

دگرشکلی، دگرسانی و مطالعه میانبارهای سیال در کانسار طلای کوهزایی میرگه‌نقشینه، شمال باختر پهنه سندج - سیرجان

حسینعلی تاج‌الدین^۱، ابراهیم راستاد^۱، عبدالمجید یعقوب‌پور^۲ و محمد محجل^۱

^۱گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

کانسار طلای میرگه‌نقشینه در ۴۳ کیلومتری باختر سقز، در شمال باختر پهنه دگرگونی سندج - سیرجان واقع است. واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در محدوده کانسار، مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی دگرگون شده متعلق به پرکامبرین شامل شیست، متاسنداستون، اسلیت و متاندزیت هستند که توسط توده‌های گرانیتوئیدی پرکامبرین قطع شده‌اند. بخش اصلی کانی‌سازی طلا، در امتداد یک پهنه بُرشی با راستای شمال باختر تشکیل شده است. بخش‌های پرعیار کانسنگ مربوط به بخش‌های شدیداً دگرشکل و دگرسان شده از پهنه بُرشی هستند که واجد فابریک‌های میلوئیتی - اولترامیلوئیتی بوده و با مجموعه‌ای از کانی‌های دگرسانی کوارتز، سریست - موسکوویت و سولفید همراهند. کانی‌شناسی کانسنگ ساده و کانی‌های پیریت، آرسنوپیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، گالن و الکتروم را شامل می‌شود. الکتروم در اندازه‌های کوچک‌تر از ۵ تا ۱۴۰ میکرون، به‌صورت آزاد در کوارتز و نیز به‌صورت میانبار و رگچه‌ای در پیریت مشاهده شده‌اند. بیشینه مقدار طلا و نقره در کانسنگ‌های طلادار کانسار میرگه‌نقشینه به ترتیب ۶۴/۳ (میانگین ۲/۵۲) و ۹/۹ (میانگین ۰/۶۵) گرم در تن گرم در اندازه‌گیری شده است. مطالعه نتایج آنالیز نمونه‌های کانسنگی حاکی از آن است که افزون بر طلا و نقره، عناصر آرسنیک (تا ۲۰۹۶ گرم در تن)، سرب (تا ۵۰۶ گرم در تن)، روی (تا ۳۵۴ گرم در تن) و مس (تا ۲۴۴ گرم در تن) در کانسنگ‌های طلادار، ناهنجاری نشان می‌دهند. مطالعه میانبارهای سیال بر روی کوارتزهای طلادار، بیانگر دمای همگن‌شدگی سیالات کانه‌ساز در بازه ۱۵۸ تا ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۳/۳ تا ۱۴/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است. این کانسار از نظر ویژگی‌های زمین‌شناختی و کانی‌سازی بیشترین شباهت را با ذخایر طلای کوهزایی اَبی‌زونال نشان می‌دهد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

کانسار طلای میرگه‌نقشینه

کوهزایی

ابی‌زونال

میانبارهای سیال

پهنه سندج - سیرجان

۱- پیش‌نوشتار

کمربند کوهزایی زاگرس با روند شمال باختر - جنوب خاور، بخشی از سیستم کوهزایی آلپ - هیمالیا محسوب می‌شود که پیامد ناپدید شدن اقیانوس نئوتتیس (Stampfli and Borel, 2002; Omrani, 2008) در اثر همگرایی بین صفحات اوراسیا و آفریقای - عربی در زمان‌های کرتاسه و تشریری است (Berberian and King, 1981; Mohajjel et al., 2003; Agard et al., 2005, 2011; Ghasemi and Talbot, 2006). پهنه دگرگونی سندج - سیرجان، به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا، محیط مناسبی برای رخداد ذخایر طلا است. حضور مجموعه کانسارها و رخدادهای طلای مونه (Moritz et al., 2006) و چاه‌باغ (Kohestani et al., 2014) در مرکز این پهنه، رخداد طلای زرتشت (علی‌یاری، ۱۳۹۰) در جنوب خاور و کانه‌زایی‌های طلای منطقه سقز - سردشت (تاج‌الدین، ۱۳۹۰؛ Tajeddin et al., 2019) در شمال باختر این پهنه، تأییدی بر این باور است.

مطالعات اکتشافی که در دو دهه اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در شمال‌باختر پهنه سندج - سیرجان (استان‌های کردستان و آذربایجان‌باختری) به انجام رسیده است منجر به اکتشاف چند ذخیره طلا در

محدوده سقز - پیرانشهر شده است. از مهمترین این ذخایر، کانسارها و رخدادهای طلای قلقله، قیقلوچه، کرویان، خراپه، میرگه‌نقشینه، زاوه کوه و باریکا را می‌توان نام برد. بر اساس مطالعات انجام شده پیشین، موقعیت کانی‌سازی طلا در کانسار طلای قلقله (علی‌یاری ۱۳۸۵؛ Aliyari et al., 2007, 2009 and 2012؛ Heidari et al., 2016)، کرویان (حیدری و همکاران، ۱۳۸۱؛ حیدری، ۱۳۸۳)، خراپه - زیتون‌جیان (Niroomand et al., 2011؛ Asadi and Niroomand, 2018)، کسنزان (نیرومند و همکاران، ۱۳۹۹الف) و قیقلوچه (نیرومند و همکاران، ۱۳۹۹ب) توسط پهنه‌های برشی کنترل شده و ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی آنها، با شاخصه‌های شناخته شده برای کانسارهای طلای کوهزایی، به‌ویژه در کمربندهای فانروزویک، بیشترین مطابقت را نشان می‌دهند (تاج‌الدین، ۱۳۹۰).

کانسار طلای میرگه‌نقشینه، در ۴۳ کیلومتری باختر سقز (استان کردستان) و در شمال‌باختر پهنه سندج - سیرجان و در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی مهاباد (Eftekhari-Nezhad, 1973) ورقه یک‌صد هزارم زمین‌شناسی آلوت (عمرانی و خبازنیا، ۱۳۸۲) قرار دارد. فعالیت‌های اکتشافی در این محدوده، که

(عمرانی و خبازنیا، ۱۳۸۲)، سنگ‌های رخنمون‌یافته در محدوده میرگه‌نقشین، مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده متعلق به پرکامبرین (Eftekhar-Nezhad, 1973 and 2004) شامل شیست، فیلیت و اسلیت هستند که توسط توده‌های گرانیتوئیدی منسوب به پرکامبرین قطع شده‌اند (شکل ۱). حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2008) سن توده نفوذی گرانیت - گرانودیوریتی شیخ‌چوپان، را 551 ± 25 میلیون سال تعیین کرده‌اند. رشیدزاد و همکاران (۱۳۹۲) ترکیب این توده را مونزوگرانیت تا گرانودیوریت با مشخصات ماگمایی کالک‌آلکالین تا تحولی، متآلومین و از تیپ I معرفی کردند.

براساس محجل و همکاران (Mohajjel et al., 2003)، فرورائش پوسته اقیانوسی تتیس از زمان ژوراسیک بالایی تا کرتاسه موجب دگرگونی، دگرشکلی و دگرشیبی در پهنه سندانج- سیرجان شده است. همچنین با توجه به شواهد مربوط به دگرگونی سنگ‌های منطقه (Eftekhar-Nezhad, 2004)، دگرشکلی در توده‌های نفوذی منطقه، از نوع شکل‌پذیر بوده و با فاز کوهزایی سیمیرین پیشین همخوانی دارد (رشیدزاد عمران و همکاران، ۱۳۹۲).

واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در مقیاس نقشه ۱:۱۰۰۰ از محدوده کانسار (شکل ۲)، از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده شامل میکاشیست (واحد PC^{sch}) و متاسنداستون (متاگزیوک) با میان‌لایه‌هایی از اسلیت و متآندزیت (واحد PC^{ms}) تشکیل یافته که توسط یک پهنه برشی با راستای شمال باختر- جنوب خاور بریده شده است (شکل ۲). به‌طور خلاصه زمین‌شناسی واحدهای سنگی در محدوده کانسار میرگه‌نقشین به شرح زیر است:

- واحد PC^{sch} : این واحد اساساً از کلریت‌شیست‌های به رنگ رخنمون سبز روشن تا خاکستری (شکل ۳ - a) همراه با میان‌لایه‌هایی از گدازه با ترکیب حدواسط (متآندزیت) تشکیل شده است. بخش‌های میلوئیتی و دگرسان شده واحد PC^{sch} ، میزبان اصلی کانسنگ‌های طلادار بوده و بخش‌های دگرسان نشده، کمربالای کانی‌سازی را تشکیل داده است. بر اساس مطالعه مقاطع میکروسکوپی، سنگ‌شناسی چیره در این واحد، کلریت شیست است که گاه به سریست شیست می‌گراید. تشکیل‌دهنده‌های اصلی شیست‌های یادشده، پلاژیوکلاز، کوارتز، کانی‌های فیلسیلیکاتی (شامل سریست، موسکوویت و کلریت) و کانی‌های مات هستند (شکل ۳ - c). زمینه دربرگیرنده پورفایروبلست‌ها (پلاژیوکلاز و کوارتز) از کوارتز و فلدسپار با ابعاد کریپتومیکروکریستالین و نیز کانی‌های فیلسیلیکاتی (سریست، موسکوویت و کلریت) تشکیل شده است. نوارهای ممتد و تاب‌دار سریست (و موسکوویت) به همراه تیغک‌های ظریف کلریت، که از جهت‌یافتگی عمومی برگوارگی تبعیت می‌کنند، پورفایروبلست‌ها را دربر گرفته‌اند. کوارتزها با خاموشی موجی، بیشتر به‌صورت تجمعات عدسی شکل با تبلور دوباره دیده می‌شوند.

- واحد PC^{ms} : این واحد از متاسنداستون با رنگ خاکستری تا قهوه‌ای روشن (شکل ۳ - c، b)، همراه با میان‌لایه‌هایی از اسلیت و متاولکانیک (گدازه آندزیتی و توف) تشکیل است. بخش‌های میلوئیتی و دگرسان شده واحد PC^{ms} (شکل ۳ - c)، میزبان بخشی از کانسنگ‌های طلادار بوده و بخش‌های دگرسان نشده، در کمربالای پهنه برشی میزبان کانی‌سازی رخنمون دارد. این واحد بسته به شدت عملکرد پهنه برشی، درجات متفاوتی از دگرشکلی را در مقیاس‌های رخنمون، نمونه دستی و میکروسکوپی نشان می‌دهد. در مقاطع میکروسکوپی، درشت‌بلورهای کوارتز و پلاژیوکلاز، پورفایروبلست‌هایی هستند که در زمینه‌ای از ریزبلورهای کوارتز، فلدسپار، سریست، کربنات و کلریت قرار دارند (شکل ۳ - d). تحت تأثیر فشارهای مکانیکی، کوارتزها تبلور دوباره پیدا کرده و خاموشی موجی نشان می‌دهند و ماکل‌های پلاژیوکلاز هم دچار خمیدگی شده‌اند. متاسنداستون‌های واحد PC^{ms} میان‌لایه‌هایی از گدازه آندزیتی را نیز دربردارد.

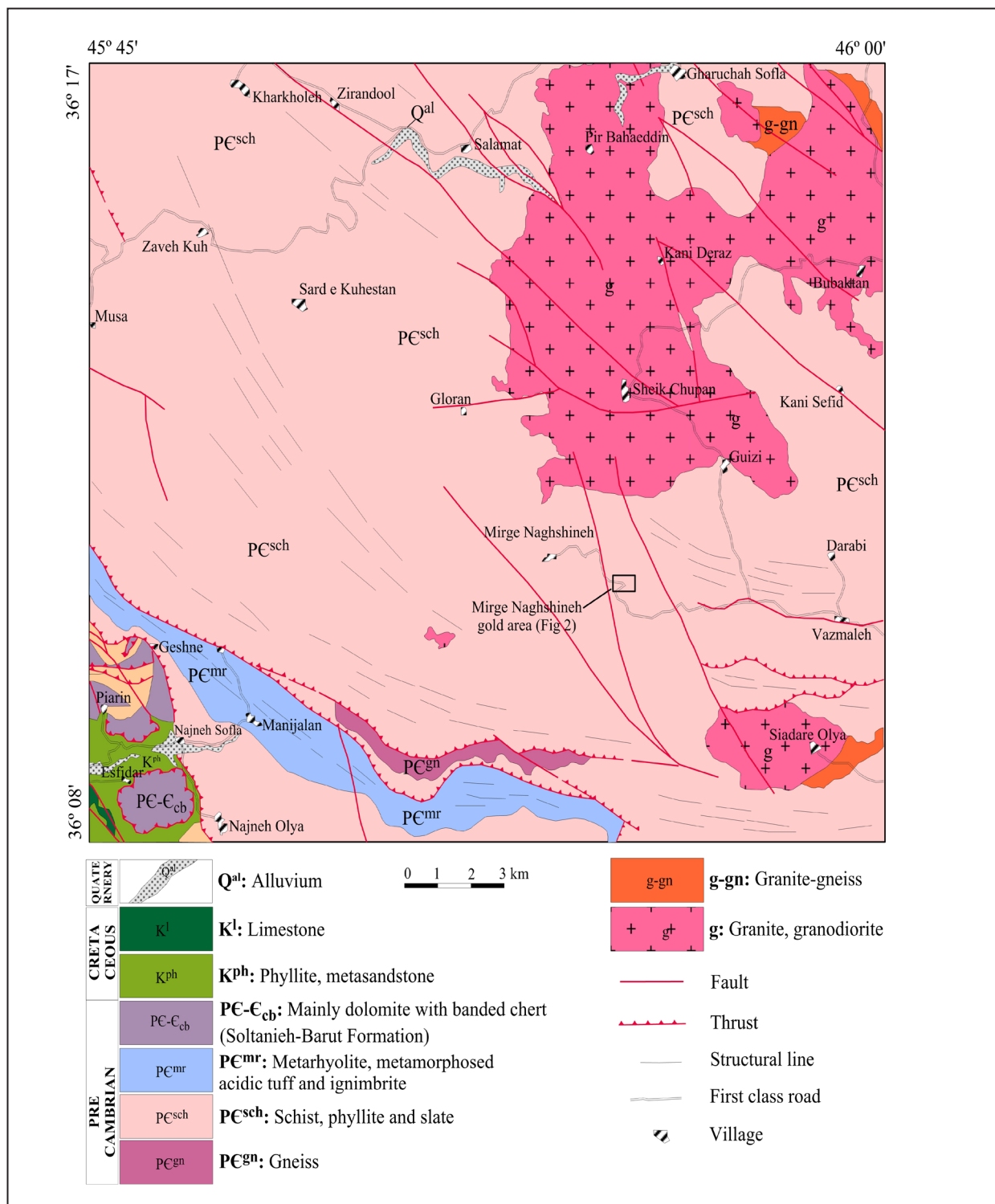
در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده، شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰، حفر ترانشه و گمانه‌های مغزه‌گیری را شامل می‌شود. در پژوهش حاضر، ویژگی‌های کانی‌شناسی، دگرشکلی، دگرسانی و مطالعه میانبارهای سیال در کانسار طلای میرگه‌نقشین مطالعه شده و با توجه به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌ساز، چگونگی نهشت کانسنگ و تیپ کانی‌سازی مشخص گردیده است. بدیهی است که نتایج مطالعه این کانسار می‌تواند برای اکتشاف این نوع ذخایر، در بخش‌هایی از شمال باختر پهنه سندانج- سیرجان که شرایط زمین‌شناسی مشابهی دارند، مورد استفاده قرار گیرد.

۲- روش مطالعه

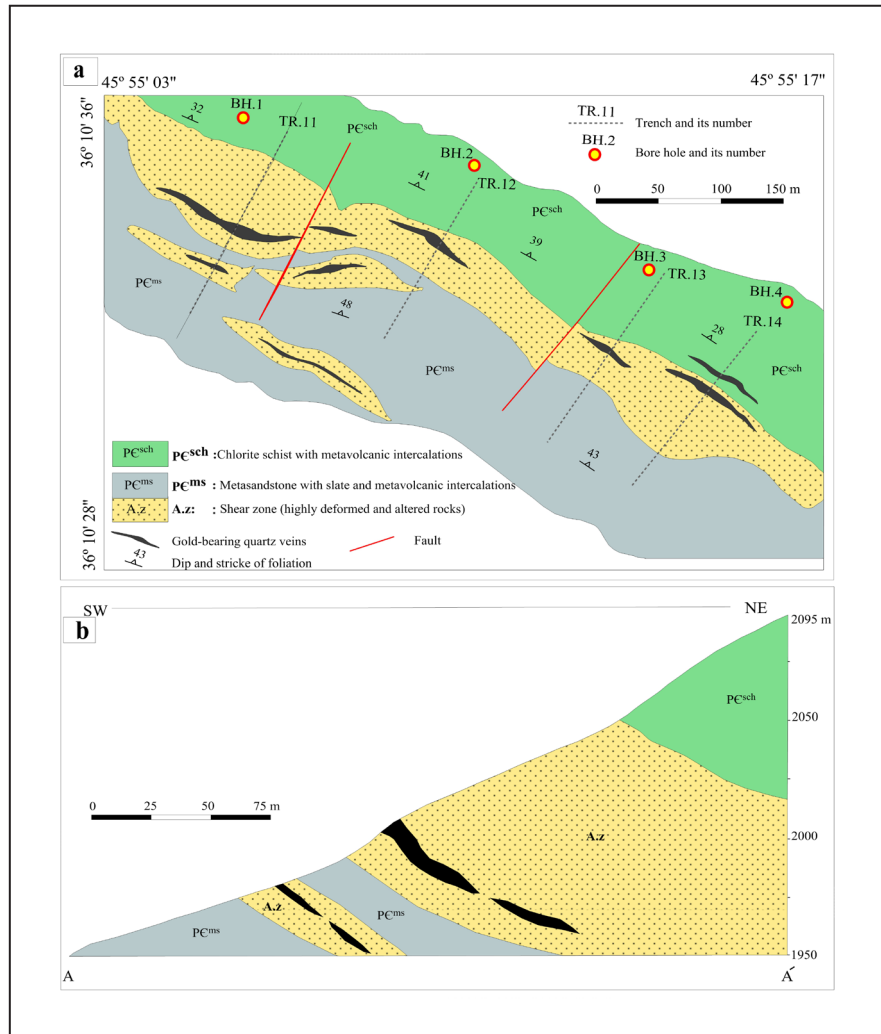
این پژوهش شامل دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی است. مطالعات صحرایی تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰، مطالعه پهنه‌های کانی‌سازی و ساخت و بافت کانسنگ‌ها را شامل می‌شود. در این مرحله همزمان با تهیه نقشه زمین‌شناسی، بالغ بر ۷۰ نمونه سنگی از رخنمون‌ها و ترانشه‌ها برداشت و به آزمایشگاه‌های مربوطه ارسال شد. در مرحله مطالعات آزمایشگاهی، پس از بررسی‌های مقدماتی، از میان نمونه‌های برداشت‌شده، تعداد ۱۴ مقطع نازک، ۲۸ مقطع نازک- صیقلی و ۲ مقطع دو بر صیقلی تهیه و به‌منظور مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری، ساخت، بافت و میانبارهای سیال مطالعه شدند. در مطالعات اکتشافی (تفصیلی) انجام شده در محدوده میرگه‌نقشین، ۲۵۲۵ نمونه سنگی از ترانشه‌ها و مغزه‌های حفاری برداشت و با استفاده از روش Fire Assay (برای طلا) و ICP-OES (برای دیگر عناصر) در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آنالیز شدند (شرکت توسعه علوم زمین، ۱۳۹۳). با توجه به اینکه در محاسبه ذخیره کانسار، کانسنگ‌های با مقادیر طلای بالاتر از ۱۰۰ میلی گرم در تن در نظر گرفته شدند و نیز در عمده نمونه‌های با محتوی طلای کمتر از این مقدار، فراوانی عناصر فلزی (Zn و Ag, Au, As, Bi, Cu, Mo, Pb, Sb, W) پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه آنالیزی بوده است؛ از این رو در این پژوهش نمونه‌های با مقادیر ناهنجار طلا، که از ترانشه‌ها و مغزه‌های حفاری گرفته شدند، برای مطالعات زمین‌شیمی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج داده‌های زمین‌شیمیایی با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مطالعات میانبارهای سیال بر روی ۲ نمونه از کانسنگ‌های کوارتزی طلادار انجام شد. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی با استفاده از دستگاه میانبار سیال مدل Linkam THMSG600 متصل به میکروسکوپ ZEISS و مجهز به کنترل‌کننده حرارتی TMS94 و سردکننده LNP در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شده است. دامنه حرارتی دستگاه، ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی گراد است. کالیبراسیون دستگاه در مرحله گرمایش با دقت ± 0.6 درجه است که با نیرتات سزیم با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه سانتی گراد و در مرحله سرمایش با دقت ± 0.2 درجه سانتی گراد و با ماده استاندارد ان‌هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی گراد انجام شد. میزان شوری به‌صورت معادل درصد وزنی نمک طعام (wt. % NaCl) و از طریق دمای ذوب آخرین قطعه یخ (Tm-ice) با استفاده از فرمول ارائه‌شده توسط هال و همکاران (Hall et al., 1988) و مقایسه با روش استرنز و همکاران (Stern et al., 1988) محاسبه شده است.

۳- زمین‌شناسی محدوده معدنی

محدوده کانسار طلای میرگه‌نقشین، به لحاظ تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختمانی (Stocklin, 1968; Alavi, 1994; Mohajjel et al., 2003)، در شمال باختر پهنه دگرگونی سندانج - سیرجان، که خود بخشی از کوهزاد زاگرس به شمار می‌آید، واقع است. براساس نقشه زمین‌شناسی ورقه یکصد هزارم آلوت



شکل ۱- زمین‌شناسی محدوده طلای میرگه-نقشین (براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آلود؛ عمرانی و خبازنیا، ۱۳۸۲). موقعیت کانسار طلای میرگه-نقشین با مستطیل نشان داده شده است. حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2008) سن توده نفوذی گرانیت - گرانودیوریتی شیخ‌چوپان (توده اصلی در شمال‌خاور نقشه)، را ۵۵۱±۲۵ میلیون سال تعیین کرده‌اند.



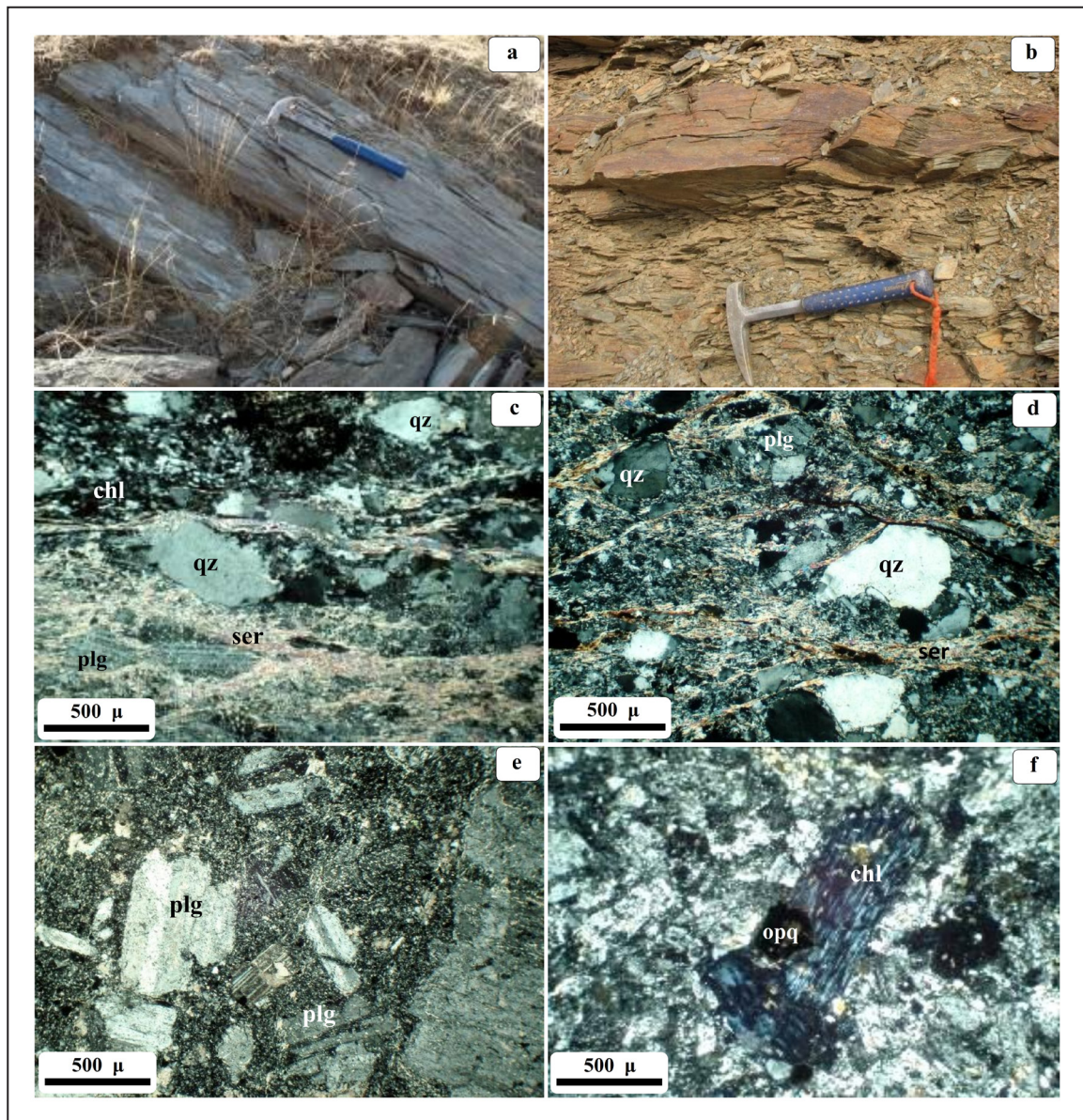
شکل ۲- (a) نقشه زمین‌شناسی محدوده از کانسار طلای میرگه نقشینه در مقیاس ۱:۱۰۰۰ (b) مقطع زمین‌شناسی از محدوده کانسار. موقعیت نیم‌رخ زمین‌شناسی A-A' بر ترائشه TR-11 منطبق شده است.

میان‌لایه‌های آتشفشانی، بیشتر از نوع گدازه‌ای با ترکیب غالب آندزیت و کمتر توفی هستند که در رخساره شیبست سبز دگرگون شده‌اند. متآندزیت‌ها با رنگ سبز روشن تا خاکستری رخنمون داشته و در نمونه دستی، بافت پورفیری نشان می‌دهند. بررسی میکروسکوپی نمونه‌های برداشت شده از میان‌لایه‌های گدازه‌ای، بافت اولیه سنگ را پورفیریتیک نشان می‌دهد که در آن درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک در زمینه شیشه‌ای تجدید تبلور یافته -کریپتوکریستالین از کانی‌های فلسیک پراکنده‌اند (شکل ۳- c). در مقاطع میکروسکوپی مطالعه شده کانی‌های پلاژیوکلاز و نیز زمینه شیشه‌ای سنگ، کم و بیش به سرسیت، کلسیت همراه با مقادیر جزئی کلریت و اپیدوت دگرسان شده‌اند. همچنین کانی‌های مافیک تماماً به کلریت و مقادیر جزئی اپیدوت تبدیل شده و اثری از آنها باقی نمانده است ولی بر اساس شکل کانی‌های دگرسان شده، هورنبلند اصلی‌ترین کانی مافیک در سنگ بوده است (شکل ۳- f).

توده نفوذی گرانودیوریت- کوارتز مونزونیتی شیخ‌چوپان، را 551 ± 25 میلیون سال تعیین کرده‌اند. با توجه به اینکه پهنه بُرشی میرگه نقشینه میزبان کانی‌سازی طلا است و توده گرانیتویدی رخنمون یافته در خاور محدوده میرگه نقشینه، خود توسط برگوارگی‌های میلویتی (هم‌ارز با برگوارگی‌های رخ داده در پهنه بُرشی میرگه نقشینه) قطع شده است، از این رو پهنه بُرشی میرگه نقشینه و متعاقب آن کانی‌سازی طلا، بعد از جایگیری توده گرانیتویدی رخ داده‌اند.

– زون دگرشکل و دگرسان شده (Az): پهنه بُرشی میزبان کانسنگ‌های طلا در محدوده کانسار میرگه نقشینه، پهنه‌ای دگرشکل و دگرسان شده است که به واسطه توسعه فابریک‌های میلویتی- اولترامیلونیتی و نیز تغییر رنگ ظاهری حاصل از عملکرد سیالات گرمایی، از سنگ‌های میزبان فاقد کانی‌سازی متمایز می‌شود. این پهنه بیشتر در همبری واحدهای میکاشیست (PC^{sch}) و متاسنداستون- متآندزیت (PC^{ms}) رخ داده است. دگرسانی‌های گرمایی در محدوده کانسار میرگه نقشینه، که رگه‌های کوارتزی طلادار را دربر دارند، در امتداد پهنه بُرشی (shear zone) گسترش داشته و با رنگ قهوه‌ای روشن تا آجری برونزد دارند. در بیشتر بخش‌های پهنه بُرشی، کوارتز و سرسیت از کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده مناطق دگرشکل و دگرسان شده هستند.

– گرانیتوید (میلونیتی): در ۱ کیلومتری خاور پهنه بُرشی میرگه نقشینه، یک توده گرانیتویدی میلویتی با رنگ خاکستری تا سبز روشن برونزد دارد. در مقیاس نمونه دستی، توده یادشده نسبتاً دانه درشت بوده و در آن برگوارگی میلویتی به‌خوبی دیده می‌شود. به نظر می‌رسد که گرانیتوید یادشده، به لحاظ سنگ‌شناختی و سن جایگیری، هم‌ارز توده نفوذی گرانودیوریت- کوارتز مونزونیتی شیخ‌چوپان است، که در شمال محدوده میرگه نقشینه، در دگرگونه‌های پرکامبرین (واحد



شکل ۳- تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحدهای سنگی در محدوده کانسار طلای میرگه‌نقشینه. (a) نمایی از رخنمون واحد کلریت شیستی با برگوارگی واضح میلوینی؛ (b) نمایی از واحد متاسنداستون که در اثر عملکرد پهنه‌برشی برگوارگی میلوینی پیدا کرده است؛ (c) مقطع میکروسکوپی از نمونه کلریت شیستی، که در آن نوارهای سریستی و کلریتی به موازات برگوارگی چیره میلوینی- اولترامیلوینی جهت یافته شدند. در سنگ، پورفیروکلاست‌های کوارتز و پلاژیوکلاز را دربر گرفته‌اند؛ (d) تصویر میکروسکوپی از واحد متاسنداستون که در آن پورفیروکلاست‌های کوارتز و پلاژیوکلاز توسط کانی‌های ریز زمینه و رشته‌های سریستی دربر گرفته شدند؛ (e) تصویر میکروسکوپی از گدازه متاندزیتی که در آن فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه‌ای ریزبلور و کریپتوکریستالین حاصل از تبلور دوباره شیشه، پراکنده‌اند؛ (f) تصویر میکروسکوپی دیگری از گدازه متاندزیتی که در آن فنوکریست هورنبلند (۹) توسط کلریت و کانی مات جانشین شده است. تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری با نیکول‌های متقاطع (XPL) برداشت شدند. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. plg: پلاژیوکلاز، opq: کانی‌های مات، py: پیریت، qz: کوارتز و ser: سریست.

۴- کانی‌سازی

براساس مطالعات صحرایی و نتایج آنالیز ژئوشیمیایی، کانی‌سازی طلا در محدوده میرگه‌نقشینه در امتداد یک پهنه‌برشی با راستای شمال باختر- جنوب خاور و شیب ۲۰ تا ۵۵ درجه به سمت شمال- شمال خاور رخ داده است (شکل ۲). کانسنگ‌های طلا دار، که بیشتر رگه‌های کوارتزی در ستبراهای سانتی‌متری تا ۱/۵ متری را شامل می‌شوند (شکل ۴)، توسط دگرسانی‌های سیلیسی، کوارتز- سریست و سریست- کوارتز احاطه شده‌اند. بخش اصلی کانسنگ طلا در بخش میانی این پهنه‌برشی و به صورت مجموعه‌ای از رگه و رگچه‌های کوارتزی و زون‌های دگرسانی اطراف آنها در طول حدود ۱۵۰ و ستبرای حداکثر ۳۰ متر برونزد دارد. بیشینه مقدار

طلا و نقره در ترانشه‌های حفر شده بر روی زون کانی‌سازی، به ترتیب ۶۴/۳ و ۹/۹ گرم در تن اندازه‌گیری شده است. شرکت توسعه علوم زمین (۱۳۹۳) ذخیره طلای این کانسار را ۶۵۰۰۰ تن کانسنگ با عیار میانگین ۲/۵۲ گرم در تن طلا ارزیابی کرده است که معادل ۱۶۲/۵ کیلوگرم طلا است.

۵- دگرشکلی و دگرسانی

پهنه‌برشی میزبان کانسنگ‌های طلا در محدوده کانسار میرگه‌نقشینه، پهنه‌ای با استرین بالا (میلوینیت تا اولترامیلوینیت) و درجه دگرگونی پایین (رخساره شیست سبز) ارزیابی

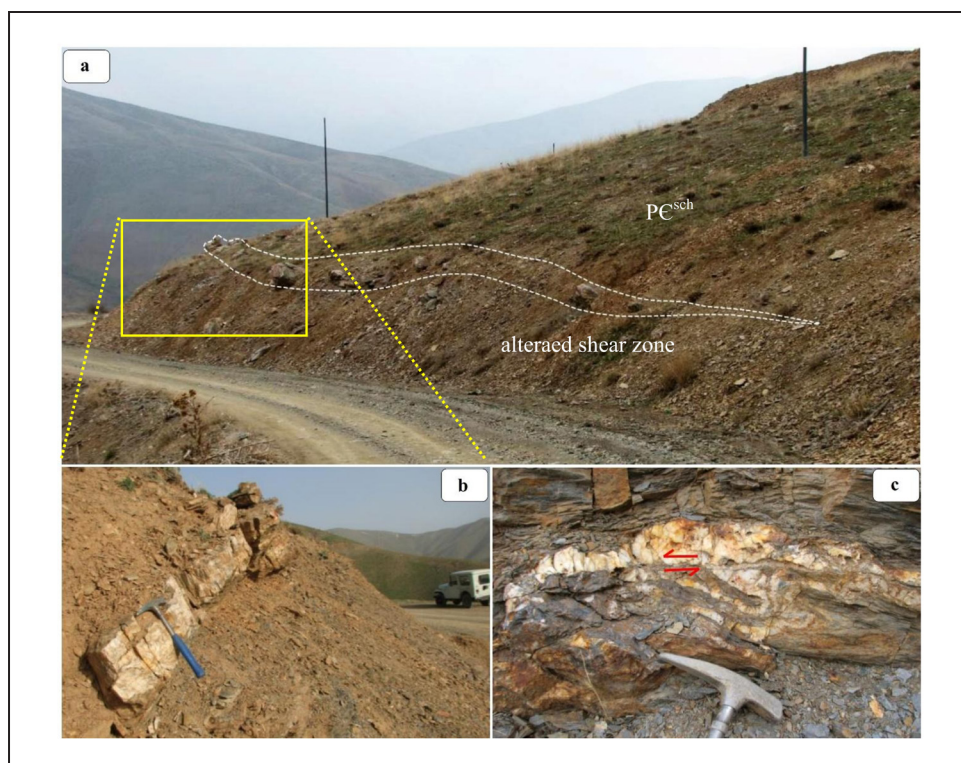
به صورت تیغک‌ها و یا نوارهای طولیل شده و تاب‌دار، پورفیروکلاست‌های کوارتز و پلاژیوکلاز را دور زده و در راستای برگوارگی میلونیتی جهت یافته‌اند (شکل‌های ۵-ا و ۵-ب). در این نوع دگرسانی، سریست‌ها و کوارتزهای حاصل از دگرسانی هم‌رشدی نشان می‌دهند و بخشی از آنها در پیرامون کانی‌های پورفیروکلاست و نیز پیریت‌ها و در جهت عمود بر راستای بیشترین محور تنش، به صورت سایه‌واتنشی (Strain shadow) و حاشیه‌های کرنش (strain fringes) دیده می‌شوند (شکل ۵-ج). مقدار طلا در دگرسانی‌های سریست-کوارتز در مقایسه با رگه‌های سیلیسی به شدت افت کرده و معمولاً کمتر از ۱۰۰ میلی گرم در تن است. این کاهش عیار نشان می‌دهد که سیال گرمابی کانه‌دار، بیشتر طلا را در رگه و رگچه‌های سیلیسی و کمتر در سنگ میزبان دگرسان شده نهشته ساخته‌اند.

دگرسانی گرمابی سولفیدی، به صورت کانی‌های سولفیدی (عمدتاً پیریت) با فراوانی معمولاً کمتر از دهم درصد، در کانسنگ‌های سیلیسی طلادار دیده شده است. کانی‌های سولفیدی (عمدتاً پیریت) به صورت پراکنده فضاهای خالی و در همراهی با رگه و رگچه‌های کوارتزی دیده شده و بخش دیگر نیز در همراهی با دگرسانی سیلیسی سنگ میزبان دگرشکل و دگرسان شده رخداد دارند (شکل‌های ۵-د و ۵-ه). در رخنمون‌های سطحی، کانی‌های سولفیدی به طور بخشی تا کامل اکسایش یافته و به ترکیبات هیدروکسیدی آهن تبدیل شده‌اند. مقدار پیریت در مغزه‌های حفاری، به طور موضعی تا ۵ درصد از حجم نمونه دستی دیده شده است (شکل ۵-د). در برخی از کانسنگ‌های طلادار، در پیرامون پیریت‌ها و در جهت عمود بر راستای بیشترین محور تنش، کانی کوارتز به صورت سایه‌واتنشی و حاشیه‌های کرنش تشکیل شده است (شکل ۵-ج). با توجه به بافت کانسنگ‌ها، پیریت‌ها همراه با کوارتز و همزمان با عملکرد پهنه‌برشی تشکیل شده‌اند. دگرسانی کربناتی به صورت رخداد جزئی کانی‌های کربناتی و در همراهی با کوارتز، سریست و سولفیدها تشکیل شده است.

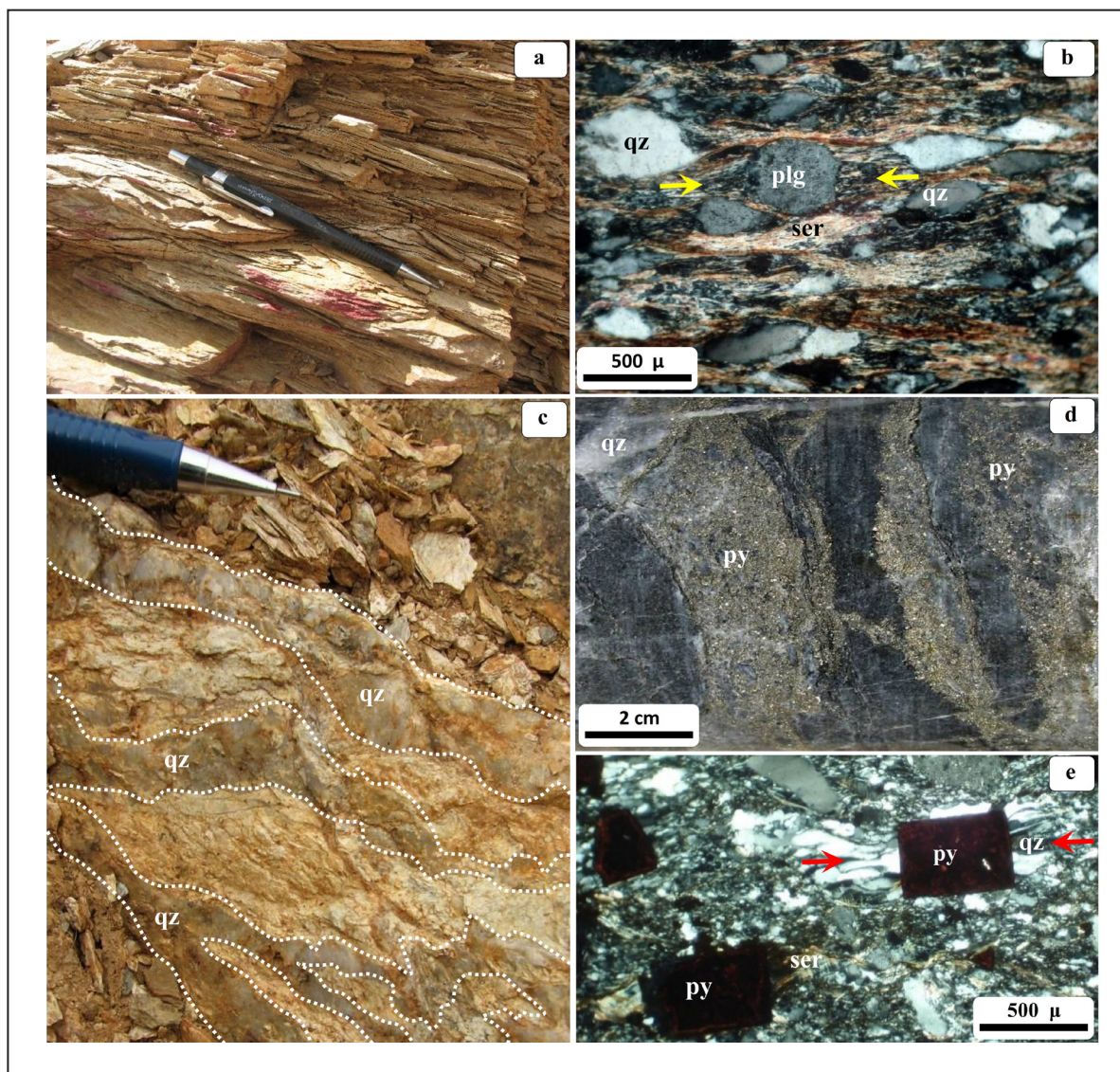
شده است (محجل، ۱۳۸۳). براساس محجل (۱۳۸۳) آثار این دگرشکلی در مقیاس رخنمون و نمونه دستی به صورت گسترش برگوارگی‌های میلونیتی، چین خوردگی‌ها و ظهور فابریک‌های C/S در سنگ‌ها مشهود است (شکل ۵). رخداد پهنه‌برشی یادشده، فضای مناسب برای صعود سیالات کانه‌ساز و سپس دگرسانی گرمابی در سنگ‌های میزبان و نهشت کانه‌ها را میسر ساخته است؛ از این رو بخش‌های کانی‌سازی شده از پهنه‌برشی، به واسطه توسعه فابریک‌های میلونیتی-اولترامیلونیتی و نیز تغییر رنگ ظاهری حاصل از عملکرد سیالات گرمابی، از سنگ‌های میزبان فاقد کانی‌سازی متمایز می‌شود. دگرسانی‌های گرمابی در محدوده کانسار میرگه نقشینه در امتداد پهنه‌برشی گسترش داشته و با رنگ قهوه‌ای روشن تا آجری برونزد دارند. در بیشتر بخش‌های پهنه‌برشی، کوارتز و سریست از کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده مناطق دگرشکل و دگرسان شده هستند.

دگرسانی سیلیسی اصلی‌ترین نوع دگرسانی میزبان طلا در کانسنگ‌های طلادار محدوده میرگه نقشینه است که بیشتر به صورت سیلیسی شدن سنگ میزبان و در اطراف رگه و رگچه‌های کوارتزی رخ داده است (شکل‌های ۴ و ۵-ج). در محدوده میرگه نقشینه، رگه و رگه‌های کوارتزی با مرزهای آشکار و مشخص از سنگ میزبان دگرسان شده متمایزند (شکل ۴). بیشتر رگه و رگچه‌های کوارتزی در امتداد و هم‌راستا با برگوارگی‌های میلونیتی تمرکز دارند. بررسی سنگ‌های میزبان بلافصل رگه‌های سیلیسی کانه‌دار نشان می‌دهد که دگرسانی سیلیسی، که با مقادیر قابل توجهی از سریست‌های گرمابی همراه است، محدود به ستبرای چند سانتی‌متری اطراف رگه‌های سیلیسی است.

دگرسانی‌های سریست-کوارتز، که با رنگ کرم تا خاکستری روشن در اطراف و در همراهی با رگه و رگچه‌های سیلیسی طلادار دیده می‌شود، بخش اصلی پهنه‌برشی را تشکیل داده است. در نمونه‌های برداشت شده از این نوع دگرسانی، سریست و کوارتز، محصولات اصلی دگرسانی هستند که در آن سریست‌ها



شکل ۴- تصاویری از رگه‌های سیلیسی طلادار در محدوده کانسار میرگه نقشینه که در امتداد پهنه‌برشی رخنمون دارند. (a) نمایی از رگه سیلیسی (خط‌چین‌های سفید رنگ) که با ستبرای ۱/۵ تا ۰/۱ متر رخنمون دارد؛ (b) رگه سیلیسی، که در پهنه‌برشی دگرسان شده (altered shear zone)، که در واحد کلریت شپست (واحد PE^{sch}) رخ داده است، برونزد دارد؛ (c) رگه‌های سیلیسی، متأثر از عملکرد پهنه‌برشی دچار چین خوردگی و گسلش شده‌اند.



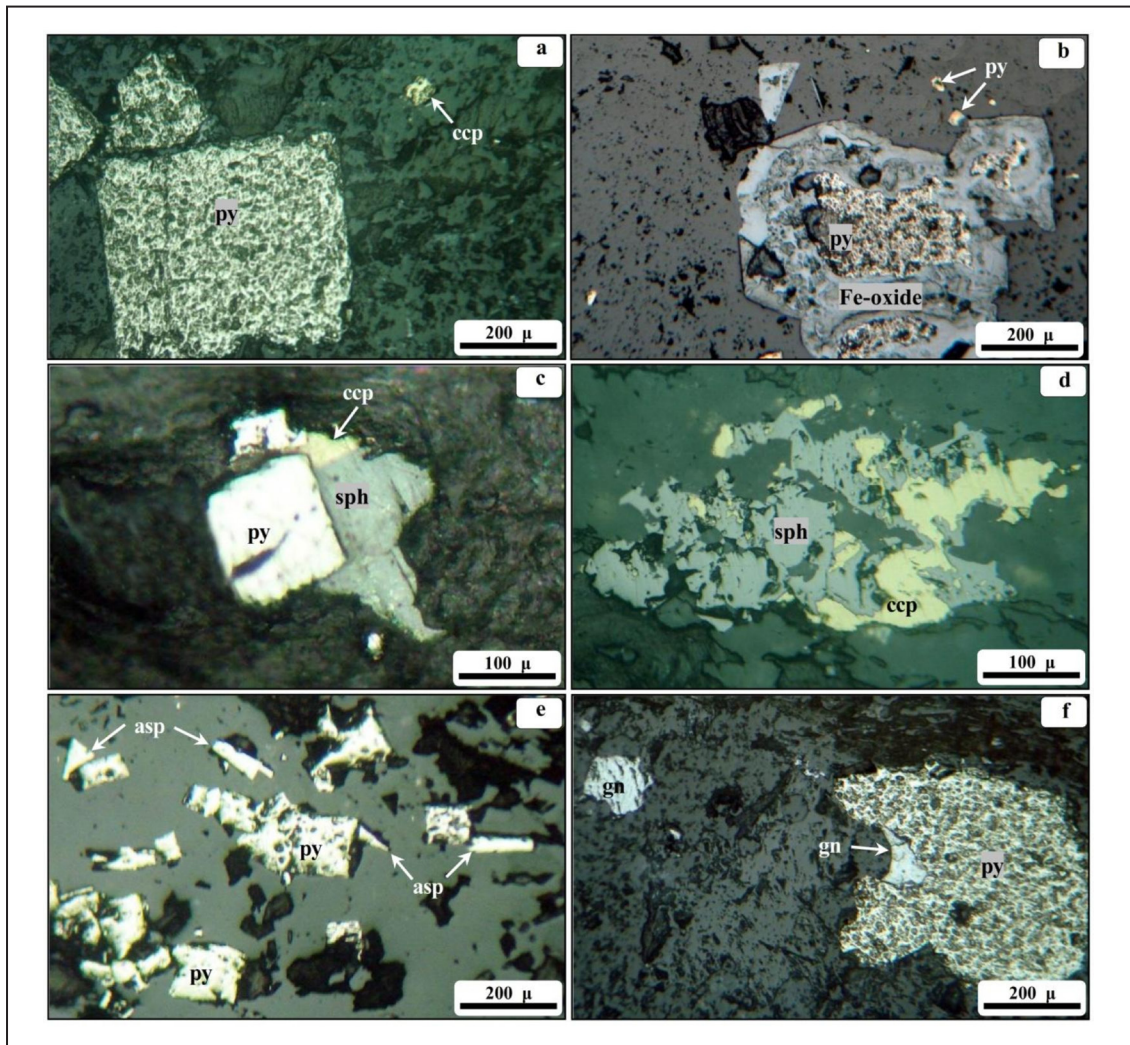
شکل ۵- انواع دگرسانی در کانسار طلای میرگه-نقشینه. (a) دگرسانی سربست - کوارتز در مقیاس رخنمون؛ (b) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سربست- کوارتز. در این تصویر، سنگ به شدت میلوئیتی شده و سربست‌ها به عنوان محصول اصلی دگرسانی و به صورت رشته‌های موازی، پورفایرولاست‌های کوارتز و پلاژیوکلاز را دربر گرفته‌اند. در اطراف پورفایرولاست پلاژیوکلاز، حاشیه‌های کرنش (strain fringe) از سربست و کوارتز (پیکان‌های قرمز رنگ) مشاهده می‌شود؛ (c) دگرسانی سیلیسی، به صورت رخداد رگه و رگچه‌های کوارتزی (خط چین‌های سفید) در سنگ میزبان کانه‌زایی مشهود است؛ (d) دگرسانی سولفیدی (بیشتر پیریت) در همراهی با رگچه‌های کوارتزی موازی با برگوارگی میلوئیتی مشاهده می‌شود؛ (e) تصویر میکروسکوپی از کانسنگ سیلیسی- سولفیدی طلادار، که در آن حاشیه‌های کرنش (strain fringe) از جنس کوارتز (پیکان‌های قرمز) در اطراف پیریت (اکسیده) دیده می‌شود. تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری با نیکول‌های متقاطع (XPL) برداشت شدند. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. plg: پلاژیوکلاز، py: پیریت، qz: کوارتز و ser: سربست.

۶- ساخت، بافت و پاراژنز کانه‌ها

واحد کلریت شستی میزبان کانه‌سازی طلا، به واسطه رخداد فابریک‌های میلوئیتی- اولترامیلونیتی حاصل از عملکرد پهنه برشی و نیز تغییر رنگ ظاهری حاصل از عملکرد سیالات گرمایی، که به دگرسانی سنگ‌ها منجر شده است، از سنگ‌های غیر دگرسان شده متمایز شده است (شکل‌های ۴- a، ۵- a و c). دگرسانی‌های اصلی رخ داده در محدوده کانسار انواع سیلیسی و سربستی را شامل می‌شود، که با رخداد مقادیر کم کانی‌های سولفیدی و کربناتی (بیشتر کلسیت) همراه شده است (شکل‌های ۵ و ۶).

براساس تلفیق مطالعات سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی، حجم و عیار کانی‌سازی طلا در کانسار طلای میرگه-نقشینه به واسطه شدت و نوع دگرشکلی و دگرسانی‌های گرمایی

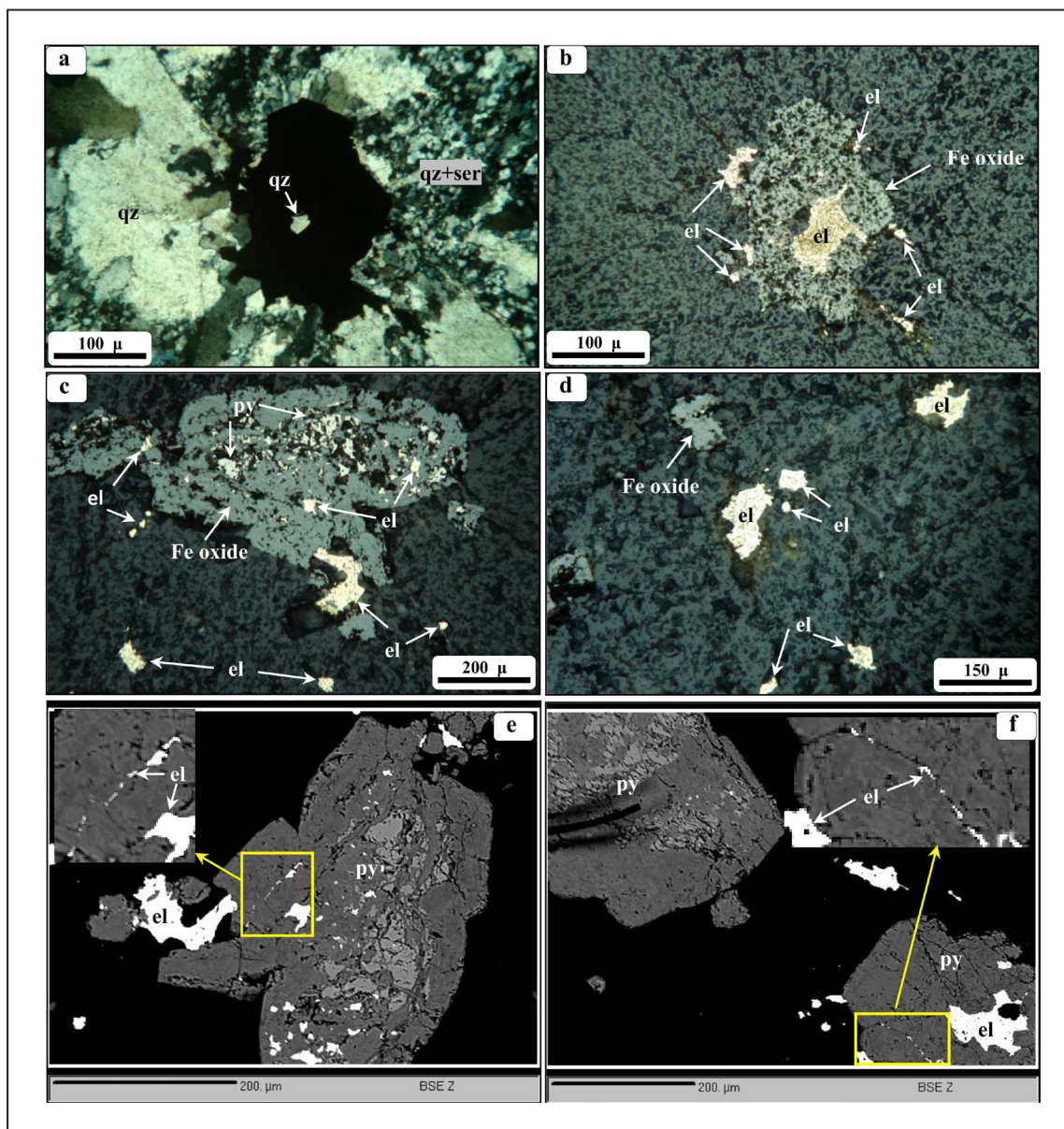
کنترل می‌شود، به‌طوری‌که کانسنگ‌های پر عیار طلا (بیش از ۰/۱ گرم در تن)، در رگه‌های سیلیسی و نیز زون‌های به شدت دگرشکل (میلونیت تا اولترامیلونیت) و دگرسان شده، که در بخش‌های میانی از پهنه برشی رخ داده و معمولاً با رگه و رگچه‌های کوارتزی و مقادیر قابل توجهی از کانی‌های کوارتز، سربست و کانه‌های سولفیدی همراهند، در ارتباط است (شکل‌های ۴ و ۵). اصلی‌ترین ساخت کانسنگ‌های طلا در محدوده میرگه-نقشینه، رگه و رگچه‌ای است. در مقیاس رخنمون، کانه‌زایی طلا در ارتباط با رگه و رگچه‌های کوارتز سفید تا خاکستری رنگی است که اغلب به صورت هم‌راستا با برگوارگی میلوئیتی و گاه قطع‌کننده آنها تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۴ و ۵- c).



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی (نور انعکاسی) از تنوع و روابط بافتی کانی‌های فلزی در کانسنگ‌های طلای میرگه-نقشینه: (a) پیریت‌های خودشکل تا نیمه‌شکل دار، به عنوان اصلی‌ترین کانه سولفیدی، در همراهی با کالکوپیریت؛ (b) پیریت‌ها به مقدار قابل توجهی از حاشیه‌ها به ترکیبات هیدروکسیدی آهن تبدیل شده‌اند؛ (c) پیریت در همراهی با کالکوپیریت، اسفالریت؛ (d) هم‌رشدی اسفالریت و کالکوپیریت؛ (e) همراهی پیریت و آرسنوپیریت؛ (f) همراهی پیریت با گالن. زمینه دربردارنده کانه‌ها بیشتر از کوارتز، سریسیست و مقادیر جزئی کانی‌های کربناتی تشکیل شده است. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. (asp: آرسنوپیریت، ccp: کالکوپیریت، gn: گالن، py: پیریت، sp: اسفالریت).

کالکوپیریت با فراوانی کم و به صورت کانی‌های بی‌شکل با اندازه‌های کوچک‌تر از ۲۰۰ میکرون دیده شده است. کالکوپیریت بیشتر به صورت هم‌رشد با اسفالریت و پیریت و گاه به صورت ذرات پراکنده در متن کانسنگ تشکیل شده است (شکل‌های ۶- a، c و d). اسفالریت و گالن نیز با فراوانی کم و در اندازه‌های کوچک‌تر از ۵۰۰ میکرون به صورت ذرات پراکنده در متن و نیز هم‌رشد با پیریت رخداد دارند (شکل ۶- f). با توجه به روابط بافتی، کانه‌های سولفیدی فلزات پایه اغلب به صورت هم‌زمان با پیریت و آرسنوپیریت و نیز هم‌زمان با کانی‌های دگرسانی گرمابی (کوارتز، سریسیست و $\pm$ کربنات) تشکیل شده‌اند. براساس مطالعات میکروسکوپی و نتایج الکترون میکروپروب، طلا در اندازه‌های کوچک‌تر از ۵ میکرون تا ۱۴۰ میکرون، به صورت آزاد در گانگ کوارتزی، میانبار در پیریت، هم‌رشد با پیریت و نیز به صورت ریزرگچه‌های قطع‌کننده پیریت دیده شده است (شکل ۷). نتایج مطالعات الکترون میکروپروب حاکی از آن است که طلا به صورت الکتروم با درجه خلوص ۷۴/۲۸ تا ۸۲/۵۲ درصد در کانسنگ حضور یافته است (جدول ۱).

رگه‌های کوارتزی هم‌زمان تا کمی پس از تشکیل، در درجات مختلف متحمل دگرشکلی شده‌اند که آثار این مرحله از دگرشکلی به صورت بودین‌شدگی، چین‌خوردگی و گسلش مشهود است (شکل ۴- c). براساس مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری نمونه‌های کانسنگی (طلادار)، کانی‌های فلزی موجود در کانسار شامل پیریت، آرسنوپیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، گالن، طلا و ترکیبات هیدروکسیدی آهن است. پیریت به عنوان فراوان‌ترین کانه سولفیدی، معمولاً کمتر از یک درصد از حجم کانسنگ را تشکیل داده است (شکل ۶). این کانی در اندازه‌های کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر (اغلب کوچک‌تر از ۲۰۰ میکرون)، بی‌شکل تا خودشکل بوده و به طور بخشی تا کامل توسط ترکیبات هیدروکسیدی آهن جانشین شده است. براساس روابط بافتی، پیریت‌ها با کانی‌های کوارتز-سریسیست و نیز دیگر کانه‌های سولفیدی و طلا هم‌رشد بوده و گاه حاوی میانبارهایی از طلا هستند. آرسنوپیریت، به صورت کانه‌های نیمه‌شکل‌دار تا لوزی شکل و در اندازه‌های کوچک‌تر از ۴۰۰ میکرون و در همراهی با پیریت‌ها دیده شده است (شکل ۶- e).



شکل ۷- تصاویر میکروسکوپ نوری (a - d) و میکروسکوپ الکترونی (e-f) از چگونگی رخداد طلا در کانسنگ‌های طلا دار میرگه-نقشینده. (a) تصویر میکروسکوپی کانسنگ طلا دار که از کوارتز و مقادیر کم سریست و کانی فلزی (مات) تشکیل شده است؛ در نور عبوری (با نیکول‌های متقاطع)؛ (b) همان تصویر "a" در نور انعکاسی. همان‌طور که دیده می‌شود، طلا (الکتروم) به صورت ادخال و هم‌رشد با پیریت (اکسیده) و نیز آزاد در گانگ کوارتزی حضور دارد. (c و d) الکتروم به صورت ادخال و هم‌رشد با پیریت (اکسیده) و نیز آزاد در گانگ کوارتزی دیده می‌شود؛ (e و f) تصاویر SEM از ارتباط بافتی الکتروم، کوارتز و پیریت؛ الکتروم به شکل‌های آزاد در گانگ سیلیسی (زمینه سیاه تصاویر)، میانبار در پیریت و نیز به صورت رگچه‌های قطع‌کننده پیریت رخ داده است. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. el: الکتروم، qz: کوارتز، ser: سریست، py: پیریت، Fe oxide: ترکیبات اکسیدی و یا هیدروکسیدی آهن، که از اکسایش کانه‌های سولفیدی (بیشتر پیریت) حاصل شده‌اند.

جدول ۱- میانگین عناصر در کانی‌های الکتروم کانسار میرگه-نقشینده (مقادیر به درصد است).

Elements Point	Ag	As	Au	Cu	Hg	S	Sb	Te	Zn	Total
۴,۱	۱۸/۷۱	۰/۰۴	۷۹/۸۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۲	۹۸/۹۴
۴,۲	۱۵/۲۶	۰/۰۲	۸۲/۵۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۰۴	۰/۰۰	۹۹/۳۲
۴,۳	۲۴/۵۶	۰/۰۱	۷۴/۲۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۲	۹۹/۱۱

کانسنگی توالی پاراژنری کانی‌ها در کانسار طلای میرگه‌نقشینه در شکل ۸ رسم شده است.

هوازدگی سبب اکسایش کانه‌های سولفیدی (عمدتاً پیریت) و تشکیل ترکیبات هیدروکسیدی آهن شده است. با توجه به روابط بافتی و کانی‌شناسی نمونه‌های

Minerals	Mineralization/Alteration	Weathering/Oxidation
Pyrite		
Arsenopyrite		
Sphalerite		
Chalcopyrite		
Galena		
Gold (Electrum)		
Fe-hydroxides		
Quartz		
Carbonate		
Sericite/Muscovite		

شکل ۸- نمودار توالی پاراژنری کانی‌ها در کانسار طلای میرگه‌نقشینه.

۶- زمین‌شیمی

به‌دلیل غیر عادی بودن توزیع متغیرها از روش غیر پارامتری اسپیرمن استفاده شده است.

ذخیره کانسار میرگه‌نقشینه حدود ۶۵۰۰۰ تن کانسنگ با عیار میانگین ۲/۵۲ گرم در تن ارزیابی شده است (شرکت توسعه علوم زمین، ۱۳۹۳). بیشینه مقدار طلا و نقره در کانسنگ‌های طلادار کانسار میرگه‌نقشینه به ترتیب ۶۴/۳ (میانگین ۲/۵۲) و ۹/۹ (میانگین ۰/۶۵) گرم در تن اندازه‌گیری شده است. نتایج آنالیز نمونه‌های کانسنگی حاکی از آن است که علاوه بر طلا و نقره، عناصر آرسنیک (تا ۲۰۹۶ گرم در تن)، سرب (تا ۵۰۶ گرم در تن)، روی (تا ۳۵۴ گرم در تن) و مس (تا ۲۴۴ گرم در تن) در همراهی با کانسنگ‌های طلادار، ناهنجاری نشان می‌دهند.

محاسبه ضرایب همبستگی طلا و برخی از عناصر همراه برای ۲۰۰ نمونه از کانسنگ‌های طلادار محدوده اکتشافی میرگه‌نقشینه، نشان می‌دهد که طلا همبستگی مثبت ضعیفی را به‌ترتیب با نقره (۰/۴۲)، سرب (۰/۳۶)، آرسنیک (۰/۲۵) و مس (۰/۱) نشان می‌دهد (جدول ۲).

در راستای انجام مطالعات اکتشافی در محدوده کانسار طلای میرگه‌نقشینه، مجموعاً ۲۵۲۵ نمونه از مغزه‌های حفاری و ترانشه‌های حفر شده بر روی زون‌های کانه‌دار برداشت و آنالیز شدند. عملیات اکتشافی در این محدوده، توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (شرکت توسعه علوم زمین، ۱۳۹۳) انجام شد و نمونه‌های برداشت شده به روش‌های Fire Assay (برای طلا) و ICP-OES (برای دیگر عناصر) در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای عناصر Zn, Ag, Au, As, Bi, Cu, Mo, Pb, Sb, W آنالیز شدند. در این بخش از مطالعات، ۱۹۶ نمونه با مقادیر طلای بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در تن، به عنوان کانسنگ‌های طلادار انتخاب شدند تا چگونگی توزیع، پراکندگی و رفتار ژئوشیمیایی عناصر در آنها مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. همبستگی آماری بین متغیرهای کانه‌ساز با یکدیگر به‌صورت خطی به روش پیرسن (Pearson) یا به‌صورت ماتریس رتبه‌ای به روش اسپیرمن (Spearman) محاسبه می‌شود (Rollinson, 1993). شرط محاسبه ضریب همبستگی پیرسون، عادی بودن توزیع متغیرها می‌باشد که در این پژوهش

جدول ۲- ماتریس همبستگی طلا و عناصر همراه در نمونه‌های کانسنگی از محدوده اکتشافی میرگه‌نقشینه.

Au	Ag	As	Bi	Cu	Mo	Pb	Zn
1							
0.42	1						
0.25	0.12	1					
-0.1	0.03	0.09	1				
0.09	0.11	0.21	0.26	1			
-0.15	0.29	0.09	0.23	0.23	1		
0.36	0.51	0.16	0.01	0.35	0.22	1	
-0.25	0.08	0.06	0.65	0.38	0.16	0.08	1

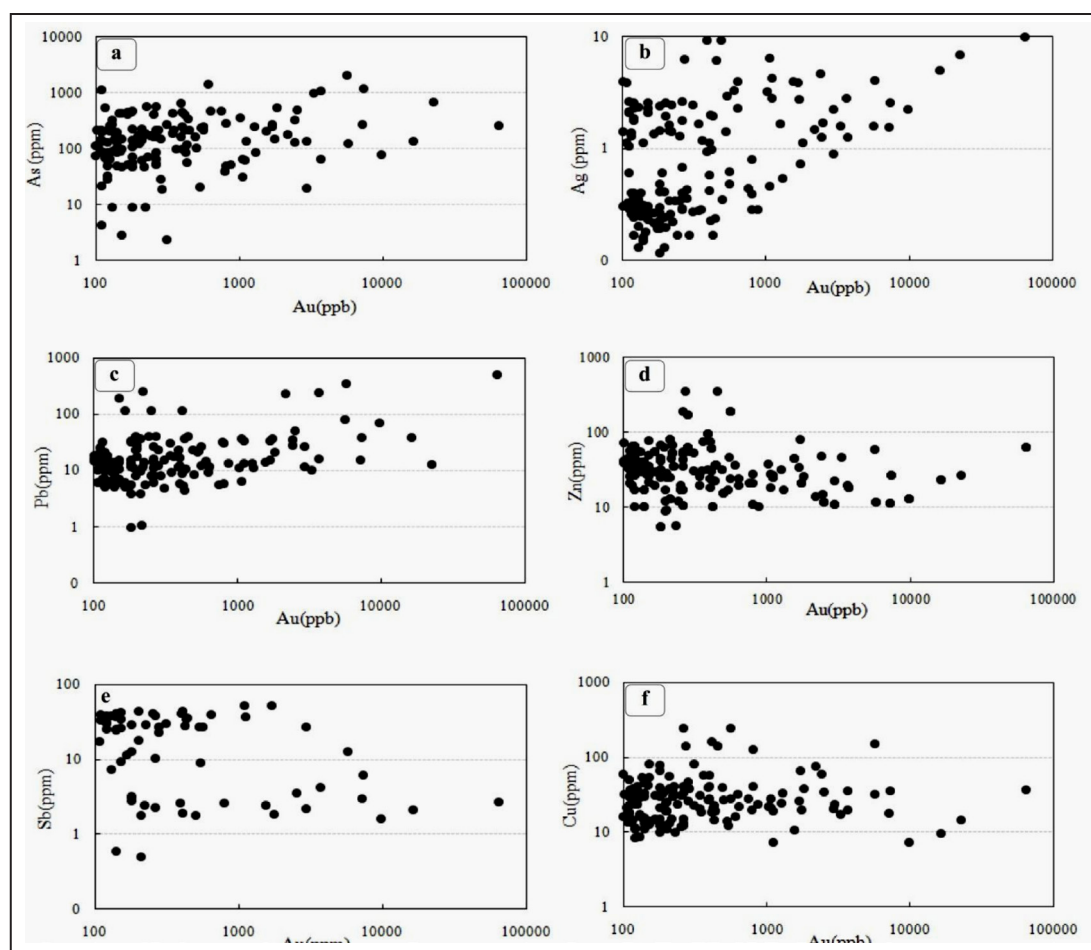
باقی در هم‌رشدی و همزمان با کانه‌های سولفیدی و طلا تشکیل شده‌اند، انجام پذیرفت. از لحاظ شکل ظاهری و با توجه به پارامترهای رودر (Roedder, 1984) و شفر و همکاران (Shepherd et al., 1985)، میانبارهای سیال در نمونه‌های مورد مطالعه را می‌توان به ترتیب فراوانی به اشکال نامنظم، کشیده و کروی تقسیم‌بندی کرد. میانبارهای سیال در انواع دو فاز غنی از مایع (LV)، دو فاز غنی از گاز (VL)، تک فاز مایع (L) و تک فاز بخار (V) مشاهده شدند (شکل ۱۰ و جدول ۳). همچنین هیچ‌گونه شواهدی از حضور فاز نوزاد (S) در میانبارها دیده نشد. در این مطالعه، تنها میانبارهای سیال دو فاز غنی از مایع (LV)، به لحاظ اولیه و درشت‌تر بودن مطالعه شدند. میانبارهای سیال دو فاز مورد مطالعه، ریز بوده و در اندازه‌های کوچک‌تر از ۱۲ میکرون دیده شدند. در این نوع از میانبارها، فاز مایع ۶۰ تا ۹۰ درصد و فاز بخار ۱۰ تا ۳۰ درصد حجم کل سیال را تشکیل داده است. این نوع از میانبارها اغلب با اشکال نامنظم و کم‌تر کشیده و کروی در کوارتز میزبان پراکنده‌اند (شکل ۱۰).

نسبت متوسط طلا به نقره (Au:Ag) در نمونه‌های کانسنگی ۵/۰ محاسبه شده است. همبستگی و ارتباط مثبت طلا و نقره، رخداد این دو عنصر به صورت الکتروم را نشان می‌دهد. همچنین ارتباط و همبستگی طلا با آرسنیک و فلزات پایه از ارتباط پاراژنری و همزمانی رخداد طلا (الکتروم) با آرسنوپیریت و سولفیدهای فلزات پایه حکایت دارد. در شکل ۹، فراوانی طلا در برابر فراوانی برخی از عناصر فلزی در کانسنگ‌های طلا دار میرگه نقشینه آورده شده است.

۷- میانبارهای سیال

۷-۱- نوع و ویژگی میانبارهای سیال

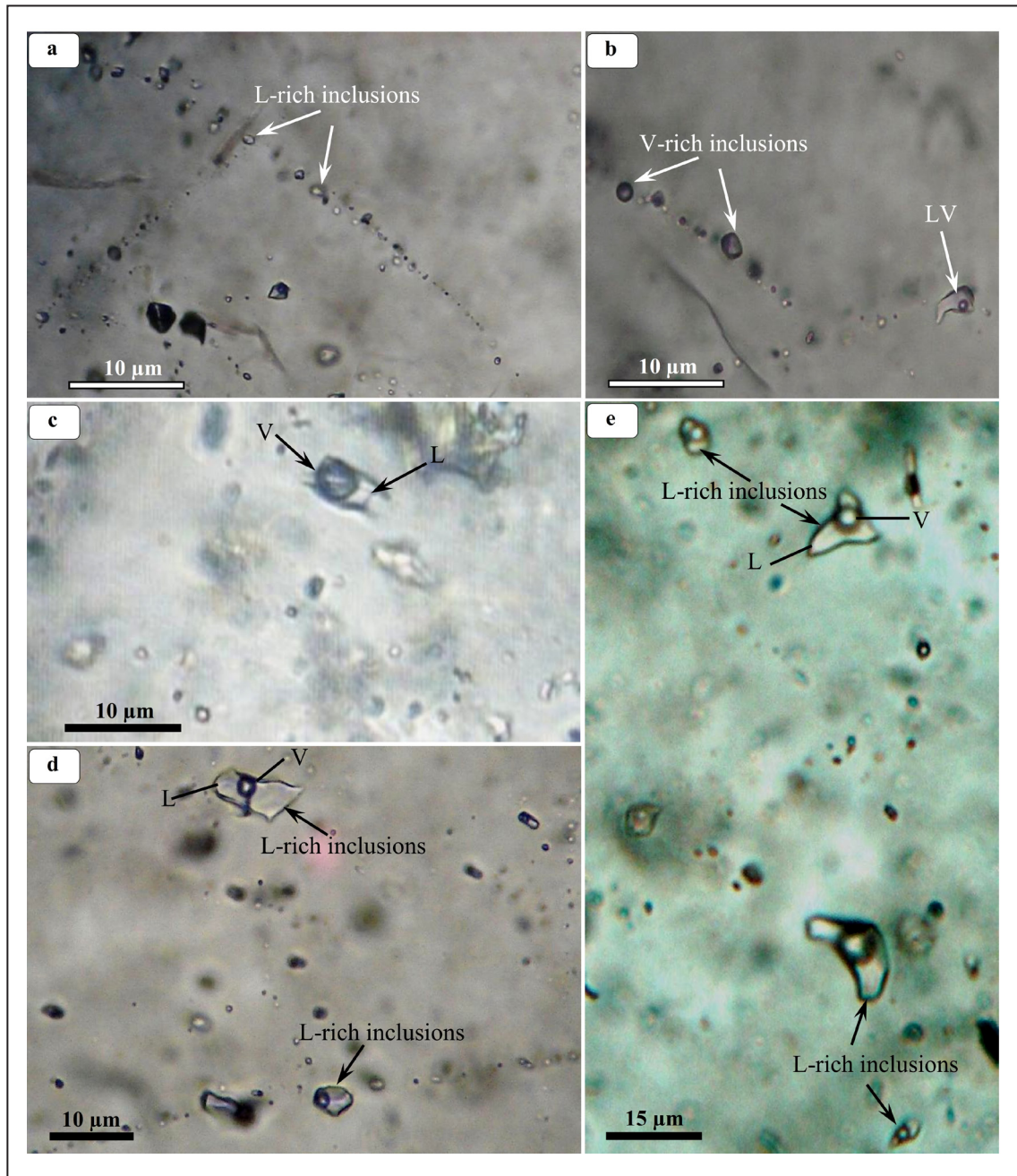
به‌منظور شناخت ماهیت فیزیکوشیمیایی و روند تحول سیال (سیالات) کانه‌ساز، از رگه‌های کوارتزی-طلا دار کانسار میرگه نقشینه، ۵ مقطع دوبر صیقل تهیه شد، که از میان آنها تنها دو مقطع برای مطالعات سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی مناسب تشخیص داده شدند. مطالعات میانبارهای سیال بر روی کانی‌های کوارتز، که به‌لحاظ روابط



شکل ۹- نمودارهای همبستگی طلا با عناصر (a) آرسنیک؛ (b) نقره؛ (c) سرب؛ (d) روی؛ (e) آنتیموان و (f) مس در کانسار طلای میرگه نقشینه.

جدول ۳- خلاصه داده‌های مطالعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال اولیه دو فاز غنی از مایع (LV) در کانسار طلای میرگه نقشینه. اعداد داخل پرانتز میانگین داده‌ها است. T_e = دمای اولین نقطه ذوب یخ، T_{m-ice} = دمای ذوب آخرین قطعه یخ، T_h = دمای همگن شدن.

Incl. type	Size (μm)	T_e ($^{\circ}C$)	T_{m-ice} ($^{\circ}C$)	T_h ($^{\circ}C$)	Salinity (wt. % NaCl equiv.)	ρ (g/cm 3)
LV (n=20)	۶-۱۲	-۳۲ تا -۲۵	-۲ تا -۱۰/۵	۲۱۵ تا ۱۵۸ (۱۸۵)	۱۴/۲۶ تا ۳/۲۸ (۸/۷)	۱ تا ۰/۹

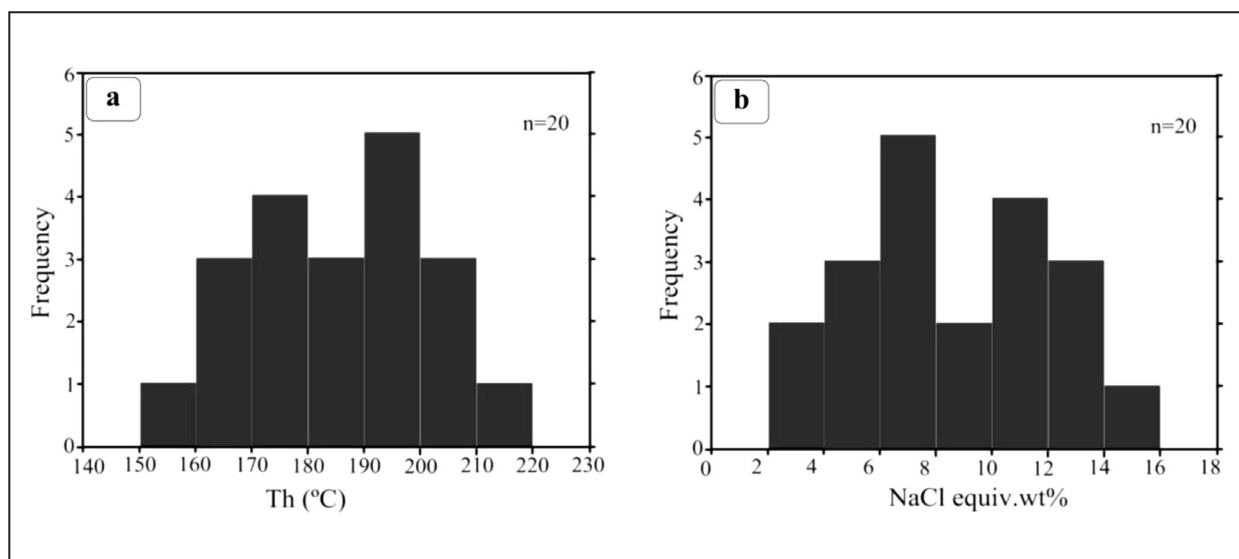


شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپی (دمای اتاق و نور عبوری صفحه‌ای) از میانبارهای سیال در کوارتزهای کانسنگ سیلیسی کانسار طلای میرگه‌نقشینه. (a) میانبارهای سیال ثانویه تک‌فازی، که بیشتر از نوع غنی از مایع هستند؛ (b) میانبارهای ثانویه تک‌فازی غنی از گاز، همراه با یک میانبار اولیه غنی از مایع مشاهده می‌شوند؛ (c) میانبار سیال اولیه غنی از گاز؛ (d-e) میانبارهای سیال اولیه دو‌فازی غنی از مایع (LV). L=Liquid, V=Vapor.

۷-۲- ریزدماسنجی میانبارهای سیال

۱۴/۴۶ معادل درصد وزنی NaCl هستند (جدول ۳ و شکل ۱۱). اندازه‌گیری فشار به دام افتادن سیالات کانه‌ساز در رخداد میرگه‌نقشینه با استفاده از نرم‌افزار FlinCore (Brown, 1989) و به شیوه پیشنهادی تور و دایتورث (Touret and Dietvorst, 1983) انجام شده است. در این روش از دمای همگن شدن میانبارهای سیال نوع II استفاده شده است. بر اساس محاسبات انجام شده در سیستم H_2O -NaCl، و چگالی همگن شدگی معادل ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، حداقل فشار همگن شدن میانبارها در محدوده دمایی ۱۸۰ تا ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد، حدود ۰/۵۴ تا ۱/۲۶ کیلوپار می‌باشد که ژرفای ۲ تا ۴ کیلومتر را برای کانه‌زایی طلا در این رخداد پیشنهاد می‌کند.

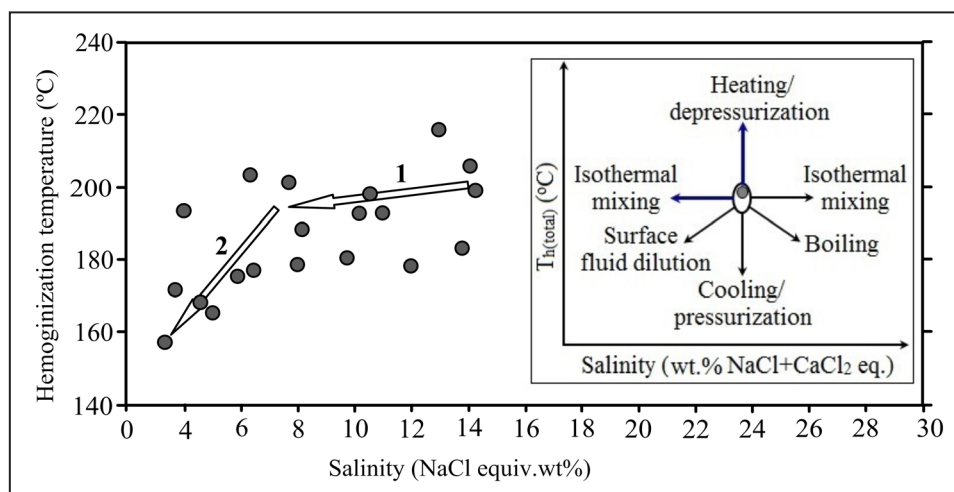
محدوده دمای همگن شدن برای میانبارهای سیال اولیه دو‌فازی مورد مطالعه از ۱۵۸ تا ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۱۸۵) اندازه‌گیری شده است (جدول ۱). در تمامی نمونه‌ها همگن شدن به فاز مایع صورت گرفته است. محدوده اولین نقطه ذوب یخ یا اتکتیک (T_e) در برخی نمونه‌های کوارتزی تا ۳۲- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد که نشان می‌دهد سیال کانه‌ساز، به صورت یک شورابه ساده تشکیل شده از NaCl نبوده، بلکه ممکن است افزون بر سدیم، حاوی نمک‌های منیزیم و پتاسیم نیز بوده باشد. محدوده آخرین نقطه ذوب یخ ($T_{m_{ice}}$) در نمونه‌های یادشده، از ۲- تا ۱۰/۵- درجه سانتی‌گراد ثبت شد که به ترتیب معادل شوری‌های ۳/۲۸ تا



شکل ۱۱- (a) نمودار دماهای همگن شدن به فراوانی میانبارهای سیال و (b) نمودار درجه شوری به فراوانی میانبارهای سیال در کانی‌های کوارتزی موجود در کانسنگ سیلیسی طلادار.

(Wilkinson, 2001). در ادامه روند تحول سیال، ترکیبی از فرایندهای به هم آمیختگی و رقیق‌شدگی سیال اخیر با سیال دیگر (احتمالاً جوی)، که دما و شوری پایین‌تری دارد، رخ داده است. سیال رقیق‌کننده می‌تواند آب‌های با منشأ جوی بوده باشد که در محل نهشت کانسنگ‌های طلا، با سیالات کانه‌دار آمیخته شده و کاهش دما، رقیق‌شدگی و نهشت سیالات کانه‌دار را موجب شده است. با مقایسه نتایج حاصل از مطالعه میانبارهای سیال در کانسار طلای میرگه‌نقشینه با انواع ذخایر معدنی، ویژگی‌های دمایی و شوری سیالات کانه‌ساز در این رخداد بیشترین شباهت را با سیالات مسئول کانی‌سازی در کانسارهای طلای کوهزایی نشان می‌دهند.

روند تحول سیال کانه‌ساز در کانسار طلای میرگه‌نقشینه براساس نمودار تغییرات دمای همگن شدن در برابر شوری، در شکل ۱۲ آمده است. نتایج حاصل از مطالعات میانبارهای سیال در کانسار طلای میرگه‌نقشینه، نشان می‌دهد طلا از نهشت سیالات کم شور تا شوری متوسط (۳/۲۸ تا ۱۴/۴۶ درصد وزنی نمک طعام) با دمای ۱۵۸ تا ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد ناشی شده است. نمودار شوری در برابر درجه همگن شدن (شکل ۱۲) در ابتدا روندی از آمیختگی یک سیال گرمایی با دما و شوری متوسط را با سیال هم‌دمای دیگر (ولی با شوری پایین‌تر) نشان می‌دهد که می‌تواند با فرایند به هم آمیختگی هم‌دمای دو سیال گرمایی (isothermal mixing) سازگار باشد.



شکل ۱۲- نمودار دوتایی دمای همگن شدن نهایی در مقابل شوری برای داده‌های میانبارهای سیال در کانسار میرگه‌نقشینه. محدوده پیکان ۱، فرایند آمیختگی دو سیال تقریباً هم‌دمای را نشان می‌دهد. در ادامه (محدوده پیکان ۲) روند تحول سیال، ترکیبی از فرایندهای به هم آمیختگی و رقیق‌شدگی سیال اخیر با سیال دیگر (احتمالاً جوی)، که دما و شوری پایین‌تری دارد، رخ داده است. نمودار شماتیک داخلی بیانگر روندهای معمول میانبارهای سیال در فضای شوری- دمای همگن شدن ناشی از فرایندهای مختلف تحول سیال (Wilkinson, 2001) است.

۸- تیپ کانه‌زایی و الگوی تشکیل

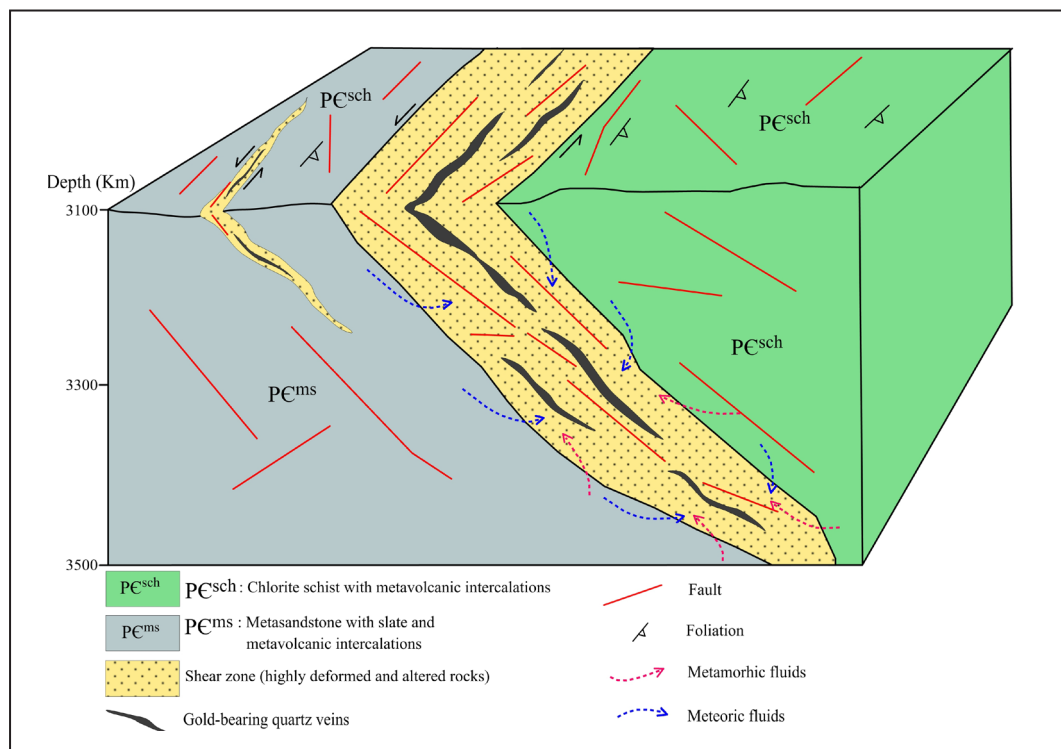
کانسارهای طلای کوهزایی، یکی از مهمترین انواع ذخایر طلا در کمربندهای دگرگونی هستند که در پی فرایندهای کوهزایی تشکیل شده و ۳۱ درصد از طلای تولیدی جهان (Frimmel, 2007) را به خود اختصاص داده‌اند. از جمله محیط‌های زمین‌شناسی مستعد این تیپ از کانی‌سازی، موقعیت‌های مرتبط با کمربندهای چین‌خورده و کوهزایی است که در حاشیه فعال قاره‌ای رخ می‌دهد (Groves et al., 1998, 2003; Goldfarb et al., 2005; Goldfarb and Groves, 2015).

پهنه سندیج- سیرجان، به لحاظ موقعیت ژئودینامیکی و قرار داشتن در حاشیه قاره پتانسیل بالایی در میزبانی ذخایر طلای کوهزایی از جمله کانسار طلای چاه باغ (موته) (Kohestani et al., 2014)، کانسار طلای زرتشت (Lu et al., 2022; Aliyari et al., 2012) و ذخایر طلا در محدوده سقز- سردشت (تاج‌الدین، ۱۳۹۰) را داراست. مطالعات اکتشافی که در دو دهه اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در شمال‌باختر پهنه سندیج- سیرجان به انجام رسیده است به اکتشاف ۱۰ کانسار طلای کوهزایی در محدوده سقز- پیرانشهر سبب شده است که از آن میان می‌توان به کانسارهای طلای کوهزایی کرویان (۱۳۸۳)، قلقله (Aliyari et al., 2009; Heidari et al., 2016)، کسنزان (نیرومند و همکاران، ۱۳۹۹ الف) و خراپه (Asadi and Niroomand, 2018; Niroomand et al., 2011) اشاره داشت.

ویژگی‌های اصلی زمین‌شناسی و کانی‌سازی از جمله جایگاه تکنیکی، نقش مهم پهنه برشی در کنترل کانی‌سازی، ساخت، بافت و پاراژنز کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی و ویژگی‌های دما و شوری میانبارهای سیال و مطالعات زمین‌شیمیایی در کانسار طلای میرگه‌نقشینه نشان می‌دهد که کانسار طلای میرگه‌نقشینه بیشترین شباهت را با کانسارهای طلای تیپ کوهزایی (ای‌پی‌زونال) داراست.

بر اساس مدل‌های ارائه شده برای کانسارهای طلای کوهزایی (Groves et al., 2003; Goldfarb et al., 2005; Craw et al., 2010)، سیالات دگرگون‌زاد تمرکز یافته در بخش‌های ژرف پوسته‌ای، ابتدا از طریق گسل‌های بزرگ مقیاس قطع‌کننده پوسته، به سوی بخش‌های کم‌ژرفای پوسته به حرکت

درآمده و ضمن واکنش با سنگ‌های مسیر و شستشوی آنها، گوگرد و طلا را از پیریت‌های موجود در توالی‌های آتشفشانی- رسوبی، آزاد و آنها را در ترکیب خود وارد می‌سازند. سیالات گرمایی دگرگون‌زاد صعودکننده، که از گوگرد، طلا و فلزات غنی شده‌اند، پس از ورود به ساختارهای فرعی (درجه دوم و بالاتر)، در اثر تغییر در شرایط فیزیکی- شیمیایی سیال، نهشته شده و به تشکیل کانسنگ طلا سبب می‌شوند. فضاهای ساختاری حاصل از دگرشکلی، به جهت آن که فضاهای مناسبی را برای حرکت سیال و یا ته‌نشست طلا فراهم می‌آورند، نقش اساسی و مهمی را در شکل‌گیری ذخایر طلای تیپ کوهزایی ایفا می‌کنند (Kreuzer, 2006). این ساختارها، که انواع دگرشکلی از شکل‌پذیر در ژرفای زیاد تا شکنا در سطوح بالایی پوسته را شامل می‌شوند، اغلب در پهنه‌های برشی قطع‌کننده سنگ‌های دگرگونی تشکیل شده‌اند (Sibson, 2004). دمای سیالات دگرگونی معمولاً در محدوده ۲۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد (Lei et al., 2019) و شوری آنها کمتر از ۱۰ درصد وزنی معادل نمک طعام است. براساس مطالعاتی که بر روی ۲۷۳ کانسارهای طلای کوهزایی با سن فانروزویک انجام شده است، دمای همگن شدن میانبارهای سیال در محدوده ۸۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و شوری آنها در محدوده ۰ تا ۴۹ درصد وزنی معادل نمک طعام اندازه‌گیری شدند. این سیالات ممکن است یک محلول آبگون شور و یا محلولی با غلظت بالای گاز CO₂ باشد (Prokofiev and Naumov, 2020). مجموع مشاهدات صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که کانسنگ طلا در کانسار میرگه‌نقشینه مشابه با بیشتر کانسارهای طلای کوهزایی در یک پهنه برشی به شدت دگرشکل (میلونیت- اولترامیلونیتی) و دگرسان شده تشکیل داده است (شکل ۱۳). دگرسانی‌های گرمایی همراه با کانی‌سازی شامل سیلیسی، سریستی و سولفیدی است. براساس نتایج حاصل از مطالعات میانبارهای سیال، کانه‌های طلا از سیالات کم شور تا شوری متوسط و با دمای ۱۵۸ تا ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد، که در ژرفاهای ۲ تا ۴ کیلومتر با سیال کم شور و دمای پایین‌تر (آب‌های جوی) اختلاط یافته‌اند، نهشته شده‌اند.



شکل ۱۳- الگوی تشکیل و نقش پهنه برشی میرگه‌نقشینه در کنترل کانی‌سازی. این شکل براساس رخنمون کنونی کانسار و برای محدوده ژرفای تشکیل ۳۱۰۰ تا ۳۵۰۰ متر رسم شده است.

۹- نتیجه‌گیری

دگرگونی، که در فضای پهنه‌برشی با سیالات جوی اختلاط یافته‌اند، نهشته شده است.

سپاسگزاری

عملیات صحرایی و آزمایشگاهی این تحقیق در قالب طرح‌های اکتشافی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به انجام رسیده است و بدینوسیله از ریاست محترم وقت سازمان، جناب آقای مهندس محمدتقی کره‌ای و همچنین از معاونان گذشته سازمان، آقایان مهندس ناصر عابدیان و مهندس بهروز برنا، که امکانات لازم جهت انجام این تحقیق را فراهم آورده‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نمایم. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه تربیت مدرس و نیز از مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به جهت انجام برخی از آزمایش‌ها و مطالعات میانبارهای سیال تشکر نمایند.

پهنه‌سندج- سیرجان، به لحاظ موقعیت ژئودینامیکی و قرار داشتن در حاشیه قاره پتانسیل بالایی در میزبانی ذخایر طلای کوهزایی از جمله کانسار طلای چاه باغ (از مجموعه معادن طلای موته) و ذخایر طلا در محدوده سقز- پیرانشهر را داراست. با توجه به موقعیت زمین‌ساختی و ماهیت سنگ میزبان، ساخت، بافت، کانی‌شناسی، نوع دگرسانی‌ها و نیز ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و پاراژنز عنصری کانسنگ، کانی‌سازی طلا در کانسار طلای میرگه‌نقشینه بیشترین شباهت را با ذخایر تیپ کوهزایی اپی‌زونال نشان می‌دهد. این مطالعات حاکی از آن است که بخش‌های پرعیار کانسنگ، که به‌صورت رگه و رگچه‌های کوارتزی برونزد دارند، مربوط به بخش‌های شدیداً دگرشکل و دگرسان شده از پهنه برشی هستند که واجد فابریک-های میولینیتی- اولترامیولینیتی بوده و با مجموعه‌ای از کانی‌های دگرسانی کوارتز، سریست-موسکویت و سولفید همراهی شده‌اند. براساس مطالعه میانبارهای سیال، طلا (الکتروم) احتمالاً از سیالات با منشأ

کتابنگاری

- تاج‌الدین، ح.، ۱۳۹۰، عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی طلا در سنگ‌های دگرگون‌شده منطقه سقز- سردشت، شمال‌غرب پهنه دگرگونه‌سندج- سیرجان، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- شرکت توسعه علوم زمین، ۱۳۹۳، گزارش اکتشاف عمومی طلای میرگه‌نقشینه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حیدری، س.م.، راستاد، ا.، محجل، م. و شمس، م.ج.، ۱۳۸۱، رخداد کانه‌سازی طلا در پهنه برشی دگرسان کرویان (جنوب غرب سقز - کردستان). خلاصه مقالات بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، صفحات ۱۱۱-۱۱۰.
- حیدری، س.م.، ۱۳۸۳، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه برشی خمیری منطقه کرویان (جنوب غربی سقز، استان کردستان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- رشیدنژاد عمران، ن.، هنرمند، م. و محجل، م.، ۱۳۹۲، پتروگرافی، ژئوشیمی و خاستگاه مجموعه نفوذی آلوت، شمال غرب سقز، نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، جلد ۱۲، شماره ۲، صفحه ۴۶۰-۴۳۵.
- علی‌یاری، ف.، ۱۳۸۵، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و شکنای قلقله (جنوب غرب سقز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، ۲۷۰ صفحه.
- علی‌یاری، ف.، ۱۳۹۰، عوامل کنترل‌کننده، سن، ژنز و تیپ کانه‌زایی طلا در کانسار زرتشت، جنوب غرب جیرفت، سندج- سیرجان جنوبی، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، ۴۲۵ صفحه.
- عمرانی، ج. و خبازنیا، ع.ر.، ۱۳۸۲، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه آلوت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- محجل، م.، ۱۳۸۳، ساختار در پهنه‌های برشی طلادار منطقه آلوت (کردستان)، خلاصه مقالات بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صفحه ۳۰-۲۸.
- نیرومند، ش.، تاج‌الدین، ح.ع. و حقیری قزوینی، ص.، ۱۳۹۹الف، زمین‌شناسی و کانه‌زایی طلا در محدوده غرب کسنزان، جنوب سقز، استان کردستان، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۵۵، صفحه ۸۱-۹۴.
- نیرومند، ش.، نعمتی، م. و تاج‌الدین، ح.ع.، ۱۳۹۹ب، زمین‌شناسی و کانه‌زایی و مطالعه میانبارهای سیال در کانسار قیغلوچه جنوبی، جنوب سقز (کردستان)، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. دوره ۱۰، شماره ۴، صفحه ۶۵۲-۶۶۸.

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): Constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*. 94, 401-419.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B., and Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geol.Magazine*, 148: 692-725.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics*. 229, 211-238.
- Aliyari, F., Rastad, E., and Zengqian, H., 2007. Orogenic gold mineralization in the Qolqoleh Deposit, Northwestern Iran. *Resource Geology*. 57, 269-282.
- Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M., and Arehart, G. B., 2009. Geology and geochemistry of D-O-C isotope systematics of the Qolqoleh gold deposit, Northwestern Iran: Implications for ore genesis. *Ore Geology Reviews*. 36, 306-1314.

- Aliyari, F., Rastad, E., and Mohajjel, M., 2012. Gold deposits in the Sanandaj-Sirjan zone orogenic gold deposits or intrusion related gold systems. *Resource. Geology.*, 62(3), 296–315.
- Asadi, S., and Niroomand, S., 2018. Fluid inclusion and stable isotope geochemistry of the orogenic-type Zinvinjian Cu–Pb–Zn–Au deposit in the Sanandaj–Sirjan metamorphic belt, Northwest Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, (184), 82–96.
- Berberian, M., and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: *Canadian Journal of Earth Sciences*. 18, 210–265.
- Brown, P.E., 1989. FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data. *Am. Min.* 74, 1390–1393.
- Craw, D., Upton, P., Yu, B., Horton, T., and Chen, Y., 2010. Young orogenic gold mineralisation in active collisional mountains, Taiwan. *Miner Deposita*, 45:631–646.
- Eftekhari-Nezhad, J., 1973. The Mahabad Quadrangle map (scale 250,000). Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. Tehran.
- Eftekhari-Nezhad, J., 2004. Exploration text of The Mahabad Quadrangle map 1:250,000 (North Kurdistan). Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. Tehran.
- Frimmel, H.E., 2008. Earth's continental crustal gold endowment: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 267, p. 45–55.
- Ghasemi, A., and Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). *J Asian Earth Sci.* 26, 683–693.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R., and Gosselin, P., 2005. Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 407–450.
- Goldfarb, R.J., and Groves, D.I., 2015. Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos* 233, 2–26.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., and Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*. 13, 7–27.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F., and Hart, J.R., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding outstanding problems, future research and exploration significance. *Econ. Geol.* 98, 1–29.
- Hall, D.L., Sterner, S.M., and Bodnar, R.J., 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions. *Econ. Geol.* 83, 197–202.
- Hassanzadeh, J., Stocki, D., Horton, B. K., Axen, G. J., Stocki, L. D., Grove, M., Schmitt, A. K., Walker, J. D., 2008. U-Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic– Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement. *Tectonophysics*. 451, 71–96.
- Heidari, S.M., Moosavi Makooi, S.A., Mirzakhani, M., Rasoli, F., Ghaderi, M., and Abadi, A.R., 2016. A review of tectono-magmatic evolution and gold metallogeny in the inner parts of Zagros orogeny: A tectonic model for the major gold deposits, western Iran. *Eurasian Mining*, v. 25(1), p. 3–20, DOI: 10.17580/em.2016.01.01.
- Kohestani, H., Rashidnejad-Omran, N., Rastad, E., and Mohajjel, M., 2014. Orogenic gold mineralization at the Chah Bagh deposit, Muteh gold district, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 9:89–106.
- Kreuzer, O.P., 2006. Textures, paragenesis and wall-rock alteration of lode-gold deposits in the Charters Towers district, north Queensland: implications for the conditions of ore formation, *Min. Dep.* 40, 639–663.
- Lei, T., Li, Z.-H., and Liu, M., 2019. Removing mantle lithosphere under orogens: delamination versus convective thinning. *Geophysical Journal International* 219: 877–896.
- Lu, Q., Sun, X., Li, D., Fu, Y., Zhou, F., Liang, Y., Lin, X., and Lao, Y., 2022. Fluid inclusion microthermometry and C-H-O-He-Ar isotopes of the Zartorosht gold deposit, SE Iran: Implications for ore-fluid nature and metallogenesis. *Ore Geology Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104600>.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran. *J. Asian Earth Science*. 21, 397–412.
- Niroomand, Sh., Goldfarb, R.J., Moore, F., Mohajjel, M., and Marsh, E.E., 2011. The Kharapeh orogenic gold deposit: geological, structural, and geochemical controls on epizonal ore formation in West Azerbaijan Province, Northwestern Iran. *Mineralium Deposita*, 46, 409–428.
- Omrani, J., Agard, P., Whitechurch, H., Mathieu, B., Prouteau, G., and Jolivet, L., 2008. Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: a new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos*. 106, 380–398.
- Prokofiev, V.Y., and Naumov, V.B., 2020. Physicochemical Parameters and Geochemical Features of Ore-Forming Fluids for Orogenic Gold Deposits Throughout Geological Time. *Minerals*, 10(1), 50: 1–38.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy*. 12, 644 pp.
- Rollinson, H.R., 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical, London, 352 pp.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., and Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, 223 p.

- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., and Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie, Glasgow, 239 pp.
- Sibson, R.H., 2004. Controls on maximum fluid overpressure defining conditions for mesozonal mineralization. *Journal of Structural Geology*, 26, 1127–1136.
- Stampfli, G.M., and Borel, G.D., 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196, 17–33.
- Sterner, S.M., Hall, D.L., and Bodnar, R.J., 1988. Synthetic fluid inclusions V: solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vaporsaturated conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol: 52(5), p: 989-1005.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, 1229–1258.
- Tajeddin, H.A., Rastad, E., Yaghoupour, A., Maghfouri, S., Peter, J.M., Goldfarb, R., and Mohajjel, M., 2019. The Barika gold-bearing, Koruko-type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposit, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Ore Geology Reviews*, No.113.
- Touret, J., and Dietvorst, P., 1983. Fluid inclusions in high-grade anatectic metamorphites. *J. Geol. Soc. (Lond)* 140, 635–649.
- Whitney, D. L., and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: *Lithos*, 55, 229-272.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55: 229-272.

Original Research Paper

Deformation, alteration and fluid inclusion studies in the Mirgenaghshineh orogenic gold deposit, Northwest of Sanandaj-Sirjan Zone

Hossein Ali Tajeddin¹, Ebrahim Rastad^{1*}, Abdolmajid Yaghoubpor² and Mohammad Mohajjel¹

¹Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

²Department of Geology, Faculty of Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2020 June 01

Accepted: 2022 June 13

Available online: 2022 December 22

Keywords:

Mirgenaghshineh gold deposit

Orogenic

Epizonal

Fluid inclusion

Sanandaj-Sirjan zone

ABSTRACT

The Mirgenaghshineh gold deposit is located 43 km northwest of Saqqez in the northwestern part of the Sanandaj-Sirjan zone. The rocks in the deposit area predominantly consist of Precambrian volcanosedimentary sequences of schist, metasandstone, slate and metaandesite which are intruded by granitoid bodies. The Gold mineralization in the Mirgenaghshineh deposit is hosted mostly in Northwest-Southeast shear zone. The high grade gold ores occur in highly deformed mylonitic and ultramylonitic rocks that are associated with quartz, sericite-muscovite and sulfide alteration minerals. Ore mineral assemblages of the deposit are simple and consist of pyrite, arsenopyrite, sphalerite, chalcopyrite, galena and electrum. The electrum grains range in size from less than 5 μm to 140 μm and occur in quartz and also in the form of inclusion and veinlet in pyrites. According to geochemical data, gold-bearing ores carry up to 64.3 ppm Au, 9.9 ppm Ag, 2096 ppm As, 506 ppm Pb, 354 ppm Zn, and 244 ppm Cu. Fluid inclusion studies on gold-bearing quartz indicate homogenization temperatures between 158 and 215°C and salinity between 3.3 to 14.5 wt% NaCl eq. for the ore fluid. The study indicates that main characteristics of the geology and mineralization of the Mirgenaghshineh are similar to those of the epizonal orogenic gold deposits.

* Corresponding author: Ebrahim Rastad; E-mail: rastad@modares.ac.ir

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

doi: 10.22071/GSJ.2022.232116.1795

dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.4.19.5

