

قابلیت سنجی سنجنده ها در شناسایی کانی های هماتیت و مگنتیت با استفاده از داده

های طیفی (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)

مریم بیاتی خطیبی ۱، محمود سورغالی ۲، سمانه باقری ۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

صفحات ۵۴-۷۳

چکیده:

قسمت های مختلفی از ایران، به ویژه استان آذربایجان شرقی از نظر تشکیلات زمین شناسی پیچیده بوده و دارای سازندهای متنوعی هست و هر رخداد زمین شناسی، کانسارها و رگه های مختلفی را در سطح و زیر زمین بوجود آورده است. در استان آذربایجان شرقی، رخدادهای زمین شناسی در دوره های مختلف، محدوده های دگرسانی زیادی بوجود آورده که در این محدوده ها، کانسارهای بسیار با ارزشی از جمله طلا و مس برجای گذاشته شده است. قسمت های مختلف استان از نظر وجود بعضی از کانسارها، بویژه کانسارهای مربوط به مس و طلا بسیار غنی بوده و در حد قابل بهره برداری است. قسمت های دیگر استان نیز با توجه به شواهد وجود کانی های مربوط به مس، نیاز به شناسایی دارند. امروزه سنجنده ها با قدرت تفکیک بالا امکان شناسایی کانسارها را با دقت بالا امکان پذیر نموده اند. در محدوده مورد مطالعه، نیز با در نظر گرفتن غنای کانسارها و وجود داده های طیفی، سعی شده است با ابزارهای سنجش از دور، کانسارها مورد بررسی قرار گیرند. هدف مطالعه حاضر، شناسایی کانی های هماتیت و مگنتیت در منطقه مورد مطالعه (محدوده ای مابین شهرستان های تبریز، شبستر، هریس و ورزقان) با استفاده از داده های سه سنجنده مهم می باشد. در این پژوهش، از داده های چند طیفی سنجنده OLI ماهواره ۸ Landsat، سنجنده ASTER ماهواره TERRA، ماهواره Sentinel-۲ و همچنین داده های ابرطیفی سنجنده Hyperion به منظور پایش کانی های هماتیت و مگنتیت استفاده شده و نتایج با نقشه های زمین شناسی موجود (۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰) انطباق داده شده و به منظور شناسایی کانی های هماتیت و مگنتیت، از داده های سنجنده های چند طیفی در بازه های زمانی مختلف بهره گیری شده است. برای کلیه داده های اخذ شده، عملیات پیش پردازش، شامل تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک در محیط نرم افزار ENVI ۵.۳ انجام شده است. روش های مورد استفاده در این پژوهش، شامل روش های شاخص محور (عملیات نسبت بانندی) و طیف محور (LSU، SFF، MF، SID) می باشد. نتایج بررسی ها با استفاده از روش های بکاربرده شده و همچنین با در نظر گرفتن سابقه زمین شناسی استان آذربایجان شرقی، نشان از وجود و پراکندگی دو کانی هماتیت و مگنتیت در محدوده مطالعاتی است. مقایسه داده های حاصل از سنجنده های مختلف همچنین نشان می دهد که داده های چند طیفی سنجنده ASTER، دارای قابلیت بالایی در تفکیک و شناسایی دو کانی در مورد مطالعه هستند. از آنجایی که دسترسی به داده های ابرطیفی هایپریون دارای محدودیت می باشد و همچنین مساحت محدودی را نسبت به داده های چند طیفی پوشش می دهد، می توان نتیجه گرفت داده های ASTER نسبت به سایر منابع داده های طیفی، دارای مزیت و کارایی بیشتری در مطالعات کانی شناسی می باشد.

کلید واژه: هماتیت، مگنتیت، ناحیه دگرسانی، سنجش از دور، آذربایجان شرقی

۱- استاد ژئومورفولوژی، گروه GIS و RS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران m_bayati@tabrizu.ac.ir

۲- دانشجویان دکتری، گروه GIS و RS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران m.sorghali@gmail.com

۳- دانشجویان دکتری، گروه GIS و RS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران samanehbageri@gmail.com

۱. مقدمه

محققان زیادی در دنیا و در کشور در سال‌های اخیر با توسل به پیشرفت‌های زیادی که در ابزارهای سنجش از دور صورت گرفته، موفق به انجام تحقیقات گسترده‌ای در محدوده‌های دگر سان شده، گردیده‌اند. می‌توان در این مورد به تحقیقات اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی میزان کارایی سنجش از دور در تشخیص اکسید آهن و مگنتیت در معدن گلگهر در شهرستان سیرجان با استفاده از داده‌های لندست ۸ اشاره نمود. در این تحقیق، محققان با استفاده از روش‌های مختلف و با بکارگیری نرم افزار ENVI توانستند از محدوده مورد مطالعه خود نقشه‌های کاربردی تهیه کنند. سیدی و همکاران (۲۰۲۲) نیز در محدوده زنجان با استفاده از داده‌های لندست ۷ و آستر، شدت مگنتیزم را در محدوده مورد مطالعه خود را شناسایی و خروجی‌ها ارزشمندی را تهیه کنند. مرادی و بومری (۲۰۱۷) این مطالعات را در زاهدان، یوسفی و همکاران (۲۰۱۸) در کرمان، لطفی و همکاران (۱۳۹۲) در دامغان، احمدی و همکاران (۱۳۹۹) در ابریان مرکزی (۱۴۰۱)، خاکزاد و آبادی (۱۳۹۹) در اصفهان، بنیادی و دریانورد (۱۳۹۹) در استان کردستان، مطالعات مشابهی را انجام دادند.

محققان خارجی نیز با استفاده از ابزارهای سنجش از دور مطالعات ارزشمندی انجام داده‌اند که در این مورد می‌توان به محققانی مانند تروره و همکاران^۱ (۲۰۲۰) و خلیفه و همکاران^۲ (۲۰۲۰) در ترکیه و ابراهیم و همکاران (۲۰۱۵) اروهیزیف و همکاران^۳ (۲۰۱۹) فرتوسو و همکاران^۴ (۲۰۲۱) در پرتغال و چکوری و همکاران^۵

زمین به لحاظ گذراندن داستان‌های متنوعی در دوره‌های مختلف زمین‌شناسی، از نظر نوع سنگ و کانی‌های تشکیل‌دهنده از تنوع زیادی برخوردار بوده و با در نظر گرفتن تنوع در اهداف مطالعه زمین توسط محققین مختلف، ابزارهای بررسی و شناسایی نیز امروزه از تنوع زیادی برخوردار هستند. امروزه شناسایی کانی‌ها بدون مراجعه اولیه به محدوده مطالعاتی با استفاده از داده‌ها و تصاویر سنجنده‌های مختلفی صورت می‌گیرد که هر روز بر توانایی و قدرت تفکیک آنها افزوده می‌شود و به عبارت دیگر، در زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی بکارگیری سنجش از دور، به یکی از ابزارهای مهم و ضروری تبدیل شده است. محدوده‌های دگرسانی از نظر مطالعات زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی داستان زیادی برای خواندن دارا هستند که با استفاده از آنها می‌توان زمین‌های فعال از نظر تکتونیک را شناسایی و محدوده‌های خطر را پیش‌بینی و پیش‌پای‌یابی نمود. علاوه بر آن در چنین محدوده‌هایی کانسارهای با ارزش قرار گرفته‌اند که برای انسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. با توجه به تمرکز به محدوده‌های دگرسانی شده برای بهره‌برداری بعدی، کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات زمین‌شناسی به ویژه در اکتشاف معادن، تشخیص زون‌های دگرسانی و تهیه نقشه‌های لیتولوژیکی در سال‌های اخیر اهمیت زیادی یافته است. اثرگذاری ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های کانی‌شناختی بر روی جذب و بازتاب طیف‌های مختلف موج الکترومغناطیسی، انجام چنین مطالعاتی را امکان‌پذیر ساخته است. در واقع می‌توان با انتخاب تصاویر و داده‌های مناسب و انجام پردازش و محاسبات لازم، بررسی‌های دقیقی را بر روی کانسارها انجام داد.

^۱ Toarore^۲ Khalifa^۳ Ourhziif^۴ Frutuoso^۵ Chakouri

(۲۰۲۰) در محدوده های مرکب برای بررسی طلا، نقش کارایی ابزارهای سنجش از دور را در بررسی کانی ها را به اثبات رسانده اند.

استان آذربایجان شرقی با توجه به مجموعه عوامل زمین شناسی، دارای ظرفیت های بسیار بالای معدنی است و با بیش از ۴۰۰ معدن فعال، رتبه اول ذخایر معدنی کشور را به خود اختصاص داده است. معادن فلزاتی نظیر مس، طلا، منگنز و آهن، معادن غیر فلزی نظیر کائولن و سیلیس و معادن مرتبط با مصالح ساختمانی مانند سنگ گچ، سنگ لاشه، سنگ های تزئینی و شن و ماسه از جمله ذخایر معدنی مهم موجود در این استان می باشند. میرسپاهوند و همکاران (۲۰۲۲) که بر روی محدوده دگرسان شده و کانسارهای محدوده اهر با استفاده از ابزارهای سنجش از دور مطالعاتی انجام داده اند، این محققین در این مطالعه و بررسی، هم غنای کانی ها ارزشمند را در محدوده آذربایجان نشان داده اند و هم کارایی داده های استر را در شناسایی کانسارها اثبات کرده اند.

با عنایت به سابقه زمین شناسی آذربایجان شرقی و پیچیدگی های مربوط به فعالیت های درونی زمین در دوره های مختلف و گستردگی محدوده های دگرسانی، سعی شده است در این مطالعه با استفاده از ابزارهای دورسنجی محدوده های دگرسانی مورد بررسی قرار گیرد. در واقع هدف از این مطالعه، شناسایی کانی های آهن دار هماتیت و مگنتیت در محدوده ای ما بین چهار شهرستان تبریز، هریس، ورزقان و شبستر می باشد. در این بررسی، از چهار منبع داده شامل تصویر سنجنده ماهواره ای ASTER که متشکل از ۱۴ باند، شامل ۳ باند

مرئی و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک ۱۵ متری (VNIR)، ۶ باند مادون قرمز کوتاه با قدرت تفکیک ۳۰ متری (SWIR) و ۵ باند حرارتی (TIR) و تصاویر سنجنده OLI ماهواره Landsat ۸ با ۱۱ باند طیفی و همچنین تصویر ماهواره Sentinel-2 با ۱۳ باند طیفی و سنجنده ابرطیفی هایپریون با ۲۴۲ باند طیفی استفاده شده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ویژگی های زمین

شناسی

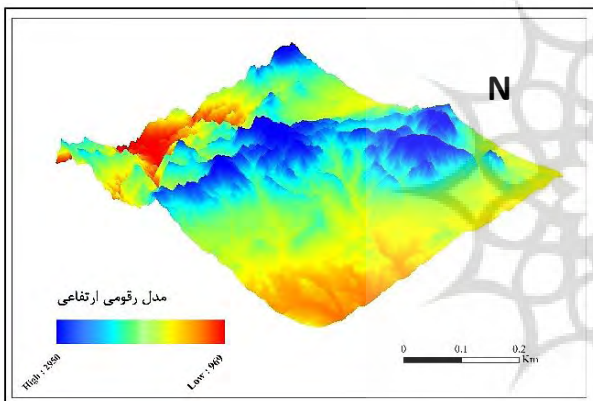
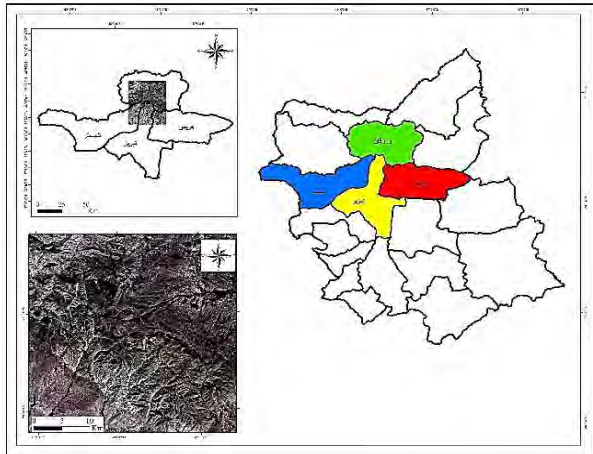
محدوده مطالعاتی دارای مختصات طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۸ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۱۷ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۸ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۴۱ دقیقه و ۲۲ ثانیه شمالی با حداکثر و حداقل ارتفاع ۲۹۵۰ و ۹۶۹ متر از سطح آبهای آزاد و مساحت ۲۰۹۳ کیلومتر مربع می باشد که در بین چهار شهرستان تبریز، شبستر، هریس و ورزقان را در بر می می گیرد و (شکل ۱، الف و ب).

دیدگاه زمین شناسی ساختمانی و بر اساس تقسیم بندی های انجام شده استان آذربایجان شرقی از دو بخش ساختاری تشکیل گردیده است. بخش غربی و جوب غربی آن دنباله بلاتفرم پالتوزوئیک ایران مرکزی و البرز غربی است. این بخش شامل کوه های بزگوش-سهند، ارتفاعات شمال تبریز (کوههای میشو و مرو) و ارتفاعات غرب جلفا است. بخش شمال شرق آذربایجان ظاهراً فاقد رخساره های پلاتفرمی پالتوزوئیک شبیه سایر قسمت های ایران بوده و رخساره های فلیش مزوزوئیک در آن گستردگی زیادی داشته و در بخشی

نیز رخساره رسوبات ترشیر از ویژگی خاصی برخوردار است. در البزر غربی قدیمی ترین سنگ های دگرگونی در حوالی زنجان متعلق به پرکامبرین است که سازند کهر روی آن قرار گرفته است. رسوبات اینفراکامبرین و کامبرین شباهت زیادی به البرز میانی دارند. رسوبات کربنیفر میانی و بالایی در قسمت اعظم آن دیده نمی شود. در عوض توده های سینیتی و گرانودیوریتی مورو و میشو و رسوبات آواری قرمز رنگ اوایل پرمین، احتمالاً ناشی از عملکرد فاز کوهزایی هرسی نین به وجود آمده است. همانند البزر مرکزی، در طی ائوسن فعالیت آتشفشانی زیر دریایی در آذربایجان گسترش داشت به نحوی که به سمت مغرب بر شدت فعالیت افزوده می شود. با کوهزایی پیرینه وضعیتی مشابه البرز مرکزی پدید می آید و فعالیت ماگماتیسم گسترده ای که آثار آنرا در میانه و سهند مشاهده نموده و جنس آنها اکثراً گرانیتی و سینیتی بوده که در داخل توفیت های سبز تزریق می شود. نقشه مربوط به زمین شناسی و زون محدوده مطالعاتی به ترتیب در شکل ۲، نشان داده

شده

است.

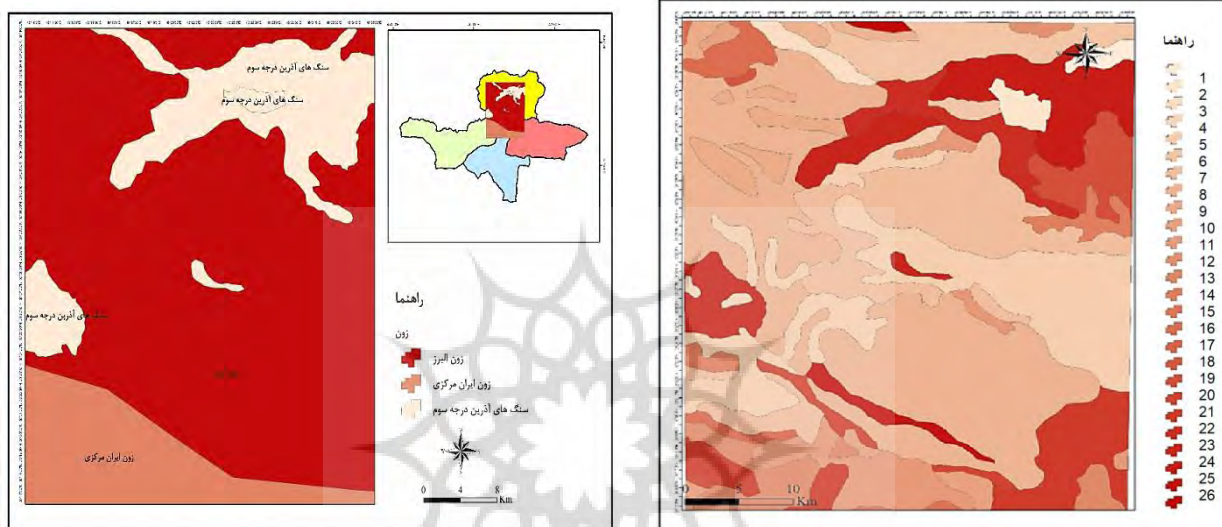


شکل ۱. (بالا) موقعیت و پایین) مدل رقومی ارتفاع ۳ بعدی محدوده مورد مطالعه

بیشتر محدوده های دگرسانی محصول توده های نفوذی هستند که در طول دوره ای مختلف زمین شناسی در شمال غرب ایران لایه های مختلف را تحت تاثیر قرار داده اند. توده های نفوذی در بخش های مختلف آذربایجان به صورت پراکنده با ماهیت و ترکیبات متفاوت اسیدی و بازیک گسترش قابل ملاحظه ای دارند.

عمدتا کانسارهای مهم را باعث شده اند، می توان یافت (رجبی، بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰). حضور دایک ها اهر، قره داغ، مورو و اطراف خوی نشان دهند حضور گسترده نفوذی ها در محدوده مورد مطالعه است (شکل ۳ و ۲).

توده های نفوذی آذربایجان عمدتا متشکل از جنس گرانیت و گرانودیوریت است. این توده های نفوذی سن های مختلف دارند و قدیمی ترین آنها مربوط به توده گرانیتی پرکامبرین است. تقریبا در بیشتر قسمت های آذربایجان می توان رد پای این توده های نفوذی را که



ب

الف

شکل ۲. الف) نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی. در این شکل (۱) اندزیت شبه آتشفشانی (۲۰)، توف های اندزیتی (۳) و (۴) اندزیت های آتشفشانی، داسیت، اندزیت ولکانوسدیمانترها، داسیت تا اندزیت آتشفشانی، (۶) آبرفت های کنگلومرایی، ماسه سنگ و کوهرفت های کنگلومرایی (۷)، فلیش (۸)، انواع فلیش های رسوبی شامل شیل ها، ماسه سنگ ها، آهک ها و کنگلومرها (۹)، مارل های ژیبسی، (۱۰) مخروط های کوهرفتی مرتفع و نهشته های پادگانه ای (۱۱)، آهک ها (۱۲)، مارل های قرمز تا قهوه ای و ژیبسی با میان لایه هایی از ماسه سنگ (۱۳)، مخروط های کوهرفتی کم ارتفاع و نهشته های پادگانه ای (۱۴)، آهک های ماسه ای، ماسه سنگ ها و کنگلومرها (۱۵)، شیل و کنگلومرا (۱۶)، آهک ها (۱۷)، کنگلومراهای ترکیبی و ماسه سنگ قرمز و گل سنگ (۱۸)، کنگلومراهای ترکیبی و ماسه سنگ (۱۹)، ماسه سنگ قرمز، (۲۰) ماسه سنگ، کنگلومرا، (۲۱) مارل قرمز و ماسه سنگ، (۲۲) توف های ریولیتی، (۲۳) توف های آتشفشانی، (۲۴) ریولیت های آتشفشانی (۲۵)، کرتاسه بالایی و سنگ های مختلف و (۲۶) ماسه سنگ و آهک های کرتاسه

گسل های نیز گاهی می توان به حضور محدوده های دگرسانی (شکل ۴) برخورد نمود (رجبی و بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰).

ب) زون زمین شناسی محدوده مطالعاتی

فعالیت حرکات تکتونیکی گسل های متعددی نیز در شمال غرب کشور بوجود آورده است که برخی از این گسل ها در طول دوره های زمین شناسی فعال بوده اند. در طول چنین

۲-۲- داده ها و مراحل تحقیق

در این پژوهش، به منظور شناسایی کانی های هماتیت و مگنتیت از داده های چند طیفی سنجنده های استر، OLI لندست ۸، سنتینل ۲ و داده های ابر طیفی هایپریون در بازه های مختلف بهره گیری شده (جدول ۱ و ۲) و برای کلیه داده های اخذ شده، عملیات پیش پردازش، شامل تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی در محیط نرم افزار ENVI^{۵,۳} انجام شده است.

جدول ۱. اطلاعات زمان اخذ داده های طیفی

سنجنده	تاریخ
آستر	۲۰۰۰/۰۸/۰۴
اولی و لندست ۸	۲۰۲۱/۰۵/۲۹
سنتینل ۲	۲۰۲۲/۰۹/۰۵
هایپریون	۲۰۱۶/۰۸/۱۲

دگرگون شده از داده های این سنجنده استفاده می شود. محدوده های طیفی که تصاویر در آنها اخذ می شوند، شامل محدوده های مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR)، مادون قرمز کوتاه موج (SWIR) و مادون قرمز حرارتی (TIR) هستند. تصاویر دریافتی در سه محدوده طیفی دارای توان تفکیک مکانی متفاوت هستند. توان تفکیک باندهای VNIR، ۱۵ متر، باند های SWIR دارای توان تفکیک مکانی ۳۰ متر بوده و تصاویر مادون قرمز حرارتی دارای تفکیک مکانی ۹۰ متر می باشند (جدول ۲). به لحاظ قدرت این سنجنده برای شناسایی کانی ها در محدوده ها دگرسان شده، سعی شد در این مطالعه از آن بهره گیری شود.

- لندست ۸

ماهواره لندست ۸ (Landsat ۸) که محصول همکاری بین ناسا و سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) می باشد، با ارائه تصاویر با رزولوشن متوسط از ۱۵ متر تا ۱۰۰ متر از سطح زمین و مناطق قطبی، لندست ۸ در محدوده طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک (near-infrared)، موج کوتاه مادون قرمز (short wave infrared) و طیف مادون قرمز حرارتی (thermal infrared) به کار گرفته می شود (بنیادی، ۱۳۹۹). لندست ۸ حدود ۴۰۰ تصویر در روز می گیرد، که نسبت به ۲۵۰ تصویر در روز در ماهواره لندست ۷، افزایش قابل توجهی یافته است. سنسورهای OLI و TIRS نسبت سیگنال به نویز (SNR) را در عملکرد رادیومتری بهبود بخشیده اند. با

برای اخذ داده ها با توجه به هدف پژوهش از داده های سنجنده های مختلف استفاده گردید که این سنجنده عبارتند از:

- استر

استر یکی از سنجنده های تصویربرداری حمل شده توسط ماهواره Terra متعلق به ژاپن می باشد که یک سنجنده چند طیفی با توان طیفی بالا است و داده ها را در سه محدوده طیفی با استفاده از یک رادیو متر جداگانه برای هر ناحیه، اخذ می کند (بنیادی، ۱۳۹۹). در بیشتر موارد، بررسی های کانی ها در محدوده ها

بررسی نیز سعی شد عملکرد آن در شناسایی هماتیت و مگنتیت تحلیل شود.

با توجه به اینکه داده های سنجش از دور در حالت خام که از طریق سنجنده های تصویر بردار نصب شده بر روی سکوها های ماهواره ای دریافت می شوند، در اغلب موارد شامل نقایص و عیب هایی هستند. تصحیح نقص ها و برداشتن عیوب موجود در داده ها بعنوان عملیات پیش پردازش محسوب می گردد. با وجود اینکه بعضی از تصحیحات در ایستگاه دریافت کننده زمینی انجام می شود، مشکل است که تصمیم گرفت پیش پردازش شامل چه مواردی است. چون موجود بودن یا نبودن یک عیب یا نقص در داده ها، بستگی به استفاده مورد نظر از داده ها دارد. در پردازش تصاویر ماهواره ای در مرحله پیش پردازش که نخستین مرحله بشمار می رود، خطاهایی که در تصاویر ماهواره ای وجود دارند پیدا و سپس اصلاح می شوند. در این مطالعه نیز با توجه به نیاز پیش پردازش های لازم مانند تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری، این تصحیحات در محیط ENVI بر روی تصاویر مورد استفاده اعمال شد تا برای انجام پردازش های لازم آماده شوند.

برای پردازش داده ها از روش های مختلف استفاده شده است. یکی از این روش های مهم روش شاخص محور است. در بررسی با تکیه بر روش های شاخص محور و با استفاده از روش نسبت بانندی، کانی های Hematit و Magnetit از روی تصاویر مورد استفاده شناسایی شدند. نسبت های بانندی مربوط به هر کدام از سنجنده

توجه به محدوده های طیفی این سنجنده در بررسی کانی ها در مواردی از آن استفاده می شود. در این

۲- سنتیل

سنتیل ۲، حامل سنجنده چند طیفی (MSI) است. این سنجنده، ۱۳ باند طیفی از ۱۰ تا ۶۰ متر اندازه پیکسل را ارائه می دهد. کانال های آبی (B۲)، سبز (B۳)، قرمز (B۴) و نزدیک به فرورسرخ (B۸) وضوح ۱۰ متری دارند (هو^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). لبه قرمز آن NIR، مادون قرمز نزدیک (B۶، B۷ و B۸A) و SWIR مادون قرمز موج کوتاه (B۱۱ و B۱۲) فاصله نمونه برداری از زمین ۲۰ متر دارند. آئروسول ساحلی آن (B۱) و نوار سیروس (B۱۰) اندازه پیکسل ۶۰ متری دارند.

۲-۱- هایپیرون

هایپیرون محدودهای بین ۲/۵-۰/۴ میکرومتر با ۲۴۲ باند طیفی (کانال) و قدرت تفکیک طیفی تقریباً ۱۰ نانومتر و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر را در بر می گیرد. نتایج بدست آمده از داده های فرا طیفی هوابرد (هایپیرون) اطلاعات بسیار مفیدی درباره کانی شناسی ارائه می کند. کانی های شناسایی شده توسط این سنجنده، شامل کربنات ها، کلریت، اپیدوت، کائولینیت، آلونیت، مسکویت، سیلیس هیدروترمال و زئولیت بودند. داده های هایپیرون حتی امکان تشخیص دقیق تفاوت بین کلسیت و دولومیت و نظایر آن را نیز دارد. با عنایت به توانایی بالای این سنجنده در شناسایی کانی ها، سعی شده در این مطالعه از آن بهره گیری شود.

۲-۳- پردازش داده ها

^۱ Hu,

انتهایی را برای هر پیکسل مشخص می‌کند. نتایج عدم اختلاط طیفی به شدت به اعضای انتهایی ورودی بستگی دارد که اعضای انتهایی نتایج را تغییر می‌دهند. اجرای این روش به حداقل دو طیف ورودی نیاز دارد. در این روش در کنار خروجی های مربوط به کانی های مشخص شده، یک خروجی با عنوان RMS وجود دارد که در این خروجی مناطق روشن دارای بیشترین خطا می باشند. از این تصویر می توان برای مقایسه نتایج به دست آمده استفاده کرد.

روش MF از جمله روش هایی است که به منظور شناسایی فراوانی اعضای انتهایی تعریف شده توسط کاربر با استفاده از عدم اختلاط جزئی استفاده می شود. این تکنیک پاسخ عضو انتهایی شناخته شده را به حداکثر می رساند و پاسخ ترکیب را سرکوب می کند.

روش دیگر مورد استفاده در این بررسی، روش SFF است که در این روش با استفاده از برازش ویژگی طیفی SFF برای مقایسه برازش طیف های تصویر با طیف های مرجع با استفاده از تکنیک حداقل مربعات استفاده می شود در واقع روش SFF یک روش مبتنی بر ویژگی جذب است. در این بررسی طیف های مرجع برای مطابقت با طیف های تصویر پس از حذف پیوسته از هر دو مجموعه داده، مقیاس بندی شده اند. در این روش یک تصویر scale و یک تصویر RMS برای هر طیف مرجع خروجی داده شده است. پیکسل های روشن تر در تصویر scale نشان دهنده تطابق بهتر با طیف مرجع در آن پیکسل ها (برای مناطق با خطای RMS کم) است. در حالی که پیکسل های تیره در تصویر خطای RMS نشان دهنده خطای کم است.

هایی که در این بررسی استفاده شده اند، در جدول ۵ نمایش داده شده است.

جدول ۵. نسبت های باندی جهت شناسایی کانی های هماتیت و مگنتیت

نسبت باندی و باند	سنجنده	فیچر
۲/۱	استر	آهن فرویک Fe ^{۳+}
۴/۳	لندست ۸	
۱۱/۸ A	سنتیل ۲	
(۱/۲) + (۵/۳)	استر	آهن فروس Fe ^{۲+}
(۷/۵) + (۳/۴)	لندست ۸	
(۱۱/ ۸ A) + (۳/۴)	سنتیل ۲	

روش های طیف محور نیز در این بررسی به کار گرفته شده اند که این روش ها شامل:

Linear Spectral Information Divergence (SID) ، Matched Filtering (MF)، Spectral Unmixing (LSU) و Spectral Feature Fitting (SFF) می باشد. در این بررسی، با روش ها مذکور و با استفاده از کتابخانه طیفی نرم افزار ENVI به شناسایی کانی های مورد نظر پرداخته شد. کتابخانه طیفی مورد استفاده در این تحقیق، کتابخانه طیفی USGS می باشد.

روش SID یک روش احتمالاتی است که از تئوری واگرایی برگرفته شده است و تشابه طیفی بین دو بردار پیکسل را بر اساس اختلاف توزیع احتمال به دست آمده از اثر طیفی آنها اندازه گیری می کند. این روش در تشخیص دقیق تغییرات طیفی بسیار موثر است.

روش LSU با توجه به طیف حاصل (داده های ورودی) و طیف های عضو انتهایی، مقادیر فراوانی هر عضو

۳. یافته ها، بحث و نتایج

منطقه شمال غرب کشور، بخصوص استان آذربایجان شرقی، به لحاظ وقوع رخ داده ای زمین شناسی متنوع در گذشته و فعال بودن تکتونیک و هم چنین وقوع آتشفشان های مکرر باعث شده است که نواحی دگرسانی در محدوده مورد مطالعه بیشتر وجود داشته باشد. محدوده های دگرسانی از نظر کانی زایی و تشکیل کانی های مهم در بررسی ها معدن شناسی از

اهمیت ویژه ای برخوردار است (شکل ۴). وجود نفوذی ها که پراکندگی آنها در استان زیاد است، نشان بسیار مهمی برای بررسی چنین محدوده هایی محسوب می شود. در این بررسی، با هدف تفسیر بصری، محدوده مورد مطالعه با ترکیب رنگی واقعی RGB توسط باند های آبی، سبز و قرمز مربوط به سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ استفاده و نقشه ها تولید شده است (شکل ۵).

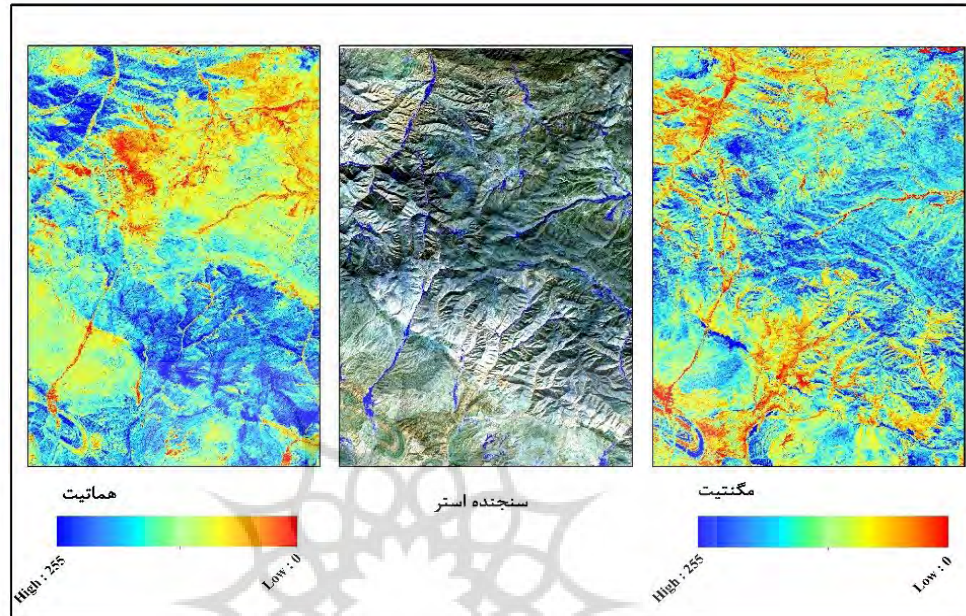


شکل ۴. نواحی دگرسانی شده و حضور نفوذی های در قسمت های مختلف استان

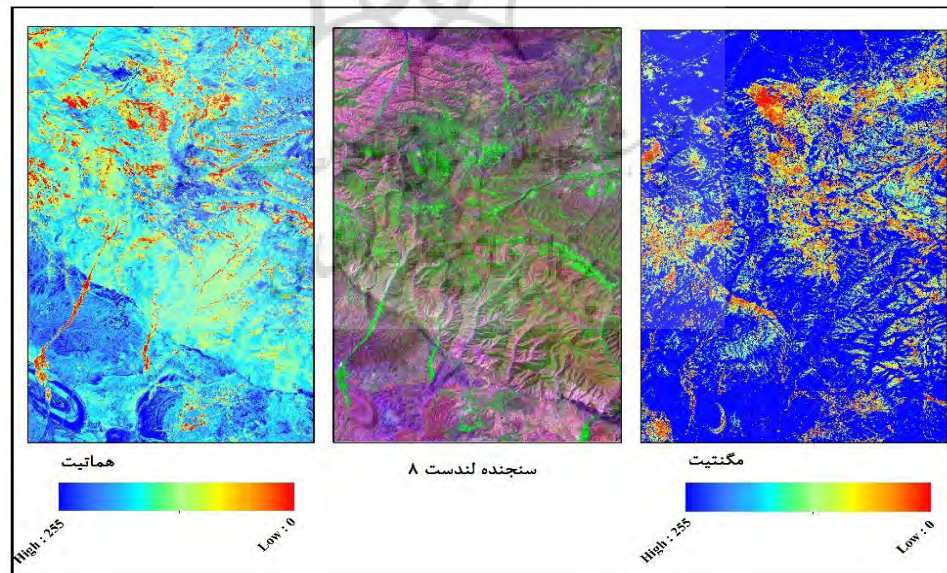


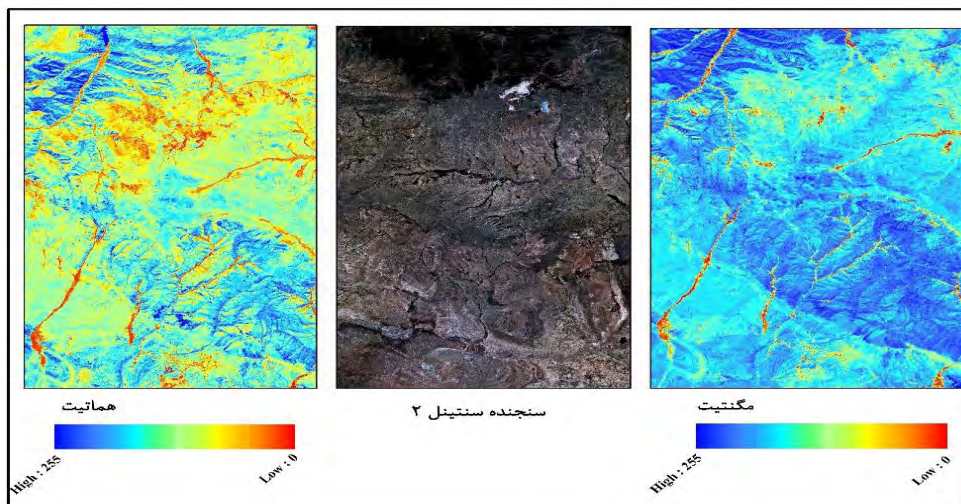
شکل ۵. ترکیب رنگی واقعی محدوده مطالعاتی منتج از ماهواره لندست ۸

نتایج حاصل از روش های شاخص محور منتج از سنجنده های استر، OLI ماهواره لندست ۸ و ماهواره سنتینل ۲ به ترتیب در شکل ۷، ۶ و ۷ نشان داده شده است.

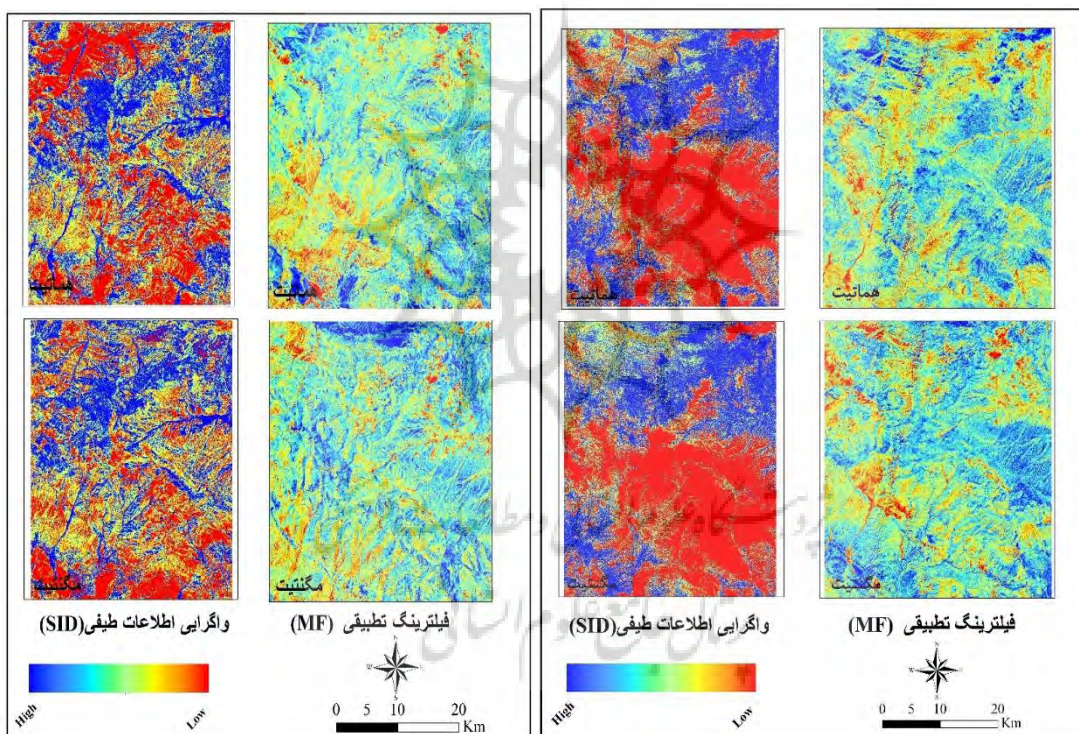


شکل ۶. شاخص هماتیت و مگنتیت منتج از سنجنده استر





شکل ۷. شاخص هماتیت و مگنتیت منتج از ماهواره سنتینل ۲



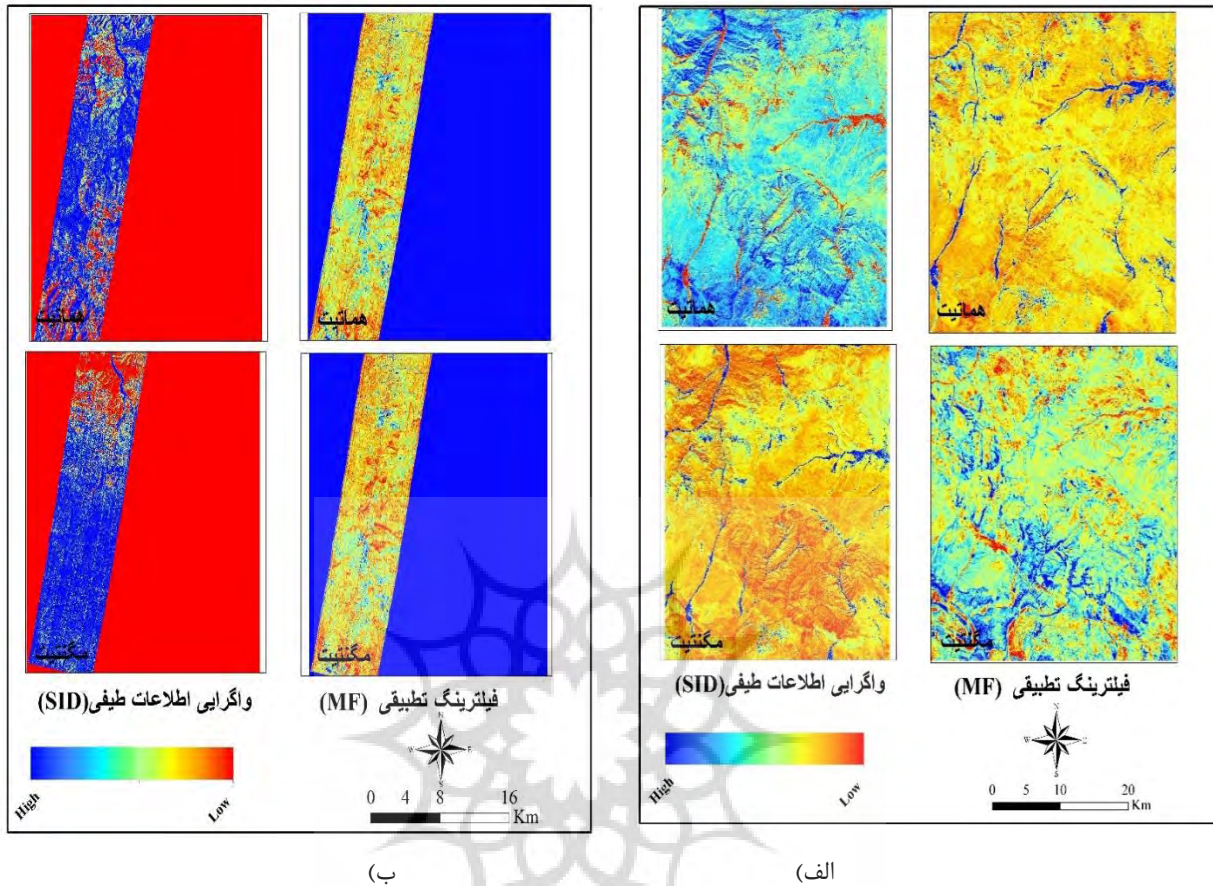
(ب)

(الف)

شکل ۸. نتایج حاصل از روش MF & SID (الف) بر روی داده های سنجده استر و (ب) بر روی داده های لندست ۸

سنجده هایپریون به ترتیب در شکل ۸ و ۹، نشان داده شده است.

نتایج حاصل از روش های MF و SID بر روی تصاویر سنجده استر، ماهواره لندست ۸، ماهواره سنتینل ۲ و

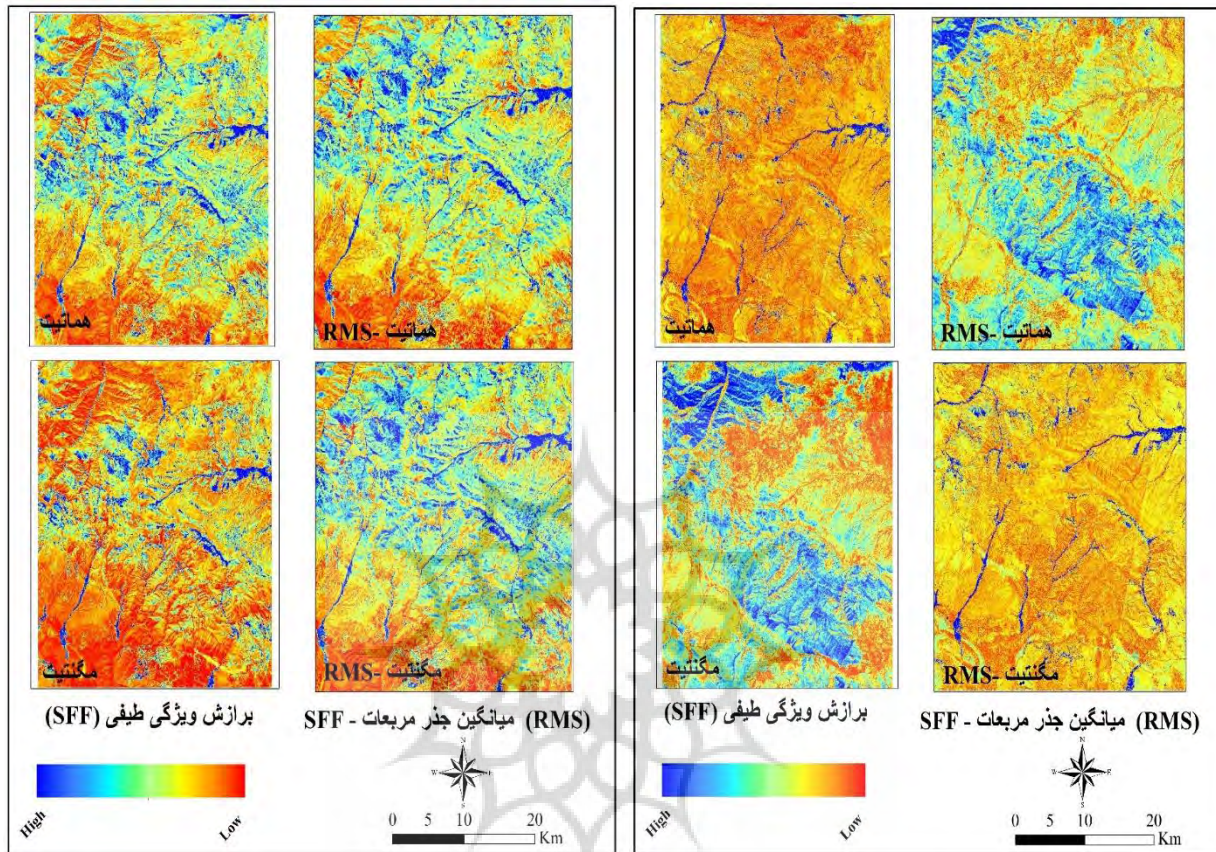


شکل ۹. نتایج حاصل از روش MF & SID الف) بر روی داده های ماهواره سنتینل ۲ و ب) داده سنجنده هایپریون

نتایج حاصل از روش SFM بر روی تصاویر سنجنده استر، OLI ماهواره لندست ۸، ماهواره سنتینل ۲ و سنجنده هایپریون به در ترتیب در شکل ۱۰ و ۱۱، نشان داده شده است.

(الف)

(ب)



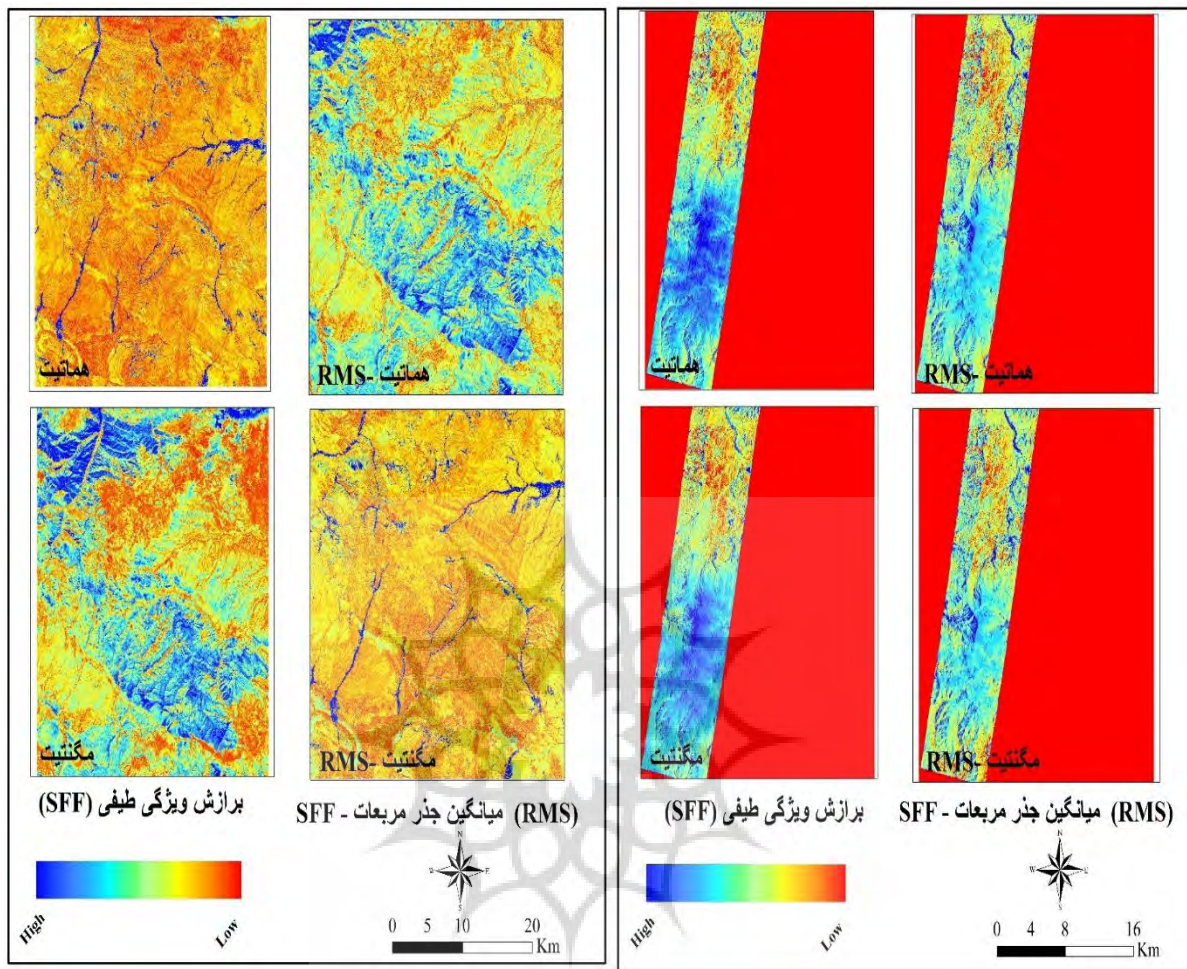
شکل ۱۰. نتایج حاصل از روش SFF (الف) بر روی داده های سنجنده

(ب) بر روی داده های ماهواره لندست ۸

استر و

بررسی نقشه های ترسیمی (شکل ۹ و ۱۰) نشان می دهد که بکارگیری روش های مختلف و استفاده از داده های سنجنده های مختلف، در توزیع هماتیت و مگنتیت می شود.

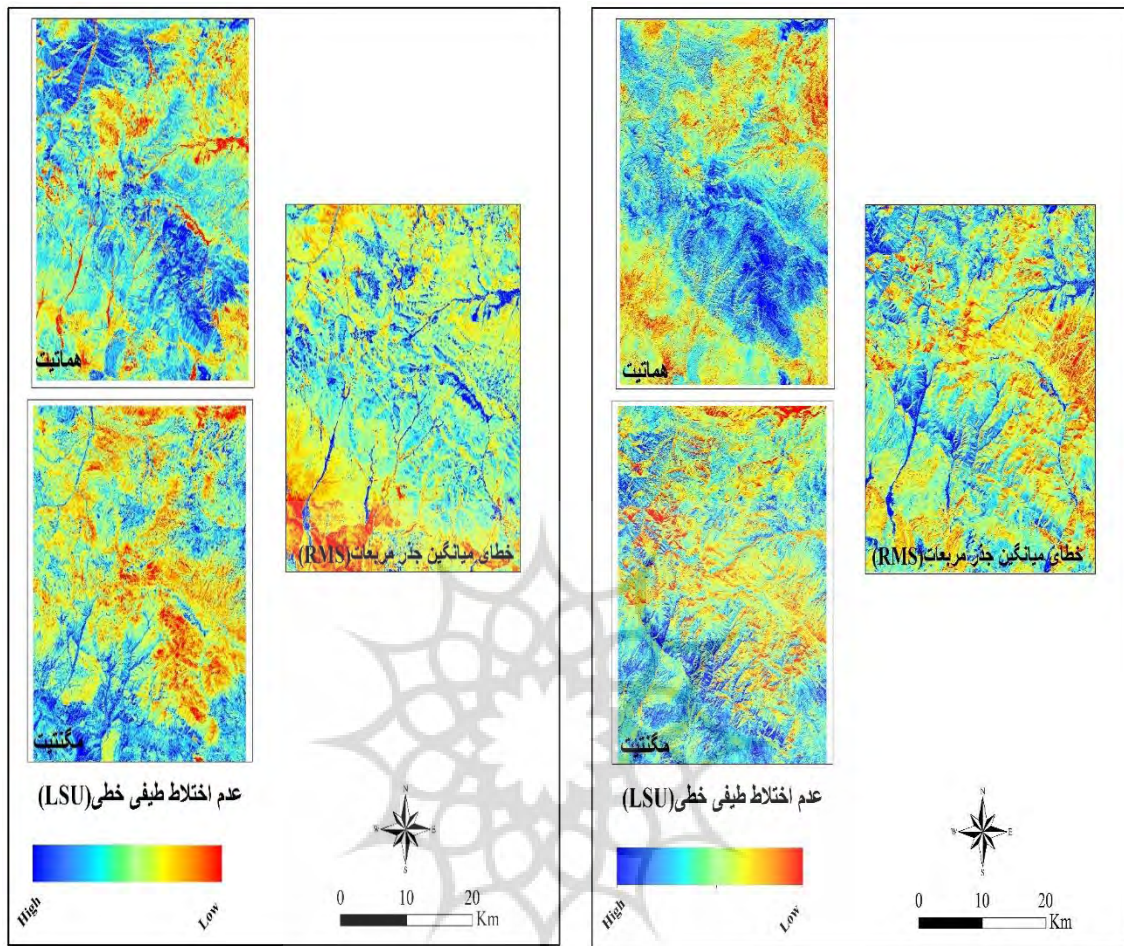
پراکندگی متفاوتی در محدوده مورد مطالعه مشاهده می شود.



شکل ۱۱. نتایج حاصل از روش SFF (الف) بر روی داده های سنجنده هایپریون و (ب) روی داده های ماهواره سنتینل ۲

نتایج حاصل از روش LSU بر روی تصاویر سنجنده استر، OLI ماهواره لندست ۸، ماهواره سنتینل ۲ و سنجنده هایپریون به در ترتیب در شکل ۱۲ و ۱۳، نشان داده شده است

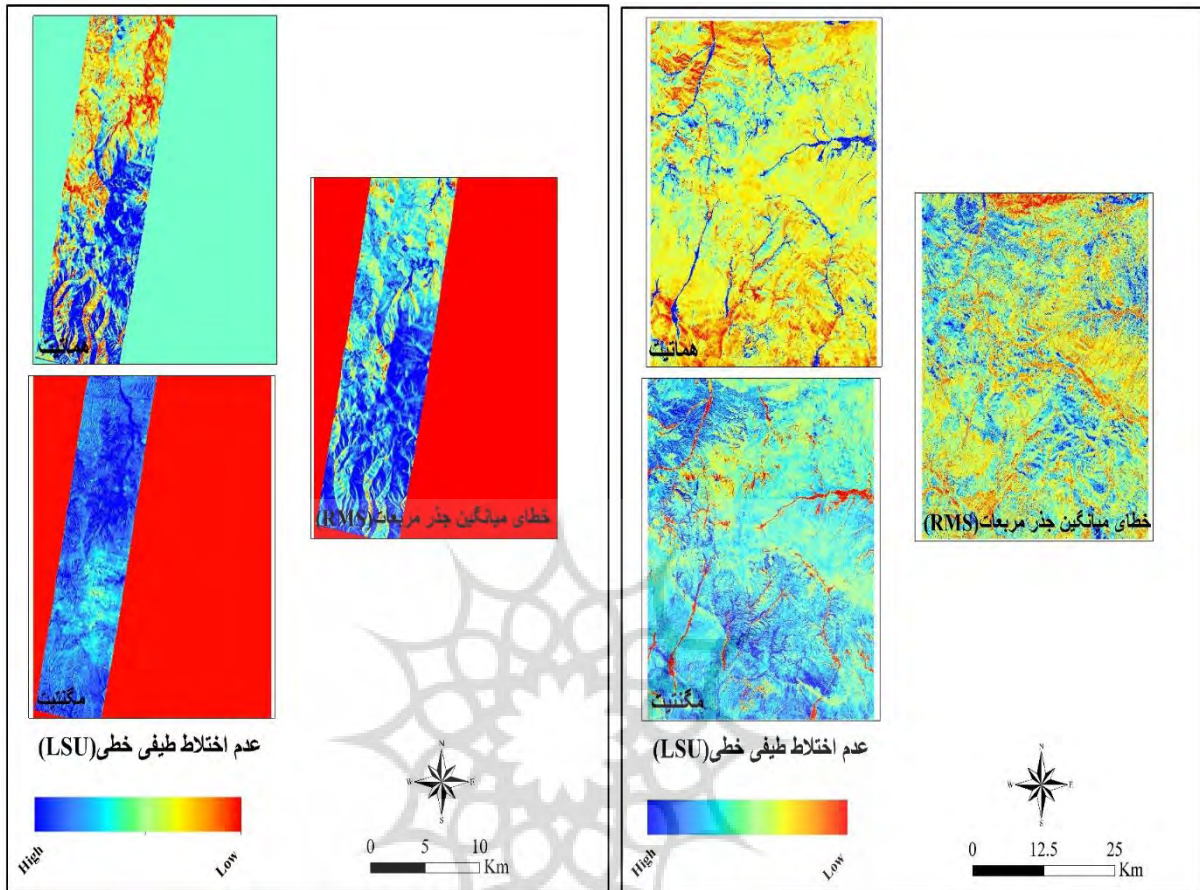
نتایج حاصل از بکارگیری روش SFF در محدوده مورد بررسی با استفاده از داده های هایپریون و سنتینل ۲ که در شکل ۱۱ ارایه شده است، حاکی از تفاوت در توزیع هماتیت و مگنتیت است.



شکل ۱۲. نتایج حاصل از روش LSU الف) بر روی داده های سنجنده استر و ب) بر روی داده های ماهواره لندست ۸

تشابه در ارزیابی هماتیت و مگنتیت در محدوده مورد مطالعه است

بررسی نتایج حاصل از بکارگیری داده های سنجنده استر و داده های لندست ۸ با روش LSU حاکی از



شکل ۱۳. نتایج حاصل از روش LSU الف) بر روی داده های ماهواره سنتینل ۲ و ب) بر روی داده های سنجنده هایپریون

از کارایی نسبتاً خوبی برخوردار می باشد و بدترین نتایج مربوط به ماهواره لندست ۸ می باشد.

نتایج حاصل از روش های طیف محور نیز نشان می دهد روش SID در شناسایی کانی هماتیت با استفاده از داده های سنتینل ۲ دارای قابلیت خوبی می باشد و در مورد سایر منابع داده عملکرد ضعیفی دارد. روش MF در شناسایی و تفکیک کانی های هماتیت و مگنتیت با

همچنان که نتایج حاصل از خروجی ها نشان می دهد، می توان گفت که نتایج حاصل از بکارگیری روش های منتج از شاخص محور با استفاده از ۳ منبع داده استر، لندست ۸ و سنتینل، حاکی از این است که سنجنده استر دارای بیشترین قابلیت در بارسازی و تفکیک کانی های هماتیت و مگنتیت از یکدیگر دارد و پس از آن ماهواره سنتینل ۲ در شناسایی کانی هماتیت

دوره های مختلف و گستردگی محدوده های دگرسانی، سعی شد در این مطالعه با استفاده از ابزارهای دورسنجی محدوده های دگر سانی مورد بررسی قرار گیرد. و سعی شد با استفاده از داده های سنجنده های مهم، شامل تصویر سنجنده ماهواره ای استر و تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ و همچنین تصویر ماهواره سنتینل ۲ و سنجنده ابرطیفی هایپریون استفاده شد و کانی های آهن دار هماتیت و مگنتیت در محدوده ای ما بین چهار شهرستان تبریز، هریس، ورزقان و شبستر مورد بررسی قرار گرفت. شاخص های زیادی برای گرفتن بهترین نتیجه مورد آزمون قرار گرفت و نتایج کلیه بررسی ها نشان داد که روش های شاخص محور هنگام استفاده از داده های چند طیفی استر دارای بالاترین کارایی را دارا می باشد و هنگامی که داده های لندست ۸ و سنتینل ۲ بکار می روند، روش های طیف محور کارایی بیشتری دارند. نتایج همچنین نشان می دهند روش های SID و SFF-RMS در شناسایی کانی هماتیت توسط داده های ماهواره سنتینل ۲ کارایی خوبی دارند و همچنین روش LSU قابلیت خوبی در پایش کانی هماتیت با استفاده از داده های لندست ۸ دارد. از بین روش های طیف محور روش LSU نتایج بهتری نسبت به سایر روش ها از خود نشان می دهد. با توجه به محدودیت های سنجنده هایپریون در پوشش کامل محدوده های مطالعاتی و در دسترس نبودن آن، این سنجنده در کارایی پایین در مطالعات کانی شناسی برخوردار است. داده های طیفی سنتینل ۲ و لندست در آشکارسازی کانی مگنتیت قابلیت بسیار پایینی دارند اما با استفاده از روش های طیف محور می توانند در شناسایی هماتیت مورد استفاده قرار گیرند.

استفاده از داده های استر عملکرد خوبی از خود نشان می دهد و برای مابقی سنجنده ها عملکردی بسیار ضعیف دارد. روش SFF-RMS در شناسایی کانی هماتیت و مگنتیت با استفاده از داده های استر عملکردی نسبتا خوبی در شناسایی کانی هماتیت نشان می دهد. همچنین این نتیجه با استفاده از داده های سنتینل ۲ نیز صادق است. خروجی های حاصل از بکارگیری روش LSU نیز حاکی از این است که این روش نیز در شناسایی کانی هماتیت توسط داده های استر و لندست ۸ و هایپریون عملکردی خوب از خود نشان می دهد.

-نتیجه گیری

منطقه شمال غرب کشور، بخصوص محدوده آذربایجان شرقی، با توجه به پیشینه زمین شناسی و تنوع و گستره مکانی در نفوذی ها و طبیعتا گستره دگرسانی های به نظر می رسد که برای شناسایی کانی های ارزشمند به مطالعات بیشتری از نزدیک و دور دارد. محدوده مورد مطالعه، با توجه به مجموعه عوامل زمین شناسی خدادادی دارای ظرفیت های بسیار بالای معدنی است و با بیش از ۴۰۰ معدن فعال، رتبه اول ذخایر معدنی کشور را به خود اختصاص داده است. معادن فلزاتی نظیر مس، طلا، منگنز و آهن، معادن غیر فلزی نظیر کائولن و سیلیس و معادن مرتبط با مصالح ساختمانی مانند سنگ گچ، سنگ لاشه، سنگ های تزئینی و شن و ماسه از جمله ذخایر معدنی مهم موجود در این استان می باشند.

با عنایت به سابقه زمین شناسی آذربایجان شرقی و پیچیدگی های مربوط به فعالیت های درونی زمین در

دگرسانیها در منطقه شهرک، استان کردستان، زمین شناسی کاربردی پیشرفته، تابستان، ۹۹، دوره ۶۱، شماره ۲، صص ۱۶۶-۱۵۶.

۵-رجبی، معصومه و بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی آذربایجان شرقی، انتشارات دانشگاه تبریز.

۶-لطفی، ز، حسن نژاد، ع، حسینی نژاد، م (۱۳۹۲) نخستین گزارش کانی شناسی و دگرسانی کانسار آهن تویه دروار (شمال غرب دامغان). پنجمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شهر یور، تهران.

۷-Seyyedi, M., Lotfi, M, Gourabjeripour, A, Ashja Ardalan, Ashja Ardalan. (۲۰۲۲) Investigation of alterations and lineaments in Rashid-Abad mineral area (N Zanzan, NW Iran), Using integration of Remote Sensing and Aeromagnetic data, Iranian Journal of Earth science, Vol. 14, No. 4, 301-321.

۸-Moradir, (۲۰۱۷) Remote sensing detection of altered zones associated with Cu-Mo mineralization in North of Zahedan, SE Iran using Landsat-۸ data, Yerbilimleri, ۲۰۱۷, ۳۸ (۳), ۲۷۵-۲۹۴

۹-Yousefi, H. Ranjbar, S. Alirezaei, S. Dargahi (۲۰۱۸) Application of Mixture Tuned Matched Filtering on ASTER Data for Hydrothermal Alteration Mapping Related to Porphyry Cu Deposits in Jabal-Barez Ranges, Kerman Copper Belt, Iran, Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran ۲۹(۳): ۲۷۱ - ۲۸۰ (۲۰۱۸).

۱۰-Hiroji Tsu, H., Hulley, G, Iwao, K, Pieri, D, Cudahy, T, Kargel, J, Abrams, M (۲۰۱۵) The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) after fifteen years: Review of global products, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, No, ۳۸: ۲۹۲-۳۰۱.

نتایج این پژوهش نشان می دهد بالاترین قابلیت در شناسایی کانی های هماتیت و مگنتیت و تفکیک آنها از یکدیگر مربوط به سنجده استر می باشد. داده های ماهواره ای به دلیل در دسترس بودن و پوشش مناطق وسیع و محدوده های صعب العبور ابزاری بسیار کارآمد جهت شناسایی و تولید نقشه های کانی های مختلف می باشند.

منابع

۱-احمدی، ف، آقاجانی، ح، عابدی، م (۱۴۰۱) تهیه نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از تصاویر ماهواره های سنتینل ۲، لندست ۸ و استر برای کانسار آهن در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰، نشریه مهندسی منابع معدن، دوره هفتم، شماره ۲، تابستان، صفحه ۵ تا ۲.

۲-اسماعیلی، ا، خاکزاد، ا و ثوقی، م (۱۳۹۹) - تلفیق و آنالیز داده های زمین شناسی و روش دورسنجی جهت شناسایی و تفکیک زون های دگرسانی کانسار آهن کامو (میمه- اصفهان)، نشریه علوم زمین، تابستان، سال بیست و نهم، شماره ۱۱۶، صفحه ۱۵ تا ۲۲

۳- بادکوبه هزازه، ا، رضایی، خلیل (۱۴۰۰) بارزسازی نهشته های کواترنری آهن پلاسری توسط تلفیق داده های نسبت بانندی سنجش از دور و مغناطیسسنجی و زمینشناسی به روش WOI و مقایسه با روشهای SAM و FCC در ورقه یکصد هزارم همدان، فصلنامه کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دوره ۷، شماره ۲ و ۱ بهار و تابستان ۱۴۰۰، صص ۷۸۳-۷۹۸

۴-بنیادی، ز (۱۳۹۹) - مقایسه عملکرد تصاویر ماهواره ای ASTER و لندست OLI در بارزسازی رخداد آهن و

lithological mapping: a case study for measuring geological offset along the Erkenek Segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, *Arabian Journal of Geosciences* (۲۰۲۰) ۱۳:۸۳۲.

۱۷-Frutoso, R, Lima, A., Cláudia Teodoro, A (۲۰۲۱) Application of remote sensing data in gold exploration: targeting hydrothermal alteration using Landsat 8 imagery in northern Portugal, *Arabian Journal of Geosciences* (۲۰۲۱) ۱۴: ۴۵۹.

۱۸- Mirsepahvand, F., P., Jafari, Ali Arian, M (۲۰۲۲) Identification of Alteration Zones using ASTER Data for Metallic Mineralization in Ahar region, NW Iran, *Journal of Mining and Environment (JME) Vol. 13, No. 1, 2022, 39 - ۳۲۴*

۱۱-Trore, M., Çan, T., Tekin, S (۲۰۲۰) Discrimination of Iron Deposits Using Feature Oriented Principal Component Selection and Band Ratio Methods: Eastern Taurus /TURKEY, *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO)*, Vol: ۷ Issue: ۲ August ۲۰۲۰, ۱۴۷-۱۵۶.

۱۲-Ourhzif, Z., Algouti, A., Algouti, A., Hadach, F. (۲۰۱۹) LITHOLOGICAL MAPPING USING LANDSAT 8 OLI AND ASTER MULTISPECTRAL DATA IN IMINI-OUNILLA DISTRICT SOUTH HIGH ATLAS OF MARRAKECH, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W13, ۲۰۱۹, ISPRS Geospatial Week ۲۰۱۹, ۱۰-۱۴ June ۲۰۱۹, Enschede, The Netherlands.

۱۳-Hu, B., Xu, Y., Wan, B., Xincai, Yi, G (۲۰۱۸) Hydrothermally altered mineral mapping using synthetic application of Sentinel-2A MSI, ASTER and Hyperion data in the Duolong area, Tibetan Plateau, China, *Ore Geology Reviews*, ۱۰۱: ۳۸۴-۳۹۴.

۱۴-Yousefi, S. J., Ranjbar, H., Alirezaei, S., Dargahi, S. (۲۰۱۸) Application of Mixture Tuned Matched Filtering on ASTER Data for Hydrothermal Alteration Mapping Related to Porphyry Cu Deposits in Jabal-Barez Ranges, Kerman Copper Belt, Iran, *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* ۲۹(۳): ۲۷۱ - ۲۸۰ (۲۰۱۸)

۱۵-Chakouri, M., El Harti, A., Lhissou, R., El Hachimi, J., Jellouli, A. (۲۰۲۰) Geological and Mineralogical mapping in Moroccan central Jebilet using multispectral and hyperspectral satellite data and Machine Learning, *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, No, ۴, : ۵۷۷۲-۵۷۸۳.

۱۶-Khalifa, A., Çakır, Z. & Kaya, S., Gabr, S (۲۰۲۰) ASTER spectral band ratios for

Measuring capabilities of sensors in identifying hematite and magnetite minerals using spectral data (case study: East Azarbaijan province)

Maryam Bayati Khatibi ^۱, Mahmoud Surghali ^۲ and Samana Bagheri ^۳

Abstract:

According to the geological position and diversity of various events in the northwest of Iran, East Azarbaijan province has a high potential in relation to iron mineralization. The aim of the present study is to identify hematite and magnetite minerals in the study area, which includes a range between the cities of Tabriz, Shabestar, Haris and Warzghan. In this research, the multispectral data of OLI sensor of Landsat 8 satellite, ASTER sensor of TERRA satellite, Sentinel-2 satellite, as well as hyperspectral data of Hyperion sensor in order to monitor hematite and magnetite minerals and existing geological maps were used for validation. In this study, in order to identify hematite and magnetite minerals, multi-spectral spectral data was used and to obtain data, data related to different time spectra of these sensors were used. For all obtained data, pre-processing operations, including Atmospheric and radiometric corrections have been done in the environment of ENVI 5.1 software. The methods used in this research include index-based methods (band ratio operation) and spectrum-based methods (SID), MF, SFF, LSU). Considering the geological history of East Azerbaijan province, the results of these two methods represent the presence of two minerals, hematite and magnetite, was within the scope of the study, and the comparison of the results showed that the multi-spectral data of the ASTER sensor has a high ability to distinguish and identify the two studied minerals. Since the access to Hyperion hyperspectral data is limited and also covers a limited area compared to multi-spectral data, it can be concluded that ASTER data has more advantages and efficiency in mineralogical studies than other sources of spectral data.

Keyword: hematite, magnetite, alteration zone, remote sensing, East Azerbaijan