

پتانسیل یابی کانسارهای مس پورفیری در شمال غربی کمربند ماگمایی سنوزوئیک کرمان با استفاده از سنجش از دور

نسترن استادمهدی عراق^۱ و سعید مجدی‌فر^{۲*}

۱ و ۲- گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اراک، اراک

نویسنده مسئول: mojeddifar@yahoo.com*

دریافت: ۹۷/۶/۱۳ پذیرش: ۹۷/۱۲/۸

چکیده

کمربند ماگمایی سنوزوئیک کرمان خاستگاه کانسارهای مس پورفیری مهمی همچون کدر، ایجو، سرنو، چاه فیروزه و گودکولواری است. سه تصویر آستر به کمک تکنیک‌های نسبت بانندی، آنالیز مولفه‌های اصلی، روش کراستا و ترکیب رنگی کاذب برای نقشه‌برداری زون‌های دگرسانی فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک مورد استفاده قرار گرفت. این تحقیق تلاش کرده با مروری بر تحقیقات گذشته و به کارگیری باندهای موثر معرفی شده، بهترین تکنیک و باندهای موثر کاربردی را برای تفکیک زون‌های دگرسانی مورد مطالعه قرار دهد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد کانی‌های شاخص دگرسانی فیلیک در باند ۷ دارای بیش‌ترین بازتاب و در باند ۶ دارای بیش‌ترین جذب می‌باشند و کانی‌های زون آرژیلیک در باند ۵ و باند ۶ از خود اثرانگشت طیفی نشان می‌دهند. بنابراین آنالیز مولفه‌های اصلی به تنهایی نمی‌تواند این مناطق را از هم تفکیک کند ولی آنالیز کراستا با استفاده از باندهای ۵، ۶، ۷ بهترین نتیجه‌ی قابل قبول را برای شناسایی دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک در منطقه‌ی مورد مطالعه ارائه می‌دهد. همچنین می‌توان برای آشکارسازی دگرسانی پروپیلیتیک از ترکیب رنگی کاذب $RGB=(PC2,PC3,-PC4)$ به عنوان بهترین نتیجه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آنالیز مولفه‌های اصلی، ترکیب رنگی کاذب، دگرسانی گرمایی، تکنیک کراستا، نسبت بانندی

مقدمه

ماگمایی سنوزوئیک کرمان به کار گرفته شده است. آستر یک سنجنده‌ی چند طیفی با توان تفکیک بالا است که توسط ماهواره ترا حمل می‌شود. این سنجنده ۱۴ باند دارد که امکان شناسایی بعضی از کانی‌ها را در محدوده‌ی خاص و مناسب امواج الکترومغناطیس فراهم می‌کند. آستر داده‌ها را در سه بازه‌ی طیفی برداشت می‌کند که شامل بازه‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR)^۱، مادون قرمز کوتاه موج (SWIR)^۲، و مادون قرمز حرارتی (TIR)^۳ می‌باشد. توان تفکیک مکانی باندهای مادون قرمز نزدیک، ۱۵ متر و توان تفکیک مکانی باندهای مادون قرمز کوتاه موج ۳۰ متر است در حالی که توان تفکیک مکانی تصاویر مادون قرمز حرارتی ۹۰ متر است (فوجی‌سادا، ۱۹۹۵). این تحقیق تلاش دارد با مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه‌ی پردازش داده‌های ماهواره‌ای، بهترین تکنیک شناسایی دگرسانی‌های گرمایی را در منطقه مورد مطالعه معرفی نماید. ذخایر

علم سنجش از دور امروزه به دلیل ارائه‌ی اطلاعاتی با دید وسیع و یکپارچه و محدوده‌ی طول موجی مختلف از روش‌هایی است که می‌تواند در پی‌جویی کانسارها کمک قابل‌توجهی نماید. با گذر زمان و پیشرفت تکنولوژی بسیاری از سنجنده‌ها همانند سنجنده‌های ابر طیفی، گسترش یافته و در علم سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تصاویر حاصل از سنجنده‌ها به عنوان ابزاری نیرومند در مراحل پی‌جویی و اکتشافات مقدماتی می‌تواند در شناسایی سرخ‌های اکتشافی کانسارهای مس پورفیری کمک شایانی نماید. از آنجا که وسعت مناطق دگرسان شده در ذخایر مس پورفیری گاهاً چندین برابر وسعت ماده معدنی می‌باشد، شناسایی این مناطق به عنوان نقطه شروع اکتشافی، راهکار مناسبی تلقی می‌شود و پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند این راهکار را عملیاتی نماید (سدیدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ نجفیان و همکاران، ۱۳۹۲). در این پژوهش داده‌های حاصل از سنجنده‌ی آستر در کرمان

¹ Visible Near Infrared

² Shortwave Infrared

³ Thermal Infrared

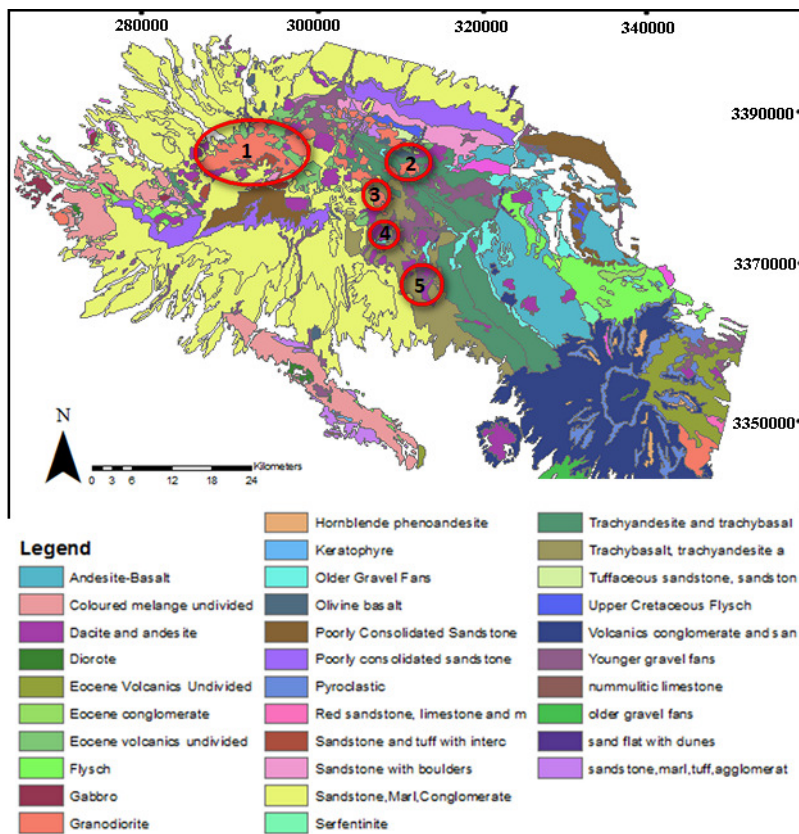
مطالعه، خاستگاه کانسارهای پورفیری مهمی همچون کدر، گودکولواری، ایجو، سرنو و چاه فیروزه است و در جنوب‌غربی شهر کرمان واقع شده است. آمیزه رنگین کرتاسه قدیمی‌ترین و نهشت‌های کواترنر و مخروط‌های افکنه گراولی در زمره جوان‌ترین رخنمون‌های ناحیه مطالعاتی قرار دارند. رسوبات کرتاسه عمدتاً از سنگ‌های فلیشی تشکیل شده‌اند. سنگ‌های رسوبی کمپلکس آتشفشان رسوبی اغلب از نوع ماسه‌سنگ و اندکی سنگ آهک می‌باشند. سنگ‌های آتشفشانی توسط سنگ‌های نفوذی الیگوسن میوسن با جنس گرانودیوریت، کوارتز-دیوریت، مونزونیت، تونالیت و گرانیت قطع شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی به واسطه همجواری بلافصل این توده‌های نفوذی، در بسیاری موارد دچار دگرسانی و تغییر شده‌اند. اغلب سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی به طور درجا دچار دگرسانی گرمایی و کانی‌سازی شده‌اند. دگرسانی‌های آرژیلیکی، سریسیتی و پروپیلیتیک در زمره شایع‌ترین دگرسانی گرمایی ناحیه قرار دارند. رسوبات الیگوسن میوسن در بخش جنوب‌شرق ناحیه رخنون یافته‌اند که به طور دگرشیب به وسیله سازندهای ائوسن پوشیده می‌شوند. ضخامت این سری‌ها بالغ بر ۲۰۰ متر است. رسوبات نئوژن به وسیله یک دگرشیبی، میان پایین‌ترین و بالاترین اعضا جدا شده‌اند. عضو پایینی عمدتاً از ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ریزدانه همراه با رگه‌های ژئپس و تداخلات هالیت شکل می‌گیرد. عضو بالایی شامل رسوباتی است که طبقه‌بندی سست و نادرستی نشان می‌دهند و از استحکام کافی برخوردار نیستند. این رسوبات در بخش‌های پایینی از نوع کنگلومرا و ماسه‌سنگ و در بخش‌های بالایی شامل قطعات سنگی و ریگ‌های گرد شده و قطعات داسیتی می‌باشند (دیمیترویچ، ۱۹۷۳). تصویر زمین‌شناسی منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.

این تحقیق از سه تصویر سنجنده‌ی آستر در سطح L ۱B استفاده نموده است. دو تصویر در ۱۸ آپریل ۲۰۰۰ و تصویر دیگر در ۱۵ ژوئن ۲۰۰۷ گرفته شده است. تصاویر ابتدا توسط کراستاک و سپس با IARR تصحیح رادیومتریک شدند و به صورت موزاییک در کنار یکدیگر قرار گرفتند. شکل ۲ تصویر ماهواره‌ای منطقه را نشان می‌دهد که در آن مناطق شناخته شده‌ی معدنی در آن نمایش داده شده است.

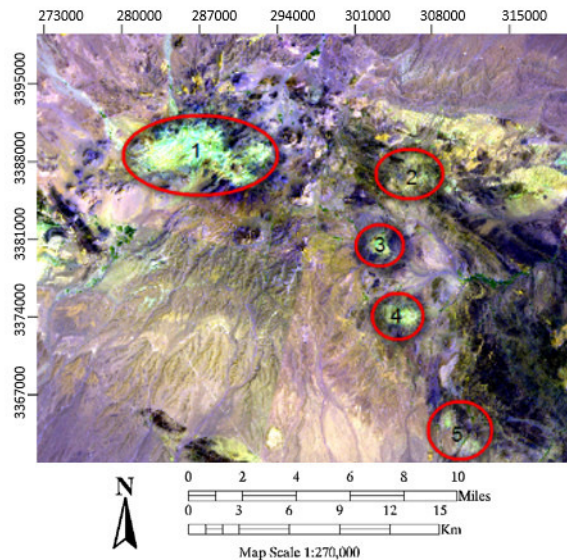
مس پورفیری شناخته شده در این تحقیق شامل کدر، گودکولواری، ایجو، سرنو و چاه فیروزه می‌باشد. آنالیز نسبت‌های باندی، آنالیز مولفه‌های اصلی، روش کراستا و تصاویر ترکیب باندی مهم‌ترین روش‌های مرسوم پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی پهنه‌های دگرسانی گرمایی منطقه می‌باشند که در تحقیقات گذشته به صورت متداول مورد استفاده قرار گرفته‌اند. معصومی و رنجبر (۱۳۹۰) برای بارزسازی پهنه‌های دگرسانی فیلیک و آرژیلیک به مطالعه‌ی کانی‌های سریسیت و رسی با استفاده از نسبت‌های باندی و تصاویر رنگی کاذب بر روی تصاویر سنجنده‌ی آستر پرداختند. آن‌ها همچنین پهنه دگرسانی پروپیلیتیک را با استفاده از تکنیک تصاویر رنگی کاذب شناسایی نمودند. آلیانی و همکاران (۱۳۹۳) برای آشکارسازی پهنه‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک از روش انتخابی کراستا در کنار تصاویر رنگی کاذب و نسبت‌های باندی استفاده نمودند. آن‌ها باندهای ۴، ۵، ۷ را برای دگرسانی آرژیلیک، باندهای ۴، ۶، ۷ را برای دگرسانی فیلیک و باندهای ۷، ۸، ۹ را برای دگرسانی پروپیلیتیک به کار گرفتند. احمدی روحانی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعات خود برای تشخیص نواحی دگرسانی از تکنیک‌های ترکیب رنگی کاذب و نسبت باندی برای شناسایی کانی‌های رسی استفاده نمودند. عباس‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) تکنیک آنالیز مولفه‌های اصلی را روی ۹ باند سنجنده آستر انجام دادند و با بررسی نتایج بین باندهای ۴ و ۹ نواحی دگرسانی را در منطقه مورد مطالعه خود شناسایی کردند. آن‌ها همچنین از باندهای ۱، ۶، ۷، ۹ برای شناسایی سریسیت و از باندهای ۱، ۵، ۶، ۷ برای شناسایی کاتولینیت و از باندهای ۱، ۷، ۸، ۹ برای شناسایی کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک بهره بردند. این تحقیق با به کارگیری باندهای پیشنهادی توسط محققان مختلف و اعتبارسنجی نتایج آن‌ها در منطقه بهترین روش آنالیزی را براساس باندهای پیشنهادی شناسایی و معرفی می‌نماید و بر اساس آن مناطق دارای پتانسیل معدنی را برای مطالعات تکمیلی معرفی می‌نماید.

زمین‌شناسی منطقه و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی - رسوبی ایران مرکزی قرار گرفته است. ناحیه مورد



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. تصویر کاذب رنگی (باند ۶ قرمز، باند ۴ سبز، باند ۱ آبی) منطقه مورد مطالعه. ذخایر پورفیبری که در منطقه شناخته شده می‌باشند با پلیگون نمایش داده شده است: (۱) کدر، (۲) گودکولواری، (۳) ایجو، (۴) سرنو، (۵) چاه فیروزه

نقشه برداری دگرسانی‌های گرمایی

در پردازش تصاویر ماهواره‌ای آستر از روش‌های آماری و ریاضی مختلفی برای شناسایی کانی‌های دگرسانی استفاده شده است. از کاربردی‌ترین این روش‌ها می‌توان

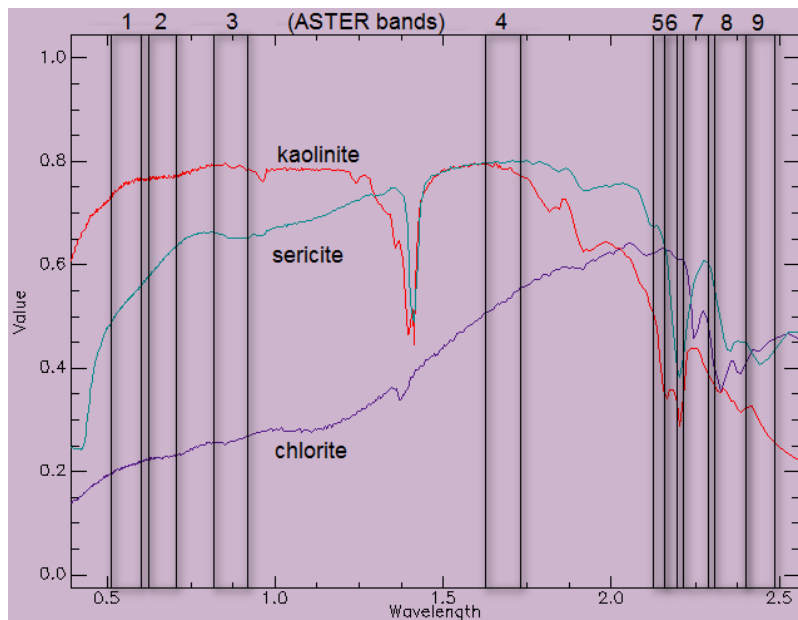
به روش نسبت باندی، ترکیب رنگی کاذب و آنالیز مولفه‌های اصلی اشاره کرد که در این تحقیق با مروری بر تحقیقات انجام شده، باندهای پیشنهادی آنالیزهای مختلف به کار گرفته می‌شوند. هم‌چنین در این مطالعه،

پردازش‌های تصاویر آستر توسط نرم‌افزار ENVI۴.۷ انجام شده است.

نسبت بانندی

روش نسبت بانندی به منظور کاهش سایه‌ها و اختلالات روشنایی زمین، جدایش واحدهای سنگی، دگرسانی‌های گرمایی و تعیین شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش باند با میزان بازتابش بالا از هدف مورد نظر، به باند با میزان جذب بالا از همان هدف، تقسیم می‌شود (روسکو و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به اینکه پدیده‌های مختلف ویژگی‌های طیفی منحصر به فردی دارند، می‌توان با استفاده از روش فوق و استخراج خصوصیات طیفی آن‌ها به کمک نمودار بازتابش طیفی عوارض مختلف را بارزسازی نمود. راکول (۲۰۱۰) برای بارزسازی کانی‌های سریسیت و رسی از نسبت‌های بانندی $\frac{4}{3}$ ، $\frac{4}{5}$ ، $\frac{4}{6}$ ، $\frac{4}{7}$ ، $\frac{4}{8}$ ، $\frac{4}{9}$ در سنجنده‌ی آستر استفاده کردند. این نسبت‌های بانندی نشانگر محدوده‌ی زون‌های دگرسانی گرمایی فیلک و آرژیلیک می‌باشد. دی توماسو و روبینستین (۲۰۰۶) در مطالعات خود نسبت‌های بانندی $\frac{4}{3}$ ، $\frac{4}{5}$ ، $\frac{4}{6}$ را برای شناسایی کانی‌های دارای پیوند Al-OH و نسبت بانندی $\frac{4}{5}$ را برای شناسایی کانی‌های دارای پیوند

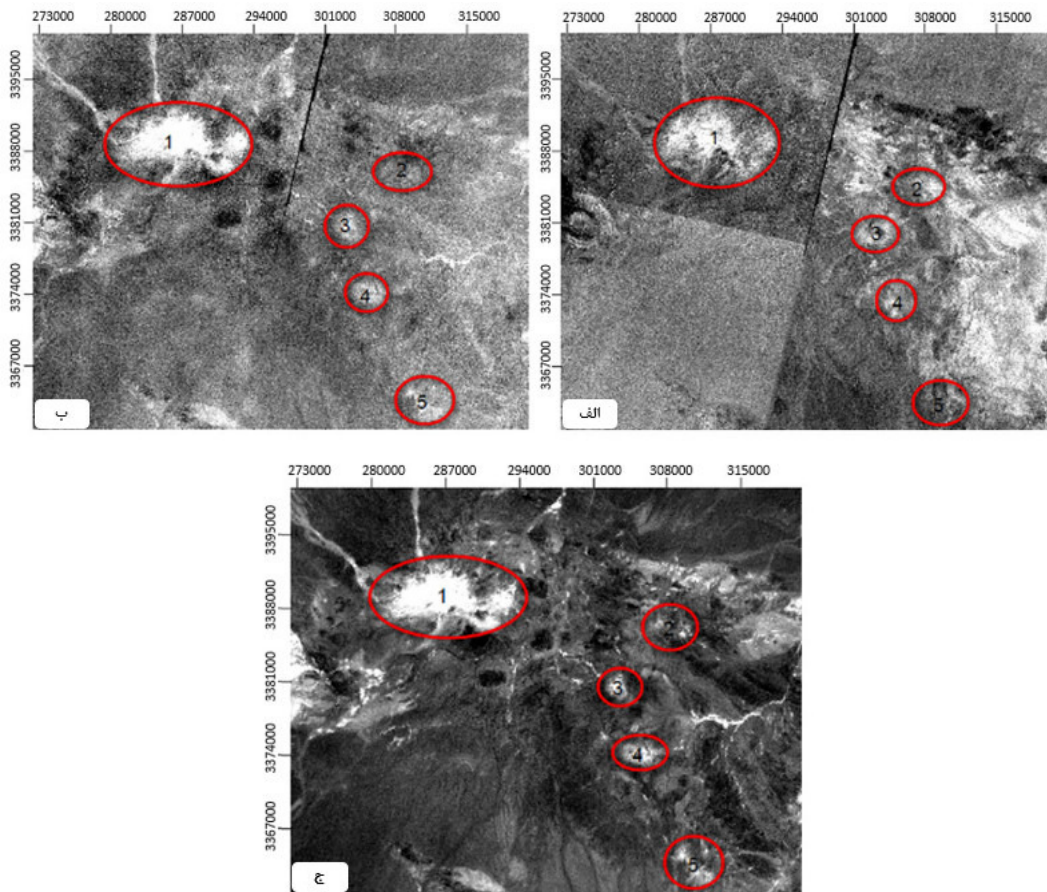
Fe-OH مناسب دانسته‌اند. آلیانی و همکاران (۱۳۹۳) با توجه به نمودار طیف انعکاسی کانی‌های شاخص دگرسانی پروپیلیتیک (کتابخانه نرم‌افزار ENVI۴.۸، ۲۰۱۰) نیز تلاش نمودند توسط تکنیک نسبت‌های بانندی با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی آستر مناطق دارای دگرسانی گرمایی را آشکارسازی نمایند. آن‌ها نسبت‌های بانندی $\frac{4}{3}$ و $\frac{4}{5}$ را برای شناسایی مناطق دگرسانی پروپیلیتیک به کار گرفتند. به علاوه، نسبت $\frac{4}{3}$ برای بارزسازی کانی‌های شاخص دگرسانی فیلک و آرژیلیک مناسب تشخیص داده شد. اگر به نمودار بازتابش طیفی کانی‌های شاخص فیلک (سریسیت)، آرژیلیک (کائولینیت) و پروپیلیتیک (کلریت) دقت شود (شکل ۳)، کانی‌های سریسیت و کائولینیت دارای مقدار بیشینه بازتابش طیفی در باند ۴ و مقدار کمینه جذب در باند ۶ می‌باشند. این واقعیت نشان می‌دهد رفتار این دو کانی دگرسانی با یکدیگر شباهت طیفی بسیاری دارد و انتخاب نسبت بانندی $\frac{4}{3}$ قطعاً برای جداسازی آن‌ها مناسب نمی‌باشد و این نسبت بانندی تنها می‌تواند ترکیبی از زون‌های دگرسانی‌های فیلک و آرژیلیک را در منطقه نشان دهد.



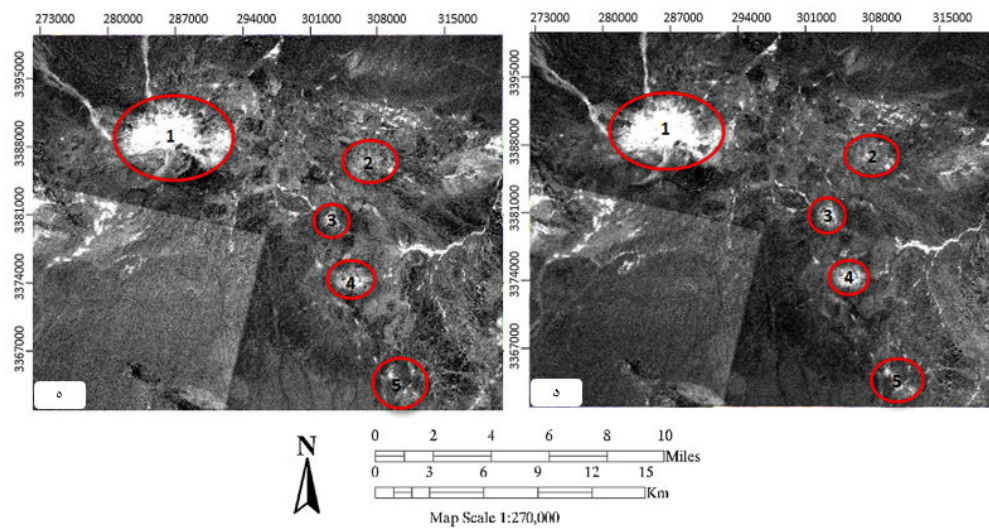
شکل ۳. نمودار بازتابش طیفی کانی‌های کائولینیت، سریسیت و کلریت با استفاده از کتابخانه طیفی

پوشش‌های گیاهی منطقه را آشکارسازی نموده است و از این نظر از ارزش اطلاعاتی بالایی برخوردار است ولی در تصاویر نسبت بانندی دیگر تا حدودی پوشش‌های گیاهی به عنوان مناطق دگرسانی معرفی شده‌اند. همچنین در تمامی نسبت‌های بانندی مشاهده شده در شکل ۴ منطقه‌ی کدر به خوبی آشکارسازی شده است ولی منطقه‌ی گودکولواری به جز شکل ۴- الف تقریباً ضعیف نشان داده شده است. با توجه به نتایج شکل ۴ می‌توان گفت که نسبت بانندی $\frac{7}{4}$ برای شناسایی زون‌های دگرسانی فیلیک و آرژیلیک در کمر بند ماگمایی سنوزوییک کرمان به خوبی توانسته است مناطق دگرسانی گرمابی وابسته به ذخایر مس پورفیری را حذف شناسایی نماید و همچنین پوشش‌های گیاهی را حذف نماید. شکل ۵ نتایج نسبت‌های بانندی زون پروپیلیتیک را نشان می‌دهد.

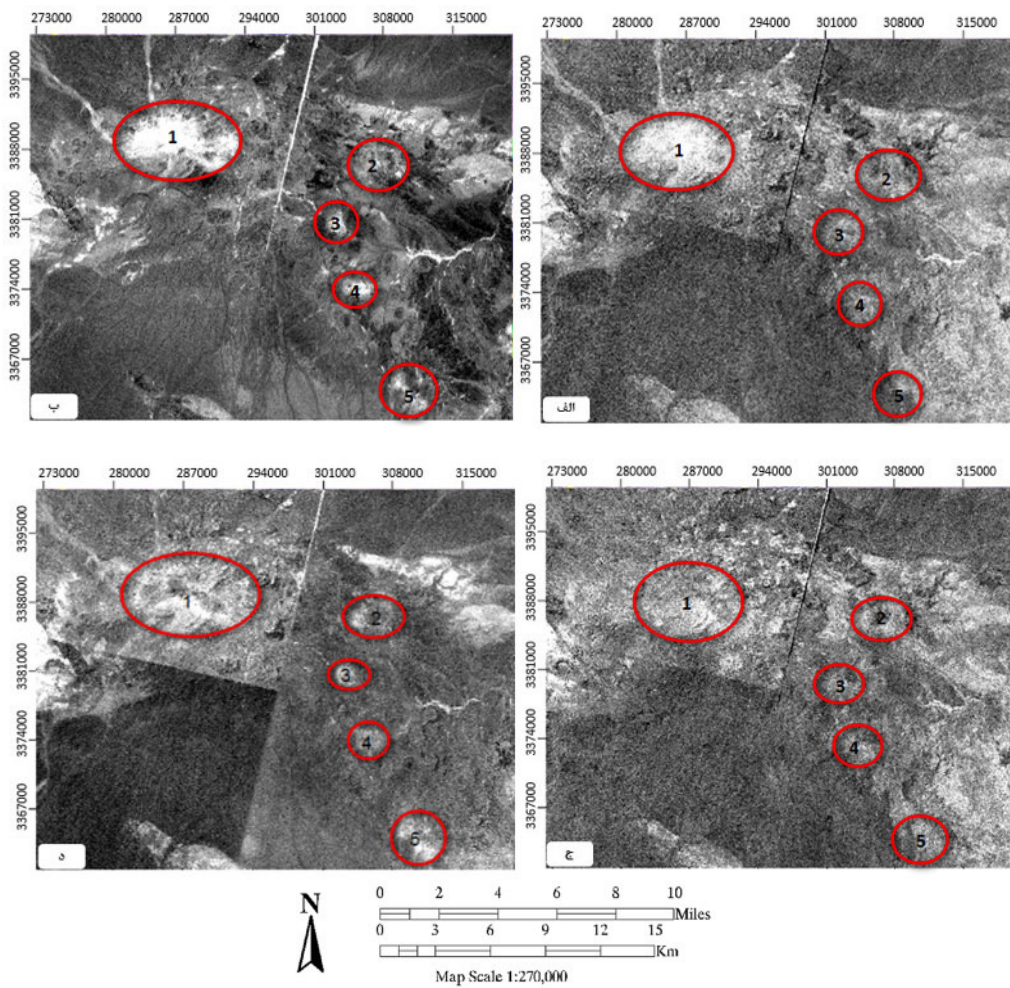
با توجه به مطالب بیان شده محققان فوق تلاش نمودند علاوه بر نسبت بانندی $\frac{4}{3}$ نسبت‌های بانندی دیگری را نیز برای بهبود نتایج معرفی نمایند. بنابراین این تحقیق با به کارگیری نسبت‌های بانندی مذکور تفکیک‌پذیری زون‌های دگرسانی گرمابی در منطقه مورد مطالعه را بحث می‌کند. همانطور که شکل ۳ نشان می‌دهد کانی کلریت مقدار بیشینه بازتابش را در باند ۵ و کمینه جذب را در باند ۸ از خود نشان می‌دهد. بنابراین این تحقیق نسبت بانندی $\frac{5}{8}$ را برای شناسایی زون دگرسانی پروپیلیتیک پیشنهاد می‌نماید و نتیجه‌ی آن را با نتایج نسبت‌های پیشنهادی محققان دیگر مقایسه می‌نماید. شکل ۴- الف نسبت بانندی $\frac{7}{4}$ را نشان می‌دهد که توانسته است پنج ذخیره‌ی شناخته شده‌ی منطقه را نسبتاً به خوبی تفکیک نماید. تصویر ۴- الف نسبت به سایر نسبت‌های بانندی



شکل ۴. تصویر نسبت بانندی برای شناسایی دگرسانی فیلیک-آرژیلیک (الف: نسبت بانندی $\frac{7}{4}$ ، ب: نسبت بانندی $\frac{5}{8}$ ، ج: نسبت بانندی $\frac{4}{3}$)



ادامه شکل ۴. د) نسبت بانندی $\frac{F}{B}$ ، ه) نسبت بانندی $\frac{E}{A}$



شکل ۵. تصویر نسبت بانندی برای شناسایی دگرسانی پروپیلیتیک: الف) نسبت بانندی $\frac{V}{A}$ ، ب) نسبت بانندی $\frac{F}{V}$ ، ج) نسبت بانندی $\frac{V+B}{A}$ ، د) نسبت بانندی $\frac{E}{A}$

نسبت بانندی $\frac{E}{A}$

تغییرپذیری هستند، تعیین کرد و سپس با تعریف متغیرهای جدید که یک ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند، ابعاد متغیرها را کاهش داد. به این ترتیب یک تصویر برای هر مولفه اصلی یا بردار ویژه حاصل می‌شود که معرف تغییرپذیری در جهت آن بردار است (امینی، ۱۳۸۸). عباس‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) تکنیک آنالیز مولفه‌های اصلی را روی ۹ باند سنجنده آستر انجام دادند و با بررسی نتایج بین باندهای ۴ و ۹ نواحی دگرسانی را در منطقه مورد مطالعه خود شناسایی نمودند. آن‌ها همچنین از باندهای ۱، ۶، ۷، ۹ سنجنده آستر برای شناسایی سریسیت، از باندهای ۵، ۶، ۷ برای شناسایی کائولینیت و از باندهای ۱، ۷، ۸، ۹ برای شناسایی کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک بهره بردند. خالقی و رنجبر (۲۰۱۱) برای آشکارسازی زون‌های فیلیک، آرژلیک و پروپیلیتیک از روش انتخابی کراستا استفاده نمودند. آن‌ها باندهای ۴، ۵، ۷ را برای دگرسانی آرژلیک و باندهای ۴، ۶، ۷ را برای دگرسانی فیلیک و باندهای ۷، ۸، ۹ را برای دگرسانی پروپیلیتیک به عنوان ورودی روش آنالیز مولفه‌های اصلی به کار بردند. در این تحقیق برای شناسایی زون پروپیلیتیک باندهای ۱، ۷، ۸، ۹ به عنوان باندهای انتخابی برای روش کراستا معرفی شدند. با توجه به بازتاب بالای کانی‌های این زون در باند ۷ و ۹ و جذب بالای آن‌ها در باند ۸ تصویر حاصل از مولفه اصلی چهارم مناطق شامل این دگرسانی را با پیکسل‌های روشن نشان می‌دهد. همچنین با انتخاب باندهای ۷، ۸، ۹ و با بررسی نتایج بین باندهای ۷ و ۸ تصویر معکوس مولفه اصلی سوم، نواحی تحت دگرسانی پروپیلیتیک را با پیکسل‌های روشن معرفی می‌کند (شکل ۶). همانطور که در شکل ۶- الف مشاهده می‌شود، دگرسانی پروپیلیتیک به صورت هاله‌ای در اطراف منطقه کدر آشکار شده است ولی در شکل ۶- ب در خود منطقه معدنی این زون دگرسانی آشکار شده است. همچنین سایر مناطق دگرسانی در شکل ۶- الف مشخص نشده است ولی شکل ۶- ب تا حدودی مناطق معدنی را نشان می‌دهد. در کل می‌توان گفت هیچ کدام از نتایج شکل ۶ نتوانسته است به خوبی زون دگرسانی را در کل منطقه تفکیک نماید. برای شناسایی زون فیلیک از باندهای ۴، ۷ استفاده شده است. با توجه به اینکه کانی‌های شاخص

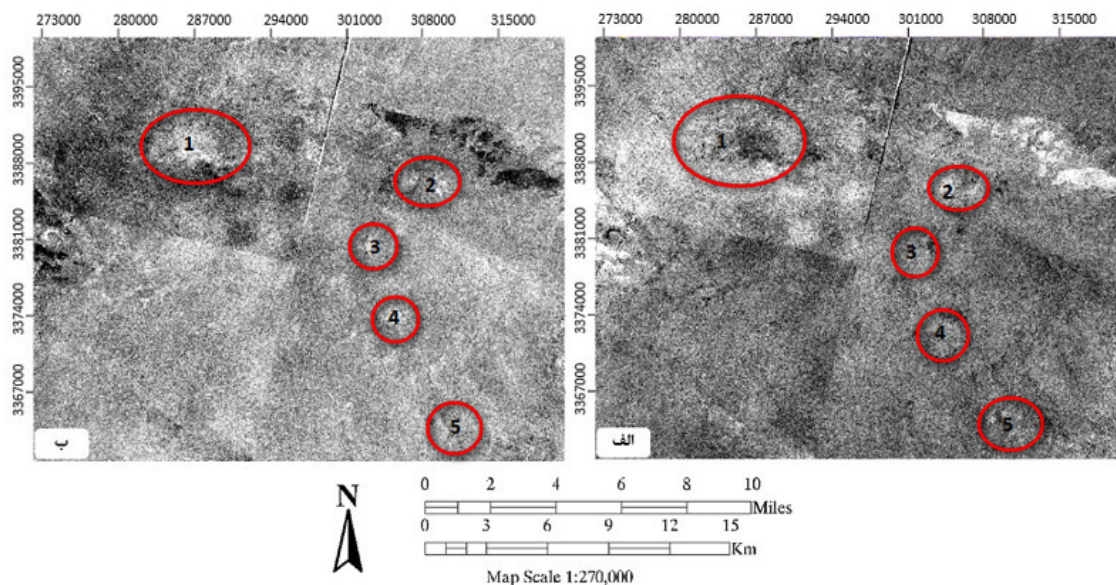
شکل ۵- الف منطقه‌ی معدنی کدر را به خوبی نشان می‌دهد ولی در این تصویر پوشش‌های گیاهی منطقه نیز بارسازی شده است. در شکل ۵- ب مناطق معدنی شناخته شده با شدت بیش‌تری نشان داده شده‌اند ولی از طرف دیگر پوشش‌های گیاهی نیز در این تصویر با شدت بالاتری آشکار شده‌اند. به همین جهت تصویر مناسبی برای پتانسیل‌یابی مناطق دگرسان منطقه نمی‌باشد. شکل ۵- ج پوشش‌های گیاهی منطقه را نشان نداده است و همچنین تا حدودی زون‌های معدنی را نیز شناسایی نموده است. از طرفی زون پروپیلیتیک که بیرونی‌ترین زون دگرسانی منطقه می‌باشد معمولاً در اطراف زون‌های پنجگانه‌ی منطقه خود را نشان می‌دهد که در شکل ۵- ج این طبقه‌بندی دیده می‌شود و می‌توان آن را برای مطالعه بیش‌تر مورد توجه قرار داد. شکل ۵- د تصویر حاصل از نسبت پیشنهادی تحقیق حاضر، یعنی نسبت باندی $\frac{7}{9}$ می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود این نسبت توانسته است مناطق کدر، گودکولاری، ایجو، و چاه فیروزه را از یکدیگر تفکیک نماید ولی در این تصویر پوشش گیاهی موجود در منطقه نیز تا حدودی آشکار شده است.

آنالیز مولفه‌های اصلی

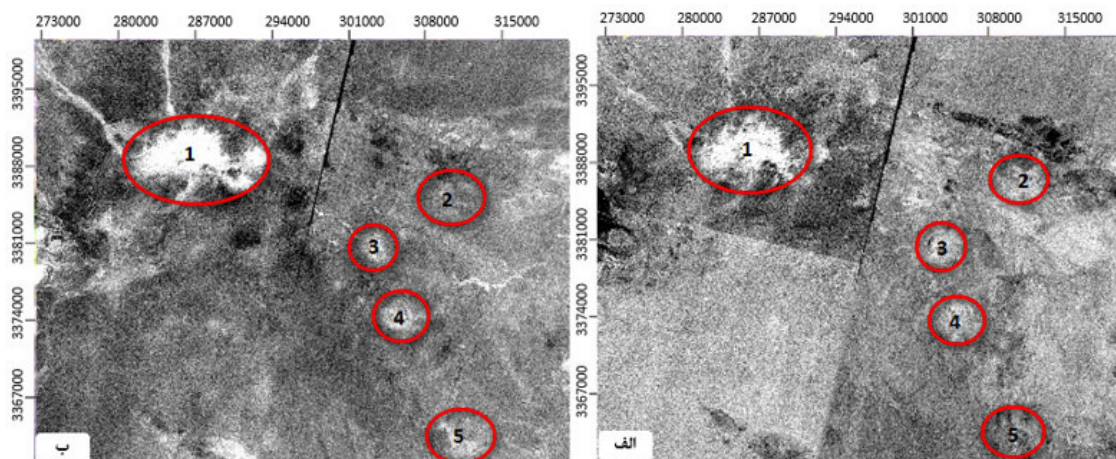
تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی برای فشرده‌سازی داده‌ها مفید است. اگر هر کدام از باندهای آستر به تنهایی مورد مطالعه قرار بگیرد، همپوشانی اطلاعاتی زیادی بین آن‌ها مشاهده می‌شود. این همبستگی بالا، تجزیه و تحلیل تصاویر چند طیفی را با مشکل رو به رو می‌کند. در حقیقت یک سری اطلاعات زائد از طریق این تشابه بین باندها حاصل می‌شود که انتقال مولفه‌های اصلی می‌تواند باعث کاهش این اطلاعات اضافی گردد (رنجبر، ۱۳۸۶؛ عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). مولفه‌های اصلی در حالت کلی براساس ماتریس وارینانس-کواریانس یا ماتریس همبستگی باندها محاسبه می‌شوند. مثلاً اگر p باند وجود داشته باشد، هر یک از ماتریس‌های فوق دارای p سطر و p ستون هستند. پس از تعیین یکی از ماتریس‌های مذکور، از طریق روش‌های جبر خطی مقادیر ویژه برای این ماتریس محاسبه می‌شود. با استفاده از مقادیر ویژه و بردارهای ویژه می‌توان جهت‌هایی را که دارای بیش‌ترین

باند ۶ دارای بیش‌ترین جذب می‌باشند، تصویر حاصل از بالای این کانی‌ها در باند ۵ تصویر مولفه سوم نواحی شامل این دگرسانی را با رنگ روشن بارز می‌سازد (شکل ۷-ج). باندهای ۵، ۶، ۷ به عنوان ورودی برای شناسایی کاتولینیت استفاده شدند، که با توجه به بازتاب بالای این کانی‌ها در باند ۵ و جذب بالای آن‌ها در باند ۶ تصویر حاصل از معکوس مولفه اصلی سوم مناطق دارای کاتولینیت را با پیکسل‌های روشن آشکار می‌سازد (شکل ۷-د).

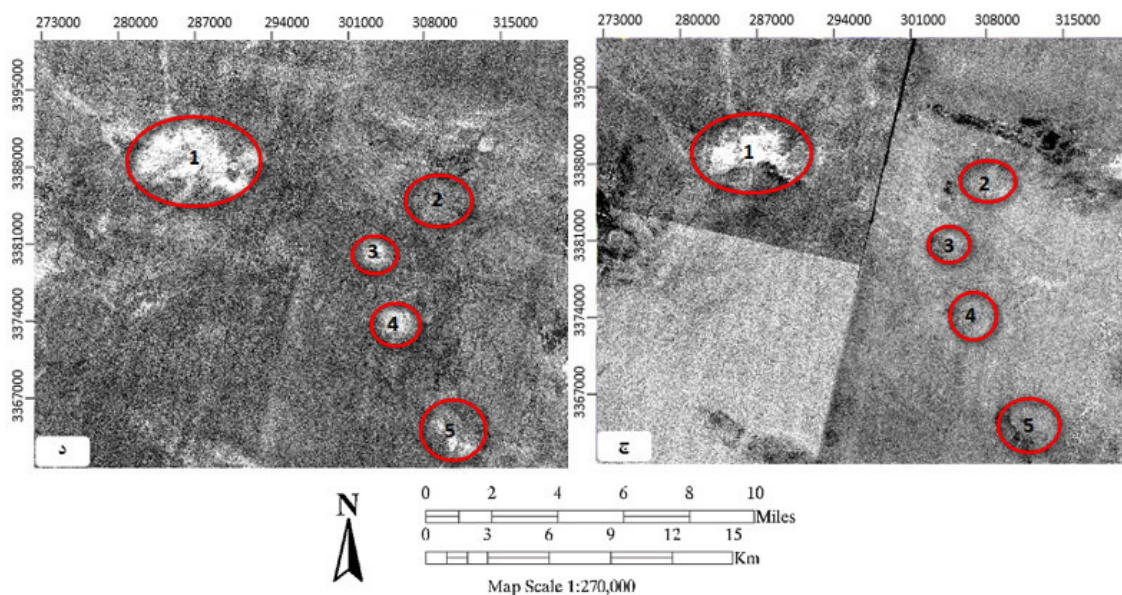
دگرسانی فیلیک در باند ۷ دارای بیش‌ترین بازتاب و در مولفه اصلی سوم مناطق شامل دگرسانی فیلیک را با پیکسل‌های روشن نمایش می‌دهد (شکل ۷-الف). از آنالیز باندهای ۱، ۶، ۷، ۹، سنجنده آستر و بررسی نتایج بین باندهای ۶ و ۷ تصویر حاصل از معکوس مولفه اصلی سوم کانی‌های سریسیت را با پیکسل‌های روشن آشکار می‌سازد (شکل ۷-ب). از باندهای ۴، ۵، ۷ برای آشکارسازی دگرسانی آرژلیک استفاده شد که با توجه به بازتاب بالای کانی‌های این دگرسانی در باند ۷ و جذب



شکل ۶. تصاویر حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی برای شناسایی زون پروپیلیتیک، (الف) تصویر مولفه اصلی چهارم حاصل از آنالیز باندهای ۱، ۷، ۸، ۹. (ب) تصویر معکوس مولفه سوم حاصل از آنالیز باندهای ۷، ۸، ۹.



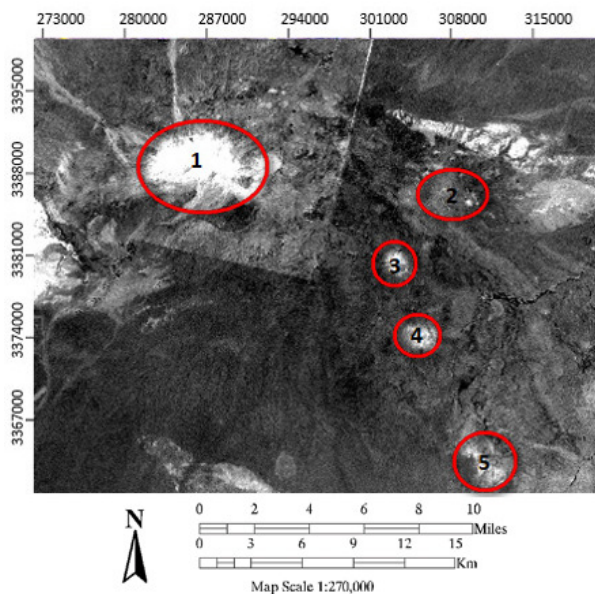
شکل ۷. تصاویر حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی برای شناسایی دگرسانی‌های فیلیک-آرژلیک، (الف) تصویر مولفه سوم حاصل از آنالیز باندهای ۴، ۶، ۷. (ب) تصویر معکوس مولفه سوم حاصل از آنالیز باندهای ۱، ۶، ۷، ۹.



ادامه شکل ۷. ج) تصویر مولفه سوم حاصل از آنالیز باندهای ۴، ۵، ۷. د) تصویر معکوس مولفه سوم حاصل از آنالیز باندهای ۵، ۶، ۷

در تصویر مولفه اصلی چهارم شناسایی گردید (شکل ۸). همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود مناطق معدنی به خوبی شناسایی و آشکارسازی شدند و پوشش‌های گیاهی منطقه نیز به میزان کمی در شکل دیده می‌شوند. بنابر نتایج آشکار شده می‌توان بیان کرد که خروجی آنالیز مولفه‌های اصلی ۹ باند آستر در شناسایی زون‌های دگرسانی نسبت به آنالیزهای کراستا با ترکیب باندی ۵، ۶، ۷ برابری می‌کند هر چند پوشش‌های گیاهی در هر دو روش نسبتاً به عنوان مناطق دگرسانی آشکار شده‌اند.

نتایج آنالیز کراستا نشان می‌دهد انتخاب باندهای ۵، ۶، ۷ می‌تواند مفیدترین باندها برای شناسایی مناطق دگرسانی منطقه می‌باشند. چرا که این ترکیب باندی بیش‌تر مناطق دگرسانی را آشکارسازی نموده است و نسبتاً کمتر پوشش‌های گیاهی منطقه را به عنوان منطقه دگرسانی مشخص کرده است. در نهایت برای بارزسازی نواحی مختلف دگرسانی، آنالیز مولفه‌های اصلی بر روی ۹ باند سنجنده آستر صورت گرفت که با بررسی مولفه‌های اصلی بین باندهای ۴ و ۹ این سنجنده، مناطق دگرسانی



شکل ۸. تصویر مولفه چهارم حاصل از آنالیز ۹ باند سنجنده آستر

ترکیب رنگی کاذب

در علم سنجش از دور، رنگ‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. روش ترکیب رنگی کاذب یا RGB از جمله روش‌هایی است که اطلاعات زیادی را در خصوص شناسایی مناطق دگرسانی به دست می‌دهد. یک سیستم نمایش رنگی RGB یک باند طیفی را به یکی از سه ورودی رنگی (قرمز، سبز، آبی) مرتبط می‌کند. زمانی که باندهای مناسب تصویر در جعبه‌های قرمز، سبز، آبی قرار می‌گیرند و با هم ترکیب می‌شوند، تصویری حاصل می‌شود که دید بهتری از پدیده‌های سطحی در اختیار می‌گذارد (آلیانی و همکاران، ۱۳۹۳). عوارض مورد نظر در تصویر رنگی کاذب به رنگ‌های مختلف در می‌آیند. بنابراین می‌توان به راحتی و با استفاده از تفسیر چشمی عوارض مطلوب را در تصویر شناسایی نمود. بهتر است برای ساختن تصویر مذکور از باندهایی با همبستگی کم استفاده شود. در مطالعات گذشته ترکیبات رنگی بسیاری برای شناسایی مناطق دگرسانی توسط محققین علوم زمین ارائه شده است. به عنوان مثال معصومی و رنجبر

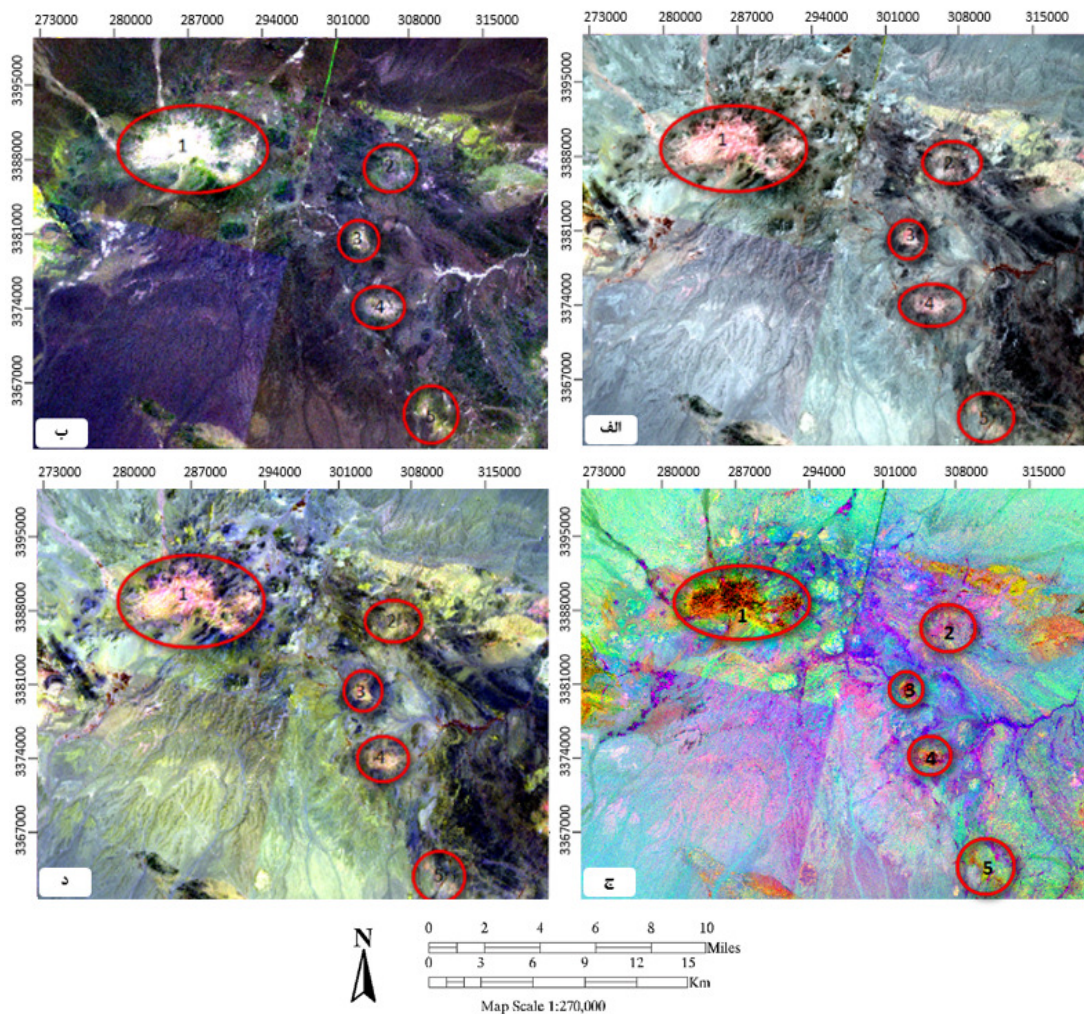
(۱۳۹۰) با استفاده از $RGB = \begin{matrix} R & G & B \\ \frac{4}{7} & \frac{4}{7} & \frac{4}{7} \end{matrix}$ در منطقه مورد مطالعه خود، مناطق دارای کانی‌های سریسیت و کانی‌های رسی را با پیکسل‌های روشن و مناطق حاوی دگرسانی پروپیلیتیک را با رنگ سبز بارز ساختند. آن‌ها همچنین توسط ترکیب رنگی $RGB = (PC2, PC3, -PC4)$ نواحی دارای دگرسانی فیلیک را با رنگ سرخ و دگرسانی پروپیلیتیک و مجموعه افیولیتی را با رنگ نارنجی شناسایی کردند. آلیانی و همکاران (۱۳۹۳) توسط ترکیب رنگی $RGB = 461$ تلاش نمودند نواحی حاوی اکسید آهن در منطقه حاجی‌آباد را با رنگ سبز و دگرسانی آرژیلیک را با رنگ صورتی و زرد مایل به صورتی و دگرسانی پروپیلیتیک را با رنگ آبی نشان دهند. ترکیب رنگی $RGB = 468$ برای جدایش دگرسانی‌های پروپیلیتیک و آرژیلیک معرفی گردید (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۰؛ بلوکی و پورمیرزایی، ۲۰۰۹؛ دی توماسو و روبینستین، ۲۰۰۶). این ترکیب دگرسانی آرژیلیک منطقه را به رنگ صورتی و دگرسانی پروپیلیتیک را با رنگ سبز نشان می‌دهد. دی توماسو و روبینستین (۲۰۰۶) در مطالعات خود برای تشخیص نواحی دگرسانی ترکیب رنگی $RGB = \begin{matrix} R & G & B \\ \frac{4}{7} & \frac{4}{7} & \frac{4}{7} \end{matrix}$ را به کار

بردند و به این نتیجه رسیدند که کانی‌های دگرسانی با رنگ روشن بارز شده‌اند. در این مطالعه با اعمال ترکیب رنگ $RGB = 468$ نواحی حاوی دگرسانی آرژیلیک وابسته به ذخایر موجود در منطقه شامل ذخایر کدر، ایجو، سرنو و چاه فیروزه به طور مشخص با رنگ صورتی بارز شده‌اند (شکل ۹- الف). ولی گودکولواری به خوبی توسط این ترکیب باندهای مشاهده نمی‌شود. برای آشکارسازی کانی‌های سریسیت و کانی‌های رسی از ترکیب رنگی $RGB = \begin{matrix} R & G & B \\ \frac{4}{7} & \frac{4}{7} & \frac{4}{7} \end{matrix}$ استفاده گردید که در نتیجه کانی‌های سریسیت و رسی در تصویر حاصل با پیکسل‌های روشن و مناطق شامل دگرسانی پروپیلیتیک با رنگ سبز مشخص شدند (شکل ۹- ب). در این تصویر مناطق معدنی به خوبی شناسایی شدند و حتی زون پروپیلیتیک با رنگ سبز در منطقه‌ی کدر خود را نشان می‌دهد ولی پوشش‌های گیاهی نیز با رنگ روشن در این منطقه دیده می‌شوند که معضل اساسی این ترکیب رنگی است.

با اعمال ترکیب رنگی $RGB = (PC2, PC3, -PC4)$ منطقه شامل دگرسانی فیلیک با رنگ سرخ و دگرسانی پروپیلیتیک با رنگ نارنجی بارز شده‌اند (شکل ۹- ج). همانطور که در این شکل می‌توان دید زون فیلیک منطقه‌ی کدر با رنگ سرخ و منطقه پروپیلیتیک با رنگ نارنجی خود را نشان می‌دهد و این ترکیب باندهای توانسته است تفکیک زون‌های دگرسانی را در این منطقه معدنی به خوبی نشان دهد ولی در مناطق معدنی دیگر بیش‌تر رنگ نارنجی مربوط به زون پروپیلیتیک بارز شده است. بنابراین نکته‌ای که در این روش وجود دارد آشکارسازی زون پروپیلیتیک در اطراف توده‌ی اصلی معدنی به عنوان خارجی‌ترین زون دگرسانی کانسارهای مس پورفیری می‌باشد که به خوبی در مناطق معدنی دیده می‌شود. ترکیب رنگی $RGB = 461$ دگرسانی پروپیلیتیک را با رنگ آبی و دگرسانی آرژیلیک را با رنگ صورتی و زرد مایل به صورتی نشان می‌دهد (شکل ۹- د). براساس شکل مورد نظر کدر، ایجو و سرنو دگرسانی آرژیلیک را نشان می‌دهند و هاله‌هایی از دگرسانی پروپیلیتیک نیز در منطقه کدر و ایجو مشاهده می‌شود. بنابراین براساس مطالعات ترکیب رنگی، ترکیب شکل ۹- ج برای شناسایی دگرسانی‌های پروپیلیتیک منطقه و ترکیب

۱۰). این مناطق می‌توانند برای مطالعات بیش‌تر مورد توجه قرار بگیرند. مطالعات گذشته (هنرمند و همکاران، ۲۰۱۱) وجود دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک را در مناطق A و B اثبات نمودند. بنابراین می‌توان تکنیک‌های بیان شده در این تحقیق را برای پتانسیل‌یابی سایر مناطق کمان ماگمایی سنوزوییک کرمان به کار گرفت.

رنگی شکل ۹- ب برای آشکارسازی زون آرژیلیک و فیلیک مناسب به نظر می‌رسد البته باید اثر پوشش‌های گیاهی را نیز که در این ترکیب وجود دارد مدنظر قرار داد. همچنین با دقت در تصاویر حاصل، می‌توان دریافت که به جز مناطق معدنی شناخته شده، دو منطقه پتانسیل‌دار دیگر نیز در این تصاویر آشکار شده است. مناطق A و B، مناطق پتانسیل‌داری هستند که احتمال حضور ذخایر مس پورفیری در آن‌ها وجود دارد (شکل



شکل ۹. تصاویر ترکیب رنگی کاذب: الف) RGB=۴۶۸ (ب) RGB=۴۶۱ (ج) RGB=(PC2, PC3, -PC4) (د) RGB=۴۶۱

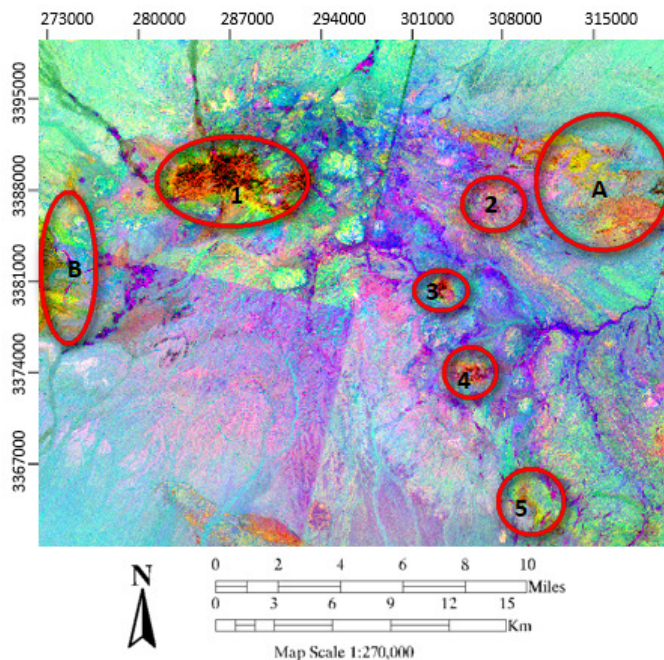
نتیجه‌گیری

باندی $\frac{Y}{F}$ توانست پنج ذخیره‌ی شناخته شده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه را نسبتاً به خوبی تفکیک نماید. ولی تصاویر نسبت باندی دیگر تا حدودی پوشش‌های گیاهی را به عنوان مناطق دگرسانی معرفی نمودند. از آنجایی‌که کانی‌های شاخص دگرسانی فیلیک در باند Y دارای

این تحقیق برای شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های گرمابی در کمربند سنوزوییک کرمان از روش‌های مرسوم آنالیز تصاویر ماهواره‌ای استفاده نمود. آنالیز نسبت باندی، مولفه‌های اصلی، کراستا و ترکیب رنگی کاذب برای جدایش دگرسانی‌های گرمابی به کار گرفته شد. نسبت

دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک در منطقه‌ی مورد مطالعه ارائه می‌دهد. همچنین برای آشکارسازی دگرسانی پروپیلیتیک می‌توان از ترکیب رنگی کاذب $RGB=(PC2, PC3, -PC4)$ به عنوان بهترین نتیجه استفاده نمود.

بیشترین بازتاب و در باند ۶ دارای بیشترین جذب می‌باشند و با توجه به بازتاب بالای کانی‌های زون آرژیلیک در باند ۵ و جذب بالای آن‌ها در باند ۶ آنالیز مولفه‌های اصلی به تنهایی نمی‌تواند این مناطق را از هم تفکیک کند ولی آنالیز کراستا با استفاده از باندهای ۵، ۶، ۷ بهترین نتیجه‌ی قابل قبول را برای شناسایی



شکل ۱۰. تصویر ترکیب رنگی کاذب $RGB=(PC2, PC3, -PC4)$

تعدیل شده جهت استخراج نقشه‌ی زون‌های دگرسانی ثانویه از داده‌های سنجنده ASTER، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال پانزدهم، شماره ۵۲، ص ۲۸۵-۳۰۳.

عباس‌زاده، س.، رنجبر، ح.، رحیمی‌پور، غ.، علیخانی، ا. (۱۳۸۹) کاربرد روش آنالیز مولفه‌های اصلی و انتخابی روی داده‌های سنجنده آستر جهت نقشه‌برداری مناطق دگرسان شده، مطالعه موردی، منطقه حراران، استان کرمان، همایش ملی ژئوماتیک.

عباس‌زاده، م.، مجدالدین، م. (۱۳۹۴) شناسایی نواحی امید بخش کانی‌زایی مس و آهن در بخش جنوب شرقی کاشان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ ، دومین همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشاف منابع.

معصومی، ف.، رنجبر، ح. (۱۳۹۰) نقشه‌برداری مناطق دگرسان شده با استفاده از تصاویر سنجنده‌های آستر و ETM^+ در نیمه شمالی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت، مجله علوم زمین، شماره ۷۹، ص ۱۲۱-۱۲۸.

منابع

آلیانی، ف.، دادفر، ث.، معانی‌جو، م. (۱۳۹۳) آشکارسازی زون‌های دگرسانی کانسار آهن حاجی‌آباد، با استفاده از داده‌های (SWIR+VNIR) سنجنده آستر، مجله علوم زمین، شماره ۹۴، ص ۷۳-۸۰.

احمدی روحانی، ر.، کریم‌پور، م.، رحیمی، ب.، ملک‌زاده شفارودی، آ. (۱۳۹۳) بارزسازی پهنه‌های دگرسانی و ساختارهای خطی در محدوده خاور بیجستان با استفاده از پردازش داده‌های SPOT و ASTER و Landsat ETM^+ و داده‌های ژئوفیزیک، مجله علوم زمین، شماره ۹۴، ص ۲۵۳-۲۶۲.

امینی، ج. (۱۳۸۸) پردازش کامپیوتری تصاویر سنجنش از دور، ترجمه، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

رنجبر، ح. (۱۳۸۶) سنجنش از دور در اکتشاف کانسارها، بخش مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر.

سدیدی، ج.، کمانگر، م.، رضایی، خ.، بدافی، م. (۱۳۹۴) ارزیابی روش‌های کراستا، نقشه‌بردار زاویه طیفی و فیلتر تطبیقی

نجفیان، ط.، رنجبر، ح.، فتحیان‌پور، ن (۱۳۹۲) شناسایی دگرسانی‌های گرمایی مرتبط با کانسارهای مس پورفیری با استفاده از داده‌های سنجنده ابر طیفی هایپریون، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی معدن، دوره هشتم، شماره ۱۸، ص ۳۷-۵۰.

- Azizi, H., Tarverdi, M, A., Akbarpour, A (2010) Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanjan, northern Iran. *Advances in Space Research*, 46: 99-109.
- Boloki, M., Poormirzaee, R (2009) Using ASTER Image Processing for Hydrothermal Alteration and Key Alteration Minerals Mapping in Siyahrud area, Iran. *International Journal of Geology*, 3: 38-43.
- Dimitrijevic, M, D (1973) *Geology of the Kerman region*, Geological Survey of Iran publication, Tehran, Rep., 52, 334.
- Di Tommaso, I, M., Rubinstein, N (2006) Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina, *Journal of Ore Geology Reviews*, 29: 1-16.
- Fujisada, H (1995) Design and performance of ASTER instrument. *Proceedings of SPIE, International Society for Optical Engineering*, 2583: 16-25.
- Honarmand, M., Ranjbar, H., Shahabpour, J (2011) Application of Spectral Analysis in Mapping Hydrothermal Alteration of the Northwestern Part of the Kerman Cenozoic Magmatic Arc, Iran, *Journal of Sciences*, 22: 221-238.
- Khaleghi, M., Ranjbar, H (2011) Alteration Mapping for Exploration of Porphyry Copper Mineralization in the Sardueh area, Kerman Province, Iran, Using ASTER SWIR Data, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(8): 61- 69.
- Library of ENVI software 4.8, 2010 - Co, 80301, USA.
- Rockwell, B, W (2010) Automated mapping of mineral groups and green vegetation from Landsat Thematic Mapper imagery with an example from the San Juan Mountains Colorado: U.S. Geological Survey Scientific Investigations <http://pubs.usgs.gov/sim/3252/>.
- Ruoskov, k., Popov, K., Stoykov, S., Yamaguchi, Y (2005) Some applications of the remote sensing in geology by using of aster image. in: Scientific Conference "SPACE, ECOLOGY, SAFETY". PP167-173.

Potential mapping of porphyry copper deposits in the northwest of Kerman Cenozoic Magmatic Belt using remote sensing

N. Ostadmahdi Aragh¹ and S. Mojeddifar^{2*}

1, 2- Dept., of Mining Engineering, Arak University of Technology, Arak

* mojeddifar@yahoo.com

Received: 2018/9/4 Accepted: 2019/2/27

Abstract

There are several important deposits such as Kader, Iju, Godekolvari, Serenu and Chahfiroozeh are occurs in the Kerman Cenozoic Magmatic Belt. The hydrothermal alterations usually are detected using remote sensing techniques. This research used on three ASTER images and applied band ratio, principal component analysis, crosta and composite images techniques to discriminate phylic, argillic and propylitic alteration zones. The present study investigated recent researches and introduced the best spectral bands for determining the alteration zones. The results showed that the spectral signature of kaolinite and sericite is the same and it is not easy to differentiate between phylic and argillic zones. But the used methods has an ability to discriminate partially propylitic alteration zone. Finally, crosta technique using bands 5, 6 and 7 presented the best classification for phylic and argillic alteration zones and composite image with RGB = (PC2, PC3, -PC4) detected the propylitic alteration zone.

Keywords: Principal component analysis, false composite image, hydrothermal alteration, crosta technique, band ratio