

نقشه برداری مناطق دگرسانی معدن طلای اپی ترمال داشکسن (ساری گونای) با استفاده از تلفیق تصاویر سنجنده ASTER و تجزیه XRD

محمد معانی جو^۱، نسرين پوينده^۲، علی اصغر سپاهی^۳ و ثريا دادفر^۴

^۱ دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

^۳ استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

^۴ دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۲

چکیده

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۴۲ کیلومتری شمال خاور شهرستان قروه، در استان کردستان و در پهنه دگرگونی- ماگمایی سنندج- سیرجان جای گرفته است. در این پهنه افزون بر معدن طلای اپی ترمال داشکسن، معادن طلای مهم زره شوران و آق دره نیز قرار دارد. دگرسانی‌های منطقه به ترتیب اهمیت عبارتند از: سرستی (فلیک)، آرژیلیک، سیلیسی و پروپیلیتیک. در این مطالعه دگرسانی‌های فلیک و آرژیلیک هدف قرار گرفت و با روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای مانند ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و روش کروستا و در پایان با روش نقشه‌بردار زاویه طیفی، گسترش دگرسانی‌ها و همچنین اکسیدهای آهن منطقه تشخیص داده شد. به منظور درستی میان مشاهدات صحرایی و نتایج پردازش نرم‌افزاری از تجزیه پراش پرتو ایکس (XRD) به عنوان ابزار کنترلی استفاده و کانی‌های شاخص هر پهنه شناسایی شد و همچنین مقایسه منحنی‌های استاندارد با منحنی‌های منطقه مورد مطالعه نیز برای تأیید نتایج به دست آمده، به کار گرفته شد. در نتیجه این روش در شناسایی مناطق دگرسانی و تهیه نقشه از آنها مؤثر بوده است.

کلیدواژه‌ها: دگرسانی، استر، داشکسن، طلای اپی ترمال، قروه، پهنه سنندج- سیرجان.

نویسنده مسئول: محمد معانی جو

E-Mail: maanijou@yahoo.com

۱- پیش‌نویس

سنجش از دور علم و هنر به دست آوردن اطلاعات درباره یک شیء، منطقه، یا پدیده از راه تجزیه و تحلیل داده‌ها به وسیله ابزاری است که در تماس فیزیکی با شیء، منطقه و یا پدیده تحت بررسی نباشد (المیران، ۱۳۸۱).

شناسایی پهنه‌های دگرسانی ناشی از محلول‌های گرمایی توسط داده‌های ماهواره‌ای توجه بسیاری از زمین‌شناسان را در زمینه پی‌جویی کانسارها به خود جلب کرده است. روش دورسنجی توانایی خاصی در شناسایی و جدایش مناطق دگرسان دارد و به همین دلیل می‌تواند در اکتشاف ذخایر طلای اپی ترمال مفید باشد.

امروزه ذخایر اپی ترمال طلا به دلیل عیار بالا و حجم توده معدنی بزرگ‌ترین منابع اکتشافی برای طلاست. ذخایر اپی ترمال در هنگام نفوذ، تغییراتی در ترکیب سنگ میزبان ایجاد می‌کنند که به این تغییرات دگرسانی می‌گویند. طی فرایند دگرسانی سنگ دیواره، کانی‌های سنگ میزبان با سیال گرمایی واکنش داده و موجب تغییر در کانی‌های سنگ دیواره و همچنین شستشوی آنها توسط محلول گرمایی می‌شود. این محدوده‌های دگرسان شده نسبت به شکستگی‌هایی که محلول گرمایی در آن ته‌نشست پیدا می‌کند دارای گسترش بیشتری هستند و می‌توان از آنها به عنوان شاخص اکتشافی استفاده کرد. معمولاً با توجه به سازوکار ته‌نشست فلزات مختلف موجود در محلول گرمایی، در مورد هر فلز پهنه‌های دگرسانی خاصی مهم بوده و مورد نظر قرار می‌گیرند. پهنه شاخص برای کانسارهای طلای اپی ترمال پهنه دگرسانی آرژیلیک و آلونیت است. از کانی‌های شاخص این پهنه‌ها می‌توان به آلونیت، کائولینیت، مونت‌موریلونیت، اکسیدهای ثانویه آهن و احتمالاً میکای سفید اشاره کرد.

مهم‌ترین قابلیت ماهواره‌ها در اکتشافات معدنی، شناسایی مناطق دگرسانی است. بیشتر کانی‌های Al-OH دار مانند کائولینیت، ایلیت، پیروفیلیت و آلونیت که در دگرسانی آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته یافت می‌شوند، با پردازش تصاویر باندهای فرورسرخ موج کوتاه (SWIR) آستر قابل شناسایی هستند (فراهانی و همکاران، ۱۳۸۵).

۲- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی ۳۵° ۱۲' عرض شمالی و ۴۸° ۰۵' طول خاوری در نوار دگرگونی- ماگمایی سنندج- سیرجان و در فاصله ۴۲ کیلومتری شمال خاور شهرستان قروه، در استان کردستان واقع شده است. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه و راه‌های دسترسی به منطقه را نشان می‌دهد. ساری گونای (داشکسن سابق) یک کانسار طلای اپی ترمال وابسته به نفوذی‌های ساب‌ولکانیک (حدواسط) است که در میوسن میانی، از کمپلکس‌های آتشفشانی قلیایی با پتاسیم بالا در مرکز شمال باختر ایران تشکیل شده است.

منطقه مورد مطالعه از دو تپه سنگی اصلی آق داغ و ساری گونای تشکیل شده که

در این ترکیب رنگی، با توجه به منحنی های استاندارد USGS (کتابخانه نرم افزار ENVI4.8) کانی های مونت موریلونیت، کائولینیت و ایلیت (شاخص پهنه های دگرسانی فلیک و آرژیلیک) می توان دید که در باند ۴ قلمرو فرورسرخ کوتاه (SWIR) دارای بیشترین بازتاب و در باند ۶ به دلیل وجود پیوند Al-OH دارای جذب هستند. همچنین کانی های پهنه پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) در باند ۵ و ۶ دارای بازتاب بالا و در باند ۸ به دلیل وجود پیوند Mg-OH دارای جذب هستند. بنابراین در این ترکیب رنگی دگرسانی فلیک-آرژیلیک به رنگ صورتی تا سرخ و دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز نمایان می شود (شکل ۲-۲ الف). از ترکیب رنگی دروغین RGB_461 برای آشکارسازی اکسیدهای آهن استفاده شد که مناطق دارای اکسید آهن به رنگ آبی و دگرسانی فلیک-آرژیلیک به رنگ صورتی و زرد متمایل به صورتی آشکار می شوند (شکل ۲-ب).

۴-۲. نسبت گیری بانندی

یکی از روش های رایج در پردازش تصاویر ماهواره ای، روش نسبت گیری 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 می گیرد. با به کارگیری این روش می توان اثرات مکان نگاری (Topography) و سایه ها را در تصویر از بین برد و اختلاف میان درجات روشنایی را آشکار و مرز واحدهای سنگی جدا کرد و نیز برای تشخیص سنگ ها کاربرد دارد (Rouskov et al., 2005) به نقل از دافور، ۱۳۹۰). در این پژوهش از شاخص های کانی شناسی و سنگ شناسی با استفاده از داده های VNIR و SWIR که توسط Ninomiya (2003) ارائه شده است، استفاده شد. شاخص های استفاده شده عبارتند از:

$$OHI = (band\ 7 / band\ 6) * (band\ 4 / band\ 6)$$

$$KLI = (band\ 4 / band\ 5) * (band\ 8 / band\ 6)$$

$$ALI = (band\ 7 / band\ 5) * (band\ 7 / band\ 8)$$

که به ترتیب در شکل های ۳-الف، ب و ج نشان داده شده اند.

چگونگی انتخاب باندهای مورد نظر برای نسبت گیری بدین صورت است که با توجه به شکل طیف بازتابی مربوط به هر کانی، باندهایی که شامل بیشترین کمترین میزان بازتاب توسط کانی یا سنگ مورد نظر باشند را بر هم تقسیم می کنند. در تصویر حاصل، نقاط روشن نقاط هدف هستند. چون تصاویر حاصل تصاویری تک بانندی هستند می توان با نسبت دادن یکی از رنگ های اصلی سرخ-سبز-آبی (R-G-B) به هر تصویر حاصل از نسبت بانندی یک ترکیب رنگی دروغین برای بررسی بهتر به دست آورد (دهجو و همکاران، ۱۳۹۲).

با توجه به مطالب بالا چنین برمی آید که برای آشکارسازی کانی های رسی می توان از نسبت های بانندی ۴/۹، ۷/۹، ۴/۶، ۷/۶ و ۷/۶ سنجنده ASTER استفاده کرد. شکل ۴ نسبت ۴/۹ را به نمایش می گذارد که پیکسل های روشن درون دایره های سرخ رنگ کانی های رسی منطقه را نشان می دهند. دیگر پیکسل های روشن اثرات پوشش گیاهی را نشان می دهند.

دگرسانی گرمایی و به ویژه آلونیت، با به کارگیری نسبت بانندی ۴/۵، کائولینیت و مونت موریلونیت با نسبت بانندی ۴/۶ و امکان حضور کلسیت نیز با نسبت بانندی ۴/۷ آشکار می شوند، از این رو تصویری با ترکیب رنگی دروغین تشکیل شده است که در آن RGB_4/5,4/6,4/7، در این صورت تصویری بدست می آید که نمایش دهنده مناطق دگرسان شده در منطقه مورد نظر است (شکل ۵). نواحی که دارای آلونیت، کائولینیت، کلسیت و مونت موریلونیت هستند به ترتیب به رنگ های زرد، سبز زرد، آبی و فیروزه ای دیده می شوند. در این تصویر نواحی سفید رنگ، پاسخ طیفی باندهای ۵ و ۶ (Al-OH) و باند ۷ (Fe-OH) را به نمایش می گذارند (Tommaso & Rubinstein, 2007).

توسط تپه های بسیاری در شمال دربر گرفته شده است. گنبد های داسیتی-ریوداسیتی در حد فاصل روستاهای داشکسن و نی بند برنزد دارند و پیکره اصلی دو کوه ساری داغ و آق داغ را به وجود آورده اند.

ساری داغ یک گنبد بزرگ داسیتی است که بخش گسترده ای از آن را سنگ های آذر آواری با ترکیب کریستال-لیتیک توف تشکیل داده اند. گنبد ساری داغ در بیشتر بخش ها به شدت برشی، سیلیسی و آرژیلی شده و به رنگ زرد نخودی تا متمایل به نارنجی در آمده است. گنبد مخروطی شکل آق داغ، ترکیب داسیت-ریوداسیت دارد. اما بخش هایی از آن را سنگ های آذر آواری دارای قطعات لیتیک کاملاً دگرسان شده و قطعاتی از سنگ های دگرگونی ژوراسیک تشکیل داده است که به شدت دچار دگرسانی سیلیسی و تا حدودی کوارتز سرسیتی شده اند. بر پایه مشاهدات زمین شناسی، کهن ترین سنگ های منطقه را اسلیت، فلیت و کوارتزیت ژوراسیک و جوان ترین آنها را کنگلومرای ولکانو کلاستیک نئوژن و جریان بازالتی، گدازه های بلوکی و آگلومرای کوارتزی تشکیل می دهد. میزان ذخیره این کانسار ۵۲ میلیون تن و عیار طلا ۱/۷۷ گرم بر تن است.

کانسار طلای ساری گونای با میزان کمپلکس های آتشفشانی میوسن میانی که در خاور و جنوب خاور در حاشیه دریایی کم ژرفا شکل گرفت که شامل لاهارها، بمب ها و نهشته های خاکستر است. در ساری گونای و کوه های همجوار آن آق داغ دگرسانی گرمایی سبب دگرسان شدن سنگ های منطقه شده است در بخش خاور منطقه کمپلکس لایه ای دگرشیب نهشته های ائوسن والیگومیوسن میانی در آهک ها و شیست های ژوراسیک قرار گرفته است (Richards, 2006).

در جنوب خاور در میان سنگ های آتشفشانی فلیک و آهک ائوسن و الیگومیوسن میانی همبری کمتر دیده می شود. در ساری گونای گمانه های اکتشافی در سنگ های کاملاً آتشفشانی و نیمه آتشفشانی و سنگ های نفوذی حفر شد. در حاشیه های کمپلکس (در شمال) فرسایش در اثر گذشت زمان افق شیستی را پوشانده است. در جنوب و باختر که شیب کمی وجود دارد نهشته های رسوبی کواترنری به طور کلی محدوده پرونزردگی های بلند را دربر گرفته است. در شمال باختر در نزدیکی روستای قزلجه کند یک کمپلکس آتشفشانی کواترنری وجود دارد که کاملاً از آبرفت ها پوشیده شده است و شامل خاکستر و بازالت و گدازه تراکیتی است (Richards, 2006).

۳- روش مطالعه

ابتدا تصاویر ماهواره ای استر از شرکت زمین دور کاوان پرشین خریداری و مراحل پیش پردازش شامل تصحیح اتمسفری با روش QAUC روی داده ها اعمال شد. در ادامه اثرات اتمسفری از داده ها حذف و برای مرحله پردازش با نرم افزار ENVI 4.8 آماده شد. روش های مختلفی مانند ترکیب رنگی دروغین، نسبت گیری بانندی، تحلیل مؤلفه های اصلی و روش کروستا برای آشکارسازی دگرسانی های منطقه انجام شد و از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای جدایش پوشش گیاهی از دگرسانی های رسی استفاده شد. در پایان با روش نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) رده بندی صورت گرفت و نقشه دگرسانی های منطقه تهیه و کانی های شاخص هر زون معین شد. همچنین نمونه های برداشت شده از مناطق دگرسانی در پیمایش های صحرائی برای تجزیه پراش پرتو ایکس پودر و نتایج این تجزیه و پردازش های نرم افزاری با هم مقایسه شد که نشان دهنده درستی میان شواهد صحرائی و روش های به کار رفته است.

۴- بحث

۴-۱. ترکیب رنگی دروغین (False Color Composite)

تجزیه های تجربی نشان داده اند که تصویری با ترکیب RGB_468 مناسب ترین ترکیب برای شناسایی مناطق دگرسانی است (Tommaso & Rubinstein, 2007).

(2011) Khaleghi & Ranjbar از روش کروسای انتخابی (DPCA) و تحلیل طیفی برای شناسایی مناطق دگرسانی استفاده کردند. جدول ۴ باندهای انتخاب شده برای جدایش پهنه‌های دگرسانی با استفاده از روش DPCA را نشان می‌دهد. در روش DPCA تنها از باندهای خاصی از داده‌ها که کانی‌های هدف در آن محدوده‌ها دارای ویژگی جذبی (جذب بالا یا بازتاب بالا) هستند انتخاب می‌شوند. البته جلوگیری از تداخل با مناطق دارای کانی‌های دیگر نیز در این انتخاب مد نظر قرار می‌گیرد. در اینجا برای شناسایی پهنه دگرسانی فیلک از باندهای ۴، ۶ و ۷ برای شناسایی دگرسانی آرژیلیک باندهای ۴، ۵ و ۷ و برای دگرسانی پروپیلیتیک از باندهای ۷، ۹ و به‌عنوان ورودی برای انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. با توجه به پروفیل طیفی کانی‌های شاخص هر یک از دگرسانی‌های بالا برای پهنه فیلک باند ۶ دارای جذب بالا و باندهای ۴ و ۷ دارای بازتاب بالایی هستند و در مورد پهنه آرژیلیک باند ۵ دارای جذب و باندهای ۴ و ۷ دارای بازتاب بالا هستند. برای پهنه پروپیلیتیک جذب در باند ۸ است و در باندهای ۷ و ۹ بازتاب بالا وجود دارد. پس از بررسی پروفیل طیفی هر گروه از دگرسانی‌ها، فرایند تحلیل مؤلفه اصلی روی هر گروه به‌طور جداگانه انجام شد و نتایج آن به شرح زیر است. ماتریس مقادیر ویژه برای پهنه فیلک در جدول ۵ آورده شده است.

پس از بررسی ماتریس مقادیر ویژه برای پهنه فیلک PC3 که دارای بیشترین تفاوت میان باندهای ۶ و ۷ است برای پهنه فیلک مناسب تشخیص داده شد. با توجه به اینکه در باند ۶ علامت مقدار ویژه منفی و در باند ۷ این مقدار مثبت است، در این تصویر پیکسل‌های روشن بیانگر مناطق دگرسانی فیلک هستند. نتیجه انجام روش برای پهنه فیلک در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

برای شناسایی مناطق آرژیلیکی روی باندهای ۴، ۵ و ۷ تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام شد. ماتریس مربوط به این فرایند در جدول ۶ آورده شده است. شکل ۱۱ نیز نتیجه این روش را برای زون آرژیلیک نشان می‌دهد.

۴-۶. روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM)

نقشه بردار زاویه طیفی یک روش رده‌بندی تصویر با محاسبه شباهت میان طیف تصویر و یک طیف مرجع (مانند کتابخانه‌های طیفی) است (Kruse et al., 1993)، الگوریتم این روش، همانندی میان دو طیف را به وسیله زاویه طیفی میان آن دو محاسبه می‌کند. در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضای سه بعدی تعداد باندها، زاویه میان دو بردار محاسبه می‌شود. در این روش برای محاسبه زاویه، جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آنها؛ بنابراین در این روش عامل‌های دیگر در نظر گرفته نمی‌شوند. هر چه مقدار زاویه (میان ۰ تا ۱) کمتر باشد شناسایی دقیق‌تر خواهد بود. در صورتی که مقدار زاویه ۱ باشد کل تصویر به عنوان پدیده مورد نظر شناسایی می‌شود. جدول ۷ مقادیر زوایای SAM برای آشکارسازی کانی‌ها در کلاس‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده گستردگی دگرسانی فیلک در منطقه است و دگرسانی آرژیلیک با توجه به نتایج مربوط به DPCA با دگرسانی فیلک تقریباً همپوشانی دارد. شکل ۱۲ نقشه دگرسانی‌های منطقه را نشان می‌دهد. می‌توان با مقایسه نمودار منحنی‌های طیفی بخش‌های آشکارسازی شده با نمودارهای استاندارد USGS به‌منجهار شده نسبت به باندهای سنجنده ASTER کانی‌های شاخص هر پهنه دگرسانی Azizi et al. (2010) از درستی پردازش‌های مورد نظر اطمینان حاصل کرد (شکل ۱۳).

۴-۷. تجزیه پراش پرتو ایکس (XRD)

طی پیمایش‌های صحرائی در منطقه مورد مطالعه و تشخیص انواع دگرسانی‌های آن ۵۰ نمونه از پهنه‌های مختلف برداشت شد. ۴۰ نمونه از نمونه‌هایی که دچار دگرسانی کمتری بودند، برای تهیه مقطع نازک و ۱۰ نمونه از نمونه‌هایی که در آنها دگرسانی شدیدتر و از نوع رسی بود، به منظور مشخص کردن نوع کانی رسی برای تجزیه XRD انتخاب و پودر و طیف‌های مربوط در آزمایشگاه موجود در دانشگاه بوعلی سینا تهیه شدند. سپس نتایج حاصل از آن با نرم‌افزار X-Powder تفسیر شد. جدول ۸

از نسبت باندی $(b_4+b_6)/b_5$ برای آشکارسازی کانی‌های آلونیت، کائولینیت، پروپیلیت و از نسبت $(b_5+b_7)/b_6$ برای آشکارسازی سرسیت، مسکوویت، ایلیت، اسمکتیت (دگرسانی فیلک)، برای آشکارسازی کانی‌های کائولینیت و مسکوویت نیز به ترتیب از b_7/b_6 و b_7/b_5 استفاده شد که این نسبت‌ها به ترتیب در شکل‌های ۶-الف، ب، ج و د نشان داده شده است (تیموری آسفجی، ۱۳۸۸). در ضمن روی این تصاویر تصحیح هیستوگرام انجام شده است.

۴-۳. شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

برای به دست آوردن الگوی از پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه از شاخص تفاوت پوشش گیاهی به‌نجهار شده (NDVI) استفاده شده است. زیرا این شاخص، داده‌های چند طیفی را به یک باند تصویری تبدیل می‌کند که نشان‌دهنده پوشش گیاهی منطقه خواهد بود (راهنمای نرم‌افزار ENVI4.8). شکل ۷-الف شاخص پوشش گیاهی و شکل ۷-ب RGB₃₂₁ را نشان می‌دهد که پیکسل‌های سرخ رنگ پوشش گیاهی هستند.

۴-۴. تحلیل مؤلفه‌های اصلی جهت‌دار (PCA)

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

۴-۵. روش کروسای انتخابی

(Crosta & Moore 1989)، روشی را بر پایه PCA، برای به نقشه درآوردن سنگ‌ها و کانی‌های دارای اکسید آهن و هیدروکسیدهای مرتبط با توده‌های فلزی سولفیدی در کمربند گرانی-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 میان پاسخ 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 می‌توان PC‌هایی را تعیین کرد که دارای اطلاعات طیفی ویژه از کانی‌های دارای اکسید آهن و نیز کانی‌های رسی هستند و نیز کانی‌های هدف را با پیکسل‌های روشن نسبت به دیگر پدیده‌های تصویر نمایش داد (Azizi et al., 2007). تصاویر سنجنده ASTER از منطقه مورد بررسی با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و روش کروسا پردازش شده و مناطق دگرسانی‌های گرمایی در ناحیه مورد بررسی، شناسایی شدند. جدول ۱ باندهای مورد استفاده برای آشکارسازی کانی‌های آلونیت، ایلیت، کائولینیت و اسمکتیت با استفاده از روش کروسا را نشان می‌دهد.

با تحلیل مؤلفه‌های اصلی جهت‌دار از نوارهای ۱، ۴، ۶ و ۷ برای آشکارسازی کائولینیت استفاده شد. جدول ۲ مقادیر ویژه حاصل از نتایج روش کروسا را نشان می‌دهد. با توجه به این نکته که بیشترین جذب و بازتابش کانی کائولینیت در باندهای ۶ و ۴ رخ می‌دهد مؤلفه PC3 انتخاب شد. در این مؤلفه پیکسل‌های تیره کائولینیت را نشان می‌دهند. برای مشاهده کائولینیت به‌صورت پیکسل‌های روشن این مؤلفه در منفی ضرب شد (شکل ۸).

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 باشند و در ضمن این مقادیر غیر هم‌علامت نیز باشند (عباس‌زاده و هزارخانی، ۱۳۸۹). جدول ۳ و شکل ۹ نتایج روش کروسا را برای کانی ایلیت نشان می‌دهند.

کروستا) و DPCA استفاده شد و پهنه‌های فلیک و آرژلیک و اکسیدهای آهن شناسایی شدند. روش دیگر برای جداسازی مناطق دگرسان شده نقشه بردار زاویه طیفی است که بر پایه مقایسه طیف به دست آمده از تصویر مرجع، کانی‌ها را می‌توان نقشه‌برداری کرد. با این روش نیز پهنه آرژلیک به دو بخش متوسط و پیشرفته (آلونیتی) آشکارسازی شد و کانی‌های دگرسانی مانند آلونیت، کانولینیت، مونت‌موریلونیت و مسکوویت که تفاوت مناطق دگرسان شده و دگرسان نشده در مناطق طلا دار با حضور این کانی‌ها آشکار می‌شود، شناسایی شدند. تفاوت مناطق دگرسان شده کانی‌زایی شده و نشده حضور کانی‌های ثانویه آهن مانند گوتیت، همتایت، لیمونیت و ژاروسیت در ارتباط با دیگر کانی‌های دگرسانی است که در این میان کانی ژاروسیت مهم‌تر است. زیرا کانی سولفات آهن و حضور آن به معنای حضور کانی‌های سولفیدی در مناطق گرمایی است و احتمال حضور کانی‌سازی را افزایش می‌دهد.

چگونگی پهنه‌بندی در منطقه مورد نظر در پیمایش‌های صحرایی بدین گونه تشخیص داده شد: سامانه دگرسانی شامل دو پهنه جداگانه است که یکی در ساری‌گونای و دیگری در آق‌داغ متمرکز شده است. چیره‌ترین دگرسانی در منطقه سرپستی (فلیک) بوده که به وسیله پهنه باریک کانولینیتی (آرژلیک) در بر گرفته شده و در حاشیه‌های سامانه به دگرسانی پروپلیتیک تبدیل شده که به صورت دایره‌ای پیرامون دگرسانی فلیک را (به‌ویژه در منطقه ساری‌گونای) فرا گرفته است. در بخش مرکزی هر دو ناحیه، دگرسانی سیلیسی شدید مشاهده می‌شود. کوچک‌ترین دگرسانی در منطقه مورد نظر دگرسانی آلونیتی است که با شمار کمتری از رگه‌های اورپیمنت ± رآلگار همراه است. اکسیدهای آهن نیز در منطقه مورد نظر فراوان است و به صورت رگه‌های گوتیتی، ژاروسیت و لیمونیتی شدن (به ویژه همراه دگرسانی فلیک و آرژلیک) دیده می‌شود.

سپاسگزاری

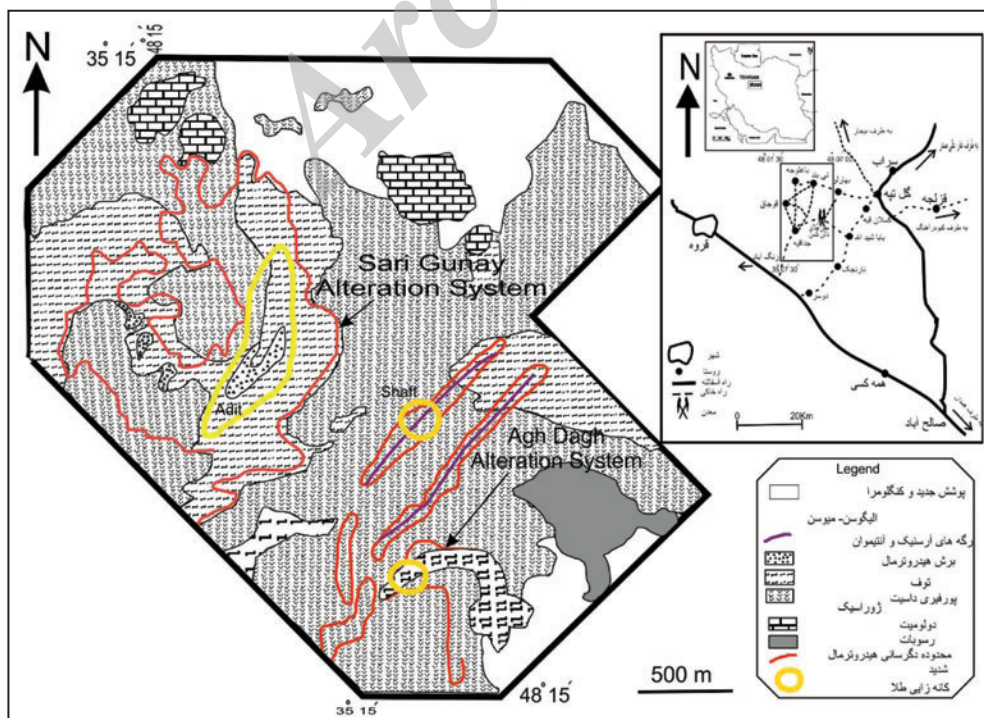
از شرکت زمین دورکاوان پرشین برای در اختیار قرار دادن داده‌های ماهواره‌ای، از مسئولین محترم معدن طلای داشکسن برای فراهم کردن امکانات نمونه‌برداری از منطقه و از حمایت‌های معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا سپاسگزاری می‌شود.

نتایج ۶ مورد از تجزیه‌های پراش پرتو ایکس را نشان می‌دهد. با مقایسه جدول‌های ۷ و ۸ همانندی نتایج میان این دو روش دیده می‌شود.

سنگ‌های نفوذی منطقه مورد بررسی را یک توده نیمه‌ژرف میکروگراتیتی- میکروگرانودیوریتی با ماهیت کالک‌آلکان و بافت میکروگرانولار پورفیری به سن نئوژن (احتمالاً پلیوسن؟) تشکیل می‌دهد که در بخش‌های بالایی به صورت گنبد (Dome) های داسیت- ریوداسیتی (آق‌داغ و ساری‌گونای) رخنمون پیدا کرده است. کانه‌زایی در کانسار داشکسن از نوع رگه‌ای و پهنه‌های سیلیسی- سولفیدی طلا دار است. سنگ میزبان رگه‌ها و پهنه‌های کانه‌دار را سنگ‌های نفوذی نیمه‌ژرف و سنگ‌های داسیتی- ریوداسیتی سازنده گنبد‌های آق‌داغ و ساری‌گونای تشکیل می‌دهند که با انواع دگرسانی گرمایی به‌ویژه آرژلیک و سیلیسی شدن همراهی می‌شوند. استیبنیت، رآلگار و اورپیمنت فراوان‌ترین کانه‌های سولفیدی سازنده رگه‌های کانه‌دار در منطقه معدنی آق‌داغ- ساری‌گونای است. طلا نیز فراوانی قابل ملاحظه‌ای در رگه‌ها و پهنه‌های سیلیسی سولفیددار دارد (راستاد و همکاران، ۱۳۷۹). وجود دگرسانی‌های شدید سیلیسی، آرژلیک و سرپستی در منطقه، شناخت سنگ‌شناسی اولیه را با مشکل روبه‌رو کرده است ولی به‌طور کلی به نظر می‌رسد که سنگ‌ها دارای ترکیب داسیتی بوده‌اند. همچنین وجود مقدار زیادی بیوتیت و هورنبلند بیانگر ترکیب داسیتی یا آندزیتی سنگ است. در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب تعدادی از تصاویر صحرایی و مقاطع میکروسکوپی از منطقه مورد نظر نشان داده شده است. سنگ اولیه در شکل ۱۵- الف احتمالاً ریولیت یا کوآرتز تراکیت و در شکل ۱۵- ب کوآرتز تراکیت تا ریوداسیت است. در شکل ۱۵ نیز رگه‌هایی از سیلس ثانویه دیده می‌شود.

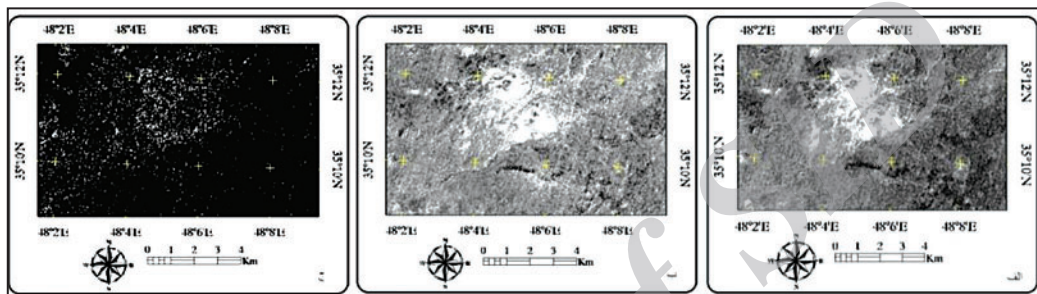
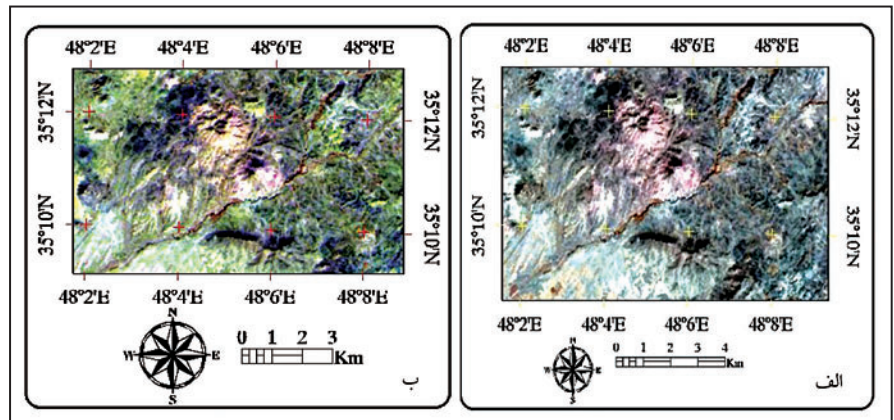
۵- نتیجه‌گیری

بازدیدهای صحرایی، بررسی مقاطع میکروسکوپی، تجزیه XRD و پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای همه نشان‌دهنده وجود دگرسانی‌های فلیک (به عنوان گسترده‌ترین و رایج‌ترین دگرسانی)، آرژلیک، آلونیتی و سیلیسی در منطقه مورد مطالعه و نیز بیانگر همانندی نتایج میان آنهاست. برای جدایش پهنه‌های دگرسانی از روش‌های ترکیب رنگی دروغین، نسبت بانندی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (روش

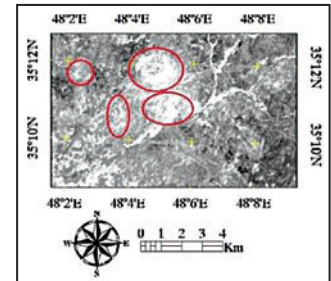
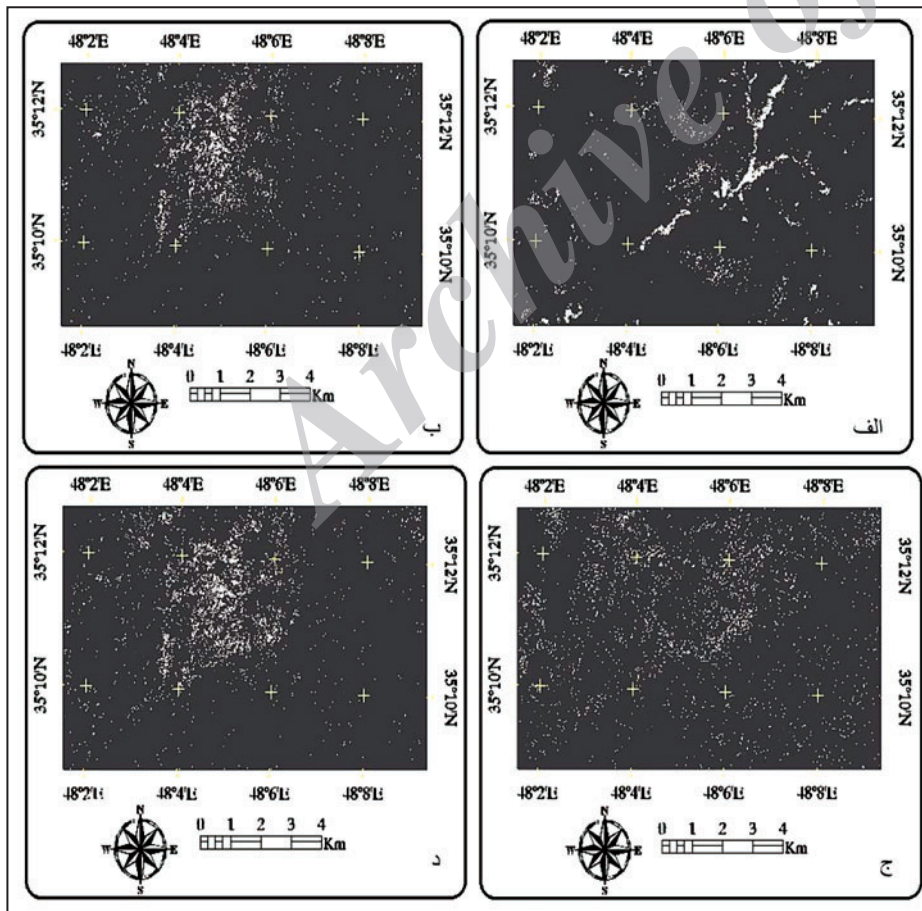


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Richards, 2006 با کمی تغییرات).

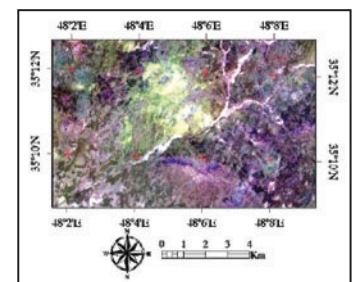
شکل ۲- الف) ترکیب رنگی کاذب RGB_468 که در آن محدوده دگرسانی پروپیلیتیک و فلیک-آرژلیک به ترتیب با رنگ سبز و صورتی آشکارسازی شده‌اند؛ ب) ترکیب رنگی کاذب RGB_461. در این ترکیب رنگی دگرسانی فلیک - آرژلیک به رنگ صورتی و زرد متمایل به صورتی و اکسیدهای آهن به رنگ آبی آشکارسازی شده‌اند.



شکل ۳- نسبت‌های بانندی ارائه شده توسط نینومیا. الف) دگرسانی هیدروکسیلی؛ ب) کائولینیت؛ ج) آلونیت.

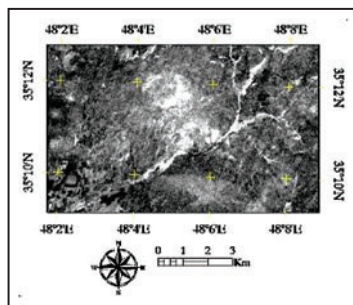


شکل ۴- نسبت بانندی ۴/۹. پیکسل‌های سفید درون دایره‌های سرخ رنگ نشان‌دهنده کانی‌های رسی هستند؛

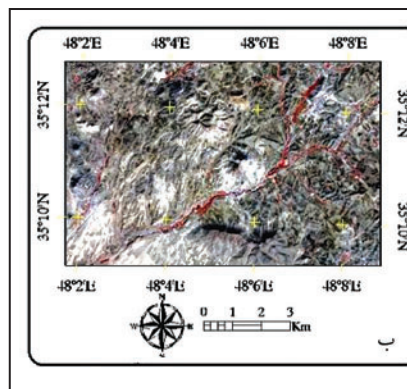


شکل ۵- RGB_4/5,4/6,4/7. نواحی که دارای آلونیت، کائولینیت، کلسیت و مونت موریلونیت هستند، به ترتیب به رنگ‌های زرد، سبز، زرد، آبی و فیروزه‌ای دیده می‌شوند.

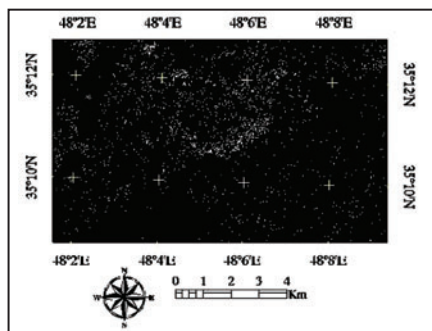
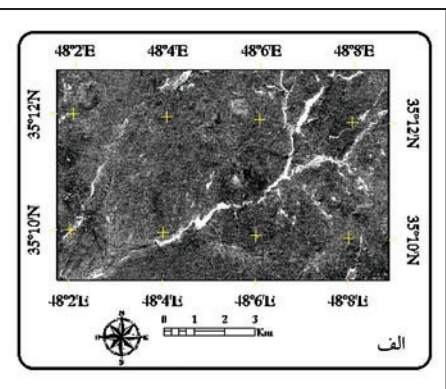
شکل ۶ - الف) نسبت بانندی (b4+b6)/b5 برای آشکارسازی آلونیت، کائولینیت و پیروفیلیت؛ ب) نسبت بانندی (b5+b7)/b6 برای آشکارسازی دگرسانی فلیک؛ ج) نسبت بانندی b7/b5 برای آشکارسازی کائولینیت؛ د) نسبت بانندی b7/b6 برای آشکارسازی مسکوویت.



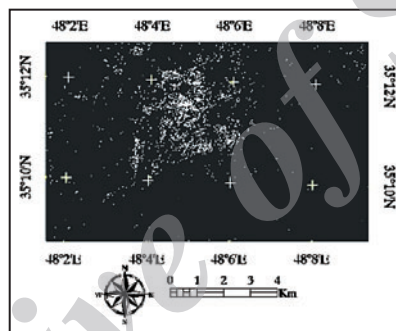
شکل ۸- مؤلفه سوم (منفی شده) تحلیل مؤلفه اصلی از باندهای ۱، ۴، ۶ و ۷ برای آشکارسازی کائولینیت.



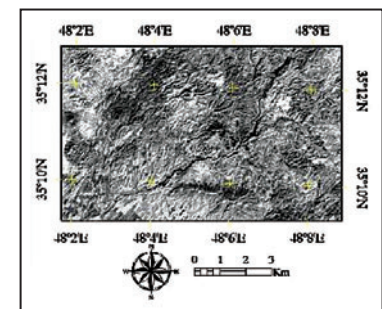
شکل ۹- الف) شاخص پراکندگی پوشش گیاهی (NDVI) در منطقه مورد مطالعه؛ ب) RGB_321. پیکسل‌های سرخ رنگ پوشش گیاهی را نشان می‌دهند.



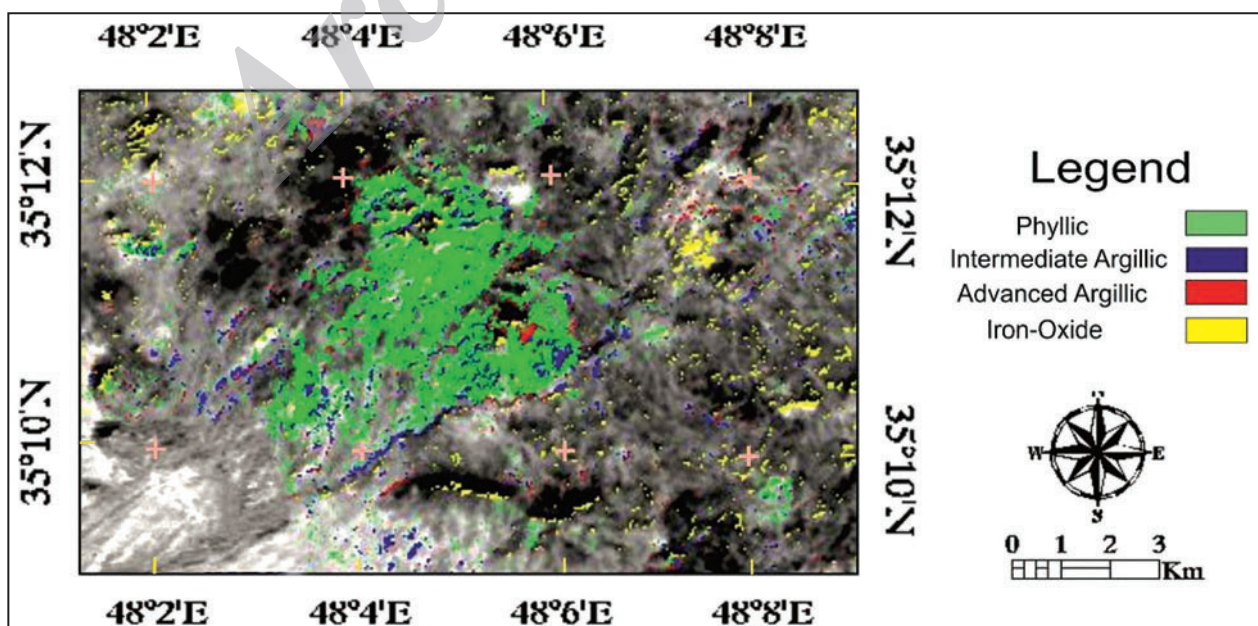
شکل ۱۱- آشکارسازی پهنه آرژیلیک با روش DPCA.



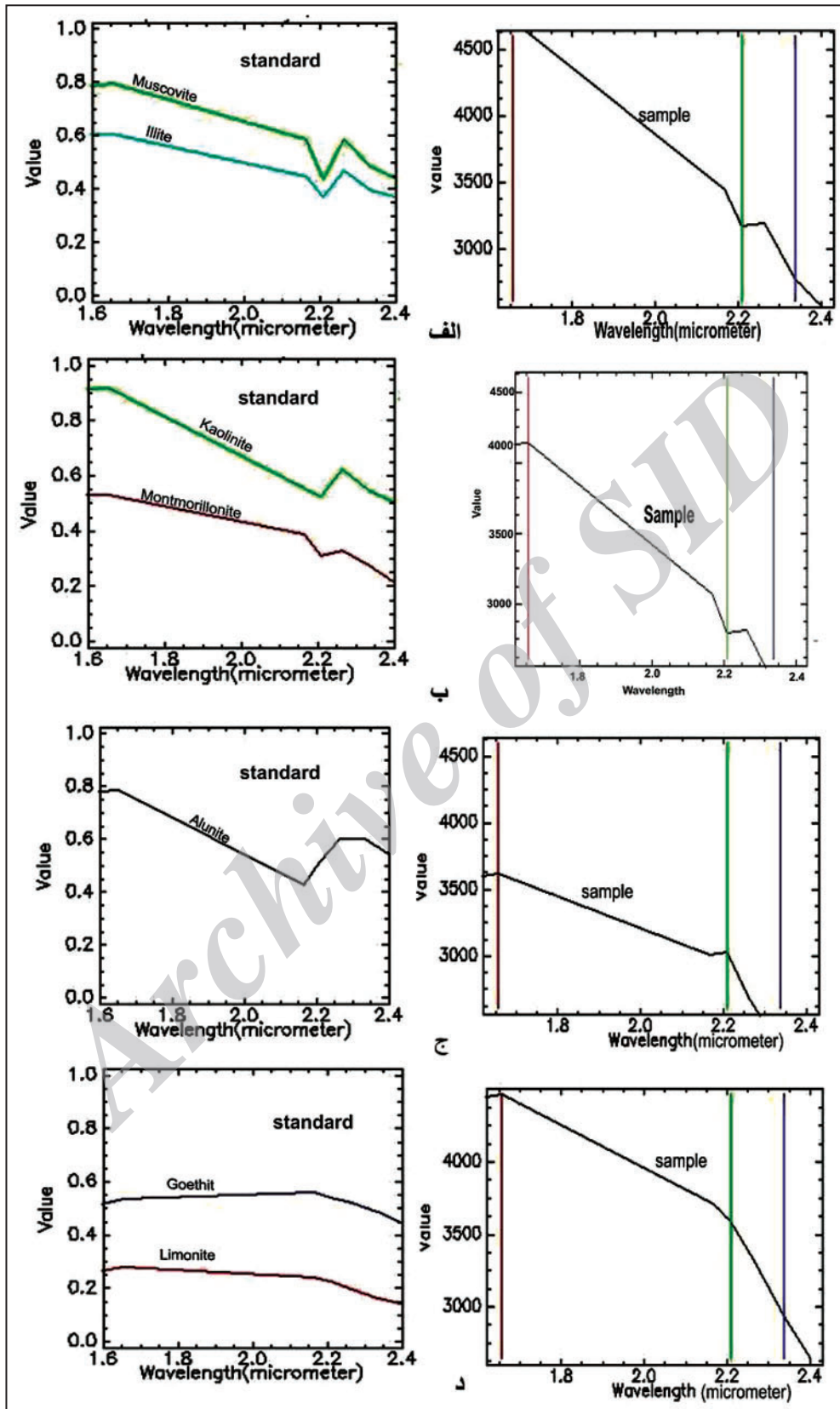
شکل ۱۰- آشکارسازی پهنه فیلیک با روش DPCA.



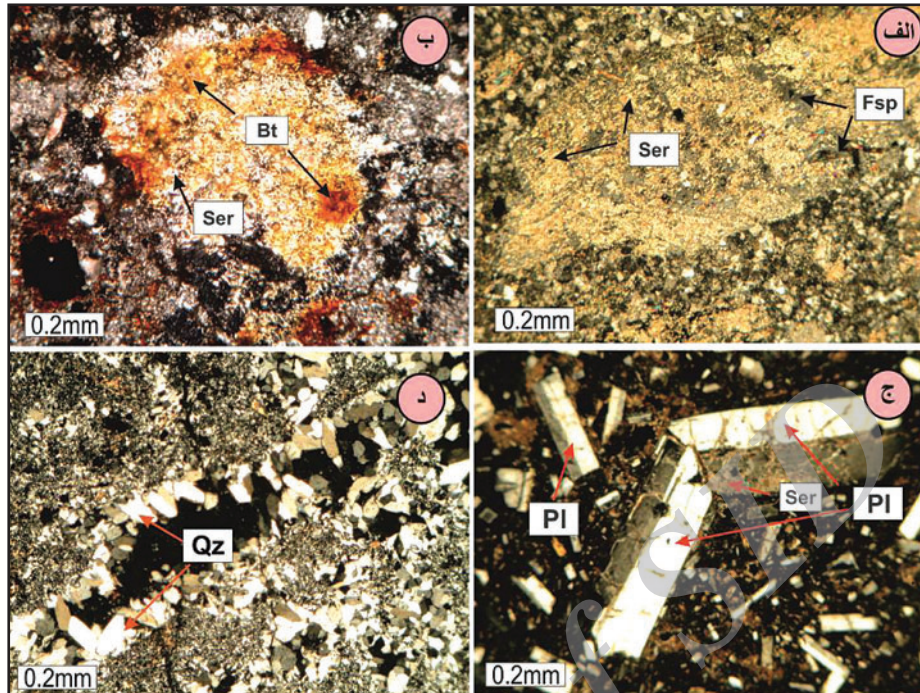
شکل ۹- مؤلفه دوم. تحلیل مؤلفه اصلی از باندهای ۱، ۳، ۵ و ۶ برای آشکارسازی ایلیت.



شکل ۱۲- استخراج دگرسانی‌های فیلیک- آرژیلیک متوسط و پیشرفته و اکسیدهای آهن از تصویر MNF با استفاده از الگوریتم SAM.



شکل ۱۳- مقایسه منحنی استاندارد USGS (کتابخانه نرم افزار ENVI 4.8)، با نمودار این کانی ها در منطقه مورد مطالعه. الف) برای کانی های شاخص پهنه فیلک؛ ب) برای پهنه آرژلیک متوسط؛ ج) برای پهنه آرژلیک پیشرفته؛ د) برای اکسید آهن.



شکل ۱۴- الف) نمای کلی از کوه ساری‌گونای (دید به سوی شمال)؛ ب) رگه‌های گوتیتی؛ ج) دگرسانی فلیک و آرژلیک که با لیمونیتی شدن نیز همراه است؛ د) دگرسانی سیلیسی.



شکل ۱۵- الف، ب و ج به ترتیب) تبدیل فلدسپار، بیوتیت و پلاژیوکلاز به سریسیت (دگرسانی فلیک)؛ د) رگه‌های سیلیسی (دگرسانی سیلیسی). (Whitney & Evans, 2010). Bt: Biotite, Fps: Feldspar, Pl: Plagioclas, Qz: Quartz, Ser: Sericite.

جدول ۱- باندهای مورد استفاده توسط کروستا.

کانی‌های دگرسانی				
باندهای ASTER	آلونیت	ایلیت	کانولینیت + اسمکتیت	کانولینیت
	۱	۱	۱	۱
۳	۳	۳	۴	۴
۵	۵	۵	۶	۶
۷	۶	۶	۹	۷

جدول ۲- نتایج روش کروستا برای آشکارسازی کانولینیت.

مقادیر ویژه	باند ۱	باند ۴	باند ۶	باند ۷
مؤلفه اول	-۰/۴۷۹۲۹۳	۰/۶۶۳۱۷۷	-۰/۴۱۹۵۱۷	-۰/۳۹۳۰۴۰
مؤلفه دوم	-۰/۸۷۷۰۰۰	۰/۳۴۳۹۸۷	۰/۲۲۵۳۴۶	۰/۲۴۸۵۲۲
مؤلفه سوم	۰/۰۲۳۹۹۷	۰/۶۶۴۶۶۴	۰/۵۴۵۱۳۱	۰/۵۱۰۳۷۱
مؤلفه چهارم	۰/۰۲۳۹۵۱	-۰/۰۰۹۵۶۴	-۰/۶۸۹۹۶۹	۰/۷۲۳۳۸۰

جدول ۳- نتایج روش کروستا برای آشکارسازی ایلیت.

مقادیر ویژه	باند ۱	باند ۳	باند ۵	باند ۶
مؤلفه اول	-۰/۵۰۶۸۱۷	-۰/۶۸۸۶۱۴	-۰/۳۷۴۹۱۵	-۰/۳۵۸۳۱۰
مؤلفه دوم	-۰/۲۹۲۴۴۲	-۰/۴۲۸۴۸۶	۰/۶۲۹۳۳۳	۰/۵۷۸۶۳۴
مؤلفه سوم	-۰/۸۱۰۹۰۸	۰/۵۸۴۷۸۹	۰/۰۰۱۸۸۹	۰/۰۲۱۱۵۶
مؤلفه چهارم	۰/۰۰۶۵۲۰	-۰/۰۱۵۲۵۵	-۰/۶۸۰۷۱۷	۰/۷۳۲۳۵۸

جدول ۴- باندهای انتخاب شده برای تفکیک پهنه‌های دگرسانی با استفاده

از DPCA توسط خالقی و رنجبر.

پهنه پرویلینیتیک	پهنه آرژیلیک	پهنه فیلیک
باند ۷	باند ۴	باند ۴
باند ۸	باند ۵	باند ۶
باند ۹	باند ۷	باند ۷

جدول ۵- ماتریس مقادیر ویژه برای پهنه فیلیک

	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم
باند ۴	۰/۶۰۲۱۹۰	۰/۵۷۲۱۹۷	۰/۵۵۶۷۳۹
باند ۶	۰/۷۸۳۷۱۹	-۰/۲۹۰۷۸۱	-۰/۵۴۸۸۴۶
باند ۷	۰/۱۵۲۱۵۸	۰/۷۶۶۸۳۶	۰/۶۲۳۵۴۷
مقادیر ویژه	۰/۱۲۸۷۹۲	۰/۰۰۴۴۸۸	۰/۰۰۱۸۱۴

جدول ۶- ماتریس مقادیر ویژه برای پهنه آرژیلیک.

	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم
باند ۴	۰/۶۱۴۱۵۶	۰/۵۴۸۳۳۳	۰/۵۶۷۵۷۶
باند ۵	۰/۷۷۲۲۴۲	-۰/۲۶۹۳۳۵	-۰/۵۷۵۴۱۴
باند ۷	۰/۱۶۲۶۵۱	-۰/۷۹۱۷۰۰	۰/۵۸۸۵۵۹
مقادیر ویژه	۰/۱۲۴۰۹۰	۰/۰۰۴۴۵۶	۰/۰۰۱۵۲۱

جدول ۷- مقادیر زوایای SAM برای آشکارسازی کانی‌ها در رده‌های مورد مطالعه.

کلاس‌ها	کانی‌ها	SAM
کلاس ۱ (دگرسانی فیلیک)	ایلیت، مسکوویت، سرسیت	۰/۱۴۰
کلاس ۲ (آرژیلیک متوسط)	کانولینیت، مونت مولرینیت	۰/۱۵۱
کلاس ۳ (آرژیلیک پیشرفته) یا آلونیتی	آلونیت	۰/۱۴۵
کلاس ۴ (اکسید آهن)	گوتیت، ژاروسیت	۰/۲۵۸

جدول ۸- نتایج تجزیه‌های پراش پرتو ایکس.

شماره نمونه	کانی‌ها
DK 1	کوارتز، ایلیت، سرسیت، کانولینیت، مونت‌موریلونیت
DK 2	کوارتز، مسکوویت
DK 3	کوارتز، ایلیت، نانترونیت (مونت‌موریلونیت آهن دار)، مونت‌موریلونیت
DK 4	کوارتز، ایلیت، مسکوویت
DK 5	کوارتز، آلونیت، ژاروسیت
DK 6	گویت

کتابنگاری

- تیموری آسفجی، م.، ۱۳۸۸- تهیه نقشه پتانسیل معدنی ذخایر مس پورفیری با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی شهر بابک- دهج، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- دادفر، ث.، ۱۳۹۰- بررسی دورسنجی کانسارهای آهن شمال باختر همدان و سنگ‌شناسی آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، ۱۵۹ص.
- دهجو، م.، نوروزی، غ. و کیخای حسین پور، م.، ۱۳۹۲- شناسایی زون‌های دگرسانی مرتبط با ذخایر مس پورفیری با استفاده از روش واگرایی اطلاعات طیفی در محدوده روستای تقاب- شمال باختری بیرجند، پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، ۳۷۳-۳۷۷.
- راستاد، ا.، نیرومند، ش.، امامی، م. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۷۹- خاستگاه کانسار آنتیموان، آرسنیک و طلا در مجموعه ولکانوپولوتونیک داشکسن (خاور قروه، استان کردستان)، مجله علوم زمین، سال نهم، ۲- ۹.
- فراهانی، م.، احمدی، ا.، و رنجبر، ح.، ۱۳۸۵- مقایسه تصاویر سنجنده‌های ASTER و ETM+، برای به نقشه در آوردن مناطق دگرسان شده، مطالعه موردی منطقه کدر استان کرمان، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۵۶۳-۵۵۷.
- عباس زاده، م. و هزارخانی، ا.، ۱۳۸۹- نقشه‌برداری دگرسانی‌های گرمایی با استفاده از تصاویر ASTER در منطقه رابر، کرمان، مجله علوم زمین، ۲۰، ۷۸، ۱۲۳-۱۲۸.
- المیران، ح.، ۱۳۸۱- اصول و مبانی سنجش از دور و تعبیر و تفسیر تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، ترجمه کتاب Remote Sensing and Image Interpretation، نوشته لیلساند و کی فر.، چاپ دوم، سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ۳۵۰ص.

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, V. 6, pp. 763-768.
- Azizi, H., Tarverdi, M. A. & Akbarpour, A., 2010- Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanzan, northern Iran, Advances in Space Research, V. 46, pp. 99-109.
- Crosta, A. P., Moore, J. M., 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, pp. 1173-1187.
- ENVI 4.8, help.
- Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Mizuhiko, S., Ueda, K. & Mauger, A. J., 2005- Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona Province of Australia, Remote Sensing of Environment, V. 99(1), pp.159-172.
- Khaleghi, M. & Ranjbar, H., 2011- Alteration Mapping for Exploration of Porphyry Copper Mineralization in the Sarduiyeh area, Kerman Province, Iran, using ASTER SWIR Data, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, V. 5(8), pp. 61-69.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, H. K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J. & Goetz, A. F. H., 1993- The Spectral Image Processing System (SIPS)- interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data, Remote Sening.of Environment. V., 44, pp. 145-163.
- Ninomiya, Y., 2003- A stabilized vegetation index and several mineralogic indices defined for ASTER VNIR and SWIR data, Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'03, V. 3, pp. 1552-1554
- Richards, J. P., 2006- Geology of the Sari Gunay Epithermal Gold Deposit, Economic Geology, V. 101, pp. 1455-1496.
- Rousskov, K., Popov, K., Stoykov, S. & Yamaguchi, Y., 2005- Some applications of the remote sensing in geology by using of aster image. Scientific Conference Space Ecology Safety, pp. 167-173.
- Soe, M., Aung Kyaw, T. & Takashima, I., 2005- Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from ASTER and lansat images of Tanintharyi Coastal Area Myanmar, Akita University, V. 26, pp. 21-28.
- Tommaso, I. & Rubinstein, N., 2007- Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infernillo porphyry deposit, Argentina. Ore Geology Reviews, V., 32, pp. 275-290.
- Whitney, D. L. & Evans, B. W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals, American Mineralogist, V. 95, pp. 185-187.