



تصحیحات رادیومتریک تصاویر ابرطیفی هایپریون به منظور استخراج اطلاعات در کاربردهای زمین‌شناسی

امید غفاری^{۱*}، محمدمجود ولدان زوج^۲، مهدی مختارزاده^۳

- ۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و مری گروه نقشه برداری، دانشگاه زنجان
- ۲- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده :

توسعه تصاویر ابرطیفی نخستین بار با دیدگاه تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی تحقق یافت. در همین راستا قابلیت‌های تصاویر هایپریون در منطقه معدنی شمال‌غرب گناباد مورد بررسی قرار گرفت. هایپریون با وجود اطلاعات ارزشمند طیفی به علت تعدد خطاهای سیستماتیک و نویزهای تصادفی آن کمتر در کشورمان مورد توجه واقع شده‌است. در این تحقیق با ایجاد چارچوبی در زمینه شناسایی و مدیریت نویزهای موجود در این سنجنده، تلاش شده تا دستورالعملی یکپارچه به منظور کاهش اثرات و خطاهای رادیومتریک آن ارائه گردد. این مراحل شامل شناسایی باندها و پیکسل‌های بد، کاهش خطای لبخند طیفی و نوارشدگی، تصحیح اتمسفری و کاهش نویزهای باقیمانده در سطح تصویر می‌باشد. از آنجاییکه در بالاترین سطح از پردازش‌های طیفی این تصاویر، مقایسه طیف پیکسل‌ها با طیف‌های کتابخانه‌ای و داده‌های میدانی می‌تواند مورد نظر باشد در کلیه مراحل ارائه شده سعی بر کمترین اختشاش در اطلاعات طیفی تصاویر می‌باشد. نقشه‌های معدنی بدست آمده از تصاویر پردازش شده تطابق بالایی با وضعیت منطقه داشته و مقایسه منحنی طیفی پیکسل‌ها با مشاهدات میدانی امکان بررسی نقش پردازش‌های انجام شده بر تصاویر هایپریون را مهیا می‌نماید.

واژه‌های کلیدی : ابرطیفی، هایپریون، پیش پردازش طیفی، تصحیحات رادیومتریک، لبخند طیفی، نوارشدگی

۱- مقدمه

ناسا با هایپریون نخستین تجربه سنجنده فضابرد ابرطیفی را رقم زد. از آن موقع تاکنون هایپریون به عنوان یکی از سه سنجنده سوار بر سکوی مشاهده کننده زمین ۱ (EO-1) محسوب می‌شود که با استفاده از آن طیف وسیعی از کاربردها محقق شده است. بطور خاص [۴-۱] نشان می‌دهند که چگونه داده هایپریون می‌تواند در یافتن پاسخ موضوعات زمین‌شناسی و اکتشاف معادن کمک نمایند. مطالعات سنجش از دوری دیگری با استفاده از این داده در حوزه‌های کشاورزی [۵، ۶، ۷، ۸]، خاک [۹، ۱۰]، آب و اتمسفر [۱۱، ۱۲] انجام شده که حاکی از قابلیت بالای آن در موضوعات متنوع می‌باشد. اما نقطه مشترک همه این کاربردها نیاز به کالیبراسیون دقیق داده‌های این سنجنده می‌باشد.

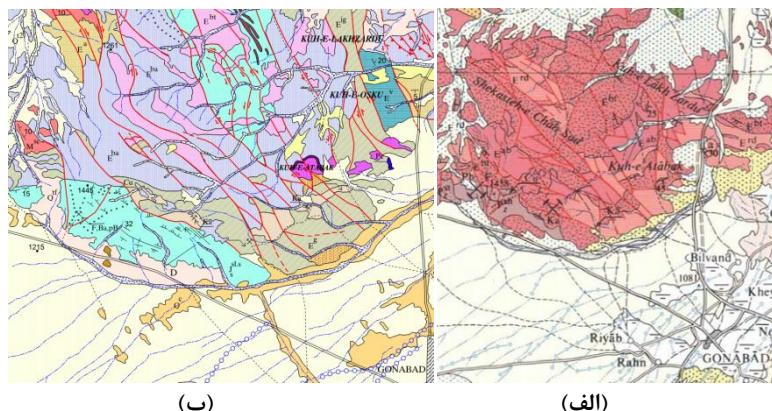
مطالعات صورت گرفته در خصوص کالیبراسیون این داده‌ها را به دو بخش ۱- قبل از ارسال سنجنده [۱۲، ۱۱] و ۲- بعد از ارسال [۱۳، ۱۴] آن می‌توان دسته بندی نمود. همراه با ارسال هایپریون مطالعات وسیعی بر روی توسعه پیش پردازش‌های مورد نیاز این سنجنده منتشر شد. شیوه‌های مختلفی برای تصحیح اعوجاجات و اختشاش‌های موجود در تصویر ارائه گردید. علاوه بر آن برخی از مولفین به طور خاص بر روی خطاهایی همچون نوارشدنگی [۱۵] و لبخند طیفی [۱۶ و ۱۷] متمرکز شدند.

همانطور که مشاهده می‌شود روش‌های مختلفی برای پیش‌پردازش تصاویر هایپریون وجود دارند؛ اما دستورالعملی استاندارد در این زمینه همچون برخی سنجنده‌های دیگر (مانند مادیس در قالب ATBD) وجود ندارد. هدف از این مطالعه مروری بر روش‌های مختلف ارائه شده در زمینه تصحیحات رادیومتریک تصاویر هایپریون و معرفی چارچوبی برای پیش‌پردازش‌های لازم می‌باشد. به همین منظور بر مبنای منطقه‌ای معدنی در شمال شرق ایران که مطالعات زمین‌شناسی و بازدید میدانی از آن صورت گرفته نقش پیش‌پردازش‌های انجام شده در تهیه نقشه‌های معدنی بررسی شده است.

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی، در شرق ایران، شمال بلوك لوت و شمال غرب گناباد واقع شده است. این محدوده شامل برونزدهایی از سنگهای آتشفسانی ائوسن با ترکیب آندزیت تا ریولیتی است که واحدهای نیمه عمیق و عمیق گرانیتی تا دیوریتی در آنها نفوذ کرده است. منطقه مورد مطالعه در غرب نقشه ۱/۲۵۰۰۰ زمین‌شناسی گناباد و شمال غرب نقشه ۱/۱۰۰۰۰ زمین‌شناسی گناباد (شکل ۱) قرار دارد. واحدهای سنگی که در منطقه رخنمون دارند شامل سنگ‌های اسلیت و کوارتزیت (ژوراسیت میانی)، سنگ‌های آتشفسانی و توده‌های آذرین نفوذی (ائوسن) است. واحدهای سنگی، رخنمون تپه ماهور و مرتفع دارند.

حضور کانی‌سازی‌های رگهای نوع سرب و روی (در محدوده کانی سازی فلورین جویمند) در نتیجه نفوذ دایک‌های متعدد، مس (محدوده اکتشافی کلاتنه نو) و کائلون (معدن رخ سفید، باغ سیاه، یاسمينا و کلاتنه نو) در این منطقه حائز اهمیت است. جنوب محدوده مورد بررسی، منطقه‌ای غنی به لحاظ خاک رس کائلونیتی است. منشاء این خاک رسی گسترده به نفوذ دایک گرانیتی که رخنمون آن در داخل سازند شمشک دیده می‌شود، مربوط است. دو معدن مهم کائلون رخ سفید و باغ سیاه از جمله مهمترین آنهاست. نوع دگرسانی در این مناطق، زون آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفتی است. هیدرولیز شدید سیلیکات‌های آلومینیوم دار (محیط اسیدی) موجب تشکیل کانی‌های رسی از جمله کائلونیت شده است. کانی‌شناسی این ذخایر به ترتیب فراوانی و بر اساس نتایج آنالیز XRD شامل کوارتز، کائلونیت، دیکیت، مونتموریلونیت، هماتیت و آلونیت است. دگرسانی پروپیلیتیک شامل کلریت، کلسیت و اپیدوت دیده می‌شود. این کانی‌ها در برگرفته است. کانی‌های اصلی دگرسانی پروپیلیتیک شامل کلریت، کلسیت و اپیدوت دیده می‌شود. این کانی‌ها حاصل دگرسان شدن کانی‌های آهن و منیزیم‌دار و پلاژیوکلاز است [۱۹].



شکل ۱: (الف) محدوده غرب نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰، (ب) محدوده شمال غرب نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰ از منطقه شمال غرب گناباد

۲-۱- دگرسانی و کانی سازی

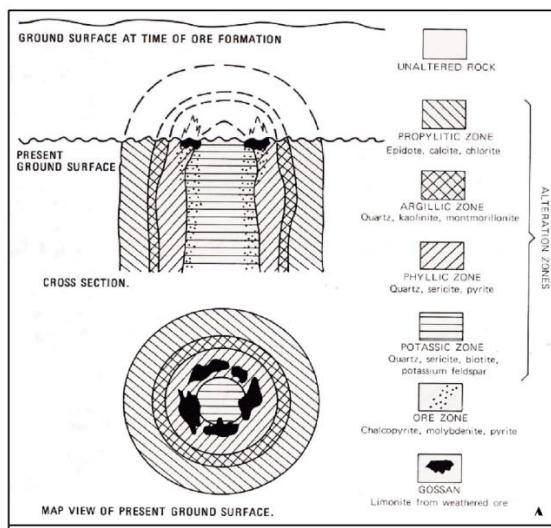
با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌توان مرزهای بسیاری از سازندهای زمین‌شناسی را از یکدیگر تفکیک کرد؛ گسله‌ها را مورد مطالعه قرار داد و نقشه‌های گوناگون زمین‌شناسی تهیه کرد. داده‌های سنجش از دور بدليل یکپارچه و وسیع بودن، تنوع طیفی، تهیه پوشش‌های تکراری و ارزان بودن در مقایسه با سایر روش‌های گردآوری اطلاعات از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار است.

شناخت نواحی دگرسانی یکی از عوامل تشخیص مناطق کانه‌دار می‌باشد؛ که اگر در تشخیص این مناطق نوع دگرسانی نیز مشخص شود می‌تواند در تعیین الگویی مناسب جهت کانه‌زایی منطقه مفید باشد. دگرسانی به واکنش کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها نسبت به تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی مغایر با شرایطی که در آن تشکیل شده‌اند را گویند. به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تاثیر آبهای مagmaی و گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرسانی گرمایی یا آلتراسون گویند. آلتراسیون ساده‌ترین، ارزانترین و مناسب‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است. در دو مرحله از اکتشاف می‌توان از آلتراسیون‌ها کمک گرفت: ۱- در پیدا کردن محل مناسب برای وجود یک ذخیره معدنی و قبل از شروع عملیات صحرایی، ۲- در مرحله بازدیدهای صحرایی برای تخمین نوع کانی‌سازی، گسترش، شدت و محل اصلی کانی‌سازی.

۲-۲- مدل آلتراسیون کانسارهای مس پورفیری

یک مدل از آلتراسیون گرمایی، کانسارهای مس پورفیری می‌باشد که توسط لوول گیلبرت [۲۰] پیشنهاد شده است. در این مدل شدیدترین دگرسانی در هسته توده پورفیری رخ داده و بطور شعاعی از مرکز به طرف خارج شدت دگرسانی کاهش می‌یابد. ترتیب زون‌ها از مرکز به خارج به صورت زون پتاسیک، زون کانه، زون فیلیک، زون آرژیلیک و زون پروپیلیتیک می‌باشد. زون کانه شامل دانه‌های پراکنده کالکوپیریت، مولیبدنیت، پیریت و دیگر کانی‌های سولفیدی می‌باشد (شکل ۲).

اکثر کانی‌ها در یک پوسته استوانه‌ای در مرز بین زون پتاسیک و فیلیک رخ داده‌است. وقتی که زون کانه در اثر فرسایش در سطح ظاهر می‌شود اکسیدهای پیریت یک کلاهک آهنه قرمز تا قهوه‌ای به نام گوسان را تشکیل می‌دهند؛ که می‌تواند نشانه مفیدی برای اکتشاف کانسارهای واقع در زیرزمین باشد. اگرچه همه گوسان‌ها با کانسارها همراه نمی‌باشد.



شکل ۲: زون‌های دگرسانی گرمابی مرتبط با مدل آلترازیون کانسارهای مس پورفیری [۲۰]

کانسارهای پورفیری کمیت، تشابه و کاملیت مدل لوول گیلبرت را دارند و معمولاً تغییر شکل‌های ساختاری، فرسایش و رسوب گذاری بخش‌های زیادی از سیستم را پنهان می‌کند. با وجود این شناسایی بخش کوچکی از سنگ‌های دگرسان شده در تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند یک مدرک اکتشافی ارزشمند باشد.

۳- داده‌های مورد استفاده و پردازش طیفی آنها

برای شناسایی کانی‌های مختلفی که در مناطق دگرسانی یافت می‌شوند (سریسیت، کانی‌های رسی، آلونیت، کلریت، اپیدوت و کلسیت) سنجنده‌های چندطیفی محدودیت زیادی در رابطه با نبود تصویر در بخش‌های جذب و بازتاب این کانی‌ها دارند و یا پهنه‌ای باند تصویر آنقدر زیاد است که بدرستی بر محدوده‌های ویژگی‌های جذبی طیف کانی منطبق نمی‌شود. برای رهایی از این مشکلات می‌توان از سنجنده‌های ابرطیفی کمک گرفت.

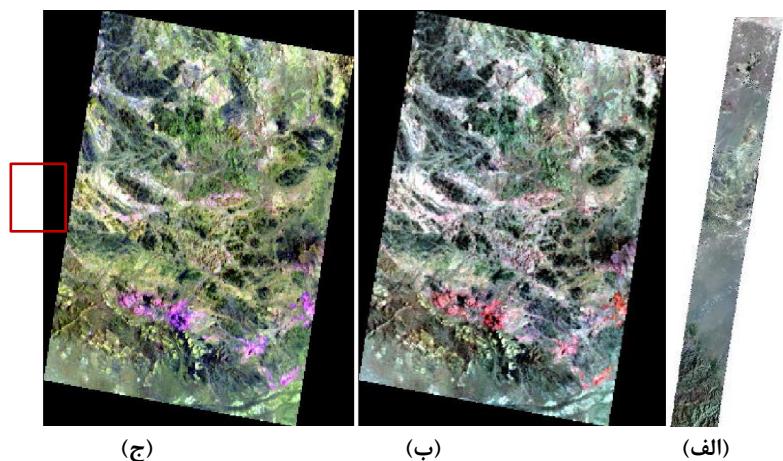
۳-۱- مشخصات تصویر هایپریون

در این تحقیق از تصویر سنجنده هایپریون که بر روی ماهواره EO-1 که در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری سطح زمین قرار دارد استفاده شده است. این سنجنده با تکنولوژی پوش بروم و با یک آرایه ۲۵۶ پیکسلی در جهت عمود بر مسیر پرواز، در محدوده ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر طیف‌های انعکاسی را ثبت نموده و در مجموع پهنه‌ای دیدی برابر ۷.۶ کیلومتر دارد. قدرت تفکیک مکانی آن برابر ۳۰ متر است. این سنجنده به کمک دو طیفسنج VNIR با ۷۰ باند و SWIR با ۱۷۲ باند که به طور متوسط پهنه‌ای باندی ۱۰ نانومتر دارند در ۲۴۲ باند مشغول فعالیت می‌باشند. مشخصات اختصاصی تصویر مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات داده هایپریون مورد استفاده

عنوان	مقدار
Scene-ID	EO1H1590362015097110KF
Pre-processing Level	L1R/L1T
Acquisition date / time (UTC)	07-04-2015 / 05:09:37-05:13:56
Sensor look angle	-20.035
Geographical extent	Lat:34°01'24.19"N Long:58°31'41.09"E
Cloud coverage	10% to 19% Cloud Cover

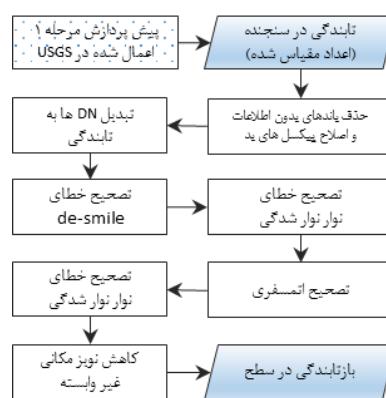
شکل (۳) ترکیب‌های رنگی کاذب هایپریون، معادل با باندهای ۴-۶-۸ و ۱-۶-۴ از سنجنده استر که به منظور شناسایی دگرسانی‌ها استفاده می‌شوند را به تصویر کشیده است. در ترکیب رنگی ۴-۶-۸ دگرسانی آرزیلیک - فیلیک به رنگ صورتی تا سرخ و پروپیلیتیک به رنگ سبز نمایان می‌شوند. از ترکیب رنگی ۱-۶-۴ برای آشکارسازی اکسیدهای آهن که به رنگ آبی ظاهر شده و دگرسانی آرزیلیک - فیلیک که به رنگ صورتی و زرد مایل به صورتی آشکار می‌شوند استفاده می‌گردد.



شکل ۳: (الف) ترکیب رنگی باندهای ۱۵۱-۲۰۶-۲۱ تصویر هایپریون معادل ترکیب رنگی باندهای ۴-۶-۸ است،
 (ب) ترکیب رنگی باندهای ۱۵۱-۲۰۶-۲۱۸ تصویر هایپریون معادل ترکیب رنگی باندهای ۱-۶-۴ است

۲-۳- پیش‌پردازش تصاویر هایپریون

شکل (۴) مراحل پیش‌پردازش تصاویر اخذ شده توسط سنجنده هایپریون در سطح L1R را نشان می‌دهد. ترتیب گام‌های پیش‌پردازش به گونه‌ای انتخاب شده که حداقل تغییرات را بر روی اطلاعات با ارزش این سنجنده داشته باشد. مراحل پیش‌پردازش مشابهی در [۲۱، ۱۶ و ۱۵] نیز ارائه شده که بسته به سطح پردازشی داده و کاربرد مورد استفاده تغییراتی در آن مشاهده می‌گردد. در ادامه بطور مختصر گزینی بر نکات کلیدی هر بخش زده شده است.



شکل ۴: مراحل پیش‌پردازش بر روی داده سنجنده هایپریون

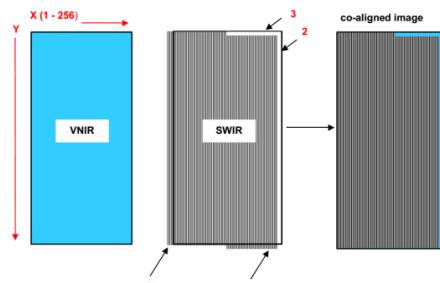
۲-۳-۱- پیش‌پردازش‌های سطح L0 و L1

پس از دریافت تصویر ثبت شده در GSFC پیش‌پردازش‌های سطح L0 بر روی آن انجام شده و به همراه داده‌های کمکی برای انجام تصحیحات L1 به مرکز TRW ارسال می‌گردد. این تصحیحات شامل کالیبراسیون خورشید/تاریک^۱،

^۱ Solar/dark calibration

تصحیح smear، حذف echo و تشخیص پیکسل‌های بد می‌باشد. این تصحیحات برای کلیه کاربردهای علمی مورد نیاز بوده و بدون انجام صحیح آن‌ها کالیبراسیون مطلق معتبر نمی‌باشد [۲۲].

هم‌مرجع سازی مکانی داده‌های VNIR و SWIR آخرین مرحله از پردازش‌های سطح L1B می‌باشد. اطلاعات SWIR به منظور هم‌ترازی با داده‌های VNIR مطابق شکل (۵) شیفت پیدا می‌کنند. ۱- در راستای \times پیکسل‌های SWIR به اندازه (۱)- منتقل می‌شوند. ۲- به این ترتیب پیکسل‌های ستون ۱ از بین رفته و پیکسل‌های ستون ۲۵۶ صفر ثبت می‌شوند. ۳- در راستای y پیکسل‌های ۱۲۹ تا ۲۵۶ SWIR به اندازه (۱⁺) منتقل می‌شوند. ۴- با این انتقال آخرین سطر از پیکسل‌های ۱۲۹ تا ۲۵۶ پاک می‌شوند. انتقال صورت گرفته در راستای y به این جهت می‌باشد که شیفت میان داده‌های VNIR و SWIR در جهت حرکت وابسته به موقعیت پیکسل از مقدار (۰) در پیکسل شماره ۱ تا (۱) در پیکسل ۲۵۶ کاهش می‌یابد [۲۲]. با توجه به مطالب بیان شده این هم‌مرجع سازی در پردازش‌های سطح ۱ انجام شده و دیگر نیازی به شیفت در داده دریافت شده نمی‌باشد.



شکل ۵: مراحل هم‌مرجع سازی داده‌های VNIR و SWIR در پردازش‌های سطح L1B [۲۲]

۳-۲-۲-۳- تابندگی در سنجنده (اعداد مقیاس شده)

خروجی سطح ۱ در واحد $100 \times 100 \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{W}/\text{m}^2$ می‌باشد. به خاطر تبدیل خروجی سطح L1A از داده صحیح علامت دار^۱ به صحیح بدون علامت^۲ ضرایب برای سنسور VNIR به $40 \times 10^{-6} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{W}/\text{m}^2$ و SWIR به $80 \times 10^{-6} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{W}/\text{m}^2$ اصلاح گردید. این تغییر اجازه می‌دهد حفاظت از بیشترین دقیقت^۳ بدون سرریز اطلاعات به علت محدودیت اندازه در داده خروجی 16bit صحیح علامت‌دار صورت پذیرد.

۳-۲-۳- حذف باندهای بدون اطلاعات و اصلاح پیکسل‌های بد

از میان ۲۴۲ باند تصویر هایپریون تعدادی از باندها بطور عمده روشن نشده و برخی دیگر که عمدتاً در محدوده همپوشانی دو سنجنده VNIR و SWIR واقع شده‌اند به علت نسبت سیگنال به نویز پایین در مرحله پردازش سطح L1B توسط TRW به صفر تبدیل شده‌اند که می‌بایست از داده کنار گذاشته شود. به همین خاطر ۱۹۸ باند باقی می‌ماند که از میان آنها ۴ باند در محدوده همپوشانی دو سنجنده واقع شده که دو باند SWIR به علت نسبت سیگنال به نویز پایین‌تر حذف می‌گردند و در مجموع ۱۹۶ باند یکتا باقی می‌ماند.

باندهای بخار آب اتمسفری که تقریباً همه انرژی تابش خورشیدی را جذب می‌نماید به راحتی با بررسی بصری قابل تشخیص می‌باشد. قوی‌ترین باندهای بخار آب در محدوده‌های ۱۴۱۷، ۱۴۱۷-۱۴۱۷، ۱۳۵۶-۱۳۵۶، ۱۹۳۲-۱۹۳۲ و فراتر از ۲۲۹۵ نانومتر می‌باشد. از آنجاییکه این باندها شامل اطلاعات ناچیزی درباره سطح می‌باشند، این باندها را معمولاً از تصاویر ابرطیفی حذف می‌کنند. اما برخی برنامه‌های تصحیح اتمسفری مانند FLAASH باندهای نزدیک ۱۳۸۰ نانومتر را برای

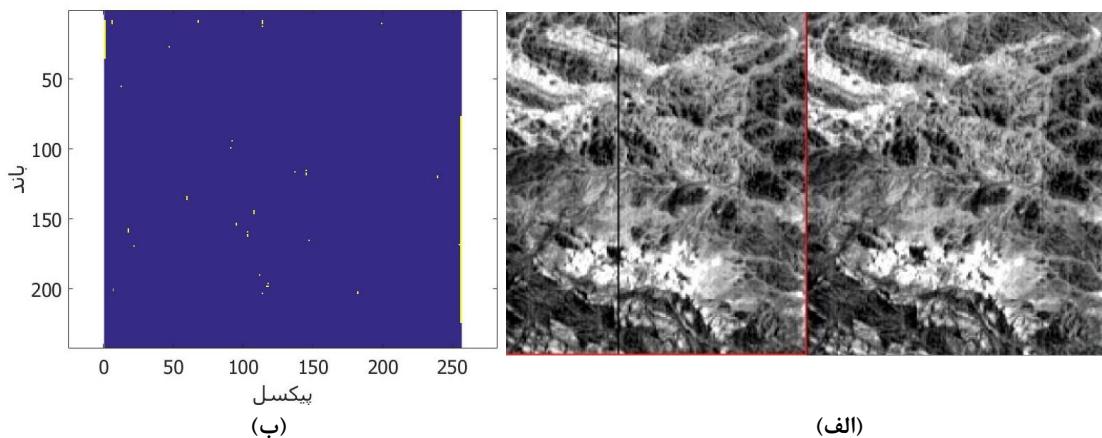
¹ Signed Integer

² Unsigned Integer

³ Accuracy

ماسک ابرها (مخصوصا ابرهای با ارتفاع بالا) نیاز دارند؛ بنابراین باندهای ۱۲۳-۱۲۵ (۱۳۹۶-۱۳۸۶-۱۳۷۶ نانومتر) در تصویر حفظ می‌گردند. چشم پوشی از باندهای بخار آب قوی زیرمجموعه‌ای ۱۷۹ باندی برای تصحیحات اتمسفری و سایر پردازش‌ها ایجاد می‌کند.

در سنجنده‌های پوش بروم همچون هایپریون، آشکارسازهایی که بطور مناسبی کالیبره نشده‌اند در تصویر خطوط راه راه عمودی در باندهای مختلف بر جا می‌گذارند. در بدترین حالتی که این پیکسل‌ها شامل اطلاعات بسیار ضعیف و یا عاری از سیگنال باشند به عنوان پیکسل‌های بد شناخته می‌شوند. در داده‌های با پردازش L1B که توسط TRW ارائه می‌شد این پیکسل‌ها شناسایی و با میانگین دو پیکسل مجاور پر می‌گردید. در تصاویر ارائه شده توسط USGS با سطح L1R این پیکسل‌ها بدون تصحیح باقی مانده و همراه با داده لیستی از آنها ارائه می‌شود و نحوه تصحیح آنها را با توجه به کاربرد مورد نظر به عهده استفاده کننده قرار داده است. به این ترتیب می‌توان علاوه بر پیکسل‌های مشخص شده که در فایل کمکی این داده قرار دارد چنانچه آشکارسازی وضعیت مناسبی نداشته باشد رفتار مشابهی با آن داشت. شکل (۶) ماسک شناسایی شده از پیکسل‌های بد را در قالب تصویری ۲۴۲ باند در ۲۵۶ پیکسل به تصویر کشیده که در داده حاضر برای اصلاح این اثر استفاده شده است.



شکل ۶: (الف) نقشه پیکسل‌های بد شناسایی شده از تصویر، (ب) نمونه‌ای از پیکسل بد تصحیح شده در باند ۹۴

۴-۲-۴- تبدیل DN به تابندگی

بعد از کالیبراسیون و قبل از ذخیره آن به صورت داده صحیح علامت‌دار در هنگام پردازش L1B، داده هایپریون به منظور حفظ دقت در فاکتورهایی متفاوت برای VNIR و SWIR ضرب می‌گردد. در این مرحله برای تبدیل به واحد رادیانس باندهای مربوط به VNIR را برابر ۴۰ و باندهای SWIR را برابر ۸۰ تقسیم می‌کنیم. مقادیر پیکسل‌های خروجی در واحد $\text{W/m}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ می‌باشد و از آنجاییکه ورودی نرم افزار تصحیح اتمسفری FLAASH می‌باشد در واحد $\text{W/cm}^2 \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1} \mu$ باشد این اعداد برای باندهای VNIR به ۴۰۰ و باندهای SWIR به ۸۰۰ تغییر می‌یابد.

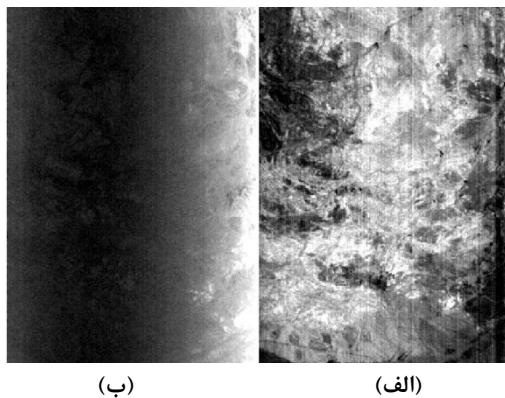
۴-۲-۵- تصحیح خطای لبخند طیفی^۱

لبخند طیفی اثر فرکانس پائینی است که به علت تغییر در مرکز طول موج و FWHM پیکسل‌های موجود در سراسر یک سطر تصویر رخ می‌دهد. که خود ناشی از تکنیک‌های اپتیکی بکارگرفته شده برای پخش طیف ورودی تصویر از شکاف^۲ بر روی آرایه‌های آشکارساز دو بعدی است [۲۲]. بیشترین جایگایی مراکز باند تحت تاثیر لبخند طیفی بر روی طول موج‌های VNIR ۳.۵ نانومتر بوده در حالیکه این مقدار در محدوده SWIR حداقل کمتر از ۱ نانومتر می‌باشد و

¹ Spectral Smile

² Slit

در بیشتر کاربردها قابل صرفنظر کردن است. وجود لبخند طیفی در تصاویر ابرطیفی پوش بروم در مولفه‌های نخست تبدیل MNF بصورت گرادیان ظاهر می‌گردد. که این اثر در مولفه‌های نخست تبدیل MNF در محدوده SWIR نامحسوس می‌باشد. شکل(۷)



شکل ۷: مولفه نخست MNF با استفاده از باندهای محدوده (الف) VNIR و (ب) SWIR

روش‌های مختلفی برای تصحیح لبخند طیفی پیشنهاد شده که یکی از متداول‌ترین آن درونی‌یابی داده رادیانس به مجموعه‌ای یکسان از طول موج‌های مرکزی و FWHM ها برای همه ۲۵۶ پیکسل موجود در عرض تصویر می‌باشد. در این روش داده رادیانس تک تک پیکسل‌های هر باند طیفی به مجموعه‌ای مشترک از طول موج‌ها که از میانگین طول موج تمام ۲۵۶ پیکسل آن باند بدست آمده درون‌یابی می‌شود.

۳-۲-۶-۱- تصحیح خطای نوارشده^۱

دو روش برای حذف خطای راه راه شدگی عمودی در میان تصاویر هر باند وجود دارد [۱۵]؛ ۱- کلی ۲- محلی. در هر دو روش از توازن آماری برای تعديل مقادیر داده استفاده می‌شود. مقادیر gain و offset به هر پیکسل (یا ستون) و در هر باند اعمال می‌گردد تا میانگین و/یا انحراف‌های ستون‌ها با میانگین و انحراف معیار مرجع منطبق شود. در روش کلی از میانگین و انحراف معیار کل تصویر در هر باند به عنوان مقادیر مرجع استفاده می‌شود در حالیکه در روش محلی با تعریف همسایگی، از میانگین و انحراف معیار آن به عنوان مقادیر مرجع استفاده می‌گردد.

با بررسی جداگانه آماره‌های محدوده VNIR و SWIR مشخص می‌گردد که بخش عمده اثرات نوار شدگی در باندهای VNIR به صورت مجزا و مستقل بوده و براحتی به روش تصحیح محلی با ابعاد پنجره‌های کوچک (مانند ۵ پیکسلی) قابل حذف می‌باشد. اما پدیده نوارشده^۱ گلوبال بلوک‌های پیکسلی نیز دیده می‌شود که این موضوع بیشتر در محدوده باندهای SWIR رخ داده و به کمک روش محلی با فیلترها ابعاد وسیع‌تر (مثل ۲۱ تا ۴۱ پیکسل) قابل اصلاح می‌باشد.

تصحیح به روش کلی علاوه بر حذف نوارشده‌ها امکان حذف اثر لبخند طیفی در باندهای VNIR را داشته اما این روش فرکانس‌های میانی عوارض مکانی (مانند مرز عوارض) را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تصحیح نوارشده‌ی به روش محلی تاثیری بر موضوع لبخند طیفی نداشته ولی راه راه شدگی‌های تصویر را برطرف می‌کند. در نتیجه تصحیح نوارشده‌ی با استفاده از روش محلی با عرض فیلترهای مختلف در محدوده VNIR و SWIR و بصورت چند مرحله‌ای پیشنهاد شده است.

¹ Striping

۷-۲-۳- تصحیح اتمسفری

تصحیح اتمسفری از طریق معرفی اثرات طیفی ناشی از اختلاف مدل بکارگرفته شده و شرایط اتمسفر واقعی و همچنین انتقال نویز ناهمبسته به نتایج طیفی موجب کاهش نسبت سیگنال به نویز در تصاویر می‌گردد. اما در شرایطی که نیاز به مقایسه تصویر با مشاهدات میدانی و یا کتابخانه طیفی باشد تصحیح اتمسفری تبدیل به یک مرحله مهم و با اهمیت می‌گردد [۲۳]. نرم افزارهای متنوعی در این حیطه موجود می‌باشد که در این تحقیق از مجموعه FLAASH و در محیط ENVI استفاده شده است. اطلاعات ورودی این مدل با استفاده از فایل هدر تصویر و خروجی‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گناباد تهیه شده است.

در محدوده‌های جذب اتمسفری قوی، سیگنال‌های خیلی ضعیفی از سطح زمین توسط سنجنده قابل دریافت می‌باشد؛ علاوه بر آن باندهای نزدیک به این محدوده‌ها نیز نسبت به تغییرات مکانی در شرایط اتمسفر حساس بوده و گرایش به ناپایداری دارند. برخی سنجنده‌های ابر طیفی مانند های‌مپ به همین دلیل در این محدوده‌ها باندی را در نظر نگرفته و گروهی دیگر همچون هایپریون بدون توجه به موضوع کل محدوده ۲۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر را در فواصل ۱۰ نانومتری نمونه‌برداری می‌کنند. به همین خاطر انتخاب باندهای طیفی پایدار پس از تصحیح اتمسفری با بررسی پروفیل‌های طیفی ویژگی‌های سطحی مختلف حائز اهمیت می‌باشد. باندهایی با بازتاب‌های میخی مانند^۱ ممکن است ناشی از همین مسئله بوده و می‌تواند به عنوان باندهای بد از مجموعه باندهای حذف گردند. از ۱۷۹ باند باقیمانده در مراحل قبل، مجموعه‌ای مختصرتر از باندهای پایدار برای آنالیزهای آتی قابل انتخاب می‌باشد. مجموعه‌ای از ۱۵۱ باند پایدار برای پردازش‌های مراحل بعدی تصویر هایپریون مطابق جدول (۲) شناسایی شدند.

جدول ۲: لیست ۱۵۱ باند پایدار تصویر هایپریون مورد استفاده

باند هایپریون	۵۵-۱۰	۸۱-۹۷	۱۰۱-۱۱۹	۱۳۴-۱۶۴	۱۸۲-۱۸۴	۱۸۷-۲۲۱
طول موج (nm)	۴۴۷-۹۰۵	۹۵۳-۱۱۱۴	-۱۳۳۶ ۱۱۵۵	-۱۷۹۰ ۱۴۸۷	۱۹۷۱-۱۹۹۲	۲۰۲۲-۲۳۶۵

۸-۲-۳- کاهش نویز

نویز باقیمانده پس از تصحیح اتمسفری به دو گونه قابل تشریح است. ۱- نویز سنجنده که بیانگر نسبت SNR ذاتی داده می‌باشد. این نوع نویز عموما از لحظه طیفی و مکانی ناهمبسته است؛ و یا وابستگی‌های محلی دارد که بیانگر هندسه سنجنده بوده تا وابستگی‌های مکانی ناشی از صحنه تصویربرداری. ۲- اثرات سیستماتیکی است که به علت اختلاف مدل بکار رفته با شرایط واقعی اتمسفر در لحظه تصویربرداری وجود دارد [۱۵]. این نوع نویز را می‌توان با استفاده از مدل EFFORT موجود در ENVI بهبود بخشید. در این روش به منحنی‌های طیفی تصویر توابع پلی‌نومیال نرم و یا اسپلاین‌ها برآش داده شده و اختلاف ناچیز حاصل را تعبیر به نویز می‌نماید که با حذف آنها موجب افزایش دقت داده بازتابندگی می‌شود. در این تحقیق ازتابع EFFORT با عرض فیلتر ۹ باند استفاده شده است. در اجرای این تابع ۵ بخش مطابق جدول (۲) برای تعریف پلی‌نومیال‌های مختلف استفاده شده است.

در خصوص نویزهای ناهمبسته و یا نهایتاً با همبستگی‌های مکانی محلی روش‌های نرم‌سازی طیف قادر به تعدیل آنها نمی‌باشند. برای این منظور از تبدیلات MNF و یا PCA که قدرت تفکیک داده را نیز کاهش نمی‌دهند استفاده می‌شود. در این روش با حذف مولفه‌های MNF که نسبت سیگنال به نویز ضعیفی داشته و آماره‌های مکانی بدون ساختار را در بردارند و معکوس‌گیری از مولفه‌های MNF باقیمانده اقدام به کاهش اثر نویز مربوطه می‌شود.

¹ Spiky

با توجه به ماهیت متفاوت نویز در باندهای VNIR و SWIR در این تحقیق، تبدیل MNF بطور جدگانه بر روی هر بخش لحاظ و در پایان پردازش، با تلفیق نتایج حاصل از معکوس‌گیری به داده کاهش نویز یافته می‌رسیم. تعداد ۱۲ مولفه از محدوده VNIR و ۱۰ مولفه از SWIR حفظ شده است.

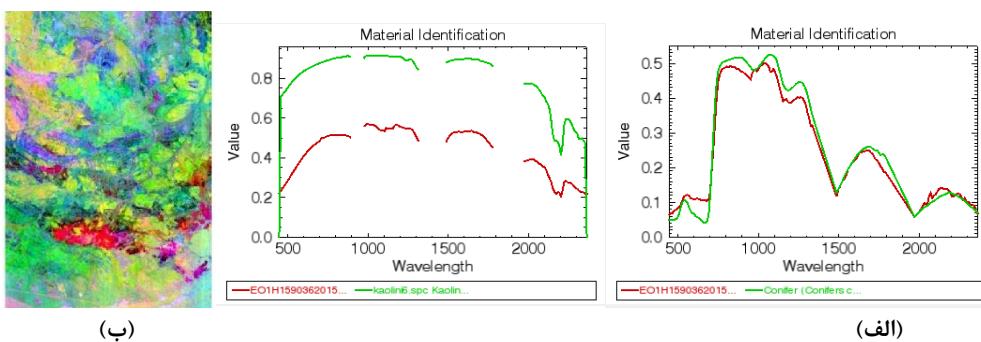
۴- روش کار

۴-۱- مراحل اجرایی تبدیل تصویر L1R به بازتابندگی از سطح

داده مورد استفاده در این تحقیق توسط USGS ارائه و در سطح L1R می‌باشد؛ بنابراین هم‌مرجع‌سازی سنسورهای VNIR و SWIR در آن صورت گرفته است. مطابق اطلاعات ارائه شده در بخش ۳-۲-۳ باندها و پیکسل‌های نامناسب شناسایی و اصلاح می‌گردد. برای تبدیل DN‌های تصویر به بازتابندگی و مطابقت با واحد ورودی نرم افزار FLAASH باندهای مرئی و مادون قرمز نزیک به ۴۰۰ و باندهای SWIR به ۸۰۰ تقسیم می‌گردد. برای کاهش اثر خطای لبخند طیفی داده‌های رادیانس بدست آمده در هر باند به میانگین مراکز باندها که از اطلاعات مراکز ۲۵۶ آشکارساز هر باند به دست می‌آید و اطلاعات آن از فایلی که به همراه داده HDF وجود دارد استخراج می‌شود.

اصلاح خطای نوارشده‌گی در دو مرحله قبل و بعد از تصحیح اتمسفری صورت می‌گیرد. در ابتدا برای اینکه کمترین دستکاری را در داده ورودی به نرم افزارهای تصحیح اتمسفری داشته باشیم؛ به کمک روش‌های محلی سعی در شناسایی و اصلاح نوارهایی که تفاوت فاحشی با نوارهای کناری خود دارند صورت می‌گیرد. در این مرحله می‌بایست توجه داشت چنانچه در بخش‌هایی از تصویر پدیده‌هایی همچون ابر و یا مواد مذاب که بازتاب بسیار بالایی در باندهای مرئی و مادون قرمز موج کوتاه دارند آماره‌های میانگین و انحراف معیار محلی را تحت تاثیر قرار داده و مقادیر اعمال شده به نوارهای شناسایی شده باعث بروز اختشاشات بیشتری در تصویر می‌شود. بنابراین چنانچه شاهد چنین عوارضی در سطح تصویر باشیم می‌بایست قبل از تصحیح نوارشده‌گی این بخش‌ها را از سطح تصویر ماسک نمائیم. تصحیح اتمسفری با داده اصلاح شده توسط نرم افزار FLAASH و با تنظیم پارامترهای مورد نیاز انجام می‌شود. از آنجاییکه مدل مورد استفاده با واقعیت اتمسفر انطباق کامل ندارد با استفاده از ماثول EFFORT کار نرم‌سازی طیف‌های انعکاسی بدست آمده انجام می‌شود اما هنوز اثر لبخند طیفی و نوارشده‌گی در قالب بلوک‌های بزرگتر در سطح تصویر وجود دارد.

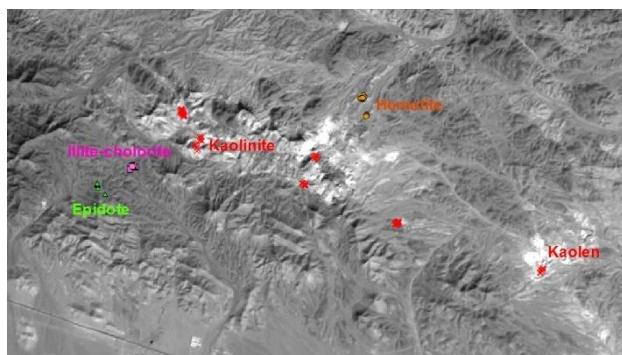
چنانچه در کاربرد مورد انتظار باندهای محدوده SWIR جوابگوی آن باشد با چشمپوشی از خطای لبخند طیفی به علت مقدار ناچیز آن می‌توان با اعمال روش نوارشده‌گی محلی با ابعاد فیلتر بزرگ، نوارشده‌گی‌های بلوکی را مدیریت و سایر مراحل را ادامه داد؛ اما در صورتیکه کل محدوده طیفی سنجنده هایپریون مدنظر باشد و از طرفی منطقه مورد مطالعه از تنوع پوشش کمی هم برخوردار باشد می‌تواند با اعمال روش نوارشده‌گی کلی لبخند طیفی و نوارشده‌گی‌های بلوکی را اصلاح نمود. در نهایت با استفاده از تبدیل MNF می‌توان به برآورده از ابعاد زیرفضای سیگنال رسید و با حذف مولفه‌های انتهایی که هیچ گونه همبستگی مکانی از خود نشان نمی‌دهند نویزهای باقیمانده در سطح تصویر را مدیریت نمود. شکل (۸) ترکیب رنگی سه مولفه نخست MNF، به همراه مقایسه دو نمونه از طیفه‌های پیکسلی و کتابخانه طیفی را برای کنترل بصری صحت فرآیند کار به تصویر کشیده است.



شکل ۸: (الف) مقایسه مشخصه طیفی پیکسل های تصویر و منحنی بازتابخانه طیفی، (ب) ترکیب رنگی سه مولفه نخست MNF پس از پیش پردازش های مورد نیاز

۲-۴- کانی های مورد مطالعه و مشاهدات میدانی مربوطه

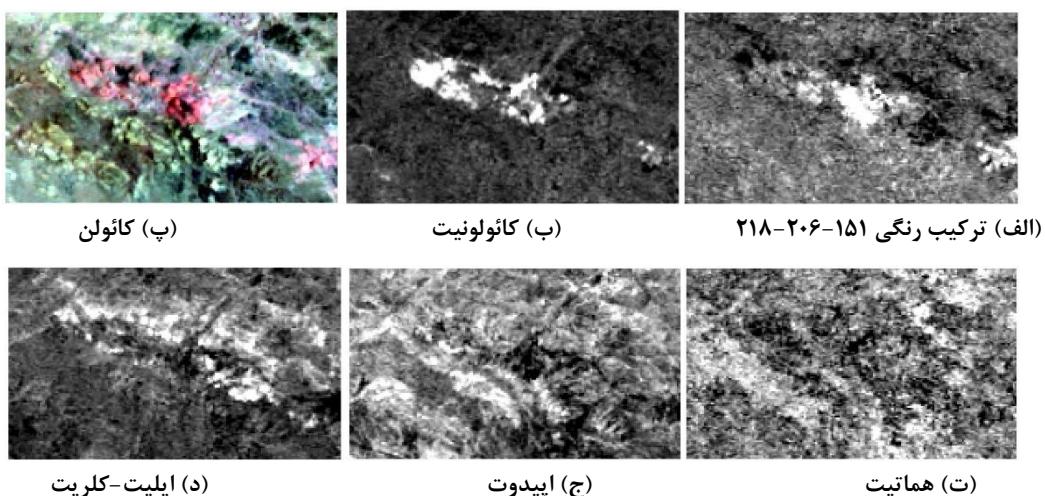
با توجه به پیشینه زمین شناسی منطقه و بازدیدهای میدانی که با همراهی کارشناس سازمان زمین شناسی کشور صورت گرفت در مجموع احتمال رخداد ۱۶ کانی در منطقه پیش بینی شد؛ که آنالیز XRD نمونه های جمع آوری شده و طیفسنجی آنها با دستگاه ASD نشان از وجود داده های حقیقت زمینی معتبر برای چهار کانی کائولونیت، ایلیت، اپیدوت و هماتیت مطابق شکل (۹) می باشد [۲۴].



شکل ۹: نقشه واقعیت زمینی از چهار کانی کائولونیت، اپیدوت، ایلیت-کلریت و هماتیت

۳-۴- تولید نقشه های کانی های با استفاده از روش جداسازی طیفی

برای شناسایی کانی های معنده موجود در منطقه که بیانگر رخداد دگرسانی های مربوطه می باشد از روش جداسازی طیفی برای استخراج اعضای خالص تصویر و تولید نقشه فراوانی آنها استفاده شده است. در این روش پس از استخراج اعضای خالص با مقایسه طیف مربوطه با کتابخانه طیفی نوع ماده شناسایی و با استفاده از روش کمترین مربعات و اعمال قیود نامنفی بودن مقادیر فراوانی و جمع سهم مواد داخل یک پیکسل برابر یک نقشه های مربوطه تولید می گردد. با توجه به جمع آوری نمونه ها در اطراف معادن کائولن گتاباد بخشی از تصویر هایپریون به عنوان داده مورد استفاده انتخاب گردید (شکل ۱۰-الف). تعداد اجزاء تشکیل دهنده آن ۷ عضو می باشد که با استفاده از روش Hysime تخمین زده شده است. نقشه های مربوط به چهار عنصر کائولونیت، اپیدوت، ایلیت-کلریت و هماتیت در شکل (۱۰) ارائه شده است.



شکل ۱۰: نقشه‌های فراوانی تولید شده برای کانی‌های مورد بررسی

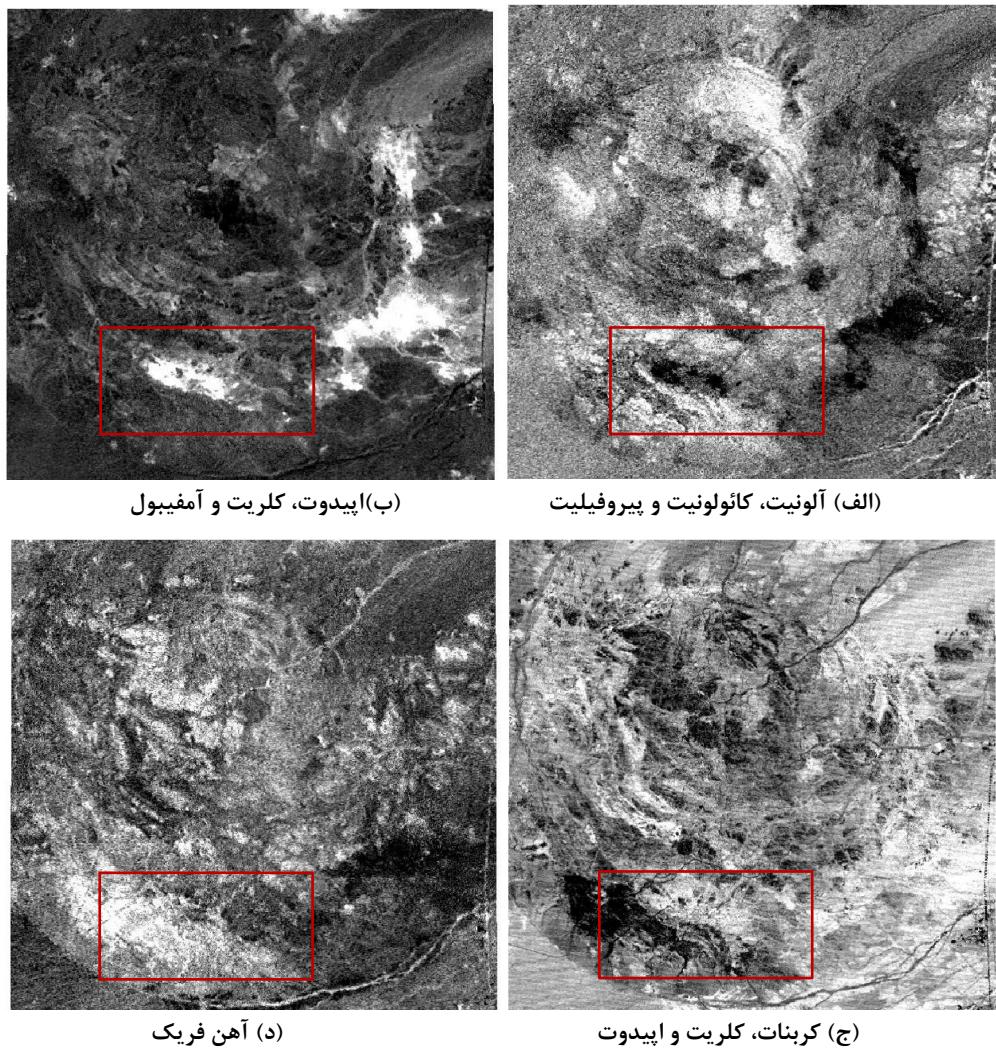
۴-۴- کنترل نتایج با استفاده از شاخص‌های معدنی توسعه یافته بر روی تصاویر استر

قابلیت‌های تصاویر استر با باندهای SWIR و TIR به عنوان یک سنجنده ارزشمند در کاربردهای زمین‌شناسی بهاثبات رسیده است. در این بخش به منظور کنترل صحت پیش‌پردازش‌های انجام شده بر روی تصویر هایپریون که باطبع نتایج آن در نقشه‌های تولید شده از آن قابل ارائه می‌باشد، به کمک نسبت‌های باندی رایج برای شناسایی زون‌های دگرسانی مطابق جدول (۳) اقدام گردیده است. نسبت‌گیری طیفی یکی از روش‌های متداول در پردازش تصاویر سنجش از دوری محسوب می‌گردد. قابلیت‌های این روش در کاهش اثرات محیطی و همبستگی میان مقادیر نسبت و شکل نمودارهای انعکاس طیفی در دو یا چند طول موج که با توجه به رفتار جذبی و انعکاسی عوارض تعریف می‌گردد این روش را به یکی از ابزارهای دقیق در اکتشاف معدنی تبدیل نموده است.

جدول ۳: نسبت‌های باندی رایج در سنجنده استر برای شناسایی مواد معدنی [۲۵]

ماده	Ferric Iron	Alunite Kaolinite Pyrophyllite	Carbonate Chlorite Epidote	Epidote Chlorite Amphibole
نسبت باندی	b2/b1	(b4+b6)/b5	(b7+b9)/b8	(b6+b9)/(b7+b8)

نتایج بدست آمده از پردازش این تصاویر در شکل (۱۱) ارائه شده است. محدوده مربوط به تصویر هایپریون با مستطیلی قرمز رنگ بر روی نتایج استر مشخص شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با توجه به قدرت تفکیک مکانی یکسان دو سنجنده نتایج تطابق بسیار خوبی با یکدیگر داشته و تصاویر هایپریون به علت تعداد باند طیفی بیشتر قادر به تفکیک برخی کانی‌ها نیز شده است به عنوان مثال اپیدوت و کلریت نسبتاً بهتر از یکدیگر تفکیک شده‌اند.



شکل ۱۱: نتایج نسبت گیری باندی تصویر استر معادل با کانی‌های شناسایی شده در منطقه گناباد

۵- جمع‌بندی و نتایج

سنجدنه هایپریون به عنوان نخستین سنجنده ابر طیفی فضابرد حاوی خطاهای سیستماتیک و نویزهای فراوانی است که بدون اصلاح آنها امکان استخراج اطلاعات صحیح از آن ممکن نمی‌باشد. در همین راستا دستورالعملی اجرایی برای حذف این اثرات به صورت هدفمند ارائه گردید تا در نهایت امکان مقایسه آن با داده‌های میدانی نیز فراهم گردد. نتایج به دست آمده چه از نظر مقایسه منحنی طیفی پیکسل‌ها با مشخصه‌های طیفی مواد برداشت شده در سطح زمین و چه از لحاظ تطابق نقشه‌های تهیه شده با وضعیت مکانی عوارض موجود وضعیت مناسبی دارند. اما توجه به چند نکته در استفاده از این تصاویر قابل توجه می‌باشد؛ ۱- حتما از تصاویر L1R به منظور مقابله با خطای لبخند طیفی و نوارشدنگی استفاده شود، ۲- در تصحیحات اعمال شده در حفاظت از اطلاعات طیفی توجه خاصی شود، ۳- با وجود قدرت تفکیک طیفی بالای این سنجنده به علت مجموعه عواملی از جمله عدم امکان حذف کامل نویزهای سنجنده، قدرت تفکیک مکانی متوسط و البته نیاز به ریسمپلینگ داده، اثرات اتمسفری و گذر از عمر مفید سنجنده امکان تفکیک عوارض مشابه در برخی موارد به علت ابهامات بالای داده‌های این سنجنده مقدور نمی‌باشد. به عنوان مثال در این تحقیق امکان تفکیک آلونیت از کائولونیت محقق نگردید. با این وجود در خصوص شناسایی زونهای دگرسانی هیدروترمال مس پروفیلری مدل لولول گلبرت این داده به خوبی قادر به شناسایی کانی‌های مربوطه می‌باشد.

مراجع

- [1] F. Kruse, J. Boardman, and J. Huntington, "Comparison of EO-1 Hyperion and airborne hyperspectral remote sensing data for geologic applications," in Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE, 2002, pp. 3-1501-3-1513 vol. 3.
- [2] F. Kruse, J. Boardman, and J. Huntington, "Evaluation and validation of EO-1 Hyperion for mineral mapping," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, vol. 41, pp. 1388-1400, 2003.
- [3] F. A. Kruse, J. W. Boardman, and J. F. Huntington, "Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, pp. 1388-1400, 2003.
- [4] F. A. Kruse, "Mineral mapping with AVIRIS and EO-1 Hyperion," 2004.
- [5] A. Huete, Y. Kim, P. Ratana, K. Didan, Y. Shimabukuro, and T. Miura, "Assessment of phenologic variability in Amazon tropical rainforests using hyperspectral and MODIS satellite data," Hyperspectral Remote Sensing of Tropical and Sub-Tropical Forests, 2008.
- [6] D. Vyas, N. Krishnayya, K. Manjunath, S. Ray, and S. Panigrahy, "Evaluation of classifiers for processing Hyperion (EO-1) data of tropical vegetation," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 13, pp. 228-235, 2011.
- [7] C. Gomez, R. A. V. Rossel, and A. B. McBratney, "Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An Australian case study," Geoderma, vol. 146, pp. 403-411, 2008.
- [8] G. Ghosh, S. Kumar, and S. Saha, "Hyperspectral satellite data in mapping salt-affected soils using linear spectral unmixing analysis," Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 40, pp. 129-136, 2012.
- [9] A. Chudnovsky, E. Ben-Dor, A. Kostinski, and I. Koren, "Mineral content analysis of atmospheric dust using hyperspectral information from space," Geophysical Research Letters, vol. 36, 2009.
- [10] A. Chudnovsky, A. Kostinski, L. Herrmann, I. Koren, G. Nutesku, and E. Ben-Dor, "Hyperspectral spaceborne imaging of dust-laden flows: Anatomy of Saharan dust storm from the Bodélé Depression," Remote Sensing of Environment, vol. 115, pp. 1013-1024, 2011.
- [11] P. Jarecke and K. Yokoyama, "Radiometric calibration of the Hyperion imaging spectrometer instrument from primary standards to end-to-end calibration," in Proc. of SPIE, 2000, pp. 254-263.
- [12] M. A. Folkman, J. Pearlman, L. B. Liao, and P. J. Jarecke, "EO-1/Hyperion hyperspectral imager design, development, characterization, and calibration," in Second International Asia-Pacific Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space, 2001, pp. 40-51.
- [13] P. Barry, J. Shepanski, and C. Segal, "Hyperion on-orbit validation of spectral calibration using atmospheric lines and an on-board system," in International Symposium on Optical Science and Technology, 2002, pp. 231-235.
- [14] D. X. Kerola, C. J. Bruegge, H. N. Gross, and M. C. Helmlinger, "On-orbit calibration of the EO-1 Hyperion and Advanced Land Imager (ALI) sensors using the LED Spectrometer (LSpec) automated facility," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 47, pp. 1244-1255, 2009.
- [15] B. Datt, T. R. McVicar, T. G. Van Niel, D. L. Jupp, and J. S. Pearlman, "Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, pp. 1246-1259, 2003.
- [16] D. Scheffler and P. Karrasch, "Preprocessing of hyperspectral images: a comparative study of destriping algorithms for EO1-hyperion," in SPIE Remote Sensing, 2013, pp. 88920H-88920H-15.
- [17] D. G. Goodenough, A. Dyk, K. O. Niemann, J. S. Pearlman, H. Chen, T. Han, et al., "Processing Hyperion and ALI for forest classification," IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 41, pp. 1321-1331, 2003.
- [18] M. Oskouei and S. Babakan, "Role of smile correction in mineral detection on hyperion data," Journal of Mining and Environment, vol. 7, pp. 261-272, 2016.
- [19] ژ. فرانسیسکو, "سنگ شناسی، زمین شیمی و منشأ سنگهای and , ز. زاده, ک. پور, ا. نصرآبادی, سانتوس آتشفانی منطقه شمال غرب گناباد", "زمین شناسی اقتصادی 8, pp. 265-282, 2016.

- [20] J. D. Lowell and J. M. Guibert, "Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits," *Economic Geology*, vol. 65, pp. 373-408, 1970.
- [21] K. S. Khurshid, K. Staenz, L. Sun, R. Neville, H. P. White, A. Bannari, et al., "Preprocessing of EO-1 Hyperion data," *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 32, pp. 84-97, 2006.
- [22] P. Barry, "EO-1/Hyperion science data user's guide, Level 1_B," TRW Space, Defense & Information Systems, Redondo Beach, CA, Rep. HYP. TO, vol. 1, 2001.
- [23] D. Jupp, B. Datt, J. Lovell, S. Campbell, and E. King, "Discussions around Hyperion data: background notes for the Hyperion data users workshop," ed: CSIRO Earth Observation Centre, 2002.
- [24] S. Dehnavi, Y. Maghsoudi, M. ValadanZouj, and F. BaniAdam, "Beneficiary of high order derivative spectrum in target detection," in *2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2014, pp. 4608-4611.
- [25] A. Kalinowski and S. Oliver, "ASTER mineral index processing manual," *Remote Sensing Applications*, Geoscience Australia, vol. 37, 2004.

Radiometric correction of Hyperion hyperspectral images in order to extract information in geological applications

Omid Ghaffari ^{1*}, Mohammad Javad Valadan Zanj ², Mehdi Mokhtarzade ³

1- PhD student of remote sensing in Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

2- Professor in Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

3- Associate professor in Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

Abstract

The development of hyperspectral images was first proved with the intention of the provision of geological maps. On the same grounds, the capability of Hyperion images in mineral region of northwest Gonabad was investigated. Despite valuable spectral information of Hyperion, it is not appreciated in our country due to its numerous systematic errors and random noise. In this study, it is intended to propose a consistent instruction for the sake of reduction in its impact and radiometric errors by means of a framework in the recognition and management of the current noises in this sensor. These stages include recognition of bad bands and pixels, reducing spectral smiling and desstriping, atmospheric correction, and reduction of the remaining noises in the image. Since, in the highest level of spectral process of the images, a comparison between pixel spectrum and spectrum library and field data might be considered, all through the proposed stages, it is attempted to achieve the least convolution in spectral information of the images. Mineral maps acquired from processed images showed high conformity with the condition/position of the region and the comparison between spectral curve and field observations paved the way for evaluating the role of the accomplished processes on Hyperion images.

Keywords: Hyperspectral, Hyperion, Spectral Preprocessing, Radiometric Correction, Spectral Smile, Striping.

Correspondence Address: Room 105, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

Tel: +98 9124262218.

Email: ghaffari@znu.ac.ir