



جواد سدیدی^۱
محمد کمانگر^۲
خلیل رضایی^۳
مرضیه بداغی^۴

ارزیابی روش‌های کروستا، نقشه بردار زاویه طیفی و فیلتر تطبیقی تعدیل شده جهت استخراج نقشه زون‌های دگرسانی ثانویه رسوبی از داده‌های سنجنده ASTER

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۲۴

چکیده

استفاده از داده‌های سنجنش از دور به دلیل داشتن داده‌هایی بادید وسیع و یکپارچه و محدوده طول‌موجی مختلف، می‌تواند از بهترین روش‌ها در پی‌جویی کانسارها باشد. در سال‌های اخیر استفاده از این روش، کمک قابل‌توجهی در پیشبرد اهداف زمین‌شناسی از جمله شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی ثانویه رسوبی داشته است. هدف از این تحقیق به‌کارگیری تحلیل‌های طیف مبنا با استفاده از باندهای مرئی و مادون‌قرمز موج‌کوتاه سنجنده ASTER جهت شناسایی زون‌های دگرسانی منطقه سیاه کوه در استان کرمان است. روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی نقشه‌بردار زاویه طیفی و روش فیلتر تطبیقی تعدیل‌شده جهت شناسایی دگرسانی‌های سریستیک، آرژیلیک، پروپیلیتیک پیاده‌سازی شد. به‌منظور ارزیابی روش‌های ذکرشده بر اساس نقشه واقعیت زمینی که تنها دگرسانی آرژیلیکی را شامل می‌شد، از ضریب کاپا استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش فیلتر تطبیقی تعدیل‌شده با

- ۱- استادیار گروه سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. E-Mail: jsadidi@gmail.com
- ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی.
- ۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
- ۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی.

بیش‌ترین ضریب کاپا یعنی $64/62$ درصد و دقت کلی $97/12$ درصد مناسب‌ترین روش به‌منظور شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی است. روش فیلتر تطبیقی تعدیل‌شده به‌عنوان یک روش ترکیبی، نتایج نزدیکی را با نقشه واقعیت زمینی ارائه نموده و می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب در شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی و کانی‌های ثانویه رسوبی به کار گرفته شود.

کلید واژه‌ها: دگرسانی، فیلتر تطبیقی تعدیل‌شده، کروستا، نقشه‌بردار زاویه طیفی، سیاه کوه.

مقدمه

کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمابی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود را دگرسانی می‌گویند. استفاده از دگرسانی ساده‌ترین، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است (کریم پور، ۱۳۸۴: ۳۱۸). در دو مرحله از اکتشاف می‌توان از دگرسانی‌ها کمک گرفت: اول برای پیدا کردن محل مناسب برای وجود یک ذخیره معدنی قبل از شروع عملیات صحرایی و دوم در مرحله بازدیدهای صحرایی برای تخمین اثبات وجود کانسار، نوع کانی‌سازی، گسترش، شدت و محل اصلی کانی‌سازی. در مرحله اول برای یافتن دگرسانی‌ها در یک منطقه وسیع معمولاً نمی‌توان از نقشه‌های $1:100000$ یا $1:250000$ استفاده نمود، زیرا در اکثر آن‌ها دگرسانی‌ها تفکیک نشده و یا از دقت لازم برای تفکیک برخوردار نیست. یکی از بهترین روش‌ها برای پیدا کردن دگرسانی‌ها، کمک گرفتن از پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی حاصل از دگرسانی سنگ‌ها، میزان انعکاس امواج نوری منعکس‌شده و یا جذب‌شده در این سنگ‌ها را تغییر می‌دهد. با توجه به اینکه این انرژی‌ها در مورد پدیده‌های مختلف برای یک طول‌موج و متقابلاً برای یک پدیده در طول‌موج‌های 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 (کریم پور، ۲۱۴: ۱۳۸۴). سنجش‌ازدور به فرایند یا روش کسب اطلاعات در مورد شیء، ناحیه و یا پدیده از طریق تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده به‌وسیله‌ی ابزاری بدون تماس مستقیم با آن‌ها گفته می‌شود (بدنی^۵، ۲۰۱۱: ۷۲). این امر شامل تفسیر مقادیر انرژی الکترومغناطیسی بازتابیده و یا گسیل‌شده از

هدف که از موقعیت مناسب اندازه‌گیری شده است (مادر^۶، ۲۰۰۴: ۲۳). سنجش‌ازدور به‌عنوان فن‌آوری بهینه کار زمین‌شناسان جهت صرفه‌جویی در کارهای صحرایی مانند تعیین موقعیت استقرار، نقشه‌برداری ساختاری و سنگ‌شناسی می‌تواند به کار گرفته می‌شود (کروس^۷، ۱۹۹۸: ۲۴۴). به‌طورکلی، تصاویر سنجش‌ازدور دو کاربرد عمده در اکتشاف مواد معدنی دارند: ۱- تهیه نقشه زمین‌شناسی و شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌هایی که نهشته‌های معدنی در بردارند. ۲- شناسایی سنگ‌های دگرسان شده بر اساس ویژگی‌های طیفی آن‌ها (سایینس^۸، ۱۹۹۹: ۱۳۶۳). تاکنون مطالعات مختلفی با استفاده از تصاویر سنجش‌ازدور در شناسایی زون‌های دگرسانی انجام شده است از جمله کریشنامورتی و همکاران (۱۹۹۷) با استفاده از داده‌های IRS واحدهای زمین‌شناسی را شناسایی کرده و نقشه‌های موجود را اصلاح و بازنگری کردند. کروس‌تا و فیلو^۹ (۲۰۰۲) با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER^{۱۰} و روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی به نقشه‌برداری کانی‌های مرتبط با اکتشاف طلای اپی ترمال در پاتاگونیا آرژانتین پرداختند. یاماگوچی و نایشن^{۱۱} (۲۰۰۳) روش‌هایی نسبت باندی و تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای تعیین موقعیت دگرسانی گرمابی وابسته به کانی‌سازی فلزی استفاده کرده و با استفاده از روش متعامد سازی بردارها به روش گرام اشمیت و با استفاده از ۵ باند مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه سنجنده ASTER شاخص‌هایی را برای شناسایی کانی‌های آلونیت، کائولینیت، کلسیت و مونت موریلونیت تولید کردند. در ایران نیز مطالعات مشابهی صورت گرفته است. رنجبر و معصومی (۲۰۱۱) داده‌های ASTER را در منطقه سرچشمه برای تعیین مناطق دگرسان هیدروترمال به‌کار برده‌اند و از طریق آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. داده‌های ASTER را در منطقه سرچشمه برای تعیین مناطق دگرسان هیدروترمال از طریق آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. عزیز و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های مادون‌قرمز موج‌کوتاه ASTER در محدوده طیفی ۱/۶۵-۲/۴۵ میکرومتر به استخراج و شناسایی زون‌های دگرسانی در منطقه شرق زنجان پرداختند. منطقه سیاه کوه در جنوب استان کرمان قرار گرفته و در دوره‌های متفاوت زمین‌شناسی دگرسانی‌های مختلفی در این منطقه صورت گرفته است. هدف از انجام این تحقیق استخراج نقشه زون‌های دگرسانی ثانویه رسوبی از داده‌های سنجنده ASTER و استفاده از روش‌های کروس‌تا، نقشه‌بردار زاویه طیفی و فیلتر تطبیقی تعدیل‌شده و تعیین بهترین روش پردازش طیف پایه در شناسایی کانی‌های دگرسانی در منطقه سیاه کوه است.

6-Mather

7- Kruse

8- Sabins

9- Crosta and Filho

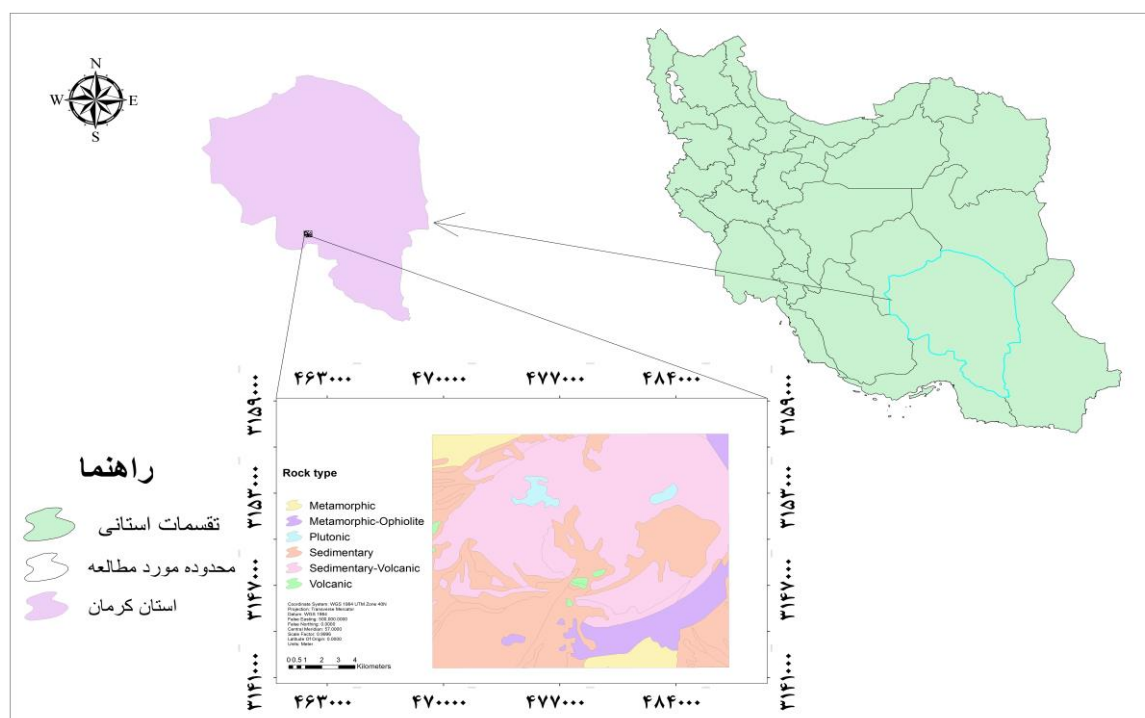
10- ASTER

11- Yamaguchi and nation

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مورد مطالعه

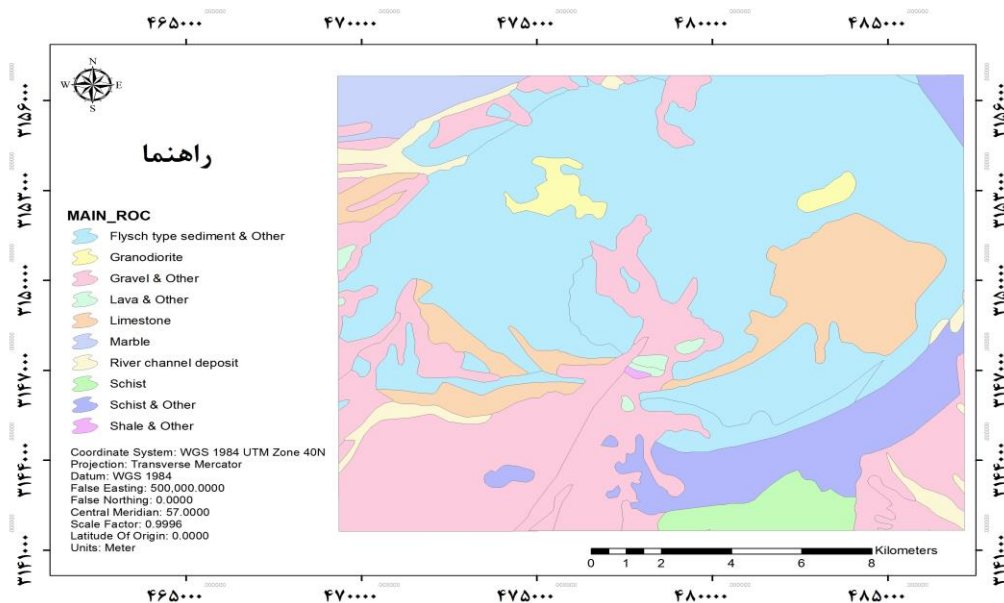
محدوده مورد مطالعه در استان کرمان و در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهر بافت در بخش بزرگی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دولت‌آباد قرار دارد. راه اصلی نقشه، جاده آسفالتی درجه ۳ ارزوئیه-دولت‌آباد-صوغان است که با امتداد شرقی غربی و به تقریب در بخش میانی برگه دولت‌آباد قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کرمان

منطقه مورد مطالعه، از دیدگاه زمین‌ساختاری در زون سنندج سیرجان جای دارد. رخنمون‌های پیرامون این ناحیه از سنگ‌های وابسته به پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک تشکیل شده‌اند (شکل ۲). کهن‌ترین سنگ‌ها یعنی پالئوزوئیک از جنس شیست‌های بلورین، آمفیبولیت و مرمند. 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 استوکه‌های کواترنر 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 و پیروکلاستیک‌ها است. فراوان‌ترین سنگ‌های ناحیه آندزیت، توف آندزیتی، برش، دیاباز و اسپیلت می‌باشند (سبزه‌ای،

۱۳۷۲). به دنبال پیدایش توده‌های نفوذی، دگرسانی گرمابی نیز انجام گرفت. توده‌های نفوذی در سراسر بخش بیرون زده خود دگرسان شده‌اند. حال آن‌که سنگ‌های ولکانیک، تنها به صورت بلوک‌های محصور و در نزدیکی همبری با توده کوارتز دیوریت پورفیری دگرسانی یافته‌اند. دگرسانی‌هایی شدیدتر نیز ممکن است پس از سخت شدن سطح توده‌های نفوذی که باعث تشکیل شبکه‌های متراکم از ترک‌ها (مناسب برای جریان محلول‌های گرمابی) شده است، انجام گرفته باشد (عشق‌آبادی و کارگر، ۱۳۷۷: ۱۲۶).



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

توانایی تفکیک بانندی در طول موج‌های 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 گرمابی و تمایز واحدهای سنگ‌شناختی می‌باشد. این سنجنده 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 (عزیزی^{۱۲}، ۲۰۱۰: ۱۰۱). 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 رادیومتریک بسیار خوب (۸ و ۱۲ بیت) که تصاویری با کیفیت و نسبت سیگنال به نویز بالا را موجب شده است (رفاهی، ۱۳۹۱: ۸۴). با توجه به ویژگی‌های مناسب سنجنده ASTER در مطالعات زمین‌شناسی و جداسازی و استخراج نواحی دگرسانی، در تحقیق حاضر، از داده‌های مرئی و مادون قرمز این سنجنده استفاده گردید. بدین منظور، یک سین از سنجنده ASTER با مشخصات ذکر شده در جدول ۱ انتخاب گردید.

جدول ۱- مشخصات عمومی تصویر استفاده شده محدود شده مورد مطالعه

Entity ID	2162299334
WRS Path	16
WRS Row	189
Acquisition Date	2003/05/20
Acquisition Time	18:07:37.94
Processing Level	AST_L1B
Orbit Direction	Ascending
Sun Azimuth	328.874211
Sun Elevation	-38.051638
NW Corner Lat dec	25.8292
NW Corner Long dec	60.9987
NE Corner Lat dec	25.938
NE Corner Long dec	61.7344
SE Corner Lat dec	25.3763
SE Corner Long dec	61.8336
SW Corner Lat dec	25.2682
SW Corner Long dec	61.1012

لازمه تحلیل تصاویر سنجش از دور از هم مختصات کردن دقیق هندسی تصویر با واقعیت زمینی است. چون هم مختصات نبودن تصاویر منجر به کاهش دقت بازیابی اطلاعات رقومی می‌گردد. برای انجام عملیات زمین مرجع نمودن تصویر مورد مطالعه ابتدا عملیات انتخاب نقاط کنترل زمینی با استفاده از نرم‌افزار ENVI4.8 در با استفاده از نقشه توپوگرافی با ۲۶ نقطه کنترل برای محدوده مورد مطالعه در تقاطع جاده، آبراهه و شبکه زمین‌های زراعی با

پراکندگی مناسب انتخاب شد و با استفاده از معادلات پلی نومیال درجه اول و روش درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایه برای بازنویسی درجات روشنایی پیکسل‌ها در تصویر استفاده شد؛ و تصویر با خطای معادل ۰/۴۶ پیکسل تصحیح هندسی شد. علاوه بر انجام این تصحیح هندسی، تصحیح اشکالات رادیومتریکی به منظور تبدیل ارزش‌های رومی 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 (چاندر^{۱۳}، مارخوم و هلدر، ۲۰۰۹: ۸۹۷).

$$\text{رابطه (۱)} \quad \frac{(L_{Max\lambda} - L_{Min\lambda})}{(Q_{calMax} - Q_{calMin})}(Q_{cal} - Q_{calMin\lambda})$$

در این معادله L ، رادیانس رسیده به سنجنده برحسب $(Q_{cal}; W/(m^2 \cdot Sr \cdot \mu m)$ ، ارزش کوانتیزه شده پیکسل تصویر Q_{calmin} و Q_{calmax} ، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار ارزش کوانتیزه پیکسل‌های تصویر (معمولاً عدد ۱ تا ۲۵۶)؛ $L_{MAX\lambda}$ و $L_{MIN\lambda}$ ، رادیانس حداقل و حداکثر در سنجنده بر حسب $(W/(Sr \cdot \mu m^2 m))$ است که به مقادیر Q_{calmin} و Q_{calmax} کوانتیزه شده‌اند، می‌باشند. همچنین به منظور دستیابی به مقادیر انعکاس در بالای سطح اتمسفر نیز، از معادله ۲ استفاده گردید.

$$\text{رابطه (۲)} \quad P = \frac{\pi \cdot L \cdot \lambda \cdot d^2}{ESun\lambda \cdot \cos\theta_s}$$

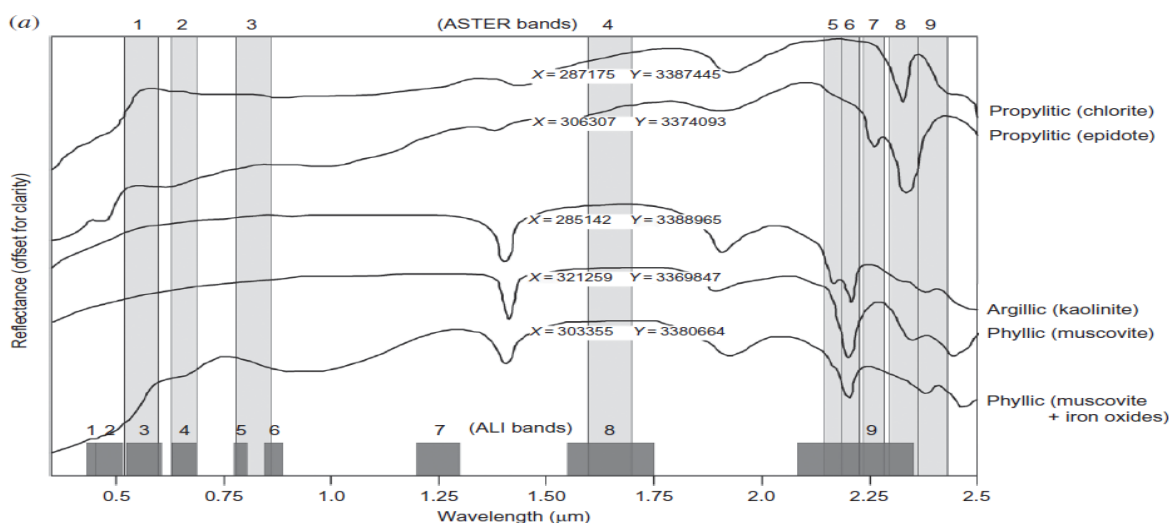
در این معادله P انعکاس در بالای سطح اتمسفر سیاره‌ای؛ π ، ثابت ریاضی که به طور تقریبی برابر است با $L_{\lambda}; 3/14159$ ، رادیانس رسیده به سنجنده بر حسب $(d; W/(m^2 \cdot Sr \cdot \mu m))$ ، فاصله بین خورشید تا زمین در لحظه تصویربرداری بر حسب واحد نجومی (astronomical units)؛ $ESUN_{\lambda}$ ، میانگین تابش خورشیدی خارج از سطح اتمسفری برای طول موج λ ، بر حسب $(W/(m^2 \cdot Sr \cdot \mu m))$ ؛ 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 برهم کنش 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 (IARR) می‌باشد. این روش به‌ویژه برای تعدیل داده‌های طیفی به بازتاب نسبی در منطقه‌ای که هیچ‌گونه اندازه‌گیری خاص زمینی وجود ندارد و اطلاعات کمی از منطقه موجود می‌باشد مؤثر است. بعد از اعمال پیش پردازش‌ها و پردازش‌های مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار Envi4.8 اقدام به شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی با استفاده از روش‌های پایه (نقشه‌بردار زاویه طیفی) و ترکیبی (فیلتر تطبیقی تعدیل شده)

گردید تا کارایی هریک مشخص شده و مناسب‌ترین روش با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه انتخاب گردد.

مواد و روش‌ها

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 (شکل ۳). این تکنیک برای اولین بار توسط Crosta and Moore در سال ۱۹۸۹ پیشنهاد گردید، به طوری که بتوان یک هدف خاص را در یکی از تصاویر مؤلفه اصلی با پیکسل‌های روشن و نسبت به سایر پدیده‌ها نشان داد که به روش کروستا معروف است. در این روش به جای اعمال تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی تمام باندها، تعداد محدودی از باندها که حاوی عوارض طیفی (جذب و انعکاس شدید) ماده‌ی موردنظر هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند تا از تأثیر سایر مواد (مثل پوشش گیاهی) در نتیجه‌ی نهایی جلوگیری شود (چاندرا^{۱۳}، ۲۰۰۲، ۸۹۵). در این تحقیق کانی موسکویت به عنوان شاخص دگرسانی فیلیک (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 مارس و روان^{۱۵} (۲۰۱۰) انتخاب گردید.



شکل ۳: پاسخ طیفی مواد در باندهای سنجنده ASTER

روش نقشه بردار زاویه طیفی (SAM)

نقشه بردار زاویه طیفی (جدول ۲) روشی کارآمد برای مقایسه طیف تصاویر نسبت به طیفی مشخص یا طیف استاندارد (کتابخانه ای) است. الگوریتم این روش، مشابهت بین ۲ طیف را به وسیله زاویه طیفی بین آن دو محاسبه می‌کند. در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضایی به ابعاد تعداد باندها، زاویه بین دو بردار محاسبه می‌شود. در این روش برای محاسبه زاویه بردار جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آن‌ها. بنابراین در این روش فاکتورهای دیگر در نظر گرفته نمی‌شود (مذر^{۱۶}، ۲۰۰۴، ۲۱۸). در واقع هرچه مقدار زاویه بین ۰ و ۱ (رادیانس) کم‌تر باشد، شناسایی دقیق‌تر خواهد بود. در صورتی که مقدار زاویه ۱ باشد، کل تصویر به‌عنوان پدیده مورد نظر شناسایی می‌شود. برای مقایسه یک پیکسل، طیف پیکسل مورد نظر از منطقه مورد مطالعه با طیف همان پیکسل در آزمایشگاه (کتابخانه) بر روی دوباند 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. برای به دست آوردن زاویه α بین دو بردار به دست آمده از طیف نقاط آزمایشگاهی t و مرجع r از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$A = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{r} \cdot \vec{t}}{\|\vec{r}\| \|\vec{t}\|} \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

جدول ۲- زوایای طیفی بهینه انتخاب شده برای کانی‌های دگرسانی محدوده مورد مطالعه

نوع کانی	کائولینیت	کلریت	مسکویت
زاویه طیفی (a)	۰/۰۰۹	۰/۱۱	۰/۰۸

خروجی این محاسبات یک تصویر رده بندی شده که نشان‌دهنده بهترین تطابق و تصاویر Rule که نشان‌دهنده زاویه طیفی بین طیف مرجع و طیف تصویر است را نشان می‌دهد.

فیلتر تطبیقی تعدیل شده (MTMF)

در این روش با معرفی منحنی طیفی یک هدف خاص فراوانی این هدف تعیین می‌گردد. الگوریتم MTMF شامل دو مرحله‌ی پی‌درپی تبدیل مؤلفه‌ی اصلی است. اولین مرحله تبدیل مؤلفه اصلی با بازسازی نوفه موجود در تصاویر به‌وسیله غیر همبسته کردن و نمایش مجدد نوفه در تصاویر، داده‌ها را به شکلی می‌سازد که نوفه‌ی آن‌ها دارای

واریانس واحد و بدون همبستگی باند به باند باشد. در مرحله بعدی، داده‌های با نوفه‌ی بارز شده برای تبدیل مرحله دوم آنالیز مؤلفه اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و خروجی نهایی را به دست می‌دهد که برحسب کاهش ابعاد اطلاعاتی مرتب شده‌اند نشان‌دهنده‌ی مقدار ویژه است. مقادیر ویژه بالا هر باند نشان‌دهنده تبدیلات واریانس بالای داده‌ها در باند تبدیل یافته است. هنگامی که این مقادیر به یک نزدیک می‌شوند، فقط نویز در باندهای تبدیلات موجود است به طوری که نویز در تمام سطح باند خروجی تقسیم شده است. بعد داده‌ها را می‌توان از روی مقادیر ویژه تعیین کرد. به طوری که در روی نمودار مقادیر ویژه جایی که شیب نمودار شکسته می‌شود و مقادیر ویژه به سمت یک افت می‌کنند، نقطه‌ای است که نویز وارد داده‌ها می‌شود و از آنجا به بعد باندها در نظر گرفته نمی‌شوند. این بردار حاصل تبدیل طیف هدف در فضای MNF و تصویر نمودن آن بر روی معکوس کوواریانس داده و نرمال کردن آن به بزرگی طیف هدف می‌باشد. این موضوع در رابطه ۴ نشان داده شده است (موندت^{۱۷}، ASTER وکر^{۱۸} و گیلن^{۱۹}، ۲۰۰۷: ۱۰۶).

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

در معادله فوق بردار فیلتر انطباقی، $[C_{MNF}]^{-1}$ معکوس ماتریس کوواریانس تبدیل MNF (یک ماتریس قطری از مقادیر ویژه دوسویه) و 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 بر اساس مفهوم عدم امکان‌پذیری می‌پردازد. محاسبه این مقدار برای هر پیکسل در سه مرحله ذیل صورت می‌گیرد.

- تعیین اجزای بردار هدف پیکسل.
- درون‌یابی مقادیر ویژه مربوط به اجزای بردار هدف.

• محاسبه جدایی استاندارد بین یک پیکسل و اجزای بردار هدف ایده آل.

همان‌طور که در رابطه ۵ بیان گردیده است؛ اجزای بردار هدف یک پیکسل از ضرب عددی مقادیر MF در بردار هدف محاسبه می‌شوند.

$$\vec{v} = MF_i \times \vec{t}_{MNF} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در فرمول بالا C_i اجزای بردار هدف برای پیکسل i و MF_i مقادیر MF برای پیکسل i می‌باشد. از آنجا که پیکسل‌های حاوی مقادیر کم از اجزای بردار هدف، درجه آزادی اختلاط بزرگ‌تری نسبت به دیگر پیکسل‌ها دارند، بنابراین می‌بایست به‌منظور ارزیابی صحیح واریانس داده، یک حد آستانه واریانس بر مبنای این درجه آزادی اختلاط وضع نمود. به‌عنوان مثال مقدار ۴ برای پیکسلی با مقدار MF برابر با ۰/۹ ممکن است غیرمنطقی به نظر آید اما همین مقدار ۴ برای پیکسلی که MF آن ۰/۱ است قابل قبول می‌باشد. به همین دلیل اندازه‌گیری واریانس توسط مفهوم عدم امکان‌پذیری (میزان درستی انطباق)، به‌گونه‌ای استاندارد سازی می‌شود. به دست آوردن میزان درستی انطباق مستلزم درونیابی مقادیر ویژه می‌باشد که این موضوع در رابطه ۶ نشان داده شده است (موندت^{۲۰}، ASTER و کرا^{۲۱} و گیلن^{۲۲}، ۲۰۰۷: ۱۰۶).

$$e_i^{-} = (\sqrt{\bar{e}_{MNF}} \times MF_i \times (\sqrt{\bar{e}_{MNF}} \times e_i^{-n}))^2 \quad \text{رابطه (۷)}$$

در فرمول فوق e_i^{-} مقادیر ویژه درونیابی شده برای پیکسل i ، e_{MNF} بردار مقادیر ویژه MNF و e_n بردار مقادیر ویژه نویز داده MNF (بردار با درایه‌های ۱) می‌باشند. در نهایت مقدار درستی انطباق که به‌عنوان فاصله هندسی بین یک پیکسل تا بردار هدف قلمداد می‌شود، توسط مقدار حد آستانه واریانس مربوطه‌اش نرمال‌سازی می‌شود. رابطه ۷ بیانگر این مطلب است.

$$I = \frac{\|\vec{S}_i - C_i^{-}\|}{\|e_i^{-}\|} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در این رابطه I_i مقدار عدم امکان‌پذیری برای پیکسل i و S_i منحنی MNF پیکسل i می‌باشد.

یافته‌ها و بحث

بعد از به دست آوردن شاخص‌های متناظر با استفاده از نرم‌افزار ENVI4.8 و پس از تعیین حدود آستانه با توجه به جدول (۳) با اعمال فیلترهای sieve, clump و فیلتر majority، نقشه نهایی به دست آمد.

جدول ۳- نحوه آستانه گذاری برای خروجی‌های روش آشکارسازی دگرسانی‌ها

نام شاخص	نحوه آستانه گذاری
کانی موسکویت	$B1 \geq \{ \text{mean}(B1) + (2 * \text{std}(B1)) \}$
کانی کائولینیت	$B1 \geq \{ \text{mean}(B1) + (2 * \text{std}(B1)) \}$
کانی کلریت	$B1 \geq \{ \text{mean}(B1) + (2 * \text{std}(B1)) \}$

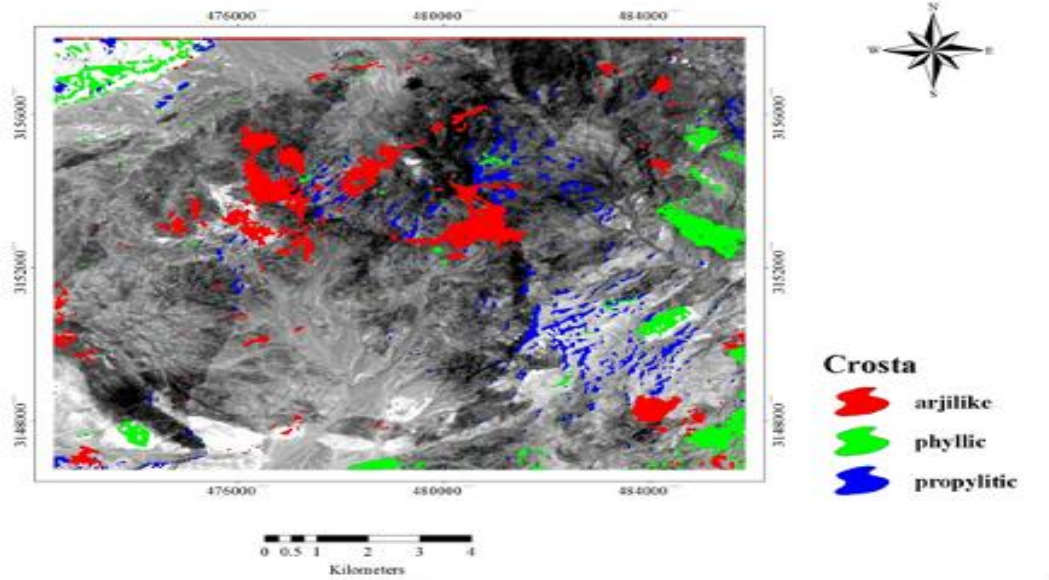
در جدول بالا منظور از B باند تصویر، Mean میانگین باند و Std انحراف معیار تصویر است. برای هر کدام از مجموعه‌های باندی، با توجه به پاسخ طیفی کانی‌ها، در طیف الکترومغناطیس بر اساس باندهای سنجنده ASTER، باندهای جذب و انعکاس مشخص شده و تحلیل مؤلفه‌های اصلی صورت گرفت.

جدول ۴- نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی

بردار ویژه	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵
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

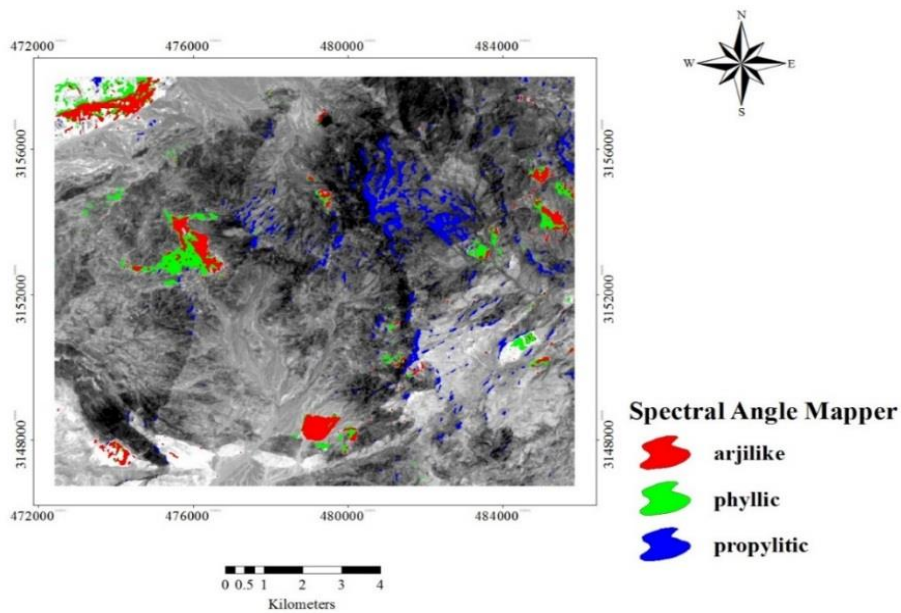
در جدول (۴) ماتریس بردارهای ویژه برای باندهای ۱، ۲، ۳ و ۵ و ۸ سنجنده ASTER را نشان می‌دهد. این باندها بر اساس نمودار پاسخ طیفی کانی کلریت در طیف الکترومغناطیس بر اساس باندهای ASTER انتخاب گردیده است. با توجه به جذب شدید در باند ۲ و انعکاس بالا در باند ۵ در کانی کلریت، می‌توان نتیجه گرفت اختلاف شدید و مختلف‌العلامت در بارگذاری مقادیر بردار ویژه، نشانه‌ای از بروز کانی کلریت در مؤلفه اصلی متناظر با آن می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مؤلفه دوم، باند ۲ بارگذاری شدید منفی و باند ۵ بارگذاری مثبت دارد. بنابراین مؤلفه دوم به‌عنوان شاخص کلریت انتخاب می‌گردد. ماتریس بردارهای ویژه برای باندهای ۱، ۲، ۳ و ۵ و ۸ سنجنده ASTER به‌منظور شناسایی کانی کلریت. مؤلفه دوم حاوی مقادیر بارگذاری شدید و مختلف‌العلامت در باندهای ۲ و ۵ است.

به‌همین ترتیب باندهای ۱، ۴، ۶، ۷ سنجنده ASTER به‌منظور شناسایی کانی کائولینیت و ۱، ۳، ۶ و ۹ این سنجنده برای کانی موسکویت استفاده شد.



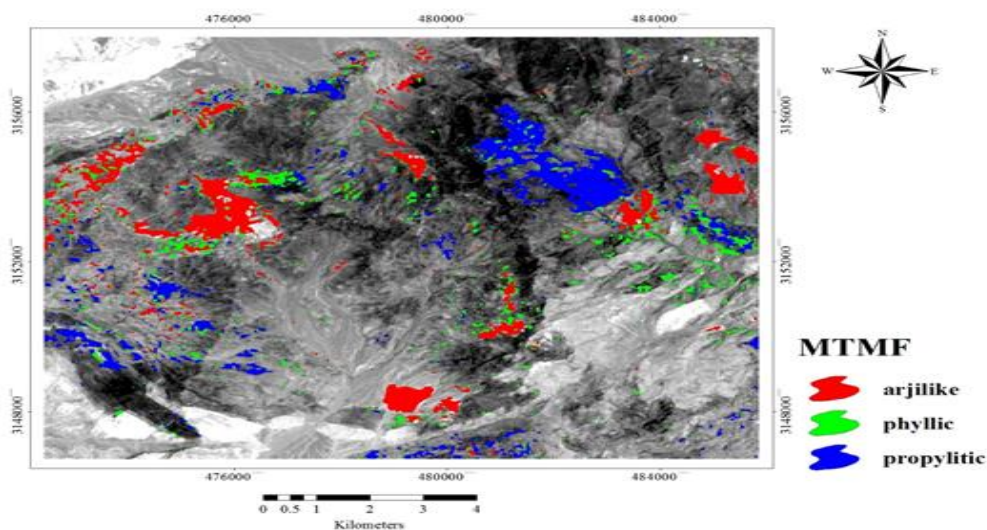
شکل ۴- تصویر خروجی روش کروستا

بعد از انجام پردازش‌های مربوط نتایج روش نقشه‌بردار زاویه طیفی در دگرسانی‌های آرژیلیک، پروپلیتیک و فیلیک نتایج آن در شکل (۵) آمده است.

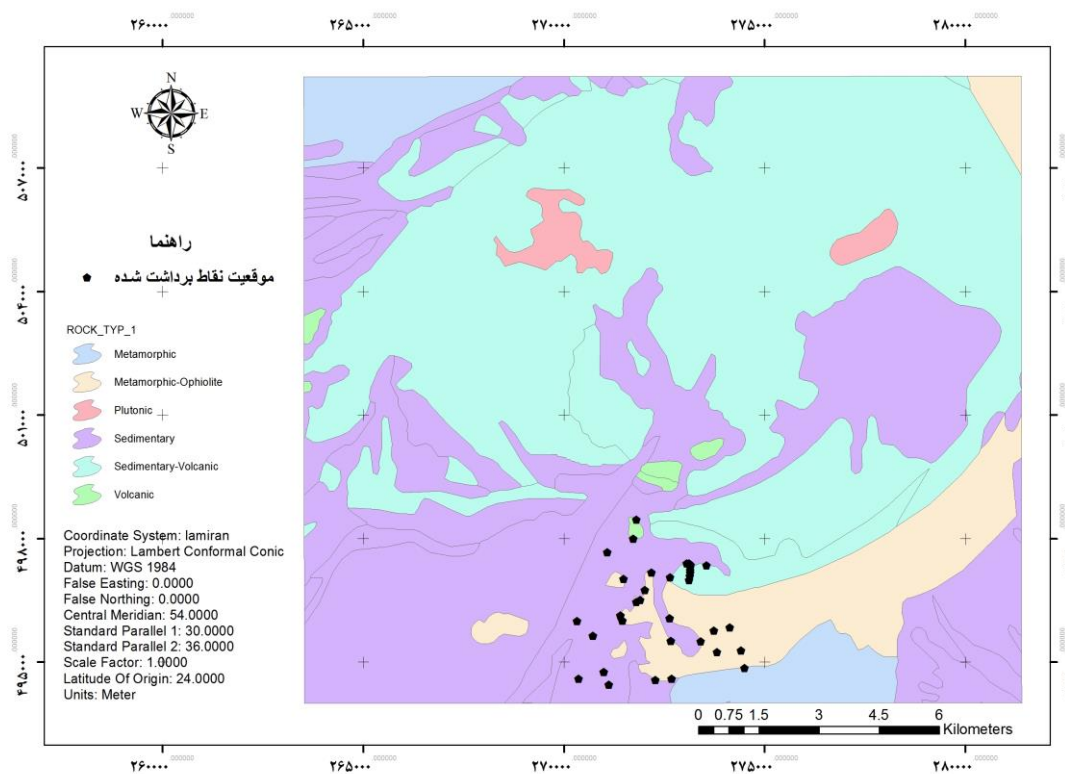


شکل ۵: تصویر خروجی الگوریتم SAM

برای این‌که یک پیکسل با امتیاز MF پایین به‌عنوان هدف شناسایی شود باید امتیاز Infeasibility آن مقادیر کمی داشته باشد (شکل ۶).



شکل ۶: تصویر خروجی الگوریتم MTMF

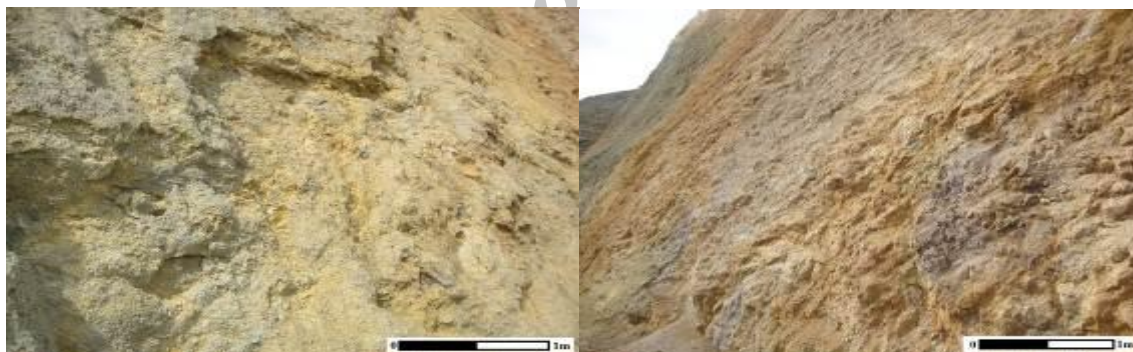


شکل ۷: موقعیت نقاط برداشت در محدوده مورد مطالعه

در مرحله انتهایی کار برای سنجش صحت تحقیق، ابتدا نقشه نقطه‌ای موقعیت مکانی ۷۴ نقطه برداشت شده (شکل ۷) توسط GPS در بازدید صحرایی (مربوط به دگرسانی شدید، دگرسانی ضعیف و سنگ سالم) تهیه شد و نمونه‌های برداشت شده در آزمایشگاه XRD دانشگاه آزاد تهران شمال تحت آنالیز قرار گرفتند (شکل ۱۰).



شکل ۸: بازدید از منطقه مورد مطالعه. رخنمون‌های افق آتزه و دگرسانی رنگ روشن

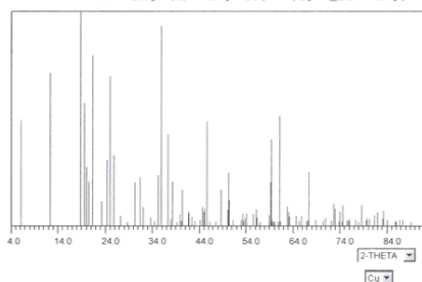


شکل ۹: برداشت از مناطق دگرسانی شده شدید

و سپس اطلاعات مربوط به نمونه‌های برداشت شده با طبقات نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی روش‌های اعمال شده تحقیق با آن تطبیق داده شد (جدول ۵).

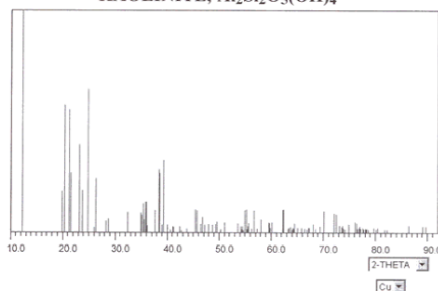
جدول ۵- نتایج حاصل از تطبیق واقعیت

ضریب کاپا	دقت کلی	روش تحلیل طیفی
۶۰/۶۳	۸۵/۴۵۱۰	SAM
۶۴/۶۲	۸۷/۱۲۶	MTMF
۶۳/۵۸	۸۷/۰۵	Crosta

CHLORITE, $Al_2O_3[Si_{3.3}Al_{0.7}O_{10}(OH)_2]Mg_{2.3}Al_{0.7}(OH)_6$ 

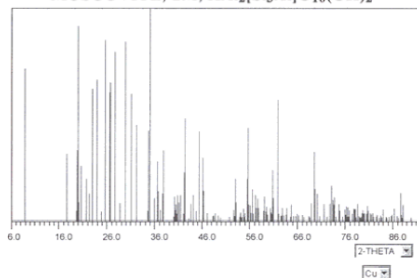
Chlorite

d	I/I°	θ	2θ
4.728	100	9.4	18.8
2.503	92	17.9	35.8
4.172	79	10.6	21.3

KAOLINITE, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ 

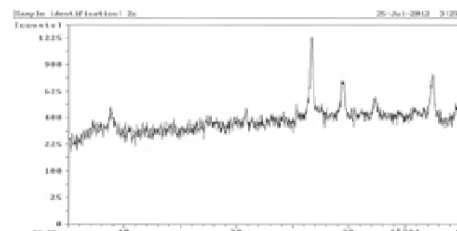
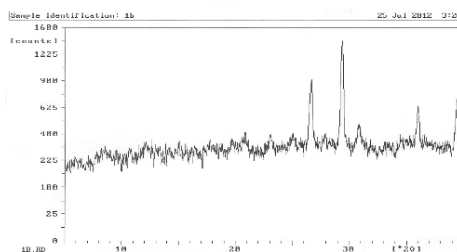
Kaolinite

d	I/I°	θ	2θ
8.886	100	5.0	10.0
5.425	12	8.2	16.3
4.643	9	9.5	19.1

MUSCOVITE, 2M, $KAl_2[Si_3Al]O_{10}(OH)_2$ 

Muscovite

d	I/I°	θ	2θ
2.557	100	17.5	35.0
4.448	91	10.0	20.0
3.476	85	12.8	25.6



شکل ۱۰: نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی تشخیص کانی‌های رسی در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

داده‌های سنجنده ASTER در گستره وسیعی از کاربردهای مرتبط با مطالعات زمین‌شناسی استفاده می‌شود. این داده‌ها در نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی، خطواره‌های بزرگ و روندهای ساختاری در نواحی که احتمال کانسارسازی وجود دارد، شناسایی مناطق دگرسان شده مرتبط با توده‌های کانسار، مورد استفاده قرار می‌گیرد و زمین‌شناسان را قادر به تولید نقشه‌های زمین‌شناسی دقیق در راستای کاهش هزینه‌های مبتنی بر کارهای میدانی خواهد نمود و از نظر وقت و هزینه نیز بسیار مقرون به صرفه می‌باشد. تحقیق حاضر، به منظور بررسی روش‌های مختلف همچون طیف پایه و تصویر پایه و ترکیبی در منطقه سیاه کوه در استان کرمان انجام شد. نتایج نشان داد

الگوریتم MTMF نسبت به روش‌های دیگر بهترین دقت را ارائه می‌دهد و با بیش‌ترین ضریب کاپا یعنی ۶۴/۶۲ درصد و دقت کلی ۹۷/۱۲ درصد مناسب‌ترین روش به‌منظور شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی می‌باشد. الگوریتم SAM دقت پایینی را نشان داد چرا که در این روش مبنای کار، مقایسه طیف تصویر با طیف مرجع می‌باشد. تعیین این‌که 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 الگوریتم‌های دیگر خطاها تا اندازه‌ای کاهش می‌یابد و از دقت بیش‌تری برخوردار می‌باشد.

قدردانی

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

منابع

- 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»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران.
- سبزه‌ایی، م (۱۳۷۲)، «نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ورقه حاجی‌آباد»، تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- عشق‌آبادی، م. ر؛ کارگر، ا (۱۳۷۷)، «گزارش مطالعات پی‌جویی مواد معدنی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ دولت‌آباد»، تهران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۱۹ ص.
- کریم پور، م.ح؛ ملک‌زاده. آ؛ حیدریان، م (۱۳۸۴)، «اکتشاف ذخایر معدنی مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی»، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۵۳ ص.
- Azizi, H., Tarverdi, A., Akbarpour, A., (2010), "Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanzan northern Iran", *Advances in Space Research*, 46: 99-109.
- Bedini, E., (2009), "Mapping lithology of the Sarfartoq carbonatite complex, southern West Greenland, using HyMap imaging spectrometer data", *Remote Sensing Environmet*, 5:113-121.
- 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.
- Chander, G., Brian, L., Markham, Dennis, L., (2002) "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors", *Remote Sensing of Environment*, 3: 893-903.
- Chandra, A. M., (2002), "Plane Surveying, New Delhi, India", Ltd Publishers, 240p.
- Crosta, A.a., Filho, C., (2003), "Trageting key alteration minerals in epithermal deposit in patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis International", *Journal of Remote sensing*, 3: 29-41.
- Kreshnamurthy, J., (1997), "The Evaluation of digitally enhanced Indian remote sensing satellite (IRS) data for lithological mapping", *Int.Journal of remote sensing*, 18: 1-16.
- Kruse, F.A., (1998), "Advances in Hyperspectral Remote Sensing for Geologic Mapping and Exploration", presented at 9th Australasian remote sensing conference, Sydney, pp 242-4552
- Mars, J.C., 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: 2011-2025.
- Mather, P.M., (2004), "Computer Processing of Remotely- Sensed Image- An Introduction", London, John Wiley & Sons Inc, Third edition, 350p .

- Mundt, J.T., David, R., Streutker, N., Glenn, F., (2007) "Partial Unmixing of hyperspectral imagery: theory and methods", proceeding of ASPRS Annual Conference, Tampa, Florida, pp 440-451.
- Masomi. F., Ranjbar, H., (2011), "Comparison of Aster and ETM data for exploration of porphyry copper mineralization: A case study of Sarcheshmeh areas, Kerman, IranMap Asia", *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 22 (3): 221-238..
- Sabins, F. F., (1999),"Remote sensing for mineral exploration", *Geology Reviews*, 40: 158-173.
- Yamaguchi, Y., Naito, C., (2003),"Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands", *International Journal of Remote Sensing*, 18:4311-4323.

Archive of SID