



سجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹
Vol.12, No. 4, Winter 2021 Iranian Remote Sensing & GIS

۱۱۵-۱۳۱

مقاله پژوهشی

بررسی اثر پوشش گیاهی در عملیات پی جویی و اکتشاف کانی‌های معدنی در داده‌های ابرطیفی

علی صادقی^{۱*}، علی درویشی بلورانی^۲، عطاءاله عبداللهی کاکرودی^۳، سید کاظم علوی پناه^۴، سعید حمزه^۵

۱. استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه اصفهان

۲. ۳ و ۵. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۴. استاد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۱۷

چکیده

در مطالعات زمین‌شناسی و کانی‌شناسی، وجود پوشش گیاهی سالم و خشک در پیکسل‌های حاوی اطلاعات طیفی اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، بازیابی اطلاعات در حد زیرپیکسل، مانند برآورد میزان حضور یک کانی در یک پیکسل از تصاویر سنجش از دور ابرطیفی، مسئله‌ای مهم محسوب می‌شود. در این پژوهش، روش عمق پیوستار اصلاح‌شده اثر پوشش گیاهی (VCCD)، برای کاهش اثر پوشش گیاهی سالم و خشک در تخمین میزان کانی‌های هدف، با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی، آزمایشگاهی کانی‌شناسی و تصاویر هایپریون (Hyperion) اصلاح و در منطقه اوغلانسر در شمال‌غرب ایران مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. تخمین پوشش گیاهی سالم و خشک در سطح پیکسل، به ترتیب، با شاخص SAVI و عمق عارضه جذبی در ۲۱۰۲ نانومتر انجام شد. اصلاح عمق حذف پیوستار شده (CRBD)، با روش VCCD، تا آستانه حداکثری حضور پوشش گیاهی سالم برابر با ۶۰ و برای گیاه خشک در بازه ۶۰-۵۶ و ترکیب گیاه سالم و خشک در بازه ۷۶-۷۲٪ امکان‌پذیر است. تأثیر وجود نویزهای تصادفی و تغییر نوع پوشش گیاهی در عملکرد روش اصلاح‌شده بررسی شد و نتایج نشان داد که روش VCCD توسعه‌یافته، در مقایسه با وجود نویزهای تصادفی در طیف‌ها و تغییر نوع پوشش گیاهی، حساسیت بیشتری ندارد. بعد از اصلاح ضرایب مدل و پس از تأیید کارایی آن، روش پیشنهادی برای اصلاح CRBD و کاهش اثر پوشش گیاهی، روی تصویر Hyperion، اجرا شد. طبق نتایج، حضور پوشش گیاهی سالم و خشک در کانی‌های کاتولینیت و مسکویت منجر به تخمین کمتر از مقدار واقعی می‌شود. میزان بهبود در صحت برآورد کانی با اعمال روش VCCD در مورد کانی‌های کاتولینیت و مسکویت، به ترتیب، معادل ۰.۲۵ و ۰.۱۳ ضریب تعیین و میزان خطا ۰.۱۰۸ و ۰.۱۲۵ است.

کلیدواژه‌ها: هایپریون (Hyperion)، پیکسل مخلوط، کمینه‌کردن اثر پوشش گیاهی، کاتولینیت، مسکویت.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه اصفهان، کدپستی: ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱. تلفن: ۰۳۱۳۳۷۹۳۵۷۷۳. ۰۹۱۳۱۸۳۲۰۰۸

Email: Alisadeghi@geo.ui.ac.ir

۱- مقدمه

کانی‌های صنعتی، در تعریف کلی، شامل انواع خاک‌ها و سنگ‌های معدنی می‌شود که در صنایع گوناگون فلزی و غیرفلزی کاربرد دارند. در حال حاضر، بسیاری از فرایندهای عملیات شناسایی و اکتشاف کانی‌های معدنی به روش‌های قدیمی و با کارهای میدانی و از طریق عملیات پی‌جویی، گمانه‌زنی، حفاری و در نهایت، تهیه نقشه پتانسیل معدنی انجام می‌شود. این روش‌ها نیازمند زمان، هزینه و نیروی انسانی فراوان است، نمونه‌برداری نیز به صورت گسسته انجام می‌شود و نتایج به فضایی پیوسته تعمیم می‌یابد؛ درحالی‌که برخی از این کانی‌های معدنی با ارزش به صورت رگه‌ای ظاهر می‌شوند و ممکن است که از این رگه‌ها نمونه‌برداری نشود.

دو کانی بسیار ارزشمند و کاربردی در صنعت کائولینیت و مسکویت نام دارند. ساختمان بلوری کائولینیت مرکب از لایه‌های متناوب سیلیکا و گیسیت است که هر لایه، با اتصال هیدروژنی بین قاعده سیلیکا و لایه گیسیت، به لایه‌های دیگر متصل می‌شود. این کانی در تهیه ظروف چینی، کاغذ، رنگ و پلاستیک به کار می‌رود. کانی آلونیت نیز سولفات پتاسیم آلومینیوم است. اگر سدیم جایگزین پتاسیم در این کانی شود و کانی سرشار از سدیم باشد، نام آن به ناتروآلونیت تغییر خواهد یافت و اگر آهن Fe^{3+} جایگزین آلومینیوم شود، نام کانی ژاروسیت خواهد بود که یک کانی درجه دو سولفات آهن محسوب می‌شود. این کانی از ترکیب شدن اکسیژن، گوگرد و یک یا چند فلز به دست می‌آید. در ساختمان این دو کانی، واحدهای هشت‌وجهی سیلیکا (AIOH/MgOH) وجود دارد (Wray, 2011).

در سال‌های اخیر، سنجش از دور ابرطیفی امکان تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی دقیق، اکتشاف و استفاده بهینه از ذخایر معدنی را مهیا ساخته است. تصاویر ابرطیفی، به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند پیوستگی بانندی و پهنای بانندی کم (Bartholomeus, 2009)،

پتانسیل لازم را برای برطرف کردن محدودیت‌ها در زمینه دسترسی به اطلاعات مناسب به منظور مطالعات کانی‌شناسی دارد (Canasveras et al., 2010).

تغییر از طیف‌سنجی با استفاده از رادیومتر طیفی به طیف‌سنجی تصویری با مشکلاتی مانند تغییر مقیاس مکانی، نسبت سیگنال به نویز پایین، تأثیرات اتمسفری، بزرگی داده‌ها و مشکل تداخل طیفی مواجه است (Ben-Dor et al., 2008). به‌طور کلی، بیشتر سنگ‌ها و خاک‌های سطحی از تجمع کانی‌های متنوعی ایجاد شده‌اند که برخی از آنها، مانند کانی کوارتز، عارضه جذبی منحصربه‌فردی ندارند و این باعث اختلال در طیف ثبت شده می‌شود. به دلیل نامنظم بودن شکل عوارض طبیعی و ظاهر شدن پدیده‌های گوناگون در کنار هم، این پدیده‌ها به صورت پیکسل‌های مختلط در تصاویر ثبت می‌شوند که، در نهایت، استخراج اطلاعات از این تصاویر را با پیچیدگی‌های زیادی همراه می‌کنند. کانی‌های متفاوت دارای مشخصه‌های جذبی منحصربه‌فردی‌اند و این مشخصه‌های جذبی از طریق داده‌های ابرطیفی آشکارسازی می‌شوند. در محدوده طیفی فرورسرخ طول موج کوتاه (SWIR)، بسیاری از کانی‌ها مشخصه‌های جذبی تشخیصی دارند که می‌توان از آنها برای شناسایی کانی‌ها در داده‌های سنجش از دور استفاده کرد (Clark, 1999). برای نمونه، مشخصه‌های جذبی که در محدوده ۲.۲ تا ۲.۵ میکرومتر طیف الکترومغناطیس واقع شده است نشانه‌هایی از وجود کانی‌های دارای عامل AIOH، مانند کائولینیت و آلونیت، محسوب می‌شود. به دلیل اینکه این محدوده طیفی از راه گازهای اتمسفری جذب نمی‌شود، در برابر اختلالاتی که اتمسفر می‌تواند بر آن اعمال کند مصونیت دارد و همچنین، به دلیل بالابودن طول موج به نسبت بیشتر ذرات معلق موجود در جو، به صورت شفاف عمل می‌کند (Kaufman et al., 1997). از همین روی، محدوده یادشده مورد توجه متخصصان سنجش از دور قرار دارد و ابزارهای سنجش از دوری معمولاً آن را پوشش می‌دهند (Karnieli et al., 2001).

مقایسه با گیاه سالم، تأثیر بیشتری در طیف خاک و نتایج تحلیل گذاشته و توانایی برای تشخیص انواع خاک‌ها به حضور ۶۰-۵۰٪ پوشش گیاهی محدود شده است. به گزارش سیگال^۲ و گوتس^۴ (۱۹۷۷)، حضور ۱۰٪ پوشش گیاهی می‌تواند باعث محو عوارض جذبی کانی‌ها شود و تشخیص سنگ‌ها و کانی‌ها را با محدودیت‌های زیادی مواجه کند. استانز^۵ و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که فاکتورهای حضور گل‌سنگ در سطح سنگ‌ها، زاویه دید سنجنده و تأثیر زمین در بازتاب مانع از استخراج واحدهای سنگی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. راجر^۶ و کاداهی^۷ (۲۰۰۹) برای برداشتن اثر کاهنده پوشش گیاهی سالم در تخمین میزان کانی‌های دارای پیوند AIOH، براساس عمق جذبی محدوده ۲.۲ میکرومتر در تصاویر هوابرد، الگوریتمی را توسعه دادند و به این نتیجه رسیدند که، با افزایش پوشش گیاهی سالم و خشک، عمق عارضه جذبی ۲.۲ میکرومتر، که نشان‌دهنده کانی‌های دارای پیوند AIOH است، کاهش می‌یابد.

کوبایاشی^۸ و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از مدل اصلاحی اثر پوشش گیاهی، موفق به بازیابی بهتر ویژگی‌های خاک در شرایط حضور پوشش گیاهی خشک و سالم شدند. در پژوهش گربی^۹ و همکاران (۲۰۱۴)، آثار پوشش گیاهی مدل شده در طیف‌های سنگ‌های دارای آلدوی اندک با میزان حضور پوشش گیاهی ۳۰ تا ۴۰٪ ظاهر شد و گل‌سنگ‌ها نیز در صورت حضور ۳۰ تا ۵۰٪ باعث ایجاد ابهام در عارضه جذبی شدند. هایست^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۳) نقشه‌های کمی اکسید آهن و کربنات‌ها و رس‌های حاوی AIOH را تهیه کردند.

عارضه جذبی ۲.۲ میکرومتر شاخصی از کانی‌های رسی و میکاهای آلومینیومی است (Bierwirth et al., 2002) و عمق عارضه جذبی ۲.۲ میکرومتر ممکن است مرتبط با محتویات AIOH/MgOH باشد (Nanni & Damette, 2006). ترکیب انتقالی پیوندهای خمشی و کششی در پیوندهای هیدروکسیل کانی‌ها، مانند MgOH و AIOH، ممکن است عارضه‌ای جذبی در رفتار طیفی ۲.۲ میکرومتر پدید آورند.

وجود پوشش گیاهی سالم و خشک و گل‌سنگ می‌تواند این عوارض جذبی را محو کند و یا ویژگی‌های عوارض جذبی را با توجه به ویژگی‌های طیفی خود، در آن محدوده طیفی تغییر دهد. این محو نمودن یا تغییر ویژگی‌های عوارض جذبی در دقت تخمین میزان کانی هدف تأثیر خواهد گذاشت. اگر پوشش گیاهی سالم یا خشک در پیکسل قرار بگیرد، می‌تواند عمق جذب محدوده ۲.۲ میکرومتر را تغییر دهد؛ به گونه‌ای که در محدوده ۲.۲ میکرومتر، حضور پوشش گیاهی سالم عمق عارضه جذب را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، در ۲.۰۸ میکرومتر، عارضه جذبی سلولز و لیگنین مرتبط با پوشش گیاهی خشک عمق ظاهری ۲.۲ میکرومتری را کاهش می‌دهد. عمق باند جذبی، در صورت وجود پوشش گیاهی سالم، به صورت خطی و در حضور پوشش گیاهی خشک، منحنی‌وار کاهش می‌یابد (Murphy, 1995). معمول‌ترین راهکار استفاده شده برای حل این مشکل کنار گذاشتن پیکسل‌های دارای پوشش گیاهی بالاست که با اعمال آستانه روی روش نسبت بین محدوده طیفی فروسرخ نزدیک (NIR) به محدوده قرمز انجام می‌شود (Wester et al. 1990). در این صورت، تأثیر چشمگیر پوشش گیاهی خشک در محدوده SWIR نادیده گرفته می‌شود (Murphy & Wadge, 1994).

مورفی^۱ و واج^۲ (۱۹۹۴) یک ارزیابی کمی در مورد تأثیر پوشش گیاهی سالم و خشک در توانایی تحلیل جداساز، برای تشخیص گرانیت و خاک‌های رسی، انجام دادند. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی خشک، در

1. Murphy
2. Wadge
3. Siegal
4. Goetz
5. Staenz
6. Rodger
7. Cudahy
8. Kobayashi
9. Grebby
10. Haest

ضرایب روش VCCD برای سنجنده هایپریون^۲ و کانی‌های کائولینیت و مسکویت اصلاح می‌شود و در برآورد کانی‌های رسی منطقه اوغلانسر به کار می‌رود.

۲- مواد و روش کار

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، موسوم به اوغلانسر، در شمال شهرستان سراب استان آذربایجان شرقی، بین شهرهای اهر و مشکین شهر، واقع شده است (شکل ۱). مساحت منطقه ۱۲ هزار هکتار و ارتفاع متوسط آن از سطح آب‌های آزاد ۲۶۵۰ متر است. دسترسی به منطقه از طریق جاده سراب- بستان آباد امکان پذیر است. از مهم ترین دلایل انتخاب منطقه یادشده برای این مطالعه، می‌توان به اهمیت اقتصادی و زمین‌شناسی اقتصادی آن، حضور پوشش گیاهی نیمه‌متراکم و صورت‌نگرفتن مطالعات کافی در گذشته در این ناحیه اشاره کرد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

1. Franceschini
2. Hyperion

برای اعمال پوشش گیاهی، دو دسته پوشش گیاهی سالم و خشک را به کار بردند: برای استخراج پوشش گیاهی سالم، از شاخص NDVI و برای استخراج پوشش گیاهی خشک، از شاخص مربوط به سلولز و لیگنین، که در محدوده ۲۱۰۰ نانومتر دارای عارضه جذبی‌اند، استفاده شد. فرانچسکینی^۱ و همکاران (۲۰۱۵) از تصاویر سنجنده ابرطیفی هوایرد ProSpectTIR برای تخمین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، در منطقه‌ای در برزیل، استفاده کردند. به‌منظور برآورد ویژگی‌های خاک، ابتدا پوشش گیاهی دارای فتوسنتز فعال و غیرفعال را با یک روش جداساز خطی، حذف کردند. نتایج نشان داد که در نظر گرفتن کسر حضور پوشش گیاهی در هر پیکسل برای تخمین بهتر ویژگی‌های خاک بسیار ضروری است.

استفاده از تصاویر ASTER، در برداشتن اثر پوشش گیاهی، به پوشش گیاهی سالم محدود می‌شود و به دلیل نداشتن باندهای در محدوده ۲.۰۸ میکرومتر، امکان استفاده از آن به راحتی مهیا نیست. نسخه ۱ محصولات ASTER، با استفاده از شاخص نسبتی B₃/B₂ با حدود آستانه مختص هر کانی، پوشش گیاهی سالم را محدود می‌سازد. جدیدترین نسخه ۲ محصولات ASTER بر مبنای CSIRO است و اقدام به جداسازی مؤلفه‌های گیاهی می‌کند (Cudahy et al., 2016).

با بررسی کارهای انجام گرفته و با فرض اینکه پوشش گیاهی سالم و خشک علت کاهش و یا محوشدن عمق عارضه جذبی ۲.۲ میکرومتری در پیکسلی محسوب می‌شود که، مانند کانی‌های کائولینیت و مسکویت، حاوی واحدهای هشت‌وجهی گیسیت یا بروسیت (AlOH/MgOH) است و این ترکیبات به صورت خطی با هم اختلاط یافته‌اند؛ هدف این پژوهش اصلاح روش‌های جداساز اثر پوشش گیاهی موجود برای داده‌های سنجنده هایپریون است. علاوه بر این، روش جدیدی را برای کاستن اثر مختل‌کننده پوشش گیاهی سالم و خشک، در شناسایی کانی‌های دارای اهمیت، عرضه می‌کند. در این مطالعه،

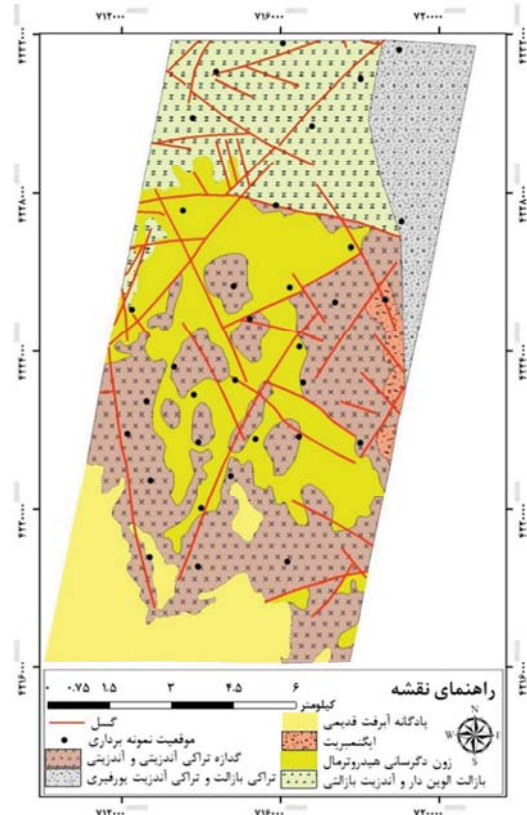
به‌دلیل کوهستانی‌بودن و دامنه‌ی زیاد تغییرات ارتفاعی منطقه، تراکم و ترکیب گونه‌ای پوشش گیاهی دارای تغییرات تدریجی است. پوشش غالب گیاهی منطقه به‌صورت پوشش بوته‌ای و علفی یک‌ساله است. تا ارتفاع ۲۰۰۰ متر از سطح دریا، گیاهان غالب منطقه را سیاه‌گون (*Onobrychis cornuta*) و استپی ریش‌دار (*Stipa barbata*) تشکیل می‌دهند. در دامنه‌ی ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر از سطح دریا، جامعه‌ی گون- علف‌بره (*Festuceto-Astragatetum*) با گونه‌ی غالب علف‌بره (*Festuca ovina*) و (*Astragatus (Hymenostegis) spp.*) می‌رویند. در ارتفاع ۳۰۰۰-۲۵۰۰ متر از سطح دریا، جامعه‌ی گیاهی *Festuceto - Alopecureto - Astragatetum* مستقر است که گونه‌ی غالب آن را گونه‌های طلایی (*Astragalus aureus*)، *Alopecurus textilis* و علف‌بره تشکیل می‌دهد. آخرین جامعه‌ی رویشی منطقه که تا ارتفاع ۴۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد *Alopecurus Astragatetum* است که گونه‌های غالب آن را به‌ترتیب، *Carduchorum boiss* و *Alopecurus textilis* تشکیل می‌دهند. پوشش بوته‌ای چندساله حضور چشمگیری در منطقه دارد و می‌توان گون را گونه‌ی غالب منطقه معرفی کرد.

۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

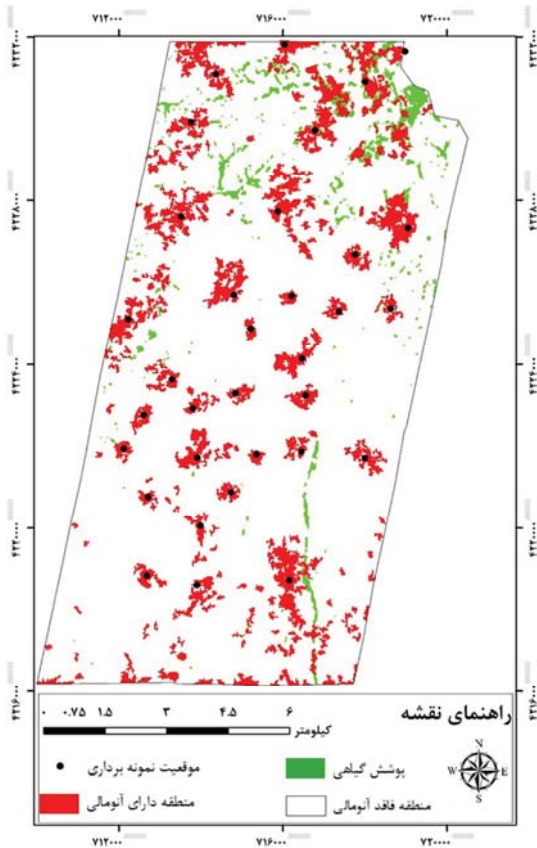
این مطالعه از داده‌های گوناگونی به‌منظور رسیدن به هدف تحقیق بهره می‌برد که شامل داده‌های هواشناسی، پوشش گیاهی، نقشه‌های زمین‌شناسی و نمونه‌های سنگی برداشت‌شده از منطقه مورد مطالعه، نمونه‌های طیفی اندازه‌گیری‌شده در آزمایشگاه استاندارد و نمونه‌های طیفی به‌دست‌آمده از کتابخانه‌های طیفی مرجع، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های ASTER و هایپریون، نتایج آزمایش‌های پتروگرافی، و آزمایش‌های کانی‌شناسی XRD و XRF^۲

1. X-Ray Diffraction
2. X-Ray Fluorescence

منطقه، از دید زمین‌ساختی، در پهنه‌ی ساختاری البرز غربی- آذربایجان قرار دارد و از دید زمین‌شناسی، مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین را دربر می‌گیرد که سن ترشیاری به آنها نسبت داده شده است. این مجموعه شامل انواع سنگ‌های آندزیتی، ریوداسیتی، ریولیتی و گرانودیوریتی است. شکل غالب جای‌گیری سنگ‌های یادشده به صورت مجموعه‌های آذرآواری، شامل انواع توفها و برش‌های آتشفشانی و روانه‌های گدازه‌ای است (Refahi et al., 2014). براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه، فعالیت‌های زمین‌ساختی بر سایر فعالیت‌های شکل‌زایی تقدم دارد؛ چرا که خط‌واره‌های گسلی نمایانگر سطح تکتونیزه‌شده است و حرکات زمین‌ساختی آن، به‌دلیل قطع‌کردن پادگانه‌های رودخانه‌ای، فعال‌بودن حرکات زمین‌ساخت و نیز جدیدبودن آنها را می‌رساند (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری میدانی



شکل ۳. نقشه آنومالی استخراج شده از تصویر ASTER و موقعیت نقاط نمونه برداری

طیف‌سنجی شدند. برای هر نمونه، اندازه‌گیری هشت بار تکرار و تعداد تکرار، برای ثبت یک نمونه طیفی، شصت بار تنظیم شد. با هدف شناسایی و حذف داده‌های پرت، ابتدا انحراف معیار طیف‌های اندازه‌گیری شده برای یک نمونه محاسبه و داده‌های طیفی، که ارزش طیفی آنها خارج از بازه ± 2 برابر انحراف معیار اندازه‌گیری‌های دیگر برای آن نمونه بود، به‌منزله داده‌های پرت و خطا تلقی و از مجموعه داده‌ها حذف شدند و در پایان هم، از داده‌های باقی‌مانده میانگین‌گیری شد. فیلتر با اندازه فریم مناسب (چندجمله‌ای درجه دوم) نیز به‌منظور حذف نویزهای سنجنده برای طیف‌های میانگین به‌کار رفت.

روی نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه است. در ادامه، این منابع داده‌ای و نحوه دستیابی به آنها و شیوه استفاده از آنها بررسی می‌شود.

۲-۲-۱- نمونه برداری میدانی

در این مرحله تمامی داده‌های مورد نیاز، از جمله داده‌های تصویری و نقشه‌های زمین‌شناسی و دیگر نقشه‌های مورد نیاز، تهیه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. برای تعیین موقعیت نقاط نمونه‌برداری، نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲) و نتایج پردازش‌های تصویر ASTER، به‌منظور شناسایی آنومالی‌های موجود در منطقه (شکل ۳)، تلفیق شدند. در استخراج مناطق آنومالی، بخش‌های دارای پوشش گیاهی بالا از پردازش کنار گذاشته شد. موقعیت نقاط نمونه‌برداری روی نقشه زمین‌شناسی و آنومالی (شکل ۳) نمایش داده شده است.

۳۳ نمونه برای مطالعات آزمایشگاهی برداشت شدند. از نمونه‌های گیاهی خشک منطقه نیز نمونه‌هایی برداشت و در پاکت‌های کاغذی مخصوص قرار گرفت و برای طیف‌سنجی به آزمایشگاه انتقال یافت.

۲-۲-۲- اندازه‌گیری کانی

برای اندازه‌گیری میزان حضور کانی‌های هدف در نمونه‌های سنگ، آزمایش XRD روی نمونه‌ها انجام شد. به‌منظور حصول اطمینان از نتایج، آزمایش‌های XRF و پتروگرافی نیز روی برخی از نمونه‌ها صورت گرفت.

۲-۲-۳- طیف‌سنجی

برای اندازه‌گیری طیفی، از دستگاه اسپکترومتر FieldSpec-3 استفاده شد و به‌منظور اندازه‌گیری نمونه‌های سنگی، ابزار جانبی پروب تماسی به‌کار رفت. نمونه‌ها، در دو حالت پودر شده و سطح تازه (فرش)،

$$R(\lambda) = W_1R_1(\lambda) + W_2R_2(\lambda) + W_3R_3(\lambda) + W_4R_4(\lambda)$$

رابطه (۱)

در این معادله، $R(\lambda)$ طیف مختلط شده در طول موج λ و $R_1(\lambda)$ کانی در طول موج λ است. $R_2(\lambda)$ ، $R_3(\lambda)$ و $R_4(\lambda)$ به ترتیب طیف بازتابی پوشش گیاهی سالم و خشک و کانی کوارتز محسوب می‌شوند و W_1 ، W_2 ، W_3 و W_4 نسبت ثابتی‌اند که جمع آنها برابر ۱، کمترین مقدار آنها ۰ و بیشترین آنها ممکن است ۱ باشد.

۲-۳-۲- محاسبه شاخص‌های لازم از عوارض جذبی مد نظر در منحنی پیوستار

عمق عوارض جذبی مورد نیاز با عمق‌های جذبی حذف پیوستار شده تخمین زده می‌شود (Crowley et al., 1989; Kokaly & Clark, 1999). پیوستار طیف بازتابی، با یک پوسته بالایی محدب، مدل شد و به صورت زیر تعریف شد (Clark et al., 1993; Kruse, 1988; van der Meer, 2004):

$$O_c(\lambda) = \frac{o(\lambda)}{c_o(\lambda)}$$

رابطه (۲)

در این معادله، $O(\lambda)$ طیف بازتابی مشاهده شده و تابعی از طول موج است و $O_c(\lambda)$ پوسته محدب بالایی و درعین حال، تابعی از طول موج شمرده می‌شود. به منظور تعیین عمق باند برای طیف حذف پیوستار شده، ارزش $C_o(\lambda)$ از عدد ۱ در طول موج مشخص کسر شد:

$$D_\lambda = 1 - O_c(\lambda)$$

رابطه (۳)

که در اینجا D_λ عمق باند حذف پیوستار شده در طول موج λ است. چهار CRBD در چهار نقطه متفاوت طیف تولید شد که هر یک از این مناطق عوارض جذبی مورد علاقه در ۰.۶۷، ۰.۹۰، ۲.۰۸ و ۲.۲ میکرومتر را نشان می‌دهد.

۲-۳-۳- تعیین حدود آستانه و توسعه مدل

با وارد شدن داده‌های طیفی‌ای که حاوی مقدار کمی از کانی باشد، امکان خطا در نتایج مدل افزایش می‌یابد؛ بنابراین، برای افزایش کارکرد مدل، حدود آستانه تعیین شد. برای به دست آوردن آستانه پوشش گیاهی، ترکیب

۲- عملیات میدانی و آزمایشگاهی: در این مرحله، نمونه‌های سنگ و خاک و پوشش گیاهی از نقاط تعیین شده نمونه برداری شد، طیف‌سنجی روی نمونه‌ها انجام و نمونه‌های سنگی مورد آزمایش پتروگرافی، XRD و XRF قرار گرفتند. با استفاده از نتایج طیف‌سنجی و آزمایش‌ها، کانی‌های غالب منطقه تعیین و عوارض جذبی تشخیصی آنها مشخص شد.

۳- توسعه مدل: مدل VCCD به منظور تصحیح عمق حذف پیوستار (CRBD) برای عوارض جذبی دو کانی غالب منطقه (کائولینیت و مسکویت) توسعه یافت و صحت آن ارزیابی شد. علاوه بر ارزیابی صحت مدل با یک سوم داده‌ها، قابلیت مدل در شرایط حضور نویز در داده‌ها و تغییر نوع پوشش گیاهی نیز مشخص شد. ۴- ارزیابی صحت و برآورد کانی: در این مرحله، مدل‌های توسعه یافته روی طیف‌های حاصل از تصویر هایپریون اجرا و با نتایج طیف‌سنجی مقایسه شد.

برای استفاده از روش VCCD موجود، به منظور برداشتن اثر پوشش گیاهی در تصاویر فضا برد، محدودیت‌هایی وجود دارد؛ با تغییر سنجنده مورد استفاده از هوا برد به فضا برد، موقعیت باندهای موجود در عوارض جذبی تشخیصی کانی‌ها و پوشش گیاهی نیز تغییر می‌کند. با تغییر سنجنده نیز، با توجه به موقعیت قرارگیری باندها، محدوده‌های عوارض جذبی دچار تغییر می‌شود. بنابراین، برای برداشتن تأثیر پوشش گیاهی در تصویر هایپریون و طبق شرایط منطقه مورد مطالعه، نیازمند اصلاح ضرایب VCCD متناسب با تصاویر هایپریون و برای کانی‌های هدف در این مطالعه هستیم. در ادامه، مراحل اجرای این مدل را بیان کرده‌ایم.

۲-۳-۱- ایجاد ترکیب خطی داده‌های طیفی

برای شبیه‌سازی یک طیف مختلط شده که ممکن است در یک پیکسل تصویر ماهواره‌ای دیده شود، رابطه (۱) روی داده‌ها اعمال می‌شود:

داده‌ها، صحت مدل واسنجی شده ارزیابی شد. برای انتخاب این داده‌های ارزیابی، ابتدا داده‌ها مرتب و به صورت انتخاب یکی از سه داده پشت‌سرهم، انتخاب شدند. با این شیوه، تمامی دامنه موجود در مجموعه داده در کالیبراسیون و اعتبارسنجی حفظ می‌شود که قابلیت ارزیابی صحت را افزایش می‌دهد. تعداد نقاط داده‌های واسنجی و ارزیابی صحت شده، با اعمال حدود آستانه به شاخص‌های حذف پیوستار، کم شد و برای حذف داده‌هایی که صحت فرایند تبدیل مقیاس را کاهش می‌دهند، مورد استفاده قرار گرفت. در روش دوم، برای ارزیابی قابلیت مدل، کارکرد آن در شرایط وجود نویز در داده‌ها بررسی شد. بدین منظور، نویز تصادفی در دامنه $20 \pm 0\%$ به هریک از عضوهای نهایی به کاررفته در VCCD افزوده شد (شکل ۷). در روش سوم، با استفاده از گونه‌های متفاوت پوشش گیاهی، صحت مدل ارزیابی شد.

خطی طیف پوشش گیاهی با کانی‌ها با نسبت‌های ۴٪ انجام شد. به منظور توسعه معادله، ارزیابی براساس داده‌های ترکیبی و برای همه مجموعه داده‌های موجود و برای کانی خاص، دوسوم داده‌ها، در برآزش مدل رگرسیون خطی چندگانه، با معادله زیر به کار رفت:

$$D_{VCCD} = A_1 D_{0.67} + A_2 D_{2.08} + A_3 D_{aim} \quad (4)$$

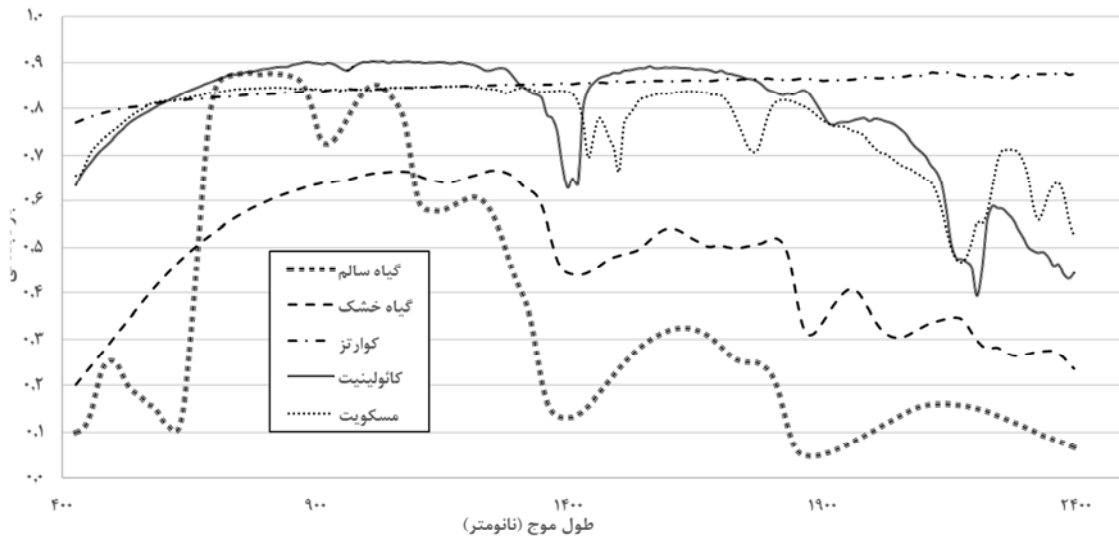
رابطه D_{VCCD} عمق باند جذبی حذف پیوستار اصلاح شده در عارضه جذبی تشخیصی کانی هدف؛ A_1 ، A_2 و A_3 به ترتیب ضرایب برآزش رگرسیون برای CRBD در ۰.۶۷ و ۲.۰۸ میکرومتر و عارضه جذبی تشخیصی کانی هدف است.

۲-۳-۴- ارزیابی صحت مدل و نتایج

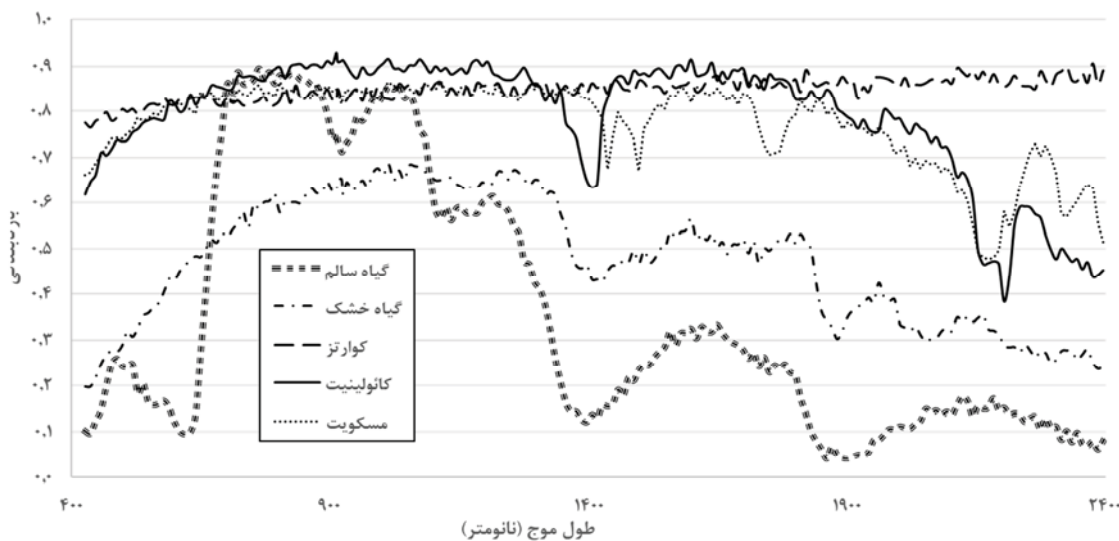
برای ارزیابی قابلیت مدل اصلاحی، از سه روش استفاده شد (شکل ۵). در روش اول، با استفاده از یک‌سوم



شکل ۵. روندنمای مراحل کالیبره کردن و ارزیابی صحت مدل



شکل ۶. نمودارهای طیفی انتخابی برای ساخت مجموعه داده شبیه‌سازی شده. همان‌گونه که دیده می‌شود، طیف بازتابندگی کانی‌های مسکویت و کائولینیت در محدوده عارضه جذبی ۲.۲ میکرومتر دارای تداخل با پوشش گیاهی سالم و خشک است



شکل ۷. نمودارهای طیفی شکل ۶ پس از اضافه شدن نویز تصادفی به آنها. نویزها به صورت تصادفی و در بازه ۲۰-۰٪ به طیف‌ها اضافه شدند؛ به گونه‌ای که هر طول موج می‌تواند مقدار متفاوتی از نویز در این بازه را داشته باشد

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج اندازه‌گیری کانی

پس از برداشت نمونه‌های صحرایی، ۳۳ نمونه به منظور آزمایش‌های XRD و تهیه مقاطع نازک (پتروگرافی) به کار رفت. بر مبنای این بررسی‌ها، درصد فراوانی کانی‌های هر سنگ و دگرسانی شاخص ارزیابی شد.

نتایج بررسی‌ها نشان داد که، به‌طور کلی، سنگ‌های منطقه در گروه بازالت، آندزیت، داسیت و توف قرار می‌گیرند. دگرسانی شاخص سنگ‌های مورد اشاره، به ترتیب فراوانی، شامل دگرسانی رسی (کائولینیت و مونتموریلونیت)، دگرسانی کلسیتی یا آهکی، کلریتی‌شدن و به مقادیر اندک اپیدیتی‌شدن می‌شوند.

به‌دلیل هم‌پوشانی بین عوارض جذبی ۲۰۰۸ و ۲۰۲ میکرومتر، منحنی‌وار است (شکل ۸-الف). نتایج در سمت چپ شانه از عارضه ۲۰۲ میکرومتری پایین کشیده شده است و سبب می‌شود که عمق عارضه جذبی ۲۰۲ میکرومتری به‌صورت غیرخطی کاهش یابد.

شکل ۸-ب پاسخ عارضه ۲۰۲ میکرومتری به حضور پوشش گیاهی خشک را نشان می‌دهد. در این شکل، عمق عارضه جذبی ۲۰۲ میکرومتری کاهش می‌یابد. این کاهش در دو کانی، با وجود پوشش گیاهی خشک اندک، بسیار تفاوت دارد که ناشی از شکل متفاوت عارضه جذبی در کانی‌های کائولینیت و مسکویت در این عارضه جذبی است. طبق نتایج، عمق ۰.۴۲ در CRBD عارضه ۰.۶۷ میکرومتر و عمق ۰.۰۸ در CRBD عارضه ۲۰۰۸ میکرومتر نشان‌دهنده حضور ۶۰٪ گیاه است. همان‌گونه که در شکل ۸-الف مشاهده می‌شود، در طیف مختلط‌شده گیاه سالم و کانی‌ها، بین افزایش نسبت میزان حضور پوشش گیاهی و کاهش CRBD رابطه خطی وجود دارد.

همان‌گونه که در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است، با افزایش میزان حضور کانی کوارتز، CRBD در کل عارضه‌های بررسی‌شده در محدوده ۲۰۲ میکرومتر کاهش می‌یابد و به سمت صفر میل می‌کند.

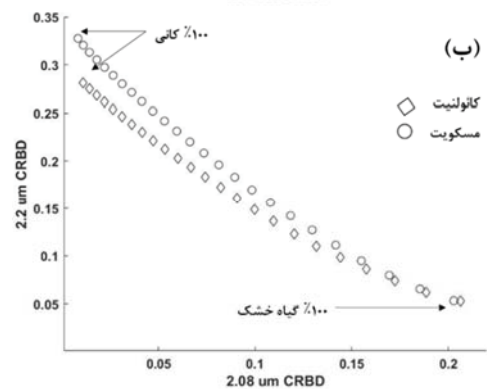
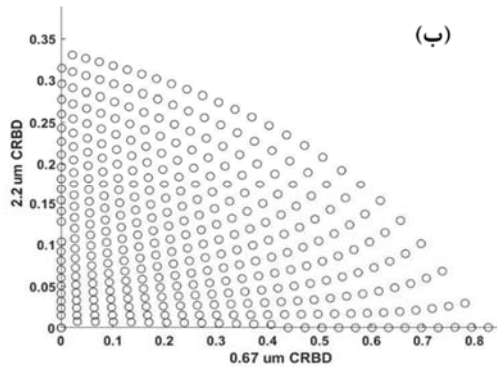
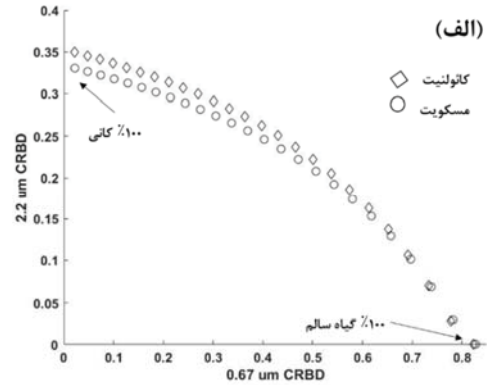
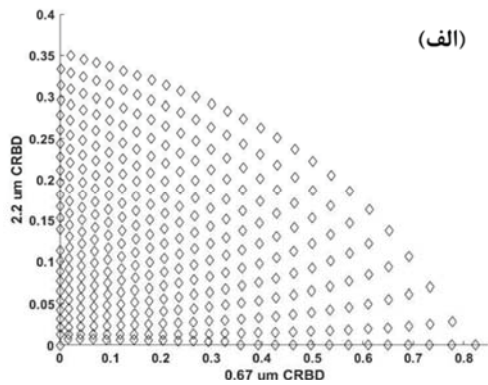
این مطالعات تکمیل‌کننده و تصدیق‌کننده شواهد صحرائی بوده است. تعیین فراوانی کانی‌های موجود در هر نمونه با استفاده از مطالعات پتروگرافی و XRD نیمه‌کمی و XRF صورت پذیرفت و از هم‌پوشانی نتایج سه روش استفاده شد. در جدول ۱، نتایج نیمه‌کمی میزان حضور کانی در گراف ارائه شده است.

۳-۲- پاسخ CRBD به حضور پوشش گیاهی و کانی‌ناشناخته

به‌منظور بررسی پاسخ CRBD در محدوده ۲۰۲ میکرومتر برای کانی‌های کائولینیت و مسکویت و به افزایش حضور پوشش گیاهی سالم و خشک، ترکیب خطی طیف پوشش گیاهی با کانی‌ها با نسبت‌های ۴٪ انجام شد (شکل ۸). شکل ۸-الف نشان می‌دهد که، با افزایش پوشش گیاهی سالم در عارضه جذبی ۲۰۲ میکرومتر برای کانی‌های کائولینیت و مسکویت، CRBD کاهش می‌یابد و این کاهش به‌صورت یک منحنی خمیده است. زمانی که دامنه کوچک‌تری بررسی می‌شود، مثلاً در مورد پوشش گیاهی و CRBD بین ۰.۲-۰، کاهش در CRBD ۲۰۲ میکرومتر به‌صورت خطی است. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات مورفی (۱۹۹۵) و راجر و همکارانش (۲۰۱۵) هم‌خوانی دارد. طبق نظر مورفی (۱۹۹۵) ارتباط گیاه خشک و کانی،

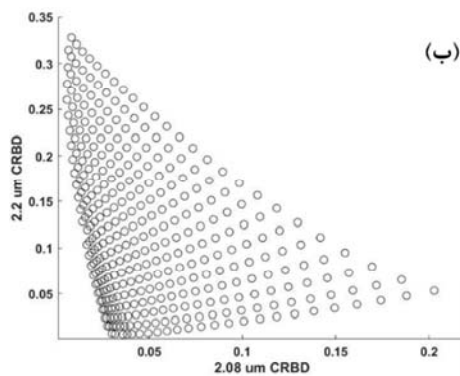
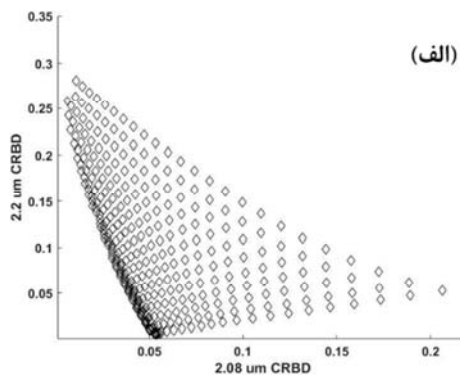
جدول ۱. فراوانی کانی‌های هدف در نمونه‌های سنگی منطقه

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	
کوارتز	۰.۲۴۵	۰.۲۴۲	۰.۲۵۲	۰.۲۵۱	۰.۲۳۹	۰.۲۵۲	۰.۲۴۱	۰.۲۳۹	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱	۰.۲۴۱
کائولینیت	۰.۰۰۳	۰.۰۰۳	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹
مسکویت	۰.۰۰۴	۰.۰۰۴	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹



شکل ۹. تغییرات CRBD در شرایط حضور پوشش گیاهی سالم و کوارتز برای کائولینیت (الف) و مسکویت (ب)

شکل ۸. تغییر CRBD عارضه جذبی ۲.۲ میکرومتر برای کانی‌های کائولینیت و مسکویت در حضور پوشش گیاهی سالم (الف) و پوشش گیاهی (ب) خشک



شکل ۱۰. تغییرات CRBD در شرایط حضور پوشش گیاهی خشک و کوارتز برای کائولینیت (الف) و مسکویت (ب)

۳-۳- تعیین حدود آستانه پوشش گیاهی و CRBD در واسنجی مدل

با وارد شدن داده‌های طیفی که حاوی مقدار کمی از کانی‌اند، امکان خطا در نتایج مدل افزایش می‌یابد. بنابراین، برای افزایش کارکرد مدل، حدود آستانه تعیین شد. برای تعیین حدود آستانه از مقادیر اندک، میزان پوشش گیاهی در پیکسل شروع به افزایش یافت و عملکرد آن بررسی شد. این فرایند تا آنجا ادامه پیدا کرد که افزودن بیشتر پوشش گیاهی منجر به کاهش بازدهی مدل می‌شد. جدول ۲ بیشترین حضور پوشش گیاهی سالم و خشک و بیشترین درصد پوشش گیاهی ترکیبی سالم و خشک یافت‌شده در داده‌های اعتبارسنجی شده را نشان می‌دهد که از حدود آستانه تعیین شده عبور کرده‌اند. در مورد همه کانی‌ها، حدود آستانه پوشش گیاهی سالم ۶۰٪ است و پوشش گیاهی خشک در بازه ۶۰-۵۶٪ و ترکیبی ۷۶-۷۲٪ قرار دارد.

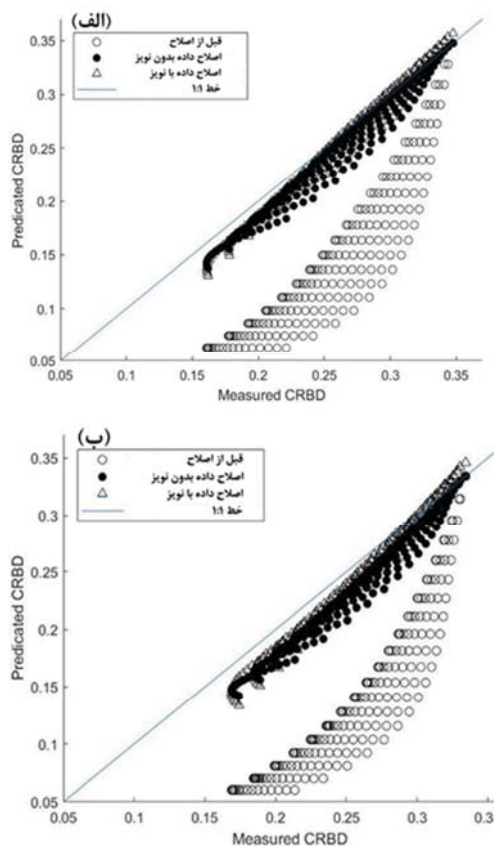
جدول ۲. بیشترین درصد حضور پوشش گیاهی در داده‌های اعتبارسنجی شده

پوشش گیاهی	کائولینیت	مسکویت
سالم	۶۰	۶۰
خشک	۶۰	۵۶
سالم + خشک	۷۶	۷۲

در شکل ۱۱ ارزیابی قابلیت روش اصلاحی، برای کانی‌های کائولینیت و مسکویت با داده‌های نویزی، با مثلث نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که الگوریتم اصلاحی در برداشتن اثر پوشش گیاهی بسیار کارآمد است.

حدود آستانه‌ای که قبلاً تعیین شده بود برای مجموعه داده به کار رفت و سپس به منظور ساخت معادله واسنجی و ارزیابی صحت استفاده شد. بدین ترتیب، اثر استفاده از نشانه طیفی گونه گیاهی متفاوت را می‌توان ارزیابی کرد. برای بررسی عملکرد الگوریتم روی تصویر، بین CRBD قبل از تصحیح و

CRBD بعد از تصحیح و پس از اصلاح اثر نویز و تغییر گونه گیاهی، در مورد کانی‌های گوناگون، رگرسیون خطی درجه یک گرفته شد و با آماره‌های R^2 و RMSE، قوت این رابطه رگرسیونی توصیف شد. نتایج این تحلیل در شکل ۱۲ آمده است که نشان می‌دهد، با تغییر گونه‌ها، عملکرد روش تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد و نتایج حاصل برای گونه چمن به کاررفته تقریباً مشابه است (جدول ۳).



شکل ۱۱. بررسی تأثیر نویز در عملکرد الگوریتم، در برداشتن اثر پوشش گیاهی برای کائولینیت (الف) و مسکویت (ب)

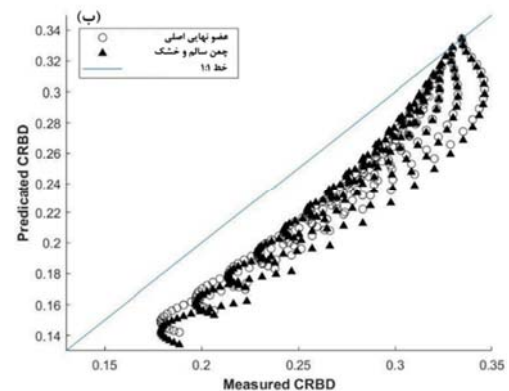
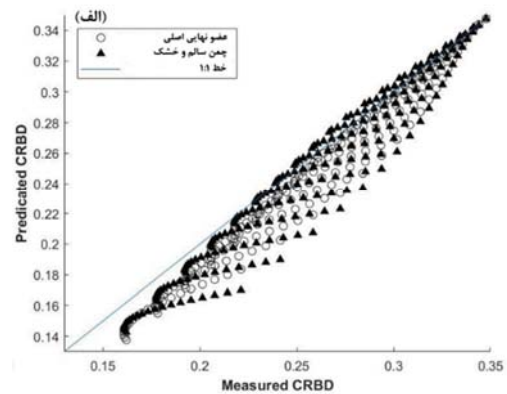
ضریب A_1 در اصلاح اثر پوشش گیاهی سالم (رابطه بین CRBD پوشش گیاهی سالم و کانی هدف)، و A_2 در اصلاح اثر پوشش گیاهی خشک (رابطه بین CRBD پوشش گیاهی خشک و کانی هدف) کاربرد دارد (جدول ۴).

جدول ۴. ضرایب رگرسیون استفاده شده

در مدل های VCCD هر کانی			
داده	ضرایب	مسکویت	کانولینیت
داده های اصلی	A ₁	۰.۳۵۱	۰.۳۵۵
	A ₂	۱.۱۱	۱.۲۳
	A ₃	۰.۹۹۸	۰.۹۸
داده های نویزی	A ₁	۰.۳۳	۰.۳۵
	A ₂	۱.۳۶	۱.۴۱
	A ₃	۰.۹۹	۰.۹۷
گونه گیاهی متفاوت	A ₁	۰.۳۷۹	۰.۳۶۲
	A ₂	۰.۵۳۲	۰.۴۶۴
	A ₃	۰.۹۹۱	۰.۹۷۶

۳-۴- اعمال الگوریتم روی تصویر هایپریون

فراوانی پوشش گیاهی سالم با استفاده از شاخص SAVI و پوشش گیاهی خشک با استفاده از شاخص 2102d برآورد شد. در این تحقیق، کارایی الگوریتم های مطرح شده برای داده های هایپریون با استفاده از داده های آزمایشگاهی پتروگرافی، XRD و XRF مورد ارزیابی صحت قرار گرفت. نتایج اعمال مدل روی داده های بازنویسی شده طیفسنجی به هایپریون برای کانی های کانولینیت و مسکویت اجرا و نتایج آن در شکل ۱۳ آمده است. پس از حذف نمونه های دارای پوشش گیاهی بالا (SAVI بیشتر از ۰.۲۰ و ۲۱۰۲D بیشتر از ۰.۱۰)، همبستگی بین فراوانی برازش شده و اندازه گیری زمینی افزایش و خطا کاهش یافت. سپس مدل اصلاحی روی طیف های استخراج شده از تصاویر سنجده هایپریون اجرا و با نتایج حاصل از اجرای مدل روی طیف های منتج از طیفسنجی آزمایشگاهی نمونه های سنگی مقایسه شد (نتایج در شکل ۱۳). پیش از اصلاح، تمامی مقادیر CRBD برآوردی برای هایپریون کمتر از مقادیر برآوردی برای طیفسنجی است؛ در حالی که، پس از اصلاح، مقادیر برآوردی افزایش می یابد و به خط ۱:۱ نزدیک تر می شود. این مقدار افزایش ناشی از اصلاح اثری است که پوشش گیاهی سالم و خشک در CRBD گذاشته و اصلاح شده اند.



شکل ۱۲. بررسی تأثیر تغییر نوع پوشش گیاهی در عملکرد الگوریتم برای کانی های کانولینیت (الف) و مسکویت (ب)

جدول ۳. آماره های کالیبراسیون برای رگرسیون خطی چندگانه در مدل های VCCD هر کانی

داده	ضرایب	مسکویت	کانولینیت
پیش از اصلاح	R ²	۰.۸۵۲	۰.۸۷۱
	RMSE	۰.۰۲۷	۰.۰۲۷
پس از اصلاح	R ²	۰.۹۹۳	۰.۹۹۶
	RMSE	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷
داده نویزی	R ²	۰.۹۵۴	۰.۹۹۲
	RMSE	۰.۰۲۴	۰.۰۱۱
گونه گیاهی متفاوت	R ²	۰.۹۴۷	۰.۹۸۵
	RMSE	۰.۰۲۵	۰.۰۱۴

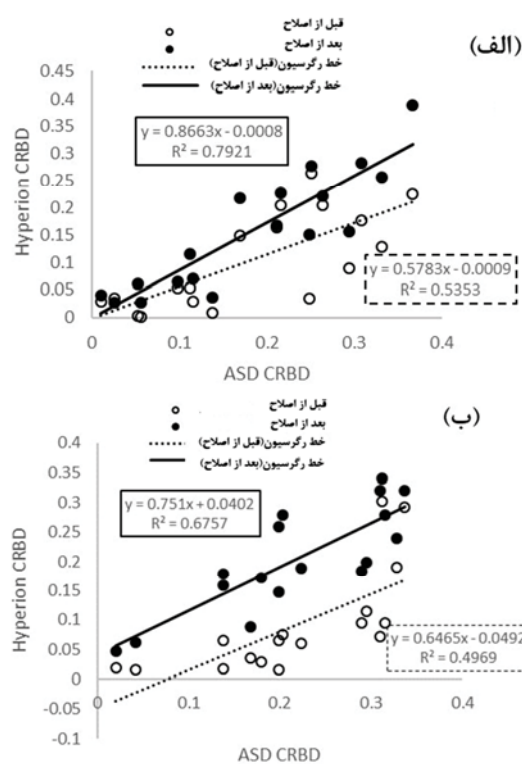
۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، تأثیر حضور پوشش گیاهی سالم در عمق عوارض جذبی در کانی‌ها به‌صورت خطی و تأثیر حضور پوشش گیاهی خشک به‌صورت غیرخطی است. در مورد کانی‌های آهن‌دار، روابط با حضور پوشش گیاهی سالم و خشک به‌صورت غیرخطی است. در همه کانی‌ها روابط معکوسی بین حضور پوشش گیاهی خشک و برآورد کانی وجود دارد. با افزایش پوشش گیاهی خشک، فراوانی کانی‌های برآورد شده کمتر از حد واقعی است.

بین حضور پوشش گیاهی سالم و کانی‌های منطقه دو رابطه متفاوت مشاهده شد و در مورد کانی‌های کائولینیت و مسکویت، رابطه معکوس (تضعیف‌شونده) مشاهده می‌شود. علت این رابطه مستقیم وجود پیک جذبی در محدوده ۰.۹ میکرومتر پوشش گیاهی است که با پیک جذبی تشخیصی کانی‌های هماتیت و گوتیت هم‌پوشانی دارد و چون این عوارض برای برآورد کانی‌ها به‌کار می‌رود، میزان کانی بیشتر از مقدار موجود تخمین زده می‌شود.

اصلاح CRBD با استفاده از روش VCCD تا حداکثر حضور پوشش گیاهی سالم ۶۰٪ و پوشش گیاهی خشک در بازه ۶۴-۵۶٪ و ترکیب پوشش گیاهی سالم و خشک با نسبت ۷۶-۷۲٪ است که، در شرایط حضور بیش از این آستانه، بازیابی فراوانی کانی امکان‌پذیر نیست. مهم‌ترین ویژگی روش VCCD مستقل بودن آن از گونه گیاهی است. تغییر گونه پوشش گیاهی در مناطق مهم زمین‌شناسی اجتناب‌ناپذیر است؛ بنابراین، بسیار مهم است که روش اصلاحی مستقل از گونه گیاه باشد. وجود نویز در داده‌های سنجش از دور نیز همیشگی است و بنابراین، بسیار اهمیت دارد که روش مورد استفاده در برابر وجود نویز در طیف ثبت‌شده مقاوم باشد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که اعمال روش اصلاحی VCCD در سطح تصویر فضا برد هایپریون قابلیت بالایی در کاهش آثار اختلالی پوشش گیاهی سالم و خشک در CRBD عارضه ۲.۲ میکرومتر و برآورد دقیق‌تر میزان حضور کانی‌های کائولینیت و مسکویت دارد.

ضریب تعیین این برآزش برای کائولینیت ۰.۷۹ و میزان خطای آن ۰.۰۵۰۵۹ است. مطابق شکل ۱۳، خط برآزش به‌نسبت خط ۱:۱ زاویه دارد که نشان می‌دهد کانی در مقادیر بالا، کمتر از واقعیت، برآورد می‌گردد. راجر و کاداهی (۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر هوابرد Hymap موفق شدند، پس از استفاده از الگوریتم اصلاحی در بهترین حالت آستانه به‌کاررفته، مقادیر کانی رسی را با همبستگی ۰.۸۳ برآورد کنند. هایست و همکاران (۲۰۱۳) نیز، با استفاده از تصاویر هوایی AMS، توانستند مقادیر رس را با همبستگی ۰.۷۸۸ به‌دست آورند. بهتر بودن نتایج حاصل از این پژوهش‌ها به این دلیل بوده که در آنها از تصاویر هوابرد استفاده شده و قابل‌توجه‌اند. هزینه تهیه این تصاویر، در مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای مانند هایپریون نیز، بسیار بیشتر است.



شکل ۱۳. مقایسه CRBD حاصل از به‌کارگیری روش VCCD بر طیف‌های استخراج شده از تصویر هایپریون و طیف‌سنجی آزمایشگاهی؛ برای کانی‌های الف) کائولینیت، ب) مسکویت

۵- منابع

- Bartholomeus, H., 2009, **The Influence of Vegetation on the Spectroscopic Estimation of Soil Properties**, PhD thesis, Wageningen University.
- Ben-Dor, E., Taylor, R.G., Hill, J., Demattê, J.A.M., Whiting, M.L., Chabrillat, S. & Sommer, S., 2008, **Imaging Spectrometry for Soil Applications**, *Advances in Agronomy*, 97, PP. 321-392.
- Bierwirth, P., Huston, D. & Blewett, R., 2002, **Hyperspectral Mapping of Mineral Assemblages Associated with Gold Mineralization in the Central Pilbara, Western Australia**, *Economic Geology*, 97(4), PP. 819-826.
- Canasveras, J.C., Barron, V., Del Campillo, M.C., Torrent, J. & Gomez, J.A., 2010, **Estimation of Aggregate Stability Indices in Mediterranean Soils by Diffuse Reflectance Spectroscopy**, *Geoderma*, 158(1-2), PP. 78-84.
- Clark, R.N., 1999, **Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy**, *Manual of Remote Sensing*, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons, New York, PP. 3-58, (Invited book chapter) Online at: <http://speclab.cr.usgs.gov>.
- Clark, R., Swayze, G., Gallagher, A., King, T. & Calvin, W., 1993, **The USGS Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 μm** , *US Geol. Surv. Open File Rep*, PP. 93-592.
- Crowley, J.K., Bickey, D.W. & Rowan, L.C., 1989, **Airborne Imaging Spectrometer Data of the Ruby Mountains, Montana: Mineral Discrimination Using Relative Absorption Band-Depth Images**, *Remote Sensing of Environment*, 29(2), PP. 121-134.
- Cudahy, T., Caccetta, M., Thomas, M., Hewson, R., Abrams, M., Kato, M., Kashimura, O., Ninomiya, Y., Yamaguchi, Y., Collings, S., Laukamp, C., Ong, C., Lau, J., Rodger, A., Chia, J., Warren, P., Woodcock, R., Fraser, R., Rankine, T., Vote, J., de Caritat, P., English, P., Meyer, D., Doescher, C., Fu, B., Shi, P. & Mitchel, R., 2016, **Satellite-Derived Mineral Mapping and Monitoring of Weathering, Deposition and Erosion**, *Scientific Reports*, 6(23702), PP. 1-12.
- Franceschini, M.H.D., Demattê, J.A.M., Silva Terraa, F., Vicente, L.E., Bartholomeus, H. & de Souza Filho, C.R., 2015, **Prediction of Soil Properties Using Imaging Spectroscopy: Considering Fractional Vegetation Cover to Improve Accuracy**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, PP. 358-370.
- Grebby, S., Cunningham, D., Tansey, K. & Naden, J., 2014, **The Impact of Vegetation on Lithological Mapping Using Airborne Multispectral Data: A Case Study for the North Troodos Region, Cyprus**, *Remote Sensing*, 6(11), PP. 10860-10887.
- Haest, M., Cudahy, T., Rodger, A., Laukam, C., Martens, E. & Caccetta, M., 2013, **Unmixing the Effects of Vegetation in Airborne Hyperspectral Mineral Maps over the Rocklea Dome Iron-Rich Palaeochannel System (Western Australia)**, *Remote Sensing of Environment*, 129(15), PP. 17-31.
- Karnieli, A., Kaufman, Y.J., Remer, L. & Wald, A., 2001, **AFRI-Aerosol Free Vegetation Index**, *Remote Sensing of Environment*, 77(1), PP. 10-21.
- Kaufman, Y., Wald, A., Remer, L., Gao, B., Li, R. & Luke, F., 1997, **The MODIS 2.1-mm Band Correlation with Visible Reflectance for Use in Remote Sensing**

- of Aerosol**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35, PP. 1286-1298.
- Kobayashi, C., Kashimura, O., Maruyama, T., Oyanagi, M., Lau, I.C., Cudahy, T., Wheaton, B. & Carter, D., 2011, **The Effect of Spectral Unmixing of Hyperspectral Imagery for Mapping of Soil Properties**, 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, At Sydney, New South Wales, Australia, April 15. DOI: 10.13140/2.1.3857.3443.
- Kokaly, R. & Clark, R., 1999, **Spectroscopic Determination of Leaf Biochemistry Using Band-Depth Analysis of Features and Stepwise Multiple Linear Regression**, Remote Sensing of Environment, 67(3), PP. 267-287.
- Kruse, F.A., 1988, **Use of Airborne Imaging Spectrometer Data to Map Minerals Associated with Hydrothermally Altered Rocks in the Northern Grapevine Mountains, Nevada, and California**, Remote Sensing of Environment, 24(1), PP. 31-51.
- Murphy, R., 1995, **The Effects of Surficial Vegetation Cover on Mineral Absorption Feature Parameters**, International Journal of Remote Sensing, 16(12), PP. 2153-2164.
- Murphy, R. & Wadge, G., 1994, **The Effects of Vegetation on the Ability to Map Soils Using Imaging Spectrometer Data**, Remote Sensing, 15(1), PP. 63-86.
- Nanni, M.R. & Damette, J.A.M., 2006, **Spectral Reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis**, Soil Science Society of America Journal, 70(2), PP. 393-407.
- Refahi, D., Khakzad, N., Nezafati, N., Bahar Firozi, K. & Bayatani, A., 2014, **Altration Zone Studies North of Sarab by Sateillite Data, Airborne Geophisic Data and Sampling Analysis**, Geosciences, 24(93), PP. 221-234.
- Rodger, A. & Cudahy, T., 2009, **Vegetation Corrected Continuum Depths at 2.20 μm : An Approach for Hyperspectral Sensors**, Remote Sensing of Environment, 113(10), PP. 2243-2257.
- Siegal, B.S. & Goetz, A.F.H., 1977, **Effect of Vegetation on Rock and Soil Type Discrimination**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(2), PP. 191-196.
- Staez, K., Nadeau, C., Secker, J. & Budkewitsch, P., 2000, **Spectral Unmixing Applied to Vegetated Environments in the Canadian Arctic for Mineral Mapping**, XIXth ISPRS Congress and Exhibition, Amsterdam, July 15-23.
- van der Meer, F., 2004, **Analysis of spectral absorption features in hyperspectral imagery**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 5: 55-68.
- Wester, K., Lunden, B., and Box, G., 1990, **Analytically processed Landsat TM images for visual geological interpretation in the Northern Scandinavian Caledonides**, ISPRS Journal of Photoqrammetry and Remote Sensing, 45: 442-460.
- Wray, R.A., 2011, **Alunite Formation within Silica Stalactites from the Sydney Region, South-Eastern Australia**, International Journal of Speleology, 40(2), PP. 109-116.



نسخه از دور

و
GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹
Vol.12, No. 4, Winter 2021 Iranian Remote Sensing & GIS

115-131

Investigation of the Vegetation Effect on the Surveying and Mineral Exploration Using Hyperspectral Data

Sadeghi A.^{1*}, Darvishi Bolorani A.², Abdollahi Kakroodi A.³, Alavipanah S.K.⁴, Hamzeh S.⁵

1. Assistant Prof., Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan

2, 3, 5. Associate Prof., Dep. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran

4. Prof. of Dep. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran

Abstract

The presence of dry and green vegetation in pixels containing spectral information is essential in geological and mineralogical studies. Thus, retrieving sub-pixel information, including estimation of a mineral's quantity in a single hyperspectral RS image pixel is very important. In this study, the vegetation corrected continuum depth (VCCD) method was trained and its results were validated using spectrometry, laboratory mineralogy, and Hyperion image to reduce the effect of vegetation on the estimation of minerals. The study was conducted in Oghlansar region located in northwestern Iran. SAVI and absorption depth (2102 μm) were used for the estimation of the green and dry vegetation, respectively. Meanwhile, the trained models do not have a high sensitivity to the presence of noise in the spectrum and vegetation type changes. The correction of continuum removed band depth (CRBD) analysis was possible up to 60% for maximum green vegetation cover threshold, 56-60% for dry vegetation, and 72-76% for both dry and green vegetation. Effect of noise and different vegetation types on model capability was examined and the result shows that VCCD is not highly sensitive to random noise and changes in vegetation types. After correction of the coefficients and confirmation of its efficiency, the model was used to correct CRBD and reduce the effect of vegetation on Hyperion image. In the estimation of kaolinite and muscovite, the presence of green and dry vegetation led to the underestimation of the minerals present in the study area. The results showed that VCCD was able to increase the prediction accuracy (R^2) by 0.25 and 0.13 and reduce RMSE by 0.0108 and 0.125 for kaolinite and muscovite, respectively.

Keywords: Hyperion, Mixed pixel, Unmixing, Vegetation cover effects minimization, Kaolinite, Muscovite.

* Correspondence Address: Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Postal Code: 8174673441. Tel: 031337935773, 09131832008
Email: Alisadeghi@geo.ui.ac.ir