

مطالعه رویداد دگرسانی پیرامون توده نفوذی جنوب بوبین زهرا

تقی نبی^۱، احمد خاکزاد^۲، مهدی حسینی^۳ و سید رضا مهرنیا^۴

^۱دکتر، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
^۲استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
^۳استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
^۴دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۳۱

چکیده

منطقه مورد مطالعه بخشی از نوار ماگمایی ارومیه - بزمان در پهنه ساختمانی ایران مرکزی است که در جنوب شهر بوبین زهرا (استان قزوین) واقع شده است. در این ناحیه سنگ های آتشفشانی و آذرآواری توسط یک توده نفوذی قطع شده اند و در سنگ های میزبان و در داخل توده نفوذی، دگرسانی گسترده ای رخ داده است. در این مطالعه داده های ETM^+ ماهواره لندست ۷ به منظور بازسازی نواحی تحت تأثیر دگرسانی استفاده شده است و دگرسانی کلی ناحیه توسط روش های رایج ترکیب رنگی (RGB)، نسبت گیری باندی و به ویژه تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) نقشه برداری شدند. هر سه روش برای حصول اطلاعات عمومی دگرسانی از داده های تصویری منطقه مؤثر واقع شدند. روش تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) و به ویژه تحلیل مؤلفه های اصلی انتخابی (تکنیک کروستا)، نتایج بسیار دقیقی ارائه می نماید که به کمک آن نواحی دگرسان شده رسی و اکسید آهنی، تفکیک شدند. در نواحی به شدت دگرسان شده، نتایج حاصل از تحلیل کانی شناختی محصولات دگرسانی (به روش XRD)، دو شکل منطقه بندی قائم و جانبی را نمایان می سازد که در منطقه بندی قائم از پایین به بالا، مناطق آرژیلیک پیشرفته، آلونیتی و سیلیسی و در منطقه بندی افقی از محل سطوح گسلی به طرف سنگ دیواره، مناطق آرژیلیک پیشرفته و پروپلیتیک شناسایی شد. ترکیب کانی شناختی هر منطقه و شکل منطقه بندی آنها، نوع دگرسانی در این منطقه را نوع اسیدی سولفاتی معرفی می نماید. مطالعه میانبراهای سیال بلورهای کوارتز موجود در رگه های کوارتز، حکایت از وجود دو فاز مایع و بخار (LV) را داشته و مطالعه آنها، درصد شوری بین ۱۶/۸٪ تا ۱۹/۲٪ ($NaCl^{wt\%}$) و دمای همگن شدگی بین ۲۰۴ تا ۲۸۰ درجه سانتی گراد را نشان می دهد.

کلیدواژه ها: کروستا، مؤلفه های اصلی، میانبراهای سیال، دگرسانی، هیدروکسیل، اسیدی سولفاتی.

*نویسنده مسئول: تقی نبی

E-mail: Nabaei1977@pnu.ac.ir

۱- پیش گفتار

نیازهای بشر امروزی به مواد اولیه که پیامد توسعه علوم و فنون مختلف است لزوم برنامه ریزی های گسترده پی جویی و اکتشاف این مواد را بیش از پیش آشکار ساخته است. تأمین این نیازها با تنوع، تعدد و حجم بالای مد نظر امروز، مستلزم برنامه ریزی های دقیق کوتاه مدت و بلندمدت علمی و اجرایی بوده و لزوم بهره گیری از آخرین دستاوردهای علمی روز در این امر مهم بر هیچ کس پوشیده نیست.

یکی از روش های نوین و همچنین ارزان قیمت و سریع در پی جویی های سراسری و در مقیاس های محلی و ناحیه ای، روش پی جویی ذخایر معدنی از راه دور و بر پایه پردازش داده های طیفی ماهواره های مرتبط، است. بنابراین کاربرد این روش بر روی مناطق مختلف زمین شناختی، بسیار مؤثر خواهد بود. با توجه به این مطلب و یادآوری این نکته که نقش فعالیت محلول های گرمایی در کانه زایی از بسیاری از پدیده های کانسار ساز آشکارتر است، پی جویی محل های رخداد این پدیده می تواند به مثابه یک هاله ژئوشیمیایی که ما را به سوی کشف پتانسیل های معدنی می کشاند، مفید واقع شود.

این نوشتار قصد دارد که با توجه به واقع شدن ناهمواری های جنوب و جنوب باختر بوبین زهرا بر روی نوار ماگمایی ارومیه - بزمان و توجه به همراهی بسیاری از فعالیت های ماگمایی با فعالیت های گرمایی و نیز مستعد بودن طبقات سنگی ماگمایی و سنگ های وابسته به دگرسانی، با بهره گیری از روش های پردازشی داده های ماهواره ای، ابتدا مناطق دگرسان شده را به ویژه در پیرامون توده نفوذی جنوب بوبین زهرا، نقشه برداری کند، سپس با کار میدانی و نمونه برداری از پهنه های مختلف دگرسانی منطقه و پس از انجام آزمایش بر روی نمونه ها در آزمایشگاه، به تحلیل منطقه بندی مناطق دگرسانی و نیز به تحلیل ژئتری آنها می پردازد.

۲- زمین شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه در ۱۰ کیلومتری جنوب باختر بوبین زهرا و در جنوب و جنوب خاور روستای رستم آباد و در حقیقت در بخش شمالی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه و به ترتیب در بخش خاوری و باختری نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خیارچ و اشتهدار قرار دارد. از نقطه نظر تقسیمات زمین شناختی ایران نیز این منطقه بخشی از نوار ماگمایی ارومیه - بزمان در پهنه ایران مرکزی است (آقاباتی، ۱۳۸۳).

بدین ترتیب طبقات سنگی منطقه بیشتر آتشفشانی، نفوذی و آذرآواری و از نظر سنی به سن سنوزویک (بیشتر ائوسن و پس از آن) تعلق دارند. در خلال طبقات یاد شده گسل های متعدد اصلی و فرعی بیشتر از نوع معکوس با امتداد جنوب خاوری - شمال باختری و کمتر عادی با امتداد در جهت تقریباً عمود بر آن دیده می شود. فعالیت زمین ساختی عامل به وجود آورنده گسل های یاد شده باعث قطعه قطعه شدن طبقات و موجب خردشدگی شدید آنها شده است. جایگیری توده نفوذی جنوب بوبین زهرا (جنوب تفک) نیز با ترکیب کوارتز دیوریتی تا آپلیتی (طباخ شعبانی، ۱۳۶۹) با رخنمون تقریبی بیضوی شکل و با گسترش قطر بزرگ تر در جهت شمال باختر - جنوب خاور و نیز خروج برخی واحدهای آتشفشانی جوان (احتمالاً پس از ائوسن) نیز در ارتباط با تکاپوهای زمین ساختی پیش گفته توجیه پذیر خواهند بود. مطالعات سنگ شناسی سنگ های ماگمایی منطقه مورد مطالعه مشخص می کند که حجم وسیعی از سنگ های اسیدی به صورت جریان هایی از مواد آذرآواری (ایگمبریت) تظاهر دارند و سنگ های اسیدی نسبت به ترم های بازیک گسترش بیشتری دارند که این حالات یادآور محیط زمین ساختی حاشیه فعال قاره است. بررسی ترکیب شیمیایی سنگ های آتشفشانی منطقه بر روی نمودارهای سنگ شناختی، همگی حاکی از این مدعا بوده و بر این موضوع که ماگمای تشکیل دهنده سنگ های آذرین منطقه در یک محیط زمین ساختی فرورانشی حاشیه قاره فعالیت داشته، تأکید دارد.

(دو روزی و همکاران، ۱۳۸۶ الف و ب؛ دو روزی و وثوقی عابدینی، ۱۳۸۸؛ مسعودی ۱۳۶۹؛ صفرزاده و همکاران، ۱۳۸۶).

با توجه به مطالعات انجام شده به راحتی می توان یادآور شد که سنگ های خروجی این ناحیه از ماگمایی به وجود آمده اند که در منطقه فرورانش حاشیه قاره، فرایند تبلور بخشی را طی کرده اند و به عبارت دیگر محیط زمین ساختی - ماگمایی منطقه جزو محیط های حاشیه فعال قاره ای (Active continental margin) طبقه بندی می شود. دگرسانی گرمایی گسترده ای تقریباً اغلب طبقات سنگی آذرین و آذرآواری منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است. شدت دگرسانی در برخی طبقات به حدی است که ترکیب کانی شناسی سنگ اولیه کاملاً تغییر یافته و بافت اولیه آن نیز از بین رفته است.

۳- سنجش از دور و بارزسازی مناطق دگرسانی

سنگ های دگرسان شده نسبت به سنگ های مادر خود تنوع رنگی بسیاری داشته و این تنوع رنگی در واقع حاصل دگرسانی سنگ های میزبانی است که کانی های آنها به وسیله فعالیت های شیمیایی با سیالات گرمایی پیرامون تغییر ماهیت داده اند (Beane, 1982). هنگامی که محصولات دگرسانی در سطح زمین رخنمون یابند، توسط الگویی که از نظر تئوری دارای منطقه بندی هم مرکز می باشند، قابل نقشه برداری هستند (Guilbert & Charles, 1986).

یکی از ایده های کلیدی فنون سنجش از دور در زمین شناسی اکتشافی، در نمایش سنگ ها، کانی ها و ساختارهای مرتبط با یک ماده معدنی ویژه و نه لزوماً خود ماده معدنی است که در این راستا دلایل منطقی متعددی ارائه شده است. بنابراین با توجه به اینکه مواد معدنی همیشه در سطح زمین رخنمون ندارند و همیظور به دلیل کوچک مقیاس بودن خود توده معدنی و نیز به دلیل منطبق نبودن ویژگی طیفی کانی ها و سنگ های مرتبط با توده معدنی بر ویژگی طیفی مواد معدنی، فن سنجش از دور می تواند در بیشتر مواقع در پی جویی و اکتشاف ذخایر معدنی مفید واقع شود.

در این مطالعه فنون سنجش از دور مختلفی بر روی داده های ETM⁺ که توسط لندست ۷ در جولای ۲۰۰۲ از منطقه برداشت شده در محیط نرم افزاری ENVI 4.5 آزمایش شد. روش های قابل اعتماد در نقشه برداری دگرسانی منطقه شامل استفاده از ترکیبات بانندی رنگی (RGB)، نسبت گیری بانندی (Band Rationing)، تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) و به ویژه تحلیل مؤلفه های اصلی انتخابی (تکنیک کروستا) می شوند که از این بین روش اخیر در مقایسه با روش های دیگر پیشرفته تر بوده و به دلیل برخورداری از قابلیت اینکه می توان به صورت دستی برخی از اطلاعات غیر ضروری را حذف کرد، نتایج مطمئن تری را ارائه می دهد که در این نوشتار به شرح مختصر این روش بسنده می گردد.

۳-۱- روش تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) (Principal Component Analysis)

کاهش تعداد باندهای طیفی به عنوان ورودی تحلیل مؤلفه اصلی بی شک باعث عدم نقشه برداری موادی خاص (غیر ضروری) و افزایش احتمال نقشه برداری دیگر مواد (مد نظر) را به داخل یکی از مؤلفه ها، موجب خواهد شد. این روش فن کروستا نامیده می شود. این روش جزییات شرایط طیفی مواد هدف را نشان نخواهد داد و نیازی به تصحیح اتمسفری و نیز رادیومتری ندارد. این روش افزون بر کاربرد گسترده ای که در نقشه برداری های زمین شناختی دارد، تقریباً برای همه انواع اهداف سنجش از دور می تواند استفاده شود (Yetkin, 2003).

- تکنیک کروستا (Selective PCA)

کاهش تعداد باندهای ورودی برای تعیین یک مؤلفه اصلی برای رده های کانی شناختی خاص، از اصول کلیدی این روش است. بنابراین به منظور انتخاب باندهای مؤثر و نیز حذف دیگر باندها، از ماتریس همبستگی بین باندها استفاده می شود. در این روش باندهای دارای همبستگی پایین تا متوسط برای نقشه برداری طیفی و باندهای با

همبستگی بالا برای کاهش ابعاد داده ها به کار می روند (Yetkin, 2003). به عبارت دیگر اختلاف بیشتر در ماتریس همبستگی مبین این مطلب است که دو ماده مورد بررسی دارای ویژگی های طیفی (و نتیجتاً ترکیبی) متفاوتی هستند و این موضوع در تفکیک سنگ های دگرسان نشده (در این منطقه سنگ های غالباً ماگمایی) از محصولات دگرسان شده آنها که اختلاف ترکیبی متفاوتی دارند بسیار مفید خواهد بود. بنابراین در این مرحله، ۴ باند ورودی با توجه به ویژگی طیفی کانی های شاخص دگرسانی، به ویژه باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ سنجده ETM⁺ برای نمایش اکسیدهای آهن و نیز باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ برای نمایش هیدروکسیل ها، انتخاب می شوند. جدول ۱ نتایج تحلیل مؤلفه های اصلی باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ منطقه را به منظور انتخاب مؤلفه اصلی مناسب در نقشه برداری اکسیدهای آهن گزارش می دهد.

در جدول ۱، PC₁ دارای وزن مثبتی از همه باندها و شامل ۸۶/۶۹ درصد از کل واریانس داده های ETM⁺ منطقه است. در PC₂ مقادیر عددی بردارهای ویژه باندهای مری ۱ و ۳ مثبت و باند فروسرخ ۵ منفی است. این موضوع اختلاف میان این دو نوع باند را نمایش می دهد. در PC₃ مقدار بردار ویژه باند ۴، منفی و بالاست (۰/۹۵-) و با توجه به سهم آن (۲/۳۱ درصد) از واریانس کلی، مبین پوشش گیاهی نسبتاً پایین منطقه است. در PC₄ باندهای ۱ و ۳ دارای مقادیر بالا و با علامت مخالف هم نمایان می شوند که به ویژگی طیفی اکسیدهای آهن مربوط بوده و بنابراین در تصویر PC₄ نواحی حاوی کانی های اکسید آهنی به صورت واحدهای تصویری تیره از دیگر ترکیبات، تفکیک می شوند. به منظور نمایش اکسیدهای آهن منطقه به صورت واحدهای تصویری روشن، می توان تصویر PC₄ - را با ضرب PC₄ در -۱، به دست آورد.

به تصویر حاصل (PC₄-)، اصطلاحاً تصویر اکسید آهن یا تصویر F کروستا گویند (شکل ۱). جدول ۲ نتایج تحلیل مؤلفه های اصلی باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ به منظور انتخاب مؤلفه اصلی مناسب در نقشه برداری هیدروکسیل ها را، گزارش می دهد. در این مرحله نیز PC₁ دارای وزن مثبتی از همه باندها و شامل ۹۱/۹۰ درصد از کل واریانس داده های ETM⁺ منطقه و معرف توپوگرافی و درخشندگی است. در PC₂ مقادیر عددی بردارهای ویژه باندهای مری ۱ و ۴ مثبت و باندهای فروسرخ ۵ و ۷ منفی است. این موضوع اختلاف میان این دو نوع باند را نمایش می دهد. در PC₃ مقدار بردار ویژه باند ۴، منفی و بالاست (۰/۷۵-) و با توجه به سهم آن (۲/۶۱ درصد) از واریانس کلی، مبین پوشش گیاهی نسبتاً پایین منطقه است. در PC₄ باندهای ۱ و ۷ دارای مقادیر بالا و با علامت مخالف هم نمایان می شوند که به ویژگی طیفی هیدروکسیدها مربوط بوده و بنابراین در تصویر PC₄ نواحی دارای کانی های هیدروکسیدی به صورت واحدهای تصویری تیره از دیگر ترکیبات، تفکیک می شوند. به منظور نمایش هیدروکسیدها به صورت واحدهای تصویری روشن، تصویر PC₄ - با ضرب PC₄ در -۱، به دست آمد. به تصویر حاصل (PC₄-)، اصطلاحاً تصویر هیدروکسیل یا تصویر H کروستا گویند (شکل ۲).

با تلفیق دو باند H و F به صورت H+F، بانندی با ویژگی های طیفی مختص نواحی با ترکیب بینابینی از هیدروکسیل و اکسید آهن ایجاد می شود. با علم بر اینکه چنین نواحی دارای گسترش بیشتری از دیگر ترکیبات در مناطق دگرسان شده دیده می شوند، این دستاورد می تواند در نقشه برداری این تیپ نواحی مؤثر واقع شود. تصویر H+F (شکل ۳) افزون بر این می تواند محل های رخنمون همزمان اکسیدهای آهن و هیدروکسیل ها را معرفی کند که از این حیث بسیار حائز اهمیت خواهد بود. در مرحله بعد با ترکیب F، H+F و H به صورت ترکیب رنگی (به ترتیب در کانال های قرمز، سبز و آبی)، بهترین تصویر در نقشه برداری مناطق دگرسانی حاصل می شود (شکل ۴).

همانطور که در شکل ۴ مشخص است، نواحی دگرسان شده منطقه مورد مطالعه بیشتر در نواحی مرکزی و باختری ناحیه و در جوار جنوبی و جنوب باختری توده

همانطور که در شکل ۸ به صورت نمادین نشان داده شده است، در پهنه‌بندی قائم ستبرای پهنه‌ها با هم برابر نبوده و با مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صحرایی مشخص شد که پهنه آرژیلیک حداکثر ستبرا (حتی تا چند ده متر) و پهنه آلونیتی و سیلیسی شده با ستبرای تقریبی برابر و در حدود چند سانتی‌متر تا کمتر از ۲۰ متر را دارا هستند. منطقه‌بندی قائم و نیز کانی‌شناسی خاص هر منطقه (حضور کانی‌های سولفاتی مانند آلونیت، ژاروسیت و ژپس) و توجه به محیط زمین‌ساختی و ترکیب سنگ‌های میزبان داسیتی تا تراکی‌آندزیتی واقع بر نوار ماگمایی ارومیه- بزمان با قبول محیط زمین‌ساختی "فرورانش حاشیه قاره"، برای پدیده‌های دگرسانی منطقه نوعی از دگرسانی تحت عنوان دگرسانی نوع اسیدی سولفاتی، تشخیص داده می‌شود.

در برخی نواحی و در حجم کم نیز نوعی دگرسانی با فراوانی عمده کانی‌های ارتوکلاز، کوارتز و ایلیت دیده می‌شود که یادآور پهنه پتاسیک است. این نوع که تنها در چند نقطه به صورت توده‌های منفرد دیده می‌شود در جوار جنوبی توده نفوذی منطقه و در تماس مستقیم با توده گرانودیوریتی دیده می‌شود.

۴-۲. منطقه‌بندی جانبی

منطقه‌بندی جانبی از سطوح گسلی به سمت سنگ‌های دیواره گسل و به‌ویژه در جهت یال شمالی گسل ساری دره به روشنی دیده می‌شود. گسترش عمل دگرسانی در برخی نواحی و به داخل سنگ‌های دیواره گاهی به اندازه غیر قابل تصور و در حد چند ده‌متر می‌رسد.

در منطقه‌بندی جانبی از سطوح گسلی به سمت سنگ دیواره به ترتیب پهنه‌های شامل پهنه آرژیلیک پیشرفته و پهنه پروپلیتیک، مشخص و از هم تمیز داده می‌شوند. این پهنه‌بندی به صورت نمادین در شکل ۹ نمایش داده شده است.

در این نوع منطقه‌بندی ستبرای پهنه آرژیلیک پیشرفته بسیار کمتر و محدود به محل عبور گسل‌های اصلی و شاخه‌های فرعی آن می‌شود و این در حالی است که پهنه پروپلیتیک بسیار گسترده‌تر و با رخنمون سطحی قابل توجه دیده می‌شود.

۵- کانی‌زایی فلزی همراه توده‌های دگرسان شده

در پاره‌ای از موارد در بین طبقات دگرسان شده کانی‌زایی فلزی به‌ویژه از نوع کانی‌های کربناتی مس (بیشتر مالاکیت و کمتر آزوریت) به همراه مقادیری کانی‌زایی باریت و گالن و به ندرت اسفالریت نیز دیده می‌شود که کانی‌های مس بیشتر به صورت رگ و رگچه با ستبراهای ناچیز و بسیار پراکنده ولی کانی‌های سرب و روی و باریت بیشتر به صورت رگه‌های تا چند سانتی‌متری و در پهنه‌های گسلی دیده می‌شوند.

کانه‌زایی در رگه‌های با پاراژنز کانی‌شناسی عمومی اسفالریت، گالن و باریت (شکل ۱۰) به ترتیب از سمت دیواره به سمت مرکز رگه دیده می‌شود و به صورت نمادین در شکل ۱۱ می‌توان نمایش داد. بافت پرکننده فضای خالی، بافت چیره در کان‌زایی فلزی منطقه بوده و در مقیاس میکروسکوپی تا ماکروسکوپی قابل توصیف است.

وجود رگه‌های نسبتاً کم‌ستبرا (کمتر از یک سانتی‌متر تا حداکثر یک متر) باریت و همچنین کانی‌زایی مس همراه با ماگماتیسیم کالکوالکال در منطقه (مسعودی، ۱۳۶۹) و همچنین محیط زمین‌ساختی فرورانش حاشیه قاره که در منطقه شاهد آن هستیم، همخوانی داشته و به‌ویژه حضور کانی‌های مالاکیت، آزوریت و دیگر کانی‌های اکسید و کربناتی مس که احتمالاً بر اثر اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی مس به صورت پراکنده در داخل توده‌های دگرسان شده دیده می‌شود، ایده وجود یک پهنه اکسید برای کان‌زایی اولیه مس در این طبقات را ارائه می‌دهد (جعفری، ۱۳۷۴؛ ریحانی، ۱۳۸۲).

با توجه به اینکه پتانسیل‌های فلزی منطقه مورد بحث این نوشتار نیست؛ شرح تفصیلی آن در نوشتاری دیگر ارائه خواهد شد.

نفوذی اصلی و در امتداد گسل ساری دره با امتداد تقریبی خاوری-باختری گسترش یافته‌اند. مقایسه تصویر حاصل با تصاویر حاصل از نسبت‌گیری باندی و کنترل صحرایی آنها نشان داد که تصاویر حاصل از روش کروسا در تفکیک پهنه‌های دگرسان شده از رخنمون‌های گل‌سنگی میوسن و آبرفت‌های کواترن موف‌تر عمل می‌نمایند. تصویر حاصل از روش نسبت‌گیری با استفاده از نسبت‌های باندی ۵/۷، ۳/۲ و ۴/۵ به صورت ترکیب رنگی به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی، به عنوان نمونه و مقایسه با تصاویر کروسا در شکل ۵ نمایش داده شده است.

۴- منطقه‌بندی دگرسانی

پس از انجام عملیات سنجش از دور و مشخص شدن مناطق دگرسان شده منطقه از این طریق، کنترل‌های صحرایی به منظور ارزیابی دقت و صحت روش‌های به کاررفته در سنجش از دور از چند ناحیه صورت پذیرفت و پس از کنترل آن نقشه اجمالی مناطق تحت تأثیر عمل دگرسانی با انتقال داده‌های تصویر ترکیب رنگی $H+F$ ، F و H به محیط نرم‌افزار Arc view، رسم شد (شکل ۶).

طی بازدیدهای صحرایی از مناطق دگرسان شده، آشکار شد که توده‌های سنگی دگرسانی شدید تا خیلی جزئی را محتمل شده‌اند و می‌توان عنوان کرد که کمتر توده سنگی دارای رخنمونی را می‌توان در منطقه دید که از گزند دگرسانی در امان بوده باشد. شدت عمل دگرسانی به‌ویژه در طول برخی پهنه‌های گسلی به بیشترین حد خود می‌رسد که از آن می‌توان به دگرسانی حادث در طول گسل ساری دره اشاره کرد. این رویداد در امتداد بیشتر گسل‌های فرعی منطقه دگرسان شده نیز به روشنی قابل تشخیص بوده و علت آن نیز با توجه به کانالیزه شدن بهتر محلول‌های گرمایی از معبر سطوح گسلی، به طور کامل توجیه می‌شود. سنگ‌های دیواره تحت تأثیر واکنش با سیال عبوری بیشتر با ترکیب آندزیتی، داسیتی، ریوداسیتی تا تراکی‌آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری حدواسط تا اسید هستند.

نمونه‌برداری هوشمندانه از پهنه‌های مختلف به‌ویژه از پهنه‌های دارای رخنمون غیرهوازده (ترانشه‌ها، چاهک‌ها و حفاری‌های معدنی) و تحلیل کانی‌شناختی نمونه‌ها به روش پراش اشعه ایکس (XRD) نتایج قابل توجهی در مورد ترکیب کانی‌شناختی بخش‌های مختلف توده‌های دگرسانی به شرح زیر را ارائه می‌نماید.

با توجه به کانی‌شناسی توده‌های مختلف، در توده‌های دگرسان شده منطقه دو نوع منطقه‌بندی قائم و جانبی تشخیص داده می‌شود. منطقه‌بندی قائم به‌ویژه در توده‌های واقع در حاشیه دره گسلی ساری دره و به سمت شمال آن تا اطراف توده نفوذی و منطقه‌بندی جانبی فقط در سطوح گسلی به سمت سنگ‌های دیواره دیده می‌شود. بنابراین ابتدا نمونه‌برداری بر پایه تغییراتی که در مشاهدات صحرایی نمایان بود و به‌ویژه از روی تغییرات رنگ توده‌ها و همچنین از روی نوع فرسایشی که نمایش می‌دهند صورت پذیرفت و پس از آزمایش نمونه‌های اولیه، نمونه‌برداری سکانشی برای تکمیل اطلاعات صورت پذیرفت.

۴-۱. منطقه‌بندی قائم

در توده‌های با شدت بالای دگرسانی در سرتاسر منطقه، از نقطه نظر کانی‌شناختی سه منطقه مجزا در جهت قائم تشخیص داده می‌شود که این پهنه‌ها به ترتیب از پایین به بالا عبارتند از: پهنه آرژیلیک پیشرفته، پهنه آلونیتی شده، پهنه سیلیسی شده.

مرز بین هر پهنه با پهنه مجاور یک مرز تدریجی است و فقط مرز بین پهنه آلونیتی شده با مرز سیلیسی تا حدودی در رخنمون‌ها مشخص تر است. پهنه‌بندی قائم یکی از توده‌ها که در شمال روستای حاجی آباد واقع شده است در شکل ۷ و نیز تصویر نمادین پهنه‌بندی مقطع عرضی بیشتر توده‌ها در شکل ۸ نمایش داده شده است.

در مطالعات کانی‌شناسی با استفاده از دستگاه XRD بر روی ۱۰۰ نمونه که به صورت سیستماتیک و با توجه به روند تغییرات اصلی هر منطقه برداشت شده‌اند، کانی‌های شاخص هر پهنه به ترتیب اولویت در فراوانی به شرح جدول ۳ مشخص شد.

۶- ژئوترموتری سیال عامل دگرسانی

به منظور درک بهتر شرایط سیال عامل دگرسانی در منطقه، ۱۵ نمونه از کوارتزهای واقع در سطوح گسلی (محل‌های عبور سیال) برداشت و پس از آماده‌سازی ۹ مقطع دو رو صیقلی- نازک و مطالعه آنها، میزان میانگین درصد وزنی املاح محلول ($\text{NaCl}_{wt\%}$) و نیز میانگین دمای سیال دگرسان‌کننده در هر نمونه و نیز دانسیته سیال اندازه‌گیری شده که در جدول ۵ نتایج این مطالعه آمده است.

طی مطالعات ژئوترموتری دمای سیال (دمای همگن شدن فاز بخار و مایع) بین ۲۰۴ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و درصد شوری سیال نیز با اندازه‌گیری نقطه انجماد سیال و استفاده از نمودار کرانورد (۱۹۸۱) در نبی (۱۳۸۱)، بین ۱۶/۸ تا ۱۹/۲ درصد وزنی نمک طعام محاسبه شد (شکل ۱۲) و در نهایت دانسیته سیال نیز بین ۰/۸۹ تا ۱/۱۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب برآورد شد.

این شرایط یادآور دگرسانی از نوع مزوترمال (دمای متوسط) است و وجود فاز بخار در بیشتر میانبارها می‌تواند حاکی از رخداد جوشش منطقه‌ای در سیال مورد بحث باشد.

۷- نتیجه گیری

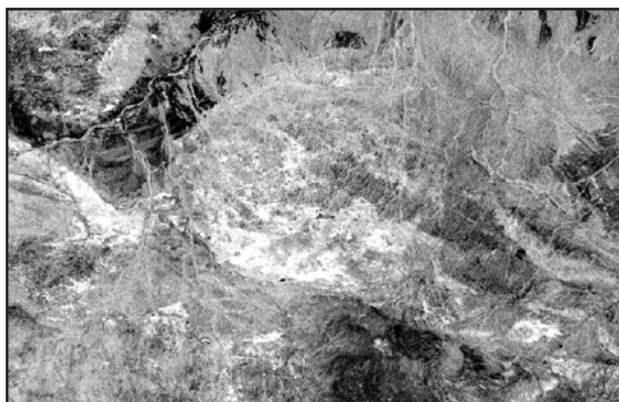
با توجه به مطالعه انجام شده در منطقه نتایج زیر خلاصه می‌شوند:

این مطالعه نشان می‌دهد که یکی از ارزان‌ترین، سریع‌ترین و کارآمدترین و در عین حال مطمئن‌ترین روش‌های نقشه‌برداری مناطق دگرسان شده، روش پردازش داده‌های رقومی ماهواره به‌ویژه روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (کروستا) است. در این روش با حذف اطلاعات کم‌ارزش‌تر و در نتیجه تقویت اطلاعات مؤثر، می‌توان بیشترین بارزسازی را حاصل کرد. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های

اصلی داده‌های ماهواره‌ای می‌توان به کمک داده‌های بانندی که همبستگی کمی با هم دارند، مرزهای اختلاف بین ترکیب‌های سنگی مختلف را با کمک پردازش ضرایب همبستگی، معین کرد. با توجه به اختلاف اساسی بین ترکیب سنگ‌شناختی و کانی‌شناختی بین محصولات دگرسانی و سنگ‌های مادر اولیه که باعث تضاد بین خواص طیفی آنها می‌شود، به راحتی می‌توان از این روش در تفکیک مناطق دگرسان شده از سنگ‌های میزبان به خوبی بهره جست.

وجود پهنه‌های آرژیلیک پیشرفته، آلونیتی و سیلیسی شده در منطقه‌بندی قائم و آرژیلیک پیشرفته و پروپلیتیک در منطقه‌بندی جانبی و نیز ترکیب کانی‌شناختی هر پهنه به‌ویژه حضور چشمگیر پهنه آلونیتی با کانی‌شناسی عمده سولفات‌های آلومینیم و پتاسیم و سولفات کلسیم (ژپس) و حضور پهنه سیلیسی شده، حاکی از رویداد دگرسانی نوع اسیدی سولفاتی در منطقه بوده که این ادعا با توجه به شرایط زمین‌ساختی منطقه (ماگماتیسم فرورانش حاشیه قاره) و نیز ترکیب سنگ‌شناختی سنگ‌های مادر (سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری حدواسط تا اسیدی) که از شرایط این نوع دگرسانی هستند، نیز قابل توجیه است.

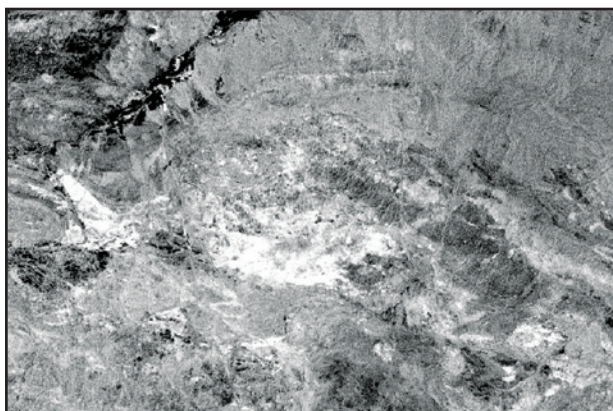
چند رخنمون هر چند کوچک دگرسانی نوع پتاسیک در مجاورت توده نفوذی و نیز تغییرهایی مانند دمای همگن‌شدگی سیالات درگیر و نیز نوع اسیدی سولفاتی دگرسانی و رخنمون‌های پراکنده کانی‌زایی مس به صورت استوک‌ورکی، می‌تواند این ذهنیت را ایجاد کند که در منطقه نوعی دگرسانی مرتبط با توده‌های نفوذی اسید تا حد واسط رخ داده و بنابراین کانی‌زایی نوع پورفیری در منطقه محتمل است. در این بخش پیش‌بینی وجود ذخایر طلا به‌ویژه در مجاورت مناطق سیلیسی و آلونیتی شده نیز دور از ذهن نخواهد بود و بنابراین توسعه مطالعه بیشتر در این جهت پیشنهاد می‌شود.



شکل ۲- تصویر H کروستا.



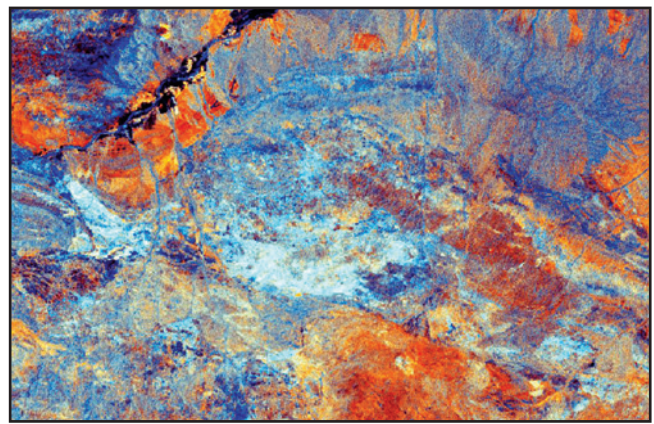
شکل ۱- تصویر F کروستا.



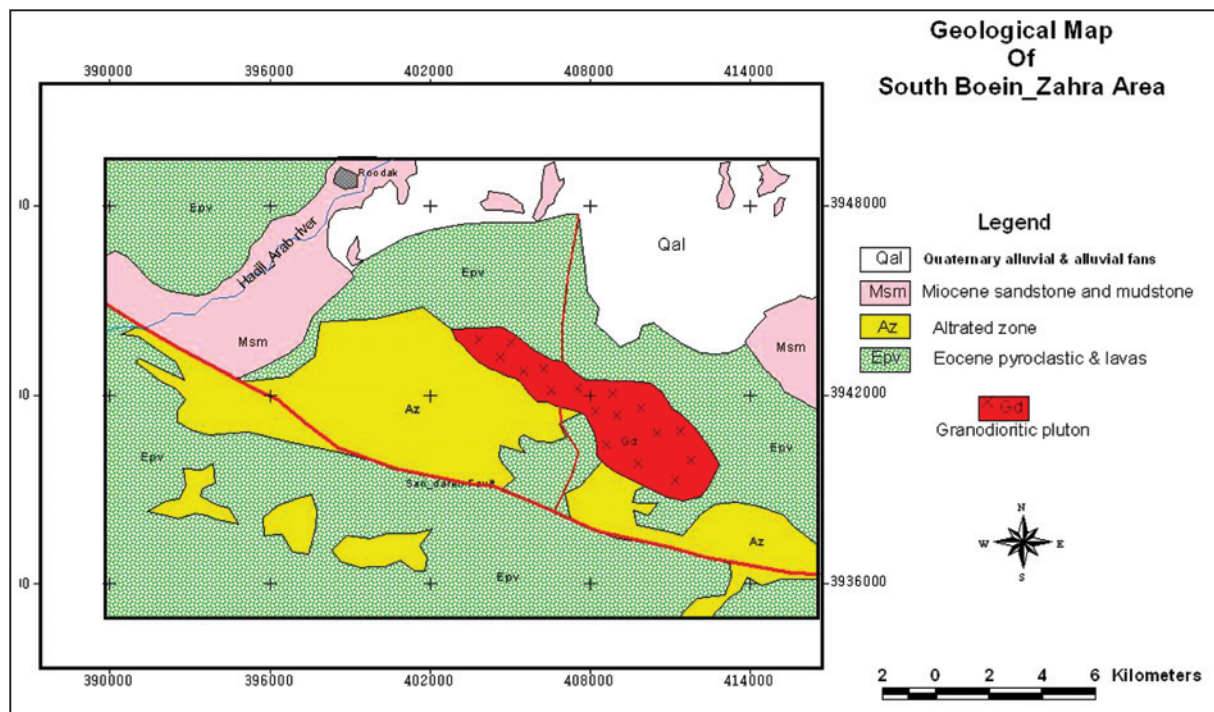
شکل ۳- تصویر H+F کروستا.



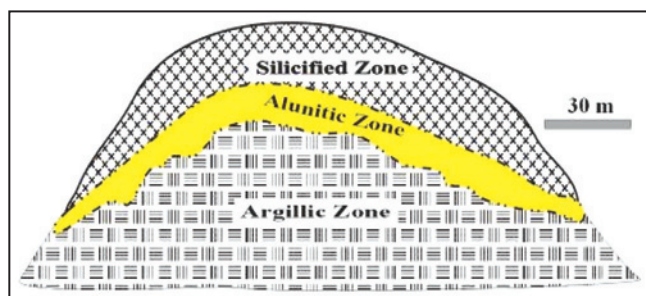
شکل ۵- نسبت‌های باندی ۵/۷، ۳/۲ و ۴/۵ به صورت ترکیب رنگی به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی.



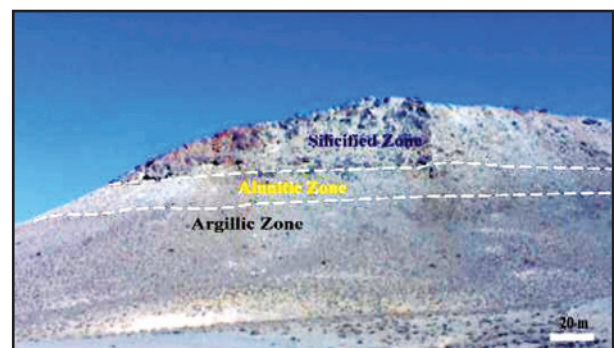
شکل ۴- ترکیب F، H+F و H به صورت ترکیب رنگی (به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی).



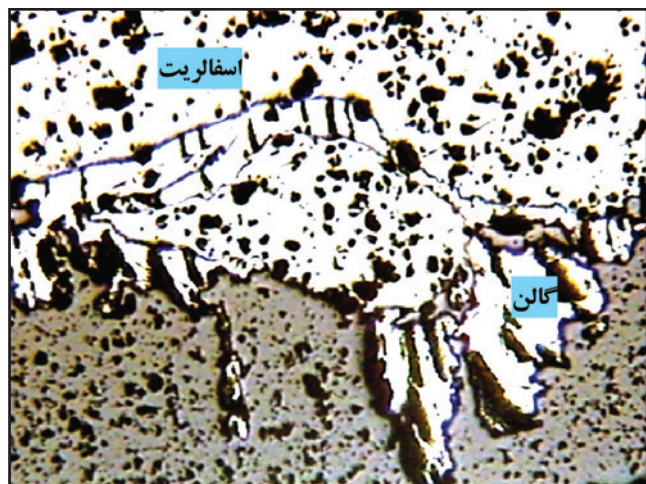
شکل ۶- نقشه اجمالی مناطق دگرسان شده جنوب بویین زهرا.



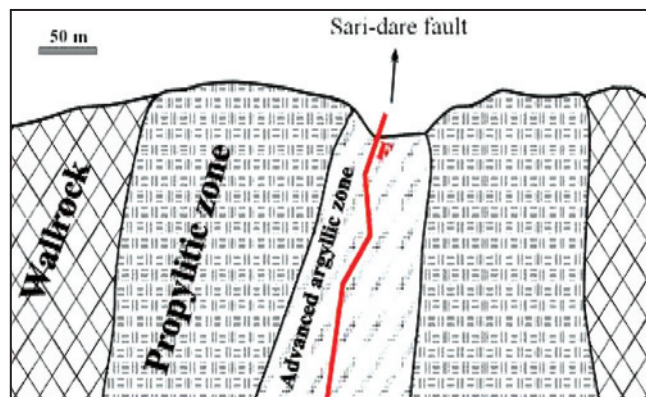
شکل ۸- نمایش نمادین پهنه‌های مختلف در پهنه‌بندی قائم توده‌های دگرسان شده منطقه.



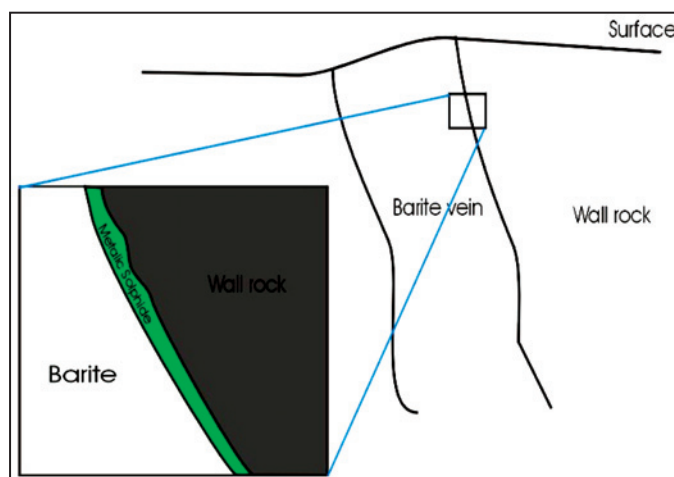
شکل ۷- نمایش پهنه‌های مختلف در پهنه‌بندی قائم توده شمال حاجی آباد (دید به سمت شمال).



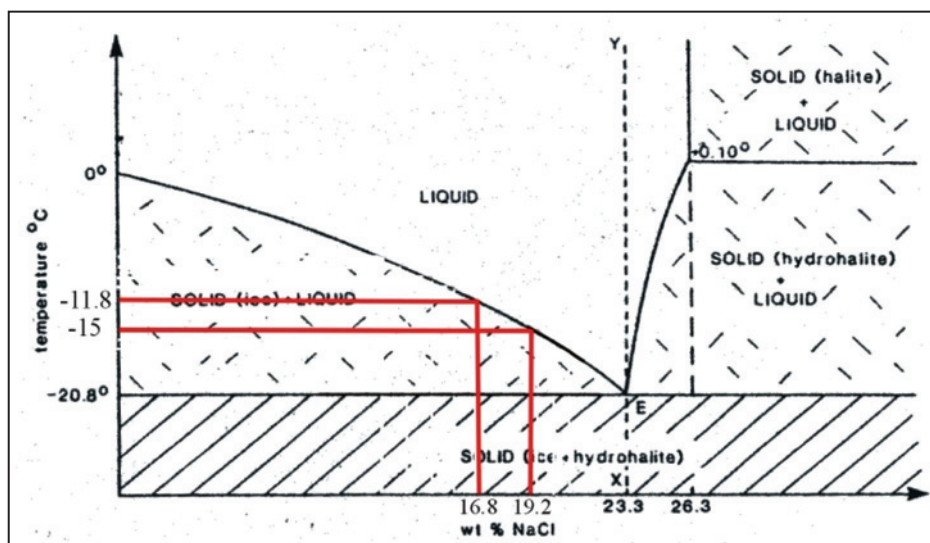
شکل ۱۰- مقطع صیقلی از کانی‌زایی سولفیدی در منطقه با بزرگنمایی 10X.5، برگرفته از رخنمون‌های رگه‌های پلی‌متال.



شکل ۹- نمایش نمادین پهنه‌های مختلف در پهنه‌بندی جانبی در دره ساری‌دره (دید به سمت خاور).
(ستبرای پهنه آروژلیک پیشرفته با کمی اغراق نمایش داده شده است).



شکل ۱۱- طرح نمادین از مقطع عرضی رگه اصلی معدن باریت رودک.



شکل ۱۲- نمودار دما - ترکیب برای سیستم‌های $H_2O-NaCl$ ، همه فازها در تعادل با بخار هستند مربوط به نمودار کرانورد، ۱۹۸۱ (نبشی، ۱۳۸۱).

جدول ۱- نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی باند‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ ETM⁺ منطقه.

	باند ۱	باند ۳	باند ۴	باند ۵	واریانس %
PC ₁	0.20577	0.52442	0.25432	0.78610	86.69
PC ₂	0.48204	0.63994	0.10907	-0.58839	10.15
PC ₃	0.21469	0.14420	-0.95329	0.15601	2.31
PC ₄	0.82413	-0.54281	0.12104	0.10723	0.85

جدول ۲- نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی باند‌های ۱، ۴، ۵ و ۷ ETM⁺ منطقه.

	باند ۱	باند ۴	باند ۵	باند ۷	% Variance
PC ₁	0.16622	0.22162	0.74450	0.60742	91.90
PC ₂	0.83564	0.45580	-0.30583	-0.02012	4.44
PC ₃	0.32797	-0.75417	-0.26110	0.50543	2.61
PC ₄	-0.40803	0.41754	-0.53291	0.61250	1.05

جدول ۳- ترکیب کانی شناسی هر منطقه دگرسانی در پهنه‌بندی قائم.

ردیف	شرح	ترکیب کانی شناختی	رنگ عمومی در رخنمون‌های غیر هوازده
۱	پهنه آرزلیک پیشرفته	کوارتز، کانولینیت، ایلیت، دیکیت، آلونیت، ارتوکلاز، توپاز، پیریت	سفید تا زرد کاهی
۲	پهنه آلونیتی	کوارتز، آلونیت، ژاروسیت، ژیس، کانولینیت، سریسیت	زرد کاهی تا شکلاتی
۳	پهنه سیلیسی شده	کوارتز، کلسدونیت ± ارتوکلاز	صمغی تا کبود

جدول ۴- ترکیب کانی شناسی هر منطقه دگرسانی در پهنه‌بندی جانبی.

ردیف	شرح	ترکیب کانی شناختی	رنگ عمومی در رخنمون‌های غیر هوازده
۱	پهنه آرزلیک پیشرفته	کوارتز، کانولینیت، ایلیت، دیکیت، آلونیت، ارتوکلاز، توپاز، آاناتاز، پیریت	سفید، کرم تا زرد کاهی
۲	پهنه پروپلیتیک	کوارتز، مونتموریلونیت، کلریت، اپیدوت، کلسیت	سبز متمایل به آبی تا کمی سدری

جدول ۵- نتایج حاصل از مطالعه میانبراهای سیال به دام افتاده در بلورهای کوارتز.

شماره نمونه	نوع کانی	فازهای موجود	L/V	F	T _H °C	T _S °C
۱	کوارتز	L+V	8/1	8/9	280	-15
۲	کوارتز	L+V	6/1	6/7	253	-10
۳	کوارتز	L+V	8/1	8/9	266	-15
۴	کوارتز	L+V	7/1	7/8	218	-12
۵	کوارتز	L+V	5/1	5/6	236	-10
۶	کوارتز	L+V	6/1	6/7	210	-16
۷	کوارتز	L+V	8/1	8/9	204	-11
۸	کوارتز	L+V	7/1	7/8	211	-11.8
۹	کوارتز	L+V	10/1	10/11	221	-10

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جعفری، م.، ۱۳۷۴- بررسی زمین شناسی و ارتباط ماگماتیسیم و کانه زایی در کانسار لک (جنوب باختری بوبین زهرا)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.
- دوروزی، ر. و وثوقی عابدینی، م.، ۱۳۸۸- بررسی نقش تفریق ماگمایی و آلاش پسته‌ای در ایجاد سنگ‌های ولکانیکی ائوسن جنوب و جنوب خاور بوبین زهرا، فصلنامه زمین شناسی ایران، شماره دهم.
- دوروزی، ر. و وثوقی عابدینی، م. و قربانی، م.، ۱۳۸۶ الف- پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی جنوب و جنوب خاور بوبین زهرا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- دوروزی، ر. و وثوقی عابدینی، م. و قربانی، م.، ۱۳۸۶ ب- شواهد بافتی حاکی از وقوع اختلاط ماگمایی در سنگ‌های آتشفشانی حد واسط جنوب و جنوب خاور بوبین زهرا، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجموعه مقالات بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.
- ریحانی، ا.، ۱۳۸۲- عوامل کنترل کننده کانسارزایی در ارتباط با فرایندهای زمین شناسی منطقه لک منطقه جنوب بوبین زهرا، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ۲۳۰ صفحه.
- صفرزاده، ا. و وثوقی عابدینی، م. و قربانی، م.، ۱۳۸۶- پتروگرافی و پترولوژی توده گرانیتوئیدی حاجی آباد (جنوب بوبین زهرا)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجموعه مقالات بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.
- طیباخ شعبانی، ا.، ۱۳۶۹ الف- پتروگرافی و پترولوژی توده‌های آذرین نفوذی جنوب بوبین زهرا، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، صفحه ۱۵-۲۵.
- مسعودی، ف.، ۱۳۶۹ ب- مطالعه چینه شناسی، پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی جنوب بوبین زهرا، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، صفحه ۳۲-۴۱.
- نبی، ت.، ۱۳۸۱- پتانسیل یابی مس و عناصر همراه آن در منطقه آوه- الموت، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۱۶۰ صفحه.

References

- Beane, R. E., 1982 - Hydrothermal alteration in silicate rocks, southwestern North America in Titley, S. R., ed., Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America: Tucson, Univ. Ariz. Press, p 8-12.
- Guilbert, M. J. & Charles, P. F., 1986- The Geology of Ore Deposits. W.H. Freeman, New York p 12-14 .
- Yetkin, E., 2003- Alteration mapping by remote sensing application to hasandag – melendiz volcanic complex, turkey, requirements for the degree of master of science, Middle East Techn, p 18-38.

Study of Alteration Occurrence Around the South Boein-Zahra Pluton

T. Nabaei ^{1*}, A. Khakzad ², M. Hoseini ³ & S. R. Mehrnia ⁴

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

² Professor, Department of Geology, Shahid Beheshti University; Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Received: 2012 October 27

Accepted: 2013 May 21

Abstract

The study area is a portion of Urmia-Bazman Magmatic Belt in the Central Iran Structural Zone that located in the south of Boein-Zahra city (Qazvin province). In this area, volcanic and pyroclastic rocks incised by a plutonic body and around and within this pluton, a large extensive alteration occurred. In this study, Landsat 7 data (ETM⁺) employed and general alteration trend in the area was mapped by conventional methods of Color Composite (RGB), Band Rationing and specially Principal Components Analysis (PCA). All of the three methods are found to be effective for obtaining generalized information about the alteration of the image area. Principal Components Analysis (PCA) and especially Selective Principal Components Analysis (Crosta technique) found to be the best effective method in delineating the borders of clay and iron oxide altered areas. In the high altered wall rocks, mineralogical analysis results (XRD method) indicated two forms of vertical and horizontal zoning. In this case, in vertical zoning in order from down to up, advanced argillic, alunitic and silicified zones and in horizontal zoning from fault surface toward wallrocks, advanced argillic and propylitic zones were distinguished. The mineralogical composition of zones and form of zoning indicates that this type of alteration is "acid sulfate". The study of fluid inclusion of quartz crystals in silicic veins, indicated that liquid and vapor phases (LV) are present and study of them resulted in calculation of salinity percentages between 16.8 to 19.2 (NaCl w^{t%}) and homogenization temperatures between 204°C to 280°C.

Keywords: Crosta, Principal Components, Fluid Inclusion, Alteration, Hydroxyl, Acid Sulfate.

For Persian Version see pages 129 to 136

*Corresponding author: T. Nabaei; E-mail: Nabaei1977@pnu.ac.ir