



استفاده از روشهای دورسنجی برای شناسایی رخساره‌های دگرسانی - کانه‌زایی در منطقه رامند (استان قزوین)

سید ابوالفضل عزتی^{1*}، سید رضا مهرنیا² و کیمیا سادات عجایی³

(1) مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، تهران، ایران

(2) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(3) گروه زمین‌شناسی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

دریافت: 1392/2/2، پذیرش: 1394/03/18

چکیده

منطقه مورد بررسی، بخشی از نوار ماگمایی ارومیه- دختر در زون ساختاری ایران مرکزی است که در جنوب غرب شهرستان بوئین‌زهرا و جنوب بخش دانشفهان قرار دارد و فاصله آن تا مرکز استان حدود 60 کیلومتر است. منطقه رامند، عمدتاً شامل سنگهای آذرین ریوداسیتی و ریولیتی، توف ریوداسیتی، توف بلورین و گدازه‌های جریان ریوداسیتی است. در این منطقه دگرسانی وسیعی به روشنی در پردازش تصاویر ماهواره‌ای قابل ردیابی و پی‌گیری است.

حضور کانیهای رسی، بر وجود دگرسانی آرژیلیک در منطقه دلالت دارد؛ که می‌تواند نشانه خوبی به لحاظ کانی‌سازی باشد. وجود این دگرسانی در بازدیدهای صحرایی، مطالعه مقاطع نازک و آنالیز XRD نیز به خوبی مشخص است. واحدهای آذرآواری و آتشفشانی توسط گسل‌های اصلی این منطقه شامل گسل کورچشمه، گسل حسن‌آباد و گسل‌های فرعی، قطع شده‌اند. این گسلها در امتداد شمال غرب - جنوب شرق در منطقه وجود دارند و دگرسانیهای گسترده‌ای در طول گسلها و در سنگهای دیواره رخ داده است. دگرسانیها شامل دگرسانی آرژیلیک، سربستیک، پروپیلیتیک و سیلیسی هستند؛ که به صورت قائم و جانبی منطقه‌بندی نشان می‌دهند. بارزسازی زون‌های احتمالی دگرسانی در محدوده مورد نظر در مراحل اولیه، به کمک پردازش داده‌های سنجنده ETM به روش کروسا صورت گرفت. همچنین برای تفکیک زون دگرسانی آرژیلیک منطقه، از بین رهیافتهای مختلف، روش مؤلفه اصلی انتخاب شده است.

علاوه بر هاله دگرسانی آرژیلیک، پدیده سیلیسی شدن سنگ میزبان دارای اهمیت بالایی بوده است و شرایط میزبانی فلزات پایه و گرانبها در درون این رخساره تأمین می‌شود. برای شناسایی دگرسانی سیلیسی، از داده‌های سنجنده ASTER استفاده شده که با اعمال روش نسبت بانندی، نواحی با احتمال کانی‌سازی سیلیسی مشخص شده‌اند. نتایج مبتنی بر آنالیز دستگاهی (XRD)، تأییدکننده بررسیهای سنجش از دور است. با توجه به بررسیهای انجام شده در این منطقه، دگرسانیهای توأم رسی، اکسیدهای آهن و سیلیسی شدن سنگ دیواره برای پی‌جویی ذخایر فلزات پایه و گرانبها حایز اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی، سنجش از دور، تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی (کروسا)، رامند

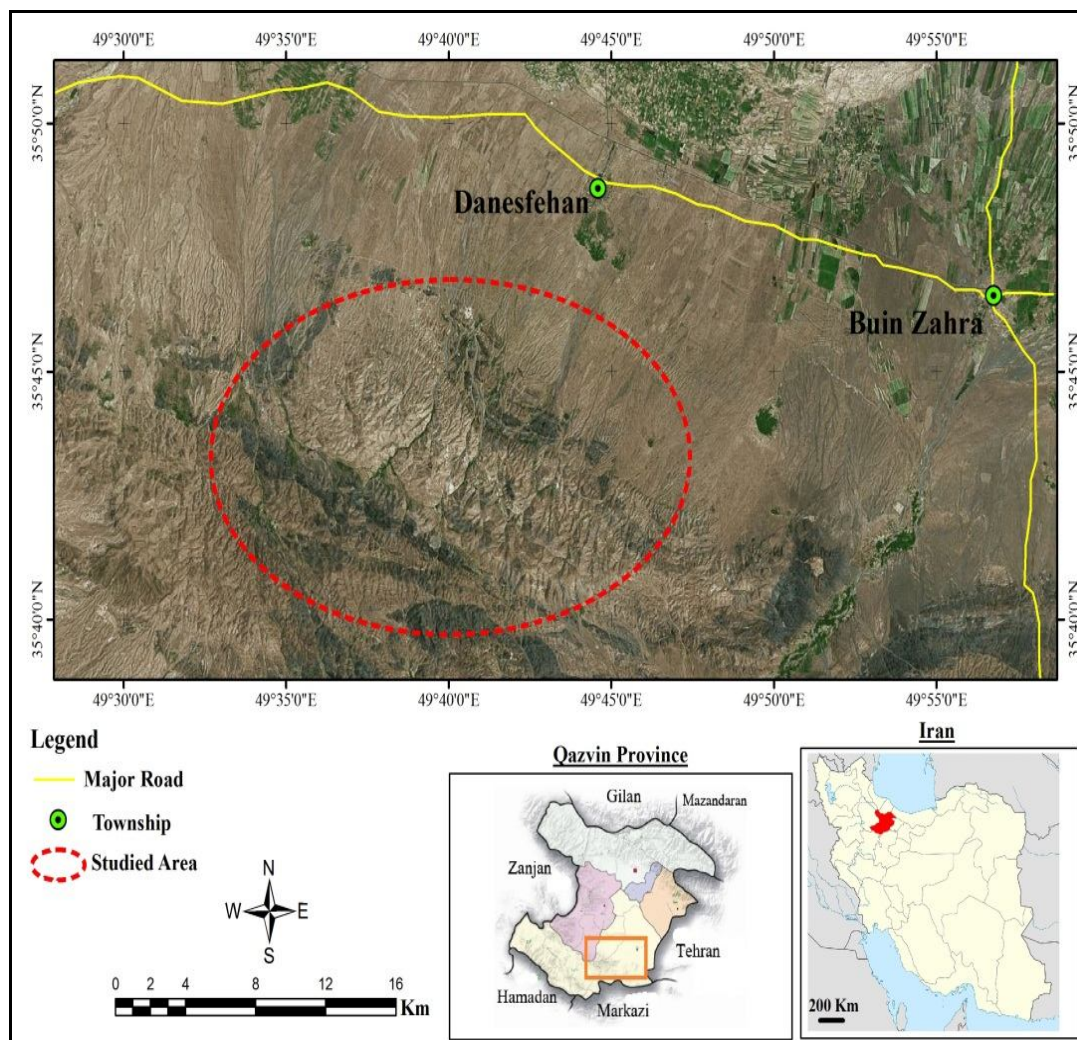
مقدمه

کرج، قزوین و جاده شهریار، اشتهارد، بوئین‌زهرا، دانشفهان است. از نزدیکترین روستاها به کوه رامند روستاهای یزن و ینگگی کهریز هستند که در جنوب دانشفهان قرار دارند (شکل 1). توده‌های نفوذی موجود در منطقه که در بعضی مناطق

محدوده کوههای رامند با وسعت تقریبی 70 کیلومتر مربع در فاصله 10 کیلومتری جنوب شهرستان دانشفهان واقع شده است. راههای دسترسی به منطقه از مسیر بزرگراه تهران،

ریولیتی، توف ریوداسیتی، توف بلورین و گدازه‌های جریان ریوداسیتی هستند.

باعث دگرسانی و کانی‌سازی شده‌اند، عموماً در ائوسن - الیگوسن تشکیل شده‌اند و شامل سنگهای آذرین ریوداسیتی و



شکل 1. موقعیت جغرافیایی منطقه رامند

Fig. 1. Geographic location of the Ramand area

رخساره تأمین می‌شود. برای شناسایی دگرسانی سیلیسی، از نتایج به‌دست آمده از پردازش به‌وسیله تکنیک کروسا استفاده شده است. مهمترین ویژگی این منطقه پیدایش توأم رگه‌های سیلیسی-اکسید آهن با کانیهای رسی موجود در هاله آرژلیک است؛ که از روند تغییرات تدریجی برخوردارند. مکان هندسی رگه‌های سیلیسی-اکسید آهن منطبق بر نواحی خرد شده¹ با تغییر شکلهای کاتاکلاستیکی بوده و این مهم موجبات شناسایی توأم رخساره آرژلیک و اکسیدهای آهن را فراهم کرده است. در واقع روش کروسا، روشی شناخته شده برای

جهت گسلهای منطقه شمال غرب- جنوب شرق بوده و همان روند کلی گسلها در طول کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر است (Masoudi, 1990). در همسایگی توده‌های آتشفشانی منطقه رامند هم‌یافتی آثار معدنی باریت، آلونیت (زاج) و کائولن دیده شده است و اغلب آنها در محدوده تلاقی سامانه‌های گسلی قرار دارند. این آثار توسط هاله‌های رسی و پروپیلیتیک احاطه شده‌اند (Akbari, et al., 2012).

در این منطقه پدیده سیلیسی شدن سنگ میزبان اهمیت بالایی دارد و شرایط میزبانی فلزات پایه و گرانها در درون این

یک سین با شماره 361-ASTER1B030701 است. تاریخ تصویربرداری آن 2002/2/21 میلادی است. تصویر سنجنده ETM مربوط به سین شماره p165r035 است. تاریخ تصویربرداری مربوط به 2002/12/4 میلادی است. به‌منظور از بین بردن تأثیرات جوی و توپوگرافی و تبدیل داده‌های رادپانس به داده‌های انعکاسی، تصحیحات رادیومتریک زیر بر روی این تصاویر انجام شده است:

- پردازش داده‌های دورسنجی با نرم‌افزار ENVI4.7 برای بازسازی زون‌های دگرسانی؛

- بررسی‌های صحرائی پس از پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تعیین مناطق هدف و نمونه‌برداری از مناطق تعیین‌شده در روشهای سنجش از دور، به‌صورت غیر سیستماتیک و از نواحی دگرسان؛

- بررسی‌های آزمایشگاهی و تجزیه نمونه‌های برداشت شده (مقاطع نازک و صیقلی و آنالیزهای XRD, ICP, AAS, SEM) و

- تعبیر و تفسیر نتایج به‌دست آمده و نتیجه‌گیری.

زمین‌شناسی عمومی منطقه

با توجه به تقسیم‌بندی رسوبی - ساختمانی ایران، محدوده مورد بررسی در حاشیه شمال غربی زون ایران مرکزی قرار دارد و از نظر زمین‌ساختی در زون تکتونیکی ارومیه - دختر واقع شده است. گسل اصلی که از این منطقه عبور می‌کند، گسل حسن آباد است که کوههای رامند در شمال آن قرار گرفته‌اند. گسل حسن آباد، به‌عنوان یکی از گسلهای قدیمی، از گسلهای مهم و فعال منطقه مورد بررسی محسوب می‌شود. این گسل تحت تأثیر حرکتهای جدید و در طی دوران چهارم فعال بوده است. محدوده کوههای رامند در گوشه شمال غربی نقشه زمین‌شناسی 1/250000 ساوه و مرکز نقشه زمین‌شناسی 1/100000 دانشفهان (خيارج) قرار گرفته است. در این محدوده بیشتر واحدهای لیتولوژیکی مربوط به دوران ائوسن - الیگوسن هستند. واحدهای میزبان دگرسانی، بیشتر شامل سنگهای آذرین ریوداسیتی - ریولیتی و توف هستند (شکل 2).

زلزله بوئین‌زهرا (1962) در طول این گسل با بزرگی 7/25 ریشتر که موجب تخریب شدید روستاهای اطراف این گسل شد، از شواهد فعالیت‌های عهد حاضر آن محسوب می‌شود.

شناسایی و تفکیک مناطق دگرسانی با منشأ ماگمایی - گرمایی است؛ که در صورت برخورداری از شرایط زیر امکان شناسایی رخساره سیلیسی اکسید آهن را فراهم می‌کند:

- حضور توده‌های نفوذی و سازندهای آتشفشانی که مشخصاً تحت تأثیر فعالیت‌های پسا ماگمایی قرار داشته است و تجمعات کانیایی آنها اغلب در امتداد ساختمانهای گسلی دیده می‌شود. - ارتباط مکانی هاله رسی با سنگهای آذرین در محل تلاقی گسلها؛

- ارتباط مکانی هاله اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن با سنگهای آذرین در محل برخورد گسلها؛

- هم‌یافتی رخساره‌های رسی - اکسیدهای آهن در مناطق دگرسانی، و

- حضور رخساره ژاسپروئید تشکیل‌شده از ترکیبات سیلیسی - اکسید آهن (نظیر چرت) در ناحیه اثر دگرسانی رسی.

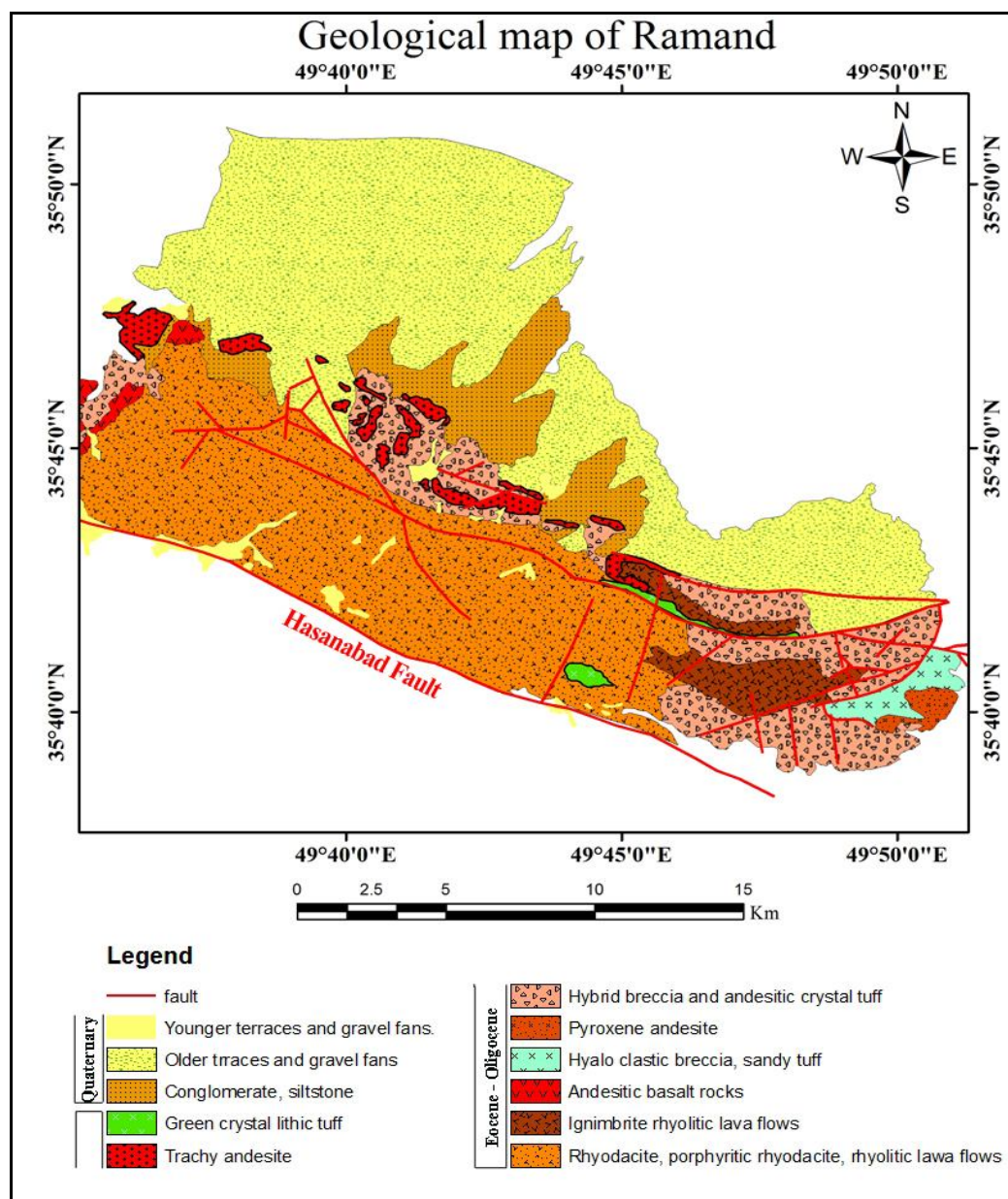
بر اساس بررسی‌های انجام شده در منطقه رامند، رخنمونهای دگرسانی نسبت داده شده به نئوژن همراه با ولکانیک‌های جوان پالئوژن - کواترنر، شکل‌گیری مناطق مینرالیزه با منشأ ماگمایی - گرمایی (هیدروترمال) را موجب شده‌اند؛ که بر اساس سابقه موجود و گزارش‌های سازمان صنایع و معادن استان قزوین، دارای آثار پراکنده طلا، سرب و مس بوده که با هاله وسیعی از کانیهای رسی (آرژلیک)، اکسیدهای آهن، باریت و ژیپس احاطه شده‌اند.

هدف از این پژوهش، شناسایی و تفکیک مناطق دگرسانی منطقه رامند (استان قزوین) با استفاده از روشهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای بر روی داده‌های سنجنده ASTER و ETM است. سرانجام، ارائه نقشه پیش‌داوری مناطق امیدبخش برای نمونه‌برداری و تحلیل دستگاهی با هدف تجزیه و تحلیل نمونه‌های مستعد و ارزیابی کمی مناطق مینرالیزه از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی، اهداف نهایی این پژوهش است.

داده‌ها و روش پژوهش

بررسی‌های انجام شده در منطقه مورد بررسی شامل مراحل زیر است:

- در ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های ماهواره‌ای منطقه جمع‌آوری شده است. در این پژوهش، از تصاویر ASTER و ETM برای شناسایی و تفکیک دگرسانیها استفاده شده است. تصویر سنجنده ASTER در منطقه مورد بررسی مربوط به



شکل 2. نقشه زمین‌شناسی منطقه رامند (برگرفته از 1:100000 دانسفهان)

Fig. 2. Geological map of Ramand area (Ref: Danesfahan, 1/100000 sheet, GSI)

سیالات گرمابی تأخیری، دستخوش دگرسانی گرمابی شده‌اند. این دگرسانیها از وسعت قابل ملاحظه‌ای برخوردارند و بیشتر در حد آرژلیک و سیلیسی هستند. دگرسانی سیلیسی که از رایجترین و شناخته‌شده‌ترین انواع دگرسانی در نظامهای گرمابی است در این منطقه به صورت سیلیسی شدن بخشهایی از سنگ دیواره نمود دارد و در برخی مناطق به صورت ژاسپروئید دیده می‌شود. ویژگیهای زمین‌شیمیایی و سنگ‌نگاری سنگهای آتشفشانی اسیدی جنوب دانسفهان

گسل حسن‌آباد در ادامه گسل بوئین زهراست؛ که حرکت عمده آن فشارشی با شیب به سمت جنوب همراه با مؤلفه چپ‌گرد امتدادلغز است. همچنین، گسلهای فرعی متعددی در منطقه وجود دارد؛ که امتداد اغلب آنها شمال غرب - جنوب شرق است (Mansouri, 1997). با بررسیهای صحرایی و پژوهشهای آزمایشگاهی و نتایج آنالیز XRD، این احتمال وجود دارد؛ که سنگهای آتشفشانی اسیدی و حدواسط محدوده کوههای رامند، در نتیجه صعود

برای بارزسازی خطوطها در منطقه مورد بررسی از محدوده باند TIR تصاویر ASTER استفاده شد؛ که قدرت تفکیک مکانی آن بالاتر است. قبل از اعمال فیلتراسیون بهتر است، از روش مؤلفه اصلی استفاده و از جهت‌گیری کلی داده‌ها بهره برده شود. پس از آن تصویر PCA1 انتخاب شده و فیلتر جهت‌دار با آزمون 135 درجه بر روی آن اعمال شد. دلیل انتخاب زاویه 135 درجه در این فیلتر، مطابقت این جهت با راستای غالب خطوطها در این منطقه است. در شکل 3-B، تصویر به‌دست آمده در نتیجه اعمال فیلتر جهت‌دار با آزمون 135 درجه دیده می‌شود.

بارزسازی کانیه‌های AIOH

تحلیل مؤلفه‌های اصلی از جمله روشهای بارزسازی تصاویر است که از آن جهت نمایش حداکثر تفکیک‌پذیری طیفی استفاده می‌شود (Loughlin, 1992). این روش، از روشهای پرکاربرد و مطمئن در تفکیک دگرسانی آرژیلیک در تصاویر ETM است. کانیه‌های دارای عامل OH شامل مجموعه‌ای از کانیه‌های دگرسانی آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته و سریسیتی به‌صورت یک‌جا هستند؛ که می‌توانند تقریب بسیار خوبی از موقعیت زون‌های دگرسان و فعالیت‌های گرمایی ارائه کنند. در داده‌های ETM برای به‌نقشه درآوردن هیدروکسیدها می‌توان از آنالیز مؤلفه اصلی بر روی داده‌های گسترش یافته باندهای 1، 4، 5 و 7 استفاده نمود. باندهای 5 و 7 بیشترین جذب و انعکاس را در طیفهای کانیه‌های بنیان OH دارند (Honarmand, et al., 2011). پس از بررسی مقادیر بردار ویژه، با انتخاب مؤلفه‌ای که بیشترین اختلاف بین این دو باند را نشان می‌دهد، پیکسل‌های حاوی این نوع دگرسانی بارزسازی می‌شود (شکل 3-A)

تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (Crosta)

در این روش با کاهش تعداد باندها برای تحلیل، احتمال نقشه‌برداری پدیده مورد نظر در یکی از مؤلفه‌های اصلی افزایش می‌یابد (Tangestani and Moore, 2000). کانیه‌های هیدروکسیل‌دار به‌دلیل فراوانی در زون‌های دگرسانی همواره دارای اهمیت هستند. روش کروسا با استفاده از باندهای 1، 4، 5 و 7 سنجنده ETM به‌منظور نقشه‌برداری هیدروکسیدها، و باندهای 1، 3، 4 و 5 به‌منظور نقشه‌برداری

گویای آن است؛ که این سنگها محصول فرآیندهای سنگ‌زادی متفاوتی هستند. فرآیند اصلی که در تکوین بیشتر این سنگهای اسیدی ایفای نقش کرده، تفریق ماگمایی از راه تبلور بخشی است (Vosoughi Abedini and Dorouzi, 2009).

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش، نرم‌افزار ENVI4.7 برای پردازش داده‌های سنجنده ETM و ASTER مورد استفاده قرار گرفته است. در ابتدا با استفاده از فیلتر جهت‌دار، خطوطها محدود شده مورد بررسی شناسایی شده است. به‌منظور بارزسازی کانیه‌های هیدروکسیل‌دار، از روش آنالیز مؤلفه اصلی استفاده شده است. برای به‌دست آوردن نقشه پیش‌دآوری برای نمونه‌برداری از مناطق امیدبخش، به روشهایی نیاز است که درستی نتایج آن اثبات شده باشد. یکی از این روشها، روش کروساست؛ که توسط آن ماهیت هاله دگرسانی به اثبات می‌رسد. کروسا تعیین می‌کند دگرسانی دارای منشأ هیدروترمال یا غیر هیدروترمال است. در این منطقه دگرسانی سیلیسی به‌دلیل میزان مناسب برای کانسارهای اپی‌ترمال طلا حایز اهمیت است. برای مشخص کردن این دگرسانی ابتدا با روش کروسا در تصاویر ETM مناطقی را که دارای دگرسانی هیدروترمال هستند بارزسازی کرده و پس از آن به وسیله روش نسبت باندهای در محدوده باندهای حرارتی تصاویر ASTER هاله دگرسانی سیلیسی به‌دست آمده است.

بارزسازی خطوطها در تصویر ماهواره‌ای

با توجه به این‌که حرکت محلولهای هیدروترمال توسط گسلها و شکستگیها بررسی می‌شود، لازم است، مکانهایی که در آن گسلها و شکستگیها فعال است، مشخص شود. برای تشخیص ساختارهای زمین‌شناسی نظیر خطوطها، گسلها و ساختارهای حلقوی، می‌توان از فیلترهای آشکارساز لبه مانند فیلترهای جهت‌دار¹، لاپلاس² و سوبل³ استفاده کرد (Kaviani Sadret al., 2013). در این تحقیق برای آشکارسازی ساختارها از فیلتر جهت‌دار استفاده شده است. این فیلتر برای بارزسازی خطوطهایی که دارای روند خاصی هستند، استفاده می‌شود و کاربرد آن بیشتر در بررسی خطوطهای زمین‌شناسی است (Sabins, 2007).

نظر به تفکیک واحدهای مختلف پرداخته می‌شود. از این روش در تشخیص مناطق سیلیسی شده، استفاده می‌شود. بر اساس پژوهشهای صورت گرفته، شناسایی سنگهای سیلیسی در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک و فرورسرخ موج کوتاه امکان‌پذیر نیست؛ که علت این امر، نبود اشکال جذبی مشخص برای کوارتز در این محدوده طول موجی است. کانیهای سیلیسی و سیلیکات‌ها در ارتباط با پیوندهای $Si - O$ اشکال طیفی مشخصی را در ناحیه مادون قرمز حرارتی نشان می‌دهند؛ از این‌رو برای تشخیص این کانیها که به فراوانی در سنگهای سطح زمین حضور دارند، از باندهای حرارتی سنجنده ASTER استفاده می‌شود. منحنی طیف آزمایشگاهی کانیهای سیلیسی و طیف استخراج شده از تصویر در محدوده حرارتی نشان می‌دهد؛ که این کانیها در محدوده باندهای 13 و 14 سنجنده استر از بیشترین بازتاب و در محدوده باندهای 10 و 12 از بیشترین جذب برخوردار است (Honarmand et al., 2012). بنابراین نسبت باندهای 14/12 می‌تواند نواحی دارای دگرسانی سیلیسی را آشکار کند. در این بررسی برای شناسایی بخشهای سیلیسی از محدوده باندهای حرارتی سنجنده ASTER نسبت باندهای 14/12 استفاده شده است؛ که در آن پیکسل‌های سفید مورد هدف بوده است و محدوده سنگهای سیلیسی شده را نشان می‌دهد (شکل 3-D).

بحثی در رابطه با تشخیص رخساره سیلیسی با استفاده از روش کروستا

یکی از روشهای کاربردی برای تشخیص مناطق دگرسانی منسوب به فعالیتهای ماگمایی - گرمایی منطقه مورد بررسی، روش تحلیل مؤلفه اصلی به روش کروستا² است. این روش برای اولین بار توسط کروستا و مور (Crosta and Moore, 1990) پیشنهاد شد، به طوری که بتوان یک هدف خاص را در یکی از تصاویر مؤلفه اصلی با پیکسل‌های روشن نسبت به سایر پدیده‌ها نشان داد (Crosta and Moore, 1990). این روش برای تفکیک زون‌های آلتراسیون و بارز کردن سنگها و کانیهای دارای اکسید آهن و نیز کانیهای رسی (دارای یون هیدروکسیل) به کار می‌رود (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2008).

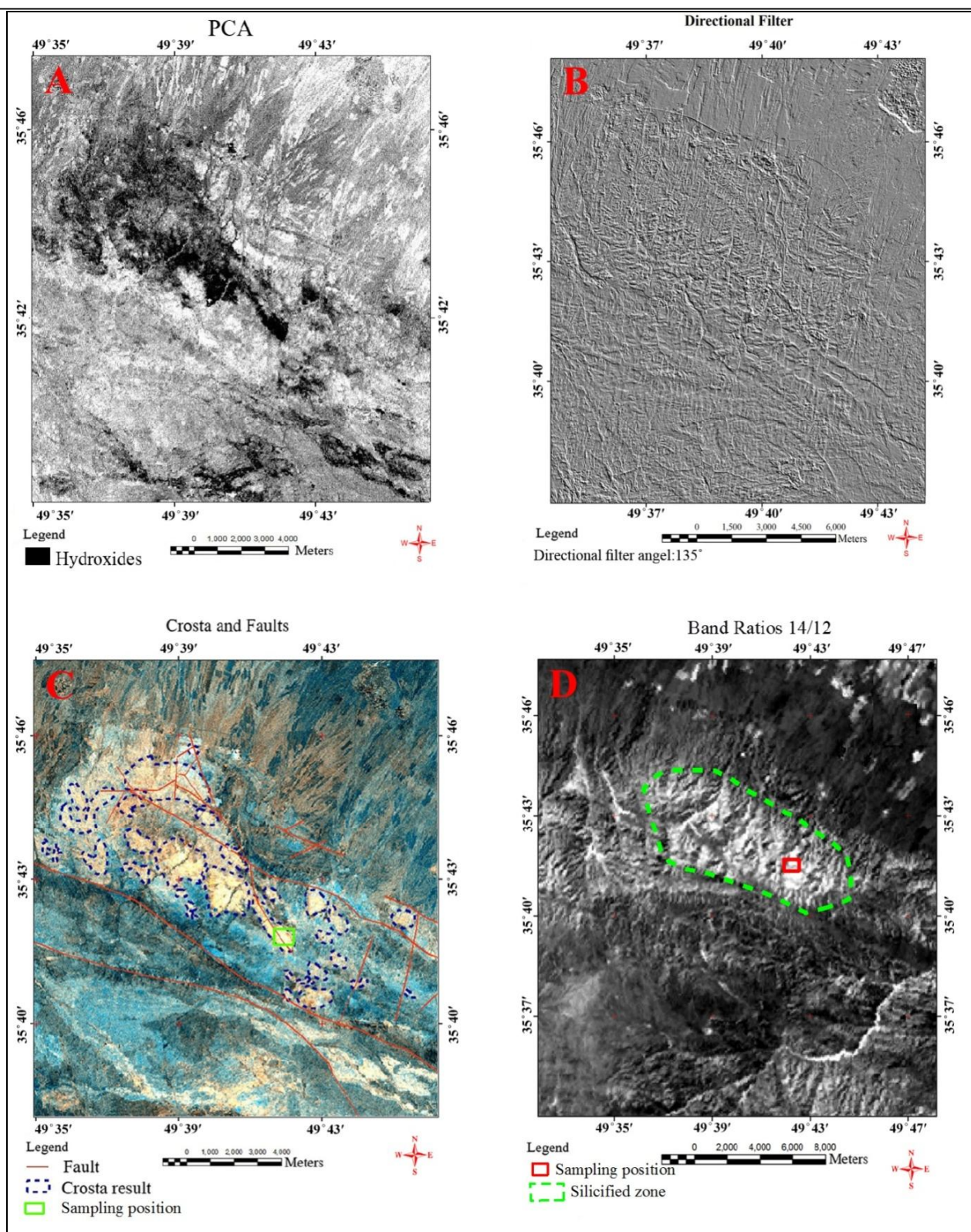
اکسید آهن، ماهیت هاله‌های دگرسانی اطراف توده نفوذی را مشخص می‌کند (Ranjbaret al., 2004). در این روش دو دسته اطلاعات ساخته می‌شود، یکی به نام F که حاوی مؤلفه مرتبط با حضور اکسید آهن و دیگری به نام H که حاوی مؤلفه مرتبط با حضور هیدروکسیدها هستند. با بررسی مقادیر بارگذاری¹ در مؤلفه‌های اصلی که بر اساس کوواریانس داده‌ها ساخته شده‌اند، آن PC که دارای بیشترین اختلاف در مقادیر بردار ویژه است مشخص می‌شود، این PC نمایش‌دهنده تشکیلات حاوی اکسید آهن است. اطلاعات آماری مربوط به میزان بارگذاری در مؤلفه‌های اصلی گروه H را نیز مطالعه کرده است و PC که دارای بیشترین اختلاف در مقادیر بردار ویژه است، مشخص می‌شود. این PC نمایش‌دهنده تشکیلات هیدروکسیل‌دار است. با استفاده از روش نسبت باندهای مؤلفه‌های H و F با هم جمع شده و یک مؤلفه جدید به نام HF به دست می‌آید. سپس یک RGB با مؤلفه‌های $R=H$ $B=F$ $G=H+f$ ساخته می‌شود. در تصویر حاصل هپیکسل‌هایی که به رنگ زرد مایل به نخودی تا نارنجی است، مناطقی را نشان می‌دهد که حاوی دگرسانی با منشأ گرمایی هستند. در شکل شماره 3-C، با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی، هاله ترکیبی رس - اکسید آهن شناسایی شده است. این هاله به دلیل همبستگی مکانی با مؤلفه‌های ژئوشیمیایی، به عنوان رخساره دگرسانی مرتبط با تفریق یافته‌های تأخیری نئوژن (منشأ احتمالی ذخایر اپی‌ترمال) معرفی شده است.

روش نسبت باندهای (Band Ratio)

یکی از روشهای رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، روش نسبت باندهای است. توسط این روش می‌توان اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را از بین برد. این روش یک دسته از نویزها را افزایش و دسته دیگری را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، اختلاف بین درجات روشنایی را آشکار و مرزها را مشخص تر می‌کند. با شناخت ویژگیهای انعکاسی پدیده‌های مختلف و با استفاده از روش بالا می‌توان پدیده‌های مورد نظر را بارزسازی کرد (Kruse et al., 1993). ویژگی انعکاسی پدیده‌های مختلف از روی نمودار طیفی آنان در کتابهای مرجع موجود و قابل بررسی است و با توجه به ویژگیهای طیفی پدیده‌های مورد

1. Eigenvector

2. PCA Crosta



شکل 3. نتایج به‌دست آمده از آنالیز تصاویر ماهواره‌ای منطقه رامند. A: بارزسازی کانیه‌های با بنیان OH با استفاده از روش PCA، B: اعمال فیلتر جهت‌دار با زاویه 135 درجه، C: نتایج به‌دست آمده از روش کروستا، D: بارزسازی مناطق سیلیسی شده با روش نسبت باندهای

Fig. 3. Satellite image processing results of Ramand area. A: PCA technique for revealing hydroxide minerals, B: Trend filter applied (under 135), C: Crosta technique results, D: Separating silicified regions using band ratio applied.

در ایران یک رخساره سیلیسی توسط روش کروستا به‌درستی تشخیص داده شده است و می‌توان در منطق کروستا دخل و تصرفی را بدین شرح اعمال کرد:

چنانچه در یک منطقه مستعد ذخایر هیدروترمال از رخساره سیلیسی و اکسید آهنی (ژاسپروئید) در ابعاد وسیعی برخوردار باشیم، روش کروستا این مناطق را در گروه هاله دگرسانی هیدروترمال معرفی می‌کند.

نکته با اهمیت این است، که با مقایسه نقشه‌های دگرسانی حاصل از روش کروستا با نقشه‌های به‌دست آمده از باندهای حرارتی ASTER مشخص می‌شود؛ که مناطق دگرسانی سیلیسی هم‌پوشانی نسبتاً خوبی با مناطقی که در روش کروستا به‌عنوان مناطق دگرسانی همراه با رس و اکسید آهن مشخص شده بود، دارند که این موضوع می‌تواند تأییدی بر بحث مطرح شده باشد و همچنین از نظر اکتشافی ارزش قابل توجهی دارد.

در این پژوهش، طی بررسی‌های صحرایی هاله همراه رسی و اکسید آهن که توسط کروستا تعیین شده بود، دیده شد؛ علاوه بر آن، در پیمایش‌های انجام شده، سیلیس هم به وفور در همین هاله دیده شد. بنابراین سیگنال‌های الکترومغناطیسی به‌دست آمده از پردازش کروستا، علاوه بر هاله توأم رسی و اکسید آهن، سیلیس را هم، به‌خوبی نشان داده است. در نتیجه با توجه به ماهیت تحلیل کروستا، می‌توان حضور هاله سیلیسی با وسعت مکانی زیاد را در تصاویر پردازش شده به این روش، بدین‌صورت توجیه کرد؛ همان‌طور که عنوان شد، کروستا مکان هندسی هاله‌های توأم رس و اکسید آهن را نشان می‌دهد؛ اما طبق شواهد صحرایی (شکل ۴- A و B) و بررسی‌های پتروگرافی (شکل 5)، منطقه مورد بررسی دارای رخساره سیلیسی همراه با آهن است. این امر در نتایج آنالیزهای دستگاهی (XRD) نیز به‌صورت فازهای کوارتز - ایلیت، ژاروسیت و ناتروژاروسیت مشخص شده‌اند (جدول 1)؛ که این می‌تواند مؤید رخساره ژاسپروئید باشد. برای اولین بار

جدول 1. نتایج آنالیز دستگاهی رونتگن ایکس به‌روش پراش طیفی (XRD)

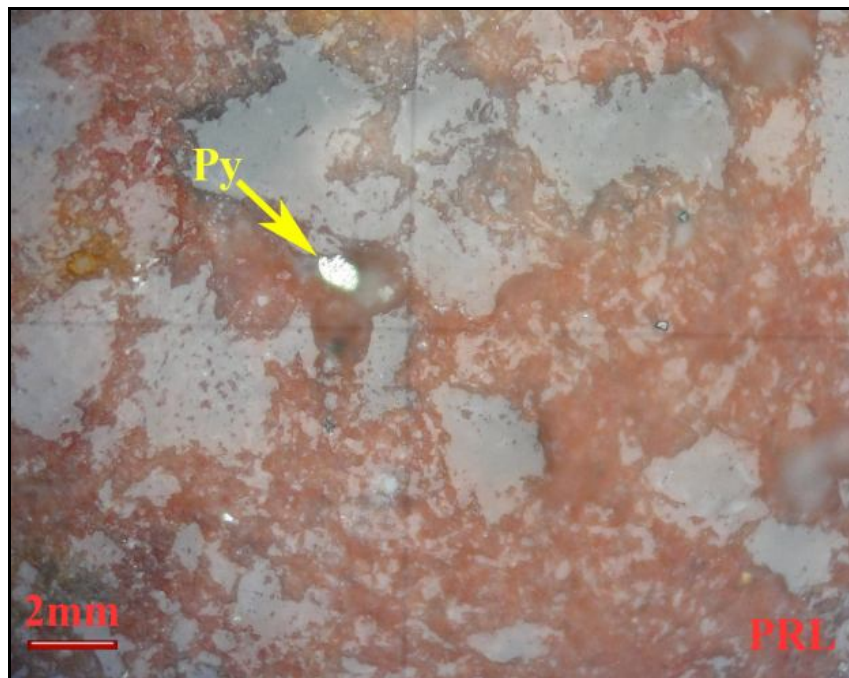
Table 1. X-Ray diffraction (XRD) analysis results

Sample No.	Major Phase	Minor Phase	Trace Phase
M37	Quartz, Muscovite-Illite	Albite, Natrojarosite	-
M38	Quartz, Illite	Orthoclase, Jarosite	Kaolinite



شکل 4. وجود رخساره ژاسپروئید در سنگهای آتشفشانی منطقه رامند (دید به سمت جنوب غرب). A: نمایی از رخنمون سنگی و محل برداشت نمونه سنگی B: نمای نزدیک

Fig. 4. Jasperoid facies in volcanic rock of the Ramand area, (See to Southwest) A: Sampling location of geological occurrences B: Host Unit Close up



شکل 5. مقطع میکروسکوپی از آغشتگی شدید اکسیدهای آهن در رخساره ژاسپروئید (بزرگ‌نمایی 40 برابر نور عادی) (Py=پیریت)

Fig . 5. Micrographic contamination of Fe-Oxide minerals in jasperoid facies (40x, PPL)(Py = Pyrite)

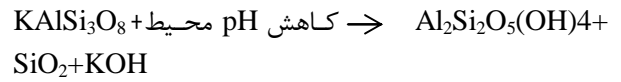
نمونه‌هایی که بدین صورت مشکوک به داشتن طلا بودند، مورد آنالیز طلا به روش جذب اتمی قرار گرفتند که نتایج آن در بحث ژئوشیمی آورده شده است. در فضای بین پرفیروکلاست‌ها، خرده‌بلورهای فلدسپات، کوارتز، خرده‌سنگ، شیشه‌های تجدید تبلور یافته قهوه‌ای رنگ، کانیهای رسی، کانیهای کریپتو کریستالین، کانیهای کدر و اکسید آهن قرار دارد. مقدار قطعات کریستالی در سنگهای توفی از این قبیل، از ویژگیهای غیرعادی توف‌های منطقه محسوب و به اختلاط ماگماها نسبت داده می‌شود. بعضی از هماتیت‌ها با شکل منظم و سیستم هگزاگونال مشاهده می‌شوند (شکل C-7). پدیده مارتیتی شدن (تبدیل شدن کانی مگنتیت به هماتیت) در چند نمونه از این مقاطع دیده می‌شود و بیان‌کننده عامل فرآیند تأخیری و سوپرژن است (شکل A-6). مارتیتی شدن فرآیندی است که طی آن کانی مگنتیت به هماتیت در حال تبدیل شدن است. دیدگاه سنتی به این قضیه این است که کانه مگنتیت با دریافت اکسیژن از اتمسفر یا از آبهای جوی فرورو تبدیل به هماتیت شده است؛ ولی دیدگاه جدیدتری نیز وجود دارد که مگنتیت با دریافت یون آهن فرو تبدیل به هماتیت در اعماق زمین می‌شود و حاصل این امر نیز

پتروگرافی توده‌های نفوذی و دگرسانیهای گرمابی

لیتولوژی این منطقه بیشتر شامل سنگهای آذرین ریوداسیتی و ریولیتی، توف ریوداسیتی، توف بلورین و گدازه‌های جریان ریوداسیتی است؛ که بیشتر تحت تأثیر دگرسانیهای گرمابی قرار گرفته‌اند. به منظور بررسی درستی یافته‌های حاصل از بررسیهای دورسنجی، سه منطقه از مناطق امیدبخش معرفی شده، که به لحاظ دگرسانی آرژیلیک، سربیسیتیک و سیلیسی و سایر مؤلفه‌های مورد بررسی مناسب تشخیص داده شدند، مورد بازدید صحرائی و نمونه‌برداری قرار گرفتند. در مقاطع صیقلی کانه‌های پیریت و آرسنوپیریت به‌طور پراکنده در مقاطع دیده می‌شوند (شکل A-7، C و E)، که می‌توانند میزبان خوبی برای طلا باشند، همان‌گونه که در روی برخی از بلورهای پیریت و آرسنوپیریت، درخشش‌های ویژه‌ای دیده می‌شود؛ که بسیار مشکوک به طلاست (شکل B-6). این گونه دریافت می‌شود؛ که بعد از هوازدگی، پیریت‌ها تخریب شده‌اند و طلا سالم باقی مانده است. به عبارت دیگر، بعد از تخریب ساختار اصلی پیریت، طلا خود را با انعکاس اولیه بالا نشان می‌دهد، این بیانگر آن است که طلا به دلیل پایدار بودن در مقابل اکسید شدن اصلاً متأثر از هوازدگی نشده است.

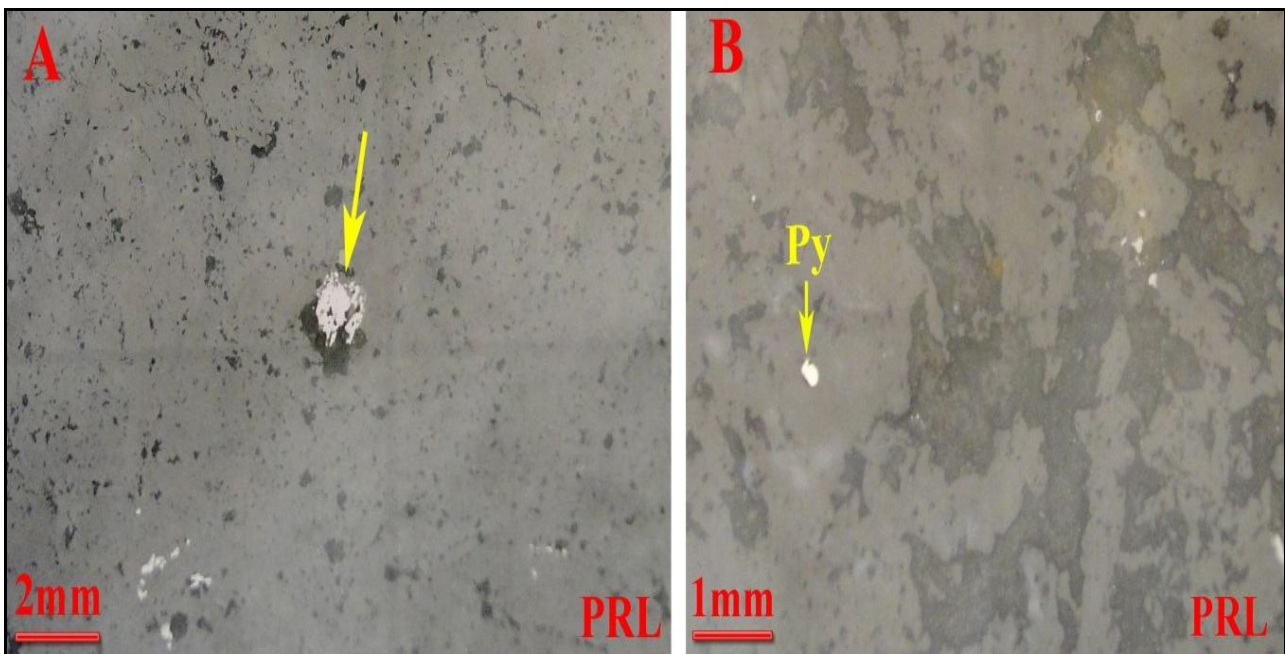
دگرسانی و کانیهای ثانویه نظیر سرسیت، کانیهای رسی، کوارتز و فلدسپات آلکان ایجاد شده‌اند (شکل D-7 و F). بنابراین، تشخیص عمده دگرسانی واقع بر این سنگها در حد رخساره سیلیسی و آرژلیک متوسط تا پیشرفته است. وجود کوارتزهای خلیجی شکل و سوزنهای هماتیته در برخی نمونه‌ها بیان‌کننده منشأ آتشفشانی و هیدروترمال آنهاست. همچنین حضور اکسیدهای آهن مانند هماتیت و ژاروسیت، نشان‌دهنده اکسیداسیون کانیهای سولفیدی است (شکل B-7) و آغستگی بالای برخی نمونه‌ها به اکسید آهن، مؤید رخساره ژاسپروئید در منطقه است (شکل 5). بلورهای ژاروسیت در برخی موارد از حاشیه به شکل نامنظم به اکسیدهای آهن (گوتیت؟) تبدیل شده‌اند. قطع‌شدگی بلورهای کوارتز توسط ژاروسیت‌های رگه‌چهای با خاموشی موجی در بخشهای سرسیتی شده، نشان می‌دهد که ژاروسیت‌سازی تا بعد از یک فاز فشاری درون توده نفوذی ادامه داشته است؛ که این امر مستلزم شناخت سازوکار سامانه گرمایی توده نفوذی رانند است.

تولید هماتیت به‌عنوان کانه ثانویه است (Rasa and Barati, 2006). در شرایط هوازدگی، زمانی که pH محیط کاهش یابد، پتاسیم فلدسپات به کانیهای رسی تبدیل می‌شود.



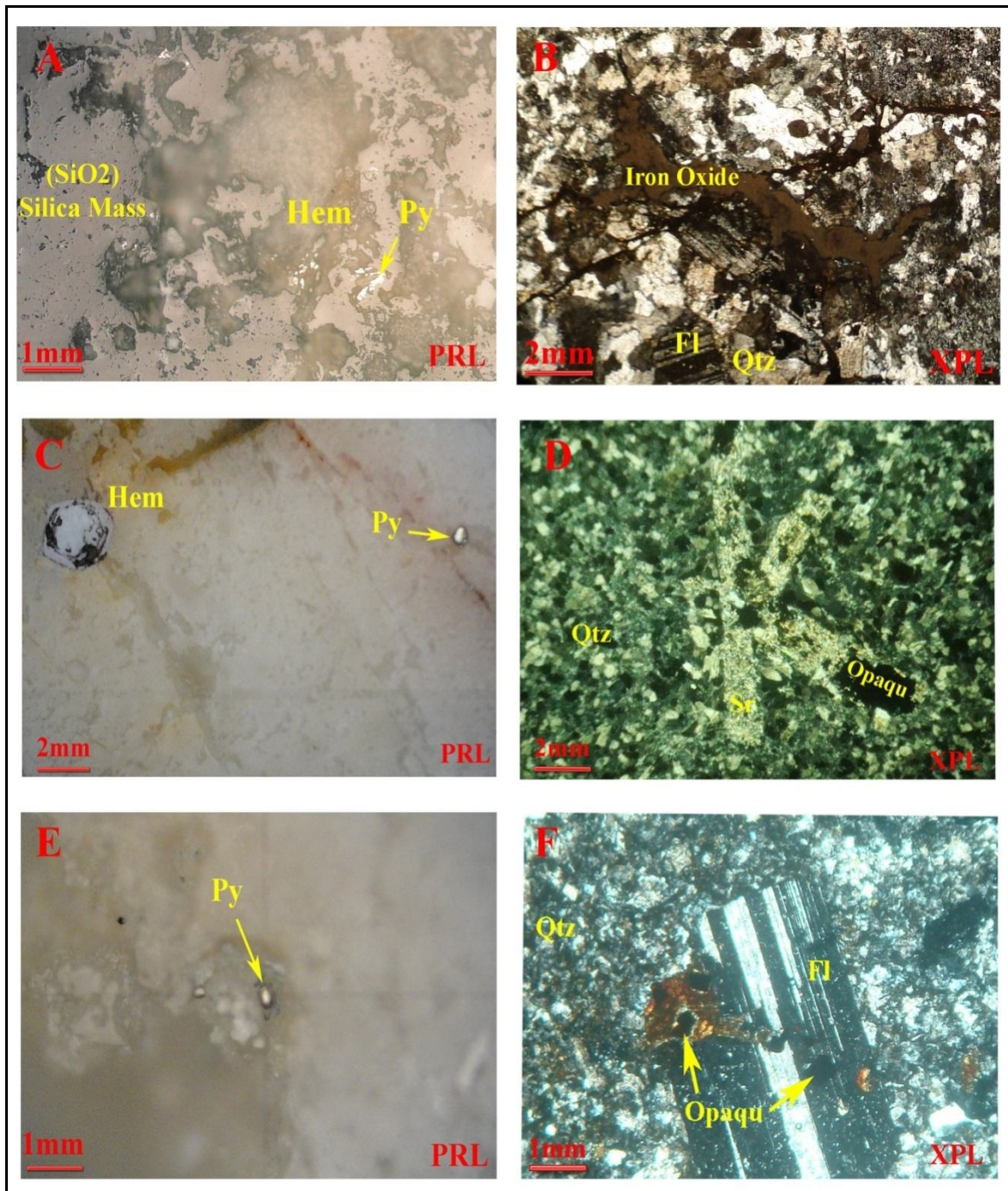
در صورتی که تمامی KOH شسته شود، کائولینیت تشکیل خواهد شد (پایین بودن سطح آبهای زیرزمینی باعث شست‌وشوی کامل بیشتر کاتیون‌ها می‌شود). اگر سطح آب زیرزمینی بالا باشد، تمامی Ca, Na, K و شسته نخواهد شد و در این حالت ایلیت و اسمکتیت تشکیل می‌شود. در شرایط هیدروترمالی از تأثیر سیالات گرمایی که Ph آنها اسیدی است، بر سنگهای حاوی کانیهای آلومین سیلیکات مانند فلدسپات‌ها، فلدسپاتوئیدها، میکاها و ... در شرایط مناسب کائولینیت تشکیل می‌شود (شکل A-8 و B).

با توجه به بررسیهای پتروگرافی مقاطع نازک، به نظر می‌آید عمده سنگهایی که تحت تأثیر دگرسانی واقع شده‌اند سنگهای آذرآواری اسیدی هستند؛ که از لحاظ ترکیب سنگی در محدوده توف ریولیتی تا توف ریوداسیتی با بافت کریستال شیشه‌ای تا ریزدانه هستند و عمدتاً، تحت تأثیر فعالیت گرمایی



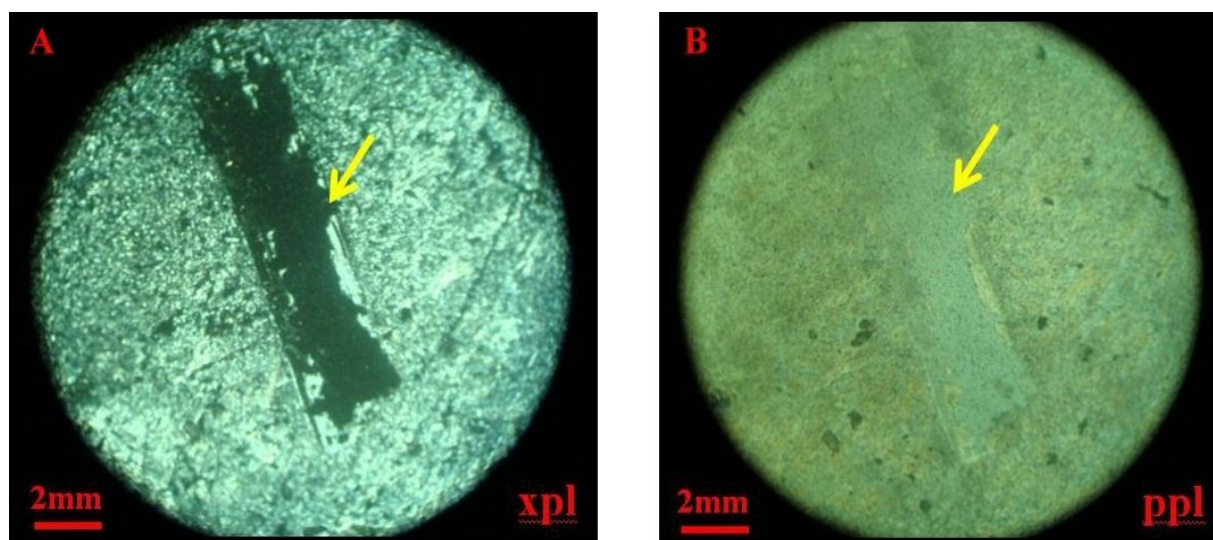
شکل 6. A: پدیده مارتیتی شدن؛ تبدیل شدن کانی مگنتیت به هماتیت، B: دانه‌های پیریت به‌طور پراکنده در زمینه‌ای از سیلیس و هماتیت که در روی آن دانه‌های با درخشش ویژه مشکوک به طلا دیده می‌شود (Py= پیریت)

Fig. 6. A: Magnetite to hematite converting process (Martitization) B: Dispersed pyrites in a silicified – hematitic background with unique reflection of probable Au-particles (Py= Pyrite)



شکل 7. تصویر میکروسکوپی نمونه‌های منطقه رامند A: پیریت‌های حاوی طلا در زمینه سیلیسی پرشده از اکسید آهن و بلور کوارتز، B: پیدایش رخساره سیلیسی با زمینه سرشار از سیلیس آمورف و اکسیدهای آهن (آسپروئید)، C: هم‌بود هماتیت با سیستم هگزاگونال و پیریت حاوی طلا (بیش از 145 میلی گرم بر تن) در زمینه سیلیسی و اکسید آهن، D: ترگه میکروسکوپی حاوی سریسیت در زمینه اشباع از سیلیس نیمه‌متبلور، E: پیدایش پیریت‌های ریزدانه حاوی طلا (عیار 131 میلی گرم بر تن)، F: بلور فلدسپات با ماکل تکراری در مجاورت کانیهای اپک (کانه‌های فلزی)، در زمینه سرشار از کوارتز (Py= پیریت، Hem= هماتیت، Qtz= کوارتز، Fl= فلدسپار، Sr= سریسیت)

Fig. 7. Photomicrographs samples of Ramand area A: Gold-bearing pyrites in a saturated silicified mass plus fine quartz and Fe-Oxides, B: Silicific Facies containing amorph silica plus Fe-Oxides, C: Paragenesis of gold-bearing pyrite ($Au > 145$ ppb) and hexagonal hematite in a silicified and Fe-rich matrix, D: Sericitic microscopic veinlet in semi-crystallined full silicified Matrix, E: Gold-bearing fine grain pyrites (131ppb of Au), F: Twin feldspars next to opaque minerals (Ore) in quartzitic background (Py= Pyrite, Hem= Hematite, Qtz= Quartz, Fl= Feldspar, Sr= Sericite)



شکل 8. تبدیل شدن بلورهای فلدسپات به کانیه‌های رسی. A: کانیه کائولینیت در نور طبیعی، B: کانیه کائولینیت در نور پلاریزه

Fig. 8. Feldspars to clay minerals conversion A: Kaolinite under cross polarized Light (XPL), B: Kaolinite under Plane Polarized Light (PPL)

آنالیزهای ژئوشیمیایی

جهت تأیید بررسیهای سنگ‌شناسی مناطق تفکیکی، توسط داده‌های ماهواره‌ای، باید نمونه‌های برداشت شده، مورد آنالیز دستگاهی قرار بگیرند، تا به‌طور کمی و کیفی از گوناگونی کانیه‌شناسی مناطق دگرسانی اطلاعاتی به‌دست آید. در این راستا، تعداد 18 نمونه از مناطقی که نمونه‌های پتروگرافی از آن برداشت شده بود، به آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود ارسال شد، تا از لحاظ میزان کیفی و کمی کانیه‌شناسی نمونه‌ها و مشخص شدن فازهای اصلی و فرعی کانیه‌شناسی مورد تأیید قرار گیرند. با توجه به نتایج حاصل از نمونه‌ها، کانیه‌های کوارتز، ارتوکلاز و آلبیت بیشترین میزان (فاز اصلی) را نشان می‌دهند. این کانیه‌ها که از کانیه‌های اصلی دگرسانیها هستند، نشان‌دهنده حضور دگرسانیهای سیلیسی و آرژیلیک در منطقه هستند. در فاز ثانویه کانیه‌های ایلیت - مسکویت و مونت موریلونیت بیانگر دگرسانی سربسیتیک و آرژیلیک هستند (جدول 3).

همان‌طور که در بحث دورسنجی اشاره شد، دگرسانیهای سیلیسی و آرژیلیک و سربسیتیک در منطقه رامند شناسایی شدند و در آنالیز XRD هم وجود این دگرسانیها ثابت شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از آنالیز دیفراکسیون اشعه ایکس با بررسیهای دورسنجی هم‌خوانی داشته و درستی یافته‌های به دست آمده از دورسنجی را تأیید می‌کنند.

پس از بررسیهای پتروگرافی، مقاطع صیقلی و نازک تعدادی از نمونه‌ها به‌منظور بررسی میزان عناصر فرعی و کمیاب به‌روش ICP در شرکت زرا‌ما مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. همچنین به‌منظور سنجش عنصر طلا نمونه‌هایی که در آنها کانه‌های فلزی مثل پیریت دیده شده و مشکوک به داشتن طلا بودند و از قسمت‌های حاوی دگرسانی سیلیسی برداشت شده بودند، انتخاب شد و توسط شرکت کانساران بینالود، به‌روش جذب اتمی (AAS) مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول 2). برای آنالیز SEM، نمونه‌هایی را که در آنها با جذب اتمی، مقدار عنصر طلا مشخص شده بود، انتخاب شد و به آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران فرستاده شد. نتایج این آنالیز در شکل 9 آمده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در شکل A-9 و B، ذراتی که دارای رنگ روشن هستند؛ بیانگر عنصر طلا هستند.

بر طبق آنالیزهای انجام شده، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در محدوده مورد بررسی، بر اساس شواهد پتروگرافی و وجود دگرسانی، امید رخداد کانیه‌زایی وجود دارد. ماهیت و بافت توده نفوذی میزبان که در محدوده رخنمون داشته و همچنین تنوع دگرسانی که شامل آرژیلیک و سیلیسی است، مؤید این واقعیت است. بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عیار کمینه میانگین عنصر طلا برابر 131ppb و بیشینه آن 145ppb به دست آمده است. بنابراین میزان عنصر طلا از حد کمینه

اقتصادی آن (ppb 500) کمتر است؛ که این امر می‌تواند ناشی از: محدود بودن در تعداد برداشت نمونه‌ها، وسیع بودن محدوده دگرسانی و نبود رخنمون سطحی کانه‌زایی باشد.

جدول 2. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه رامند (Au بر حسب ppb و سایر عناصر بر حسب ppm)

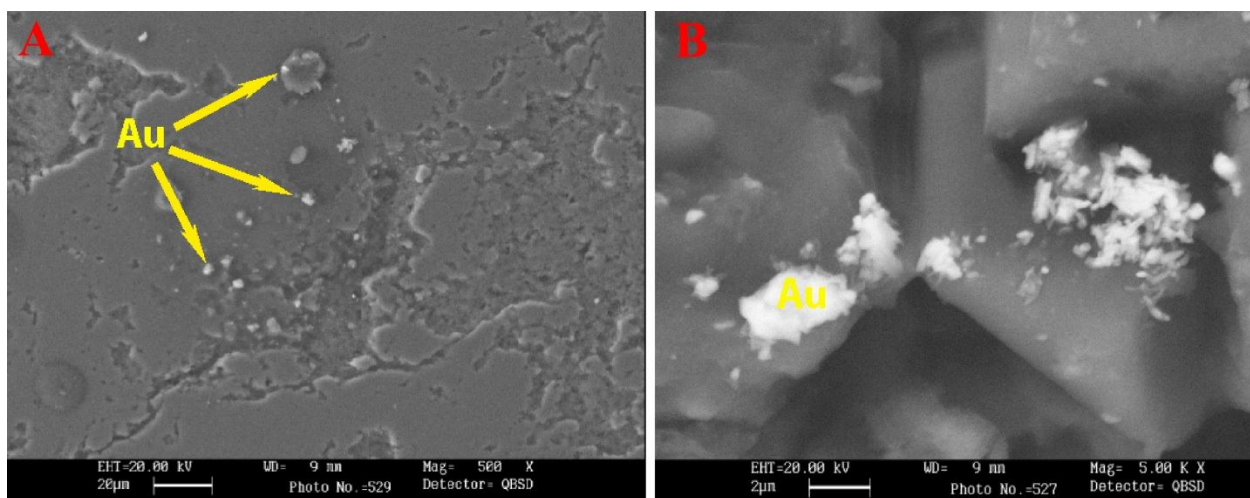
Table 2. Chemical analytical results for ramand samples(ppb for Au content and ppm for other elements)

Sample No.	M22	M28	M31	M37
	N: 35°75'18" E: 49°52'64"	N: 35°27'62" E: 49°51'73"	N: 35°27'44" E: 49°51'72"	N: 35°28'28" E: 49°51'74"
Au	131	133	125	145
Ag	0.2	0.17	0.17	0.2
Al	68132	69503	73424	70282
As	7.7	1.9	2	2.2
Ba	798	65	308	308
Be	1	2.7	1.7	1.7
Bi	0.41	0.41	0.45	0.50
Ca	2154	2658	667	652
Cd	0.25	0.25	0.25	0.26
Co	5	1	1	1
Cr	8	5	8	44
Cu	3	6	9	10
Fe	20863	1328	8010	7979
K	34978	3202	32556	28768
La	25	34	26	26
Li	14	2	3	3
Mg	7104	877	4569	4520
Mn	677	28	61	62
Mo	1.18	1.1	1.71	1.77
Na	16908	35455	4746	4735
Ni	4	1	1	13
P	324	305	152	148
Pb	5	4	12	7
S	55	1	312	285
Sb	0.91	0.91	0.83	1.02
Sc	5.5	2.5	4.9	4.8
Sn	2.7	2.9	2.9	2.8
Sr	53	55	17	17
Th	9.6	6.7	6.9	7
Ti	2270	2136	2019	2052
U	5	8	2.2	2.7
V	21	5	7	7
W	1.06	0.88	1.23	1.2
Y	23	14	16	16
Yb	3	1.7	1.8	1.9
Zn	91	29	36	34
Zr	117	47	71	76

جدول 3. نتایج آنالیز XRD برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه رامند

Table 3. XRD analysis results for Ramand sampled area

Sample No.	Major Phase	Minor Phase	Trace Phase
M20	Quartz	Orthoclase Albite, Illite, Montmorillonite	–
M21	Quartz, Orthoclase	Illite	–
M22	Quartz, Albite, Orthoclase	Montmorillonite, Kaolinite	–
M23	Quartz	Orthoclase, Albite, Montmorillonite	–
M24	Quartz, Illite	–	Gypsum
M25	Quartz	Illite	–
M26	Quartz	Albite, Orthoclase	–
M27	Quartz, Illite	–	–
M28	Albite, Quartz	Montmorillonite	–
M29	Albite, Quartz	Muscovite-Illite	–
M30	Quartz, Orthoclase	Albite, Muscovite- Illite	–
M31	Quartz, Muscovi- te-Illite	Albite, Natrojarosite	–
M32	Albite, Quartz	–	Muscovite- Illite
M33	Albite, Quartz, Orthoclase	Muscovite-Illite, Montmorillonite	–
M34	Quartz, Albite	Muscovite-Illite	–
M35	Albite, Quartz	Muscovite-Illite	–
M36	Quartz, Albite	Muscovite-Illite	–
M37	Quartz, Muscovi- te-Illite	Albite, Natrojarosite	–
M38	Quartz, Illite	Orthoclase, Jarosite	Kaolinite



شکل 9. نمایش ذرات طلا توسط میکروسکپ الکترونی

Fig. 9. Gold particles under SEM micrographs

همبستگی عناصر

پس از بررسیهای مربوط به همبستگی عناصر، همبستگی معناداری بین سه عنصر طلا، آهن و آرسنیک به دست آمده است. بر این اساس و با توجه به همبستگی مثبت بین طلا، آهن و آرسنیک، و میزبان سیلیسی آنها می‌توان چنین نتیجه گرفت که احتمالاً کانی‌سازی طلا در یک محیط سیلیسی شده، حاصل ته‌نشست سیالات گرمایی و حاوی کمپلکس‌های سولفوآرسنیک طلا‌داری است، که طی یک فرآیند دگرسان و در محیط میزبان سنگهای داسیت و ریوداسیت رخ داده است و احتمالاً با یک سامانه اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون پایین در ارتباط هستند.

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که اشاره شد، با توجه به پردازش تصاویر ماهواره‌ای و بر اساس بررسیهای پتروگرافی، این ناحیه مستعد کانی‌سازی در اطراف زون‌های گسله و در واحدهای سنگی داسیت، ریولیت و ریوداسیتی است؛ که تحت تأثیر دگرسانیهای آرژلیک و سیلیسی قرار گرفته‌اند. با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده ETM و ASTER هاله دگرسانی نسبتاً وسیعی در محدوده رخنمونهای مینرالیزه رامند شناسایی شد و از روش کروستا و نسبت بانندی به نحو مطلوب برای تشخیص هاله توأم رسی، اکسید آهنی و سیلیسی (به‌عنوان شاخص هم‌یافتی کانیها در ذخایر اپی‌ترمال) استفاده شده است. هاله دگرسانی سیلیسی، به‌طور جداگانه و در خلال پردازش تصاویر سنجنده ASTER بررسی و با استفاده از روش نسبت بانندی رخساره سیلیسی شده شناسایی شدند. نتایج پردازشهای انجام شده، طی بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از نواحی دگرسان بازبینی شده و با استناد بر نتایج آنالیزهای دستگاهی و بررسی مقاطع میکروسکوپی، دگرسانیهای رسی و سیلیسی منطقه رامند دارای ارتباط زایشی با یکدیگر بوده، که این امر ناشی از عملکرد سیالات کانی‌ساز، در خلال فعالیتهای پسامگمایی منطقه

است. از دیدگاه دورسنجی، منطقه رامند دارای قابلیت‌های اکتشافی متناسب با ذخایر ماگمایی - گرمایی بوده و نوع دگرسانیهای آن، مؤید وجود دست‌کم یک سامانه اپی‌ترمال در عمق هاله‌های دگرسانی است. با در نظر گرفتن نتایج بارزسازی و تفکیک زون‌های دگرسانی، منطقه مورد بررسی برای انجام فعالیتهای اکتشافی بیشتر (با تأکید بر پی‌جویی فلزات گرانبها) توصیه می‌شود.

با توجه به این‌که عیار کمینه اقتصادی طلا در حدود 500 ppb است، میزان طلای به‌دست آمده (جدول 2) مقدار پایینی است؛ ولی چندان ناامیدکننده هم نیست؛ زیرا این نکته که میزان طلا در ارتباط با چه نوع کانی میزبانی هستند، دارای اهمیت است. در بررسیهای همبستگی عناصر مشخص شد، طلا همبستگی مثبت و معناداری با آرسنیک دارد، بنابراین طلا بیشتر می‌تواند مربوط به آرسنوپیریت باشد و در این منطقه یک میزبان سولفوآرسنیدی برای طلا وجود دارد. در مناطقی با میزان طلای دارای عیار بین 50 تا 200 ppb به شرط آن‌که کانی سیلیسی در سنگ میزبان تبلور مجدد یافته باشد، حضور بافت کلوفرمی (قشری) و شیشه در مقاطع، مؤید نتایج خوب و امیدبخشی است. بر این اساس، در مناطقی که دارای کوارتزهای با درجه تبلور بالا نظیر کلسدون، اوپال و آگات وجود داشته باشد، انتظار افزایش طلا را خواهیم داشت. در واقع حضور طلا در رخساره کوارتز - کلسدونی احتمال غنی‌شدگی اولیه (هیپوژنیک) آن را در عمق هاله‌های دگرسانی افزایش می‌دهد (Mehrnia, 2009). یعنی با وجود پایین بودن عیار طلا از حدود آستانه اقتصادی، شرایط زمین‌شناسی و سازوکارهای دگرسانی، قابلیت کانه‌زایی فلزات پایه و گرانبها با افزایش عمق، قابل تأمل است. با توجه به پژوهشهای انجام شده و دگرسانی‌هایی که در این محدوده وجود دارد، می‌توان مدلی شماتیک از یک سامانه اپی‌ترمال برای این ناحیه در نظر گرفت.

References

Akbari, A., Mehrnia, S.R. and Moghadasi, J., 2012. Using GIS for Investigating on Barite Mineralization Potentials in Qazvin 1/100000 Sheet. 6th National Geological Conference, Payame Noor University of Kerman, Kerman, Iran (in Persian with English abstract).

Crosta, A.P. and Moore, J.McM., 1990. Enhancement of Landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. 7th Thematic Conference on Remote Sensing for

- Exploration Geology, University of Calgary, Calgary Canada.
- Honarmand, M., Ranjbar, H. and 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(3): 221- 238.
- Honarmand, M., Ranjbar, H. and Shahabpour, J., 2012. Application of principal component analysis and spectral angle mapper in the mapping of hydrothermal alteration in the Jebal-Barez Area, Southeastern Iran. *Resource Geology*, 62(2): 119-139.
- Kaviani Sadr, Kh., Khatib, M. and Zarinkoub, M.H., 2013. The relation between structural condition and mineralization based on aerial magnetism and satellite data and field studies in Cheshme-khort mineralization area, north-west of Birjand. *Journal of Advanced Applied Geology*, 9(1): 54-62 (in Persian with English abstract).
- Kruse, F.A., Lefkoff A.B., Boardman, J.W., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J. and Goetz. A.F.H., 1993. The spectral image processing system interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier, 44(2-3): 145-163.
- Loughlin, W.P., 1992. Principal component analyses for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(9): 1163-1169.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H., Mazaheri, S.A. and Heydarian Shahri, M.R., 2008. Detction of alteration zones related to porphyritic copper mineralization and epithermal gold using principal component analyses methods on landsat 7 satellit images, southwest of Birjand. 16th Symposium of Iranian Society of Crystallography and Mineralogy, Gilan University, Rasht, Iran (in Persian).
- Masoudi, F., 1990. Study of stratigraphy, petrography and petrology of volcanic rocks, South of Bouin Zahra. M.Sc. Thesis, Kharazmi University, Tehran, Iran, 210 pp.
- Mansouri, F., 1997. Petrology of Eocene volcanic rocks in south-west of Qazvin, Dan Esfahan area. M.Sc. Thesis, Kharazmi University, Tehran, Iran, 190 pp.
- Mehrnia, S.R., 2009. Silica Nonlinear Distribution, as a new approaching to textural zonation modeling related to gold-bearing indices in eastern Azerbaijan province. *Journal of Sciences*, 36(1): 69-82 (in Persian with English abstract).
- Ranjbar, H., Honarmand, M. and Moezifar, Z., 2004. Application of the crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM⁺ data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(2): 237-243.
- Rasa, I. and Barati, M., 2006. Study of redox reaction in conversion of magnetiteto hematite in depths of Iron mine, W Iran. 2th Symposium of Applied Geology and Environment, Islamic Azad University of Islamshahr, Islamshahr, Iran (in persian).
- Sabins, F.F., 2007. Remote sensing principles and interpretation. Waveland Press, New York, 494 pp.
- Tangestani, M. and Moore, F., 2000. Iron oxide and hydroxyl enhancement using the crosta method: a case study from the Zagros Belt, Fars Province, Iran. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2(2): 140-146.
- Vosoughi Abedini, M. and Dorouzi, R., 2009. The role of magmatic fractionation and crustal contamination in the genesis of south and south eastern buein-zahra eocene volcanic rocks. *Iranian Journal of Geology*, 10(3): 15-23 (in Persian with English abstract).



Remote Sensing Analysis of Mineralized Alteration in the Ramand Area (Qazvin Province)

Seyed Abolfazl Ezzati^{1*}, Seyed Reza Mehrnia² and Kimiya Sadat Ajayebi³

1) Zarnab Exploration Consultant Engineering, Tehran, Iran

2) Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

3) Department of Geology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Submitted: Apr. 22, 2013

Accepted: June 8, 2015

Keywords: Alteration, Remote Sensing, Crosta PCA, Ramand

Introduction

The Ramand area, southwest of Buin- Zahra, about 60 kilometers from Qazvin, lies in the igneous belt of the Urmieh-Dokhtar region, the main structural zone of north-central Iran. Rhyodacite and rhyolite lava flows are the principal host rocks of mineralization and alteration of the area, most of which occurs in faulted and brecciated zones alongmaj or northwest-trending fault systems (such as Kour-Cheshmeh, Hassan Abad and their branches). Clay minerals determined from satellite images indicated principally argillic hydrothermal alteration before laboratory mineralogical analysis. According to instrumental analyses, mineralized alteration with greater amounts of argillic halos and lesser amounts of sericitic-propylitic minerals contains quartz veinlets in the vertical and lateral sections. Initially, alteration in the Ramand area was revealed in ETM images by using the SPCA technique of Crosta and Moore, 1990 (Selective Principle Component Analysis). Compared with other techniques, SPCA results have reliable spectral signatures for identifying argillic minerals and Fe-oxides as the main mineralogical association in hydrothermal environments. Subsequently, multispectral images (ASTER) were analyzed using band ratios. The results indicated silicification alteration along the faulted regions in the Ramand area. Later, areas of silicification alteration were prospected for precious and base metal mineralization. Sampling results suggested that the altered areas have some potential for epithermal

mineralization, according to instrumental analyses and micrographic evidence.

Materials and methods

- 1- Collecting satellite images, geological evidence and related documents
- 2- Image processing to reveal and identify the mineralized alteration.
- 3- Sampling of the mineralized zones indicated by the remote sensing.
- 4- Thin- and polished section microscopic studies.
- 5- X-ray diffraction analysis (XRD) (19 samples), inductively coupled plasma mass spectrometry analysis (ICP- MS) for determining the major and trace elements (4 samples) and 4 samples were analyzed for the gold content by using atomic absorption (AA).

Discussion and results

Most of the hydrothermal alteration in the Ramand region was mapped by processing the ETM and ASTER satellite images. The Crosta and Moore (1990) technique indicated the facies of alteration, and increased the correlation between altered and mineralized regions.

Evaluating the potential for ore-grade mineralization requires mapping the location and probable zonal location of the quartz veins indicated by band ratios in the ASTER image (Kruse et al., 1993; Honarmand et al., 2012). Our studies showed that volcanic rocks in the Ramand area are intensively altered by hydrothermal processes. The micrographic results confirmed that argillic and silicification alteration occurred

*Corresponding authors Email: ezzatiabolfazl@gmail.com

within calcitized-oxidized masses. The study has shown that the mineralized region significantly contains quartz veinlets usually surrounded by argillic halos and Fe-oxides as two components of the alteration.

In conclusion, our remotely sensed prognostic map indicates a strongly altered epithermal system along faulted structures and breccia zones clearly apparent at the surface (Akbari, et al., 2012). The altered zones probably extend at depth with probable zones enriched in gold and base metals. Considering the zonal patterns indicated by image processing, besides the ore genesis peculiarities of the epithermal systems (micrographic results), this article introduces reliable data indicating the nature of mineralization in the Ramand area based on analysis of satellite images and mineralogical and chemical analyses of samples which encourage detailed exploration for discovery of orebodies in a deeper prospect.

References

- Akbari, A., Mehrnia, S.R. and Moghadasi, J., 2012. Using GIS for Investigating on Barite Mineralization Potentials in Qazvin 1/100000 Sheet. 6th National Geological Conference, Payame Noor University of Kerman, Kerman, Iran (in Persian with English abstract).
- Crosta, A.P. and Moore, J.McM., 1990. Enhancement of Landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, University of Calgary, Calgary Canada.
- Honarmand, M., Ranjbar, H. and Shahabpour, J., 2012. Application of principal component analysis and spectral angle mapper in the mapping of hydrothermal alteration in the Jebal-Barez Area, Southeastern Iran. *Resource Geology*, 62(2): 119–139.
- Kruse, F.A., Lefkoff A.B., Boardman, J.W., Heidbrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J. and Goetz. A.F.H., 1993. The spectral image processing system interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier, 44(2-3): 145-163.