوص در کوهستان مهدیه بر روی سازند سهلاب ایگنمبریت، تراکی داسیت، ریوداسیت، ریولیت، آندزیت و آندزیت بازالت به همراه توف‌های مربوطه قرار می‌گیرند. واحد ایگنمبریت که در شرق کوه دم، در ستیغ کوه تنوره، کوه میل سهلاب و کوه مهدیه دارای رخنمون بوده و شامل ایگنمبریت یک دست بنفش، قهوه ای و سبز خاکستری است. این واحد به دلیل ضخامت مناسب، نداشتن لایه بندی و توپوگرافی پرشیب به آسانی قابل شناسایی است. این واحد نزدیک به ۳۰۰ متر ضخامت دارد و با واسطه یک لایه تخریبی فرو نشسته توفی روی سازند سهلاب جای دارد.

واحد توف عموماً از نوع توف اسیدی با رنگ و بافت متغیر روی ایگنمبریت جای دارد. مرز بین این واحد در کوره تنوره به خوبی قابل تفکیک است. این واحد شامل توفیت نازک لایه ای الوان، توف ریولیتی، ایگنمبریت، توف داسیتی، سنگ توف، توف ریولیت و آهک فسیل دار ماسه ای است که به سمت بالا با توف ریولیت، ایگنمبریت، تناوب توف خاکستری و توفیت، ریولیت و سنگ توف دنبال می‌شود.

۲-۲-۵ الیگوسن

سازند قم در منطقه تغییر رخساره و ضخامت شدیدی دارد. ترکیب سنگی آن عموماً از آهک تا آهک - مارن و تناوب آنها با گچ و دولومیت در تغییر است. این سنگ ها همه جا فسیل دار هستند.

۲-۲-۶ میوسن

سازند قرمز بالایی: این سازند متشکل از کنگلومرا، ماسه‌سنگ‌های نارنجی و خاکستری متمایل به سبز و مارن‌های زرد و قرمز درخشان حاوی میان‌لایه هایی از ژپیس است. مرز این سازند با سازند قم هم شیب است. طبقات زیرین سازند حدود ۳۰۰ متر متشکل از مارن ژپیس‌دار با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی، ژپیس و آهک است که آهک‌ها دارای فسیل‌های میوسن آغازی هستند.

۲-۲-۷ پلیوسن

این طبقات در کناره فروافتادگی‌ها (گودی‌های) و به مقدار کمتر در دامنه کوه‌های دم، کوه گرگاب و بعضی نقاط دیگر دیده می‌شود. ردیف پلیوسن عموماً شامل کنگلومرای تخته سنگی - قلوه سنگی

قهوه‌ای روشن است که سیمان ضعیفی از ژپیس - ماسه دارد. گاهی میان لایه‌های ماسه‌سنگی با آنها دیده می‌شود. در بخش میان این سری، طبقات ناخالص گچ به ضخامت کمتر از ۳ متر وجود دارد.

۸-۲-۲ کواترنر

رسوبات کواترنر ناحیه را آلوویال، کنگلومرای دشت‌های بلند و کوتاه و رسوبات کویری تشکیل می‌دهد. رسوبات کواترنر در کل منطقه گسترده و دشت‌های پایه دامن‌ها و مخروط افکنه‌ای را می‌سازد. پادگانه‌های دره‌های کوهستانی از این سری شناخته شده‌اند. این رسوبات بر حسب سن و ژنز قابل تقسیم می‌باشند و خود به سه بخش کهن‌ترین، کهن و جوان می‌توانند تفکیک شوند.

کهن‌ترین طبقات از نوع رسوبات آبرفتی - واریزه‌ای در پای کوه‌ها نهشته شده‌اند و عموماً شامل شن، قلوه‌سنگ، تخته‌سنگ ناچسبیده و ماسه و گل‌ولای است که هرگاه مواد آهکی و یا گچی با آن جایگزین شده، فشرده و سخت دیده می‌شوند.

طبقات کهن کواترنر نیز از نوع واریزه‌ای - آبرفتی در پهنه دشت، طبقات دریاچه‌ای و ماسه‌های بادی است. رسوبات واریزه‌ای - آبرفتی در مناطق مخروط افکنه‌ای از قلوه‌سنگ و تخته‌سنگ به پهنه دشت کشیده شده‌اند.

کواترنر جوان سازنده اصلی واریزه‌ها - آبرفت‌های دشت، طبقات دریاچه‌ای و ماسه‌های بادی است. رسوبات واریزه‌ای - آبرفتی عموماً بخش زیرین فروهشته‌های دامن‌ها و کناردشت‌ها را می‌سازند که دارای ذراتی با اندازه‌های متفاوت از تخته‌سنگ و قلوه‌سنگ می‌باشند. عمق این رسوبات ۶-۸ متر می‌باشد و منطبق با ضخامت این مجموعه نیز است.

۳-۲ کانی‌سازی در منطقه

محدوده مورد مطالعه در منطقه انارک واقع شده است که از نظر کانی‌سازی یکی از غنی‌ترین مناطق معدنی ایران از نظر تنوع بوده است. به‌گونه‌ای که تاکنون کانی‌سازی مس، آهن، طلا، سرب، روی، مولیبدن و نیکل در آن مشاهده شده است (قربانی، ۱۳۸۶)

۲-۳-۱ کانی‌سازی مس

جدا از کانسارهایی که به طور خاص کانسار مس هستند. کانسارهای دیگری به صورت چند فلزی مانند مس - مولیبدن و مس - نیکل - کبالت مشخص شده‌اند. کانی‌سازی مس در بیشتر مناطق به سنگ‌های آتش‌فشانی و سیستم‌های گسلی کنترل‌کننده محدود می‌شود.

۲-۳-۲ کانی‌سازی آهن

کانی‌سازی آهن در منطقه مورد مطالعه به سه صورت دیده شده است.

۱- کانی‌سازی گرمابی: به صورت رگه‌ها گروه‌های رگه‌ای کوتاه کوارتز، هماتیت و به مقدار کمتر رگه‌های سیدریتی ظاهر شده‌اند.

۲- آتش‌فشان‌زاد: ذخایر آهن در سنگ‌های آتش‌فشانی ائوسن و سنگ‌های همراه آنها جا گرفته‌اند.

۳- کانی‌سازی اسکارن: در مجاورت گرانیتوئیدهای ائوسن جای دارد.

فصل سوم

اصول و روش کار تحقیق (سنجش از دور)

۱-۳ مقدمه

دورسنجی دانش و هنر به دست آوردن اطلاعات درمورد یک شی، سطح، محدوده یا پدیده از طریق آنالیز داده به دست آمده به وسیله یک دستگاه است که در تماس فیزیکی با شی، سطح و یا پدیده نمی‌باشد (Anji Reddy, 2008) کاربرد دورسنجی بسیار گسترده است که یکی از آنها اکتشاف مواد معدنی است. از نظر اکتشافی، دورسنجی به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان پوسته زمین را از نظر وجود مواد معدنی، ساختارهای ویژه تشکیل مواد معدنی و ساختارهای تکتونیکی مورد بررسی قرار داد (Drury, 1993). با این روش امکان شناسایی و اکتشاف مقدماتی یک محدوده وسیع با دقت و سرعت بالا و صرف هزینه اندک فراهم می‌شود. استفاده از روش‌های دورسنجی در کاربردهای مختلف زمین‌شناسی به طور قابل توجهی در حال افزایش است که این موضوع می‌تواند سبب شناسایی و تفکیک شواهد کنترل‌کننده‌ی کانی‌سازی مانند ساختارهای زمین‌شناسی و دگرسانی شود. دو دلیل اصلی زیر سبب افزایش کاربرد این روش‌ها شده است:

۱- ارائه روش‌های جدید و تفسیرهایی مناسب‌تر توسط پژوهشگران که منجر به استخراج اطلاعات معتبری از تصاویر ماهواره‌ای می‌شود.

۲- دستیابی به تصاویر ماهواره‌ای جدید با وضوح طیفی و فضایی بهتر که اطلاعات جدیدی را برای کاربر در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌نماید.

در ادامه این فصل به طور خلاصه از مبانی روش‌های کاربردی سنجش از دور مطالبی ارائه خواهد شد.

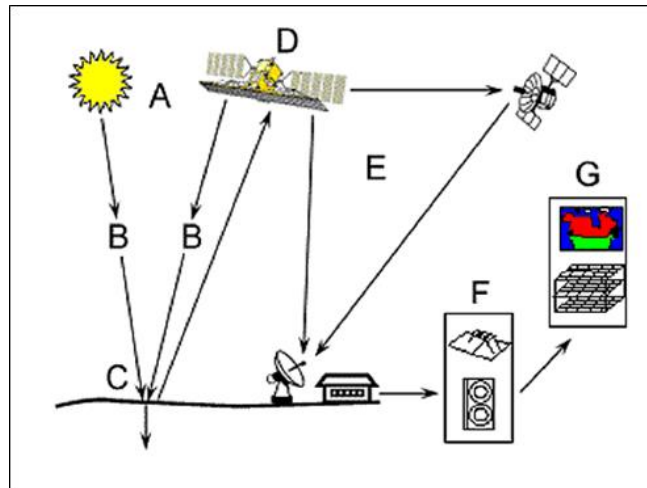
۲-۳ تاریخچه سنجش از دور

پیشینه استفاده از فن‌آوری سنجش از دور را می‌توان به اولین عکس‌برداری هوایی توسط گاسپار فلیکس در سال ۱۸۵۸ از یک بالون هوایی مربوط دانست. در سال ۱۹۷۲ میلادی اولین ماهواره ارزیابی منابع زمینی به نام ERTS1 به وسیله ناسا به فضا پرتاب شد که بعدها نام آن به لندست تغییر یافت. این ماهواره شامل سه نسل است و نسل اول آن لندست ۱، ۲ و ۳ بوده که طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۸۵

مورد استفاده قرار گرفتند. نسل دوم شامل لندست ۴، ۵ و ۷ و نسل سوم لندست ۸ می‌باشد. سنجنده استر که روی ماهواره ترا نصب است در سال ۱۹۹۸ توسط ناسا و با همکاری کشور ژاپن به فضا پرتاب شد. فعالیت اصلی سنجش از دور در ایران از سال ۱۳۵۱ با راه‌اندازی اولین ایستگاه گیرنده زمینی در ماهدشت کرج شروع شد و هم‌اکنون نیز با گذشت چند دهه به پیشرفت‌هایی در این فن‌آوری دست یافته است.

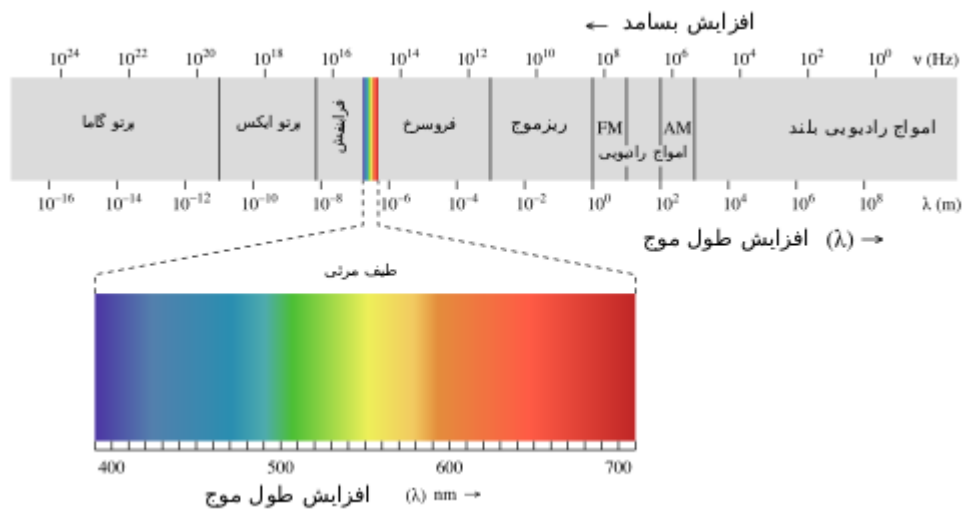
۳-۳ فیزیک دورسنجی

فرآیند ذخیره‌سازی یک داده ماهواره‌ای از منبع اصلی انرژی یعنی خورشید تا استفاده توسط پژوهشگران در هفت بخش تقسیم می‌شود (شکل ۳-۱). مطابق شکل، A منبع انرژی الکترومغناطیس است که اولین شرط در فناوری سنجش از دور است. مولفه B که جایگاه جو زمینی و تاثیر آن در عبور، جذب و پراکنش موج الکترومغناطیس دارد و از مسیر جو زمینی عبور می‌کند که در دو مرحله می‌تواند از جو زمینی عبور کند. مولفه C فعل و انفعالات انرژی در برخورد با عوارض را نشان می‌دهد. ثبت انرژی به وسیله سنسور در مولفه D نشان داده شده است که بعد از اینکه انرژی به وسیله هدف (پدیده) منعکس شد نیاز به یک سنجنده است تا تابش الکترومغناطیس را جمع‌آوری و ثبت کند. دریافت اطلاعات اولیه و تولید داده‌ها به صورت رقومی و یا تصویری در بخش E صورت می‌گیرد. انتقال، دریافت و پردازش انرژی ثبت شده به وسیله حسگر اغلب به شکل الکترونیکی منتقل می‌شود تا یک ایستگاه دریافت و پردازش که در آن داده به صورت یک تصویر تهیه شود (بخش F). پردازش و تفسیر داده‌ها در واحد تجزیه و تحلیل داده‌ها (G) انجام می‌شود.



شکل ۳-۱- شمایی از فرآیند سنجش از دور

شکل اصلی انرژی دریافت شده به وسیله سیستم‌های دورسنجی انرژی الکترومغناطیس می‌باشد. به مجموعه طول موج‌های امواج الکترومغناطیس که در کنار یکدیگر و با ترتیب خاصی قرار می‌گیرند، طیف موج الکترومغناطیس می‌گویند. این طیف از اشعه گاما شروع شده و به امواج رادیویی ختم می‌شود (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- محدوده طیف امواج الکترومغناطیس (After Sabins, 1999)

۳-۴ سنجنده

وسیله‌ای که اشعه الکترومغناطیس بازتاب شده از پدیده‌های مختلف یا سایر انرژی‌های ساطع شده را جمع‌آوری نموده و به شکلی مناسب، برای کسب اطلاعات محیط اطراف ارائه دهد، سنجنده نامیده می‌شود.

۳-۴-۱ ماهواره لندست، سنجنده ETM+

لندست ۷، هفتمین ماهواره از سری ماهواره‌های لندست است که در ۱۵ آوریل ۱۹۹۹ به فضا پرتاب و در مدار قرار گرفت. این ماهواره دارای سنجنده‌ی نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته ETM+ است که دارای ۸ باند بوده و مشخصات آن در جدول (۳-۱) آمده است.

جدول ۳-۱- مشخصات سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷

شماره باند	محدوده طیفی (میکرومتر)		قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱	۰/۴۵ - ۰/۵۲	Blue	۳۰
۲	۰/۵۲ - ۰/۶	Green	۳۰
۳	۰/۶۳ - ۰/۶۹	Red	۳۰
۴	۰/۷۶ - ۰/۹	Near IR	۳۰
۵	۱/۵۵ - ۱/۷۵	Mid IR	۳۰
۶	۱۰/۴ - ۱۲/۵	Th IR	۶۰
۷	۲/۰۸ - ۲/۳۵	Mid IR	۳۰

۳-۴-۲ ماهواره ترا، سنجنده ASTER

ماهواره ترا حاصل پروژه مشترک کشورهای آمریکا، کانادا و ژاپن است که در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد و دارای پنج سنجنده است. ارتفاع این ماهواره ۷۰۵ کیلومتر از سطح زمین است و هر ۱۶ روز یک بار مسیر خود را به طور کامل طی می‌کند. ASTER یک سنجنده تصویری چند طیفی پیشرفته است که به وسیله ماهواره ترا در دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد و در مدار قرار گرفت. این سنجنده محدوده طیفی وسیعی را از امواج مرئی تا مادون قرمز حرارتی در قالب ۱۴ باند پوشش می‌دهد. داده‌های سنجنده استر در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، تعیین پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و هواشناسی کاربرد دارد (رسولی، ۱۳۸۷) مشخصات این سنجنده در جدول (۳-۲) آورده شده است.

جدول ۳-۲- مشخصات سنجنده استر (Rowan and Mars, 2003)

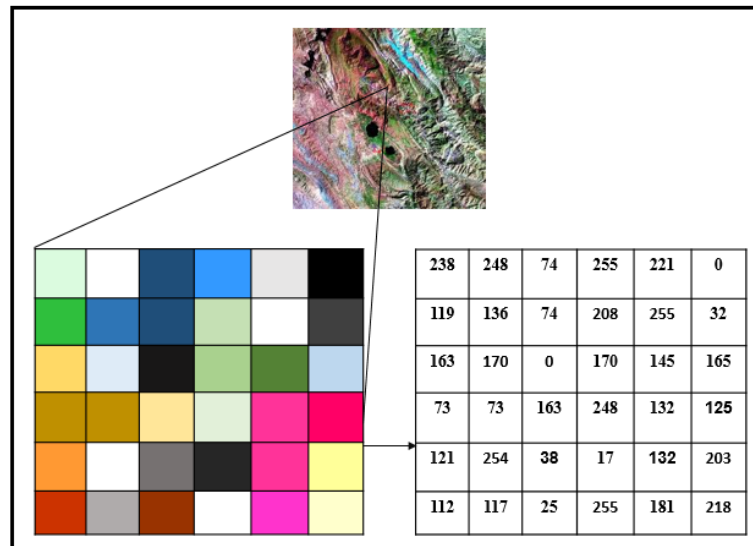
محدوده طیفی ثبت سنجنده	شماره باندها	بازه طیفی (میکرومتر)	تفکیک مکانی (متر)	تفکیک رادیومتری (بایت)
VNIR	۱	۰/۵۲ - ۰/۶	۱۵	۸
	۲	۰/۶۳ - ۰/۶۹		
	N3	۰/۷۸ - ۰/۸۶		
	B3	۰/۷۸ - ۰/۸۶		
SWIR	۴	۱/۶ - ۱/۷	۳۰	۸
	۵	۲/۱۴ - ۲/۱۸		
	۶	۲/۱۸ - ۲/۲۲		
	۷	۲/۲۳ - ۲/۲۸		
	۸	۲/۲۹ - ۲/۳۶		
	۹	۲/۳۶ - ۲/۴۳		
TIR	۱۰	۸/۱۲ - ۸/۴۷	۹۰	۱۲
	۱۱	۸/۴۷ - ۸/۸۲		
	۱۲	۸/۹۲ - ۹/۲۷		
	۱۳	۱۰/۲۵ - ۱۰/۹۵		
	۱۴	۱۰/۹۵ - ۱۱/۶۵		

۳-۵ ویژگی تصاویر ماهواره‌ای

بازتاب‌های پرتوی الکترومغناطیسی از پدیده‌های زمین به وسیله سنجنده‌ها ثبت شده و پس از ارسال به ایستگاه زمینی و انجام تصحیحات لازم به صورت تصویر درمی‌آیند. ابتدا لازم است ویژگی اصلی تصاویر ماهواره‌ای بیان شود.

اولین ویژگی تصاویر ماهواره‌ای رقومی بودن آن است، که معمولاً در محدوده‌های مربع شکل کوچک پیکسل ولی یکسان از لحاظ مساحت تقسیم‌بندی می‌شود. در واقع هر پیکسل نشان‌دهنده‌ی میزان روشنایی (انتشار انرژی الکترومغناطیس) است، که به صورت عددی رقومی تغییرات بازتابش اجسام و پدیده‌های زمینی را روی تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد. هر پیکسل واحد سطحی است، که کوچک‌تر از آن تفکیک‌شدنی نیست و دقت تصویر را نشان می‌دهد. به هر پیکسل یک رقم خاص نسبت داده

می‌شود که در واقع متوسط ارزش‌های انعکاس امواج از سطح مورد نظر روی زمین است (شکل ۳-۳) و همین ظهور تن‌های مختلف با درجات روشنایی متفاوت را بر روی تصویر باعث می‌شود (رسولی، ۱۳۸۷).



شکل ۳-۳ ساختار تصاویر ماهواره‌ای (Gupta, 2003)

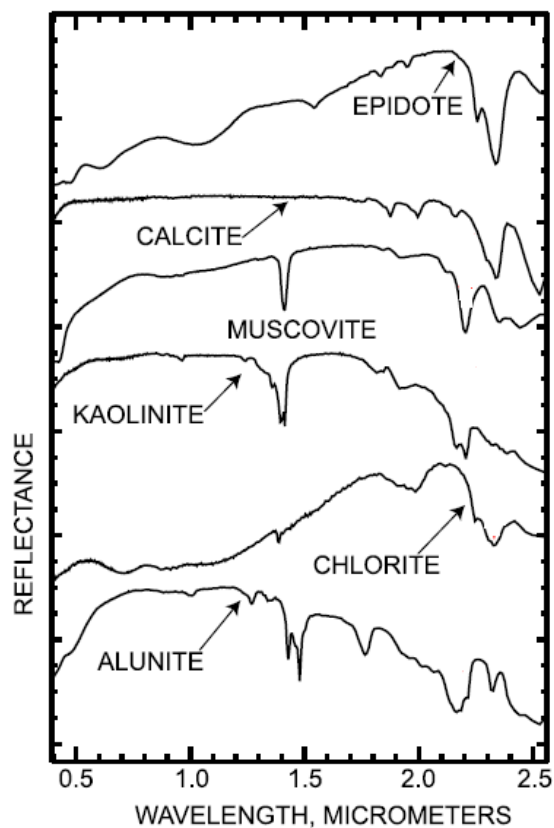
دومین ویژگی تصاویر ماهواره‌ای این است که هر سنجنده معین فقط در محدوده‌های خاصی از طیف الکترومغناطیس توانایی ثبت تصاویر منحصر به فرد را دارد که از نظر میزان مقادیر بازتابشی ممکن است با بقیه متفاوت باشد. به بازتاب‌های ذخیره شده در یک فایل کامپیوتری تصویری، باند یا کانال گفته می‌شود (رسولی، ۱۳۸۷).

سومین ویژگی اصلی تصاویر ماهواره‌ای رنگ آن است. با استفاده از توابع مختلف موجود در نرم‌افزارهای پردازش گر، می‌توان تصاویر را در حالات سیاه و سفید و یا رنگی نمایش داد (رسولی، ۱۳۸۷).

۳-۶ سنجش از دور و اکتشاف مواد معدنی

امواج الکترومغناطیس هنگام برخورد با سطح زمین بر اساس نوع سنگ، خاک و یا پوشش گیاهی، طول موج‌های خاصی را جذب می‌کنند و طول موج‌های دیگری را بازتاب می‌کنند. از آنجایی که سنگ‌ها از کانی‌های متفاوت تشکیل شده‌اند و خاصیت جذب و بازتاب کانی‌ها با یکدیگر متفاوت است، بنابراین با پردازش داده‌های ماهواره‌ای می‌توان سنگ‌ها و برخی از کانی‌های آنها را تشخیص داد (کریم‌پور، ۱۳۸۴).

بسیاری از ذخایر معدنی مناطق دگرسانی گسترده‌ای با خود دارند که گاهی حجم آن خیلی بزرگتر از حجم ذخیره معدنی می‌باشد به همین دلیل اغلب مناطق دگرسانی به عنوان پارامتری برای اکتشاف مواد معدنی استفاده می‌شوند. تفکیک مناطق دگرسانی مستلزم شناخت طیف‌های جذب و انعکاس کانی‌های این مناطق که بیشتر در محدوده مرئی، فروسرخ نزدیک، میانی و گرمایی طیف الکترومغناطیس است، می‌باشد. شکل (۳-۴) یک نمونه از نمودار طیفی است که محور عمودی درصد انعکاس نور خورشید و محور افقی میزان طول موج را بر حسب میکرومتر نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴- نواحی جذب و بازتاب برخی کانی‌های دگرسانی

۷-۳ پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات متنوعی در زمینه کاربردهای گوناگون سنجش از دور در شناسایی و اکتشاف مواد معدنی انجام شده است که هر یک جنبه‌ای خاص از مسائل و قابلیت‌های به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای را در این خصوص به اثبات رسانده است.

گوئتز و همکاران (۱۹۷۵) در منطقه‌ای در آریزونا، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و با استفاده از تکنیک‌های نسبت باندی و ترکیب باندی به تفکیک واحدهای سنگی و شناسایی سیستم‌های درزه و گسل‌های موجود در منطقه پرداختند. بنت و همکاران (۱۹۹۳) با استفاده از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست و با به کارگیری روش‌هایی چون ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی و تحلیل مولفه اصلی اقدام به تهیه نقشه سنگ‌شناسی و شناسایی نواحی دگرسانی مرتبط با محدوده طلا دار در بخش سانت تزا در مکزیک نمودند. فریر و وادج (۱۹۹۶) از تکنیک‌های دورسنجی برای به نقشه درآوردن مناطق دگرسانی در ارتباط با کانی‌سازی طلا در جنوب اسپانیا استفاده نمودند. روان و همکاران (۲۰۰۳) در کوه‌های کالیفرنیا با استفاده از تصاویر استر اقدام به تهیه نقشه سنگ‌شناسی این منطقه کردند. یتکین (۲۰۰۳) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده ETM+ و با به کارگیری روش‌های پردازش تصاویر مانند نسبت باندی آنالیز مولفه اصلی، کروستا و کمترین مربعات رگرسیون شده به بارز سازی دگرسانی-ها در منطقه‌ای در ترکیه پرداخت. کراستا و فیلهو (۲۰۰۳) روش آنالیز مولفه اصلی را برای باندهای استر برای نقشه‌برداری کانی‌های مرتبط با اکتشاف طلای اپی‌ترمال در پاتاگونیا آرژانتین به کار بردند. وی در این تحقیق توانست با استفاده از مجموعه PCA توانست مناطق خاص را به عنوان امیدبخش معرفی کند. رنجبر و همکاران (۲۰۰۴) داده‌های استر را در منطقه سرچشمه برای تعیین مناطق دگرسانی هیدروترمال از طریق آنالیز مولفه اصلی استفاده نموده‌اند. گالاو (۲۰۰۵) با استفاده از سنجنده استر، با استفاده از تکنیک نقشه‌برداری زاویه‌طیفی به استخراج زون‌های دگرسانی در منطقه‌ای در برزیل نمود. در این تحقیق کانی‌های هیدرووکسیل دار مانند مسکوویت و کائولینیت شناسایی شدند و بهترین محدوده برای جذب هیدرووکسیل ۲۲۰۰ نانومتر معرفی شد. آمرا (۲۰۰۷) از تصاویر چند طیفی ETM+ و

ASTER برای تعیین الگوی دگرسانی‌های گرمایی در منطقه گروپ- هوپ استفاده کرد. او برای انجام این کار از روش‌های ترکیب رنگی، نسبت باندی، آنالیز مولفه اصلی استفاده نموده است. توماسو و روبینستین (۲۰۰۷) از تصاویر استر برای تعیین مناطق دگرسان شده در کانسار مس پورفیری اینفرنیلو در آرژانتین استفاده کردند و دورسنجی را روشی موفق برای اکتشاف مقدماتی دانستند. یوسفی و خالوکاکایی (۱۳۸۳) داده‌های ژئوفیزیک هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و زمین‌شناسی منطقه ماه‌نشان را تلفیق نموده و نقشه پتانسیل معدنی منطقه را تهیه نمودند. آنها پس از بررسی زمین‌شناسی منطقه مناطق دارای اولویت برای پی‌جویی مس، طلا، سرب و روی را معرفی کردند. آقاجانی و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور به مطالعه واحدهای سنگی، دگرسانی‌ها و خطواره‌ها پرداخت و توانست مناطق امید بخش معدنی را در منطقه رزوه شاهرود معرفی نماید. یوسفی و همکاران (۱۳۸۷) به تفسیر داده‌های ETM+ منطقه ده‌سلم برای شناسایی دگرسانی‌های مرتبط با مس پورفیری پرداختند و چند منطقه را به عنوان مناطق امیدبخش جهت اکتشافات تفصیلی‌تر مشخص کردند. کوجو (۲۰۱۰) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود در سودان برای اکتشاف طلا از تکنیک دورسنجی استفاده کرد. وی با استفاده از پردازش تصاویر ETM+ و ASTER به بارزسازی دگرسانی‌ها و تعیین واحدهای سنگی پرداخت که نتایج او با موقعیت فلزات پایه شناخته شده در منطقه تطابق داشت. عزیزی (۲۰۱۰) از داده‌های استر برای تعیین مناطق دگرسان شده در شرق زنجان استفاده کرد. معصومی و رنجبر (۱۳۹۰) قابلیت تصاویر سنجنده استر و داده‌های ژئوفیزیک هوایی را در بارزسازی دگرسانی‌ها در کرمان مورد سنجش قرار دادند و نتیجه گرفتند که استفاده از تصاویر استر نتایج بهتری نسبت به داده‌های ژئوفیزیک هوایی نشان می‌دهد. آلیانی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های سنجنده استر به آشکارسازی زون‌های دگرسانی کانسار آهن حاجی‌آباد پرداختند. تکنیک‌های اعمال شده متشکل از ترکیب رنگی کاذب، نسبت گیری باندی و روش آنالیز مولفه انتخابی است که نشان‌دهنده وجود الگویی از زون‌های دگرسانی هیدروترمال در محدوده مورد مطالعه است. که این نتایج با بررسی‌های صحرایی نیز انطباق داشته است و تایید کننده تاثیر دگرسانی هیدروترمال در محدوده کانسار مورد مطالعه و انطباق نتایج

به دست آمده از مطالعات دور سنجی است. امیری رودبار و همکاران (۱۳۹۲) از روش نسبت باندی و آنالیز مولفه اصلی برای مشخص کردن آنومالی‌های کرومیت و مناطق سرپانتینیزه در برگه یکصد هزارم میناب استفاده کردند. نتایج آنها با اندیس‌ها و معادن موجود در منطقه تطابق داشته که موثر بودن روش‌ها را تایید می‌کند. حسین‌خانی و همکاران (۱۳۹۳) از داده‌های دورسنجی و ژئوفیزیک هوایی منطقه شاملو در آذربایجان شرقی استفاده کرده و دگرسانی‌ها و خطواره‌های منطقه را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه کار آنها تعیین مناطق امیدبخش برای اکتشاف کانسارهای مس بوده است. ابوتراب و همکاران (۱۳۹۴) داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک موجود از برگه یکصد هزار اردستان را بررسی کرده و پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی آنها را با استفاده از روش شاخص همپوشانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی تلفیق کردند. نتیجه این بررسی‌ها تهیه نقشه پتانسیل مطلوب طلای اپی‌ترمال و تعیین نواحی امیدبخش بوده است. دیوید و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از سنجش از دور به تفکیک واحدهای سنگی در منطقه کبک کانادا پرداخته‌اند. عامر و همکاران (۲۰۱۲) از تصاویر سنجنده ASTER برای طبقه‌بندی مناطق دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی طلا در صحرای مرکزی مصر استفاده نمودند که نتایج حاصل نشان داد روش‌های به کار گرفته شده برای تعیین مناطق دگرسانی در منطقه مناسب هستند. سالم و همکاران (۲۰۱۳) از داده‌های استر و زمین‌شناسی و ژئوشیمی در تشخیص مناطق جدید از طلا و آهن در منطقه بارامیا واقع در بیست کیلومتری معدن طلای دانگاش استفاده کردند. لی و همکاران (۲۰۱۴) از داده‌های استر برای طبقه‌بندی مناطق دگرسان در کانسار مس پورفیری باگوتا در چین استفاده نمودند که نتایج نشان داد که سنجنده استر ابزار قوی برای اکتشاف مواد معدنی است. بیرانوندپور و همکاران (۲۰۱۵) از تصاویر ماهواره لندست ۸ برای بارزسازی آلتراسیون‌های مرتبط با کانسار مس پورفیری در معدن مس سرچشمه استفاده کردند و توانستند با استفاده از ترکیب نسبت‌های باندی مناطق دارای دگرسانی، واحدهای سنگی و پوشش گیاهی را شناسایی کنند. برسی و همکاران (۲۰۱۵) از فناوری دورسنجی برای شناسایی و مدلسازی ذخیره آهن در جنوب غرب الجزایر استفاده نمودند و دریافتند که تکنولوژی سنجش از دور بهترین راه برای شناسایی و ترسیم این ذخیره است.

سالم و همکاران (۲۰۱۶) ازدورسنجی برای اکتشاف رخداد‌های جدید طلا در منطقه دانگاش در جنوب شرق مصر استفاده نمودند که توانستند مناطق دگرسان شده مرتبط با کانی‌سازی طلا را در منطقه شناسایی کنند. ابوزید و همکاران (۲۰۱۶) از تکنیک‌های دورسنجی مانند نسبت باندی و آنالیز مولفه اصلی برای تعیین واحدهای سنگی و مناطق دگرسان شده مرتبط با مس پورفیری در منطقه نیوبیا در مصر استفاده کردند و توانستند نقشه پتانسیل مطلوب مس را برای این منطقه تهیه کنند. عبدالکریم و همکاران (۲۰۱۷) در شرق صحرای مصر روش‌های پردازش تصویر مانند نسب باندی، ترکیب رنگی از تصاویر نسبتی و آنالیز مولفه اصلی را برای تعیین مناطق دگرسان شده و تفکیک واحدهای سنگی به کار گرفته و توانستند مناطق مستعدی را برای کانی‌سازی معرفی کنند.

۳-۸ آماده‌سازی و پیش‌پردازش

داده خام دورسنجی دریافت شده از سنجنده معمولاً شامل عیب و نقص است. تصحیح عیب‌ها و رفع نقص‌های موجود در داده‌ها به عنوان پیش‌پردازش خوانده می‌شود. انجام این تصحیحات سبب حذف آثار نوفه‌های احتمالی، تفکیک بهتر عارضه‌های سطحی، حذف اثر توپوگرافی بر روی داده‌ها و همچنین مختصات‌دار کردن تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. این مرحله را می‌توان مرحله پیش‌پردازش داده‌های خام اولیه برای آماده‌سازی داده‌ها برای پردازش نامید.

۳-۸-۱ موزاییک

هنگامی که تصویر ماهواره‌ای در چند صحنه ماهواره‌ای قرار بگیرد، تصاویر مورد نظر در کنار یکدیگر قرار گرفته و به اصطلاح موزاییک می‌شوند.

۳-۸-۲ برش تصویر

برای پردازش بهتر و دقیق‌تر و همچنین افزایش سرعت پردازش داده‌ها و حذف محدوده اضافی محدوده مورد مطالعه از تصاویر موزاییک شده برش داده می‌شود.

۹-۳ پردازش داده‌ها

بررسی، مطالعه‌ی داده‌های ماهواره‌ای و استخراج اطلاعات لازم به منظور شناسایی پدیده‌های مختلف سطح زمین که هر یک با رنگ خاصی بر روی این داده‌ها ظاهر می‌شوند را پردازش تصاویر می‌گویند. در ادامه بحث تصاویر تصحیح شده با استفاده از روش‌های گوناگون برای آشکارسازی عوارض و بارزسازی نواحی حاوی دگرسانی، خطواره‌ها و واحدهای سنگی مورد پردازش قرار می‌گیرند.

۹-۳-۱ روش ترکیبات رنگی

داده‌های ماهواره‌ای در فرمت چند باندهای تهیه می‌شوند بنابراین بررسی داده‌های یک باند به دلیل رنگ خاکستری اطلاعات زیادی را در اختیار ما قرار نمی‌دهد. با داشتن آگاهی از روابط بین باندها و نمایش بیش از یک باند به طور همزمان بر روی سیستم پردازش تصویر می‌توان اطلاعات مفیدی را از تصویر استخراج کرد که این کار با به کارگیری تصاویر رنگی امکان‌پذیر می‌شود. تصاویر رنگی از قرار دادن سه باند مختلف در کانال‌های قرمز، سبز و آبی ساخته می‌شوند تا تصویر از حالت سیاه و سفید خود خارج شده و درک و قدرت تحلیل کاربر از عوارض موجود در تصویر افزایش یابد. هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی استفاده حداکثر از اطلاعات است. انتخاب ترکیب باندهای روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که یکی از روش‌های تشخیص بهترین ترکیب باندهای، استفاده از فاکتور شاخص بهینه^۴ (OIF) است (Chavez et al., 1982). این تکنیک برای طبقه‌بندی و تهیه بهترین ترکیب باندهای در محیط RGB، نسبت باندها، و مولفه‌های اصلی استفاده شد. اساس کار بر مبنای مقدار بزرگی همبستگی بین باندها و واریانس کل در هر باند مجزا می‌باشد. الگوریتم استفاده شده برای محاسبه OIF هر زیر مجموعه سه تایی به این ترتیب است:

$$OIF = \sum_{i,j,k=1}^n \frac{S_k}{r_{ij}} \quad (۱-۳)$$

^۴ Optimum Index Factor

که در آن، S_k ، انحراف معیار باند k و r_{ij} ضریب همبستگی دو باند از سه باند مذکور است (Chaves et al., 1982). هر ترکیب سه تایی از باندها با واریانس کل بالا و ضرایب همبستگی پایین بین باندها مقدار OIF بالایی خواهد داشت. به طور کلی بزرگترین OIF شامل بیشترین اطلاعات تصویر با حداقل میزان تکرار خواهد بود.

۳-۹-۲ روش نسبت باندی

یک روش پردازش تصاویر است که برای نمایش تغییرات طیفی (vincent, 1972) و بارزسازی مناطق دگرسان شده و واحدهای سنگ‌شناسی خاص به کار می‌رود. تصویر نسبتی به وسیله تقسیم مقدار ارزش رقومی یک باند بر باند دیگر به دست می‌آید (sabins 1997). باندی که میزان بازتاب از هدف مورد بررسی در آن بیشتر باشد در صورت کسر و باندی که همان پدیده در آن بیشترین جذب را داراست در مخرج کسر قرار می‌گیرد. بیان ریاضی نسبت باندی به صورت زیر است:

$$BV_{i,j,r} = \frac{BV_{i,j,k}}{BV_{i,j,l}} \quad (2-3)$$

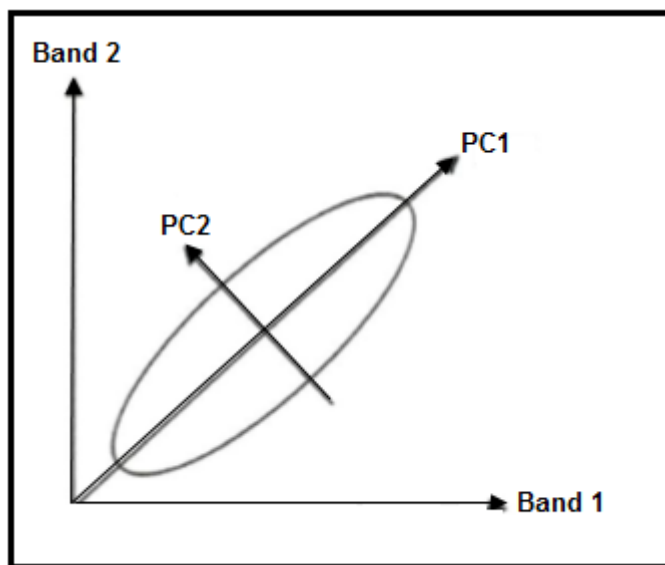
که در آن $BV_{i,j,r}$ خروجی نسبت برای پیکسل موجود در ردیف i و ستون j است، $BV_{i,j,k}$ مقدار روشنایی در همان پیکسل در باند k و $BV_{i,j,l}$ مقدار روشنایی در باند l است. دامنه $BV_{i,j,r}$ از لحاظ تئوری صفر تا بی‌نهایت، ولی در حقیقت ۰ تا ۲۵۵ است (Yetkin, 2003). با انجام این عمل، آثار منفی عوامل نامناسب که معمولاً در همه باندها و با شدت‌های متفاوت وجود دارد، کاهش می‌یابد که علاوه بر تعدیل سایه‌ها، برخی از پدیده‌ها قابلیت تفکیک بیشتری پیدا می‌کنند. در تصویر حاصل از عمل نسبت‌گیری، اطلاعات مشترک تصاویر اولیه حذف شده و در مقابل، اطلاعاتی که در تصاویر اولیه با یکدیگر اختلاف دارند بارزتر خواهند شد. مهم‌ترین مزیت کاربرد نسبت‌های باندی، تهیه تصاویری است که کاملاً از روشنایی مستقل است (Gupta, 2003).

۳-۹-۳ روش آنالیز مولفه اصلی (PCA^۵)

تحلیل مولفه‌های اصلی در سال ۱۹۰۱ توسط کارل پیرسون ارائه شد. این روش در علوم مختلف، به ویژه علوم زمین کاربردهای فراوانی دارد ولی در بحث سنجش از دور برای شناخت باندهایی که دارای اطلاعات بیشتر بوده و حداکثر تغییرات را پوشش می‌دهند، استفاده می‌شود. تشابه و ارتباط بین باندها باعث به وجود آمدن اطلاعات اضافی می‌شود. اگر این داده‌های اضافی کاهش یابند، مقدار داده‌هایی که برای توصیف تصاویر چند طیفی نیاز است به صورت فشرده درمی‌آیند. این روش تحلیلی بوده و از روابط بین باندی براساس واریانس، کواریانس و ضرایب همبستگی بین باندی استفاده می‌کند که سبب کاهش داده‌های اضافی و مشابه می‌شود. به کمک این روش اطلاعات چندین باند فقط در چند مولفه اصلی تجمع پیدا می‌کنند که این مولفه‌های جدید یک ترکیب خطی از باندهای اصلی هستند. به عبارت دیگر با استفاده از روش تحلیل مولفه اصلی می‌توان ابعاد داده‌ها را کاهش داد (Myint et al., 2005) و مولفه‌های را تعیین کرد که حاوی اطلاعات طیفی خاصی از کانی‌های زون دگرسانی هستند (Azizi et al., 2007).

تحلیل مولفه اصلی را در دو بعد می‌توان نشان داد (برای مثال باند ۱ و ۲). نمودار ارزش‌های رقومی دو باند را می‌توان به وسیله یک بیضی روی نمودار پراکندگی نشان داد (شکل ۳-۴). محور بلند بیضی اولین مولفه اصلی (PC1) نام دارد و پراکنش یا واریانس در امتداد این محور بیشتر از هر کدام از دو باند ورودی است. دومین مولفه عمود بر مولفه اول واقع می‌شود. برای داده‌های چند طیفی (مانند لندست)، اولین مولفه اصلی شامل بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است و مولفه‌های بعدی هر یک دربرگیرنده درصد کمتری از واریانس تصویر می‌باشند. (Sabins, 1997).

⁵ Principal component analysis



شکل ۳-۵: نمودار ارزش رقومی باند ۱ و ۲ و وضعیت مؤلفه‌های اصلی (Crosta et al., 2003)

۳-۹-۴ روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی (کروستا)

روش کروستا که مؤلفه‌های اصلی جهت‌دار نیز نامیده می‌شود، عبارت است از آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی که در آن تنها از باندهایی استفاده می‌شود که اطلاعات خاصی به ما می‌دهند و از بقیه باندها برای جلوگیری از اشتباه صرف‌نظر می‌شود (polomera, 2004). در این روش آنالیز مؤلفه اصلی بر روی چهار باند صورت می‌گیرد که باندهای مناسب براساس ویژگی‌های طیفی کانی‌ها انتخاب می‌شوند. در صورتی که از روش آنالیز مؤلفه اصلی با انتخاب باندهای مناسب استفاده شود، نتایج بهتری برای به تصویر کشیدن عوارض در بر خواهد داشت (Crosta, 1989).

۳-۹-۵ روش برازش کمترین مربعات ($ls-fit$)

یکی دیگر از روش‌های پردازش تصویر، روش برازش کمترین مربعات است. در این روش باندها به عنوان مقادیر ورودی متغیرهای خطی و مقادیر تخمین زده شده از مقادیر ورودی به عنوان خروجی می‌باشند. باند تخمینی با استفاده از یک معادله خطی از باندهای ورودی به دست می‌آید. کانی‌هایی که نسبت به یک باند خاص حساس هستند و اختلاف خوبی در یک باند خاص نشان می‌دهند، با اختلاف مشاهده شده بین باند تخمینی و باند اصلی قابل تفکیک می‌باشند. این روش براساس تخمین خطی است که با

⁶ Least Square Fitting Regression

به کار بردن روش کمترین مربعات پایه‌گذاری شده است. اختلاف بین باند واقعی و باند مدل شده به عنوان یک تصویر خروجی محاسبه می‌گردد و پیکسل‌های باقیمانده نشان‌دهنده تصویر پیش‌بینی نشده است. به عبارت کلی این روش یک روش پیش‌بینی خطی باند با استفاده از روش کمترین مربعات است که به پیش‌بینی یک باند براساس باندهای دیگر می‌پردازد. در این روش یک باند که کانی شاخص جذب بالایی در آن دارد به عنوان باند مدل و باندهای دیگر به عنوان باند پیش‌بینی‌کننده انتخاب می‌شوند.

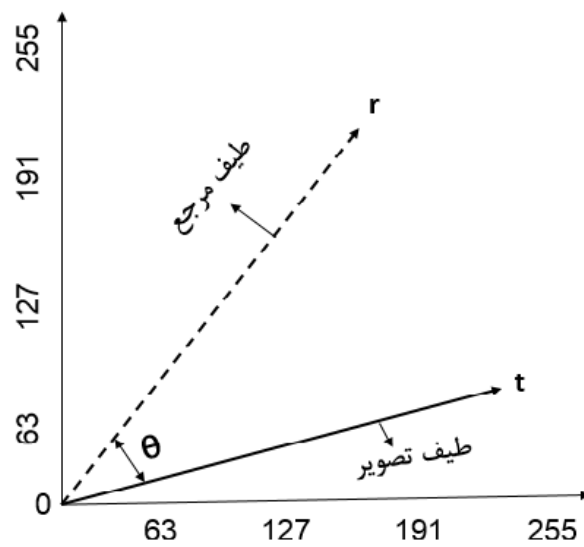
۳-۹-۶ روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM^v)

روش نقشه‌بردار زاویه طیفی اولین بار توسط کروس و همکارانش (۱۹۹۳) استفاده شد. روش SAM، روشی کارآمد برای مقایسه طیف تصویر با طیفی مشخص یا طیفی استاندارد است. الگوریتم این روش، مشابهت بین دو طیف را به وسیله زاویه‌ی طیفی بین آن دو محاسبه می‌کند. در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضایی به ابعاد تعداد باندها، زاویه طیفی بین دو بردار محاسبه می‌شود (Kruse et al., 1993). خروجی این روش تخمینی از شباهت طیف مورد نظر با هر طیف مرجع را ارائه می‌دهد.

برای مقایسه یک پیکسل، پیکسل مورد نظر در منطقه مورد مطالعه با طیف همان پیکسل در طیف مرجع بر روی دو باند در یک محور مختصات رسم می‌شود سپس نقاط به دست آمده به مبدا وصل شده و زاویه بین دو خط به دست آمده به عنوان زاویه شناسایی پیکسل شناخته می‌شود. میزان شباهت طیف تصویر (t) و طیف مرجع (r) از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\cos(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^n r_i t_i}{(\sum_{i=1}^n r_i^2)(\sum_{i=1}^n t_i^2)} \quad (3-3)$$

که در آن n تعداد باندها و θ زاویه بین دو بردار است. یک مثال ساده از این روش با در نظر گرفتن طیف مرجع و طیف تصویر در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. مطابق شکل زاویه بین بردار طیف مرجع و بردار طیف پیکسل نشان‌دهنده زاویه طیفی است.



شکل ۳-۶ زاویه بین بردار طیف تصویر و طیف مرجع

فصل چهارم

پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه جنوب شرق دریاچه‌ی
نمک قم

۴-۱ مقدمه

پردازش تصویر رقومی، شامل تحلیل و تفسیر تصاویر رقومی به کمک رایانه است. این بخش از سنجش از دور در سال ۱۹۶۰ میلادی توسط تعداد محدودی محقق تجزیه و تحلیل کننده داده های اسکنر چند طیفی عکس های هوایی رقومی شده آغاز شد. هنوز لندست ۱ پرتاب نشده بود که داده های تصویر رقومی به صورت گسترده ای برای سنجش از دور آماده شد. در آن زمان نه تنها پردازش رقومی به لحاظ تئوری و عملی در مرحله ابتدایی رشد بود بلکه هزینه های رایانه های رقومی بالا و کارایی محاسبه آنها براساس استانداردهای پیشرفته بسیار کم بود (مالمیریان، ۱۳۸۳). ایده پردازش تصویر رقومی بسیار ساده است. تصویر رقومی به صورت پیکسل به پیکسل وارد رایانه می شود رایانه برای قرار دادن این داده ها در یک یا چندین معادله برنامه ریزی شده است و در نهایت نتایج محاسبه را برای هر پیکسل ذخیره می کند. در نتیجه تصویر جدیدی ایجاد می شود که ممکن است در قالب نمایش ذخیره شود و یا تصویر ایجاد شده با استفاده از برنامه های اضافی مورد بررسی دقیق تر قرار گیرد (مالمیریان، ۱۳۸۳). هدف ما در این فصل استفاده از روش های مختلف پردازش برای شناسایی دگرسانی ها، تفکیک واحدهای سنگی و استخراج خطواره ها می باشد. برای این منظور از داده های ماهواره ای لندست ۷ با شماره گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۶، گذر ۱۶۳ ردیف ۳۷ و گذر ۱۶۴ ردیف ۳۶ مربوط به سال ۲۰۰۱ و داده های سنجنده استر Level 1t مربوط به سال ۲۰۰۳ استفاده شده است. با استفاده از نرم افزار ENVI ابتدا به آماده سازی داده ها و سپس به پردازش داده ها پرداخته می شود.

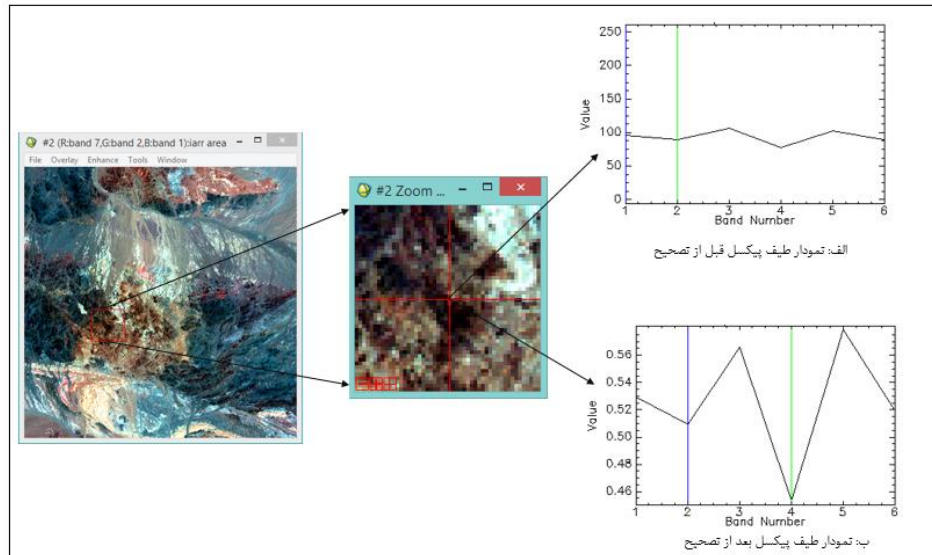
۴-۲ پردازش تصاویر ETM+

۴-۲-۱ پیش پردازش تصاویر

اولین مرحله در سنجش از دور انجام پیش پردازش ها و تصحیحات بر روی تصاویر می باشد. در این تحقیق از تصحیح $IARR^8$ (میانگین بازتابش نسبی داخلی) برای تصاویر ETM+ استفاده شد. در این روش میانگین طیف تصویر محاسبه و به عنوان مرجع در نظر گرفته شده سپس میانگین طیف به دست آمده

⁸ Internal Average Relative Reflectance

بر طیف پیکسل‌های باندها تقسیم می‌شود (Kruse et al, 1985). شکل ۴-۱ نمودار طیف یک پیکسل را قبل (الف) و بعد از اعمال تصحیح (ب) نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱: نمودار طیف یک پیکسل، الف: قبل از تصحیح و ب: بعد از اعمال تصحیح

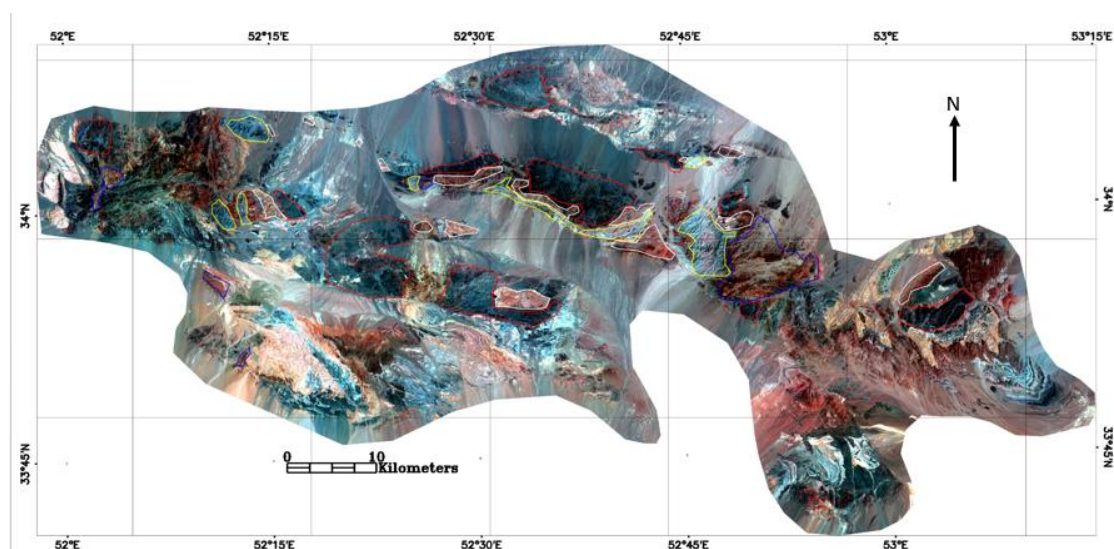
با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در سه صحنه ماهواره‌ای قرار داشت پس از انجام تصحیحات، سه تصویر در کنار هم موزاییک شده و محدوده مورد نظر از تصویر حاصله برش داده شد. با توجه به اینکه هدف مطالعه منطقه برای اکتشاف مواد معدنی فلزی بوده است، لذا سایر منطقه به جهت بارزسازی بهتر تصویر حذف شده است.

۴-۲-۲ ترکیب رنگی کاذب

همانطور که در فصل سوم اشاره شد به منظور تهیه تصاویر رنگی مختلف از فیلترهای سه گانه RGB استفاده می‌شود. در این تحقیق برای به دست آوردن بهترین و مناسب‌ترین تصویر رنگی که بتواند اطلاعات بیشتری را در اختیار قرار دهد از فاکتور شاخص بهینه استفاده شد. در جدول ۴-۱ مقدار شاخص بهینه محاسبه شده برای ترکیبات سه تایی از باندهای سنجنده ETM+ برای تفکیک واحدهای سنگی ارائه شده است. براساس مقادیر به دست آمده ترکیب رنگی RGB721 برای تفکیک واحدهای سنگی مناسب تشخیص داده شد. شکل (۴-۲) تصویر حاصل از این ترکیب را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱: مقادیر OIF محاسبه شده برای باندهای سنجنده ETM+

ردیف	ترکیب سه باندی	شاخص OIF	ردیف	ترکیب سه باندی	شاخص OIF
۱	۴-۲-۱	۰/۶۸۵	۱۰	۴-۳-۲	۰/۶۵۲
۲	۵-۲-۱	۰/۶۹۰	۱۱	۵-۳-۲	۰/۶۵۵
۳	۷-۲-۱	۰/۶۹۴	۱۲	۷-۳-۲	۰/۶۵۸
۴	۴-۳-۱	۰/۶۷۲	۱۳	۵-۴-۲	۰/۶۵۲
۵	۵-۳-۱	۰/۶۷۷	۱۴	۷-۴-۲	۰/۶۵۶
۶	۷-۳-۱	۰/۶۸	۱۵	۷-۵-۲	۰/۶۵۳
۷	۵-۴-۱	۰/۶۷۴	۱۶	۵-۴-۳	۰/۶۳۷
۸	۷-۴-۱	۰/۶۷۸	۱۷	۷-۴-۳	۰/۶۴۱
۹	۷-۵-۱	۰/۶۷۶	۱۸	۷-۵-۴	۰/۶۳۵

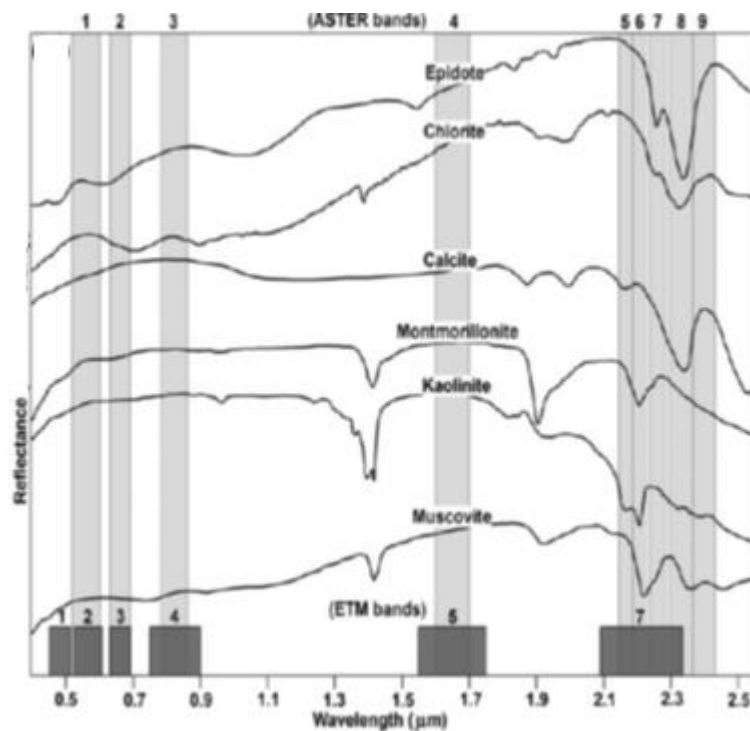


شکل ۴-۲: تصویر حاصل از RGB721 برای تفکیک واحدهای سنگی

مطابق شکل (۴-۲) واحدهای آذرین که بخش وسیعی از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند به رنگ آبی تیره نمایان هستند (خطوط قرمز). توده‌های نفوذی به رنگ قهوه‌ای (خطوط آبی) و سنگ‌های رسوبی به رنگ قرمز گوشتی (خطوط سفید) دیده می‌شوند. سنگ‌های دگرگونی نیز با خطوط زرد رنگ در تصویر قابل مشاهده است.

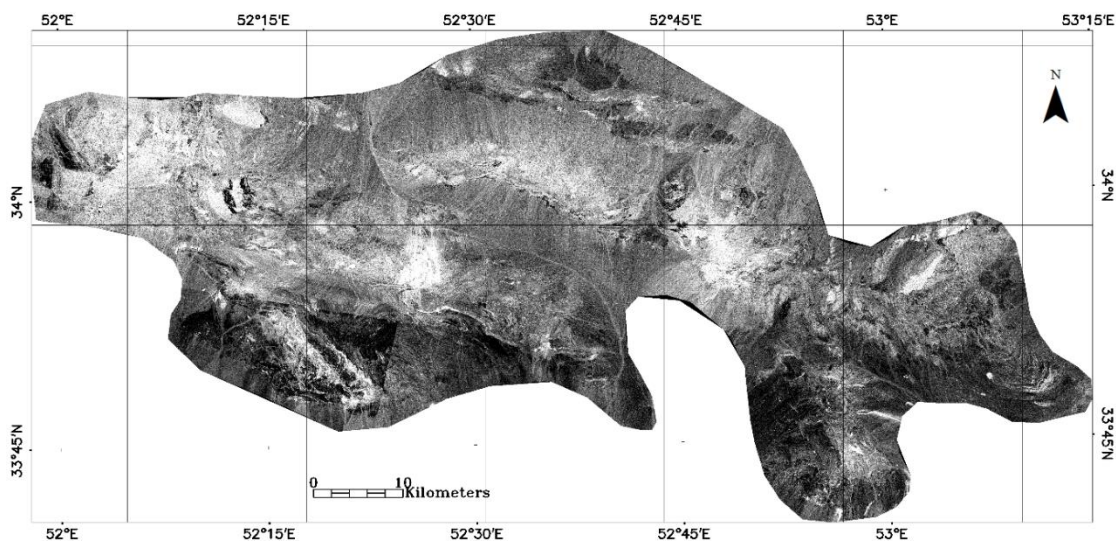
۳-۲-۴ نسبت باندی

اساس روش نسبت باندی بر تقسیم مقادیر باند انعکاسی بر باند جذب استوار است. برای تشخیص نسبت باندی درست باید از نمودار بازتاب طیفی سنگ‌ها که برای هر سنگ منحصر به فرد است استفاده کرد. در شکل (۳-۴) نمودار بازتاب طیفی برخی سنگ‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۴: نواحی جذب و بازتاب کانی‌های دگرسانی در سنجنده‌های ETM+ و ASTER (Livo et al, 1993)

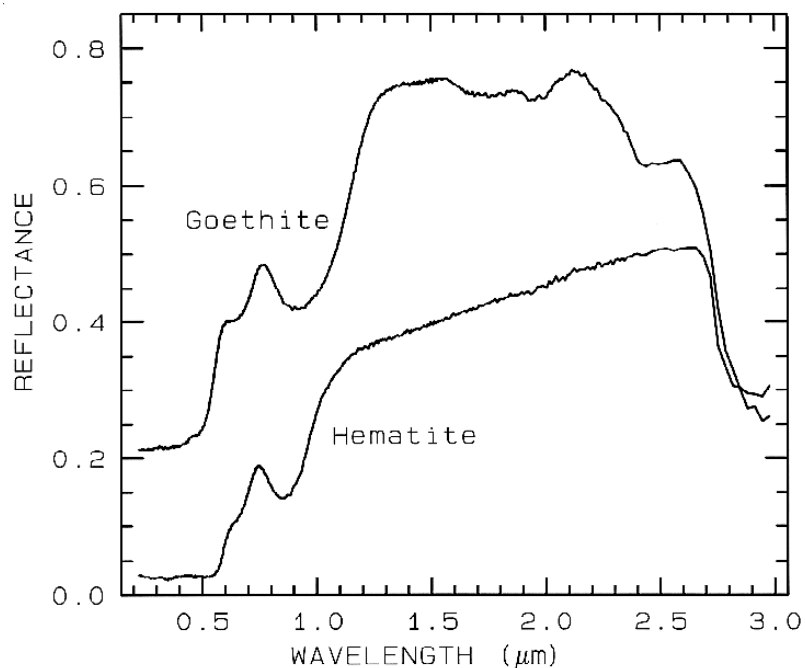
با توجه به شکل (۳-۴) کانی‌های شاخص زون آرژیلیک از جمله کائولینیت و مونتموپونیت در باند ۵ ماهواره لندست ۷ دارای بیشترین بازتاب و در باند ۷ بیشترین جذب را دارند لذا از نسبت باندی ۵ به ۷ می‌توان برای شناسایی این دگرسانی استفاده کرد. شکل (۴-۴) تصویر حاصل از نسبت ۵ به ۷ را نشان می‌دهد.



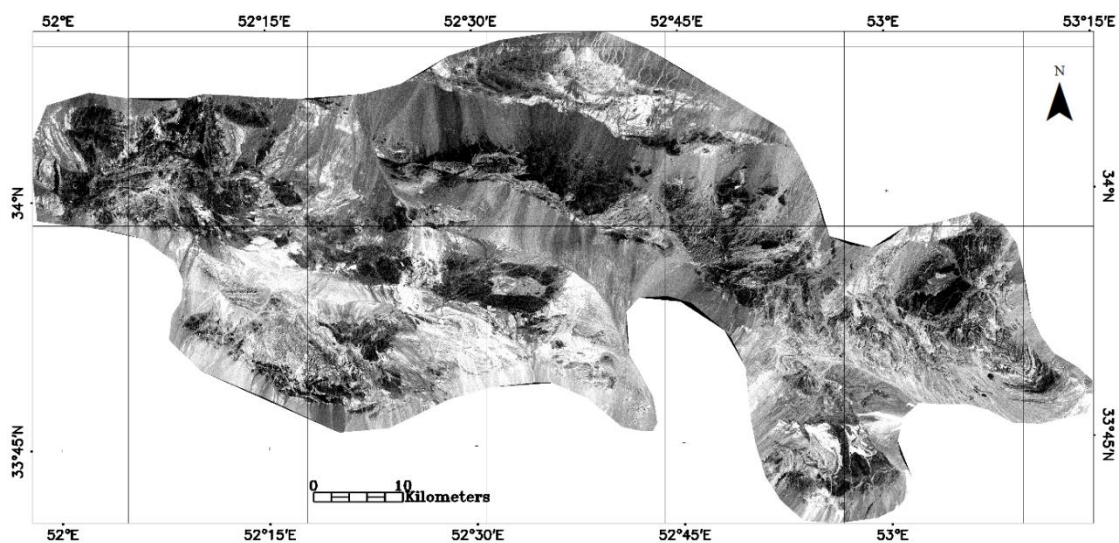
شکل ۴-۴: تصویر حاصل از نسبت بانندی ۵ به ۷

مطابق شکل (۴-۴) مناطقی روشن دیده می‌شود که این مناطق نشان‌دهنده دگرسانی رسی است. براساس نقشه زمین‌شناسی موجود موقعیت این دگرسانی روی آن مشخص شده و واحدهای آندزیتی و آندزیت-بازالتی مربوط به ائوسن را به عنوان واحدهایی که تحت این دگرسانی قرار گرفته‌اند نشان داده است که تصویر حاصل از نسبت بانندی نیز همان واحدها را به عنوان مناطقی که تحت دگرسانی آرژیلیتی قرار گرفته‌اند بارز کرده است.

اکسیدهای آهن گروه دوم از مواد معدنی هستند که با سنگ‌های دگرسان شده در ارتباطاند نمودار طیفی آنها در شکل (۴-۵) آورده شده است که در باند ۳ ($0.63 - 0.69$ میکرومتر) انعکاس بالا و در باند ۱ ($0.45 - 0.52$ میکرومتر) کمترین انعکاس را دارند بنابراین انعکاس بالایی در تصویر نسبتی ۳ به ۱ دارند (شکل ۴-۶). پیکسل‌هایی که با رنگ سفید در تصویر نمایان است مناطق حاوی کانی‌های اکسیدی آهن می‌باشد.



شکل ۴-۵: نمودار بازتاب کانی‌های اکسید آهن در محدوده طول موجی (clark et al, 1993)



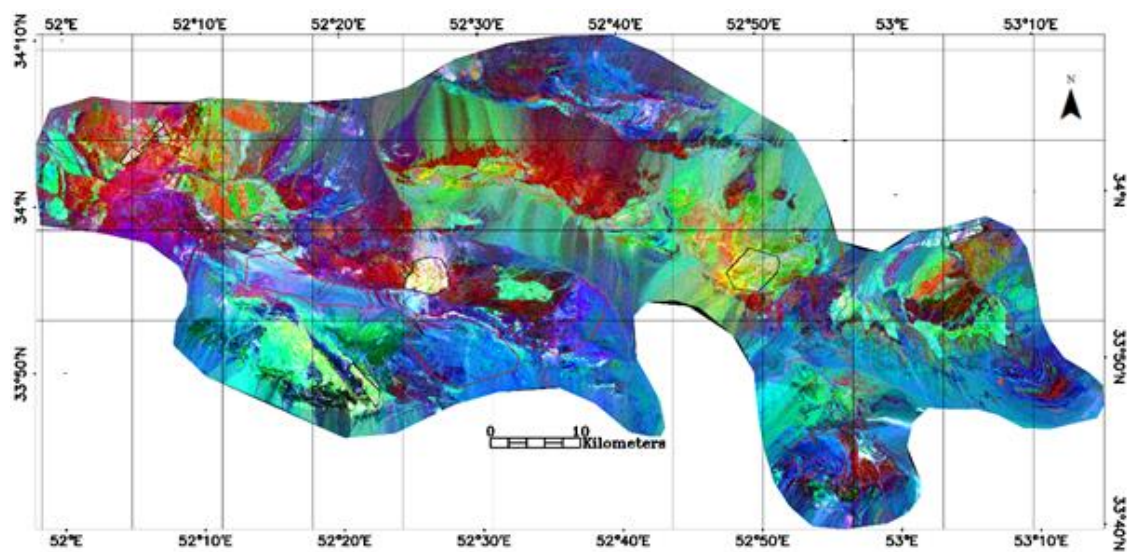
شکل ۴-۶: تصویر حاصل از نسبت باندهای ۳ به ۱

۴-۲-۴ ترکیب رنگی تصاویر نسبتی

تصاویر حاصل از به کار گیری نسبت باندهای، تصاویر سیاه و سفید هستند که به تنهایی نمی‌توانند ملاک و معیار مناسبی برای تعیین نواحی هدف در منطقه مورد مطالعه باشند، بلکه تنها مشخص‌کننده‌ی نقاطی هستند که احتمال وجود ماده معدنی و یا به طور کلی هدف مورد نظر در آنجا بیشتر است. برای

دستیابی به تفسیر و نتیجه قابل اعتمادتر از روش ترکیب رنگی کاذب برای ساخت تصاویر رنگی از این نسبت‌ها استفاده شد.

شکل (۴-۷) تصویر رنگی (RGB (5/7, 5/4, 3/1 را نشان می‌دهد که مناطق زرد رنگ نشان‌دهنده وجود کانی‌های رسی (خطوط مشکی) و مناطق آبی رنگ مناطق دارای اکسید آهن (خطوط قرمز) را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷ تصویر حاصل از RGB(5/7, 5/4, 3/1

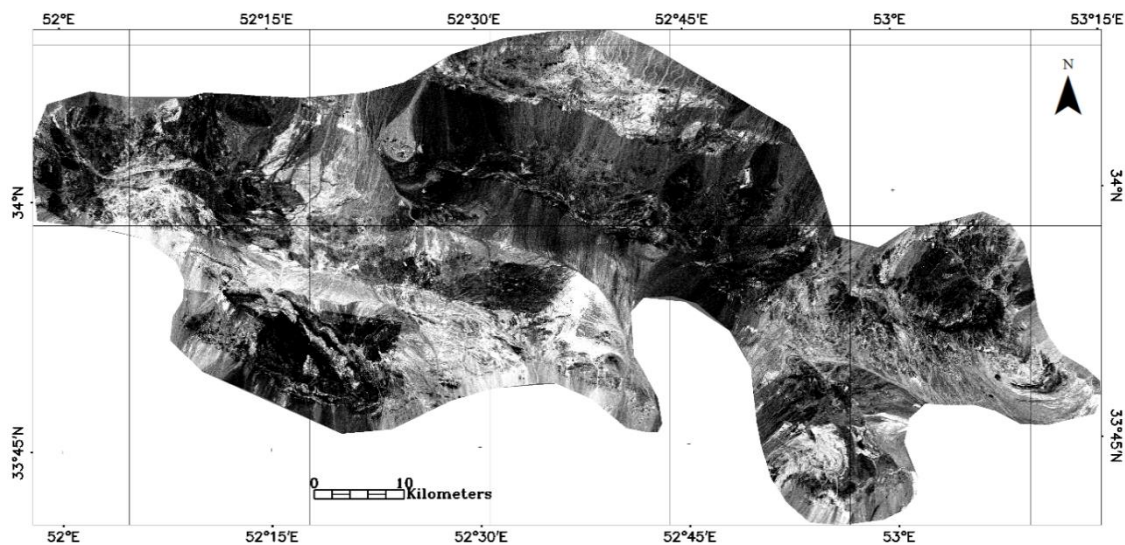
۴-۲-۵ آنالیز مولفه اصلی:

همانطور که در فصل سوم گفته شد، روش آنالیز مولفه اصلی در تفسیر داده‌های سنجش از دور از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا جهت حذف اطلاعات تکراری یا اضافی طیفی و متمرکز کردن اطلاعات چند باند که کم و بیش دارای همبستگی هستند در یک باند با واریانس بالا به کار می‌رود. جدول (۴-۲) مولفه‌های اصلی محاسبه شده برای ۶ باند سنجنده ETM+ را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲: مقادیر بردار ویژه برای ۶ باند تصویر

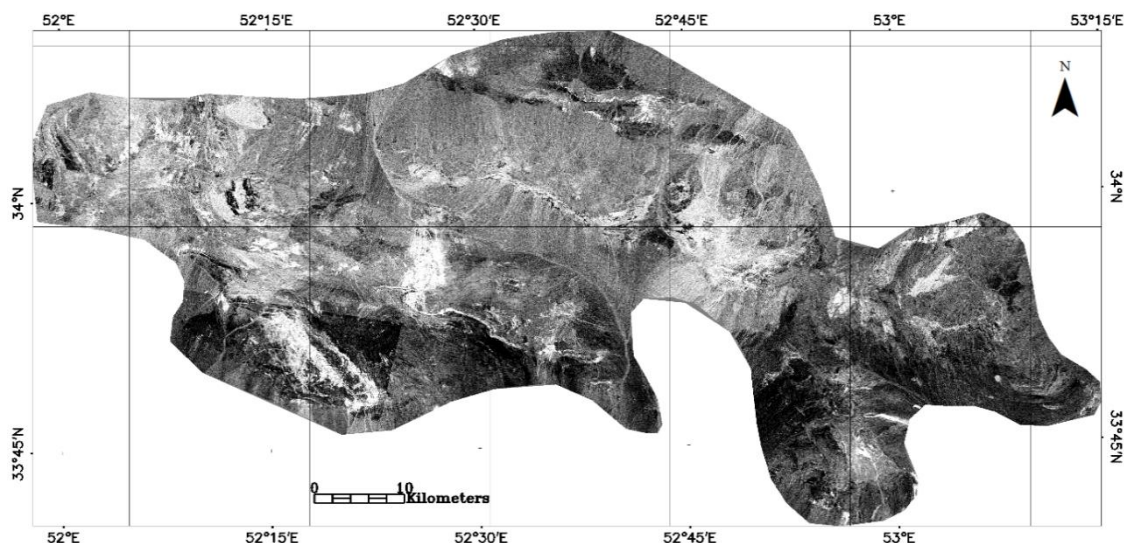
Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
PC 1	0.455273	0.422754	0.398466	0.3933	0.384975	0.390308
PC 2	-0.53334	-0.27655	-0.11989	-0.06189	0.539067	0.574698
PC 3	0.515339	0.132671	-0.45727	-0.65768	0.183161	0.204072
PC 4	0.190423	-0.30066	-0.03991	0.13644	-0.6542	0.652045
PC 5	0.414472	-0.62315	-0.32584	0.441804	0.301423	-0.21835
PC 6	0.186162	-0.49848	0.71414	-0.44175	0.093944	-0.05382

همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین اختلاف بین دو باند ۳ و ۱ برای نمایش کانی‌های اکسید آهن در PC3 وجود دارد که بهترین مولفه برای بارزسازی اکسیدهای آهن است اما چون مقدار باند ۳ منفی است و مقدار باند ۱ مثبت است در تصویر حاصل پیکسل‌های هدف به صورت تیره ظاهر می‌شوند. با معکوس کردن تصویر (ضرب در مقدار ۱-) پیکسل‌های حاوی اکسید آهن به رنگ روشن دیده می‌شوند (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸ تصویر حاصل از PC3_ که پیکسل‌های سفید نشان دهنده‌ی اکسید آهن هستند.

با توجه به این نکته که اطلاعات کانی‌های رسی در سنجنده ETM+ در باند ۵ و ۷ متمرکز است، بهترین مولفه برای کانی‌های رسی PC4 می‌باشد که به دلیل منفی بودن مقدار اختلاف از معکوس این مولفه برای به تصویر درآوردن کانی‌های رسی استفاده می‌شود (شکل ۴-۹).



شکل ۹-۴ تصویر به دست آمده از PC4_ که پیکسل‌های سفید مناطق رسی را نشان می‌دهد.

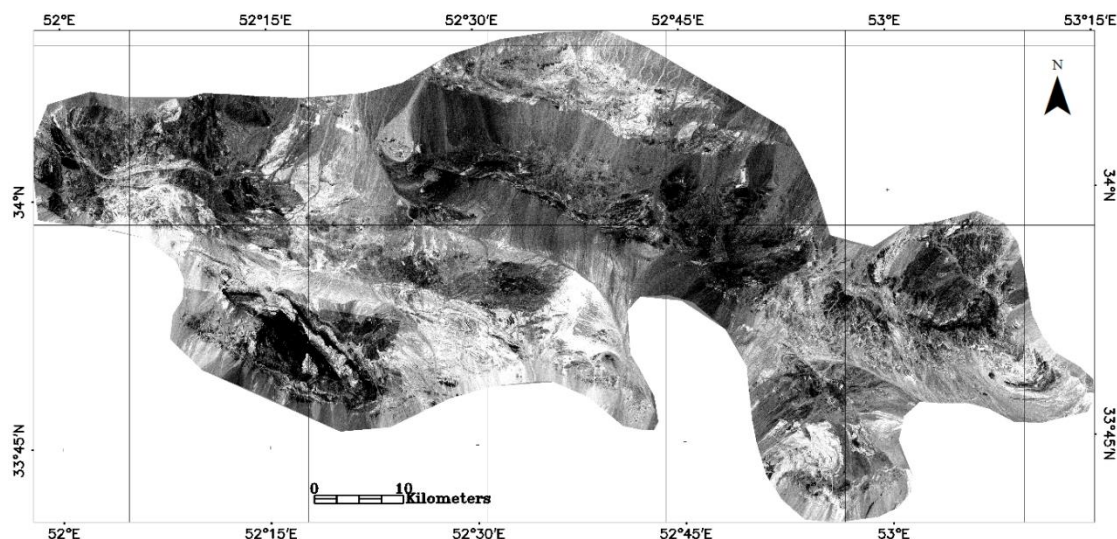
۴-۲-۶ آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی (کروستا)

در تحلیل مولفه اصلی انتخابی بر حسب نوع هدف باندها انتخاب می‌شوند. این روش معمولاً بر روی چهار باند اعمال می‌شود. آنالیز مولفه اصلی برای بارزسازی مناطق دارای اکسید آهن روی باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ صورت گرفت که انتخاب این باندها برای پردازش به دلیل بازتاب بالا در باند ۳ و جذب بالا در باند ۱ می‌باشد (Sabins, 1999).

جدول (۳-۴) نتایج تحلیل مولفه اصلی که به روی ۴ باند انجام شده را نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر بردارهای ویژه، PC3 بهترین مولفه برای بارزسازی دگرسانی‌های مرتبط با اکسید آهن است، چرا که در باند سه که آهن بیشترین بازتاب را داراست بیشترین مقدار و در باند یک که باند جذب آهن می‌باشد کمترین مقدار را دارد، شکل (۴-۱۰) تصویر به دست آمده را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴: مقادیر بردار ویژه برای اکسید آهن

Eigenvector	Band 1	Band 3	Band 4	Band 5
PC 1	0.557236	0.487346	0.48103	0.469673
PC 2	0.621157	0.059192	-0.01671	-0.78127
PC 3	-0.53995	0.414917	0.606242	-0.41082
PC 4	0.110046	-0.76605	0.633089	0.015916

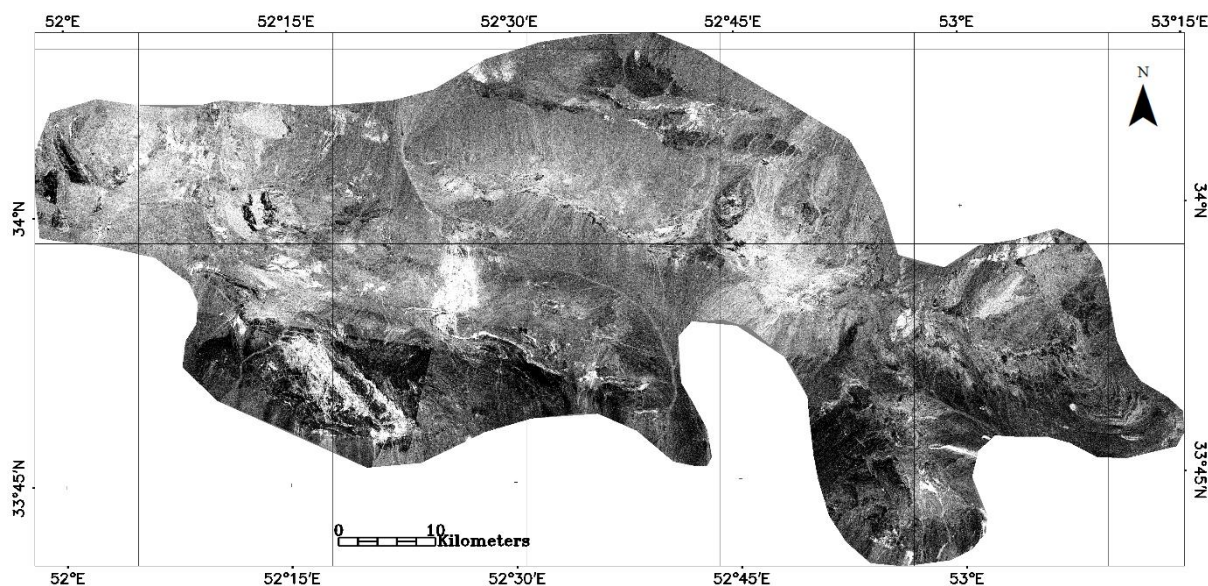


شکل ۴-۱۰: تصویر PC3 که پیکسل‌های روشن مناطق اکسید آهن را نشان می‌دهند.

به طور مشابه آنالیز مولفه اصلی برای استخراج مناطق دارای هیدروکسیل آهن بر روی باندهای ۱،۴،۵ و ۷ اعمال شد دلیل انتخاب این باندها این است که یون هیدروکسیل در باند ۵ دارای بازتاب بالا و در باند ۷ دارای جذب بالاست (Sabins, 1999; Longhlin, 1991). نتایج حاصل از اعمال آنالیز مولفه اصلی بر روی باندهای ۱،۴،۵ و ۷ در جدول (۴-۴) ارائه شده است که بیانگر آن است که بیشترین اختلاف بین مقادیر باندهای ۵ و ۷ در PC4 مشاهده شده است. لذا این مولفه مناسب‌ترین مورد برای نشان دادن دگرسانی کانی‌های رسی می‌باشد. با توجه به مقدار منفی اختلاف، از معکوس این مولفه برای به تصویر کشیدن کانی‌های رسی استفاده شده است (شکل ۴-۱۱).

جدول ۴-۴: مقادیر بردار ویژه برای باندهای ۱-۴-۵-۷

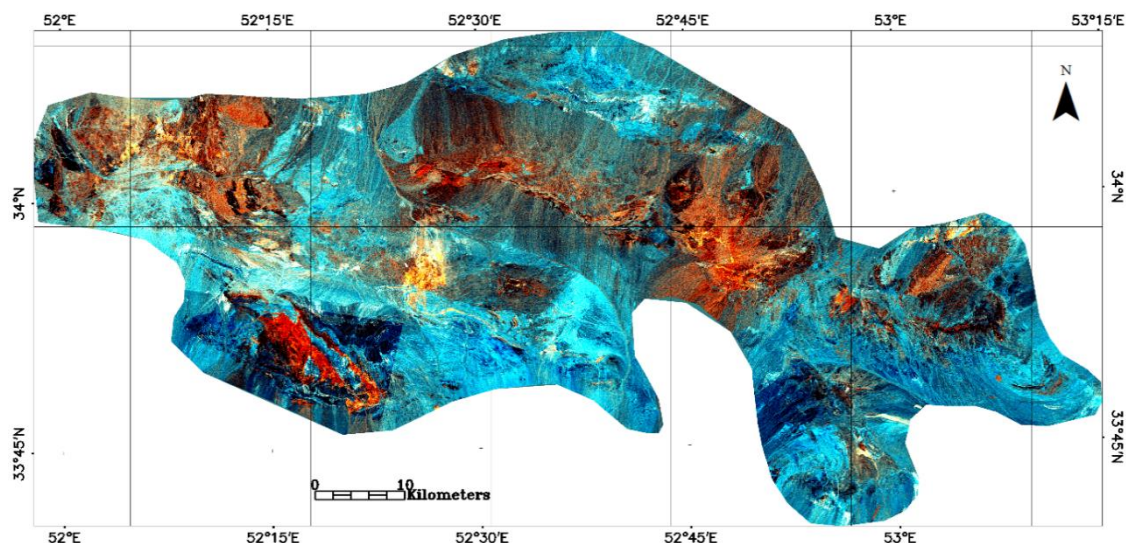
Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 5	Band 7
PC 1	-0.5578	-0.48263	-0.4741	-0.48078
PC 2	-0.69819	-0.16676	0.475207	0.508828
PC 3	-0.44875	0.859515	-0.15522	-0.1891
PC 4	0.003212	0.022292	-0.72479	0.688607



شکل ۴-۱: تصویر PC4- کانی‌های رسی موجود را با پیکسل‌های روشن نشان می‌دهد.

۴-۲-۷ ترکیب تصاویر حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی به صورت تصویر رنگی

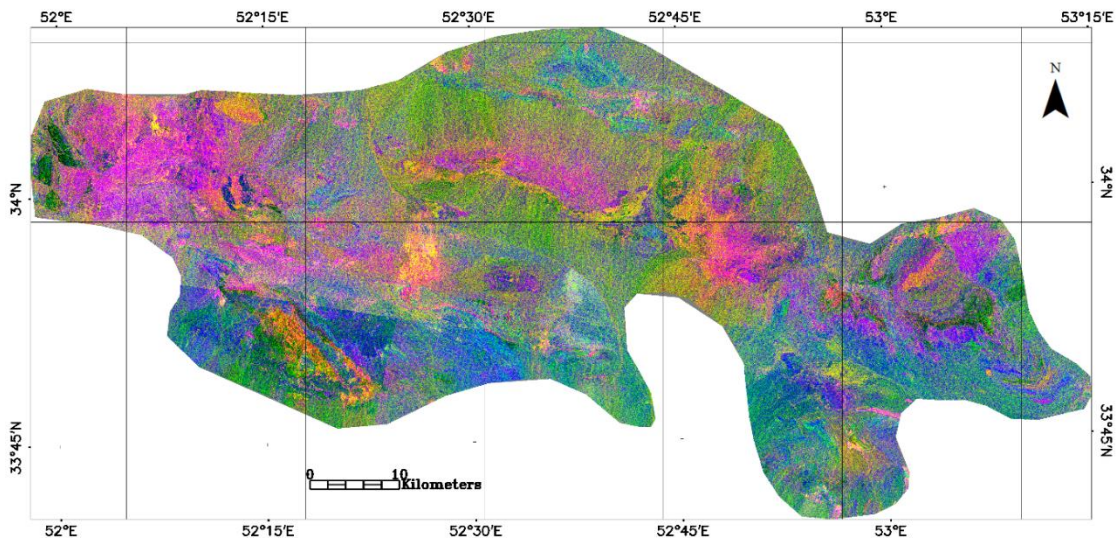
برای بارزسازی مناطقی که دارای هر دو نوع دگرسانی کانی‌های حاوی اکسید و هیدروکسیل آهن هستند بهتر است از تصاویر رنگی استفاده شود ترکیب‌های مختلفی از تصاویر حاصل از آنالیز مولفه اصلی می‌توان ساخت که ترکیب تصویر هیدروکسیل (H)، تصویر هیدروکسیل به اضافه اکسید آهن (F+H)، و تصویر اکسیدهای آهن (F) به ترتیب با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی از همه معروف‌تر است و توسط محققین زیادی پیشنهاد شده است. در تصویر حاصل از این ترکیب اکسیدهای آهن با رنگ آبی روشن و مناطق دارای هیدروکسیل با رنگ زرد مشخص می‌شوند و عموماً دگرسانی‌های گرمابی به رنگ زرد آجری درمی‌آیند. شکل (۴-۱۲) چنین تصویری را نشان می‌دهد که از منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. این تصویر از ترکیب تصویر PC4- حاصل از روش کروستا (کانی‌های حاوی هیدروکسیل) به رنگ قرمز، تصویر PC3 حاصل از روش کروستا (اکسید آهن) به رنگ آبی و مجموع این دو مولفه اصلی به رنگ سبز تهیه شده است.



شکل ۴-۱۲: تصویر RGB(H F+H F)

۴-۲-۸ روش برازش کمترین مربعات

کانی‌های دارای بنیان هیدروکسیل در باند ۷ سنجنده ETM+ جذب بالایی دارند به همین دلیل این باند به عنوان باند مدل برای تخمین مناطق دارای دگرسانی آرژیلیکی انتخاب می‌شود ولی به دلیل منفی بودن مقدار باقی مانده پیکسل‌های حاوی دگرسانی بارنگ سیاه ظاهر می‌شوند که می‌توان باند ۷ را معکوس کرد تا پیکسل‌های حاوی دگرسانی به رنگ سفید نمایش داده شوند. برای بارزسازی اکسیدهای آهن باند ۳ که باند بازتاب است و برای تخمین گیاهان باند ۴ به عنوان باند مدل انتخاب شدند. برای تفکیک بهتر یک ترکیب رنگی کاذب از این باقی مانده‌ها ساخته شد که در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است.



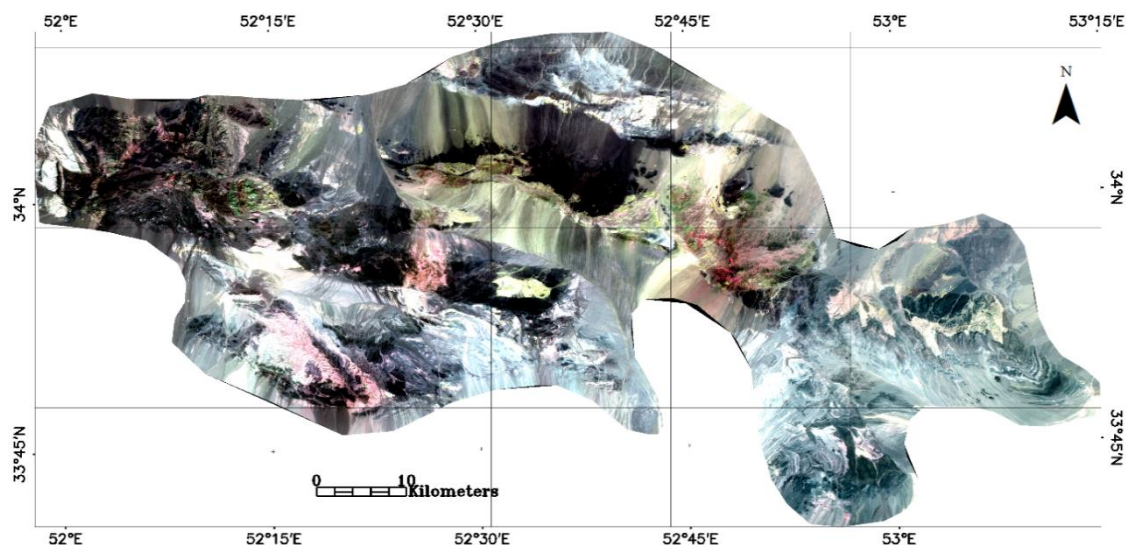
شکل ۴-۱۳: تصویر RGB(-Ls- fit7, Ls-fit3, Ls-fit4) مناطق دگرسانی به رنگ زرد و نارنجی دیده می‌شود.

۳-۴ پردازش تصاویر استر

داده‌های سنجنده استر مورد استفاده در این مطالعه شامل ۵ شیت می‌باشد که مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ است. ابتدا باندهای VNIR، SWIR ادغام شده و با توجه به اینکه منطقه در ۵ تصویر قرار گرفته است تصاویر موزاییک شدند و سپس محدوده مورد نظر از تصویر حاصل از موزاییک برش داده شد. پس از انجام مراحل پیش‌پردازش جهت شناسایی و بارزسازی پدیده‌ها از روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، آنالیز مولفه اصلی انتخابی و نقشه‌بردار زاویه طیفی استفاده شده است.

۴-۳-۱ ترکیب رنگی کاذب:

براساس بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته، برای داده‌های سنجنده استر تصویر با ترکیب رنگی RGB:468 ترکیب مناسبی برای تشخیص مناطق دگرسانی است. همچنین منحنی‌های طیفی کانی‌های کائولینیت، مونت‌موریلونیت، موسکویت و ایلیت که کانی‌های شاخص زون آرژیلیک و فلیک هستند، نشان می‌دهد که در باند ۴ دارای حداکثر بازتاب و در باند ۶ دارای بازتاب پایین هستند و همچنین کانی‌های کلریت و اپیدوت که شاخص زون پروپیلیتیک هستند در باندهای ۵ و ۶ دارای بازتاب بالا و در باند ۸ بازتاب پایینی دارند (Ferreir et al., 2002) بنابراین در ترکیب ۴۶۸ زون‌های آرژیلیک و فلیک به رنگ قرمز تا صورتی و زون پروپیلیتی به رنگ سبز دیده می‌شود (شکل ۴-۱۴).

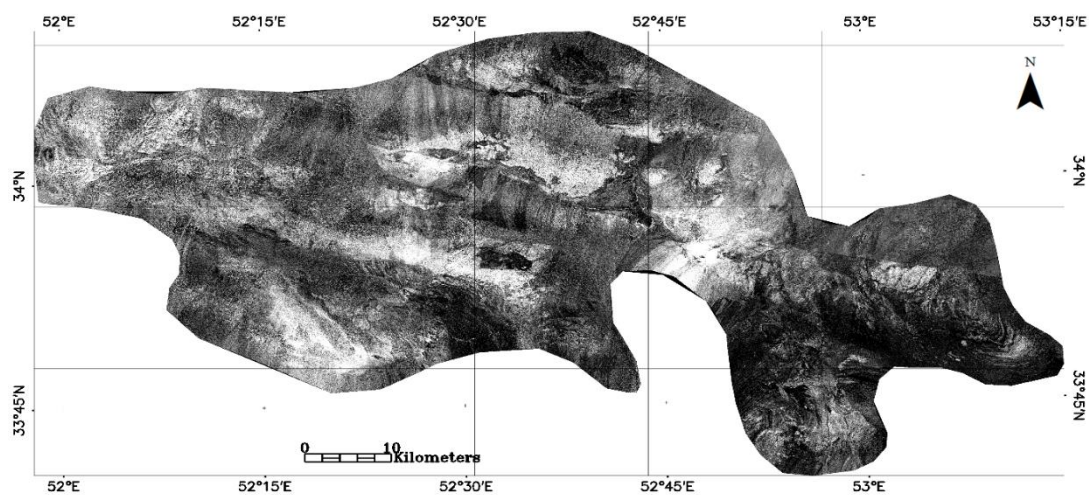


شکل ۴-۱۴: تصویر حاصل از ترکیب رنگی RGB(468)

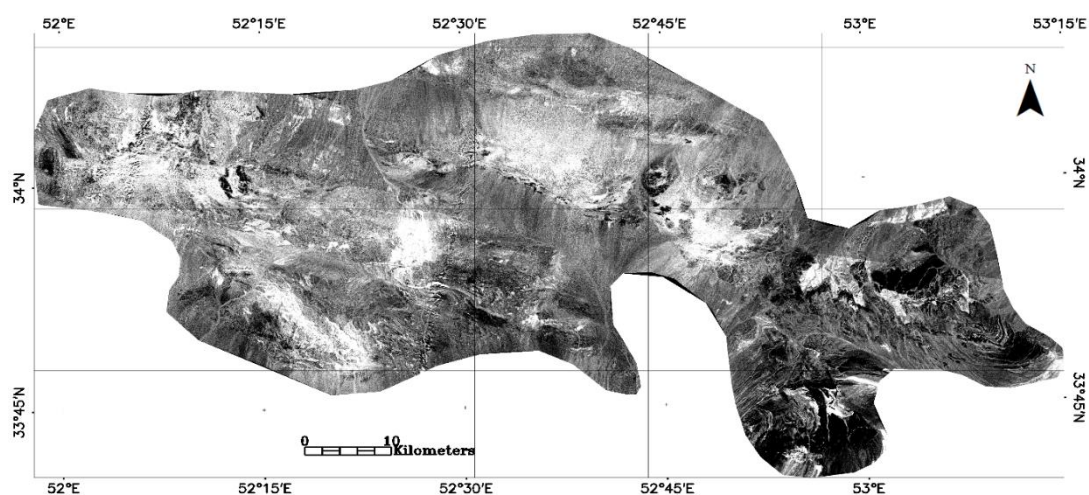
۴-۳-۲ تصاویر نسبتی

با توجه به نمودار طیفی و باندهای جذب و بازتاب سنگ‌ها از نسبت‌های باندی متفاوتی استفاده شد. در منطقه مورد مطالعه برای نشان دادن دگرسانی فیلیک از نسبت باندی ۵ به ۶ (شکل ۴-۱۵) استفاده شد. زیرا کانی‌های رسی در محدوده باند ۴ و ۵ سنجنده استر دارای بیشترین بازتاب و در محدوده باند ۶ دارای جذب بالایی هستند. کانی‌های کائولینیت و مونت‌موریونیت در محدوده باند ۴ دارای حداکثر بازتاب و در محدوده باند ۵ و ۶ کمترین میزان بازتاب را دارند بنابراین از نسبت ۴ به ۵ برای نشان دادن زون آرژیلیک استفاده شده است (شکل ۴-۱۶). همچنین برای نشان دادن زون دگرسانی پروپیلیتیک از نسبت باندی ۵ به ۸ استفاده شد (شکل ۴-۱۷) چون کانی‌های شاخص آن مانند کلریت و اپیدوت در محدوده طیفی باند ۵ بالاترین میزان بازتاب و در محدوده طیفی باند ۸ کمترین میزان بازتاب

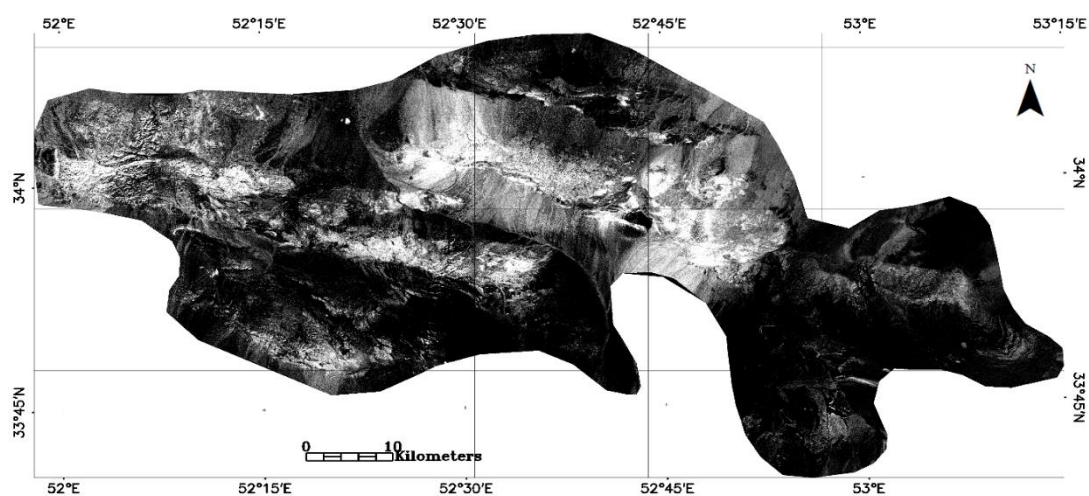
(Beiranvand Pour and Hashim, 2012) را دارند.



شکل ۴-۱۵: تصویر به دست آمده از نسبت بانندی ۵ به ۶

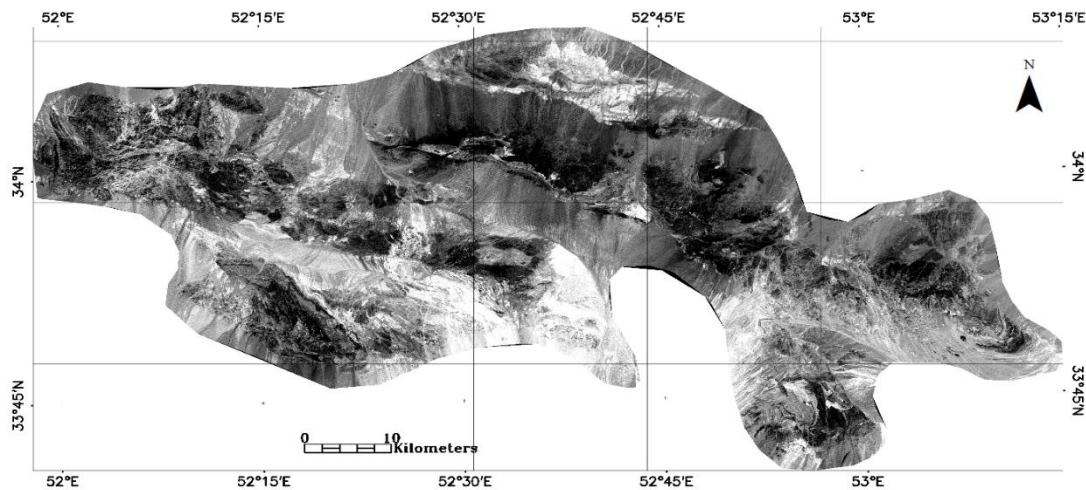


شکل ۴-۱۶: تصویر به دست آمده از نسبت بانندی ۴ به ۵



شکل ۴-۱۷: تصویر به دست آمده از نسبت بانندی ۵ به ۸

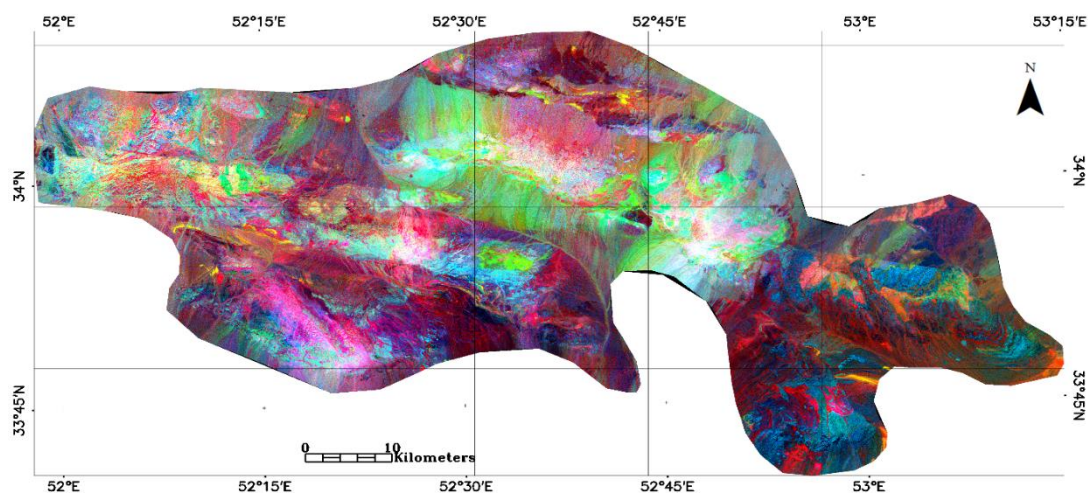
به منظور شناسایی مناطق دارای اکسید آهن به سبب جذب در ناحیه باند ۱ و بازتاب در ناحیه باند ۲، از نسبت باندهای ۲ به ۱ برای بارزسازی اکسیدهای آهن بهره گرفته شده است تصویر به دست آمده در شکل (۴-۱۸) ارائه شده است.



شکل ۴-۱۸: تصویر حاصل از نسبت باندهای ۲ به ۱

۴-۳-۳ ترکیب رنگی از تصاویر نسبتی

ترکیب رنگی تصاویر نسبتی می‌تواند اطلاعات بیشتری را از مناطق دگرسانی ارائه دهد به همین دلیل از این روش استفاده گردید تا نتایج بهتری از تصاویر نسبتی حاصل شود. شکل (۴-۱۹) دگرسانی‌های منطقه را به صورت رنگی نشان می‌دهد که نسبت ۴ به ۵ در کانال قرمز، نسبت ۵ به ۸ در کانال سبز و کانال ۵ به ۶ در کانال آبی قرار گرفته است. مناطق سفید رنگ دگرسانی فیلیک، مناطق صورتی رنگ دگرسانی آرژیلیک و مناطق به رنگ آبی روشن در اطراف آنها دگرسانی پروپیلیتیک را نشان می‌دهد.



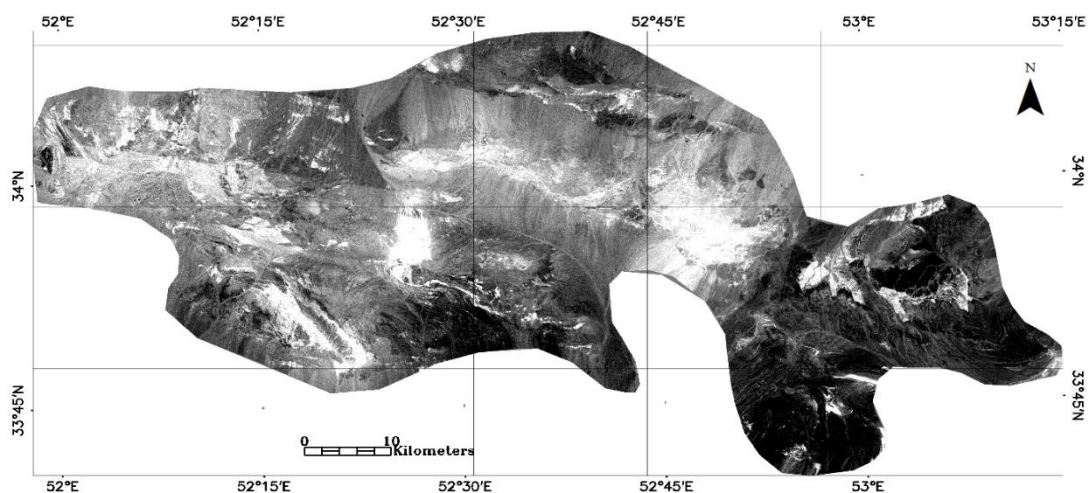
شکل ۴-۱۹: تصویر حاصل RGB(4/5,5/8,5/6)

۴-۳-۴ تحلیل مولفه اصلی انتخابی (کروستا)

از روش کروستا نیز برای بارزسازی دگرسانی در منطقه استفاده شد. برای آشکارسازی دگرسانی آرژلیک در منطقه به دلیل بازتاب بالای کانی‌های این دگرسانی در باند ۴ و کمترین میزان بازتاب در باند ۶ باندهای ۱، ۴، ۶ و ۷ انتخاب شدند که با توجه مقادیر بردار ویژه به دست آمده برای این باندها که در جدول ۴-۴ آورده شده است بهترین مولفه PC3 می‌باشد زیرا بیشترین مقدار اختلاف را مقادیر باند ۴ و ۶ در این مولفه دارند. در شکل (۴-۲۰) که حاصل از PC3 می‌باشد پیکسل‌های روشن نشان دهنده کانی‌های رسی است.

جدول ۴-۴: نتایج مولفه اصلی انتخابی بر روی باندهای ۱، ۴، ۶ و ۷

Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 6	Band 7
PC1	-0.4894	-0.50241	-0.5036	-0.50444
PC 2	-0.86456	0.172713	0.327986	0.33932
PC 3	-0.11364	0.837507	-0.25409	-0.47022
PC4	-0.01086	0.127814	-0.75779	0.639763

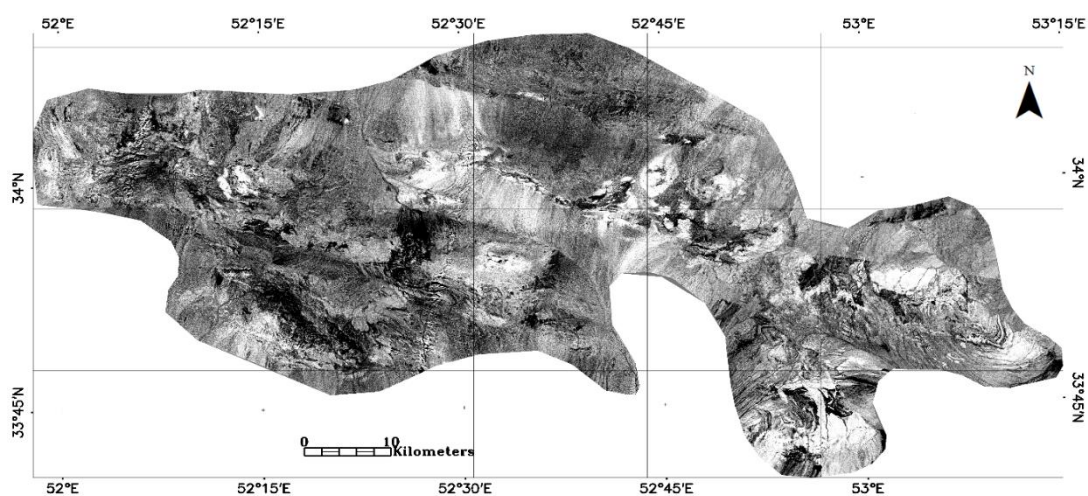


شکل ۴-۲۰: تصویر به دست آمده از PC3 مولفه اصلی انتخابی برای کانی‌های رسی

برای نقشه‌برداری دگرسانی پروپلیتیک چهار باند ۵، ۴، ۱ و ۸ (جدول ۴-۵) و بیشترین اختلاف بین باند ۵ و ۸ برای تعیین مناطق پروپلیتیک در PC4 مشاهده می‌شود که با توجه به منفی بودن این اختلاف از معکوس این مولفه برای بارسازی استفاده شد (شکل ۴-۲۱).

جدول ۴-۵: مقادیر بردار ویژه برای باندهای ۱، ۴، ۵ و ۸

Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 5	Band 8
PC 1	0.490	0.502	0.501	0.505
PC 2	0.863	-0.197	-0.258	-0.38
PC 3	-0.11	0.657	0.181	-0.721
PC 4	0.002	0.524	-0.805	0.275

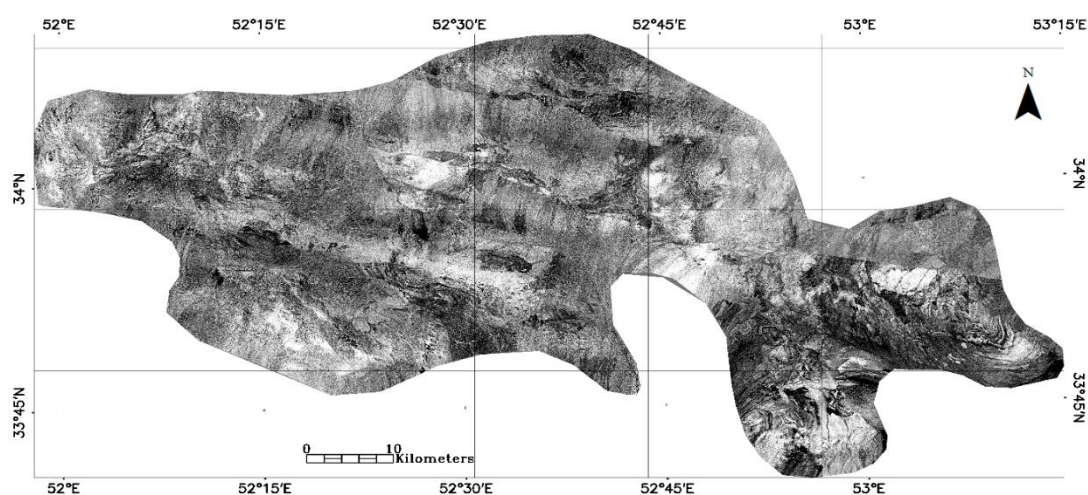


شکل ۴-۲۱: تصویر به دست آمده از PC4- مولفه اصلی انتخابی برای دگرسانی پروپلیتیک

برای دگرسانی فلیک باندهای ۴، ۵، ۶ و ۹ (جدول ۴-۶) انتخاب شدند. با توجه به مقادیر برای تعیین دگرسانی فلیک نیز PC4 مناسب تشخیص داده شد (شکل ۴-۲۲).

جدول ۴-۶: مقادیر بردار ویژه برای باندهای ۴، ۵، ۶ و ۹

Eigenvector	Band 4	Band 5	Band 6	Band 9
PC 1	-0.500	-0.499	-0.501	-0.497
PC 2	-0.688	-0.107	0.088	0.711
PC 3	0.474	-0.305	-0.659	0.495
PC 4	-0.223	0.803	-0.551	-0.025

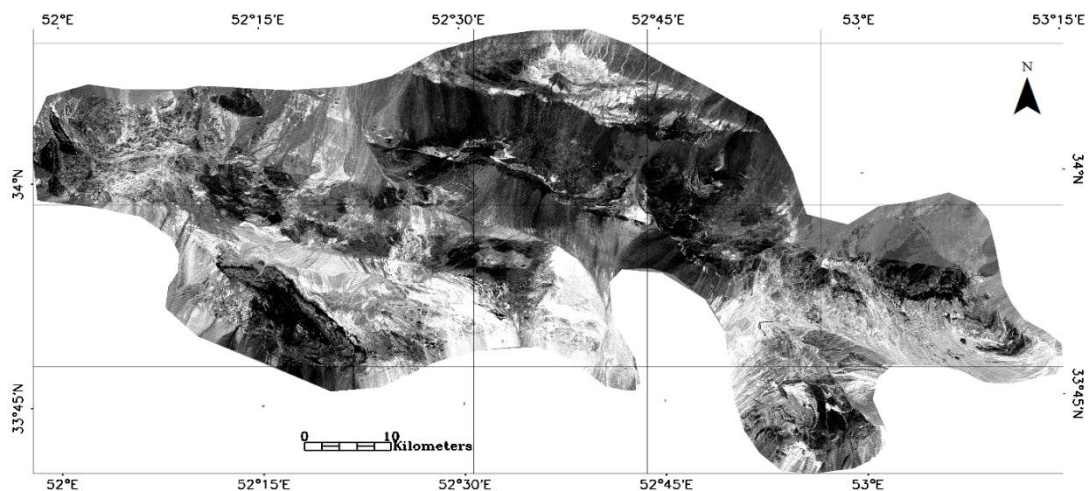


شکل ۴-۲۲: تصویر به دست آمده از PC4 برای دگرسانی فلیک

برای تعیین مناطق حاوی اکسیدهای آهن باندهای ۱، ۲، ۳ و ۴ (جدول ۴-۷) انتخاب شدند که PC3 مناسب‌ترین مولفه برای تعیین این مناطق می‌باشد (شکل ۴-۲۳).

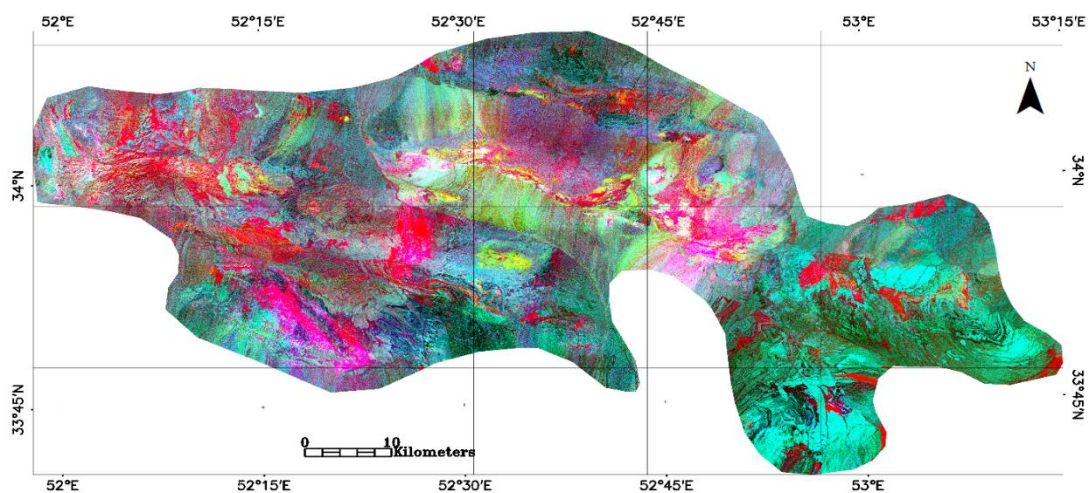
جدول ۴-۷: مقادیر بردار ویژه برای باندهای ۱، ۲، ۳ و ۴

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
PC 1	0.495	0.5001	0.499	0.503
PC 2	0.313	0.291	0.266	-0.863
PC 3	-0.783	0.228	0.577	-0.028
PC 4	0.205	-0.782	0.588	-0.007



شکل ۴-۲۳: تصویر به دست آمده از PC3 برای مناطق حاوی اکسید آهن

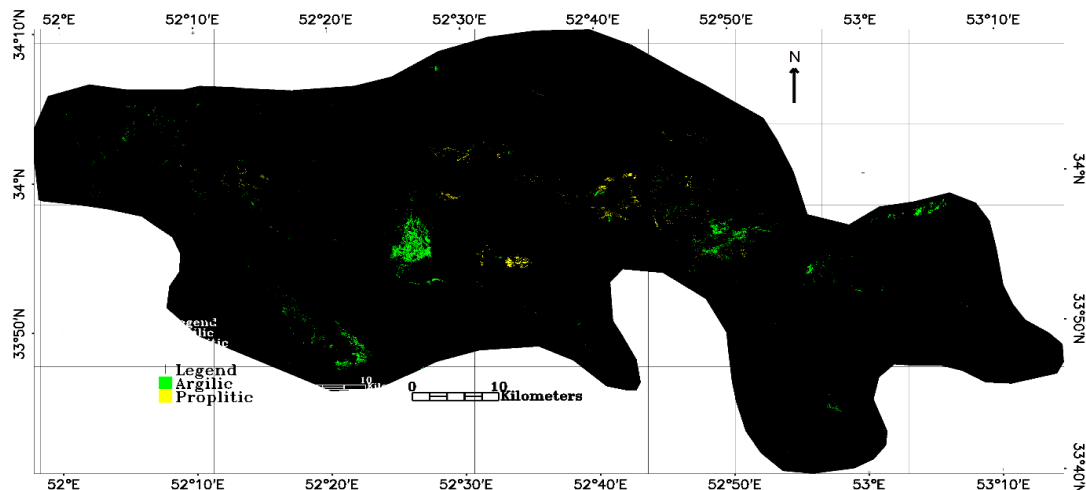
برای نشان دادن موقعیت دگرسانی نسبت به هم از مولفه‌های به دست آمده از روش آنالیز مولفه اصلی انتخابی تصویر رنگی ساخته شد. برای ساخت این تصویر، مولفه PC3 به دست آمده برای آرژلیک در کانال قرمز، مولفه PC4- پروپلیتیک در کانال سبز و مولفه PC4 فلیک در کانال آبی قرار گرفت. شکل (۴-۲۴) تصویر حاصل را نشان می‌دهد که در آن دگرسانی آرژلیک با رنگ قرمز، دگرسانی پروپلیتیک با رنگ آبی فیروزه‌ای و دگرسانی فلیک با رنگ صورتی نمایان است.



شکل ۴-۲۴: تصویر ترکیب رنگی (RGB(PC3, -PC4, PC3) دگرسانی آرژلیک با رنگ قرمز، دگرسانی فلیک با رنگ صورتی و پروپلیتیک با رنگ آبی فیروزه‌ای مشخص است.

۴-۳-۶ نقشه بردار زاویه طیفی

به منظور شناسایی مناطق دگرسانی این روش بر روی تصویر اعمال شد که تصویر به دست آمده در شکل (۴-۲۵) آورده شده است. دگرسانی آرژیلیکی به رنگ سبز و دگرسانی پروپلیتیک به رنگ زرد دیده می شود.



شکل ۴-۲۵: تصویر به دست آمده از اعمال روش SAM

۴-۴ استخراج خطواره ها و گسل ها

گسل ها محل مناسبی برای نفوذ ماگما بوده و امکان تماس و انجام واکنش های شیمیایی محلول های گرمابی را با سنگ ها افزایش می دهند. بنابراین گسل ها به دلیل ارتباط قابل توجهی که می توانند با کانی زایی داشته و روند آن را تعیین و کنترل کنند، به عنوان یکی از مهم ترین موضوعات در مطالعات زمین شناسی مناطق مختلف در نظر گرفته می شوند. تحقیقات متعددی در زمینه استخراج خطواره ها توسط محققان صورت گرفته است:

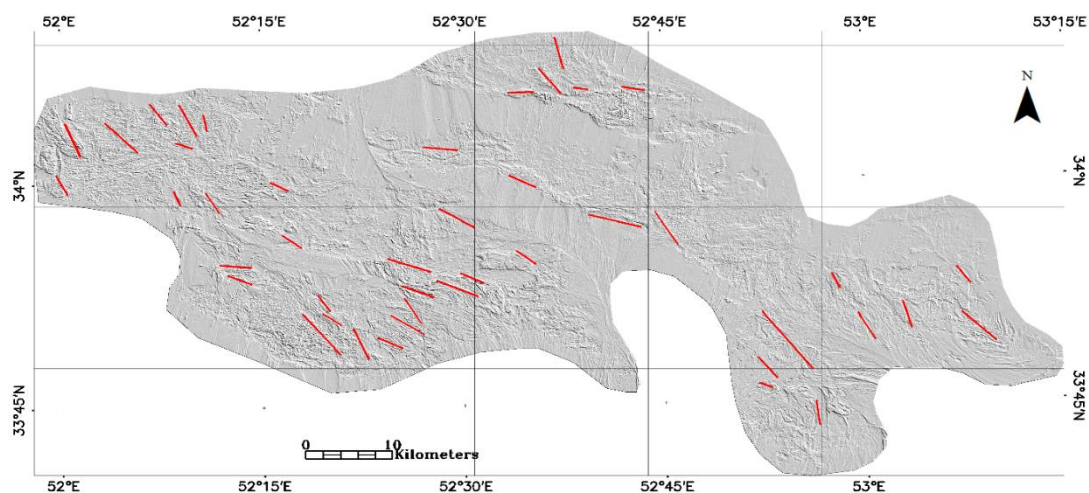
مه و همکاران (۱۹۹۵) برای استخراج خطواره ها از تصاویر ماهواره ای لندست TM و از تکنیک های سنجش از دور مانند ترکیب رنگی و فیلتر گذاری استفاده کردند. نوک و سولیکلیس (۲۰۰۰) برای تهیه نقشه خطواره ها از تصاویر ماهواره ای لندست TM و تکنیک های ترکیب رنگی و آنالیز مولفه اصلی استفاده کردند. کوجال (۲۰۰۴) گسل های منطقه گولبسی در آنکارا را با استفاده از روش های رقومی خودکار و

تفسیر بصری استخراج و روش تفسیر بصری را به عنوان مناسب‌ترین روش در تفسیر و استخراج خطواره-ها تعیین کرد. سارپ (۲۰۰۵) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور خطواره‌های بخش شمالی- جنوبی آنکارا را به منظور تهیه نقشه خطواره‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که علاوه بر زون گسلی شمال آناتولی، چند زون گسلی دیگر در منطقه وجود دارد.

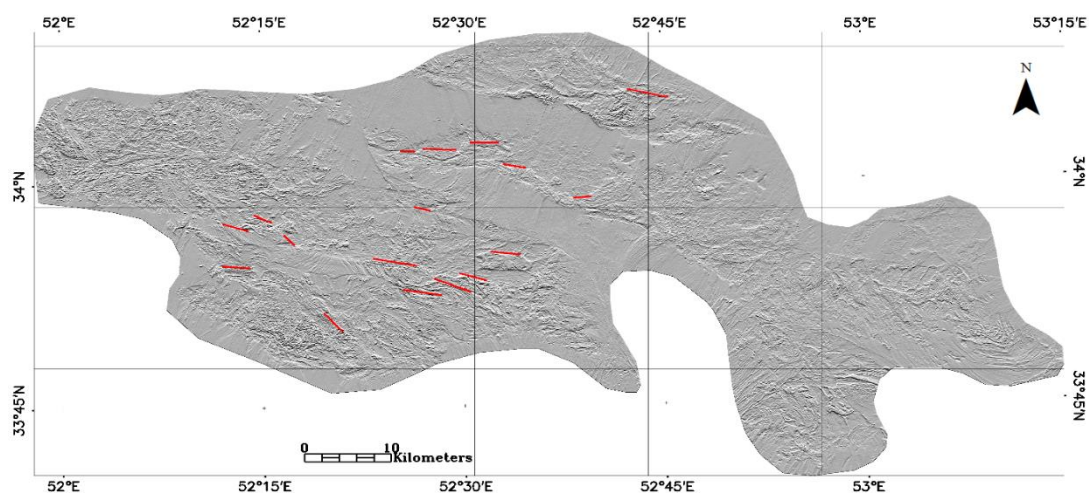
در تحقیق حاضر برای استخراج خطواره‌ها ابتدا یکسری پردازش‌ها به منظور آماده سازی تصویر ماهواره-ای انجام شد. سپس با توجه به هدف تحقیق (استخراج خطواره‌ها) و براساس تحقیقات مشابه و نتایج تحقیقات انجام شده ، تکنیک‌های بارزسازی خطواره‌ها مورد استفاده قرار گرفت و نتیجه آن با گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی مقایسه شد.

۴-۴-۱ فیلترگذاری

فیلترکردن نوعی تغییر ارزش طیفی است که در آن ارزش هر پیکسل نسبت به پیکسل همسایه‌اش تغییر می‌کند (علوی‌پناه، ۱۳۸۵). برای اعمال فیلتر روی یک تصویر یک جعبه فیلتر و یا پنجره فیلتر در نظر گرفته می‌شود و برای تعیین درجات روشنایی جدید پیکسل‌ها، این پنجره بر روی تمام تصویر حرکت می‌کند و تصویر جدید را به وجود می‌آورد. پنجره فیلتر در واقع ماتریسی است که شامل مجموعه‌ای از ضرایب است. مقدار هر پیکسل در تصویر خروجی با قرار دادن پنجره روی پیکسل متناظر و ضرب نمودن تمام پیکسل‌های زیر پنجره در ضریب متناسب و حاصل جمع آنها به دست می‌آید (علوی‌پناه، ۱۳۸۵). در این تحقیق از فیلترهای مختلف برای بارزسازی خطواره‌ها که در جهات مختلف گسترش دارند استفاده گردید. این فیلترها در جهات مختلف بر روی تصاویر اعمال شد که شکل (۴-۲۶) تصویر گسل‌های حاصل از اعمال فیلتر جهتی در راستای شمال غرب - جنوب شرق و شکل (۴-۲۷) گسل‌ها را بر روی تصویر فیلتر شده در جهت شرقی - غربی نشان می‌دهد که در محیط نرم‌افزار Arc GIS استخراج شد. تحقیقات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که اعمال فیلتر بر روی تصویر در تشخیص بهتر خطواره‌ها از دیگر پدیده‌های مجاور موثر است (Hung et al., 2005).



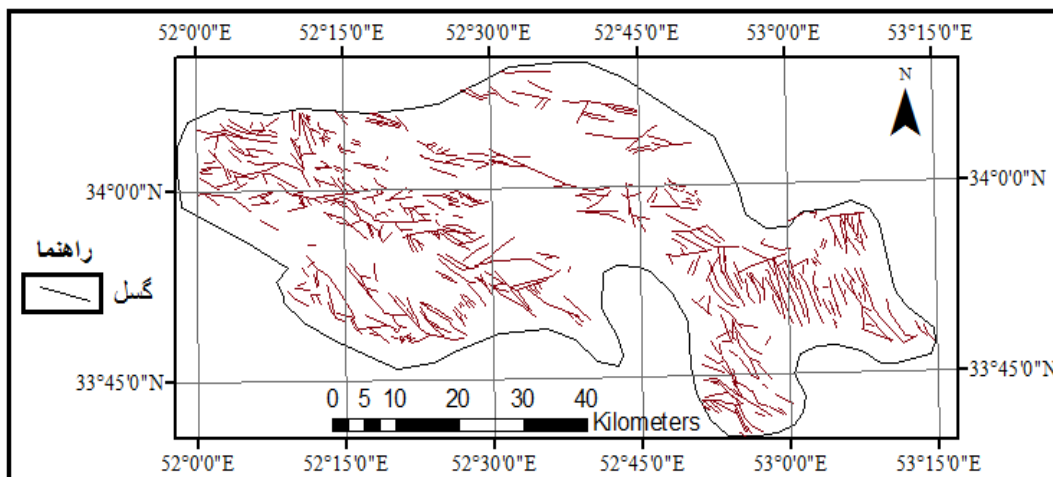
شکل ۴-۲۶: گسل‌های استخراج شده در راستای شمال غرب _ جنوب شرق با استفاده از فیلتر جهتی



شکل ۴-۲۷: گسل‌های استخراج شده در راستای شرقی _ غربی با استفاده از فیلتر جهتی

گسل‌های مشخص شده بر روی نقشه زمین‌شناسی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد که در

شکل (۴-۲۸) آورده شده است.



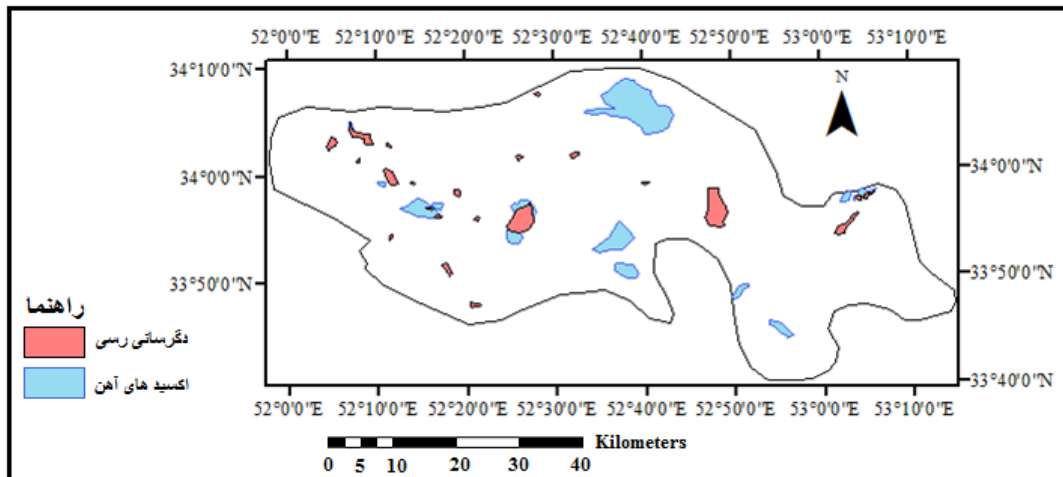
شکل ۴-۲۸: گسل‌های استخراج شده از نقشه زمین‌شناسی

همانطور که در شکل‌های (۴-۲۶) و (۴-۲۷) دیده می‌شود، عمده گسل‌های مشخص شده روند شمال غرب - جنوب شرق دارند که گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۴-۲۸) آن را تایید می‌کند.

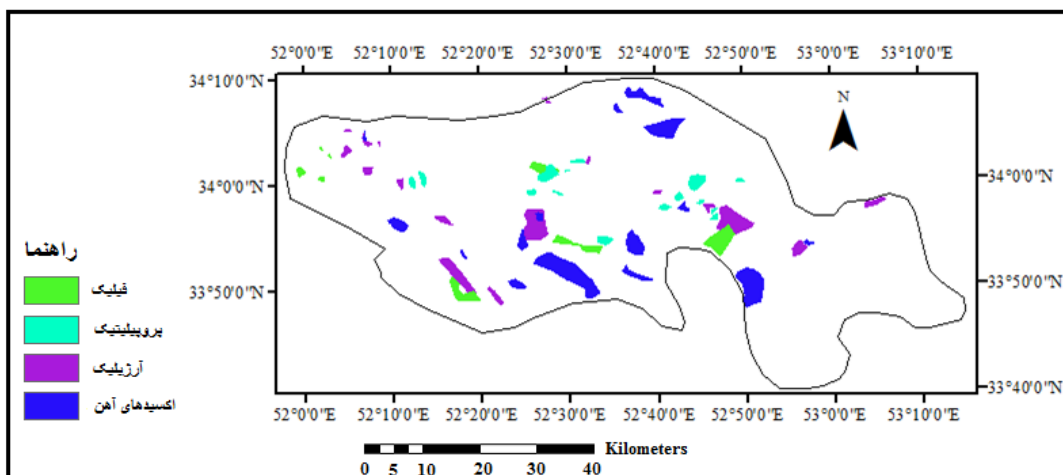
۵-۴ جمع‌بندی

در این فصل با استفاده از تصاویر دو سنجنده ETM+ و ASTER و پردازش آنها در نرم‌افزار ENVI به تفکیک واحدهای سنگی و بارزسازی مناطق دگرسان شده و گسل‌ها پرداخته شد. برای این منظور از روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، آنالیز مولفه اصلی، کروستا و نقشه‌بردار زاویه طیفی استفاده شد. شکل (۴-۲۹) نقشه نهایی دگرسانی تهیه شده از تصاویر سنجنده ETM+ و (۴-۳۰) نقشه نهایی دگرسانی را با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER نشان می‌دهند. به طور کلی نتایج حاصل از تصاویر ASTER اطلاعات کامل‌تری نسبت به تصاویر ETM+ را در اختیار قرار می‌دهد. تصاویر استخراج شده با استفاده از روش‌های یاد شده تطابق زیادی با یکدیگر داشته و مناطق دگرسانی آرژلیک را در واحدهای آندزیتی و آندزیت بازالت‌های مربوط به آئوسن نشان دادند که با نقشه زمین‌شناسی منطقه که موقعیت این زون روی آن مشخص شده است تطابق دارد. در مورد موقعیت هاله‌های دگرسانی موجود در منطقه می‌توان اینطور بیان نمود که فاقد زون بندی مشخصی نسبت به یکدیگر بوده و در بیشتر مناطق دارای

همپوشانی هستند. وجود دگرسانی‌ها در امتداد گسل‌ها می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تاثیر ساختارهای گسلی در انتقال محلول‌های گرمایی دارای فازهای کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه باشد.



شکل ۲۹-۴: نقشه نهایی دگرسانی‌های استخراج شده از تصاویر سنجنده ETM+



شکل ۳۰-۴: نقشه نهایی دگرسانی‌های استخراج شده از تصاویر سنجنده ASTER

فصل پنجم

پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوایی

۵-۱ مقدمه

شناخت ساختارهای زیر سطحی زمین و مطالعه انواع رفتار آنها با استفاده از روش های مختلف ژئوفیزیکی تاکنون با پیشرفت های بسیاری همراه بوده و همواره پژوهشگران تلاش کرده اند تا ضمن صرفه جویی در زمان و هزینه، با ثبت و استخراج حداکثر میزان اطلاعات دریافتی، راندمان کاری خود را افزایش دهند. روش مغناطیس سنجی هوایی یکی از روش های ژئوفیزیک هوایی است که بیش از سایر روش ها برای پی جویی و اکتشاف مواد معدنی به کار برده می شود و یکی از ارکان اصلی مطالعات زمین شناسی و پتانسیل یابی معدنی گردیده است. کار سنجش مغناطیسی به شیوه هوایی توسط مغناطیس-سنج های ویژه ای که بر هواپیما نصب می گردند انجام می شود. از مزیت های برداشت های مغناطیسی، سهولت برداشت و هزینه پایین تر آن نسبت به سایر روش های ژئوفیزیکی است. این روش به طور مستقیم برای مشخص کردن توده های با خاصیت مغناطیسی بالا مانند کانسارهای آهن و به طور غیر مستقیم برای اکتشاف کانسارهای سولفیدی و اکتشاف حوزه های رسوبی با خاصیت مغناطیسی کم مورد استفاده قرار می گیرد. روش مغناطیس سنجی هوایی در مقیاس بزرگ نیز برای تعیین محل گسل های بزرگ و مناطق خردشده و شکسته که اغلب در ارتباط با کانی سازی هستند، بسیار مفید واقع می شود (Bonham Crater, 1994).

در این بخش داده های مغناطیس هوایی منطقه مورد مطالعه با فاصله پروفیل ۷/۵ کیلومتر، که از سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه گردید مورد پردازش و تفسیر قرار گرفته است. به منظور تعیین مناطق پر پتانسیل از نرم افزار Oasis Montaj استفاده شد.

۵-۲ مبانی و مفاهیم روش مغناطیس سنجی

از میان روش های ژئوفیزیکی در مراحل مقدماتی شناسایی مناطق مستعد منابع زمین، برداشت و استفاده از داده های مغناطیس سنجی هوایی امری متداول است. این روش از جمله روش هایی است که منشاء آن طبیعی بوده و ناشی از تاثیر میدان مغناطیسی زمین بر روی سنگ ها می باشد. میدان مغناطیسی زمین هم ارز یک مغناطیس ماندگار است که در راستای عموماً شمالی - جنوبی در نزدیکی محور

چرخشی زمین قرار دارد 99 درصد میدان مغناطیسی زمین منشأ داخلی و 1 درصد باقیمانده منشأ خارجی دارد (کره‌ای، ۱۳۹۰)

در اکتشاف ذخایر معدنی، اغلب اندازه‌گیری مغناطیسی به صورت مستقیم برای پی‌جویی کانی‌های مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما این روش برای اکتشاف کانی‌هایی که خود، غیرمغناطیسی هستند، اما با کانی‌های مغناطیسی همراه هستند، نیز به کار می‌رود. درجه مغناطیس شدن سنگ‌ها در مجاورت مغناطیس القایی میدان مغناطیسی زمین با رابطه زیر تعریف می‌شود:

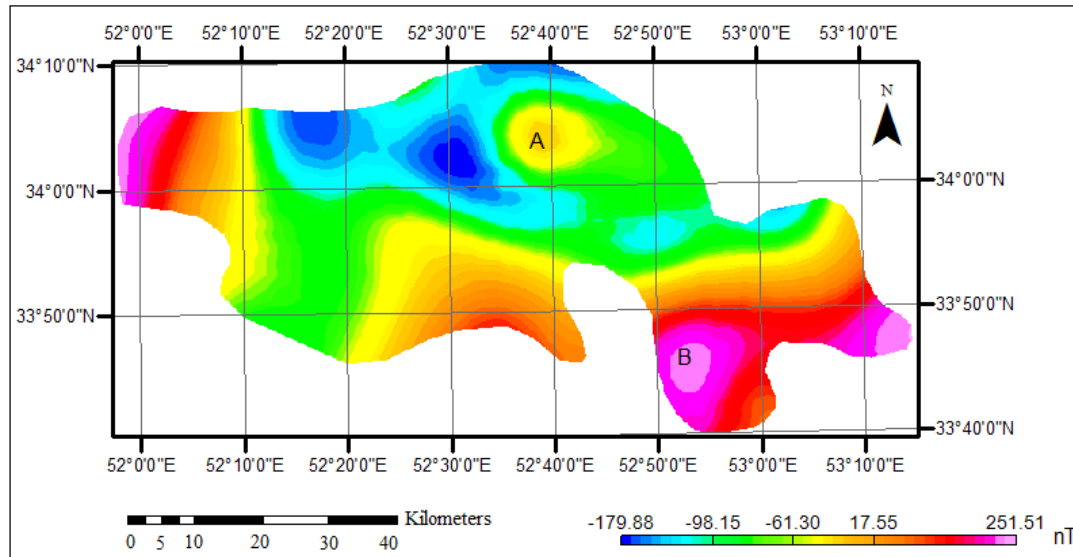
$$I=KH \quad (۱-۵)$$

در این رابطه H میدان مغناطیسی و K خودپذیری مغناطیسی ماده می‌باشد. خودپذیری مغناطیسی ضریب بدون واحدی است که بستگی به خواص فیزیکی مواد دارد و نقشه مهمی در پی بردن به ماهیت مواد دارد.

۵-۳ برگردان به قطب

در بیشتر نقاط سطح زمین، میدان مغناطیسی کل در راستایی قرار می‌گیرد که نه موازی و نه عمود بر نصف النهارات مغناطیسی می‌باشد در چنین حالتی مطابق شکل (۱-۵) میدان مغناطیسی زمین F را می‌توان به دو مولفه افقی H و قائم Z تجزیه نمود. زاویه بین بردارهای F و H را زاویه میل مغناطیسی و زاویه بین H و شمال جغرافیایی را زاویه انحراف مغناطیسی گویند. زاویه میل از صفر درجه در استوا تا ۹۰ درجه در قطب متغیر می‌باشد یعنی اندازه این عنصر مغناطیسی با عرض‌های مغناطیسی تغییر می‌کند.

می‌باشد. بی‌هنجاری B بر روی سنگ‌هایی از جنس ریولیت، ریوداسیت، داسیت، آندزیت، آندزیت-بازالت و توف قرار دارد.



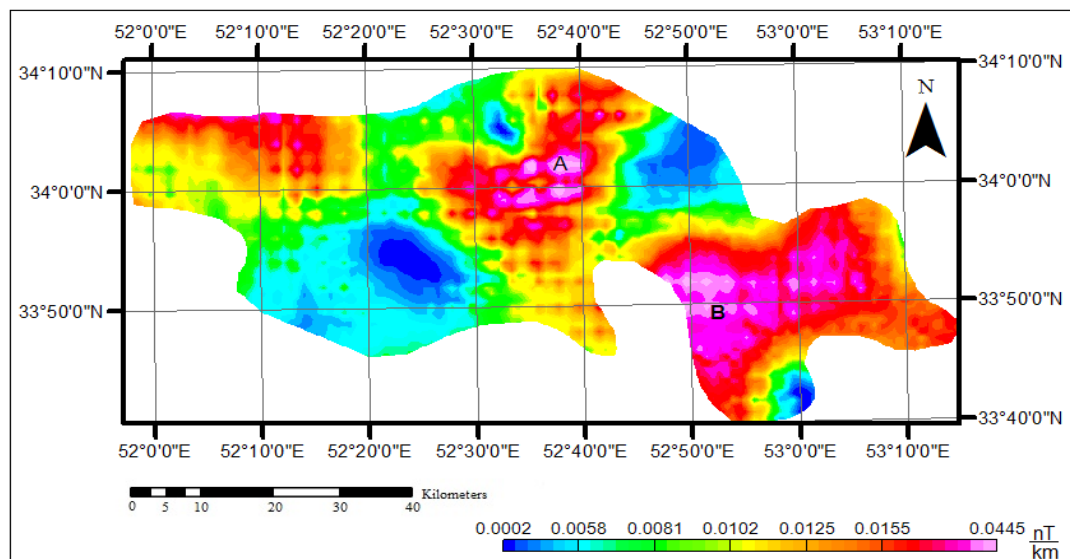
شکل ۵-۲: نقشه مغناطیس باقی‌مانده برگردانده شده به قطب

۴-۵ نقشه سیگنال تحلیلی

این نقشه نمایانگر منبع بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و محل آنها می‌باشد. اولین بار نبی‌قیان به طور گسترده روش سیگنال تحلیلی را در سال ۱۹۷۲ به کار برد. این روش تابعی از مشتق میدان مغناطیسی بوده و به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$\text{Analytic Signal: } [A(X, Y)] = \left\{ \left(\frac{\partial m}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial z} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (۲-۵)$$

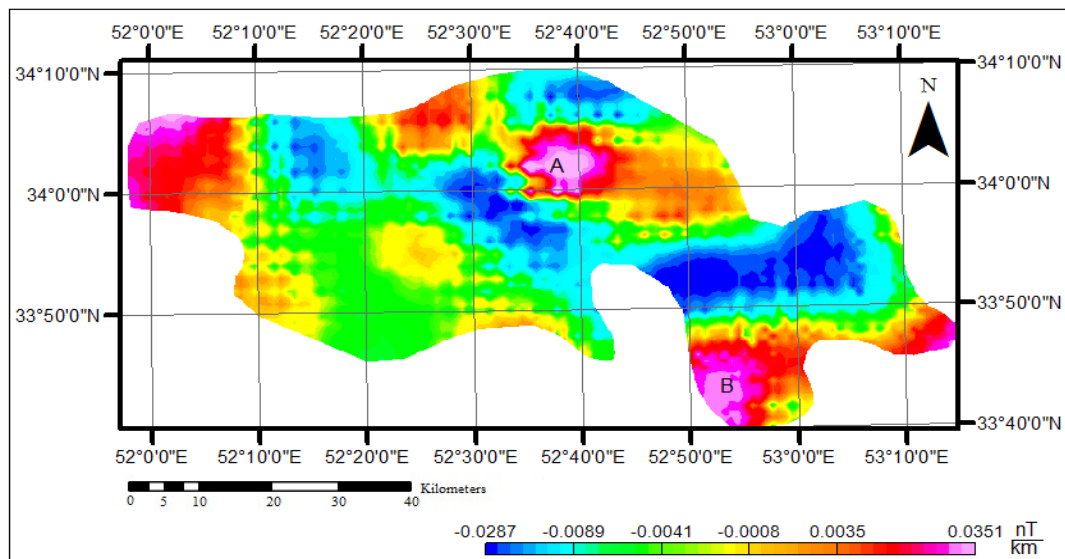
که در آن m شدت میدان مغناطیسی است. معمولاً این روش برای تفکیک توده‌های مجاور از همدیگر به کار می‌رود. شکل ۵-۳ نقشه سیگنال تحلیلی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این نقشه نسبت به نقشه برگردان به قطب گسترش توده‌های A و B را در سطح بهتر نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳: نقشه سیگنال تحلیلی

۵-۵ نقشه مشتق اول قائم

مشتق قائم از آنجایی که نوعی فیلتر بالاگذر است تصویری فیلتر شده از میدان مغناطیس فراهم می‌کند که ویژگی‌های منابع مغناطیسی نزدیک سطح زمین را برجسته می‌کند (Cooper, 2004). این فیلتر سبب تقویت فرکانس‌های بالا و تضعیف فرکانس‌های پایین می‌گردد. بنابراین استفاده از فیلتر مشتق-گیری سبب تقویت ناهنجاری‌های سطحی و تضعیف بی‌هنجاری‌های عمیق خواهد شد (Gun, 1995). جهت مشاهده ناهنجاری‌های مغناطیسی سطحی در منطقه، فیلتر مشتق اول قائم بر روی گرید برگردان به قطب اعمال گردیده و نتیجه حاصل در شکل (۵-۴) مشاهده می‌گردد. در این نقشه شدت آنومالی A نسبت به نقشه برگردان به قطب افزایش یافته است که نشان دهنده‌ی تا سطح امتداد داشتن این آنومالی است. همچنین با توجه به نقشه مشخص می‌شود که توده A به سمت شرق شیب داشته و رفته رفته عمیق‌تر می‌شود.



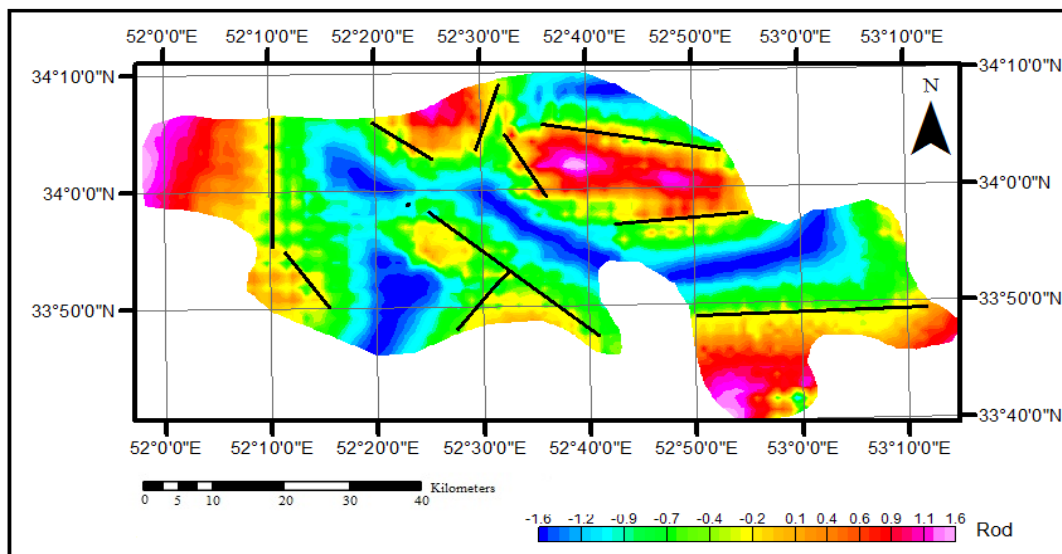
شکل ۴-۵- نقشه حاصل از اعمال مشتق قائم اول

۵-۶ مشتق تیل

یکی از روش‌ها برای تعیین لبه‌های بی‌هنجاری‌ها اعمال فیلتر مشتق زاویه تیل است که رابطه آن به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$T = \tan^{-1} \left[\frac{\left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2}} \right] \quad (۳-۵)$$

این روش را میلر و سینگ (۱۹۹۴) به منظور تحلیل و به نقشه درآوردن ساختارهای زمین‌شناسی از روی داده‌های میدان پتانسیل و بهبود پاسخ بی‌هنجاری‌ها ابداع و توسعه دادند. در منطقه مورد مطالعه برای مشخص کردن خطواره‌ها و گسل‌های مغناطیسی از روش تیل استفاده شد. نتیجه به دست آمده به صورت شکل (۵-۵) ارائه شده است. با توجه به شکل مناطق را که میزان میدان تغییر ناگهانی دارد را می‌توان به عنوان خطوط گسل انتخاب کرد.



شکل ۵-۵: نقشه مشتق تیل

فصل ششم

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS

۶-۱ مقدمه

هدف نهایی اکتشاف در نهایت جدا ساختن نواحی عقیم و تمرکز یافتن روی مناطقی است پتانسیل کانی‌زایی دارند. در فازهای مختلف اکتشاف مواد معدنی فلزی مطالعات زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوفیزیکی در سطوح مختلف انجام می‌شود. در جریان این مطالعات انواع داده‌ها با فراوانی بالا تولید می‌شود که مدیریت این داده‌ها و تلفیق آنها می‌تواند ما را در انتخاب صحیح مناطق مطلوب رهنمون سازد. هر نوع آنالیز در جهت رهنمون شدن به تعیین کنترل‌کننده کانی‌سازی، زمانی مفید خواهد بود که نتایج آن با نتایج دیگر آنالیزها انطباق داشته باشد. برای مثال، اکتشاف یک ذخیره معدنی مستلزم در نظر گرفتن همزمان چندین نوع داده نظیر زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمی و دورسنجی می‌باشد که برای مدیریت این داده‌ها از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود. سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل برخورداری از امکانات تجزیه و تحلیل داده‌های متنوع و ایجاد ارتباط بین لایه‌های مختلف اطلاعاتی به مهندسان معدن و زمین‌شناسان این امکان را می‌دهد تا از طریق تلفیق و تحلیل داده‌های حاصل از منابع متفاوت و ایجاد نقشه‌های جدید در راستای اکتشاف ذخایر معدنی و تصمیم‌گیری نهایی گام بردارند (Carranza, 2009).

در این فصل با استفاده از روش شاخص همپوشانی ساده به تلفیق لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی منطقه، داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ژئوفیزیکی پرداخته شد و سپس مناطق دارای پتانسیل کانی‌سازی معرفی شدند.

۶-۲ مدل‌سازی به روش شاخص همپوشانی

روش برازش اندیس یا آنالیز قابلیت و یا روش همپوشانی شاخص، یکی از ساده‌ترین روش‌های نقشه‌های نشانگر است. در این روش وزن‌های انتخابی (مساوی یا متفاوت) به نقشه‌ها داده می‌شود. همچنین به کلاس‌های هر نقشه نیز می‌توان وزن‌های مساوی یا متفاوت نسبت داد. این روش برای نقشه‌های دوتایی و هم چنین نقشه‌های چند کلاسه قابل اجرا است. در روش برازش اندیس، ترکیب نقشه‌های نشانگر با

انعطاف بیشتری نسبت به روش بولین قابل اجرا است. جداول امتیازها و وزن‌های نقشه‌های می‌توانند به گونه‌ای تنظیم شوند که قضاوت کارشناس را در قلمرو کاربرد مورد نظر منعکس نمایند. امتیازهای نقشه‌ها می‌توانند به صورت اعداد صحیح مثبت یا اعداد حقیقی، بدون محدودیت در گستره عددی، انتخاب شوند.

۶-۲-۱ مدل سازی به روش شاخص هم‌پوشانی ساده

یک روش معمول در مدل‌سازی GIS، محاسبه مقادیر عددی برای هر ویژگی فضایی در یک موضوع و طبقه‌بندی مقادیر عددی در یک بازه شناخته شده به نام شاخص هم‌پوشانی است. این روش اهمیت نسبی پارامترها و طبقات مربوط به هر پارامتر را در نظر می‌گیرد. هیچ مقیاس استاندارد برای روش هم‌پوشانی وزن‌دار و ساده وجود ندارد. برای این منظور می‌بایست معیارهای تجزیه و تحلیل تعریف شوند و به هر پارامتر یک ارزش داده شود. در حالتی که نقشه‌های ورودی دوتایی باشند، هر نقشه در فاکتور وزن نسبت داده شده ضرب شده و با کلیه نقشه‌های در حال ترکیب جمع می‌شود. نتیجه حاصل به صورت نقشه‌ای جدید به دست می‌آید. به این ترتیب در هر مکان از ناحیه مورد مطالعه، امتیاز نهایی S به صورت (۶-۱) محاسبه می‌شود.

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \text{Class}(\text{Map}_i) \quad (6-1)$$

در این رابطه W_i وزن نقشه i ام است. به کلاس map_i عدد یک در صورت حضور شرایط دوتایی و عدد صفر برای عدم حضور آن اختصاص می‌یابد. برای نقشه‌های چندکلاسه که ممکن است امتیازات مختلفی به کلاس‌های هر نقشه نسبت داده شود، مقدار S از رابطه (۶-۲) محاسبه می‌گردد (تخم چي و همکاران، ۱۳۹۵).

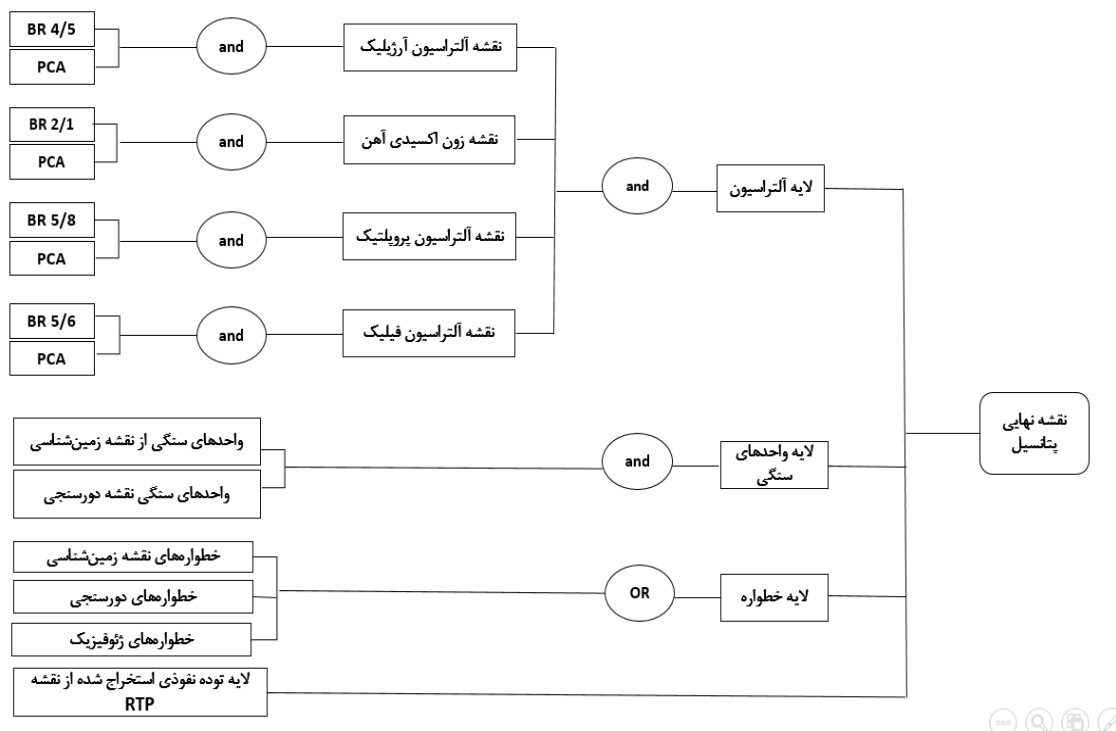
$$s = \sum_{i=1}^n S_{ij} W_i \quad (6-2)$$

در این رابطه نیز S امتیاز به دست آمده بعد از ترکیب نقشه‌ها برای هر مکان از محدوده مورد مطالعه است. W_i وزن i امین نقشه ورودی و S_{ij} امتیاز j امین کلاس از i امین نقشه است. با توجه به این که

در عمل ژها متفاوت هستند، باید رابطه قبل به صورت رابطه (۳-۶) اصلاح گردد (تخمچی و همکاران، ۱۳۹۵).

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{ij} W_i \quad (3-6)$$

مرحله بعد تلفیق لایه‌های ایجاد شده است که هر کدام منطقه مورد نظر را از جنبه خاصی از لحاظ پتانسیل ماده معدنی مورد بررسی قرار داده‌اند. برای رسیدن به این هدف از روش شاخص هم‌پوشانی به صورت ساده در محیط GIS استفاده گردیده است که الگوریتم روند کار در شکل (۶-۱) آورده شده است.



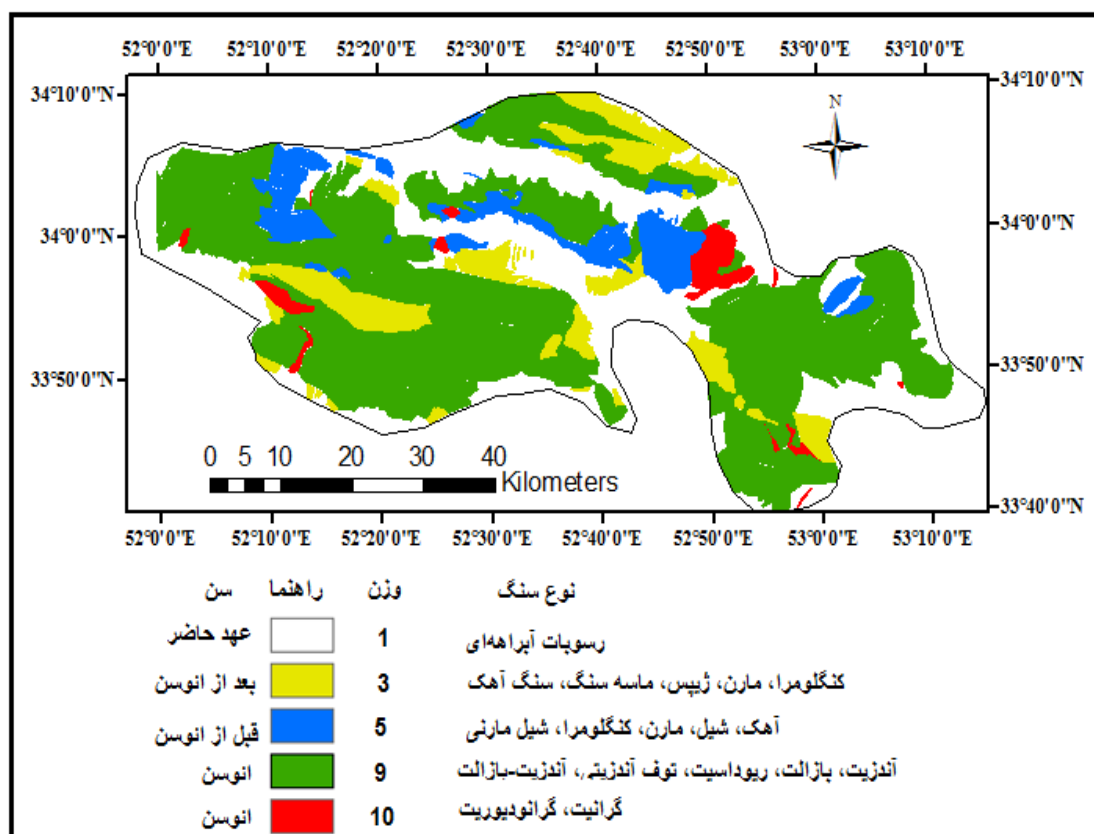
شکل ۶-۱: الگوریتم تلفیق کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی با استفاده از روش همپوشانی ساده

۳-۶ لایه‌های اطلاعاتی

لایه‌های مورد استفاده برای ورود به مدل شامل نقشه واحدهای سنگی، نقشه گسل‌های موجود و نقشه دگرسانی است. پس از جمع‌آوری انواع لایه‌های فوق، کلاس‌بندی مجدد بر روی لایه‌ها اعمال گردید که در ادامه به توضیح آن پرداخته شده است.

۳-۱-۶ لایه اطلاعاتی واحد سنگی

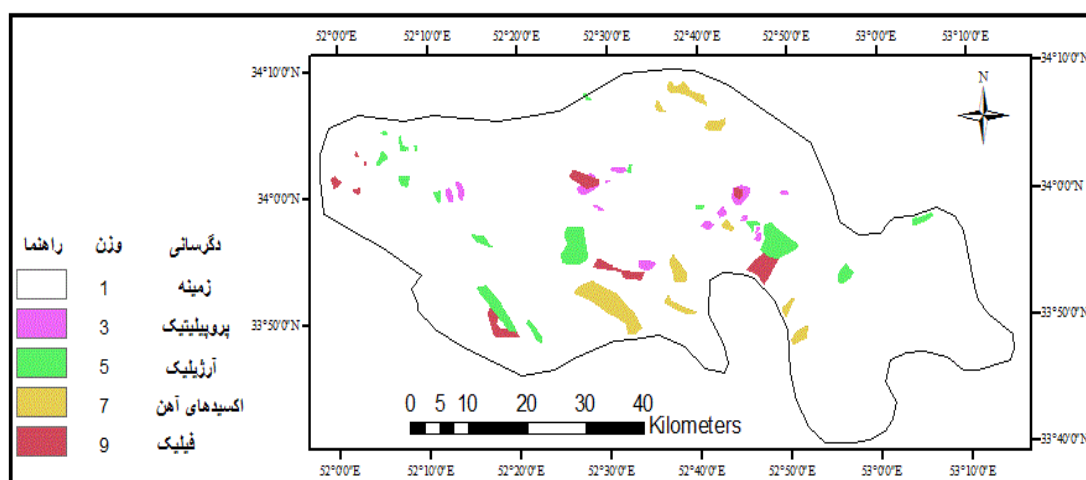
برای به دست آوردن اطلاعات زمین‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی منطقه استفاده شد. برای تیپ‌های سنگی موجود، تعداد ۵ کلاس کلی ایجاد شد. سپس با توجه به ارتباط آنها با کانی‌سازی به هر یک از کلاس‌ها امتیاز داده شد. بالاترین امتیاز مربوط به تیپ سنگی می‌شود که بیشترین ارتباط را با کانی‌سازی دارد. مطالعه گزارش متالوژنی موجود از منطقه نشان می‌دهد که کانی‌زایی بیشتر در متن یا اطراف توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیت و گرانودیوریت صورت گرفته است بنابراین در ارزش‌گذاری واحدهای سنگی به این توده‌ها بیشترین ارزش اختصاص داده شد. کمترین وزن در بین واحدها به رسوبات داده شد. نقشه زمین‌شناسی که مورد طبقه‌بندی مجدد قرار گرفت در شکل (۶-۲) مشاهده می‌شود که کلاس‌های ایجاد شده از واحدها و وزن اختصاص داده شده به آن‌ها را نیز نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲: نقشه نهایی سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۳-۳-۶ لایه اطلاعاتی دگرسانی

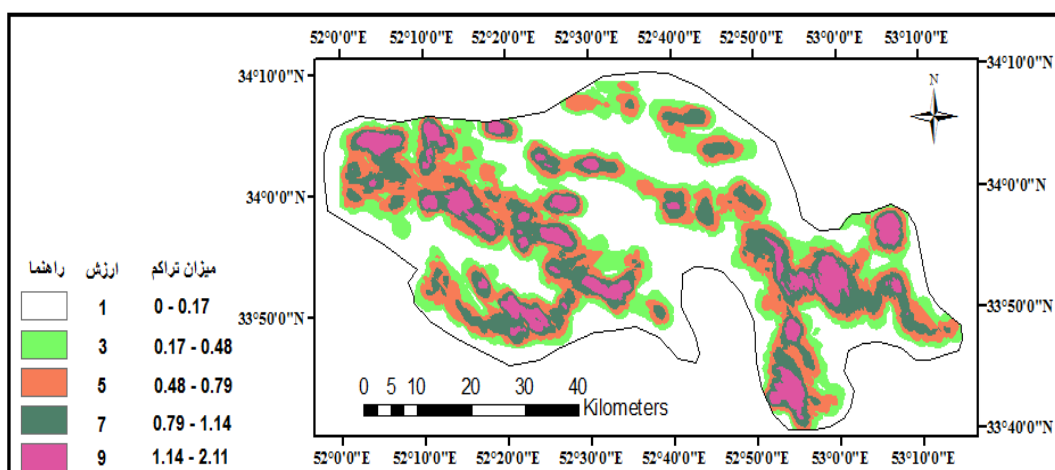
دگرسانی هیدروترمال در منطقه بسیار گسترده است که برای شناسایی آنها از داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد. از آنجا که دگرسانی‌های فیلیک و اکسیدهای آهن راهنمای مناسبی برای کشف ذخایر از جمله مس پورفیری می‌باشند، بیشترین وزن یعنی ۹ به مناطق با دگرسانی با فیلیک نسبت داده شد که شکل (۳-۶) وزن اختصاص داده شده به هر دگرسانی و نقشه نهایی دگرسانی به دست آمده برای منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶: نقشه نهایی دگرسانی منطقه مورد مطالعه

۳-۳-۶ لایه اطلاعاتی گسل

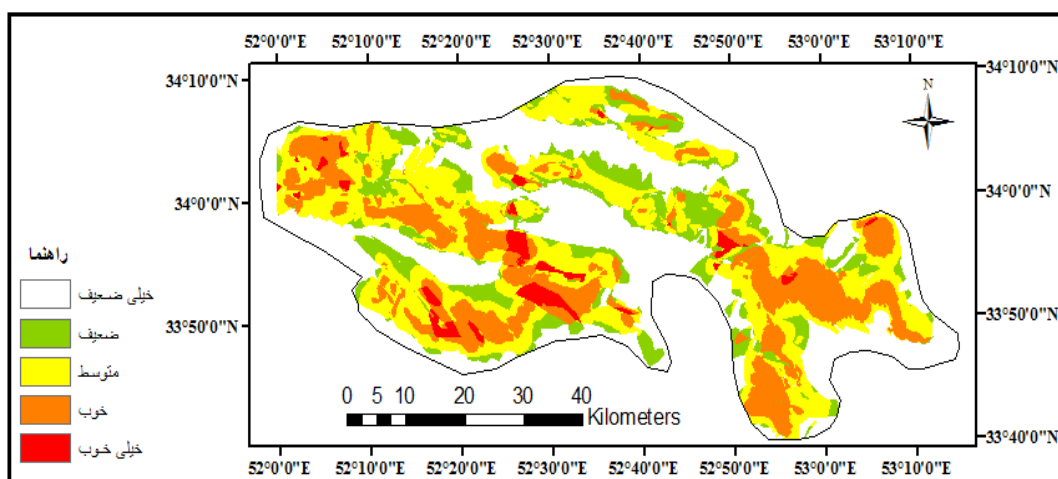
از نظر ساختاری در بسیاری از کانسارها گسل‌ها نقش موثری در جای‌گیری توده نفوذی داشته‌اند زیرا باعث افزایش میزان نفوذپذیری می‌شود که حرکت و نفوذ سیالات هیدروترمال و کانه‌دار را ممکن می‌سازد. برای گسل‌ها و خطواره‌ها، اطلاعات زمین‌شناسی، دورسنجی و مغناطیس‌هوایی که به صورت یک لایه کلی در نظر گرفته شد و به ۵ کلاس تقسیم شد و به مناطق با چگالی بیشتر وزن بالاتری اختصاص داده شد. شکل (۴-۶) لایه گسل حاصل را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶: لایه چگالی گسل طبقه‌بندی شده منطقه مورد مطالعه

۴-۶ تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

در روش همپوشانی ساده نقشه‌ها به صورت دو تایی و چند تایی در مراحل مختلف تلفیق می‌شوند تا نقشه نهایی به دست آید. ابتدا لایه‌های اطلاعاتی ارزش‌گذاری شده و سپس با استفاده از شاخص همپوشانی ساده تلفیق گردید. شکل (۴-۶) نقشه نهایی به دست آمده را نشان می‌دهد. مناطقی که از وزن و شدت بیشتری برای وجود مواد معدنی برخوردار است به رنگ قرمز قابل رویت است.



شکل ۴-۶: نقشه پتانسیل مطلوب منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش همپوشانی ساده

فصل هفتم

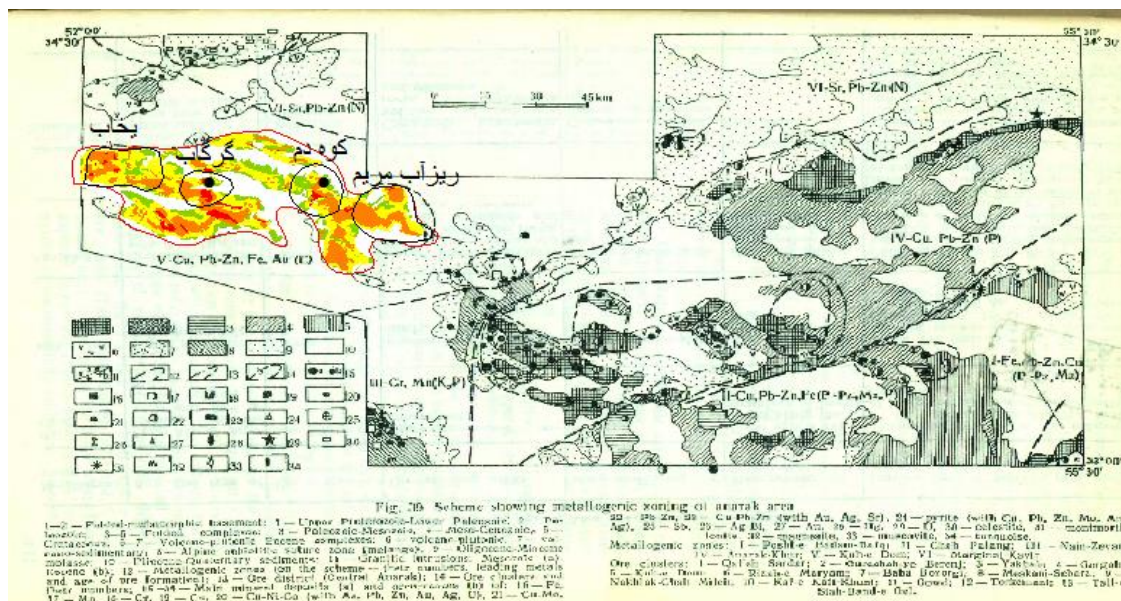
اعتبارسنجی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۷-۱ اعتبارسنجی مناطق دارای پتانسیل

برای صحت‌سنجی نقشه پتانسیل به دست آمده از گزارش متالوژنی منطقه انارک، تهیه شده توسط شرکت تکنواکسپورت در سال ۱۹۸۴ استفاده شد. شکل (۷-۱) نقشه متالوژنی انارک را نشان می‌دهد که همانطور که دیده می‌شود در محدوده مورد مطالعه چهار منطقه مساعد برای کانی‌سازی معرفی شده است که شامل محدوده یخاب، گرگاب، کوه دم و ریزآب مریم می‌باشد. که موقعیت قرارگیری این محدوده‌ها با مناطقی که به عنوان نواحی مطلوب برای کانی‌سازی مشخص شده است همخوانی دارد.

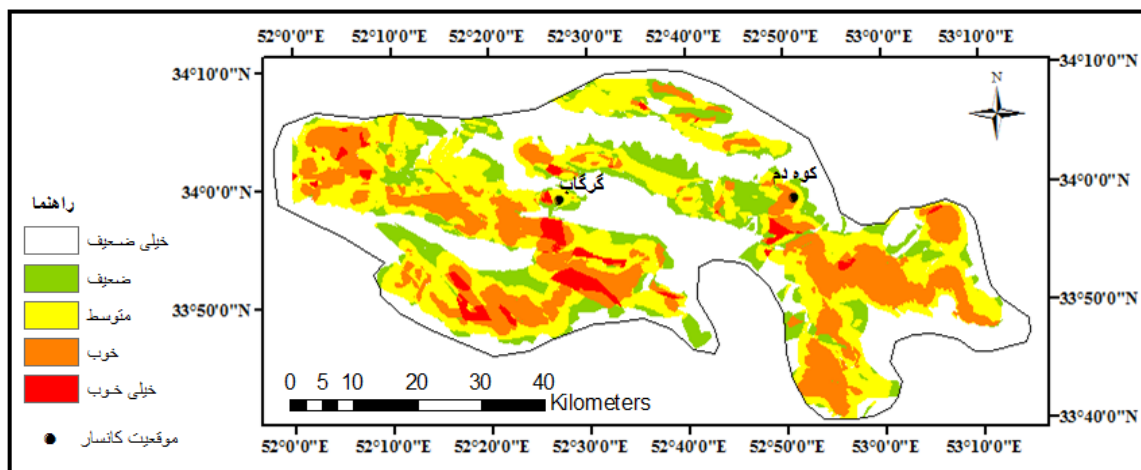
محدوده یخاب که در غربی‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه واقع شده، مجموعه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی ائوسن است که تحت دگرسانی آرژیلیتی و پروپیلیتی قرار گرفته‌اند. این محدوده برای کانی‌سازی مس، سرب، روی، طلا و نقره مناسب معرفی شده است. در محدوده گرگاب کانی‌سازی سرب، روی، طلا و مس در توده گرانیوتئیدی گزارش شده است. در مقیاس کوچک کانی‌سازی مس-مولیبدن تشخیص داده شده است. و حضور طلا در پیریت تایید شده است.

براساس گزارش موجود محدوده معرفی شده با عنوان کوه دم شامل واحدهای ولکانیکی ائوسن و توده نفوذی گرانیوتئیدی است. کانی‌سازی مس و طلا در توده نفوذی و کانی‌سازی آهن، سرب و روی با فاصله از آن در واحدهای ولکانیکی گزارش شده است. کانی‌سازی اصلی برای محدوده ریزآب مریم که در شرق منطقه مورد مطالعه قرار گرفته، سرب معرفی شده است. به مقدار کمتر مس و آهن نیز در ارتباط با سنگ‌های ولکانیکی ائوسن گزارش شده است.



شکل ۷-۱: نقشه متالوژنی انارک و موقعیت محدوده مورد مطالعه در آن (Technoexport, 1984)

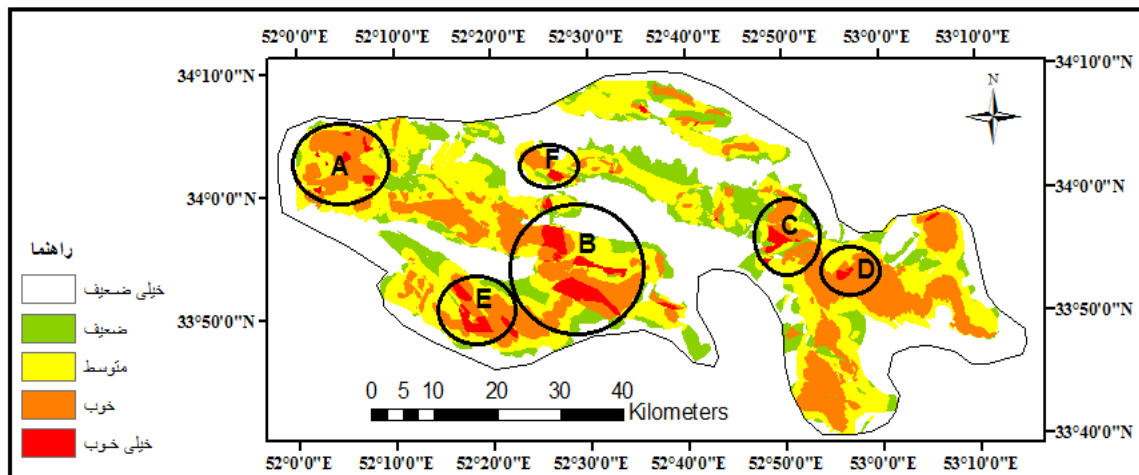
همچنین اندیس‌های شناخته شده فلزی بر روی نقشه پتانسیل مطلوب در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. قرارگیری کانسار طلای کوه دم و گرگاب در منطقه بارز شده به عنوان منطقه مطلوب می‌تواند نشان از صحت نقشه حاصل باشد.



۲-۷ نتیجه گیری

هدف از مطالعه ی این محدوده، معرفی مناطق با پتانسیل بالای معدنی بوده است. ابتدا روش های مختلف پردازش تصویر شامل ترکیب باندی، نسبت باندی، آنالیز مولفه اصلی، کروستا و نقشه بردار زاویه طیفی برای آشکارسازی دگرسانی در منطقه استفاده شد که کلیه روش ها همدیگر را تایید کردند. گسل های منطقه نیز با استفاده از فیلترهای مختلف بارز شدند که وجود ارتباط بین شکستگی های موجود و هاله های دگرسانی می تواند حاکی از نقش گسل ها در کانی زایی باشد. واحدهای سنگی منطقه نیز تفکیک شد. سپس لایه های اطلاعاتی مورد نیاز ایجاد شده و نقشه نهایی تلفیق آماده گردید. در انتخاب مناطق مطلوب، پارامترهایی نظیر تاثیر عملکرد گسل ها، توده های نفوذی موجود و دگرسانی های گرمابی مد نظر قرار گرفتند. در انتها مناطق پیشنهادی حاصل از اجتماع نقاطی بود که خواص زیر را دارا بوده باشند.

- دگرسانی گرمابی در منطقه حتماً موجود بوده و نوع دگرسانی، میزان گسترش آن و ارتباط دگرسانی با سایر پدیده های زمین شناسی نیز کاملاً مشخص شده باشد.
 - واحدهای سنگی در منطقه از تیپ سنگ های آذرین و به ویژه انواع نفوذی بوده که تیپ سنگ های مرتبط با کانی سازی از اولویت بالاتری برخوردار بودند.
 - خطواره های اهمیت خاصی در کانی سازی داشته و بنابراین مناطق مستعد را می توان در محل تلاقی گسل های جستجو کرد.
- با در نظر گرفتن سه عامل اصلی کنترل کننده و نشانه کانی سازی، مناطق امید بخش معدنی به شرح زیر معرفی می گردند:



شکل ۷-۳: نقشه موقعیت مناطق امیدبخش معرفی شده

منطقه A: محدوده یخاب در شرق منطقه به دلیل وجود تقاطع گسل‌ها، واحدهای سنگی آذرین با ترکیب آندزیت - بازالتی و حضور دگرسانی فیلک و آرژیلیک.

محدوده B: جنوب محدوده مورد مطالعه متشکل از واحدهای سنگی آتش‌فشانی با ترکیب آندزیت و داسیت.

محدوده C: قرارگیری در مجاورت توده نفوذی گرانیتوئیدی و حضور دگرسانی .

محدوده D: به دلیل قرارگیری در محدوده با تراکم بالای گسل و داشتن واحدهایی از جنس آندزیت، ریوداسیت که می‌توانند با کانی‌سازی مرتبط باشند.

محدوده E: به دلیل بازر شدن دگرسانی، حضور گسل‌ها و همچنین واحدهای آتش‌فشانی ائوسن که عوامل کنترل‌کننده کانی‌سازی هستند.

محدوده F: به دلیل مشخص شدن دگرسانی در این منطقه با استفاده از دورسنجی و قرارگیری در مجاورت توده نفوذی گرانودیوریتی این منطقه می‌تواند به عنوان ناحیه امیدبخش معرفی شود.

۳-۷ پیشنهادات

- ✓ در مناطقی که به عنوان مناطق امیدبخش معرفی شدند عملیات اکتشافی را متمرکز کرده و برداشت‌های زمین‌شناسی با دقت بیشتر انجام شود.
- ✓ مناطق مشخص شده در این تحقیق با استفاده از روش‌های اکتشافی دیگر مانند ژئوشیمی مورد بررسی قرار بگیرد.
- ✓ برای نتیجه‌گیری بهتر از روش نقشه‌برداری زاویه طیفی پیشنهاد می‌شود نمونه‌گیری از منطقه صورت گرفته و طیف کانی‌ها و دگرسانی‌ها تهیه گردد.
- ✓ برای مطالعات دقیق‌تر دورسنجی پیشنهاد می‌شود از تصاویر فراطیفی برای تهیه نقشه دگرسانی دقیق‌تر استفاده شود.
- ✓ برای ارزیابی دقیق‌تر تلفیق با استفاده از روش‌های دیگر مانند نشانگر وزن‌دار و روش‌های فازی انجام شود.

منابع

ابوتراب ش. خاکزاد ا. قریب ف. مهدیزاده تهرانی س، (۱۳۹۴)، "پتانسیل یابی طلای اپی ترمال در برگه یکصد هزار اردستان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS" *مجله علوم زمین*، شماره ۹۵، ص ۱۱۱ تا ۱۲۴.

امیری رودبار؛ ضیایی م و آقاجانی ح، (۱۳۹۲)، "شناسایی مناطق امیدبخش کرومیت در برگه ی ۱:۱۰۰۰۰۰ میناب با استفاده از داده های ماهواره ای لندست "ETM+، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، شاهرود، دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک.

آقاجانی ح. (۱۳۸۰) "معرفی مناطق امید بخش معدنی و دگرسان شده با استفاده از داده های ماهواره ای لندست ۷ ورقه یکسر هزارم اسفندقه"، بیستمین گردهمایی علوم زمین.

آقاجانی ح؛ سلیمانی م و محمدی ح، (۱۳۸۵) "معرفی پتانسیلهای معدنی در برگه یک صد هزارم رزوه به کمک پردازش تصاویر ماهواره ای"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، تهران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

آلیانی ف. دادفر ث و معانی جو، م؛ (۱۳۹۱)، "آشکارسازی زون های دگرسانی کانسار آهن حاجی اباد با استفاده از داده های سنجنده "ASTER"، فصل نامه علمی- پژوهشی علوم زمین، شماره ۹۴، صفحه ۷۳ تا ۸۰.

تخم چی ب، لطفی م، صیفی ح، حسینی م، (۱۳۹۵) "ترکیب اطلاعات، رویکردی نوین جهت تصمیم گیری در زمین شناسی، مهندسی معدن و نفت" انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

جعفری کلکان و، جمالی ح، (۱۳۹۴)، "زون بندی هاله های لیتوژئوشیمیایی در محدوده اکتشافی کوه یخاب، شرق کاشان" سی و چهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسینخانی ف؛ هزارخانی، ا؛ اسلام کیش ت و ا کربلایی ا.ع، (۱۳۹۳)، "پتانسیل سنجی کانی زایی مس با میزبان رسوبی با استفاده از تکنیک های دورسنجی و ژئوفیزیک هواپردی در منطقه ی شاملو در استان آذربایجان شرقی"، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، تهران، انجمن مهندسی معدن ایران، سازمان نظام مهندسی معدن.

حمیدپناه س. (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بررسی ساختار و محیط تکتونیکی توده نفوذی کوه دم، شمال خاور اردستان". دانشکده علوم زمین، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

خواج‌علی، ج. (۱۳۷۶). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. "زمین‌شناسی و پتروولوژی سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی کوه‌های یخاب"، دانشگاه اصفهان.

رحیمی م.، اخیانی م.، خرقانی م. و سرشکی ف. (۱۳۹۳) "بارزسازی پهنه‌های دگرسانی کمر بند آتشفشانی نفوذی ترود چاه شیرین با استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصاویر ASTER" **مجله علوم زمین**، شماره ۹۴، ص ۱۰۷ تا ۱۱۶.

رحیمی، ح. (۱۳۹۰)، "بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژنتیکی کانسارهای آهن زون سنج - سیرجان و ارتباط آن با میدان مغناطیسی مربوطه".

رسولی ا.ع. (۱۳۸۷)، "مبانی سنجش از دور با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای"، انتشارات دانشگاه تبریز.

سرجوقیان ف.، کنعانیان ع.، اثنی عشری ا.، احمدیان ج. (۱۳۹۴). "سن‌سنجی توده نفوذی کوه دم، دایک‌ها و آنکلاوهای موجود در آن به روش سرب - اورانیوم" **مجله علوم زمین**، شماره ۹۵، ص ۱۴۵ تا ۱۵۴.

سرجوقیان ف.، کنعانیان ع.، احمدیان ج. (۱۳۹۰) "فرایندهای موثر در تکوین توده نفوذی کوه دمف شمال خوار اردستان با تکیه بر شواهد ژئوشیمیایی و ایزوتوپی" **مجله علوم زمین**، شماره ۸۱، صفحه ۱۹۱ تا ۲۰۰.

صفری م.، هوشمند ع.، حسنی ح. (۱۳۹۴)، "مطالعات دورسنجی جهت تفکیک نواحی دگرسانی در برگه یکصد هزار فردوس (خراسان جنوبی)" اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

علوی پناه، (۱۳۸۵). "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین"، چاپ دوم، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ص ۶۸-۷۵.

قربانی م.، (۱۳۸۶)، "زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران"، چاپ اول، انتشارات آراین زمین، ص ۲۲۵.

قورچی م.، کریم‌پور م.ح.، ابراهیمی خ. (۱۳۹۴)، "مقایسه روش نقشه بردار زاویه طیفی با سایر روش‌های در بررسی دگرسانی کمر بند جنوب سبزوار (خراسان رضوی)". دومین کنگره بین‌المللی زمین‌شناسی کاربردی. دانشگاه آزاد اسلامی مشهد. ۲۹ تا ۳۱ اردیبهشت.

کره ای م. گزارش پردازش و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوایی با استفاده از روش مغناطیس سنجی در برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ آمل، بهار ۱۳۸۰.

کریم‌پور م.ح.، سعادت س.، (۱۳۸۴)، زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی، انتشارات ارسلان، چاپ دوم.
کنعانیان ع. سرجوقیان ف. احمدیان، ج. میرنژاد ح.، (۱۳۸۶)، "پتروژنز توده گرانیتوئیدی کوه دم، شمال شرق اردستان" *مجله علوم دانشگاه تهران*، شماره ۲، دوره ۳۴، ص. ۴۱ تا ۵۳.
مالمیریان ح.، (۱۳۸۳)، "پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای"، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح ۲۱۶ ص.

ماهوش محمدی ن؛ اهزارخانی ا و مقصودی ع.، (۱۳۹۲)، "استفاده از داده‌های ماهواره ای ASTER، برای شناسایی زون‌های دگرسانی هیدروترمال در منطقه خونی و کال - کافی استان اصفهان"، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، شاهرود، دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک.

معصومی ف و رنجبر ح.، (۱۳۹۰). "مقایسه بین داده‌های ژئوفیزیک هوایی و تصاویر سنجنده استر جهت نقشه‌برداری از مناطق دگرسانی گرمابی به منظور اکتشاف کانی‌سازی مس در منطقه بافت کرمان"، *مجله فیزیک زمین و فضا*، شماره ۳۷، جلد ۱.

یوسفی س.، ضیایی م.، کامکار روحانی ا. (۱۳۸۷). "تفسیر داده‌های ETM^+ منطقه ده سلم به منظور شناسایی دگرسانی‌های مس پرفیری". دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران.
یوسفی م و خالوکاکایی ر.، (۱۳۸۳)، "مدلسازی پتانسیل معدنی طلا و فلزات پایه در ناحیه ماهنشان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی"، کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
یوسفی‌زاده ا. نوروزی غ. ح. دولتی ارده‌جانی ف. ضیایی م. (۱۳۹۱)، "استفاده از روش‌های MF و LS_Fit جهت بارزسازی مناطق دگرسانی گرمابی مرتبط با کانی‌سازی مس پورفیری در منطقه جبال بارز" سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

Reference

- Abdelkareem M., Othman I., & Kamal El Din, G. (2017). "Lithologic Mapping using Remote Sensing Data in Abu Marawat Area, Eastern Desert of Egypt". *International J. of Advanced Remote Sensing and GIS*, pp 2171.
- Abuzied S. M., Ibrahim S. K., Kaiser M. F., & Seleem, T. A. (2016). "Application of remote sensing and spatial data integrations for mapping porphyry copper zones in Nuweiba area", Egypt. *Int J Sig Process Syst*, 4, 2 pp102-108.

Amer R., Kusky T., & El Mezayen A. (2012). "Remote sensing detection of gold related alteration zones in Um Rus area, Central Eastern Desert of Egypt". *Advances in Space Research*, **49**, 1, pp**121-134**.

Amera s.a, (2007), Master's Thesis" Spectral Remote Sensing of Hydrothermal Alteration associated with Volcanogenic Massive Sulphide Deposits, Gorob-Hope area, Namibia"

Aziz H., Rsaouli A.A., Babaei, K, (2007). "Using swir bands from aster for discrimination of hydrothermal altered minerals in the northwest of Iran (Se-Sanandaj city); a key for exploration of copper and gold mineralization, research journal of applied sciences", **6**. pp. **763-768**.

Azizi H., Tarverdi M. A. & Akbarpour A., (2010). "Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanzan, northern Iran". *Advances in Space Research*, **46**: pp **99-109**.

Beiranvand Pour A., Hashim M., (2012) "The application of Aster remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits", *Ore Geology Reviews*, **44**, pp**1-9**.

Bennet S. A, W.W Atkinson and F. A Kruse. (1993). "Use of Thematic Mapper imagery to identify mineralization in the Santa Teresa District, Sonora, Mexico." *International Geology Review*, 35, pp. **1009-1029**.

Bersi M., Saibi H., Charaf Chabou M., (2016). "Aerogravity and remote sensing observations of an iron deposit in Gara Djebilet, southwestern Algeria", *Journal of African Earth Sciences*.

Bonham-Carter F., (1994). "Geographical Information Systems for geoscientists: modeling with GIS, Pergamon Press, Ontario, Canada", pp **398**.

Carranza E.J.M., (2009). " Geochemical anomaly and mineral prospectivity Mapping in GIS. Handbook of exploration and Environmental Geochemistry".vol. 11 Elsevier, Amsterdam. Pp 20-350.

Chavez P. S., Guptill S. C. and Bowell J. A., (1984), " Image Processing Techniques for Thematic Mapper Data. American Society of Photogrammetry": pp **728-743**.

Ciampalini A., Garfagnol F., Antonielli B Moretti, S. and Righini G., (2013). “ Remote sensing techniques using Landsat ETM+ applied to the detection of iron ore deposits in Western Africa. *Arabian Journal of Geosciences*”, **6**, pp **4529-4546**.

Clark R.N., Swayze G.A., Gallaghe A., King T.V.V., and Calvin W.N., (1993), “The U.S. Geological Survey, Digital Spectral Library: Version 1:0.2 to 3 μ m. United States Geological Survey”, Open File Report pp **1326** .

Cooper G., & R and Cowan D.R. (2004). “Filtering using variable order vertical derivative. *Computer & Geosciences*”,. **30**,pp. **455-455**.

Crosta A. P., De Souza Filho C. R., Azevedo F. and Brodie C., 2003. “Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis” , *International Journal of Remote Sensing*, **24**,pp **4233–4240**.

Crosta A. P., De Souza Filho, C. R., Azevedo F. and Brodie, C., (2003) “Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis” , , *International Journal of Remote Sensing*, **24**: pp **4233–4240**

Crosta A., Moore J., 1989. “Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: *Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference, Remote sensing for exploration geology*”, pp **1173-1187**.

Drury S.A., 1993. *Image interpretation geology*, second edition, London, Allen & Unwin.

Elsevier Vincent R. K., and Thomson F. J. (1972). “ Rock-Type Discrimination from Ratioed Infrared Scanner Images of Pisgah Crater, *California, Science*, **175**, pp **986- 988**.

Ferreir, G., White K., Griffiths G., Bryant R., Stefofuli, M., (2002) “The mapping of hydrothermal alteration zones on the island of Levos”, Greece using an integrated remote sensing dat *International of journal of remote sensing*, **23**,pp **341-356**.

Ferrier G, Wadge G (1996). “Application of imaging spectrometry data to mapping alteration zones associated with gold mineralization in southern Spain. *Int”. J. Rem. Sens.*, **17**: pp **331-350**.

Galvão LS, Almeida-Filho R, Vitorello I.C (2005). "Spectral discrimination of hydrothermally altered materials using ASTER short-wave infrared bands: Evaluation in a tropical savannah

Goetz A F. (1975). "Application of ERTS Images and Processing to Regional Geologic Problems and Geologic Mapping in Northern Arizona." pp **32-1597**.

Gun P.J.; 1995; "An Algorithm for Reduction to the Pole that works at all Magnetic Latitudes"; *J. of Exploration Geophysics*; **26**, pp **247-254**.

Gunn, P. J., Maidment D., & Milligan P. R. (1997). "Interpreting aeromagnetic data in areas of limited outcrop". *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**, pp **175-186**.

Gupt R. P. 2003. "Remote Sensing Geology". Springer, Heidelberg, p. **655**.

Guun P.J., Madment D., and Miligan P.R, (1997). "Interpretation of aeromagnetic data in area of limited outcrop": *AGSO journal of Australian Geology & Geophysics*, **17**, **2**, pp. **175-185**.

Hun L. Q., Batelaan O., & De Smedt F. (2005). "Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam". In *Proc. of SPIE*. pp **5983**.

Koç A., (2005). "Remote sensing of Sürgü fault zone, Malatya, Turkey. Thesis, for the degree of master of science. Assist. Prof. Dr. Nuretdin Kaymakçı, Geodetic and Geographic Information Technologies, School of Natural and Applied Sciences.

Koçal A., (2004) "A methodology for detection and evaluation of lineaments from satellite imagery". Thesis, for the degree of master of science. 122. Prof. Dr. Celal Karpuz, Mining Engineering, School of Natural and Applied Sciences.

Kruse F. A., Boardman, J. W., Lefkoff, A. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J. and Goetz, A. F. H., (1993) "The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. *Remote Sensing of Environment*", **44**: pp **145-163**.

Kruse F. A., Raines, G. I. and Watson, K., (1985). "Analytical techniques for extracting geologic information from multichannel airborne spectroradiometer and airborne

imaging spectrometer data". In Proceedings of the 4th Thematic Conference on Remote Sensing of the Environment, Remote Sensing for exploration geology, Sanfransisco, California", 1-4 April, p. **309-324**.

Kujjo Cosmas P. (2010) " Application of remote sensing for gold exploration in the Nuba Mountains, Sudan"., Bowling Green State University.

Leverington D. W., & Moon, W. M. (2012). "Landsat-TM-based discrimination of lithological units associated with the Purtuniq ophiolite, Quebec, Canada". *Remote Sensing*, **4**, 5 pp **1208-1231**.

Li Q., Zhang B., Lu, L., & Lin Q. (2014). "Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in Baogutu porphyry deposit, China. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science". IOP Publishing . pp **17**.

Livo K. E., Clarck R. N. and Knepper D. H., (1993). "Spectral plot program for accessing the USGS digital spectral library database with MSDOS personal computers." pp. **93-593**.

Loughlin w.p.; (1991). "*Principal component analysis for alteration mapping*"; the eighth thematic conference on geologic remote sensing, Denver, Colorado, " USA, pp **11**.

Mah A., Taylor G.R., Lennox, P., Balia L., (1995). "Lineament analysis of landsat TM images, Northern Territory, Australia. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing". **6**, 1, pp **761-773**.

Meer F. V. D. (1996). "Classification of remotely-sensed imagery using an indicator kriging approach: Application to the problem of calcite-dolomite mineral mapping". *International J. of Remote Sensing*, **17**, **6**. pp **1233-1249**.

Miller H. G., and Singh V. (1994). "Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources". *Journal of Applied Geophysics*, **32**, **2**, pp **213-217**.

Myint S., Aung K., and Isao T., (2005), " Application of Remote Sensing Techniques on Iron Oxide detection from ASTER and Landsat Images of Tanintharyi Costal Area, Myanmar".

Nabighian M. N., V. J. S. Grauch R. O. Hansen T. R. LaFehr Y. Li, J. W. Peirce J. D. Phillips, and M. E. Ruder, (2005) “The historical development of the magnetic method in exploration: Geophysics”, **70, 6**, pp **31- 63**.

Nabighian, M. N. (1972), “ The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation: Geophysics”, **37**, pp **507–517**.

Novak I.D., Soulakellis, N., (2000) “.Identifying geomorphologic features using landsat-5 TM data processing techniques on Lesvos, Greece Geomorphology” **34**, pp **101-109**.

Polomera R.P.A., (2004). “ Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems for Mineral Predictive Mapping, Deseado Massif, Southern Argentina, ” International institute for Geo - information science and earth observation Enschede, the Netherlands.

Pour A. B., & Hashim M. (2015). “Hydrothermal alteration mapping from Landsat-8 data, Sar Cheshmeh copper mining district, south-eastern Islamic Republic of Iran”. *Journal of Taibah University for Science*, **9, 2**. pp **155-166**.

Ranjbar H., Shahriari H., & Honarmand M. (2004). “Integration of ASTER and airborne geophysical data for exploration of copper mineralization. A case study of Sar Cheshmeh area”. In Proceedings of 20th congress, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul pp **12-13**.

Reddy M. A., & Reddy A. (2008). “*Textbook of remote sensing and geographical information systems* ”. Hyderabad: BS publications.pp **453**.

Rowan L.C., Mars J.C., (2003). “ Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emissivity and Reflection Radiometer ASTER data. Remote Sensing of Environment”, **84**,pp 350–366.

Sabins F. F., (1999). “Remote sensing for mineral exploration”, *Ore Geology Reviews*: **14**; pp 157–183.

F.F., (1997). “*Remote Sensing Principles and interpretation*”, Third edition, Freeman and company, New York, pp. **494**.

Salem S. M., El Sharkawi M., El-Alfy, Z., Soliman N. M., & Ahmed S. E. (2016). "Exploration of gold occurrences in alteration zones at Dungash district, Southeastern Desert of Egypt using ASTER data and geochemical analyses". *Journal of African Earth Sciences*, **117**, pp **389-400**.

Salem SM, Soliman NM, Ramadan TM and Greiling RO(2013), " Exploration of new gold occurrences in the alteration zones at the Barramiya District, Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data and geological studies", *Arab J Geosci*, **7**, pp.**171-173**.

Sarp G(2005). " Lineament analysis from satellite images, North-West of Ankara. Thesis, for the degree of master of science". Prof. Dr. VedatToprak, Geodetic and Geographic Information Technologies School of Natural and Applied Sciences. pp **76**.

Seo M., Aung Kyaw T. & Takashima I., (2005), " Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from ASTER and Landsat images of Tanintharyi Coastal Area, Myanmar, Akita University", **26**: pp **21-28**.

Technoexport, (1981) " Detail geology prospecting in the Anarak Area Central Iran. Geological Survey of Iran", Report No: **9**. pp **154**.

Technoexport, (1984) "outline of metallogeny of Anarak Area Central Iran. Geological Survey of Iran", Report No. **21**, pp. **1-136**.

Tommaso Rubinstein, Nora, (2007), "Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit Argentina", *Ore Geology Reviews*,. **32**.

Vincent R.K., (1997). "Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing. Prentice-Hall", New Jersey. pp **366**.

Yang C., Everitt J. H. & Bradford J. M., (2008), "Yield estimation from hyperspectral imagery using spectral angle mapper (SAM)", *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, **51**, **2**. pp **729-737**.

Yetkin E., (2003) "MSc. thesis Alteration mapping by remote sensing :application to Hasandag-Melindiz volcanic complex, , the Middle East Technical University, Turkey.

Abstract

One of the most important step of mineral exploration is the primary exploration. At this Step, the expert is faced with a large volume of data with different nature, such as geological, geochemical, geophysical and remote sensing. In traditional ways, each of these collections was analyzed separately. Nowadays, Exploratory exploration is done by using compose All layers of information altogether. Obviously, the results obtained from all the data and the relationship between them are more accurate.

Study area is located at south east of Salt Lake Qom in 1/100000 Geological Sheets Of Kuhe yakhab, Kuhe Dom, Sorkhshad, Kuhe Latif and Sardar. The purpose of this study is to determine the suitable area for metallic mineralization by combining different layers of information in the GIS. For this purpose were used geological, satellite and geophysical data.

In the remote sensing section, satellite images ASTER and ETM + were processed with false color combination, band ratio, least squares regression, principal component analysis and spectral angle mapping and alteration of Argillic, phyllic, propylitic and iron oxide were identified and the unit rocks was Separated. Rocks units were segregated too.

The results shows that most of alterations have occurred in units of Eocene igneous that location of the areas marked for alteration argillic is consistent with the location of the areas on the geological map for this alteration. The Linear were detected using various filters.

The NW – SE trend was dominant for the faults or regions. In the geophysics section, the airborne magnetometer data of the area were used. In maps derived from the application of various factors, such as reduce to pole, vertical derivative and angle of inclination, were identified the location of intrusive bodies in the region.

Finally, Information layers includes the alteration layer, the units rock layer and the layer of linear, were composed together in Arc GIS software then map promising area was prepared. Then exploratory priority areas were determined in exploration area for exploration activity. In order to evaluate the precision of the map, the location of known deposits in the region was investigated. Kuhe Dom deposit is one of the regions that has been introduced as promising areas. It can confirm the accuracy of the results. Also, the

metallogenic report of the study area confirms the presence of anomalies metal elements such as copper, gold, lead and zinc in the presented sections.

Keywords: Geology, Remote Sensing, Air magnetism, Integration, Promising areas, South East Qom Salt Lake.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploration

**Application of remote sensing for identifying promising mineral areas
of metal resources in the south east of Qom salt lake**

Elham Abdollahi

Supervisors

Dr. Hamid Aghajani

Dr. Arezoo Abedi

September 2017