

شناسایی دگرسانی‌های گرمابی مرتبط با کانسارهای مس پورفیری با استفاده از داده‌های سنجنده ابرطیفی هایپریون

طاهر نجفیان^۱، حجت اله رنجبر^{۲*}، نادر فتحیان پور^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ t.najafian@gmail.com

۲- دانشیار بخش مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ h.ranjbar@mail.uk.ac.ir

۳- دانشیار دانشکده مهندسی معدن دانشگاه صنعتی اصفهان؛ fathian@cc.iut.ac.ir

(دریافت ۱۰ مهر ۱۳۹۰، پذیرش ۲۶ مرداد ۹۱)

چکیده

در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی در زمینه ساخت و نصب سنجنده‌های سنجش از دور نوری، سنجنده‌های ابرطیفی با افزایش قابلیت تصویربرداری در صدها باند، گسترش و در عرصه سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جهت شناسایی کانی‌های مختلفی که در مناطق دگرسانی یافت می‌شوند (سریسیت، کانی‌های رسی، آلونیت، کلریت، اپیدوت و کلسیت) سنجنده‌های چند طیفی از محدودیت زیادی در رابطه با نبود تصویر در بخش‌های جذب و بازتاب این کانی‌ها برخوردار می‌باشند و یا پهنای طیف تصویر آنقدر زیاد است که به درستی بر محدوده‌های جذب طیف کانی منطبق نمی‌گردد. جهت رهایی از این مشکلات می‌توان از سنجنده‌های ابرطیفی استفاده نمود. در حالت کلی تصویر برداری ابرطیفی می‌تواند برای شناسایی اهداف مختلف طیفی و نظارت بر محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد. همچنین کاربردهای آن در سال‌های اخیر در زمینه تعیین کاربری زمین، ارزیابی پوشش گیاهی و اکتشافات معدنی، روند رو به رشدی داشته است. هدف از این تحقیق ارزیابی کاربرد داده‌های سنجنده‌ی ابرطیفی هایپریون در بازسازی مناطق دگرسانی و به‌ویژه کانی‌های گروه اکسید آهن مرتبط با کانسارهای مس پورفیری است. ناحیه مورد مطالعه به‌عنوان بخشی از مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر، دارای کانسارهای پورفیری مهمی همچون سرچشمه و دره زار است که در جنوب غرب شهر کرمان واقع شده است. در این تحقیق با استفاده از طیف‌های اندازه‌گیری شده از تصویر هایپریون محدوده مورد مطالعه و همچنین طیف‌های کتابخانه‌ای و به‌کارگیری روش نقشه بردار زاویه طیفی (SAM)، اکسیدهای آهن و مناطق دگرسان شده شناسایی شدند.

کلمات کلیدی

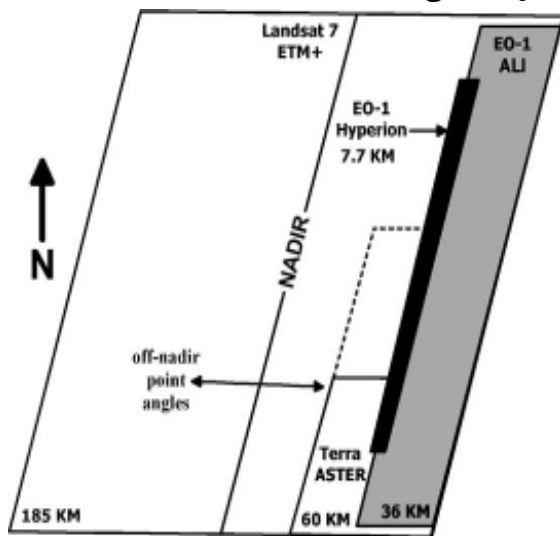
سنجنده‌ی ابرطیفی هایپریون، دگرسانی‌های گرمابی، نقشه بردار زاویه طیفی (SAM).

۱- مقدمه

طیفی تصویربرداری می‌کند. با توجه به این که در این سنجنده برخی از باندها نسبت نوفه به سیگنال بالایی دارند و کالیبره نشده‌اند، تنها ۱۹۸ باند آن قابل استفاده است [۵].

ماموریت EO-1 بخشی از برنامه‌ی هزاره جدید NASA است و بر فن آوری‌های جدید حسگر و فضایما متمرکز است که می‌تواند به‌طور مستقیم هزینه‌ی لندست و سایر سامانه‌های مرتبط با سنجنش زمین را کاهش دهد. ماهواره EO-1 در مداری گردش می‌کند که مسیری مشابه با مسیر لندست ۷ روی زمین را به‌طور تقریبی با یک دقیقه تاخیر پوشش می‌دهد. این امر EO-1 را قادر می‌سازد که در زمان مشابه، تصاویری از همان مناطق بر روی سطح زمین به دست آورد، بنابراین مقایسه مستقیم نتایج را می‌توان برای لندست ETM+ و سنجنده‌های تعبیه شده بر روی ماهواره‌های EO-1 فراهم آورد (شکل ۱) [۶].

سنجنده‌ی هایپریون یک تکنولوژی پیشرفته است که داده‌های کالیبره شده با کیفیت بالا، برای ارزیابی حوزه‌های کاربردی ابر طیفی فراهم می‌آورد. سامانه تصویر برداری فوق نواری با پهنای ۷/۵ کیلومتر و پیکسل‌هایی با ابعاد ۳۰×۳۰ متری را برای تمامی باندها برداشت می‌کند [۷].



شکل ۱: مقایسه‌ی پهنای تصاویر سنجنده‌ی ابرطیفی هایپریون در مقایسه با لندست، ALI و ASTER [۸].

استفاده از داده‌های ابرطیفی سنجنده‌های نصب شده بر روی هواپیما - مانند AVIRIS یا HYMAP - از دهه نود میلادی شروع شده است و ادامه دارد. در حالی که سنجنده‌ی هایپریون در سال ۲۰۰۰ به فضا پرتاب شده است و تا کنون مقالات معدودی در رابطه با کاربرد این سنجنده در اکتشاف ذخایر معدنی، کاربردهای کشاورزی و منابع طبیعی منتشر شده است. کوداهی و همکاران [۹] کارایی داده‌های هایپریون برای نگاشت کانی‌ها را مورد بررسی قرار دادند. کوداهی و رودگر [۱۰] توانایی

در سال‌های اخیر، با پیشرفت تکنولوژی در زمینه ساخت و نصب سنجنده‌های سنجنش از دور نوری، سنجنده‌های ابرطیفی با افزایش قابلیت تصویربرداری در صدها باند، گسترش و در عرصه سنجنش از دور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تصویربرداری ابرطیفی برای شناسایی اهداف و نظارت بر محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین کاربردهای آن در زمینه تعیین کاربری زمین، ارزیابی پوشش گیاهی و اکتشافات معدنی، روند رو به رشدی دارد. تصویربرداری ابرطیفی در محدوده‌های طیفی بسیار باریک و به هم پیوسته، قابلیت تفکیک بهتری از اشیاء و پدیده‌ها با ویژگی‌های طیفی متفاوت را فراهم می‌کند. سنجنده‌های ابرطیفی در ثبت اطلاعات طیفی در کاربردهای مختلف، با قدرت تفکیک طیفی بالا و قدرت تفکیک مکانی متعدد، مخلوطی از طیف‌ها را برای یک زاویه دید لحظه‌ای خود ثبت می‌کنند.

سامانه‌های ابر طیفی، تصاویر متعددی را در گستره‌ای کوچک از طیف الکترومغناطیس (اغلب بین ۰/۴ تا ۲/۴ میکرومتر) با بیش از ۲۰۰ باند، از هر منطقه تهیه می‌کنند. این سامانه‌ها در ابتدا بر روی هواپیما (مانند سنجنده AVIRIS) و سپس بر روی ماهواره‌ها نصب شده و مورد استفاده قرار گرفتند. در صورتی که سامانه‌های ابر طیفی ماهواره‌ای قادر به تولید تصاویر با کیفیت مناسبی باشند، بسیار اقتصادی خواهند بود، چرا که برنامه ریزی برای پرواز و گرفتن تصویر توسط هواپیما زمان بر و پرهزینه است. اما در سامانه‌های ابرطیفی که بر روی ماهواره‌ها تعبیه شده‌اند، می‌توان در زمان‌های دلخواه و با کمترین هزینه تصاویر را تهیه کرد [۴]. از طرف دیگر تاثیرات جوی بر روی تصاویری که توسط هواپیما گرفته می‌شوند کمتر از روش گرفتن تصویر توسط ماهواره است [۱].

برای شناسایی کانی‌های مختلفی که در مناطق دگرسانی یافت می‌شوند (سریسیت، کانی‌های رسی، آلونیت، کلریت، اپیدوت و کلسیت) سنجنده‌های چند طیفی محدودیت زیادی در رابطه با نبود تصویر در بخش‌های جذب و بازتاب این کانی‌ها دارند و یا پهنای طیف تصویر آنقدر زیاد است که به درستی بر محدوده‌های جذب طیف کانی منطبق نمی‌شود. برای رهایی از این مشکلات می‌توان از سنجنده‌های ابرطیفی استفاده کرد. با استفاده از سنجنده‌های ابرطیفی می‌توان طیف کانی‌ها را از تصویر استخراج و با استفاده از روش‌های پردازش تصویر محدوده‌ی کانی‌های دگرسانی را مشخص کرد.

سنجنده‌ی هایپریون که بر روی ماهواره EO-1 نصب شده است، در گستره طیفی ۰/۴ تا ۲/۴ میکرومتر و در ۲۴۲ باند

آتشفشانی - رسوبی باعث گسل خوردگی، شکستگی، دگرسانی و کانسارسازی در سنگ‌های پورفیری و سنگ‌های آتشفشانی همبر آنها شده است (شکل ۲) [۱].

۳- پردازش داده‌های ابر طیفی هایپریون

به‌طور کلی طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل‌های تصویر بر اساس میزان شباهت بین طیف ثبت شده از آن پیکسل با یک هدف صورت می‌پذیرد، و این در حالی است که ممکن است در محدوده‌ی آن پیکسل مواد مختلفی حضور داشته باشند. از این رو مسأله جداسازی طیفی برای رسیدن به اجزاء خالصی که در شکل‌گیری طیف ثبت شده برای یک پیکسل از این تصاویر شرکت کرده‌اند، بسیار مهم است. در این قسمت، ابتدا به بیان پیش‌پردازش داده‌های هایپریون و مساله جداسازی طیفی پرداخته شده است، سپس الگوریتم‌های تعیین اجزاء خالص تصویر، مورد بحث قرار گرفته است. در پایان با استفاده از روش SAM^۳ دگرسانی‌های منطقه مشخص و نگاشته شدند. اگر چه روندی جامع برای استخراج اطلاعات داده‌های تصاویر ابر طیفی وجود ندارد، اما کروس مراحل ارائه شده در شکل ۳ را پیشنهاد کرده است.

۳-۱- پیش پردازش داده ها

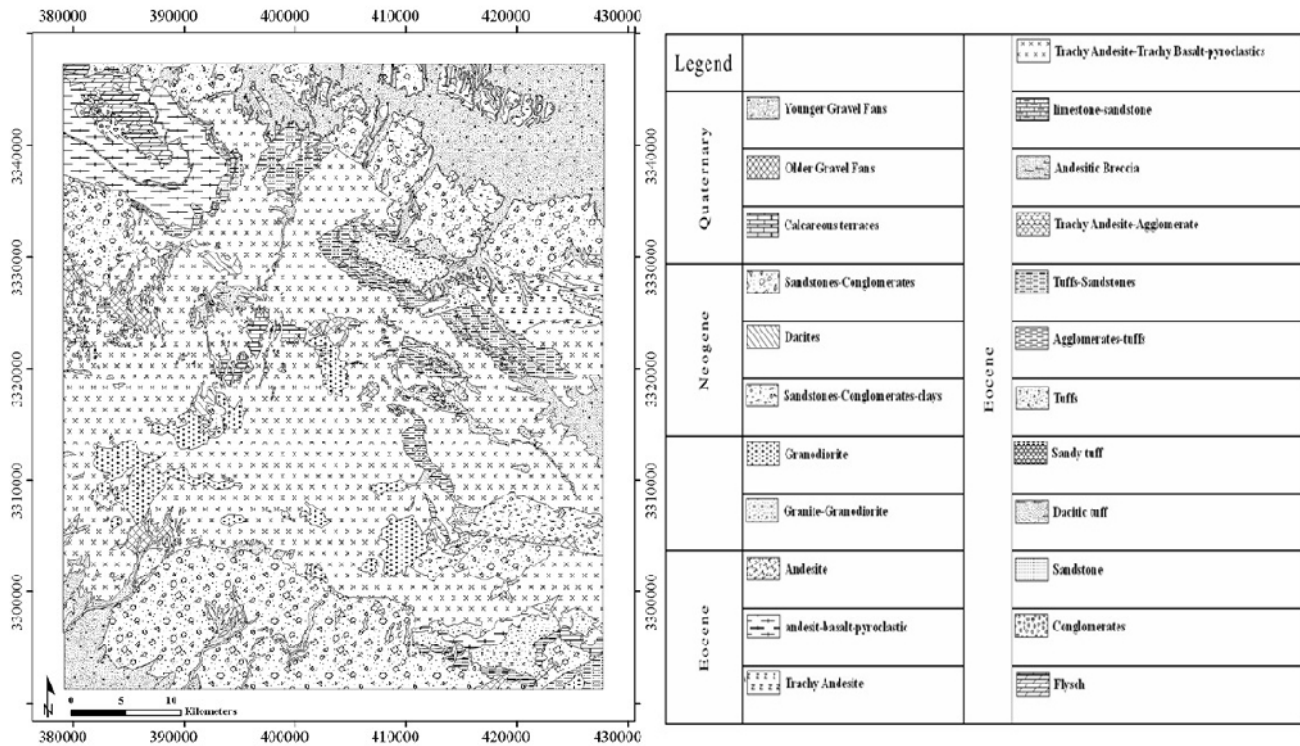
تصحیحات رادیومتری و هندسی، پروسه‌های پیش پردازش رایج برای حذف اثرات سنسور و فاکتورهای محیطی می‌باشند. در این مطالعه از داده‌های هایپریون برداشت شده در سال ۲۰۰۴ (path:160,row:039) استفاده شده است. تصحیحات هندسی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای آستر با دقت تصحیحاتی زیاد- در زون 40 UTM با مبنای ارتفاعی WGS-84 صورت گرفته است. روش‌های تصحیح رادیومتری متفاوتی موجود است که یکی از آن‌ها حذف اثر خطوط جامانده است که به علت وجود اسکنر پوش بروم در هایپریون است.

حسگر مادون قرمز کوتاه موج (SWIR)^۲ هایپریون را برای نگاشت کانی‌ها بررسی کردند. کوداهی و باری [۱۱] در منطقه ای در غرب استرالیا با استفاده از داده‌های هایپریون، دگرسانی‌های مرتبط با ماگماتیک دریایی را بررسی کردند. کروس [۱۲] مقایسه‌ای بین داده‌های آویریس و هایپریون برای پتانسیل‌یابی معدنی مس انجام داد. کروس و همکاران [۱۳] اعتبار داده‌های هایپریون در کاربردهای زمین‌شناسی را ارزیابی کردند. هان و همکاران [۱۴] روش‌های تعیین و تصحیح پیکسل‌های غیر عادی در تصاویر هایپریون را ارائه دادند. گریفین و همکاران [۱۵] الگوریتمی برای حذف اثر ابرها از داده‌های هایپریون ارائه دادند. گرسمن و همکاران [۱۶] از داده‌های هایپریون برای نگاشت دگرسانی‌های هیدروترمال استفاده کردند.

تمامی این مطالعات نشان می‌دهند سنجش از دور، مناطق دگرسانی را با استفاده از سنجنده‌های مختلف با قدرت تفکیک متفاوت و با دقت‌های گوناگون بارز می‌سازد. در این مطالعه از روش‌های آنالیز طیفی پیشرفته برای پردازش داده‌های ابرطیفی هایپریون منطقه سرچشمه و دره‌زار بر روی کمر بند آتشفشانی- رسوبی ایران مرکزی برای به نقشه در آوردن زون‌های دگرسانی گرمایی استفاده شد و در نهایت نتایج آن بررسی و مقایسه شد.

۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از برگه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ پاریز در بخش جنوبی کمر بند آتشفشانی - رسوبی ایران مرکزی در جنوب غرب شهر کرمان را شامل می‌شود و از لحاظ پوشش گیاهی فقیر است. ناحیه مورد مطالعه دارای وضعیت کوهستانی است و الگوی آبراه‌های آن به خوبی توسعه یافته است. سنگ‌های آتشفشانی رسوبی ائوسن شامل پیروکلاست، پیروکسن تراکی آندزیت، پیروکسن آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی بازالت و آندزیت سنگ- های قدیمی‌تر، ناحیه را در بخش‌های شرقی، غربی و مرکز منطقه تشکیل می‌دهند. نفوذ سنگ‌هایی با سن اولیگو- میوسن شامل گرانیدوریت، دیوریت، کوارتز دیوریت، مونزونیت، تونالیت و گرانیت واقع در مناطق مرکزی و جنوبی‌تر درون مجموعه



شکل ۲: نقشه زمین شناسی منطقه مطالعاتی [۲].

و اکسیژن که به عنوان منابع پراکندگی هستند به وجود می‌آید. دومین فرایند به عنوان پراکندگی Mie شناخته می‌شود که نماینده ذرات بزرگتر از قبیل ذرات مایع و جامد معلق می‌باشد که این تعلیق جامد یا مایع در هوا، باعث پراکنش در طول موج-های بلندتر می‌شود. به طور مشابه حضور مولکول‌ها و ذرات معلق در جو می‌توانند باعث جذب جوی شوند. مولکول‌هایی مانند دی‌اکسید کربن و بخار آب دارای جذب بسیار بالای طول موج‌های الکترومغناطیس می‌باشند.

جذب و پراکندگی، هر دو بر دقت داده‌های به دست آمده توسط سنجنده، تاثیر می‌گذارند. به خاطر نیاز به داشتن بازتاب واقعی سطحی، نیاز است تا اثرات جوی به وسیله نرم افزارهای تصحیح جوی حذف یا کمینه شوند [۱۸].

بر اساس رابطه زیر آنچه که به سنجنده می‌رسد، ترکیبی از امواج پراکنده شده و ویژگی‌های طیفی اجسام است

$$L_{total} = (PET/3.14) + L_p \quad (1)$$

که در آن L_{total} مجموع درخشندگی است که توسط سنجنده دریافت می‌شود، P بازتاب جسم، E میزان پرتوافکنی روی جسم، T انتقال جوی و L_p درخشندگی مسیر است [۱۹].

جمله اول اطلاعاتی در مورد بازتاب جسم به ما می‌دهد و جمله دوم معرف پراکنش امواج طی مسیر حرکت موج است که به آن اثر مه گفته می‌شود. در اینجا میزان پراکنش به طول موج بستگی دارد.

همچنین از روش کالیبراسیون بازتابش متوسط داخلی (IARR)، یکی از روش‌های تصحیح تابش سنجی است که برای نرمالیزه کردن تصاویر، با استفاده از یک طیف میانگین صحنه، استفاده گردید. این روش، اثرات ویژه‌ای را برای تبدیل داده‌های طیفی به بازتاب‌های نسبی در مناطقی که اندازه‌گیری زمینی وجود نداشته و اطلاعات از منطقه اندک باشد، دارد. این روش برای مناطق خشک و بدون پوشش گیاهی، نتایج بهتری ارائه می‌دهد. در این روش طیف میانگین برای صحنه ورودی محاسبه شده و این طیف به عنوان طیف مرجع استفاده می‌شود. سپس این طیف میانگین بر هر پیکسل تصویر تقسیم شده و طیف ظاهری پیکسل بدست می‌آید (ENVI، ۲۰۰۹).

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 بر طرف شود. تصحیح جوی مشکل بسیار بزرگتری است و روش‌های متنوعی برای حل آن وجود دارد. جو زمین به خاطر دارا بودن ذرات معلق در آن امواج الکترومغناطیس را پراکنده می‌سازد. امواج در گذر از جو زمین پراکنده می‌شوند. علاوه بر پراکنش جوی، اجسام تیره و روشن که در همسایگی یکدیگر قرار دارند، نیز بر میزان بازتابش یکدیگر اثر گذارند.

بر اساس وجود موادی که باعث پراکندگی در جو زمین می‌شوند، دو پروسه پراکندگی تعیین شده است. نخست: پراکندگی Rayleigh نامیده می‌شود که به علت وجود مولکول‌های نیتروژن

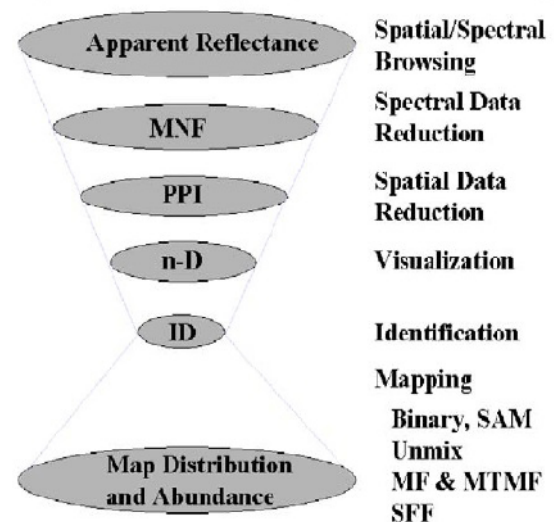
مواد خالص در نهایت به عنوان کلاس‌های طیفی مرجع مورد استفاده قرار می‌گیرند. منحنی‌های طیفی مرجع را می‌توان از سه منبع مختلف به‌دست آورد؛ (۱) نمودارهای حاصل از پیکسل‌های خالص تصویر، (۲) اندازه‌گیری طیفی رادیومتریکی در محل وجود مواد مورد نظر، (۳) کتابخانه طیفی بدست آمده در آزمایشگاه. استفاده از طیف‌های مرجعی که از روش‌های ۲ و ۳ بدست می‌آید نیاز به تصحیحات اتمسفری و توپوگرافی روی داده‌ها دارد [۱۸] در مورد روش اول، از منحنی‌های طیفی بدست آمده از تصویر می‌توان استفاده کرد. برای اینکه بتوانیم کلاس‌های طیفی را به‌طور بهتری از داده‌های چند بعدی دورسنجی استخراج کنیم و به‌طور مؤثرتری پردازش کنیم، لازم است در ابتدا ابعاد داده‌ها را کاهش داده و نیز پارازیت موجود در داده‌ها جدا شوند. با این کار پیچیدگی‌های پردازش و استفاده از الگوریتم‌ها را کاهش خواهیم داد. این کار را می‌توان با استفاده از روش تبدیل MNF بر روی داده‌های چند بعدی انجام داد و ابعاد اصلی داده‌ها را تعیین کرد. سپس کلاس‌های طیفی را بوسیله الگوریتم‌های استخراج طیف-های هدف و روش شاخص پیکسل خالص (PPI) و فضای چند بعدی تجسمی از تصاویر با MNF بالاتر بدست آورد. این کلاس-های طیفی را می‌توان برای تعیین عوارض سطحی مورد نظر با مقایسه کردن با پیکسل داده‌های دورسنجی و بکار بردن الگوریتم‌های مختلف پردازش طیفی استفاده کرد.

۳-۲-۱- کمینه کردن نوفه داده‌ها و کاهش بعد آن‌ها

تابع تقلیل نوفه MNF^۴ شامل دو مرحله‌ی پی در پی تبدیل مولفه‌ی اصلی است. اولین مرحله تبدیل مولفه اصلی با بارسازی نوفه موجود در تصاویر بوسیله غیر همبسته کردن و نمایش مجدد نوفه در تصاویر، داده‌ها را به شکلی می‌سازد که نوفه‌ی آن-ها دارای واریانس واحد و بدون همبستگی باند به باند باشد. در مرحله بعدی، داده‌های با نوفه‌ی بارز شده برای تبدیل مرحله دوم آنالیز مولفه اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و خروجی نهایی را بدست می‌دهد که برحسب کاهش ابعاد اطلاعاتی مرتب شده‌اند [۱۹]. نمودار مقادیر ویژه MNF نشان‌دهنده‌ی مقدار ویژه برای هر باند تبدیلات MNF است. مقادیر ویژه بالا نشان‌دهنده واریانس بالای داده‌ها در باند تبدیل یافته است. هنگامی که این مقادیر به یک نزدیک می‌شوند، فقط نویز در باندهای تبدیلات MNF موجود ماست به‌طوری‌که نویز در تمام سطح باند MNF خروجی تقسیم شده است. بعد داده‌ها را می‌توان از روی مقادیر ویژه تعیین کرد. به‌طوری‌که در روی نمودار مقادیر ویژه MNF، جایی که شیب نمودار شکسته می‌شود و مقادیر ویژه به سمت یک افت می‌کنند، نقطه‌ای

روش تقاطع رگرسیون برای انجام تصحیح جوی، شیوه‌ای تجربی است. روش مذکور بر این واقعیت استوار است که برای یک نوع پوشش زمینی یکنواخت، اختلاف دو مقادیر رقمی بین پیکسل‌های ناحیه‌ای از یک تصویر بطور عمده از تغییرات توپوگرافی نشأت گرفته است. اگر مقادیر رقمی در دو طول موج، برای یک باند از طول موج مادون قرمز و یک باند از طول موج مرئی، برای یک نوع پوشش زمینی (مانند آب یا سایه) طی نمودار واحدی ترسیم شوند، تقاطع دو خط رگرسیون با محور طول‌ها اندازه تأثیر جوی در هر طول موج را بدست خواهد داد. روش‌ها و نرم افزارهای متعددی برای انجام تصحیح جوی موجود است که استفاده از آن‌ها مستلزم داشتن اطلاعات دقیق از منطقه، وضعیت آب و هوا، زاویه، جهت و زمان تصویر برداری و غیره است. به عنوان مثال می‌توان به روش FLAASH در نرم-افزار ENVI و یا نرم‌افزارهای تصحیح جوی ATCOR یا MODTRAN اشاره کرد.

Operational Hyperspectral Processing

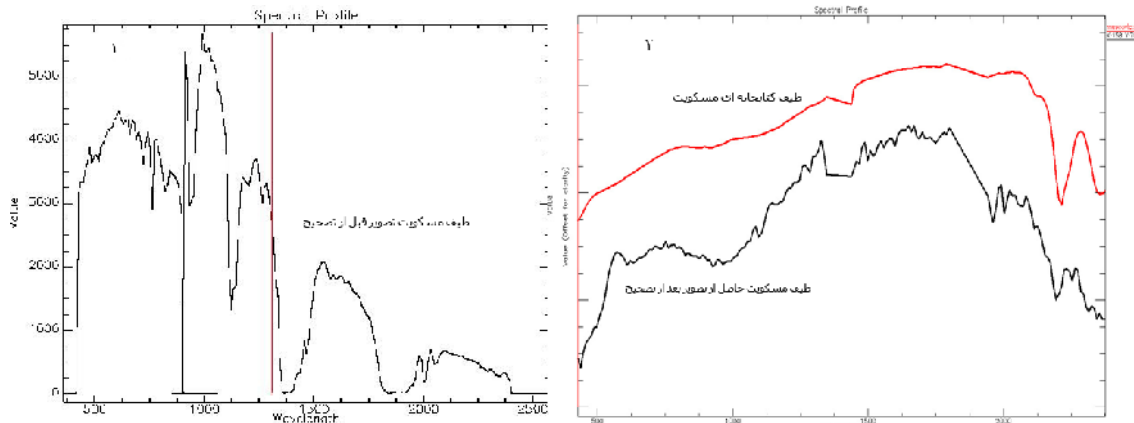


شکل ۳: الگوریتم استخراج اطلاعات داده‌های ابر طیفی، ارائه شده توسط کروس [۱۲].

شکل ۴ طیف تصاویر هایپرین را قبل و بعد از تصحیح جوی نشان می‌دهد.

۳-۲-۲- پردازش طیفی داده‌ها

خیلی از تکنیک‌های مرسوم پردازش طیفی تصاویر بر این اساس استوار است که تصاویر سنجش از دور بوسیله چندین باند طیفی در پهنه‌های باندهای محدود برداشت می‌شود و این امر را ممکن می‌سازد که برای هر پیکسل تصویر بتوان نمودار طیفی را رسم کرد. این طیف‌های بدست آمده را می‌توان سپس با طیف-های حاصل از مواد خالص شناخته شده مقایسه کرد. طیف این



شکل ۴: نتایج اجرای تصحیح جوی بر روی داده های ابرطیفی منطقه. مقایسه طیف مسکویت (۱) قبل از تصحیح جوی (۲) بعد از تصحیح جوی به همراه طیف کتابخانه ای مسکویت.

با توجه به قدرت تفکیک مکانی برای تصاویر سنجنده های چند طیفی و ابر طیفی در ثبت اطلاعات طیفی، که در یک صحنه طیف های مواد متنوع را به عنوان یک پیکسل تصویری اندازه گیری می کنند، مساله ای جداسازی طیفی پیکسل مختلط مطرح است. البته ممکن است این پیکسل به دلیل ترکیب همگن مواد مختلف در صحنه تصویر برداری نیز به وجود آمده باشد. آنالیز طیف های مخلوط مکانیسم موثری برای تفسیر و طبقه بندی تصاویر چند طیفی سنجنش از دور را فراهم می کنند. هدف از این آنالیزها مشخص کردن مجموعه ای از طیف های مرجع "اجزای خالص" است، که بتواند طیف بازتابی در تصویر اولیه را مدل سازی کند. از این رو این مدل ها تعداد محدودی از اجزاء زمینی که به صورت خطی با هم ترکیب شده اند را شامل می شوند. تعیین پیکسل هایی که طیف های خالص دارند و کلاس های طیفی را مشخص می کنند؛ در داده های چند بعدی کار ساده ای نیست. به این دلیل که بیشتر پیکسل ها شامل نسبت های متغیری از مواد گوناگون است. برخلاف مناطق آموزشی که در داده های چند طیفی استفاده می شود و اغلب برحسب میانگین حسابی بردارهای طیفی است، در این روش جدا سازی کلاس های طیفی بر اساس الگوریتم ریاضی پیچیده ای همچون PPI است. PPI ابزاری برای تعیین خودکار خلوص پیکسل ها از روی تصاویر ویژه رتبه بالای روش MNF است [۲۰]. با طرح ریزی مکرر از نمودار پراکندگی n بعدی تصاویر MNF به بردارهای واحد تصادفی، تصویر PPI به صورتی تشکیل می شود که مقادیر پیکسلی، متناظر با مجموع دفعاتی است که پیکسل در تمام مراحل به عنوان خالص در نظر گرفته می شود. روشن ترین پیکسل در تصویر PPI دارای بیشترین خلوص نسبی است زیرا این پیکسل تصویر به طور مکرر به عنوان پیکسل خالص در نظر

است که نویز وارد داده ها می شود و از آنجا به بعد باندها در نظر گرفته نمی شوند. بدون شک باندهای طیفی با پهنای کم، که در تصاویر ابر طیفی موجودند، برای به دست آوردن بازتابش خصیصه های سطحی زمین می تواند مفید باشد. به عبارت دیگر، جمع آوری اطلاعات در این قبیل باندهای طیفی با پهنای کم زمانی بی فایده خواهد بود که ابعاد داده ها زیاد باشد و اطلاعات اضافی مانند اثرات نویز در باندها موجود باشد که این باعث تاخیر در پردازش داده ها می شود. تابع تقلیل نوفه توانایی کاهش بعد و کاهش نوفه را دارد (شکل ۵).

۳-۲-۲- مشخص کردن پیکسل های خالص

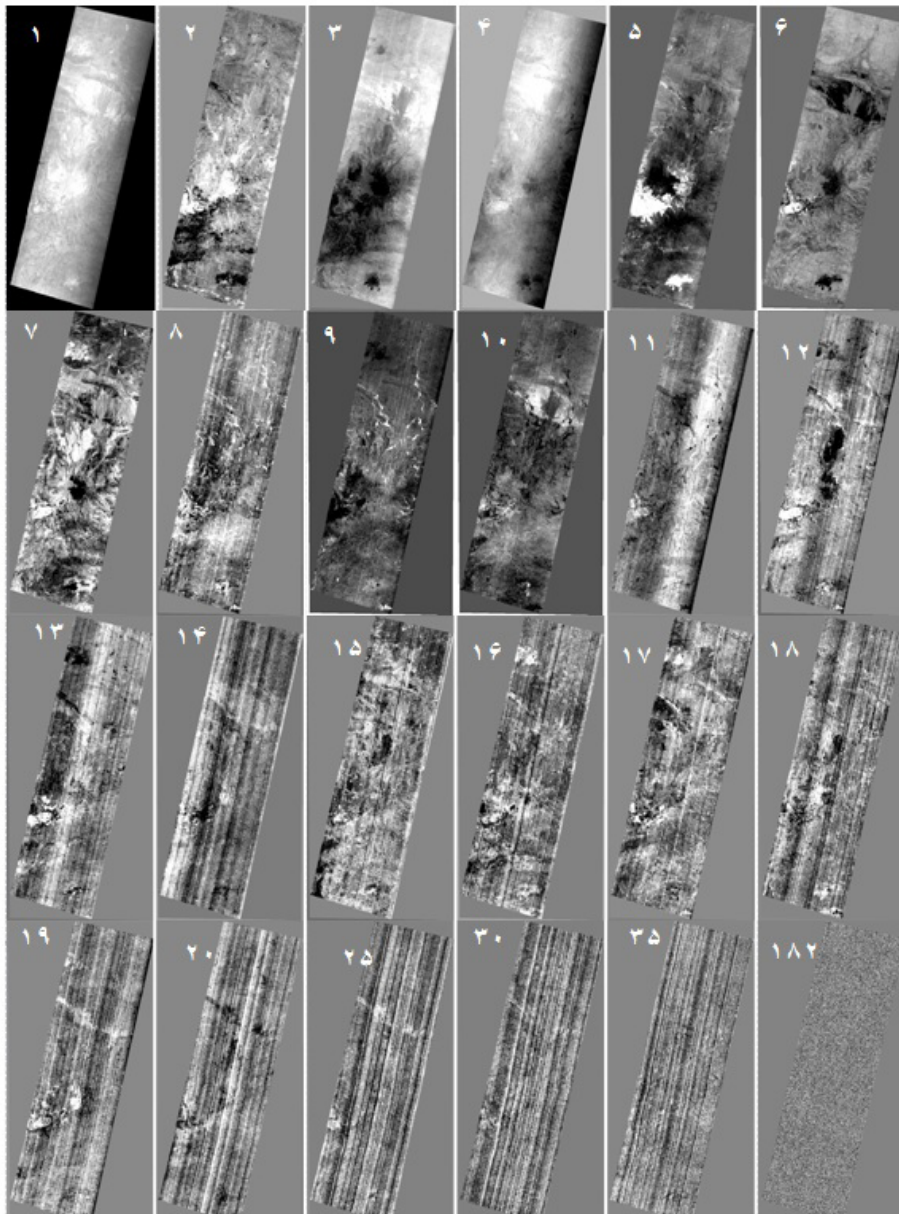
در سال های اخیر استخراج اجزاء خالص از پردازش تصاویر ابر طیفی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. اشیاء ماکروسکوپی حاضر در صحنه تصویر برداری مانند آب، خاک، فلز و یا هر پدیده ی طبیعی و یا ساخته ی دست بشر به عنوان جزء خالص در نظر گرفته می شود. قدرت تفکیک طیفی بالا و امکان استخراج سیگنال های مواد خالص از خود تصویر، سخت و طاقت فرسا بودن جمع آوری اطلاعات زمینی در سطح پوشش داده شده یک تصویر از یک منطقه و همچنین عدم امکان شناخت منطقه، اهمیت استخراج اجزاء خالص از پردازش تصاویر ابرطیفی را بارزتر می کند. بنابراین یک روش بهینه برای استخراج اطلاعات از تصاویر آن است که در تعریف اجزاء خالص از محتوای اطلاعات خود تصویر بهره گرفته شود. بسیاری از الگوریتم های استخراج اجزاء خالص نیز با این هدف توسعه یافته اند. یک الگوریتم کامل برای تعیین اجزاء خالص آن است که بتواند بدون داشتن دانشی از قبل در مورد اجزاء خالص موجود در تصویر و با توجه به ترکیب سیگنال های آن ها، اجزاء خالص را مشخص کند [۳].

گرفته می‌شود [۲۱]. برای بارز سازی اجزای خالص روش PPI^۵ در نرم افزار ENVI، مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶).

۳-۲-۳- استخراج طیف‌های هدف

و مرحله تهیه نقشه فراوانی صورت می‌پذیرد. این الگوریتم‌ها در یک مجموعه از معیارها به صورت سلسله مراتبی که مبتنی بر فرضیات اساسی هر کدام از آنها است، دسته‌بندی می‌شوند. ماده‌ی خالص مطابق با اشیاء ماکروسکوپی حاضر در صحنه تصویربرداری مانند آب، خاک، فلز و یا هر پدیده‌ی طبیعی و یا ساخته دست بشر در نظر گرفته می‌شود. جداسازی طیفی این توانایی را فراهم می‌کند که روش‌های متنوعی برای برچسب‌دهی به جزء پیکسل‌ها فراهم شود. در برآورد اجزاء خالص موجود و فراوانی‌شان در طیف ثبت شده برای هر پیکسل، الگوریتم‌های جداسازی از فرضیه‌های پیچیده‌ی مبتنی بر مکانیسم فیزیکی، ساختار ریاضی و ویژگی‌های بازتابی از مواد خالص در ترکیب حاصل برای طیف مخلوط آن پیکسل بهره می‌گیرند.

برای پیکسل‌های ناخالص که اجزاء اصلی و سازنده‌ی آنها را مواد مختلف تشکیل می‌دهند، طبقه‌بندی به نسبت حضور هر کدام از آن مواد انجام می‌شود. جداسازی طیفی عبارت است از روشی که طیف اندازه‌گیری شده از یک پیکسل مخلوط را به مجموعه‌ای از طیف‌های مواد خالص به نسبت حضور و فراوانی‌شان در آن پیکسل تقسیم می‌کند. الگوریتم‌های موجود برای جداسازی طیف‌ها از تکنیک‌های متفاوت ریاضی استفاده می‌کنند تا بتوانند مواد خالص و مقدارشان را در یک پیکسل تخمین بزنند. این پروسه در سه مرحله شامل کاهش ابعاد داده، تعیین اجزاء خالص



شکل ۵: نتایج اعمال تبدیلات MNF، تعدادی از تصاویر بدست آمده با روش MNF داده‌های هایپرون.

الگوریتم‌های استخراج طیف‌های هدف متفاوتی در نرم افزارهای دورسنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در اینجا روش‌های تعیین کلاس‌های طیفی در فضای n بعدی^۶ و مدل مخروط محدب (SMACC)^۷ برای تعیین طیف‌های هدف مورد استفاده قرار گرفتند.

۳-۲-۳-۱- الگوریتم SMACC

یکی از روش‌های توسعه یافته جدید برای تعیین اجزای خالص در تصاویر ابرطیفی که برای نمایش داده‌های برداری از مدل مخروط‌های محدب بهره می‌گیرد، الگوریتم SMACC است. در این روش اجزای خالص به‌طور مستقیم از مجموعه‌های داده انتخاب می‌شوند. الگوریتم یافتن اجزای خالص به صورت یک فرایند تکراری مطرح می‌شود. مدل مخروط محدب تنها با یک عضو خالص شروع می‌کند و سپس به صورت افزایشی بر تعداد اجزای خالص می‌افزاید. در هر مرحله از مراحل تکرار، نقشه‌های فراوانی تولید و به هنگام می‌شوند.

یک عضو جدید بر اساس زاویه‌ای که با مخروط موجود می‌سازد، مشخص می‌شود. بردار داده‌ای که ماکزیمم زاویه را با مخروط موجود می‌سازد، به عنوان عضو خالص بعدی انتخاب و به مجموعه اجزاء خالص اضافه می‌شود. الگوریتم فراوانی اجزاء خالص قبلی را طی فرایند به هنگام سازی و شرط غیرمنفی بودن آن‌ها را آزمایش می‌کند. الگوریتم، این عمل را تا زمانی ادامه می‌دهد که بردارهای داده، درون مخروط محدب با یک حد آستانه-ای جای بگیرند.

روش یادشده، مزایایی برای داده‌های ابرطیفی در جایی که همبستگی زیاد میان باندها و پیکسل‌ها می‌تواند تکنیک‌های استاندارد را مخدوش کنند، دارد. این روش بسط کارهای قبلی برای انتخاب باند و مدل‌های ترکیب خطی است. در این تکنیک، بردارهای انتهایی درون مجموعه‌ی داده جستجو و بردارهای انتهایی به عنوان اجزاء خالص استفاده می‌شود. یک بردار انتهایی برداری است که نمی‌توان آن را با یک ترکیب خطی مثبت از بقیه بردارهای داده نشان داد.

بردارهای انتهایی یا اجزاء خالص یک مخروط محدب را شکل می‌دهند که بردارهای داده باقی مانده را در بر می‌گیرد. مخروط محدب یک ترکیب خطی برای بردارهای داده فراهم می‌کند، که با ضرایب مثبت فراوانی اجزای خالص برای بردارهای داده، در یک ترکیب خطی مشخص می‌شود [۲۲].



شکل ۶: تصویر حاصل از بکارگیری الگوریتم PPI بر داده‌های هایپریون منطقه.

هر روش موثر برای تفکیک طیفی داده‌های ابرطیفی بایستی با توجه به مدلی که چگونگی مشارکت مواد شکل دهنده‌ی یک صحنه مرکب در ترکیب طیفی ظاهر شده برای پیکسل دریافتی را تشریح می‌کند، عمل کند. به‌طور کلی دو نوع مدل فیزیکی برای بازنمایی واقعیت حضور مواد مختلف در صحنه یک پیکسل، مطرح است. مدل اختلاط خطی برای یک صحنه مختلط از مواد، برای هر یک از اجزای صحنه یک بازتاب مجزا در نظر می‌گیرد. در حالی که مدل اختلاط غیرخطی طیف ثبت شده در سنجده را از این صحنه به حالت ترکیبی از بازتاب طیف‌های مواد مختلف موجود می‌داند.

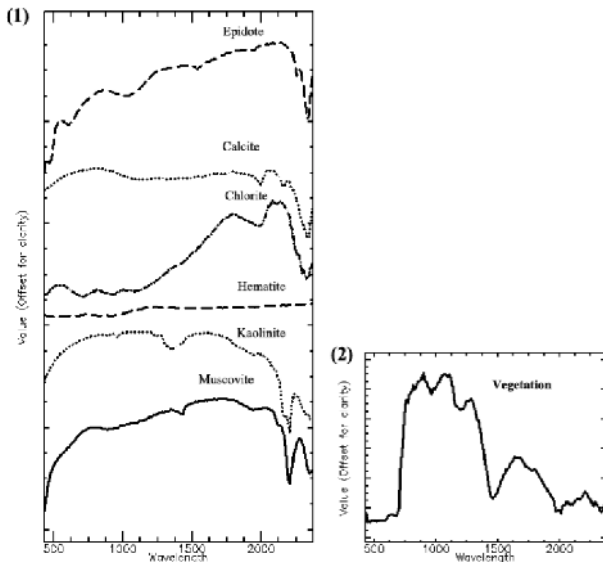
به‌طور کلی برای بررسی الگوریتم‌های استخراج اجزای خالص بایستی به ۴ نکته اساسی زیر توجه کرد [۳]:

۱- نوع عناصر خالصی که بایستی توسط الگوریتم استخراج شوند.

۲- تعداد عناصر خالص، که توسط الگوریتم تخمین زده می‌شوند، در مقابل تعداد باندهای طیفی، و همچنین نسبت به تعداد پیکسل‌هایی که مورد پردازش قرار می‌گیرند.

۳- داده‌ی مورد نیاز به عنوان ورودی الگوریتم.

۴- نوع نوفه که برای مدل سیگنالی در الگوریتم در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۷: کلاس‌های طیفی بدست آمده بوسیله الگوریتم‌های استخراج طیف‌های هدف، برای داده‌های پوشش دهنده منطقه مورد مطالعه، مرتبط با دگرسانی گرمابی و اکسید آهن، (۲) پوشش گیاهی.

۳-۲-۴- مشخص کردن دگرسانی گرمابی منطقه با استفاده از روش SAM

نقشه‌برداری زاویه‌ی طیفی به عنوان یک روش طبقه‌بندی هدایت شده، شیوه‌ای کارآمد برای مقایسه طیف تصاویر نسبت به طیف استاندارد یا طیف مرجع است. الگوریتم این روش، مشابهت بین دو طیف را به وسیله‌ی زاویه‌ی طیفی بین آن دو محاسبه می‌کند (شکل ۸). 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 طبقه‌بندی آن تاثیری ندارد. هرچه مقدار زاویه (بین ۰ تا ۱) کمتر باشد شناسایی دقیق‌تر خواهد بود. در صورتی که مقدار زاویه، ۱ باشد کل تصویر به عنوان پدیده مورد نظر شناسایی می‌شود. به عنوان مثال برای مقایسه یک پیکسل، طیف پیکسل مورد نظر با طیف همان پیکسل در بین طیف‌های مرجع بر روی دو باند در یک محور مختصات رسم می‌گردد (شکل ۸). سپس نقاط به‌دست آمده به مبدأ وصل می‌شود و زاویه‌ی بین دو خط بدست آمده به عنوان زاویه‌ی شناسایی پیکسل شناخته می‌شود. برای بدست آوردن زاویه (α) بین دو بردار (بدست آمده از طیف نقاط آزمایشگاهی t و مرجع r) از استفاده می‌شود:

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\vec{t} \cdot \vec{r}}{\|\vec{t}\| \|\vec{r}\|} \right] \quad (2)$$

۳-۲-۲- تعیین کلاس‌های طیفی در فضای n بعدی

بعد از اعمال PPI، حجم داده‌هایی که مورد پردازش قرار می‌گیرند کاهش پیدا می‌کند. هرچند این امکان هنوز وجود دارد که تعداد خیلی کمی از پیکسل‌های غیرخالص به عنوان کاندیدای تعیین کلاس‌های طیفی در طی انتخاب به صورت خودکار وجود داشته باشد. برای تصحیح کلاس‌های طیفی انتخاب شده و مهمتر از آن برجسبدهی آن‌ها به عنوان واقعیت‌های زمینی این امر لازم است که به صورت بصری پیکسل‌ها در یک فضای n بعدی کنترل و انواع مختلف آنها تعیین شوند [۱۳]. این کار را با استفاده از دو و یا تعداد بیشتری از تصاویر ویژه MNF جهت ساختن نمودار پراکندگی n بعدی انجام می‌دهیم. تمام پیکسل‌هایی که قبلاً بوسیله PPI انتخاب شده بودند، به صورت ابرهای پیکسلی در یک فضای طیفی n بعدی نمایش داده می‌شوند. برای ممکن ساختن بررسی بصری نمودار پراکندگی بوسیله بیش از دو بعد، ابر پیکسلی حاصل از ابعاد بالاتر در صفحه دو بعدی نمایش داده می‌شوند. با گردش متقابل و کنترل بوسیله پردازشگر تصویر در فضای طیفی، کلاس‌های طیفی خالص از ابرهای پیکسلی استخراج می‌شود. به عنوان نتیجه، کلاس‌های طیفی برای بدست آوردن تعداد نهایی آنها مورد پردازش قرار می‌گیرند و در مقایسه با یک کتابخانه طیفی مرجع، با توجه به طول موج جذبی و انعکاسی طیفی برجسب‌گذاری می‌شوند.

برای داده‌های پوشش دهنده منطقه‌ی مورد مطالعه، ۷ کلاس طیفی مرتبط با دگرسانی گرمابی، اکسیدهای آهن و گیاهان شناسایی گردیدند و با مقایسه‌ی آنها با کتابخانه‌ی طیفی سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS)، کانی‌های مسکویت (نماینده‌ی زون فیلیک)، کائولینیت (نماینده‌ی زون آرژیلیک)، کلریت و کلسیت و اپیدوت (کانی‌های زون پروپلیتیک)، همتایت (اکسید آهن) تشخیص داده شدند. نمودار کلاس‌های طیفی تعیین شده بر حسب طول موج در محدوده VNIR و SWIR آورده شده است (شکل ۷). این کلاس‌های طیفی به عنوان طیف‌های مرجع در مراحل بعدی پردازش مورد استفاده قرار می‌گیرند.

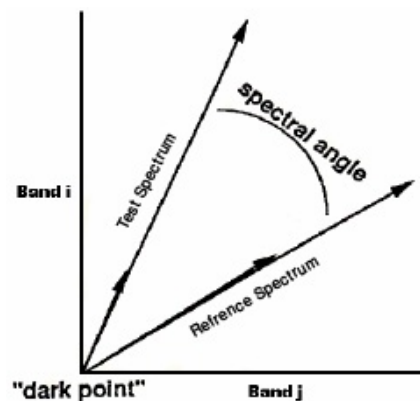
زاویه، جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آن‌ها و به همین علت میزان روشنایی پیکسل در طبقه‌بندی آن تاثیری ندارد. به منظور شناسایی کانی‌های دگرسانی گرمایی، روش SAM بر روی تصویر تصحیح شده هایپرین با انتخاب زاویای طیفی مختلف آزمایش شد (شکل ۹) و زاویای طیفی بهینه بر اساس دگرسانی‌های تعیین شده بر روی زمین، برای منطقه به دست آمدند (جدول ۱). در این جا سعی شد که از طیف کانی‌های هدف کتابخانه مرجع برای طبقه بندی استفاده شود.

در نقشه دگرسانی حاصل، بیشترین گسترش دگرسانی منطقه از نوع فیلیک (مسکویت) در مرکز (شکل ۹) و پروپلیتیک (اپیدوت، کلریت و کلسیت) در اطراف می‌باشد و زون آرژیلیک (کائولینیت) گسترش کمی را در اطراف زون فیلیک نشان می‌دهد که در مقایسه با برداشت‌ها و مطالعات صحرایی همخوانی خوبی دارد (جدول ۲).

در صورتی که از تعداد n باند برای شناسایی پدیده مورد نظر استفاده شود از () برای بدست آوردن زاویه استفاده می‌شود که در آن nb تعداد باندها می باشد [۲۳].

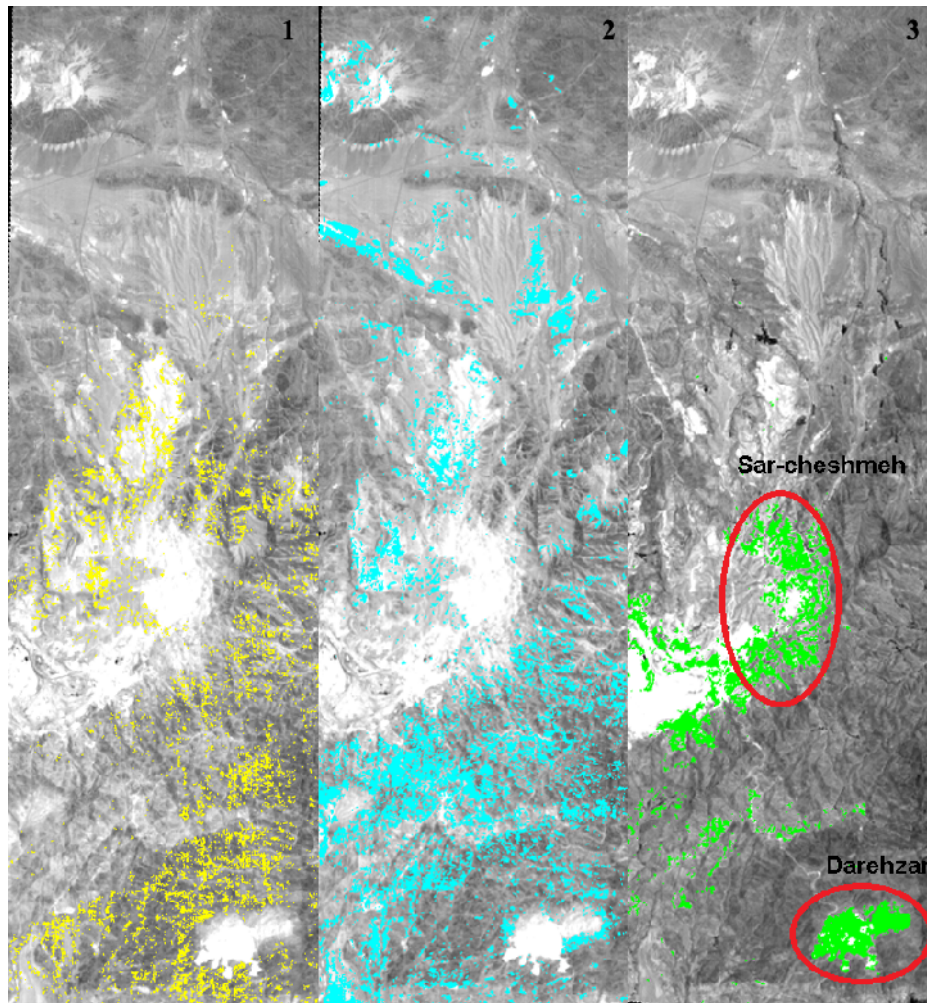
$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (3)$$

نمودارهای طیفی استخراج شده از تصاویر خام اغلب تغییرات اندکی دارند که در تصاویر طبقه‌بندی شده به کمک روش SAM کانی‌ها اثر چندانی از خود نشان نمی‌دهند. اما در صورتی که داده‌های خام تصحیح IARR^۱ شوند اثر طیفی بارزتر می‌شود و به کمک روش SAM می‌توان کانی‌های مختلف را بارزسازی کرد.



شکل ۸: زاویه بین بردارهای طیف مورد آزمایش و طیف استاندارد در روش SAM [۲۳].

در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضایی به ابعاد تعداد باندها، زاویه بین دو بردار محاسبه می‌شود. در این روش برای محاسبه‌ی



شکل ۹: نقشه دگرسانی هیدروترمال حاصل از اجرای روش SAM بر روی تصاویر هایپریون منطقه. (۱) مناطق دارای دگرسانی پروپلیتیک به رنگ زرد، (۲) اکسیدهای آهن به رنگ آبی، (۳) مناطق دارای دگرسانی فیلیک و آرژیلیک به رنگ سبز.

جدول ۱: زوایای طیفی بهینه انتخاب شده برای کانی‌های دگرسانی گرمایی منطقه مورد مطالعه در روش SAM.

نام کانی	مسکویت	اکسید آهن	کلریت	کائولینیت	اپیدوت	کلسیت
زاویه طیفی (α)	0.09	0.08	0.11	0.09	0.1	0.09

جدول ۲: مقایسه نتایج بدست آمده از پردازش داده‌ها با مطالعات انجام شده در منطقه (صحت به درصد).

دگرسانی پروپلیتیک	دگرسانی آرژیلیک	دگرسانی فیلیک
88.33	80	91.66

یکی از مهمترین تصحیحاتی که باید بر روی آنها اعمال شود، تصحیح جوی است. در غیر این صورت، نتایج به دست آمده با عدم قطعیت همراه خواهد بود.

استفاده از کلاس‌های طیفی شناسایی شده جهت تصمیم‌گیری و اعمال روش‌ها، باعث نتایج دقیق‌تر در پردازش‌ها می‌شود. نتایج روش‌ها در شناسایی دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌زایی مس با مطالعات انجام شده در منطقه هم‌خوانی خوبی داشت. با استفاده

۴- نتیجه‌گیری

از مجموع ۲۴۲ باند سنجنده‌ی هایپریون، ۱۸۲ باند انتخاب و برای پردازش‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند. به دلیل پیوسته بودن باندهای سنجنده‌ی هایپریون، این داده‌ها به شدت در معرض پراکنش‌های جوی، تابش خورشیدی، هندسه تصویر برداری سنسور و تغییرات عوارض زمینی قرار می‌گیرند. در نتیجه

Observing-1 (EO-1), USGS, EO1-DFCB-0003, Version 1.0.

[6] Miura, T., Huete, A., Yoshioka, H., Kim, H. J., 2002. *An Application of Airborne Hyperspectral and EO-1 Hyperion Data for Inter-sensor Calibration of Vegetation Indices for Regional-scale Monitoring*, IEEE Trans. Geosci, Remote Sensing, 3118-3120.

[7] 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.

[8] 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.

[9] Cudahy, T. J., Hewson, R., Huntington, J. F., Quigley, M. A., Barry, P. S., 2001. *The Performance of the Satellite borne Hyperion Hyperspectral VNIR-SWIR Imaging System for Mineral Mapping at Mount Fitton, South Australia*, IEEE.

[10] Cudahy, T. J., Rodger, A. P., Barry, P. S., Mason, P., Quigley, M., Folkman, M., Pearlman, J., 2002. *Assessment of the stability of the Hyperion SWIR module for hyperspectral mineral mapping using multi-date images from Mount Fitton, Australia*, IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing 3504-3506.

[11] Cudahy, T. J. & Barry, P. S., 2002. *Earth magmatic-seawater hydrothermal alteration revealed through satellite-borne Hyperion imagery at Panorama*, Western Australia, IEEE, 590-592.

[12] Kruse, F. A., 2003. *Preliminary results – hyperspectral mapping of coral reef systems using EO-1 Hyperion*, Buck Island and Virgin Islands, In Proceedings of the 12th JPL Airborne Geoscience Workshop, JPL Publication 04-6 (Pasadena, CA : Jet Propulsion Laboratory), 157-173.

[13] Kruse, F. A., Boardman, J. W., Huntington, J. F., Mason, P., Quigley, M. A., 2002. *Evaluation and Validation of EO-1 Hyperion for Geologic Mapping*, IEEE, 593-595.

[14] Han, T., Goodenough, D. G., Dyk, A. & Love, J., 2002. *Detection and Correction of Abnormal*

از روش‌های MNF و PPI برای کاهش حجم داده‌ها، ۷ کلاس طیفی دگرسانی گرمایی شامل مسکویت (فیلیک)، کائولینیت (آرژیلیک)، کلسیت، کلریت و اپیدوت (پروپلیتیک)، هماتیت (اکسید آهن) و پوشش گیاهی برای منطقه تشخیص داده شدند. الگوریتم‌های استخراج طیف‌های هدف متفاوتی در نرم افزارهای دورسنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در اینجا روش‌های تعیین کلاس‌های طیفی در فضای n بعدی و SMACC برای تعیین طیف‌های هدف مورد استفاده قرار گرفتند و دگرسانی‌های منطقه با استفاده از روش SAM به نقشه در آمدند. با استفاده از این داده‌ها نیز، زون فیلیک و پروپلیتیک گسترش بیشتری را نسبت به زون آرژیلیک در منطقه نشان داد و ارتباط نزدیکی بین زون فیلیک و محدوده‌های کانسارسازی نوع پورفیری شناخته شده در منطقه دیده می‌شود.

بررسی ترکیبات اکسید و هیدروکسید آهن تشکیل شده در منطقه می‌تواند به عنوان راهنمای مناسبی برای شناسایی مناطق مرتبط با کانی زایی مس استفاده شود. در منطقه مورد مطالعه عمده ترین منبع Fe در ارتباط با کانی زایی مس پورفیری پیریت و کالکوپیریت می‌باشند که در اثر فرایندها و تغییرات شیمیایی باعث تشکیل هماتیت، ژاروسیت و گوتیت در سطح منطقه گردیده است و سطح وسیعی از منطقه را در بر گرفته است.

منابع

- [۱] 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.
- [۲] بابایی، م. ، ۱۳۸۸، استفاده از روش‌های 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.
- [۳] حیدری مظفر، م. ، ولدان زوج، م. ، رضایی، ی. ، ۱۳۸۷، " بررسی روش‌های استخراج پیکسل‌های خالص از تصاویر ابرطیفی". کنفرانس ژئوماتیک، تهران.
- [4] Kruse, F. A., 2002. *Comparison of AVIRIS and Hyperion for Hyperspectral Mineral Mapping*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Presented at the 11th JPL Airborne Geoscience Workshop, 4-8 March 2002, Pasadena, California.
- [5] Simon, K., Beckmann, T., Beckmann, T., 2002. *Hyperion Level 1GST (L1GST) Product output Files Data Format Control Book (DFCB)*, Earth

unmixing of AVIRIS data. Summaries of the 5th Annual JPL Airborne Geosciences Workshop 23–26.

[22] Gruninger, J., Ratkowski, A. J., Hoke, Michael L., 2004. *The sequential maximum angle convex cone (SMACC) endmember model*, SPIE Proceeding, Algorithms for Multispectral, Hyperspectral and Ultraspectral Imagery, Volume 5425-1.

[23] Kruse, F., Lefkoff, A., Boardman, J., Heidebrecht, K., Shapiro, A., Barloon, P. & Goetz, A. 1993. *The spectral image processing system (SIPS) - interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data*, Remote Sensing of Environment, Volume 44, Issues 2-3, Pages 145-163.

پی نوشت :

- 1- Earth Observation 1
- 2- Shortwave Infrared
- 3- Spectral Angle Mapper
- 4- Minimum Noise Fraction
- 5- Pixel Purity Index
- 6- n-Dimensional Visualizer
- 7- Sequential Maximum Angle Convex Cone
- 8- Internal Average Relative Reflectance

Pixels in Hyperion Images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1327-1330.

[15] Griffin, M., Burke, H., Mandl, D., Miller, J., 2003. *Cloud Cover Detection Algorithm for EO-1 Hyperion Imagery* IEEE, 86-89.

[16] 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.

[17] Yuan, J., Niu, Z., 2008. *Evaluation of Atmospheric Correction Using FLAASH*, International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (IEEE), Beijin, 1–6.

[18] Jensen, J. R., 2000. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, p. 544.

[19] Jensen, J. R., 2005. *Introductory Digital Image Processing*. Person Prentice Hall, Upper Saddle River, p. 526.

[20] Boardman, J.W., 1993 *Automating spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts*, In :Summaries of the 4th Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, Pasadena, 11–14.

[21] Boardman, J.W., Kruse, F.A. & Green, R.O. . 1995 *Mapping target signatures via partial*