Archive of SID

زمستان ۹۳، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صفحه ۱۲۹ تا ۱۳۶ (سنگ و کانی)

مطالعه رویداد دگرسانی پیرامون توده نفوذی جنوب بویین‌زهرا

تقی نبئی [1*]، احمد خاکزاد [2]، مهدی حسینی [3] و سید رضا مهرنیا [4]

[1] دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
[2] استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی؛ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
[3] استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
[4] دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

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

چکیده

منطقه مورد مطالعه بخشی از نوار ماگمایی ارومیه – بزمان در پهنه ساختاری ایران مرکزی است که در جنوب شهر بویین‌زهرا (استان قزوین) واقع شده است. در این ناحیه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری توسط یک توده نفوذی قطع شده‌اند و در سنگ‌های میزبان و در داخل توده نفوذی، دگرسانی گسترده‌ای رخ داده است. در این مطالعه داده‌های ETM^+ ماهواره لندست۷ به‌منظور بارزسازی نواحی تحت تأثیر دگرسانی استفاده شده است و دگرسانی کلی ناحیه توسط روش‌های رایج ترکیب رنگی (RGB)، نسبت‌گیری باندی و به‌ویژه تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نقشه‌برداری شدند. هر سه روش برای حصول اطلاعات عمومی دگرسانی از داده‌های تصویری منطقه مؤثر واقع شدند. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی(PCA) و به‌ویژه تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (تکنیک کروستا)، نتایج بسیار دقیقی ارائه می‌نماید که به‌کمک آن نواحی دگرسان شده رسی و اکسید آهنی، تفکیک شدند. در نواحی به‌شدت دگرسان شده، نتایج حاصل از تحلیل کانی‌شناختی محصولات دگرسانی (به روش XRD)، دو شکل منطقه‌بندی قائم و جانبی را نمایان می‌سازد که در منطقه‌بندی قائم از پایین به بالا، مناطق آرژیلیک پیشرفته، آلونیتی و سیلیسی و در منطقه‌بندی افقی از محل سطوح گسلی به طرف سنگ دیواره، مناطق آرژیلیک پیشرفته و پروپلیتیک شناسایی شد. ترکیب کانی‌شناختی هر منطقه و شکل منطقه‌بندی آنها، نوع دگرسانی در این منطقه را نوع اسیدی سولفاتی معرفی می‌نماید. مطالعه میانبارهای سیال بلورهای کوارتز موجود در رگه‌های 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 همگن‌شدگی بین ۲۰۴ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: کروستا، مؤلفه‌های اصلی، میانبارهای سیال، دگرسانی، هیدروکسیل، اسیدی سولفاتی.

***نویسنده مسئول:** تقی نبئی
E-mail: Nabaei1977@pnu.ac.ir

۱– پیش‌گفتار

نیازهای بشر امروزی به مواد اولیه که پیامد توسعه علوم و فنون مختلف است لزوم برنامه‌ریزی‌های گسترده پی‌جویی و اکتشاف این مواد را بیش از پیش آشکار ساخته است. تأمین این نیازها با تنوع، تعدد و حجم بالای مد نظر امروز، مستلزم برنامه‌ریزی‌های دقیق کوتاه‌مدت و بلندمدت علمی و اجرایی بوده و لزوم بهره‌گیری از آخرین دستاوردهای علمی روز در این امر مهم بر هیچ‌کس پوشیده نیست.

یکی از روش‌های نوین و همچنین ارزان‌قیمت و سریع در پی‌جویی‌های سراسری و در مقیاس‌های محلی و ناحیه‌ای، روش پی‌جویی ذخایر معدنی از راه دور و بر پایه پردازش داده‌های طیفی ماهواره‌های مرتبط، است. بنابراین کاربرد این روش بر روی مناطق مختلف زمین‌شناختی، بسیار مؤثر خواهد بود. با توجه به این مطلب و یادآوری این نکته که نقش فعالیت محلول‌های گرمابی در کانه‌زایی از بسیاری از پدیده‌های کانسارساز آشکارتر است، پی‌جویی محل‌های رخداد این پدیده می‌تواند به مثابه یک هاله ژئوشیمیایی که ما را به سوی کشف پتانسیل‌های معدنی می‌کشاند، مفید واقع شود.

این نوشتار قصد دارد که با توجه به واقع شدن ناهمواری‌های جنوب و جنوب باختر بویین‌زهرا بر روی نوار ماگمایی ارومیه– بزمان و توجه به همراهی بسیاری از فعالیت‌های ماگمایی با فعالیت‌های گرمابی و نیز مستعد بودن طبقات سنگی ماگمایی و سنگ‌های وابسته به دگرسانی، با بهره‌گیری از روش‌های پردازشی داده‌های ماهواره‌ای، ابتدا مناطق دگرسان شده را به‌ویژه در پیرامون توده نفوذی جنوب بویین‌زهرا، نقشه‌برداری کند، سپس با کار میدانی و نمونه‌برداری از پهنه‌های مختلف دگرسانی منطقه و پس از انجام آزمایش بر روی نمونه‌ها در آزمایشگاه، به تحلیل منطقه‌بندی مناطق دگرسانی و نیز به تحلیل ژنزی آنها می‌پردازد.

۲–زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه در ۱۰ کیلومتری جنوب باختر بویین‌زهرا و در جنوب و جنوب خاور روستای رستم‌آباد و در حقیقت در بخش شمالی نقشه ۲۵۰۰۰۰: ۱ ساوه و به ترتیب در بخش خاوری و باختری نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خیارج و اشتهارد قرار دارد. از نقطه نظر تقسیمات زمین‌شناختی ایران نیز این منطقه بخشی از نوار ماگمایی ارومیه – بزمان در پهنه ایران مرکزی است (آقانباتی،۱۳۸۳).

بدین ترتیب طبقات سنگی منطقه بیشتر آتشفشانی، نفوذی و آذرآواری و از نظر سنی به سن سنوزوییک (بیشتر ائوسن و پس از آن) تعلق دارند. در خلال طبقات یادشده گسل‌های متعدد اصلی و فرعی بیشتر از نوع معکوس با امتداد جنوب خاوری – شمال باختری و کمتر عادی با امتداد در جهات تقریبا" عمود بر آن دیده می‌شود. فعالیت زمین‌ساختی عامل به‌وجود آورنده گسل‌های یادشده باعث قطعه قطعه شدن طبقات و موجب خردشدگی شدید آنها شده است. جایگیری توده نفوذی جنوب بویین‌زهرا (جنوب تفک) نیز با ترکیب کوارتزدیوریتی تا آپلیتی (طباخ‌شعبانی، ۱۳۶۹) با رخنمون تقریبی بیضوی شکل و با گسترش قطر بزرگ‌تر در جهت شمال باختر – جنوب خاور و نیز خروج برخی واحدهای آتشفشانی جوان (احتمالاً پس از ائوسن) نیز در ارتباط با تکاپوهای زمین‌ساختی پیش گفته توجیه‌پذیر خواهند بود.

مطالعات سنگ‌شناسی سنگ‌های ماگمایی منطقه مورد مطالعه مشخص می‌کند که حجم وسیعی از سنگ‌های اسیدی به صورت جریان‌هایی از مواد آذرآواری (ایگنمبریت) تظاهر دارند و سنگ‌های اسیدی نسبت به ترم‌های بازیک گسترش بیشتری دارند که این حالات یادآور محیط زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره است. بررسی ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه بر روی نمودارهای سنگ‌شناختی، همگی حاکی از این مدعا بوده و بر این موضوع که ماگمای تشکیل‌دهنده سنگ‌های آذرین منطقه در یک محیط زمین‌ساختی فرورانشی حاشیه‌قاره فعالیت داشته، تأکید دارد

www.SID.ir

Archive of SID

(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 به‌راحتی می‌توان یادآور شد که سنگ‌های خروجی این ناحیه از ماگمایی به‌وجود آمده‌اند که در منطقه فرورانش حاشیه قاره، فرایند تبلور بخشی را طی کرده‌اند و به عبارت دیگر محیط زمین‌ساختی - ماگمایی منطقه جزو محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای (Active continental margin) طبقه‌بندی می‌شود.

دگرسانی گرمابی گسترده‌ای تقریباً اغلب طبقات سنگی آذرین و آذرآواری منطقه مورد مطالعه را تحت‌تأثیر قرار داده است. شدت دگرسانی در برخی طبقات به حدی است که ترکیب کانی‌شناسی سنگ اولیه کاملاً تغییریافته و بافت اولیه آن نیز از بین رفته است.

۳- سنجش از دور و بارزسازی مناطق دگرسانی

سنگ‌های دگرسان شده نسبت به سنگ‌های مادر خود تنوع رنگی بسیاری داشته و این تنوع رنگی در واقع حاصل دگرسانی سنگ‌های میزبانی است که کانی‌های آنها به وسیله فعالیت‌های شیمیایی با سیالات گرمابی پیرامون تغییر ماهیت داده‌اند (Beane,1982). هنگامی که محصولات دگرسانی در سطح زمین رخنمون یابند، توسط الگویی که از نظر تئوری دارای منطقه‌بندی هم‌مرکز می‌باشند، قابل نقشه‌برداری هستند (Guilbert & Charles, 1986).

یکی از ایده‌های کلیدی فنون سنجش از دور در زمین‌شناسی اکتشافی، در نمایش سنگ‌ها، کانی‌ها 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 همینطور به دلیل کوچک مقیاس بودن خود توده معدنی و نیز به دلیل منطبق نبودن ویژگی طیفی کانی‌ها و سنگ‌های مرتبط با توده معدنی بر ویژگی طیفی مواد معدنی، فن سنجش از دور می‌تواند در بیشتر مواقع در پی‌جویی و اکتشاف ذخایر معدنی مفید واقع شود.

در این مطالعه فنون سنجش از دور مختلفی بر روی داده‌های ETM^+ که توسط لندست ۷ در جولای ۲۰۰۲ از منطقه برداشت شده در محیط نرم‌افزاری ENVI 4.5 آزمایش شد. روش‌های قابل اعتماد در نقشه‌برداری دگرسانی منطقه شامل استفاده از ترکیبات باندی رنگی (RGB)، نسبت‌گیری باندی (Band Rationing)، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و به‌ویژه تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (تکنیک کروستا) می‌شوند که از این بین روش اخیر در مقایسه با روش‌های دیگر پیشرفته‌تر بوده و به دلیل برخورداری از قابلیت اینکه می‌توان به صورت دستی برخی از اطلاعات غیرضروری را حذف کرد، نتایج مطمئن‌تری را ارائه می‌دهد که در این نوشتار به شرح مختصر این روش بسنده می‌گردد.

۳-۱. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) (PCA)

کاهش تعداد باندهای طیفی به عنوان ورودی تحلیل مؤلفه اصلی بی‌شک باعث عدم نقشه‌برداری موادی خاص (غیرضروری) و افزایش احتمال نقشه‌برداری دیگر مواد (مد نظر) را به داخل یکی از مؤلفه‌ها، موجب خواهد شد. این روش فن کروستا نامیده می‌شود. این روش جزییات شرایط طیفی مواد هدف را نشان نخواهد داد و نیازی به تصحیح اتمسفری و نیز رادیومتری ندارد. این روش افزون‌بر کاربرد گسترده‌ای که در نقشه‌برداری‌های زمین‌شناختی دارد، تقریباً برای همه انواع اهداف سنجش از دور می‌تواند استفاده شود (Yetkin, 2003).

- تکنیک کروستا (Selective PCA)

کاهش تعداد باندهای ورودی برای تعیین یک مؤلفه اصلی برای رده‌های کانی‌شناختی خاص، از اصول کلیدی این روش است. بنابراین به منظور انتخاب باندهای مؤثر و نیز حذف دیگر باندها، از ماتریس همبستگی بین باندها استفاده می‌شود. در این روش باندهای دارای همبستگی پایین تا متوسط برای نقشه‌برداری طیفی و باندهای با همبستگی بالا برای کاهش ابعاد داده‌ها به کار می‌روند (Yetkin, 2003). به عبارت دیگر اختلاف بیشتر در ماتریس همبستگی مبین این مطلب است که دو ماده مورد بررسی دارای ویژگی‌های طیفی (و نتیجتاً ترکیبی) متفاوتی هستند و این موضوع در تفکیک سنگ‌های دگرسان نشده (در این منطقه سنگ‌های 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 کانی‌های شاخص دگرسانی، به‌ویژه باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ سنجنده ETM^+ برای نمایش اکسیدهای آهن و نیز باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ برای نمایش هیدروکسیل‌ها، انتخاب می‌شوند. جدول ۱ نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ منطقه را به منظور انتخاب مؤلفه اصلی مناسب در نقشه‌برداری اکسیدهای آهن گزارش می‌دهد.

در جدول ۱، PC_1 دارای وزن مثبتی از همه باندها و شامل ۸۶/۶۹ درصد از کل واریانس داده‌های ETM^+ منطقه است. در PC_2 مقادیر عددی بردارهای ویژه باندهای مریی ۱ و۳مثبت و باند فروسرخ ۵ منفی است. این موضوع اختلاف میان این دو نوع باند را نمایش می‌دهد. در PC_3 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 PC_4 باندهای ۱ و ۳ دارای مقادیر بالا و با علامت مخالف هم نمایان می‌شوند که به ویژگی طیفی اکسیدهای آهن مربوط بوده و بنابراین در تصویر PC_4 نواحی حاوی کانی‌های اکسید آهنی به صورت واحدهای تصویری تیره از دیگر ترکیبات، تفکیک می‌شوند. به منظور نمایش اکسیدهای آهن منطقه به صورت واحدهای تصویری روشن، می‌توان تصویر PC_4- را با ضرب PC_4 در ۱-، به‌دست آورد.

به تصویر حاصل (PC_4-)، اصطلاحاً تصویر اکسیدآهن یا تصویر F کروستا گویند (شکل ۱). جدول ۲ نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ به منظور انتخاب مؤلفه اصلی مناسب در نقشه‌برداری هیدروکسیل‌ها را، گزارش می‌دهد. در این مرحله نیز PC_1 دارای وزن مثبتی از همه باندها و شامل ۹۱/۹۰ درصد از کل واریانس داده‌های ETM^+ منطقه و معرف توپوگرافی و درخشندگی است. در PC_2 مقادیر عددی بردارهای ویژه باندهای مریی ۱ و ۴ مثبت و باندهای فروسرخ ۵ و ۷ منفی است. این موضوع اختلاف میان این دو نو ع باند را نمایش می‌دهد. در PC_3 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 PC_4 باندهای ۵ و ۷ دارای مقادیر بالا و با علامت مخالف هم نمایان می‌شوند که به ویژگی طیفی هیدروکسیدها مربوط بوده و بنابراین در تصویر PC_4 نواحی دارای کانی‌های هیدروکسیدی به صورت واحدهای تصویری تیره از دیگر ترکیبات، تفکیک می‌شوند. به منظور نمایش هیدروکسیدها به صورت واحدهای تصویری روشن، تصویر PC_4- با ضرب PC_4 در ۱- ، به‌دست آمد. به تصویر حاصل (PC_4-)، اصطلاحاً تصویر هیدروکسیل یا تصویر H کروستا گویند (شکل ۲).

با تلفیق دو باند H و F به صورت H+F ، باندی با ویژگی‌های طیفی مختص نواحی با ترکیب بینابینی از هیدروکسیل و اکسیدآهن ایجاد می‌شود. با علم بر اینکه چنین نواحی دارای گسترش بیشتری از دیگر ترکیبات در مناطق دگرسان شده دیده می‌شوند، این دستاورد می‌تواند در نقشه‌برداری این تیپ نواحی مؤثر واقع شود. تصویر H+F (شکل ۳) افزون بر این می‌تواند محل‌های رخنمون همزمان اکسیدهای آهن و هیدروکسیل‌ها 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 (به‌ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی)، بهترین تصویر در نقشه‌برداری مناطق دگرسانی حاصل می‌شود (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

www.SID.ir

Archive of SID

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 کروستا در تفکیک پهنه‌های دگرسان شده از رخنمون‌های گل‌سنگی میوسن و آبرفت‌های کواترنر موفق‌تر عمل می‌نمایند. تصویر حاصل از روش نسبت‌گیری با استفاده از نسبت‌های باندی ۵/۷، ۳/۲ و ۴/۵ به صورت ترکیب رنگی به‌ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی، به عنوان نمونه و مقایسه با تصاویر کروستا در شکل ۵ نمایش داده شده است.

۴- منطقه بندی 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 به‌کاررفته در سنجش از دور از چند ناحیه صورت پذیرفت و پس از کنترل آن نقشه اجمالی مناطق تحت‌تأثیر عمل دگرسانی با انتقال داده‌های تصویر ترکیب رنگی F، H+F و H به محیط نرم‌افزارArc view، رسم شد (شکل ۶).

طی بازدیدهای صحرایی از مناطق دگرسان شده، آشکار شد که توده‌های سنگی دگرسانی شدید تا خیلی جزیی را متحمل 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 ساری‌دره 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 گرمابی 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 آذراواری 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 ساری‌دره 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 سکانسی برای تکمیل اطلاعات صورت پذیرفت.

۴-۱. منطقه بندی 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 سیلیسی‌شده.

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 مشخص‌تر است. پهنه‌بندی قائم یکی از توده‌ها که در شمال روستای حاجی‌آباد 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 به‌ترتیب اولویت در فراوانی به شرح جدول ۳ مشخص شد.

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 ژیپس) 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 به‌ترتیب 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 باریم 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) به‌ترتیب 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 کانه‌زایی 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 ماگماتیسم کالکوآلکالن 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 اکسیده 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 اکسیده برای کانه‌زایی 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 تفضیلی آن در نوشتاری دیگر ارائه خواهد شد.

www.SID.ir

Archive of SID

۶- ژئوترمومتری 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 ($NaCl^{wt\%}$) و نیز میانگین دمای سیال دگرسان‌کننده در هر نمونه و نیز دانسیته سیال اندازه‌گیری شدکه در جدول ۵ نتایج این مطالعه آمده است.

طی مطالعات ژئوترمومتری 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 نبئی (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

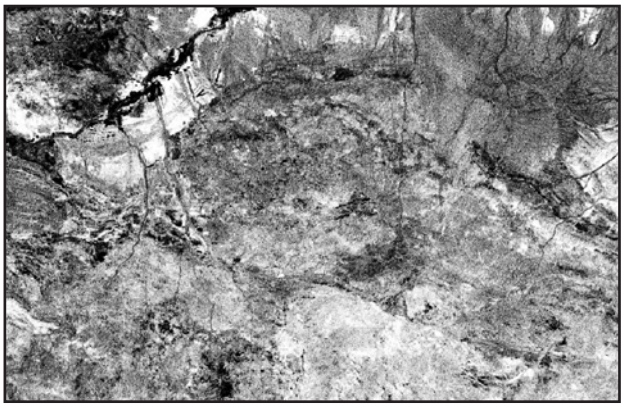
با توجه به مطالعه انجام شده در منطقه نتایج زیر خلاصه می‌شوند:

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.

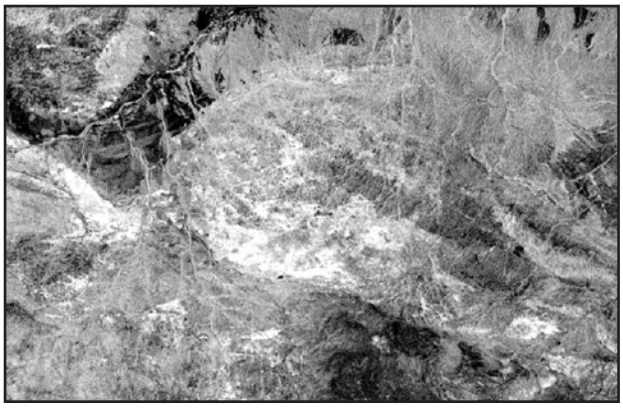
در این روش با حذف اطلاعات کم‌ارزش‌تر و در نتیجه تقویت اطلاعات مؤثر، می‌توان بیشترین بارزسازی را حاصل کرد. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های ماهواره‌ای می‌توان به کمک داده‌های باندی که همبستگی کمی با هم دارند، مرزهای اختلاف بین ترکیب‌های سنگی مختلف را با کمک پردازش ضرایب همبستگی، معین کرد. با 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 (ژیپس) 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.

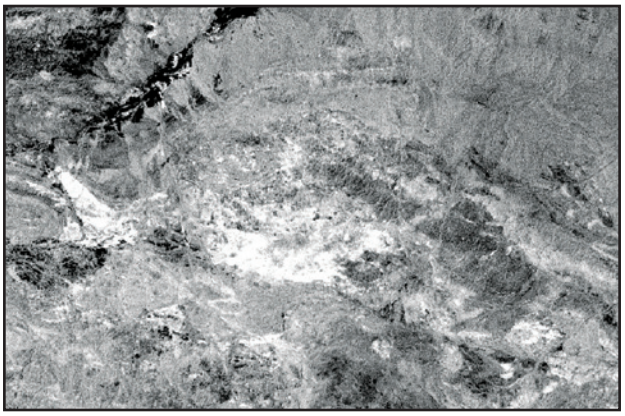
چند رخنمون هر چند کوچک دگرسانی نوع پتاسیک در مجاورت توده نفوذی و نیز متغیرهایی مانند دمای همگن‌شدگی سیالات درگیر و نیز نوع اسیدی سولفاتی دگرسانی و رخنمون‌های پراکنده کانی‌زایی مس به صورت استوک‌ورکی، می‌تواند این ذهنیت را ایجاد کند که در منطقه نوعی دگرسانی مرتبط با توده‌های نفوذی اسید تا حد واسط رخ داده 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.



شکل۱- تصویر F کروستا.



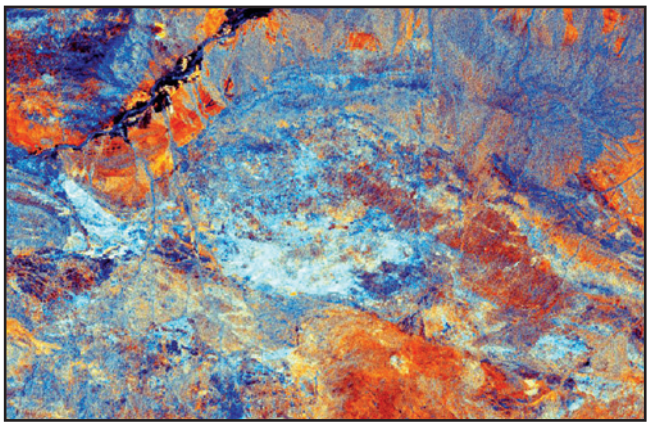
شکل۲- تصویر H کروستا.



شکل۳- تصویر H+F کروستا.

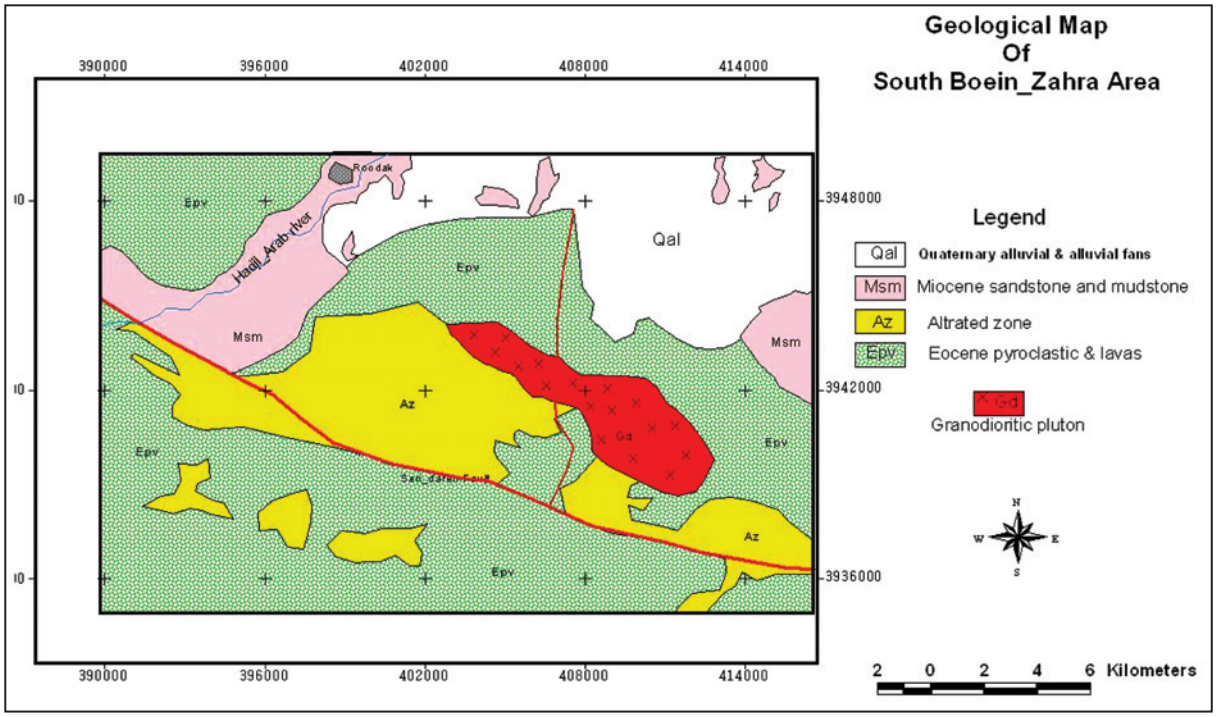
www.SID.ir

Archive of SID

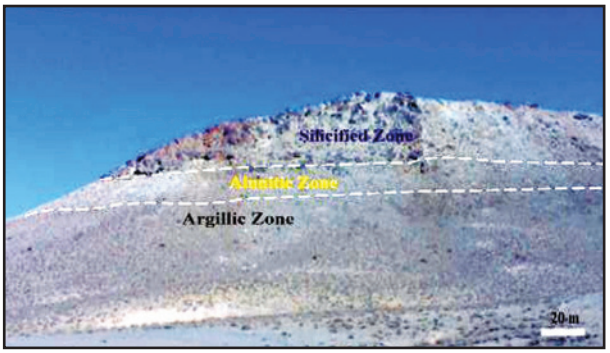


شکل ۴- ترکیب F ، H+F و H به صورت ترکیب رنگی (به‌ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی).

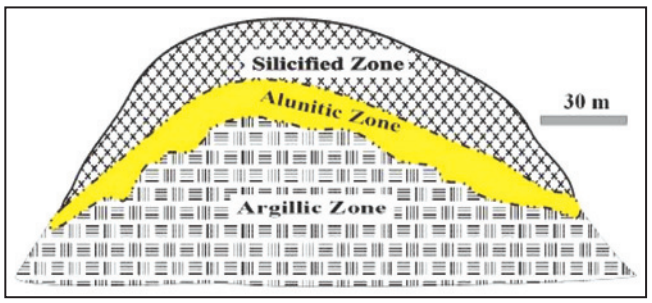
شکل ۵- نسبت‌های باندی ۵/۷، ۳/۲ و ۴/۵ به صورت ترکیب رنگی به‌ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی.



شکل ۶- نقشه اجمالی مناطق دگرسان شده جنوب بویین‌زهرا.



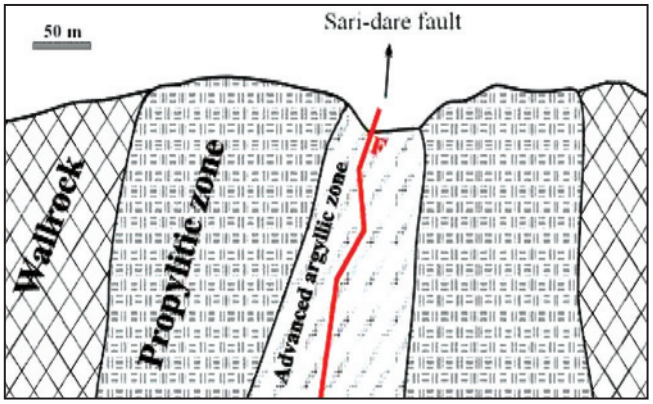
شکل ۷- نمایش پهنه‌های مختلف در پهنه‌بندی قائم توده شمال حاجی‌آباد (دید به سمت شمال).



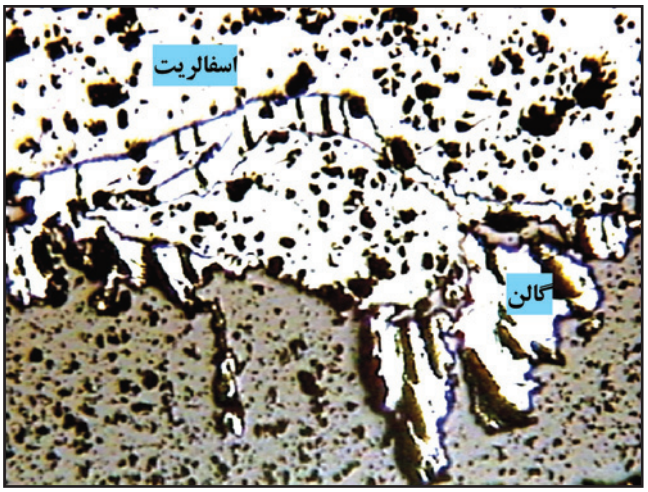
شکل ۸- نمایش نمادین پهنه‌های مختلف در پهنه‌بندی قائم توده‌های دگرسان شده منطقه.

www.SID.ir

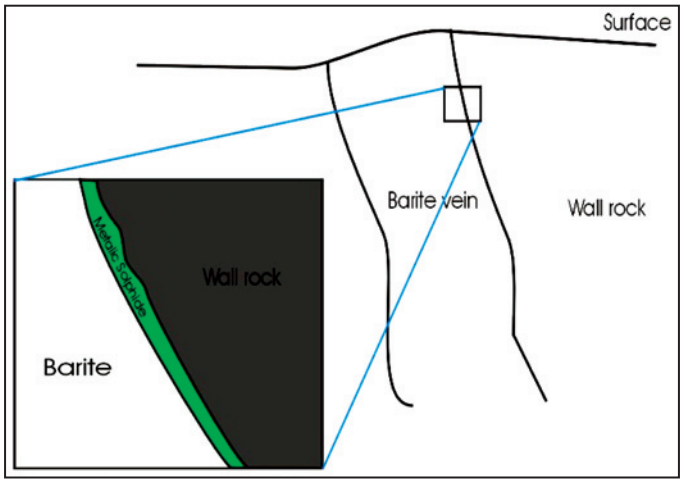
Archive of SID



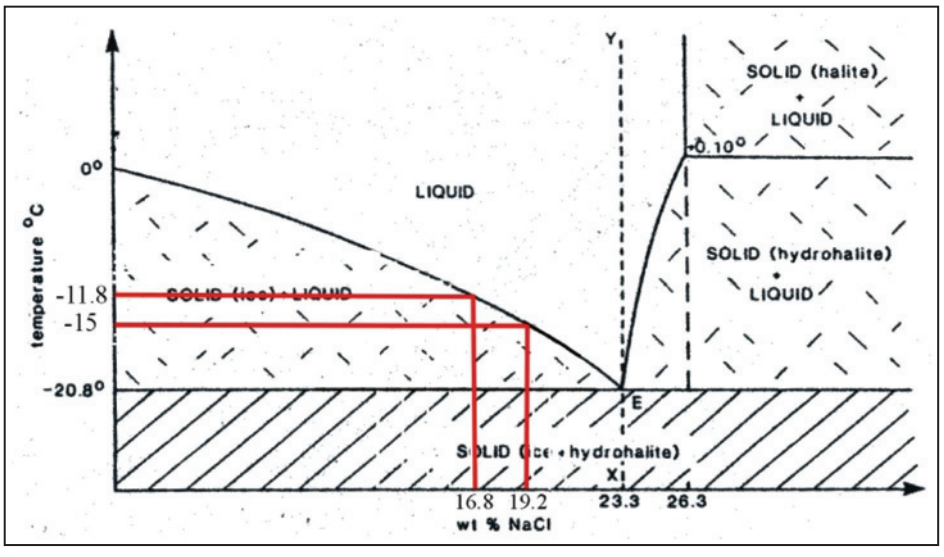
شکل ۹- نمایش نمادین پهنه‌های مختلف در پهنه‌بندی جانبی در دره ساری‌دره (دید به سمت خاور). (ستبرای پهنه آرژیلیک پیشرفته با کمی اغراق نمایش داده شده است).



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



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



شکل۱۲- نمودار دما – ترکیب برای سیستم‌های H_2O-NaCl، همه فازها در تعادل با بخار هستند مربوط به نمودار کرانورد،۱۹۸۱ (نبئی، ۱۳۸۱).

www.SID.ir

Archive of SID

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 کانی‌شناسی هر منطقه دگرسانی در پهنه‌بندی قائم.

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

جدول ۴- ترکیب کانی‌شناسی هر منطقه دگرسانی در پهنه‌بندی جانبی.

ردیف	شرح	ترکیب کانی شناختی	رنگ عمومی در رخنمون‌های غیر هوازده
۱	پهنه آرژیلیک پیشرفته	کوارتز، کائولینیت، ایلیت، دیکیت، آلونیت، ارتوکلاز، توپاز، آناتاز، 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 میانبارهای 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

www.SID.ir

Archive of SID

کتابنگاری

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

جعفری، م.، ۱۳۷۴- بررسی زمین‌شناسی و ارتباط ماگماتیسم و کانه‌زایی درکانسار لک (جنوب باختری بویین‌زهرا)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.

دوروزی، ر. و وثوقی‌عابدینی، م.، ۱۳۸۸- بررسی نقش تفریق ماگمایی و آلایش پوسته‌ای در ایجاد سنگ‌های ولکانیکی ائوسن جنوب و جنوب خاور بویین‌زهرا، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره دهم.

دوروزی، ر.، وثوقی‌عابدینی، م. و قربانی، م.، ۱۳۸۶ الف- پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی جنوب و جنوب خاور بویین‌زهرا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

دوروزی، ر.، وثوقی‌عابدینی، م. و قربانی، م.، ۱۳۸۶ ب- شواهد بافتی حاکی از وقوع اختلاط ماگمایی در سنگ‌های آتشفشانی حد واسط جنوب و جنوب خاور بویین‌زهرا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجموعه مقالات بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

ریحانی، ا.، ۱۳۸۲- عوامل کنترل‌کننده کانسارزایی در ارتباط با فرایندهای زمین‌شناسی منطقه لک منطقه جنوب بویین‌زهرا، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ۲۳۰ صفحه.

صفرزاده، ا.، وثوقی‌عابدینی، م. و قربانی، م.، ۱۳۸۶- پتروگرافی و پترولوژی توده گرانیتوییدی حاجی‌آباد (جنوب بویین‌زهرا)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجموعه مقالات بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

طباخ‌شعبانی، ا.، ۱۳۶۹ الف- پتروگرافی و پترولوژی توده‌های آذرین نفوذی جنوب بویین‌زهرا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، صفحه ۱۵-۲۵.

مسعودی، ف.، ۱۳۶۹ ب- مطالعه چینه‌شناسی، پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی جنوب بویین‌زهرا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، صفحه ۳۲-۴۱.

نبئی، ت.، ۱۳۸۱- پتانسیل‌یابی 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.

www.SID.ir