



بررسی ماگما و کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی طلا (مس) فراگرمایی زواریان (سلفچگان) در مقایسه با طلای فراگرمایی ساری‌گونای (قروه)

تهمینه حسن زاده، سید مهران حیدری*، جلیل قلمقاش، آیدا محبی

گروه زمین‌شناسی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و معدنی کشور، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۱۱/۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۱/۲۸)

چکیده: کانسار طلا (مس) زواریان در میانه کمان ماگمایی ارومیه-دختر، در مخروطی آتشفشانی با واحدهای آندزی-بازالت، آندزیتی و توده‌های گرانودیوریتی واقع است. این مجموعه دارای ماهیت آهکی قلیایی و الگوی تغییرات عناصر کمیاب و خاکی نادر (غنی‌شدگی عناصر سنگ دوست بزرگ یون، عناصر خاکی نادر سبک نسبت به عناصر با شدت میدان بالا، عناصر خاکی نادر سنگین، ناهنجاری منفی Ti, Nb و مقادیر پایین Nb/Y) ماگماهای وابسته به کمان است. بررسی‌های ساختاری به‌نقش‌گذاری پهنه‌های برشی راستگرد به‌عنوان کنترل‌کننده حوضه‌های رسوبی و ایجاد شرایط لازم برای کشش‌های محلی و خروج ماگما اشاره دارد. پراکندگی و نوع دگرسانی‌های گرمایی، رگه‌های کانه‌دار درون نفوذی‌ها و حضور مگنتیت، تورمالین و کالکوپیریت نقش سیال‌های ماگمایی را در تشکیل کانه‌زایی نشان می‌دهند. این سیال‌ها دارای دمای همگن‌شدگی $220^{\circ}C$ تا $350^{\circ}C$ و شوری ۱۵-۱۰٪ وزنی نمک طعام هستند. براساس مقایسه این کانه‌زایی با کانسار ساری‌گونای در شمال غرب پهنه ساندج-سیرجان، فازهای ماگمایی میوسن مربوط به تشکیل پهنه‌های برشی و ایجاد کشش‌های محلی در فازهای کوهزایی پس از برخوردی هستند که با افزایش نقش سیال‌های جوی و آمیختگی آنها با سیال‌های ماگمایی همراه است.

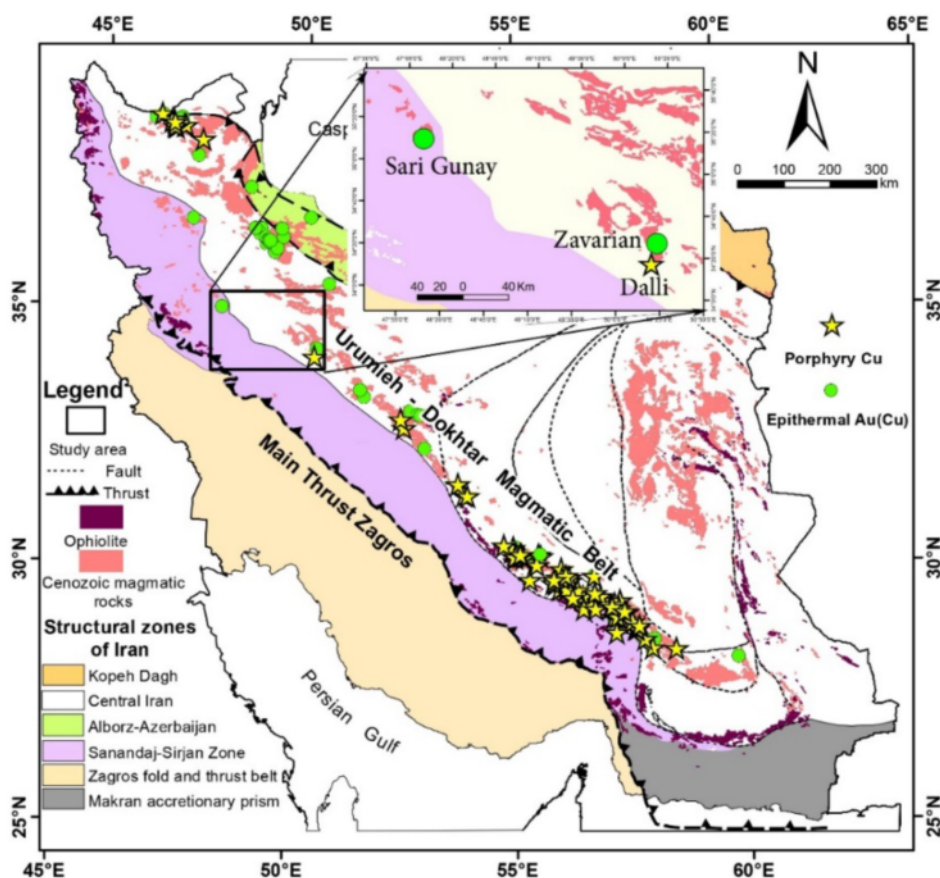
واژه‌های کلیدی: طلای فراگرمایی، زواریان، سلفچگان، ساری‌گونای، کوهین، ایران.

مقدمه

کانه‌زایی طلا (مس) فراگرمایی زواریان در شمال غرب کشور با موقعیت جغرافیایی $23^{\circ}50'$ طول شرقی و $27^{\circ}34'$ عرض شمالی در استان قم، ۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان سلفچگان و در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سلفچگان واقع است (شکل ۱). این منطقه در بخش شمالی کمربند ماگمایی ارومیه-دختر با ارتفاعی حدود ۲۰۰۰ متر از سطح دریا، از نظر عملیات اکتشافی در مرحله اکتشافات تفصیلی است (شکل ۱). این در حالی است که در ۲۳۰ کیلومتری شمال غرب این کانه‌زایی، کانسار طلای فراگرمایی ساری‌گونای با مختصات جغرافیایی $05^{\circ}48'$ طول شرقی و $12^{\circ}35'$ عرض شمالی، در استان کردستان، ۳۴ کیلومتری خاور شهرستان قروه و در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهین، قرار دارد [۱] (شکل ۱). این کانه‌زایی در بخش شمالی پهنه

دگرگونی-ماگمایی ساندج-سیرجان با ارتفاعی حدود ۲۲۰۰ متر از سطح دریا و ذخیره قطعی حدود ۴۱ میلیون تن کانسنگ اکسیدی با عیار ۱/۷ ppm طلا، توسط شرکت خصوصی زرکوه (مشترک ایران-قزاقستان) در حال استخراج سالیانه دو میلیون تن کانسنگ به صورت روباز بوده و حدود ۵۰ متر از سطح این کانسار روبرداری شده است. بر این اساس، این ذخایر با میزبانی سنگهای آتشفشانی ترشیری (نئوژن)، از نظر ساختاری در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر و پهنه ساندج-سیرجان به عنوان بخش داخلی کوهزاد زاگرس واقع هستند [۳،۲] کوهزاد زاگرس به‌عنوان بخشی از سامانه بزرگ کوهزایی آلپ-همیالیا، از نظر زمین‌دینامیکی منطبق بر کرانه فعال قاره‌ای [۲] است که عمده ذخایر طلای کشور (فلززایی نفوتتیس) به آن وابسته‌اند (شکل ۱). در این بین، کمان

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۸۷۶۰۸۷، نمابر: ۰۲۴۳۳۰۵۴۰۰۲، پست الکترونیکی: sm.heidari@gmail.com



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی کانسار زواریان (کمان ماگمایی ارومیه-دختر و کانسار ساری گونای پهنه ساندج-سیرجان، برگرفته از نقشه زمین شناسی ایران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۵).

سال پیش)، چون ذخایر طلای ساری گونای (فراگرمایی) و زرشوران (کارلین) با فعالیت ماگمایی در ارتباط با کانه‌زایی‌های پورفیری در کمان ماگمایی ارومیه-دختر (شکل ۱) چون میدوک، سرچشمه، دره زرشک و علی آباد و ادامه آن در کشورهای همسایه ترکیه (کدجانان) و پاکستان (ریکودیک، ساینداک و دشت کاین) بر اهمیت آن از نظر فلزآوری طلا می-افزاید [۵، ۶]. بنابراین، در این پژوهش، فعالیت ماگمایی و کنترل کننده‌های کانه‌زایی طلا (مس) براساس فرایندهای موثر در کانه‌زایی چون سنگ میزبان، زمین‌شیمی، محیط زمین-ساختی ماگمایی، انواع دگرسانی‌ها، ساختار و ویژگی‌های سیال کانه‌دار در کانسار فراگرمایی زواریان (سلفچگان) بررسی و با کانسار ساری گونای مقایسه شده است.

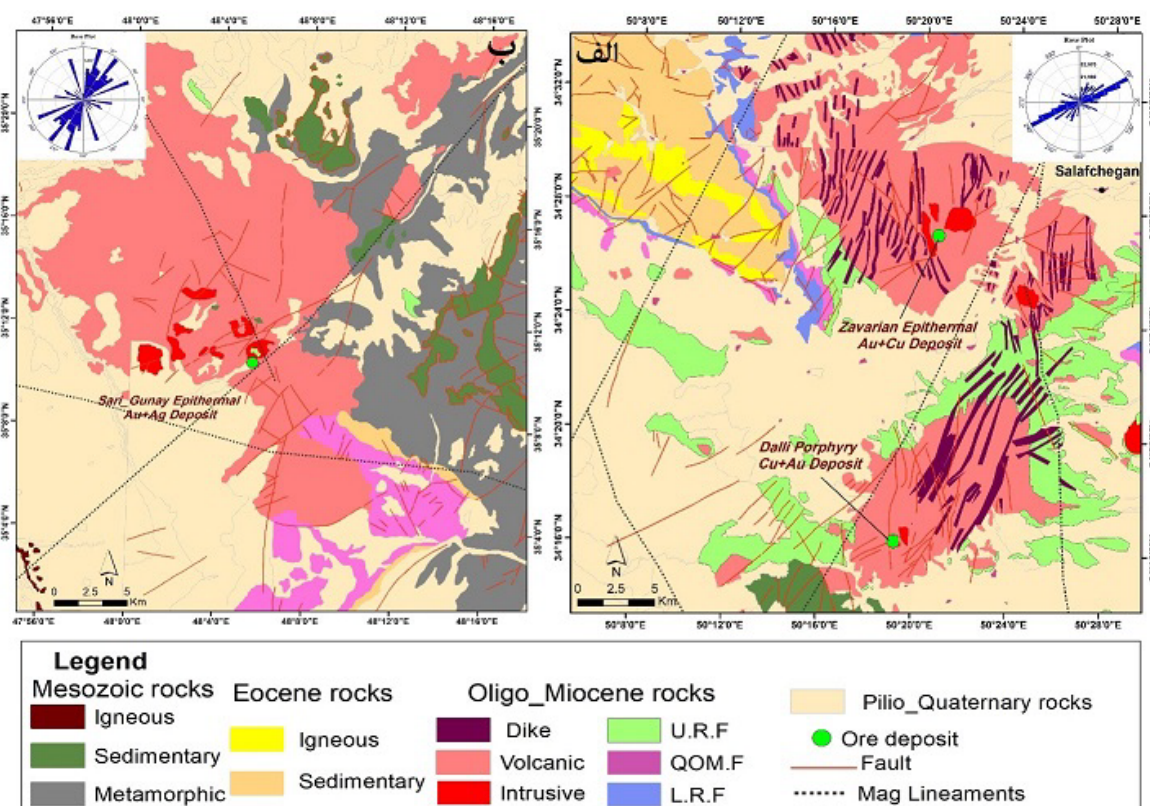
جایگاه زمین‌شناسی

عمده واحدهای رخنمون‌یافته در مناطق سلفچگان و کوهین (قروه)، چنانکه در شکل ۲ دیده می‌شود، سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی الیگومیوسن (معادل سازندهای قرمز زیرین، قم و

ماگمایی ارومیه-دختر از نظر فلزآوری، میزبان اصلی ذخایر فراگرمایی-پورفیری (مسجدداغی، سونگون، توزلار، زواریان، دالی، چاه زرد، میدوک، سرچشمه) [۴]، و پهنه ساندج-سیرجان میزبان اصلی انواع طلای کوهزایی و کارلین (چون خراپه، کرویان، زرشوران، آق‌دره، موله و زرتشت) است. بنابراین، حضور کانسار طلای فراگرمایی بزرگی چون ساری گونای با میزبان آتشفشانی در بخش شمالی این پهنه بر اهمیت شناسایی ویژگی‌های ماگمای مربوط به کانه‌زایی طلا در این ذخیره و مقایسه آن با ذخایر مشابه در کمان ماگمایی ارومیه دختر می‌افزاید (شکل ۱). به بیان دیگر، درک صحیح ویژگی-های ماگمایی مربوط به کانه‌زایی طلا و مقایسه آن‌ها با هم بستر مناسبی برای شناسایی فازهای مختلف کانه‌زایی طلا با توجه به تشکیل فازهای ماگمایی وابسته به کمان در کمان ماگمایی ارومیه-دختر و پهنه ساندج-سیرجان فراهم آورد. این امر با توجه به تشابه سنی فعالیت ماگمایی در ارتباط با کانه‌زایی‌های این بخش از پهنه ساندج-سیرجان (میوسن، ۱۵-۱۱ میلیون

موجود، متفاوت بوده و نوع واحدهای قدیمی رخنمون یافته در مرکز آن نیز متناسب با شدت بالآمدگی و کشش در آن ناحیه مختلف است؛ در منطقه سلفچگان فعالیت ماگمایی ائوسن از E1 تا E6 (اوایل تا اواخر ائوسن) به صورت پیوسته وجود دارد این در حالی است که در منطقه کوهین، تنها واحد آهکی نومولیت‌دار رخنمون دارد و واحدهای آتشفشانی ائوسن برونزدی نشان نمی‌دهد. این به نوعی نشانگر نظام کششی در منطقه سلفچگان نسبت به منطقه کوهین در زمان ائوسن است (شکل ۲). در ادامه و در نئوژن، معادل سازند قرمز زیرین در هر دو منطقه، با سازند قم پوشیده می‌شود که شامل رسوب‌های دانه‌ریز همراه با مارن و آهک است که به‌صورت محلی آبستنی هستند (شکل ۲). بر این واحد در زمان میوسن میانی-پسین، واحدهای تخریبی شامل تناوبی از مارن، لای و ماسه‌سنگ قرمز رنگ (معادل سازند قرمز بالایی) تشکیل شده‌اند (شکل ۲). نکته مهم در این توالی رسوبی حضور واحدهای آتشفشانی به طور محلی در مناطق یاد شده همراه با واحدهای رسوبی است.

قرمز بالایی) بوده که از نظر محیط رسوبگذاری، وابسته به حوضه‌های کم‌عمق درون‌قاره‌ای هستند [۸،۷] (شکل ۲). در این بین، قدیمی‌ترین آنها شامل مجموعه‌ای از واحدهای تخریبی چون کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن (معادل سازند قرمز زیرین) است که به‌طور دگرشیب بر سنگ‌های قدیمی‌تر (ائوسن و مزوزوئیک) قرار دارند (شکل ۲). واحدهای قدیمی در منطقه سلفچگان شامل واحدهای شیلی، ماسه‌سنگی ژوراسیک و آهکهای کرتاسه هستند (شکل ۲ الف)، در صورتیکه در کوهین (قروه) از واحدهای دگرگون شیست، فیلیت و آهکهای متبلور تریاس-ژوراسیک تشکیل یافته‌اند (شکل ۲ ب). بنابراین در این مناطق به نوعی با بالآمدگی و در پی آن رخنمون واحدهای قدیمی‌تر و قرارگیری واحدها به صورت ناپیوسته بر آن مواجه هستیم. برخی پژوهشگران این بالآمدگی را در ارتباط با فاز کششی ناحیه‌ای می‌دانند که به‌صورت کرکمپلکس در طول گسل‌های ساختاری کم‌شیب در این مناطق و نواحی دیگر در ائوسن تظاهر یافته‌اند [۱۰،۹]. بر این اساس، مقدار بالآمدگی در نواحی مختلف متناسب با شدت فاز کششی



شکل ۲ موقعیت (الف) کانسار زوریان بر نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلفچگان [۷] و (ب) کانسار ساری‌گونی بر نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهین [۸]. همراه با نمودارهای گل رز گسل‌های هر منطقه.

روش بررسی

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش افزون بر استفاده از نتایج پیشین، بررسی‌های سنگ‌شناسی (میکروسکوپی و تجزیه) و دگرسانی اصولی براساس تصاویر ماهواره‌ای، تجزیه‌های زمین-شیمی و بررسی سیال‌های درگیر در کانسار زواریان و ساری-گونای انجام شد. به منظور شناسایی دگرسانی‌ها و ساختار که مستقیم و غیرمستقیم در ارتباط با کانه‌زایی هستند، بررسی‌های اصولی دستگاهی با پردازش داده‌های ماهواره‌ای آستر (مربوط به پیش از فرآیند بهره‌برداری از کانسار ساری‌گونای) با روش‌هایی چون ترکیب رنگی کاذب (RGB)، نسبت نواری و بارسازی تصاویر به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) با نرم‌افزار ENVI4.8، صورت گرفت. بررسی سنگ‌شناسی واحدهای آذرین و کانه‌شناسی در منطقه زواریان با برداشت ۱۶۰ نمونه مقطع نازک و ۱۵ نمونه مقطع نازک-صیقلی و در قالب تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، انجام شد. همچنین، به‌منظور بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های آذرین میزبان کانه‌زایی طلای زواریان، تعداد ۲۱ نمونه از بخش‌های کمتر دگرسان این مجموعه برای تجزیه زمین‌شیمیایی کل سنگ (عناصر اصلی و کمیاب) و تعیین ترکیب ماگما برداشت گردید. آماده‌سازی نمونه‌ها (خردایش و پودر نمودن) و همچنین تجزیه عناصر اصلی به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-EOS) با دقت حدود 0.01 % و عناصر فرعی با روش طیف‌سنجی جرمی نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) با دقت 0.01-0.1 ppm در آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. برای بررسی سیال‌های درگیر در کانسار زواریان، تعداد ۴ نمونه از کوارتزهای کانه‌دار موجود در رگه‌های سیلیسی-سولفیدی منطقه با روند شمال‌شرق-جنوب غرب (NE-SW) انتخاب گردید. پس از تهیه مقاطع دوبر صیقلی و سنگ‌نگاری آنها، به منظور گرماسنجی سیال‌های درگیر، از صفحه لینکام THMSG600 با توانایی ایجاد دمای ۶۰۰+ تا ۲۰۰- °C متصل به میکروسکوپ الیمپوس BX50 با بزرگنمایی ۴۰۰× در آزمایشگاه سیال‌های درگیر دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. برای واسنجی استیج سرمایش-گرمایش از پتاسیم نیترات با دمای ذوب ۳۳۵ درجه سانتی‌گراد و دی‌کرومات پتاسیم با دمای ذوب ۳۹۸ درجه سانتی‌گراد

بنابراین، حضور این واحدهای وابسته به حوضه‌های کم‌عمق درون‌قاره‌ای پیرامون مجموعه‌های آتشفشانی میزبان این ذخایر به عنوان ذخایر فراگرمایی، اشاره به محیط تشکیل مشابه این مجموعه‌های آتشفشانی در زمان تشکیل در هر دو منطقه دارد (شکل ۲). این فعالیت‌های ماگمایی (نئوژن)، گسترش بسیاری دارند (شکل ۲)، اگرچه به دلیل فرآیندهای زمین‌ساختی، دچار جابه‌جایی و فرسایش شدید شده و نظم و توالی اولیه خود را از دست داده‌اند (شکل ۲). این توالی آتشفشانی از نظر سنگ‌شناسی متنوع نبوده و بیشتر شامل تناوبی از فوران‌های آتشفشانی به‌صورت آذرآواری چون توف آذرآواری، برش آتشفشانی، آگلومرا و گدازه‌ها به صورت روانه‌های آندزیتی-بازالتی تا اسیدی است (شکل ۲). سرانجام این مجموعه‌ها توسط توده‌های نیمه‌عمیق آتشفشانی چون توده‌های نیمه‌عمیق با ترکیب دیوریتی، گرانودیوریتی، مونزونیتی و داسیتی با بافت ریزدانه‌ای تا پورفیری، قطع شده‌اند. رخنمون این واحدهای نفوذی نشان دهنده بالآمدگی و فرسایش شدید واحدهای دربرگیرنده آنهاست. رسوب‌های جوان‌تر در این مناطق بیشتر شامل کنگلومراهای چندزادی سخت‌نشده پالئوسن و نهشته‌های آبرفتی کواترنر، به‌ندرت فعالیت‌های ماگمایی (در منطقه کوهین) با ترکیب بازانی و تراورتن هستند، که نقش عمده‌ای در پوشش واحدهای قدیمی‌تر و تشکیل سامانه‌های زمین‌گرمایی منطقه دارند (شکل ۲).

مهمترین روند ساختاری ناحیه‌ای در این مناطق روند شمال غربی-جنوب شرقی با سازوکار راستا لغز راستبر (پهنه برشی)، همروند با روند بالآمدگی، محور چین‌خوردگی‌ها (طاق‌دیس‌ها) و روند جایگیری ماگماست (شکل ۱). البته، با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمین‌فیزیکی، گسل‌های راستالغز (راستگرد و چپگرد) شمال‌شرق-جنوب غرب بیشترین تمرکز را در این مناطق دارند (شکل ۲). این گسل‌ها اغلب روند ناحیه‌ای را قطع می‌کنند و از آنها جوانتر (بیشتر میوسن) هستند (شکل ۲). به بیان دیگر، طی تشکیل ساختار این نواحی، در اثر پهنه‌برشی راستگرد [۱۱]-[۱۳]، این شکستگی‌ها باعث ایجاد فضای لازم و خروج ماگما در حوضه‌های رسوبی میوسن شده‌اند. به طوری که رخنمون اغلب گدازه‌ها و آذرآواری‌های یادشده به صورت کشیده در راستای این ساختارها اشاره به نقش کششی و کنترلی آنها در خروج و فوران ماگما در این مناطق دارد (شکل ۲).

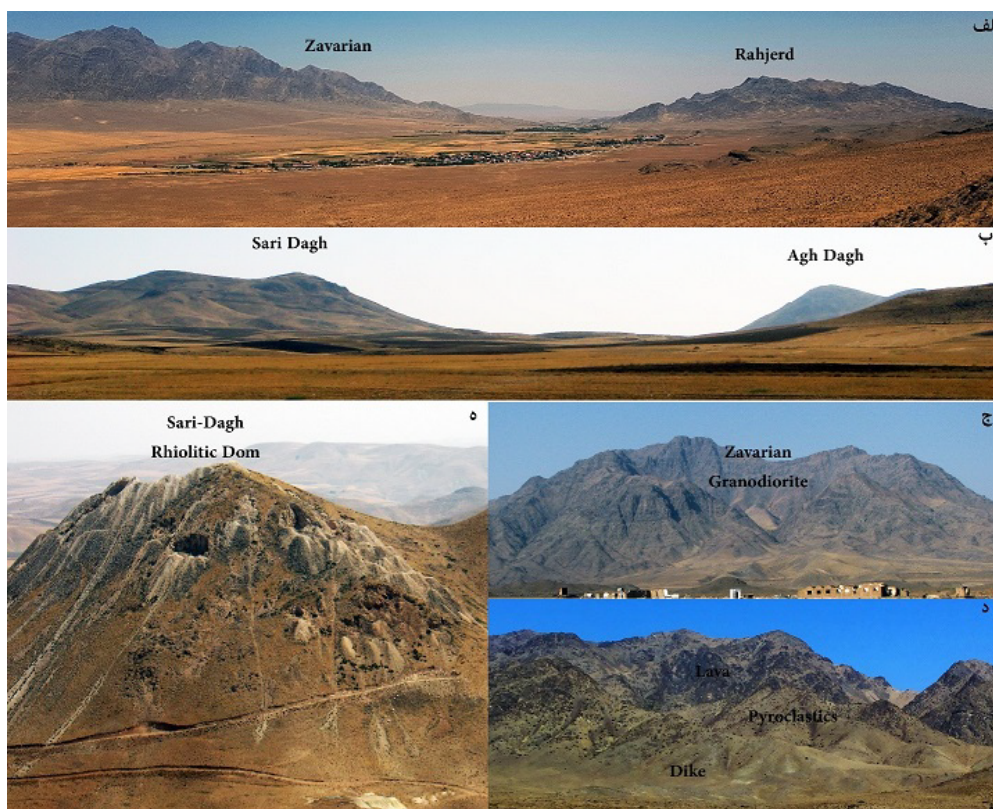
استفاده شد. به این ترتیب، دقت اندازه‌گیری در مرحله گرمایش حدود ۱+ درجه سانتی گراد بود.

بحث و بررسی

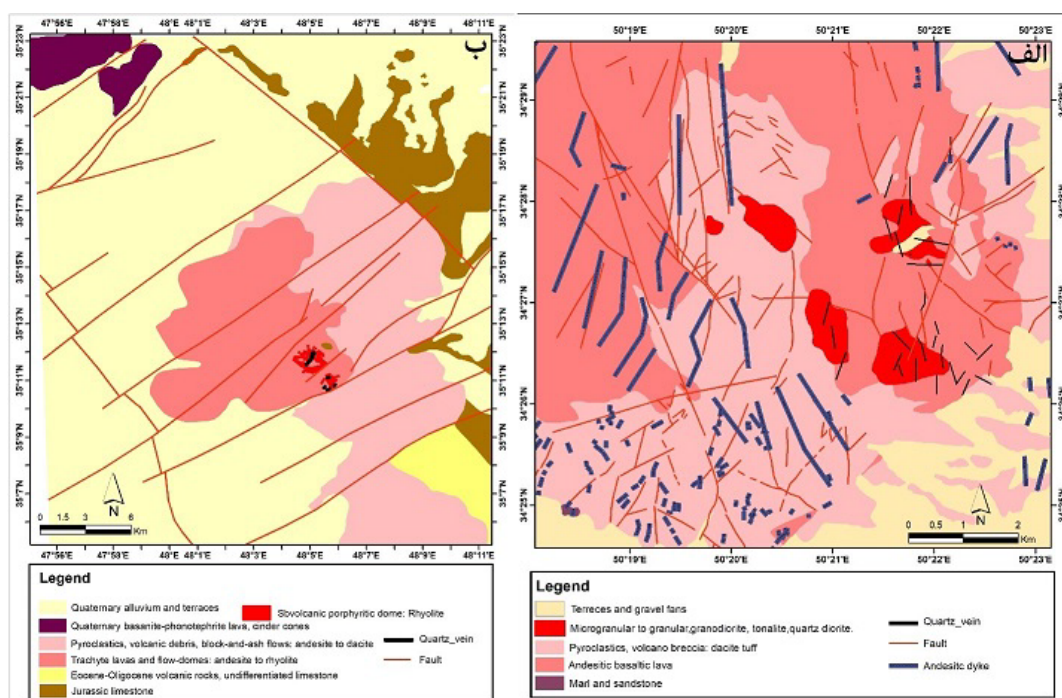
سنگ‌شناسی

اغلب واحدهای رخنمون یافته در منطقه زواریان شامل توالی از واحدهای آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن هستند که با دگرشیبی زاویه‌دار بر واحدهای آتشفشانی ائوسن قرار دارند [۱۴]. این توالی از دیدگاه سنگ‌شناسی تنوع چندانی ندارد و بیشتر شامل گدازه‌ها، واحدهای آذرآواری، توده‌های نیمه‌عمیق آتشفشانی (فلسی تا حدواسط) و سنگ‌های رسوبی چون کنگلومرا، مارن و آهک هستند (شکل‌های ۳ الف، پ، ت). واحدهای رسوبی آغازین در این توالی سنگ‌هایی تخریبی دانه‌درشت تا ریزدانه چون کنگلومرا، مارن قرمز و شیل هستند که با پیشروی دریای الیگومیوسن، سازند قرمز زیرین را تشکیل داده‌اند [۱۷]. روی این واحد رسوبی در لبه‌های منطقه مورد بررسی، توالی رسوبی-کربناتی سازند قم (اک۱-تاین-بوردیگالین) و در منطقه زواریان، مجموعه آتشفشانی میزبان کانه‌زایی که گستردگی و پراکندگی به نسبت بالایی نیز دارد (حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع)، بروزند یافته‌اند (شکل‌های ۳ الف، پ، ت). بر این اساس، این سامانه بخشی از توالی آتشفشانی-رسوبی حوضه قم بوده که در میوسن و در یک محیط دریایی کم‌عمق قاره‌ای تشکیل شده است (شکل‌های ۳ الف، پ، ت). بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و بازدیدهای صحرایی، این مجموعه آتشفشانی با ترکیب غالب بازالت، آندزی-بازالت و آندزیت، تناوبی از شرایط انفجار (آذرآواری) و آرامش (گدازه جریانی) را پشت سر نهاده و توسط دایک‌ها و توده‌های نیمه‌عمیق با بافت ریزدانه‌ای تا پورفیری، قطع شده است. از این رو، این فعالیت آتشفشانی به سن میوسن در قالب یک مخروط آتشفشانی (آتشفشان چینه‌ای) درون‌قاره‌ای و به شکل یک مخروط آتشفشان (خستک) تشکیل شده و میزبان کانه‌زایی طلا -مس زواریان است (شکل ۳ پ) [۱۵]. در این مجموعه، واحدهای آذرآواری گسترش بیشتری نسبت به سایر واحدها داشته (شکل‌های ۳ الف، پ) و اغلب به صورت توف، توف‌برش، ایگنیمیرایت و آگلومرای جریانی رخنمون دارند. این واحد اغلب به رنگ سبز تا خاکستری تیره و با میان‌لایه‌هایی از گدازه در دره‌ها و یا با شیب کم در لبه‌ها و پیرامون مخروط آتشفشانی دیده می‌شود (شکل ۳ ت). این واحد بیشتر از قطعه‌های سنگی با ترکیب آندزیتی-داسیتی در اندازه‌های

مختلف تشکیل شده (شکل ۴) و با زمینه‌ای از سیلیس، پلاژیوکلاز، کلریت، کلسیت، کانی کدر و اکسیدهای آهن همراه با شیشه یا بدون آن در بر گرفته شده است (شکل ۵). درشت بلورهای این واحد اغلب از پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک (بیشتر هورنبلند و به‌ندرت پیروکسن) تشکیل شده‌اند. بلورهای آمفیبول و پلاژیوکلاز در آنها اغلب ترکیب اولیه خود را از دست داده و به کلریت، کلسیت، اپیدوت، سریسیت، کانی رسی و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند (شکل ۵). این در حالی است که گدازه‌ها در این مجموعه به‌صورت پوششی در ارتفاع‌ها و به صورت میان‌لایه‌ای در مرکز منطقه بیشترین رخنمون را دارند (شکل ۵). گدازه‌ها در این مجموعه بیشتر با ترکیب آندزیتی-بازالتی، دارای بافت پورفیری با خمیره ریزسنگ و درشت-بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن هستند. اغلب درشت-بلورهای پلاژیوکلاز از مرکز سریسیتی شده‌اند و دارای ماکل چندریخت ناقص و منطقه‌بندی هستند (شکل ۵). خمیره نیز از پلاژیوکلاز و کانی‌های کدر تشکیل شده است (شکل ۵). آثار بلورهای اولیه تیره کدر شده در آن وجود دارد (شکل ۵). نکته بسیار مهم در این بخش، حضور توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق در مرکز دره‌های رسیده به نواحی مرتفع (مرکز مخروط آتشفشان) به‌عنوان سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی است (شکل ۳ پ). بیشتر رگه‌های سیلیسی کانه‌دار و دگرسانی‌های مربوط به آن درون و یا در کنار این توده‌ها واقع هستند (شکل ۴ الف). این دگرسانی، دلیل دورنمای روشن این واحد نسبت به سایر واحدهای سنگی است (شکل‌های ۳ پ و ۶). رنگ ظاهری رخنمون آنها خاکستری روشن و بافت آن‌ها ریزدانه‌ای و پورفیری است (شکل‌های ۶ ب، پ). رخنمون متعدد این واحدهای نفوذی به صورت پراکنده در سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشانگر ارتباط آنها در عمق و روبرداری آنها به‌دلیل بالآمدگی است (شکل ۴ الف). آنها از نظر ترکیبی، بیشتر در گستره گرانودیوریت-تونالیت هستند و اغلب از کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت، هورنبلند، منیتیت و به‌ندرت پیروکسن تشکیل شده‌اند (شکل ۶). آمفیبول‌ها اغلب به کلریت، کلسیت و کانی‌های اکسید آهن (مگنتیت) و کدر تجزیه شده‌اند (شکل ۶). نوع بافت، حضور هورنبلند ماگمایی به همراه منیتیت و نیز نبود موسکویت در این توده‌ها اشاره به جایگزینی آنها در اعماق به نسبت کم دارد [۱۶]. بر اساس بررسی‌های سن‌سنجی انجام شده [۱۷، ۱۸]، سن این توده‌ها میوسن پیشین (۱۷-۲۱ میلیون سال پیش) در نظر گرفته می‌شود.



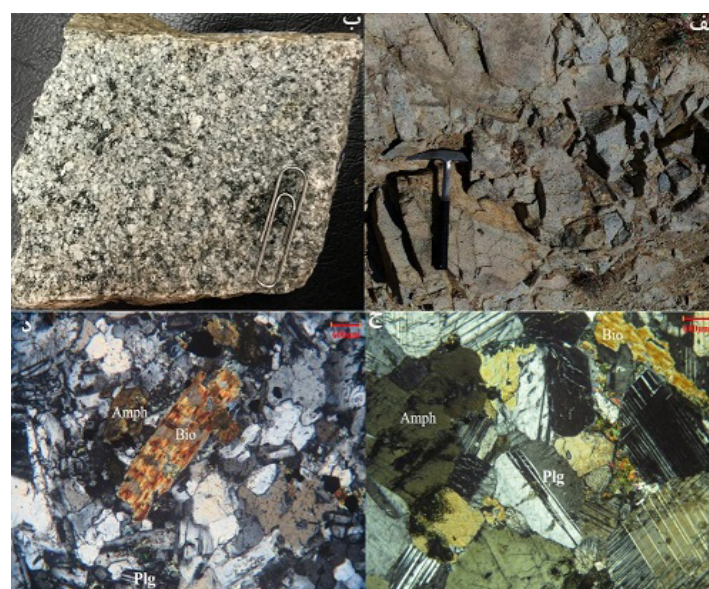
شکل ۳: نمایی از مجموعه های آذرین میزبان کانه‌زایی به ترتیب سلفچگان شامل مناطق زواریان و راهجرد (دید به سمت) و کوهین شامل ساری داغ و آق‌داغ (دید به سمت شمال شرق)، (پ) نمایی از کالدر (خستک) میزبان کانه‌زایی زواریان، که در توده نفوذی با رنگ روشنتر در مرکز آن نمایان است، (ت) نمایی از توالی گدازه‌ها، آذرآری‌ها و دایکهای قطع کننده در دیواره بیرونی کالدر در منطقه زواریان، (ث) توده نیمه عمیق ریولیتی-داسیتی ساری‌داغ، سنگ میزبان کانه‌زایی ساری‌گونای، که اکنون به طور کامل برداشت شده است.



شکل ۴: نقشه‌های زمین‌شناسی مناطق معدنی (الف) زواریان، (ب) ساری‌گونای براساس نقشه‌های زمین‌شناسی اقتصادی ۱:۲۵۰۰۰ زواریان [۷] و ۱:۲۰۰۰۰ ساری‌گونای، (برگرفته از مرجع [۱۹] با کمی تغییر).



شکل ۵ الف: نمایی از تناوب واحد گدازه آندزیتی و آذرآواری در مقیاس رخمون نمایی از واحد گدازه آندزیتی قهوه‌ای MPan که به صورت میان لایه درون واحد Mv قرار گرفته است ب-د: مقطع میکروسکوپی دارای بافت میکروولیتیک شیشه‌ای دارای میکروفونوکریست‌های کانی پلاژیوکلاز و بیوتیت-ج: بخش‌های دگرسانی اپیدوتیزه و کلریتی-ر-ز: مقطع میکروسکوپی واحد آذرآواری ه: مقطع میکروسکوپی واحد توفی.



شکل ۶ نمایی از توده نیمه عمیق در مقیاس رخمون، نمونه دستی و میکروسکوپی در منطقه زواریان، الف) رخمون توده نیمه عمیق گرانودیوریتی (ب) نمونه شامل کانی‌های کوارتز، فلدسپات و کانی‌های تیره (آمفیبول) درشت با بافت پورفیری-دانه‌ای، پ، ت) مقطع میکروسکوپی از این واحد با بافت دانه‌ای، درشت بلورهای پلاژیوکلاز (آندزین-الگوکلاز) در نور قطبشی همراه با کانی مافیک آمفیبول و بیوتیت که به کلریت، اپیدوت و کانی کدر (اکسید آهن و مگنتیت) تجزیه شده‌اند.

مجموعه واحدهای آتشفشانی منطقه افزون بر توده‌های نیمه‌عمیق، توسط دسته دایک‌های آندزیتی با راستای شمال غرب تا شمال شرق قطع شده‌اند (شکل ۷). این دایک‌ها با رنگ سبز تا خاکستری تیره توده‌های نفوذی را قطع نکرده‌اند، بنابراین به‌نظر می‌رسد که از نظر سنی پیش از و یا همزمان با آنها تشکیل شده باشند (شکل ۴ الف). نکته مهم در مورد وجود این دسته دایک‌ها، تأیید تداوم عملکرد فاز کششی در مراحل پایانی فعالیت ماگمایی در این منطقه است (شکل ۷). در مجموع از ویژگی‌های بارز این مجموعه سنگها می‌توان به حضور بلورهای درشت هورنبلند اشاره کرد که به نظر امامی [۱۴] از نوع پارگازیت هستند و نقش مهمی در غنی‌شدگی ماگمای باقیمانده از سیلیس دارند. از نظر ساختاری، گسل‌های اصلی این منطقه با راستای شمال غرب- جنوب شرق (NW-SE) نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل حوضه‌های رسوبی و خروج فعالیت‌های آتشفشانی داشته‌اند (شکل ۴ الف). این در حالی است که روندهای شمال‌شرق- جنوب غرب (NE-SW) تا شمالی- جنوبی با سازوکار راستا لغزی (راستگرد- چپگرد) نه تنها باعث قطع روندهای پیشین شده، بلکه نقش مهمی در جابه‌جایی آنها، ایجاد فضای کششی لازم برای جایگیری توده‌های نیمه‌عمیق و دایک‌ها در منطقه داشته‌اند [۱۸] (شکل ۴ الف). در مقایسه با این مجموعه آتشفشانی، کانسار ساری‌گونای را طیفی از سنگ‌های آتشفشانی چون لاتیت، تراکیت، داسیت، ریولیت و استوک‌های نیمه‌عمیق در بر می‌گیرند [۱۹]. این مجموعه به همراه واحدهای تخریبی اولیگوسن (سازند قرمز زیرین) و رسوب‌های دریایی الیگوسن- میوسن (سازند قم) به‌طور دگرشیب بر شیست‌ها و آهک‌های ژوراسیک واقع شده‌اند (شکل ۴ ب). بنابراین، سازند قم که در محیط دریایی این منطقه تشکیل شده است، دارای رسوبات آهکی و سنگ‌های آتشفشانی می‌باشد (شکل‌های ۳ ب، ت و شکل ۴ ب). افزون بر آن، قطعه‌هایی از شیست‌ها و آهک‌ها به‌طور محلی درون مجموعه آتشفشانی وجود دارد که گویای قطع‌شدن این واحد توسط این واحد و توده‌های نیمه‌عمیق جوان‌تر در این منطقه هستند. این مجموعه آتشفشانی به سمت شمال، جنوب و غرب با شیب ملایم به زیر نهشته‌های آبرفتی جوان رفته و رخنمون کمی از خود نشان می‌دهد [۲۰]. براساس بررسی‌های

سن‌سنجی انجام شده، دو فاز ماگمایی به سن میوسن در این منطقه حضور دارند. گروه نخست با ترکیب حدواسط تا اسیدی و سنی حدود ۱۱ تا ۱۱/۷ میلیون سال پیش (میوسن میانی- پسین)، سنگ میزبان کانه‌زائی کانسار ساری‌گونی را تشکیل می‌دهد [۱۹]، در حالیکه گروه دوم با حجم بیشتر، سنی حدود ۸/۳ تا ۹/۸ میلیون سال (میوسن پسین) و ترکیب بازی کانه‌زایی ندارد [۲۲، ۲۱]. از دیگر فعالیت‌های ماگمایی قابل توجه در این منطقه، وجود فعالیت ماگمایی جوان (کوآترنری) است که گاهی هر دو این فعالیت‌های ماگمایی را قطع نموده‌اند (شکل ۴ ب). توده نیمه‌عمیق مربوط به کانه‌زایی در این منطقه با توجه به حفاری‌های صورت گرفته دارای ترکیب دیوریتی با ماهیت آهکی قلیایی و بافت پورفیری بوده که در بخش بالایی به صورت گندهای داسیتی- ریوداسیتی تا تراکیتی (آق‌داغ و ساری‌داغ) رخنمون یافته است [۲۳] (شکل‌های ۳ ب، ت). این توده‌های نیمه عمیق با بافت پورفیری اغلب از بلورهای پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول، کوآرتز و فلدسپار قلیایی تشکیل شده‌اند. روند شکستگی‌ها و گسل‌ها در این منطقه شباهت بسیاری به منطقه سلفچگان نشان می‌دهد به طوری که اگرچه بیشتر روند NW-SE دارند ولی روند عمومی و کانه‌زایی در ارتباط با توده نفوذی نیمه‌عمیق NE-SW است (شکل ۴ ب) [۲۳]. بنابراین شکل‌گیری این نواحی با گسل‌های راستا لغز (راستگرد و چپگرد) منجر به تغییر روندهای زمین‌ساختی ماگمایی پیشین و نفوذ توده‌های نیمه‌عمیق و سیال‌های وابسته به آنها (سامانه‌های فراگرمایی- پورفیری) در قالب رگه‌های- سیلیسی کانه‌دار [۲۴]، در گستره زمانی میوسن تا عهد حاضر شده، است (شکل ۲ ب). مهمترین اختلاف فعالیت‌های ماگمایی منطقه قروه با سلفچگان (زواریان) نبود فعالیت ماگمایی میوسن پیشین و به نوعی تفکیک زمانی- مکانی دو فاز ماگمایی میوسن پیشین و میوسن میانی در مناطق مورد بررسی است. به بیان دیگر، در گستره زمانی میوسن پیشین تا میانی به نوعی با تشکیل ماگما در قالب تشکیل پهنه برشی راستگرد و نقش ساختار در ایجاد موقعیت مناسب برای جایگیری ماگما مواجه هستیم. به طوری که رخنمون نیافتن فاز ماگمایی میوسن پیشین در منطقه کوهین به دلیل نبود نظام یا فاز کششی محلی نسبت به منطقه سلفچگان و ایجاد مجاری خروج

ماگماست. این امر با توجه به حضور دسته دایک‌های فراوان در منطقه سلفچگان قابل توجه است. همچنین در کانسار ساری-گونای، با حجم کمتر و فرسایش بیشتر سنگ‌های آتشفشانی و رخنمون توده‌های نیمه‌عمیق داسیتی-ریولیتی به صورت دو تپه (آق‌داغ و ساری‌داغ) مواجه هستیم، این در حالی است که در کانسار زواریان، اگرچه توده‌های نیمه عمیق در مرکز مخروط آتشفشان رخنمون دارند اما ریختار مخروط آتشفشان با شیب تند حفظ شده و ارتفاع‌ها را تشکیل می‌دهند. بنابراین در منطقه کوهین، نسبت به منطقه سلفچگان، در گستره زمانی میوسن پیشین تا پسین (چند میلیون سال)، نقش پهنه‌های برشی راستگرد بیشتر از بالاآمدگی و کشش نمود داشته است.

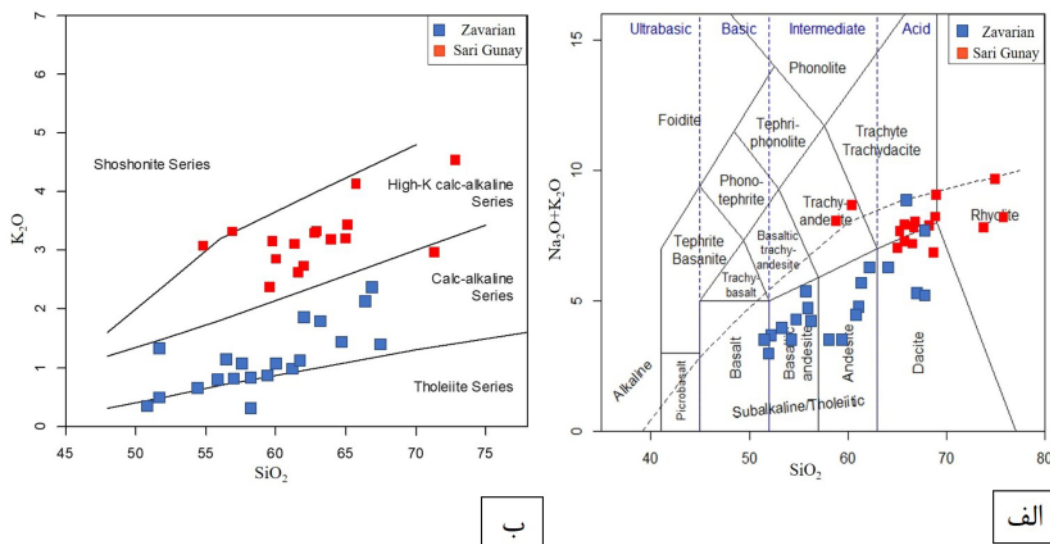
زمین‌شیمی

نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی x (XRF) نمونه‌های آتشفشانی میزبان کانسار طلا- مس زواریان بر نمودار $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ [۲۵] در شکل ۸ الف آورده شده است. بر این اساس آنها از نظر ترکیبی، در گستره‌های بازالت، بازالت-آندزیت، تا آندزیت و داسیت (بازی تا حدواسط) و یک نمونه در گستره تراکی داسیت قرار دارند. بررسی مقدار قلیایی بودن سنگ‌های آذرین این نمونه‌ها بر اساس نمودار $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ [۲۶] نشان دهنده ماهیت آهکی قلیایی این سنگ‌هاست (شکل ۸ ب). این در حالی است که نمونه‌های مربوط به ساری‌گونای (شکل ۸ الف) بیشتر ترکیب تراکی آندزیت، تراکیت، داسیت و ریولیت (بیشتر فلسی دانسته) و در گستره سنگ‌های با ماهیت آهکی قلیایی پتاسیم بالا قرار دارند (شکل ۸ ب) و به نوعی از نظر ترکیبی از سنگ‌های منطقه زواریان تفکیک می‌شوند. مقادیر SiO_2 در مجموعه آتشفشانی سلفچگان متوسط تا بالا (۶۵-۵۰ درصد) و در نمونه‌های ساری‌گونای بالاست (۷۵-۶۰ درصد). از نظر Na_2O و K_2O ، در مجموع نمونه‌های ساری‌گونای غنی‌شدگی بیشتری نسبت به ماگمای زواریان نشان می‌دهند. تمرکز Mg و Ti در مجموعه آتشفشانی سلفچگان به نسبت کم ($>5\%$ MgO و $\text{TiO}_2 > 0.9\%$) است، درحالی‌که از نظر آلومینیم غنی

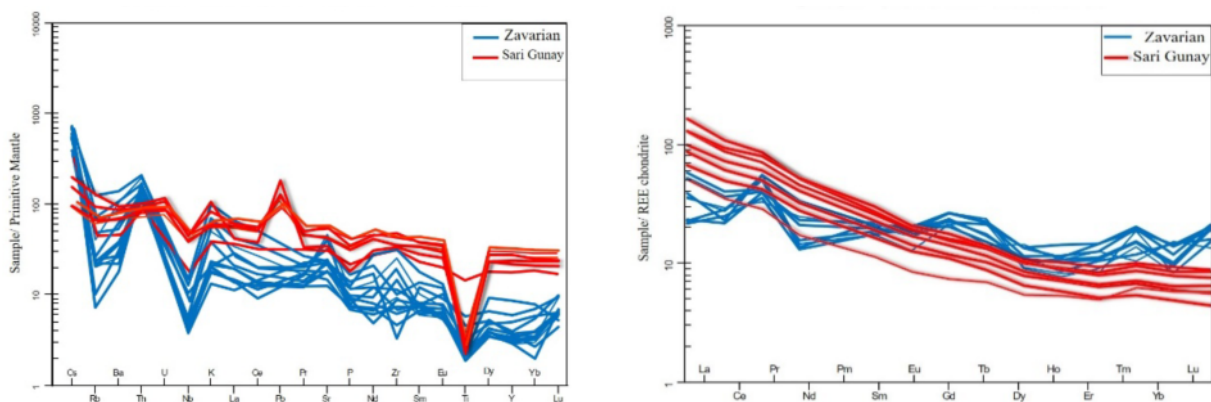
هستند (بیش از ۱۶ درصد). غنی بودن این نمونه‌ها از آلومینیم، ممکن است به دلیل روند جدایش باشد، هرچند نوع ترکیب ماگما و عواملی چون دگرسانی گرمایی [۲۷] و یا غیریکنواختی مقدار آب در ناحیه خاستگاه نیز بی‌تاثیر نیست [۲۸]. کانی‌های مافیک در این نمونه‌ها بیشتر به صورت درشت بلور (پورفیری) و شامل هورنبلند، بیوتیت و گاهی پیروکسن هستند که خود دلیلی بر آبدار بودن ماگمای تشکیل‌دهنده آنهاست. بنابراین، فرآیندهای مؤثر در تشکیل این ماگما به احتمال بسیار در ارتباط با جدایش بلورین و غنی‌شدگی درون‌قاره‌ای است. الگوی توزیع عناصر خاکی نادر (REE)، منطقه زواریان پس از بهنجارش نسبت به کندریت [۲۹]، غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۹). همچنین چنان که در الگوی توزیع این عناصر دیده می‌شود (شکل ۹)، عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) غنی‌شدگی دارند، اما این غنی‌شدگی در مجموعه ساری‌گونای بارزتر است و به جدایش یافتگی بیشتر این مجموعه ماگمایی نسبت به مجموعه زواریان اشاره دارد (شکل ۹). این الگوهای قاشقی شکل REE (شکل ۹) اغلب با جدایش عادی مجموعه درشت‌بلورهایی چون کلینوپیروکسن و آمفیبول طی جایگیری همخوانی دارند [۳۰-۳۲]. همچنین شباهت رفتار عنصر Eu با دیگر عناصر در این مجموعه و نبود غنی‌شدگی شدید آن اشاره به گریزندگی بالای اکسیژن ماگما دارد [۳۳]. نمودار عنکبوتی تغییرات عناصر کمیاب سنگ‌های آذرین منطقه زواریان بر پایه داده‌های گویسته اولیه [۳۴] بهنجار و رسم شده‌اند (شکل ۱۰). در آنها، عناصر سنگ‌دوست بزرگ یون (LILE) چون Cs, Th, K, Sr نسبت به عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) چون Zr, Ti, Nb غنی‌شدگی نشان می‌دهند. از طرف دیگر، ناهنجاری منفی Ti, Nb اگرچه از ویژگی‌های فعالیت ماگمای وابسته به فروران‌ش و نوع I است، می‌تواند متأثر از آلودگی ماگمای اولیه با سنگ‌های پوسته‌ای و یا دگرنهادی گویسته در محیط فروران‌ش نیز باشد [۳۵]. همچنین غنی‌شدگی Th, U نشان دهنده آلودگی پوسته و وابسته به ویژگی‌های خاستگاه آن است [۳۶].



شکل ۷ دایک‌های منطقه، الف) دایک‌های آندزیتی که واحدهای آتشفشانی میوسن را قطع کرده‌اند ب و ج) نمائی میکروسکوپی از دایک‌های آندزیتی



شکل ۸ الف) نام گذاری شیمیایی واحدهای آتشفشانی میزبان کانه‌زایی در منطقه زواریان، در مقایسه با ساری گونای با استفاده از نمودار $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$ (برگرفته از [۲۵] ب) بررسی میزان آکالینیت منطقه زواریان و ساری گونای $SiO_2 - K_2O$ [۲۶].



شکل ۹ الگوی توزیع عناصر نادر خاکی عادی سازی شده (normalize) نسبت به کندریت در منطقه زواریان و ساری گونای [۲۹].

شکل ۱۰ نمودار فراوانی عناصر کمیاب نسبت به گوشته اولیه در منطقه زواریان و ساری گونای برگرفته از [۳۴].

ناهنجاری‌های مثبت Eu, Sr نیز به خاستگاه گوشته‌ای سنگ-های این ماگما که در ذوب گوشته سیال‌ها نقش داشته‌اند، اشاره دارند [۳۷]. این نتایج در مقایسه با مجموعه میزبان ساری‌گونای روند ملایم‌تری را نشان می‌دهد، هرچند که در منطقه ساری‌گونای غنی‌شدگی سرب بسیار بیشتر است و اشاره به آلودگی پوسته‌ای بیشتر ماگمای این بخش نسبت به زواریان دارد. بررسی جایگاه زمین‌ساختی بر اساس نمودارهای مراجع [۳۹، ۳۸] و داده‌های عناصر کمیاب اشاره به حضور هر دو مجموعه ماگمایی میزبان کانه‌زایی در کرانه فعال قاره‌ای دارند (شکل ۱۱). بنابراین، ترکیب شیمیایی ماگما و جایگاه تشکیل این نوع ماگماها در کنار دیگر شواهد زمین‌شناسی صحرایی، سن‌سنجی و نسبت دادن زمان برخورد به الیگومیوسن [۴۰]، بیانگر جایگاه تشکیل این مجموعه ماگمایی وابسته به کمان در حوضه‌های کم‌عمق درون‌قاره‌ای طی مراحل کششی همزمان با بالآمدگی و پس از برخورد است (شکل ۱۱). در مجموع، این موارد به نوعی به جدایش و شدت آلودگی‌های متفاوت این مجموعه‌های ماگمایی در توالی‌های زمین‌شناسی و نظام‌های ساختاری محلی مختلف اشاره دارند.

دگرسانی گرمایی

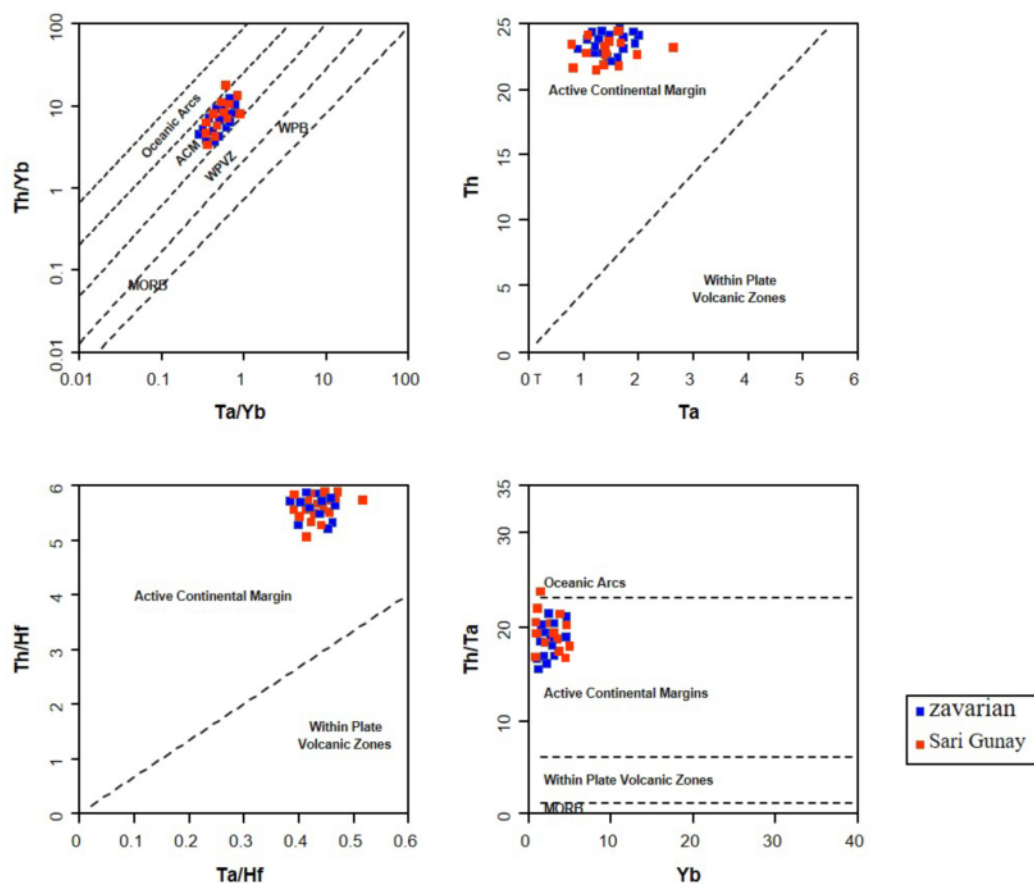
بررسی‌های اصولی دستگاهی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای آستر در این مناطق، اشاره به وجود انواع دگرسانی گرمایی چون سیلیسی، سریسیتی، آرژیلی، پروپلیتی و سرانجام اکسیدهای آهن دارد که بر انواع دگرسانی‌های پیشین اعمال شده است (شکل ۱۲). این دگرسانی‌ها اغلب در کنار و درون توده‌های نیمه‌عمیق و در راستای شکستگی‌ها با روند تقریبی شمال شرقی- جنوب غربی گسترش دارند، هرچند شدت آن پیرامون رگه‌های کانه‌دار بیشتر است [۱۹، ۸، ۷]. این دگرسانی‌ها از مرکز (دگرسانی سیلیسی) به سمت لبه‌ها، به نوعی منطقه‌بندی از خود نشان می‌دهند (شکل ۱۲). به طوری که دگرسانی پروپلیتی اغلب در بخش بیرونی دیگر دگرسانی‌ها، گسترش بیشتری (ویژه در منطقه زواریان) دارد (شکل ۱۲).

دگرسانی آرژیلی، متداول‌ترین نوع دگرسانی گرمایی بوده، اما گسترش آن در این منطقه‌ها، پیرامون بخش‌های سیلیسی و در راستای گسل‌های با روند شمال شرقی- جنوب غربی قابل تشخیص است (شکل ۱۲). اگرچه این دگرسانی اغلب به‌خوبی گسترش یافته، ولی بافت اولیه سنگ میزبان (پورفیری) در آن حفظ شده است (شکل ۱۳). شدت این دگرسانی در واحدهای

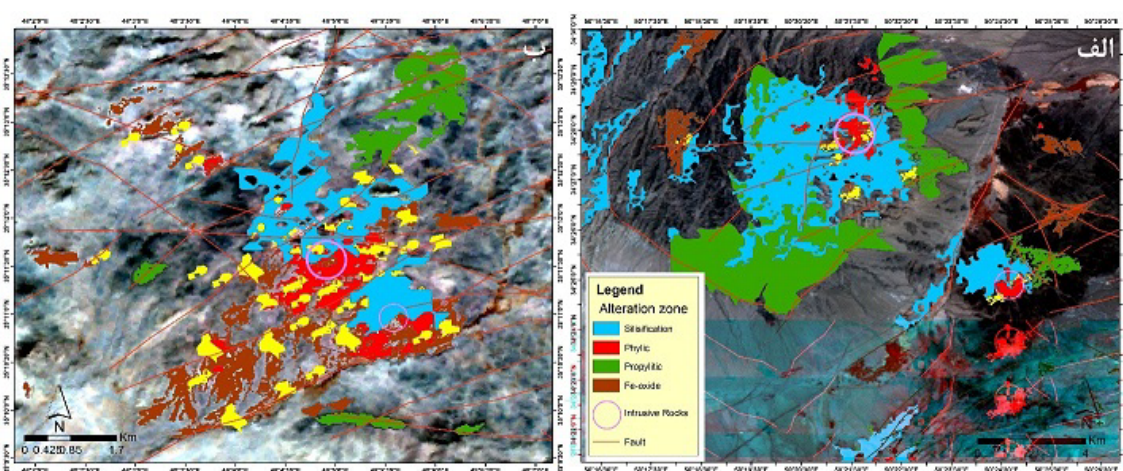
آذرین در منطقه زواریان کمتر از منطقه ساری‌گونای است (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). این دگرسانی با دور شدن از توده‌های نیمه‌عمیق و دگرسانی سیلیسی کاهش یافته و در لبه به دگرسانی پروپلیتی تبدیل می‌شود (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). دگرسانی سریسیتی (فلیک) از بارزترین و مشخص‌ترین دگرسانی‌های گرمایی در این مناطق است و بیشترین رخمون و شدت را پیرامون توده‌های نیمه‌عمیق نشان می‌دهد (شکل ۱۲). این دگرسانی در منطقه زواریان گسترش محدودتری دارد و رخمون آن بیشتر مربوط به دره‌های عمیق شمال شرق منطقه، در کنار توده‌های نیمه‌عمیق است (شکل‌های ۱۲ الف و ب). این دگرسانی، ویژه در منطقه ساری‌گونای، رابط نزدیکی با دگرسانی آرژیلیک نشان می‌دهد، به طوری که توسط پهنه باریکی از دگرسانی آرژیلیک در برگرفته شده و در لبه‌های به دگرسانی پروپلیتی تبدیل می‌شود (شکل ۱۲ ب). دگرسانی سیلیسی مهم‌ترین نوع دگرسانی در این ذخائر است که هسته سامانه‌های گرمایی را در توده‌های نیمه‌عمیق و حواشی آنها، به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۱۲). این دگرسانی در کانسار زواریان گسترش بیشتری دارد، که با توجه به بازدیدهای صحرایی و مقایسه آن با نقشه زمین‌شناسی، بنظر می‌رسد که عمده آن بازتاب واحدهای آذرآواری به شدت سیلیسی رخمون یافته در منطقه است (شکل ۱۲). این دگرسانی بیشتر به‌صورت پهنه‌های سیلیسی شده و یا در راستای ساختارهای کششی (گسل‌ها)، به‌صورت یک سامانه شکستگی شامل دسته رگه سیلیسی- سولفیددار با شیب و روند مختلف (اغلب NE) در هر دو منطقه گسترش دارد (شکل ۱۲). این توزیع از نفوذ سیال- های گرمایی، ترجیحاً از راه‌های عبور گسلی (راه‌های تغذیه‌کننده و رگه‌ای شکل) به بخش‌های بالاتر با پرمودن فضاهای خالی و برش‌های گرمایی ناشی شده است. از ویژگی‌های بافتی این نوع دگرسانی وجود بافت‌های شکافه‌پرکن، برشی، شانه‌ای، کوکاد، توده‌ای، حفره‌ای، موزائیکی و داربستی است (شکل ۱۳). در این بین، برش‌های گرمایی از مشخصه‌های این سامانه و سامانه‌های فراگرمایی هستند [۱۴]. این نوع دگرسانی بیشتر در درون دگرسانی آرژیلیک و روی آن قرار می‌گیرد (شکل ۱۲). سرانجام، اکسیدهای آهن در منطقه (شکل ۱۲) به صورت گوتیت، ژاروسیت و لیمونیت به همراه دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک و سریسیتی دیده می‌شوند [۱۴]. نکته مهم در ارتباط با دگرسانی‌های اصولی گرمایی در

سیال‌های جوی و چرخش آبگرم در آن، نسبت به منطقه زواریان باشد. این امر با توجه به حضور چشمه‌های آبگرم و فرآیند تراورتن سازی گسترده در منطقه ساری‌گونای قابل توجه است.

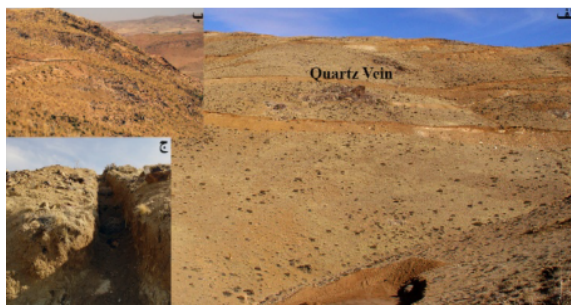
این مناطق افزون بر شباهت، گسترش بیشتر آنها در گستره کانه‌زایی ساری‌گونای نسبت به زواریان است که ممکن است به دلیل بالاآمدگی و فرسایش بیشتر بخش‌های رویی با توجه به حضور گنبد‌های داسیتی (ساری‌داغ و آق‌داغ) و نقش بیشتر



شکل ۱۱ تفکیک زمین‌ساختی ماگمایی نمونه‌های منطقه زواریان مربع آبی و منطقه ساری‌گونای مربع قرمز براساس نمودارهای مرجع [۳۸].



شکل ۱۲ توزیع دگرسانی‌های اصولی گرمایی نسبت به توده‌های نفوذی و ساختارها در مناطق الف) زواریان و ب) ساری‌گونای



شکل ۱۴: نمایی از دگرسانی‌های گسترده اغلب آرژیلیکی در منطقه ساری‌گونی، الف) دگرسانی آرژیلیکی همراه با رگه‌های کوارتز، ب) نمایی نزدیک تر از رگه‌های سیلیسی، پ) ترانشه با عرض و عمق تقریبی یک متر در دگرسانی آرژیلیک.



شکل ۱۳: نمایی از دگرسانی‌های محدود در منطقه زواریان: الف) دگرسانی آرژیلیک در داخل واحد آندزیتی و پروپیلیتیک، ب) دگرسانی آرژیلیک و فیلک در تصویر الف و در کنار رگه سیلیسی، پ) نمونه دستی حاوی دگرسانی آرژیلیک و اکسیدهای آهن.

کان‌زایی

براساس بررسی‌های سنگ زمین‌شیمیایی و بازدیدهای صحرایی انجام شده [۱۵]، بیشترین کان‌زایی طلا-مس در پهنه کان‌دار زواریان، به صورت کاملاً قطع کننده (رگه-رگچه)، برشی و سولفیددار (پیریت-کالکوپریت)، در ۹ رگه اصلی و لبه دگرسان آنها تمرکز یافته است (شکل‌های ۴ الف و ۱۵). این رگه‌ها اغلب با روندی هم‌سو و موازی با دایک‌های منطقه (شمال‌شرق-جنوب غرب تا شمالی-جنوبی)، با ضخامت و طول متغیر درون و یا کنار توده‌های نفوذی بیشترین گسترش را از خود نشان می‌دهند (شکل ۴ الف). همبستگی بین عناصری چون مولیبدن، بیسموت، آرسنیک، آنتیموان، نقره، کادمیوم و مس با طلا، به خاستگاه ماگمایی این سیال‌ها اشاره دارند [۴۱]. این امر، با توجه به آزمون‌های اولیه فرآوری به‌روش سیانید بر نمونه‌های این کان‌زایی (در مقیاس پایلوت) و تعیین عیار ۱/۹ گرم بر تن با وجود ذرات میکرونی طلا در اندازه‌های مختلف (اغلب کمتر از ۷۴ میکرون و حضور طلا به همراه نقره (الکتروم)، جیوه و آرسنیک تأیید می‌شود [۴۲]. سن کان‌زایی در این کان‌زایی براساس سن‌سنجی به روش Ar-Ar از سنگ میزبان دیوریتی از کانسار طلا-مس پورفیری دالی (در همین مجموعه آتشفشانی و جنوب این کان‌زایی و در واحد سنگی میزبان مشابه) حدود ۲۱ میلیون سال پیش (میوسن پیشین) گزارش شده است [۱۸]. براساس بررسی‌های کان‌نگاری، تجزیه-های شیمیایی و پراش پرتوی X (XRD) [۴۱] T این سامانه با ایجاد انواع دگرسانی وابسته به توده نفوذی (تشکیل سیلیس باقیمانده) فعالیت خود را آغاز نموده و با رگه‌های سیلیسی-منیتیتی-ایلمنیتی ± تورمالین (دگرسانی سیلیسی-اکسیدی) در راستای شکستگی‌ها و برشها، نخستین فاز کان‌زایی را ایجاد می‌کند (شکل ۱۵). کان‌زایی با برش‌های گرمابی و نفوذ سیال-

های گرمابی دربردارنده سولفیدهای مس (رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی) ادامه یافته و با سولفیدی شدن و ته‌نشست اصلی کان‌زایی طلا در حفره‌ها و شکستگی‌ها پایان می‌یابد (شکل ۱۵). گفتنی است که این رگه‌ها و برشها کاملاً توده‌های نفوذی را قطع نموده‌اند (شکل‌های ۱۵ الف، ت) و اشاره به تاخیری بودن این فاز سیال نسبت به توده‌ها دارند. سرانجام، فرآیند عمومی برونزایی بر آنها اعمال می‌شود که در این بخش با کانی اسپیکولاریت همراه است (شکل ۱۵ ج). بنابراین، این کان‌زایی طی فعالیت گرمابی و در ارتباط با مجموعه آتشفشانی-نفوذی وابسته به کمان و کانسارهای فراگرمابی و با سولفیدشدگی بالا بیشترین شباهت را نشان می‌دهد.

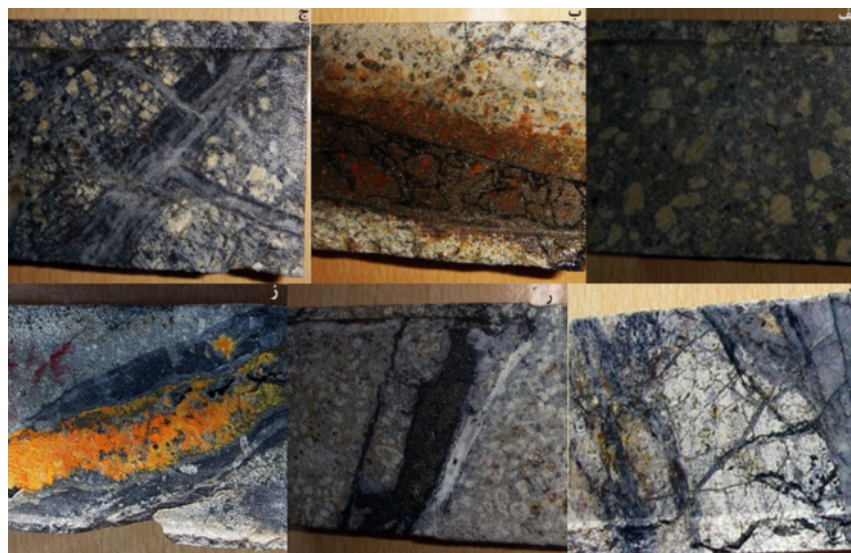
این در حالی است که توده نفوذی نیمه‌عمیق و گنبدی داسیتی-ریولیتی سنگ میزبان اصلی سامانه رگه‌ای طلا-مس عناصر همراه در کانسار طلا-نقره-آرسنیک-سرب-روی-مس ساری‌گونی هستند (شکل ۱۶ الف). بررسی نمونه‌های سنگ زمین‌شیمیایی [۴۳]، همبستگی آشکاری بین عناصر Sb, As, Au در این کان‌زایی نشان می‌دهد، به طوری که بیشترین تمرکز این عناصر و هم‌روند با آنها عناصر Zn, Ag, Hg محدود به رگه‌ها و پهنه‌های سیلیسی سولفیددار و نیز رگچه‌هایی است که در برخی مناطق در پهنه دگرسانی آرژیلی قرار دارند. در این کانسار، در مجموع ۱۲ رگه و پهنه سیلیسی-سولفیدی کان‌دار شناسایی شده‌اند که از بین آنها، ۳ رگه، اصلی‌ترین رگه‌های کان‌دار هستند [۱۹]. دگرسانی‌ها بر اساس نتایج XRD، بیشتر از نوع گرمابی و شامل کلریتی (پروپیلیتی)، آرژیلیک، سریسیتی، تورمالینی و سیلیسی‌شدن هستند [۱۹]. مراحل کان‌زایی در این کانسار شامل تشکیل دگرسانی و سیلیس باقیمانده (شکل ۱۶)، سپس رگه‌های سیلیسی-منیتیتی-ایلمنیتی (تورمالینی) (شکل ۱۶ ب)، رگچه‌های سیلیسی-

رگه‌های فراگرمایی کوارتز، پیریت، استینیت، رآلگار، اریپمان و طلا که به صورت آزاد در کوارتز و درون شبکه پیریت حضور دارند، می‌رسد [۱۹]. سن این کانه‌زایی براساس سن دگرسانی سرسیتی ناشی از فرآیند گرمایی، حدود ۱۰/۳ تا ۱۰/۸ میلیون سال پیش در نظر گرفته شده است [۱۹].

سولفیدی (شکل‌های پ تا ج) و سرانجام برونزادی است. بر این اساس، به نظر شکل‌گیری، سامانه گرمایی ساری‌گونای یک رخداد رگه‌ای با رگه‌های شبه پورفیری دما بالاست که در عمق شروع شده، سپس توسط رگه‌های برشی کوارتز-تورمالین-سرسیتی بعدی، رگه‌های پیشین را قطع می‌کند و سرانجام به



شکل ۱۵ نمونه‌های دستی نشانگر مراحل کانه‌زایی در زواریان؛ الف) رگه‌های سیلیسی-منیتیتی-ایلمنیتی (تورمالینی) در گرانودیوریت، دیوریت، ب) رگه رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار (ت) برش‌های گرمایی دربردارنده فاز اکسیدی سیلیسی-منیتیتی-ایلمنیتی (تورمالینی) در توده نیمه عمیق (ث) برش‌های گرمایی سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار درون رگه سیلیسی، ج) برش گرمایی در برونزایی دربردارنده اکسیدهای آهن و الیزیت.



شکل ۱۶ نمایی از مراحل کانه‌زایی در کانسار ساری‌گونای: الف) توده نیمه عمیق دیوریتی با بافت پورفیری در عمق ۲۵۰ متری دربردارنده هماتیت بصورت دانه پراکنده، ب) رگه سیلیسی-اکسیدی با سولفید کم شامل تورمالین، هماتیت و به مقدار کمتر پیریت در دیوریت پورفیری و عمق ۴۲۸ متری، پ) بافت داربستی دربردارنده کوارتز، پیریت، کالکوپیریت در دیوریت پورفیری و عمق ۴۷۶ متری، ث) رگه سیلیسی شامل کالکوپیریت و پیریت در دیوریت پورفیری در عمق ۳۰۰ متری، ج) رگه دربردارنده رآلگار، اریپمنت، پیریت در عمق ۳۰۰ متری (همه این تصاویر مربوط به حفاری با قطر ۷-۸ سانتی متر هستند).

آرژلیک (مرحله پیش از کانه‌زایی) در کانسار ساری‌گونی نسبت به گستردگی کم و محدود به لبه رگه‌ها در کانسار زواریان می‌تواند به دلیل سطحی‌تر بودن کانه‌زایی در این کانسار باشد که با حضور کانه‌های دما پائین چون رالگار و ارپیمان در آن و نبود آن‌ها در کانسار زواریان تایید می‌شود. بنابراین، همبستگی آشکاری میان کانی‌سازی و محلول‌های گرمایی در این ذخائر وجود دارد و ویژگی این محلول‌ها نقش اساسی و تعیین کننده در این کانه‌سازی‌ها دارند.

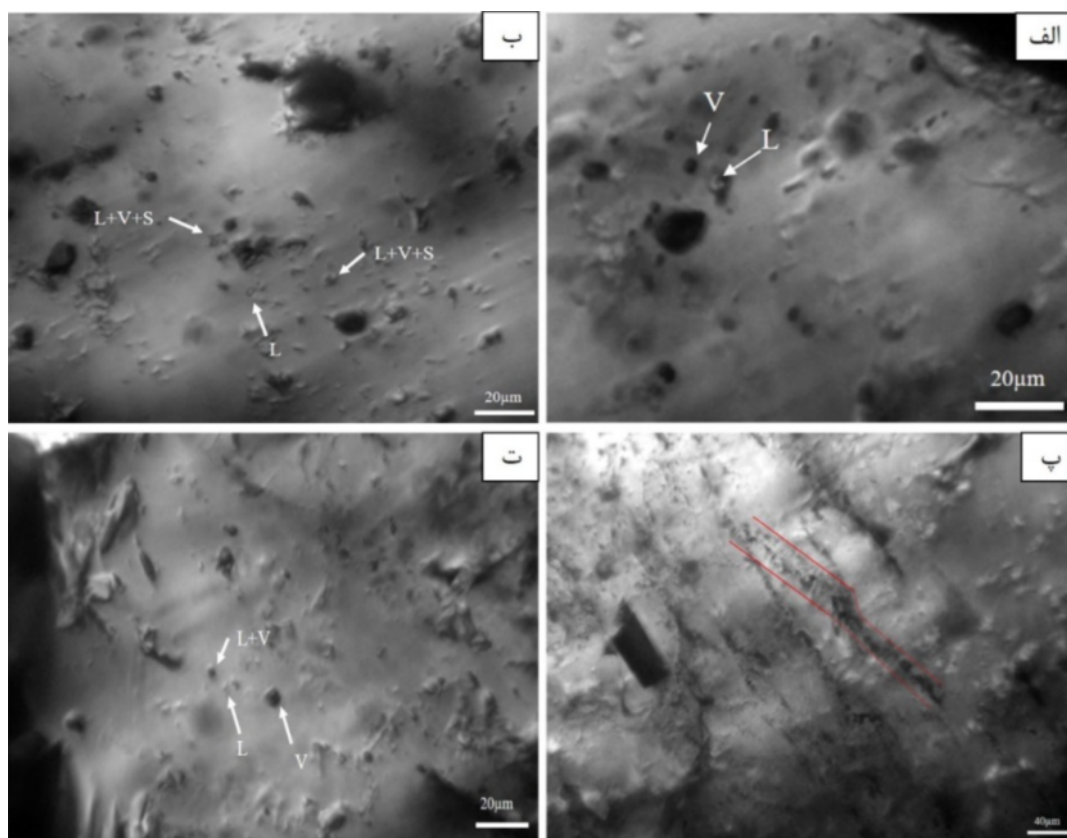
سیال‌های درگیر

برای شناسایی ویژگی‌های سیال کانه‌ساز [۴۴-۴۶]، سیال‌های درگیر برای رگه‌های سیلیسی سولفیدی طلادار در منطقه زواریان بررسی شدند. در این نمونه‌ها، گرچه بررسی‌ها بر میانبراهای اولیه، با اندازه ۱۰-۳۰ میکرون انجام شد، ولی سیال‌های درگیر ثانویه و ثانویه کاذب با شکل‌های متفاوت از جمله گرد، میله‌ای و نامنظم دیده شدند (شکل ۱۷). از موارد قابل توجه در این بررسی، وجود میانبراهای با پدیده باریک‌شدگی است. وجود چنین میانبراهایی همراه با میانبراهای با شکل‌های کشیده مانند سوزنی و میله‌ای شکل، می‌تواند در ارتباط با زمین‌ساخت فعال در منطقه مورد بررسی باشد، که در این شرایط، میانبراهای سیال در معرض فشار به ویژه کشش قرار گرفته‌اند [۴۷]، میانبراهای اولیه دارای شکل منفی بلوری کانی میزبان خود یعنی کوارتز هستند. براساس رده‌بندی‌های رودر [۴۴]، سیال‌های اولیه از نوع تک‌فاز مایع (L)، تک‌فاز گازی (V)، سه‌فازی مایع-گاز-جامد (L+V+S)، دوفاز گاز-مایع (V+L) و دوفازی مایع-گاز (L+V) هستند (شکل ۱۷). حضور سیال‌های درگیر غنی از بخار در این مقاطع همراه با میانبراهای سه‌فازی به نوعی گویای شرایط فشار کم و دمای بالا در زمان به دام افتادن آنهاست [۱۹]. همچنین، حضور همزمان نوع سیال غنی از مایع و غنی از گاز به فرآیند جوشش سیال در زمان تشکیل اشاره دارد [۴۸]. فرآیند جوشش اگرچه از مشخصه‌های بارز کانسارهای فراگرمایی با سولفیدشدگی پایین است، اما در برخی از کانسارهای فراگرمایی با سولفیدشدگی بالا نیز گزارش شده است [۴۹]. بیشترین دمای همگن‌شدگی در این نمونه‌ها حدود ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین آن حدود ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱۸ الف). در این بین، بیشترین فراوانی نمونه‌ها مربوط به دمای ۳۱۰-۳۲۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین حدود ۳۰۰°C است. بیشترین شوری

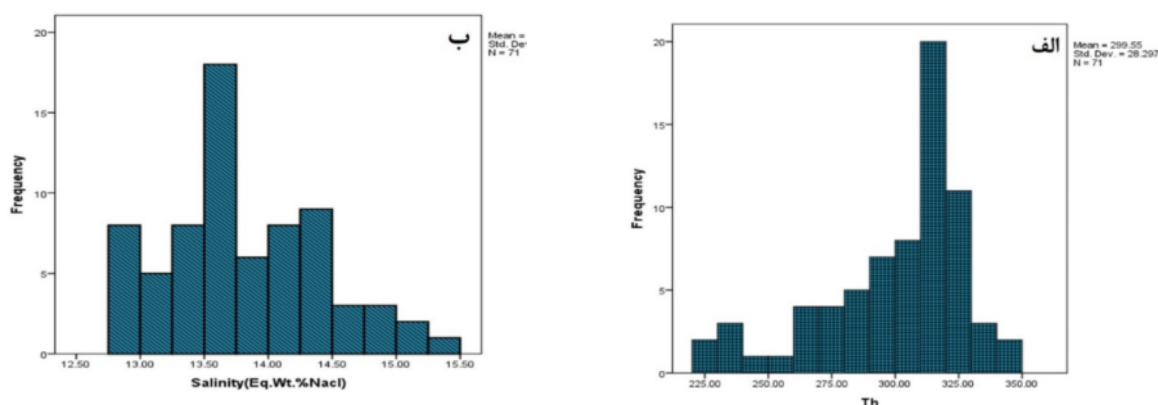
بر این اساس، اگرچه هر دو کانسار از نظر تشکیل فازهای اکسیدی و سولفیدی شباهت‌هایی نشان می‌دهند، ولی در نسبت و مقدار فازهای سولفیدی و اکسیدی تفاوت‌هایی دارند. برای مثال، فاز اکسیدی در کانسار زواریان نسبت به فاز سولفیدی گسترش بیشتری دارد. در مرحله اکسیدی، ایلمنیت، مگنتیت، همتیت، تورمالین و همچنین کوارتز و به مقدار بسیار کم کانه‌های سولفیدی در هر دو کانه‌زایی وجود دارند، ولی فراوانی بیشتر آن‌ها در کانسار زواریان اشاره به نزدیک‌تر بودن آن به توده و نیز همراهی مس در این مرحله دارد که در کانسار ساری‌گونی مقدار آن کمتر است. همچنین از نظر ارتباط زایشی کانه‌زایی در کانسار زواریان وابسته به توده گرانودیوریتی تا دیوریتی است، در صورتی‌که در کانسار ساری‌گونی، توده‌های نفوذی در ارتباط با کانه‌زایی بیشتر دیوریتی‌هایی هستند که در عمق کمتر با گنبد‌های داسیتی و ریولیتی جایگزین شده‌اند. از این رو نکته مهم در مورد این سامانه‌های کانه‌زایی ارتباط آنها با توده‌های نیمه‌عمیق (دیوریتی) است که با رگه‌های کانه‌دار یکی در سطح و دیگری در عمق قطع شده‌اند. کانه‌زایی در زواریان در ارتباط با رگه‌های سیلیسی جدا شده از توده ماگمایی است که در سطوح عمیق‌تری جایگیر شده و به اصطلاح کانه‌زایی فراگرمایی وابسته به توده پورفیری و فراگرمایی با سولفیدشدگی بالاست. این در حالی است که کانسار ساری‌گونی در ارتباط با توده نیمه‌عمیق کم عمق‌تر و متأثر از چرخش سیال‌های جوی و سامانه‌های فراگرمایی حدواسط است. به بیان بهتر، این دو کانه‌زایی پس از نفوذ توده نفوذی رخ داده‌اند، با این تفاوت که در کانسار زواریان به دلیل فاز کششی غالب و ترکیب توده، کانه‌زایی طلا-مس در خود توده و کنار آن وجود دارد، در صورتیکه در ساری‌گونی به دلیل توقف توده و جدایش بیشتر، با چرخش بیشتر سیال‌های جوی و نمود سامانه‌های فراگرمایی حدواسط در خارج از توده‌های نیمه‌عمیق و درون گنبد‌های ریولیتی و داسیتی مواجه هستیم. همچنین، تفاوت ترکیب توده در کانسار زواریان با کانسار ساری‌گونی می‌تواند دلیل تفاوت کانی‌شناسی در این کانسارها یعنی غلبه بیشتر مس (کانی‌های پیریت و کالکوپیریت) بر سرب و روی در زواریان نسبت به ساری‌گونی بوده باشد. البته، این امر به نوعی به عمق نیز اشاره دارد، به طوری که در حفاری‌های انجام شده در کانسار ساری‌گونی، با افزایش عمق مقدار مس بیشتر می‌شود. همچنین حضور گسترده دگرسانی

درگیر از رگه‌های کوارتز-سولفید-مگنتیت، رگه‌های کوارتز-تورمالین و رگه‌های کوارتز-پیریت-استیپنیت منطقه ساری-گونای [۱۹] دمای همگن‌شدگی ۲۴۶ تا ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد همچنین شوری ۴/۳۴ تا ۱/۴۶ درصد معادل وزنی نمک طعام را نشان می‌دهد [۱۹]. این نتایج به مقدار شوری کمتر سیال‌های کانه‌دار در کانه‌زایی ساری-گونای نسبت به زواریان و نقش بیشتر سیال‌های جوی در این کانه‌زایی اشاره دارد. بنابراین اگرچه با توجه به تفکیک گستره‌های سیال‌های گرمایی بر اساس دما و شوری، سیال‌های کانسار زواریان و ساری-گونای در گستره کانسارهای فراگرمایی قرار دارند، اما به دلیل اختلاف شوری این ذخائر از تفکیک برخوردار می‌باشند [۵۳]. به بیان بهتر، سیال‌های کانه‌دار در کانه‌زایی زواریان غلظت سیال ماگمایی بیشتری نسبت به ساری-گونای دارند و به سامانه‌های پورفیری نزدیک‌تر هستند.

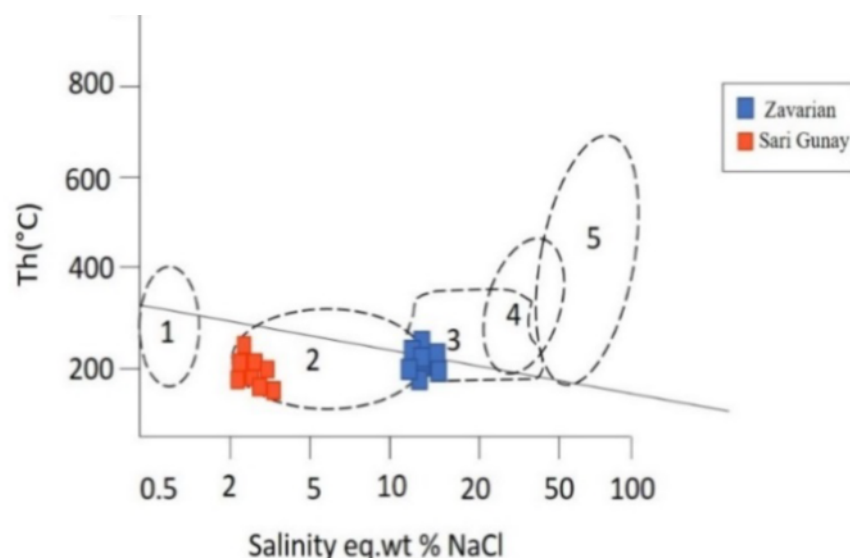
میانبارهای شامل فاز جامد (بلور هالیت) برپایه فرآیند انجماد و نقطه ذوب آخرین بلور یخ، با نرم افزار Flincor، ۱۲.۵-۱۵.۵ درصد وزنی نمک طعام محاسبه شد (شکل ۱۸ ب). بنابراین، در کانسار زواریان دمای همگن‌شدگی به نسبت بالا (220°C -۳۵۰) مقدار شوری متوسط (۱۲-۱۵ درصد) است. داده‌ها روندی از سیال با شوری و دمای بالاتر به سیالی با دمای پایین‌تر را نشان می‌دهند که به آمیختگی سیال‌های ماگمایی و سیال‌های جوی اشاره دارد [۵۰، ۵۱]، همچنین نتایج به دست آمده از تفکیک گستره‌های سیال‌های گرمایی بر اساس دمای همگن‌شدگی و شوری [۵۲]، این کانسار را در گستره کانسارهای فراگرمایی معرفی می‌نماید (شکل ۱۹). بنابراین کاهش دما و در پی آن کاهش فشار را می‌توان از مهم‌ترین سازوکارهای کاهش حلالیت کمپلکس‌ها و تهنشینی طلا در این کانه‌زایی در نظر گرفت [۴۸]. یافته‌ها با نتایج بررسی سیال‌های



شکل ۱۷ تصاویر میکروسکوپی از سیال‌های درگیر منطقه زواریان، الف) سیال‌های غنی از فاز بخار (V) و سیال‌های غنی از مایع (L)، ب) سیال‌های غنی از مایع L و سه فاز (L+V+S)، پ) سیال‌های درگیر ثانویه، ت) سیال‌های غنی از مایع (L) و سیال‌های غنی از فاز بخار (V) و دو فازی (L+V).



شکل ۱۸ الف) نمودار فراوانی دمای همگن شدگی و ب) نمودار مقدار شوری در منطقه زواریان



شکل ۱۹ نمودار دمای همگن شدگی - شوری سیال‌ها در سامانه‌های کانسارهای گرمایی در دو منطقه زواریان و ساری گونای [۵۲].

برداشت

سنگ‌های آتشفشانی ترشیری (نئوژن) میزبان ذخائر طلای فراگرمایی زواریان و ساری‌گونای، چون اغلب ذخائر فراگرمایی-پورفیری غرب کشور، از نظر زمین دینامیکی منطبق بر کرانه فعال قاره‌ای و بخش داخلی کوهزاد زاگرس در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر و پهنه سنندج- سیرجان هستند [۳]. عمده واحدهای رخنمون‌یافته در این مناطق از نظر محیط تشکیل، شامل سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی الیگومیوسن (معادل سازندهای قرمز زیرین، قم و قرمز بالائی) بوده که از نظر محیط رسوبگذاری، وابسته به حوضه‌های کم‌عمق درون‌قاره‌ای هستند. سنگ میزبان کانه‌زایی در آنها شامل مجموعه‌های آتشفشانی به سن میوسن پیشین تا میانی با ترکیب غالب حدواسط تا اسیدی

است. بررسی‌های ساختاری به نقش کلیدی گسل‌های راستگرد (پهنه برشی) در کنترل حوضه‌های رسوبی میوسن (سازند قم) و ایجاد شرایط لازم برای کشش‌های محلی و خروج فعالیت آتشفشانی در این نواحی اشاره دارد. ماهیت سنگ‌های آذرین منطقه زواریان و ساری‌گونای به ترتیب آهکی قلیایی و آهکی قلیایی با پتاسیم بالاست. این سنگ‌ها از نظر ترکیب دارای ماهیت آهکی قلیایی و بر اساس الگوی تغییرات عناصر کمیاب و خاکی نادر (غنی‌شدگی LREE, LILE نسبت به HREE, HSFE و ناهنجاری منفی Ti, Nb و ناهنجاری‌های مثبت Eu, Sr) دارای ویژگی ماگماهای وابسته به فروانش با مقادیر آلودگی پوسته‌ای متفاوت هستند آنها از نظر زمانی نیز با پس از برخورد همخوانی دارند. پردازش داده‌های ماهواره‌ای نشان

افزوده می‌شود، به طوری که ترکیب فعالیت ماگمایی از میوسن پیشین به میانی با جدایش یافتگی و قلیائیت بیشتر همراه است، این امر منجر به جایگیری آنها در سطوح کم عمق تر و در نتیجه درگیر شدن بیشتر سیال‌های جوی و گسترش دگرسانی در آنها شده است. به بیان بهتر، تشکیل ماگمایی فازهای ماگمایی میوسن پیشین و میانی در این مناطق در ارتباط با تشکیل پهنه‌های برشی راستگرد و ایجاد کشش‌های محلی در فازهای کوهزایی پس از برخورد است.

مراجع

- [1] Emami M. H., "Magmatism in Iran. Geological Survey and Mineral Exploration Organization", page 608(2000).
- [2] Alavi M., "Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations: Tectonophysics", v. 229 (1994) p. 211-239.
- [3] Heidari S. M., Mossavi Makooi S. A., Mirzakhani M., Rasoli F., Ghaderi M., Abadi A. R., "A review of tectonomagmatic evolution and gold metallogeny in the inner parts of Zagros orogeny: a tectonic model for the major gold deposits, western Iran", Eurasian Mining, 1 (2006) 3-20.
- [4] Ghasemi A., Talbot C.J., "A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran) ", Journal of Asian Earth Sciences 26 (2006) 683-693.
- [5] Richards J. P., Sholeh A., "The Tethyan tectonic history and Cu-Au metallogeny of Iran. Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt. Society of Economic Geologists I, Special Publication, 19 (2016) 193-212.
- [6] Yigit O., "Gold in Turkey-a missing link in Tethyan metallogeny", Ore Geology Reviews, v. 28, (2006) p. 47-179.
- [7] Alaei Mehabadi S., "Geological map 1: 100,000, Salafchegan", Geological Survey of Iran (2000).
- [8] Khannazer N.H., "Geological map 1: 100,000, Kuhin", Geological Survey of Iran (2015).
- [9] Stockli D.F., Hassanzadeh J., Stockli L.D., Axen G., Walker J.D., Dewane T.J., "Structural and geochronological evidence for oligo-miocene intra-arc low-angle detachment faulting in the Takab-Zanjan area, NW Iran", Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 36 (2004) n. 5, p. 319.
- [10] Moritz R., Ghazban F., Singer B.S., "Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan tectonic zone, Western Iran: A result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros Orogen": Economic Geology, v. 101 (2006) p. 1497-1524.

دهنده انواع دگرسانی گرمایی در ارتباط با توده‌های نیمه‌عمیق چون سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیک، پروپلیتیک و اکسیدهای آهن دارای منطقه‌بندی است. این دگرسانی‌ها، اغلب در راستای شکستگی‌ها با روند تقریبی شمال شرقی- جنوب غربی گسترش دارند، هرچند شدت آن‌ها پیرامون رگه‌های کانهدار بیشتر است. البته این دگرسانی‌ها در منطقه ساری‌گونی گسترش بیشتری، نسبت به منطقه زواریان دارند. نوع دگرسانی‌های گرمایی و پراکندگی آن به همراه توزیع رگه‌های سیلیسی کانهدار در کنار و درون توده‌های نیمه‌عمیق و نیز نوع توالی کانہ‌زایی با حضور مگنتیت، تورمالین (فاز اکسیدی) و سولفیدهایی چون کالکوپریت و پیریت (فاز سولفیدی) به نقش سیال‌های ماگمایی در تشکیل این کانہ‌زایی‌ها اشاره دارند. البته تمرکز بیشتر فازهای اکسیدی نشانگر نزدیک‌تر بودن به توده، نقش پررنگ‌تر سیال ماگمایی در تشکیل کانہ‌زایی و همراهی مس با کانہ‌زایی طلا در کانسار زواریان و بخش‌های عمیق در کانسار ساری‌گونی است. بنابراین، کانہ‌زایی زواریان در ارتباط با رگه‌های سیلیسی وابسته به توده ماگمایی جایگیر شده در عمق بیشتر انجام شده و به اصطلاح کانہ‌زایی طلا-مس فراگرمایی مربوط به توده با سولفیدشدگی بالاست، در صورتیکه کانسار ساری‌گونی در ارتباط با توده نیمه‌عمیق با عمق کمتر و متاثر از چرخش سیال‌های جوی و حضور کانہ‌های دما پائین چون رالگار و اریپمان در سامانه‌های فراگرمایی حدواسط است. بررسی سیال‌های درگیر از کوارتزهای کانهدار زواریان نشانگر شوری ۱۵-۱۲ درصد معادل وزنی NaCl است که نسبت به کانسار ساری‌گونی شوری بیشتری (۴/۳۴ - ۱/۴۶ درصد) دارد. بنابراین با توجه به وابستگی مجموعه آتشفشانی زواریان به میوسن پیشین و مجموعه ساری‌گونی به میوسن میانی، تشکیل سامانه ماگمایی در ارتباط با کمان پس از برخورد در این گستره زمانی و از نظر موقعیت مکانی از کمر بند ماگمایی ارومیه دختر به سمت پهنه سنندج سیرجان با فشردگی بیشتر و عملکرد بیشتر پهنه‌های برشی همراه است. به این ترتیب، در منطقه زواریان این مجموعه آتشفشانی با نماد آتشفشان چینه-ای تشکیل شده و توده‌های نفوذی با عمق بیشتر سامانه‌های فراگرمایی در قالب توده‌های با سولفیدشدگی بالا-پورفیری ظاهر یافته‌اند. این در حالی است که در ساری‌گونی، توده‌های نفوذی با جدایش بیشتر و ترکیب اسیدی منجر به تشکیل سامانه‌های فراگرمایی حدواسط شده‌اند. بنابراین از میوسن پیشین به سمت میوسن میانی، از کشش و بالآمدگی کاسته شده و بر نقش حرکت راستا لغز راستگرد در جایگیری توده‌ها

- [22] Moinevaziri H., *Volcanisme Tertiaire et Quaternaire en Iran. Thèse d'Etat, Paris-Sud Orsay*, 290 pp.
- [23] Hassanzadeh T., Heidari S.M., Qalamqash J., Mohebbi A., "Comparison of alteration areas in Sari Gunay and Zavarian epithermal gold deposits, by ASTER satellite image processing". Proceedings of the 38th Conference on Earth Sciences, Geological Survey and Mineral Exploration (2019).
- [24] Petersen U., Vidal C. E., "Magmatic and tectonic controls on the nature and distribution of copper deposits in Peru. Andean copper deposits: New discoveries, mineralization, styles and metallogeny: Society of Economic Geologists Special Publication, (5) (1996) 1-18.
- [25] Le Bas, M. J., Le Maitre R. W., Streckeisen A., Zanettin B., "A chemical classification of volcanic rocks based on total Alkali-Silica content": Journal of Petrology, v. 27 (1986) p. 745-750
- [26] Peccerillo A., Taylor S. R., "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology": 58 (1976) 63-81.
- [27] Bissig T., Clark A.H., Lee J.K.W., Quadf A.V., "Petrogenetic and metallogenetic responses to Miocene slab flattening: new constraints from the El Indio-Pascua Au-Ag-Cu belt, Chile/Argentina. Min Deposit, v. 38 (2003) p. 844-862.
- [28] Waight T.E., Weaver S.D., Muir R.J., "The Hohonu batholith the north Westland, New Zealand: granitoid compositions controlled by source H₂O contents and generated during tectonic transition", Contrib Mineral Petrol., v. 130, (1998) p. 225-239.
- [29] Nakamura N., "Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na, and K in carbonaceous and ordinary chondrites". Geochim. Acta, 38 (1974) 757- 775.
- [30] Lang J.R., Tittley S.R., "Isotopic and geochemical characteristics of Laramide magmatic systems in Arizona and implications for the genesis of porphyry copper deposits": Economic Geology, v. 93, (1998) p. 138-170.
- [31] Hanson G.N., "Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems", Annual Review of Earth Planetary Sciences, v. 8 (1980) p. 371-406.
- [32] Frey F.A., Chappell B.W., Roy S.D., "Fractionation of rare-earth elements in the Tuolumne intrusive series, Sierra Nevada batholith, California", Geology, v. 6, (1978) p. 239-242.
- [11] Echtler H., Mallavieller J., "Extentional Tectonics, basement uplift and Stephano-Permian collapse basin in a late Variscan metamorphic core complex (Montagne Noire, Suthern Massif Central)", Tectonophysics, v. 177 (1990) p. 125-138.
- [12] Allen M.B., Kheirkhah M., Emami M.H., Jones S.J., "Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone", Geophysical Journal International, v. 184, (2011) p. 555-574.
- [13] Morley C.K., Kongwung B., Julapour A., Abdolghafourian M., Hajian M., Waples D., Warren J., Otterdoom H., Srisuriyon K., Kazemi H., "Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran", The Central Basin in The Qom- saveh area. Geosphere, Volume 5 (2009) 4:325-362.
- [14] Emami M.H., "Géologie de la région de Qom-Aran (Iran): Contribution a l'étude dynamique et géochimique du volcanisme Tertiaire de l'Iran Central": Ph.D., Thèse, Univ., Grenoble, France, (1981) 489pp.
- [15] Roozbeh Kargar.s, Movahedi.M, "Gold Exploration Report in 1: 100000 Salafchegan Qom Zavarian Area", Geological Survey of Iran (2010).
- [16] Hart C.J.R., "reduced intrusion-related gold systems, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral deposits of Canada", A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny (2007).
- [17] Chiu H.Y., Chung S.L., Zarrinkoub M.H., Mohammadi S.S., Khatib M.M., Iizuka Y., "Zircon U-Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny", Lithos, 162, (2013) pp.70-87.
- [18] Ayati F., Yavuz F., Asadi H.H., Richards J.P., Jourdan F., "Petrology and geochemistry of calc-alkaline volcanic and subvolcanic rocks, Dalli porphyry copper-gold deposit, Markazi Province, Iran", International Geology Review, v. 55, (2013) p. 158-184.
- [19] Richards J.P., Wilkinson D., Ullrich T., "Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit, northwest Iran". Economic geology, 101 (2006) 1455-1496.
- [20] Wilkinson D., "the geological summary of the Sari Gunay gold project", Report of Zar Kuh Mining Company (2005).
- [21] Boccaletti M., Innoncenti F., Manetti P., Mazzuoli R., Motamed A., Paquare A., Radicati de Brozolo F., Amin Sobhani E., 'Neogene and Quaternary volcanism of the Bijar area (western Iran)', Bull. Volcanol, v. 40-42 (1976) p. 121-135.

- [43] Niroumand Sh., "Geochemical characteristics, cognitive mineralogy and genesis of Antimony Dashkasan deposit", Master Thesis, College of Science, Tarbiat Modares University (1999).
- [44] Roedder E., "Fluid Inclusions". Rev. Mineralogy, Mineral. Soc. Am., (1984) p. 12-644.
- [45] Wilkinson J.J., "Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits". Elsevier, Lithos. 55 (2001) pp. 229-272.
- [46] Walshe J. L., Hobbs B. E., "hydrothermal systems, giant ore deposits and a new paradigm for predictive mineral exploration". CSIRO Exploration and Mining Research Reviews 30-31(1999).
- [47] Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H., "A practical guide to fluid inclusion studies", Blackie (1985).
- [48] Pirajno F., "Hydrothermal processes associated with meteorite impacts. In Hydrothermal processes and mineral systems", (pp. 1097-1130). Springer, Dordrecht (2009).
- [49] Cooke D.R., Simmons S.F., "Characteristics and genesis of epithermal gold deposits: Society of Economic Geologists", Reviews in Economic Geology, v. 13, (2000) p. 221-244.
- [50] Vargas R., Gustafson L., Vukasovic M., Tidy E., Skewes M.A., "Ore breccias in the Rio Blanco-Los Bronces porphyry copper deposit, Chile", In: Skinner B (ed) Geology and ore deposits of the Central Andes. Soc Econ Geol Spec Publ., v. 7, (1999) p. 281-297.
- [51] Zheng Y., Frantz J.D., "Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions", Chem Geol, v. 64, (1987) p. 335-350.
- [52] Large R., Huston D., McGoldrich P., McArthur G., Ruxton P., "Gold distribution and genesis in Paleozoic volcanogenic massive sulphide systems", In: Bicentennial Gold 88. Geol. Soc. Aust. Abst. Ser., v. 22 (1988) p. 121-126.
- [53] Sillitoe R.H., "Epithermal models: Genetic types, geometrical controls, and shallow features". Geological Association of Canada special Paper. 40, (1993) p. 403- 417.
- [33] Rollinson H. R., "Using geochemical data: evaluation", Presentation, Interpretation, 796 (1993) 317-343.
- [34] Sun S.S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins", vol. 42. Geological Society of London, pp.313-345 Special Publication (1989).
- [35] Thuy N.T.B., Satir M., Siebel W., Vennemann T., Van Long T., "Geochemical and isotopic constraints on the petrogenesis of granitoids from the Dalat zone, southern Vietnam. Journal of Asian Earth Sciences", 23(4) (1989) pp.467-482.
- [36] Glennie K.W., "Cretaceous tectonic evolution of Arabia's eastern plate margin: A tale of two oceans: Society for Sedimentary Geology (SEPM) Special Publication". 69 (2000) p. 9-20.
- [37] Frey F.A., Chappell B.W., Roy S.D., "Fractionation of rare-earth elements in the Tuolumne Intrusive Series, Sierra Nevada batholith, California". Geology 6 (1978) 239-242.
- [38] Gorton M.P., Schandl E.S., "From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks". The Canadian Mineralogist, 38(5) (2000) pp.1065-1073.
- [39] Pearce J.A., Peate D.W., "Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas". Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 23 (1995) 251-285.
- [40] Pirouz M., Avouac Jean-Philippe, Hassanzadeh Jamshid, Kirschvink Joseph L., Bahroudi Abbas, "Early Neogene foreland of the Zagros, implications for the initial closure of the Neo-Tethys and kinematics of crustal shortening". Earth Planet. Sci. Lett. 477 (2017) 168-182.
- [41] Zahmatkesh A., Heidari S.M., "Geology and mineralization of gold (copper) Zavarian (Qom-Salafchegan)", Quarterly Journal of Earth Sciences, Vol. 117 (2020) pp. 39-50.
- [42] Abdi Bastami S., Rezaei B., Pazooki A., Amini A., "Preliminary Cyanidation of Gold Ore from Zavarian", International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), V. (4) (2015) P. 191-194.