بررسی دگرسانی‌های کانسار پلی‌متال پس‌قلعه (برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران) با استفاده از شواهد دورسنجی

نازنین نمازی[۱]، محمدرضا جعفری[۲]*، علیرضا جعفری‌راد[۳] و احمد خاکزاد[۴]

[۱]دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
[۲]استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
[۳]استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
[۴]استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۵

چکیده

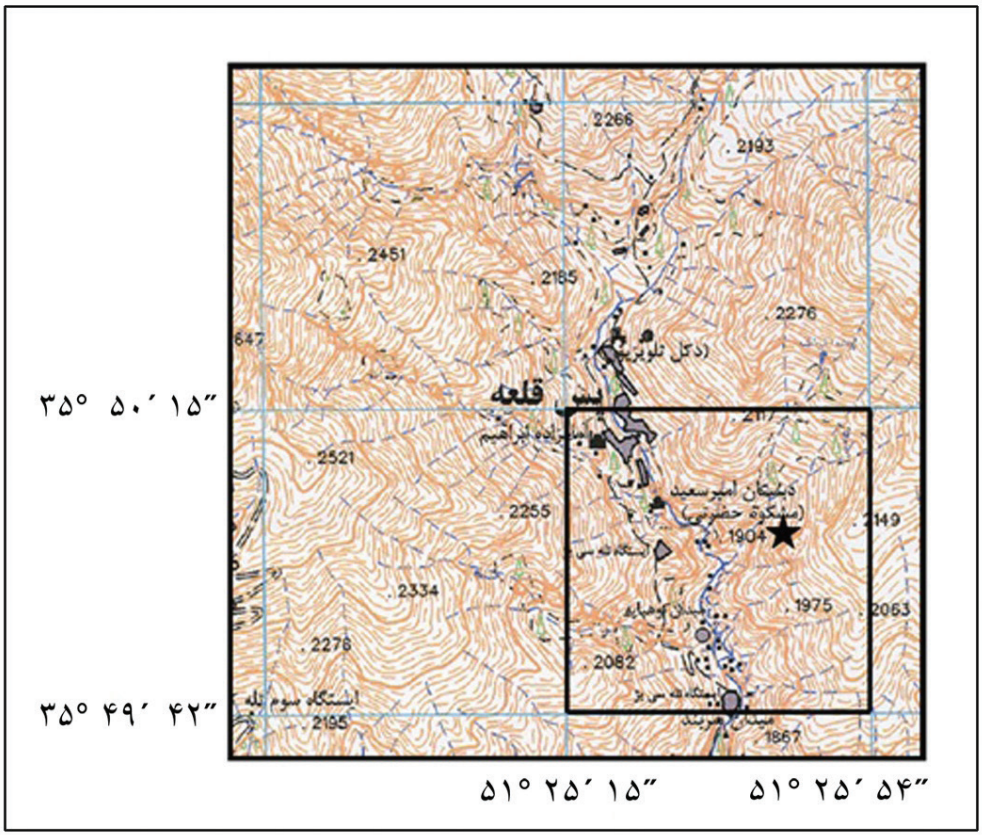
منطقه مورد مطالعه در شمال شهر تهران قرار دارد و بخشی از رشته‌کوه البرز مرکزی محسوب می‌شود. کانسار پس‌قلعه در بین مختصات ″۱۵ ′۲۵ °۵۱ تا ″۵۴ ′۲۵ °۵۱ طول جغرافیایی خاوری و ″۴۲ ′۴۹ °۳۵ تا ″۱۵ ′۵۰ °۳۵ عرض جغرافیایی شمالی در شمال تهران، در برگه زمین‌شناسی با مقیاس یکصد هزار تهران و در خاور روستای پس‌قلعه قرار گرفته است. توده‌های نفوذی موجود در این منطقه با سن بعد از ائوسن در واحدهای ولکانیکی و پیروکلاستیکی ائوسن نفوذ کرده و سبب دگرسانی این واحدها شده‌اند. برای نقشه‌برداری کانی‌ها و اکتشاف الگوهای دگرسانی همراه با کانی‌سازی پلی‌متال در منطقه فلززایی پس‌قلعه، چهار سین ماهواره ASTER و ETM مورد پردازش طیفی و تفسیر قرار گرفتند. داده‌های دورسنجی، منجر به بارزسازی کانی‌های کائولینیت و مونت‌موریلونیت (شاخص دگرسانی آرژیلیک)، کلریت، اپیدوت و کلسیت (شاخص دگرسانی پروپیلیتیک)، مسکوویت (شاخص دگرسانی سریسیت) و گوسان در محدوده مورد مطالعه شد. کانی‌سازی عمده در منطقه در توف‌های اسیدی دگرسان شده و به‌صورت پراکنده است. سنگ‌شناسی غالب این منطقه شامل سنگ‌های آذرآواری سازند کرج با سن ائوسن است. کانی‌های سولفوری مشاهده شده پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن هستند. در کل منطقه، پیریت گسترش فراوانی دارد ولی کانه‌زایی سرب، روی، مس، طلا و نقره که روند آنها به موازات لایه‌بندی عمومی طبقات توف سیلیسی دگرسان شده- فلدسپاری- پیریتی است به‌صورت ناچیز مشاهده می‌شود. پیریت به‌صورت همزاد در میان توف‌ها تشکیل شده است. توف‌ها چه در مرحله تشکیل و چه در مرحله دیاژنز (درون‌زایش)، فرایند دگرسانی سریسیتی، کائولینیتی و یا کلریتی را تحمل کرده‌اند. از نظر ساختمانی، زون دگرسان شده کانی‌ساز پس‌قلعه به‌صورت عدسی و لایه‌های صفحه‌ای شکل بین واحدهای سنگی داسیت- ریوداسیت شکل گرفته‌اند. بر اساس مطالعه داده‌های دورسنجی، حضور دگرسانی‌های سریسیتی، آرژیلیک و پروپیلیتیک (حضور کلریت و اپیدوت) در منطقه به اثبات رسیده است؛ در نتیجه در کنار هم قرار دادن نحوه قرارگیری این دگرسانی‌ها نسبت به هم، می‌تواند تداعی‌کننده الگوی دگرسانی کانسارهای ماسیوسولفاید نوع کروکو باشد.

کلیدواژه ها: پس‌قلعه، تهران، دورسنجی، سنجنده ASTER و ETM، دگرسانی، پروپیلیتیک، آرژیلیک، کروکو.

***نویسنده مسئول:** محمدرضا جعفری
E-mail: Mr.jafari_1348@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

از دیرباز روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری داده‌ها (به خصوص داده‌های مکانمند) وجود داشته است. سنجش از دور از زمره روش‌های جمع‌آوری داده محسوب می‌شود که در آنها تماس مستقیم فیزیکی با اشیا مورد اندازه‌گیری در حداقل ممکن نگه داشته می‌شود. اصل محوری در سنجش از دور این است که پدیده‌های زمینی از ویژگی‌های طیفی منحصر به فردی برخوردار است که می‌توان با استناد به این ویژگی‌ها به شناسایی و مطالعه و تفکیک آنها دست یافت. در سنجش از دور جمع‌آوری داده‌ها بر عهده سنجنده است (فاطمی و رضائی، ۱۳۸۹). این فناوری می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص مطالعات ساختاری از جمله استخراج خطواره‌ها، شناسایی زون‌های دگرسانی، پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و... در اختیار قرار دهد (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). سنجنده استر محصول مشترک آمریکا و ژاپن است که بر روی ماهواره ترا قرار دارد. این سنجنده نسبت به سنجنده‌های چند طیفی قدیمی‌تر، از توان تفکیک طیفی بالاتری برخوردار بوده و دارای توانایی بهتری برای تشخیص و شناسایی دگرسانی‌های گرمایی و تمایز واحدهای سنگ‌شناسی است (Hellman and Ramsey, 2004). مطالعه تصاویر ماهواره‌ای به منظور تشخیص و تفکیک نواحی دگرسان شده، تشخیص و ترسیم شکستگی‌ها و گسل‌ها به منظور بررسی وضعیت ساختاری منطقه و تعیین نواحی امیدبخش به وسیله تلفیق نقشه زمین‌شناسی و داده‌های ماهواره‌ای صورت پذیرفت. روش‌های پیشرفته پردازش داده‌های ماهواره‌ای بر این حقیقت استوار است که تصاویر سنجش از دور در باندهای طیفی متعدد و پهنای باند کوچک تصویربرداری شده‌اند و می‌توان طیف پیکسل را استخراج کرد. این طیف سپس با طیف مواد شناخته شده مانند: کانی، سنگ، آب، خاک و... مقایسه می‌شود و پیکسل‌هایی دارای شباهت با این طیف‌های ساخته شده مشخص می‌شوند. با وجود اینکه این روش‌ها بیشتر مختص ابر طیفی هستند ولی در بسیاری از موارد می‌توان در تحلیل تصاویر چند طیفی مانند تصاویر استر نیز از آنها استفاده کرد (Qui et al., 2006). محدوده مورد مطالعه در شمال استان تهران قرار دارد و بخشی از رشته کوه البرز مرکزی محسوب می‌شود. کانسار پس‌قلعه در بین مختصات ″۱۵ ′۲۵ °۵۱ تا ″۵۴ ′۲۵ °۵۱ طول جغرافیایی خاوری و ″۴۲ ′۴۹ °۳۵ تا ″۱۵ ′۵۰ °۳۵ عرض جغرافیایی شمالی در شمال تهران (در برگه زمین‌شناسی با مقیاس یکصد هزار تهران) و در خاور روستای پس‌قلعه قرار گرفته است. منطقه معدنی پس‌قلعه، مساحتی بالغ بر ۶ کیلومتر مربع دارد. این روستا در ۴ کیلومتری میدان تجریش و در ۲ کیلومتری شمال دربند در دامنه کوه واقع شده و به دلیل قرار گرفتن در پشت یک قلعه، به نام پس‌قلعه معروف است. برای رفتن به پس‌قلعه از دربند، دو راه وجود دارد: یکی از راه‌های دسترسی به محدوده اندیس معدنی پس‌قلعه از میدان سربند شمیران به طرف کوه (شمال) از طریق جاده خاکی پیاده‌رو است. دسترسی به معدن از ده پس‌قلعه از طریق کوره‌راهی مقدور است. این راه از آبادی به طرف جنوب خاور جدا می‌شود و فاصله آن تا معدن ۷۰۰ متر است که در واقع همان راهی است که از کنار رودخانه دربند عبور می‌کند. راه دیگر دسترسی به محل أثر معدنی، از طریق راه پیاده‌رو کف رودخانه به طرف دهکده پس‌قلعه بوده و رسیدن به این روستا از راه کوهستانی که از دربند می‌گذرد میسر است. در این مسیر از قهوه‌خانه گلایل به دره مجاور قهوه‌خانه (دره سوگ) راه تند شیبی وجود دارد که می‌توان از این راه در کمتر از ۲۰۰ متری قهوه‌خانه به دگرسانی پس‌قلعه و محل أثر معدنی رسید (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه کانسار پلی‌متال پس‌قلعه که با علامت ستاره مشخص شده است (برگرفته از متولی، ۱۳۸۳).

۲- زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در محدوده مختصات ″۱۵ ′۲۵ °۵۱ تا ۵۴ ′۲۵ °۵۱ طول جغرافیایی خاوری و ″۴۲ ′۴۹ °۳۵ تا ″۱۵ ′۵۰ °۳۵ عرض جغرافیایی شمالی بین گسل‌های معکوس آهار و امامزاده داوود و در شمال شهر تهران واقع شده و بخشی از رشته‌کوه البرز مرکزی محسوب می‌شود. سنگ‌های رسوبی- آتشفشانی ائوسن پیشین تا میانی (سازند کرج) اصلی‌ترین واحد زمین‌شناسی منطقه را تشکیل می‌دهند که عمدتاً شامل توف‌های سبز، توف‌سیلیسی، شیل، گدازه‌های ریوداسیتی و آندزیتی- بازالتی همراه با دایک‌ها و سیل‌های متعدد است.

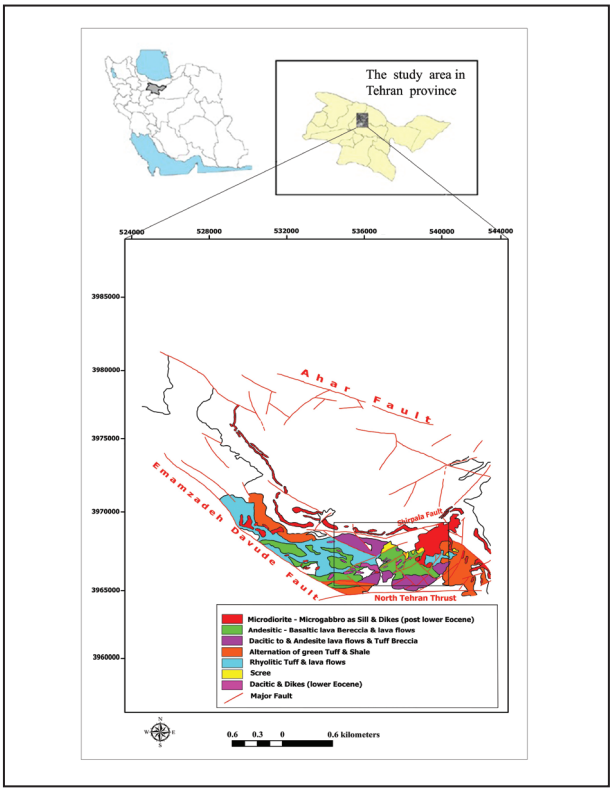
در این ناحیه جایگزینی توده‌های آذرین متعدد در توف‌های سبز سازند کرج، باعث تغییراتی از جمله دگرسانی توف‌ها شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در محدوده مورد مطالعه کانی‌زایی فلزی به‌طور جزیی صورت گرفته است و آثاری از کانی‌سازی طلا، نقره، مس، سرب و روی در حوالی دربند و پس‌قلعه وجود دارد. در مسیر دره دربند بر أثر خروج محلول‌های هیدروترمال، سنگ‌ها دگرسان شده‌اند و کانی‌های پیریت، کالکوپیریت وکالکوسیت به وجود آمده است (امینی و امامی، ۱۳۷۲). در ناحیه پس‌قلعه توف‌های سیلیسی، کائولینیتی و سریسیتی شده حاوی پیریت در کنار گدازه‌های آندزیتی ضخیم برونزد دارند. در این منطقه توده‌های نفوذی کوچک و دایک‌های زیادی مشاهده می‌شوند که فاز هیدروترمال ناشی از آنها در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه أثر کرده و سبب دگرسانی و تشکیل پیریت در توف‌ها شده است (بلوریان، ۱۳۷۱). عوامل زمین‌ساختی به خصوص شکستگی‌ها و گسستگی‌ها چه در جابه‌جایی شیمیایی مواد معدنی و چه در جابه‌جایی فیزیکی این مواد پس از تشکیل آنها، نقش بسزایی پس از عامل چینه‌شناسی سنگی دارند. در محدوده مورد مطالعه روند عمومی لایه‌ها تقریباً خاوری- باختری (E- W) تا خاور شمال خاوری- باختر جنوب باختری (ENE- WSW) بوده و شیب عمومی به طرف جنوب است. عملکرد نیروهای زمین‌ساختی در این محدوده به حدی است که کلیه واحدهای سنگ‌شناختی را متحمل خردشدگی و گسل‌خوردگی کرده است. لذا گسل‌های فراوانی را در میان طبقات سنگی می توان مشاهده کرد. سطوح آیینه گسل در بسیاری از مناطق محدوده مورد نظر وجود دارد که حاکی از حرکت بلوک‌های سنگی در امتداد سیستم‌های گسل و شکستگی در بسیاری از مقاطع است و قطعات بر أثر خردشدگی و گسل‌خوردگی شدید به‌صورت زاویه‌دار ریز و درشت در مجاورت هم قرار دارند. در بعضی قسمت‌ها که خردشدگی در امتداد گسل‌ها وجود دارد و سنگ برشی شده بر محلول‌های دگرسان‌کننده تأثیر گذاشته، سبب آرژیلیتی شدن و اکسایش سطحی به درجات متفاوت شده است. همچنین در أثر تأثیر نیروهای زمین‌ساختی، درزه‌ها و شکستگی‌های فراوانی در جهات مختلف درون سنگ‌های این ناحیه به وجود آمده است که در ناحیه دگرسانی نقش بسزایی در تمرکز ماده معدنی داشته‌اند. مثلاً پیریت با رگه و رگچه‌های فراوان در درون سنگ‌های خرد شده وگسل خورده ناحیه دگرسان شده وجود دارد (شکل ۲).

۳- بحث

۳- ۱. بررسی‌های دورسنجی

دورسنجی عبارت است از مطالعه و شناسایی و ثبت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پدیده‌های سطح زمین و جوی و تا حدی عمقی (۸۰ cm) از طریق ثبت بازتاب‌های طیفی پدیده‌های زمینی در طول موج‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی که از آن می‌توان به‌صورت رقومی استفاده کرد. داده‌های دورسنجی حاصل اعجاز فناوری و نسل جدیدی از داده‌های علوم زمین هستند که با طراحی هنرمندانه قادرند از تشخیص انواع کانی‌های سطحی تا تهیه نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس‌های مختلف را به انجام برسانند و همراهی آنها با داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در کنار مفاهیم زمین‌شناسی و مدل‌های کانی‌سازی در سامانه اطلاعات جغرافیایی، اکتشاف مواد معدنی در هر مقیاسی را تسهیل، تکمیل و ممکن می‌کند. برای نقشه‌برداری سیستم‌های گرمابی و تفکیک زون‌های دگرسانی، کانی‌سازی احتمالی در منطقه پس‌قلعه، پردازش طیفی و تفسیر چشمی داده‌های ماهواره‌ای ASTER و ETM در دستور کار قرار گرفت.

پس از انجام مراحل پیش‌پردازش (۱- تصحیح هندسی، ۲- تصحیحات رادیومتری (هر دو تصحیح توسط نرم افزار ژئومتیکا انجام گرفت))، پردازش داده‌های ماهواره‌ای با روش‌های Ls- Fit (Least Squars Fitting Technique)، MF (Matched Filtering) و SAM (Spectral Angle Mapper)، با نرم‌افزار ENVI انجام و مناطق دگرسانی مختلف مشخص شد. در این محدوده با استفاده از داده‌های ASTER و ETM مناطق دارای دگرسانی و خطواره‌های منطقه نیز شناسایی شدند که می‌توان با تلفیق این داده‌ها و داده‌های ژئوشیمی و مطالعات صحرایی مناطق امیدبخش را معرفی کرد.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت محدوده مورد مطالعه به همراه واحدهای سنگ‌شناختی.

۳- ۲. اهداف و روش‌ها

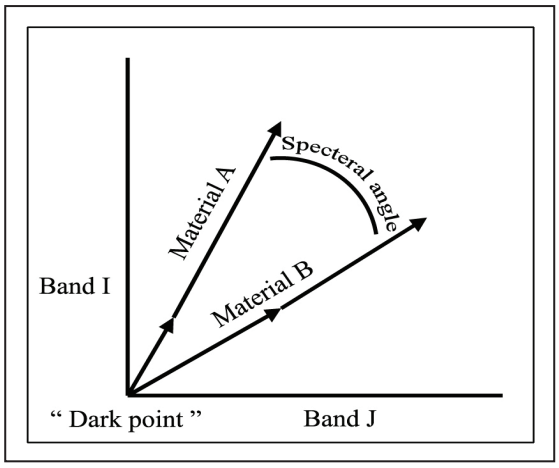
هدف از مطالعات دورسنجی، شناسایی مناطق مستعد و متمرکز کانی‌های اقتصادی است که برای این منظور دگرسانی‌های پروپیلیتیک، آرژیلیک و سریسیتی مورد مطالعه قرار گرفت و خطواره‌های کنترل کننده تمرکز کانه‌زایی‌ها نیز استخراج شد که با دخالت دادن این دسته عوارض، می‌توان مناطق دارای تمرکز کانه‌زایی را مشخص کرد. جهت مطالعات دورسنجی در منطقه مورد مطالعه از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران استفاده شده است.

- روش Ls- Fit (Least Squars Fitting Technique): روش Ls- Fit یا روش تطبیق کمترین مربعات یکی از روش‌های آنالیز طیفی جهت شناسایی دگرسانی‌هاست. در این روش خطی در صورت وجود فرکانس‌های بالا (جذب) و فرکانس‌های پایین (بازتاب) که شکل‌دهنده روند هستند در یک رگرسیون، Fit کردن یک چند جمله‌ای به آن و کسر کردن نتیجه از کل روند، تنها فرکانس‌های بالا (جذب) باقی می‌مانند و تصویری تولید می‌شود که تنها جذب دارد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۳).

- روش فیلترگذاری انطباقی MF (Matched Filtering): در این روش با استفاده از End Memberهای تعریف شده توسط کاربر، پاسخ End Memberهای معلوم افزایش می‌یابد و مانع پاسخ زمینه می‌شود. این روش وسیله‌ای سریع برای شناسایی مواد خاص بر اساس تطبیق End Memberهای منحنی بازتاب طیفی با تصویر است (Bedini, 2012).

- روش SAM (Spectral Angle Mapper): روش SAM یا نقشه‌برداری زاویه طیفی، یک روش رده‌بندی طیفی است که در طی آن شباهت بین طیف مرجع با طیف پیکسل به وسیله محاسبه زاویه بین طیف‌ها تعیین می‌شود. این طیف‌ها به عنوان بردارهایی در فضایی برابر با تعداد باندها در نظر گرفته می‌شوند (Kruse et al., 1993). خروجی این محاسبات، یک تصویر رده‌بندی شده و تصاویر Rule به تعداد عضوهای انتهایی (End Member) است. پیکسل‌های دارای زاویه طیفی کوچک‌تر، در تصاویر Rule تیره‌تر دیده می‌شوند و بیشترین جورشدگی را با طیف مرجع نشان می‌دهند. پس از انجام پردازش SAM بر روی داده‌ها، آستانه برش چگالی انجام گرفت تا مناطق دارای بیشترین انطباق با طیف مرجع مشخص شوند. پردازش SAM بر روی داده‌ها با استفاده از طیف تصویر، زوایای کمتری را نشان می‌دهد و سازگاری بیشتری با مناطق دگرسانی دارد. طرح توزیع ارزش‌های پیکسل از دو باند یک تصویر، طیف پیکسل مورد نظر و طیف هدف هر دو به صورت نقاطی رسم خواهند شد (شکل ۳). اگر یک بردار از مبدأ به هر نقطه رسم شود، زاویه بین دو بردار، زاویه طیفی بین دو نقطه را تشکیل خواهد داد. در روش SAM زاویه طیفی مابین طیف هر پیکسل و هر کدام از طیف‌های هدف طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود. هر قدر زاویه طیفی کوچک‌تر باشد، شباهت طیف پیکسل مورد نظر و هدف بیشتر خواهد بود. زاویه طیفی محاسبه شده با استفاده از یک نمودار، پراکندگی دوبعدی را توصیف می‌کند اما محاسبه زاویه طیفی واقعی بر اساس کلیه باندهای تصویر است.

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} ti\ ri}{(\sum_{i=1}^{nb} ti^2)^{1/2}\ (\sum_{i=1}^{nb} ri^2)^{1/2}}\right) \quad (۱)$$



شکل ۳- نمودار مفهوم Spectral Angle Mapper.

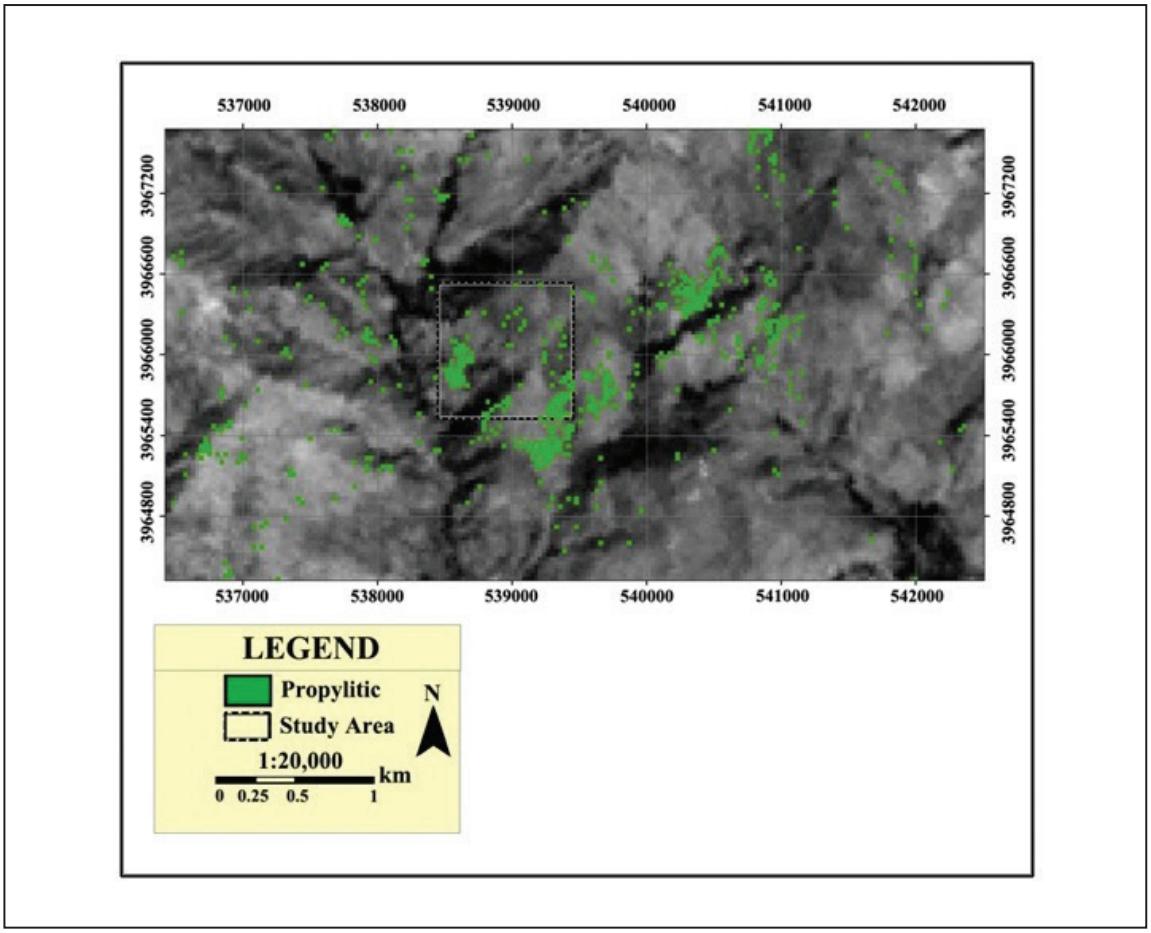
۳- ۳. نقشه‌برداری کانی‌های دگرسانی

نتایج با ارزشی که از به کارگیری اطلاعات سنجش از دور و تلفیق آنها با ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمیایی در سال‌های اخیر به دست آمده است، اهمیت استفاده از این گونه روش‌ها را در شناسایی و معرفی مناطق مستعد به لحاظ تشکیل ذخایر غیرفلزی و فلزی را در کمترین زمان ممکن بیش از پیش آشکار ساخته است. همه دگرسانی‌ها با کانه‌سازی همراه نیستند ولی حضور سنگ‌های دگرسان، نشانه با ارزش کانی‌سازی احتمالی است. گاهی نیز ممکن است دگرسانی همراه کانی‌سازی باشد، ولی به دلیل ابعاد کوچک آن در مقایسه با اندازه پیکسل‌های تصویر (کانی‌سازی‌های رگه‌ای)، نتوان حضور کانی‌های دگرسانی همراه آنها را نقشه‌برداری کرد. واقعیت این است که داده‌های اکتشافی از هر نوع و دقتی که باشند نمی‌توانند جایگزین مشاهده مستقیم زمین‌شناسی شوند. کانی‌ها اساس هر نهشته معدنی را تشکیل می‌دهند و همراهی انواع خاصی از آنها به‌صورت دگرسانی گرمابی در سیستم‌های کانی‌سازی، معرف شرایط فیزیکی- شیمیایی محیط تشکیل است. نقشه‌برداری کانی‌ها، استخراج اطلاعات کمی درباره گسترش و توزیع کانی‌ها با روش‌های طیفی است و نقشه یک کانی به‌صورت نقشه احتمال حضور یک (یا چند) کانی هدف معرف دگرسانی تعریف می‌شود. بر اساس مدل‌های کانی‌سازی منطقه و تأکید بر کانی‌سازی پلی‌متال سرب، روی، مس، طلا و نقره، داده‌های بازتابی- تابشی ASTER و ETM برای استخراج الگوهای دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک، سریسیتی و اکسیدهای آهن با رویکرد هندسی- قطعی و انتخاب

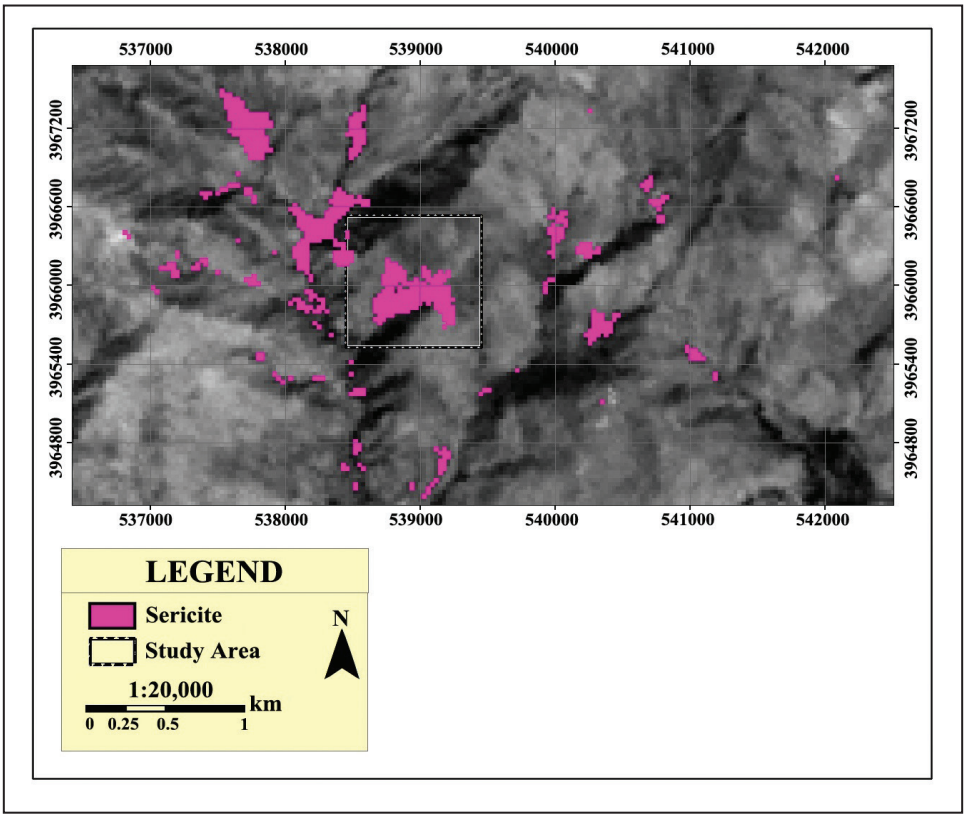
سرگروه‌های معرف کانی‌های هدف دگرسانی از درون تصویر و روش جدایش خطی طیفی در حالت جزیی و کامل مورد پردازش طیفی پیشرفته قرار گرفتند و هر مجموعه از کانی‌ها جداگانه نقشه‌برداری شد.

– **دگرسانی پروپیلیتیک:** دگرسانی پروپیلیتیک به مجموعه‌ای از دگرسانی‌های کلریتی، اپیدوتی، زوئیزیتی و آلبیتی اطلاق می‌شود. کانی‌های مهم زون پروپیلیتیک عبارتند از: اپیدوت، زوئیزیت، کلینوزوئیزیت، کلریت، کلسیت، آلبیت، پیریت و کربنات همراه با مقداری سریسیت و اکسیدهای آهن و به مقدار کمتر زئولیت و مونت‌موریلونیت است. کانی سولفیدی این زون، پیریت بوده و به‌طور کلی نسبت سولفور به فلز در این زون پایین است. دگرسانی پروپیلیتیک در مقایسه با زون سریستیک و یا آرژیلیک شدت کمتری دارد. این دگرسانی در سنگ‌های کوارتزآندزیتی، آندزیتی، مونزونیت‌ها و گرانودیوریت‌های منطقه با سبز شدن رنگ عمومی سنگ‌ها در نمونه دستی و پیدایش رگه‌ها و رگچه‌های کربنات و دگرسان شدن فنوکریست‌های پلاژیوکلاز به اپیدوت مشخص می‌شود. عواملی از قبیل ترکیب کانی‌شناسی سنگ، دما و ترکیب شیمیایی محلول، نوع کانی‌های زون پروپیلیتیک را کنترل می‌کنند. این دگرسانی با حضور رگه و رگچه‌های کلریت و اپیدوت و همچنین حضور این کانی‌ها در متن سنگ‌های آذرآواری گدازه‌ای مشخص می‌شود. رگه‌های کلریتی در این محدوده به رنگ سبز روشن متمایل به زرد هستند که مبین مقدار آهن بیشتر نسبت به منیزیم در این کانی است (کلریت غنی از آهن). وجود این کانی‌ها در متن سنگ‌های گدازه‌ای و یا آذرآواری به تبعیت از نوع سنگ‌شناسی و ترکیب گدازه کم و زیاد می‌شود. این دگرسانی گسترش زیادی در محدوده مورد مطالعه دارد (شکل ۴).

– **دگرسانی سریسیتی:** دگرسانی سریسیتی متداول‌ترین نوع دگرسانی در سنگ‌های غنی از آلومینیم در عمق‌های متوسط است. سریسیتی شدن معمولاً در فاز آخر کانی‌زایی با دگرسانی فلدسپار و میکاها تشکیل می‌شود و با تولید مقادیر زیادی کوارتز ثانویه همراه است. با اسیدی‌تر شدن محلول، سریسیت‌های تولیدی جای خود را به کائولن می‌دهند و در صورتی که این فرایند ادامه یابد، شستشوی شدید سنگ منجر به تولید کانی‌هایی چون آلونیت می‌شود. در صورت افزایش پتاسیم فلدسپار و بیوتیت ثانویه، زون سریسیتی به زون پتاسیک و در صورت افزایش توپاز، فلوریت و تورمالین به زون گرایزن و در صورت افزایش کانی‌های رسی به زون آرژیلیتی تبدیل می‌شود. در دگرسانی سریسیتی، کانی‌های سریسیت (مسکوویت- ایلیت)، کائولینیت ± کوارتز و نیز تورمالین غالب هستند. کانی‌های فرعی عبارتند از: کلسیت، آپاتیت و انیدریت. نقشه‌برداری دگرسانی سریسیتی با داده‌های ASTER منجر به استخراج کانی‌هایی چون مسکوویت، ایلیت- مونت‌موریلونیت و آلومینیم اسمکتیت می‌شود. این نوع دگرسانی نیز همانند دگرسانی پروپیلیتی بخش‌های وسیعی از سنگ‌های گدازه‌ای و آذرآواری محدوده مورد مطالعه را در بر گرفته است. مطالعات سنگ‌شناسی سنگ‌های گدازه‌ای و یا توف‌های اسیدی در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در سنگ‌های دگرسان شده به کانی‌هایی همچون سریسیت، پرهنیت و مسکوویت تبدیل شده‌اند و مقدار این جانشینی بستگی به درجه دگرسانی سنگ مادر دارد. به‌طوری که هر چه دگرسانی شدیدتر باشد، کانی‌های سنگ مادر نیز به مقدار بیشتری تجزیه می‌شوند، در اینجا باید گفت که مقدار دگرسانی سریسیتی در واحدهای توف اسیدی به مراتب بیشتر از سنگ‌های گدازه‌ای است (شکل ۵).

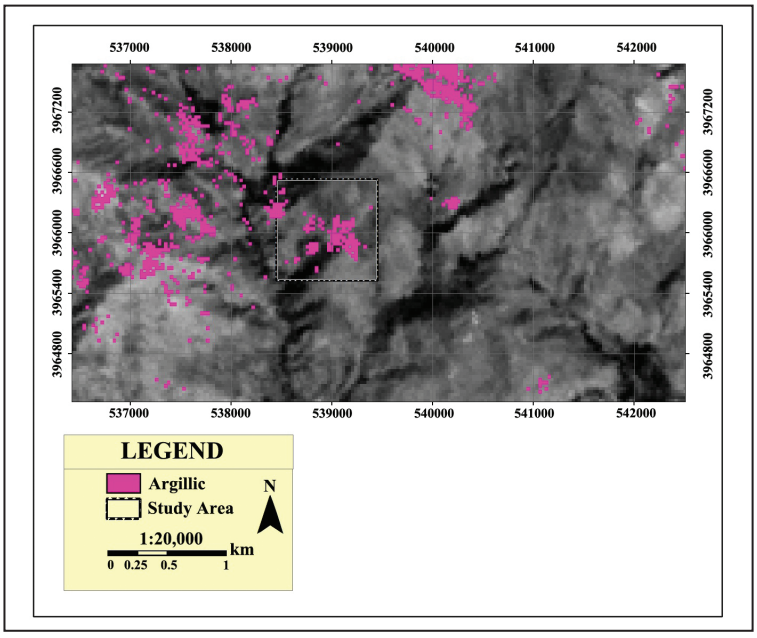


شکل ۴- موقعیت و فراوانی مناطق دارای دگرسانی پروپیلیتیک استخراج شده از داده‌های ASTER با استفاده از روش Ls- Fit در منطقه پس‌قلعه.



شکل ۵- موقعیت و فراوانی مناطق دارای دگرسانی سریسیتی استخراج شده از داده‌های ASTER با استفاده از روش SAM در منطقه پس‌قلعه.

– **دگرسانی آرژیلیک:** دگرسانی آرژیلیک وسیع ترین و متداول ترین نوع دگرسانی برای بسیاری از سیستم های گرمایی وکانی‌سازی است. داده های ASTER می‌تواند کانی‌های گروه کائولن را که معرف دگرسانی آرژیلیک است شناسایی و نقشه‌برداری کند. کانی های مهم زون آرژیلیک عبارتند از: دیکیت، کائولینیت، هالوزیت، آلوفان، مونت‌موریلونیت و مقدار جزیی سریسیت. فلدسپار ها عمدتاً به کانی‌های رسی دگرسان می‌شوند. بیوتیت به رنگ سبز تا قهوه‌ای یافت می‌شود. پلاژیوکلاز به‌طور کامل اما پتاسیم فلدسپار به مقدار جزیی دگرسان شده دیده می شود. در أثر این دگرسانی سیلیکات‌های آلومینیم‌دار مانند فلدسپارهای گدازه‌ای آتشفشانی و توف‌های اسیدی تجزیه و به کانی‌های رسی تبدیل می‌شوند. هوازدگی سطحی این طبقات توسط آب و اکسیژن و سایر فاکتورهای شیمیایی به جهت استعداد شیمیایی و فیزیکی آنها به خوبی صورت گرفته و در نتیجه باعث دگرسان شدن آنها شده است. اسید سولفوریک حاصل از تجزیه پیریت باعث دگرسانی فلدسپارهای سنگ از جمله فلدسپارهای پتاسیم‌دار سنگ مادر شده و آنها را به کائولن و سریسیت تبدیل کرده است (شکل ۶).



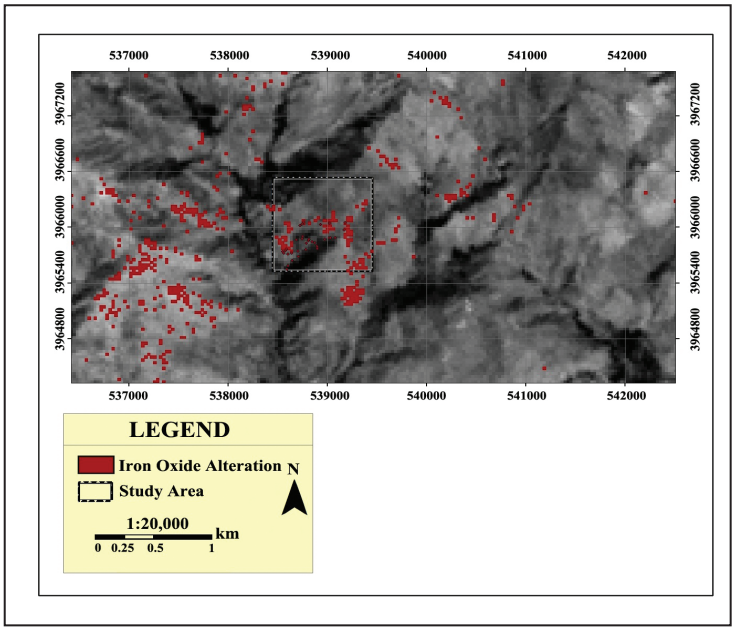
شکل ۶- موقعیت و فراوانی مناطق دارای دگرسانی آرژیلیکی استخراج شده از داده‌های ASTER با استفاده از روش Ls- Fit در منطقه پس‌قلعه.

– هوازدگی اکسیدهای آهن: اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن عمدتاً در أثر هوازدگی شکل می‌گیرند و طی آن کانی‌های اولیه منیتیت، پیریت و کالکوپیریت و غیره با آب و اکسیژن محیط واکنش می‌دهند و به کانی‌های ثانویه به آهن تبدیل می‌شوند. کانی‌های ثانویه تشکیل شده شامل هماتیت، گوتیت، لیمونیت، ژاروسیت و در محیط‌های کربناته سیدریت و آنکریت است. کانی‌های آهن‌دار در أثر فرایند الکترونیکی، در محدوده‌های طول موج کوتاه یعنی مرئی و نزدیک مادون قرمز از خود جذب نشان می‌دهند و با باندهای طول موج کوتاه ETM قابل نقشه‌برداری هستند (شکل ۷).

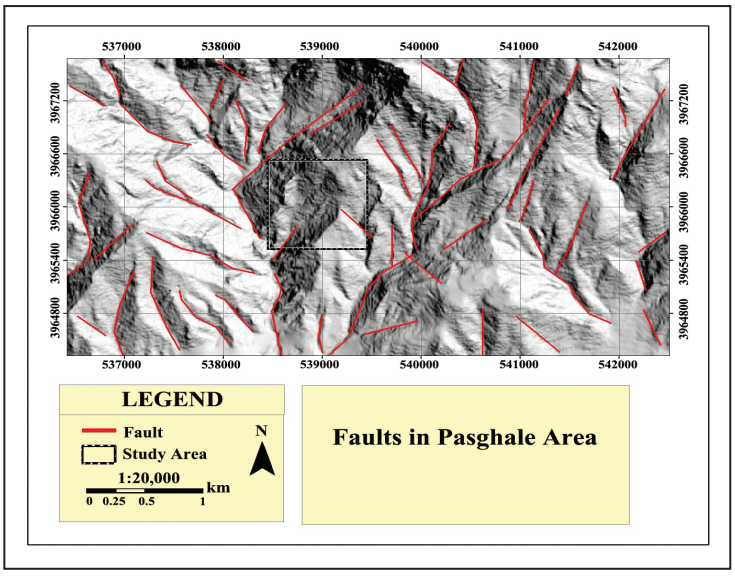
۳–۴. مطالعه و ترسیم خطواره‌ها

ساختارهای زمین‌ساختی از جمله گسل‌ها در تشکیل و اکتشاف ذخایر معدنی نقش مهمی دارند. وضعیت زمین‌ساختی منطقه یکی از مهم‌ترین و شاید اولین معیار برای پی‌جویی یک ماده معدنی و انتخاب مناطق مناسب جهت اکتشاف در مقیاس جهانی و کشوری است. بسیاری از نهشته‌های معدنی و کانه‌زایی‌های انجام شده و تمرکز این کانه‌زایی‌ها در ارتباط با زمین‌ساخت منطقه است. ساختارهای (خطواره‌ها، گسل‌ها، ساختارهای حلقوی و ...) منطقه نقش بسیار مؤثری در بالا آمدن ماگماهای کانه‌زا دارند و به عبارتی روند کانی‌سازی را تعیین می‌کنند. در واقع گسل‌ها، محل مناسبی برای جایگیری مواد معدنی به شمار می‌روند (قهرمانی‌پور و کریمی، ۱۳۸۹). پردازش تصاویر ماهواره‌ای از بهترین راه‌های مشاهده ساختارهااست. تجربه نشان داده که بسیاری از دگرسانی‌های مهم در محل تقاطع گسل‌ها و یا ساختارهای حلقوی رخ داده است. شناخت و ترسیم ساختارهای زمین‌ساختی در تصاویر ماهواره‌ای کمک قابل توجهی به اکتشاف پتانسیل‌های معدنی خواهد کرد (خادم پارسا و مسعودی، ۱۳۹۵). گسل‌های موجود در تصاویر ماهواره‌ای الزاماً در نقشه‌های زمین‌شناسی از روی عکس‌های هوایی سیاه و سفید به دست می‌آیند. در حالی که این گسل‌ها در عکس‌های ماهواره‌ای شامل چندین گسل مختلف است. در روش تفسیر و جدایش چشمی می‌توان از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ مربوط به منطقه به عنوان راهنما استفاده کرد. البته باید توجه داشت که این نقشه‌ها تنها می‌توانند در شناسایی بعضی از ساختارها راهنما باشند و از منطقه و ساختارهای آن یک دید کلی دهند و هیچ‌گاه نمی‌توان با اطمینان کامل و با استناد بر این نقشه‌ها ساختارها را جداسازی کرد.

برای شناسایی و تشخیص خطواره‌های منطقه، باندی انتخاب می‌شود که کمترین آثار اتمسفری را داشته باشد، معمولاً باندهای دارای بیشترین طول موج، کمترین تأثیرات را دارند. بنابراین از باند ۳ و ۹ تصاویر ASTER به دلیل رزولوشن مکانی بالا و کمترین تأثیر أتمسفری استفاده می‌شود. به این ترتیب خطواره‌های کوچک و بزرگ منطقه ترسیم شد. رسم ساختارهای هر منطقه در محدوده مطالعاتی، حرکتی بزرگ در جهت رسیدن به محدوده‌های کانی‌سازی است زیرا که بسیاری از ساختارهای زمین‌ساختی در جهت شناسایی و اکتشاف مواد معدنی و کانسارها کمک مؤثری می‌کنند (شکل ۸).

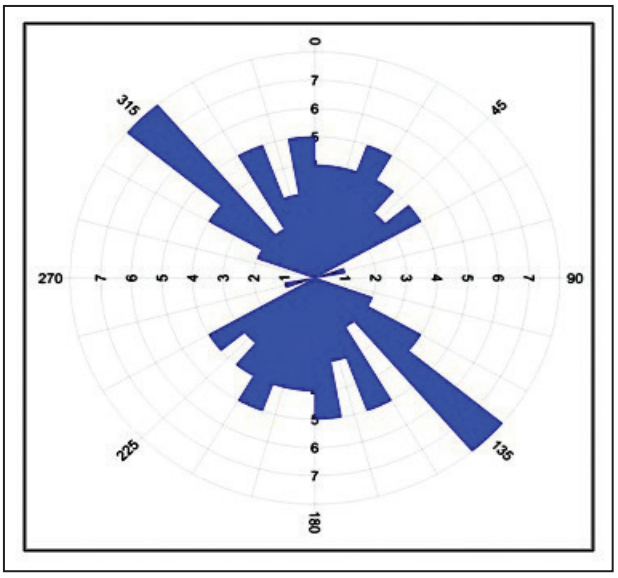


شکل ۷- موقعیت و فراوانی مناطق دارای دگرسانی اکسیدهای آهن استخراج شده از داده‌های ETM با استفاده از روش MF در منطقه پس‌قلعه.



شکل ۸- تصویر خطواره‌های منطقه.

دیاگرام گل‌سرخی حاصل از اندازه‌گیری درزه‌ها نشان می‌دهد که ماکزیمم روند محوری ساختارها و خطواره‌های موجود در منطقه به‌طور کلی شمال باختری- جنوب خاوری است (شکل ۹).

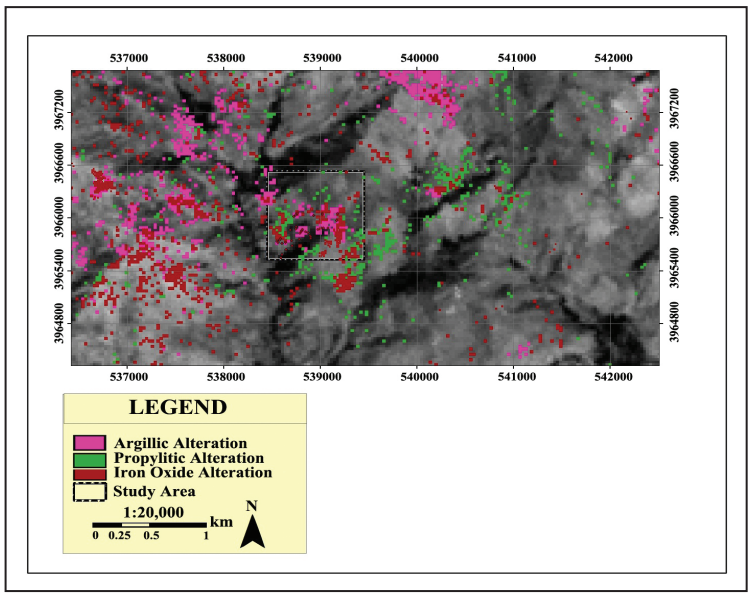


شکل ۹- تصویر دیاگرام گل‌سرخی.

۳-۵. نقشه دگرسانی نهایی منطقه

به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمابی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرسانی می‌گویند. عوامل کنترل‌کننده نوع تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی عبارتند از: ترکیب شیمیایی محلول گرمابی یا ماگمایی، دما، عمق، شرایط $LogFO_2$، $LogFS_2$، pH و Eh محلول، ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ دگرسان شده و گسترش و شدت دگرسانی به عوامل مختلفی از جمله حجم محلول‌های گرمابی یا ماگمایی، میزان ساختمان‌های اولیه و ثانویه مفید، واکنش‌پذیری سنگ‌ها، دما و فشار محلول بستگی دارد. دگرسانی‌ها کلیدی برای اکتشاف کانسارها و تعیین مناطق مستعد کانه‌زایی هستند، با تلفیق نتایج حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و نتایج مطالعات ژئوشیمی می‌توان نواحی امیدبخش را معرفی کرد. در گذشته، سنگ‌های دگرسان بر اساس ظاهرشان در باندهای مرئی تصاویر و یا طی عملیات زمینی اکتشاف می‌شدند. اما با ورود داده‌های طیفی، شناسایی، تشخیص و تفکیک انواع کانی‌ها و ترکیبات آنها تسهیل و بعضاً ممکن شده است. این داده‌ها قادرند کانی‌های دارای یون هیدروکسیل، سولفات‌ها، کانی‌های دارای فیلوسیلیکات‌ها، اکسیدهای آهن، کربنات‌ها و بسیاری دیگر از انواع سیلیکات‌ها را به خوبی نقشه‌برداری کنند و اطلاعات مفیدی درباره زون‌بندی مکانی، فراوانی نسبی، درجه تبلور، تغییرات در ترکیب و همراهی کانی‌ها به دست آورند.

واضح است که این اطلاعات با ارزش و گسترده کانی‌شناسی، نقشی کلیدی در دنبال کردن ردپای دگرسانی، کمی‌سازی سیستم‌های گرمابی و تفسیر کانی‌سازی بالقوه دارند و مکمل ایده‌آلی برای سایر روش‌های اکتشافی هستند. همان‌طور که در شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود، دگرسانی آرژیلیک در قسمت خاوری محدوده، دگرسانی پروپیلیتیک در قسمت باختری محدوده و دگرسانی اکسیدهای آهن در قسمت‌های خاوری- باختری محدوده مورد مطالعه بیشترین پراکندگی را دارند.



شکل ۱۰- نقشه دگرسانی نهایی منطقه مورد مطالعه.

۴- نتیجه‌گیری

کانسار پلی‌متال پس‌قلعه در شمال شهر تهران بین گسل‌های معکوس آهار و امامزاده داوود واقع شده است و بخشی از رشته‌کوه البرز مرکزی محسوب می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده در محدوده مورد مطالعه نتایج زیر حاصل شده است:

- بر اساس مطالعه داده‌های سنجش از دور (ASTER و ETM)، حضور دگرسانی‌های شناسایی شده شامل کانی‌های کائولینیت و مونت‌موریلونیت (شاخص دگرسانی آرژیلیک)، کلریت، اپیدوت و کلسیت (شاخص دگرسانی پروپیلیتیک)، مسکوویت (شاخص دگرسانی سریسیت) و گوسان در منطقه مورد مطالعه به اثبات رسیده است. با در کنار هم قرار دادن این داده‌ها، الگوی این دگرسانی‌ها نسبت به یکدیگر قابل مقایسه است.

- اگر منطقه دربند به عنوان مرکز سیستم کانسارهای ماسیوسولفید نوع کروکو و همچنین دگرسانی‌های پروپیلیتیک، سریسیت و کوارتز به ترتیب هم ارز با دگرسانی‌های کلریتی، رسی و سریسیت در مدل کروکو در نظر گرفته شوند، نحوه قرارگیری این دگرسانی‌ها نسبت به هم به گونه‌ای است که دگرسانی پروپیلیتیک در اطراف و دگرسانی‌های سریسیتی و رسی در بخش مرکزی قرار دارند. همچنین یک بخش سیلیسی- ژاسپروییدی نیز در حد فاصل این دگرسانی‌ها دیده می‌شود. این نحوه قرارگیری می‌تواند تداعی‌کننده الگوی دگرسانی کانسارهای ماسیوسولفید نوع کروکو باشد.

– با توجه به نمودار گل‌سرخی و مشاهدات صحرایی، سیستم کانی‌سازی در محدوده پس‌قلعه یک سیستم رگه‌ای– رگچه‌ای بوده و زمین‌ساخت نسبتاً فعال منطقه نقش بسزایی در بسترسازی جهت شکل‌گیری این سیستم کانی‌سازی داشته است. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته در این منطقه سه فاز زمین‌ساختی أثر کرده است که به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از:

الف) فاز باختر، شمال باختر– خاور، جنوب خاور

ب) فاز شمال خاور– جنوب باختر

ج) فاز شمال– جنوب

از میان این سه فاز، فاز قدیمی‌تر (W, NW- E, SE) مرتبط با کانی‌سازی بوده و جایگیری رگه–رگچه‌های کانه‌دار در امتداد آن صورت گرفته است. همچنین فاز دوم یعنی NE- SW نیز مسبب بیشترین دگرسانی در این محدوده بوده است. نقش فاز زمین‌ساختی سوم فقط در حد جابه‌جایی ساختارهای زمین‌ساختی حاصل از دو فاز قبل بوده است. در مجموع شواهد، نشان از وجود عملکرد دو سیستم متفاوت کانی‌سازی در این محدوده دارد. سیستم اول به‌صورت یک کانی‌سازی پلی‌متال با پاراژنز سولفیدهای مس، سرب، روی و آهن و سیستم دوم کانی‌سازی به‌صورت پیریت‌های دسمینه در واحد دگرسانی سریسیتی است که به‌صورت یک باند با روند NE- SW در محدوده مشاهده می‌شود.

– از نظر ساختمانی، زون دگرسان شده و کانی‌ساز پس‌قلعه به‌صورت عدسی و لایه‌های صفحه‌ای شکل بین واحدهای سنگی داسیت، ریوداسیت شکل گرفته است. کانی‌سازی از نوع همزاد و اولیه بوده که در أثر تأثیر آب‌های سطحی و تحرک مجدد، در بخشی از زون‌های شکسته و آسیب‌پذیر، کانی‌های سولفوره مس، سرب، روی، طلا، نقره و آهن را به زون‌های فوق الذکر منتقل و مجدداً راسب ساخته است.

– عوامل زمین‌ساختی، سبب جابه‌جایی گدازه‌ها و توف‌های سیلیسی– فلدسپاری کانه‌زایی شده است و به دنبال آن جابه‌جایی شیمیایی عناصر فلزی مانند: آهن، سرب، روی، مس، طلا، و نقره توسط محلول‌های جوی و یا گرمابی، باعث تجمع عناصر به‌صورت رگه و رگچه در داخل شکستگی‌ها و درزه‌ها می‌شود (رگچه‌هایی از پیریت در مسیر آبراهه دره سوگ). این پیریت می‌تواند از انحلال و اکسایش سطحی (احیای محلول‌های اسیدی و ترکیبات آهن‌دار) به وجود آمده باشد. اسید سولفوریک موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی که سبب انحلال سولفورها در آنها می‌شود، موجب دگرسانی و نیز موجب کانی‌زایی رگه‌ای می‌شود و نقش اصلی را در این مورد ایفا می‌کند. در محدوده مطالعه شده پس از بررسی‌های به عمل آمده این گونه مشخص شد که سرعت فرسایش بر سرعت هوازدگی پیشی داشته است و به همین دلیل در کف آبراهه پیریت تازه یافت می‌شود و دگرسانی در توف‌های سیلیسی– فلدسپاری خفیف است ولی در یال‌های همجوار، کائولینیتی شدن، سریسیتی شدن، هماتیتی و ژاسپی شدن به خوبی مشخص بوده و باعث رنگارنگ شدن بیرون‌زدگی‌ها شده است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ASTER و ETM ابزاری نیرومند جهت اکتشاف ذخایر در مراحل مقدماتی محسوب می‌شوند، چرا که این تصاویر با دارا بودن داده‌هایی با دقت طیفی بالا، هزینه و زمان مورد نیاز برای ارزیابی زمینی را به‌طور مؤثری کاهش می‌دهند و با کنترل کیفی و کار صحرایی نتایج دقیقی به دست می‌آید.

کتابنگاری

اسماعیلی، ج.، خاکزاد، ا.، بهزادی، م. و وثوقی‌عابدی، م.، ۱۳۹۳– مطالعه آلتراسیون‌های کانسار آهن با روش سنجش از دور در منطقه کامو (میمه– اصفهان)، فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط زیست، سال ۱۲، شماره ۴۳، صص. ۲۷ تا ۴۷.

امینی، ب. و امامی، م. ه.، ۱۳۷۲– گزارش زمین‌شناسی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

ایران‌نژاد، م.، شریف‌زاده، م.، غیاثوند، ع.، مدنی، ح. و مهرابی، ب.، ۱۳۹۱– فهرست خدمات و راهنمای مطالعات دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی، وزارت صنعت، معدن و تجارت، نشریه شماره ۶۱۵، ۱۰۹ ص.

بلوریان، غ.، ۱۳۷۱– مطالعه پتروگرافی و پترولوژی سازند کرج در البرز مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، ۱۵۸ ص.

خادم پارسا، م. و مسعودی، ف.، ۱۳۹۵– الگوی اکتشافی ذخایر اسکارنی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM در شمال شرق دلیجان، فصلنامه پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲۷، صص. ۱۶۹تا ۱۸۴.

فاطمی، س. ب. و رضائی، ی.، ۱۳۸۹– مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاد، ۲۶۸ ص.

قهرمانی‌پور، م. و کریمی، ح.، ۱۳۸۹– نقشه زمین‌شناسی کامو ۱:۲۵۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

متولی، ک.، ۱۳۸۳– نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.

References

Bedini, E., 2012- Mapping alteration minerals at malamberg molybdenum by kohonen self- oeganizatio map and mached filter analyses of my map data Central East Greenland, R, V. 32, P. 939- 961.

Hellman, M. and Ramsey, M. S., 2004- Analysis if hot springs and associated deposits in Yellowstone national park using ASTER and AVIRIS remote sensing, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 135, P. 195- 219.

Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardam, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, PP. J. and Geotz, A. F., 1993- The Spectral image processing system (SIPS)- Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. Remote Sensing of Environment. Vol. 44, PP. 145- 163.

Qui, F., Abdelsalam, M. and Takka, P., 2006- Spectral analysis of ASTER data covering part of southern Egypt, Journal of African Earth Sciences, Vol. 44, P. 169- 180.

Investigation alteration poly-metal Pasghaleh deposit (sheet 1:100000 Tehran) using remote sensing evidence

N. Namazi[1], M. R. Jafari[2*], A. R. Jafari Rad[3] and A. Khakzad[4]

[1]Ph.D. Student, Department of Economic Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

[2]Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

[3]Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

[4]Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 2016 October 22 Accepted: 2017 January 24

Abstract

The study area (Pasghaleh) is located North of Tehran and is part of the Central Alborz Mountain Range. Pasghaleh deposit between coordinates 51º 25´15˝ up to 51º 25´ 54˝ Eastern longitude and 35º 49´42 ˝ up to 35º 50´15 ˝ Northern latitude in North of Tehran, in the geological sheet with a scale of 1:100000 Tehran and is located East of the Pasghaleh village. Intrusive bodies in this area with age after the Eocene in penetrating Eocene volcanic and pyroclastic units and have altered these units. For mapping minerals and explore the alteration patterns together with Polymetal mineralization in the metallogenic zone Pasghaleh, for sine satellite ASTER and ETM spectral processing and interpretation. According to remote sensing data, it leads to the appearance of Kaolinite and Montmorillonite minerals (Argillic alteration index), Chlorite, Epidote and Calcite (Propylitic alteration index), Muscovite (Sericite alteration index) and Gossan in the range studied. Major mineralization in the region in acid Tuffs altered and scattered. The lithology of this region including pyroclastic rocks of Karaj Formation with Eocene age. Sulfuric minerals observed Pyrite, Chalcopyrite, Sphalerite and Galena. In the whole region Pyrite expands but Lead mineralization, Zinc, Copper, Gold and Silver which process is parallel to the general layering of classes Tuff Silica altered- Feldspathic- Pyrite slightly observed. Pyrite form syngenetic among the Tuffs.Tuffs in formation stage and in the stage of diagenesis, the alteration process Sericitic, Kaolinite and or Chlorite have tolerated. In terms of construction, altered zone mineralize Pasghaleh as a lens and layers plate form between rock units Dacite, Rhyodacite are formed. Based on the study of remote sensing data, presence of alterations Sericite, Argillic and Propylitic (the presence of Chlorite and Epidote) proven in the region, consequently by putting together these alterations to one another, it can be attributed to the alteration pattern of Kuroko Massive sulfide deposits.

Keywords: Pasghaleh, Tehran, Remote- sensing, Sensor ASTER and ETM, Alteration, Propylitic, Argillic, Kuroko

For Persian Version see pages 221 to 228

*Corresponding author: M. R. Jafari; E- mail: Mr.jafari_1348@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional