

آشکارسازی کسر فراوانی و توزیع مکانی کانیهای رسی با استفاده از رده بندی

زیر پیکسلی داده های استر؛ مطالعه موردی، معدن استقلال آباده

مجید هاشمی تنگستانی^۱، مسلم عزیزی^۲

۱- بخش علوم زمین و مرکز دورسنجی و GIS، دانشگاه شیراز

۲- بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۱۴، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۹/۲۶

چکیده

معدن خاک نسوز استقلال آباده با ترکیب اصلی کائولینیت و پیروفیلیت و تولیدی بالغ بر یک میلیون تن در سال، یکی از بزرگترین کانسارهای رسوبی در ایران است. فرآیندهای نامیختگی طیفی خطی و پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته برای شناسایی کسر فراوانی و توزیع مکانی کانیهای رسی موجود در این معدن بر روی دسته داده های مرئی- فرورسرخ نزدیک و فرورسرخ موج کوتاه (VNIR+SWIR) سنجنده استر اعمال شد. ارزیابی فراوانی زیرپیکسلی داده استر نشان داد که پیکسل های با فراوانی نسبی بالا از دو کانی کائولینیت و پیروفیلیت در دو محدوده متفاوت رخنمون پیدا کرده اند. بررسی دو روش نامیختگی طیفی، نشان دهنده قابلیت بهتر روش پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته نسبت به الگوریتم نامیختگی طیفی خطی برای تعیین کسر نسبی کانیهای رسی در ناحیه مورد مطالعه است.

واژه های کلیدی: رده بندی زیرپیکسلی، استر، نامیختگی طیفی خطی، پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته.

مقدمه

داده های خام سنجنده استر می باشد پس از تصحیح رادیومتریک و هندسی به دسته داده LIB تبدیل شده و برای کاربریهای مختلف آماده می شود. به طور معمول هر پیکسل تصویر چند طیفی، حاوی چند نوع پوشش و در نتیجه شامل ترکیبی از چند نشان طیفی مختلف است. از این رو این پیکسل ها را (برخلاف پیکسل های خالص که دارای نشان طیفی واحد هستند) به عنوان پیکسل های آمیخته می شناسند. پیکسل های آمیخته به دو دلیل وجود دارند: اول این که توان تفکیک مکانی سنجنده های چند طیفی در مقیاس چندین متر می باشد که در نتیجه آن پوشش مکانی هر پیکسل می تواند در بردارنده چند سیمای مختلف با نشان طیفی متفاوت باشد و دوم این که صرف نظر از توان تفکیک مکانی، سیمای مجزا (مانند کانیهای) می توانند به صورت آمیختگیهای همگن یافت شوند که خود می تواند باعث ابهام در تشخیص آنها شود.

سنجنده استر همراه با چهار سنجنده دیگر سوار بر ماهواره ترا، از سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شده و داده های آن از سال ۲۰۰۰ در اختیار کاربران قرار گرفته است. از آن جا که این سنجنده دارای توان تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتریک نسبتاً بالایی است، از همان ابتدا به طور گسترده توسط زمین شناسان مورد استفاده قرار گرفته است. رفتار طیفی گروههای مهم کانیهای، به ویژه کانیهای دگرسانی در زیرسیستم های مرئی - فرورسرخ نزدیک (VNIR) استر با سه باند طیفی در محدوده ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرومتر، زیرسیستم فرورسرخ موج کوتاه (SWIR) با شش باند طیفی در محدوده ۱/۶۰ تا ۲/۴۳ میکرومتر و زیرسیستم فرورسرخ گرمایی (TIR) آن با پنج باند طیفی در محدوده ۸/۱۲۵ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر به کاربرد وسیع این دسته داده ها در شناسایی و اکتشاف منابع معدنی منجر شده است [۱]. این سیستم ها به ترتیب دارای توان تفکیک مکانی ۳۰، ۱۵ و ۹۰ متر هستند. تصاویر دسته داده LIA که

زون سنندج سیرجان و صفحه ایران مرکزی واقع شده است. براساس گزارش گروه تحقیقاتی ایرانی- ژاپنی [۴] ستون چینه‌شناسی ناحیه آباده با سنگهای آذرین پرکامبرین شروع می‌شود که توسط شیل و ماسه سنگ پالئوزوئیک زیرین پوشیده شده است. رسهای دونین، ماسه سنگهای پالئوزوئیک زیرین را می‌پوشانند و در زیر ماسه سنگ و آهک کربونifer قرار دارند. همچنین سنگهای پرمین، تریاس و کرتاسه به خوبی در ناحیه آباده به صورت توالی آهک با مارن نازک دیده می‌شوند که توسط توالیهای آهک و مارن ائوسن، الیگوسن و میوسن پوشیده شده اند (شکل ۲).

معدن استقلال در محدوده ای به وسعت ۱۵ کیلومتر مربع در فاصله تقریبی ۱۰ کیلومتری شمال شرق آباده و ۲۶۵ کیلومتری شیراز (شکل ۱) قرار دارد و با ذخیره کلی حدود ۸۵ میلیون تن یکی از بزرگترین کنسارهای رسوبی است که مواد معدنی در آن به صورت روباز و پلکانی استخراج می‌شود. گستره ماده مفید معدنی نزدیک به ۱۰۰۰ متر درازا و ۸۰۰ متر پهنا داشته و ضخامت نهشته‌های رسی در حدود ۲۰۰ متر است. براساس سن کنودنت‌ها، میان لایه‌های نازک آهکی در نهشته‌های رس، متعلق به آشکوب فامنین میانی می‌باشند [۶]. بنابراین سن نهشته‌های رس پایین، کمتر از آشکوب فراسنین بالایی و نهشته‌های بالا، به سن فامنین بالایی (دونین) می‌باشند. از نظر کانی‌شناسی، ماده معدنی کنسار استقلال عمدتاً دارای کانیهای کائولینیت، پیروفیلیت و به شکل فرعی ایلیت، کلریت، کوارتز، آناتاز و اکسیدهای آهن است [۷] که کنکرسین‌های آهنی در میان لایه‌های مواد معدنی وجود دارند. در محدوده کنسار استقلال سنگهای دونین، کربونifer زیرین، پرمین، تریاس و سرانجام نهشته‌های کواترنرگسترش دارند. بر روی ماسه سنگ، شیل و رسهای دونین، سنگ آهک و ماسه سنگ کربونifer با ضخامت نزدیک به ۳۰۰ متر قرار دارد که آنها نیز به وسیله آهک و دولومیت‌های پرمین پوشیده می‌شوند.

سنگ آهک خاکستری تیره تریاس، عمدتاً در قسمت جنوبی و شرقی کنسار گسترش دارد. دایک‌های دیابازی و توده‌های دیوریتی و گرانودیوریتی به سن تقریبی پرمین تا اوایل تریاس سنگهای آذرین را تشکیل می‌دهد.

با توجه به این‌که هر پیکسل می‌تواند به عنوان آمیختگی بالقوه‌ای از نشان طیفی هدف با سایر سیمماها تلقی شود و نشان طیفی آمیخته نیز نماینده همه مواد موجود در پیکسل تصویر خواهد بود، ضروری است که برای حل مسأله آمیختگی طیفی، خصوصیات طیفی کلیه عضوهای انتهایی موجود و مشخصات طیفی کانیهای مورد مطالعه تعیین شوند.

به دلیل پدیده آمیختگی طیفی، پیکسل‌های چند طیفی در مدلی به همین نام مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. مدل آمیختگی طیفی خطی بر مبنای این فرضیه استوار است که پاسخ طیفی برای یک پیکسل، ترکیب خطی شار تابشی هر مولفه پوشش زمینی در داخل آن پیکسل است [۲]. روشهای ناآمیختگی طیفی خطی^۱ و پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته^۲ دو نمونه از این مدل‌ها هستند. LSU کسر مؤلفه‌های موجود در آمیختگی را تعیین کرده و MTMF فراوانی عضوهای انتهایی^۳ را با استفاده از رویکرد ناآمیختگی بخشی مورد ارزیابی قرار می‌دهد [۳].

با توجه به قابلیت داده‌های استر در بارزسازی و ارزیابی فراوانی کانیهای رسی، همچنین وفور و گسترش دو کانی کائولینیت و پیروفیلیت و اهمیت آنها به عنوان ماده استخراجی اصلی در محدوده معدنی استقلال؛ در این تحقیق، این دو کانی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مقادیر بالای کانی پیروفیلیت نسبت به کائولینیت مرغوبیت ماده اولیه خاک نسوز را برای استفاده در صنایع مختلف بالا می‌برد و تعیین تقریبی پراکندگی این کانیها در محیطهای معدنی خاک نسوز، برای هدفمند کردن عملیات بهره برداری مناسب خواهد بود.

هدف از این مطالعه بارزسازی و ارزیابی زیرپیکسلی فراوانی کانیهای رسی (کائولینیت، پیروفیلیت) معدن خاک نسوز استقلال و توزیع مکانی آنها با استفاده از طیف تصویر داده‌های سنجنده استر و مقایسه قابلیت‌های دو مدل LSU و MTMF در این ارتباط است.

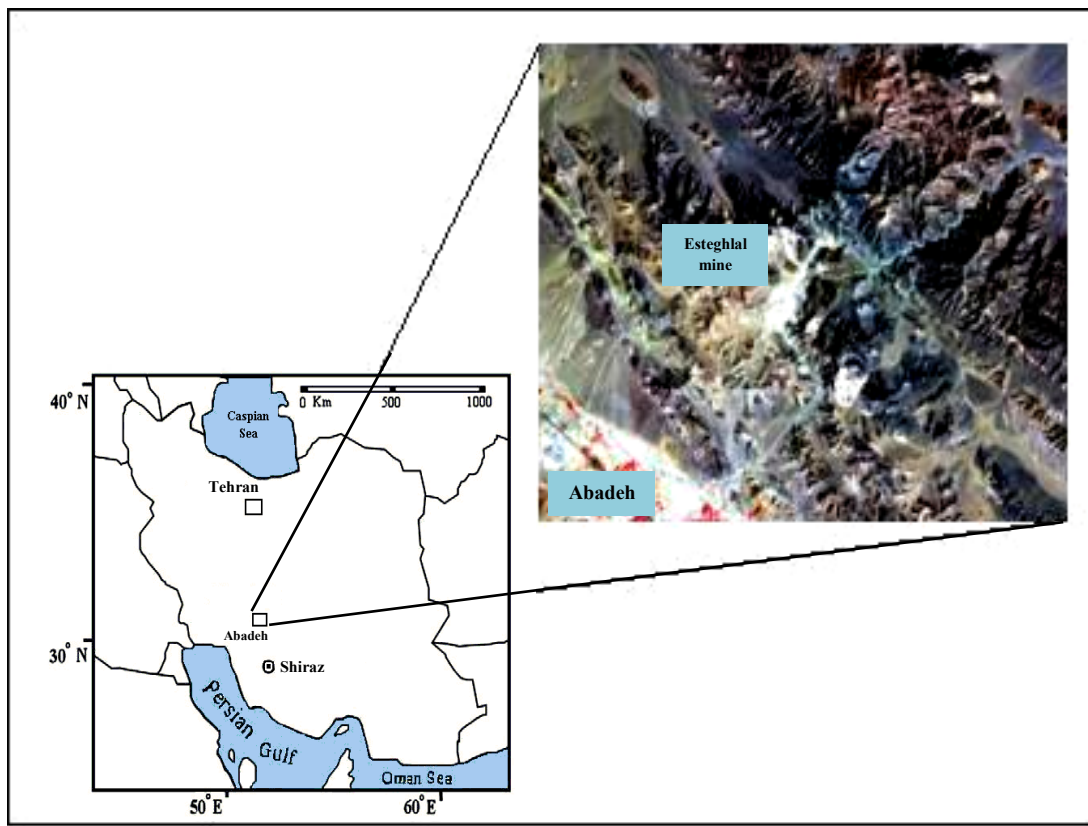
زمین‌شناسی

منطقه مطالعاتی (شکل ۱) در شمال آباده (عرض جغرافیایی ۳۱°۲۱' تا ۳۱°۲۱' و طول جغرافیایی ۵۲°۳۳' تا ۵۲°۵۰') در بین

۱. از این پس به اختصار با LSU نشان داده می‌شود.

۲. از این پس به اختصار با MTMF نشان داده می‌شود

3. Endmember



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه.

هندسی نیز بر روی این داده‌ها انجام شد. این تصحیح با استفاده از مختصات ۴۸ نقطه از نقاط کنترل زمینی که از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه استخراج شده‌اند، صورت گرفت.

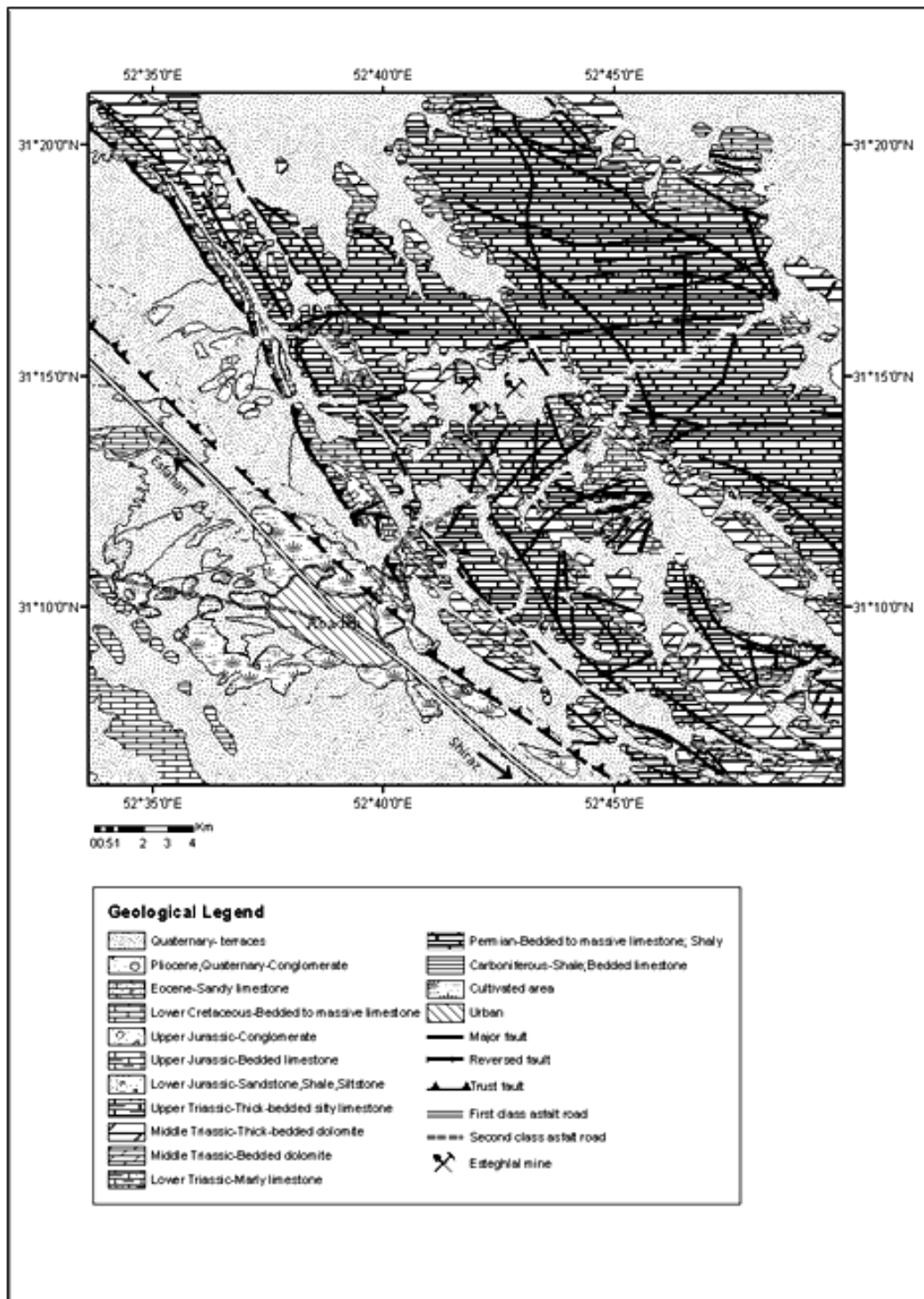
از آنجا که برهم‌کنش امواج الکترومغناطیسی با جو زمین سبب افزایش یا کاهش بازتابهای واقعی از سطح زمین می‌شود ضروری است تا در مراحل اولیه تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، تصحیح جوی نیز بر روی آنها صورت گیرد. روش به‌کار رفته در این پژوهش کالیبراسیون بازتاب نسبی متوسط داخلی^۱ است که برای تصحیح داده‌های سنجنده‌های تصویری به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک و در صورت عدم دسترسی به داده‌های میدانی کافی، برای کالیبراسیون بسیار مفید است [۹]. کارایی این روش برای مناطق نیمه‌خشک ایران پیشتر توسط تنگستانی و همکاران نشان داده شده است [۱۰].

کانی کائولینیت از هوازدگی سنگهای اولیه گرانیت - ریولیت در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب تشکیل شده و سپس طی فرآیند حمل و نقل به محیط فعلی منتقل شده‌اند. در ادامه به دلیل حضور کائولینیت، کوارتز و دمای تامین شده از توده‌های نفوذی منطقه، کانی‌زایی پیروفیلیت نیز صورت گرفته است. به عبارتی می‌توان گفت که کانی کائولینیت به صورت نابر جا و کانی پیروفیلیت به صورت بر جا بوده است. به همین دلیل کائولینیت در بخشهای سطحی معدن گسترش داشته و پیروفیلیت با افزایش عمق نمایان می‌شود [۸].

روش مطالعه

در این مطالعه ابتدا دسته داده‌های VNIR و SWIR از تراز L1B استر براساس توان تفکیک مکانی دسته اول مورد بازنویسی قرار گرفت تا تمام پیکسل‌های ۹ بانده دارای ابعاد ۱۵ × ۱۵ متر باشند. به منظور کنترل نتایج پردازش‌ها بر مبنای محدوده متناظر زمینی پیکسل‌های تصویر، تصحیح

1. Internal Average Relative Reflectance (IARR)



شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه که براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ (آباده (سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۸۱) تعمیم یافته است [۵].

باشد در این صورت باید محدودیت‌های مثبت بودن^۴ یا حاصل جمع تا یک یا کمتر^۵ را انتخاب کرد. این الگوریتم بر روی داده‌های کالیبره شده استر اعمال شد و در ادامه با احتساب محدودیت مثبت بودن برای داده بازتابی IARR تعداد ۳۰ عضو انتهایی به دست آمد که به علت تنوع در پوشش گیاهی، نوع کانیها و میزان حضور آنها در هر محدوده پیکسلی این ۳۰ عضو انتهایی دارای سیماهای طیفی متنوع می‌باشند. تنوع در پوشش زمین به طور معمول به تولید عضوهای انتهایی با رفتار طیفی متفاوت نسبت به عضوهای انتهایی مورد نظر این تحقیق می‌انجامد که طبعاً نمی‌تواند در الگوریتم‌های طیف پایه مورد استفاده قرار گیرد، به همین دلیل از آن دسته از منحنیهای طیفی که دارای بیشترین شباهت با سیماهای کاتولینیت و پیروفیلیت بودند استفاده شد. همچنین بیشترین تعداد عضوهای انتهایی قابل بررسی در ناآمیختگی طیفی خطی برابر تعداد باندها، منهای یک می‌باشد [۱۳]. با توجه به ویژگیهای سنگ شناختی و کانی شناختی منطقه از یک سو و با توجه به این که در محدوده مورد مطالعه تعداد کانیهای موجود کمتر از ۱۰ عددند، به منظور کاهش عضوهای انتهایی اولیه استخراجی از روش SMACC، از گزینه تکراری فرآیند LSU استفاده شد. در نتیجه، با حذف عضوهای انتهایی منفی‌تر در هر تکرار (به دلیل حضور کمتر آن عضو انتهایی نسبت به مجموعه عضوهای انتهایی دیگر در پیکسل‌ها) [۱۴]، تعداد ۸ عضو انتهایی برای اجرای دو الگوریتم ناآمیختگی طیفی انتخاب شدند (شکل ۳). با توجه به شکل ۳، منحنیهای ۳، ۱۷ و ۲۸ به نوعی نمایانگر کانیهای کربناته (مانند کلسیت) می‌باشند، منحنیهای ۷ و ۲۴ نیز نشان دهنده باندهای جذبی حاصل از تأثیر ترکیبات آهن‌دار (مانند هماتیت، گوتیت و ژاروسیت) هستند و منحنیهای ۶ و ۱۲ نمایانگر کانی پیروفیلیت می‌باشند. همچنین نمودار ۲۱ طیف کانی کاتولینیت را نشان می‌دهد.

بر مبنای فرضیه آمیختگی طیفی خطی هرچه عمق باند جذبی در سیمای طیفی بیشتر باشد نشان‌دهنده فراوانی بیشتر آن عضو انتهایی در باند طیفی مورد نظر خواهد بود. به عبارت دیگر، میزان عمق جذب طیف عضو انتهایی فراوانی آن عضو را در محدوده جذب نشان می‌دهد. با توجه به شرایط زمین‌شناسی

در ادامه از روش مخروط محدب بیشترین زاویه متوالی^۱ برای انتخاب عضوهای انتهایی و از دو الگوریتم LSU و MTMF برای آنالیز آمیختگی طیفی استفاده شد. در پایان نتایج این دو الگوریتم با یکدیگر و با مشاهدات میدانی مقایسه و کنترل شدند.

انتخاب عضوهای انتهایی

انتخاب و شناسایی عضوهای انتهایی یک تصویر، کلیدی برای موفقیت در روش ناآمیختگی طیفی خطی است [۱۱]. عضوهای انتهایی مواد مشخصی هستند که به صورت کامل یا جزئی بخشهای مختلف پیکسل‌های تصویر ماهواره ای را تشکیل داده و به طور معمول دارای مشخصه طیفی ویژه می‌باشند. سیمای طیفی مجموعه عضوهای انتهایی موجود در یک پیکسل خاص، طیف آن پیکسل را می‌سازد. به طور ایده‌آل هر عضو انتهایی می‌تواند یک ماده خالص طیفی است اما پیکسل‌های خالص هر عضو انتهایی الزاماً نمی‌تواند در تصویر وجود داشته باشد.

در انتخاب عضوهای انتهایی تصاویر سنجنده‌های چندطیفی روشهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفته که از جمله آنها می‌توان به روش شاخص خلوص پیکسل^۲ و الگوریتم طیفی مخروط محدب بیشترین زاویه متوالی^۳ اشاره کرد. در این تحقیق روش SMACC برای انتخاب عضوهای انتهایی از دسته داده‌های VNIR+SWIR به کار گرفته شد. الگوریتم طیفی مخروط محدب بیشترین زاویه متوالی عضوهای انتهایی داده‌های چند طیفی‌ای را که پیشتر کالیبره شده‌اند به صورت خودکار پیدا می‌کند [۱۲]. SMACC ابتدا روشن‌ترین پیکسل را در تصویر تعیین کرده و سپس پیکسلی را که نسبت به پیکسل اول متمایز می‌باشد انتخاب می‌کند. این فرآیند تا اکتساب تعداد ویژه ای از عضوهای انتهایی تصویر تکرار خواهد شد. طیف استخراجی از یک پیکسل تصویر می‌تواند نشان‌دهنده سایر سیماهای موجود در تصویر نیز باشد. SMACC مدل مخروط محدب را به همراه محدودیت‌هایی برای شناسایی طیف عضو انتهایی مورد استفاده قرار می‌دهد. به عنوان مثال اگر داده اولیه دسته داده بازتابی کالیبره شده

1. Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC)

2. Pixel Purity Index (PPI)

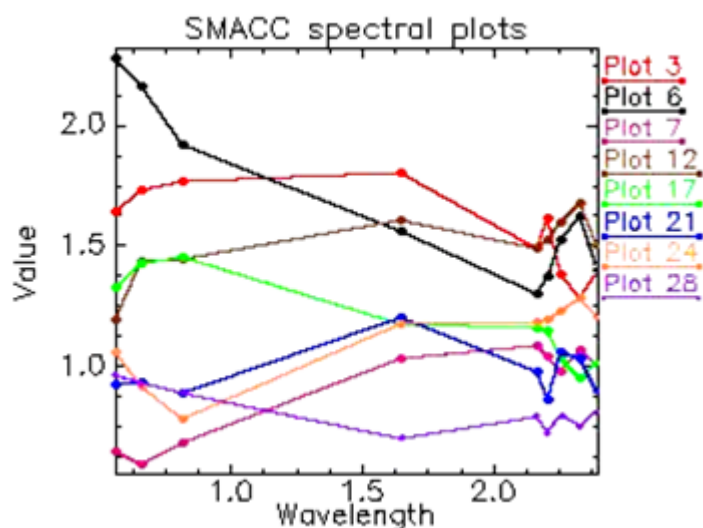
۳. از این پس به اختصار با SMACC نشان داده می‌شود.

4 Positivity

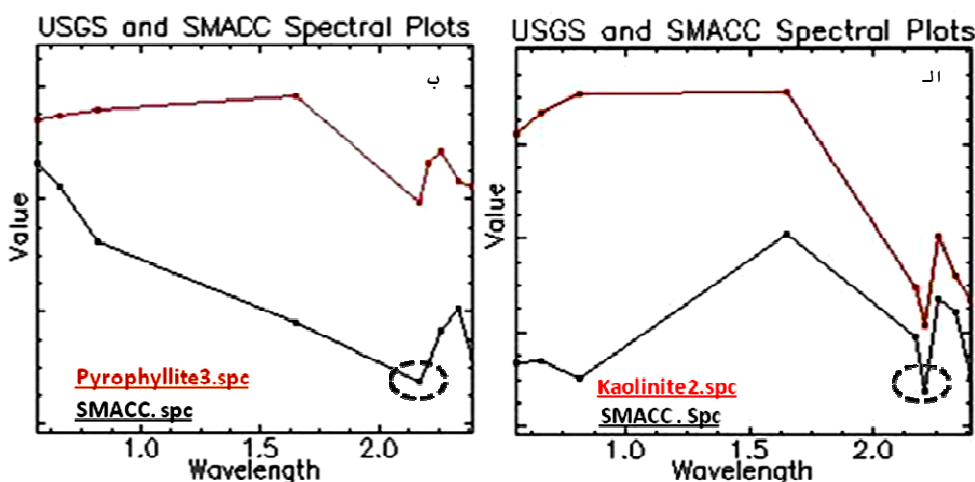
5. Sum-to-unity or less

همچنین انطباق محدوده جذبی باند ۵ طیف پیروفیلیت کتابخانه USGS با طیف خروجی SMACC (شکل ۴ ب) نمایانگر طیف عمومی پیروفیلیت برای این عضو انتهایی خروجی می‌باشد. لازم به ذکر است که در شکل‌های ۴-الف و ب باند جذبی ضعیفی در نزدیکی طول موج ۰/۸۰ میکرومتر در طیف SMACC نیز دیده می‌شود که مربوط به انتقال الکترونی در اکسیدهای آهن است. وجود این اکسیدها در معدن استقلال به شکل کانی فرعی بیشتر گزارش شده است [۷].

منطقه مورد مطالعه تمام کانیها (عضوهای انتهایی) در یکدیگر مخلوط بوده و به ندرت تنها مشاهده می‌شوند. باتوجه به هدف مقاله برای بارسازی کانیهای کائولینیت و پیروفیلیت، دو عضو انتهایی مشابه با رفتار طیفی این دو کانی (شکل ۴) از میان ۸ عضو انتهایی انتخاب شدند. ویژگی طیفهای خروجی SMACC با کتابخانه طیفی USGS پس از بازنویسی آنها به باند بازتابی استر مورد بررسی قرار گرفت. انطباق محدوده جذبی باند ۶ طیف خروجی SMACC با طیف خالص کائولینیت کتابخانه طیفی USGS، بیانگر سازگاری طیف SMACC با طیف کائولینیت است (شکل ۴ الف).



شکل ۴. طیفهای SMACC حاصل از فرآیند تکراری مدل نامیختگی طیفی.

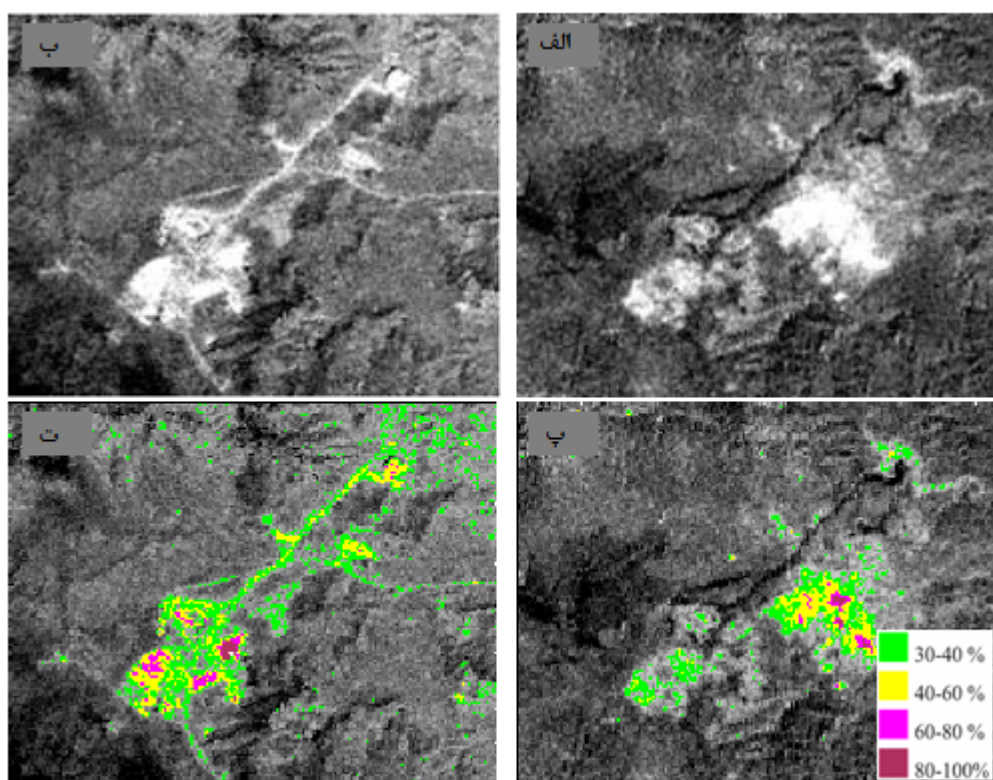


شکل ۴. الف) مقایسه طیف کائولینیت حاصل از روش SMACC با طیف کائولینیت کتابخانه طیفی USGS. ب) مقایسه طیف پیروفیلیت حاصل از روش SMACC با طیف پیروفیلیت کتابخانه طیفی USGS.

نآمیختگی طیفی خطی (LSU)

مدل LSU فراوانی مواد حاضر در پیکسل تصویر را طی ارزیابی بازتاب پیکسل در هر باند تعیین می‌کند که با ترکیب خطی بازتابهای مواد موجود در داخل پیکسل برابری می‌کند. نآمیختگی خطی، طیف پیکسل و طیف عضوانتهایی را دریافت کرده و فراوانی هر پیکسل را از نظر کمی و کیفی ارزیابی می‌کند. در این مدل بیشترین تعداد عضوانتهایی قابل بررسی برابر تعداد باندها، منهای یک بوده و نتایج نآمیختگی طیفی به میزان زیادی وابسته به تعداد و نوع عضوهای انتهایی ورودی است. خروجی LSU علاوه بر تصویر خطای ریشه دوم میانگین، به صورت تصاویر خاکستری به ازای هر عضو انتهایی خواهد بود. تصویر خطا صحت و اعتبار طیف عضوانتهایی را

نسبت به طیف پیکسل‌های تصویر بررسی می‌کند. همچنین کسر فراوانی هر عضوانتهایی باید بین صفر و یک باشد [۱۴]. ۸ عضوانتهایی به‌دست آمده از گزینه تکراری فرآیند LSU به عنوان طیفهای مرجع برای اجرای نآمیختگی طیفی خطی به این الگوریتم معرفی شدند، اما با توجه به به اهمیت و فراوانی دو عضوانتهایی کائولینیت و پیروفیلیت در منطقه مورد مطالعه، تنها طیف این دو کانی مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است تصویر خروجی منحنی شماره ۱۲ به دلیل خطای بالای این منحنی نسبت به طیف خالص کانی پیروفیلیت و منحنی خروجی SMACC مورد بررسی قرار نگرفت. شکل ۵ فراوانی و توزیع مکانی دو عضو انتهایی کائولینیت و پیروفیلیت را نشان می‌دهد.



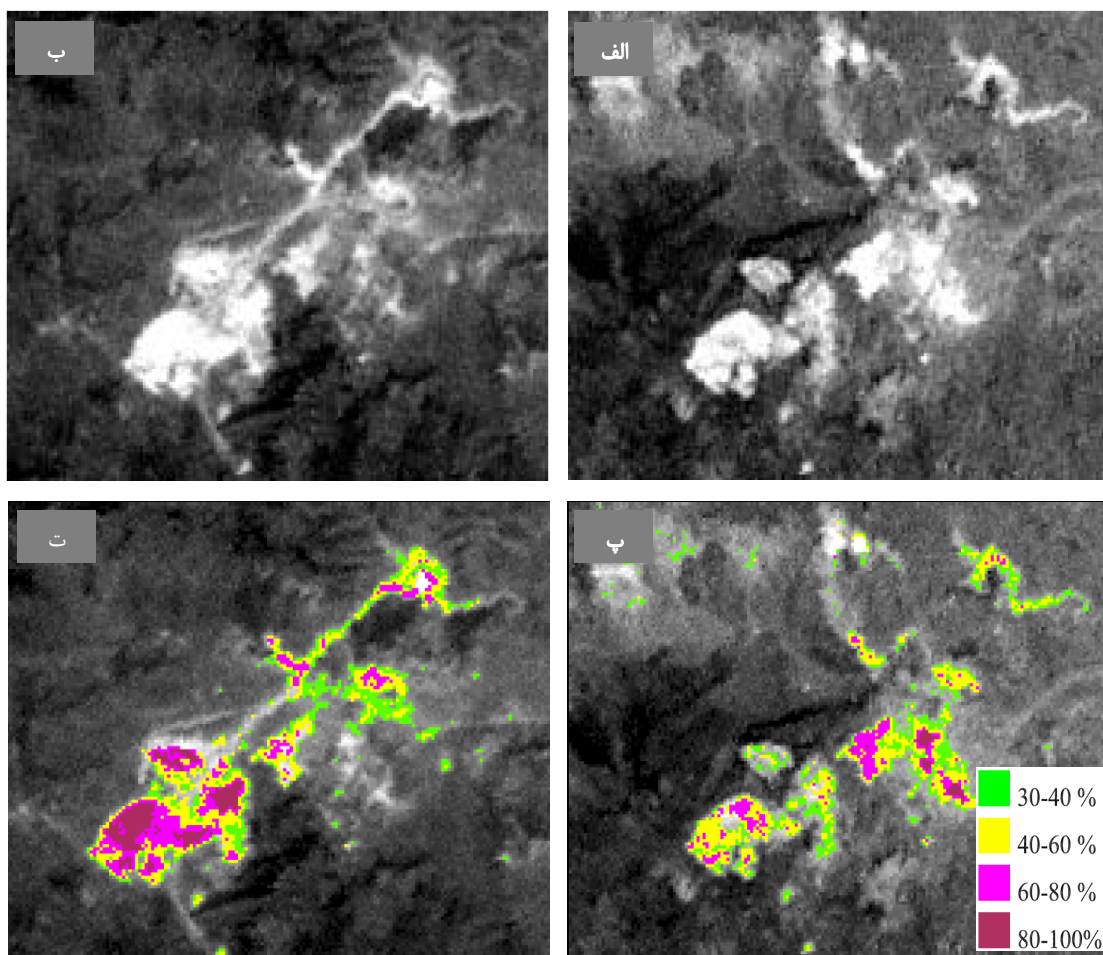
شکل ۵. توزیع مکانی و درصد فراوانی کانیهای رسی براساس نتایج الگوریتم LSU؛ الف و ب) تصاویر خروجی LSU پیش از رده بندی. پ) توزیع مکانی و درصد فراوانی عضوانتهایی کائولینیت به همراه راهنمای درصد فراوانی کانیهای (لازم به ذکر است که راهنمای درصد فراوانی کانیها برای هر دو شکل پ و ت صادق است). ت) توزیع مکانی و درصد فراوانی عضوانتهایی پیروفیلیت.

کاهش موقعیتهای نادرست و افزایش دقت پالایه آمیخته مفید است.

الگوریتم MTMF با استفاده از ۸ عضو انتهایی به دست آمده از روش SMACC بر روی دسته داده IARR سیستم استر اعمال و با استفاده از نمودار پراکنش دو بعدی، پیکسل‌های با ارزش امکان ناپذیری پایین تر از حد آستانه ۵ و ارزش‌های بین ۰-۱ از خروجی پالایش تطبیق یافته جدا شدند. کسر فراوانی و توزیع مکانی دو عضو انتهایی کائولینیت و پیروفیلیت در تصویر خروجی الگوریتم MTMF در شکل ۶ نشان داده شده است.

پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته (MTMF)

پالایش تطبیقی تنظیم شده آمیخته فراوانی عضوهای انتهایی را با استفاده از نگرش ناآمیختگی بخشی ارزیابی می‌کند. مهمترین مزیت این روش نسبت به الگوریتم LSU، اجرای آن توسط حتی یک عضو انتهایی است، بدین معنا که در این روش نیازی به حضور همه عضوهای انتهایی موجود در تصویر نیست. خروجیهای MTMF شامل تصاویر پالایش تطبیق یافته (MF) و تصاویر با ارزشهای امکان ناپذیری به ازای هر عضو انتهایی است. مقدار MF از کمینه صفر شروع شده و پیکسل‌های با ارزش بزرگتر از صفر کسری از مولفه هدف را نشان می‌دهد. ارزشهای امکان ناپذیری حاصل از MTMF در



شکل ۶. توزیع مکانی و درصد فراوانی کانیهای رسی براساس نتایج الگوریتم MTMF؛ الف و ب) تصاویر خروجی MTMF پیش از رده بندی. پ) توزیع مکانی و درصد فراوانی عضو انتهایی کائولینیت به همراه راهنمای درصد فراوانی کانیهای (لازم به ذکر است که راهنمای درصد فراوانی کانیها برای هر دو شکل پ و ت صادق است.) ت) توزیع مکانی و درصد فراوانی عضو انتهایی پیروفیلیت.

بحث و بررسی

خاک نسوز استقلال از نظر کانی شناسی به طور عمده دارای کائولینیت و پیروفیلیت است که به همراه کانیهای ایلیت، کوارتز، همتایت، آناز و کلریت در محیط رسوبی با یکدیگر مخلوط شده‌اند؛ از این رو عضوهای انتهایی حاصل از اجرای الگوریتم SMACC بر روی دسته داده IARR استر، نمایانگر طیفهای آمیخته کائولینیت، پیروفیلیت و دیگر کانیهای فرعی می‌باشند (شکل ۴).

بررسی مشخصات و قابلیت‌های الگوریتم MTMF نشان می‌دهد که این مدل پاسخ طیفی هدف را از میان زمینه ناشناخته آشکار ساخته و فراوانی نسبی هر عضو انتهایی را در تصویری خاکستری نشان می‌دهد. باتوجه به این که کسرهای نسبی پایین‌تر از ۳۰ درصد به ارزشهای زمینه ناشناخته نزدیکتر و دارای دقت پایین می‌باشند، کسر فراوانی خروجیها در هر دو الگوریتم LSU و MTMF بالاتر از ۳۰ درصد انتخاب شد تا خروجیهای دو الگوریتم صحت لازم را نسبت به هر یک از طیفهای هدف داشته باشند. از آنجایی که کانی پیروفیلیت به صورت برجای از کائولینیت نبرجا در عمق بیشتری تشکیل شده است، بهره‌بردارهای روباز معدن منجر به رخنمون کانی پیروفیلیت شده‌است. در همین ارتباط تصویر خروجی الگوریتم LSU (شکل ۵)، توزیع مکانی پیکسل‌های دارای فراوانی ۴۰-۱۰۰ درصد از عضو انتهایی پیروفیلیت را به طور عمده در بخشهای مرکزی محدوده معدن کاری و در عمق بیشتر و پراکندگی پیکسل‌های دارای فراوانی ۳۰-۱۰۰ درصد از عضو انتهایی کائولینیت را در حاشیه معدن کاری نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم MTMF در مقایسه با خروجی مدل LSU، پراکندگی و غنی‌شدگی بیشتر دوکانی کائولینیت و پیروفیلیت را نشان می‌دهد (شکل ۶)، مقایسه تصویر (پ) شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد که پیکسل‌های حاصل از خروجی الگوریتم MTMF پتانسیل بیشتری برای بررسیهای دقیق‌تر اکتشافی دارند. همچنین در شکل ۶-ت پیکسل‌های با فراوانی بالاتر از ۶۰ درصد از کانی پیروفیلیت دارای گسترش و غنی‌شدگی بیشتری نسبت به خروجی الگوریتم LSU بوده که خود تأیید کننده حضور پیروفیلیت در عمق بیشتر است. شکل‌های ۷ و ۸، طیف یکی از پیکسل‌های با فراوانی بیش از ۸۰ درصد از خروجیهای LSU و MTMF را نشان می‌دهد که زمین شناسی اقتصادی دانشگاه شیراز نیز به دلیل کمکهای

در هر دو شکل، انطباق طیفی و عمق باند جذبی طیف کانیهای کائولینیت و پیروفیلیت در خروجی مدل MTMF نسبت به طیف همین کانیها در SMACC دارای شباهت بیشتری است.

لازم به ذکر است که نتایج آزمایشهای طیف سنجی نمونه‌های ارسالی به شرکت IGARSS استرالیا و همچنین نتایج XRD به دست آمده در مطالعات گذشته [۸ و ۱۵]، پراکندگی و فراوانی کانی کائولینیت را در خارج از محدوده معدن کاری و همچنین رخداد و فراوانی بیشتر کانی پیروفیلیت را در محدوده معدن کاری به اثبات رسانیده است.

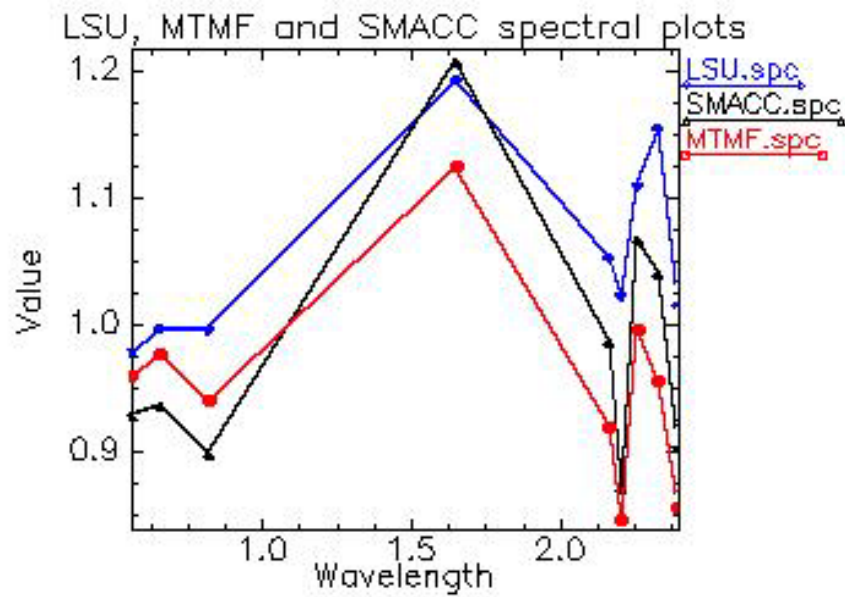
برداشت

با توجه به نتایج حاصل از شکل‌های ۷ و ۸، از آنجا که طیف تصویر مدل MTMF عمق جذب بیشتری نسبت به طیف تصویر خروجی مدل LSU دارد، همچنین براساس مشاهدات میدانی، نتایج طیف سنجی و XRD نمونه‌ها و منطبق بودن خروجی MTMF با ژئومورفولوژی مناطق بهره‌برداری که نشان‌دهنده رخنمون کانی پیروفیلیت در مناطق عمیق‌تر و رخنمونهای سطحی‌تر کائولینیت است، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم MTMF نسبت به الگوریتم LSU دارای دقت بیشتری است.

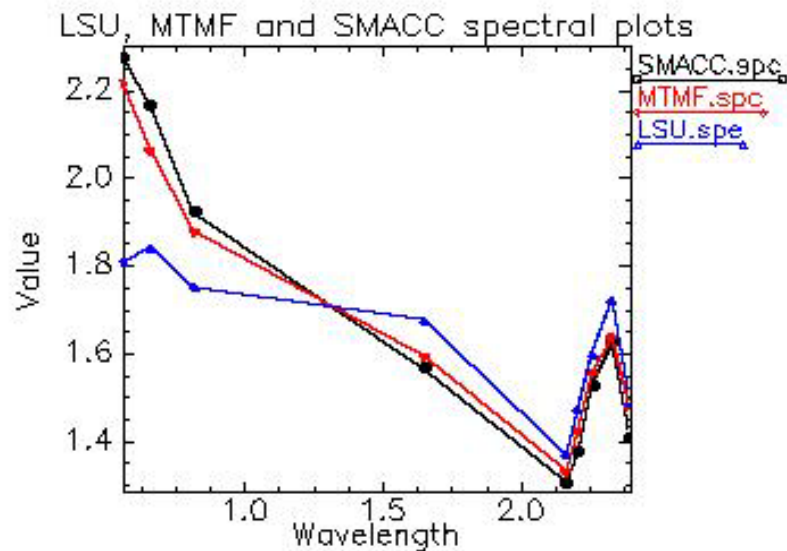
نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که داده‌های استر و مدل آمیختگی طیفی برای اکتشاف کانیهای رسی و تعیین غنی‌شدگی نسبی آنها در مناطق معدنی خاک نسوز، پیش از نمونه‌گیری، انجام آنالیزهای آزمایشگاهی و کانی‌شناختی و عملیات گمانه زنی دارای پتانسیل بالایی بوده که خود می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و بالا بردن کارایی برنامه‌های اکتشافی و تسهیل در امر اکتشاف منجر شود.

قدردانی

از مرکز LPDAA در سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) آمریکا برای ارائه داده‌های ASTER و از آقای دکتر باب آگار مدیر شرکت IGARSS استرالیا برای طیف سنجی نمونه‌ها تشکر می‌شود. از معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز برای فراهم آوردن بخشی از امکانات این تحقیق و از آقای محمد حسن طیبی و خانم مهدیه حسینجانی دانشجویان دکتری بی‌دریغشان در پردازش داده‌ها سپاس‌گزاری می‌نمایم.



شکل ۷. مقایسه طیف تصویر حاصل از خروجیهای با فراوانی بیش از ۸۰ درصد در الگوریتم‌های LSU و MTMF نسبت به طیف کاتولینیت حاصل از الگوریتم SMACC.



شکل ۸. مقایسه طیف تصویر حاصل از خروجیهای با فراوانی بیش از ۸۰ درصد در الگوریتم‌های LSU و MTMF نسبت به طیف پیروفیلیت حاصل از الگوریتم SMACC.

مراجع

- برای کاربرد بهینه آنها"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز (۱۳۸۳).
- [9] Kruse F.A., "Use of airborne imaging spectrometer data to map minerals associated with hydrothermally altered rocks in the Northern Grapevine Mountains, Nevada, and California", *Remote Sens. Environ.* 24 (1988) 31–51.
- [10] Tangestani M.H., Mazhari N., Agar B Moore F., "Evaluating Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semiarid area, northern Shahr-e-Babak, SE Iran", *International Journal of Remote Sensing* 29-10 (2008) 2833–2850.
- [11] Dennison P.E., Roberts D.A., "Endmember selection for multiple endmember spectral mixture analysis using endmember average RMSE", *Remote Sensing of Environment* 87 (2003) 123–135.
- [12] Gruninger J, A. J. Ratkowski M. L. Hoke., "The Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC) Endmember Model", *Proceedings SPIE, Algorithms for Multispectral and Hyper-spectral and Ultraspectral Imagery* 5425-1(2004) Orlando FL.
- [13] Gross H.N., "Application of spectral Mixture Analysis and Image Fusion techniques for Image sharpening: Remote sensing and Environment", 63 (1998) 85-94.
- [14] Van Der Meer F and Dejong S.M., "Remote sensing and digital image processing", imaging spectroscopy Kluwer Academic publited in the Netherlands 4 (2001) p. 306.
- [۱۵] آل سعدی ح، "ژئوشیمی و کانی شناسی کانی‌های رسی کانسار استقلال آباده"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز (۱۳۷۸).
- [1] Yamaguchi Y., Kahle A.B., Tsu H., Kawakami T., and Pniel M., "Overview of advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER)". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 36-4 (1998) 1062–1071.
- [2] Shimabukuro Y. E Smith A. J., "The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* 29-1 (1991) 16–20.
- [3] Harsanyi J. C, Chang C., "Hyperspectral image classification and dimensionality reduction": an orthogonal subspace projection approach, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 32 (1994) 779–785.
- [4] Iranian–Japanese Research Group., "The Permian and Lower Triassic System in Abadeh Region, Central Iran", *Memoir of Faculty of Science, Kyoto University* 47 (1981) 61–133.
- [۵] خلقی م.ج. "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آباده". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۱).
- [6] Mawson R., Yazdi M., Meysamim A., Mannani M Bakhshaei H.M., "New chronological framework based on recovery of Famennian conodont species in the Esteghlal refractory mine, Abadeh area, south central Iran", *International Geological Correlation Program (IGCP 421), North Gondwanan Mid-Palaeozoic Bioevent/Biogeography Patterns in Relation to Crustal Dynamics* (1998) p. 43.
- [۷] اعتمادی ب، آل سعدی ح، "شناسایی کانیهای رسی معدن خاک نسوز استقلال - آباده با تاکید بر روش پیراش اشعه ایکس (X.R.D)", سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۱۳۷۸، ص ۶۴ - ۷۰.
- [۸] نصراله زاده ع، "بررسی کانی شناسی، ژئوشیمی و ژئز کانسارهای خاک نسوز کویر آباده فارس و ارائه پیشنهاداتی