

نقشه برداری واحدهای سنگی منطقه آهنگران (جنوب شرق ملایر) بر پایه داده‌های ASTER

زهرا اکبری^{۱*}، ایرج رسا^۲، محمد حسین آدابی^۳، محمد محجل^۳

۱- دانشجوی دکتری زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲- استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۴/۲۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۷/۱۷

چکیده

منطقه مطالعاتی در بخش شمال غرب کمربند فلزایی ملایر- اصفهان درون کمربند دگرگونی سندانج- سیرجان (غرب ایران) واقع شده است. فناوری سنجش از دور به عنوان روشی موثر در اکتشافات معدنی و نقشه برداری طیفی واحدهای سنگی مطرح می‌باشد. هدف از این تحقیق پردازش تصاویر استر جهت تفکیک انواع واحدهای سنگی و نیز سنگ میزبان حاوی افق کانی سازی در منطقه مطالعاتی بر اساس مطالعات طیفی است. بدین منظور از منحنی‌های جذب طیفی برخی از کانی‌های مهم سنگ‌ساز در محدوده مادون قرمز گرمایی (TIR) و محدوده امواج مرئی تا مادون قرمز موج کوتاه (VNIR-SWIR) استر جهت شناسایی و نقشه برداری انواع واحدهای سنگی در منطقه مطالعاتی استفاده شده است. با استفاده از تصاویر TIR استر دو تیپ از واحدهای سنگی منطقه از جمله واحدهای شیل- ماسه سنگ‌های غنی از کوارتز به سن ژوراسیک و واحدهای سنگی کربناته کرتاسه تحتانی به نقشه درآمده است. تصاویر VNIR-SWIR استر با اعمال روش شاخص خلوص پیکسل (PPI) و کلاس بندی فیلترگذاری تطبیقی (MF)، واحدهای مختلف سنگی را در منطقه نشان می‌دهند. این واحدها شامل شیل، ماسه سنگ‌های غنی از رس به سن ژوراسیک، واحد ماسه سنگ- دولومیت قاعده کرتاسه تحتانی حاوی کانی سازی و نیز انواع سنگ‌های کربناته کرتاسه زیرین (کلسیت و دولومیت) می‌باشند. بنابراین استفاده از تصاویر استر می‌تواند انواع نقشه‌های تفکیک واحدهای سنگی-کانیایی مبتنی بر تصویر را فراهم کند که انطباق خوبی با نتایج نقشه زمین شناسی منطقه و مشاهدات صحرائی دارد. به علاوه بررسی‌ها نشان می‌دهد که داده‌های VNIR-SWIR استر طبقه بندی متنوع تر و قدرت تفکیک مکانی بالاتری را در شناسایی انواع کانی‌ها در مقایسه با داده‌های TIR دارا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، استر، نقشه برداری طیفی، آهنگران.

مقدمه

علم سنجش از دور برای اهداف زمین‌شناسی و نیز اکتشاف کانسارها مورد استفاده قرار می‌گیرد (گاد و کوسکی، ۲۰۰۶). در دهه‌های اخیر با پیشرفت‌هایی که در این علم صورت گرفته از جمله ارتقای سنجنده‌های چند طیفی، فراطیفی و نیز تکنیک‌های پردازش تصاویر، توانسته است اطلاعات مفیدی در زمینه کانی‌شناسی انواع سنگ‌های رخنمون یافته در سطح کره زمین را فراهم نماید (عبدالسلام و همکاران، ۲۰۰۰). سنجنده استر، تصویر بردار ۱۴ باندهی است که بر روی ماهواره ترا سوار بوده و در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شده که اطلاعات منابع زمینی را در سه محدوده طیفی مرئی-فروسرخ نزدیک (VNIR) فروسرخ موج کوتاه (SWIR) و فروسرخ گرمایی (TIR) اخذ می‌کند (آبرامز و هوک، ۲۰۰۱). تصاویر استر می‌تواند در تفکیک واحدهای انواع واحدهای سنگی و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی مفید باشد (گاد و کوسکی، ۲۰۰۷؛ نینومیا و همکاران، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶). تفکیک و جداسازی واحدهای سنگی به این دلیل که تمرکز عناصر و بالطبع کانی‌سازی در سنگ‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد، قابل ملاحظه و دارای اهمیت است. امروزه در اکتشافات مواد معدنی، داده‌های استر به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرد (کروستا و فیلو، ۲۰۰۳؛ دی توماسو و روبینستین، ۲۰۰۷). منطقه آهنگران یکی از مناطق پرتانسیل از نظر کانی‌سازی سرب-آهن در کمربند فلززایی ملایر-اصفهان می‌باشد. هدف این تحقیق تفکیک و نقشه‌برداری طیفی واحدهای سنگی و نیز واحد سنگی میزبان کانی‌سازی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای استر در منطقه مطالعاتی می‌باشد. این ارزیابی بر اساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل دو گروه از تصاویر تهیه شده از داده‌های استر به نام‌های تصاویر VNIR_SWIR (محدوده طیفی مرئی تا فروسرخ موج کوتاه) و TIR (محدوده فروسرخ گرمایی)

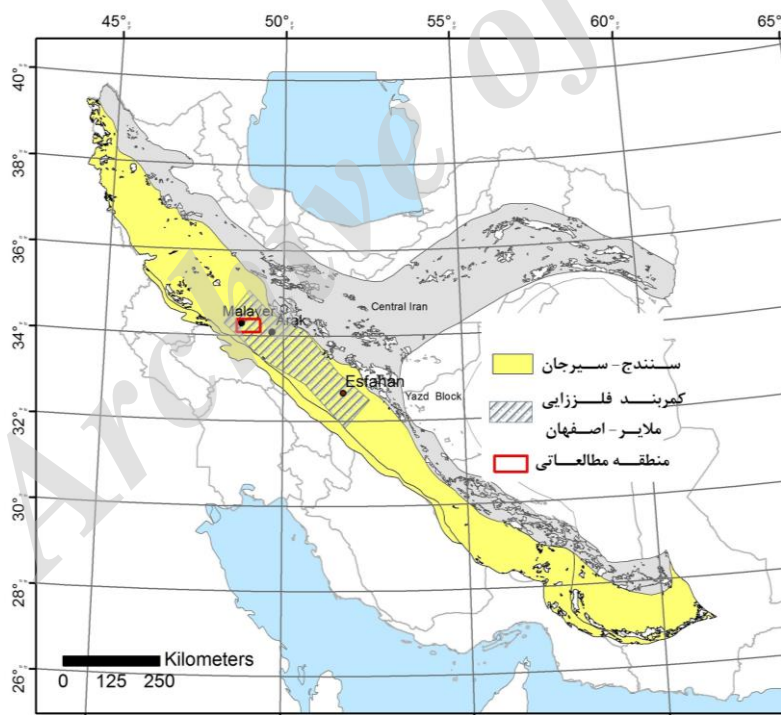
در مقایسه با نقشه زمین‌شناسی منطقه و مشاهدات صحرائی صورت می‌گیرد. نتایج این تحقیق می‌تواند در تهیه نقشه‌های تیپ سنگی-کانیایی با استفاده از تصاویر استر در مناطق مشابه کانی سازی در محور فلززایی سرب-روی-آهن ملایر-اصفهان مفید واقع شود.

زمین‌شناسی: منطقه آهنگران در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق ملایر در استان همدان واقع شده است. در این منطقه اندیس‌ها و کانسارهای مهمی از جمله کانسار آهنگران، اندیس‌های بیخ تنگ، نبی در (سرچال)، دره بیات، چاه سرمه چال واقع شده است. معدن آهنگران به عنوان بزرگترین ذخیره معدنی منطقه شامل ۴۰ میلیون تن آهن با عیار ۴۲ درصد و سرب با عیار ۲ درصد می‌باشد (قلیچ پور و همکاران، ۱۳۹۱). منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در بخش شمال غرب کمربند سرب-روی-آهن ملایر-اصفهان، درون زون دگرگونی سنندج-سیرجان واقع شده است (شکل ۱). کمربند ملایر-اصفهان با طولی بالغ بر ۳۵۰ کیلومتر و عرض بیش از ۵۰ کیلومتر با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق، در بخش مرکزی زون سنندج-سیرجان واقع شده است. توالی سنگ‌های کربناته کرتاسه زیرین این کمربند میزبان بیش از ۸۰ درصد کانسارهای سرب و روی این ناحیه می‌باشد. در این کمربند بیش از ۱۶۷ اندیس، کانسار و معدن سرب و روی شناخته شده است (مومن زاده، ۱۹۷۶؛ ریچرت، ۲۰۰۷). تحولات زون سنندج-سیرجان مرتبط با باز شدن اقیانوس نئوتتیس در پرمین و تغییرات بعدی آن به علت فرورانش و برخورد قاره‌ای بین پلیت-های عربی و ایران در طی کرتاسه تا ترشیری رخ داده است (محجل و همکاران، ۲۰۰۳؛ قاسمی و تالوت، ۲۰۰۵).

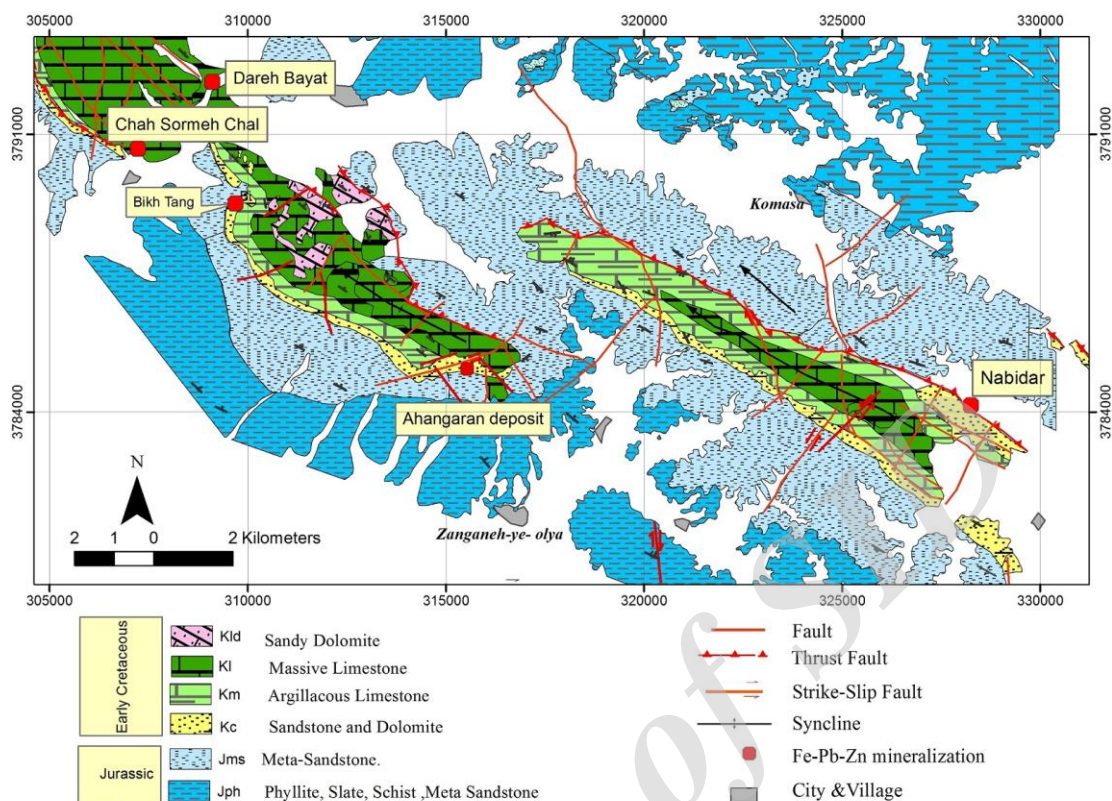
بر اساس نقشه زمین‌شناسی منطقه آهنگران، واحدهای سنگی رخنمون یافته شامل توالی‌های رسوبی-تخریبی ژوراسیک و توالی سنگی کرتاسه زیرین می‌باشند (شکل

بالاترین قسمت از واحد KI شامل دولومیت ماسه‌ای (KId) است که این واحد نیز میزبان برخی دیگر از ذخایر سرب و روی در محور ملایر- اصفهان می‌باشد. رخداد کانی‌سازی در منطقه مطالعاتی در واحد ماسه‌سنگی قاعده کرتاسه زیرین (Kc) در قالب کانسار آهنگران و اندیس‌های معدنی چون بیخ تنگ، نی‌در، دره بیات، چاه سرمه چال مشاهده می‌شود. کانی‌سازی در معدن آهنگران بصورت زون گسترده‌ای از رگه- رگچه‌های فراوان آهن- سرب در زیر بخش استراتی فورم کانسار قابل مشاهده است. کانی‌شناسی کانسار آهنگران شامل پیریت، مگنتیت، گالن، کالکوپیریت و باریت می‌باشد.

۲. واحدهای ژوراسیک به عنوان قدیمی‌ترین واحدهای منطقه شامل شیل‌های خاکستری (Jph) با لایه‌هایی از ماسه‌سنگ (Jms) بصورت بین لایه‌ای قرار دارند. توالی کرتاسه زیرین این منطقه مشابه سایر نواحی محور ملایر- اصفهان با دگرشیبی زاویه‌دار بر روی شیل- ماسه سنگ- های ژوراسیک قرار گرفته و شامل ۴ بخش می‌باشد: سنگ‌های تخریبی تا دریای کم عمق (Kc) شامل واحد ماسه‌سنگی قرمز رنگ و در بخش‌هایی دولومیتی است. بخش دولومیتی این واحد، میزبان برخی از ذخایر سرب- روی در محور ملایر- اصفهان می‌باشد. بخش Km شامل آهک‌های نازک لایه، شیل و مارن می‌باشد. بخش KI شامل سنگ آهک توده‌ای اوربیتولین دار می‌باشد.



شکل ۱: بخشی از تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران (علوی، ۱۹۹۴) و موقعیت منطقه مطالعاتی درون کمریند فلززایی سرب و روی ملایر- اصفهان



شکل ۲: نقشه زمین شناسی منطقه آهنگران (کهنسال، ۱۳۸۳؛ جعفریان و زمانی، ۱۳۷۸) همراه با تغییرات. موقعیت کانسار و اندیس‌های معدنی مشخص شده است.

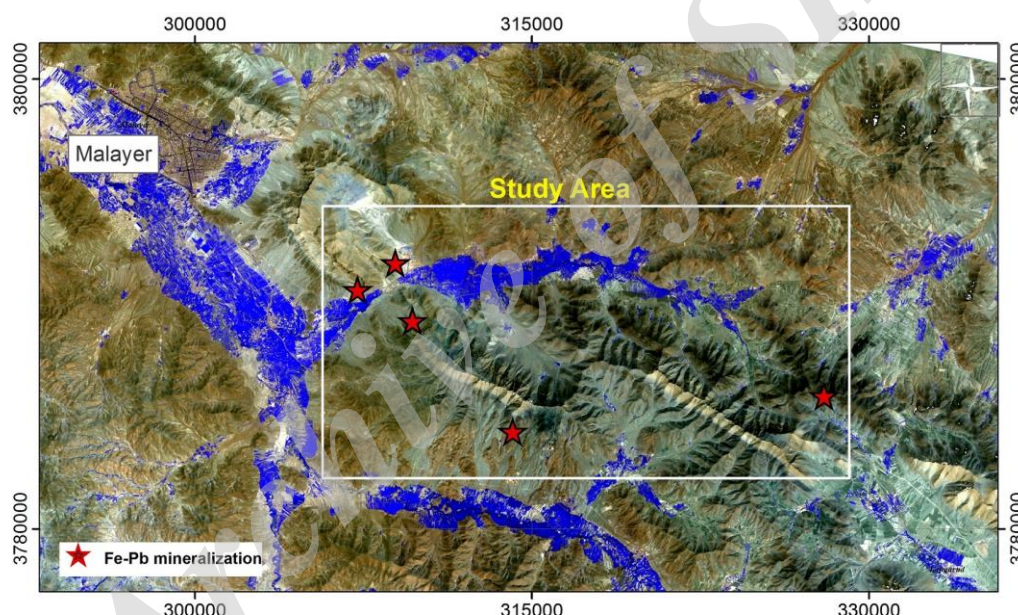
مواد و روش‌ها

اطلاعاتی جذب فلزات واسطه به ویژه آهن و برخی از عناصر خاکی کمیاب (REE) می‌باشند (هانت، ۱۹۷۲). در شش باند SWIR، استر، کانی‌های کربناته، کانی‌های هیدروکسید و هیدراته ویژگی‌های جذب طیفی را نشان می‌دهند (هانت، ۱۹۷۷). این محدوده باندهای بهترین تفکیک گروه‌های مختلف کانیایی را فراهم می‌کند. همچنین مهمترین کانی‌های سنگ‌ساز مانند کوارتز، فلدسپات و کربنات شکل جذب مولکولی را در محدوده TIR نشان می‌دهند (لیدون، ۱۹۶۴). در این مطالعه جهت تهیه نقشه واحدهای سنگی در محدوده مطالعاتی

سنجیده استر تصویربرداری چندطیفی است که اطلاعات منابع زمینی را در سه محدوده طیفی مرئی-مادون قرمز نزدیک (VNIR)، مادون قرمز کوتاه (SWIR) و مادون قرمز گرمایی (TIR) اخذ می‌کند. سه باند VNIR در محدوده (۰/۵۲-۰/۸۶ μm)، شش باند SWIR (۱/۶۰-۲/۴۳ μm) با رزولوشن به ترتیب ۱۵ و ۳۰ متر اطلاعات را ثبت می‌کند. بعلاوه تشعشعات ارسالی از خورشید را با وضوح ۹۰ متر در ۵ باند در محدوده باندهای TIR (۸/۱۲-۱۱/۶۵ μm) اندازه‌گیری می‌کند (آبرامز و هوک، ۲۰۰۱). سه باند VNIR از منابع مهم

از جابجایی ارتفاعی برای تک تک پیکسل‌های تصویر فراهم شده است. جهت انجام تصحیحات رادیومتریک روش‌هایی چون تصحیح نشت بانندی (برای باندهای SWIR استر)، همسنجی باندها (اعمال مجموعه‌ای از ضرایب برای هر باند استر از داده‌های خام ثبت شده) و روش تصحیحات اتمسفری صورت گرفته است. کلیه مراحل ذکر شده در نرم افزار ENVI ver.۴/۵ انجام شده است.

از تصاویر استر با تراز ASTER 1B به شماره AST-L1B_۰۰۳۰۹۲۷۲۰۰۳۰۷۳۸۰۷ به تاریخ ۲۰۰۳/۰۹/۲۷ و شماره ۳۴۳-۲۹۰۸۰۱-AST-L1B به تاریخ ۲۰۰۱/۰۸/۲۹ استفاده شده است (شکل ۳). به منظور انجام تصحیحات هندسی، با لحاظ کردن مدل ماهواره‌ای داده‌های استر، اطلاعات مداری موجود در تصاویر خام و انتخاب نقاط کنترل زمینی مناسب با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ کشور، امکان بازسازی هندسه تصویربرداری و حذف اثرات ناشی



شکل ۳: تصویر موزاییک شده استر منطقه آهنگران با ترکیب رنگی مجازی (RGB:۱۲۳) همراه با موقعیت کانسار-اندیس‌های سرب-آهن

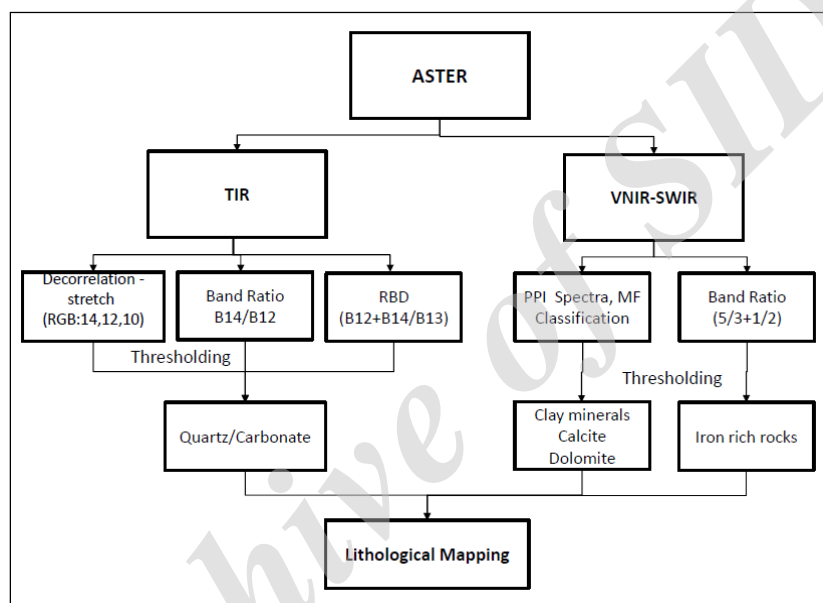
سرگروه‌ها و شناسایی ماهیت آنها با الگوریتم‌های مناسب در کل تصویر است. در انتخاب سرگروه‌ها با توجه به اینکه اطلاعات لازم از منطقه وجود دارد، روش نظارت شده اعمال شده است. در مرحله بعد طیف‌های تصویر با استفاده از روش شاخص خلوص پیکسل (PPI) استخراج شده است. خواص انعکاسی پدیده‌های مختلف از روی

نتایج

پردازش تصاویر استر: پردازش طیفی داده‌های استر در منطقه شامل ورود داده‌های بازتابی/تابشی در قالب صحنه، کاهش ابعاد مکانی، کاهش و سفیدکردن نویز در باندها، استفاده از روش تصاویر مجازی، برای بررسی اولیه تنوع طیفی در صحنه‌های باشد. در مرحله دوم انتخاب

فیلترگذاری تطبیقی (MF) استفاده شده است. همچنین جهت تفکیک و شناسایی واحدهای سنگی از روش‌های مختلفی از جمله بارز سازی تصویر، تصاویر رنگی مجازی، نسبت بانندی و باند جذب نسبی (RBD) نیز استفاده شده است. در شکل (۴) روند انجام پردازش و روش‌های مختلف به کار رفته جهت تفکیک واحدهای سنگی در منطقه آهنگران نشان داده شده است.

دیاگرام طیفی آنان در کتب مرجع موجود و قابل بررسی می‌باشد. بنابراین با توجه به خواص ویژه جذب طیفی کانی‌های مهم سنگ ساز تفکیک واحدهای سنگی مختلف انجام می‌شود. در این مطالعه جهت تفکیک انواع واحدهای سنگی از طیف‌های بدست آمده از روش شاخص خلوص پیکسل (PPI) و طیف آزمایشگاهی USGS امریکا با اعمال کلاس‌بندی



شکل ۴: نمودار روش‌های به کار رفته در پردازش تصاویر ماهواره‌ای استر جهت نقشه برداری طیفی واحدهای سنگی در منطقه آهنگران

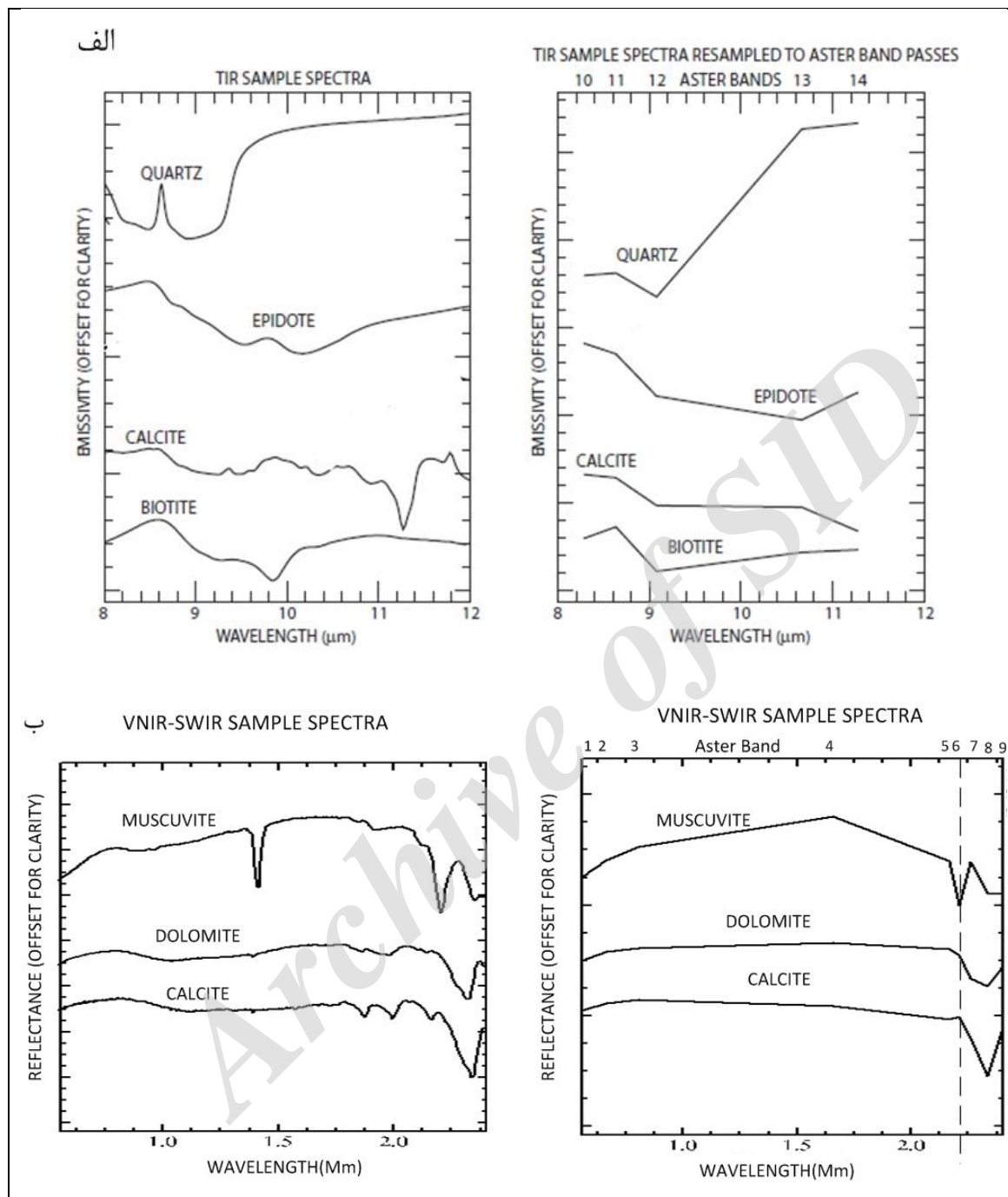
اهمیت است. بسته به اینکه دنبال چه نوع ماده معدنی هستیم، واحد سنگی خاصی می‌تواند منشا تولید عنصر مورد نظر باشد. در این راستا شناسایی واحدهای سنگی موجود در محدوده مورد نظر، اثر قابل ملاحظه‌ای در تشخیص مناطق امید بخش دارد. بسیاری از ویژگی‌های طیفی عمده‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های منطقه، دارای جذب‌های بارزی در محدوده باندهای استر می‌باشند. بنابراین استفاده از منحنی‌های جذب طیفی

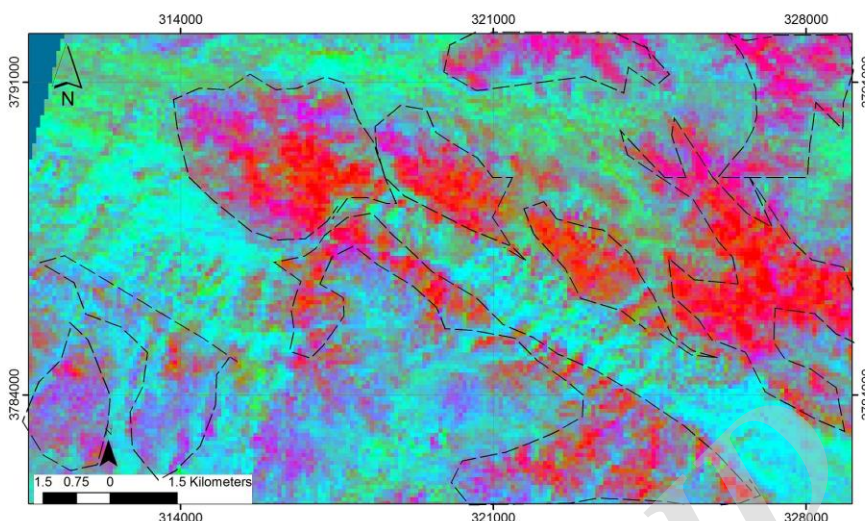
ویژگی‌های طیفی واحدهای سنگی: از اهداف این مطالعه ارزیابی تصاویر استر جهت تفکیک انواع واحدهای سنگی منطقه بخصوص سنگ میزبان ماده معدنی سرب-آهن می‌باشد. این ارزیابی بر اساس مقایسه نتایج تجزیه تحلیل تصاویر استر با نقشه زمین‌شناسی منطقه و نیز مشاهدات صحرائی صورت می‌گیرد. تفکیک و جداسازی واحدهای سنگی به این دلیل که تمرکز عناصر در سنگ‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد، قابل ملاحظه و دارای

۲/۳۱ (باند ۸) استر در طیف انعکاسی نشان می‌دهد (شکل ۵ الف، ب). در طیف آزمایشگاهی کانی‌های مافیکی چون بیوتیت، هورنبلند و اپیدوت، حداقل انتشار در باند ۱۳ یا ۱۴ استر مشاهده می‌شود. این در حالی است که در کانی کوارتز حداقل انتشار در باند ۱۲ وجود دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش میزان محتوای کانی‌های آهن- منیزیوم در سنگ‌ها افت یا حداقل انتشار در طیف نشری به سمت باندهایی با طول موج بالاتر مشاهده می‌شود (لیدون، ۱۹۶۴). در منطقه مطالعاتی، طیف تصویری واحدهای سنگی شیل- ماسه سنگ و رسوبات آبرفتی همراه آنها، دو جذب مشخص در ترکیبات Si-O در محدوده نزدیک $8/7 \mu\text{m}$ به جهت وجود کانی کوارتز و جذب Al-OH نزدیک باند $2/2 \mu\text{m}$ به دلیل حضور کانی‌های موسکویت و ایلیت را نشان می‌دهند. بنابراین در محدوده طیفی TIR استر می‌توان جذب مربوط به کانی اصلی کوارتز موجود در این سنگ- ها را شناسایی کرد. تصاویر Decorrelation Stretch با باندهای TIR استر ابزار بسیار موثری جهت نمایش طیف نشری انواع سنگ‌های فلسیک، ماسه سنگ‌ها، مافیکی- الترامافیک و کربنات‌ها می‌باشد (گیللسپیه و همکاران، ۱۹۸۶). در منطقه مطالعاتی اعمال روش Decorrelation Stretch بر روی ترکیب رنگی (RBG: ۱۴، ۱۲، ۱۰) انجام شده است. در این تصویر پیکسل‌های قرمز رنگ (حداکثر مقادیر باند ۱۴) معادل واحدهایی با حداکثر فراوانی کانی کوارتز (ماسه سنگ‌ها) می‌باشد. پیکسل‌های آبی پررنگ (مقادیر حداکثر باند ۱۰) معادل شیل‌ها و رسوبات آبرفتی مرتبط با آنها، کربنات‌ها به رنگ آبی فیروزه‌ای و گیاهان به رنگ سبز مشاهده می‌شود (شکل ۶). در این تصویر سنگ‌های غنی از کوارتز و کربتانه بطور گسترده تفکیک شده‌اند.

برخی از کانی‌های مهم سنگ‌ساز موجود در هر یک از انواع سنگ‌ها در محدوده TIR ($8/12-11/65 \mu\text{m}$) و ۹ باند کالیبره شده VNIR- SWIR ($2/43-0/52 \mu\text{m}$) استر، سبب استخراج اطلاعات مورد نیاز جهت شناسایی و نقشه‌برداری طیفی انواع واحدهای سنگی می‌شود (مارس و رووان، ۲۰۱۱). در شکل (۵) منحنی طیفی برخی از کانی‌های سنگ‌ساز مهم تشکیل‌دهنده سنگ- های منطقه را مشاهده می‌کنید. تصاویر انعکاسی استر در ترسیم واحدهای سنگی- کانیایی با توجه به شکل منحنی‌های جذب ترکیبات- $\text{Fe}^{+3}, \text{Fe}^{+2}, \text{Al-OH}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{OH}, \text{CO}_3$ بکار می‌رود (هیوسن و همکاران، ۲۰۰۵؛ رووان و همکاران، ۲۰۰۶). در این تصاویر امکان تفکیک پیکسل‌هایی از گروه کانی‌شناسی خاص با فراوانی غالب وجود دارد. اما تفکیک کانی منحصر به فرد امکان پذیر نیست (رووان و مارس، ۲۰۰۳؛ رووان و همکاران، ۲۰۰۶).

تصاویر TIR استر: برای تفکیک برخی از واحدهای سنگی در منطقه از تصاویر TIR ($8/12-11/65 \mu\text{m}$) استفاده شده است. جهت انجام تصحیح اتمسفری و تبدیل داده‌های رادیانس حرارتی و قابلیت انتشار الگوریتم Emissivity Normalization به کار رفته است. با استفاده از این تصاویر دو تیپ از واحدهای سنگی منطقه شامل شیل- ماسه سنگ غنی از کوارتز ژوراسیک و واحدهای کربناته کرتاسه زیرین در ساختار ناودیدی شکل منطقه با توجه به دو جذب مشخص به ترتیب در ترکیب Si-O در محدوده طیفی $8/7 \mu\text{m}$ (باند ۱۲) به علت فراوانی کانی کوارتز و جذب ضعیف در طول موج $11/2 \mu\text{m}$ (باند ۱۴) با عامل مولکولی CO_3 به نقشه درآمده‌اند. طیف آزمایشگاهی کانی کلسیت در طیف انتشاری افت اندکی را در طول موج $11/2 \mu\text{m}$ (باند ۱۴) و همچنین جذب شاخصی را در طول موج $2/33 \mu\text{m}$



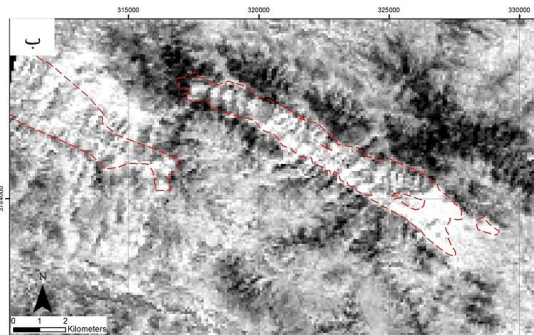
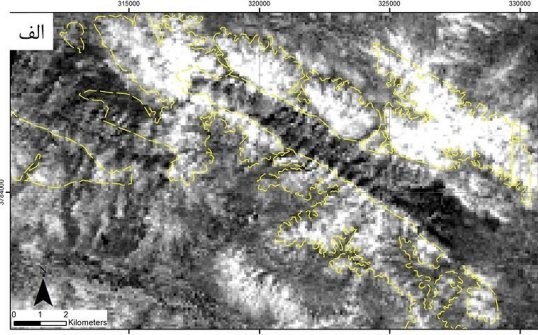


شکل ۶: تصویر Decorrelation-Stretch ترکیب رنگی (۱۰، ۱۲، ۱۴: RGB) استر منطقه مطالعاتی. در این تصویر ماسه سنگ‌ها و شیل‌ها - رسوبات آبرفتی همراه به ترتیب به رنگ قرمز و آبی تیره (خط چین سیاه رنگ) و کربنات‌ها به رنگ آبی فیروزه‌ای مشاهده می‌شوند.

منطقه استفاده شده است (شکل ۷ ب). در این تصویر مناطق با پیکسل‌های روشن معرف تمام تشکیلات کربناته کرتاسه زیرین (شامل واحدهای Kld , Km, Kl شکل ۲) و پیکسل‌های تیره معرف ماسه سنگ سیلیسی (واحد Jms شکل ۲) می‌باشد. می‌توان گفت که این تصویر تفکیک بهتری از واحدهای مذکور را ارائه کرده است. در نهایت با استفاده از تلفیق نتایج بدست آمده از روش‌های فوق، دو واحد سنگی اصلی منطقه با استفاده از تصاویر TIR تفکیک شده است (شکل ۸). نتایج بدست آمده از نقشه تفکیک واحدهای سنگی TIR، همپوشانی جالبی را با تصاویر Decorrelation-Stretch و نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد (شکل ۲ و ۶). شکل (۹) طیف انتشاری هر یک از واحدهای سنگی تفکیک شده منطقه را در تصاویر TIR نشان می‌دهد. مطالعه طیف تصویری انواع واحدهای سنگی در منطقه گاه‌ها تضاد طیفی با طیف اصلی را نشان می‌دهد. این موضوع به دلیل حضور یک کانی خاص در ترکیب سنگی آنها می‌باشد. مثلا جذب باند ۱۲ استر به دلیل حضور کوارتز در ترکیب

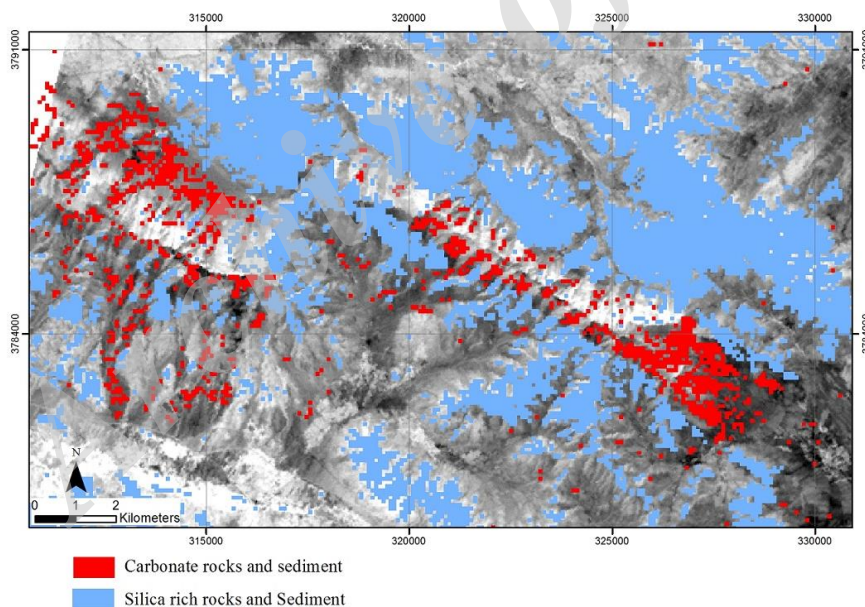
استفاده از تصاویر نسبت بانندی و باند جذب نسبی (RBD) استر برای تفکیک برخی از گروه‌های سنگی و شناسایی پیکسل‌هایی به عنوان طیف مرجع، برای تجزیه و تحلیل‌های طیفی مراحل بعدی و انجام کلاس‌بندی بسیار مفید هستند (رووان و همکاران، ۲۰۰۶). نسبت بانندی B14/B12 استر جهت نمایش سنگ‌های محتوی کوارتز که دارای جذب طیفی در $8/7 \mu\text{m}$ (باند ۱۲) به کار می‌رود (شکل ۷ الف). در این تصویر مناطق با پیکسل‌های روشن معرف ماسه سنگ سیلیسی (واحد Jms شکل ۲) می‌باشد. مطالعه طیف تصویری سنگ‌های کربناته در منطقه نشان می‌دهد که بخشی از سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه به دلیل ترکیب کانی‌شناسی خاص، یک ویژگی جذب قوی را در محدوده بانندی $10/6 \mu\text{m}$ (باند ۱۳) نشان می‌دهد. این ویژگی جذبی تشابهی را به مجموعه سنگ‌هایی با محتوای کانی‌های مافیک (بیوتیت، اپیدوت، هورنبلند) را نشان می‌دهد (شکل ۵ الف). بنابراین از روش باند جذب نسبی (RBD) باندهای (B14+B12 / B13) جهت تفکیک سنگ‌های کربناته

ماسه سنگ و شیلها محرز است. این شکل جذب در واحدهای کربناته منطقه نیز مشاهده شده است.

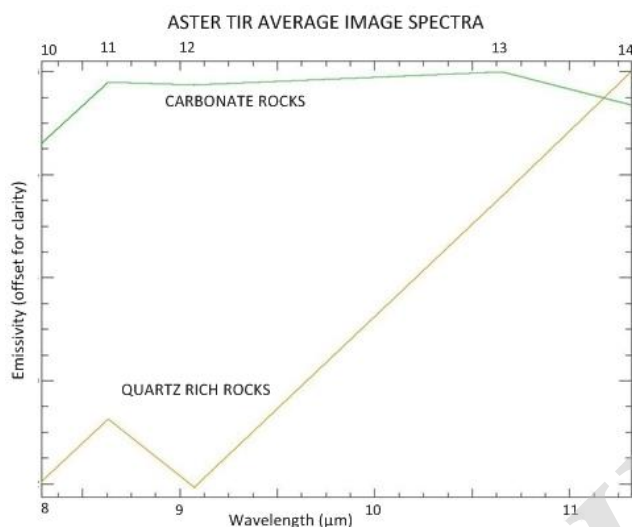


شکل ۷: الف) تصویر نسبت بانندی B۱۴/B۱۲ استر. در این تصویر پیکسل‌های روشن معرف واحدهای سنگی کربناته و رسوبات آبرفتی منتج شده از آن (خط چین قرمز) و پیکسل‌های تیره معرف ماسه سنگ سیلیسی می‌باشد.

شکل ۷: الف) تصویر نسبت بانندی B۱۴/B۱۲ استر. پیکسل‌های روشن معرف ماسه سنگ سیلیسی مطابق با واحد Jms در نقشه زمین‌شناسی شکل ۲ می‌باشد (خط چین زرد). ب) تصویر باند جذب نسبی (RBD) باندهای



شکل ۸: نقشه برداری طیفی واحدهای سنگی با استفاده از تصاویر TIR استر بر روی پس زمینه‌ای از باند ۱ در منطقه مطالعاتی



شکل ۹: طیف تصویری میانگین واحدهای ماسه سنگ سیلیسی و کربناته منطقه مطالعاتی در تصاویر TIR استر

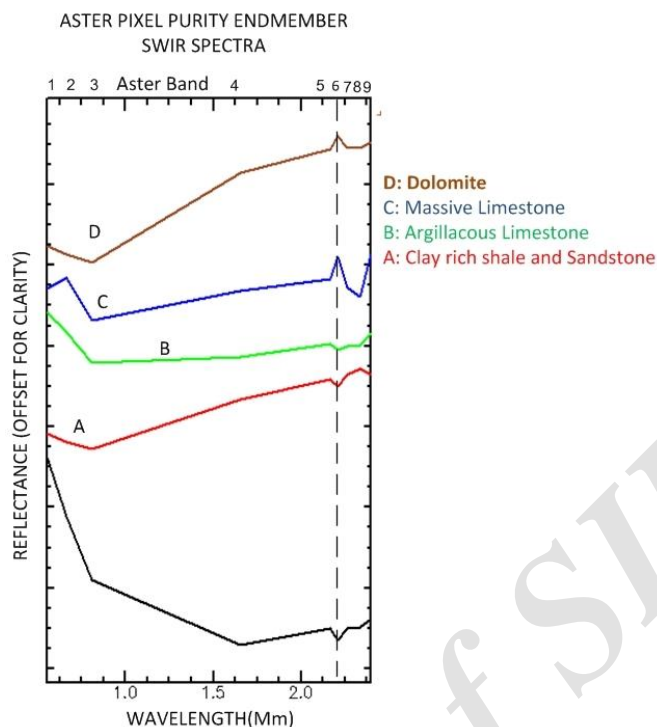
رده‌های خاص سنگی هستند را شناسایی می‌کند. استفاده از این روش بر روی تصویر MNF، می‌تواند سرگروه‌هایی که دارای بیشترین شباهت طیفی را به کانی یا گروه‌های کانیایی ویژه را تشخیص دهد (رووان و مارس، ۲۰۰۳). در نهایت با استفاده از سرگروه‌های بدست آمده و کلاس بندی تصویر به روش فیلترگذاری تطبیقی (MF)، نقشه واحدهای سنگی به صورت تصویر سیاه سفید ترسیم می‌شود. روش PPI عمدتاً در تصاویر هایپراسپکترال انجام می‌شود اما تصاویر SWIR استر نیز دارای قدرت تفکیک طیفی خوبی برای شناسایی برخی از سرگروه‌های کانیایی را دارا هستند (بردمن و همکاران، ۱۹۹۵؛ رووان و همکاران، ۲۰۰۳). در انتخاب سرگروه‌ها با توجه به اینکه اطلاعات لازم از منطقه بر اساس نقشه زمین‌شناسی و برداشت صحرایی وجود دارد، جهت بالا بردن دقت و صحت پردازش طیفی روش نظارت شده نیز اعمال شده است. شکل کلی طیف تصویری انواع رده‌های سنگی با طیف آزمایشگاهی مشابه می‌باشد. اما یک سری عواملی اعم از مخلوط متغیر کانی-کانی، مخلوط کانی-گیاه، تغییرات سایز دانه‌ها در سنگ و ویژگی‌های جذب

تصاویر VNIR-SWIR استر: تصاویر امواج مرئی تا مادون قرمز کوتاه (VNIR-SWIR) استر در محدوده طول موج $0.43-2.13 \mu\text{m}$ قرار داشته و در نقشه‌برداری طیفی واحدهای سنگی بر اساس شکل منحنی‌های جذب ترکیبات Al-OH ، CO_3 ، Fe^{+3} ، Fe^{+2} ، Fe-Mg-OH کاربرد دارد (هیوسن و همکاران، ۲۰۰۵؛ رووان و همکاران، ۲۰۰۶). تصاویر SWIR استر طیف تشخیصی بسیاری از سنگ‌های آرژیلیتی (سنگ‌های غنی از رس) و کربنات‌ها را با توجه به ترکیبات Al-OH ، Mg-OH ، CO_3 نشان می‌دهند (شکل ۵ ب) (رووان و مارس، ۲۰۰۳). به منظور استخراج طیف تصویری مناسب برای نقشه برداری انواع رده‌های سنگی در منطقه مورد مطالعه، تصاویر VNIR-SWIR استر با اعمال روش شاخص خلوص پیکسل (PPI) (بردمن و همکاران، ۱۹۹۵) مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به تفاوت قدرت تفکیک مکانی باندهای VNIR و SWIR، جهت یکپارچه کردن، ۶ باند SWIR به رزولوشن ۱۵ متر برگردان شده است. الگوریتم PPI پیکسل‌هایی که دارای طیف فوق‌العاده خالص و خاص تصویری که مرتبط با

(KI) می‌باشد (شکل ۲ و ۱۳). همچنین منحنی طیفی مشابه ترکیب دولومیت نیز تشخیص داده شده است (منحنی D شکل ۱۰) که ویژگی بارز آن جذب قوی تر باند ۷ نسبت به باند ۸ استر در مقایسه با کلسیت است. این جذب قوی به دلیل ترکیب CO_3 در باند ۷ است. با بررسی بیشتر نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است که طیف دولومیت بدست آمده بر واحد سنگی دولومیتی واحد KId و همچنین بر بخش‌هایی در افق ماسه‌سنگ قاعده کرتاسه زیرین (واحد Kc) تطابق دارد (شکل ۲ و ۱۳). بنابراین در منطقه مطالعاتی استفاده از شکل جذب منحنی طیفی کانی‌هایی چون موسکویت (Al-OH)، باند ۶، دولومیت (CO_3)، باند ۷ و باند ۸) و کلسیت (CO_3)، باند ۸) جهت شناسایی و تفکیک انواع واحدهای سنگی با داده‌های VNIR-SWIR استر نقش کلیدی داشته است. استفاده از کلاس‌بندی فیلترگذاری تطبیقی (MF) و ورود سرگروه‌های طیفی بدست آمده از روش PPI و با در نظر گرفتن روش نظارت شده منجر به تولید تصاویر سیاه-سفیدی مرتبط با هر منحنی طیفی شده است. در این تصاویر بالاترین امتیاز هر پیکسل بصورت پیکسل-هایی با رنگ سفید مرتبط با بیشترین فراوانی سرگروه و نیز بیشترین انطباق طیف‌های تصویر با طیف سرگروه‌ها را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که این روش مانند سایر روش‌های پردازش تصاویر استر دارای خطا می‌باشد و ممکن است یک منطقه توسط چندین گروه طیفی نقشه برداری شود. بنابراین با توجه به نقشه زمین‌شناسی و مطالعه مجدد طیف‌های تصویر در آن منطقه به همراه مطالعات زمینی، این محل‌ها به طور دستی تصحیح و اصلاح می‌شوند (شکل ۱۳).

اتمسفر باقی مانده می‌تواند تغییراتی را در طیف تصویری واحدهای سنگی به وجود آورد. در منطقه با استفاده از روش PPI، انواع سرگروه‌های مرتبط با جذب ترکیبات CO_3 ، Al-OH در سنگ‌های منطقه همچون شیل-ماسه سنگ رس‌دار، دولومیت آهن‌دار و سنگ‌های کربناته (کلسیت و دولومیت) شناسایی شده است. بسیاری از سنگ‌های غنی از رس جذب طیفی را در $2/2 \mu\text{m}$ (باند ۶) به دلیل وجود موسکویت و ایلیت (محصول هوازدگی موسکویت) و سنگ‌های کربناته جذب ویژه‌ای را در $2/33 - 2/31 \mu\text{m}$ (باند ۸) نشان می‌دهند (شکل ۵ ب). در منطقه مطالعاتی با توجه به سرگروه‌های بدست آمده از روش PPI و اعمال روش نظارت شده (شکل ۱۰) نتایج زیر بدست آمده است:

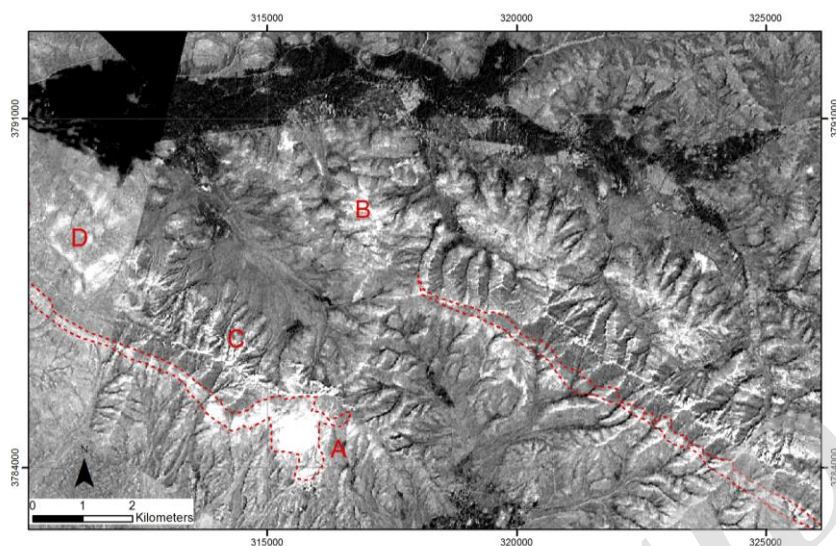
منحنی طیفی A، ویژگی‌های جذب طیفی را در $2/2 \mu\text{m}$ (باند ۸) به دلیل حضور Al-OH و همچنین جذب‌هایی را در $1/65 \mu\text{m}$ (باند ۴) و $0/8 \mu\text{m}$ (باند ۳) به خاطر وجود ترکیبات آهن‌دار نشان می‌دهد. این منحنی منطبق بر واحد سنگی شیل-ماسه‌سنگ رس‌دار می‌باشد. (شکل ۲ و ۱۳). قابل ذکر است که این واحد در تصاویر TIR به سبب فراوانی کانی کوارتز در بخش‌های قبلی تفکیک شده است. دو منحنی طیفی بدست آمده از روش PPI (منحنی‌های C, B) مربوط به انواع واحدهای کربناته منطقه می‌باشند. در این منحنی‌ها اشکال جذبی در محدوده باند $2/26 \mu\text{m}$ (باند ۶) به سبب وجود ترکیبات رسی و جذب قوی در $2/33 \mu\text{m}$ (باند ۸) و جذب خیلی ضعیف در باند ۷ به دلیل وجود عامل مولکولی CO_3 مشاهده می‌شود. با بررسی نقشه زمین‌شناسی و بررسی صحرائی مشخص شده است که منحنی B مطابق با واحد آهک رس‌دار (Km) و منحنی C منطبق بر آهک توده‌ای



شکل ۱۰: منحنی طیفی سرگروه‌های بدست آمده از روش شاخص خلوص پیکسل (PPI) با اعمال روش نظارت شده بر پایه داده های VNIR_SWIR استر در منطقه مورد مطالعه.

هایی از ماسه سنگ- شیل ژوراسیک (منطقه B)، بخش مرکزی ناودیس‌های منطقه با ترکیب کربناته (منطقه C) و در واحد سنگی دولومیت Kld (منطقه D) نشان می‌دهد (شکل ۱۱). مطالعه طیفی واحدهای سنگی مذکور علاوه بر داشتن جذب‌های بارزی که در مباحث قبلی اشاره شد، همگی جذب شاخصی را در $0.8 \mu\text{m}$ (باند ۳) نشان می‌دهند (شکل ۱۰). آهن فرو در ساختار شبکه کانی‌هایی همچون فروسیلیکات‌ها، کربنات‌ها و کلریت- اپیدوت (Fe, Mg-OH) می‌تواند وجود داشته باشد.

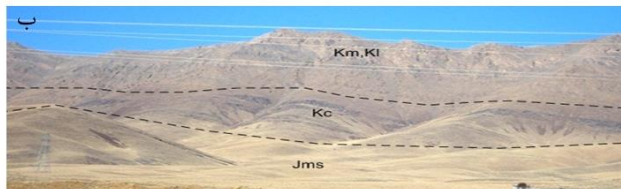
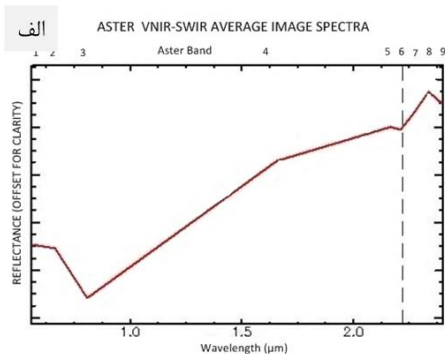
تصاویر نسبت بانندی در واقع معکوس عارضه جذب طیفی را نشان می‌دهند. این تصاویر بطور گسترده در مطالعات دورسنجی با اهداف زمین‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیاری از سنگ‌های غنی از آهن را می‌توان توسط نسبت بانندی $(5/3+1/2)$ استر با استفاده از جذب Fe^{+2} تفکیک کرد (رووان و مارس، ۲۰۰۳). نقشه نسبت بانندی $(5/3+1/2)$ سنگ‌های غنی از آهن و یا آغستگی سطح سنگ‌ها به آهن را در قسمت‌هایی از واحدهای سنگی منطقه از جمله ماسه سنگ واحد Kc (منطقه A)، بخش



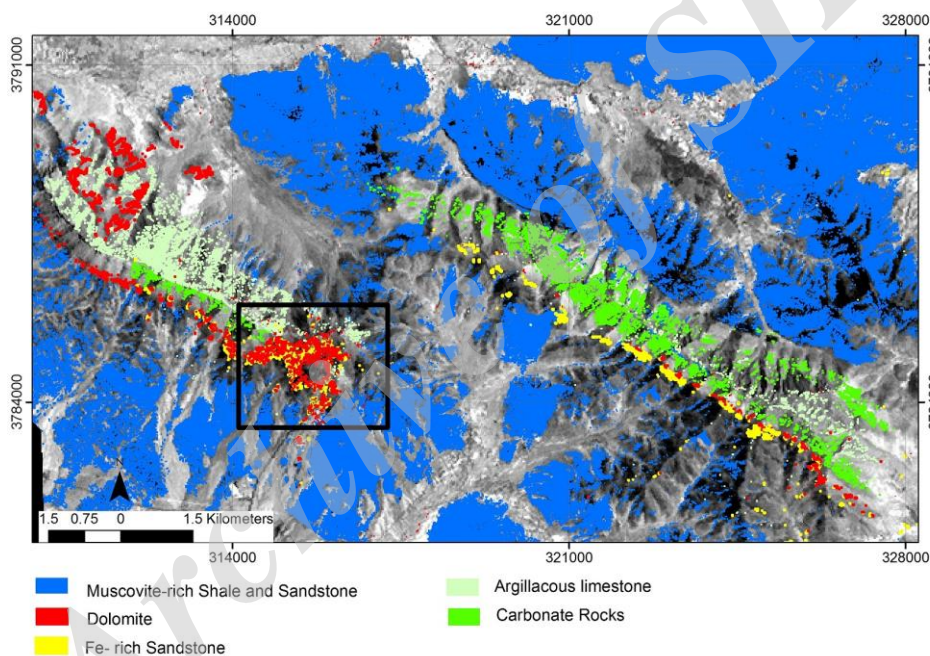
شکل ۱۱: تصویر نسبت بانندی (۵/۳+۱/۲) استر، پیکسل‌های روشن جذب شدید آهن فرو (Fe^{+2}) را نشان می‌دهد.

- ایلیت و جذب باند ۳ را به دلیل فراوانی آهن در ترکیب شیمیایی کل سنگ و حضور کانی‌های هوازده در سطح آن را منعکس می‌کند. این واحد سنگی بصورت یک افق سیاه‌رنگ در قاعده واحدهای کربناته کرتاسه زیرین در ناحیه مورد بحث رخنمون دارد (شکل ۱۲ ب). بررسی طیف تصویر در مناطق کانی‌سازی شده واحد KC، ویژگی‌های طیفی کانی دولومیت را نشان می‌دهد. این موضوع در بخش قبلی این مقاله مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۰ و شکل ۱۳). همچنین در تصویر نسبت بانندی (۵/۳+۱/۲) (شکل ۱۱) بخش‌های غنی از آهن در واحد KC و در محل کانی‌سازی معدن آهنگران (منطقه A شکل ۱۱) مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که وجود کانی دولومیت به عنوان دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی و مناطق غنی از آهن ناشی از اکسید شدن کانی‌های سولفیدی در شناسایی مناطق امید بخش کانی‌سازی با استفاده از تصاویر VNIR-SWIR استر حائز اهمیت است.

واحد ماسه سنگ قاعده کرتاسه زیرین (KC) به عنوان سنگ میزبان برخی از ذخایر سرب-روی-آهن در محور ملایر-اصفهان و همچنین در منطقه مطالعاتی در قالب کانسار-اندیس‌هایی چون معدن آهنگران، نبی‌در (سرچال)، چاه سرمه چال و بیخ تنگ می‌باشد (شکل ۲). بنابراین در این بخش تغییرات طیف تصویری این واحد سنگی در بخش‌های کانی‌سازی شده و غیرکانی شده مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی طیف میانگین تصویری واحد KC در بخش‌های غیر کانی‌سازی علاوه بر داشتن انعکاس قوی در طول موج $1/65 \mu m$ (باند ۴)، به شکل منحنی طیفی واحدهای ماسه سنگ شیل ژوراسیک شباهت دارد (شکل ۱۲ الف). در طیف تصویری این واحد جذب‌هایی در $2/20 \mu m$ (باند ۶) و $0/8 \mu m$ (باند ۳) استر مشاهده می‌شود. طبق مطالعات صحرایی ترکیب سنگ‌شناسی این واحد شامل کانی‌های سیلیکاته (کوارتز)، کانی‌های رسی و محتوای آهن بالا می‌باشد. مقایسه نتایج طیف تصویری و ترکیب شیمیایی این واحد تا حدودی جذب باند ۶ را به دلیل حضور کانی موسکویت



شکل ۱۲: الف) طیف میانگین تصویری واحد ماسه‌سنگی قاعده کرتاسه بازنویسی شده به محدوده باندهای VNIR_SWIR استر. ب) نمایی از واحد ماسه‌سنگی قاعده کرتاسه زیرین (Kc) بصورت افق سیاه رنگ در قاعده واحدهای کربناته کرتاسه زیرین (واحد Km, Kl).



شکل ۱۳: نقشه تفکیک واحدهای سنگی با استفاده از داده‌های VNIR-SWIR استر.

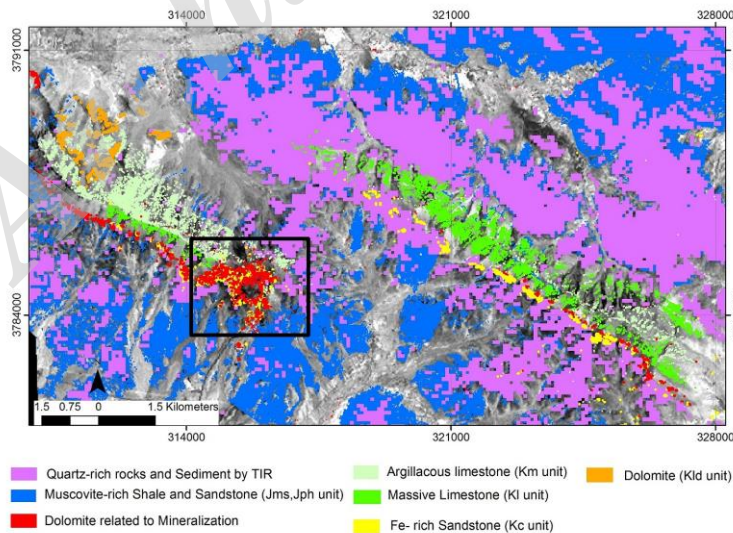
(۱۴) نشان داده شده است. با استفاده از تصاویر TIR و روش‌های نسبت بانندی، باند جذب نسبی (RBD) و Decorrelation-Stretch قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین واحد سنگی منطقه شیل- ماسه‌سنگ غنی از کوارتز ژوراسیک (رنگ بنفش شکل ۱۴) و نیز واحدهای کربناته کرتاسه زیرین تفکیک شده‌اند. با استفاده از تصاویر

نقشه نهایی تفکیک واحدهای سنگی با استفاده از تصاویر VNIR-SWIR و TIR استر

در این مطالعه با استفاده از پردازش طیف‌های انعکاسی و انتشاری سنجنده استر، واحدهای سنگی منطقه شناسایی و تفکیک شده است. نتایج بدست آمده از پردازش تصاویر TIR و VNIR-SWIR استر در جدول (۱) و نقشه تلفیق واحدهای سنگی تفکیک شده در شکل

این لایه با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲) بر واحد شیل - ماسه‌سنگ ژوراسیک (Jph, Jms) تطابق دارد. واحد ماسه‌سنگی قاعده کرتاسه زیرین (Kc) (رنگ زرد شکل ۱۴) به عنوان میزبان ماده معدنی و بخش‌های دولومیتی (رنگ قرمز شکل ۱۴) و غنی از آهن به عنوان دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌سازی در مناطق کانی‌سازی شده تفکیک شده است. این بخش دولومیتی در همه جای منطقه گسترش نداشته و از حداقل ضخامت در مناطق دور از کانی‌سازی تا حداکثر ضخامت در محل کانی‌سازی کانسار آهنگران (حدود ۱۵۰ متر) مشخص شده است (کادر سیاه شکل ۱۴). واحدهای کربناته در تصاویر TIR بصورت گسترده و عمومی تفکیک شده است (شکل ۸). اما تفکیک جزئی این واحد در تصاویر VNIR-SWIR با توجه به نقشه زمین‌شناسی شامل واحدهای Kld, Km, Kl به ترتیب بواسطه جذب شاخص کانی‌های کلسیت، کلسیت - موسکویت و دولومیت بسیار مفید خواهد بود (شکل ۲ و ۱۴).

VNIR-SWIR استر و اعمال مقدار حد مناسب آستانه بر تصاویر امتیازی حاصل از الگوریتم فیلترگذاری تطبیقی (MF)، واحدهای سنگی منطقه شناسایی و تفکیک شده است (شکل ۱۳ و ۱۴). میزان دقت طیفی هر رده طیفی - سنگی بدست آمده از تصاویر VNIR-SWIR را می‌توان از مقایسه بین میانگین طیف تصویری هر لایه پردازش شده نسبت به طیف اولیه سرگروه‌های تعریف شده بررسی نمود. تصاویر VNIR-SWIR توانایی انواع کلاس - بندی و بالاترین قدرت تفکیک طیفی را برای گروه‌های کانیایی مختلف را در مقایسه با تصاویر TIR دارا هستند. این در حالی است که در تصاویر TIR تعداد کانی‌هایی تفکیک شده کمتر و گستردگی جانبی آنها بیشتر است. با استفاده از تصاویر VNIR-SWIR چهار نوع واحد سنگی به شرح زیر شناسایی و تفکیک شده است. شیل و ماسه‌سنگ غنی از رس (لایه آبی رنگ شکل ۱۴) به واسطه جذب موسکویت - ایلیت نقشه‌برداری شده است. قابل ذکر است که این واحد در تصاویر TIR نیز به سبب جذب کوارتز (رنگ بنفش شکل ۱۴) تفکیک شده است.



شکل ۱۴: نقشه نهایی تفکیک واحدهای سنگی منطقه مطالعاتی با استفاده از تصاویر VNIR-SWIR و TIR استر.

نقشه زمین‌شناسی و نیز مشاهدات صحرائی دارد (شکل ۲ و ۱۴). همچنین اطلاعات بدست آمده از پردازش تصاویر استر می‌تواند یک راهنمای اکتشافی در پی‌جویی ذخایر مشابه سرب-آهن در واحد قاعده کرتاسه زیرین (Kc) در محور فلزایی ملایر- اصفهان در مقیاس ناحیه‌ای باشد.

بنابراین استفاده از تصاویر VNIR-SWIR بعلاوه باندهای TIR استر در منطقه مطالعاتی به عنوان مکمل یکدیگر عمل کرده و منجر به تولید نقشه تفکیک واحدهای سنگی- کانیایی شده که حداکثر شباهت را با

جدول ۱: انواع واحدهای سنگی، ترکیب کانی‌شناسی، عامل جذب و نوع تصویر استر مورد استفاده جهت شناسایی و تفکیک در منطقه مطالعاتی

نام سنگ	کانی شناسی	عامل جذب مولکولی	طول موج جذب شاخص (میکرومتر)	محدوده طیفی مورد استفاده
شیل - ماسه سنگ ژوراسیک (Jms) و (Jph)	کوارتز- کانیهای رسی (موسکویت و ایلیت)	Si-O Al-OH	۸/۷ μm (باند ۱۲) ۲/۲ μm (باند ۸)	TIR VNIR-SWIR
ماسه سنگ قاعده کرتاسه زیرین (Kc)	۱- بخش ماسه سنگی کانی رسی- کوارتز- کانیهای آهن‌دار ۲- دولومیت و کانیهای آهن‌دار در زونهای کانی سازی شده	Al-OH Fe ⁺² , Fe ⁺³ CO ₃	۲/۲ μm (باند ۸) ۰/۸ μm (باند ۳) باند ۷ و باند ۸	VNIR-SWIR
آهک رس‌دار (km)	کلسیت- کانیهای رسی	CO ₃ Al-OH	۲/ ۳۳ μm (باند ۸) ۲/۲ μm (باند ۸)	TIR VNIR-SWIR
آهک توده‌ای (kl)	کلسیت	CO ₃	۲/ ۳۳ μm (باند ۸)	VNIR-SWIR
دولومیت ماسه‌ای (kld)	دولومیت	CO ₃	باند ۷ و باند ۸	VNIR-SWIR

فلزایی ملایر- اصفهان در غرب ایران، اهمیت و سودمندی این تصاویر را در شناسایی و به نقشه درآوردن انواع واحدهای سنگی- کانیایی را نشان می‌دهد. به منظور

نتیجه گیری
مطالعه موردی استفاده از پردازش طیفی تصاویر ماهواره- ای استر در منطقه آهنگران (جنوب شرق ملایر) در محور

(کلسیت و دولومیت) و واحد ماسه سنگ قاعده کرتاسه به عنوان سنگ میزبان ماده معدنی و نیز معرفی ویژگی طیفی مناطق امید بخش کانی سازی سرب-آهن را نشان می دهد. این تفکیک بر اساس ویژگی جذب منحنی طیفی عوامل مولکولی چون CO_3 ، Al-OH و Fe^{+2} صورت گرفته است. نقشه نهایی تفکیک واحدهای سنگی تطابق جالبی را با نقشه زمین شناسی منطقه و مطالعات صحرایی نشان می دهد. بنابراین کاربرد تصاویر استر و انجام روش های پردازشی مختلف می تواند به تهیه نقشه های تفکیک سنگ ها- کانی ها مبتنی بر تصویر کمک کند.

-قلیچ پور، ح.، پور احمدی، م. و حسینخانی، ا.، ۱۳۹۱. پروژه تحقیقاتی- معدنی اکتشافات ژئوشیمیایی معدن آهنگران، ۱۳۶ص.
-کهنسال، ر.، ۱۳۸۳. نقشه و گزارش برگه یکصد هزار خنداب، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-Abrams, M. and Hook, S., 2001. ASTER User Handbook (Version 2): Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA-91109, USA, 135 p.
-Abdelsalam, M.G., Stern, R. J. and Berhane, W.G., 2000. Mapping gossans in arid regions with Landsat TM and SIR-C images, the Beddaho Alteration Zone in northern Eritrea: Journal of African Earth Sciences, v. 30(4), p. 903-916.
-Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations: Tectonophysics, v. 229, p. 211- 238.
-Boardman, J. W., Kruse, F. A. and Green, R. O., 1995. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data: Proceedings of the Fifth JPL Airborne Earth

انتخاب رده های طیفی-سنگی در منطقه مورد مطالعه، تصاویر TIR (فروسرخ گرمایی) و ۹ باند کالیبره -VNIR SWIR (مرئی تا فروسرخ موج کوتاه) استر بر اساس جذب طیفی شاخص برخی از کانی های مهم سنگ ساز به همراه نقشه زمین شناسی و مشاهدات صحرایی مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از تصاویر TIR استر، دو تیپ از واحدهای اصلی منطقه از جمله شیل- ماسه سنگ های غنی از کوارتز ژوراسیک و سنگ های کربناته کرتاسه زیرین به نقشه درآمده است. نقشه -VNIR SWIR استر توزیع مکانی دقیقی از گسترش انواع واحدهای سنگی از جمله شیل و ماسه سنگ غنی از رس به سن ژوراسیک، انواع سنگ های کربناته کرتاسه زیرین

منابع

-جعفریان، م. ب. و زمانی پدرام، م.، ۱۳۷۸. نقشه برگه یکصد هزار ملایر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Science Workshop, JPL Publication, v. 95(1), p. 23- 26.
-Clark, R.N., Swayze, G.A., Gallagher, A.J., King, T.V.V. and Calvin, W.M., 1999. The U.S. Geological Survey, digital spectral library, version 1:0.2 to3.0 microns: U.S. Geological Survey Open-file Report, p. 93- 592.
-Crósta, A.P. and Filho, C.R.d.S., 2003. Searching for gold with ASTER: Earth Obs Mag. v.12(5), p. 38-41.
-Di Tommaso, I. and Rubinstein, N., 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina: ore geology reviews sciencedirect, v. 32, p. 275-290.
-Fujisada, H., 1995. Design and performance of ASTER instrument: Proceedings of SPIE,

- the International Society for Optical Engineering, v. 2583, p. 16–25.
- Gad, S. and Kusky, T., 2006. Lithological mapping in the Eastern Desert of Egypt, the Barramiya area, using Landsat thematic mapper (TM): *Journal of African Earth Sciences*, v. 44, p.196–202.
- Gad, S. and Kusky, T.M., 2007. ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian–Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt: *Gondwana Res*, v. 11(3), p. 326–335.
- Gillespie, A.R., Kahle, A.B. and Walker, R.E., 1986. Color enhancement of highly correlate images, I. Decorrelation and HIS contrast stretches: *Remote Sensing of Environment*, v. 20, p. 209–235.
- Ghasemi, A. and Talbot, C.J., 2005. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran): *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 26, p. 683–693.
- Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K. and Mauger, A.J., 2005. Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona Province of Australia: *Remote Sensing of Environment*, v. 99, p. 159–172.
- Hunt, G. R., Salisbury, J. W. and Lenhoff, C. R., 1972. Visible and near infrared Spectra of minerals and rocks, V. Halides, phosphates, arsenates, vanadates and borates: *Modern Geology*, v. 3, p.121– 132.
- Hunt, G. R., 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared: *Geophysics*, v. 42(3), p. 501– 51.
- Lyon, R.J.P., 1964. Evaluation of infrared spectrophotometry for compositional analysis of lunar and planetary soils, II: NASA Contractor Report, NASA CR, United States: National Aeronautics and Space Administration, 100p.
- Mars, J.C. and Rowan, L.C., 2011. ASTER spectral analysis and lithologic mapping of Khanneshin carbonatite volcano, Afghanistan: *Geosphere*, v. 7, p.276–289.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 21, p. 397–412.
- Momenzadeh, M., 1976. Stratabound lead–zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayer–Esfahan district (west Central Iran), lithology, metal content, zonation and genesis: Unpublished PhD thesis, University of Heidelberg, 300 p.
- Ninomiya, Y., Fu, B. and Cudahy, T.J., 2005. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data: *Remote Sensing of Environment*, v. 99, p. 127–139.
- Ninomiya, Y., Fu, B. and Cudahy, T.J., 2006. Corrigendum to Detecting lithology with Advanced –Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared radiance-at-sensor data: *Remote Sensing of Environment*, v. 101, p. 567.
- Reichert, J., 2007. A metallogenic model for carbonate-hosted non-sulfide zinc deposits based on observations of Mehdi Abad and Iran Kouh, central and southwestern Iran :[Unpublished Ph.D. thesis], Shillong, University of Martin Luther, 129 p.
- Rowan, L.C., Hook, S.J., Abrams, M.J. and Mars, J.C., 2003. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system: *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, v. 98(5), p.1019–1027.
- Rowan, L.C., Mars, J.C. and Simpson, C.J., 2006. Lithologic mapping of the Mordor, Northern Territory, Australia ultramafic complex using Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer (ASTER) data: *Remote Sensing of*

Environment, v. 99, p. 105–126, doi:
10.1016/j.rse.2004.11.021.
-Rowan, L.C. and Mars, J.C., 2003.
Lithologic mapping in the Mountain Pass,

California area using Advanced Spaceborne
Thermal Emission and Reflection
Radiometer (ASTER) data: Remote Sensing
of Environment, v. 84, p. 350–366.

Archive of SID