

نقشه برداری دگرسانی‌های گرمابی با استفاده از تصاویر ASTER در منطقه رابر، کرمان

ملیحه عباس زاده^۱ و اردشیر هزارخانی^{۱*}

^۱دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۷/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۴/۲۰

چکیده

منطقه رابر در ۱۶۰ کیلومتری جنوب کرمان و ۴۰ کیلومتری خاور بافت واقع است. با توجه به وجود شواهدی حاکی از کانی‌سازی مس پورفیری در این ناحیه و بویژه قرارگیری این ناحیه در نوار آتشفشانی ارومیه- دختر که ده‌ها استوک پورفیری را در خود جای داده است، شناسایی نواحی امید بخش معدنی و تهیه نقشه پتانسیل کانی‌زایی مس پورفیری در این منطقه ضروری است. از این رو، مناطق کانی‌سازی احتمالی و یا هاله‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی مس پورفیری در منطقه مورد مطالعه، شناسایی شد. در این مقاله، با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER و به کارگیری روش‌هایی چون نسبت بانندی، تجزیه مؤلفه اصلی (PCA)، تجزیه مؤلفه اصلی انتخابی (Crosta)، بهره‌گیری از اطلاعات زمین‌شناسی استخراج شده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت و با تکیه بر تئوری‌های فلزایی و مدل‌های کانی‌سازی مس پورفیری، تصاویر و نقشه‌های فراوانی کانی‌های رسی موجود در منطقه تهیه شد که به‌عنوان یکی از شواهد کانی‌سازی مس پورفیری مطرح هستند. با به‌کارگیری روش نسبت بانندی، نواحی دگرسان شده و بکر از هم جدا و همچنین سنگ‌شناسی منطقه، حدود کانسار مس پورفیری و کانی‌های شاخصی چون کائولینیت، آلونیت و ایلیت در منطقه شناسایی شد. با استفاده از تجزیه مؤلفه اصلی انتخابی، نقشه فراوانی کانی‌های رسی شاخص در منطقه رابر تهیه و نواحی امید بخش و آماده برای کانی‌سازی مس پورفیری در منطقه مورد مطالعه، شناسایی شد. قرارگیری نشانه معدنی پی‌نگین در محدوده معرفی شده، نشان‌دهنده میزان دقت و کارایی روش تجزیه مؤلفه اصلی انتخابی بر روی داده‌های ماهواره‌ای ASTER برای ثبت و جدایش نواحی دگرسان شده است.

کلیدواژه‌ها: رابر، سنجنش از دور، استر، تجزیه مؤلفه اصلی انتخابی، نواحی امید بخش معدنی.

*نویسنده مسئول: اردشیر هزارخانی

E-mail: ardehez@aut.ac.ir

۱- مقدمه

شناسایی و تعیین نواحی پتانسیل‌دار معدنی و مطالعه گونه‌هایی از کانی‌سازی همچون مس پورفیری، یکی از کاربردهای عمده و مهم سنجنش از دور در زمینه اکتشاف کانی‌هاست. سال‌هاست که پردازش تصاویر ماهواره‌ای TM با به‌کارگیری روش‌هایی چون نسبت بانندی و تجزیه مؤلفه اصلی برای تعیین موقعیت مناطق دگرسانی گرمابی وابسته به کانی‌سازی‌های فلزی به کار برده می‌شود (Sabine, 1999). با ورود سنجنده ASTER که ۱۴ باند با قدرت جدایش طیفی بالاتری نسبت به داده‌های ماهواره‌ای TM دارد، دسترسی به اطلاعات طیفی در بخش فروسرخ موج کوتاه (SWIR) طیف الکترومغناطیس به نحو چشمگیری افزایش یافته است (Crosta & De Souza Fliho, 2003). روش نسبت بانندی به‌عنوان روشی ساده و کارآمد، در جدایش نواحی دگرسانی و بکر، تعیین کانی‌های شاخص در هر نوع دگرسانی، شناسایی هاله‌های دگرسانی گرمابی و تعیین سنگ‌شناسی ناحیه مورد مطالعه به کار گرفته می‌شود (Rouskov et al., 2005). تجزیه مؤلفه اصلی انتخابی بر روی داده‌های ماهواره‌ای ASTER نتایج مطلوبی از کاربرد این روش را در رابطه با داده‌های چند طیفی به دست می‌دهد. با این نتایج می‌توان نواحی امیدبخش را در محدوده‌های مورد مطالعه تعیین کرد (Crosta & De Souza Fliho, 2003).

در این مقاله، داده‌های ماهواره‌ای سنجنده ASTER در منطقه رابر کرمان به کار گرفته شده است. پردازش داده‌های ماهواره‌ای منطقه با روش‌هایی چون ترکیب رنگی دروغین، نسبت بانندی، تجزیه مؤلفه اصلی و تجزیه مؤلفه اصلی انتخابی انجام شد. به کمک این روش‌ها، بویژه روش تجزیه مؤلفه اصلی، توانایی داده‌های ماهواره‌ای ASTER در شناسایی و تعیین نواحی حاصل از دگرسانی گرمابی و نواحی محتمل به کانی‌سازی مس پورفیری به نمایش گذاشته شده است. توانایی که پیش از این، بیشتر برای داده‌های ماهواره‌ای TM قائل بودیم. با به‌کارگیری روش تجزیه مؤلفه اصلی انتخابی، تصاویر فراوانی کانی‌های رسی

مرتبط با نواحی کانی‌سازی شده در ناحیه رابر کرمان به‌عنوان بخشی از کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر تهیه شد.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه، با وسعت تقریبی ۷۰۰ کیلومترمربع، بین مدارهای ۱۵'، ۲۹° تا ۳۰'، ۲۹° شمالی و ۴۵'، ۵۶° تا ۰۱'، ۵۷° خاوری واقع شده است. این منطقه در نقشه زمین‌شناسی بافت با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران و در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارد.

توده‌های نفوذی موجود در منطقه که در برخی مناطق باعث دگرسانی و کانی‌سازی شده‌اند بیشتر در میوسن میانی تا بالایی اتفاق افتاده‌اند و سنگ‌هایی با ترکیبات گرانودیوریت، دیوریت پورفیری و کوارتز دیوریت دارند. گسل‌های منطقه در سواهای مختلف پراکنده شده‌اند و روند چیره در آنها (NW-SE)، همان روند کلی گسل‌ها در طول نوار آتشفشانی ارومیه- دختر است. نفوذ دایک‌هایی با ترکیب دیوریت و گرانودیوریت به داخل سنگ‌های آتشفشانی همچون آندزیت، آندزیت-بازالت همراه با سنگ‌های ریولیتی و آذرآواری آشکار است. نشانه (Index)‌های شناخته شده در منطقه، بیشتر پورفیری (مس لاله زار و پی‌نگین) و رگه‌ای (سرب و روی قنات مروان) هستند که در امتداد کانسارهای مختلف موجود بر روی کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر به وجود آمده‌اند (Masoomi, 2007).

در این مقاله، از باندهای SWIR و VNIR سنجنده ASTER برای شناسایی و مشخص کردن مناطق دگرسانی و پراکندگی کانی‌های شاخص در این گونه سامانه‌های کانی‌سازی استفاده شده است. برای شناخت بیشتر، در ادامه اشاره مختصری به دگرسانی‌های مهم و معمول در یک سامانه کانی‌سازی مس پورفیری شده است.

۳- مناطق دگرسانی

هر نوع دگرسانی در کانسارهای مس پورفیری کانی‌شناسی مشخصی دارد. انواع دگرسانی‌های معمول و مهم‌ترین کانی‌های مشاهده شده در هر گونه عبارت است از (Azizi et al., 2007):

- دگرسانی پتاسیک (فلدسپارها، بیوتیت، فلوگوپیت و کلریت، ورمیکولیت، انیدریت و ژپس)
- دگرسانی فیلیک (ایلیت، مسکوویت، کائولینیت و کوارتز)
- دگرسانی آرژلیک (کائولینیت، اسمکتیت/مونت‌موریلونیت، دیاسپور و توپاز)
- دگرسانی آرژلیک پیشرفته (پیروفلیت، دیکیت، آلونیت، دیاسپور و توپاز)
- دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت، زئولیت‌ها، مونت‌موریلونیت، ایلیت و کربنات‌ها)

۴- روش‌های پردازش تصاویر

امروزه با گسترش روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای و همچنین گسترده بودن هاله‌های دگرسانی در کانسارهای پورفیری، به نقشه‌درآوردن نواحی آماده برای کانی‌سازی به یکی از اهداف اساسی در مطالعات دورسنجی زمین‌شناسی تبدیل شده است. در این گونه مطالعات، واحدهای سنگی دگرسان‌شده گرمابی مورد توجه هستند. این مسئله، به دلیل پتانسیل بالای اقتصادی و ویژگی‌های طیفی مناسب آنها در تعیین مناطق دگرسانی است (Azizi et al., 2007).

پردازش تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. روش‌هایی چون ترکیب رنگی دروغین، تجزیه مؤلفه اصلی، تجزیه مؤلفه اصلی انتخابی و نسبت بانندی، از جمله روش‌های معمولی هستند که در پردازش تصاویر ماهواره‌ای به کار می‌روند. پیش از به‌کارگیری هر یک از روش‌های نامبرده شده بر روی داده‌های ماهواره‌ای، باید یک سری تصحیحات هندسی و رادیومتری بر روی آنها انجام گیرد. در این مطالعه، پردازش‌ها، به کمک نرم‌افزار ENVI 4.2 صورت گرفته است.

۴-۱. روش ترکیب رنگی دروغین (RGB)

در کار سنجش از دور، رنگ‌ها به‌طور گسترده به کار می‌روند. استفاده از رنگ‌ها، اطلاعات بصری و مفهومی بیشتری از تصویر را در اختیار ما قرار می‌دهند. در یک سامانه تصویر چند بانندی متداول، در نبود باند آبی، می‌توان تصاویر رنگی را با استفاده از باندهای فرورسرخ نزدیک، سرخ و سبز در ترکیبی که به‌عنوان ترکیب رنگی دروغین می‌شناسیم تولید کرد (Patra et al., 2006). زمانی که سه تصویر را به‌صورت gray scale با هم ترکیب می‌کنیم، تصویر جدیدی حاصل می‌شود که می‌توان با آن دید و تفسیر بهتری از پدیده‌های سطحی به نمایش گذاشت (Jun et al., 2008). در ساخت ترکیب‌های رنگی دروغین، بهتر است از باندهایی که همبستگی کمتری نسبت به هم دارند، استفاده شود. یک روش برای مشخص کردن باندهای سه‌گانه، استفاده از ضریب شاخص بهینه (Optimum Index Factor) به‌صورت زیر است:

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 r_j}$$

در این رابطه، S_k انحراف معیار باند k و r_j ضریب همبستگی دو باند از ترکیب سه‌بانندی است. بیشترین مقدار OIF، بهینه‌ترین ترکیب رنگی را به ما معرفی می‌کند (Vincent, 1997).

تجزیه‌های تجربی نشان داده‌اند که تصویری با ترکیب RGB=468، مناسب‌ترین ترکیب رنگی برای شناسایی مناطق دگرسانی در کانسارهای مس پورفیری است.

تصویر به‌دست آمده بر اساس این ترکیب رنگی برای منطقه رابر در شکل ۱ نشان داده شده است. در این تصویر، نواحی با دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی فیلیک به رنگ صورتی مایل به زرد دیده می‌شوند. این مسئله به‌علت بازتابندگی بالای کانی‌های آلونیت، کائولینیت و مسکوویت در باند ۴ نسبت به باندهای ۶ و ۸ است.

۴-۲. روش نسبت بانندی

یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، روش نسبت بانندی است. این روش، شامل تقسیم کردن دو باند بر همدیگر است. بانندی که میزان بازتابش از هدف مورد بررسی در آن بیشتر است، در صورت و باند دیگر که پدیده جذب برای همان هدف در آن بالاتر است در مخرج قرار می‌گیرد. با به‌کارگیری این روش می‌توان اثرات مکان‌نگاری (topography) و سایه‌ها را در تصویر، از بین برد و اختلاف بین درجات روشنایی را آشکار کرد و نیز برای جداکردن مرز واحدهای سنگی و تشخیص سنگ‌ها به کار می‌رود (Rouskov et al., 2005). ویژگی‌های بازتابی پدیده‌های مختلف، از روی نمودار طیفی آنها در کتاب‌های مرجع، موجود و قابل بررسی است و ما با توجه به ویژگی‌های طیفی پدیده‌های مورد نظر، می‌توانیم تصمیم به استفاده یا عدم استفاده از این روش بگیریم.

از این روش می‌توان برای (۱) تهیه نقشه زمین‌شناسی، جدایش واحدهای سنگی و دگرسانی‌های گرمابی، (۲) تعیین شاخص‌های پوشش گیاهی و (۳) آشکار کردن تفاوت میان ویژگی‌های بازتاب طیفی از سنگ‌ها و خاک‌های اطراف آنها بهره برد (Yamaguchi et al., 1998).

برای مشخص کردن مناطق دگرسانی با توجه به ویژگی‌های طیفی کانی‌های شاخص در هر نوع دگرسانی، می‌توان نسبت‌های بانندی را تعریف کرد. در این مطالعه، از نسبت بانندی $\frac{B_5 + B_7}{B_6}$ استفاده شده است که با استفاده از آن، مناطق دگرسانی فیلیک و پروپیلیتیک در منطقه مورد مطالعه، مشخص شده است. منطقه فیلیک به‌دلیل بازتابندگی بالا در باندهای ۵ و ۷ و بازتابندگی پایین در باند ۶ به‌صورت پیکسل‌های روشن دیده می‌شوند و در برابر آن، منطقه دگرسانی پروپیلیتیک به‌دلیل بازتابندگی پایین در باندهای ۵ و ۷ و بازتابندگی بالا در باند ۶، به‌صورت پیکسل‌های تاریک دیده می‌شود. تصویر gray scale نمایش‌دهنده این نواحی، در شکل ۲ آورده شده است.

نتایج حاصل از به‌کارگیری نسبت بانندی، تصاویری به‌صورت gray scale اند که به‌تنهایی ملاک و مقیاس مناسبی برای تعیین نواحی هدف در منطقه مورد مطالعه نیست، بلکه تنها مشخص‌کننده مناطقی هستند که بیشترین احتمال حضور ماده معدنی مورد نظر و یا به‌طور کلی اهداف مورد جستجو، در آنها است. با استفاده از روش ترکیب رنگی دروغین (RGB)، می‌توان تصاویری تولید کرد که تفسیر و نتیجه‌گیری بر اساس آنها، قابل اعتماد و کاربردی‌تر باشد. دگرسانی‌های گرمابی و بویژه حضور آلونیت، با به‌کارگیری نسبت بانندی $\frac{4}{5}$ ، کائولینیت و مونت‌موریلونیت با نسبت بانندی $\frac{4}{6}$ و امکان حضور کلسیت نیز با نسبت بانندی $\frac{4}{7}$ آشکار می‌شوند. از این رو، تصویری با ترکیب رنگی دروغین تشکیل شده است که در آن $R = \frac{4}{5}$ ، $G = \frac{4}{6}$ ، $B = \frac{4}{7}$ است. در این صورت تصویری به‌دست می‌آید که نمایش‌دهنده مناطق دگرسان‌شده در منطقه رابر است (شکل ۳). نواحی که دارای آلونیت، کائولینیت، کلسیت و مونت‌موریلونیت هستند، به‌ترتیب به رنگ‌های سرخ مایل به زرد، سبز-زرد، آبی و فیروزه‌ای مایل به سبز دیده می‌شوند.

در این تصویر، نواحی سفید رنگ، پاسخ طیفی باندهای ۵ و ۶ (Al-OH) و باند ۷ (Fe-OH) را به نمایش می‌گذارند (Di Tommaso & Rubinstein, 2007).

چون پوشش گیاهی، در به نقشه در آوردن کانی‌های هدف، ظاهر نخواهند شد و نیز می‌توان اطلاعات طیفی پدیده هدف (کانی‌های دگرسانی) را به کمک یک مؤلفه اصلی خاص به نمایش در آورد. این روش امروزه به نام روش کروسا شهرت یافته است و فنی ساده برای نقشه‌برداری دگرسانی‌ها با استفاده از تصاویر لندست است (Crosta & De Souza Fliho, 2003).

در این مقاله، سعی شده است تا توانایی روش کروسا در مورد داده‌های ماهواره‌ای ASTER نیز نشان داده شود. از این رو، ۹ باند VNIR+SWIR مربوط به سنجنده ASTER برای اعمال روش کروسا استفاده شده است. به این صورت که زیر مجموعه‌ای ۴ بانده را برای هر کانی هدف تشکیل داده‌ایم (جدول ۱). سپس با به کارگیری PCA، ماتریس بردار ویژه این زیرمجموعه‌ها برای تعیین PC در بردارنده اطلاعات کانی هدف، محاسبه شده است. شرط انتخاب PC‌های مناسب، این است که در ماتریس بردارهای ویژه، باندهای مربوط به جذب و بازتابش کانی‌های هدف، به‌طور همزمان بالاترین مقادیر را داشته و در ضمن این مقادیر غیرمعمول نیز باشند. با به کارگیری این روش، ماتریس بردار ویژه هر یک از کانی‌های رسی موجود در منطقه محاسبه شد. برای نمونه، ماتریس بردار ویژه برای کانی کائولینیت در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس مندرجات این جدول و با توجه به این که از نمودار طیفی کائولینیت می‌دانیم جذب و بازتابش این کانی به ترتیب در باندهای ۶ و ۴ اتفاق می‌افتد، PC3 انتخاب می‌شود؛ اما چون باند ۴ که در آن کائولینیت دارای ویژگی بازتابش قوی است، علامت منفی (-۰/۷۴۶۳۶۰) دارد، باید منفی مؤلفه سوم لحاظ شود تا نواحی دگرسانی با پیکسل‌های روشن نمایش داده شوند (شکل ۵-a).

با به کارگیری روش کروسا برای کانی‌های آلونیت و ایلیت که در جدول ۱ به آنها اشاره شد، PC مناسب که برای کانی آلونیت منفی PC4 و برای ایلیت PC4 است، انتخاب شد. تصاویر فراوانی این کانی‌ها در منطقه مورد مطالعه با به کارگیری ۹ باند سنجنده ASTER و اعمال روش PCA تهیه شد. این تصاویر به ترتیب در شکل‌های ۵-b و ۵-c، برای کانی‌های آلونیت و ایلیت نمایش داده شده است.

در مرحله بعد، تصویر ترکیب رنگی RGB از تصاویر فراوانی به‌دست آمده، برای کانی‌های کائولینیت، ایلیت و آلونیت ساخته شد. از تصویر gray scale باند ۲ سنجنده ASTER به‌عنوان زمینه برای نمایش بهتر نواحی دگرسانی استفاده شده است (شکل ۶). تصویر حاصل می‌تواند به‌عنوان نقشه دگرسانی کاربردی در مطالعات صحرایی استفاده شود و راهنمای اکتشافی در منطقه مورد مطالعه باشد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت که ناحیه رابر در گوشه شمال خاوری آن واقع شده است و با در نظر گرفتن نواحی دگرسان‌شده و همچنین تصویر به‌دست آمده برای پوشش گیاهی و تمایز آنها از نواحی دگرسان‌شده، نواحی امیدبخش که احتمال کانی‌سازی مس پورفیری در آنها وجود دارد، بر روی تصویر حاصل مشخص شده است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

سنجش از دور در سال‌های اخیر، ابزاری قدرتمند در اکتشاف ناحیه‌ای کانسارها بوده است؛ چرا که این روش در کنار روش‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی قادر به پوشش دادن وسیع مناطق تحت اکتشاف با صرف هزینه‌ای اندک نسبت به گذشته است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER که قدرت جدایش طیفی و مکانی خوبی دارند، می‌تواند در تهیه نقشه‌های دقیق از واحدهای سنگی و دگرسانی و ساختارها، بسیار مفید و مؤثر باشد. استخراج نشانه‌های کانی‌سازی از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت جدایش طیفی بالا، تا حد زیادی وابسته به ابزارها و شیوه‌های پردازش تصاویر است. به کارگیری روش‌های نسبت باندهای کروسا که روشی مبتنی بر تجزیه مؤلفه‌های

با همین روش، می‌توان تصویر ترکیب رنگی دروغین دیگری ساخت که در آن $R, G, B = \frac{4}{6}, \frac{4}{7}, \frac{3}{1}$ است. در تصویر حاصل، نواحی سبز رنگ کانسارهای حاشیه غیر فعال را نشان می‌دهد که عبارتند از کربنات‌ها و رسوبات کلسیتی که در دوره‌های گذشته نهشته و در دوره‌های بعدی دگرگون شده و تغییر شکل یافته‌اند. نواحی آبی رنگ نشان‌دهنده سنگ‌های آتشفشانی در منطقه‌اند و نواحی زرد و زرد-قهوه‌ای هاله‌های دگرسانی مرتبط با کانسار را به نمایش می‌گذارند. تصویر حاصل در شکل ۴ آورده شده است.

۴-۳. تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA)

این روش، روشی مبتنی بر بردارهای ویژه (Eigenvectors) است؛ با استفاده از مقادیر ویژه (Eigenvalues) و بردارهای ویژه، سوهای با بیشترین تغییرپذیری شناسایی و سپس با تعریف متغیرهای جدید که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند، ابعاد متغیرها کاهش داده می‌شود. متغیرهای جدید که محصول ترکیب خطی متغیرهای اولیه هستند بین خود همبستگی را نشان نمی‌دهند. این امر، آزمودن روش مورد نظر را آسان می‌کند (Hassanipak & Sharafeddin, 2005).

PCA، به احتمال کهن‌ترین و بهترین روش شناخته شده در تجزیه و تحلیل چند متغیره است. همان‌گونه که بیان شد هدف اصلی استفاده از PCA، کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها، ضمن حفظ و نگهداری اطلاعات موجود در آنها است. برای محاسبه مؤلفه‌های اصلی، ابتدا ماتریس واریانس، کواریانس و یا ماتریس همبستگی میان باندها را تشکیل و سپس، مقادیر ویژه و بردارهای ویژه این ماتریس را محاسبه می‌کنند. به دلیل این که کواریانس، وابسته به واحد اندازه‌گیری داده‌ها است و اطلاعات باندهای مختلف هم‌واحد، بازتاب یکسانی ندارند، بهتر است از ماتریس همبستگی استفاده شود (Soe et al., 2005).

برای هر مؤلفه اصلی، تصویری متناظر از روی بردار ویژه نظیر محاسبه می‌شود. ارزش‌های عددی تصویر مؤلفه اصلی با استفاده از مقادیر ارزش‌های عددی در تصاویر اولیه و مؤلفه‌های بردارهای ویژه، به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

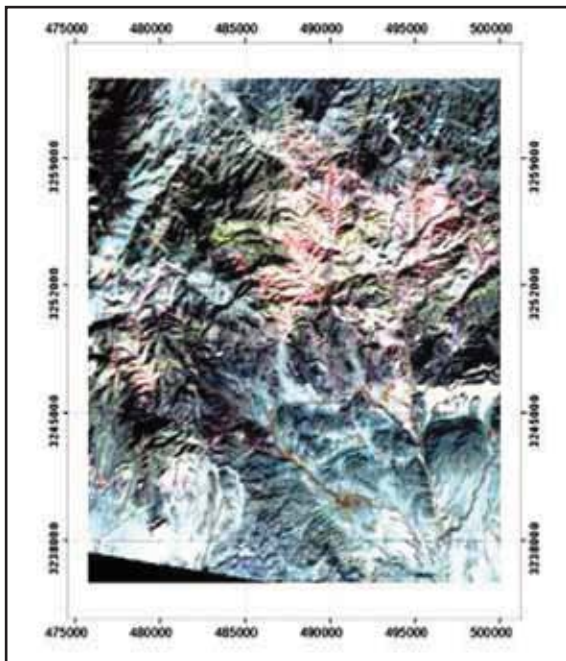
$$P_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} DN(i)$$

در این رابطه، P_k : ارزش عددی پیکسل مورد نظر برای k امین مؤلفه اصلی، $DN(i)$: ارزش عددی در باند i ام برای پیکسل مورد نظر و a_{ik} : مقدار عنصر بار به‌دست آمده از بردار ویژه مؤلفه k ام در باند i ام است.

به این ترتیب برای هر مؤلفه اصلی یا بردار ویژه، متناظراً یک تصویر که معرف تغییرپذیری در سوی آن بردار است، به‌دست می‌آید (Vincent, 1997).

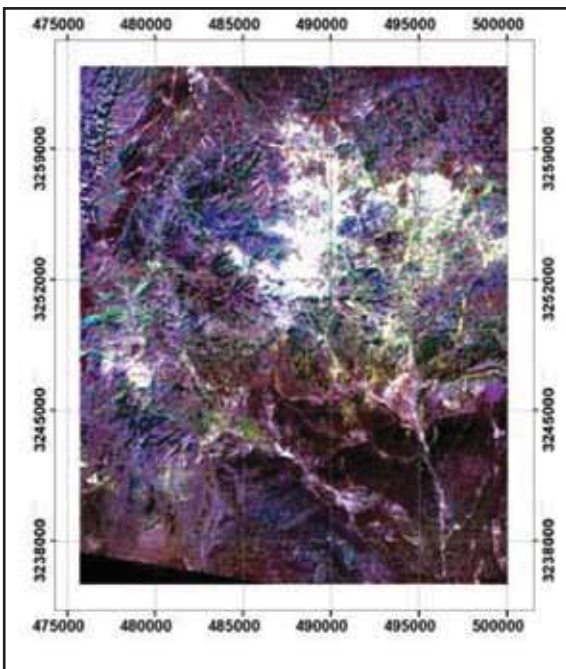
۴-۴. روش کروسا

(Crosta & Moore, 1989)، روشی را بر مبنای PCA، برای به نقشه در آوردن سنگ‌ها و کانی‌های دارای اکسید آهن و هیدروکسیدهای مرتبط با توده‌های فلزی سولفیدی در کمربند گرانیب- گرین استون با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM به کار گرفتند. این روش، روش مؤلفه اصلی جهت یافته موضوعی (Feature-Orientated Principal Component Selection) یا FPCS خوانده می‌شود. در این روش، رابطه بین پاسخ‌های طیفی کانی‌های هدف و مقادیر عددی استخراج شده از ماتریس بردار ویژه برای محاسبه تصاویر مؤلفه اصلی (PC) به کار گرفته می‌شود. با استفاده از این رابطه، قادر به تعیین PC‌هایی هستیم که حاوی اطلاعات طیفی ویژه از کانی‌های دارای اکسید آهن و نیز کانی‌های رسی هستند و می‌توان کانی‌های هدف را با پیکسل‌های روشن نسبت به دیگر پدیده‌های تصویر نمایش داد (Azizi et al., 2007). (Loughlin, 1991) روش FPCS را برای انتخاب مجموعه‌های باندهای ویژه از داده‌های ماهواره‌ای TM و به کارگیری PCA به‌طور جداگانه برای این باندهای گزینش شده، استفاده کرد. از این راه می‌توان اطمینان حاصل کرد که پدیده‌هایی

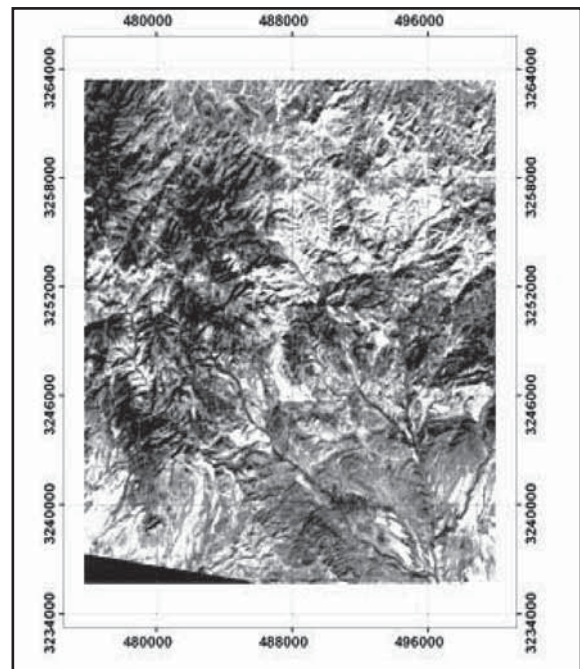


شکل ۱- ترکیب رنگی (RGB=468)، نواحی با دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی فلیک به رنگ صورتی مایل به زرد دیده می‌شوند. (ناحیه مورد نظر در منطقه ۴۰ شمالی و در سامانه UTM واقع شده است)

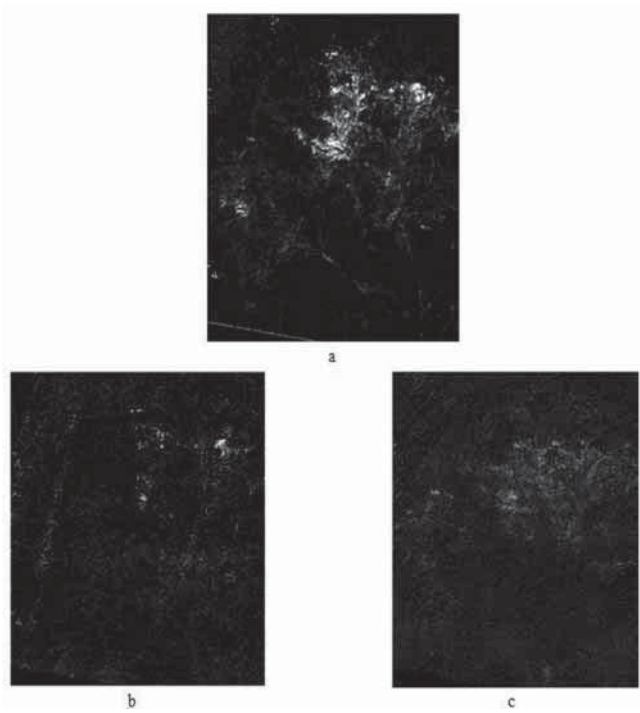
اصلی است، در تعیین و ثبت نواحی دگرسان شده در کانی‌سازی مس پورفیری مؤثرند. مطالعات انجام شده در منطقه رابر، نشان داده‌اند که روش کروسا به خوبی قادر به ثبت و جدایش نواحی دگرسان شده در محدوده مطالعاتی است و دقت و کارایی این روش به نحو چشمگیری بالاتر از روش نسبت بانندی است چرا که روش نسبت بانندی تنها مشخص کننده مناطقی است که بیشترین احتمال حضور ماده معدنی مورد نظر و یا به طور کلی اهداف مورد جستجو در آنها است. با به کارگیری روش PCA بر روی داده‌های ماهواره‌ای محدوده اکتشافی رابر و تعیین مناطق احتمالی برای کانی‌سازی مس پورفیری نشان داده شد که، PCA توانایی استخراج اطلاعات کانی‌سازی دقیقی از داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی ASTER را نیز دارد. شناسایی این مناطق و تمرکز مطالعات و بررسی‌های دقیق‌تر در مراحل بعدی اکتشاف بر روی نواحی معرفی شده، می‌تواند از پراکندگی نتایج جلوگیری کرده و در زمان و هزینه نیز صرفه جویی مناسبی صورت گیرد. با مقایسه نتایج به دست آمده با نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت مشاهده می‌شود که نشانه معدنی پی‌نگین که در محدوده مورد مطالعه قرار دارد نیز منطبق بر مناطقی است که با عنوان نواحی امیدبخش مس پورفیری معرفی شده‌اند. بنابراین، می‌توان از این تصویر به عنوان راهنمای اکتشافی در مطالعات صحرایی برای اکتشاف نواحی دگرسانی و کانی‌سازی‌هایی همچون مس پورفیری بهره برد و آنچه‌آن که اشاره شد از اتلاف زمان و هزینه در فعالیت‌های اکتشافی پرهیز کرد.



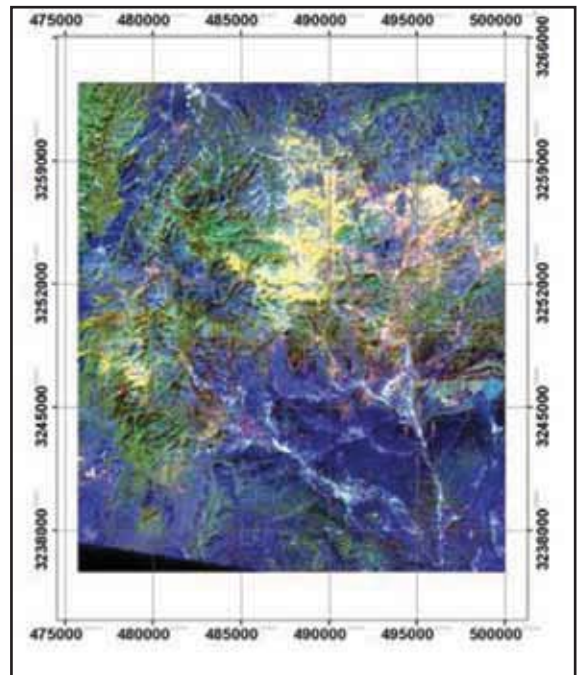
شکل ۳- تصویر رنگی دروغین نواحی دگرسانی در منطقه رابر با استفاده از نسبت‌گیری بانندی $R, G, B = \frac{4}{5}, \frac{4}{6}, \frac{4}{7}$. نواحی که حاوی آلونیت، کائولینیت، کلسیت و مونت‌موریلونیت هستند به ترتیب به رنگ‌های قرمز مایل به زرد، سبز-زرد، آبی و فیروزه‌ای دیده می‌شود.



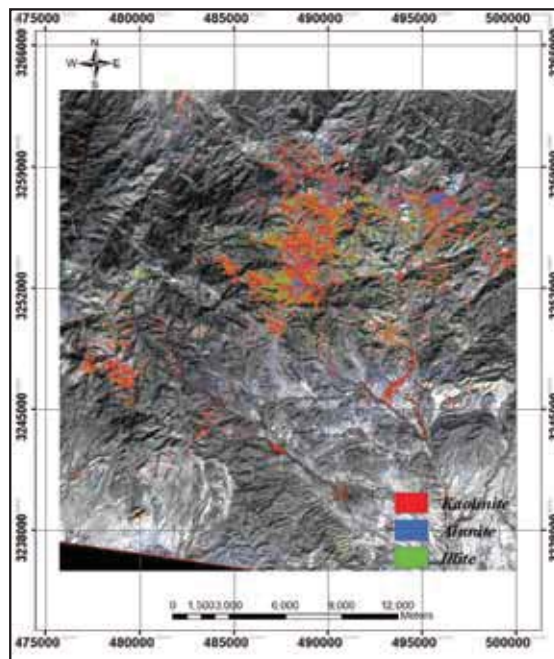
شکل ۲- استفاده از نسبت بانندی $\frac{B_3 + B_7}{B_6}$ در تعیین مناطق دگرسانی، نواحی روشن و تیره به ترتیب زون فلیک و پروپیلیتیک را نشان می‌دهند.



شکل ۵- تصویر فراوانی کانی‌های (a) کائولینیت (b) آلونیت و (c) ایلیت در محدوده مورد مطالعه رابر به روش کروستا (پیکسل‌های روشن نمایش دهنده حضور کانی هدف هستند).



شکل ۴- تصویر ترکیب رنگی دروغین برای تشخیص سنگ‌شناسی و محدوده کانسار و هاله دگرسانی در منطقه رابر با استفاده از نسبت‌گیری باندی $R, G, B = \frac{4}{6}, \frac{4}{7}, \frac{3}{1}$ ، کانسارهای حاشیه غیرفعال به رنگ سبز، سنگ‌های آتشفشانی به رنگ آبی و هاله‌های دگرسانی مرتبط با کانسار به رنگ زرد و زرد-قهوه‌ای نمایش داده شده‌اند.



شکل ۶- تصویر فراوانی کانی‌های رسی در منطقه رابر، واقع در منطقه ۴۰ شمالی در سامانه مختصات UTM، نواحی دگرسان‌شده و محتمل به کانی‌سازی مس پورفیری روی شکل نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- باندهای ASTER محدوده VNIR+SWIR، استفاده شده برای تولید نقشه فراوانی در ناحیه رابر، با استفاده از روش PCA.

کانی‌های دگرسانی				
آلوانیت		ابلیت	کانولینیت + اسمکتیت	کانولینیت
باندهای	۱	۱	۱	۱
ASTER	۳	۳	۴	۴
	۵	۵	۶	۶
	۷	۶	۹	۷

جدول ۲- ماتریس بردار ویژه باندهای ۱، ۴، ۶ و ۷ سنجنده ASTER برای تعیین پاسخ طیفی کانی کانولینیت، PC3 پیکسل‌های احتمالی در بردارنده کانولینیت را به نمایش می‌گذارد.

Eigenvector	Band1	Band4	Band6	Band7
PC1	0.456148	0.536637	0.501860	0.502082
PC2	0.882436	-0.374399	-0.216268	-0.185365
PC3	-0.108411	-0.746360	0.569400	0.327073
PC4	-0.038509	-0.121621	-0.614124	0.778831

References

- Azizi, H., Rsaouli, A. A. & Babaei, K., 2007- Using swir bands from aster for discrimination of hydrothermal altered minerals in the northwest of Iran (Se-Sanandaj city); a key for exploration of copper and gold mineralization, research journal of applied sciences, 6: 763-768.
- Crosta, A. & De Souza Fliho, C., 2003- Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using aster imagery and principal component analysis, international journal of remote sensing, 24: 4233-4240.
- Crosta, A. P. & Moore, J. MCM., 1989- Enhancement of landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain. in: Wolfe, W.L., & Zissis, G.J. (eds.) proceedings of the 9th thematic conference on remote sensing for exploration geology, Calgary, 1173-1187.
- Di Tommaso, I. & Rubinstein, N., 2007- Hydrothermal alteration mapping using aster data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina, journal of ore geology reviews, 32: 275-290.
- Hassanipak, A. A. & Sharafeddin, M., 2005- Exploration Data Analysis, Tehran university press, 977 p.
- Jun, L., Songwei, C., Duanyou, L., Bin, W., Shuo, L. & Liming, Z., 2008- Research on false color image composite and enhancement methods based on ratio images, the international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 37: 1151-1154.
- Loughlin, W., 1991- Principal component analysis for alteration mapping, photogrammetric engineering and remote sensing, 57: 1163-1169.
- Masoomi, F., 2007- Preparation of mineral potential map of northern Baft by using GIS, M.Sc thesis, Shahid Bahonar University of Kerman.
- Patra, S. K., Shekher, M., Solanki, S. S., Ramachandran, R. & Krishnsn, R., 2006- A technique for generating natural colour images from false colour composite images, international journal of remote sensing, 27: 2977-2989.
- Rouskov, 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.
- Sabine, C., 1999- Remote sensing strategies for mineral exploration. in: Rencenz A. (ed.) Remote Sensing for The Earth Sciences-Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. PP375-447.
- Soe, M., Aung Kyaw, T. & Takashima, I., 2005- Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from aster and landsat images of Tanintharyi Coastal Area Myanmar. in: Scientific and Technical Reports of Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University. 26: 21-28.
- Vincent, R. K., 1997- Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing, 1st edition. Prentice Hall, 131 p.
- Yamaguchi, Y., Kahle, A. B., Tsu, H., Kawakami, T. & Pniel, M., 1998- Overview of advanced space borne thermal emission and reflection radiometer (aster), IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36: 1062-1071.

Hydrothermal Alteration Mapping Using ASTER Images in the Rabor Area, Kerman

M. Abbaszadeh¹ & A. Hezarkhani^{*}

¹Dept. of mining, Metallurgical and petroleum Eng. AmirKabir University of Technology, Tehran, Iran.

Received: 2009 July 11

Accepted: 2009 October 17

Abstract

Rabor area is located in 160 km south of Kerman city and 40 km east of Baft. There is some evidence illustrating some porphyry copper type mineralization, co-operated with tens of within Urumieh-Dokhtar volcanic belt stocks. Identification of the high potential localities and mapping the porphyry copper mineralization within these sites look very necessary. To aim for this goal, we aimed to identify the probable mineralization zones related porphyry copper mineralization alteration haloes in Rabor. In this research, by using the satellite image processing of ASTER sensor, applying the methods such as band ratioing, principal component analysis (PCA) and selective principal component analysis (Crosta) as well as the direct data from the Baft geological map (1:100000), available metallogenical theories and porphyry copper mineralization models, prepare images based on available clay mineral concentration maps from the region could provide evidences for an existence of a porphyry copper mineralization. Band ratioing was applied to discriminate the altered areas from the non-altered ones and also area lithology, porphyry copper deposit boundaries by identification of kaolinite, alunite and illite as indicator minerals within the studied area. Selective principal component analysis was also applied to produce the clay mineral concentration indicator maps to potential mining area recognition. Ore index cross matching called Pey Negin based recognition presumed area, demonstrates the selective principal component analysis method accuracy and its efficiency by using the satellite ASTER data from the altered area.

Keywords: Rabor, Remote sensing, ASTER, Selective Principal Component Analysis, Potential Mining Areas.

For Persian Version see pages 123 to 128

*Corresponding author: A. Hezarkhani; E-mail: ardehez@aut.ac.ir

Optimization of Cyanide Leaching Process in Order to Increase Au, Ag and Hg Recovery in Pouya Zarkan Aghdareh Plant

M. Abdollahy^{1*}, S. M. J. Koleini¹ & A. Ghaffari¹

¹Dept. of Mineral processing, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2009 September 01

Accepted: 2010 February 06

Abstract

Cyanidation process is one of the most important and widespread hydrometallurgical technologies used in the extraction of gold and silver from ores and concentrates. Some of the most effective parameters on cyanide leaching are sodium cyanide concentration, dissolved oxygen, solid percent, pH, particle size, retention time and agitation speed. In this article the effect of these parameters on the recovery of gold, silver and mercury from Pouya Zarkan Aghdareh ore has been studied to determine the optimum conditions using Taguchi experimental design method. The experiments at the screening step based on L16 orthogonal array indicated that the effective parameters on gold, silver and mercury recovery such as sodium cyanide, pH, solid percent in pulp, d_{80} and retention time were obtained equal to 900 g/t ore, 10, 42%, 53 μm and 30 h, respectively. The experiments at the optimization step based on L18 orthogonal array indicated that d_{80} on gold recovery and retention time on silver and mercury recovery were the most effective parameters. Finally the optimum conditions for gold, silver and mercury recovery were obtained for parameters such as sodium cyanide, pH, solid percent in pulp, d_{80} and retention time equal to 1000 g/t ore, 10.3, 46%, 37 μm and 40 h, respectively. At this conditions gold, silver and mercury recovery were equal to 91.42 \pm 1.02, 54.31 \pm 1.24 and 19.50 \pm 0.66 percent, respectively.

Key words: Optimization of Leaching, Cyanidation, Gold, Silver, Mercury, experimental design, Taguchi.

For Persian Version see pages 129 to 138

*Corresponding author: M. Abdollahy; E-mail: minmabd@modares.ac.ir