چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علوم زمین
The 42nd National Geosciences Congress
www.geoconf.ir

مکانیسم تشکیل و پارامترهای کنترل کننده کانه‌زایی و تمرکز ماده معدنی در کانسار لخشک

نسیم حیدریان دهکردی [۱] ، شجاع الدین نیرومند[۲]، حسینعلی تاج الدین [۳]

[۱]گروه زمین شناسی، پژوهشکده علوم پایه کاربردی، جهاددانشگاهی واحد شهیدبهشتی، تهران

[۲]گروه زمین شناسی، دانشگاه تهران، تهران

[۳]گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

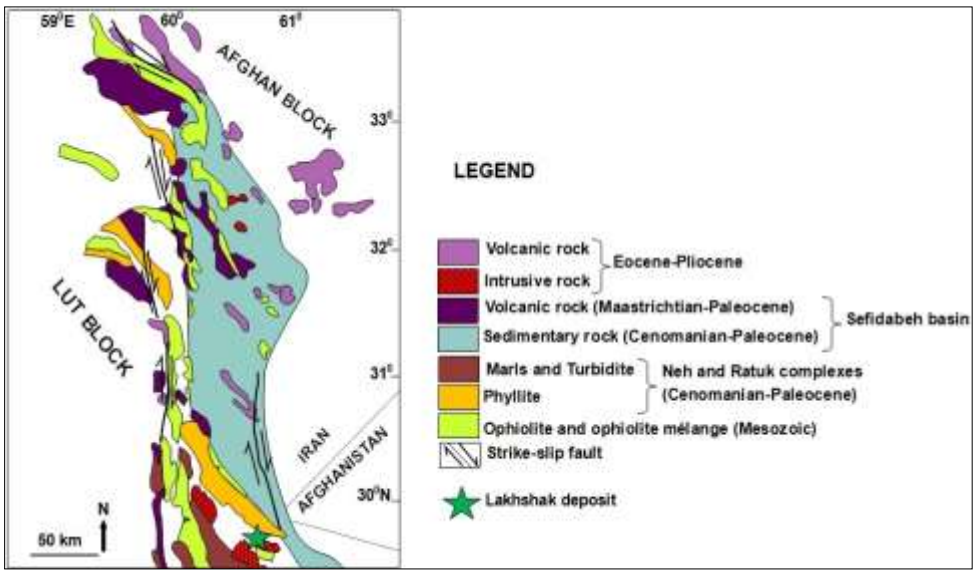
چکیده

کانسار لخشک بخشی از کمربند دگرگون زون زمین درز سیستان است. مجموعه واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه شامل سنگ های آتشفشانی دگرگون شده در حد رخساره شیست سبز، سنگ آهک دگرگون شده و توده نفوذی گرانیتوئیدی می باشد. بالاترین عیار طلا با شدیدترین دگرسانی‌های سیلیسی و سولفیدی رخ داده در بخش‌های داخلی زون برشی لخشک همراه با دگرشکلی شکل‌پذیر و شکنا (درز، شکستگی و رگه-رگچه) مرتبط است. کنترل کننده‌ی کانی‌سازی در کانسار لخشک ساختاری بوده و توسط زون برشی دگرسان با راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب، که در همبری توده گرانیتوئیدی و واحد کالک‌شیست رخ داده است، کنترل می‌شود. بر اساس شواهدی از جمله محیط ژئودینامیکی منطبق بر حاشیه فرورانش قاره‌ای، قراگیری در زون زمین‌درز سیستان، وجود سنگ میزبان دگرگونی در حد رخساره شیست سبز، نوع دگرسانی‌ها، رخداد زون برشی شکنا-شکل‌پذیر کنترل کننده کانه‌زایی، ژئومتری رگه و رگچه‌ای ماده معدنی و رخداد کانی‌زایی به صورت رگه و رگچه‌های کوارتز-سولفیدی هم‌روند با برگوارگی، می‌توان بیان داشت که در شکل گیری و ته نشست ماده معدنی در کانسار لخشک عوامل ساختاری از جمله درز، شکستگی، گسل، ماگماتیسم، دگرگونی، دگرشکلی و دگرسانی نقش اساسی دارند. این کانسار از نوع اپی‌ژنتیک بوده که جریان سیالات حاوی فلز و ته‌نشست و تمرکز آنها، توسط فضاهای ساختاری حاصل از دگرشکلی کنترل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کانسار لخشک، زون زمین درز سیستان، توده گرانیتوئیدی، زون برشی، عوامل ساختاری

۱. مقدمه

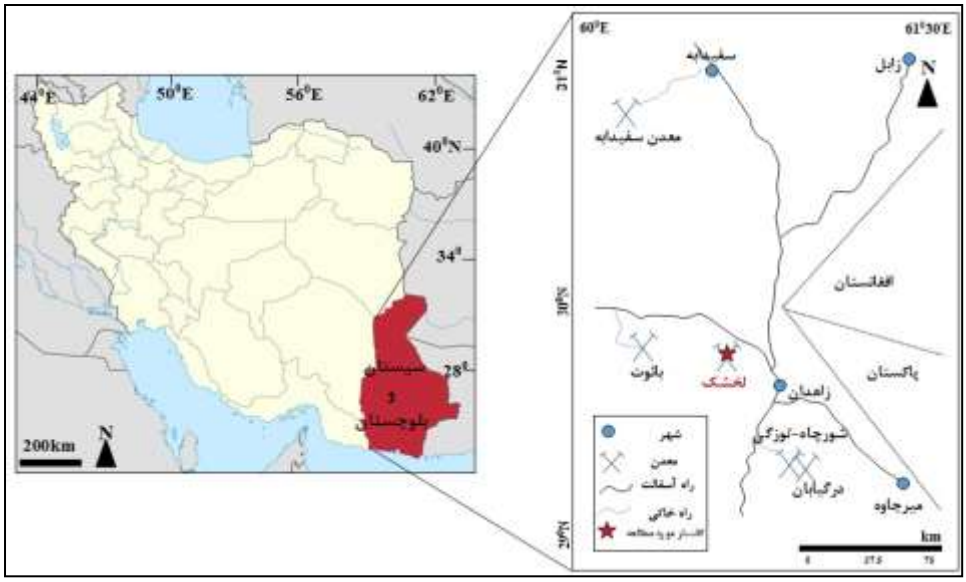
زون‌ها و کمربندهای دگرگونی مربوط به فانروزوئیک که به لحاظ ژئودینامیکی منطبق بر حاشیه فرورانش قاره‌ای هستند، می‌توانند میزبان کانسارهای طلای تیپ کوهزایی باشند [1, 2] زون زمین درز سیستان یک زون متالوژنیکی جوان و مهم واقع در جنوب شرق ایران و بین دو بلوک لوت و افغان است (شکل ۱) [3] که در طی سال‌های اخیر در بین زمین‌شناسان بسیار مورد توجه قرار گرفته است و امروزه میزبان بسیاری از کانسارهای فلزات پایه و طلا-آنتیموان است. تیرول و همکاران [3]، زون زمین درز سیستان را متشکل از دو مجموعه افیولیتی رتوک در شرق، نه در غرب و حوضه سفیدابه معرفی کردند (شکل ۱). بر مبنای نظر تیرول و همکاران [1]، مجموعه افیولیت‌های زون زمین‌درز سیستان، نتیجه فرورانش اقیانوس سیستان به زیر بلوک افغان هستند. افیولیت‌ها و ولکانیک‌های همراه، منبع طلا، گوگرد و استیبنیت هستند و سیالات کانه‌ساز ضمن حرکت، گوگرد، طلا و فلزات همراه را از ولکانیک‌های همراه با افیولیت‌ها آزاد کرده و آنها را در ترکیب خود اضافه می‌کنند[4, 5]. کانسار طلا-آنتیموان لخشک واقع در جنوب‌غرب زون زمین‌درز سیستان، یکی از کانسارهای مهم است. با توجه به اهمیت این کانسار، می توان ضمن ارائه الگوی تشکیل و تمرکز کانه‌زایی طلا، در راستای پتانسیل‌سنجی و اکتشاف ذخایر طلا در سایر بخش‌های این زون که ویژگی‌های زمین‌شناسی و تاریخچه ژئودینامیکی مشابه با محدوده مورد مطالعه را دارند، کارآمد و کلیدی باشد. در مطالعه یک کانسار، شناسایی پارامترها و عوامل مؤثر در کنترل تشکیل و تمرکز ماده معدنی نقش اساسی دارند. بر این اساس، در این مقاله عوامل و پارامترهای کنترل کننده کانه‌زایی و تمرکز ماده معدنی در کانسار لخشک مورد بررسی قرار خواهند گرفت.



شکل ۱. نقشه موقعیت قرارگیری بلوک‌های قاره‌ای و زیر شاخه‌های زون زمین‌درز سیستان شامل مجموعه برافزایشی رتوک، نه و رسوبات حوضه سفیدابه [3, 6].

۲. زمین شناسی

به لحاظ تقسیمات کشوری، منطقه مورد مطالعه در ۲۸ کیلومتری شمال غرب زاهدان، در هفت کیلومتری غرب روستای لخشک و در بخش جنوب‌غربی زون زمین‌درز سیستان واقع شده است (شکل ۲). اصلی‌ترین رخنمون‌های محدوده لخشک تناوبی از شیست‌ها شامل کالک‌شیست و کوارتز شیست با سن ائوسن هستند که در حد رخساره شیست سبز دگرگون شده و توسط توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی و دایک‌های داسیتی-ریولیتی با سن الیگوسن قطع شده‌اند. کنترل کننده‌ی کانی‌سازی طلا-آنتیموان در کانسار لخشک ساختاری بوده و توسط زون برشی دگرسان با راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب، که در همبری توده گرانیتوئیدی و واحد کالک‌شیست رخ داده است، کنترل می‌شود. بالاترین عیار طلا با شدیدترین دگرسانی‌های سیلیسی و سولفیدی رخ داده در بخش‌های داخلی زون برشی لخشک همراه با دگرشکلی شکل‌پذیر و شکنا (درز، شکستگی و رگه-رگچه) مرتبط است.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

۳. روش مطالعه

در راستای دستیابی به اهداف این پژوهش، در بررسی‌های صحرایی و مطالعات زمین شناسی، لیتولوژی و تغییرات ساختاری واحدهای سنگی محدوده مطالعه شد. بر اساس اهداف پژوهش، تعداد ۷۰ نمونه از رخنمون ها و واحدهای سنگی مختلف برداشت شد. مطالعات پتروگرافی بر روی ۳۰ مقطع نازک انجام شد. به منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی، بررسی تأثیر عوامل کنترل کننده‌ی کانه‌زایی طلا از جمله عوامل زمین‌شناختی، نوع سنگ میزبان، دگرشکلی، دگرگونی، دگرسانی و ماگماتیسم بر تمرکز و کانه‌زایی، تعداد ۵۰ نمونه مورد آنالیز ICP MS قرار گرفتند.

۴. بحث

۱،۴. عوامل و پارامترهای کنترل کننده شکل گیری کانسار لخشک

در تعیین عوامل و پارامترهای کنترل کننده شکل‌گیری یک کانسار، مطالعه عواملی از جمله دگرگونی، ماگماتیسم توده نفوذی، دگرشکلی، دگرسانی، سنگ‌شناسی، لیتوژئوشیمی و ویژگی‌های ساختاری واحدهای میزبان کانه‌زایی و نحوه انتقال و ته نشست ماده معدنی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر مبنای بررسی پارامترها و عوامل مؤثر در شکل‌گیری کانسار، می‌توان منشأ و مکانسیم شکل‌گیری آن کانسار را تعیین کرد. در این بخش، براساس شواهد و نتایج حاصل، تأثیر و نقش هر یک از پارامترهای مؤثر در کنترل کانه‌زایی و تمرکز ماده معدنی در کانسار لخشک تشریح خواهند شد.

۱،۱،۴. جایگاه ژئودینامیکی و تأثیر آن بر کانه‌زایی و تمرکز ماده معدنی

تحولات اقیانوس‌های تتیسی شامل ریفتینگ، فرورانش و برخورد قاره‌ای، علاوه بر شکل‌گیری سیستم‌های کوهزایی، منجر به تشکیل زون‌های متالوژنی در نقاط مختلف دنیا شده است [7]. فرورانش نئوتتیس و تصادم بلوک‌های قاره‌ای، علاوه بر رخداد دگرگونی ناحیه‌ای، چین‌خوردگی، گسل خوردگی، زون‌های برشی، ماگماتیسم و فازهای کوهزایی، منجر به رخداد کانه‌زایی طلا-آنتیموان در زون زمین درز سیستان شده است [8,3]. به بیان دیگر، شکل‌گیری این زون و کانه‌زایی طلا-آنتیموان در آن مرتبط با تحولات اقیانوس نئوتتیس بوده است. زون زمین درز سیستان منطبق بر حاشیه فرورانش قاره‌ای است و بر اساس شواهد موجود، جایگاه ژئودینامیکی، سنگ میزبان دگرگونی، ساختارهای برشی، گسل‌ها، برخورد صفحات همگرا، کمپلکس‌های برافزایشی و وجود زمین‌درزهای افیولیتی مرتبط با نئوتتیس، مستعد کانه‌زایی طلای تیپ کوهزایی بوده و می‌تواند پتانسیل میزبانی این نوع از کانسارها را دارا باشد [9,10]. کانسار لخشک واقع در این زون نیز به لحاظ ژئودینامیکی منطبق بر حاشیه فرورانش قاره ای است.

۲،۱،۴. ساختارها و تأثیر آنها بر کانه‌زایی و تمرکز ماده معدنی

کمربندهای دگرگونی فانروزوئیک، زمین درزهای برخوردی، حاشیه فرورانش قاره‌ای و همچنین زون‌های گسلی و برشی، محیط‌های مناسب برای شکل‌گیری کانسارهای طلای تیپ کوهزایی و مرتبط با زون برشی هستند [11]. ساختارها با ایجاد فضا و موقعیت مناسب، شرایط را برای هدایت و صعود سیالات کانه‌زا و ته نشست و تمرکز آنها فراهم می‌کنند. در کانسار لخشک، مشابه اغلب کانسارهای طلای کوهزایی، صعود و هدایت سیالات دگرگون‌زاد از سطوح عمیق پوسته به سمت سطوح کم عمق پوسته‌ای در امتداد درزها، شکستگی‌ها و گسل‌ها رخ داده است. همچنین، محدوده این

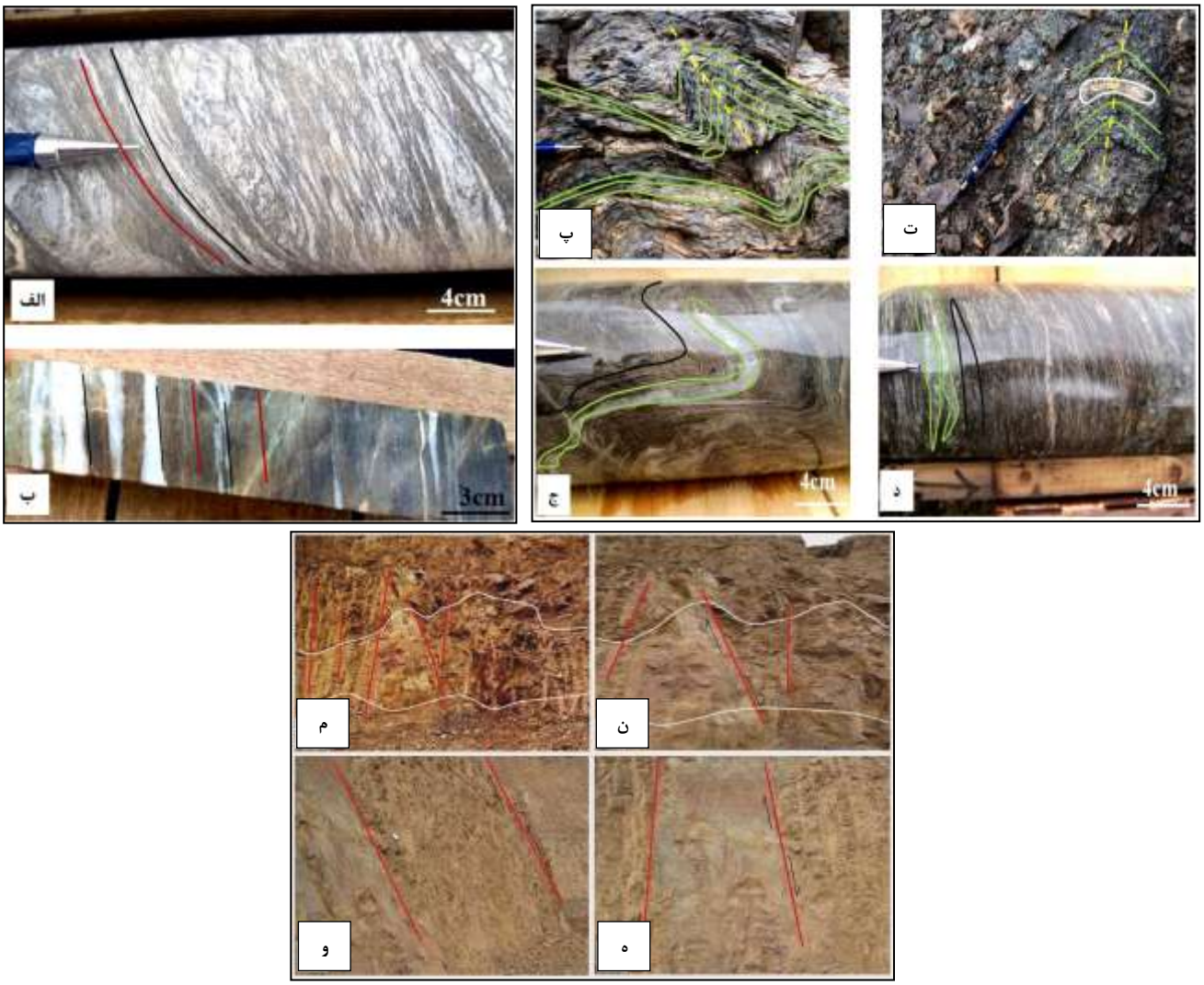
کانسار با توجه به موقعیت ژئودینامیکی زون زمین درز سیستان و وجود ساختارهایی از جمله زون برشی و زون گسلی، مشابه بسیاری از کانسارهای تیپ کوهزایی است. بر این اساس، کانه‌زایی طلا در کانسار لخشک منطبق بر زون برشی دگرسان و دگرشکل با روند شمال‌شرق-جنوب‌غرب، در همبری واحدهای کالک‌شیست و توده گرانیتوئیدی است. کنترل کننده کانه‌زایی در کانسار لخشک عمدتاً ساختاری بوده و جریان سیالات حاوی فلز و ته نشست و تمرکز آنها، توسط درز، شکستگی، زون برشی و زون گسلی کنترل شده است.

۳،۱،۴. دگرگونی و تأثیر آن بر کانه‌زایی و تمرکز ماده معدنی

فرورانش و بسته شدن اقیانوس‌های تتیسی و برخورد صفحات قاره‌ای عربستان-ایران و بدنبال آن برخورد بلوک‌های قاره‌ای افغان و لوت، علاوه بر رخداد دگرگونی و دگرشکلی، منجر به تشکیل و جایگیری توده‌های نفوذی گرانیتوئید در محدوده کانسار لخشک شده است [9]. برخورد بلوک‌های قاره‌ای منجر به رخداد دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره شیست سبز در واحدهای شیستی به ویژه کالک‌شیست‌ها شده است. بر این اساس، بدنبال آبزدایی رسوبات دریایی، سیالات دگرگونی از بخش‌های عمیق پوسته و از طریق درزه‌ها، شکستگی‌ها و گسل‌ها به سمت قسمت‌های کم عمق پوسته مهاجرت کرده‌اند. این سیالات بدنبال واکنش با واحدهای سنگی در طول مسیر و برهمکنش بین سیال/سنگ، ضمن شستشو، سبب آزادسازی طلا، گوگرد، آنتیموان، نقره، روی، آرسنیک و جیوه متمرکز شده در کانه‌های سولفیدی موجود در واحدهای آتشفشانی-رسوبی شده است. در ادامه، سیالات دگرگون‌زاد بالارونده غنی شده، به سمت سطوح کم عمق پوسته و فضاهای ساختاری مناسب از جمله زون‌های برشی هدایت شده و پس از ترکیب با سیال جوی پائین‌رونده و تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی، ته‌نشست یافته و در نهایت منجر به تمرکز ماده معدنی و شکل‌گیری کانسنگ طلادار در محدوده لخشک شده است.

۴،۱،۴. دگرسانی و دگرشکلی و تأثیر آن بر کانه‌زایی و تمرکز ماده معدنی

از مهم‌ترین دگرسانی‌ها در کانسار لخشک می‌توان به دگرسانی سیلیسی، سریسیتی، کربناتی و سولفیدی اشاره کرد. بر این اساس، بیشترین گسترش دگرسانی‌های سولفیدی و سیلیسی در قسمت‌های مرکزی و بیشترین گسترش دگرسانی سریسیتی و کربناتی در قسمت‌های میانی و بیرونی زون برشی لخشک رخ داده است. سولفید و کوارتز، عمده‌ترین کانی‌های حاصل از دگرسانی در محدوده لخشک هستند. در محدوده لخشک، پیریت اصلی‌ترین کانه سولفیدی است که در زون‌های دگرسان، در همراهی با سایر سولفیدها رخ داده است. عمده‌ترین رخداد دگرسانی سیلیسی همانند دگرسانی سولفیدی، در بخش‌های داخلی زون برشی و در واحدهای با شدت دگرشکلی بالا است. به طور کلی، در محدوده کانسار لخشک، بالاترین عیارهای طلا منطبق بر قسمت‌های مرکزی زون برشی با بالاترین درجات دگرشکلی و دگرسانی (شامل دگرسانی سولفیدی و سیلیسی) است. زون‌های برشی شکنا-شکل‌پذیر، از جمله ساختارهای حاصل از دگرشکلی میزبان در کانسارهای طلای تیپ کوهزایی هستند. بر مبنای مطالعات انجام شده، محدوده مورد مطالعه متأثر از چندین مرحله دگرشکلی است که ساختارهای ایجاد شده، ضمن ایجاد فضاهای مناسب، منجر به تسهیل در حرکت سیال و ته‌نشست و تمرکز ماده معدنی شده‌اند. ساختارهای مذکور، ضمن ایجاد فضاها و موقعیت‌های مناسب جهت جریان و ته‌نشست سیال کانه‌دار، نقش اساسی در شکل‌گیری کانسار لخشک داشته‌اند. بر مبنای مطالعات انجام شده، سه مرحله دگرشکلی D1, D2, D3 در محدوده مورد مطالعه قابل مشاهده است (شکل ۳). مهم‌ترین مرحله دگرشکلی در محدوده لخشک دگرشکلی مرحله دوم (D2) است. در طی این مرحله از دگرشکلی، عمده‌ترین تغییرات ساختاری اعم از توسعه ساختارهای شکل پذیر و برگوارگی درسنگ‌های منطقه، گسترش برگوارگی (S2) و خطوارگی کششی رخ داده است. گسترش این مرحله از دگرشکلی منجر به رخداد زون برشی لخشک با راستای شمال شرق-جنوب غرب شده است که موقعیت کانی‌سازی در همبری واحد کالک‌شیست و توده گرانیتوئیدی را کنترل کرده است. هر دو واحد کالک‌شیست و توده گرانیتوئیدی میزبان کانه‌زایی، بر مبنای عملکرد زون برشی، انواع و درجات متفاوتی از دگرشکلی از جمله دگرشکلی شکل‌پذیر و دگرشکلی شکنا به‌صورت رگه و رگچه‌ای را نشان دادند. در کانسار لخشک نیز مشابه کانسارهای طلای تیپ کوهزایی، بین شدت دگرسانی، دگرشکلی و عیار کانه‌زایی، رابطه مستقیمی وجود دارد. بر این اساس، بالاترین مقادیر (عیار) طلا در بخش‌های مرکزی زون برشی لخشک با بالاترین درجات دگرشکلی، که واجد فابریک‌های شکل پذیر و دگرسانی شدید بوده و با حجم زیادی از کانه‌های سولفیدی همراهند، منطبق است و بدنبال دور شدن از مرکز زون برشی لخشک، ضمن کاهش شدت دگرسانی و دگرشکلی، عیار طلا نیز کاهش می‌یابد.

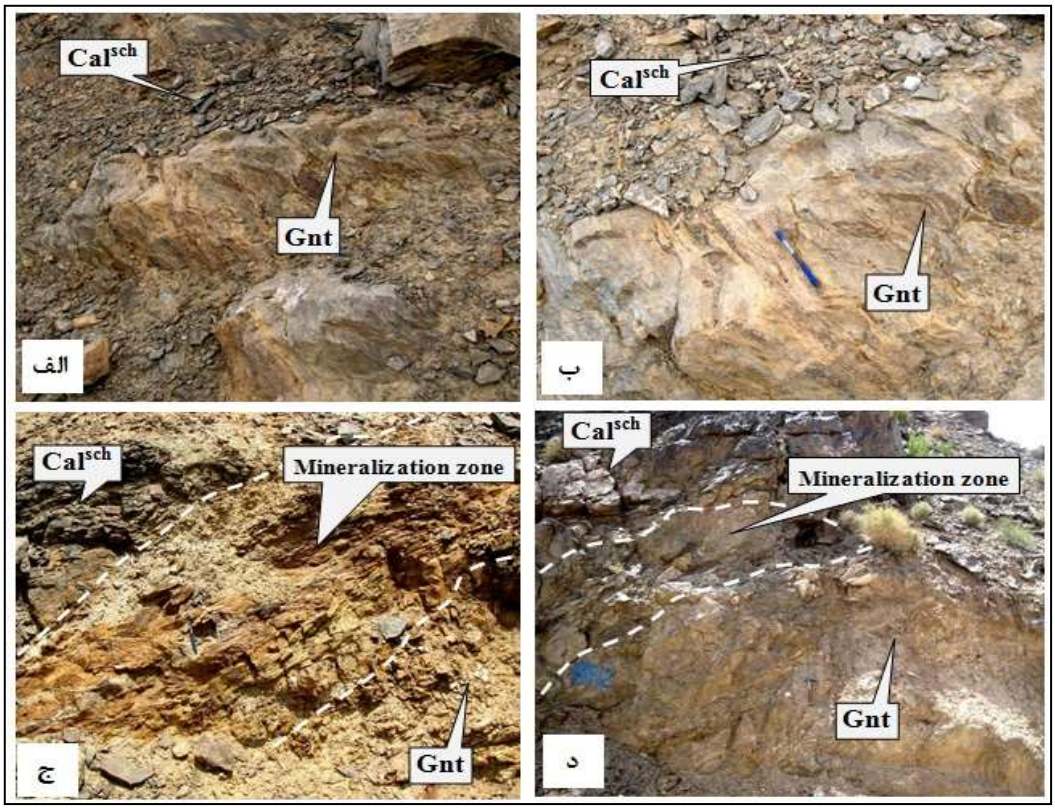


شکل ۳. (الف و ب) تصاویری از مغزه‌های حفاری واحدهای میزبان کانه‌زایی در محدوده لخشک و تأثیر عملکـرد دگرشـکلی مرحلـه اول. (پ، ت، ج و د) تصاویری از انواع چین‌خوردگی‌های نامتقارن و ایزوکلینال دارای سطح محوری عمود بـا رونـد شمال‌شـرق-جنـوب‌غرب ناشـی از دگرشـکلی فـاز D2 در رخنمون‌ها و مغزه‌های حفـاری واحـدهای میزبـان کانـه‌زایی در محـدوده لخشـک. (م، ن، و، ه) تصـاویری از عملکـرد دگرشـکلی مرحلـه سـوم و ایجـاد ساختارهای شکنا به صورت تشکیل گسل، در رخنمون‌های محدوده لخشک. بر این اساس، دگرشکلی مرحله سوم به شـکل گسـل‌های نرمـال، رگـه‌های کوارتزی کانه‌دار رخنمون‌های محدوده لخشک را قطع کرده است (دید به سمت جنوب غرب).

۵،۱،۴. ماهیت سنگ میزبان و تأثیر آن بر کانه‌زایی و تمرکز ماده معدنی

در شکل‌گیری کانسار لخشـک وجـود زون برشـی بـا درجـات نفوذپـذیری بـالا و سـنگ میزبان‌هـای مناسـب از جملـه واحـد کالک‌شیست و توده گرانیتوئیدی (شکل ۴)، نقش مهمی را در ته‌نشست و تمرکز سیال کانه‌دار و در نهایت کانه‌زایی داشـته‌اند. افزایش نفوذپذیری و نهشت ماده معدنی در کانسار لخشک، تابع دگرشکلی بوده که منجـر بـه شـکل‌گیری مجـاری و فضـاهای مناسب جهت هدایت سیالات کانه‌زا در واحدهای میزبان کانه‌زایی شده است. شکل، عیار و ابعاد کانسـنگ‌های طـلادار کانسـار

لخشک توسط سنگ میزبان کنترل شده است. بر این اساس سنگ میزبان کالک‌شیستی و به میزان کمتر توده گرانیتوئیدی نقش مهمی را در به دام انداختن سیالات کانه‌دار و ته نشست طلا در کانسار لخشک داشته اند. زون برشی میزبان کانه‌زایی در کانسار لخشک در همبری دو واحد کالک‌شیست با درجه سختی کم و توده گرانیتوئیدی با درجه سختی بالاتر، رخ داده است.



شکل ۴. تصاویری از رخنمون توده گرانیتوئیدی که عمدتاً در همبری واحد کالک‌شیستی جایگیر شده است. در این تصاویر واحد کالک‌شیستی، در بالادست و پایین دست توده نفوذی مشاهده می‌شود. (ج و د) نمایی از زون کانی‌زایی و رگه و رگچه‌های کوارتز-سولفیدی در همبری توده‌های گرانیتوئیدی و واحد کالک‌شیست. (Gnt: توده گرانیتوئیدی؛ Cal^{sch}: کالک‌شیست)

۵. نتیجه گیری

کانسار طلای لخشک در زون برشی و با میزبانی واحد کالک‌شیست همبر با توده گرانیتوئیدی با روند شمال شرق-جنوب غرب در زون زمین درز سیستان شکل گرفته است. بر مبنای نتایج بدست آمده در این پژوهش، می‌توان بیان داشت که بدنبال فرورانش اقیانوس نئوتتیس و برخورد دو بلوک قاره‌ای لوت و افغان، دگرگونی ناحیه‌ای و آبزدایی رسوبات دریایی در اعماق زیاد رخ داده است که در نتیجه، سیالات دگرگونی ایجاد شده، از بخش‌های عمیق پوسته و از طریق درزه ها، شکستگی‌ها و گسل‌ها به سمت قسمت‌های کم عمق پوسته مهاجرت کرده‌اند. این سیالات بدنبال واکنش با واحدهای سنگی در طول مسیر و برهمکنش بین سیال/سنگ، ضمن شستشو، سبب آزادسازی طلا، گوگرد، آنتیموان، نقره، روی، آرسنیک و جیوه متمرکز شده در کانه‌های سولفیدی موجود در واحدهای آتشفشانی-رسوبی شده است. در ادامه، سیالات دگرگون‌زاد بالارونده غنی شده، به سمت سطوح کم عمق پوسته و فضاهای ساختاری مناسب از جمله زون‌های برشی هدایت شده و پس از ترکیب با سیال جوی پائین رونده و تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی، ته نشست یافته و در نهایت منجر به شکل‌گیری کانسنگ طلادار در محدوده لخشک شده است. به بیان دیگر، می‌توان بیان داشت که نفوذ و غلبه سیالات جوی بر دگرگونی در فازهای نهایی شکل‌گیری زون برشی لخشک رخ داده است. بر اساس نتایج حاصل، در شکل گیری و ته نشست ماده معدنی در کانسار لخشک عوامل ساختاری از جمله درز، شکستگی و گسل، ماگماتیسم، دگرگونی، دگرشکلی و دگرسانی نقش اساسی دارند. این کانسار از نوع اپی‌ژنتیک بوده که کنترل کننده آنها عوامل ساختاری است که جریان سیالات حاوی فلز و ته‌نشست و تمرکز آنها، توسط فضاهای ساختاری حاصل از دگرشکلی کنترل می‌شود.

منابع

[1] Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., 2005. Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. Economic Geology 100th Anniversary 407–450.
[2] Groves, D., Goldfarb, R., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration Significance. Economic Geology 98, 1–29.

[3] Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. Geological Society of America Bulletin 9, 134–150.
[4] Pirajno, F., 2009. Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Springer, Berlin, Germany 1250 p
[5] Evans, A.M., 1993. Ore geology and industrial minerals. Blackwell, Sci. Pub. 389 p.
[6] Fotoohi Rad, G.R., Droop, G.T.R., Amini, S., 2005. Eclogites and blueschists of the Sistan Suture Zone, eastern Iran: a comparison of P–T histories from a subduction mélange. Lithos 84, 1–24.
[7] Stampfli, G.M., Borel G.D., 2002. The TRANSMED transects in space and time: constraints on the paleotectonic evolution of the Mediterranean Domain. In: Cavazza W, Roure F, Spakman W, Stampfli GM, Ziegler P (eds) The TRANSMED Atlas: the Mediterranean Region from Crust to Mantle. Springer, Berlin 53–80.
[8] Boomeri, M., 2014. Petrography and geochemistry of intrusive rocks in Shurchah antimony area, southeast of Zahedan. Journal of Petrology 18, 15–32.
[9] Heydarian Dehkordi, N., Niroomand, S., Tajeddin, H.A., Nozaem, R., 2022. Integrated geophysical study of the Lakhshak gold-antimony deposit in the Sistan suture zone, southeastern Iran. Arabian Journal of Geosciences. https://doi.org/10.1007/s12517-022-09628-9.
[10] Niroomand, S., Moore, F., Goldfarb, R., 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. https://doi.10.1007/s00126–011–0335–x.
[11] Pitcairn, I., Leventis, N., Beaudoin, G., 2021. A meta-sedimentary source of gold in Archean orogenic gold deposits. Geological Society of America. https://doi.org/10.1130/G48587.1.