



کانی‌سازی و دگرسانی گرمابی سامانه رگه‌ای تجرود، جنوب نیشابور

محسن علیخانی بنقنی^۱، غلامحسین شمعیان^{۱*}، محمد جعفری زنگلانلو^۲

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

(۲) گروه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه شمال شرق، گروه اکتشاف

دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۵/۵، پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۲۴

چکیده

سامانه رگه‌ای تجرود در ۱۹۰ کیلومتری جنوب‌باختری مشهد و در بخش جنوبی زون سبزوار واقع شده است. سنگ دیواره رگه‌ها شامل مجموعه‌ای از سنگهای آتشفشانی حدواسط تا اسیدی ائوسن است. کانی‌سازی از نوع پرکننده فضای خالی است و به‌صورت رگه‌ها، رگه‌چه‌ها و برشهای گرمابی ظاهر دارد. بر پایه ویژگیهای صحرایی و بافتی، سه مرحله اصلی کانی‌سازی تشخیص داده شد. مرحله I به طور عمده از کوارتز، پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت تشکیل شده است. مرحله II که دارای همان مجموعه کانیایی مرحله اول است، مهمترین مرحله کانی‌سازی از نظر حجم می‌باشد. مرحله III با نوارهای تکراری کوارتز و کلسیت با مقادیر ناچیزی از کانیهای سولفیدی مشخص می‌شود. دگرسانی گرمابی در اطراف رگه‌ها توسعه یافته و در نزدیکی رگه‌ها از شدت بیشتری برخوردار است. ترسیم شاخص دگرسانی ایشی‌کاوا (AI) در مقابل شاخص کلریت-کربنات-پیریت (CCPI)، موسوم به نمودار جعبه‌ای دگرسانی، سه روند اصلی دگرسانی را نشان می‌دهد. مجموعه دگرسانی گرمابی کوارتز، آدولاریا، کلریت، ایلیت، کلسیت و اپیدوت که سامانه رگه‌ای تجرود را دربر گرفته، از صعود محلولهای گرمابی با pH نزدیک به خنثی تا کمی قلیایی تشکیل شده است. ویژگیهای کانی‌شناسی، دگرسانی و زمین‌شیمیایی منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن با کانسارهای اپی‌ترمال نشان می‌دهد که سامانه رگه‌ای تجرود در یک محیط اپی‌ترمال نوع سولفیدی‌شدن پایین تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: اپی‌ترمال، دگرسانی گرمابی، شاخصهای دگرسانی، سولفیدی‌شدن پایین، تجرود

مقدمه

بین مجموعه‌های دگرسانی و ویژگیهای زمین‌شیمیایی را بر مبنای شیمی کل سنگ مورد بررسی قرار دهد [۹]، کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۱۰]. این شاخصها اغلب در کانسارهای سولفیدی توده‌ای از قبیل کانسارهای روزبری [۹] و هیلیر [۱۱] بررسی شده‌اند. این مقاله سعی دارد تا ماهیت کانی‌سازی و دگرسانی گرمابی سامانه رگه‌ای تجرود واقع در استان خراسان رضوی را بر پایه داده‌های کانی‌شناسی، زمین‌شیمی کانسنگ و شیمی کل سنگ مورد بررسی قرار داده و قابلیت استفاده از شاخصهای دگرسانی را در این سامانه ارزیابی نماید.

سامانه رگه‌ای تجرود با مختصات جغرافیایی ۲۲° ۵۸' طول شرقی و ۳۲° ۵۵' عرض شمالی در ۴۶ کیلومتری شمال غرب شهرستان کاشمر واقع شده است (شکل ۱). مطالعات قبلی در این منطقه شامل بررسیهای زمین‌شناسی در قالب

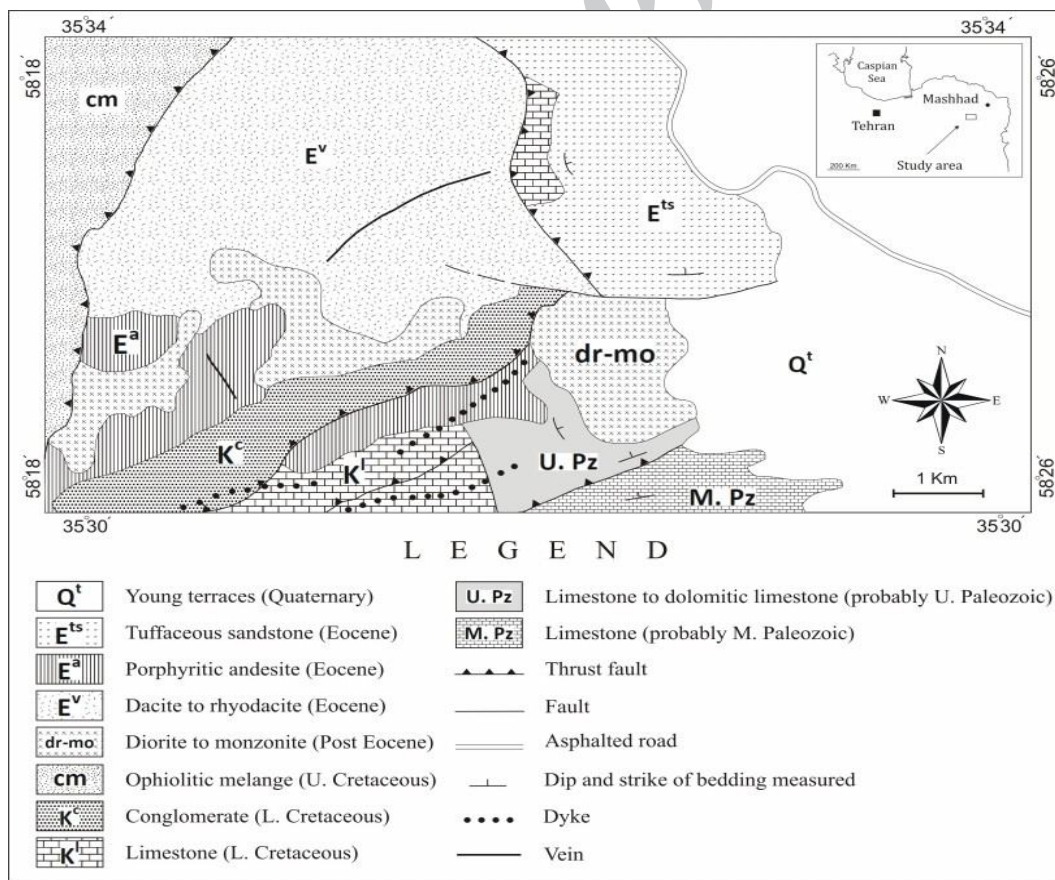
کانسارهای اپی‌ترمال یکی از منابع ارزشمند فلزات پایه و گرانبها می‌باشند که در شرایط دما و فشار پایین و در ژرفای کمتر از ۱۰۰۰ متر تشکیل می‌شوند [۱]. دگرسانی گرمابی که در نتیجه برهم کنش محلولهای گرمابی و سنگ دیواره روی می‌دهد [۲]، یکی از پدیده‌هایی است که در بررسی این کانسارها دارای اهمیتی ویژه است. بررسی مجموعه‌های دگرسانی گرمابی می‌تواند اطلاعات سودمندی درباره‌ی ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی محلولهای گرمابی ارائه کند [۳] و در تحلیل تکاملی سامانه‌های گرمابی مورد استفاده قرار گیرد [۴]. تاکنون مقالات متعددی درباره‌ی جنبه‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی کانسارهای اپی‌ترمال و مجموعه‌های دگرسانی آنها انتشار یافته است (برای مثال [۱]، [۵]، [۶]، [۷] و [۸]). با این حال، بررسی شاخصهای دگرسانی که قادر است رابطه

مقطع نازک و ۲۳ مقطع نازک- صیقلی تهیه و به روشهای مرسوم میکروسکوپی مطالعه شد. برای شناسایی کانیههای ناشناخته و تفکیک کانیههای رسی از روش پراش پرتو X (XRD) استفاده شد و تعداد ۵ نمونه با استفاده از دیفرکتومتر فیلیپس مدل PW 1800 توسط شرکت کانساران بینالود مورد بررسی قرار گرفت. کانی آدولاریا در طی مطالعات میکروسکوپی با رنگ‌آمیزی توسط سدیم کبالت نیتريت [۱۴] شناسایی و به روش XRD تأیید شد. با تلفیق نتایج بافتی و کانی‌شناسی، توالی پارائزنی کانی‌سازی و مجموعه‌های دگرسانی گرمایی تعیین گردید. برای بررسی شاخصهای دگرسانی و تعیین ویژگیهای زمین‌شیمیایی ماده معدنی به ترتیب غلظت اکسیدهای اصلی در ۱۰ نمونه از سنگ دیواره و غلظت عناصر کمیاب در ۴۳ نمونه از رگه‌های کانی‌سازی به روش ICP-AES توسط سازمان زمین‌شناسی کشور مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

ورقه زمین‌شناسی شامکان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ [۱۲] و اکتشافات زمین‌شیمیایی ناحیه‌ای به روش رسوب رودخانه‌ای [۱۳] بوده که به شناسایی ناهنجاریهای فلزات پایه و گرانبها در منطقه تجرود منجر شده است. در ادامه، این ناهنجاریها توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تحت اکتشافات زمین‌شیمیایی تفصیلی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ قرار گرفته [۱۳] که شناسایی رگه‌های کانی‌سازی را در پی داشته است.

روش مطالعه

برای دستیابی به اهداف این پژوهش، مطالعات در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی، تغییرات ریخت‌شناسی، بافتی و کانی‌شناسی در امتداد نیمرخهای عمود بر امتداد رگه‌ها بررسی شد و از بخشهای مختلف سنگ دیواره و رگه‌ها نمونه‌برداری تصادفی به عمل آمد. در بخش آزمایشگاهی، مطالعات با هدف بررسیهای بافتی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی صورت گرفت. برای این منظور، تعداد ۱۲



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه. نقشه پایه از [۱۲].

بحث و بررسی

زمین‌شناسی

سامانه رگه‌ای تجرود در زون سبزوار و در مجموعه‌ای از سنگهای آتشفشانی و نفوذی ائوسن تشکیل شده است (شکل ۱). زون سبزوار دربردارنده مجموعه‌ای از سنگهای رسوبی و آتشفشانی مزوزوئیک و ترشیاری است که واحد زمین‌ساختی مشخصی را در بخش شمالی گسل درونه تشکیل می‌دهد [۱۵] و ۱۶]. سنگهای آتشفشانی این زون به‌طور عمده سنگهای آندزیتی کالک‌آلکالن است که اسپیس و همکاران [۱۷] گسترش وسیع آنها را به بالا بودن فشار جزئی H_2O و O_2 و فشار کل ۱۰ تا ۲۰ کیلوپا نسبت داده‌اند. مرز شمالی این زون با حضور آمیزه‌های افیولیتی و سنگهای آتشفشانی آندزیتی تا ریولتی مشخص می‌شود [۱۸].

واحدهای رخنمون‌یافته در منطقه مورد مطالعه از قدیم به جدید شامل سنگهای کربناتی پالئوزوئیک (M-Pz و U-Pz)، سنگ‌آهکهای کرتاسه (K^1 و K^c)، آمیزه‌های افیولیتی (cm)، توده‌های نفوذی (dr-mo)، سنگهای آتشفشانی و نیمه‌آتشفشانی آندزیتی و داسیتی (E^v ، E^a و E^{ts}) و آبرفتهای کواترنری (Q^1) است [۱۲]. در این میان، واحدهای E^v ، E^a و E^{ts} از بیشترین رخنمون برخوردارند (شکل ۲ الف) و توسط توده‌های نفوذی دیوریتی تا مونزونیتی و گاه دایک‌های میکرودیوریتی تا مونزونیتی قطع شده‌اند. واحد E^v که در بخش میانی و شمالی منطقه رخنمون دارد، شامل سنگهای نیمه‌آتشفشانی داسیتی تا ریوداسیتی است که اغلب از درشت‌بلورهای کوارتز، هورنبلند، هپرستن و پلاژیوکلاز در زمینه دانه ریز و میکروولیتی از این کانیها تشکیل شده است. این سنگها بر اثر فرآیندهای گرمایی به مجموعه‌های کلریتی، سریسیتی و رسی دگرسان شده‌اند. واحد پورفیری E^a شامل آندزیت، هورنبلند آندزیت و پیروکسن آندزیت است که به‌طور عمده از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، هورنبلند و بلورهای به شدت خردشده پیروکسن در زمینه دلریتی اینترسرتال تشکیل شده‌اند (شکل ۲ ب و پ). این واحد در بخش جنوب غربی منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد و توسط توده‌های نفوذی دیوریتی تا مونزونیتی قطع شده است و آثاری از دگرسانی گرمایی نشان می‌دهد. واحد E^{ts} که در شمال شرق منطقه رخنمون یافته شامل ماسه‌سنگهای توفی نازک تا متوسط‌لایه همراه با میان‌لایه‌هایی از سیلت‌سنگهای سبز روشن،

سیلت سنگهای خاکستری تیره، شیل‌های سیلتی نازک لایه خاکستری، سنگ‌آهک ماسه‌ای بیومیکریتی، توف‌های آهکی و سنگ‌آهکهای میکرواسپاری ماسه‌ای فسیل‌دار است.

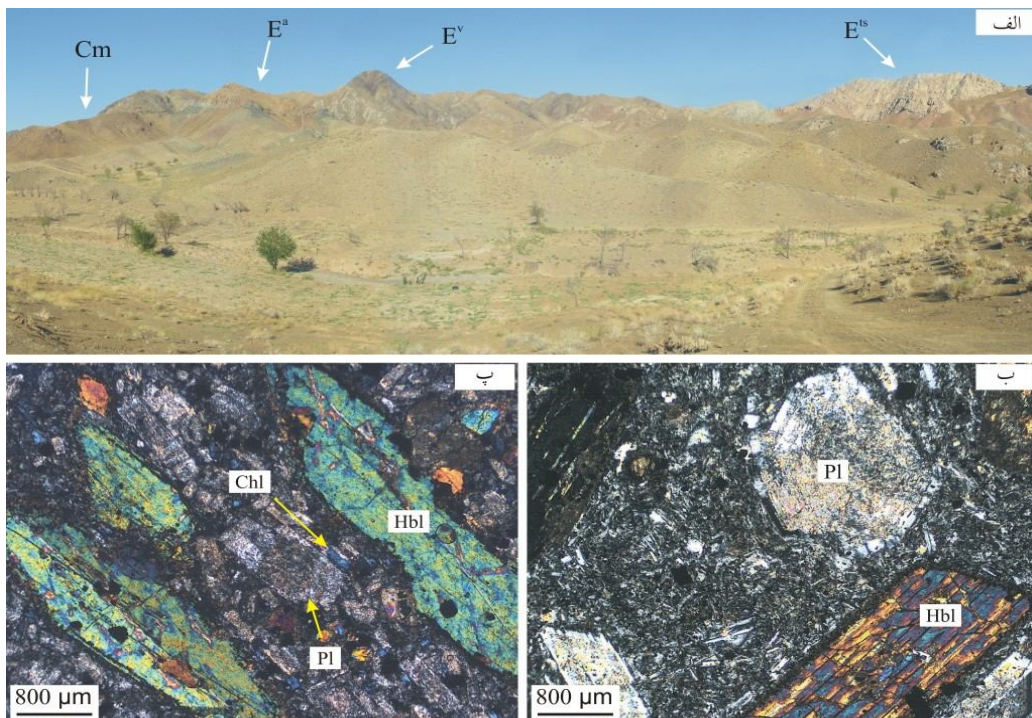
تظاهر ماده معدنی

کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه از نوع شکافه‌پرکن است که به‌صورت رگه‌ای (شکل ۳ الف)، رگه‌چه‌ای (شکل ۳ ب) و گاه برشهای گرمایی (شکل ۳ پ و ت) تظاهر دارد. کانی‌سازی در گسلها و شکستگیها صورت گرفته و دارای کنترل ساختاری است. سنگ میزبان رگه‌ها به‌طور عمده شامل سنگهای آتشفشانی آندزیتی تا داسیتی است که بر اساس داده‌های صحرایی و آزمایشگاهی واحد آندزیتی E^a مهمترین میزبان رگه‌های کانی‌سازی محسوب می‌گردد. سنگهای آتشفشانی میزبان در نتیجه رخداد کانی‌سازی متحمل دگرسانی گرمایی شده‌اند که در مجاورت رگه‌ها از شدت بیشتری برخوردار بوده و با دور شدن از رگه‌ها از شدت آن کاسته می‌شود.

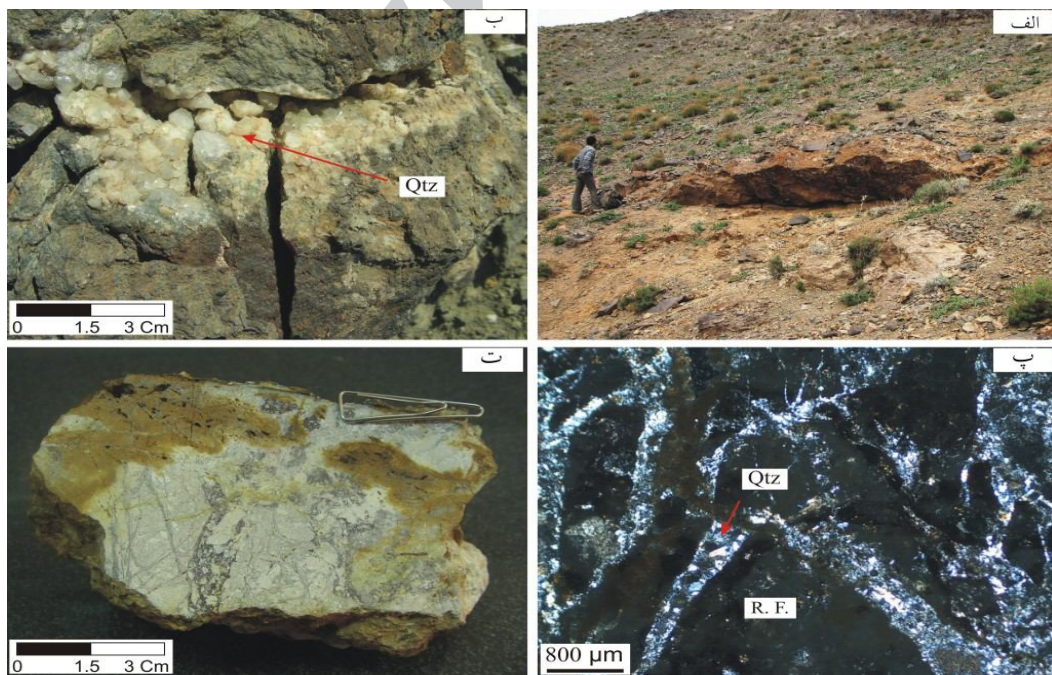
سامانه رگه‌ای تجرود از رگه‌های کوارتزی متعددی با راستای غالب شمال غربی- جنوب شرقی و شیب $SW 60^\circ$ تشکیل شده که ضخامت آنها از چندین سانتی‌متر (شکل ۴ الف) تا ۳ متر (شکل ۴ ب) در تغییر است. این رگه‌ها در برخی از نقاط به‌صورت پیوسته (شکل ۳ الف) و در اغلب موارد به‌صورت منقطع (شکل ۴ پ) رخنمون داشته و گاه تا ۳۰۰ متر قابل ردیابی می‌باشند. رگه‌های کوارتزی در مراحل پایانی کانی‌سازی توسط رگه‌چه‌های نازک کوارتزی و گاه کلسیتی قطع شده‌اند (شکل ۴ ت).

کانی‌شناسی کانسنگ

در منطقه مورد مطالعه، کانی‌شناسی کانسنگ ساده بوده و شامل کوارتز، کلسیت، پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت و محصولات دگرسانی برون‌زاد آنها می‌باشد (جدول ۱). پیریت با فراوانی ۵ درصد، فراوانترین کانی سولفیدی در نمونه‌های مورد مطالعه است. این کانی به‌صورت خودشکل تا نیمه‌خودشکل و با اندازه‌های ۱۰ تا ۱۵۰ میکرون تظاهر دارد (شکل ۵ الف). کالکوپیریت کانی سولفیدی دیگری است که با فراوانی کمتر از پیریت و به‌صورت بلورهای ریزدانه غیرخودشکل تظاهر دارد (شکل ۵ ب).



شکل ۲. تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از سنگ میزبان سامانه رگه ای تجرود. الف) نمای عمومی از واحدهای رخنمون یافته در سطح منطقه (نگاه به جنوب غرب)، ب) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند در زمینه ریزدانه از این کانیها در سنگ میزبان آندزیتی، پ) درشت بلورهای هورنبلند در سنگ میزبان هورنبلند آندزیت. اختصارات: E^v = سنگهای نیمه‌آتشفشانی داسیتی تا ریوداسیتی، E^a = آندزیت، هورنبلند آندزیت و پیروکسن آندزیت، E^{ts} = ماسه‌سنگهای توفی، cm = آمیزه‌های افیولیتی، Pl = پلاژیوکلاز، Hbl = هورنبلند، Chl = کلریت. تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری پلاریزه تهیه شده است.



شکل ۳. تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از رخداد کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه. الف) تظاهر رگه‌ای کانی‌سازی، ب) تظاهر رگه‌چهای همراه با بافت شانه‌ای، پ) برش گرمایی متشکل از قطعات سنگی و سیلیسی در نمونه‌های میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه)، ت) برش گرمایی در نمونه‌های ماکروسکوپی. اختصارات: Qtz = کوارتز، R.F. = قطعه سنگی.



شکل ۴. نمایی از انواع رگه‌های کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه. الف) رگه‌های نازک کوارتزی، ب) رگه‌های ضخیم کوارتزی، پ) رخنمون رگه‌های کانی‌سازی به صورت منقطع (خط چین زرد)، ت) رگه‌چه‌های نازک که در مراحل پایانی کانی‌سازی تشکیل شده‌اند.

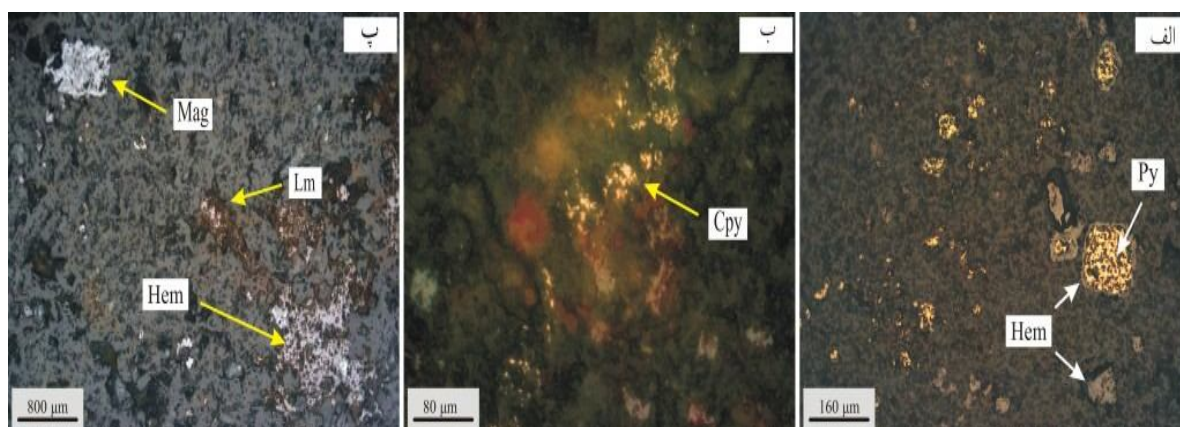
اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن مانند گوتیت، لیمونیت و هماتیت از محصولات دگرسانی برون‌زاد هستند که به فراوانی در بخش اکسیدی جانشین پیریت شده‌اند و گاه در فضای خالی کانسنگ و سنگ دیواره یافت می‌شوند. هماتیت اغلب در حاشیه بلورهای پیریت دیده می‌شود و در برخی از نمونه‌ها به‌طور کامل جانشین پیریت شده است.

مگنتیت یکی از کانیه‌های هیپوژن اولیه کانسنگ است که به صورت بلورهای خودشکل تا نیمه‌خودشکل و اندازه ۴۰۰ تا ۸۰۰ میکرون و فراوانی ۵ درصد سایر کانیه‌های کانسنگ را همراهی می‌کند (شکل ۵ پ). این کانی در برخی از سامانه‌های اپی‌ترمال مانند گلدن گراس واقع در نیوزیلند [۱۹] به‌عنوان کانی اولیه گزارش شده است.

جدول ۱. کانیه‌های موجود در رگه‌های کوارتزی و هاله‌های دگرسانی سامانه رگه‌ای تجرود.

کانیها	فراوانی	منشأ	محل تشکیل	کانیها	فراوانی	منشأ	محل تشکیل
سولفیدها							
آدولاریا	S	H	V/W	پیریت	M	H	V-W
کلریت	A	H	W	کالکوپیریت	R	H	V
ایلیت	R	H	V/W	سولفات ها			
کائولینیت	A	H/S	V/W	ناتروچاروسیت	R	S	V-W
مونتموریلونیت	A	H/S	V/W	اکسید- هیدروکسیدهای آهن			
اپیدوت	M	H	V/W	هماتیت	M	S	V-W
کوارتز	A	H	V/W	گوتیت	R	S	V/W
کربنات‌ها							
کلسیت	A	H	V/W	لیمونیت	M	S	V/W
				مگنتیت	M	H	W

اختصارات: A = فراوانی بالا (< ۱۰٪)، M = فراوانی متوسط (۱۰-۱٪)، S = فراوانی کم (> ۱٪)، H = منشأ درون‌زاد، S = منشأ برون‌زاد، W = سنگ میزبان، V = رگه سیلیسی.



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی از کانه‌های اصلی شناسایی شده در کانسنگ. الف) بلورهای خودشکل تا نیمه‌خودشکل پیریت که از حاشیه در حال تبدیل به هماتیت می‌باشند، ب) بلورهای غیرخودشکل کالکوپیریت، پ) بلورهای خودشکل مگنتیت همراه با محصولات دگرسانی برون‌زاد. اختصارات: Py = پیریت، Hem = هماتیت، Cpy = کالکوپیریت، Mag = مگنتیت، Lm = لیمونیت. تصاویر در نور انعکاسی عادی تهیه شده است.

کوارتز، پیریت، مگنتیت و کالکوپیریت در رگه‌های کوارتزی و تشکیل کانی‌ای گرمایی از قبیل کوارتز، آدولاریا، کلریت و اپیدوت در سنگ دیواره مشخص می‌شود.

بر اساس بررسی‌های صحرایی و همراهی‌های کانی‌شناسی و بافتی سه مرحله کانی‌سازی در توالی پاراژنزی سامانه رگه‌ای تجرود شناسایی شد (جدول ۲). مرحله اولیه با کانی‌سازی

جدول ۲. توالی پاراژنزی کانی‌سازی و کانیهای دگرسانی در سامانه رگه‌ای تجرود. ضخامت خطوط بیانگر اهمیت و فراوانی کانیها است.

برون‌زاد	درون‌زاد			مرحله کانیها
	پسین	اصلی	اولیه	
				کوارتز
				پیریت
				کالکوپیریت
				مگنتیت
				آدولاریا
				کلریت
				اپیدوت
				ایلیت - سریسیت
				کائولینیت
				مونتموریلونیت
				هماتیت
				گوتیت
				لیمونیت

حاصل از میعان بخارهای داغ یکی از عوامل مؤثر در تشکیل کائولینیت در سامانه‌های گرمایی اپی‌ترمال است [۸]. در مرحله دوم کانی‌سازی که به‌عنوان مرحله اصلی در نظر گرفته

حضور آدولاریا از شواهد وقوع جوشش در سامانه‌های گرمایی اپی‌ترمال است که با خروج بخارهای داغ غنی از آب و مواد فرار باعث نهشت فلزات می‌گردد [۸]. محلولهای اسیدی

آرسنیک، مس، سرب، آنتیموان و روی به ترتیب ۱۰۰۲، ۶۲، ۲۱۸۸، ۱۰۷ و ۳۲۴۲ بخش در میلیون و میانگین غلظت طلا و نقره به ترتیب ۲۱۰ و ۶۰۰ بخش در بیلیون است. پایین بودن غلظت فلزات پایه و گرانبها با نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی کانسنگ همخوانی داشته و پیشنهادکننده شوری پایین محلولهای گرمایی است [۲۰]. بررسی همبستگی پیرسون بین این عناصر نشان‌دهنده بیشترین همبستگی مثبت بین عناصر $Ag-Zn$ ، $Ag-Sb$ ، $Sb-Pb$ ، $Zn-Sb$ ، $Zn-Pb$ و $Ag-Pb$ به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۳۶، ۰/۹۳۷، ۱، ۰/۸۵۲ و ۰/۸۵۳ می‌باشد (جدول ۳). خوشه‌بندی داده‌های تجزیه شیمیایی بر مبنای روش وارد نشان‌دهنده قرارگیری عناصر $Pb-Zn$ و $Pb-Au$ در یک خوشه است که با همبستگی مثبت بین این عناصر همخوانی دارد.

شده، تشکیل کوارتز ادامه یافته و به تشکیل رگه‌های ضخیم کوارتز همراه با پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت انجامیده است. آدولاریا، کلسیت، کلریت، اپیدوت و سریسیت-ایلیت از محصولات دگرسانی گرمایی در این مرحله‌اند. سرانجام، مرحله پسین شامل رگه‌های نازک و متناوب کوارتز و کلسیت، مقادیر ناچیزی پیریت و کالکوپیریت و کانیهای کائولینیت، مونتموریلونیت، سریسیت-ایلیت، کلریت و اپیدوت به‌عنوان محصولات دگرسانی گرمایی است. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ثانویه شامل هماتیت، گوتیت و لیمونیت در مرحله برون‌زاد و از دگرسانی کانیهای سولفیدی تشکیل شده‌اند.

زمین‌شیمی کانسنگ

نتایج تجزیه شیمیایی عناصر کمیاب در ۴۳ نمونه از رگه‌های کوارتز نشان می‌دهد که مقدار میانگین غلظت عناصر

جدول ۳. ماتریس همبستگی پیرسون بین عناصر کمیاب اندازه‌گیری شده در رگه‌های کوارتزی منطقه مورد مطالعه. همبستگیهای مثبت در سطح اطمینان ۹۹٪ برجسته شده‌اند.

	Au	Ag	As	Cu	Pb	Sb	Zn
Au	۱						
Ag	۰/۱۰۰	۱					
As	-۰/۰۱۴	۰/۳۲۶	۱				
Cu	-۰/۰۶۶	۰/۴۳۱	۰/۵۵۸	۱			
Pb	-۰/۰۱۵	۰/۸۵۲	۰/۰۱۵	۰/۲۵۵	۱		
Sb	-۰/۰۲۵	۰/۸۹۸	۰/۳۴۳	۰/۴۴۵	۰/۹۳۶	۱	
Zn	-۰/۰۱۵	۰/۸۵۳	۰/۰۱۸	۰/۲۵۷	۱/۰۰۰	۰/۹۳۷	۱

نشان‌دهنده دگرسانی گرمایی به دو صورت جانشینی کانیهای قبلی و نهشت مستقیم در فضاهای خالی و شکستگیها است. بر اساس بررسیهای کانی‌شناسی به روشهای میکروسکوپی و XRD کانیهای کوارتز، آدولاریا، کلسیت، پیریت، کلریت، اپیدوت، کائولینیت و مونتموریلونیت از مهمترین محصولات دگرسانی گرمایی در این منطقه‌اند (جدول ۱). رخداد و توزیع زمانی و مکانی این کانیها نشانگر افزایش شدت دگرسانی در اطراف رگه‌های کوارتز است که با حضور کوارتز، آدولاریا، ایلیت و سریسیت مشخص می‌شود. با دور شدن از رگه‌ها از شدت دگرسانی کاسته شده و در فاصله‌ی دورتر از رگه‌ها کانیهای کلریت، اپیدوت و کلسیت جانشین کانیهای اولیه شده

دگرسانی گرمایی

دگرسانی گرمایی شامل مجموعه تغییرات کانی‌شناسی، بافتی و ایزوتوپی سنگ دیواره است که در نتیجه برهم‌کنش سنگ دیواره و محلولهای گرمایی روی می‌دهد [۲]. تغییرات دما، فشار و ترکیب شیمیایی حاصل از این واکنشها می‌توانند به جانشینی کانیهای اولیه توسط کانیهای ثانویه گرمایی منجر شوند. بررسی مجموعه‌های دگرسانی گرمایی اطلاعات ارزشمندی درباره سرگذشت کانی‌سازی ارائه می‌نماید که می‌توان از آن در بازسازی شرایط دمایی، زمین‌شیمیایی و ساختمانی استفاده کرد [۷].

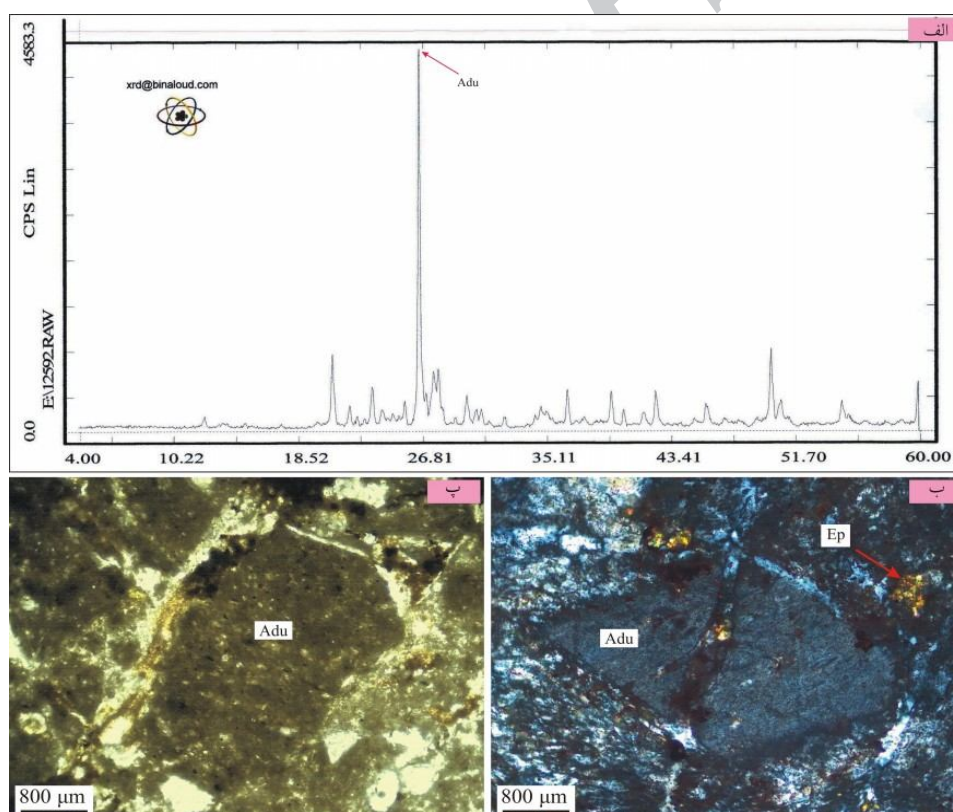
مطالعات پتروگرافی و کانی‌شناسی در سامانه رگه‌ای تجرود

کانی نشان‌دهنده پدیده جوشش در اعماق کم و میعان بخارات داغ اسیدی است [۸ و ۲۱].

کوارتز یکی از کانیهای گرمابی موجود در سنگ دیواره نزدیک رگه‌های کانی‌سازی است که گاه تا ۱۰ درصد حجمی از سنگ را به خود اختصاص می‌دهد. این کانی اغلب به‌صورت بلورهای نیمه‌خودشکل ریزدانه در شکستگیها و فضاهای خالی سنگ مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده نهشت مستقیم آن است (شکل ۷ الف و خ). بر اساس نتایج این مطالعه، فراوانی کوارتز با نزدیک شدن به رگه‌ها افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد فراوانی این کانی که در اغلب کانسارهای اپی‌ترمال در ارتباط با شکستگیها و فضاهای خالی تشکیل می‌شود و ارتباط آشکاری با نفوذپذیری سنگ دیواره نشان می‌دهد [۴]، منطبق بر افزایش نفوذپذیری ثانویه ناشی از عملکرد نیروهای زمین‌ساختی بوده است.

است. بررسی مجموعه‌های دگرسانی دلالت بر دگرسانیهای سیلیسی، سریسیتی، پروپیلیتی و رسی در منطقه مورد مطالعه دارد.

آدولاریا تنها فلدسپات گرمابی پتاسیم‌دار است که در رگه‌ها و برشهای گرمابی مشاهده شد. این کانی بر پایه مطالعات میکروسکوپی شناسایی شد و حضور آن با رنگ‌آمیزی به کمک سدیم کبالت نیتريت و مطالعات پراش پرتو ایکس مورد تأیید قرار گرفت (شکل ۶). این کانی با فراوانی حدود ۵ درصد حجمی، به‌صورت بلورهای خودشکل تا نیمه‌خودشکل و اغلب همراه با کوارتزهای ریز بلور گرمابی یافت می‌شود. تشکیل آدولاریا که در شرایط pH نزدیک به خنثی تا قلیایی صورت می‌گیرد و از کانیهای شاخص در کانسارهای اپی‌ترمال گروه سولفیدی‌شدن پایین است [۸]، دلالت بر وجود مقادیر معتدله‌ای از پتاسیم در محلول گرمابی دارد [۱۰]. حضور این



شکل ۶. الف) نمودار پراش پرتو ایکس برای شناسایی آدولاریا، ب) تصویر میکروسکوپی آدولاریا در نور عبوری پلاریزه، پ) تصویر میکروسکوپی آدولاریا پس از رنگ‌آمیزی در نور عبوری عادی. اختصارات: Adu = آدولاریا، Ep = اپیدوت.

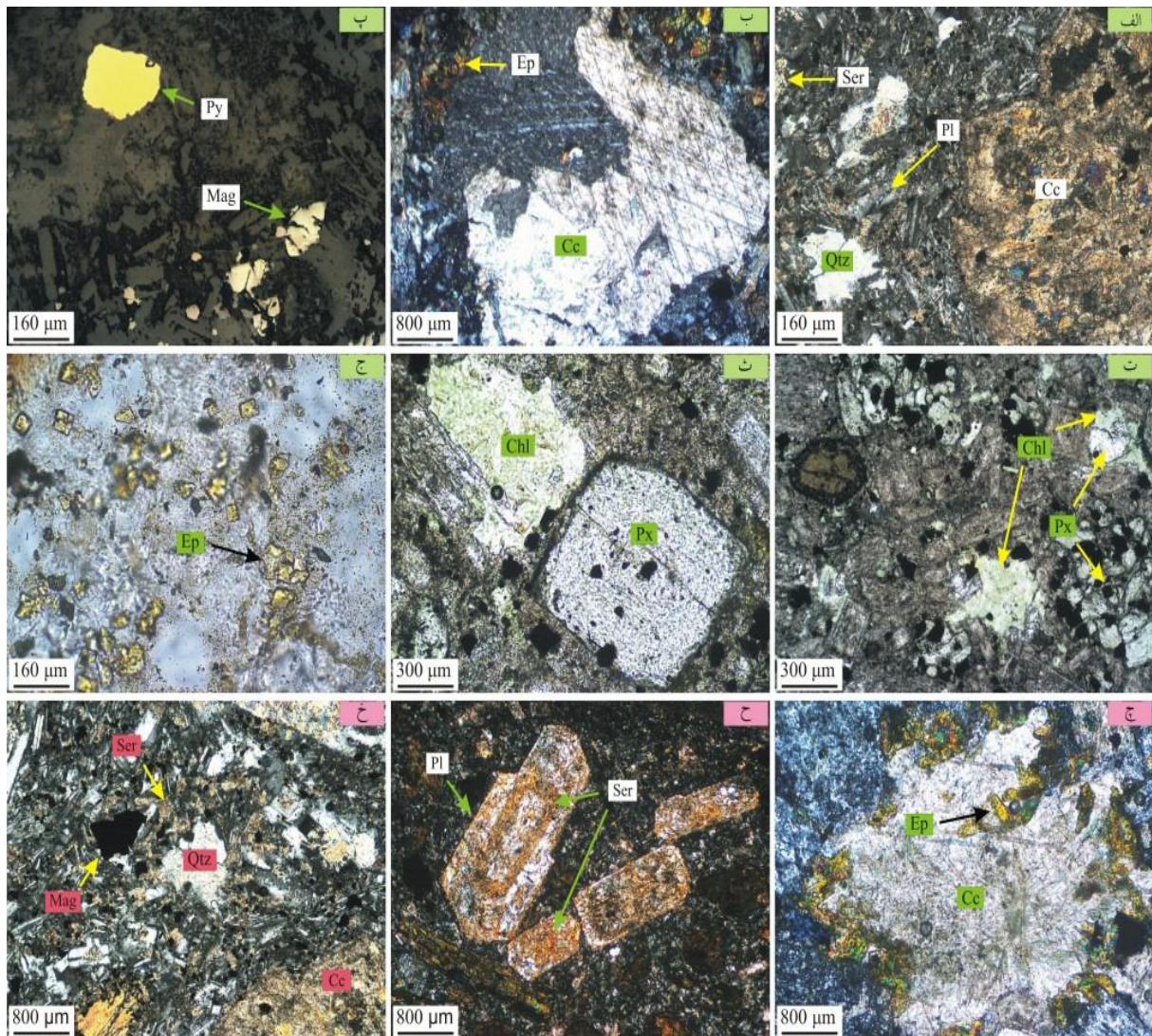
تشکیل می‌شود [۲۲]. در منطقه مورد مطالعه، سریسیت و ایلیت با فراوانی بالغ بر ۱۰ درصد حجمی به‌طور عمده

سریسیت نام عمومی اعضای دانه ریز گروه میکا به‌خصوص مسکویت است که در کانسارهای اپی‌ترمال در شرایط نسبتاً اسیدی و در محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد

حجمی در بین کانیهای اصلی سنگ دیواره حضور دارد. در انواع جانیشینی، کانیهای پلاژیوکلاز و گاه هورنبلند را جانیشین کرده که در این صورت دارای تجمعات ریزدانه است. حضور کلسیت در سامانه‌های گرمابی به غلظت بالای CO_2 نسبت داده می‌شود که باعث افزایش قلمرو پایداری کلسیت و کاهش نسبت $a_{\text{Ca}^{+2}}/a_{\text{H}^{+}}$ می‌شود [۵].

جانشین پلاژیوکلازها (شکل ۷ ح) و گاه در زمینه سنگ (شکل ۷ الف خ) شده‌اند.

کلسیت یکی از محصولات رایج دگرسانی گرمابی در نمونه‌های مورد مطالعه است که به دو صورت پرکننده فضای خالی (شکل ۷ ب) و جانیشینی در بطن کانیهای قبلی (شکل ۷ الف خ) و (شکل ۷ ب) ظاهر دارد. این کانی در انواع پرکننده فضای خالی به صورت بلورهای درشت‌دانه و با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی از رویدادهای دگرسانی گرمابی و محصولات آن. الف) کوارتزهای ریزدانه به صورت پرکننده فضای خالی و جانیشینی کلسیت در بطن پلاژیوکلازها، ب) پرشدگی فضای خالی توسط کلسیت، پ) پیریت در متن سنگ دیواره، ت) کلریت به صورت پرکننده فضای خالی (مرکز) و جانیشینی به جای پیروکسن (گوشه سمت راست)، ث) کلریت به صورت جانیشینی در بطن کانی پلاژیوکلاز، ج) تجمعات دانه‌ای اپیدوت در زمینه سنگ، چ) وجود اپیدوت به صورت پرکننده فضای خالی همراه با کلسیت، ح) جانیشینی پلاژیوکلازها توسط سریسیت، خ) سریسیت درون فضاهای خالی. اختصارات: Qtz = کوارتز، Pl = پلاژیوکلاز، Cc = کلسیت، Ser = سریسیت، Ep = اپیدوت، Py = پیریت، Mag = مگنتیت، Chl = کلریت، Px = پیروکسن. تصاویر ت، ث، ج در نور عبوری عادی، تصویر پ در نور انعکاسی عادی و دیگر تصاویر در نور عبوری پلاریزه گرفته شده‌اند.

دیواره و ترکیب سنگ‌شناسی عمدتاً آندزیتی آن مانع از تشکیل حجم وسیعی از محلولهای میعان یافته شده است. پیریت یکی از محصولات دگرسانی گرمابی است که در سنگ دیواره سامانه رگه‌ای تجرود مشاهده می‌شود. این کانی با فراوانی حدود ۵ درصد حجمی به صورت بلورهای خودشکل تا نیمه‌خودشکل در فضاها (شکل ۷ پ) و به صورت غیرخودشکل در بطن کانیها و زمینه سنگ جانشین شده است.

شاخصهای دگرسانی

ماهیت دگرسانی گرمابی و ویژگیهای زمین‌شیمیایی آن دارای اهمیت زیادی در اکتشاف کانسارهای گرمابی است. برای درک بهتر دگرسانی گرمابی و تغییرات زمین‌شیمیایی ایجادشده در سامانه‌های اپی‌ترمال می‌توان از داده‌های تجزیه‌ی شیمیایی کل سنگ و نمودار جعبه‌ای دگرسانی که تلفیقی از شاخص دگرسانی ایشی‌کاوا (AI) و شاخص دگرسانی کلریت-کربنات-پیریت (CCPI) است، استفاده کرد [۱۰]. اگرچه این شاخصها و نمودار جعبه‌ای دگرسانی برای بررسی کانسارهای سولفید توده‌ای مطرح و مورد استفاده قرار گرفته است، با این حال مطالعات انجام‌شده حکایت از قابلیت آنها در بررسی و توصیف دگرسانیهای کانسارهای اپی‌ترمال دارد (برای مثال [۱۰] و [۲۳]).

شاخص ایشی‌کاوا اولین بار توسط ایشی‌کاوا و همکاران [۲۴] به منظور بیان کمی شدت دگرسانی کلریتی و سربستی در کانسارهای سولفید توده‌ای نوع کروکو معرفی شد و سپس همراه با شاخص دگرسانی CCPI توسط [۹] و [۱۱] برای بررسی دگرسانی این دسته از کانسارها مورد استفاده قرار گرفت.

$$AI = \frac{100(K_2O + MgO)}{(K_2O + MgO + Na_2O + CaO)} \quad \text{شاخص ایشی‌کاوا}$$

بیانگر نسبت عناصر اصلی کاسته شده و افزوده شده در طی دگرسانیهای کلریتی و سربستی است [۹]. از آنجا که شاخص دگرسانی ایشی‌کاوا در محاسبه دگرسانی کربناتی و جداسازی دگرسانیهای کلریتی و سربستی از یکدیگر ناتوان است، از شاخص دگرسانی کلریت-کربنات-پیریت استفاده می‌شود

$$CCPI = \frac{100(MgO + FeO)}{(MgO + FeO + Na_2O + K_2O)}$$

که قادر به تعیین MgO و FeO افزوده شده به سنگ در طی

کلریت یکی از فراوانترین محصولات دگرسانی گرمابی در منطقه مورد مطالعه است که به دو صورت پرکننده فضای خالی (شکل ۷ ت) و جانشینی (شکل ۷ ت و ث) در بطن کانیهای از قبل موجود مانند پیروکسن و پلاژیوکلاز تظاهر دارد. این کانی به صورت تجمعات دانه‌ای و رشته‌ای ریز تا درشت‌دانه و با فراوانی حدود ۱۰ درصد حجمی قابل مشاهده است. کلریتی شدن سنگ دیواره به‌طور معمول در فاصله دور از رگه‌های کانی‌سازی به‌وقوع پیوسته که قابل مقایسه با کانسار گاسوونگ واقع در اندونزی [۱۰] می‌باشد. کلریت‌های مشاهده‌شده در منطقه مورد مطالعه بر مبنای غلظت اکسیدهای اصلی از نوع آهن دار می‌باشند.

اپیدوت به صورت تجمعات دانه‌ای ریزیلور (شکل ۷ ج) و با فراوانی کمتر از ۵ درصد حجمی یکی از محصولات دگرسانی گرمابی در نمونه‌های مورد بررسی است که به‌طور عمده به صورت پرکننده فضای خالی دیده می‌شود (شکل ۷ ج و چ). فراوانی این کانی همزمان با کلریت و کلسیت با دور شدن از رگه‌ها افزایش می‌یابد. این کانی در دمای بالاتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و در حضور مقادیر زیاد CO₂ تشکیل می‌شود [۲۲].

کائولینیت یکی از محصولات دگرسانی گرمابی در سامانه‌های اپی‌ترمال است که در شرایط اسیدی و در دامنه دمایی ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد [۲۲] بر اثر محلولهای گرمابی ماگمایی، محلولهای میعان‌یافته از بخارهای داغ و یا محلولهای اسیدی ناشی از فرآیندهای برون‌زاد تشکیل می‌شود [۸]. در منطقه مورد مطالعه، کائولینیت در تعدادی از نمونه‌های مورد مطالعه به‌روش پراش پرتو ایکس شناسایی شد. این نمونه‌ها به‌طور عمده از پیرامون رگه‌ها و برشهای گرمابی تهیه شده که نسبت به سایر بخشها دارای سفیدشدگی آشکارتری می‌باشند و اغلب به‌صورت پوشه‌های سطحی نازک تظاهر دارند. با توجه به وجود شواهد جوشش از قبیل برشهای گرمابی (شکل ۳ پ و ت) و آدولاریا (شکل ۶ ب و پ) از یکسو و گسترش سطحی اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ثانویه از سوی دیگر، می‌توان تشکیل کائولینیت در منطقه مورد بررسی را به برهم‌کنش محلولهای ناشی از میعان بخارات داغ با سنگ دیواره در بخش بالایی زون‌های جوشش و محلولهای اسیدی ناشی از فرآیندهای برون‌زاد نسبت داد. با توجه به عدم گسترش وسیع پوشه‌های کائولینیتی به نظر می‌رسد نفوذپذیری پایین سنگ

با افزایش AI است و بیشترین کاهش را می‌توان در نمونه شماره T14 مشاهده کرد که از شدت دگرسانی بالایی برخوردار است (شکل ۸ الف). این ویژگی یکی از مشخصات دگرسانی گرمایی در سامانه‌های اپی‌ترمال است [۴ و ۱۰]. بر مبنای مطالعات کانی‌شناسی، اغلب پلاژیوکلازهای سنگ دیواره به سرسیت دگرسان شده‌اند که می‌تواند مبین کاهش CaO طی فرآیندهای دگرسانی باشد. اگرچه کلسیت یکی از محصولات دگرسانی گرمایی است ولی با پیشرفت دگرسانی و نزدیک شدن به رگه‌ها از فراوانی آن کاسته شده است.

جانشینی کلریت به جای آلپیت، فلدسپات پتاسیم و سرسیت می‌باشد.

محاسبه شاخص‌های دگرسانی در ۱۰ نمونه از سنگهای دگرسان شده در منطقه مورد مطالعه (جدول ۴) نشان‌دهنده تغییرات شاخص ایشی‌کاوا از ۲۲/۷ تا ۶۰/۸۶ و تغییرات شاخص CCPI از ۵۴/۸۲ تا ۷۶ است. برای بررسی تغییرات زمین‌شیمیایی مرتبط با دگرسانی گرمایی تغییرات غلظت اکسیدهای CaO, Na₂O, MgO, K₂O, Fe₂O₃ و SiO₂ در مقابل AI مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸). بررسی تغییرات CaO در مقابل AI نشان‌دهنده کاهش مقادیر CaO همزمان

جدول ۴. نتایج تجزیه شیمیایی سنگهای آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه (مقادیر بر حسب درصد وزنی).

نمونه	T1	T3	T4	T5	T12	T14	T20	T28	T34	T36
SiO ₂	۵۰/۴۳	۵۰/۱۹	۵۰/۹۳	۵۰/۸۸	۵۱/۶۲	۶۵/۵۶	۵۲/۹۵	۴۹/۱۹	۴۸/۵۳	۵۱/۲۰
Al ₂ O ₃	۱۸/۷۱	۱۸/۷۲	۱۶/۱۱	۱۴/۷۰	۱۵/۱۶	۱۳/۵۰	۱۶/۶۵	۱۵/۰۰	۱۴/۷۳	۱۴/۳۵
Fe ₂ O ₃ (T)	۱۰/۶۳	۱۰/۲۵	۹/۴۰	۹/۹۱	۹/۷۱	۴/۱۸	۶/۹۶	۱۰/۵۷	۱۱/۱۹	۹/۲۶
MgO	۳/۴۳	۱/۴۱	۲/۲۱	۴/۰۴	۰/۶۹	۰/۶۰	۲/۱۸	۰/۸۱	۱/۵۱	۰/۷۰
MnO	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۰	< ۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۹
CaO	۷/۳۴	۶/۸۵	۶/۹۹	۸/۴۴	۹/۹۳	۱/۴۰	۶/۴۷	۷/۰۱	۹/۱۱	۹/۰۷
Na ₂ O	۳/۷۸	۴/۳۰	۴/۵۷	۳/۷۹	۳/۰۵	۰/۴۰	۴/۶۳	۳/۱۷	۲/۲۹	۲/۷۵
K ₂ O	۲/۲۹	۲/۳۴	۳/۱۲	۲/۴۸	۳/۱۴	۲/۲۰	۲/۹۰	۲/۴۱	۱/۷۲	۲/۱۶
P ₂ O ₅	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۱۷
L.O.I	۲/۹۹	۳/۶۹	۲/۸۷	۲/۵۲	۴/۲۷	۹/۹۶	۳/۲۰	۴/۰۵	۴/۴۰	۵/۱۶
Total	۹۹/۹۱	۹۸/۰۸	۹۶/۵۲	۹۷/۰۷	۹۷/۸۸	۹۷/۸۶	۹۶/۲۹	۹۲/۵۳	۹۳/۷۶	۹۴/۹۱
AI	۳۳/۹۶	۲۵/۱۶	۳۱/۵۵	۳۴/۷۷	۲۲/۷۸	۶۰/۸۶	۳۱/۳۹	۲۴/۰۲	۲۲/۷	۱۹/۴۸
CCPI	۶۹/۸۴	۶۳/۷۱	۶۰/۱۵	۶۸/۹۹	۶۲/۶۸	۶۴/۷۶	۵۴/۸۲	۶۷/۰۹	۷۶	۶۶/۹۸

اختصارات: AI= شاخص دگرسانی ایشی‌کاوا و CCPI= شاخص دگرسانی کلریت- کربنات- پیریت.

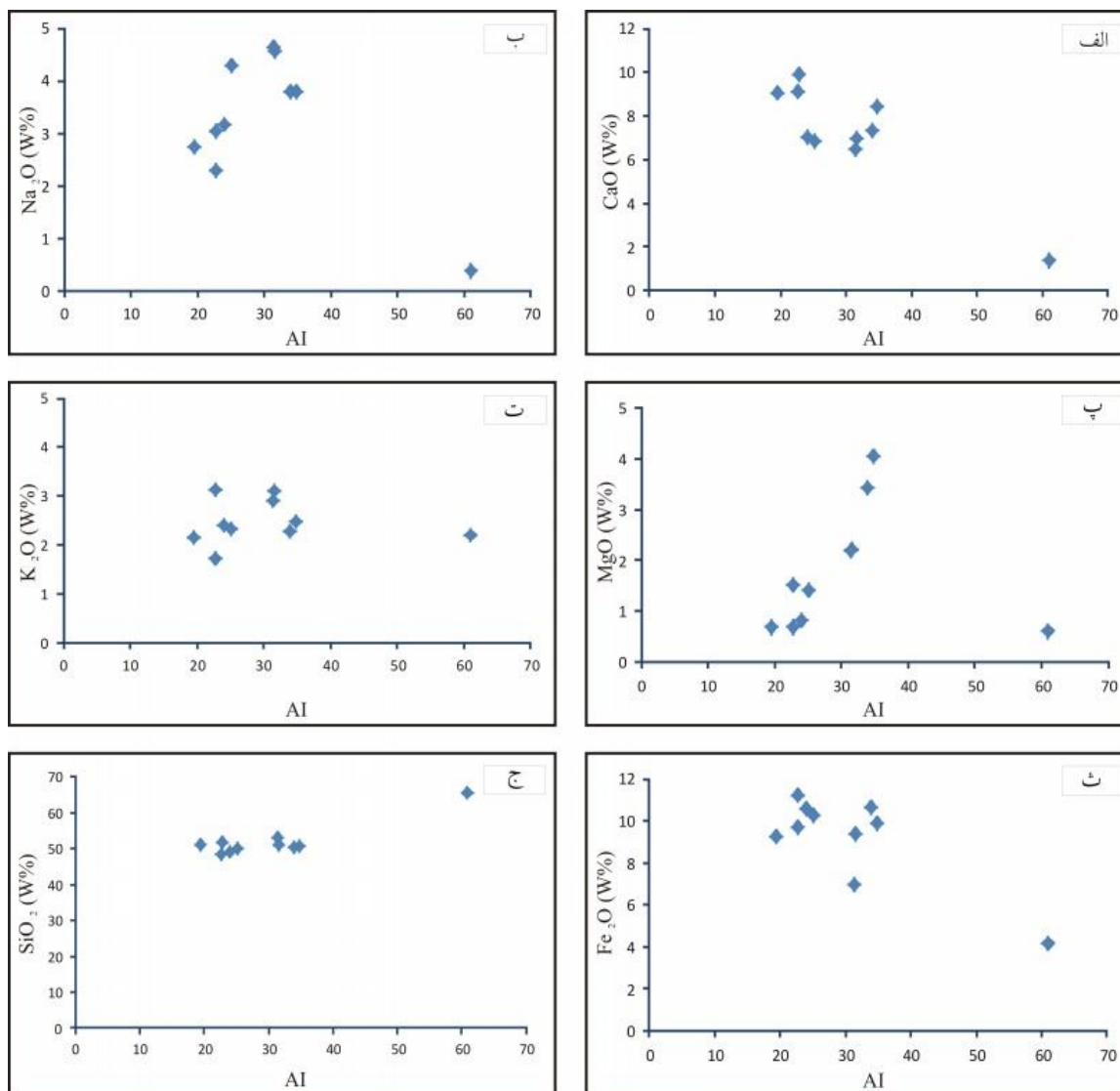
توسعه دگرسانی پروپیلیتی همخوانی دارد. در نمودار K₂O در مقابل AI روند کاهشی مورد انتظار که در مناطق دگرسانی گرمایی اغلب کانسارهای اپی‌ترمال گزارش شده، مشاهده نمی‌شود (شکل ۸ ت) که می‌توان آن را به نوع ترکیب کانی‌شناسی سنگ دیواره غالباً آندزیتی، عدم تشکیل آدولاریا به علت کمبود پتاسیم [۱۰] در سنگ دیواره و گسترش وسیع و توسعه یافته دگرسانی پروپیلیتی نسبت داد. بررسی نمودار FeO در مقابل AI تغییرات مشخصی را نشان نداده و حکایت از روند تقریباً یکنواخت و ثابت آن در برابر AI دارد (شکل ۸ ث). بررسی تغییرات SiO₂ در مقابل AI نشانگر روند کم و بیش افزایشی آن می‌باشد (شکل ۸ ج) که با حضور کوارتزهای

نمودار Na₂O در مقابل AI روند کاهش مورد انتظار برای Na₂O را به جز نمونه T14 نشان نمی‌دهد (شکل ۸ ب). روند کاهشی Na₂O یکی از ویژگیهای دگرسانی گرمایی در کانسارهای اپی‌ترمال است [۲۵ و ۱۰]، که در صورت گسترش و توسعه مناطق دگرسانی می‌توان آن را به کمک مطالعات زمین‌شیمیایی آشکار نمود. عدم مشاهده این روند در نمونه‌های مورد مطالعه می‌تواند نشانگر گسترش وسیع دگرسانی پروپیلیتی و عدم توسعه کامل سایر مناطق دگرسانی باشد.

بررسی تغییرات MgO در مقابل AI نشانگر روند افزایشی آن است (شکل ۸ پ) که با حضور کلریت در اغلب نمونه‌ها و

و سیلیسی دارای گسترش و توسعه‌یافتگی کمتر مگر در نزدیکی رگه‌ها می‌باشند.

گرمایی به‌صورت پرکننده و جان‌شینی همخوانی دارد. بر اساس نمودارهای مورد بررسی، دگرسانی قالب در سامانه گرمایی تجرود از نوع پروپیلیتی است و دگرسانی‌های سریستی



شکل ۸. نمودار تغییرات CaO ، Na_2O ، MgO ، K_2O ، Fe_2O_3 و SiO_2 در برابر شاخص دگرسانی ایشی‌کاوا (AI).

میکروسکپی و کانی‌شناسی همخوانی دارد. این روندها پیشنهاددهنده دگرسانی‌های پروپیلیتی، سریستی و سیلیسی است که در این میان دگرسانی پروپیلیتی از وسعت بیشتری برخوردار است.

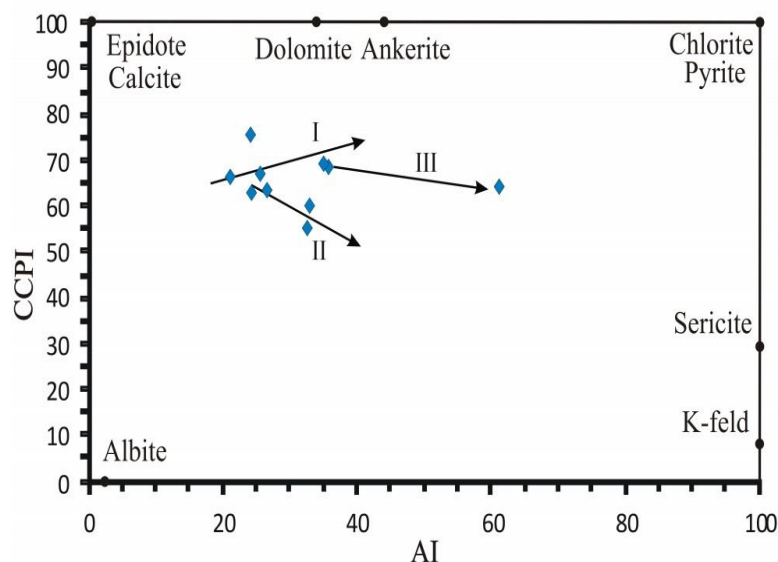
برداشت

سامانه رگه‌ای تجرود شامل مجموعه‌ای از رگه‌ها، رگه‌چه‌ها و برشهای گرمایی است که به‌صورت شکافه‌پرکن در مجموعه‌ای

بر مبنای نمودار جعبه‌ای دگرسانی (شکل ۹)، اغلب نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده $\text{AI} = 20 - 60$ و $\text{CCPI} = 50 - 80$ قرار می‌گیرند. بر اساس موقعیت کانی‌های آلبیت، سریسیت، فلدسپات پتاسیک، کلریت، پیریت، دولومیت، آنکریت و اپیدوت بر روی نمودار جعبه‌ای دگرسانی [۹]، می‌توان سه روند اصلی دگرسانی شامل کلریت-سریسیت-پیریت (روند I)، کربنات-سریسیت (روند II) و سریسیتی (روند III) را برای این نمونه‌ها تعیین نمود که با نتایج مطالعات

کانی شناسی کانسنگ ساده و شامل کوارتز، کلسیت، پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت و محصولات دگرسانی برون‌زاد آنها است.

از سنگهای آتشفشانی آندزیتی و داسیتی منتسب به ائوسن تشکیل شده است. توزیع مکانی رگه‌ها و انطباق آن‌ها با گسلها و شکستگیها نشانگر کنترل ساختاری کانی‌سازی است.



شکل ۹. نمودار جعبه‌ای دگرسانی [شاخص دگرسانی ایشی‌کاوا (AI) در مقابل شاخص دگرسانی کلریت-کربنات-پیریت (CCPI)] برای داده‌های تجزیه شیمیایی منطقه مورد مطالعه. روندهای اصلی دگرسانی توسط روندهای I، II و III نشان داده شده است.

زون‌های وادوز که در طی جوشش محلول گرمایی از آن جدا می‌شوند، باعث تشکیل آبهای اسیدی می‌گردد [۸]. این آبهای اسیدی بر اثر واکنش با سنگهای دیواره، باعث تشکیل پوشش نازکی از کائولینیت در بخش بالایی سامانه رگه‌ای مورد مطالعه شده‌اند.

تلفیق یافته‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی نشان‌دهنده تشکیل سامانه‌ی رگه‌ای تجرود در یک محیط اپی‌ترمال نوع سولفیدی‌شدن پایین است. این یافته‌ها پیشنهادکننده حضور محلولهای با pH نزدیک به خنثی تا کمی قلیایی به‌عنوان محلول گرمایی غالب و آبهای اسیدی ناشی از میعان بخارات داغ در سامانه گرمایی مورد مطالعه‌اند که بر اثر خردشدگی هیدرولیکی و رخداد پدیده جوشش از محلول گرمایی اصلی جدا شده‌اند.

مراجع

[1] Simmons S. F., White N. C., and John D. A., "Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits", *Economic Geology* 100th Anniversary (2005) 485-522.

دگرسانی گرمایی سنگ دیواره در منطقه مورد مطالعه، از مجموعه‌های دگرسانی سیلیسی، سریسیتی، پروپیلیتی و رسی تشکیل یافته که در نزدیکی رگه‌ها از شدت بیشتری برخوردار است. بررسی شاخصهای دگرسانی در این منطقه بیانگر تغییرات شاخص ایشی‌کاوا از ۲۲/۷۸ تا ۶۰/۸۶ و تغییرات شاخص CCPI از ۵۴/۸۲ تا ۷۶ است. پیاده‌سازی این شاخصها بر روی نمودار جعبه‌ای دگرسانی نشان‌دهنده سه روند اصلی دگرسانی شامل کلریت-سریسیت-پیریت، کربنات-سریسیت و سریسیتی است که با نتایج کانی‌شناسی همخوانی دارد.

نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی و دگرسانی گرمایی در سامانه رگه‌ای تجرود بیانگر نقش محلولهای گرمایی با pH نزدیک به خنثی تا کمی قلیایی [۱] است. بر اساس شواهد بافتی و کانی‌شناسی، این محلولها در بخشی از سرگذشت خود متحمل جوشش و سردشدگی شده‌اند. جوشش بر اثر افت ناگهانی فشار به‌وقوع پیوسته که با حضور برشهای گرمایی، آدولاریا و کوارتز ریزدانه در منطقه مورد مطالعه مشخص می‌شود. میعان مواد فرار و بخارات داغ غنی از CO₂ در

Tasmanian, Australian”, Economic Geology 87 (1992) 620-649.

[۱۲] نادری میقان ن.، شجائی کاوه ن.، بهرمند، م.، خیریری ف.، "نقشه زمین‌شناسی شامکان (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰)"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۷).

[۱۳] جعفری م.، سدید س.، "گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک ۱:۲۵۰۰۰ منطقه تجرود"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه شمال شرق کشور، (۱۳۸۹)، منتشر نشده، ۱۶۵ ص.

[14] Edgar H. B., Rollin E. F., "Selective staining of k-feldspar and plagioclase on rock slabs and thin sections", the American Mineralogist 45 (1960) 1020-1025.

[15] Lensch G., "Major element geochemistry of the ophiolites north of Sabzevar (Iran)", Neues Jahrbuch Fur Geologie und Palantologi, Monatshefte 7 (1979) 415-447.

[16] Lensch G., Mihm A., Alavi-Tehrani N., "Petrography and geology of the ophiolite belt north of Sabzevar/Khorasan (Iran)", Neues Jahrbuch Fur Mineralogie, Abhandlungen 131 (1977) 156-178.

[17] Spices O., Lench G., Mihm A., "Geochemistry of the post-ophiolitic Tertiary volcanic between Sabzevar and Quchan/NE-Iran", Geological survey of Iran 51 (1983) 247-267.

[18] Shojaat B., Hassanipak A. A., Mobasher K., Ghazi A. M., "Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran", Journal of Asian Earth Sciences 21, Issue 9 (2003) 1053-1067.

[19] De Ronde C.E.J., Blattner P., "Hydrothermal Alteration, Stable Isotopes, and Fluid Inclusions of the Golden Cross Epithermal Gold-Silver Deposit, Waihi, New Zealand", Society of Economic Geologists 83 (1988) 895-917.

[20] Albinson T., Norman D. I., Cole D., Chomiak B. "Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data", Society of Economic Geology 8 (2001) 1-32.

[21] Camprubi A., Ferrari L., Cosca M. A., Cardellach E., Canals A., "Ages of Epithermal Deposits in Mexico: Regional Significance and Links with the Evolution of Tertiary Volcanism", Economic Geology 98 (2003) 1029-1037.

[2] Lagat J., "Hydrothermal Alteration Mineralogy in Geothermal Fields with Case Exampels from Olkaria Domes Geothermal Field, Kenia, Presented at Short Course II on Surface Exploration for Geothermal Resources, organized by UNU-GTP and KenGen", at Lake Naivasha, Kenya (2007) 2-17.

[3] Heaker C. A., Van der meer F. D., "Characterization of Hydrothermal Alteration in Mount Berecha Area of Main Ethiopian Rift using Hyperspectral Data", Oluwadebi Ayomiposi Grace (2011) 1-75.

[4] Simmons S. E., Browne P., "Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadland-Ohaaki Geothermal system; Implication for understanding low-sulfidation epithermal environments", Economic Geology 95 (2000) 971-1000.

[5] Mauk J. L., Simpson M., "Geochemistry and stable isotope composition of altered rocks at the Golden Cross epithermal Au-Ag deposit, New Zealand", Economic Geology 102 (2007) 841-871.

[6] Warren I., Simmons S. F., Mauk J. L., "Whole rock geochemical techniques for evaluating hydrothermal alteration, mass changes, and compositional with epithermal Au-Ag mineralization", Economic Geology 102 (2007) 923-948

[7] White N. C., Hedenquist J. W., "Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration", Society of Economic Geologists 23 (1995) 9-13.

[8] Hedenquist J. W., Arribas R. A., Urien E. G. "Exploration for Epitermal Gold Deposit", Society of Economic Geologist 13 (2000) 245-277.

[9] Large R. R., Gemmell J. B., Paulick H., Huston D., "The alteration box plot: a simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and lithochemistry associated with VHMS deposit", Economic Geology 96 (2001) 957-972.

[10] Gemmell J. B., "Hydrothermal Alteration Associated with the Gosowong Epithermal Au-Ag Deposit, Halmahera, Indonesia: Mineralogy, Geochemistry, and Exploration Implications", Society of Economic Geologists 102 (2007) 893-922.

[11] Gemmell J. B., Large R. R., "Stringer system and alteration zones underlying the Hellyer volcanic-hosted massive sulfide deposit,

Kuroko deposits based on modes of volcanism of underling dasite and alteration halos", Mining Geology 26 (1976) 105-117 (in Japanese with English abs).

[25] Simmons S. F., Browne P. R. L., "Mineralogic, alteration and fluid inclusion studies of epithermal gold-bearing veins at the Mt. Muro prospect, Central Kalimantan (Borneo), Indonesia", Journal of Geochemical Exploration 35 (1990) 63-104.

[۲۲] زراسوندی ع.، "اطلس دگرسانی: راهنمای مطالعات صحرایی و میکروسکوپی برای کانیهای دگرسانی گرمایی"، انتشارات دانشگاه شهید چمران، (۱۳۸۶) ۱۲۱ ص.

[۲۳] احمدی م. ح.، "دگرسانی گرمایی و کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها در منطقه مطراآباد، جنوب غربی بجنستان: بر پایه داده‌های کانی‌شناسی، زمین‌شیمیایی و سنجش از دور"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، منتشر نشده، (۱۳۹۰)، ۱۲۰ ص.

[24] Ishikawa y., Sawaguchi T., Iway S., Horiuchi M., "Delineation of prospecting targets for

Archive of SID