

## تهیه نقشه زون‌های دگرسان شده، واحدهای زمین‌شناسی و خطواره‌ها به کمک تصاویر ASTER ماهواره TERRA (مطالعه موردی کانسار آهن اسپید)

علیرضا محمدی\*<sup>۱</sup>، معصومه خلیج معصومی<sup>۲</sup>، احمد خاکزاد<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دوره دکتری و عضو باشگاه پژوهشگران جوان، زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- دانشجوی دوره دکتری، زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دکتری معدن‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

(#عهده دار مکاتبات - a.mohammadi@srbiau.ac.ir)

### چکیده

محدوده اکتشافی کانسار آهن اسپید به وسعت ۱۳/۸۷ کیلومتر مربع در ۶۰ کیلومتری غرب شهرستان قم و در جنوب روستای اسپید و در گستره نقشه‌های زمین‌شناسی در برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نفرش قرار دارد. منطقه مورد نظر در بخش مرکزی این برگه واقع شده که در کل شامل پهنه‌های ولکانیکی (عمدتاً توده کوارتز آندزیتی- آندزیتی به همراه مواد پیروکلاستیک و خاکسترهای آتشفشانی، با رخنمون‌هایی به شکل دایک با جنس توف اسیدی) و سنگ‌های رسوبی مربوط به دوران سوم می‌باشد. کانی‌سازی در این محدوده در سطح توده کوارتز آندزیتی به صورت هماتیت و اسپیکولاریت و به شکل پراکنده تشکیل یافته است. در عملیات اکتشاف مقدماتی در این کانسار، در مناطق دگرسان و مرتبط با گسل ترانشه‌هایی حفر گردید که دو ترانشه در این کانسار به توده هماتیتی با عیار متوسط ۷۵-۶۵٪ برخورد نمود. جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، در این محدوده داده‌های تصاویر ماهواره‌ای TERRA برداشت شده توسط سنجنده ASTER - پس از انجام تصیحات و پیش پردازش‌های مربوط- مورد پردازش قرار گرفت و نقشه‌های موضوعی مانند زون‌های آلتراسیون مرتبط با کانسارهای آهن، واحدهای سنگی، خطواره‌ها و الگوهای شکستگی استخراج گردید. سپس به وسیله پیمایش‌های صحرایی که در محدوده انجام شد، نقشه‌های مورد نظر کنترل گردید. داده‌های مربوطه تا میزان زیادی با نتایج حاصل از پیمایش‌های صحرایی تطابق داشتند. در نهایت نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد نظر از تلفیق تمام داده‌های بدست آمده، تهیه گردید.

**واژگان کلیدی:** کانسار آهن اسپید، تصاویر ماهواره‌ای TERRA، سنجنده ASTER، نقشه‌های موضوعی.

### ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، فن آوری سنجش از دور، اطلاعات ارزشمندی را در زمینه اکتشاف مواد معدنی فراهم ساخته است. داده‌های ماهواره‌ای با ثبت نتایج حاصل از تصویربرداری در محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیس، بطور گسترده‌ای در زمین‌شناسی و اکتشاف معدن بکار گرفته شده‌اند. در این میان ساختارهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، نوع لیتولوژی و انواع آلتراسیون را می‌توان به عنوان مهمترین لایه‌های قابل استخراج در تصاویر ماهواره‌ای دانست.

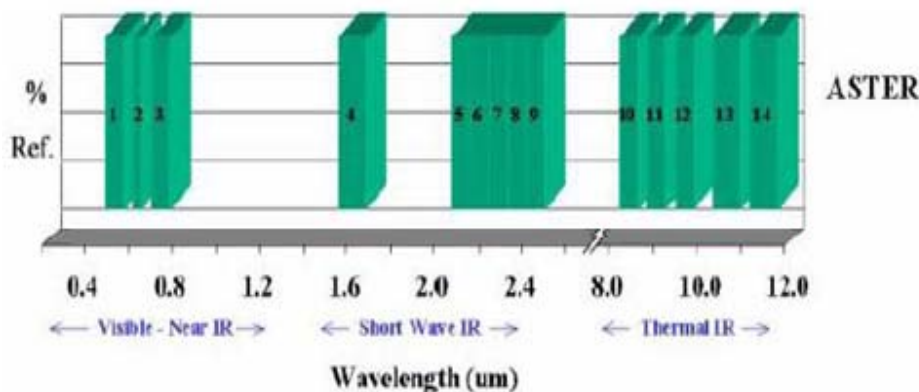
همچنین تکنیک‌های سنجش از دور، نقش بسیار مهمی را در تعیین محل نهشته‌های معدنی ایفا می‌نمایند و به طور قابل توجهی هزینه‌های پی‌جویی و اکتشاف را کاهش می‌دهند. استفاده از تصاویر و اطلاعات ماهواره‌ای در بهنگام سازی نقشه‌های زمین‌شناسی، بهبود کیفی نقشه‌ها و تهیه نقشه‌های موضوعی مانند زون‌های آلتراسیون، واحدهای

سنگی، خطواره‌ها و الگوهای شکستگی و در تهیه نقشه پتانسیل معدنی بسیار مثر ثمر بوده و از نظر وقت و هزینه نیز بسیار مقرون به صرفه می‌باشد.

در این پروژه از تصاویر سنجنده ASTER در ترکیب‌های باندی مختلف برای استخراج ساختارهای زمین شناسی (گسل‌ها و خطواره‌ها)، نوع واحدهای سنگی و آلتراسیون‌های مرتبط با اکسید آهن استفاده گردید - با توجه به انجام پیمایش صحرائی - این فرصت برای صحت سنجی و کنترل عوارض زمین شناسی مذکور و مقایسه نتایج حاصل از این پیمایش‌ها با نقشه‌های موضوعی استخراج شده حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای فراهم گردید و در نهایت با تکیه بر پیمایش‌های مستقیم صحرائی و داده‌های ماهواره‌ای، نقشه زمین شناسی محدوده تهیه گردید.

## ۲- کاربرد داده‌های ASTER در زمین شناسی

داده‌های سنجنده ASTER در گستره وسیعی از کاربردهای مرتبط با مطالعات زمین شناسی نظیر پایش خطرات زمین‌شناسی و خاک، تغییرات پوشش گیاهی و اکوسیستم، بررسی اقلیم سطح زمین، هیدرولوژی، تغییرات پوشش زمینی و تولید مدل‌های ارتفاعی رقومی به کار برده می‌شود. این داده‌ها در نقشه برداری واحدهای سنگ شناسی، چینه‌شناسی، خطواره‌های بزرگ و روندهای ساختاری در طول نواحی که احتمال کانسارسازی وجود دارد، شناسایی مناطق دگرسان شده مرتبط با توده‌های کانسار، برای زمین شناسان نقش موثری ایفا می‌کنند. با استفاده از نقشه‌های مذکور، زمین شناسان اقتصادی در راستای اکتشاف ذخایر فلزی و نفت، گروه هیدروژئولوژی در زمینه آب فعالیت می‌نمایند. در حالی که زمین شناسان ساختمانی، به بررسی وضعیت تکتونیکی زمین و طبقه‌بندی گسل‌ها می‌پردازند. بکارگیری تصاویر ASTER با قدرت تفکیک بالا و باندهایی که منطقه وسیعی از طیف الکترومغناطیس را پوشش می‌دهند، زمین شناسان را قادر به تولید نقشه‌های زمین شناسی دقیق در راستای کاهش هزینه‌های مبتنی بر کارهای میدانی خواهد نمود. برای شناسایی سنگ‌ها و کانی‌های مختلف سطح زمین، محدوده طیفی ۱/۵ تا ۲/۵ میکرون بسیار مهم می‌باشد. این محدوده طیفی شامل محدوده مادون قرمز کوتاه تا متوسط می‌شود که شش باند سنجنده ASTER (باندهای SWIR) را می‌پوشاند (شکل ۱).



شکل ۱: باندهای طیفی سنجنده ASTER

## ۳- معرفی محدوده کانسار آهن اسپید

محدوده اکتشافی کانسار آهن اسپید به وسعت ۱۳/۸۷ کیلومتر مربع در ۶۰ کیلومتری غرب شهرستان قم و در جنوب روستای اسپید در گستره نقشه‌های زمین شناسی این منطقه در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ قم و برگه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تفرش قرار دارد. منطقه مورد نظر در بخش مرکزی برگه زمین شناسی تفرش واقع شده که در

کل شامل پهنه‌های ولکانیکی (عمدتاً توده کوارتز آندزیتی - آندزیتی به همراه مواد پیروکلاستیک و خاکسترهای آتشفشانی با رخنمون‌هایی به شکل دایک با جنس توف اسیدی) و سنگ‌های رسوبی مربوط به دوران سوم می‌باشد. بر اساس اطلاعات موجود در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تفرش (امامی و همکاران، ۱۹۷۰)، سن عمومی منطقه مورد مطالعه مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی و بطور عمده رخنمون‌های واحدهای سنگی موجود در این منطقه متعلق به ائوسن و الیگوسن می‌باشد. از ویژگی‌های عمده این منطقه اختصاص بخش عمده‌ای از وسعت منطقه به واحدهای لیتولوژیکی به شکل توده‌های آذرین نیمه ژرف از نوع آندزیت به همراه لایه‌های پیروکلاستیک با محتوای مواد ولکانیکی و تخریبی بسیار متنوع است که در مقیاس محلی با توجه به جنس این مواد در هر واحد و تفاوت‌های موجود در آن‌ها (اندازه و شکل) و همچنین جنس ماده در برگیرنده، قابل جداسازی می‌باشند. نفوذی‌های کوارتز آندزیتی و آندزیتی به شکل گنبد به همراه دایک‌های متعدد که عموماً از روند گسل‌های موجود در منطقه تبعیت می‌کنند، در منطقه از رخنمون‌های شاخص ولکانیکی به شمار می‌روند. از نگاه زمین‌شناسی و پهنه‌های ساختاری - رسوبی استان قم بخشی از قلمروی ساختاری ایران مرکزی است که مورفولوژی حاکم بر آن شامل مجموعه‌ای از رشته کوه‌ها و دشت‌های نیمه موازی با روند شمال باختری - جنوب خاوری است. کانی‌سازی در این کانسار به شکل پهنه‌های نسبتاً وسیع آلتراسیون‌های سطحی اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (لیمونیت، گوئیتیت و هماتیت) و در بعضی قسمت‌های توده آذرین کوارتز آندزیتی مربوط به دوران نئوژن، هماتیت و اسپیکولاریت در طمینه سنگ و به صورت پراکنده دیده می‌شود. در عملیات اکتشاف مقدماتی که در بخش کوچکی از محدوده انجام گرفته، با توجه به شواهد زمین‌شناسی و کانی‌شناسی و دگرسانی‌های موجود در سطح و همچنین ارتباط این قسمت‌ها با گسل‌ها و ساختارهای خطی، مناطقی جهت حفر ترانشه در نظر گرفته شد، که دو ترانشه در این محدوده به کانی‌سازی هماتیت و اسپیکولاریت با شکل توده‌ای و عیار متوسط ۶۵-۷۵٪ ( $Fe_2O_3$ ) برخوردار کرده است. ماده معدنی در این بخش از محدوده دارای ساخت متراکم و اسفنجی است.

#### ۴- پیش پردازش‌ها

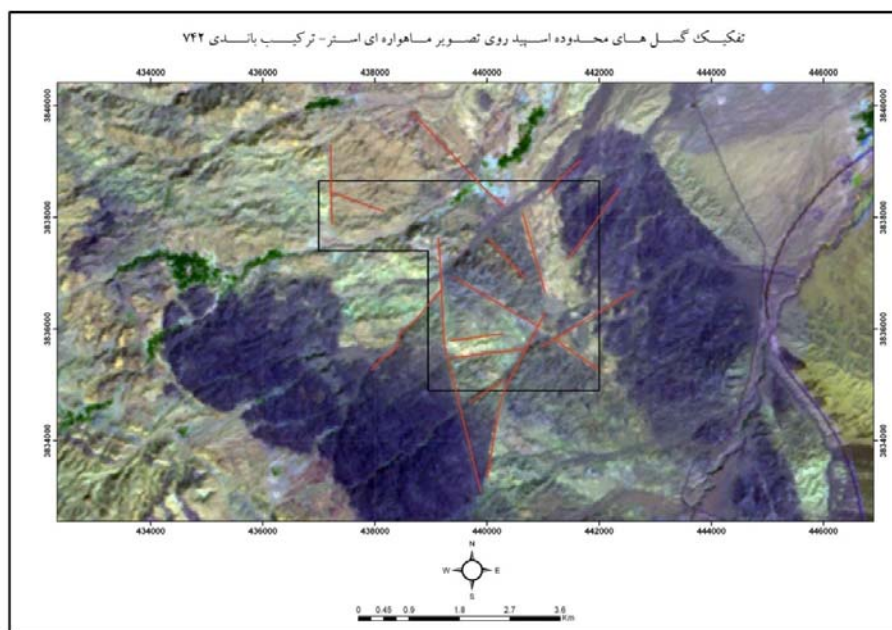
قبل از انجام مراحل پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای لازم است که برخی تصحیحات روی این تصاویر صورت گیرد که به این مرحله پیش پردازش گفته می‌شود. با در دست داشتن داده‌های خام تصاویر سنجنده ASTER ماهواره TERRA، پیش پردازش‌های لازم بر روی این تصاویر صورت گرفت که شامل تصحیحات هندسی، (که تصویر در سیستم UTM و Zone39 شمالی و سیستم بیضوی WGS1984 مختصات دار می‌شود. به نحوه تغییر و تبدیل یک تصویر در سنجش از دور به گونه‌ای که دارای مقیاس و سیستم تصویر بشود، تصحیحات هندسی گفته می‌شود (علوی پناه، ۱۳۸۲)). تصحیحات رادیومتریک، (به منظور تصحیح خطاهای ایجاد شده حاصل از اثرات جوی، توپوگرافی و اثر حساسیت سنجنده) Layer Stacking (یکی کردن باندهای VNIR و SWIR) و ..... می‌باشند. در این پروژه، باندهای VNIR (دامنه‌ی طول موجی ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرون) و SWIR (دامنه طول موجی ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرون) تصویر ASTER به صورت Layer Stacking شده با پیکسل سایز ۱۵ متر (PS=15m) در ترکیب باندهای مختلف برای واحدهای مورد نظر مورد ارزیابی قرار گرفتند.

#### ۵- نحوه پردازش بر روی تصاویر

##### ۵-۱- استخراج خطواره‌ها، ساختارها و گسل‌ها

جداسازی ساختارها به روش تفسیر چشمی تصاویر، انجام گرفته است. تفسیر چشمی به تبدیل داده‌های خام ثبت شده در تصاویر به اطلاعات قابل استفاده درزمین‌شناسی توسط چشم مفسر کارشناس گویند. جداسازی ساختارها

معمولا بر اساس شواهدی از جمله وضعیت رویش گیاهان، انحراف از مسیر حرکت آبراهه‌ها، تغییر ناگهانی لیتولوژی در منطقه، تفاوت تن و بافت تصویر و تغییر روند گسترش واحدهای لیتولوژی صورت می‌گیرد. مقیاس و بازه دید تصاویر ماهواره‌ای به گونه‌ای است که به سادگی می‌توان با اشراف کامل به محدوده مورد مطالعه، ساختارهای خطی را مشخص کرد. جهت استخراج بهتر ساختارها، می‌توان از بعضی فیلترها استفاده کرد. برای استخراج خطوطها یک فیلتر یک جهتی بر روی باندهای ۷، ۴ و ۲ تصویر اعمال شد و هر سه باند به صورت RGB ترکیب شدند تا ساختارها بهتر مشخص شوند. با اعمال این فیلتر به طرز بسیار جالبی این ساختارها قابل مشاهده هستند (شکل ۲).

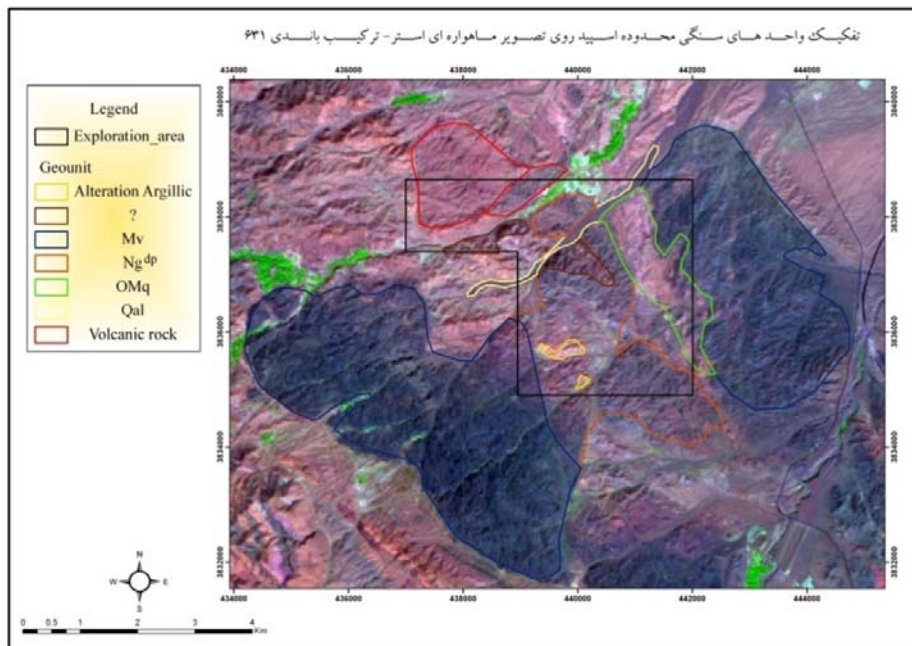


شکل ۲: ساختارهای موجود در منطقه بر روی تصویر ماهواره‌ای ASTER با ترکیب رنگی (RGB=742)

## ۵-۲- شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی

دورسنجی بدون شناخت قبلی از زمین، امکان تفکیک، تعیین حدود واحدهای زمین شناسی را فراهم می‌آورد، ولی کارآمدی آن‌ها ثابت نبوده و وابسته به نوع و ترکیبات سنگ‌ها می‌باشد. البته در تفکیک واحدها انواع خطاها از قبیل تفکیک نامناسب واحدها، خطا در موقعیت مکانی مرز واحدها، خطاهای چشمی و غیره باعث می‌گردد تا انجام مطالعات صحرائی به منظور تأیید نتایج حاصله از پردازش تصاویر را امری لازم نماید که در محدوده مورد مطالعه پیمایش‌های صحرائی به عنوان کنترل کننده و وسیله صحت سنجی برای عملیات پردازش انجام گرفت. جهت تفکیک واحدها در این محدوده، باندهای VNIR (دامنه ی طول موجی ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرون) و SWIR (دامنه طول موجی ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرون) تصویر Aster به صورت Layer Stacking شده با پیکسل سایز ۱۵ متر (PS=15m) در ترکیب باندهای مختلف برای واحدهای سنگی مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت ترکیب باندهای (RGB=631) با روش‌های آشکارسازی Equalization و Linear جهت نمایش بهتر تغییرات طیفی و مکانی پیکسل‌ها، برای دید و شناسایی بصری بهتر مرز بین واحدهای سنگی مورد استفاده قرار گرفت.

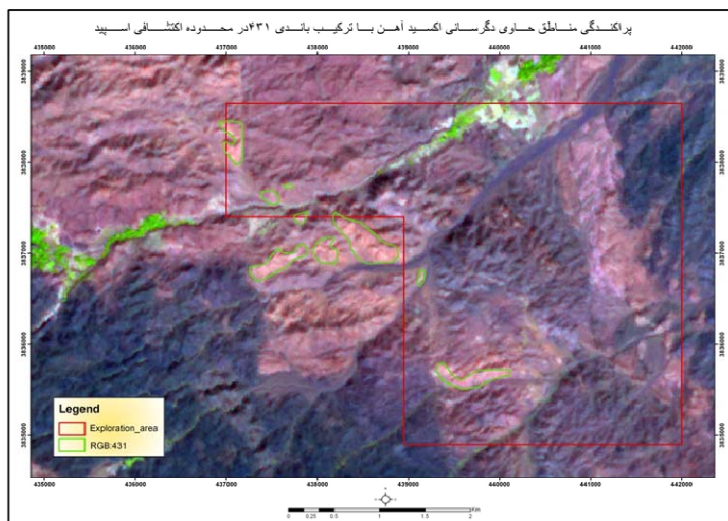
در محدوده مورد مطالعه، واحدهای زمین شناسی مختلف با طیف‌های رنگی متفاوت قابل تفکیک می‌باشند که پس از کنترل صحرائی و نمونه برداری، نامگذاری گردیدند (Karimpour and Stern, 2009). شکل ۳ تفکیک واحدهای این محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۳: تفکیک واحدهای سنگی محدوده اسپید در سنجنده ASTER ماهواره TERRA با ترکیب رنگی ۶۳۱

### ۵-۳- تعیین مناطق دگرسانی اکسید آهن

همانگونه که پیش از این نیز مطرح گردید تصاویر سنجنده ASTER در سه دامنه طیفی مشخص با قدرت تفکیک مکانی متمایز در دسترس می باشند که در راستای پهنه بندی مناطق آلتراسیون لازم است. از تصاویر مادون قرمز با طول موج کوتاه SWIR که در آن کانی‌های شاخص مناطق آلتره، بیشترین تمایز را از نظر میزان بازتاب طیفی خواهند داشت، استفاده شد. در راستای معرفی نمودار طیفی مرجع به هریک از روش‌های طبقه بندی طیفی با در نظر گرفتن وضعیت سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، نوع کانی‌های شاخص از کتابخانه USGS انتخاب گردید که در دگرسانی اکسید آهن (گوتیت، ژاروسیت و هماتیت)، به عنوان کانی‌های شاخص در نظر گرفته شدند. روش‌های SAM (Spectral Angle ، Matched Filtering ، LS-Fit (Linear Band Prediction) Mapper) و SFF (Spectral Feature Fitting) از جمله روش‌های نقشه برداری طیفی هستند که در این طرح برای انجام آنالیز طیفی بر روی تصاویر ASTER بکار رفته‌اند (Dehghani and et al., 2005). از تمام روش‌های گفته شده در بالا روش RGB:4,3,1 به سبب بیشترین میزان قابلیت تفکیک پذیری کانی‌های شاخص در منطقه و بیشترین تطبیق با داده‌های حاصل از پیمایش‌های صحرائی و آلتراسیون‌های قابل مشاهده در محدوده مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴).



شکل ۴: پراکندگی مناطق با دگرسانی های اکسید آهن حاصل از ترکیب باندهای RGB:431 در محدوده مورد مطالعه

## ۶- نتیجه گیری

همانطور که گفته شد، داده‌های سنجنده ASTER در گستره وسیعی از کاربردهای مرتبط با مطالعات زمین شناسی به کار برده می‌شود. این داده‌ها در نقشه برداری واحدهای سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی، خطواره‌های بزرگ و روندهای ساختاری در نواحی که احتمال کانسازسازی وجود دارد، شناسایی مناطق دگرسان شده مرتبط با توده‌های کانسار، مورد استفاده قرار می‌گیرد و زمین شناسان را قادر به تولید نقشه‌های زمین شناسی دقیق در راستای کاهش هزینه‌های مبتنی بر کارهای میدانی خواهد نمود و از نظر وقت و هزینه نیز بسیار مقرون به صرفه می‌باشد. در محدوده مورد نظر به منظور تعیین مناطق دگرسان شده مرتبط با کانی‌سازی آهن و تشخیص وضعیت گسل‌ها و تفکیک واحدهای زمین شناسی و در نهایت تهیه نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، از این داده‌ها کمک گرفته شد. نتایج حاصل از روش‌های مختلف پردازش داده‌های ماهواره‌ای، مورد مقایسه و کنترل توسط پیمایش‌های صحرائی انجام شده در محدوده قرار گرفت. استفاده از تکنیک ترکیب باندهای (RGB:742) با اعمال فیلترهای مناسب برای تفکیک گسل‌ها و ساختارها، ترکیب باندهای (RGB=631) با روش‌های آشکارسازی Linear و Equalization جهت نمایش و بارزسازی و شناسایی بصری بهتر مرز بین واحدهای سنگی و تکنیک ترکیب باندهای (RGB:431) در این محدوده دارای بیشترین میزان تطابق با اطلاعات حاصل از کنترل و پیمایش‌های صحرائی بوده است که می‌تواند این تکنیک‌ها با اطمینان و اعتماد بیشتری برای مناطق و محدوده‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

۱. امامی، م.ه.؛ حاجیان، ج. و امینی، ب.، ۱۹۷۰. نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تفرش، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
۲. علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، ۱۳۸۲، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۴۷۸ صفحه.
3. Karimpour, M.H. and Stern, C.R., 2009. Advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer mineral mapping to discriminate high sulfidation, reduced intrusion related and iron oxide gold deposits, Eastern Iran. *J. Applied Sci.*, 9: 815-828.
4. Dehghani, M.; Durocher, C. and Gingerich, J., 2005. Alteration Extraction Using Remote Sensing Data for Mineral Exploration, 8<sup>th</sup> annual international conference map india 2005, New delhi, India, 11pages.