

مطالعه‌ی ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی میزبان و کانی‌شناسی دگرسانی آرژیلیک در کانسار مس پورفیری سرچشمه: بر اساس داده‌های جدید

محمد معانی‌جو^{۱*}، محمد مستقیمی^۱، مهدی عبداللهی ریشه^۲ و ناهید صحرارو^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۲- مجتمع معدنی مس سرچشمه، شرکت ملی صنایع مس ایران

*mohammad@basu.ac.ir

دریافت: ۹۱/۳/۱۷ پذیرش: ۹۲/۲/۲۹

چکیده

کانسار مس پورفیری سرچشمه بر روی نوار آتشفشانی ایران مرکزی یعنی کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر قرار دارد، این کمربند مهم‌ترین کمربند فلززایی ایران است. سنگ‌های آتشفشانی درونگیر این کانسار به لحاظ پتروگرافی عمدتاً در محدوده‌ی سنگ‌های آندزیتی و بعضاً در محدوده‌ی سنگ‌های داسیتی قرار می‌گیرند؛ به طوری که مطالعات پترولوژی نیز این نظر را تأیید می‌کند. سری ماگمایی سنگ‌های مذکور در محدوده‌ی کالکوالکالین قرار می‌گیرد و مقادیر اکسیدهای MgO و FeO^۱ با افزایش SiO₂ روند نزولی را نشان می‌دهند؛ که نشانه‌ی تبلور بخشی کانی کلینوپیروکسن در طی تبلور ماگما است. مقدار CaO نمونه‌ها نیز کم و بیش کاهش می‌یابد که می‌تواند با تحول ترکیب پلاژیوکلاز از کلسیک به سدیک در حین تبلور بخشی ماگما مرتبط باشد. محدوده‌ی سنگ‌های آتشفشانی کانسار سرچشمه در محدوده‌ی کمان‌های ماگمایی ناشی از فرورانش یک پوسته اقیانوسی به زیر یک پوسته قاره‌ای بوده است. براساس مطالعات پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) عمده کانی‌های موجود در دگرسانی آرژیلیک کانسار سرچشمه عبارتند از: کائولینیت، مونت-موریونیت، ایلیت - میکا (سرسیت)، کلریت، کوارتز و پیریت، که پیریت تنها کانی سولفیدی موجود در این زون بوده و این زون فاقد کانه‌زایی می‌باشد. در نتیجه این مطالعات تغییرات کانی‌های رسی در رخنمون موجود در محدوده‌ی غربی کانسار از داخل به سمت حاشیه ثابت است؛ اما در رخنمون موجود در محدوده شمالی کانی‌های رسی از داخل به سمت حاشیه و خارج کانسار دارای تغییراتی می‌باشند؛ به طوری که در نمونه‌های داخلی و نزدیک به توده نفوذی کائولینیت غالب بوده و به سمت حاشیه و قسمت‌های خارجی زون دگرسانی آرژیلیک کانسار، مونت‌موریونیت افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، کانی‌شناسی، دگرسانی آرژیلیک، کانسار مس پورفیری، سرچشمه

مقدمه

سرچشمه صورت گرفته است، به عنوان مثال واترمن و همیلتون [۲۳] به معرفی واحدهای سنگی مختلف و اطمینان [۱۰] به بررسی‌های پتروگرافی در کانسار مس پورفیری سرچشمه پرداختند، هم‌چنین صفاری [۳] در بخش از پایان‌نامه‌ی خود به بررسی ژئوشیمیایی و تعیین سری ماگمایی در سنگ‌های منطقه اقدام کرده است. اما اطلاعات ژئوشیمیایی مورد استفاده در این پژوهش بر اساس نمونه‌های جدید و پله‌های تازه رخنمون یافته می‌باشد؛ لذا هدف از این مطالعه، بررسی سنگ‌های آتشفشانی درونگیر در محدوده‌ی معدنی کانسار مس پورفیری سرچشمه به لحاظ پتروگرافی و پترولوژیکی بوده و دگرسانی آرژیلیک کانسار مذکور به لحاظ کانی‌شناسی و کانه‌زایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اکتشافات تفصیلی کانسار مس پورفیری سرچشمه در سال ۱۹۶۸ تا سال ۱۹۷۰ توسط شرکت انگلیسی سلکشن تراست^۱ آغاز و سپس توسط شرکت امریکایی آناکوندا تا سال ۱۹۷۳ دنبال شد. براساس ۶۶ هزار متر حفاری الماسی و ۱۷۲۰۰ متر تونل، معدن مس سرچشمه به وسعت ۲/۷ کیلومتر مربع، به شکل یک بیضی و با ذخیره کل ۱۲۰۰ میلیون تن کانسنگ مس با عیار ۰/۶۹ درصد به عنوان بزرگ‌ترین معدن مس ایران شناخته و آماده بهره‌برداری گردید [۲]. هم‌چنین عیار مولیبدن در این کانسار ۰/۰۳ درصد [۱] و عیار طلا ۰/۲۷ پی‌پی‌ام [۳] می‌باشد. تا کنون مطالعات زیادی بر روی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی کانسار مس پورفیری

^۱. Selection Trust

مطالعه، سن مجموعه از روی ارتباط سنگ‌شناسی و مقایسه با سازندهای مشابه در نواحی دیگر تخمین زده شده است. با این روش سن مجموعه را ائوسن بالایی در نظر گرفته‌اند [۲۳، ۸]. نهشته‌های رسوبی دوران سوم و چهارم در منطقه نیز گسترش چشمگیر و قابل ملاحظه‌ای دارند (شکل ۱).

روش کار

ابتدا از واحدهای مختلف سنگی که دارای دگرسانی کم-تری بوده‌اند، حدود ۳۰ نمونه برداشت و از تعدادی از آن‌ها مقطع نازک تهیه شد و با میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت. تعداد ۹ نمونه سنگی برای انجام آنالیز به روش ICP-AES با استفاده از ذوب لیتیم متابورات^۲ به شرکت SGS کانادا فرستاده شد و عناصر اصلی موجود در آن‌ها اندازه‌گیری شد. در مطالعه‌ی مربوط به دگرسانی آرژبلیک کانسار سرچشمه، نمونه‌های دارای کانی‌های رسی از قسمت نزدیک به توده‌ی نفوذی و هم‌چنین از قسمت‌های خارجی و نزدیک به دگرسانی پروپیلیتیک انتخاب گردید. در ابتدا نمونه‌های مورد نظر را به صورت پودر در آورده و سپس نمونه‌های پودر شده جهت تهیه پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) آماده گردید. پس از تهیه پیک‌های مورد نظر به علت وجود مخلوط لایه در پیک‌ها روش تیمار کردن یا تریدمنت^۳ کردن بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. در روش مذکور، ابتدا نمونه‌های رسی مورد نظر پودر شدند و سپس نمونه‌ها را داخل بشر ریخته و به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر آب و ماده پراکنده‌ساز (کلگون ۴ درصد) به آن اضافه نمودیم، که این ماده وظیفه جداسازی کانی‌های رسی را بر عهده دارد و آن را به مدت ۲۴ ساعت در همین وضعیت قرار می‌دهیم تا کانی‌های رسی به خوبی از هم جدا شوند. در مرحله‌ی بعد جهت حذف کلگون، نمونه‌ها چند بار با آب مقطر داخل دستگاه سانتریفیوژ شستشو داده شدند. در نهایت مقداری از نمونه‌ها را روی لام ریخته و چند ساعت در دمای اتاق قرار می‌دهیم تا خشک شود و در نهایت نمونه را داخل دسیکاتور قرار داده و اتیلن گلیکول (حدود ۵۰°C) را به دسیکاتور اضافه می‌نماییم. سپس دسیکاتور را بر روی هیتر با حرارت ۲۰ تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تنظیم می‌نماییم، تا اتیلن

معدن مس سرچشمه در استان کرمان، ۶۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان رفسنجان و ۳۶ کیلومتری شهرستان پاریز، در طول جغرافیایی $53^{\circ}55'$ شرقی و عرض جغرافیایی $29^{\circ}58'$ شمالی واقع شده است. کانسار مس پورفیری سرچشمه بر روی نوار ولکانیکی ایران مرکزی یعنی کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر قرار دارد، که این کمربند مهم‌ترین کمربند فلزایی ایران است و بر کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا منطبق می‌باشد. از آنجایی که کمربند ارومیه - دختر نتیجه‌ی فروانش پوخته اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوخته قاره‌ای ایران مرکزی است [۱۲]، همانند سایر کانسارهای ماگمایی حاشیه قاره، مانند آند و کردیلرا میزبان کانسارهای مس - مولیدن پورفیری و دیگر کانسارهای وابسته به این خاستگاه ژئودینامیکی می‌باشد. این فروانش و برخورد قاره‌ای از کرتاسه تا تریاس ادامه داشته و از پالئوسن تا الیگوسن باعث افزایش فعالیت آذرین پلوتونیک و آتشفشانی کالک آلکالن و آلکالن در این کمربند شده است [۱۰، ۲۲]. هم‌چنین در طول زمان میوسن یک استوک کالک آلکالن پورفیری در منطقه‌ی سرچشمه نفوذ کرده است [۹]. فاز اصلی نفوذی و مولد کانسارسازی در منطقه‌ی سرچشمه همان استوک کالک آلکالن و با ترکیب گرانودیوریت و به سن میوسن میانی می‌باشد [۲۲]. مطالعات چینه‌شناسی نشان می‌دهد، استوک پورفیری سرچشمه در سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی به سن ائوسن، که یکی از جالب‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی در ناحیه‌ی کرمان است، نفوذ کرده و آن‌ها را تحت تاثیر دگرسانی قرار داده است. لذا قدیمی‌ترین واحدهای سنگی محدوده‌ی معدن سنگ‌های آتشفشانی ائوسن هستند [۴، ۲۳] و عمدتاً ترکیب آندزیتی دارند، که همراهی آن‌ها با رسوبات این دوره نشان‌دهنده‌ی یک محیط آتشفشانی - رسوبی زیردریایی در آن زمان می‌باشد [۲۳، ۱۰، ۲۲]. در نتیجه قسمت اعظم این مجموعه از سنگ‌های مختلف با منشاء آتشفشانی تشکیل شده است و سنگ‌های قدیمی‌تر در منطقه‌ی مورد مطالعه که پایه این تشکیلات را به‌وجود آورده‌اند، رخنمون ندارند و به همین دلیل بیش‌تر سازندهای مورد بررسی مربوط به تریاس و بعد از آن می‌باشند. سنگ‌های نفوذی و نیمه عمیق و هم‌چنین دایک‌ها، این مجموعه را در بسیاری از نقاط قطع کرده‌اند و به دلیل نبود فسیل در منطقه‌ی مورد

² Lithium metaborate fusion

³ Treatment

که حضور این کانی‌های را می‌توان با تأثیر دگرسانی پروپیلیتیک و آرژیلیک به خوبی توجیه کرد.

ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار مس پورفیری سرچشمه:

نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی منطقه:

با توجه به داده‌های شیمیایی سنگ کل از ۹ نمونه‌ی سنگ (جدول ۱)، درصد SiO_2 این سنگ‌ها بین ۵۵ تا ۷۴ درصد متغییر است و در نمودار تغییرات $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 [۷] در محدوده‌ی آندزیت و داسیت قرار می‌گیرند (شکل ۳). هم‌چنین به علت دقت عناصر کمیاب در بررسی و نام‌گذاری سنگ‌های مختلف از این عناصر نیز استفاده شده است. بدین منظور نمودارهای وینچستر و فلوید [۲۴] به کار گرفته شده‌اند. در این نمودارها نسبت Zr/TiO_2 در مقابل SiO_2 و Nb/Y مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل‌های ۴ و ۵). لذا پس از بررسی نمونه‌ها در این نمودارها، اکثر آن‌ها در محدوده‌ی سنگ‌های آندزیتی و بعضاً در محدوده‌ی سنگ‌های داسیتی قرار می‌گیرند. لذا با توجه به مطالعات پترولوژیکی با استفاده از نمودارهای عنوان شده و همچنین مطالعات پتروگرافی، ترکیب بیش‌تر سنگ‌های آتشفشانی منطقه آندزیتی و بعضاً داسیتی می‌باشد.

تعیین سری ماگمایی

به منظور تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار مس پورفیری سرچشمه از دو نمودار استفاده شده است. بر اساس نمودار AFM که مرزبندی‌های آن توسط ایروین و باراکار [۱۶] انجام گردیده است، همه‌ی نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کالکوالکالان واقع می‌شوند (شکل ۶). سایر خصوصیات سنگ‌شناسی این سنگ‌ها از قبیل؛ غالب بودن پلاژیوکلاز به ارتوکلاز، آندزیتی بودن واحدهای سنگی و هم‌چنین جایگاه فرورانشی سنگ‌های منطقه‌ی مورد مطالعه این امر را تأیید می‌کند. نمودار دوم که چهار سری ماگمایی را از یکدیگر جدا می‌کند، نمودار SiO_2 در مقابل K_2O [۲۱] می‌باشد. نمونه‌های مورد بررسی که دامنه‌ی تغییرات K_2O در آن‌ها نسبتاً وسیع است (۰/۴۲ تا ۵ درصد وزنی)، در این نمودار در سری کالکوالکالان غنی از پتاسیم قرار می‌گیرند

گلیکول موجود در آن به مدت ۵ تا ۶ ساعت بخار شود و بر روی لام بنشیند و بلافاصله نمونه را جهت تهیه پراش اشعه‌ی ایکس به آزمایشگاه منتقل و تا آنالیز XRD پراش اشعه‌ی ایکس بر روی آن‌ها صورت پذیرد. آنالیز پراش اشعه‌ی ایکس توسط دستگاه Italstructures و $\text{Cu K}\alpha$ و شرایط ۴۰ کیلو ولت و ۳۰ میلی‌آمپر در آزمایشگاه بوعلی-سینا همدان انجام گردید.

پتروگرافی سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار سرچشمه:

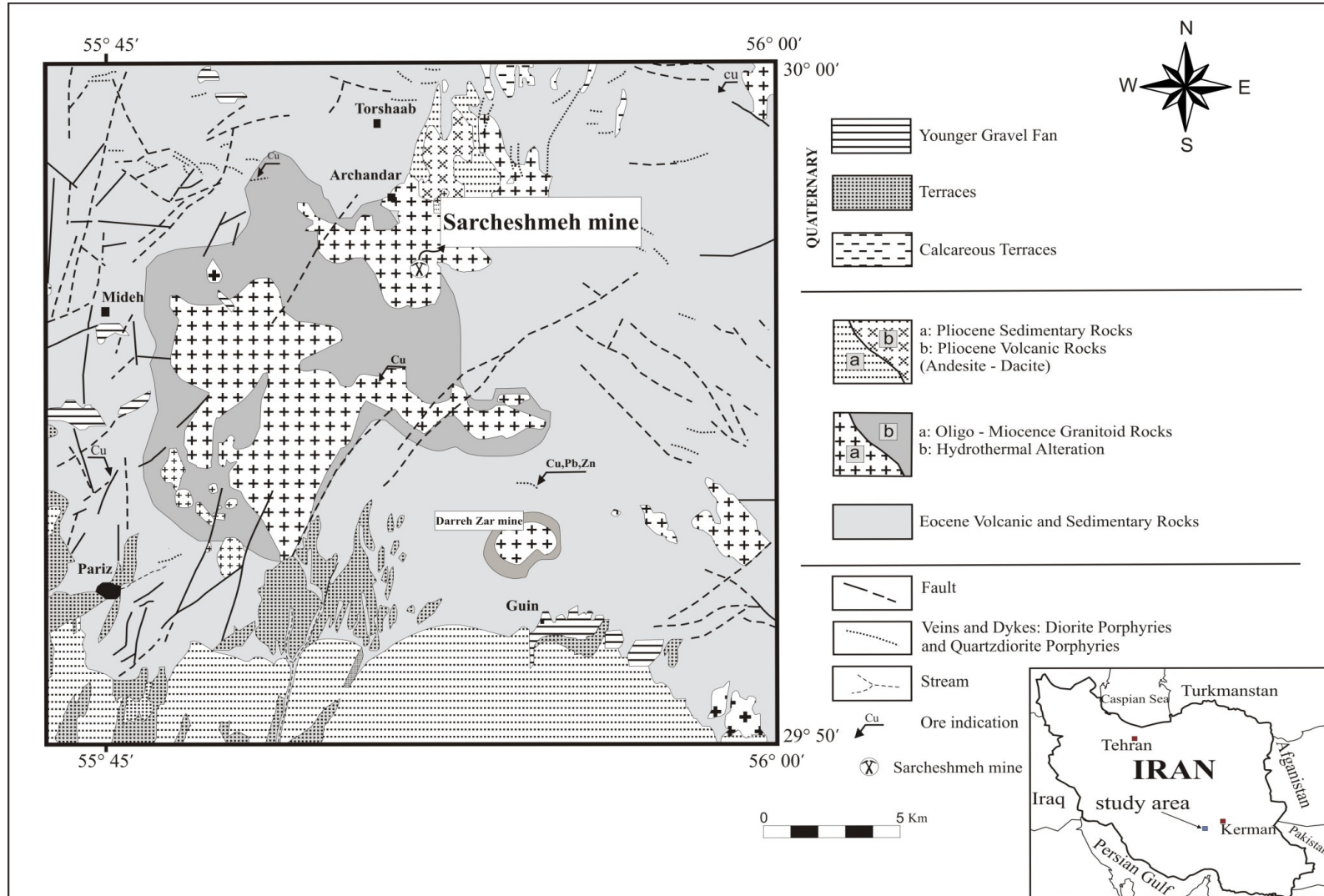
بر اساس مطالعات صورت گرفته در معدن مس پورفیری سرچشمه، هفت واحد سنگی وجود دارد که شامل استوک‌های پورفیری سرچشمه و پورفیری دانه‌ریز تاخیری، ولکانیت‌های آندزیتی و دایک‌های هورنبلند پورفیری پیشین، هورنبلند پورفیری پسین، فلدسپار پورفیری و بیوتیت پورفیری می‌باشد [۲]. لذا به علت مطالعه بر روی سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار سرچشمه صرفاً به مطالعه‌ی پتروگرافی و پترولوژی این گروه‌های سنگی می‌پردازیم.

آندزیت‌های ائوسن که سنگ دیواره‌ی معدن را تشکیل می‌دهند، قسمت عمده‌ی سنگ‌های آتشفشانی منطقه را شامل می‌شوند و با نفوذ استوک پورفیری سرچشمه با سن میوسن میانی [۲۲] در این آندزیت‌ها، حدود نیمی از کانسارسازی مس به وقوع پیوسته است و در واقع سنگ میزبان معدن به حساب می‌آیند. این واحد سنگی بیش‌تر از آندزیت و داسیت تشکیل شده است، که بافت پورفیریک با خمیره‌ی میکرولیتیک در آندزیت‌ها و پورفیریک با خمیره میکروگرانولار در داسیت‌ها به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۲). کانی اصلی در آندزیت‌ها فقط پلاژیوکلاز می‌باشد و در داسیت‌ها علاوه بر پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول، کوارتز و به مقدار کم فلدسپار آلکالین حضور دارد. کانی‌های ثانویه موجود در آن‌ها عبارتند از: کلریت، مسکوویت، کلسیت، سرسیت و کانی‌های اپاک. خمیره در آندزیت‌ها از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و مقدار کمی شیشه تشکیل یافته و در گونه‌ی دیگر، پلاژیوکلاز، کوارتز و آلکالی فلدسپار میکروگرانولار به صورت خمیره در زمینه‌ی سنگ دیده می‌شوند. کانی‌های ثانویه این تیپ از سنگ‌ها شامل رس، کلریت، سرسیت، کلسیت و اپیدوت می‌باشد

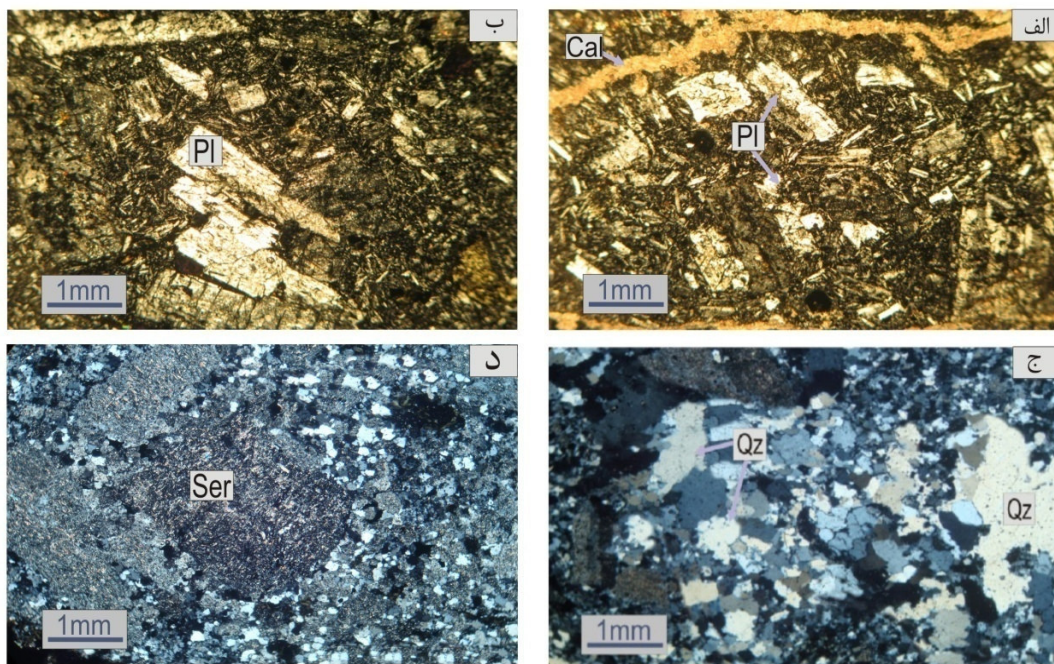
(شکل ۷). تنوع و پراکندگی نمونه‌ها از لحاظ مقدار K_2O فرآیند دگرسانی در سنگ‌های منطقه باشد. می‌تواند ناشی از تحرک‌پذیری عنصر پتاسیم در حین

جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار مس پورفیبری سرچشمه به روش ICP-AES

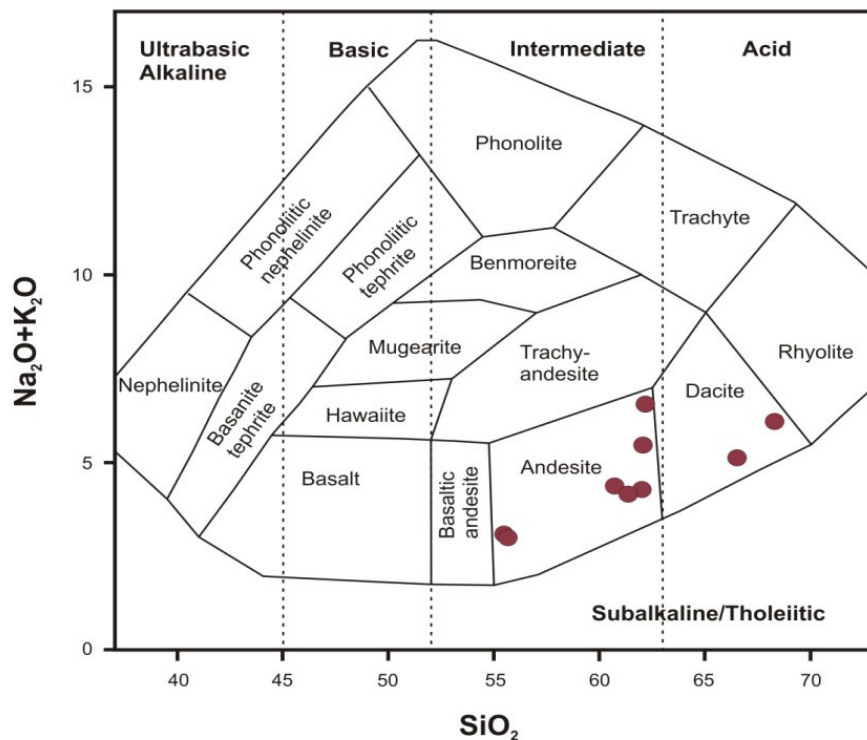
	Sar 126	Sar 127	Sar 128	Sar 129	Sar 130	Sar 131	Sar 132	Sar 133	Sar 134
SiO ₂	۵۵/۷	۵۵/۵	۶۲/۳	۶۰/۸	۶۲/۱	۶۱/۴۲	۶۶/۶	۶۲/۴۵	۶۸/۴
Al ₂ O ₃	۱۶/۲	۱۴/۹	۱۵/۲	۱۵/۸	۱۶/۸	۱۵/۱	۱۵/۵	۱۶/۹	۱۵/۹
Fe ₂ O ₃	۷/۴	۷/۴۶	۶/۱	۵/۲۳	۵/۵۴	۶/۳۷	۴/۵۱	۴/۹۸	۳/۷۷
CaO	۲/۹۸	۶/۱۹	۳/۹۲	۳/۸	۳/۰۲	۳/۶	۱/۸۳	۱/۴۲	۱/۸۲
MgO	۵/۸۳	۳/۳۲	۱/۵۳	۲/۶۱	۳/۱۵	۲/۹۷	۱/۴۱	۲/۴۳	۲/۰۷
Na ₂ O	۱/۲	۱/۴	۴	۲/۱	۰/۲	۱/۴	۱/۲۱	۳/۲	۳/۱
K ₂ O	۱/۸۳	۱/۷	۱/۵۳	۲/۳۱	۴/۱	۲/۸	۳/۸۹	۳/۳۹	۲/۹۸
TiO ₂	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۴	۰/۳۳	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۶۸
MnO	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۳۸	۰/۱۴	۰/۰۲
P ₂ O ₅	۰/۲	۰/۱	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۲	۰/۲۸	۰/۲۵
LOI	۸/۲۳	۷/۸۶	۴/۶۶	۶/۳۱	۵/۱۵	۵/۶۸	۴/۰۳	۴/۱۲	۱/۲۹
Total	۱۰۰/۱۷	۹۹/۱۴	۱۰۰/۱	۹۹/۸۵	۱۰۰/۶	۹۹/۹۷	۱۰۰/۰۷	۹۹/۸	۱۰۰/۲۸
V	۱۰۷	۱۱۷	۱۰۶	۶۱	۳۵	۱۱۴	۲۲/۷	۸۴	۹۱
Co	۲۰/۱	۲۷/۲	۱۱/۶	۸/۵	۵	۱۰/۹	۳۵/۵	۱۵/۴	۱۷/۳
Ni	۱۲۹	۴۶	۱۷	۶	۱۲	۲۴	۱۱/۸	۱۶	۱۱
Cu	۸۱۷	۱۴۲	۶۸	۴۴۳۰	۱۷۰۰	۶۵۵۰	۱/۷	۹۶	۲۲۲۰
Zn	۲۶	۱۵۲	۱۲۰	۷	۱۵	۲۶	۰/۶۵	۲۰/۴	۵۸
Ga	۱۵	۲۱	۱۹	۱۸	۱۴	۱۲	۰/۱۸	۲۱	۱۶
Rb	۱۳/۱	۸۲/۲	۹۲	۱۴۰	۱۴۴	۱۳۷	۶	۱۲۳	۱۰۸
Sr	۲۴۰	۳۹۰	۴۴۰	۲۳۰	۱۱۰	۱۱۰	۳۸۰	۱۸۰	۴۹۰
Y	۵	۴/۲	۵	۶	۵	۵	۳/۶	۵	۵
Zr	۸۰	۹۰	۹۳	۹۲	۱۰۰	۹۵	۱۱۰	۱۱۰	۱۲۰
Nb	۲	۲	۱	۲	۳	۲	۲	۳	۲
Ba	۸۰	۵۰۰	۸۶۰	۲۹۰	۵۱۰	۶۶۰	۶۸۰	۷۶۰	۷۸۰
Pr	۳/۱۸	۵/۶۱	۴/۶۴	۵/۲	۴/۱۴	۶/۲۵	۳/۶۲	۶/۲	۵/۷
Sn	۱	۱	۱	۵	۱	۱	۲	۱	۱
Gd	۲/۶۴	۳/۱۳	۲/۱۶	۲/۳۷	۱/۵۴	۳/۰۶	۱/۴۴	۲/۲۷	۲/۳
Th	۲/۷	۰/۸	۹/۵	۲۸/۳	۲۷/۱	۶/۶	۰/۶۷	۱۵	۱۲/۳
Ho	۰/۵۳	۰/۳۹	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۵۶	۰/۱۹	۰/۳	۰/۲۹
Tm	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۱	۰/۱۱
U	۲/۱۶	۳/۲۳	۴/۵۱	۸/۵	۵/۶۲	۲/۰۵	۵/۱۳	۵/۳۱	۳/۹۵
W	۴۵	۴	۵	۳۵	۲۳	۲۰	۱۰	۶	۲۰
Ag	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
Mo	۳	۴	۴	۱۵	۷۱	۸۷۳	۴	۳	۸۰
Ba	۵۴۸	۶۳۳	۵۸۱	۷۲۴	۸۲۰	۶۵۴	۷۲۰	۵۵۲	۶۲۰
La	۲۸/۴	۳۰/۲	۳۱/۳	۳۸/۶	۲۸/۲	۳۳/۹	۳۲/۵	۲۴/۸	۲۹/۹



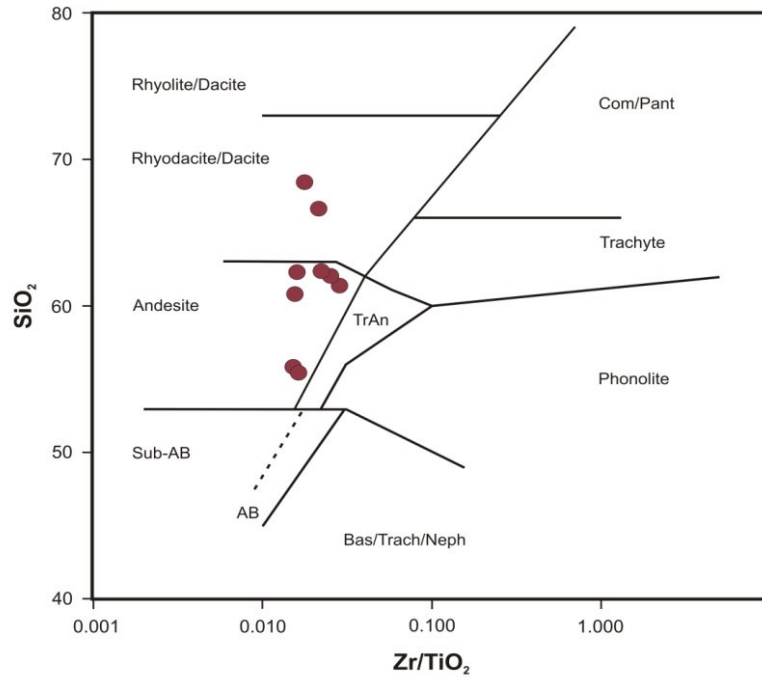
شکل ۱. نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی سرچشمه [۸].



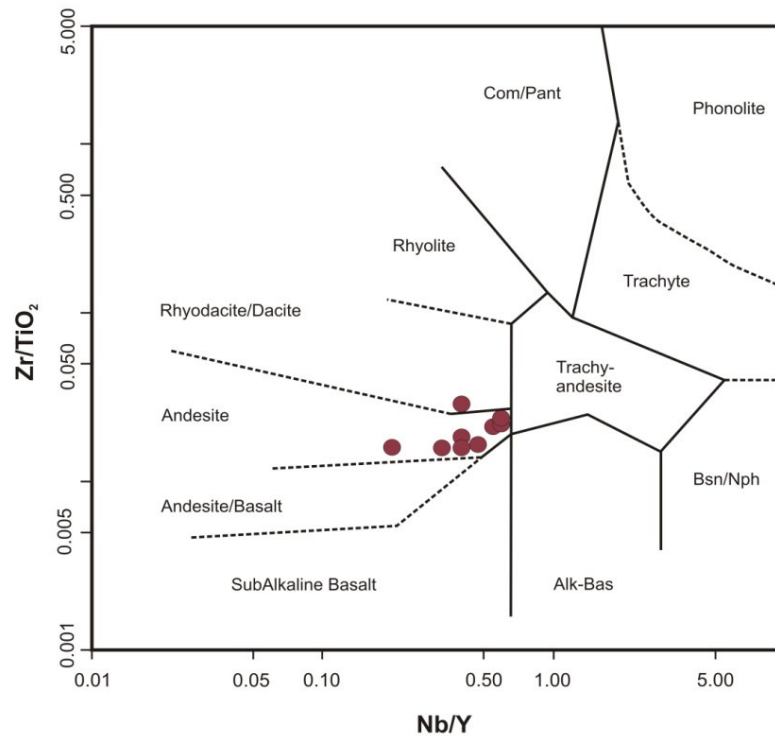
شکل ۲. الف و ب) تصاویر میکروسکوپی مربوط به سنگ‌های آندزیتی (مقاطع Sar 126 و Sar 161): الف: زمینه‌ی دانه‌ریز تا شیشه‌ای و رگه‌هایی از کلسیت در آندزیت. ب: فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه‌ی شیشه‌ای و دانه‌ریز. ج و د) تصاویر میکروسکوپی مربوط به سنگ‌های داسیتی (مقاطع Sar 130 و Sar 113-5R): ج: بلورهای کوارتز در زمینه‌ی میکروگرانولار. د: فنوکریست‌های پلاژیوکلاز که در اثر دگرسانی به سرسیت تبدیل شده‌اند. تصاویر در وضعیت XPL تهیه شده است (Pl: پلاژیوکلاز، Ca: کلسیت، Ser: کوارتز، سرسیت).



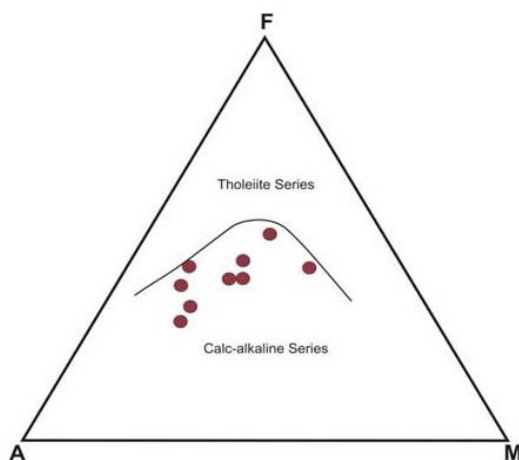
شکل ۳. موقعیت سنگ‌های آتشفشانی درون‌گیر کانسار مس پورفیری سرچشمه با استفاده از نمودار Cox [۷].



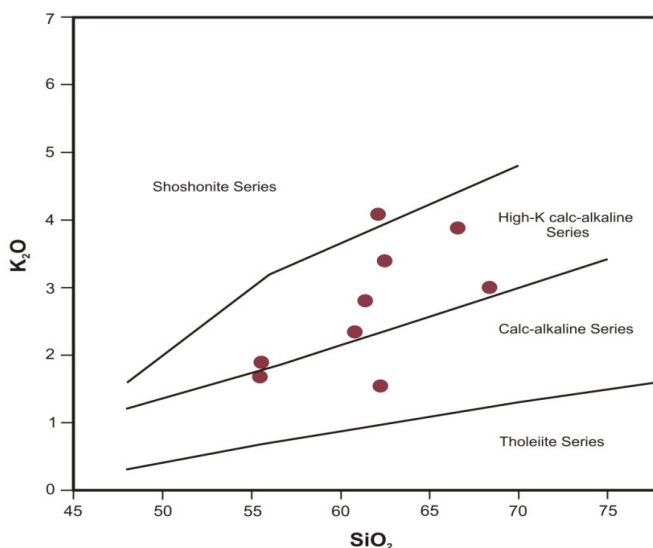
شکل ۴. موقعیت سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار مس پورفیری سرچشمه با استفاده از Zr/TiO_2 در مقابل SiO_2 در نمودار **Floyd و Winchester** [۲۴].



شکل ۵. موقعیت سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار مس پورفیری سرچشمه با استفاده از Nb/Y در مقابل Zr/TiO_2 در نمودار **Floyd و Winchester** [۲۴].



شکل ۶. نمودار AFM برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی کانسار سرچشمه [۱۶].



شکل ۷. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی کانسار سرچشمه در دیاگرام SiO_2 در مقابل K_2O [۲۱].

تعیین محیط تکتونیکی

به منظور تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد مطالعه از نمودارهایی استفاده شده است که عناصر کمیاب کم‌حرکی مانند Zr، Ti و ... سازنده‌های آن باشند. این عناصر نسبتاً غیر متحرک بوده و در هنگام فرآیندهایی همچون هوازدگی، دگرسانی و دگرگونی حساسیت نشان نداده و وارد فاز سیال نمی‌گردد. لذا همان‌طور که در شکل ۹- الف مشاهده می‌شود، کلیه نمونه‌های منطقه در محدوده کالکو آلکان واقع می‌شوند. همچنین سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نموداری که توسط گیل [۱۳] ارائه شده است در محدوده- ی آندزیت‌های کوهزایی قرار می‌گیرند (شکل ۹ - ب).

بررسی تغییرات عناصر اصلی در نمودارهای هارکر

پس از بررسی عناصر اصلی در مقابل SiO_2 برای سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار سرچشمه، با استفاده از نمودارهای هارکر مشخص شد که اکثر اکسیدهای اصلی به جز CaO ، MgO و FeO روند مشخصی را نشان نمی‌دهند. لذا مقادیر MgO و FeO با افزایش SiO_2 روند نزولی دارند (شکل ۸)؛ که این امر می‌تواند نشانه تبلور بخشی کانی کلینوپیروکسن در طی تبلور ماگما باشد [۱۴]. هم‌چنین مقدار CaO نمونه‌ها کم و بیش کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند مرتبط با تحول ترکیب پلاژیوکلاز از کلسیک به سدیک در حین تبلور بخشی ماگما باشد.

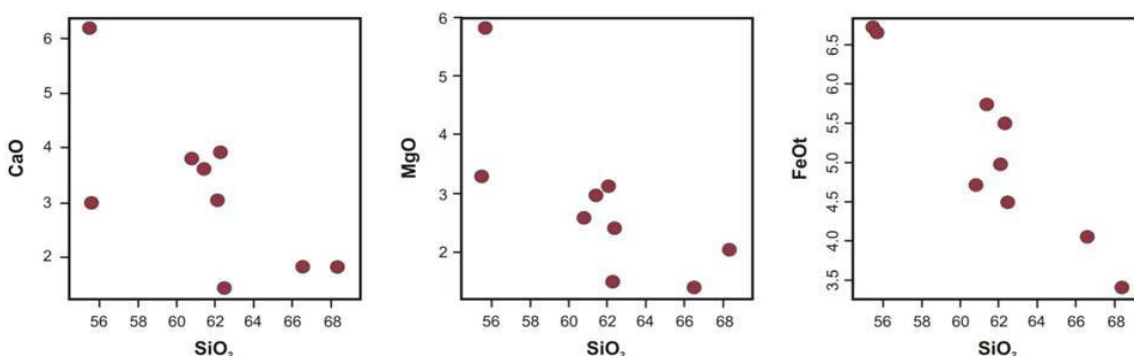
کانسار مس پورفیری سرچشمه قابل مقایسه با الگوی دگرسانی دیگر کانسارهای مس پورفیری توصیف شده توسط لوول و گیلبرت [۱۷] می‌باشد. بدین ترتیب دگرسانی پتاسیک در مرکز سیستم و دگرسانی بیوتیتی در سنگ‌های دیواره‌ای توسعه یافته و هر دو توسط دگرسانی فیلیک تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. دگرسانی پروپیلیتیک به طرف خارج سیستم در سنگ‌های آندزیتی دیواره‌ای گسترش یافته است [۱]. دگرسانی هیدروترمال و کانه‌زایی در سرچشمه بر روی استوک متمرکز بوده و به‌طور گسترده‌ای هم‌زمان با جایگزینی آن واقع شده است [۱]. چهار زون دگرسانی از داخل به طرف خارج شامل پتاسیک، فیلیک یا سرسیتی، آرژیلیک یا رسی و پروپیلیتیک می‌باشد (شکل ۶).

حال با توجه به این‌که هدف از این مطالعه بررسی کانی‌شناسی و ویژگی‌های کانیایی دگرسانی آرژیلیک در کانسار مس پورفیری سرچشمه می‌باشد، منحصراً به بررسی این زون دگرسانی می‌پردازیم.

در نمودارهای که توسط مولر و گراوز [۱۸] ارائه شده است سنگ‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در محدوده‌ی کمان‌های ماگمایی ناشی از فرورانش قرار می‌گیرند (شکل ۹- پ و ت). هم‌چنین جهت تمایز کمان ماگمایی حاشیه‌ی قاره‌ای فعال از کمان ماگمایی جزایر قوسی، از نمودارهای پیرس و همکاران [۲۰] استفاده شده است، لذا با توجه به این نمودارها به نظر می‌رسد که کمان ماگمایی سازنده سنگ‌های منطقه، ناشی از فرورانش یک پوسته اقیانوسی به زیر یک پوسته قاره‌ای بوده است (شکل ۹- ث).

دگرسانی آرژیلیک کانسار مس پورفیری سرچشمه و کانه‌زایی در آن

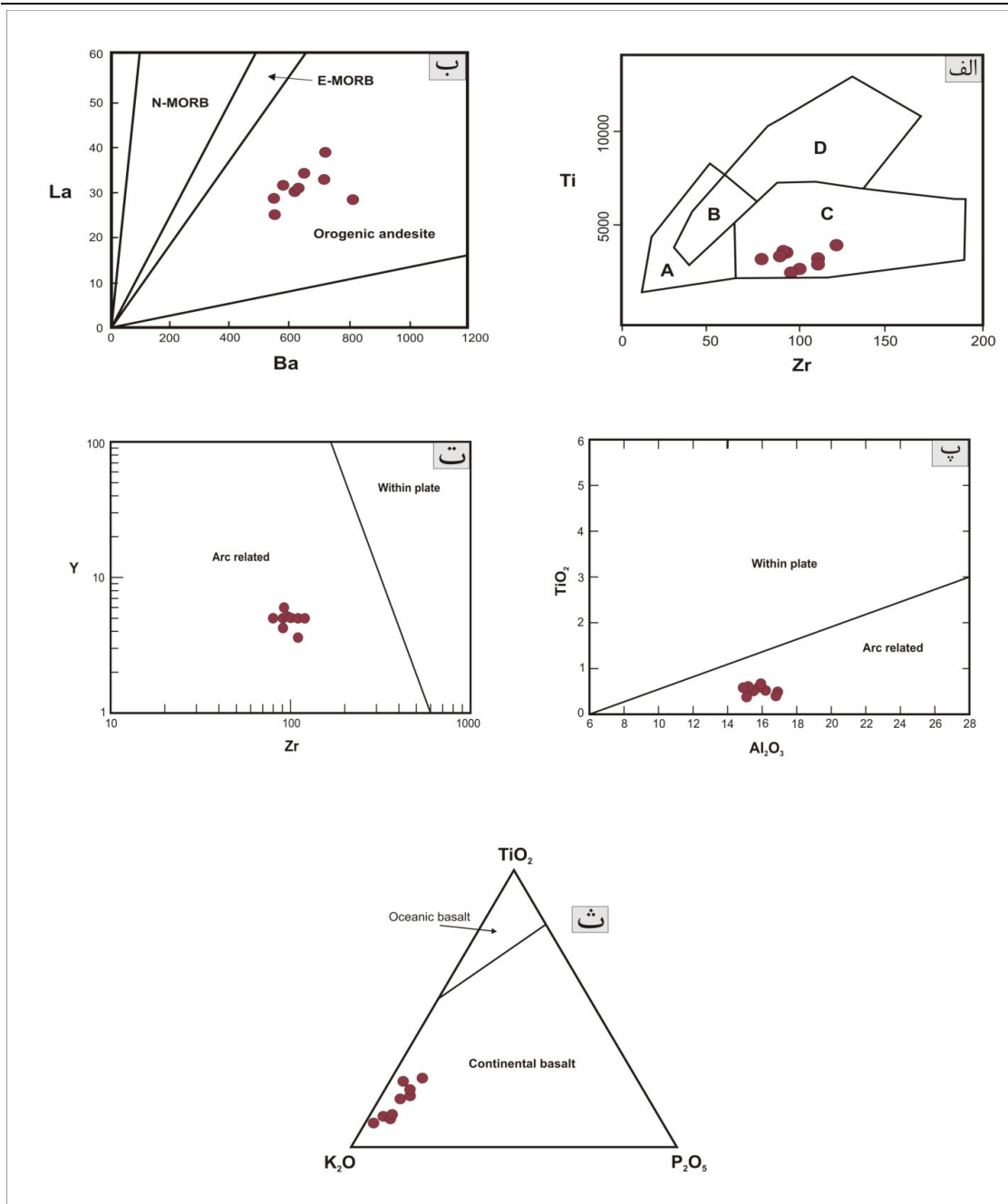
کانسارهای تیپ پورفیری معمولاً همراهی نزدیکی با توده‌های نفوذی پلوتونیک حدواسط تا اسیدی داشته و از روی دگرسانی گرمایی شدید و گسترده‌ی سنگ میزبان مشخص می‌شوند [۱۱]. حال با توجه به مطلب عنوان شده می‌توان به اهمیت دگرسانی گرمایی در اکتشاف و مطالعه‌ی این تیپ کانسارها پی برد. الگوی دگرسانی



شکل ۸. روند تغییرات تعدادی از عناصر اصلی نسبت به SiO_2 در نمودار هارکر.

جدول ۲. اطلاعات مربوط به موقعیت و ارتفاع نمونه‌های انتخابی برای مطالعه دگرسانی آرژیلیک کانسار مس پورفیری سرچشمه.

نام نمونه	طول و عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	توضیحات
Sar 123 - 1	N: $29^{\circ} 57' 10.9''$ EO: $55^{\circ} 51' 47.6''$	۲۶۳۷	نزدیک‌تر به توده‌ی نفوذی در محدوده‌ی شمالی کانسار
Sar 123 - 2	N: $29^{\circ} 57' 8.1''$ EO: $55^{\circ} 51' 46.7''$	۲۶۷۸	به سمت حاشیه‌ی کانسار در محدوده‌ی شمالی
Sar 137 - 1	N: $29^{\circ} 56' 59.1''$ EO: $55^{\circ} 51' 41.6''$	۲۶۹۰	نزدیک به توده‌ی نفوذی در محدوده‌ی غربی کانسار
Sar 137 - 2	N: $29^{\circ} 57' 0.1''$ EO: $55^{\circ} 51' 40.1''$	۲۷۳۲	به سمت حاشیه‌ی کانسار در محدوده‌ی غربی



شکل ۹. تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد مطالعه الف) با استفاده از نمودار Pearce and Cann [۱۹]، ب) نمودار Gill [۱۳]، پ و ت) نمودار از Muller and Groves [۱۸]، ث) نمودار مثلیتی Pearce et al. [۲۰].

دگرسانی آرژیلیک

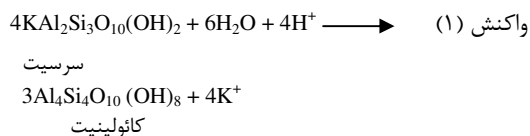
در کانسار مس پورفیری سرچشمه این زون در بالای زون دگرسانی سرسیتی (فیلیک) واقع شده و عمدتاً در قسمت‌های غربی و شمالی محدوده‌ی معدن و پله‌های ایجاد شده دیده می‌شود. معمولاً تصور بر این است که دگرسانی آرژیلیک به صورت گسترده و همه‌گیر بین دگرسانی سرسیتی (فیلیک) در پایین و دگرسانی پروپیلیتیک در

بالا وجود دارد در صورتی که این دگرسانی در بعضی از کانسارها از جمله کانسار مس پورفیری سرچشمه به صورت منقطع و فقط در بعضی از قسمت‌های محدوده‌ی معدنی قابل مشاهده است. کانی‌های معرف این زون عبارتند از: کائولینیت، مونت‌موریونیت، کلسیت، سرسیت، پیریت و گاهی آلونیت نیز گزارش شده است. بین و بودنار [۵] معتقدند که در

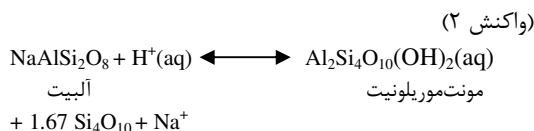
این واکنش به همراه واکنش (۲) باعث افزایش درصد SiO_2 شده که نتیجه آن ایجاد فرآیند سیلیسی‌زایی در منطقه بوده و مقدمه‌ای برای تشکیل دگرسانی آرژیلیکی در سنگ‌های میزبان محدوده‌ی سرچشمه و در اطراف رگه‌ها می‌شود.

همان‌طور که عنوان شد دگرسانی آرژیلیک در کانسار سرچشمه همانند دیگر کانسارهای پورفیری به صورت منقطع و پراکنده دیده می‌شود و با توجه به رخنمون این دگرسانی در شمال و غرب محدوده‌ی معدنی به تغییرات کانی‌های رسی و کانه‌زایی در این محدوده‌ها پرداخته‌ایم. دو نمونه از هر قسمت انتخاب شده است، یکی از قسمت تحتانی دگرسانی و نزدیک به توده‌ی نفوذی و دیگری از قسمت فوقانی و نزدیک به حاشیه‌ی کانسار انتخاب شده‌اند (اطلاعات مربوط به نقاط نمونه‌برداری در جدول ۲ ارائه شده است). نتایج مطالعات از نمونه‌ی قسمت تحتانی و فوقانی محدوده‌ی غربی حضور کانی‌های رسی: کائولینیت، ایلیت-میکا، کوارتز و پیریت را به‌عنوان تنها کانی سولفیدی تأیید می‌کند و با توجه به آنالیزهای انجام شده، تغییرات این کانی‌ها از داخل یا قسمت تحتانی دگرسانی به سمت قسمت فوقانی یا حاشیه کانسار دیده نشده است (شکل ۱۰)، هم‌چنین با توجه به این‌که این نمونه‌ها فاقد مخلوط لایه هستند، روش تیمار کردن بر روی آن‌ها انجام شده است، که نتایج حاصل حضور کانی‌های مذکور و عدم حضور مونت‌موریونیت را تأیید می‌کنند (شکل ۱۱). از طرفی پیک‌های حاصل، حضور پیریت را به‌عنوان تنها کانی سولفیدی نشان می‌دهند و این نتایج بیانگر آن است که این محدوده از دگرسانی آرژیلیک کانسار سرچشمه فاقد کانه‌زایی می‌باشد. البته این نمونه‌ها به دلیل احتمال وجود کانی‌های سولفیدی مهم از نظر اقتصادی به‌وسیله‌ی محلول‌های سنگین نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که نتایج حاصل حضور پیریت را در این محدوده تأیید می‌کند. اوانز [۱۱] معتقد است که، در کانسارهای مس پورفیری کائولینیت با نزدیک‌تر شدن به توده‌ی نفوذی فراوان شده و با دور شدن از آن، مونت‌موریونیت افزایش می‌یابد و کوربت [۶] بیان می‌کند که دگرسانی آرژیلیک در اعماق بیش‌تر ایلیتی و کائولینیتی بوده و به سمت بالا و حاشیه‌ی کانسار به مجموعه‌ی ایلیت - اسمکتیت و اسمکتیت تبدیل می‌شود و در صورت پایین بودن سولفید

طی این دگرسانی همه کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی سنگ به‌طور کامل به کانی‌های رسی، سرسیت، کوارتز و همتایت دگرسان می‌شوند. همان‌طور که عنوان شد، قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در محدوده‌ی معدن، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن [۴] و عمدتاً دارای ترکیب آندزیتی و ریولیتی می‌باشند، که استوک پورفیری سرچشمه با ترکیب گرانودیوریت تا تونالیت و با سن میوسن میانی [۷] در این آندزیت‌ها به عنوان سنگ همبر نفوذ کرده است. لذا در سنگ‌های آندزیتی اولیه و استوک پورفیری سرچشمه، مقدار پلاژیوکلاز و فلدسپارهای قلیایی بالا است و در نتیجه این کانی‌ها در اثر هجوم آب‌های زیرزمینی که به‌واسطه‌ی برخورد با استوک پورفیری سرچشمه گرم شده و هم‌چنین به دلیل حضور پیریت و دیگر کانی‌های سولفیدی در مسیر حرکت به سمت بالا، خاصیت اسیدی پیدا کرده، کاتیون‌های موجود در ساختار خود (از قبیل Na, Ca, K) را از دست داده و آلومینیم، سیلیسیم و اکسیژن را در ساختار خود نگه می‌دارند، که حضور این عناصر باعث تشکیل کانی‌های رسی می‌شود. سیال هیدروترمالی که باعث این دگرسانی شده است دارای دمای پایین و شوری پایین تا متوسط می‌باشد که یک سیال جوی است و مسئول اصلی دگرسانی پروپیلیتیکی می‌باشد و با نفوذ به داخل استوک، باعث تشکیل دگرسانی آرژیلیک شده است [۱۵]. به طوری‌که بین و بودنار [۵] معتقدند دگرسانی آرژیلیک در کانسارهای پورفیری تحت تأثیر محلول‌های گرمایی اولیه به‌وجود نمی‌آید و بیش‌تر در اثر فرآیندهای سوپرژن ایجاد می‌شوند. چنانچه پس از تشکیل سرسیت و به‌وجود آمدن دگرسانی سرسیتی K^+/H^+ و درجه حرارت در سیال کاهش یابد، طبق واکنش زیر می‌تواند کائولینیت حاصل شود:



همان‌طور که مشاهده می‌شود واکنش (۱) همراه با کاهش H^+ و افزایش pH در محیط می‌باشد و در واکنش زیر هم مونت‌موریونیت جایگزین آل‌بیت می‌شود:



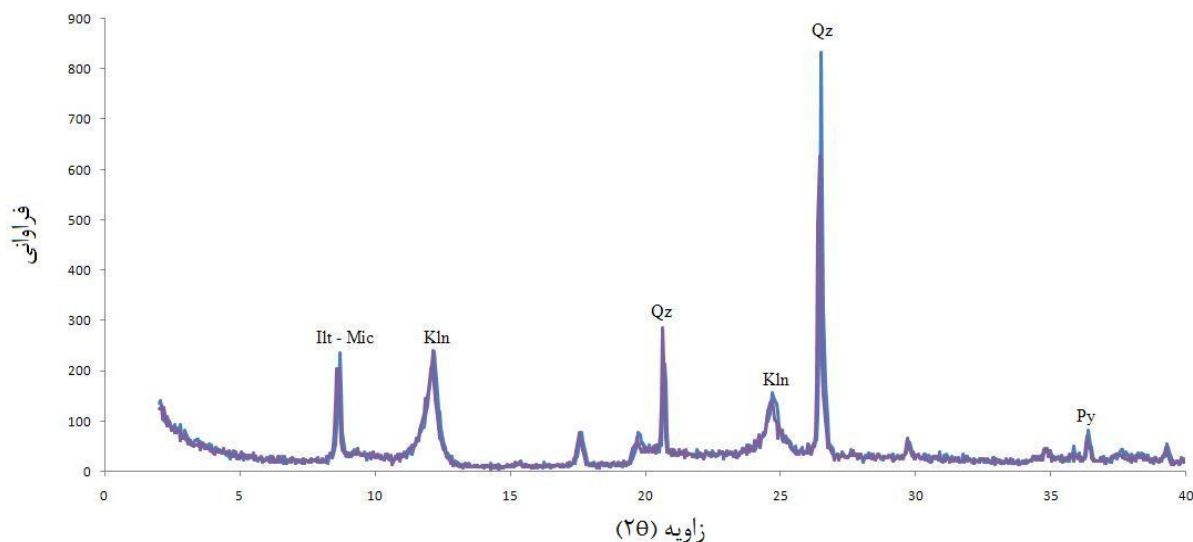
(واکنش ۲)

نمونه‌ی قسمت‌های تحتانی و فوقانی حضور ایلیت-میکا (سرسیت)، کائولینیت، مونت‌موریونیت، کلریت، کوارتز را تأیید می‌کند (شکل ۱۲ و ۱۳).

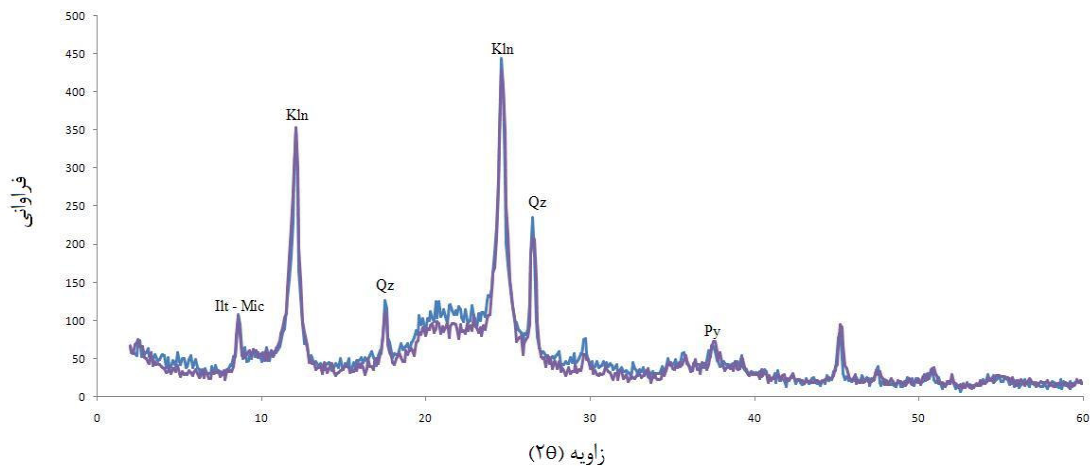
به‌علت وجود مخلوط لایه در پیک‌های حاصل از این قسمت‌ها (شکل ۱۲) از روش تیمار کردن استفاده شده است، که با انجام این عمل حضور کانی‌هایی از قبیل مونت‌موریونیت و کلریت در نمونه‌های این قسمت محرز شده است. تغییرات کانی‌های رسی از داخل به سمت حاشیه و خارج بدین صورت است که در نمونه‌های داخلی و نزدیک به توده کائولینیت بیش از قسمت خارجی می‌باشد و در نمونه‌های حاصل از قسمت خارجی مونت‌موریونیت افزایش می‌یابد (شکل ۱۳).

مطالعه این نمونه‌ها با محلول‌های سنگین و بررسی آن‌ها در زیر میکروسکوپ باینوکولار، حضور اکسیدهای آهن از قبیل هماتیت را در آن‌ها ثابت می‌کند، لذا عدم حضور پیک هماتیت در پیک‌های حاصل می‌تواند به دلیل فراوانی کم‌تر از ۵ درصد آن‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه باشد. در این محدوده نیز کانه‌زایی انجام نشده و در صورت حضور به ندرت با رگه‌ها یافت می‌شود.

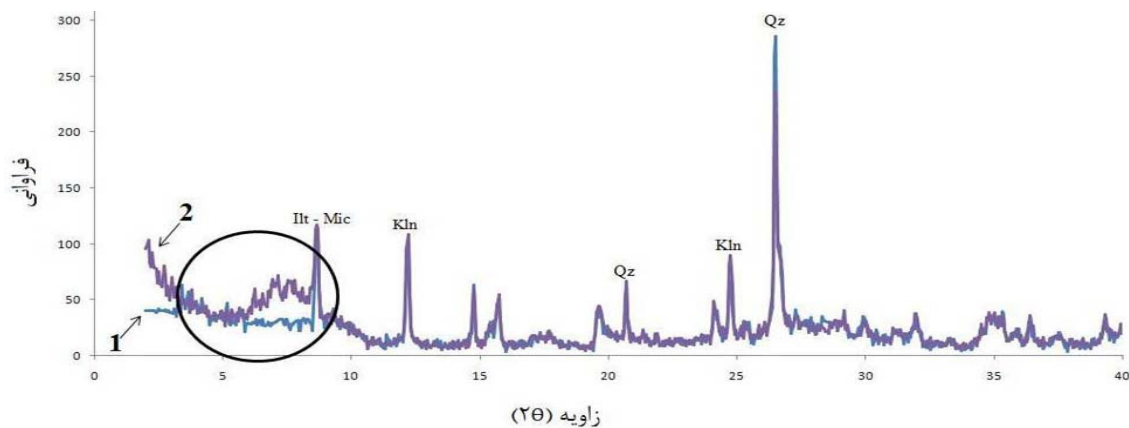
و اکسیدهای آهن، این زون برای وجود کائولینیت حائز اهمیت است. عدم حضور مونت‌موریونیت را می‌توان به غالب بودن یون K نسبت به یون‌های Ca و Na در محلول، pH اسیدی در سیالات مؤثر در دگرسانی، کمبود سیلیس برای تشکیل مونت‌موریونیت و فشار لیتوستاتیک ناشی از طبقات فوقانی و یا عمق تشکیل دگرسانی نسبت داد، به طوری که با کاهش عمق مقدار سیلیس افزایش یافته و فشار حاکم برای خارج کردن آب از ساختار مونت‌موریونیت کاهش می‌یابد و باعث تمرکز این کانی می‌شود. از طرفی اگر به جای H^+ در مونت‌موریونیت یون K^+ قرار بگیرد (به منظور خنثی نمودن و کمبود ناشی از جانشینی Al^{+3} با Si^{+4} در لایه اکتا‌در) ایلیت تشکیل می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت که حضور مقادیر بالایی از یون K^+ و محیطی اسیدی‌تر نسبت به قسمت‌های سطحی دگرسانی، شرایط لازم را جهت حضور کائولینیت و عدم حضور مونت‌موریونیت در قسمت‌های عمقی فراهم کرده است همچنین از دگرسانی آرژیلیک موجود در قسمت شمالی معدن دو نمونه، یکی نزدیک به توده‌ی نفوذی و از قسمت تحتانی دگرسانی و دیگری از قسمت فوقانی دگرسانی و نزدیک به حاشیه‌ی کانسار انتخاب شده است. مطالعه‌ی



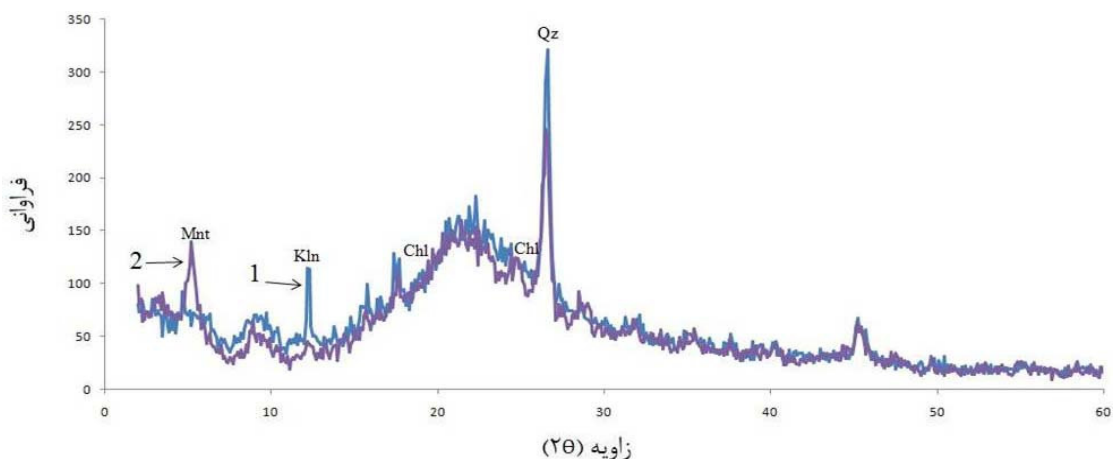
شکل ۱۰. پیک‌های حاصل از نمونه‌های نزدیک به توده نفوذی (Sar 137-1) و نزدیک به حاشیه (Sar 137-2) در محدوده‌ی غربی دگرسانی آرژیلیک کانسار مس پورفیری سرچشمه. همانطور که ملاحظه می‌شود تغییر محسوسی در پیک‌ها دیده نمی‌شود و پیک‌ها کاملاً بر هم منطبق‌اند. (Ilt: ایلیت، Kln: کائولینیت، Qz: کوارتز، Mic: میکا (سرسیت)، Py: پیریت).



شکل ۱۱: پیک‌های حاصل از روش تیمار کردن نمونه‌های (Sar 137-et-1 و Sar 137-et-2) حاصل از محدوده‌ی غربی دگرسانی آرژبلیک کانسار مس پورفیری سرچشمه که به مقدار زیادی شبیه به هم می‌باشند. (Ilt: ایلیت، Kln: کانولینیت، Qz: کوارتز، Mic: میکا (سرسیت)، Py: پیریت).



شکل ۱۲: پیک‌های حاصل از نمونه‌های نزدیک به توده نفوذی (Sar 123-1، پیک شماره‌ی ۱) و نزدیک به حاشیه (Sar 123-2، پیک شماره‌ی ۲) در محدوده‌ی شمالی دگرسانی آرژبلیک کانسار مس پورفیری سرچشمه. به علت وجود مخلوط لایه در قسمت مشخص شده در شکل انجام روش تیمار کردن نمونه‌ها لازم می‌باشد. (Ilt: ایلیت، Kln: کانولینیت، Qz: کوارتز، Mic: میکا (سرسیت)).



شکل ۱۳: پیک‌های حاصل از روش تیمار کردن نمونه‌های (Sar 123-et-1 و Sar 123-et-2) حاصل از محدوده‌ی شمالی دگرسانی آرژبلیک کانسار مس پورفیری سرچشمه، همانطور که مشاهده می‌شود در نمونه‌های نزدیک به توده‌ی نفوذی کانولینیت (پیک شماره‌ی ۱) و در نمونه‌های خارجی یا حاشیه‌ای (پیک شماره‌ی ۲) مونتموریونیت افزایش می‌یابد. (Ilt: ایلیت، Kln: کانولینیت، Mnt: مونتموریونیت، Qz: کوارتز، Mic: میکا (سرسیت)، Chl: کلریت).

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات پتروگرافی، ترکیب بیش‌تر سنگ‌های آتشفشانی منطقه آندزیتی و بعضاً داسیتی می‌باشد؛ که مطالعات پترولوژیکی نیز این امر را تایید می‌کنند. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار مس پورفیری سرچشمه، بر اساس نمودارهای AFM انجام شده است، که غالب نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کالکوالکالان واقع می‌شوند. محدوده‌ی سنگ‌های آتشفشانی کانسار سرچشمه در محدوده‌ی کمان‌های ماگمایی ناشی از فرورانش قرار می‌گیرند، همچنین جهت تمایز کمان ماگمایی حاشیه‌ی قاره‌ای فعال از کمان ماگمایی جزایر قوسی مشخص شد که کمان ماگمایی سازنده سنگ‌های منطقه، ناشی از فرورانش یک پوسته اقیانوسی به زیر یک پوسته قاره‌ای بوده است. مطالعه دگرسانی آرژیلیک در دو محدوده‌ی رخنمون‌دار شمالی و غربی کانسار به روش پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) و با استفاده از روش تیمار کردن انجام شده است، که این نتایج حضور کانی‌های کائولینیت، ایلیت-میکا (سرسیت)، کوارتز و پیریت را به‌عنوان تنها کانی سولفیدی در محدوده‌ی غربی تأیید می‌کند و تغییرات چندانی از داخل به سمت خارج و حاشیه کانسار دیده نمی‌شود و این محدوده‌ی فاقد کانه‌زایی می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از محدوده‌ی شمالی حضور ایلیت-میکا (سرسیت)، کائولینیت، مونت‌موریونیت، کلریت و کوارتز را تأیید کرده و از داخل به خارج کائولینیت کاهش یافته و مونت‌موریونیت افزایش می‌یابد و این محدوده هم فاقد کانه‌زایی بوده و فقط دارای اکسیدهای آهن می‌باشد.

منابع

- [۱] امین‌زاده، ب (۱۳۸۵) "مطالعه کانی‌شناسی و ژئوشیمی سیالات درگیر در ارتباط با کانسارسازی مولیبدن در معدن مس سرچشمه و کاربرد آن در بازیابی موثر مولیبدن"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۱۲ صفحه.
- [۲] صالحی، ر (۱۳۸۳) "بررسی ژئوشیمیایی زون‌های آلتره در معدن مس سرچشمه و تاثیر معدن‌کاری در پراکنش و انحلال‌پذیری فلزات سنگین"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه اصفهان، ۱۸۰ صفحه.
- [۳] صفاری، م.م (۱۳۷۷) "بررسی توزیع و تمرکز عناصر کمیاب و گرانبها و عوامل کنترل‌کننده آن‌ها در کانسار مس پورفیری سرچشمه (کرمان)"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی ۱۰۰ صفحه.
- [4] Bazin, D., Hubner, H (1969) "La region cuprifere a gisements porphyriques de Kerman (Iran)", *Mineral Deposita* 4, 200-211p.
- [5] Beane, R.E., and Bodnar, R.J (1995) "Hydrothermal fluids and hydrothermal alteration in porphyry copper deposits", in Pierce, F.W., and Bohm J.G., eds., *porphyry copper deposits of the American Cordillera*, Arizona Geological Society Digest 20, 82-93p.
- [6] Corbett, G.J (2002) "Epithermal gold for exploration", *Australian Institute of Geoscientists Presidents Lecture: AIG Journal* 67, 8p.
- [7] Cox, K. G., Bell, J. D. AND Pankhurst, R. J (1979) "The interpretation of igneous rocks", George, Allen and Unwine, Londone.
- [8] Dimitrijevic, M.D., Dimitrijevic, M.N., Djordjevic, M., Vulovic, D (1971) "Geological Survey of Iran, 1:100,000 series", sheet 7149, Pariz.
- [9] Emami, H (1992) "Geology of the Sar-Cheshmeh Copper Deposit: Internal Reports", Sar-Cheshmeh Copper Company.
- [10] Etmnian, H (1977) "Le porphyry cuprifere de Sarcheshmeh Rol des phases fluide les mecanismes alteration et de mineralization", *Iran Geology. Survey* 242p.
- [11] Evans, M.A (1993) "Ore Geology and Industrial Minerals An Introduction", Blackwell Science Ltd and Blackwell Publishing company 389 p.
- [12] Forster, H (1978) "Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran", *Jnl. Geology. Soc. London* 135, 443-455p.
- [13] Gill, J. B (1981) *Orogenic andesite and plate tectonics*, Springer, Berlin, 389p.
- [14] Gourgaud, A., Vincent, P.M (2003) *Petrology of two continental alkaline intraplate series at Emi Koussi volcano. Tibesti, Chad, J. volcan. Geo. Res.* 129: 261-272.
- [15] Hezarkhani, A (2006) "Hydrothermal evolutions at the Sar-Cheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran: evidence from fluid inclusions", *Journal of Asian Earth Sciences* 28, 408-422p.
- [16] Irvin, T. N., Baragar, W. R. A (1971) *A guide to the classification of the common volcanic rocks*, can. Jour, Earth. Seci., No.8, p. 235-458.
- [17] Lowell, J.D., Guilbert, J.M (1970) "Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits", *Economic Geology* 65, 373-408p.
- [18] Muller, D., Groves, D. I (1997) *Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization*, Lectute Note in Earth Sciences, NO. 56.

- [19] Pearce, J. A., and Cann, J. R (1973) Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19, 290-300.
- [20] Pearce, J. A., Gorman, B. E., and Birkett, T. C (1975) The TiO_2 - K_2O - P_2O_5 diagram: a method of discrimination between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 24, 419-426.
- [21] Peccerillo, A., and Taylor, S. R (1976) Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology.*, 58: 63-81.
- [22] Shahabpour, J (1982) "Aspects of alteration and mineralization at the Sarcheshmeh copper – molybdenum deposit. Kerman, Iran", Unpub Ph.D. thesis., Leeds University, 342p.
- [23] Waterman, G.C., Hamilton, R(1975) "The sarcheshmeh porphyry copper deposit", *Economic Geology* 70, 568-576p.
- [24] Winchester, J. A., and Floyd, P. A (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, 20, 325-343.