

کاربرد روش‌های کروستا، نقشه‌بردار زاویه طیفی و فیلتر تطبیقی تعدیل شده در داده‌های ASTER جهت شناسایی کانی‌های دگرسانی

مرضیه بداغی^{۱*}، احمد نوحه‌گر^۲ محمد کمانگر^۱ و بهروز احمدی دوست^۳

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه هرمزگان

۲- استاد گروه محیط‌زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- کارشناس ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان

نویسنده مسئول: m_bodaghi21@yahoo.com

دریافت: ۹۳/۹/۱۵ پذیرش: ۹۴/۲/۹

چکیده

سنجش از دور از جمله فنون نوین در امر اکتشاف کانسارها می‌باشد. هدف از این تحقیق به کارگیری تحلیل‌های طیف مینا با استفاده از باندهای مرئی و مادون قرمز موج کوتاه سنجنده ASTER جهت شناسایی زون‌های دگرسانی منطقه سیاه کوه در استان کرمان است. با به کارگیری روش‌هایی تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (Crosta)، نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) و روش فیلتر تطبیقی تعدیل شده (MTMF) نواحی دگرسان شده و بکر از هم جدا شده و مورد تحلیل قرار گرفت. استفاده از روش‌های ذکر شده منجر به شناسایی دگرسانی‌های مختلفی از جمله سریسیتیک، آرزلیک، پروپیلیتیک شد. به منظور ارزیابی روش‌های ذکر شده بر اساس نقشه واقعیت زمینی که دگرسانی آرزلیکی را شامل می‌شد، از ضریب کاپا استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش فیلتر تطبیقی تعدیل شده (MTMF) با بیش‌ترین ضریب کاپا یعنی ۶۵/۷۸ درصد و دقت کلی ۹۴/۵۶ درصد مناسب‌ترین روش به منظور شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی، فیلتر تطبیقی تعدیل شده، کروستا، نقشه‌بردار زاویه طیفی، سیاه کوه

۱- مقدمه

شناسان می‌توانند جهت انجام مهم‌ترین کارهای صحرایی از قبیل تعیین موقعیت قرارگیری، نقشه‌برداری ساختاری، سنگ‌شناسی و موقعیت زون‌های دگرسانی از طریق کنترل‌های صحرایی به کار گرفته می‌شود [۱۴]. به طور کلی، تصاویر سنجش از دور دو کاربرد عمده در اکتشاف مواد معدنی دارند: ۱- تهیه نقشه زمین‌شناسی و شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌هایی که نهشته‌های معدنی در بر دارند. ۲- شناسایی سنگ‌های دگرسان شده بر اساس ویژگی‌های طیفی آن‌ها [۱۸]. توانایی تفکیک باندهای طول موج‌های محدودتر و بیش‌تر سبب شده که در سال‌های اخیر علاوه بر سنجنده‌های مختلف از داده‌های سنجنده ASTER نیز برای بارزسازی پدیده‌های مختلف زمین استفاده شود. سنجنده ASTER محصول مشترک آمریکا و ژاپن است که بر روی ماهواره ترا قرار دارد و در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این سنجنده نسبت به سنجنده‌های طیفی قدیمی‌تر از توان تفکیک طیفی بالاتری برخوردار بوده و دارای توانایی بهتری برای تشخیص و شناسایی دگرسانی‌های گرمایی و تمایز واحدهای سنگ‌شناختی می‌باشد. سنجنده ASTER

به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود را دگرسانی می‌گویند. دگرسانی ساده‌ترین، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است. یکی از بهترین روش برای پیدا کردن دگرسانی‌ها، کمک گرفتن از پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی حاصل از دگرسانی سنگ‌ها، میزان انعکاس منعکس شده و یا جذب شده در این سنگ‌ها را تغییر می‌دهد. با توجه به اینکه این انرژی‌ها در مورد پدیده‌های مختلف برای یک طول موج و متقابلاً برای یک پدیده در طول موج‌های گوناگون متفاوت است، با پردازش داده‌های ماهواره‌ای امکان شناسایی و یا بررسی حضور و یا عدم حضور کانی‌های شاخص برخی از دگرسانی‌ها نیز میسر می‌گردد. پس از پیدا کردن دگرسانی‌ها در یک منطقه و در توده‌های خاص می‌توان بازدیدهای صحرایی را برنامه‌ریزی کرد [۶]. سنجش از دور به عنوان ابزار اصلی کار زمین

دوران‌های متفاوت زمین‌شناسی دگرسانی‌های مختلف در این منطقه صورت گرفته هدف از انجام این تحقیق استفاده از تصاویر چند طیفی سنجنده ASTER و فنون طیف پایه، تصویر پایه و ترکیبی از هر دو به منظور شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی و تعیین بهترین روش پردازش طیف پایه در شناسایی کانی‌های دگرسانی در منطقه سیاه کوه می‌باشد.

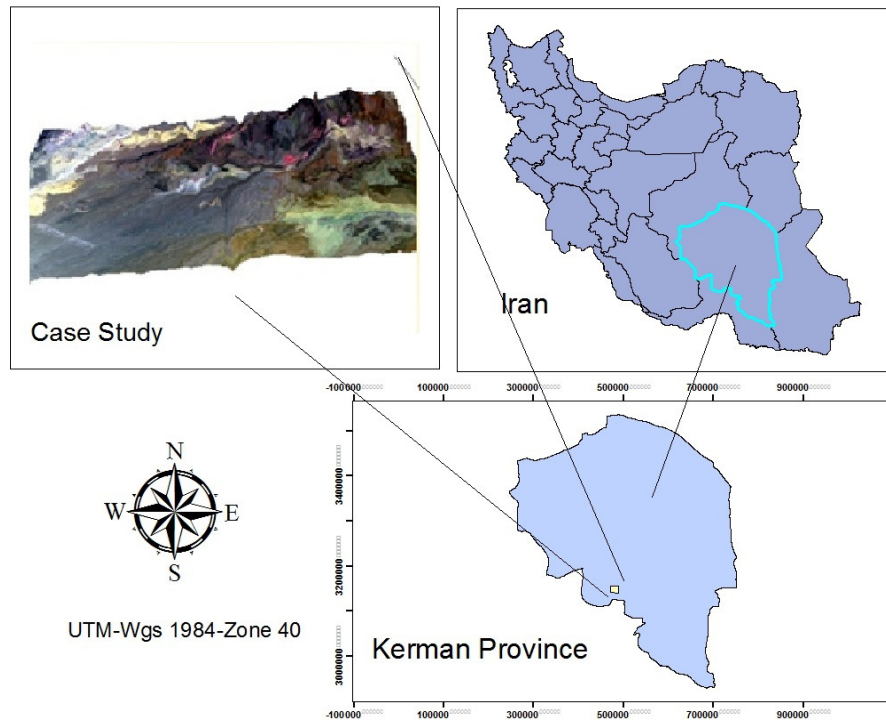
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

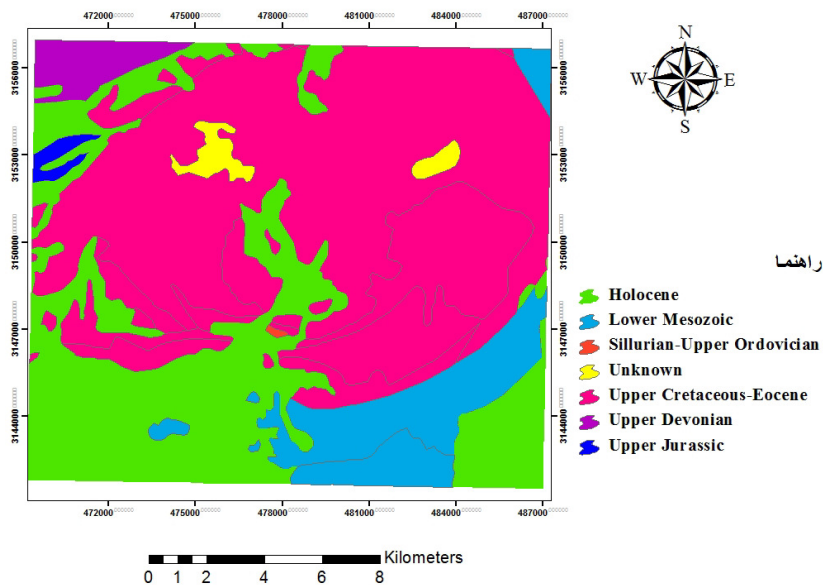
منطقه مورد مطالعه در استان کرمان و در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهر بافت در بخش بزرگی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دولت آباد قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در حد فاصل بین مختصات جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و مساحت ۳۶۰۰ کیلومتر مربع در آب و هوای گرمسیری قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه، از دیدگاه ساختمانی در زون زمین‌ساختی سهندج سیرجان جای دارد. زمین‌های پیرامون این ناحیه از سنگ‌های وابسته به پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک پدید آمده است. کهن‌ترین سنگ‌ها یعنی پالئوزوئیک از جنس شیست‌های بلورین، آمفیبولیت و مرمرند. سنگ‌های ژوراسیک و کرتاسه از جنس آهک، و یک سری ناهمگن ولکانیک - رسوبی (آمیزه رنگین) نیز در این ناحیه دیده شده است. نهشته‌های کواترنر نیز پست‌ترین بخش‌های ناحیه را می‌پوشاند. دامنه‌های باختری سیاه کوه (واقع در مرکز منطقه مورد مطالعه) از جنس آمیزه رنگین‌اند که استوک‌های کوارتز پورفیری در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. این نفوذی‌ها و هم‌چنین نهشته‌ها و ولکانیک‌های پیرامون تا اندازه‌ای دگرسان شده‌اند. آمیزه رنگین در این بخش از سیاه کوه، بیش‌تر، از جنس ولکانیک‌ها، پیروکلاستیک‌ها است (شکل ۲).

اطلاعات منابع زمینی را در ۱۴ باند مجزا تهیه می‌کند. از این ۱۴ باند، ۳ باند در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، ۶ باند در محدوده مادون قرمز موج کوتاه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و ۵ باند در محدوده مادون قرمز حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر می‌باشد [۸]. از دیگر ویژگی‌های سنجنده ASTER به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: ۱- تصاویر این سنجنده بر مبنای نیازهای زمین‌شناسی طراحی شده‌اند، بنابراین در این زمینه کارایی بالایی دارند. ۲- از تفکیک طیفی خوبی در محدوده مادون قرمز (محدوده‌ای که می‌توان بسیاری از کانی‌ها را از یکدیگر تفکیک کرد) برخوردارند. ۳- برخورداری از قدرت تفکیک رادیومتریکی بسیار خوب که (۱۰ و ۱۲ بیت) که تصاویری با کیفیت و نسبت سیگنال به نویز بالا را موجب شده است [۳]. تاکنون مطالعات مختلفی با استفاده از تصاویر سنجنش از دور در شناسایی زون‌های دگرسانی انجام شده است از جمله [۱۸] از روش‌هایی چون نسبت باندی و تجزیه مولفه‌های اصلی برای تعیین موقعیت دگرسانی گرمایی وابسته به کانی‌سازی فلزی استفاده کرد. [۲۱] با استفاده از روش متعامدسازی بردارها به روش گرام اشمیت و با استفاده از ۵ باند مادون قرمز طول موج کوتاه سنجنده ASTER شاخص‌هایی را برای کانی‌های آلونیت، کائولینیت، کلسیت و مونت موریلونیت تولید کردند. [۱۲] با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER و روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی به نقشه‌برداری کانی‌های مرتبط با اکتشاف طلای اپی‌ترمال در پاتاگونیا آرژانتین پرداختند. در ایران نیز مطالعات مشابه‌ای صورت گرفته است. از جمله اینکه. [۱] داده‌های ASTER را در منطقه سرچشمه برای تعیین مناطق دگرسان هیدروترمال از طریق آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. [۲] با استفاده از داده‌های مادون قرمز موج کوتاه ASTER در محدوده طیفی ۱/۶۵-۲/۴۵ میکرومتر به استخراج و شناسایی زون‌های دگرسانی در منطقه شرق زنجان پرداختند. در این تحقیق پس از استفاده از روش‌های مختلف سنجنش از دور زون‌های پروپلیتیک، فلیک و آرژیلیک با استفاده از ترکیب معدنی‌شان جداسازی شدند. منطقه سیاه کوه در جنوب استان کرمان قرار گرفته که در



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کرمان با ترکیب رنگی ۴۶۸ سنجنده ASTER



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

زده خود دگرسان شده‌اند. حال آنکه سنگ‌های ولکانیک، تنها به صورت بلوک‌های محصور و در نزدیکی همبری با توده کوارتز دیوریت پورفیری دگرسانی یافته‌اند (شکل ۳).

بیش‌ترین سنگ‌های ناحیه چنین‌اند: آندزیت، توف آندزیتی، برش، دیاباز و اسپیلت [۴]. به دنبال پیدایش توده‌های نفوذی، دگرسانی گرمایی نیز انجام گرفت این دگرسانی هم در سنگ‌های خروجی هم نفوذی (پلوتونیک) دیده شده است. توده‌های نفوذی در سراسر بخش بیرون



ب

الف

شکل ۳. منطقه مورد مطالعه. دگرسانی آرژیلیکی به رنگ روشن در تصویر الف و ب مشخص است.

$$p = \frac{\pi \cdot L \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s}$$

رابطه ۲

در این معادله p انعکاس در بالای سطح اتمسفر سیاره‌ای؛ π ، ثابت ریاضی که به طور تقریبی برابر است با m_2 ؛ L_{λ} ؛ $3/1459$ رادیانس رسیده به سنجنده بر حسب (m_2)؛ d ؛ $w/(sr. \mu m)$ ، فاصله بین خورشید تا زمین در لحظه تصویربرداری بر حسب واحد نجومی^۱؛ $ESUN_{\lambda}$ ، میانگین تابش خورشیدی خارج از سطح اتمسفری برای طول موج λ ، بر حسب $w/(m_2. Sr. \mu m)$ ؛ و θ_s زاویه زنیت خورشید بر حسب درجه (که از کسر زاویه ارتفاع خورشید از ۹۰ محاسبه می‌گردد) می‌باشند.

همچنین، با توجه به اینکه در مراحل اولیه تحلیل تصاویر ماهواره‌ای توجه به برهم‌کنش امواج الکترومغناطیسی با جو زمین که سبب افزایش یا کاهش بازتاب‌های واقعی از سطح زمین می‌شود لازم است، لذا تصحیح اتمسفری بر روی آن‌ها صورت گرفت. روش به کار رفته در این پژوهش کالیبراسیون بازتاب نسبی متوسط داخلی^۲ می‌باشد. این روش به ویژه برای تعدیل داده‌های طیفی به بازتاب نسبی در منطقه‌ای که هیچ گونه اندازه‌گیری خاص زمینی وجود ندارد و اطلاعات کمی از منطقه موجود می‌باشد موثر است. شکل ۴ مقایسه طیف تصویر ASTER را قبل و بعد از تصحیح نشان می‌دهد.

۲-۲ آماده‌سازی تصویر

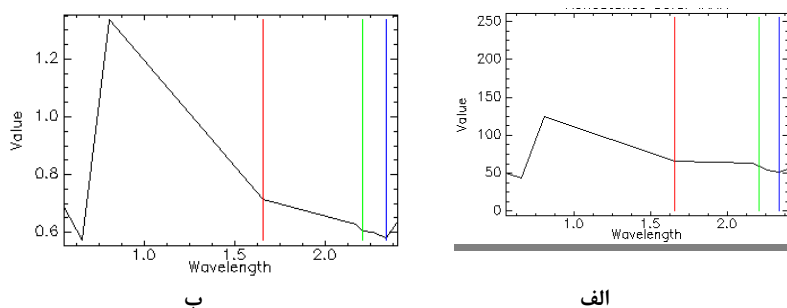
جهت بررسی منطقه یک سین از سنجنده ASTER با Path و Row به ترتیب ۱۶۰ و ۴۰ و سطح L1A که در تاریخ ۲۰۰۳/۱۰/۱۹ اخذ شده است، انتخاب گردید. پیش پردازش تصحیح هندسی با استفاده از روش تصویر به تصویر انجام گرفت. بدین منظور از تصویر سنجنده ETM+ منطقه مورد مطالعه، به عنوان تصویر مبنا و تصویر ASTER از طریق یک چند جمله‌ای درجه یک و با دقت مناسبی به تصویر ETM+ هم نهادسازی شد. علاوه بر انجام این تصحیح، تصحیح اشکالات رادیومتریکی به منظور تبدیل ارزش‌های رقومی هر پیکسل به طیف انعکاسی و تولید داده انعکاس سطح زمین لازم است. برای تبدیل ارزش پیکسل‌های تصویر به رادیانس طیفی رسیده به سنجنده، از معادله ۱ استفاده گردید:

$$L = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این معادله L ، رادیانس رسیده به سنجنده بر حسب $Q_{cal} w/(m^2. Sr. \mu m)$ ، ارزش کوانتیزه شده پیکسل تصویر Q_{calmax} و Q_{calmin} ؛ (DN) کمترین و بیش‌ترین مقدار ارزش کوانتیزه پیکسل‌های تصویر (معمولاً عدد ۱ و ۲۵۵)؛ $LMAX_{\lambda}$ و $LMIN_{\lambda}$ ، رادیانس حداقل و حداکثر در سنجنده بر حسب $W/(m_2. Sr. \mu m)$ است که به مقادیر Q_{calmax} و Q_{calmin} کوانتیزه شده‌اند، می‌باشند. همچنین به منظور دستیابی به مقادیر انعکاس در بالای سطح اتمسفر نیز، از معادله ۲ استفاده گردید.

^۱ Astronomical units

^۲ IARR



شکل ۴. الف: طیف گیاه قبل از اعمال تصحیح میانگین بازتاب داخلی. ب: طیف گیاه پس از اعمال تصحیح میانگین بازتاب داخلی

۳-۲ روش تحقیق

۲-۳-۱ تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (Crosta)

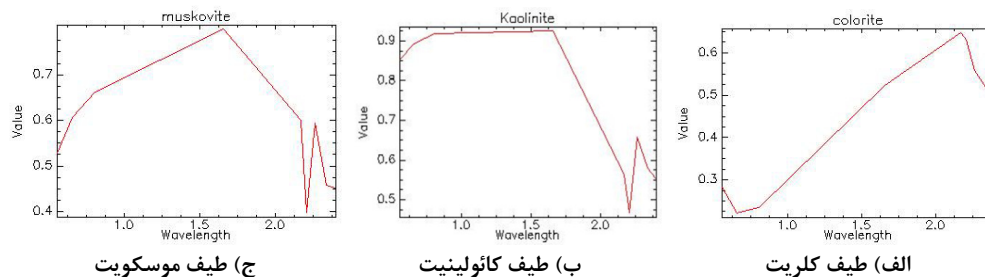
روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی روشی بر مبنای تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای به نقشه در آوردن دگرسانی‌های مختلف و کانی‌های شاخص آن‌ها می‌باشد. بطوریکه بتوان یک هدف خاص را در یکی از تصاویر مؤلفه اصلی با پیکسل‌های روشن و نسبت به سایر پدیده‌ها نشان داد. در این روش به جای اعمال تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی تمام باندها، تعداد محدودی از باندها که حاوی عوارض طیفی (جذب و انعکاس شدید) ماده مورد نظر هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند تا از تاثیر سایر مواد (مثل پوشش گیاهی) در نتیجه نهایی جلوگیری شود [۱۱]. در این تحقیق از کانی‌های کلریت، کائولینیت و موسکویت به منظور شناسایی زون‌های پروپلیتیک و آرژیلیک و فلیک استفاده شد (شکل ۵). کانی موسکویت به عنوان شاخص دگرسانی فلیک (سرستی‌تیک)، کانی کائولینیت به عنوان شاخص دگرسانی آرژیلیک و کانی کلریت به عنوان شاخص دگرسانی پروپلیتیک انتخاب گردید (کانی‌های شاخص هر دگرسانی با توجه به تحقیقات پیشین در منطقه مورد مطالعه و تحقیقات [۱۵] انتخاب گردید).

۲-۳-۲ روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM)

نقشه‌بردار زاویه طیفی روشی کارآمد برای مقایسه طیف تصاویر نسبت به طیفی مشخص یا طیفی استاندارد (کتابخانه‌ای) است. الگوریتم این روش، مشابهت بین ۲ طیف را به وسیله زاویه طیفی بین آن دو محاسبه می‌کند. در این روش برای محاسبه زاویه‌بردار جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آن‌ها. بنابراین در این روش فاکتورهای دیگر در نظر گرفته نمی‌شود [۱۶]. در واقع هرچه مقدار زاویه بین ۰ و ۱ کمتر باشد، شناسایی دقیق‌تر خواهد بود. در صورتی که مقدار زاویه ۱ باشد، کل تصویر به عنوان پدیده مورد نظر شناسایی می‌شود.

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\|T_1 \cdot T_2\|}{\|T_1\| \|T_2\|} \right) \quad \text{رابطه ۳}$$

برای به دست آوردن زاویه α بین دو بردار به دست آمده از طیف نقاط آزمایشگاهی t و مرجع r استفاده می‌شود. برای مقایسه یک پیکسل، طیف پیکسل مورد نظر از منطقه مورد مطالعه با طیف همان پیکسل در آزمایشگاه (کتابخانه) بر روی دو باند در یک محور مختصات رسم می‌گردد. سپس نقاط به دست آمده به مبدأ وصل می‌شود و زاویه بین دو خط به دست آمده به عنوان زاویه شناسایی پیکسل شناخته می‌شود. خروجی این محاسبات یک تصویر رده‌بندی شده و تصاویر Rule به تعداد عضوهای انتهایی است. تصویر رده‌بندی شده بهترین تطابق و تصاویر Rule زاویه طیفی بین طیف مرجع و طیف تصویر را نشان می‌دهد.



شکل ۵. پاسخ طیفی مواد در باندهای سنجنده ASTER

۲-۳-۲ فیلتر تطبیقی تعدیل شده (MTMF)

الگوریتم MTMF شامل دو مرحله می‌باشد: ۱- محاسبه یک فیلتر انطباقی جهت تخمین زدن فراوانی ۲- محاسبه یک معیار اختلاف طیفی برای شناسایی و حذف مقادیر مقادیر مثبت اشتباه در روش MTMF می‌بایست داده‌ها برای بهبود محاسبات میزان کردن مخلوط طیفی مانند خروجی الگوریتم MNF دارای میانگین صفر و نویز واحد باشند. امتیاز فیلتر انطباقی یافته، با تصویر کردن داده تبدیل یافته توسط روش MNF بر روی بردار فیلتر انطباقی تعیین می‌گردد. این بردار، حاصل تبدیل طیف هدف در فضای MNF و تصویر نمودن آن بر روی معکوس کوواریانس داده و نرمال کردن آن به بزرگای طیف هدف می‌باشد. این موضوع در رابطه ۴ نشان داده شده است.

$$\vec{v} = \frac{[C_{MNF}]^{-1} \# \vec{t}_{MNF}}{(t) \# [C_{MNF}]^{-1} \# \vec{t}_{MNF}} \quad \text{رابطه ۴}$$

در معادله فوق بردار فیلتر انطباقی، $[C_{MNF}]^{-1}$ معکوس ماتریس کوواریانس تبدیل MNF (یک ماتریس قطری از مقادیر ویژه دوسویه) و $\vec{t}_{MNF}$ بردار هدف در فضای MNF می‌باشد. علامت # در این رابطه، بیانگر عمل تصویر کردن، می‌باشد. در مرحله بعد با تصویر نمودن داده ورودی (که در فضای MNF است) بر روی فیلتر انطباقی مقادیر خروجی الگوریتم MF حاصل می‌گردند. رابطه ۵ بیانگر این موضوع است.

$$MF = \vec{v} \# [MNF] \quad \text{رابطه ۵}$$

در معادله بالا، مقادیر خروجی یا همان MF ها دارای توزیع نرمال و میانگین صفر می‌باشند. مرحله دوم الگوریتم MTMF به ارزیابی توانایی تخمین خطای موجود در مقادیر MF برای هر پیکسل براساس مفهوم عدم امکان پذیری می‌پردازد.

۳-نتایج

برای هر کدام از مجموعه‌های باندی، با توجه به پاسخ طیفی کانی‌ها، در طیف الکترومغناطیس بر اساس باندهای سنجنده ASTER، باندهای جذب و انعکاس مشخص شده و تحلیل مؤلفه‌های اصلی صورت گرفت و با بررسی ماتریس بردارهای ویژه حاصل از آن توسط نگارندگان، مؤلفه اصلی بارزکننده ماده مورد نظر شناسایی گردید. جدول یک ماتریس بردارهای ویژه برای باندهای ۵، ۳، ۱ و ۷ سنجنده ASTER را نشان می‌دهد. این باندها بر اساس نمودار پاسخ طیفی کانی کلریت در طیف الکترومغناطیس بر اساس باندهای ASTER انتخاب گردیده است. با توجه به جذب شدید در باند ۳ و انعکاس بالا در باند ۵ کانی کلریت، می‌توان نتیجه گرفت اختلاف شدید و مختلف علامت در بارگذاری مقادیر بردار ویژه، نشانه‌ای از بروز کانی کلریت در مؤلفه اصلی متناظر با آن می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود در مؤلفه دوم، باند ۳ بارگذاری شدید منفی و باند ۵ بارگذاری مثبت دارد. بنابراین مؤلفه دوم به عنوان شاخص کلریت انتخاب می‌گردد.

به همین ترتیب باندهای ۶، ۴، ۱ و ۷ سنجنده ASTER به منظور شناسایی کانی کائولینیت حاصل شد. کانی کائولینیت در باند ۶ جذب و در باند ۴ انعکاس شدید دارد. در ماتریس بردارهای ویژه ۶، ۱، ۴ و ۷ سنجنده استر، مؤلفه سوم حاوی مقادیر شدید و مختلف علامت می‌باشد. در تصویر مربوط به این مؤلفه، مناطق با رنگ تیره باند انعکاسی را نشان می‌دهند. باندهای ۶، ۳، ۱ و ۹ این سنجنده برای کانی موسکویت استفاده شد و نتایج زیر به دست آمد (جدول‌های ۱ تا ۳ و شکل ۶).

جدول ۱. ماتریس بردارهای ویژه باندهای ۵، ۳، ۱ و ۷ سنجنده استر به منظور نمایش کانی کلریت.

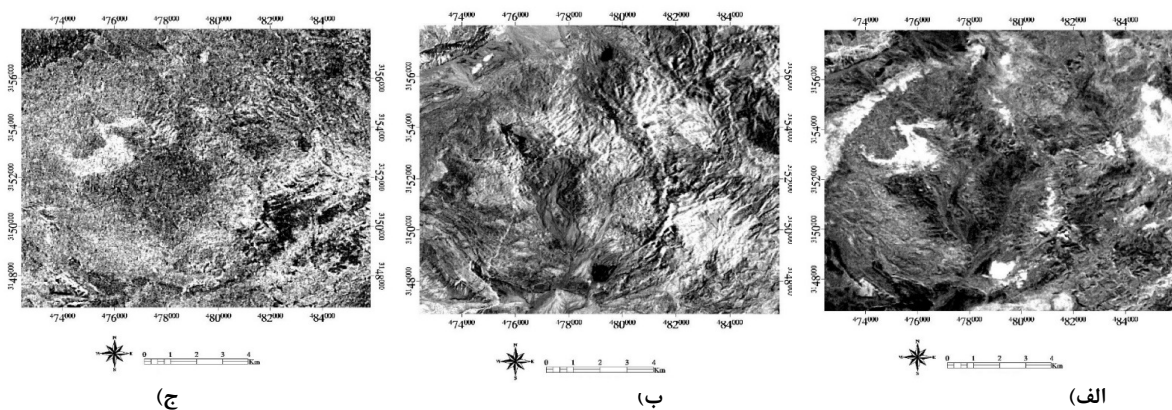
مؤلفه اول	باند ۱	باند ۳	باند ۵	باند ۷
مؤلفه اول	-۰.۴۳۰۸۲	-۰.۵۴۰۳۹	-۰.۴۷۱۹۸	-۰.۵۴۷۳۶
مؤلفه دوم	-۰.۴۸۷۷۱	-۰.۵۳۱۹۱	۰.۳۹۴۴۰۸	۰.۵۶۸۹۱
مؤلفه سوم	۰.۱۰۲۵۱۴	-۰.۰۱۸۸۵	-۰.۷۸۳۰۷	۰.۶۱۳۱۳۸
مؤلفه چهارم	-۰.۷۵۲۳۵	۰.۶۵۱۶۸۷	-۰.۰۹۲۱	۰.۰۲۸۱۹۳

جدول ۲. ماتریس بردارهای ویژه باندهای ۱، ۴، ۶ و ۷ سنجنده استر به منظور نمایش کانی کائولینیت.

بردار ویژه	باند ۱	باند ۴	باند ۶	باند ۷
مؤلفه اول	-۰.۴۵۷۵۹	-۰.۵۹۸۹	-۰.۴۹۶۰۹	-۰.۴۳۱۰۸
مؤلفه دوم	-۰.۸۸۸۹۹	۰.۳۱۳۵۹۶	۰.۲۶۳۵۰۶	۰.۲۰۴۷۳۱
مؤلفه سوم	-۰.۰۰۷۶۵	-۰.۷۳۴۷۳	۰.۴۶۴۵۸۷	۰.۴۹۴۲۳۵
مؤلفه چهارم	-۰.۰۱۵۷۸	۰.۰۵۶۰۸۹	-۰.۶۸۴۵۶	۰.۷۲۶۶۲۹

جدول ۳. ماتریس بردارهای ویژه باندهای ۱، ۳، ۶ و ۹ سنجنده استر به منظور بارزسازی مناطق دارای کانی موسکویت.

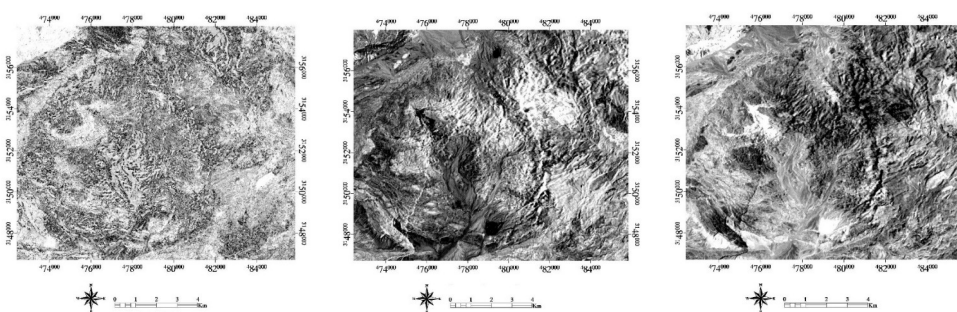
بردار ویژه	باند ۱	باند ۳	باند ۶	باند ۹
مؤلفه ۱	۰.۴۶۹۱۰۴	۰.۴۷۰۰۶۳	۰.۵۰۲۵۲	۰.۵۵۳۵۸۴
مؤلفه ۲	۰.۳۵۰۲۴۸	۰.۶۷۷۵۵	-۰.۴۶۰۳۴	-۰.۴۵۴۲۵
مؤلفه ۳	-۰.۸۱۰۱۷	۰.۵۶۳۱۱۳	۰.۰۶۵۰۴۴	۰.۱۴۹۳۳۵
مؤلفه ۴	۰.۰۲۹۹۱۵	-۰.۰۵۳۵۸	-۰.۷۲۸۹۳	۰.۶۸۱۸۳۶



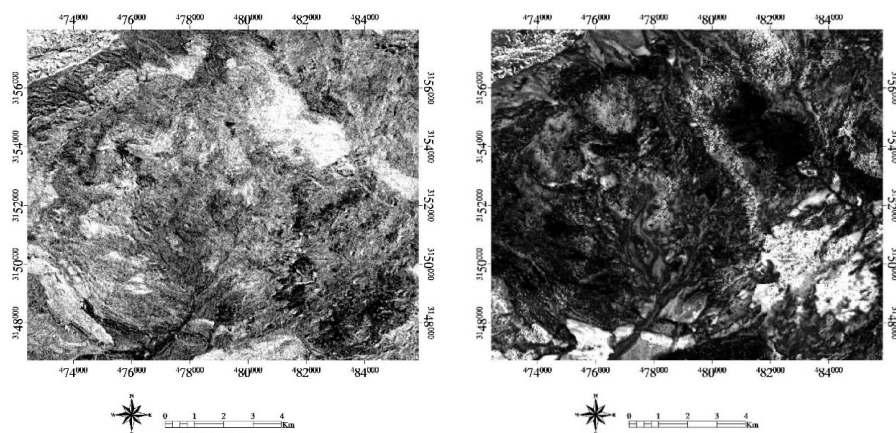
شکل ۶. الف. تصویر منفی مؤلفه سوم کانی کائولینیت شاخص دگرسانی آرژیلیک ب. تصویر مؤلفه دوم ماتریس بردارهای ویژه برای طیف کلریت شاخص دگرسانی پروپلیتیک. ج. تصویر مؤلفه چهارم کانی موسکویت شاخص دگرسانی فیلیک

باید به عنوان هدف در نظر گرفته شوند باید هر دو خروجی الگوریتم مورد بررسی قرار بگیرند. برای اینکه یک پیکسل با امتیاز MF پایین به عنوان هدف شناسایی شود باید امتیاز Infeasibility آن مقادیر کمی داشته باشد. نتایج این روش در شکل ۸ آورده شده است.

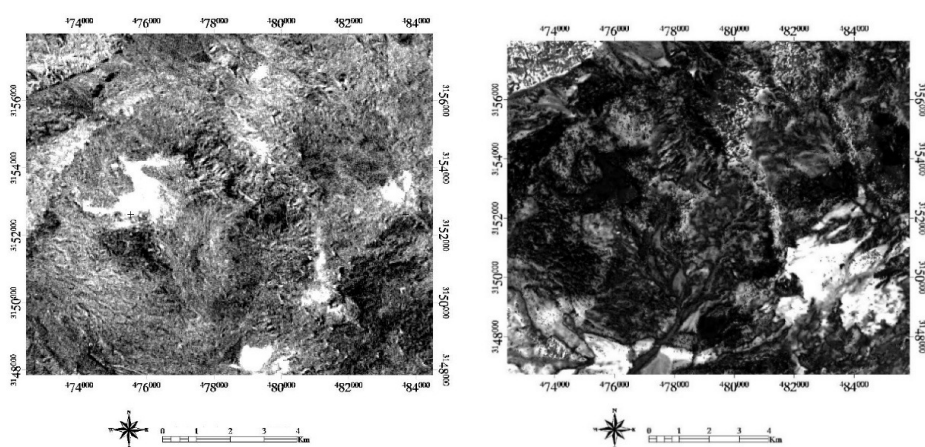
بعد انجام پردازش‌های مربوط نتایج روش نقشه‌بردار زاویه طیفی در دگرسانی‌های آرژیلیک، پروپلیتیک و فیلیک نتایج آن در شکل ۷ آمده است. نتیجه اجرای الگوریتم MTMF بر روی داده دو تصویر MF و Infeasibility برای هر هدف معرفی شده به الگوریتم می‌باشد. برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام پیکسل‌ها



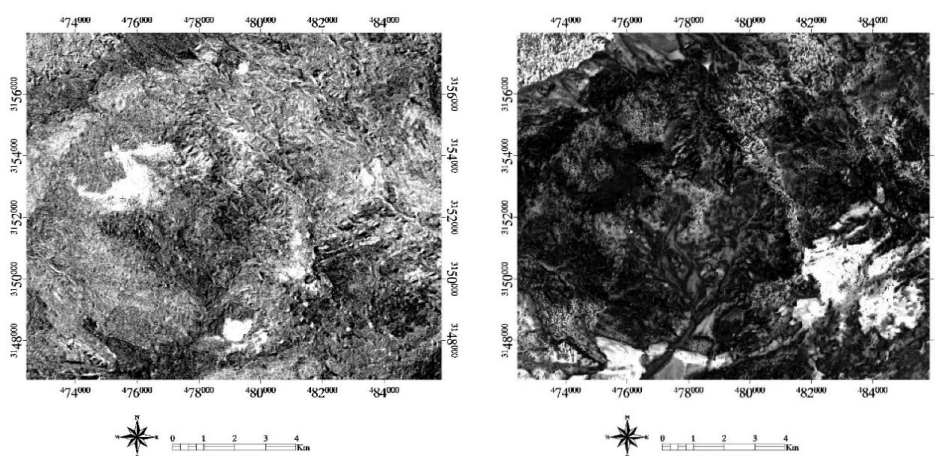
شکل ۷. الف تا ج. نتایج مربوط به کانی کائولینیت، کلریت، موسکویت



الف (۱) الف (۲)



ب (۱) ب (۲)



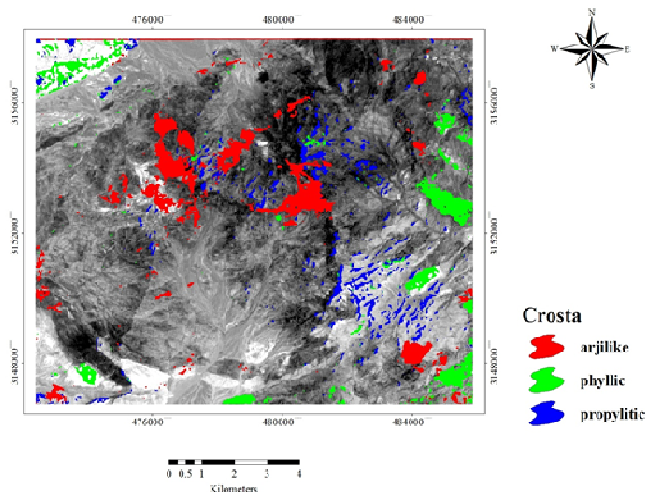
ج (۱) ج (۲)

شکل ۸. شاخص‌های تولید شده برای روش MTMF سنجنده استر. شاخص‌های گروه (۱) به ترتیب حروف شامل تصاویر امتیاز تطابق (MF Score) کانی‌های کلریت، کائولینیت و موسکویت که به ترتیب شاخص دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژیلیک و فلیک می‌باشند. شاخص‌های گروه (۲) نیز تصویر امتیاز عدم امکانپذیری (Infeasibility) شاخص‌های مناظر خود پس از تعیین حدود آستانه، با اعمال فیلترهای Post-Classification، شامل فیلترهای clump، sieve و فیلتر majority، نقشه نهایی جهت ارزیابی دقت تعیین شد.

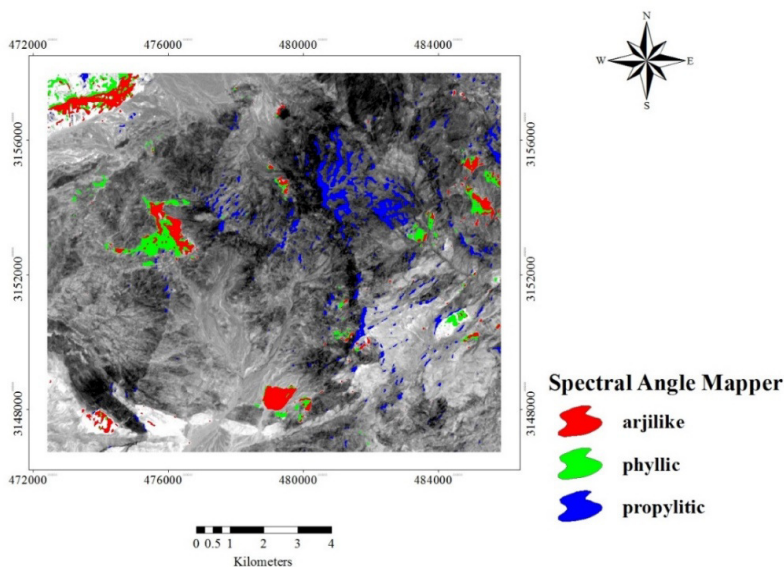
جدول ۴ نحوه آستانه‌گذاری برای خروجی‌های روش
نقشه‌بردار زاویه طیفی در داده‌های سنجنده ASTER و
شکل‌های ۹ تا ۱۱ به ترتیب تصویر خروجی روش‌های
کروستا، SAM و MTMF را نشان می‌دهد.

جدول ۴. نحوه آستانه‌گذاری برای خروجی‌های روش نقشه‌بردار زاویه طیفی در داده‌های سنجنده ASTER

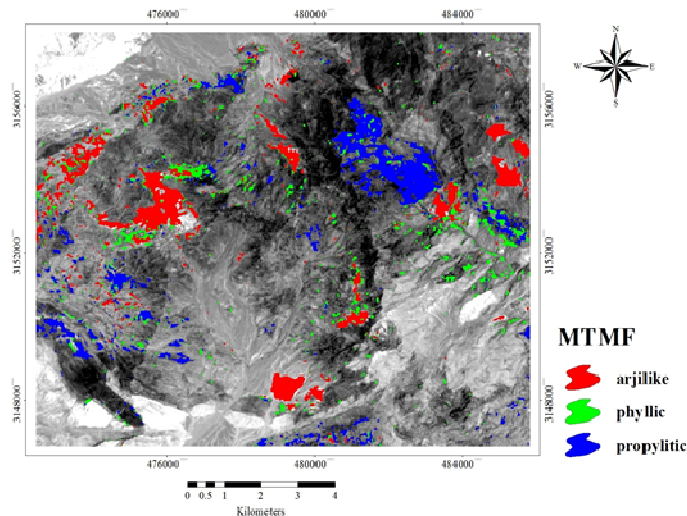
نام شاخص	نحوه آستانه‌گذاری
کانی موسکویت	$B1_{ge} \{ \text{mean}(B1) + (2 * \text{std}(B1)) \}$
کانی کانولینیت	$B1_{ge} \{ \text{mean}(B1) + (2 * \text{std}(B1)) \}$
کانی کلریت	$B1_{ge} \{ \text{mean}(B1) + (2 * \text{std}(B1)) \}$



شکل ۹. تصویر خروجی روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی



شکل ۱۰. تصویر خروجی الگوریتم SAM



شکل ۱۱. تصویر خروجی الگوریتم MTMF

می‌دهد. نتایج نشان داد که روش فیلتر تطبیقی تعدیل شده (MTMF) با بیش‌ترین ضریب کاپا یعنی ۶۵.۷۸ درصد و دقت کلی ۹۴.۵۶ درصد مناسب‌ترین روش به منظور شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی می‌باشد.

پس از به دست آوردن نتایج به منظور ارزیابی روش‌های ذکر شده بر اساس نقشه واقعیت زمینی که تنها دگرسانی آرژیلیکی را شامل می‌شد، از ضریب کاپا استفاده گردید. جدول ۵ نتایج حاصل از تطبیق با واقعیت زمینی را نشان

جدول ۵. نتایج حاصل از تطبیق با واقعیت زمینی

روش تحلیل طیفی	دقت کلی	ضریب کاپا
SAM	۸۴/۶۷	۶۰/۲۳
Crosta	۸۷/۰۵	۶۳/۵۴
MTMF	۹۴/۵۶	۶۵/۷۸

الگوریتم‌های دیگر خطاها تا اندازه‌ای کاهش می‌یابد و از دقت بیش‌تری برخوردار می‌باشد.

قدردانی

با تشکر فراوان از اساتید گروه زمین‌شناسی دانشگاه هرمزگان، به ویژه دکتر مهدی مسعودی که نگارندگان را در بازدیدهای میدانی و تحلیل نتایج مربوط به آن یاری نمودند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد الگوریتم MTMF نسبت به روش‌های دیگر بهترین دقت را ارائه می‌دهد و الگوریتم SAM دقت پایینی را نشان داد چرا که در این روش مبنای کار، مقایسه طیف تصویر با طیف مرجع می‌باشد. تعیین این که تصویر در چه طول موجی دارای بهترین انطباق با طیف مرجع می‌باشد، مشکل می‌باشد. با توجه به اینکه، در روش MTMF نیازی به داشتن تخمین و اطلاعات زیاد از همه اعضای انتهایی موجود در تصویر نیست. با استفاده از این روش پاسخ طیفی کلاس‌های طیفی مورد نظر حداکثر شده و پاسخ طیفی ترکیبات زمینه ناشناخته کم می‌شود تا علامت‌های طیفی شناخته شده تطبیق پیدا کنند. به همین دلیل نسبت‌های به

- and principal component analysis International, Journal of Remote sensing 24.24, 3-41
- [13] Honarmand, M., et al (2012) Application of Principal Component Analysis and Spectral Angle Mapper in the Mapping of Hydrothermal Alteration in the Jebal-Barez Area, Southeastern Iran, Resource Geology, 62, 10-24.
- [14] Kruse, F. A (1998) Advances in Hyperspectral Remote Sensing for Geologic Mapping and Exploration, 9th australasian remote sensing conference. Sydney, 242-4552.
- [15] Mars, J. C., and Rowan, L. C (2010) Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals, Remote Sensing of Environment, v. 114, p.2011-2025.
- [16] Mather, P. M (2004) Computer Processing Of Remotely- Sensed Image – An Introduction, John Wiley & Sons Inc, Thrd edition, 350p.
- [17] Ranjbar, H., et al (2011) Comparison of Aster and ETM data for exploration of porphyry copper mineralization: A case study of Sar cheshmeh areas, kerman, IranMap Asia, Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 22(3): 221-238.
- [18] Sabins, F. F (1999) Remote sensing for mineral exploration, Geology Reviews: 158-173.
- [19] Van der Meer, F. D., et al (2012) Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (Elsevier) 14, 112-128.
- [20] Xiaojia, B., MIAO Fang, WU Bin, LI Jianguang, and WANG Dong (2010) Hyperion hyperspectral remote sensing application in altered mineral mapping in east Kunlun of the Qinghai-Tibet plateau, International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering Chengdu, China., 519-523
- [21] Yamaguchi, Y, and C Naito (2003) Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands, International Journal of Remote Sensing, 18, 4311-4323.
- منابع**
- [۱] بهرام‌بیگی، ب.، ح. ا. رنجبر و ج. شهاب‌پور (۱۳۹۱) مقایسه روش‌های داده پایه و طیف مبنا جهت نقشه‌برداری از مناطق دارای کائولینیت در آتشفشان مساحیم با استفاده از داده‌های هایپریون، مجله زمین‌شناسی اقتصادی ۴ شماره ۲
- [۲] بیاتانی، ع. پ. ضیائی‌ان فیروزآبادی، ع. ا. متکان و ع. شکیبا (۱۳۸۷) هیپه نقشه دگرسانی گرمایی با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌های (مطالعه موردی مشگین‌شهر - اهر)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران ۷
- [۳] رفاهی، د (۱۳۹۱) بررسی زمین‌شناسی اقتصادی و شناسایی زون‌های دگرسانی در منطقه شمال سراب. (برگه ۱:۲۵۰۰۰ اوغلان سر) با تاکید ویژه بر استفاده از داده‌های ماهواره ASTER. تهران. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات
- [۴] سبزه‌ایی، م (۱۳۷۲) نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ورقه حاجی‌آباد، سازمان زمین‌شناسی
- [۵] عشق‌آبادی، م. و، ر. کارگر. ا (۱۳۷۷) گزارش مطالعات پی‌جویی مواد معدنی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ دولت‌آباد. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور
- [۶] کریم‌پور، م.ح. ملک‌زاده. آ. حیدریان، م (۱۳۸۴) اکتشاف ذخایر معدنی مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۴۵۳، چاپ اول
- [۷] کریمی بارونقی، ح (۱۳۹۱) ارزیابی تکنیک‌های تحلیل طیفی داده‌های سنجنش از دور، در تعیین دگرسانی‌ها و اهداف آینده برای منابع کانی‌های فلزی. دانشکده علوم انسانی. گروه سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تربیت مدرس. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، ۱۹۲ صفحه.
- [8] Azizi, H. Tarverdi, M.A. Akbarpour A (2010) Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanjan, northern Iran, Advances in Space Research 46: 99-109.
- [9] Bedini, E (2009) Mapping lithology of the Sarfartoq carbonatite complex, southern West Greenland, using HyMap imaging spectrometer data Remote Sensing Environmet 113.
- [10] Bedini, E (2011) Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data. Advances in Space Research 47, 60-73.
- [11] Chandra, A. M (2002) Plane Surveying. New Delhi, India, Ltd Publishers, 240P.
- [12] Crosta, A. a. D. s. F., C (2003) Trageting key alteration minerals in epithermal deposit in patagonia, Argentina, using ASTER imagery