

زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری، دگرسانی و کانه‌زایی در کانسار چندفلزی (Pb-Zn-Cu-Au-Ag) نیان، بجنستان، شمال باختری بلوک لوت، خاور ایران

حسین هادی‌زاده^{۱*}، علی‌اصغر کلاگری^۲، نیما نظافتی^۳ و حبیب ملایی^۴

^۱دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

^۲استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۳استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

^۴استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۲۱

چکیده

منطقه نیان در شمال باختری بلوک لوت میزبان سامانه رگه‌های چند فلزی Pb-Zn-Cu-Ag-Au است که درون یک سری از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیبی متغیر از داسیت، ریوداسیت، آندزیت تا تراکی آندزیت گسترش یافته‌اند. این سنگ‌ها در طی دو مرحله مجزا از فوران گدازه‌ها تشکیل شده‌اند. سنگ‌های میزبان کانه‌زایی سرشتی کالک آلکالین تا شوشونیتی داشته و در محیطی کوهزایی تشکیل شده‌اند. عملکرد توأم و متضاد دو گسل اصلی در دو سوی محدوده معدنی، سبب ایجاد شرایط کششی در بلوک میان این دو گسل شده که منتهی به گسترش یک سری گسل‌های فرعی با مؤلفه‌های شیب‌لغز و امتدادلغز درون بلوک شده است. این پهنه‌های شکستگی به‌عنوان مجرای مناسبی برای تراوش سیال‌ها و گسترش رگه‌های سیلیسی کانه‌دار رفتار کرده‌اند. عواملی چون شکستگی‌های گسترده و وجود سنگ‌های پیروکلاستیکی با نفوذپذیری بالا باعث گسترش دگرسانی‌های گسترده در سنگ‌های میزبان شده است. سه نوع دگرسانی مشخص در کانسار نیان گسترش یافته است: ۱) سیلیسی (کوارتز، کلسدون، آدولاریا، کلسیت، ایلیت و سریسیت)؛ ۲) آرژیلیکی (ایلیت، اسمکتیت، کوارتز، کائولینیت، آدولاریا، کلریت، سریسیت و زئولیت)؛ ۳) پروپیلیتیک (کلریت، کلسیت، آلپیت، اپیدوت، کوارتز و اسمکتیت) که با ۵ مرحله کانه‌زایی همراه هستند. این دگرسانی‌ها توسط محلول‌های کلریدی با pH خنثی تا بسیار قلیایی تشکیل شده‌اند. کانه‌زایی در کانسار نیان به‌صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، افشان در سنگ‌های میزبان و نیز در ارتباط با برش‌های گرمایی است. مهم‌ترین کانه‌های کانسار نیان شامل پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوپریت، مارکاسیت، پیروتیت، ملنیکوویت و همتایت هستند. مهم‌ترین کانی‌های باطله نیز شامل کوارتز (کلسدون)، کریستوبالیت، کلسیت، دولومیت، سیدریت، باریت، فلوریت و آدولاریا هستند. شواهدی چون ارتباط کانی‌سازی با رگه‌های سیلیسی - کربناتی، حضور آدولاریا، ایلیت، کلسیت‌های تیغه‌ای و برش‌های گرمایی و همچنین حضور کانی‌های دگرسانی کوارتز، آدولاریا، ایلیت، آلپیت، کلریت، ایلیت - اسمکتیت میان‌لايه‌ای، کلسیت و پیریت در سیستم گرمایی نیان، نشان می‌دهد که این کانی‌ها از محلول‌های کلریدی با pH تقریباً خنثی تا بسیار قلیایی در یک محیط اپی‌ترمالی سولفیداسیون پایین تشکیل شده‌اند.

کلیدواژه‌ها بلوک لوت، نیان، چندفلزی، اپی‌ترمال، سولفیداسیون پایین.

*نویسنده مسئول: حسین هادی‌زاده

E-mail: h.hadizadehgsi@gmail.com

۱- پیش‌گفتار

منطقه کانه‌زایی دیده می‌شود که این امر نشان از فعالیت گذشتگان ما در راستای استخراج و بهره‌برداری از معادن فلزی در روزگاران گذشته در این ناحیه دارد. نخستین مطالعات زمین‌شناسی در ناحیه نیان مربوط به مطالعات زمین‌شناسی ناحیه‌ای است که توسط Eftekhamezhad et al. (1977) در خلال تهیه نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ فردوس انجام شد. کریم‌پور و همکاران (۱۳۸۴) به تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ طاهرآباد در این ناحیه پرداختند. اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای و پی‌جویی‌های اکتشافی در برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ طاهرآباد، توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (عزمی و صفری، ۱۳۸۴) به شناسایی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی بسیار از عناصر مختلف در این ناحیه انجامید. همچنین مطالعات صحرایی و پی‌جویی‌های اکتشافی روی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی به معرفی رگه‌های چندفلزی در این ناحیه انجامید (عزمی و صفری، ۱۳۸۵). اکتشافات نیمه‌تفصیلی در این ناحیه توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت شمال شرق در سال ۱۳۸۸ شروع شد. در طی این عملیات اکتشافی در منطقه‌ای بیش از ۲۰ کیلومتر مربع، نقشه زمین‌شناسی - معدنی ۱/۵۰۰۰ تهیه شد. برای شناسایی پهنه‌های کانه‌دار، روی این پهنه‌ها عملیات ژئوفیزیک به روش‌های IP و RS توسط گروه ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی در مساحت بیش از ۵ کیلومتر مربع انجام شد. همچنین، برای عیارسنجی و شناسایی دگرسانی‌های گرمایی در پیرامون رگه‌ها و پهنه‌های کانه‌دار، ۲۳ ترانسه اکتشافی (با حجم ۳۵۰ متر مکعب) روی رگه‌های کانه‌دار و پهنه‌های دگرسان شده

بلوک لوت در خاور ایران، بخشی از خردقاره ایران مرکزی است که درازای حدود ۹۰۰ کیلومتر در سوی شمال- جنوب و پهنای حدود ۲۰۰ کیلومتر در سوی خاوری- باختری دارد. مرز خاوری این بلوک به گسل نهندان و حوضه فلیشی خاور ایران و مرز باختری آن به گسل ناینند و رشته‌کوه‌های شتری محدود شده است. همچنین، مرز شمالی آن محدود به گسل ژرف درونه و فروافتادگی کاشمر و مرز جنوبی آن به کمپلکس ماگمایی بزمان- شهبوران و فروافتادگی جازموریان محدود است (آق‌نابتی؛ ۱۳۸۳، Stocklin & Nabavi, 1973).

ناحیه شمالی بلوک لوت، میزبان شمار زیادی از رگه‌های چندفلزی Pb-Zn-Cu-Au-Ag است که بیشتر در پیرامون توده‌های نفوذی اتوسن (Ternet, 1990؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Karimpour et al., 2011؛ کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۱؛ سلاطی و همکاران، ۱۳۹۱) و در پهنه‌های گسلی تشکیل شده‌اند. از مهم‌ترین این کانسارها می‌توان به رگه‌های چندفلزی نیان، داشو، لیرم، آهنگ، کچه، سریده (هادی‌زاده، ۱۳۸۹)، کلاته‌نو (کلاهدانی، ۱۳۸۹؛ هادی‌زاده، ۱۳۹۰) کلاته آهنی، نجم‌آباد، زیارو و ده خطیب (هادی‌زاده، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳؛ هادی‌زاده و پورخسرو، ۱۳۹۳) اشاره کرد. ناحیه نیان یکی از نواحی بسیار مهم از دید گسترش واحدهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی و دگرسانی‌های گرمایی در شمال بلوک لوت بوده که در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب باختری شهر بجنستان جای گرفته است. در این منطقه، آثاری از کارهای معدنی کهن مانند تونل و سرباره‌های معدنی در پیرامون

جای گرفته است. سنگ‌های آتشفشانی ترشیری را می‌توان در قالب سه مجموعه رده‌بندی کرد که عبارتند از:

- مجموعه پایینی که با یک کنگلومرای قاعده‌ای روی آتشفشانی‌های کرتاسه بالایی شروع شده و شامل آندزیت، آندزیت بازالت، داسیت و سنگ‌های پیروکلاستیک است که در بخش‌های خاوری این ناحیه رخنمون دارد.

- مجموعه میانی که با یک کنگلومرای قاعده‌ای سرخ و سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی شروع می‌شود و با یک ناپوستگی زاویه‌دار روی مجموعه پایینی قرار گرفته و توسط آتشفشانی‌های آندزیتی و داسیتی با یک بازه سنی ۵۴/۸ - ۵۱/۶ میلیون سال (اپیرین) ادامه می‌یابد (Fauvelet & Eftekharneshad, 1992).

- مجموعه بالایی که شامل گدازه‌های آندزیتی، آندزیت بازالتی، تراکیتی و گاه داسیتی و سنگ‌های پیروکلاستیک بوده و به صورت ناپوسته روی مجموعه میانی قرار گرفته و بازه سنی بین ۳/۵ ± ۴۱ تا ۱/۹ تا ۳۸/۱ میلیون سال (لوتسین - بارتونین) نشان می‌دهد (Ternet, 1990; Fauvelet & Eftekharneshad, 1992).

توده‌های نفوذی ترشیری که شامل گرانیت، گرانودیوریت، مونزونیت و مونزودیوریت هستند، در بخش‌های مختلف، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده‌اند. این توده‌ها در جنوب خاوری و باختری بجستان، شمال فردوس، جنوب خاوری گناباد و باختر زوزن رخنمون داشته و یک بازه زمانی بین ۴۳ تا ۳۸/۲ ± ۱/۱ میلیون سال (لوتسین - بارتونین) تشکیل شده‌اند (Ternet, 1990)؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Karimpour et al., 2011؛ کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۱؛ سلاطی و همکاران، ۱۳۹۱).

۴- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

منطقه اکتشافی نیان در شمال باختری بلوک لوت با وسعت تقریبی ۲۰ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۵۷° ۵۷' ۰۳" تا ۵۷° ۵۸' ۱۰" و عرض‌های جغرافیایی ۳۴° ۲۲' ۰۸" تا ۳۴° ۲۴' ۳۸" شمالی جای گرفته است. این منطقه از سنگ‌های آهکی کرتاسه بالایی و گدازه‌ها و مواد پیروکلاستیک ائوسن زیرین تا ائوسن بالایی و توده‌های نفوذی با سن احتمالی ائوسن بالایی (عزمی و هادی‌زاده، ۱۳۹۳) تشکیل شده است (شکل ۲). جدول ۱ ویژگی‌های سنگ‌نگاری انواع سنگ‌های میزبان کانه‌زایی را نشان می‌دهد. سنگ‌های آهکی کرتاسه بالایی شامل آهک‌های خاکستری تا کرمی متراکم است که در بخش‌های خاوری و باختری محدوده مورد مطالعه رخنمون دارند. این سنگ‌ها در بخش خاوری تحت تأثیر توده‌های نفوذی اسیدی تا حدواسط، دگرگون شده و تشکیل مرمر و اسکارن داده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن به صورت دگرشیب روی این آهک‌ها قرار گرفته‌اند. بر پایه مطالعات انجام شده، فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه نیان در دو مرحله رخ داده است:

مرحله اول با فوران گدازه‌های اسیدی و مواد پیروکلاستیک شروع شده و با یک گدازه آندزیتی تا تراکی آندزیتی پایان می‌یابد. فوران‌های اسیدی شامل گدازه‌های داسیتی تا ریوداسیتی به رنگ‌های خاکستری و کرمی رنگ با میان‌لایه‌هایی از توف و برش‌های آتشفشانی است. این گدازه‌ها به تدریج جای خود را به گدازه‌های داسیتی سرخ رنگ و در پایان به گدازه‌های تراکی آندزیتی تا آندزیتی قهوه‌ای در پایان مرحله اول فعالیت‌های آتشفشانی داده‌اند. بر پایه مطالعات انجام شده (Eftekharneshad et al., 1977; Fauvelet & Eftekharneshad, 1992؛ عزمی و هادی‌زاده، ۱۳۹۳)، این مرحله از فعالیت‌های آتشفشانی از گسترش مناسبی در شمال بلوک لوت برخوردار است. سن‌سنجی‌های انجام شده به روش K-Ar روی گدازه‌های داسیتی مشابه در شمال گناباد، بازه زمانی بین ۵۱/۶ - ۵۴/۸ میلیون سال را برای این مرحله از فعالیت‌های آتشفشانی نشان می‌دهد (Fauvelet & Eftekharneshad, 1992).

به صورت سیستماتیک حفر و ۲۴۴ نمونه از این ترانشه‌ها برداشت شد. همچنین از همه رگه‌ها و پهنه‌های کانه‌دار در سطح نیز نمونه‌برداری شد. در پایان، نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوفیزیک و ترانشه‌های اکتشافی با یکدیگر تلفیق و به طراحی و حفر گمانه‌های اکتشافی پرداخته شد. در مجموع، ۹۰۰ متر حفاری در قالب ۱۰ گمانه اکتشافی روی رگه‌ها و پهنه‌های کانه‌دار حفر و سپس از آنها نمونه‌برداری شد. نوشتار حاضر به بررسی زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی در رگه‌های چندفلیزی نیان در شمال باختری بلوک لوت با استفاده از داده‌های سطحی و زیرسطحی پرداخته است.

۲- روش‌های مطالعه و تجزیه

نمونه‌برداری از پهنه‌های دگرسان‌شده و کانی‌سازی، در طول سه نیمرخ AB، CD و EF (شکل ۲) در امتداد شمال باختری - جنوب خاوری انجام شد. این نمونه‌ها شامل نمونه‌های برداشت‌شده از چاه‌های حفاری و ترانشه‌های سطحی حفر شده در عرض رگه‌ها و پهنه‌های دگرسان شده و نیز نمونه‌های سطحی با فواصل دورتر از رگه‌ها با توجه به شدت و نوع دگرسانی‌ها بوده است. هدف از برداشت این نمونه‌ها، بررسی ترکیب کانی‌شناسی پهنه‌های دگرسان شده و مینرالیزه و بررسی چگونگی پراکندگی این کانی‌ها در این پهنه‌ها با استفاده از آزمایش‌های کانی‌شناسی پراش پرتو ایکس (XRD) و مطالعات میکروسکوپی روی مقاطع نازک و صیقلی برداشته شده از این پهنه‌ها، عیارسنجی روی رگه‌ها و پهنه‌های کانه‌دار و دگرسان شده، بررسی چگونگی پراکندگی عناصر مختلف در پهنه‌های کانه‌دار و دگرسان شده و نیز بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب در پهنه‌های مینرالیزه و دگرسان شده بوده است. برای دست‌یابی به اهداف بالا، ۲۷۰ نمونه از پهنه‌های مینرالیزه و سنگ‌های میزبان دگرسان شده و سالم برداشت شد که پس از آماده‌سازی در سازمان زمین‌شناسی مشهد، ۲۰۱ نمونه (شامل نمونه‌های برداشته شده از گمانه‌های اکتشافی، ترانشه‌های اکتشافی و دیگر نمونه‌ها) برای مطالعات کانی‌شناسی انتخاب شد و ترکیب کانی‌شناسی آنها (اعم از رس‌ها و دیگر کانی‌های موجود در سنگ) با استفاده از روش پراش پرتو ایکس (XRD) در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی تهران تعیین شد. ۶۰ نمونه دگرسان شده مربوط به گمانه‌های اکتشافی، انتخاب و در آزمایشگاه شرکت زرکاوان البرز به روش ICP-OES مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. همچنین، ۱۲ نمونه از سنگ‌های با کمترین دگرسانی انتخاب شد که عناصر اصلی این نمونه‌ها به روش XRF در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند (جدول ۲). مطالعات پتروگرافیک نیز روی ۲۹۲ مقطع نازک و ۲۱۲ مقطع صیقلی برداشته شده از پهنه‌های دگرسان شده و مینرالیزه انجام شد.

۳- زمین‌شناسی ناحیه‌ای شمال بلوک لوت

ناحیه نیان در شمالی‌ترین بخش‌های بلوک لوت و در بخش شمال باختری آن جای گرفته است (شکل ۱). دیرین‌ترین فعالیت‌های ماگمایی شمال بلوک لوت مربوط به زمان ژوراسیک بوده که به صورت سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی گرانیتی تا مونزونیتی در جنوب خاوری شهر گناباد رخنمون دارند. این توده‌ها سنی حدود ۱۶۱/۸۵ میلیون سال (کالوین) داشته و از انواع احیایی هستند که از پوسته قاره‌ای منشأ گرفته‌اند (مرادی و همکاران، ۱۳۹۰). فعالیت ماگمایی کرتاسه زیرین به صورت توده‌های گرانیتی کوچک در خاور شهر گناباد و باختر شهر زوزن بوده که سنی حدود ۹ ± ۱۲۷ میلیون سال (بارمین) برای آن تعیین شده است (Eftekharneshad et al., 1977; Fauvelet & Eftekharneshad, 1992). در کرتاسه بالایی، فعالیت ماگمایی این ناحیه به صورت سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی نوع احیایی با سن ۷۷ میلیون سال (Jung et al., 1983) بوده که در خاور شهر بجستان

مرحله دوم با فوران سنگ‌های پیرو کلاستیک اسیدی (توف و آگلومراهای سبز رنگ) شروع شده و سپس با فوران گدازه‌های ریولیتی، داسیتی، تراکی آندزیتی و آندزیت بازالتی ادامه می‌یابد. رخنمون‌های اصلی این سنگ‌ها مربوط به خاور منطقه کانه‌زایی است. ولی در بخش‌های باختری نیز روی گدازه‌ها و مواد پیرو کلاستیک اسیدی مربوط به فوران‌های مختلف پیشین، به صورت دگرشیب قرار گرفته‌اند. قرارگیری توف‌های اسیدی سبزرنگ روی واحدهای سنگی مختلف (به‌ویژه واحدهای زیرین)، احتمالاً نشان از توقف فعالیت‌های آتشفشانی در یک برهه زمانی، فرسایش واحدهای بالایی و رخنمون یافتن بخش‌هایی از واحدهای زیرین داشته است. گدازه‌های حدواسط آندزیتی و تراکی آندزیتی این مرحله به رنگ‌های سبز و قهوه‌ای هستند و در بخش‌های مختلف روی واحدهای پیرو کلاستیک سبز رنگ قرار گرفته‌اند. این گدازه‌ها بیشتر از انواع هورنبلند آندزیت تا هورنبلند تراکی آندزیت هستند و در بخش‌های جنوب خاوری منطقه رخنمون بیشتری دارند. گدازه‌های قهوه‌ای پیروکسن آندزیت و هورنبلند آندزیت که روی گدازه‌های سبز رنگ قرار گرفته، آخرین فاز فعالیت آتشفشانی این مرحله است و ساختارهایی توده‌ای و گاهی منشوری از خود نشان می‌دهند. این مرحله از فعالیت آتشفشانی، به‌ویژه گدازه‌های آندزیتی سبز رنگ و قهوه‌ای رنگ که گسترش قابل ملاحظه‌ای در بخش‌های دیگر شمال لوت دارند، در یک بازه زمانی بین $37/5 \pm 41$ تا $38/1 \pm 1/9$ میلیون سال فوران کرده‌اند (Fauvel & Eftekharnazhad, 1992). توده‌های نفوذی در بخش خاوری

محدوده مورد مطالعه به صورت استوک‌ها و دایک‌هایی نفوذ و سنگ‌های میزبان را قطع کرده‌اند. بر پایه مطالعات انجام شده، این توده‌ها به ترتیب سنی شامل انواع کوارتزموژودوپوریت، کوارتزموژونویت و گرانیته هستند.

از دید زمین‌ساختی، دو گسل با روند NW - SE، محدوده دربرگیرنده رگه‌های معدنی را دربر گرفته‌اند. گسل واقع در جنوب باختر محدوده، یک گسل امتدادلغز راست‌گرد است و رخنمون‌های سنگی را از رسوبات دشت جدا می‌کند. گسل واقع در خاور محدوده نیز یک گسل امتدادلغز راست‌گرد است که افزون بر جابه‌جایی در امتداد NW - SE، مؤلفه راندگی نیز نشان می‌دهد. عملکرد توأم این دو گسل در بخش‌های خاوری و باختری محدوده معدنی، باعث ایجاد شرایط کششی در بلوک میان این دو گسل و تشکیل گسل‌های فرعی در امتداد NE - SW شده است که زاویه‌ای حاده با گسل‌های اصلی نشان می‌دهند. این گسل‌ها افزون بر مؤلفه‌های امتدادلغز، مؤلفه‌های شیب‌لغز نیز داشته و شیب‌هایی به سوی شمال باختری و نیز جنوب خاوری دارند. عملکرد توأم شیب‌لغز و امتدادلغز این گسل‌ها باعث ایجاد فضاهای خالی مناسب برای عبور و جایگیری محلول‌های گرمایی گشته است. مطالعات انجام شده نشان‌دهنده رخداد وقایع زمین‌ساختی پیش از کانه‌زایی در این منطقه است و رویدادهای زمین‌ساختی بعدی، تأثیر کمی روی کانه‌زایی گذارده‌اند.

به منظور مطالعات سنگ‌شناسی روی سنگ‌های آتشفشانی میزبان سالم، ۱۲ عدد از این نمونه‌ها به روش XRF در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه شدند (جدول ۲). بررسی و جانمایی این نمونه‌ها روی نمودار Middlemost (1985) (شکل ۳- الف) نشان داد که نمونه‌های آتشفشانی میزبان کانه‌زایی در محدوده مورد مطالعه بیشتر در محدوده‌های ریولیت، داسیت، تراکی، تراکی آندزیت و آندزیت قرار می‌گیرند. همچنین، جانمایی این نمونه‌ها روی نمودار SiO_2 - K_2O (شکل ۳- ب؛ Peccerillo & Taylor, 1976) و نمودار مثلثی MgO - FeO - Al_2O_3 (Pearce et al., 1977) نشان داد که این سنگ‌ها بیشتر ویژگی‌های کالک‌آلکالین با پتاسیم بالا تا شوشونیتی را نشان می‌دهند.

کوارتز دست کم در طی پنج نسل، سنگ‌های میزبان را قطع کرده و به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، استوک‌ورک، جانیشینی، نواری، کلوفرم و برشی در سنگ میزبان دیده می‌شود. افزون بر حالت رگه‌ای و رگچه‌ای، این کانی به صورت گسترده جانیشین کانی‌های اولیه سنگ مانند پلاژیو کلاز، بیوتیت و زمینه اولیه سنگ شده است و گاه نیز به صورت کلسدونی با بافت شعاعی دیده می‌شود (شکل ۴- ه). همچنین، این کانی در فازهای آخر بیشتر به صورت سودومورف، جانیشین کانی‌های ثانویه تشکیل شده در طی مراحل پیشین مانند کلسیت‌های ورقه‌ای شده است (شکل ۴- د). ایلیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی دگرسانی در کانسار نیان است که گسترش سطحی و ژرفی قابل توجهی در پهنه‌های سیلیسی و به‌ویژه آرژیلیک دارد (شکل‌های ۵- الف، ب و ج). گسترش سطحی این کانی در اطراف رگه‌های کانی‌سازی تا حدود بیش از ۳۰۰ متر و در ژرفای تا بیش از ۱۹۵ متر ادامه می‌یابد. این کانی به صورت جانیشینی جزئی و کامل روی کانی‌های پلاژیو کلاز، بیوتیت و فلدسپار قلیایی و نیز به صورت جانیشینی کامل در سنگ میزبان حضور دارد. همچنین، به صورت رگچه‌ای همراه با رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی- کربناتی نیز یافت می‌شود.

آدولاریا از مهم‌ترین فلدسپارها در سامانه گرمایی نیان است که توزیع قابل ملاحظه‌ای (حدود ۵ تا ۲۰ درصد) در رگه‌های کانه‌دار و پهنه‌های سیلیسی و آرژیلیک مجاور رگه‌ها دارد. این کانی دارای توزیعی همانند کانی ایلیت (به‌ویژه در مقاطع عرضی AB و CD) است (شکل‌های ۶- الف، ب و ج) و به صورت

۵- دگرسانی

دگرسانی گرمایی گسترش قابل ملاحظه‌ای در کانسار نیان دارد (شکل ۴- الف). بر پایه مطالعات انجام شده، دگرسانی‌های گرمایی به هر دو صورت موضعی و فراگیر،

۵- دگرسانی

دگرسانی گرمایی گسترش قابل ملاحظه‌ای در کانسار نیان دارد (شکل ۴- الف). بر پایه مطالعات انجام شده، دگرسانی‌های گرمایی به هر دو صورت موضعی و فراگیر،

شده است. از مهم‌ترین بافت‌های کانسنگی در این مرحله می‌توان به بافت‌های پرکننده فضاهای خالی، توده‌ای، جانیشینی و برشی اشاره کرد. این مرحله از کانه‌زایی، از دید کانی‌سازی طلا و نقره دارای اهمیت است.

مرحله دوم کانه‌زایی که یکی از اصلی‌ترین مراحل کانه‌زایی است و گسترش قابل ملاحظه‌ای دارد (شکل ۷-ج)، با یک برش گرمایی شروع و با رگه‌های سیلیسی-کربناتی سفیدرنگ تا ارغوانی (آمیست) به طول‌های بیش از ۱۰۰۰ متر و عرض‌هایی تا بیش از ۴ متر و حضور کانی‌های اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، پیریت، کلسیت، دولومیت، آدولاریا، آنکریت، فلوریت، زیرکن، تورمالین، آپاتیت، لوکوکسن و به‌طور محدود هماتیت مشخص می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های این مرحله، حضور قابل توجه برش‌های گرمایی، تشکیل کانی آدولاریا و کلسیت‌های ورقه‌ای است که نشان از رخداد فرایندهای جوشش در طی این مرحله از کانه‌زایی دارد (Browne & Ellis, 1970; Simmons & Christenson, 1994). همچنین این مرحله از کانه‌زایی همراه با حضور گسترده بافت‌های پرکننده فضاهای خالی، پوسته‌ای و شانه‌ای است.

اسفالریت اولین کانی فلزی تشکیل شده در این مرحله با اندازه‌های متغیر از ۳ میکرون تا ۲ میلی‌متر است که شکل‌های هندسی نامنظم دارد و به رنگ‌های قهوه‌ای تیره تا قهوه‌ای روشن و عسلی رنگ دیده می‌شود. گالن دومین کانی فلزی تشکیل شده در مرحله دوم کانه‌زایی است که شکل‌های نامنظم و اندازه‌هایی از ۳ میکرون تا ۱/۵ میلی‌متر دارد. این کانی در بسیاری از موارد روی اسفالریت قرار گرفته است و فراوانی به نسبت بالایی دارد (شکل ۷-ه). سومین کانی تشکیل شده در این مرحله، کانی کالکوپیریت است که فراوانی کمتری نسبت به کانی‌های اسفالریت و گالن دارد. این کانی دارای اندازه‌های متغیر از حدود ۳ تا ۱۰۰ میکرون و شکل‌های نامنظم است (شکل ۷-ی). پیریت نیز آخرین کانی تشکیل شده در این مرحله است که روی دیگر کانی‌ها قرار دارد و به صورت بی‌شکل تا کاملاً شکل‌دار است و اندازه‌های متغیر از ۳ میکرون تا حدود ۲ میلی‌متر دارد. از مهم‌ترین کانی‌های غیر فلزی تشکیل شده در این مرحله می‌توان به کانی فلوریت اشاره کرد که به صورت بلورهای مکعبی کویک همراه با رگه‌های دارای کوارتز-اسفالریت-گالن-کالکوپیریت-پیریت دیده می‌شود، (شکل ۷-و). از مهم‌ترین بافت‌های تشکیل شده در این مرحله از کانه‌زایی می‌توان به بافت‌های برشی، پرکننده فضاهای خالی، شانه‌ای، پوسته‌ای و جانیشینی اشاره کرد (شکل ۷-د). رگه‌های تشکیل شده در این مرحله از کانه‌زایی، از دید وجود عناصر پایه و به‌طور محدودتر طلا و نقره اهمیت دارد.

مرحله سوم که گسترش محدودی دارد، شامل رگه‌های سیلیسی آمیستی ارغوانی رنگ است که ستبرایی از چند سانتی‌متر تا حدود ۰/۵ متر دارند، (شکل ۸-الف). افزون بر کوارتز، کانی‌های کربناتی و پیریت نیز در این مرحله حضور دارند. مهم‌ترین بافت‌های تشکیل شده در این مرحله، بافت‌های پرکننده فضاهای خالی و شانه‌ای است. این مرحله از دید کانه‌زایی اهمیت کمتری دارد. رگه‌های آمیستی در مراحل بعدی تحت تأثیر فازهای بعدی به شدت برشی شده‌اند (شکل ۸-ب). مرحله چهارم که بیشتر در بخش‌های زیرسطحی دیده می‌شود، شامل رگه‌های سیلیسی-کربناتی برشی‌شده (شکل ۸-ج) با مقادیر بالای پیریت و پیرویت (شکل ۸-د، و) و در پایان مارکاسیت و منلیکویت است. شروع این مرحله از کانه‌زایی با یک برش گرمایی مشخص می‌شود که فضاهای میان قطعات برشی توسط سیلیس سفیدرنگ دارای پیریت و پیرویت فراوان پر شده است. از مهم‌ترین بافت‌های تشکیل شده در این مرحله از کانه‌زایی می‌توان به بافت‌های برشی، پرکننده فضاهای خالی، توده‌ای و جانیشینی اشاره کرد. این مرحله از کانه‌زایی نیز از دید کانه‌زایی طلا و نقره اهمیت دارد.

مرحله پنجم که با حضور رگه‌های کوارتز شیری رنگ نابارور با مقادیر بسیار کمی از پیریت همراه است که به صورت رگه‌ها و رگه‌هایی کانه‌زایی‌های مرحله

جانیشینی روی کانی‌های اولیه سنگ، به‌ویژه پلاژیوکلاز و نیز به صورت نیمه‌شکل‌دار تا کاملاً رومبوند و گاه زونه همراه با رگه‌ها و رگه‌های سیلیسی-کربناتی (شکل‌های ۴-ی، و و ر) و نیز همراه با برش‌های گرمایی یافت می‌شود. این کانی در مراحل بعدی کانی‌سازی، در اثر از دست دادن مقداری از K^+ ، توسط کانی‌ایلیت جانیشین شده است.

کلسیت و دولومیت نیز گسترش قابل ملاحظه‌ای در اطراف رگه‌های کانی‌سازی دارند که از این میان، گسترش کلسیت بیش از دولومیت است. این کانی در هر ۳ زون سیلیسی، آرژیلیک و پروپیلیتیک به صورت رگه‌های همراه با رگه‌های سیلیسی کانه‌دار و رگه‌های منفرد نابارور، به صورت جانیشینی روی کانی‌های اولیه سنگ مانند پلاژیوکلازها، بیوتیت و زمینه سنگ قرار گرفته است. دولومیت نیز بیشتر به صورت رگه‌های همراه با کوارتز و دیگر کانی‌های باطله و نیز به صورت جانیشینی روی کانی‌های اولیه سنگ بوده و گسترش آن محدود به رگه‌های سیلیسی-کربناتی و پهنه‌های نزدیک به رگه‌هاست. گسترش این دو کانی بیشتر در ارتباط با مراحل دوم و سوم کانی‌سازی بوده است و در بسیاری از موارد، کانی‌های دگرسانی تشکیل شده در مرحله اول دگرسانی مانند ایلیت، کوارتز، آدولاریا، زئولیت و ... را پوشش داده‌اند. الگوی گسترش این دو کانی همانند الگوی گسترش کانی‌های ایلیت و آدولاریا در مقاطع عرضی است. دیکیت و کریستوبالیت نیز به مقدار کم همراه با کانی کائولینیت در پهنه‌های آرژیلیک یافت می‌شود.

۶- کانه‌زایی

کانه‌زایی در منطقه نیان به صورت رگه و رگه‌های سیلیسی-کربناتی و نیز به صورت افشان در سنگ میزبان و همچنین همراه با برش‌های گرمایی است (شکل ۷-الف). بر پایه مطالعات انجام شده، ۵ سامانه رگه‌ای به صورت منقطع در امتداد شمال خاوری-جنوب باختری درون پهنه‌های گسلی تشکیل شده است که از این میان، شیب ۳ مورد از این سامانه‌ها به سوی شمال باختری و شیب دو از این سامانه‌ها به سوی جنوب خاوری است. رگه‌ها طولی بین ۴۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، ستبرای ۰/۵ تا ۴ متر و شیب‌های ۶۵ تا ۷۵ درجه به سوی شمال باختری و جنوب خاوری دارند. نمونه برداری و تجزیه نمونه‌های میترالیزه این رگه‌ها نشان داد که این رگه‌ها دارای عیارهای به نسبت بالایی از عناصر Pb (تا ۳۶/۲٪)، Zn (۲/۹٪)، Cu (۶٪ تا ۸٪)، Au (تا ۲/۸ گرم در تن) و نقره (تا ۶۳/۹ گرم در تن) هستند (جدول ۳).

بر پایه مطالعات انجام شده (مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی)، کانه‌زایی در کانسار نیان در طی ۵ مرحله تشکیل شده است. آغاز مرحله اول با حضور یک برش گرمایی مونومیکتیک و مراحل بعدی با وجود برش‌های گرمایی مونومیکتیک و پلیمیکتیک در چند نسل مشخص شده است. بر پایه مطالعات انجام شده، رخدادهای اصلی گسلش، پیش از کانه‌زایی رخ داده است و شروع کانه‌زایی با یک برش گرمایی مونومیکتیک پازل مانند که فضای میان قطعات آن توسط سیلیس‌های خاکستری نسل اول پر شده، مشخص شده است. بر پایه این مطالعات مراحل مختلف کانه‌زایی از قدیم به جدید عبارتند از:

مرحله اول با حضور رگه‌ها و رگه‌های سیلیسی نهبان بلور (کریتوکریستالین) سیاه تا خاکستری رنگ با سولفیدزایی دانه‌ریز و رگه‌های مشخص می‌شود (شکل ۷-الف). اصلی‌ترین کانی این مرحله پیریت‌های دانه‌ریز است که به صورت ذرات ریز نیمه‌شکل‌دار تا کاملاً کوییک با اندازه‌های متفاوت میان ۵ میکرون تا ۱/۵ میلی‌متر (شکل ۷-ب) همراه با کانی‌های اسفالریت، گالن، کالکوپیریت تتراهدردیت، تنانیت و به‌طور محدود مولیبدنیت و آرسنوپیریت یافت می‌شود. اصلی‌ترین رگه‌های این مرحله، رگه‌های متشکل از کانی‌های کوارتز-پیریت-ایلیت، کوارتز-پیریت-ایلیت-آدولاریا و کوارتز-پیریت-ایلیت-آپاتیت است. همچنین در این مرحله از کانه‌زایی، کانی روتیل نیز در اثر دگرسانی کانی‌های مافیک مانند بیوتیت‌ها تشکیل

شده است و با کاهش دما سامانه در مراحل آخر به تدریج کانی‌هایی مانند ایلیت، اسمکتیت، کائولینیت و کریستوبالیت تشکیل شده‌اند.

۹- نتیجه‌گیری

سامانه رگه‌ای چندفلزی Pb-Zn-Cu-Au-Ag نیان در بخش شمال باختری بلوک لوت، به وسیله مجموعه گوناگونی از سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط با ویژگی‌های کالک آلکالین تا شوشونیتی به سن احتمالی ائوسن میزبانی می‌شود. این سنگ‌ها در طی دو مرحله اصلی فعالیت آتشفشانی تشکیل شده‌اند. فوران این گدازه‌ها و نفوذ سنگ‌های نفوذی اسیدی تا حدواسط که در پی آن رخ داده، باعث به وجود آمدن یک سامانه زمین گرمایی در این ناحیه شده است. عملکرد همزمان گسل‌های دربرگیرنده محدوده زمین گرمایی، سبب تشکیل شکستگی‌های گسترده و ایجاد فضاهای خالی مناسب برای حرکت آسان محلول‌های گرمایی و گسترش دگرسانی گرمایی در این ناحیه شده است. ضمن اینکه نفوذپذیری بالای سنگ‌های پیروکلاستیکی میزبان نیز این کار را آسان کرده است. دگرسانی سیلیسی (کوارتز، کلسدون و آدولاریا)، آرزلیک (ایلیت، آدولاریا، اسمکتیت، کلریت، کوارتز، کلسیت و زئولیت) و پروپیلیتیک (کلریت، کلسیت، اپیدوت، آلپیت و اسمکتیت) مهم‌ترین دگرسانی‌های تشکیل شده در این کانسار هستند که در طی ۵ مرحله فعالیت سامانه گرمایی قدیمی نیان تشکیل شده‌اند. کانه‌زایی نیز در طی ۵ مرحله فعالیت به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، افشان و نیز در ارتباط با برش‌های گرمایی رخ داده است. پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، تتراهدريت، تنانتیت، آرسنوپیریت، مولیبدنیت، مارکاسیت، پیرویت، ملنیکویت و همتایت مهم‌ترین کانه‌های تشکیل شده در طی ۵ مرحله کانه‌زایی هستند. حضور کانی‌های دگرسانی کوارتز، آدولاریا، ایلیت، آلپیت، کلریت، ایلیت - اسمکتیت میان‌لایه‌ای، کلسیت و پیریت در سامانه گرمایی نیان نشان‌دهنده تشکیل این کانی‌ها از آب‌های کلریدی با pH تقریباً خنثی تا بسیار قلیایی است. این آب‌ها همان آب‌های جوی هستند که در ژرفای زیاد گرم شده‌اند (Henley & Ellis, 1983; Giggenbach, 1992; Simmons & Browne, 2000; Hedenquist et al., 2000). حضور کلسیت ورقه‌ای و آدولاریا به صورت رگچه‌ای و جانیشینی و نیز برش‌های گرمایی نشان‌دهنده جوشش سیالات گرمایی در کانسار نیان بوده است (Browne & Ellis, 1970; Simmons & Christenson, 1994). بنابراین احتمالاً فرآیند جوشش سیال‌های گرمایی نقش بسیار اساسی در نهشته شدن کانسنگ‌ها داشته است. شواهدی چون ارتباط کانی‌سازی با رگه‌های سیلیسی - کربناتی، حضور کانی‌های آدولاریا، ایلیت، کلسیت‌های ورقه‌ای و برش‌های گرمایی و همچنین حضور کانی‌های دگرسانی کوارتز، آدولاریا، ایلیت، آلپیت، کلریت، ایلیت - اسمکتیت میان‌لایه‌ای، کلسیت و پیریت در سامانه گرمایی نیان نشان می‌دهند که این کانی‌ها از محلول‌های کلریدی با pH تقریباً خنثی تا بسیار قلیایی در یک محیط اپی‌ترمالی سولفیداسیون پایین تشکیل شده‌اند.

سپاسگزاری

نگارندگان از حمایت‌های مالی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت شمال شرق برخوردار بوده‌اند؛ بنابراین از مدیریت محترم این سازمان جناب آقای مهندس روشن‌روان، مدیریت محترم اکتشاف آقای مهندس عزمی و همه کارکنان این سازمان و نیز از داوران محترم مجله علوم زمین برای نظرات ارزشمندشان سپاسگزاری می‌شود.

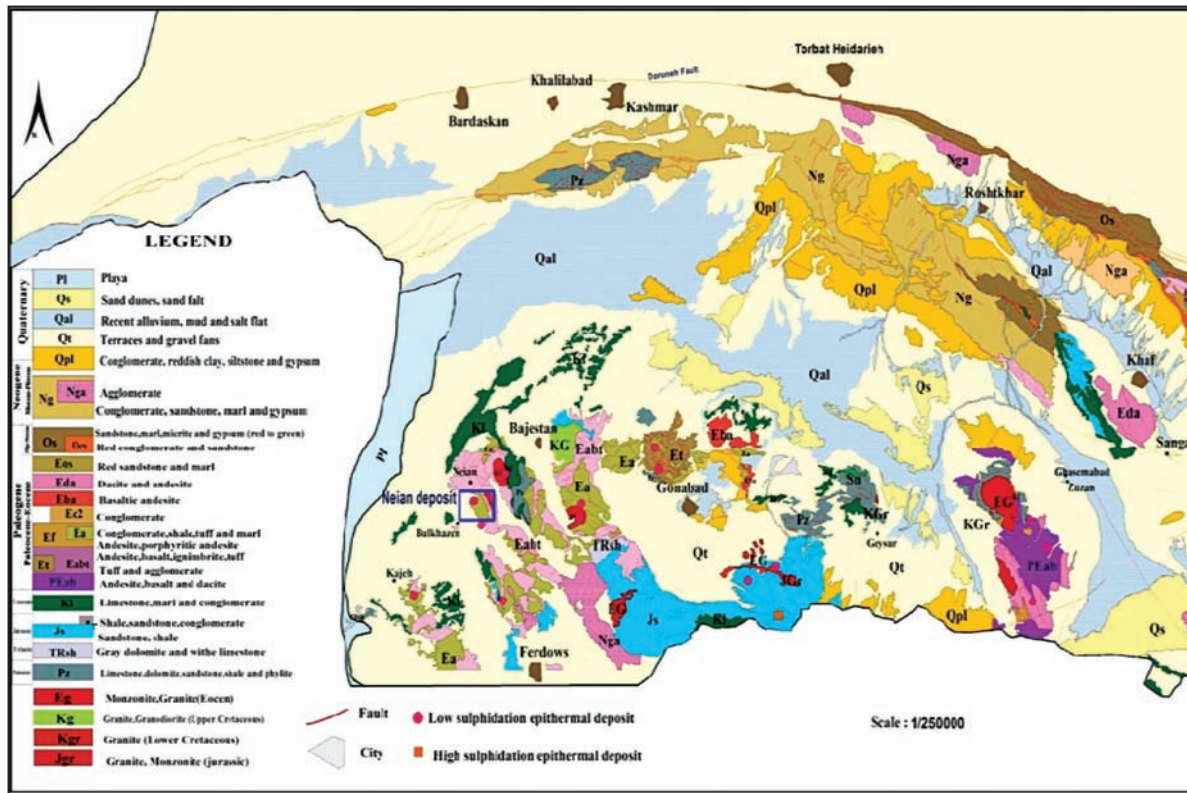
پیش را قطع کرده است (شکل ۸-۵). فرایندهای برونزاد سبب اکسیده شدن شدید پهنه‌های سولفیدی و تشکیل کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدهای آهن مانند همتایت، گوتیت، لیمونیت و نیز کانی‌های جاروسیت، مالاکیت و رس‌های ثانویه در سطح رخنمون‌های کانه‌دار منطقه مورد مطالعه شده است.

۷- روابط ژئوشیمیایی عناصر

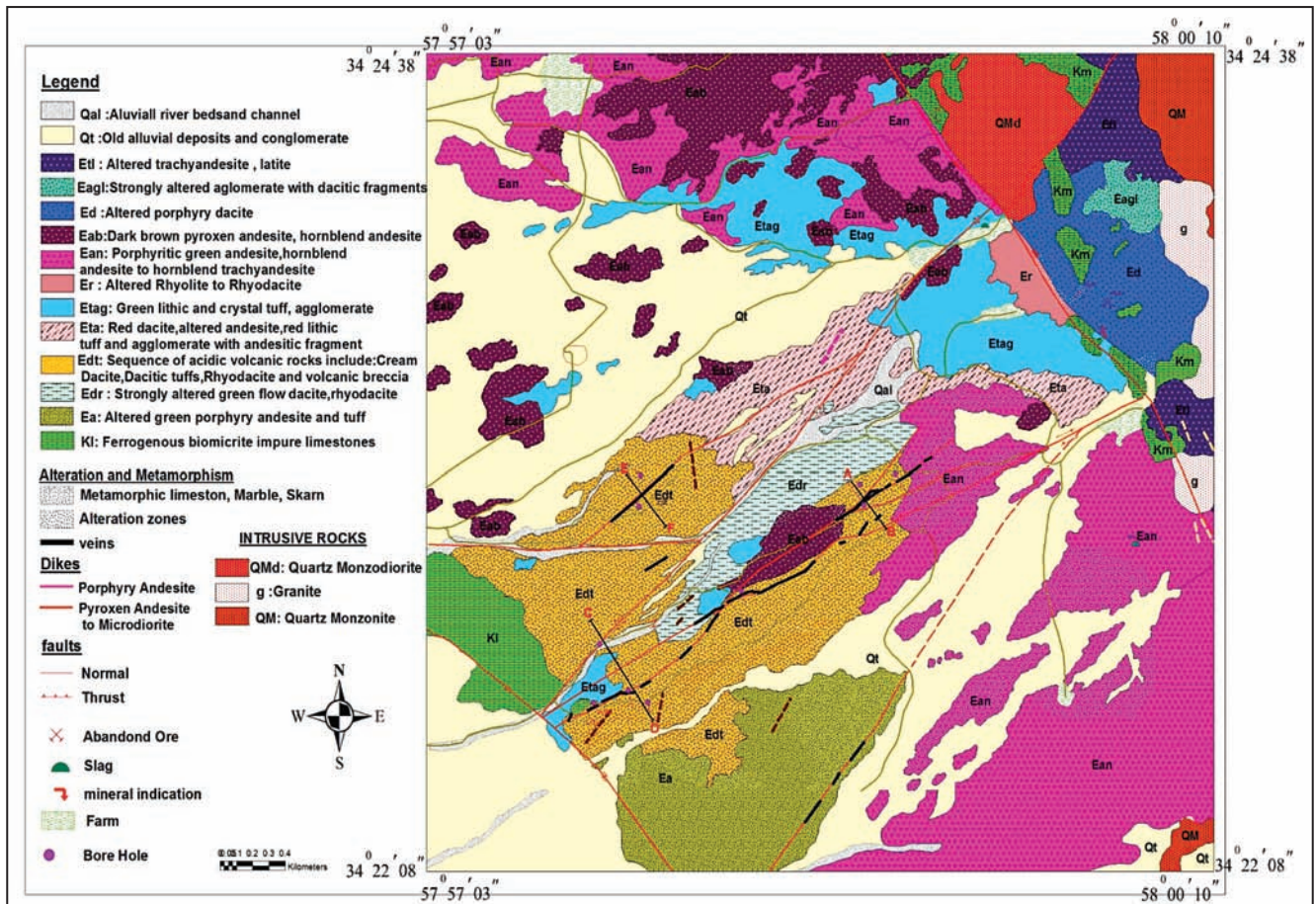
تجزیه‌های انجام شده روی نمونه‌های کانه‌دار برداشته شده از رگه‌های سیلیسی، نشان از بالا بودن عیار عناصری مانند Cu, Zn, Pb, Ag و Au به عنوان عناصر کانسنکی اصلی در کانسار نیان دارد. همچنین، عناصری مانند As, Hg, Sb و Mo نیز در برخی از نمونه‌ها غنی‌شدگی نشان می‌دهند. برای بررسی روابط همبستگی میان عناصر مختلف، از روش همبستگی اسپیرمن استفاده شد، (جدول ۴). بررسی روابط همبستگی میان عناصر مختلف در جدول ۳ نشان از همبستگی بالای میان عناصر Pb, Zn و Cu و همبستگی متوسط میان این عناصر با عناصر Au و Ag در کانسار نیان دارد. مطالعات میکروسکوپی نیز همیافتی کانی‌های مربوط به این عناصر (مانند اسفالریت، گالن و کالکوپیریت) را تأیید می‌کند. همچنین، بررسی جدول‌های تجزیه‌های شیمیایی و همبستگی‌ها (جدول‌های ۳ و ۴) نشان‌دهنده آن است که عناصر Zn, Pb و Cu اصلی‌ترین عناصر کانسار نیان هستند و عناصر Au و Ag نیز پس از عناصر یادشده اهمیت دارند و می‌توانند به عنوان محصولات جانبی مورد توجه قرار گیرند. از سوی دیگر عنصر Au همبستگی بالایی با عنصر Sb و همبستگی متوسط با عناصر Cu و Pb دارد و چون عنصر Sb با عنصر Pb همبستگی بالایی نشان می‌دهد، بنابراین احتمالاً پهنه‌های دارای کانی‌های Cu و Pb اهمیت بالایی برای اکتشاف طلا دارند.

۸- توالی پاراژنی

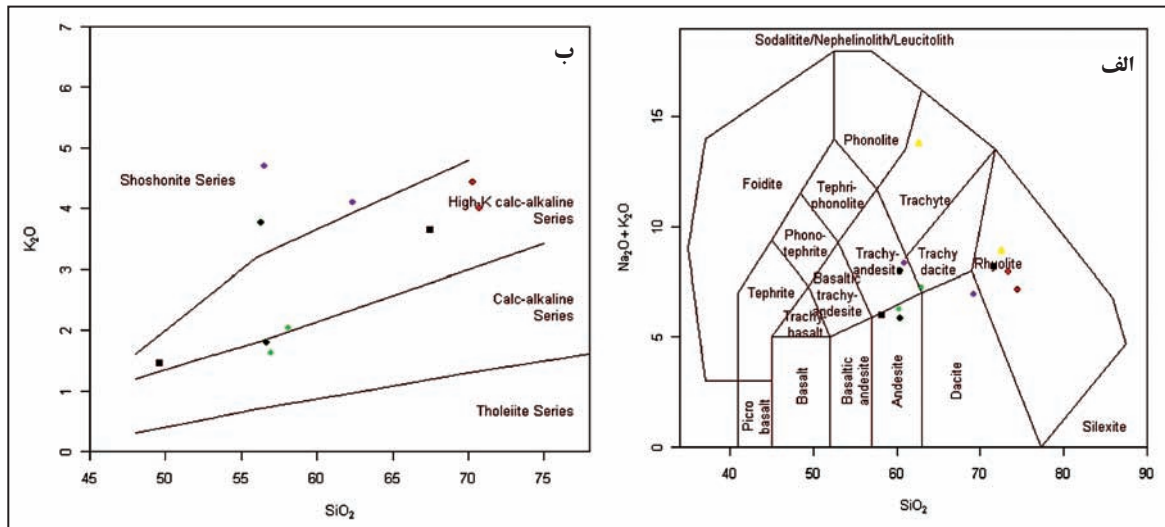
بر پایه مطالعات انجام شده (مطالعات صحرائی، مطالعه نمونه‌های دستی، گمانه‌های حفاری و نیز مطالعه مقاطع نازک و صیقلی)، دگرسانی‌های درونزاد در کانسار نیان در طی پنج مرحله تشکیل شده‌اند. بنابراین، بر پایه جانیشینی پی‌درپی کانی‌های گرمایی و نیز روابط رگه‌های متقاطع، جدول توالی همبود (پاراژنی) برای کانسار نیان تهیه شد (شکل ۹). نخستین مرحله از دگرسانی‌ها با نفوذ رگه‌های سیلیسی خاکستری دارای سولفیدهای پراکنده در متن کانسنگ همراه بوده است. در طی این مرحله، ابتدا کانی‌های ایلیت، سریسیت، کلریت و زئولیت به صورت جانیشینی روی کانی‌های اولیه سنگ تشکیل و سپس این کانی‌ها به صورت رگچه‌ای همراه با کوارتز و پیریت پیدا شده است. با بالا رفتن دما، pH و شدت گرفتن متاسوماتیسم K در اواخر این مرحله، آدولاریا به دو شکل جانیشینی روی پلاژیوکلازهای اولیه و نیز روی ایلیت‌های تشکیل شده در مرحله پیش و همچنین به صورت رگچه‌ای همراه با کوارتز تشکیل شده است. تشکیل آدولاریا تا مراحل سوم کانی‌سازی ادامه یافته است. در اوایل مرحله دوم، تشکیل آدولاریا همراه با رگچه‌های سیلیسی - کربناتی و نیز جانیشینی کربنات‌ها (کلسیت و دولومیت) روی کانی‌های اولیه و نیز کانی‌های دگرسانی مرحله اول بوده است. در این مرحله از فعالیت سامانه گرمایی، کانی‌های دارای فلزات پایه مانند اسفالریت و گالن تشکیل شده‌اند. همچنین، این مرحله با حضور بالای سازنده‌های ماگمایی مانند B, P, F و Zr و تشکیل کانی‌های آپاتیت، زیرکن، فلوریت و تورمالین همزمان بوده است. در اواخر مرحله دوم، رگه‌های سیلیسی به تدریج از سیلیس سفید به آمیتیست تبدیل شده‌اند. آمیتیست‌زایی تا اواخر مرحله سوم ادامه یافته است. در طی این مرحله، همزمان با کاهش دما و pH سامانه گرمایی، به تدریج ایلیت جانیشین آدولاریا



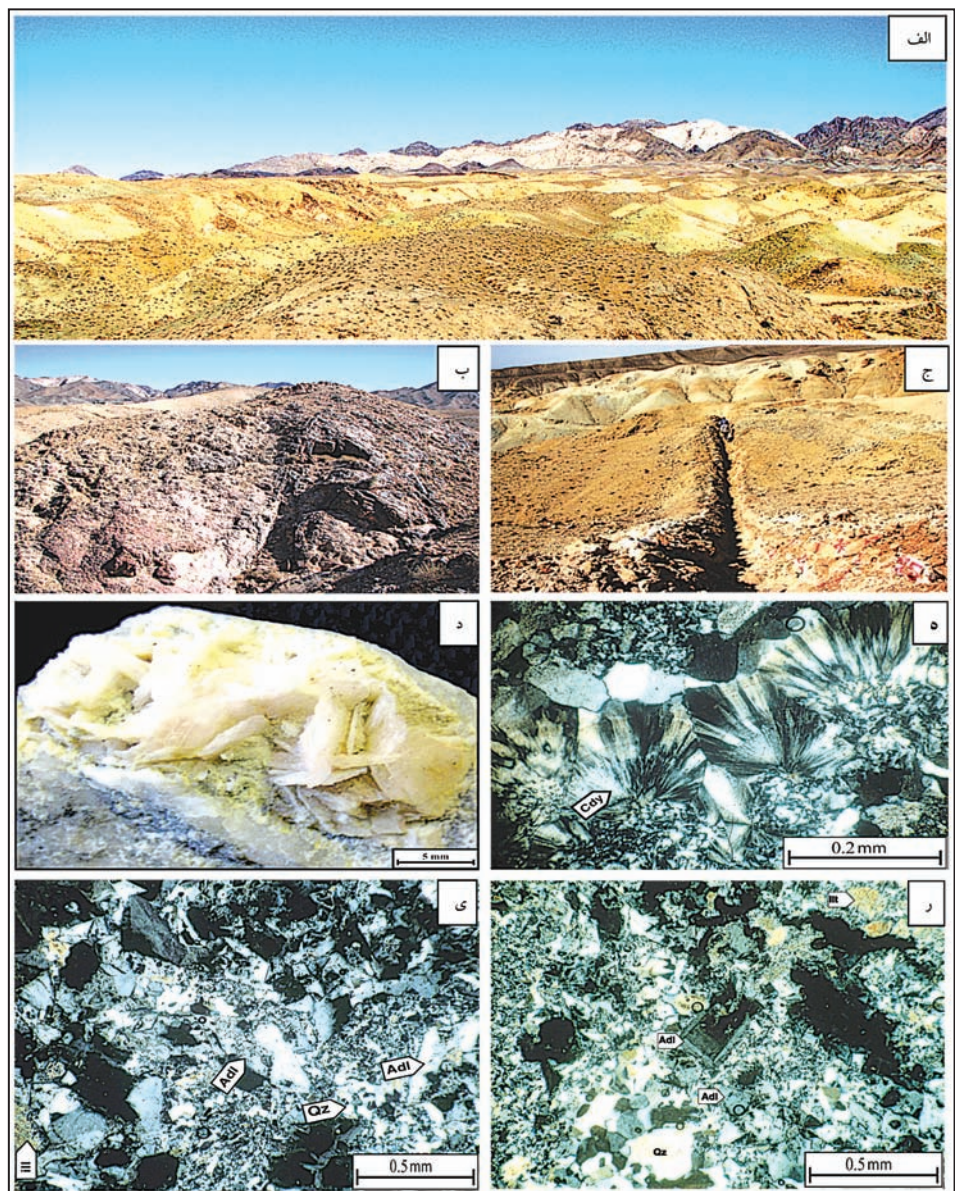
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ناحیه ای شمال بلوک لوت که موقعیت کانسار نیان و دیگر کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین و سولفیداسیون بالا در این ناحیه روی آن مشخص شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۶ با اصلاحات).



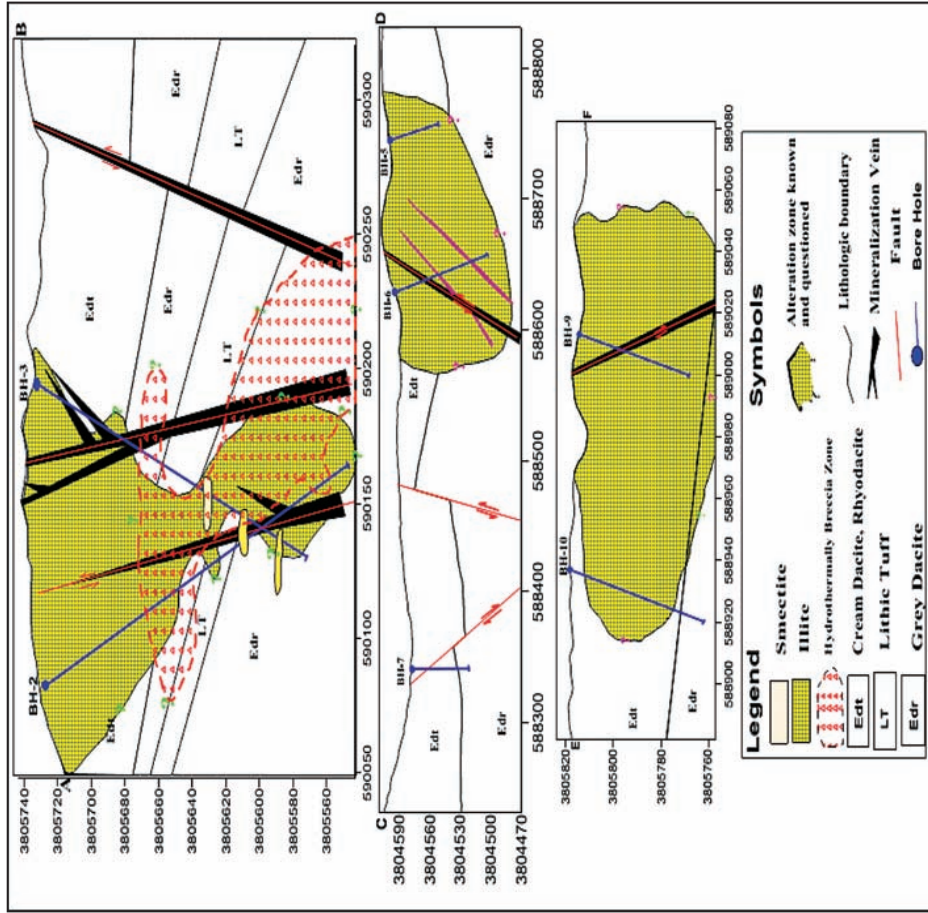
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه که در آن رگه‌های کانی‌سازی، نقاط حفاری و مقاطع عرضی مشخص شده‌اند.



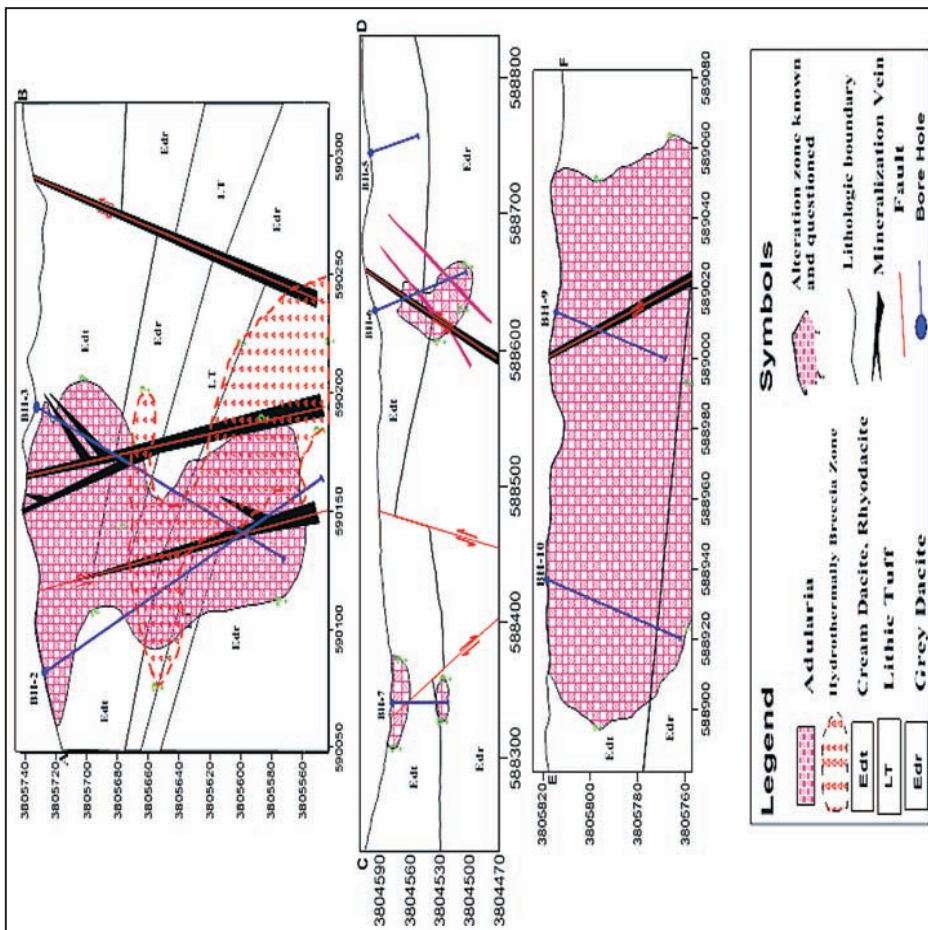
شکل ۳- الف) رده بندی سنگ های آتشفشانی میزان کانه زایی بر پایه $SiO_2-Na_2O+K_2O$ (Middlemost, 1985); ب) نمودار تعیین سری ماگمایی سنگ های آتشفشانی میزان کانه زایی بر پایه SiO_2-K_2O (Peccerillo & Taylor, 1976).



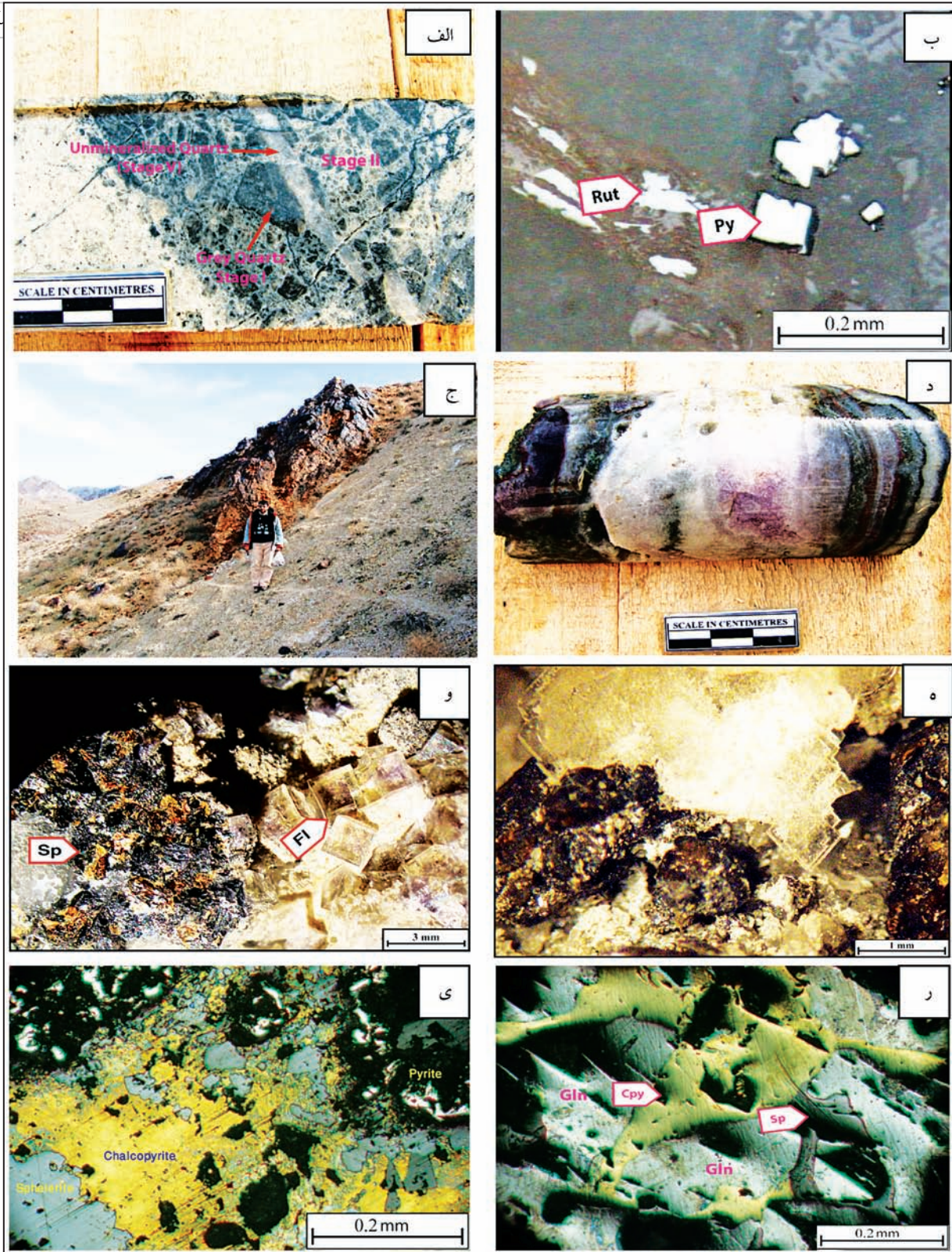
شکل ۴- تصاویر صحرایی، میکروسکوپی و نمونه های دستی از دگرسانی های موجود در کانسار نیان. الف) نمای از دگرسانی های گسترده موجود در منطقه نیان (دید به سوی خاور)؛ ب) دگرسانی های سیلیسی شدید در کناره های رگه های سیلیسی کانه دار (دید به سوی خاور)؛ ج) ترانشه های اکتشافی حفر شده روی رگه های سیلیسی و پهنه های سیلیسی و آرزیلیکی مجاور رگه های کانه دار (دید به سوی شمال)؛ د) سودومورف های کلسیت های ورقه ای که توسط سیلیس جانشین شده اند؛ ه) بافت های شعاعی در رگچه های دارای کلسدون؛ ی) آدولاریا به صورت رومبوندر همراه با کوارتز و ایلیت در رگچه های سیلیسی کانه دار؛ ر) آدولاریا به صورت زونه و رومبوندر همراه با کوارتز و ایلیت در رگچه های سیلیسی کانه دار. Cdy: کلسدون؛ Adl: آدولاریا؛ Oz: کوارتز؛ ill: ایلیت.



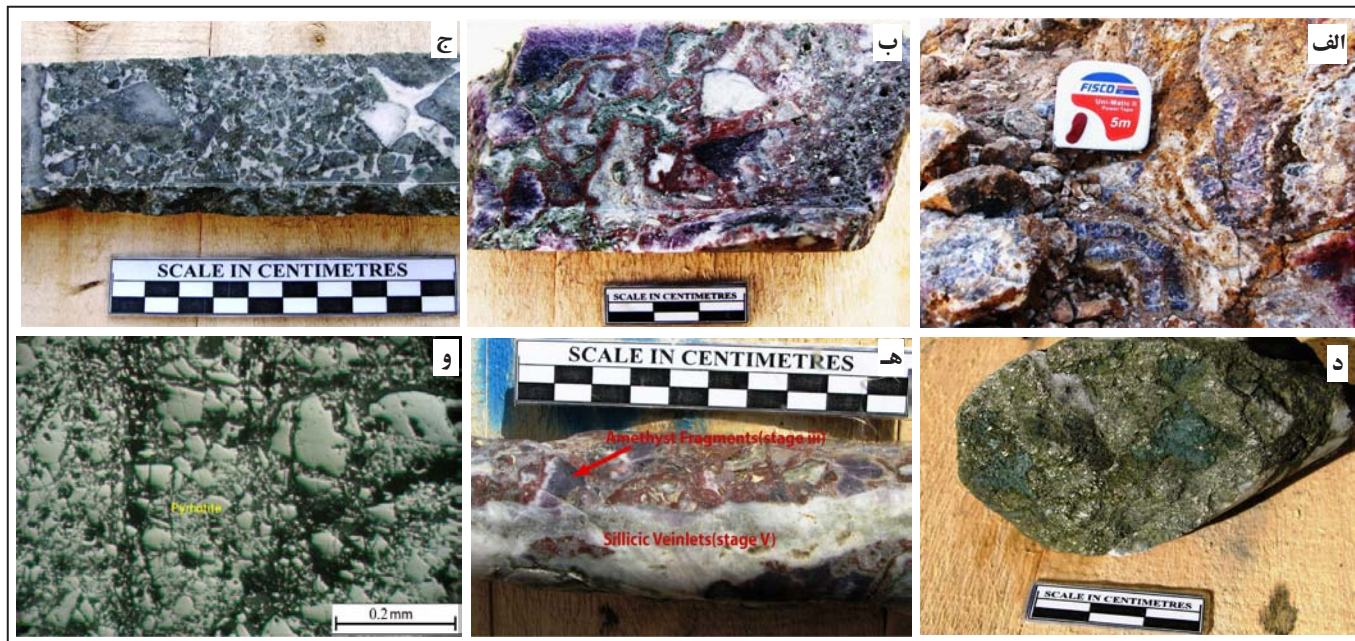
شکل ۵- توزیع کانی ایلیت در مقاطع عرضی AB، CD و EF در کناره رگه‌های سیلیسی کانه‌دار نشان داده شده است.



شکل ۶- توزیع کانی آدولاریا در مقاطع عرضی AB، CD و EF در کناره رگه‌های سیلیسی کانه‌دار نشان داده شده است.



شکل ۷- الف) برش‌های گرمایی که در آن سیلیس‌های خاکستری تیره نسل اول، برشی شده و فضای بین پرش‌ها توسط سیلیس‌های نسل دوم پر و در مراحل بعدی توسط رگچه‌های سیلیسی نابارور نسل پنجم قطع شده‌اند؛ ب) پیریت‌های نیمه‌شکل‌دار تا کاملاً شکل‌دار ریزدانه نسل اول در کنار روتیل؛ ج) رخنمون‌هایی از رگه‌های سیلیسی-کربناتی دارای کان‌زایی در نسل دوم کان‌زایی (دید به سوی جنوب خاوری)؛ د) بافت‌های نواری-کلوفرم مربوط به مرحله دوم کان‌زایی در نمونه‌های به‌دست آمده از مغزه‌های حفاری؛ و) رگچه‌های دارای اسفالریت به رنگ قهوه‌ای با جلای صمغی همراه با فلوریت‌های کوبیک مربوط به مرحله دوم کان‌زایی؛ ه) حضور کلسیت‌های ورقه‌ای در کنار اسفالریت‌های تشکیل شده در مرحله دوم کان‌زایی؛ ی) کان‌زایی اسفالریت مربوط به مرحله دوم کان‌زایی که توسط کالکوپیریت و پیریت جایگزین شده است؛ ر) هم‌رشدی کان‌های اسفالریت، گالن و کالکوپیریت مربوط به مرحله دوم. کان فلوریت: Fl؛ اسفالریت: Sp؛ گالن: Gln؛ پیریت: Py؛ روتیل: Rut.



شکل ۸- الف) رگه‌های سیلیسی آمیستی مرحله سوم کانه‌زایی؛ ب) آمیست‌های مرحله سوم کانه‌زایی که در مراحل بعدی برشی شده‌اند؛ ج) برش‌های گرمایی مربوط به مرحله چهارم کانه‌زایی؛ د) کانه‌زایی سولفیدی دارای پیریت و پیروتیت در مرحله چهارم کانه‌زایی؛ ه) برش‌های دارای قطعات آمیستی مرحله سوم که در مرحله پنجم توسط سیلیس‌های شیری رنگ نابارور قطع شده است. و) کانه‌های پیروتیت مربوط به مرحله چهارم کانه‌زایی که در مراحل بعدی برشی شده است.

Alteration Stages	Hypogen Alteration					Supergen Alteration
	Stage I	Stage II	Stage III	Stage IV	Stage V	
Quartz	■	■	■	■	■	
Illite	■	■	■	■	■	
Kaolinite					■	■
Sericite	■	■	■	■	■	
Smectite	■				■	
Calcite		■	■	■		
Dolomite		■	■	■		
Ankerite		■	■			
Adularia	■	■	■	■		
Dickite					■	
Epidote	■					
Cholorite	■			■		
Zeolite	■					
Clinochlore	■					
Albite	■					
Apatite		■	■			
Tourmaline		■	■			
Fluorite		■	■			
Pyrite	■	■	■	■	■	
Sphalerite		■	■			
Galena		■	■			
Tetrahedrite	■					
Tenantite	■					
Arsenopyrite	■					
Chalcopyrite		■	■			
Pyrrhotite				■	■	
Marcasite				■	■	
Molybdenite	■					
Crystobalite					■	
Zircon		■	■			
Leucosene		■	■			
Rutile	■					

شکل ۹- توالی پاراژنری تشکیل کانی‌های مینرالیزه و دگرسانی در کانسار نیان.

جدول ۱- ویژگی های زمین شناسی و سنگ نگاری سنگ های میزبان کانه زایی (Pl: پلاژیو کلاز، Qz: کوارتز، Kfs: فلدسپار پتاسیم، Bt: بیوتیت، Hbl: هورنبلند، Ap: آپاتیت، Zrn: زیرکن، Opq: کدِر، Cc: کربنات، Ser: سرپسیت، Chl: کلریت، Spn: اسفن، Il: جاپلیت، Clay: رس، Cpx: کلینوپیروکسن، Olc: الیگو کلاز، Ans: آندزین، Lb: لابرا دوریت).

نام واحد سنگی	سبزی تقریبی (متر)	وضعیت زمین شناسی	رنگ	بافت	کانی ها		
					اصلی	فرعی	ثانویه
E ^a	-	گدازه	سبز متماثل به خاکستری	پورفیری با زمینه پیلو تا کسیتیک	Pl(Ans)= 65-75% (6mm) Qz=5-10% Kfs	Hbl, Bt, Zrn, Ap, Opq	Cb, Chl, Ser, Clay, Opq
E ^{dr}	>120	گدازه و توف	خاکستری متماثل به سبز	پورفیری با زمینه فلسیتیک و جریان با لایه بندی جریان	Pl(Olc-Ans)= 40-45% (2mm) Qz=25-30% Kfs=5-10%	Bt= 15- 20% (2mm), Zrn, Ap, Opq	Il, Ser, Qz, Chl, Opq, Cb, Rt, Spn
E ^{dt}	50-70	گدازه، توف و برش آتشفشانی	کریمی	پورفیری با زمینه فلسیتیک	Pl(Olc-Ans)= 45-50% (5mm) Qz=35-40% (5mm) Kfs=10-15% (2mm)	Bt= 5-10% (2mm), Zrn, Ap, Opq	Il, Ser, Qz, Chl, Opq, Cb
E ^{ta}	50-70	گدازه	قهوه ای	پورفیری با زمینه جریان و پیلو تا کسیتیک	Pl(Ans)= 45-50% (2mm) Qz Kfs	Bt<5% (2mm), Hbl Zrn, Ap, Opq	Chl, Opq, Cb, Ser, Qz, Clay
E ^{tag}	20-30	توف و آگلومرا	سبز	جریان	Pl, Qz Kfs	Rf,	Cb, Chl, Clay, Qz, Opq
E ^{an}	30-50	گدازه	سبز	پورفیری با زمینه میکرو لیتیک	Pl(Olc-Ans)= 55-60% (3mm) Qz<5% Kfs=10-15%	Hbl 5% (0.5mm), Zrn, Ap, Opq	Chl, Opq, Cb, Ser, Qz, Clay
E ^{ab}	50-80	گدازه	قهوه ای	بافت پورفیری با زمینه جریان	Pl(Olc-Ans)= 55-60% (5mm) Kfs=5-10%	Cpx=5-10%, Hbl=5-10%, Ol<5%, Ap, Opq	Chl, Cb, Ser, Opq, Qz, Clay
Dyke	5-2	دایک	سبز تیره	پورفیری با زمینه اینترگرانولار و گاهی جریان	Pl(Ans-Lb)= 55-60% (3mm) Kfs	Cpx=10-15%,	Chl, Ser, Cb, Clay, Opq

جدول ۲- نتایج تجزیه های شیمیایی برای سنگ های آتشفشانی سالم محدوده مورد مطالعه.

Sample	TA-7	TA-11	PA-1	PA-3	R-2	R-3	HD-1	HD-2	G-1	G-2	DC-1	DC-3
SiO ₂	67.48	49.61	56.30	56.69	56.98	58.10	59.14	70.92	56.52	62.37	70.33	70.72
Al ₂ O ₃	14.66	14.30	15.38	15.51	17.98	15.76	18.82	14.99	16.99	15.08	13.78	13.24
Fe ₂ O ₃ (T)	4.92	9.77	8.13	5.75	7.25	6.21	2.62	0.53	6.63	3.74	2.55	2.24
FeO	0.36	1.09	4.77	4.81	1.86	2.55	0.21	0.21	3.28	0.14	0.50	1.22
MgO	1.71	3.13	2.41	2.91	3.07	4.50	0.50	2.14	4.36	1.94	1.10	1.39
CaO	1.54	9.55	4.76	6.57	6.43	3.47	2.25	0.57	3.00	3.70	1.49	1.66
P ₂ O ₅	0.01	0.56	0.32	0.27	0.32	0.28	0.01	0.04	0.01	0.24	0.01	0.01
Na ₂ O	4.03	3.65	3.70	3.69	4.30	4.64	0.31	0.96	3.05	2.19	2.32	3.66
K ₂ O	3.65	1.45	3.76	1.80	1.62	2.03	12.68	7.74	4.70	4.10	4.44	4.01
TiO ₂	0.60	1.79	1.72	1.45	1.95	0.79	0.50	0.29	0.73	0.34	0.38	0.37
MnO	0.05	0.13	0.09	0.07	0.05	0.07	0.01	0.01	0.08	0.05	0.03	0.03
L.O.I	1.83	7.84	4.98	6.72	1.32	4.60	3.32	2.12	4.33	5.86	3.66	2.82

جدول ۳- نتایج تجزیه نمونه‌های برداشته شده از پهنه‌های کانه‌دار در کانسار نیان.

Field Number	Au(ppb)	Mn	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Bi	Hg	Sb	Mo
Ny-1M	300	76	43.3	2863	6897.7	4633	269.4	0.20	1.09	15.1	40
Ny-2M	740	62	40.2	30	2130.1	350	34.0	0.20	0.60	7.9	14
Ny-3M	66	6	1.9	4848	74743.9	4175	359.1	0.28	0.23	82.0	384
Ny-4M	2150	40	55.7	550	1620	1315	41	0.63	0.34	14.9	4.89
Ny-5M	86	15.4	1.2	12.4	237.4	92	14.8	<0.5	<0.5	<0.5	13
Ny-6M	46	3000	5	42.4	228.6	2100	20.99	<0.5	1.31	0.65	7
Ny-7M	124	39.5	13.2	192.4	1900	2500	40.52	<0.5	2.05	13.53	nd
Ny-8M	71	19.88	9.4	20.8	242.4	84	6.41	<0.5	0.85	0.64	2
Ny-9M	2800	323	2.8	690	3960	4450	15	<0.5	0.27	3.45	24.2
Ny-10M	116	35.5	11.6	29.4	196.8	258.4	54.22	<0.5	<0.5	2.28	4
Ny-11M	1352	36.1	19.2	906.6	5300	2600	41.23	<0.5	2.08	5.55	8
Ny-12M	30	184.7	1.2	45.8	2200	389.5	35.91	0.7	<0.5	1.47	7
Ny-13M	49	52.5	14.2	203	3900	3300	29.55	<0.5	1.27	1.16	5
Ny-14M	2371	92.3	17.4	221.2	3500	215.5	56.12	0.53	0.76	9.86	41
Ny-15M	42	30.9	1.2	12	376.2	51.8	48.67	<0.5	0.61	2.68	32
Ny-16M	47	36.7	6.4	23	704	145	34.35	2.57	0.91	3.22	47
Ny-17M	112	46.4	1.8	22.4	354.6	15.8	36.39	<0.5	<0.5	4.88	26
Ny-18M	38	21.5	1.6	9.2	464.8	45.6	17.06	<0.5	<0.5	1.96	41
Ny-19M	68	103.8	1.2	93	1300	247.13	38.41	<0.5	<0.5	5.36	17
Ny-20M	96	24.81	<1.00	67.8	2500	605.3	50.46	<0.5	<0.5	3.39	41
Ny-21M	154	30.3	1.2	92.2	314.4	80.6	92.64	<0.5	0.88	7.41	20
Ny-22M	421	34.9	9.8	3400	3300	1700	144.92	<0.5	1.13	1.72	79
Ny-23M	15	24.6	4	117.8	256	38.8	47.98	<0.5	1.01	1.72	20
Ny-24M	59	604	<1.00	564.1	2900	599	70.6	<0.5	0.69	1.69	222
Ny-25M	82	24.5	<1.00	77.2	618	60.2	58.71	<0.5	0.57	0.8	8
Ny-26M	4	2900	4.6	55.6	2500	2400	70.4	2.21	0.98	3.96	109
Ny-27M	4	1200	2.2	5.2	185.4	318.7	3.44	<0.5	<0.5	<0.5	3
Ny-28M	<3	1000	1.4	11.2	58.6	52.2	20.37	<0.5	1.11	<0.5	7
Ny-29M	84	58.9	3.8	2200	476.2	476.2	37.6	<0.5	<0.5	0.92	31
Ny-30M	83	1400	2.4	9.2	315.6	15.6	37.74	<0.5	<0.5	4.81	27
Ny-31M	90	1000	6.2	810	795	10200	36.81	<0.5	<0.5	2.26	13
Ny-32M	62	34.8	2.4	1400	47100	750.35	59.44	<0.5	<0.5	17.28	559
Ny-33M	2029	124.3	7.2	60000	34000	1900	182.72	<0.5	4.52	9.12	24
Ny-34M	3	757.7	1.2	13	58.2	203.1	20.89	<0.5	<0.5	<0.5	nd
Ny-35M	399	39.5	24.86	195.4	362000	513.12	52.71	<0.5	74	473.5	134
Ny-36M	61	44.7	1.2	271.8	7700	2000	211.88	0.57	3.16	<0.5	27
Ny-37M	15	321.3	2.4	29.6	752	138.6	53.64	<0.5	0.82	3.13	6
Ny-38M	12	24.9	0.6	7.6	98.8	29.6	42.92	<0.5	<0.5	1.68	2
Ny-39M	11	0.0032	20	11.8	125.8	556.5	65.62	<0.5	1.66	1.73	14
Ny-40M	4	594.7	1.2	65.2	91.4	452.42	50.98	<0.5	<0.5	1.39	11
B2-96	860.00	935.04	5.99	110.12	2213.08	13622.30	130.56	1.00	0.24	4.46	4.32
Ny-B3-S16	26.0		25.6	110	1743	16670	34				6.2
Ny-B3-S17	63.0		63.9	290	13797	17275	29				16.0
Ny - B7 - S4	40		6.4	412.5	14218	29388	172.8				39.1

جدول ۴- ضرایب همبستگی میان عناصر مختلف در کانسار نیان را نشان می‌دهد.

	Au	Mn	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Bi	Hg	Sb	Mo
Au	1.00										
Mn	-0.11	1.00									
Ag	0.39	0.03	1.00								
Cu	0.53	0.01	0.35	1.00							
Pb	0.42	-0.04	0.36	0.75	1.00						
Zn	0.24	0.25	0.50	0.69	0.62	1.00					
As	0.21	-0.16	0.00	0.50	0.51	0.26	1.00				
Bi	-0.05	0.23	0.02	-0.11	-0.01	-0.02	-0.05	1.00			
Hg	-0.02	-0.05	0.37	0.14	0.24	0.11	0.22	-0.08	1.00		
Sb	0.60	-0.09	0.45	0.45	0.59	0.28	0.44	-0.06	-0.01	1.00	
Mo	0.16	-0.15	-0.06	0.39	0.52	0.08	0.45	-0.07	0.08	0.40	1.00

کتابنگاری

- آفانباتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور- مدیریت شمال خاوری، ۱۳۸۶- نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ استان خراسان رضوی.
- سلاطی، ا.، کریم‌پور، م. ح.، ملک‌زاده شفارودی، آ.، حیدریان شهری، م.، ر.، فارمر، ل. و استرن، ج.، ۱۳۹۱- سنسجی زیرکن (U-Pb)، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های Sr-Nd، و پتروژنز گرانیتوئیدهای اکسیدان منطقه کبیر کوه (جنوب‌باختری خواف). مجله زمین‌شناسی اقتصادی شماره ۲، جلد ۴، صفحه ۲۸۵-۳۰۱.
- عزمی، ح. و صفری، م.، ۱۳۸۴- اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ طاهرآباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مدیریت شمال شرق، مشهد، ۱۷۲ صفحه.
- عزمی، ح. و صفری، م.، ۱۳۸۵- گزارش نقشه زمین‌شناسی - معدنی مطرآباد (جنوب باختری بجنستان)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مدیریت شمال شرق، مشهد، ۱۴۱ صفحه.
- عزمی، ح. و هادی‌زاده، ح.، ۱۳۹۳- اکتشاف و حفاری‌های مقدماتی در محدوده کانسار اپی‌ترمالی نیان خواف شمال باختری بلوک لوت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مدیریت شمال شرق، مشهد ۱۹۰ صفحه.
- کریم‌پور، م. ح.، عاشوری، ع. و سعادت، س.، ۱۳۸۴- نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ طاهرآباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کریم‌پور، م. ح.، ملک‌زاده شفارودی، آ.، فارمر، ل. و استرن، ج.، ۱۳۹۱- پتروژنز گرانیتوئیدها، سنسجی زیرکن به روش U-Pb، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های Sr-Nd و رخداد مهم کانی‌سازی ترشیری در بلوک لوت، شرق ایران، مجله زمین‌شناسی اقتصادی ایران، شماره ۱، ۴، صفحه ۱-۲۷.
- کلاهدانی، م.، ۱۳۸۹- نخستین معرفی پتانسیل مس - مولیبدن پورفیری کلاته‌نو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۸۲ صفحه.
- مرادی، م.، کریم‌پور، م. ح.، فارمر، ل. و استرن، ج.، ۱۳۹۰- ژئوشیمی ایزوتوپ‌های Sr-Nd و Sm-Nd، سنسجی زیرکن به روش U-Pb و پتروژنز باتولیت گرانودیوریتی نجم‌آباد گناباد، مجله زمین‌شناسی اقتصادی ایران، شماره ۱، ۴، صفحه ۱۲۷-۱۴۵.
- مرادی، م.، کریم‌پور، م. ح.، ملک‌زاده شفارودی، آ.، فارمر، ل. و استرن، ج.، ۱۳۹۱- زمین‌شیمی، سنسجی U-Pb زیرکن و ایزوتوپ‌های Rb-Sr و Sm-Nd سنگ‌های موزونیتی نجم‌آباد، جنوب گناباد، مجله پتروژئولوژی، سال سوم، شماره یازدهم، صفحه ۷۷-۹۶.
- هادی‌زاده، ح.، ۱۳۸۹- مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی و پتانسیل‌های معدنی شهرستان بجنستان در شمال باختری بلوک لوت- استان خراسان رضوی، گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران- مدیریت شمال شرق، مشهد، ۱۶۴ صفحه.
- هادی‌زاده، ح.، ۱۳۹۰- مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی و پتانسیل‌های معدنی شهرستان گناباد در شمال بلوک لوت- استان خراسان رضوی، گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران- مدیریت شمال شرق- مشهد، ۲۳۰ صفحه.
- هادی‌زاده، ح.، ۱۳۹۳- مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی و پتانسیل‌های معدنی شهرستان خواف در شمال خاوری بلوک لوت- استان خراسان رضوی، گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران- مدیریت شمال شرق- مشهد (گزارش زیر چاپ).
- هادی‌زاده، ح. و پورخسرو، م.، ۱۳۹۳- اکتشاف و حفاری‌های مقدماتی در محدوده کانسار اپی‌ترمالی زیارو خواف شمال شرقی بلوک لوت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مدیریت شمال شرق، مشهد (گزارش زیر چاپ).

References

- Browne, P. R. L. & Ellis, A. J., 1970- The Ohaki-Broadlands hydrothermal area, New Zealand: mineralogy and related geochemistry. *Am J Sci* V. 269: p. 97-131.
- Eftekharneshad, J., Valeh, N., Ruttner, A., Nabavi, M. H., Alavi, M. & Haghipour, A., 1977- Geological map of Ferdows quadrangle. Geological survey of Iran.
- Fauvelet, E. & Eftekharneshad, J., 1992- Explanatory text of Gonabad quadrangle map, scale 1/250000. Geological survey of Iran, 166p.
- Giggenbach, W. F., 1992- Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries. *Economic Geology*. V. 87, p.1927-1944.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. & Gonzalez-Urien, E., 2000- Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology* 13: p. 221-244.
- Henley, R. W. & Ellis, A. J., 1983- Geothermal systems ancient and modern: A geochemical review: *Earth-Sci. Rev.*, V. 19, p.1-50.
- Jung, D., Keller, J., Khorasani, R., Marks, Ch., Bauman, A. & Horn, P., 1983- Petrology of tertiary magmatic activity in northern Lut area, east of Iran in Geodynamic project in Iran. Report n. V. 51. p. 285-336.
- Karimpour, M. H., Stern, C. R., Farmer, L., Saadat, S. & Malekzadeh, A., 2011- Review of age Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, eastern Iran. *Journal of Geopersia*. v1, p. 19-36.
- Middlemost, E. A. K., 1985- Naming material in the magma/igneous rock system. Longman group U.k., p. 73-86.
- Pearce, T. H., Gorman, B. E. & Birkett, T. C., 1977- The relationship between major element geochemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters* 36: p. 121-132.
- Peccerillo, A. & Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: p. 63-81.
- Simmons, S. F. & Browne, P. R. L., 2000- Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki Geothermal System- Implications for understanding low-sulfidation epithermal environments. *Economic Geology* 95: p. 971-999.
- Simmons, S. F. & Christenson, B. W., 1994- Origins of calcite in a boiling geothermal system: *American Journal of Science*, V. 294, p. 361-400.
- Stocklin, J. & Nabavi, M. H., 1973- Tectonic map of Iran. Geological Survey of Iran.
- Ternet, Y., 1990- Explanatory text of Taybad quadrangle map, scale 1/250000. Geological survey of Iran, Geol. Quadrangle L6.