

منشایابی نهشته‌های پلاستیکی کواترنری با بهره‌گیری از مطالعات دورسنجی و ژئوشیمی در محدوده زواریان، جنوب غرب قم، مرکز ایران

سحر صادقی؛ گروه زمین‌شناسی مواد معدنی و منابع آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران

محمد یزدی*؛ گروه اکتشافات، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، ایران

ایرج رسا؛ گروه زمین‌شناسی مواد معدنی و منابع آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران

محمد رضا جاثاری؛ گروه اکتشافات، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

چکیده

با هدف ارزیابی منشأ کانی‌های سنگین رسوبات کواترنری، ابتدا واحدهای سنگ‌شناسی زواریان، با استفاده از سنجش از دور و نقشه‌های زمین‌شناسی تفکیک شدند. به منظور مطالعات پتروگرافی ۶۰ نمونه از رخنمون‌های سنگی برای تهیه مقاطع نازک و برای بررسی تغییرات عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و طلا، ۱۲۰ نمونه به روش Fire-Assay و ICP-OES و ۸ نمونه ICP-MS انتخاب گردید. برای مطالعات دورسنجی تصاویر ASTER محدوده، توسط نرم‌افزار ENVI مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد نهشته‌های پلاستیکی کواترنری محدوده زواریان دارای کانی‌های سنگین هماتیت، ماگنتیت، پیریت، کالکوپیریت و گالن می‌باشند. بر اساس شواهد صحرائی، مطالعات سنگ‌شناسی و سنجش از دور، کانی‌زایی طلا در سنگ‌های میزبان آندزیت و آندزیت بازالت همراه با رگه‌های کوارتز حفره‌دار و دگرسانی آرژبیلیکی پیشرفته و آلونیتی‌شدن و به صورت رگچه‌های سیلیسی-اکسید آهنی صورت گرفته است. تجزیه نمونه‌های کان سنگ نشان می‌دهد که عیار میانگین عنصر طلا ۱.۹۸ppm، عیار میانگین عنصر مس ۱۲۳۶ ppm و عیار میانگین عنصر آهن ۱۷۵۷۰۷.۹ ppm می‌باشد. نتایج مطالعات دورسنجی و ژئوشیمی نشان می‌دهد منشأ کانی‌های سنگین موجود در نهشته‌های پلاستیکی کواترنری محدوده زواریان سازندهای آندزیتی و بیروکلاستیک میوسن و پلیوسن می‌باشند. بر اساس مطالعه صورت گرفته مطالعات ژئوشیمی و دورسنجی با هم تطابق داشته و در فاز اکتشافی برای ذخایر فلزی به خوبی تکمیل کننده هم می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پلاستر، کواترنری، کانی‌سازی طلا، زواریان، مرکز ایران.

مقدمه

کانسارهای ایپی‌ترمال معمولاً در ارتباط با محیط‌های ماگمایی-گرمايي نزدیک به سطح زمین همراه با سنگ‌های ولکانیک مشاهده می‌شوند (جمل و سایمونز ۲۰۰۷). با توجه بررسی‌های صورت گرفته، عمق تشکیل آن‌ها کمتر از ۱.۵ کیلومتر و دمای تشکیل آن‌ها کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است (جمل و سایمونز ۲۰۰۷). برخی بررسی‌های دیگر تغییرات دمایی ۵۰- ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد را برای تشکیل این تیپ کانسارها در نظر گرفته‌اند (لیندگرن ۱۹۰۷) کانسارهای ایپی‌ترمال معمولاً از نوع کانسارهای غنی از طلا تا طلا-نقره و غنی از نقره هستند (هلد و همکاران ۱۹۸۷؛ وایت و هدنکوئیست ۱۹۹۰) و شامل انواع سولفید پائین، سولفید متوسط و سولفید بالا می‌باشند (عابدیان، ۱۳۹۰). یکی از مناطق امید بخش برای کانی‌سازی طلای نوع ایپی‌ترمال در زون ایران مرکزی، در محدوده زواریان قم قرار دارد که در این مقاله به بخشی از نتایج مطالعات به دست آمده از این پژوهش پرداخته می‌شود محدوده زواریان در ۶۰ کیلومتری جنوب غرب قم، و در زون زمین‌شناسی ایران مرکزی قرار دارد (شکل شماره ۱). محدوده مورد بررسی در غرب و جنوب توسط دو دشت سلفچگان و راهبرد محدود شده و در بخش جنوب غربی آن کوه‌های زنبوره جای گرفته است. در غرب، رشته کوه‌هایی تقریباً با روند شمالی - جنوبی قرار می‌گیرند. در شمال محدوده، تپه ماهورهای کم ارتفاع قرار دارند. رودخانه زواریان از بلافاصل غربی محدوده می‌گذرد. هرچند که محدوده مورد مطالعه در زون ارومیه-دختر و کالدرای خستک واقع شده‌است و نزدیک جاده اصلی اراک-تهران جای دارد، اما کار اکتشافی زیادی در آن صورت نگرفته است. مهم‌ترین کارهای انجام شده در محدوده مورد بررسی را می‌توان به اختصار در زیر یاد نمود.

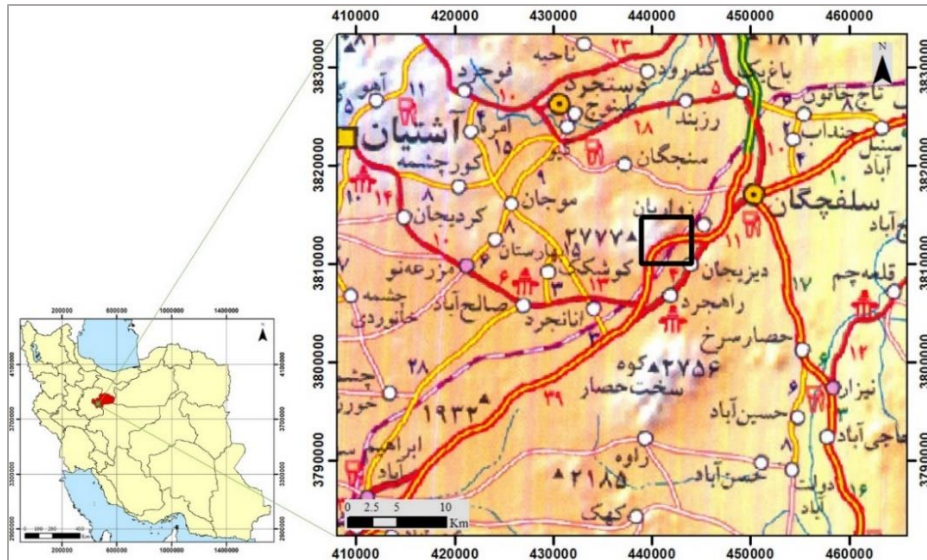
-حاجیان، ج، امامی، م، (۱۳۷۰)، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ قم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-علائی مه‌بادی، س، (۱۳۷۹)، تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلفچگان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-روزبه کارگر، س، موحدی، م، (۱۳۸۶)، گزارش پی‌جویی و پتانسیل مواد معدنی به همراه تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰ سلفچگان-محدوده زواریان.

-عابدیان، ی، (۱۳۸۹)، پی‌جویی و پتانسیل‌یابی مواد معدنی به همراه تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰ سلفچگان-محدوده زواریان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- عابدیان، ی، (۱۳۹۰)، گزارش اکتشاف طلا در ورقه یکصد هزارم سلفچگان استان قم، محدوده زواریان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.



شکل ۱: موقعیت قرارگیری محدوده زواریان بر روی نقشه راه‌های ایران در استان قم.

بررسی رسوبات کواترنری و شناسایی کانی‌های سنگین موجود در این نهشته‌ها کلید اکتشافی برای شناسایی رگه‌ها و ذخایر فلزی می‌باشد ولیکن به علت محدودیت زمانی و هزینه همیشه قادر به انجام مطالعات ژئوشیمی گسترده در نهشته‌های کواترنری نمی‌باشیم. فناوری سنجش از دور در اکتشاف ذخایر فلزی مختلف بسیار کمک‌رسان است. با کاربرد فناوری سنجش از دور و استفاده از داده‌های چند طیفی و با یاری گرفتن از مطالعات میدانی می‌توان ارتباط میان کانی‌های سنگین موجود در نهشته‌های کواترنری و رگه‌ها و ذخایر فلزی مرتبط با آن‌ها را بررسی کرد. همچنین یکی از مزایای روش سنجش از دور به حداقل رساندن بررسی‌های سطحی، به ویژه در مناطق غیر قابل دسترس، بر اساس اطلاعات طیفی به دست آمده از مقایسه با نقاط دیگر با کانی‌سازی معلوم است. این روش قادر است در کوتاه‌ترین زمان ممکن محل‌های محتمل را در نقاط دورافتاده و خشک و بیابانی مشخص کند (احمدی ایوانلو ۱۳۹۲؛ گرانیان ۱۳۹۴؛ فله‌گری ۱۳۹۴؛ غضنفری ۱۳۹۴؛ معانی‌جو ۱۳۹۶؛ نیل‌فروشان ۱۳۹۶؛ معانی‌جو ۱۳۹۷؛ صدرمحمدی ۱۳۹۷). بنابراین از داده‌های دورسنجی می‌توان در شناسایی منشأ کانی‌های سنگین موجود در نهشته‌های کواترنری استفاده کرد. در این مقاله به بررسی همبستگی و تطابق داده‌های حاصل از مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ شناسی، و مینرالوگرافی، ژئوشیمی با مطالعات سنجش از دور بر روی رسوبات کواترنری و استفاده از آن برای شناسایی کانسار طلای اپی‌ترمال در فاز اکتشافی می‌پردازیم.

زمین‌شناسی کانسار محدوده زواریان

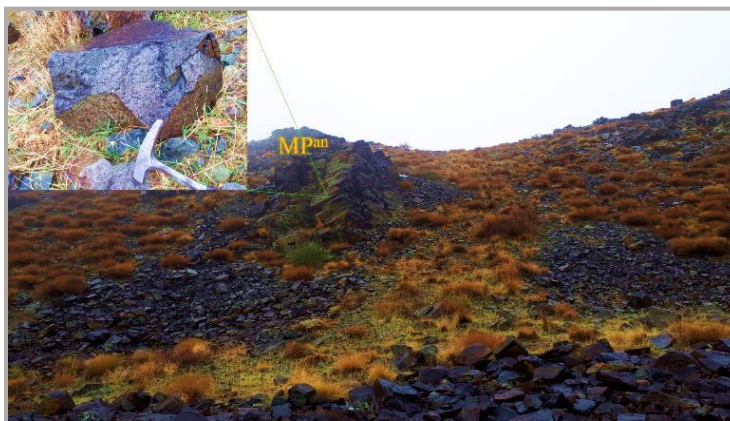
محدوده زواریان در پهنه ساختاری ایران مرکزی جای گرفته است و ویژگی‌های عمده سنگ شناسی و چینه‌شناسی این زون را دارا می‌باشد. بر اساس مطالعات صحرایی و بررسی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سلفچگان (علایی مهابادی ۱۳۷۹)، واحدهای زمین‌شناسی اصلی محدوده مورد بررسی شامل واحدهای زیر است. واحد برشی میوسن-پلیوسن (MPb) در بخش میانی و جنوبی محدوده، بر روی واحد ولکانیکی-پیروکلاستیکی و برش ولکانیکی

میوسن-پلیوسن (MPVPB) قرار گرفته است و توسط واحد ولکانیکی میوسن-پلیوسن پوشیده شده است (شکل شماره ۲). این واحد متشکل از آندزیت، آندزیت بازالت، داسیت، توف و پیروکلاستیک می باشد. این واحد برشی در بخش جنوبی محدوده توسط دایک‌های تیره رنگ با ترکیب آندزیت بازالتی قطع می گردد.



شکل ۲: نمایی از رخنمون واحد برشی میوسن-پلیوسن (MPb) و نهشته‌های کواترنری (Qt2) (دید به سمت شمال).

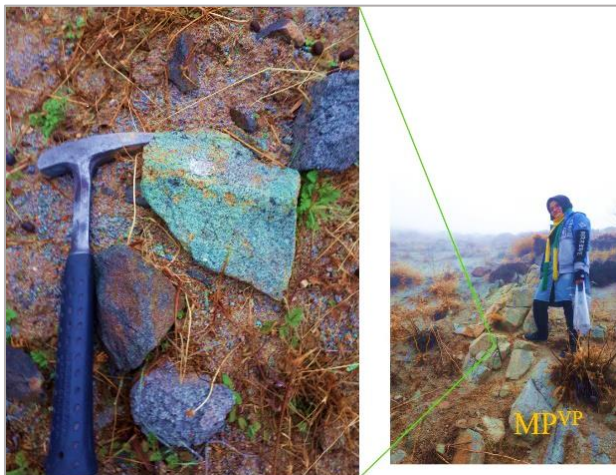
واحد ولکانیکی آندزیتی میوسن-پلیوسن (MPan) بیشتر در اطراف کالدرای خستک برونزد دارد و بر روی واحد برش ولکانیکی قرار می گیرد و خود توسط واحد ولکانیکی-پیروکلاستیکی ائوسن پوشیده می شود. این واحد معمولاً صخره‌ساز و ارتفاع‌ساز بوده و بیشتر کانی‌سازی‌های محدوده در این واحد رخ داده است (شکل شماره ۳). آبراهه‌های نسبتاً طویل و وی (v) شکل در این واحدها به وجود آمده است. در این بخش واحدهای پیروکلاستیکی رخنمون‌های کمی دارند.



شکل ۳: نمایی از رخنمون واحد ولکانیکی آندزیتی میوسن-پلیوسن (MPan) (دید به سمت شمال).

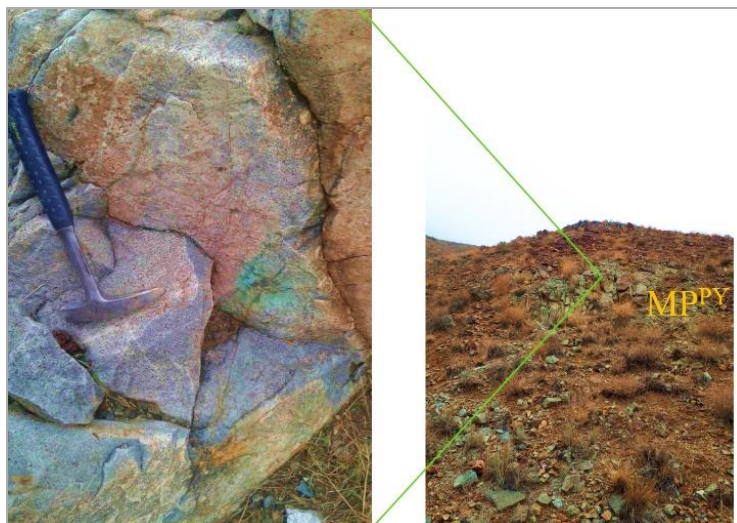
واحد ولکانیکی-پیروکلاستیکی میوسن-پلیوسن (MPVP) در شرق محدوده مورد بررسی برونزد دارد (شکل شماره ۴). این واحد متشکل از آندزیت، آندزیت بازالت، توف و پیروکلاستیک می باشد. در بخش‌هایی از این واحد

برش‌های آندزیتی مشاهده می‌گردند (بخش جنوب شرقی محدوده). این واحد دارای دگرسانی پیروپلیتی و بعضاً آرژیلیکی بوده و در شکستگی‌ها اکسید آهن قابل تشخیص می‌باشد. این واحد بر روی واحدهای ولکانیکی-پیروکلاستیکی-برشی ائوسن قرار گرفته‌است.



شکل ۴: نمایی از واحد ولکانیکی-پیروکلاستیکی میوسن-پلیوسن (MPVP) (دید به سمت شمال).

واحد پیروکلاستیکی میوسن-پلیوسن (MPPY) در شرق محدوده رخنمون دارد و بیشتر در کوهپایه‌های ارتفاعات سنگ‌های ولکانیکی ائوسن دیده می‌شود. این واحد بر روی واحد سنگی ولکانیکی میوسن-پلیوسن (MPan) قرار گرفته و توسط واحد ولکانیکی - پیروکلاستیکی میوسن-پلیوسن (MPVP) پوشیده می‌شود و دارای دورنمای سبز تا خاکستری است (شکل شماره ۵). این واحد متشکل از پیروکلاستیک با قطعات آندزیت و آندزیت‌بازالت، توف و پیروکلاستیک در زمینه‌ای کاملاً دگرسان شده به کلریت و اپیدوت می‌باشد. سنگ‌های گرانودیوریتی-تونالیتی (gd-to) در محدوده مورد بررسی داخل سری‌های آذرآواری و آتش‌فشانی میوسن-پلیوسن نفوذ کرده‌اند. مهم‌ترین برونزد این توده‌های آذرین نفوذی در مرکز کالدرای خستک و در آت دره دیده می‌شود (شکل شماره ۶). دایک‌های آندزیتی واحدهای آذرآواری و آتش‌فشانی میوسن-پلیوسن و برش‌های ولکانیکی میوسن-پلیوسن (MPb) و ولکانیک‌های میوسن-پلیوسن (MPan) را قطع می‌نمایند (شکل شماره ۷). این دایک‌ها توده‌های نفوذی را قطع نکرده‌اند، در نتیجه از توده‌های نفوذی قدیمی‌تر و از سری‌های آتش‌فشانی رسوبی میوسن-پلیوسن جوان‌تر می‌باشند. روند آن‌ها غالباً شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشد. دایک‌های دازیتی در بخش‌های میانی محدوده مورد بررسی گسترش دارند (شکل شماره ۸-a). این دایک‌ها واحد ولکانیکی میوسن-پلیوسن و توده‌های نفوذی را قطع می‌نمایند. روند آن‌ها تقریباً شمالی - جنوبی می‌باشد و زون‌های کانه‌دار را همراهی می‌نمایند. رگه‌های کوارتز حفره‌دار و دارای بافت استوکورکی همراه با این دایک‌های داسیتی مشاهده می‌شوند (اشکال شماره ۸-a و ۸-b).



شکل ۵: نمایی از واحد پیروکلاستیکی میوسن-پلیوسن (MPPY) (دید به سمت شمال).



شکل ۶: نمایی از سنگ‌های گرانودیوریتی-تونالیتی (gd-to) (دید به سمت شمال).

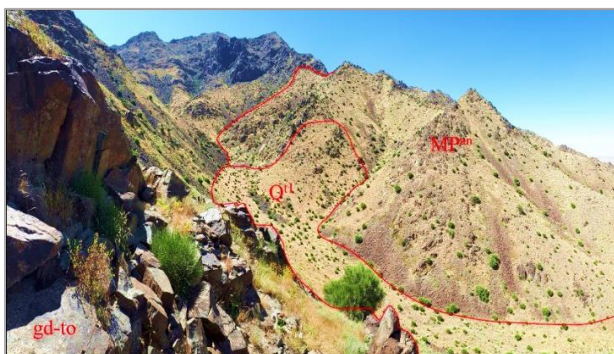
نهشته‌های کواترنری Qt1 در شمال شرق و جنوب شرق محدوده (شکل شماره ۹) در برگیرنده کنگلومرای سست با سیمان ماسه ای به رنگ کرم تا خاکی می‌باشند. نهشته‌های کواترنری جوان تر Qt2 دارای ارتفاع کمتر و گستردگی بیشتری می‌باشند (شکل شماره ۲) و از سیلت و رس کرمی تا خاکی رنگ تشکیل شده‌اند. در بخش هایی که نهشته‌های کواترنری دارای کانی‌هایی نظیر هماتیت، ماگنتیت، پیریت، کالکوپیریت و گالن می‌باشند، رنگ آن‌ها به قرمز و خاکستری مایل به سبز تغییر می‌نماید.



شکل ۷: نمایی از دایک‌های آندزیتی، واحدهای آذرآواری و آتشفشانی میوسن-پلیوسن محدوده و برش‌های ولکانیکی میوسن-پلیوسن (MPb) و ولکانیک‌های میوسن-پلیوسن (MPan) را قطع می‌نمایند (دید به سمت شمال).

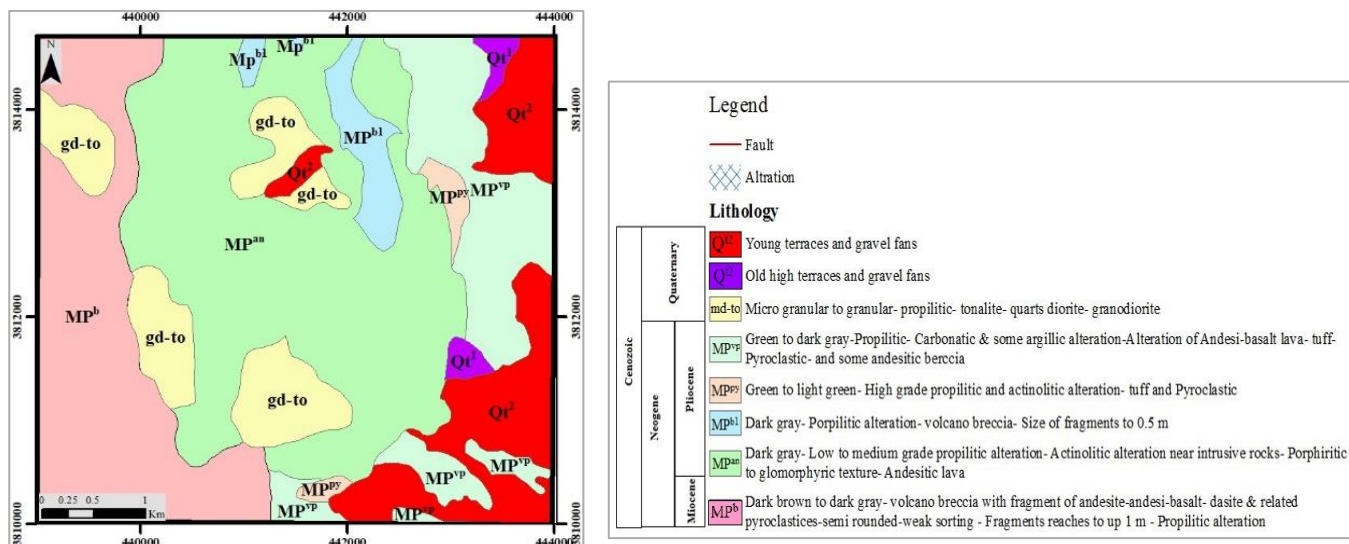


شکل ۸: نمایی از (a) دایک‌های داسیتی (دید به سمت شمال)، (b) کوارتز حفره‌دار، (c) رگه کوارتز حفره‌دار و همراهی آن با دایک‌های آندزیتی.



شکل ۹: نمایی از سنگ‌های گرانودیوریتی-تونالیتی (gd-to)، واحدهای ولکانیک‌های میوسن-پلیوسن (MPan) و نهشته‌های کواترنری (Qt2) (دید به سمت شمال شرق).

با توجه به بررسی‌های صحرایی و مطالعات سنگ‌شناسی، بیشتر سنگ‌های محدوده را واحدهای آتشفشانی، آتشفشانی-رسوبی و توده‌های نفوذی و نیمه نفوذی تشکیل می‌دهند (شکل شماره ۱۰).



شکل ۱۰: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (عابدیان، ۱۳۸۹).

مواد و روش‌ها

برای بررسی پتروگرافی سنگ‌های آذرین در محدوده، ۶۰ نمونه از رخنمون‌های سنگی، برای تهیه مقاطع نازک انتخاب شده و در آزمایشگاه مقطع‌گیری دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، مقاطع تهیه گردید. پس از مطالعات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، برای بررسی تغییرات عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و طلا، ۱۲۰ نمونه به روش Fire-Assay و ICP-OES و ۸ نمونه ICP-MS توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران واقع در اتوبان کرج-قزوین تجزیه گردید. آماده‌سازی نمونه‌ها شامل خردایش و پودر کردن در آزمایشگاه سایش مواد، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی انجام شد. به منظور بررسی رفتار طلا از داده‌های ICP-MS، ICP-OES و Fire-Assay استفاده شد. در پردازش داده‌ها، مقادیر زیر حساسیت دستگاه که به صورت صفر یا dbf گزارش شده بود، ۳/۴ حد حساسیت پایین در نظر گرفته شد. برای مطالعات دورسنجی تصاویر ASTER محدوده توسط نرم افزار ENVI مورد بررسی قرار گرفتند. ماهواره‌های متعددی در اکتشافات معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش از تصاویر ماهواره ای ASTER استفاده شده است. سنجنده ASTER، یک سنجنده طیفی مدار قطبی است که در دسامبر ۱۹۹۸ تحت همکاری آمریکا و ژاپن بر روی سکوی Terra، به فضا پرتاب شد. این سنجنده متشکل از سه زیرسیستم در سیستم‌های مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه، مادون قرمز حرارتی و مرئی است و دارای ۱۴ باند طیفی می‌باشد. یک سین از این سنجنده مساحت تقریبی ۶۰*۶۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد. تجزیه داده‌های ماهواره‌ای ASTER اطلاعاتی از گروه‌های کانی‌های مرتبط با دگرسانی گرمایی را فراهم می‌کند. داده‌های ASTER به شکل مهمی می‌تواند برای نقشه‌برداری دگرسانی‌های آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته و پروپلیتیک به کار رود (کالینوسکی ۲۰۰۴). سامانه‌های دورسنجی به دو روش رقومی و آنالوگ، تصاویر را ثبت می‌کنند. سامانه‌های پیشرفته امروزی عموماً

تصاویر را به صورت رقومی ثبت می‌نمایند. به طور کلی پردازش تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به سه مرحله کلی تقسیم کرد (سایینز ۱۹۹۷): ۱- ترمیم تصاویر ۲- تقویت خواص بصری تصویر ۳- استخراج اطلاعات.

یافته‌ها و بحث

کانه‌زایی طلا در محدوده زواریان عمدتاً با پهنه‌های اکسید آهنی و سیلیسی با میزبان آندزیت و آندزی‌بازالت، همراه با رگه‌های کوارتز حفره‌دار و دگرسانی آرژیلیکی و آلونیتی شدن در ارتباط است که یکی از مشخصه‌های طلای سولفید بالا می‌باشد. پراکندگی کانی‌های هماتیت، ماگنتیت، پیریت، کالکوپیریت و گالن موجود در محدوده توسط مطالعات دور سنجی و روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های انتخابی در نرم افزار ENVI، مورد بررسی قرار گرفت (شکل شماره ۱۵). درجه نفوذپذیری سنگ میزبان، حرکت سریع‌تر سیال کانه‌ساز و در نتیجه نسبت بالای سیال به سنگ را سبب شده و باعث نهشت ماده معدنی می‌شود. در محدوده زواریان هر چند سنگ‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی نفوذپذیری کمی داشته‌اند ولی افزایش نفوذپذیری ثانویه به علت رخداد گسلش و شکستگی‌های همراه آن‌ها با تشکیل رگه-رگچه‌های سیلیسی و برش‌ها نمود یافته‌اند که سطح تماس سنگ با سیال را بیشتر کرده و نسبت سیال به سنگ را افزایش داده است. همچنین نفوذپذیری بخش‌های برشی سنگ میزبان نفوذپذیری جریان سیالات تا فواصل دور از گسل تغذیه کننده را امکان‌پذیر ساخته و در نتیجه تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی و نهشت سیال گرمایی کانه‌دار را منجر شده است. واکنش سیالات سیلیسی با سنگ میزبان موجب جانمایی سیال کانه‌دار در سنگ‌های میزبان و تشکیل زون سیلیسی می‌شود که این امر با افزایش عیار و تناژ طلا همراه است (تودر و جونز ۲۰۰۹). گسل‌هایی با راستای شمال غربی-جنوب شرقی (شکل شماره ۱۲) مانند گسل مهرآباد و اناربنه و شکستگی‌های همراه آن‌ها جایگیری توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و دایک‌ها در محدوده زواریان را کنترل کرده‌اند. این گسل‌ها و شکستگی‌های همراه آن‌ها به عنوان معابری برای عبور و انتقال سیالات کانه‌ساز می‌باشد (عابدیان ۱۳۹۰). شواهد صحرایی و رخداد ساخت و بافت‌های برشی و رگه-رگچه‌ای که در کانسنگ‌های سیلیسی مس-طلا دار مشاهده شده است، نشان از فشار هیدروستاتیک بیشتر سیال کانه‌دار نسبت به فشار لیتواستاتیک در زمان کانه‌زایی می‌باشد. همچنین آن‌ها با افزایش سطح واکنش سیال با سنگ میزبان بر سرعت نهشت کانه‌های فلزی از سیال تأثیرگذار می‌باشند. توده‌های گرانیتوئیدی از انواع گرانودیوریت، گرانیت و ریوداسیتی بوده که به صورت توده یا استوک در سنگ‌های آتش فشانی-رسوبی ائوسن نفوذ کرده‌اند (عابدیان ۱۳۹۰). کانه‌زایی در محدوده زواریان به صورت توده‌ای، دانه پراکنده و جانمایی در دایک‌های آندزیتی و داسیتی صورت گرفته است (شکل شماره ۱۳). کانه‌های اصلی (به ترتیب فراوانی) شامل هماتیت، ماگنتیت، گوتیت، لیمونیت، پیریت، گالن، کالکوپیریت، کالکوسیت، مالاکیت و بورنیت و کانه‌های باطله شامل کوارتز، فلدسپار، کلریت، سرسیت و کانی رسی می‌باشند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۹). کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن نسبتاً فراوان هستند و اغلب در اثر اکسیداسیون پیریت تشکیل شده‌اند. هماتیت، فراوان‌ترین کانی اکسیدی آهن می‌باشد. همراهی اکسید-هیدروکسیدهای آهن از نوع گوتیت و هماتیت با کانه‌زایی طلا از ویژگی‌های مهم محدوده است. کانه‌نگاری و

پاراژنز محدوده زواریان از طریق رخنمون‌های سطحی، نقشه‌برداری صحرایی و مطالعات میکروسکوپی تعریف گردید. خلاصه‌ای از توالی پاراژنتیکی در شکل شماره ۱۴ ارائه شده است. توالی پاراژنزی یک کانسار، ترتیب تشکیل کانی‌ها و تقدم و تأخر زمانی حوادثی که باعث تشکیل کانسار شده است را ارائه می‌دهد. یک توالی پاراژنزی باید شرایطی که فازها براساس آن‌ها پدید آمده‌اند یا به تعادل رسیده‌اند، را بیان کند. علاوه بر کانه‌ها، این توالی باید زمان شروع نهشت کانی‌های باطله و زمان نسبی نهشت آن‌ها را نیز مشخص نماید. بر اساس مشاهدات صحرایی، نمونه‌های دستی، مطالعات میکروسکوپی می‌توان سه مرحله اصلی برای کانه‌زایی در محدوده زواریان بیان کرد.

مرحله هیپوژن: در این مرحله کانی‌های کالکوپیریت، ماگنتیت، پیریت، گالن، هماتیت و کالکوسیت تشکیل شده‌اند. کوارتز و فلدسپارها نیز در این مرحله تشکیل یافته‌اند. ماگنتیت و کالکوپیریت در مراحل اولیه مرحله هیپوژن تشکیل یافته‌اند. تشکیل ماگنتیت در مرحله ثانویه هیپوژن ادامه یافته‌است. همچنین در این مرحله هماتیت، گالن و پیریت از سیالات ماگمایی و گرمایی به صورت پراکنده، رگه - رگچه‌ای و برشی در عمق تشکیل شده‌است.

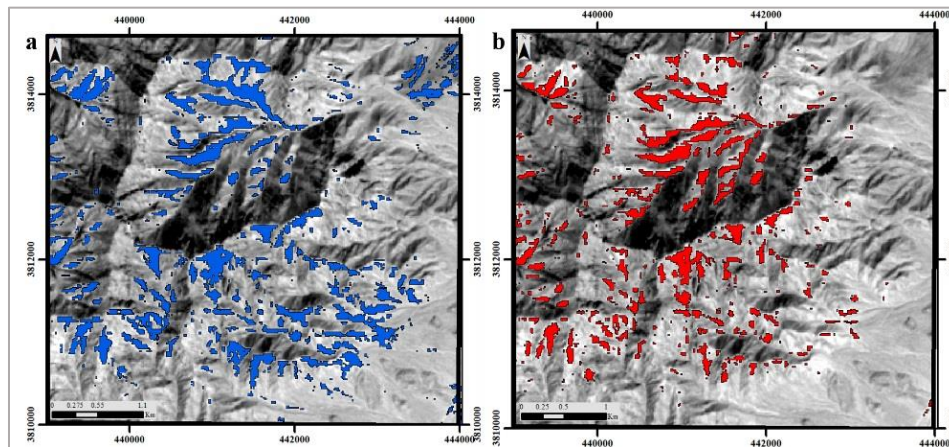
مرحله سوپرژن: در مرحله اکسیداسیون کانی‌های اولیه هماتیت، گالن، کالکوپیریت و پیریت، تحت تأثیر فرایندهای اکسیداسیون صورت گرفته‌است. در اثر هوازدگی کالکوپیریت و پیریت، آهن قبل از مس خارج شده، بنابراین کالکوپیریت به کالکوسیت و کوولیت تبدیل شده و آهن نیز به صورت گوتیت و لیمونیت ته نشین شده‌است. در اثر شرایط مناسب و حضور کربنات در محیط و در دسترس بودن آنیون کربنات و افزایش pH، کانی کربنات مس، مالاکیت تشکیل می‌شود. مالاکیت به صورت رگه - رگچه و پراکنده در زمینه سنگ دیده می‌شود. کانی‌های کلریت، سربیسیت و کائولینیت نیز در این مرحله تشکیل یافته‌اند.

پیش‌پردازش تصاویر: قبل از انجام پردازش‌ها، در تصاویر ASTER نیز به منظور انجام تصحیحات رادیومتریک از روش کالیبراسیون میانگین بازتاب داخلی (LARR) برای نرمال کردن تصاویر استفاده گردید. این روش به ویژه برای تعدیل داده‌های طیفی به بازتاب نسبی در محدوده‌ای که هیچ‌گونه اندازه‌گیری خاص زمینی وجود ندارد و اطلاعات کمی از محدوده موجود است، موثر است و اختلاف طیف کمتری نشان می‌دهد، بنابراین تصحیح IARR مبنای مراحل بعدی پردازش قرار گرفت.

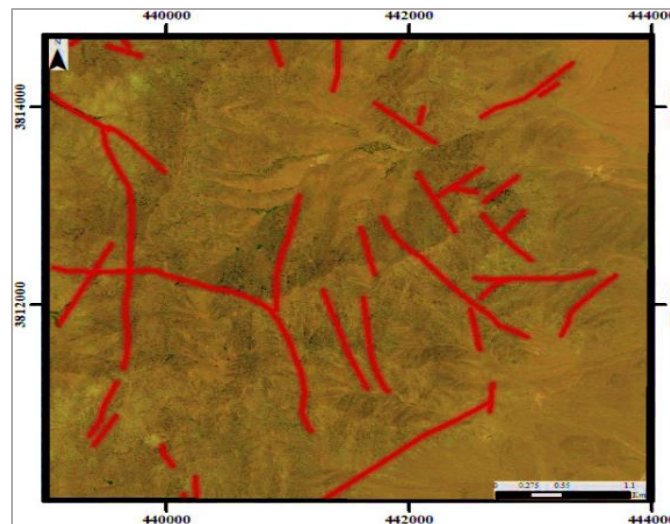
پردازش: داده‌های ماهواره‌ای به صورت رقومی برداشت می‌شوند و به خاطر این مسئله امکان اعمال برخی روش‌های ریاضی و تکنیک‌های پردازش وجود دارد. با استفاده از تکنیک‌های پردازش داده‌های ماهواره‌ای می‌توان عوارض تصویر را واضح و کارایی تصویر به دست آمده را زیاده‌تر کرد.

استخراج اطلاعات: در این روش با استفاده از بخش کتابخانه نرم افزار ENVI، دگرسانی‌های موجود در محدوده مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات دورسنجی صورت گرفته بر روی تصاویر استر محدوده زواریان پراکندگی کانی‌های هماتیت، ماگنتیت و به میزان کمتر پیریت، کالکوپیریت و گالن را نشان می‌دهد. سازندهای آندزیتی -

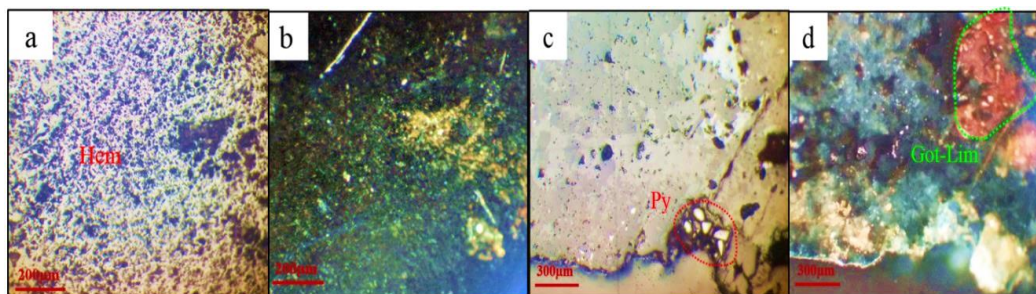
بازالتی و پیروکلاستیک ارتفاعات منطقه به سن میوسن-پلیوسن منشا احتمالی این کانی‌ها در نهشته‌های پلاستیکی کواترنری می‌باشند (شکل شماره ۱۵).



شکل ۱۱: (a) نقشه دگرسانی آریلیکی پیشرفته (محدوده آبی رنگ) در محدوده زواریان با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های انتخابی در نرم افزار ENVI، (b) نقشه بخش‌های آلونیتی شده (محدوده قرمز رنگ) در محدوده زواریان با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های انتخابی در نرم افزار ENVI.



شکل ۱۲: موقعیت و روند کلی گسل‌های محدوده مورد مطالعه (عابدیان، ۱۳۹۰).



شکل ۱۳: انواع ساخت و بافت ماده معدنی در محدوده مورد مطالعه، (a,b) کانی هماتیت به صورت توده ای در دایک داسیتی (مقطع za-21)، کانی پیریت به صورت دانه پراکنده و گوتیت و ماگنتیت به صورت بافت جانشینی در دایک آندزیتی (مقطع za-54)، (مطالعه در نور XPL تصویر سمت راست و PPL تصویر سمت چپ)، (پیریت (Py)، هماتیت (Hem)، گوتیت (Got)، لیمونیت (Lim)).

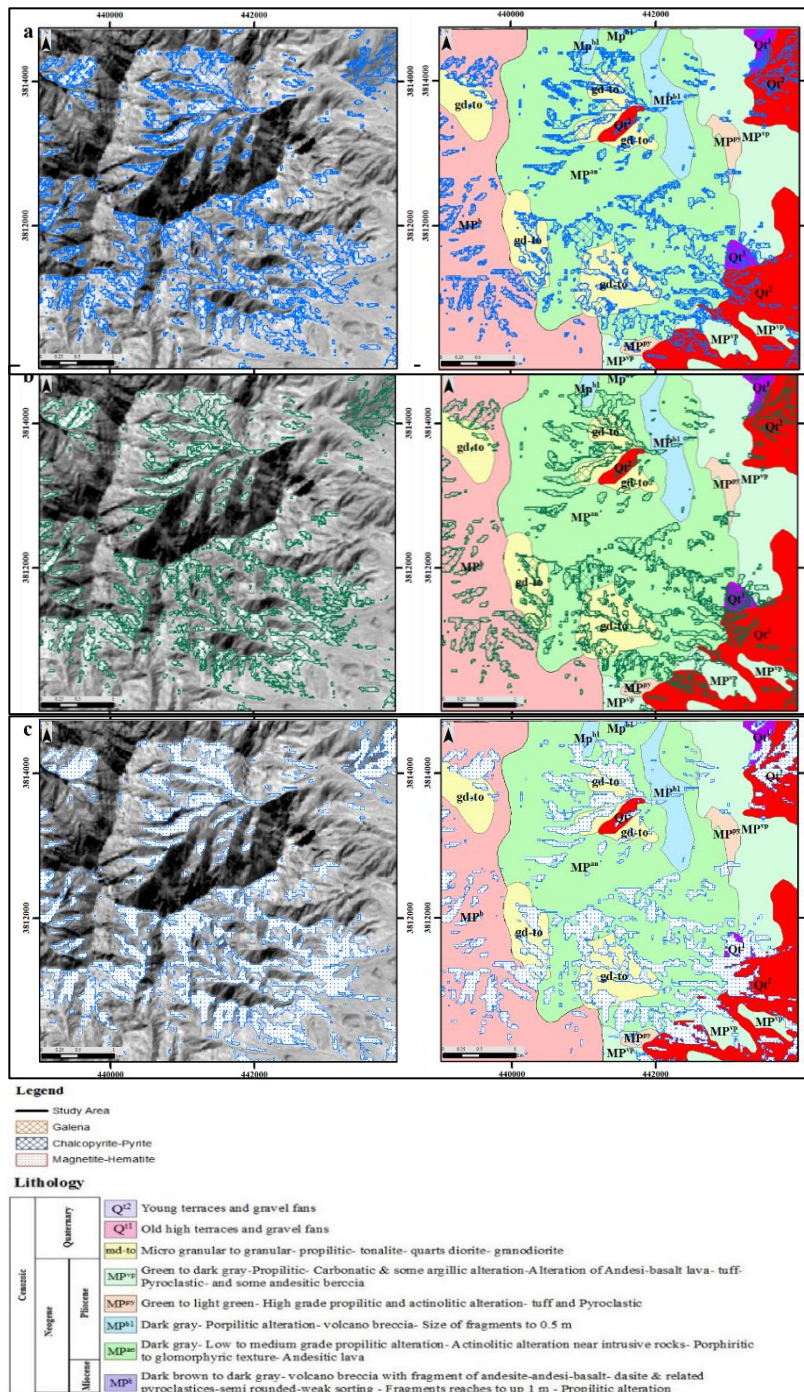
با توجه به نتایج به دست آمده، الگوی پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای دارای کانی سازی و واحدهای سنگ میزبان و مقایسه آن با میانگین عناصر در پوسته زمین (اسنیدر و همکاران ۱۹۷۷) در شکل شماره ۱۶ نشان داده شده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته میانگین عیار عنصر طلا در محدوده مورد مطالعه 1.36 ppm می باشد که نسبت به میانگین پوسته زمین (0.007 ppm)، 194 برابر غنی تر شده است. بیشترین عیار طلا در زون کانی سازی 10.76 ppm می باشد. میانگین عیار عنصر نقره 2.69 ppm می باشد که نسبت به میانگین پوسته زمین (0.06 ppm)، 44.8 برابر غنی تر شده است. میانگین عیار عنصر مس 1236 ppm می باشد و نسبت به میانگین پوسته زمین (30 ppm)، 40.19 برابر غنی تر شده است. میانگین عیار عنصر آهن 175707.9 ppm می باشد و نسبت به میانگین پوسته زمین 3.51 برابر غنی تر شده است. در تحلیل خوشه ای، هدف دست یافتن به ملاکی برای طبقه بندی هرچه مناسب تر متغیرها و یا نمونه ها و اساس تشابه هرچه بیشتر درون گروهی و اختلاف هرچه بیشتر بین گروهی است.

Minerals	Hypogene Stage		Supergene Stage
	First Stage	Secend Stage	
Galena		████████	
Pyrite		████████	
Chalcopyrite	████████		
Bornite			████████
Magnetite	████████		
Hematite		████████	
Malachite			████████
Chalcocite			████████
Quartz	████████	████████	
Feldspar	████████	████████	
Chlorite			████████
Sericite			████████
Kaolinite			████████
Fe-hydroxides			████████

شکل ۱۴: نمودار توالی پاراژنزی کانی سازی در محدوده زواریان

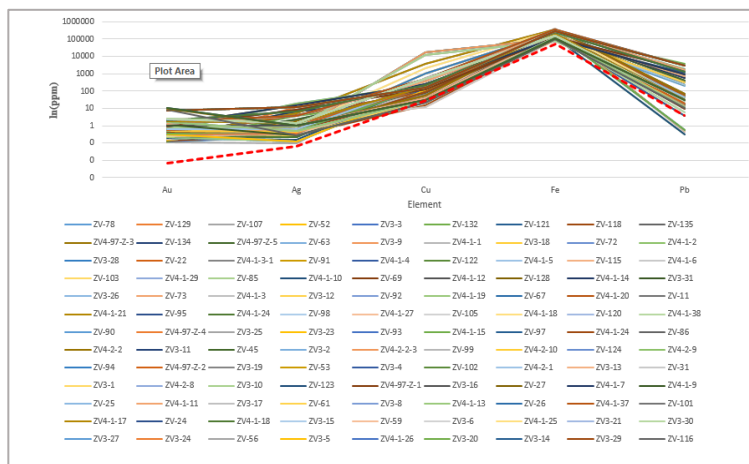
این ویژگی با ما کمک می‌کند که بتوانیم متغیرها و نمونه‌ها را به‌صورت خوشه‌هایی که حداکثر تشابه را درون خود دارند رده‌بندی کنیم. معمولاً نتایج حاصل از محاسبات تحلیل خوشه‌ای را به صورت یک نمودار سلسله مراتبی به نام دندروگرام نمایش می‌دهند. در این نمودار یک مقیاس خطی افقی در بالای آن قرار داده می‌شود. محل اتصال هر نمونه یا متغیر به یک خوشه یا یک خوشه دیگر روی این مقیاس خطی متناظر با درجه شباهت آن است (شرف‌الدین و همکاران ۱۳۸۴). در شکل شماره ۱۷ دندروگرام حاصل از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بر روی عناصر مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده‌است. در روش تجزیه خوشه‌ای از داده‌های نرمال شده استفاده شده‌است. با توجه به این شکل می‌توان خوشه‌هایی با درجه قرابت متفاوت را جدا نمود که بیانگر ارتباط پاراژنزی بین متغیرها باشد. در منطقه مورد مطالعه ۶ گروه قابل تفکیک است که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد:

- گروه اول Cd ، Pb ، Zr و با فاصله بیشتر Ba می‌باشد که احتمالاً دارای منشأ گرمایی و مرتبط با توده‌های نفوذی می‌باشند.
- گروه دوم Sc ، Be ، Al ، K و P می‌باشد که اغلب عناصر سنگ‌ساز هستند و یا در شبکه سایر کانی‌های سنگ‌ساز وارد می‌شوند و نشان‌دهنده ماهیت فلسیک توده‌های مرتبط با کانه‌زایی می‌باشند.
- گروه سوم شامل Ti ، Nb ، Na و Cr هستند که احتمالاً از دایک‌های منطقه می‌باشند که اکثراً ترکیب بازیک تا حدواسط دارند.

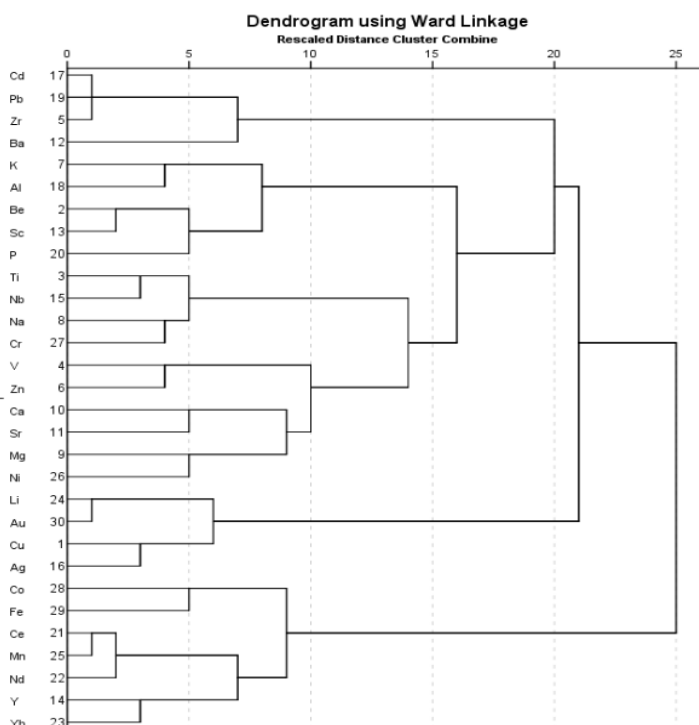


شکل ۱۵: نقشه پراکندگی کانی‌های (a) گالن، (b) ماگنتیت-هماتیت و (c) کالکوپیریت-پیریت در محدوده زواریان با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های انتخابی در نرم افزار ENVI. نقشه‌های سمت راست، پراکندگی کانی‌ها در واحدهای زمین‌شناسی و سمت چپ پراکندگی کانی‌ها بر روی تصویر استر محدوده را نشان می‌دهد.

- گروه چهارم Mg، V، Zn، Ca، Sr و Ni است که تقریباً نشانگر ارتباط توده‌ها و یا دایک‌های بازیک هستند. گروه پنجم شامل Cu، Au، Li و Ag می‌باشند که می‌توانند نشانگر انشعابات سیالات کانه‌ساز از توده نفوذی اسیدی و تشکیل سیالات گرمایی می‌باشد.
- گروه ششم Fe، Ce، Mn، Nd، Yb و Co می‌باشند که می‌توانند نشان از منشأ فرورانشی پوسته‌ی اقیانوسی به قاره‌ای باشد.



شکل ۱۶: نمودار مقادیر عناصر Au، Ag، Cu، Fe و Pb بر حسب $\ln(\text{ppm})$ در محدوده زوریان و مقایسه آن با میانگین عناصر در پوسته زمین (اسنیدر و همکاران ۱۹۷۷).



شکل ۱۷: نمودار دندروگرام حاصل از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بر روی عناصر مورد بررسی در محدوده زوریان.

ژنز کانی زایی

ذخایر اپی ترمال سولفیداسیون بالا معمولاً حاصل فعالیت سیستم‌های آتش فشانی-گرمابی هستند. سیالات کانه‌ساز مسئول تشکیل این ذخایر به شدت اسیدی بوده (گیگنچ ۱۹۹۷؛ سیلتو و همکاران ۱۹۹۸) که این امر موجب دگرسانی گسترده در سنگ میزبان می‌شود. ذخایر اپی ترمال سولفیداسیون بالا دارای شاخصه‌های زیر هستند (ذولفقاری ۱۳۷۷؛ هدنکوئیست ۲۰۰۳؛ جمل ۲۰۰۴؛ سایمونز و همکاران ۲۰۰۵؛ کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۹؛ حقیقی ۱۳۸۹؛ علیمحمدی ۱۳۸۹؛ حسین‌زاده، ۱۳۹۴؛ مقصودی و همکاران ۱۳۹۱؛ صفری سرکله ۱۳۹۸؛ مهرابی ۱۳۹۹؛ سخدری و همکاران ۱۴۰۰).

-وجود کانی‌های مس دما بالا مانند کالکوپیریت، بورنیت و انارژیت.

-پاراژنز عنصری مس-طلا-آرسنیک (نقره-سرب).

-وجود دگرسانی آرژیلیکی پیشرفته و آلونیتی همراه با کانی‌زایی.

-نبود کانی باطله کربناتی.

-وجود سیلیس بازمانده (residual) به صورت کوارتز حفره‌ای (Vuggy Quartz).

-دارای شکل ماده معدنی به صورت جانشینی، برشی و رگه-رگچه‌ای.

-ترکیب سیال‌های گرمابی از نوع اکسیدی و اسیدی (بیشتر ماگمایی).

به منظور بررسی و مقایسه دقیق ویژگی‌های کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان، مشخصاتی نظیر سنگ و کانی میزبان، دگرسانی، داده‌های انکلوژیون سیال این محدوده با انواع کانسارهای اپی ترمال مقایسه گردید (صادقی ۱۴۰۰) (جدول شماره ۱). همان‌طور که ویژگی‌های کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان نشان می‌دهد، این کانی‌سازی بیش‌ترین شباهت را با ویژگی‌های کانسارهای اپی ترمال سولفید زیاد از نظر سیالات میان‌بار، کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و پدیده‌هایی مثل همراهی با رگه‌های کوارتز حفره‌دار نشان می‌دهد.

جدول شماره ۱ : مقایسه ویژگی‌های کانی سازی طلا در محدوده زواریان، با سایر کانسارهای اپی‌ترمال سولفید

زیاد(شهاب‌پور، ۱۳۹۰)

ویژگی‌ها	کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین	کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط	کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا	کانسار زواریان
جایگاه زمین‌ساختی	محیط‌های کشتی قاره‌ای، جزایر کمانی، نزدیک محیط‌های پشت کمان	کمان‌های قاره‌ای، جزایر کمانی کشتی	حواشی کمان‌های قاره‌ای کشتی و فشارشی	حواشی کمان‌های قاره‌ای کشتی و فشارشی
سنگ‌های آذرین مرتبط با کانی‌زایی	کالک آلکان-ریولیت- بازالت(بايومدال)	کالک آلکان- آندزیت- ریوداسیت-به مقدار کم ریولیت	کالک آلکان- آندزیت- ریوداسیت	کالک آلکان- آندزیت- آندزی‌بازالت
سنگ میزبان	دم‌ها، ولکانی کلاستیک‌ها، واحد‌های رسوبی	گدازه، پیروکلاستیک	گدازه، پیروکلاستیک، واحد‌های پورفیری	پیروکلاستیک
عناصر فلزی	طلا-نقره(سرب، روی، مس، مولیبدن، استینیت، جیوه)	نقره-طلا-روی-سرب- مس(استینیت، آرسینیک، مولیبدن، جیوه)	مس-طلا-نقره (آرسینیک، روی، سرب، بیسموت، تنگستن، قلع)	طلا-نقره-مس روی-بیسموت- آرسینیک
شکل کانسار	رگه‌ای، استوک‌ورکی، برشی، دانه پراکنده	رگه‌ای، برشی، استوک‌ورکی	جانشینتی، برشی، رگه‌ای، توده‌ای	جانشینتی، برشی، رگه‌ای
کانه‌ها	الکتروم، آکانتیت، سولفورسالت نقره، (اسفالریت، گالن، تنانتیت، کالکوپیریت)	الکتروم، آکانتیت، سولفورسالت نقره، اسفالریت، گالن، سلنید، تلورید	انارژیت، بورنیت، کالکوپیریت، طلای آزاد، پیریت، کولیت، اسفالریت	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، هماتیت، ماگنتیت، گالن، مالاکیت، کالکوسیت، هیدروکسیدهای آهن، طلای آزاد
کانی‌های باطله	کوارتز، کلسدون، کلسیت، آدولاریا، کلریت	کوارتز، کلسدون، کلسیت، کربنات‌های منگنز، باریت، آدولاریا	کوارتز، آلونیت، کائولینیت، اسفالریت	کوارتز، آلونیت، کائولینیت، اسفالریت
بافت کانی‌ها	پوسته‌ای، کلوفرم، کوکاد، شانه‌ای، جانشینتی کربناتی	پوسته‌ای، کلوفرم، کوکاد، شانه‌ای، جانشینتی کربناتی	کوارتز حفره‌ای، رگه‌ای، برشی، توده‌ای	کوارتز حفره‌ای، رگه‌ای، برشی
دگرسانی	ایلیت، آدولاریا، کوارتز	کوارتز، سریسیت	کوارتز، آلونیت	کوارتز، آلونیت، آرژیلیکی پیشرفته، کلریتی، اپیدوتی(پروپیلیتیک)
ویژگی‌های سیال	آب‌های جوی (احیایی- نزدیک به خشتی)	آب‌های جوی و ماگمایی (نزدیک به خشتی و احیایی)	آب‌های ماگمایی (اسیدی-اکسیدی)	آب‌های ماگمایی (اسیدی-اکسیدی) و جوی

نتیجه گیری

بخش اصلی کانی سازی طلا در محدوده زواریان در دایک‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی تشکیل شده است. کانه‌زایی طلا عمدتاً به صورت رگه-رگچه‌ای، برشی و پراکنده همراه با دگرسانی‌های آرژیلیکی پیشرفته، آلونیتی شدن، پروپلیتیکی، سریسیتی، سیلیسی و اکسید آهن رخ داده است. رگه‌های کوارتز حفره‌ای همراه با دایک‌های کانه‌دار مشاهده می‌شوند. ماگنتیت، هماتیت و هیدروکسیدهای آهن مهم‌ترین کانه‌های میزبان طلا هستند. همچنین در مطالعه مقاطع صیقلی کانی‌های کالکوپیریت و بورنیت مشاهده گردید. تجزیه نمونه‌های کان سنگ نشان می‌دهد که عیار میانگین طلا ۱.۳۶ ppm می‌باشد. کانه‌زایی در این محدوده عمدتاً در ارتباط با گسلش عادی به‌عنوان معبر سیالات کانه‌زا بوده است. بنابراین ارتباط ژنتیکی بین سیالات با ماگماتیسم و زمین ساخت در محدوده وجود دارد. مطالعات دور سنجی بر روی تصاویر استر محدوده زواریان با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های انتخابی در نرم افزار ENVI، نشان دهنده پراکندگی کانی‌های هماتیت، ماگنتیت، پیریت، کالکوپیریت و گالن در نهشته‌های پلاسری کواترنری در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات دورسنجی و ژئوشیمی سازندهای آندزیتی-بازالتی و پیروکلاستیک ارتفاعات منطقه به سن میوسن-پلیوسن منشا احتمالی این کانی‌ها در نهشته‌های پلاسری کواترنر می‌باشند. داده‌های ژئوشیمیایی، کانی شناسی، دگرسانی، وجود کانی‌های مس دما بالا مانند کالکوپیریت، بورنیت، پاراژنز عنصری مس-طلا-آرسنیک (نقره-سرب)، وجود دگرسانی آرژیلیکی پیشرفته و آلونیتی همراه با کانی‌زایی، نبود کانی باطله کربناتی، کوارتز حفره‌ای، کانی سازی بصورت صورت جانشینی، برشی و رگه-رگچه‌ای نشان می‌دهد که کانی سازی طلا در محدوده زواریان از نوع کانسارهای اپی‌ترمال سولفید زیاد می‌باشد.

قدردانی

این پژوهش با حمایت سازمان زمین شناسی کشور انجام شده است. نویسندگان مقاله از حمایت‌های بی دریغ مدیران و کارشناسان آن سازمان تشکر قدردانی می‌نمایند. همچنین از مدیران و کارشناسان مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به‌خاطر حمایت‌های اداری، مالی و فنی از این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

- احمدی ایواتلو، س.، (۱۳۹۲). تعیین گسترش طلای اپی ترمال با استفاده از داده های aster در منطقه دوست بیگلو واقع در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ لاهرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، دانشکده مهندسی، ۲۱۵ص.
- حاجیان‌ج، امامی، م.، (۱۳۷۰)، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ قم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسین‌زاده، م.، مغفوری، س.، موید، م.، رحمانی، ا.، (۱۳۹۴). کانسار خلیفه‌لو: کانی‌زایی مس-طلای لپی ترمال سولفیداسیون بالا در پهنه ماگمایی طارم، شمال خرمدره»، فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۹۹، صص ۱۷۹-۱۹۴.
- حقیقی، ا.، (۱۳۸۹). متالورژی فلزهای پایه و طلا در کمربند آتشفشانی- نفوذی ترو-چاه شیرین، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۷ص.
- روزبه کارگرس، موحدی، م.، (۱۳۸۶). گزارش پی‌جویی و پتانسیل مواد معدنی به همراه تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰ سلفچگان-محدوده زواریان.
- ذولفقاری، ص.، (۱۳۷۷). بررسی پتروولوژی سنگ‌های ولکانیک ائوسن محدوده معلمان دامغان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.
- سختدی، م.، بهزادی، م.، یزدی، م.، رشیدنژاد عمران، ن.، صادقی نایینی، م.، (۱۴۰۰). زمین‌شناسی، کانی‌زایی و ژئوشیمی طلا در ناحیه گذارسرخ، محدوده معدنی موته، پهنه سندانج-سیرجان»، فصلنامه زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱۳، شماره ۲، صص ۲۴۵-۲۶۵.
- سلطانی، ا.، رنجبر، ج.، درگاهی، س.، هنرمند، م.، (۱۳۹۵). کانی‌های تبخیری استان کرمان، با نگاهی ویژه به ویژگی‌های طیفی، کانی‌شناسی و دور سنجی، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۲، شماره ۴.
- شرف‌الدین، م.، حسنی‌پاک، ع.ا.، (۱۳۸۴). تحلیل داده‌های اکتشافی. دانشگاه تهران، ۱۰۱ص.
- شهاب‌پور، ج.، (۱۳۹۰). زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر (کرمان)، ۵۵۶ص.
- صادقی، س.، یزدی، م.، (۱۳۹۹). ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی کانی‌سازی طلا در محدوده زواریان، جنوب غرب قم، مرکز ایران، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران.
- صادقی، س.، یزدی، م.، (۱۳۹۹). شناسایی و تفکیک زون‌های آلتراسیون مرتبط با کانی‌زایی طلا با استفاده از سنجش از دور در محدوده زواریان، جنوب غرب قم، مرکز ایران، سی و نهمین کنگره ملی و چهارمین کنگره بین‌المللی علوم زمین.
- صادقی، س.، یزدی، م.، (۱۴۰۰). مراحل تشکیل و تکوین کانسار طلای اپی‌ترمال زواریان بر پایه مطالعات سیالات‌درگیر، جنوب غرب قم، مرکز ایران، فصلنامه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی.
- صدرمحمدی، ن.، رضایی، خ.، قربانی، (۱۳۹۷). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات آبرفتی کواترنر با بهره‌گیری از RS و GIS در منطقه نصرت‌آباد، باختر زاهدان، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۴، شماره ۱.
- صفری سرکله، س.، (۱۳۹۸). ژئوشیمی، کانی‌شناسی و ژنر معدن چند فلزی قربان، جنوب شرق دامغان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین.
- عابدیان، ی.، (۱۳۹۰). گزارش اکتشاف طلا در ورقه یکصد هزارم سلفچگان استان قم، محدوده زواریان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۴۵ص.

عابدیان، ی، (۱۳۸۹). پی جویی و پتانسیل یابی مواد معدنی به همراه تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰ سلفچگان-محدوده زواریان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۵ص.

علایی مهابادی، س، (۱۳۷۹). نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلفچگان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

علیمحمدی، م، (۱۳۸۹). شناسایی کانی های دگرسانی گرمابی (هیدروترمال) و بخش های سیلیسی همراه با کانه زایی در ناحیه طلا دار هیراد (جنوب بیرجند) با استفاده از داده های سنجنده استر، فصل نامه علمی پژوهشی علوم زمین ۱۷، صص ۷۰-۸۹. غزنفری، پ، بختیاری، م، جلالی، ن، (۱۳۹۴). کارست زایی سنگ های کربناته با بهره گیری از RS و GIS در منطقه الموت، شمال قزوین، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۱، شماره ۴.

فعله گری، ح، ایران نژادی، م، (۱۳۹۴). شناسایی و تفکیک زون های آلتراسیون مرتبط با ذخیره طلای اپی ترمال ساری گونای با استفاده از تحلیل داده های ماهواره ای ASTER به روش Band Ratio و LS-Fit، نوزدهمین همایش سالانه انجمن زمین شناسی ایران و نهمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، ۱۵۹ص.

کریم پور، م، ح، سعادت، س، (۱۳۸۹). زمین شناسی اقتصادی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۵۳۲ص.

گرانیان، ح، (۱۳۹۴). مدل سازی ژئوشیمیایی در کانسار طلای اپی ترمال ساری گونای در استان کردستان، پایان نامه دکترا، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده معدن، ۲۵۲ص.

معانی جو، م، رضانی، ط، علیپور، س، (۱۳۹۷). مطالعه عوامل موثر بر کانه زایی معدن مس-طلای پورفیری- اپی ترمال سوناجیل، با استفاده از مطالعات سنجش از دور، کانی شناسی و زمین شیمی، نشریه زمین شناسی ایران، شماره ۴۸، صص ۴۷-۶۴.

معانی جو، م، رضانی، ط، علیپور، س، (۱۳۹۶). مطالعه عوامل موثر بر کانه زایی معدن مس-طلای پورفیری- اپی ترمال سوناجیل، با استفاده از مطالعات سنجش از دور، کانی شناسی زمین شیمی، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال ۱۲، زمستان ۱۳۹۷، صص ۶۳-۷۹.

مقصودی عباس، محمدیزدی، محمد مهرپرتو و منصور وثوقی عابدینی، (۱۳۹۱). بررسی های ژئوشیمی و میان بارهای سیال طلای اپی ترمال سولفیدی دمای پایین در محدوده میرکوه علی میرزا سراب، مجله علمی، پژوهشی علوم زمین، بهار ۹۱، سال ۲۲، شماره ۸۳، صص ۱۲۵-۱۴۰.

مهرابی، ب، قاسمی سیانی، م، (۱۳۸۹). کانی شناسی و زمین شناسی اقتصادی کانسار پلی متال چشمه حافظ، استان سمنان، ایران، مجله زمین شناسی و اقتصادی، شماره ۱، صص ۱-۲۰.

نیل فروشان، ه، ابراهیمی، ب، (۱۳۹۶). استفاده از داده های سنجش از دور در تعیین محدوده یخچال های زردکوه، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۳، شماره ۳.

Gemmell, J.B., 2004, Low and intermediate-sulfidation epithermal deposits, ARC-AMIRAP, Australia, pp.57-63.

Gemmell, J.B and Simmons, S.F., 2007, A group of papers devoted to epithermal Au-Ag deposits: Economic Geology, v. 102, pp.783-1009.

Giggenbach W.F., 1997, The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems. In: Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3d Edition (H. L. Barnes, Ed.), Wiley, pp. 737-796.

Heald, P. Foley, N.K. and Hayba, D.O., 1987, Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types: Economic Geology, v. 82, pp.1-26.

Hedenquist, J. W., Sillitoe, R.H., 2003, Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits, society of economic geologists, special publication 10.

Kalinowski, A., Oliver, S., (2004). Remote sensing and spectral investigations in the Western Succession, Mount Isa Inlier Implications for exploration. Barossa Valley, 1-3, pp 12- 17.

- Lindgren, W., 1907. The relation of ore deposition to physical conditions: *Economic Geology* v. 2, pp.105–127.
- Sabins, F.F., (1997). Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 14(3-4), pp 157-183.
- Schneider, H.J., Lehmann, B., (1977). Contribution to a new genetical concept on the Bolivian tin province. *Time and Strata-bound Ore Deposits*, Springer, Berlin, pp 153-168.
- Sillitoe, R. H., Steele, G. B., Thompson, J. F. H. and Lang, J. R., 1998, Advanced argillic lithocaps in the Bolivian tin-silver belt, *Mineralium Deposita*, pp.33-539.
- Simmons, G., Gosalia, D.N., Rennekamp, A.J., Reeves, J.D., Diamond, S.L., Bates, P., 2005, Inhibitors of cathepsin L prevent severe acute respiratory syndrome coronavirus entry *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102, pp. 11876-11881.
- Theodore, T.G. and Jones, G.M., 2009. *Geochemistry and Geology of Gold in Jasperoid, Elephant Head Area, Lander County, Nevada, U.S: Geological Survey Bulletin*, p.62.
- White, N.C. and Hedenquist, J.W., 1990, Epithermal environments and styles of mineralization; variations and their causes, and guidelines for exploration: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 36, pp.445–474.