

شناسایی پدیده های طیفی ناشناخته از داده های تلفیقی تصاویر ماهواره ای **ALI+ASTER** و ابر طیفی **Hyperion** بر مبنای روش ضریب همبستگی: مطالعه موردی محدوده معدنی مس سرچشمه

طاهر نجفیان

کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

نادر فتحیان پور

دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

حجت اله رنجبر

بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

رامین بخش پور

کارشناس ارشد مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۲۷

t.najafian@gmail.com

چکیده

یکی از مسائل مهم در بکارگیری تصاویر ماهواره ای چند طیفی و ابرطیفی، شناسایی و تشخیص رفتارهای طیفی متفاوت و به تصویر کشیدن الگوی رفتاری آنها می باشد. که این امر تنها از طریق الگوریتم های شناساگر که قادر به تشخیص شباهت های طیفی مشاهدات آزمایشگاهی و یا صحرایی با داده های ماهواره ای می باشد، امکان پذیر است. در این تحقیق سعی شده تا بوسیله توسعه الگوریتمی مبتنی بر تصویر کردن طیف کانی ها و مقایسه آنها با روش ضریب همبستگی، طیف ناشناسی را که از تصاویر ماهواره ای (چند طیفی و ابر طیفی) بدست می آید با طیف های کتابخانه ای مرجع مقایسه و بر اساس شباهت طیفی، امکان تعلق آن به مجموعه کانی های موجود در بانک کتابخانه طیفی محاسبه و کانی دارای حداکثر شباهت به کانی ناشناس مشخص گردد. در ابتدا و به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم از طیف های کتابخانه ای مرجع که توسط سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) ارائه شده است، استفاده گردید. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم بر روی داده های کتابخانه ای حاکی از تشخیص دقیق طیف های ناشناس می باشد. همچنین ارزیابی و صحت سنجی عملکرد الگوریتم فوق بر روی داده های تصاویر ماهواره ای مربوط به دگرسانی فیلیک در منطقه معدنی مس دره زار واقع در جنوب معدن مس سرچشمه، حداکثر شباهت را به طیف کتابخانه ای مسکویت که مشخصه دگرسانی فیلیک می باشد، نسبت داد. از این روش همچنین می توان جهت شناسایی کانی ها با استفاده از طیف های اندازه گیری شده توسط دستگاه اسپکترومتر استفاده نمود.

کلمات کلیدی: سنجش از دور، ضریب همبستگی، دگرسانی فیلیک، کتابخانه طیفی USGS، طیف ناشناس.

مقدمه

دور، امواج الکترومغناطیسی پس از برخورد با پدیده های مختلف زمین بازتاب یافته و بوسیله سنجنده ها ثبت، و سپس مورد بررسی قرار می گیرند. با استفاده از این تفاوت های بازتابندگی طیفی اجسام می توان انواع سازندهای زمین شناسی را بوسیله سنجش از دور چند طیفی از یکدیگر تفکیک نمود. همچنین علم و فناوری سنجش از دور در سایر شاخه های علوم و مهندسی همچون زمین شناسی، معدن، عمران، کشاورزی، آب شناسی، هواشناسی و محیط زیست کاربردهای بسیاری پیدا کرده است (نجفیان، ۱۳۸۹).

اکثر طیف هایی که از تصاویر ماهواره ای بدست می آیند، به دلایل مختلف از قبیل جذب، انتقال و یا پراکنش، ممکن است طیف خالص یک کانی نباشند و در نتیجه مقایسه ای آنها با طیف های مرجع، کاری مشکل و در بسیاری موارد ناممکن می باشد، بطوری که فرایند تخمین را با عدم قطعیت بالایی همراه می سازد. یکی از راه های تشخیص و شناسایی طیف مواد مختلف، تطبیق آنها با کتابخانه ای

یکی از روش های رایج در اکتشافات معدنی، استفاده از داده های ماهواره ای می باشد. سنجش از دور به عنوان تکنولوژی و علمی تعریف می شود، که به وسیله آن، می توان بدون تماس مستقیم با سطح زمین، معمولاً در طول موج های بین ۰/۴ میکرومتر تا حدود ۱ متر، مشخصه های طیفی یک شیء یا پدیده سطحی را تعیین، اندازه گیری یا تجزیه و تحلیل نمود. اجسام مختلف در محدوده طول موج های طیف الکترومغناطیسی، بسته به ویژگی های فیزیکی و ترکیب کانی شناسی و شیمی خود، امواج الکترومغناطیس را در طول موج های مختلف با شدت های متفاوت منعکس و یا جذب می کنند. داشتن اطلاعاتی از رفتار طیفی اجسام در طول موج های گوناگون، براساس منحنی های شاخص بازتابندگی و جذب طیف، در سنجش از دور از اهمیت زیادی برخوردار است (Gupta, 2003). در سنجش از

در این تحقیق سعی شده است با تصویر کردن طیف کانی‌ها بر اساس شدت بازتابندگی و جذب و محاسبه ضریب همبستگی، طیف ناشناسی را که از تصاویر ماهواره ای بدست می آید با طیف‌های کتابخانه‌ای مرجع مقایسه و بر اساس شباهت طیفی، امکان تعلق آن به مجموعه کانی‌های موجود در بانک کتابخانه طیفی محاسبه و کانی دارای بیشترین شباهت به کانی ناشناس مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

از آنجایی که اغلب کانسارهای مس پورفیری ایران در زون کمان ماگمایی ارومیه-دختر قرار گرفته‌اند، در این تحقیق سعی شده تا با استفاده از داده‌های تلفیقی سنجنده‌های چند طیفی ASTER, ALI (نجفیان و همکاران، ۱۳۹۰) و ابرطیفی هایپریون (نجفیان، ۱۳۸۹) جنوب غرب شهر کرمان که به عنوان قسمتی از این کمربند، دارای کانسارهای پورفیری مهمی همچون سرچشمه، کوه پنج و دره زار می‌باشد، اقدام به شناسایی طیف‌های ناشناس منطقه‌ای مورد مطالعه بوسیله‌ی مقایسه آنها با کتابخانه طیفی مرجع گردید.

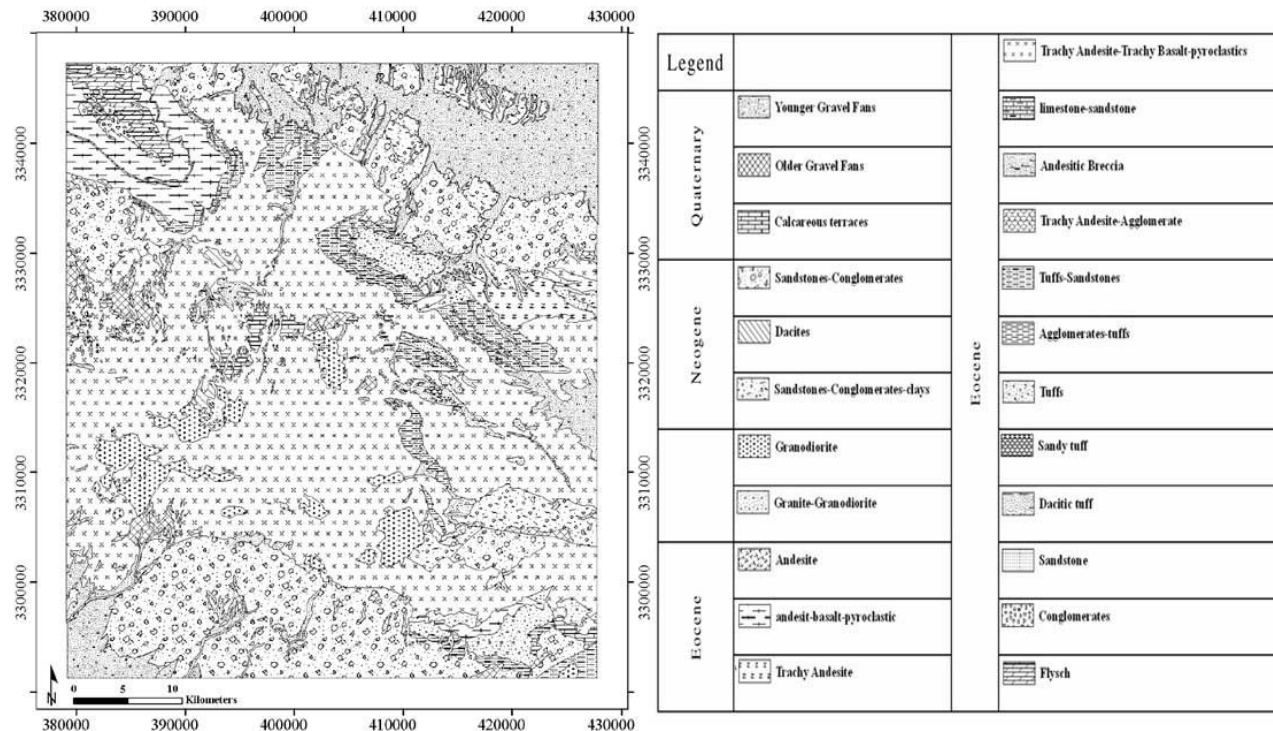
منطقه مورد مطالعه بخشی از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ پاریز در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی- رسوبی ایران مرکزی در جنوب غرب شهر کرمان را شامل می‌شود و از لحاظ پوشش گیاهی فقیر می‌باشد. ناحیه مورد مطالعه دارای وضعیت کوهستانی است و الگوی آبراه‌های آن بخوبی توسعه یافته است. سنگ‌های آتشفشانی رسوبی ائوسن شامل پیروکلاست، پیروکسن تراکی آندزیت، پیروکسن آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی بازالت و آندزیت سنگ‌های قدیمی‌تر ناحیه را در بخش‌های شرقی، غربی و مرکز منطقه تشکیل می‌دهد. نفوذ فازهای اولیگو- میوسن شامل گرانیدوریت، دیوریت، کوارتز دیوریت، موزونیت، تونالیت و گرانیت واقع در مناطق مرکزی و جنوبی تر درون مجموعه آتشفشانی - رسوبی باعث گسل خوردگی، شکستگی، دگرسانی و کانسارسازی در سنگ‌های پورفیری و سنگ‌های آتشفشانی همبر آنها شده است (شکل ۱)

طیفی مرجع می باشد. کتابخانه‌ی طیفی مرجع مجموعه ای از طیف‌های بازتابندگی مرجع اندازه‌گیری شده از مواد شناخته شده (کانی، گیاه و ...) می‌باشد که معمولا در آزمایشگاه و یا مستقیما با اندازه‌گیری در سر زمین بدست می‌آیند. کتابخانه‌های طیفی موجود در نرم افزارها برای کانی‌ها و مواد معدنی، اغلب در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از پودر این مواد که مورد اسپکتروادیمتری قرار گرفته است، بدست می‌آیند. بعنوان مثال نرم افزار پردازش تصاویر ماهواره‌ای ENVI، شامل ۲۷ کتابخانه‌ی طیفی مرجع برای طیف وسیعی از مواد شامل کانی‌ها، گیاهان و مواد ساخت بشر می‌باشد. کتابخانه‌ی طیفی مرجع می‌تواند راهنمای مناسبی برای شناسایی طیف‌های بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای باشد (نجفیان، ۱۳۸۹). محققان زیادی کتابخانه‌های طیفی را برای کانی‌ها و مواد موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه خود، برای تسهیل تحقیقات بوسیله داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی و ابر طیفی، طی انجام پروژه‌های تحقیقاتی تهیه نموده‌اند که به عنوان مثال می توان از کلارک و همکاران (۱۹۹۳)، کرو و همکاران (۱۹۹۲)، الویج (۱۹۹۰)، کرب و همکاران (۱۹۹۶) و سالیسبوری و همکاران (۱۹۹۱ و ۱۹۹۴) نام برد.

در نرم افزارهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای مانند ENVI، از روش‌های مختلفی مانند روش‌های باینری (Mazer et al., 1988; Goetz et al., 1985) نقشه بردار زاویه‌ی طیفی (Kruse et al., 1993, 1992) و انطباق سیمای طیفی (Clark et al., 1990; Crowley et al., 1992; Swayze et al., 1995)، برای تطبیق طیف ناشناس با کتابخانه طیفی مرجع توسعه یافته است.

در روش باینری، داده‌ها به ترتیب با یک میانگین طیفی مقایسه می‌شوند. از آنجایی که این روش یک روش نظارت شده هست، طبیعتا نیاز به داده‌های آموزشی دارد که در غالب ROIs فراهم می‌شوند. میانگین طیفی با استفاده از این داده‌ها محاسبه می‌شود، یعنی برای هر محدوده یک میانگین گیری از پیکسل‌های داخل این محدوده انجام می‌شود. سپس مقادیر پیکسل مجهول در هر باند با این میانگین مقایسه می‌شود. مقادیر بالاتر از میانگین ۱ و کمتر از میانگین صفر در نظر گرفته می‌شوند و سپس هر طیف مرجع باینری شده بوسیله یک تابع انحصاری OR با طیف تصویر مقایسه می‌شود (Mazer et al., 1988).

الگوریتم روش نقشه بردار زاویه‌ی طیفی، مشابهت بین دو طیف را به وسیله‌ی 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، جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آنها و به همین علت میزان روشنایی پیکسل در طبقه بندی آن تاثیری ندارد. هرچه مقدار زاویه (بین ۰ تا ۱) کمتر باشد شناسایی دقیق‌تر خواهد بود (Kruse et al., 1993). انطباق سیمای طیفی مقایسه و تطبیق طیف تصویر با طیف مرجع از طریق روش کمترین مربعات می‌باشد. از این روش جهت شناخت مستقیم کانیها بوسیله تطابق و جور کردن طیف تصویری ناشناخته با طیف مرجع شناخته شده، استفاده می‌شود. از آنجا که این روش بر مبنای جذب طیفی می‌باشد، طیف ناشناخته با توجه به طول موجی که دارد بر روی طیف مرجع جابجا شده و در موقعیت جدید تطبیق پیدا می‌کند. تطبیق طیف تصویر با طیف مرجع در دو مرحله تطبیق طیفی شامل سنجش تصویر تناسب کمترین مربعات انجام می‌شود (Clark et al., 1991).



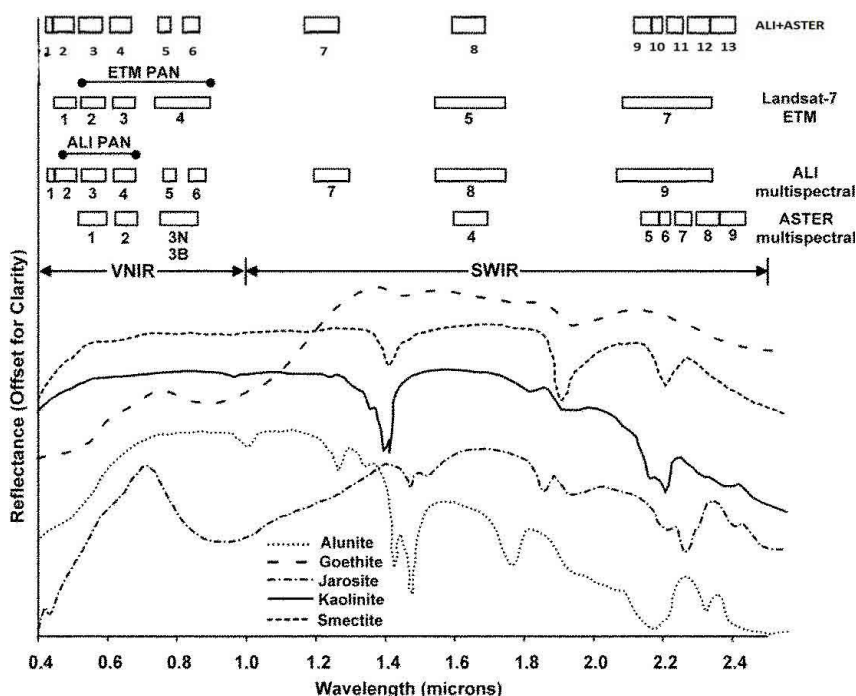
شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه مطالعاتی (بابایی، ۱۳۸۸).

کاربردهای زمین شناسی مفید می‌سازد (شکل ۲). زیرا به خاطر موقعیت نسبی مراکز باندهایشان، ALI برای تفکیک کانی‌های دارای اکسید آهن مفید می‌باشد و ASTER بخوبی قادر است انواع زیادی از کانی‌های رسی، سولفات‌ها و کربنات‌ها را مشخص سازد. ماهواره‌های Terra (که ASTER را حمل می‌کند) و EO-1 بر روی یک مدار مشترک چرخش می‌کنند که این امکان را برای ALI و ASTER فراهم می‌کنند که از هدف‌های مشخص فقط با نیم ساعت اختلاف، تصویر برداری نمایند. در نتیجه مقایسه بین آنها از دقت بالایی برخوردار می‌باشد (Hubbard et al., 2005).

با توجه به اینکه داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از تلفیق ۷ باند طیفی سنجنده ALI در محدوده‌ی VNIR و ۶ باند طیفی سنجنده ASTER در محدوده‌ی SWIR تشکیل شده است، در نتیجه مجموعه‌ای از ۱۳ باند طیفی خواهیم داشت که امکان نگاشت کانی‌ها و شناسایی مناطق دارای دگرسانی و اکسیدهای آهن را با دقت بالاتری فراهم می‌آورد (نجفیان و همکاران، ۱۳۹۰).

داده‌های مورد استفاده

سنجنده ALI یکی از سه سنجنده ایست که بوسیله ماهواره EO-1 در نوامبر ۲۰۰۰ توسط ناسا به فضا پرتاب شد. ALI دارای ۹ باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و یک باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر می‌باشد و تصاویرش را با روش جارویی رو به جلو برداشت می‌کند (Hubbard et al., 2003). در مقایسه با ASTER، هر دو دارای ۹ باند منحصر به فرد در محدوده‌های VNIR و SWIR، بدون در نظر گرفتن باند پانکروماتیک، می‌باشند که موقعیت مرکز باندهای آنها کاملاً متفاوت می‌باشد که برای مطالعه و تهیه نقشه از کانی‌ها بوسیله روش‌های سنجش از دوری، بسیار مفید می‌باشد. وجود سه باند اضافی ALI در VNIR و سه باند اضافی ASTER در SWIR در مقایسه با LANDSAT و داشتن قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در ALI-VNIR و همچنین چندین همپوشانی بین باندهای ALI و ASTER-SWIR، استفاده همزمان این دو سنجنده را برای تهیه نقشه از کانی‌ها و



شکل ۲. مقایسه محدوده باندهای ALI با لندست و ASTER و باند های حاصل از تلفیق داده های ALI و ASTER (نجفیان و همکاران، ۱۳۹۰ و Hubbard et al., 2003)

داخلی (IARR) برای نرمالیزه کردن تصاویر، با استفاده از یک طیف میانگین صحنه استفاده گردید. در این روش طیف میانگین برای صحنه ورودی محاسبه شده و این طیف به عنوان طیف مرجع استفاده می‌گردد. سپس این طیف بر هر پیکسل تقسیم می‌شود و در نهایت طیف ظاهری پیکسل بدست می‌آید (نجفیان و همکاران، ۱۳۹۰).

همچنین از داده‌های هایپریون برداشت شده در سال ۲۰۰۴ (همزمان با داده های ALI) که تصحیحات هندسی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای آستر با دقت تصحیحاتی زیاد در زون UTM 40 با مبنای ارتفاعی WGS-84 صورت گرفته است، استفاده گردید. روشهای تصحیح رادیومتری متفاوتی موجود است که یکی از آن‌ها حذف اثر خطوط جامانده می‌باشد که به علت وجود اسکتر پوش بروم در هایپریون می‌باشد که تصاویر را به روش جارویی رو به جلو برداشت میکند.

به خاطر نیاز به داشتن بازتاب واقعی سطحی، باید اثرات جوی به کمک روش‌های تصحیح یا جبران افسسری حذف یا کمینه شوند (Yuan & Niu, 2008). از آنجایی که داده‌های هایپریون منطقه به شدت تحت تاثیر اثرات جوی قرار داشتند، سعی شد تا حد امکان این مشکل با استفاده از روش تصحیح جوی QUAC با استفاده از نرم افزار ENVI، بر طرف گردد.

QUAC یک روش تصحیح جوی در محدوده طیفی VNIR و SWIR برای داده های سنجنده های چند طیفی و ابر طیفی می‌باشد. این روش بر خلاف روش های دیگر، پارامترهای جبران اتمسفر را به طور مستقیم از تصویر (طیف پیکسل مشاهده)، بدون اطلاعات فرعی تعیین می‌کند. این روش تا حدودی از FLAASH و روش های مبتنی بر داده های اولیه که به صورت فیزیکی مشخص می‌شوند، دقیق تر است. QUAC بر اساس یافته های تجربی است که بازتاب طیفی مواد گوناگون و عناصر خالص حاضر در یک صحنه تقریباً و عموماً متقل از

سنجنده هایپریون یک فن‌آوری پیشرفته و جدید است که داده‌های تصویری ابرطیفی با کیفیت بالا، برای کاربردهای مختلف علوم زمین فراهم می‌آورد. تصویربرداری ابرطیفی در محدوده های طیفی بسیار باریک و به هم پیوسته، قابلیت تفکیک بهتری از اشیاء و پدیده‌ها با ویژگی‌های طیفی متفاوت را فراهم می‌نماید (Gersman et al., 2008). سامانه تصویر برداری هایپریون، نواری با پهنای ۷/۵ کیلومتر و پیکسل‌هایی با ابعاد ۳۰×۳۰ متری را برای تمامی باندها برداشت می‌کند (Stephen et al., 2003). سنجنده هایپریون در گستره طیفی ۰/۴ تا ۲/۴ میکرومتر و در ۲۴۲ باند طیفی تصویربرداری می‌نماید. با توجه به اینکه در این سنجنده برخی از باندها دارای نسبت نوفه به سیگنال بالایی می‌باشند و کالیبره نشده‌اند، تنها ۱۹۸ باند آن قابل استفاده می‌باشد (Simon et al., 2002) که برای داده های مورد استفاده در این تحقیق پس از انجام تصحیحات، تصاویری با ۱۸۲ باند طیفی (نجفیان، ۱۳۹۰) مورد استفاده قرار گرفتند.

پیش پردازش داده ها

در این مطالعه از داده‌های ALI سطح ۱ برداشت شده در سال ۲۰۰۴ و داده‌های ASTER سطح B1 برداشت شده در سال ۲۰۰۴ که تصحیحات هندسی در زون UTM40 با مبنای ارتفاعی WGS-84 بر روی آن صورت گرفته بود، در محدوده بازتابی VNIR و SWIR استفاده گردید. در ابتدا بر روی هر باند از داده‌های ALI، برای تصحیح هاشورخوردگی تناوبی خطوط برداشت ماهواره، تصحیح خطوط جامانده انجام شد. تصحیحات رادیومتری نیز برای تصحیح پراکندگی‌های اتمسفری روی داده‌ها استفاده شد. سپس باندهای هر دو سنجنده ترکیب گردید. به منظور بارز سازی عوارض طیفی از روش بازتابش متوسط نسبی

با توجه به مقایسه طیف نا شناس با طیف کتابخانه طیفی، مقادیر جذب یا بازتاب در هر باند طیف ناشناس به عنوان متغیر X و مقادیر جذب یا بازتاب در طیف مرجع به عنوان متغیر Y در نظر گرفته شد. از آنجایی که شدت جذب و بازتابندگی طیفی در باندهای مختلف برای داده های حاصل از تصویر و طیف کانی های موجود در کتابخانه های طیفی مرجع می تواند متفاوت باشد، لذا این مقادیر برای طیف بدست آمده از تصویر باید در بازه (۰-۱) نرمالایز شود تا برای مقایسه با کتابخانه طیفی مرجع آماده گردد. پس از نرمالایزه کردن طیف ها در بازه (۰-۱)، مقادیر جذب و بازتاب طیف ها در باندهای مختلف در این بازه قرار خواهند گرفت. برای تصویر کردن طیف های کتابخانه طیفی و طیف ناشناس و نشان دادن شدت جذب یا بازتاب در هر باند، برای باندی با بیشترین بازتاب که همان ۱ است رنگ سفید و برای بیشترین جذب که در مقدار صفر اتفاق می افتد رنگ سیاه در نظر گرفته شد. برای مقادیر بین صفر و یک رنگ هایی متناسب بین سیاه و سفید به صورت تن های رنگ خاکستری، متناسب با شدت جذب یا بازتاب در نظر گرفته می شود که وابسته به میزان روشنایی پیکسل ها در آن طول موج خاص می باشند (شکل ۴). مثلاً برای کتابخانه طیفی با n کانی هدف و m باند طیفی یا طول موج، m می تواند از ۱ تا n و n از ۱ تا j باشد) یک ماتریس $m \times n$ را تشکیل می دهد که در این تحقیق، برای تطبیق طیف ناشناس از کتابخانه طیفی سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) استفاده شد. برای داده های تلفیقی ALI+ASTER، کتابخانه طیفی با ۴۹ کانی هدف و ۱۳ باند طیفی و برای داده های ابر طیفی هاپریون، کتابخانه طیفی با ۲۸۰ کانی هدف و ۱۸۲ باند طیفی (شکل ۵ و ۶)، مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه طیف کانی های موجود در کتابخانه های طیفی مرجع (همانند کتابخانه طیفی سازمان زمین شناسی آمریکا) بصورت پیوسته می باشند، این داده ها را بصورت خام نمی توان برای مقایسه با طیف حاصل از تصاویر منطقه که بصورت گسسته هستند، مورد استفاده قرار داد. به عبارت دیگر، از آنجایی که تعداد باندهای سنجنده و تصویر محدود و در موقعیت های مشخص از طیف الکترومغناطیس با پهنای مشخصی قرار دارند، باید از طیف کامل کتابخانه طیفی نیز یک طیف مطابق طیفی مشاهده شده توسط سنجنده بازتولید شود که به این فرایند نمونه برداری مجدد (Resampling) می گویند. طیف حاصل از تصویر، بر اساس تعداد باندهای طیفی سنجنده، دارای مقادیر در نقاط جذب و بازتاب می باشد، که برای رفع این مشکل باید بر اساس تعداد باندهای سنجنده مورد نظر و مقدار مرکز باندهایشان، از داده های کتابخانه طیفی مرجع نمونه برداری مجدد (Resampling) انجام داد. برای این منظور اگر دقت بالایی لازم نباشد، مقادیر طیف ها در مرکز باند های سنجنده در نظر گرفته می شوند. به عنوان مثال اگر پهنای باند سنجنده ۱۰ نانومتر و قدرت تفکیک طیفی طیف مرجع یک نانومتر باشد، با میانگین گیری ۵ نانومتر قبل و بعد از مرکز باند، مقدار جذب یا بازتاب در آن باند مشخص می شود. برای رسیدن به دقت بالاتر، معمولاً یک تابع گوسی با عرض (2σ) برابر عرض باند سنجنده (FWHM) تعریف و این تابع در مراکز باندهای مورد نظر با طیف کامل مرجع پچانده (کانولوشن) می شود. اینکار برای تمام مراکز باند تکرار می شود. معمولاً اگر این مراکز و عرض باند یکسان باشند یک تابع شانه ای انتخاب می شود که در تابع گوسی مفروض ضرب شده و بعد در طیف کامل پیچانده می شود. در نرم افزار ENVI بر اساس مقدار مرکز هر یک از باندهای سنجنده مورد نظر و استفاده از یک مدل گوسی در محدوده ی باند، امکان نمونه برداری مجدد از داده های پیوسته کتابخانه طیفی مرجع فراهم شد. پس از تصویر کردن طیف ها، بین ماتریس طیف ناشناس که یک

خود صحنه هستند. بنابراین این روش بدون مدلسازی فیزیکی ابزاری است با سرعتی قابل توجه نسبت به روش های دیگر. همچنین این روش امکان استفاده در شرایط مختلف زاویه دید و ارتفاع خورشیدی را ممکن می سازد (ENVI 4.7- Help). (شکل ۳) طیف تصاویر هاپریون را قبل و بعد از تصحیح جوی نشان می دهد. پس از انجام پیش پردازش داده ها، دو مجموعه متفاوت، شامل داده های چند طیفی جدید ALI+ASTER که حاصل تلفیق باندهای دو سنجنده ALI و ASTER می باشند و همچنین داده های ابرطیفی هاپریون، تهیه گردید. الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی طیف ناشناس حاصل از هر کدام از مجموعه داده ها بطور جداگانه، مورد بررسی قرار گرفت. از نرم افزار MATLAB جهت برنامه نویسی الگوریتم استفاده شده است.

شناسایی طیف ناشناخته تصویر بر اساس روش ضریب همبستگی

ضریب همبستگی شاخصی است ریاضی که میزان همبستگی بین دو متغیر را توصیف می کند. ضریب همبستگی در مورد توزیع های دو یا چند متغیره به کار می رود. یکی از آشناترین روش ها برای اندازه گیری وابستگی بین دو کمیت، ضریب همبستگی پیرسون می باشد که از تقسیم کواریانس دو متغیر بر انحراف معیارشان بدست می آید. ضریب همبستگی جمعیت $\rho_{x,y}$ بین دو متغیر تصادفی X و Y با مقادیر قابل انتظار μ_x و μ_y و انحراف معیار σ_x و σ_y از رابطه (۱) بدست می آید.

$$\rho_{x,y} = \text{Corr}(X, Y) = \frac{\text{COV}(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y}$$

که در آن E عملگر امید ریاضی، COV کواریانس و Corr یک نماد جایگزین برای ضریب همبستگی پیرسون است که بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. این ضریب همبستگی فقط در صورتی که انحراف معیارها مخالف صفر باشند تعریف شده است. ضریب همبستگی (+۱) نشان دهنده این است که دو متغیر مشابه هم تغییر می کنند یعنی با زیاد شدن یکی دیگری هم زیاد و برای ضریب همبستگی (-۱) با کم شدن یکی دیگری هم کم می شود. برای این دو مقدار که می توان رابطه بین متغیر ها را به صورت یک معادله بیان کرد، گوییم بین این دو متغیر همبستگی وجود دارد. برای مقادیر بین (+۱، -۱) درجه ای از همبستگی خطی وجود دارد، بطوریکه نزدیک ترین ضریب به (+۱) یا (-۱) بالاترین درجه همبستگی بین متغیر ها را نشان میدهد. اگر یک سری با n مقدار اندازه گیری شده برای متغیر های X و Y بصورت X_i و Y_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) داشته باشیم، برای محاسبه ضریب همبستگی r بین متغیر های X و Y از رابطه ضریب همبستگی نمونه استفاده می شود (رابطه ۲)

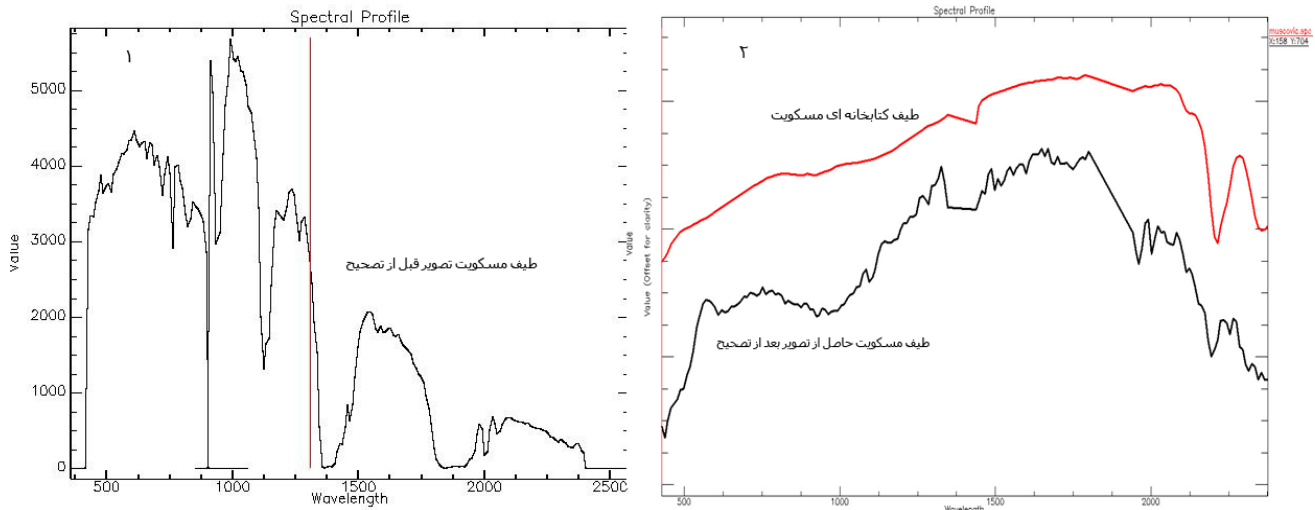
$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

که \bar{x} و \bar{y} میانگین و s_x و s_y انحراف معیار نمونه ها در متغیر های X و Y می باشند. رابطه فوق را همچنین می توان بصورت رابطه ۳ نوشت (Montgomery, 2003):

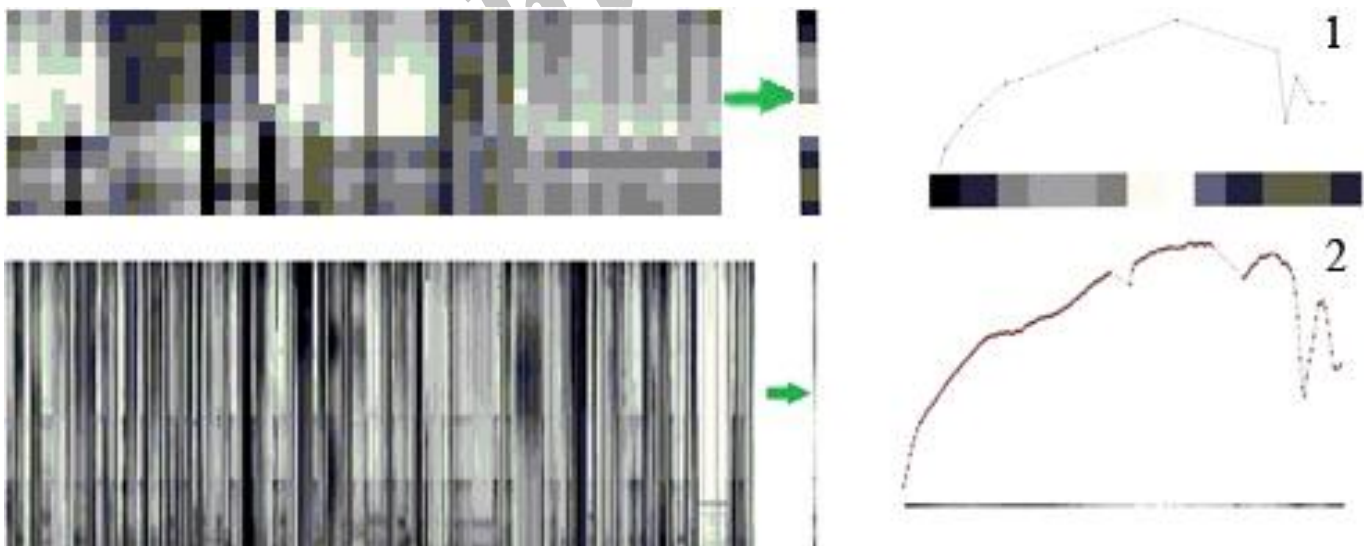
$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}}$$

همبستگی را دارا باشد، بیشترین احتمال برای نسبت دادن کانی ناشناس به کانی مورد نظر در کتابخانه طیفی را به دست می‌دهد. یعنی هر چه ضریب همبستگی به ۱ نزدیک تر باشد همبستگی بیشتر و شباهت بیشتر است.

ماتریس $(1 \times n)$ و هر کدام از طیف‌های کتابخانه طیفی که یکی از ستون‌های ماتریس $m \times n$ می‌باشند، بطور مجزا ضریب همبستگی محاسبه شد، منظور از ماتریس هر کدام از طیف‌ها، مقدار شدت (Intensity) هر یک از پیکسل‌های طیف تصویر شده بر اساس جذب و بازتابندگی در هر باند کانی مورد نظر است و هر پیکسل نشان دهنده‌ی یک باند طیفی می‌باشد. هر کدام بیشترین مقدار ضریب



شکل ۳. طیف مسکویت (۱) قبل از تصحیح جوی (۲) بعد از تصحیح جوی به همراه طیف کتابخانه‌ای مسکویت



شکل ۴. تصویر طیف‌های کتابخانه طیفی و طیف ناشناس. (۱): برای داده‌های تلفیقی ALI+ASTER با ۴۹ کانی هدف و ۱۳ باند طیفی. (۲): برای داده‌های ابر طیفی هایپریون با ۲۸۰ کانی هدف و ۱۸۲ باند طیفی (تصویر طیف ناشناس با فلش مشخص شده است).

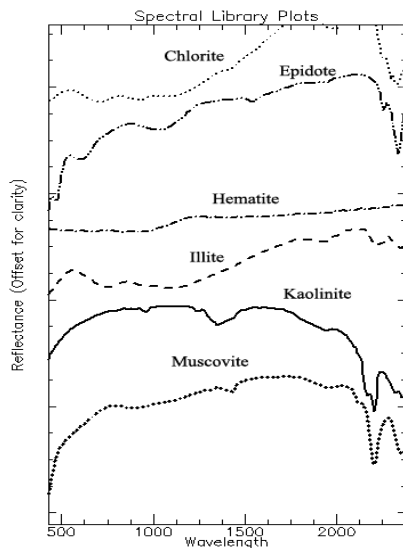
نتایج

ارزیابی عملکرد الگوریتم بر روی داده‌های آزمایشگاهی

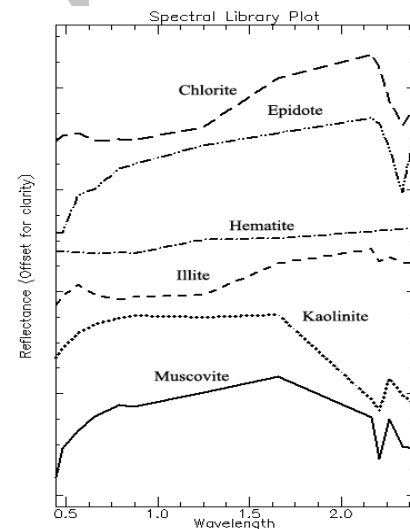
در ابتدا برای ارزیابی الگوریتم، از طیف کانی مسکوویت موجود در کتابخانه طیفی مرجع به عنوان طیف ناشناس استفاده شد. برای این منظور، از میان طیف کانی‌های موجود در کتابخانه‌های طیفی مرجع، طیف کانی مسکوویت انتخاب و بعنوان طیف ناشناس به برنامه معرفی شد. سپس از برنامه خواسته شد تا این طیف را در میان طیف‌های دیگر موجود در کتابخانه تشخیص دهد. در این قسمت شرایط بسیار ایده‌آل در نظر گرفته شده و طیف انتخابی بعنوان طیف ناشناس، دقیقاً در کتابخانه موجود می‌باشد که در عمل، در مورد طیف‌های بازتابندگی حاصل از پوشش‌های سطحی، این امکان به سختی موجود می‌باشد. پس از اجرای برنامه، برنامه توصیف شده، طیف مسکوویت را به عنوان طیف ناشناس پیدا نمود و همانطور که در شکل‌های ۷ و ۸ برای دو مجموعه داده‌ی چند طیفی و ابر طیفی مشخص است، طیف ناشناس بطور کامل بر طیف کتابخانه‌ای مسکوویت منطبق شده است.

ارزیابی عملکرد الگوریتم بر روی داده‌های واقعی

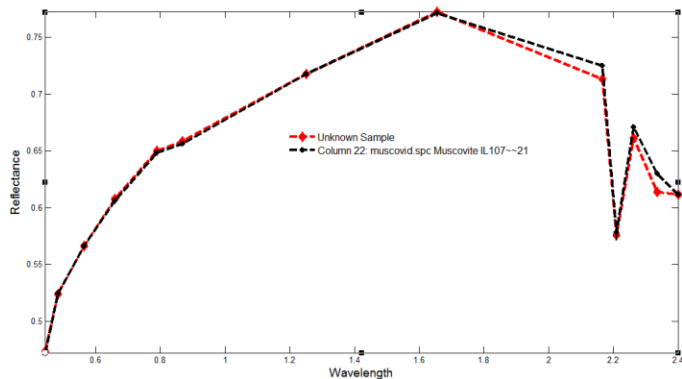
اکثر طیف‌هایی که از تصاویر ماهواره‌ای بدست می‌آیند، به دلایل مختلف از قبیل جذب، انتقال و یا پراکنش، ممکن است طیف خالص یک کانی نباشند و در نتیجه مقایسه‌ی آنها با طیف‌های مرجع، کاری مشکل و در بسیاری موارد ناممکن می‌باشد بطوری که فرایند تخمین را با عدم قطعیت بالایی همراه می‌سازد. برای ارزیابی و صحت سنجی عملکرد الگوریتم فوق بر روی داده‌های واقعی، طیف بدست آمده‌ی یکی از پیکسل‌های منطقه‌ی معدنی مس دره‌زار که قبلاً بوسیله نمونه برداری زمینی مشخص شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. در نتیجه طیف پیکسل انتخابی جهت مقایسه با دیگر طیف‌های موجود در کتابخانه طیفی استفاده گردید. هرچند همانطور که اشاره شد، طیف پیکسل انتخابی دقیقاً بر طیف کتابخانه‌ای مسکوویت منطبق نمی‌باشد ولیکن همانطور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است الگوریتم فوق حداکثر امکان شباهت را به طیف کتابخانه‌ای مسکوویت نسبت داد و این کانی را از میان طیف‌های موجود انتخاب نمود.



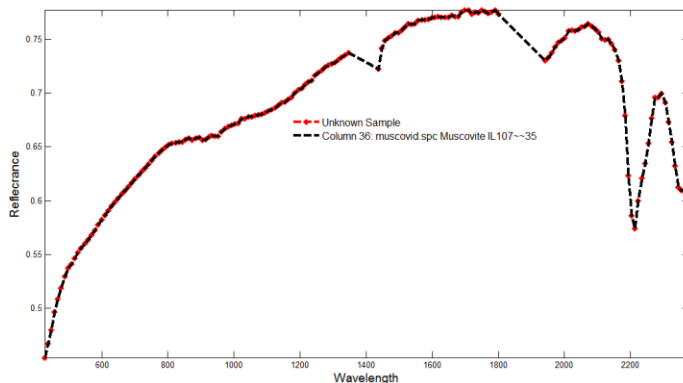
شکل ۶. تعدادی از طیف‌های مرجع با نمونه برداری مجدد بر اساس باندهای داده‌های تلفیقی ALI+ASTER



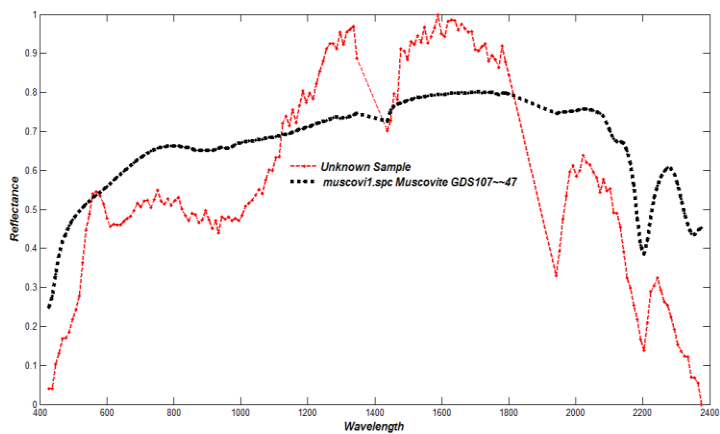
شکل ۵. تعدادی از طیف‌های مرجع با نمونه برداری مجدد بر اساس باندهای هایپریون برای انطباق با طیف داده‌های هایپریون.



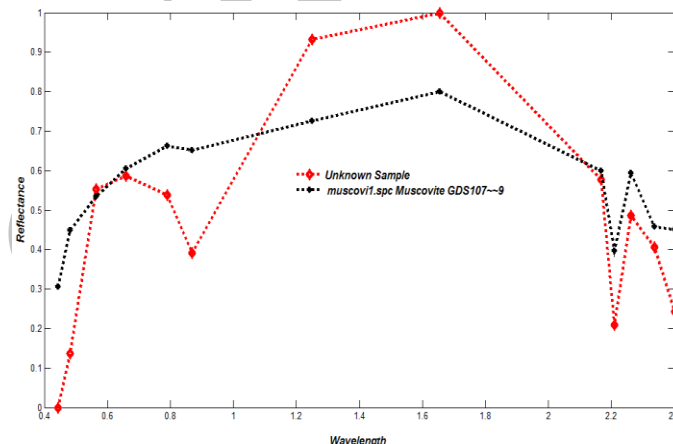
شکل ۸. مقایسه طیف کانی مسکوویت به عنوان طیف ناشناس با کتابخانه طیفی مرجع، برای داده های ALI+ASTER با ۱۳ باند. نمودار قرمز مربوط به طیف ناشناس و نمودار مشکی مربوط به طیف کتابخانه‌ای کانی مسکوویت می‌باشد.



شکل ۷. مقایسه طیف کانی مسکوویت به عنوان طیف ناشناس با طیف مرجع برای داده های هایپریون با ۱۸۲ باند. نمودار قرمز مربوط به طیف ناشناس و نمودار مشکی مربوط به طیف مرجع کانی مسکوویت می‌باشد.



شکل ۱۰. نتایج اعمال الگوریتم فوق بر روی داده‌های ALI+ASTER محدوده معدن مس دره‌زار. نمودار قرمز مربوط به طیف ناشناس و نمودار مشکی مربوط به طیف کتابخانه‌ای کانی مسکوویت می‌باشد.

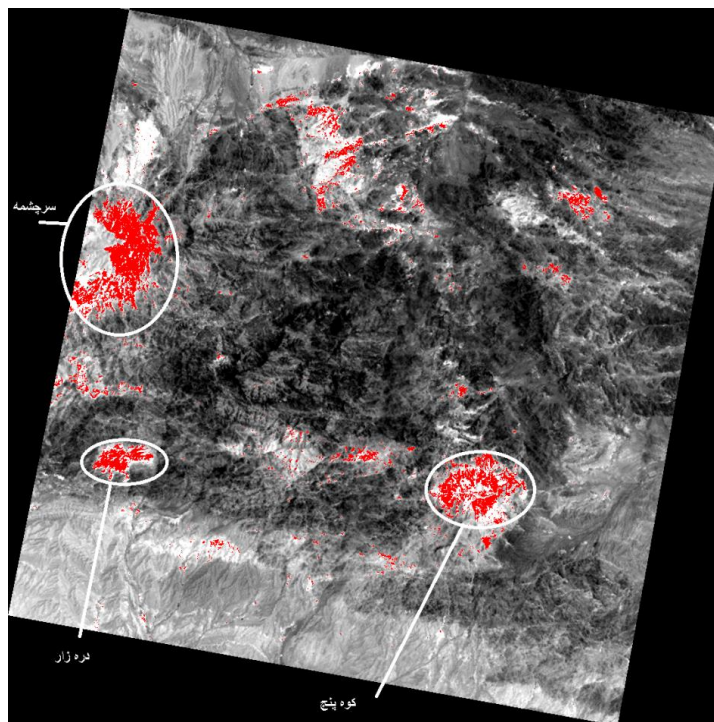


شکل ۹. نتایج اعمال الگوریتم فوق بر روی داده‌های هایپریون محدوده معدن مس دره‌زار. نمودار قرمز مربوط به طیف ناشناس و نمودار مشکی مربوط به طیف کتابخانه‌ای کانی مسکوویت می‌باشد.

بالای الگوریتم پیشنهادی در شناسایی طیف ناشناس حاصل از تصویر می‌باشد و الگوریتم بدرستی طیف ناشناس را بعنوان طیف کانی مسکوویت (که مشخصه دگرسانی فیلیک می‌باشد) تشخیص داده است و با مشاهده های زمینی و نمونه برداری از مناطق به نقشه درآمد، مطابقت دارد. از آنجایی که داده‌های ابر طیفی هایپریون دارای اطلاعات طیفی بیشتری (دارا بودن صدها باند طیفی که تقریباً طیف پیوسته‌ای را می‌سازند) نسبت به داده های چند طیفی می‌باشند، امکان مقایسه طیف ناشناس و کتابخانه مرجع با هر تعداد طیف کانی هدف، وجود دارد. در خصوص داده‌های چند طیفی، به دلیل محدود بودن تعداد باندها و در نتیجه اطلاعات طیفی محدود، بهتر است تا از طیف مرجع کانی‌هایی که احتمال حضور آنها در منطقه وجود دارد، استفاده گردد تا نتایج بدست آمده، از صحت بالایی برخوردار باشد. از این روش همچنین می‌توان جهت شناسایی کانی‌ها با استفاده از طیف‌های اندازه گیری شده توسط دستگاه اسپکترومتر استفاده نمود.

بحث و نتیجه گیری

پس از اجرای الگوریتم فوق بر روی داده‌های واقعی چند طیفی و ابر طیفی منطقه‌ای معدنی مس دره‌زار و شناسایی طیف ناشناس تصویر بعنوان طیف کانی مسکوویت (که مشخصه دگرسانی فیلیک می‌باشد)، سعی شد تا صحت خروجی الگوریتم بر داده های منطقه با استفاده از روش طبقه بندی نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) مورد ارزیابی قرار گیرد. (شکل ۱۱) نتایج حاصل از اجرای روش SAM برای داده های ALI+ASTER و شناسایی مناطق با دگرسانی فیلیک با استفاده از طیف بدست آمده از الگوریتم را نشان می‌دهد. همانطور که در تصویر مشخص است محدوده‌های معدنی سرچشمه، دره‌زار و کوه‌پنج به خوبی به نقشه درآمده است. برای بدست آوردن میزان دقت محاسبات صورت گرفته و ارزیابی آنها، نتایج حاصل از طبقه بندی تصاویر با مشاهدات و نمونه‌برداری از سر زمین، مورد مقایسه قرار گرفت. ۹۱/۶ درصد مناطقی که دارای آلتراسیون فیلیک بودن، توسط روش طبقه بندی SAM به نقشه در آورده شد که این امر بیانگر دقت



شکل ۱۱. نتایج حاصل از اجرای روش SAM برای داده های ALI+ASTER و شناسایی مناطق با دگرسانی فیلیک با استفاده از طیف بدست آمده از الگوریتم.

منابع

- بابایی، م. ، ۱۳۸۸، استفاده از روش های چند متغیره پیشرفته جهت مدل سازی اکتشافی منطقه سرچشمه و کوه پنج کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن، گرایش اکتشاف، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- نجفیان، ط. ، ۱۳۸۹، نقشه برداری از کانی های مناطق دگرسان شده منطقه سرچشمه استان کرمان با استفاده از داده های چندطیفی و ابرطیفی ، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن، گرایش اکتشاف، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- نجفیان، ط. ، رنجبر، ح. ، فتحیان پور، ن. ، ۱۳۹۰، بررسی قدرت تفکیک آلتراسیونهای مرتبط با کانسارهای مس پورفیری با استفاده از تجمیع طیفی داده های ALI و ASTER ، اولین کنگره جهانی مس، تهران، ص ۱۰۹-۱۲۰.
- Center for the Study of Earth from Space (CSES), 1992, SIPS User's Guide, Spectral Image Processing System, Version 1.2, Center for the Study of Earth from Space, Boulder, CO, p. 88.
- Clark, R. N., Gallagher, A. J., and Swayze, G. A., 1990, Material absorption band depth mapping of imaging spectrometer data using the complete band shape least-squares algorithm simultaneously fit to multiple spectral features from multiple materials, in Proceedings of the Third Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop, JPL Publication 90-54, pp. 176 – 186.
- Clark, R. N., Swayze, G. A., Gallagher, A., Gorelick, N., and Kruse, F. A., 1991, Mapping with imaging spectrometer data using the complete band shape least-squares algorithm simultaneously fit to multiple spectral features from multiple materials, in Proceedings, 3rd Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) workshop, JPL Publication 91-28, pp. 2-3.
- Clark, R. N., Swayze, G. A., Gallagher, A. J., King, T. V. V., and Calvin, W. M., 1993, The U. S. Geological Survey, Digital Spectral Library, Version 1: 0.2 to 3.0 microns. U.S. Geological Survey Open File Report 93-592, 1340 pages.
- Crowley, J. K., and Clark, R. N., 1992, AVIRIS study of Death Valley evaporite deposits using least-squares band-fitting methods, in Summaries of the Third Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, JPL Publication 92-14, v 1, pp. 29-31.
- Elvidge, C. D., 1990, Visible and infrared reflectance characteristics of dry plant materials, International Journal of Remote Sensing, v. 11(10), pp. 1775 - 1795.
- Gersman, R., Ben-Dor, E., Beyth, M., Doavigad, Abraha, M. & Kibreab, A., 2008 Mapping of hydrothermally altered rocks by the EO-1 Hyperion sensor, Northern Danakil Depression, Eritrea, International Journal of Remote Sensing, 29, 3911–3936.
- Goetz, A. F. H., Vane, G., Solomon, J. E., and Rock, B. N., 1985, Imaging spectrometry for earth remote sensing, Science, v. 228, pp. 1147 - 1153.
- Grove, C. I., Hook, S. J., and Paylor, E. D., 1992, Laboratory reflectance spectra for 160 minerals 0.4 - 2.5 micrometers, JPL Publication 92-2.

- Gupta, R., 2003. Remote sensing geology, Springer, 655p.
- Hubbard, B. E. , Crowley, J. K. , Zimbelman, D. R. , 2003 “Comparative Alteration Mineral Mapping Using Visible to Shortwave Infrared (0.4–2.4 μm) Hyperion, ALI, and ASTER Imagery”, *Geoacience and Remote Sensing*, Vol. 41, NO. 6, 1401-1410.
- Hubbard, B.E. & Crowley, J.K., 2005 Mineral mapping on the Chilean–Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery .Data dimensionality issues and solutions, *Remote Sensing of Environmen*, 99, 173–186.
- Korb, A. R., Dybwad, P., Wadsworth, W., and Salisbury, J. W., 1996, Portable FTIR spectrometer for field measurements of radiance and emissivity, *Applied Optics*, v. 35, pp. 1679-1692.
- Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. B. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon, and A. F. H. Goetz, 1993, The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data, *Remote Sensing of the Environment*, v. 44, p. 145 - 163.
- Mazer, A. S., Martin, M., Lee, M., and Solomon, J. E., 1988, Image Processing Software for Imaging Spectrometry Analysis, *Remote Sensing of the Environment*, v. 24, no. 1, p. 201-210.
- Montgomery, D. , 2003, *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 3rd ed., Wiley.
- Salisbury, J. W., D'Aria, D. M., and Jarosevich, E., 1991a, Midinfrared (2.5-13.5 micrometers) reflectance spectra of powdered stony meteorites. *Icarus*, v. 92, pp. 280-297.
- Salisbury, J. W., Wald, A., and D'Aria, D. M., 1994, Thermal-infrared remote sensing and Kirchoff's law 1. Laboratory measurements, *Journal of Geophysical Research*, v. 99, pp. 11,897-11,911.
- Salisbury, J. W., Walter, L. S., Vergo, N., and D'Aria, D. M., 1991b, *Infrared (2.1- 25 micrometers) Spectra of Minerals*. Johns Hopkins University Press, 294 p.
- Simon, K., Beckmann, T. & Beckmann, T., 2002, Hyperion Level 1GST (L1GST) Product output Files Data Format Control Book (DFCB), *Earth Observing-1 (EO-1)*, USGS, EO1-DFCB-0003 ,Version 1.0.
- Stephen, G. U., Pearlman, J. S., Mendenhall, J. A., Reuter, D., 2003. Overview of the Earth Observing One (EO-1) Mission, *IEEE* 41, 1148-1159.
- Swayze, G. A., and Clark, R. N., 1995, Spectral identification of minerals using imaging spectrometry data: evaluating the effects of signal to noise and spectral resolution using the Tricorder Algorithm, in *Summaries of the Fifth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 95-1, pp. 157 - 158.
- Yuan, J., Niu, Z., 2008. Evaluation of Atmospheric Correction Using FLAASH, *International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (IEEE)*, Beijin, 1–6.