زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و مطالعه میانبارهای سیال نهشته برون‌زاد روی در منطقه خارنگون، شمال‌خاوری بافق، ایران مرکزی

زهرا میریان [۱*] ، محمد لطفی [۲] ، امیرعلی طباخ شعبانی [۳] ، میرعلی‌اصغر مختاری [۴] و احسان حاج‌ملاعلی [۵]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۲] دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
[۳] استادیار، گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
[۴] استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
[۵] دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۶

چکیده

منطقه خارنگون (Xârengun) در استان یزد، در فاصله ۱۸۵ کیلومتری خاور شهر یزد و ۶۵ کیلومتری شمال خاوری شهرستان بافق قرار دارد. کانی‌سازی در منطقه خارنگون در درون واحدهای سنگ‌آهکی و دولومیتی وابسته به سازند ریزو (معادل سازند سلطانیه)، به سن پرکامبرین بالایی-کامبرین زیرین اتفاق افتاده است. ماده معدنی این نهشته در قالب کانی‌های اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت به‌صورت غیرهمزاد و به شکل چینه‌کران، بیشتر در مسیر لایه‌بندی و لامیناسیون‌های سنگ میزبان کربناتی تشکیل شده است. بالاترین عیار روی در نمونه‌های برداشت شده از این منطقه، ۳۶/۰۶ درصد ZnO است و مطالعات ژئوشیمیایی گویای عدم همراهی قابل توجه سرب با روی در این پهنه کانه‌دار و تشکیل یک زون تک کانیایی Zn است. مطالعات حرارت سنجی میانبارهای سیال در نمونه‌های مربوط به این منطقه نشان‌دهنده نقش داشتن محلول‌های با منشأ جوی در تشکیل این ذخیره است. دمای همگن‌شدگی و شوری این میانبارها، به ترتیب با مقادیر ۱۷۳°C- ۱۵۳ و ۰/۲ تا ۲۲ wt % eque.NaCl، با سیال‌های تشکیل دهنده ذخایر اپی‌ترمال مشابهت دارد. با توجه به شواهد به‌دست آمده از مطالعات صحرایی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و میانبارهای سیال ، کانی‌سازی موجود در این پهنه در زمره نهشته‌های غیرسولفیدی سوپرژن روی، از نوع ترکیبی جانشینی در سنگ دیواره - جانشینی مستقیم قرار می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: بافق، خارنگون، روی، برون‌زاد، غیرسولفیدی، اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، اپی‌ترمال

***نویسنده مسئول:** زهرا میریان
Email: anonymous4830@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

محدوده مورد مطالعه، در منطقه خارنگان (خارنگون در گویش محلی) و در دامنه کوه لاک خارنگون و بخشی از پایه کوه لاک ملا، میان طول‌های جغرافیایی ´۱۲ °۵۵ تا ´۲۱ °۵۵ خاوری و عرض‌های جغرافیایی ´۰۴ °۳۱ تا ´۱۱ °۳۱ شمالی قرار گرفته است. دسترسی به این منطقه از مسیر جاده آسفالتی بافق- بهاباد میسر است (شکل ۱). در حال حاضر مطالعات اکتشافی به منظور پی‌جویی ذخایر روی توسط بخش خصوصی در این منطقه در حال انجام است که نتیجه آن تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰ محدوده‌ای است که کانی‌سازی زون خارنگون را نیز دربر می‌گیرد.

نهشته زون خارنگون به گروه نهشته‌های غیرسولفیدی برون‌زاد روی تعلق دارد. این دسته ذخایر در اثر قرارگیری یک نهشته سولفیدی Znدار اولیه در معرض شرایط اکسیدان سطحی و در پی آن، اکسیداسیون و جانشینی مستقیم کانی‌های سولفیدی در بخش‌های بالایی و هوازده توده معدنی اولیه به‌وجود می‌آیند (Hitzman et al., 2003). همچنین به دلیل واکنش پذیری بالای کانی‌های کربناتی با سیال‌های اسیدی، اکسیده و غنی از روی که از اکسیداسیون توده‌های سولفیدی اسفالریت‌دار نشأت گرفته‌اند، ممکن است این نهشته‌ها در فاصله کمی دورتر از توده سولفیدی اولیه، به میزبانی سنگ‌های کربناتی تشکیل شوند. این ذخایر در واقع گوسان‌های غنی از روی هستند که در آنها اسفالریت (فاز سولفیدی) به کانی‌های کربناتی و سیلیکاتی روی (اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت) تبدیل شده است (Kelly,1958).

تشکیل این نهشته‌ها به ابعاد و کانی‌شناسی نهشته اولیه، تغییرات عمودی سطح ایستابی، سرعت افت سطح ایستابی در طی بالاآمدگی‌های زمین‌ساختی و شرایط خشک جوی و همچنین به تراکم شکستگی‌های سنگ دیواره بستگی دارد (Reichert & Borg, 2008). منشأ سولفیدهای اولیه در بیشتر نهشته‌های برون‌زاد روی، کانسارهای تیپ دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) یا نهشته‌های جانشینی دما بالا در سنگ‌های کربناتی هستند (Nuspl, 2009; Large, 2001). نهشته‌هایی که منشأ آنها کانسارهای MVT است، از لحاظ کانی‌شناسی ساده بوده و کانی‌های چیره آنها عبارت هستند از اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت و هیدروزینکیت؛ ولی آن دسته از نهشته‌ها که از کانسارهای دما بالای جانشینی در سنگ‌های کربناتی نشأت گرفته‌اند، به دلیل حضور فلزات دیگر در این نهشته‌ها، کانی‌شناسی پیچیده‌تری دارند و غالباً دارای ترکیبات مس، منگنز و آرسنیک نیز هستند (Hitzman et al., 2003).

نهشته‌های غیرسولفیدی برون‌زاد رایج‌ترین نوع نهشته‌های غیرسولفیدی روی هستند و پراکندگی گسترده‌ای را در سراسر دنیا نشان می‌دهند (Holland, 2005). از جمله مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته روی این تیپ ذخایر، مطالعاتی است که توسط Hitzman (2003) و Hitzman et al. (2001) انجام شده است. آنها این دسته نهشته‌ها را به سه گروه تقسیم کرده‌اند: 1- نهشته‌های جانشینی مستقیم، ۲- نهشته‌های جانشینی در سنگ دیواره و ۳- نهشته‌های بازماندی پرشدگی در مناطق کارستی. بسیاری از نهشته‌های برون‌زاد شامل ترکیبی بیش از یک نوع از این نهشته‌ها هستند (Hitzman et al, 2003).

۲- روش مطالعه

در راستای انجام مطالعات حاضر، نمونه‌برداری از رخنمون‌های سنگی منطقه صورت پذیرفت. از واحدهای مختلف زون‌های دگرسان شده و کانه‌دار که احتمال می‌رفت از نظر کانه‌زایی اهمیت بیشتری داشته باشند، تعداد بیشتری نمونه برداشت شد و از واحدهای سنگی که احتمال کانی‌سازی در آنها به نظر کمتر می‌آمد و یا فاقد دگرسانی بودند، نمونه‌برداری با فواصل بیشتری انجام گرفت.

در مجموع، از ۲۴ نقطه مختلف نمونه‌برداری به عمل آمد که از آن میان، ۲۱ نمونه به منظور مطالعات سنگ‌شناسی و ۱۷ نمونه به منظور مطالعات کانه‌نگاری، برای تهیه مقاطع نازک و صیقلی در نظر گرفته شد. 19 نمونه برای انجام تجزیه کانی‌شناسی به روش پراش سنجی پرتو ایکس (XRD) و 20 نمونه نیز برای تجزیه شیمیایی به روش طیف سنجی فلوئورسانس پرتو ایکس (XRF) به آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال شد. برای مطالعه میانبارهای سیال نیز تعداد ۵ مقطع دوبر صیقل از نمونه‌های مناسب تهیه شد و در آزمایشگاه مطالعات میکروترمومتری سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مورد مطالعه قرار گرفت.

۳- زمین‌شناسی

از دیدگاه زمین‌ساختاری، منطقه مورد بررسی بر اساس تقسیم‌بندی Stocklin (1968) در پهنه ایران مرکزی و در مرز جنوبی بلوک بافق- پشت بادام قرار دارد (شکل۲) و بخشی از ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسفوردی را دربر می‌گیرد.

منطقه فلززایی بافق که در بخش خاوری زون ایران مرکزی قرار دارد. یکی از مهم‌ترین مناطق معدنی ایران بشمار می‌آید و به دلیل اهمیت فلززایی این منطقه، تا کنون مطالعات زیادی روی آن صورت گرفته است. از جمله منابع معدنی این ناحیه می‌توان مهم‌ترین ذخایر آهن ایران (شامل کانسارهای ساغند، سه‌چاهون، چغارت و ...) به همراه فسفات و اورانیوم و همچنین کانسارهای سولفیدی سرب و روی مانند کانسار کوشک، زریگان، دوزردآلو و... را نام برد (قربانی، ۱۳۸۱).

براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ اسفوردی (سهیلی و مهدوی، ۱۳۷۰)، قدیمی‌ترین سنگ‌های محدوده تحت پوشش این ورقه مربوط به پرکامبرین هستند که شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونه شیست، گنایس، مرمر و آمفیبولیت هستند. قدیمی‌ترین واحدهای رسوبی موجود در منطقه، ترادفی از شیل و ماسه‌سنگ اسلیتی و فیلیتی (سازند تاشک) است که بطور ناهمساز توسط نهشته‌های کربناتی- آواری- آتشفشانی مربوط به پرکامبرین- کامبرین زیرین (سری ریزو) پوشیده شده است.در بخش مرکزی ورقه اسفوردی که منطقه خارنگون نیز در این محدوده قرار می‌گیرد، همه واحدهای سنگی قدیمی به‌صورت نابرجا در کنار دیگر واحدها قرار گرفته‌اند. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه، به سن پرکامبرین، با همبری گسل در کنار واحدهای سنگی کامبرین جای گرفته‌اند و هیچ‌گونه آثاری از واحدهای سنگی مربوط به پالئوزوییک بالایی و مزوزوییک در این منطقه مشاهده نشده است، دوران سنوزوییک نیز در این منطقه تنها شامل نهشته‌های مربوط به زمان کواترنری است (سهیلی و مهدوی، ۱۳۷۰).

کالبد عمومی منطقه دربرگیرنده کانه‌زایی زون خارنگون را شیل، ماسه‌سنگ، سیلت سنگ، ماسه‌سنگ آهکی با چهره خاکستری تا خاکستری مایل به سبز، با ریختار تپه ماهوری و با سطوح فرسایشی صاف تشکیل می‌دهد. واحدهای کربناتی اعم از تیره و روشن، با نوارها و گرهک‌های چرت همراه بوده و غالباً بخش ارتفاعات را به خود اختصاص می‌دهند. ترکیب سنگ شناختی آنها از دولومیت چرت‌دار روشن رنگ تا دولومیت‌های تیره رنگ بدبو متغیر است. این سنگ‌ها غالباً توده‌ای تا ستبرلایه بوده ولی گاهی به صورت سنگ‌آهک شیلی نیز ظاهر می‌گردند که می‌توان نام سنگ‌آهک بسیار نازک لایه دارای شیستوزیته (کالک شیست) را به آن اطلاق کرد. مجموعه‌های اخیر در منطقه خارنگون توسط رسوبات وابسته به سازند ریزو شامل ریولیت، توف با ترکیب ریولیتی، سنگ آهک و دولومیت به سن پرکامبرین بالایی- کامبرین زیرین پوشیده می‌شود (حاج‌ملاعلی، ۱۳۹۱) که این رسوبات نقش سنگ میزبان نهشته غیرسولفیدی روی را ایفا می‌کنند (شکل ۳).

زمین‌ساخت چیره در منطقه را گسل‌های بزرگ با راستای شمالی- جنوبی که گاهی کمی به سوی باختر تمایل دارند تشکیل می‌دهد. همان گونه که در نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۴) دیده می‌شود، عملکرد آنها به صورت معکوس است به گونه‌ای که واحدهای کربناتی تیره‌رنگ به‌صورت بریده بریده بر روی یکدیگر با شیب زیاد رانده شده‌اند. دیگر گسل‌ها با شیب کم و سیستم پرفشار، منطقه مورد بررسی را تحت تأثیر قرار داده‌اند که در منطقه خارنگون، در گذر آنها با دولومیت‌ها کانی‌سازی روی اتفاق افتاده است (حاج‌ملاعلی، ۱۳۹۱).

۴- سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی

نتایج مطالعه مقاطع نازک نشان می‌دهد که سنگ‌های محدوده مورد بررسی از نوع رسوبی و آذرین هستند. سنگ‌های آذرین این محدوده عبارتند از توف‌های ماسه‌ای و توف‌های اسیدی با ترکیب ریولیتی. سنگ‌های رسوبی نیز شامل ماسه‌سنگ‌های گری‌وکی، کنگلومرا، سنگ‌آهک و دولومیت (سنگ‌آهک دولومیتی شده) هستند (شکل ۵).

بر اساس نتایج تجزیه XRD (جدول ۱) کانی‌های کوارتز، دولومیت، کلسیت و ژیپس، و به مقدار کمتری میکا، به ترتیب مهم‌ترین کانی‌های گانگ تشکیل دهنده نمونه‌های برداشت شده از این منطقه هستند. اسمیت‌زونیت ($ZnCO_3$) و همی‌مورفیت ($Zn_4Si_2O_7(OH)_2.H_2O$) نیز مهم‌ترین کانه‌های روی‌دار موجود در این سنگ‌ها هستند، مقدار این کانه‌ها در برخی از نمونه‌های منطقه بسیار چشمگیر است. به گونه‌ای که در تعداد معدودی از نمونه‌ها این دو کانه به عنوان اصلی‌ترین فاز تشکیل دهنده سنگ معرفی شده‌اند (جدول ۱).

در برخی نمونه‌ها، دانه‌های پیریت با بافت غربالی به‌صورت ریز و درشت قابل مشاهده هستند و در کنار آنها فازی از اسفالریت کم آهن وجود دارد (شکل ۶). حضور پیریت‌های غربالی و به‌ویژه اسفالریت در این نمونه‌ها نشان‌دهنده حاکم بودن شرایط نزدیک به احیایی و نسبتاً غیراکسیدان در این بخش‌هاست. ولی در سطح بیشتر مقاطع صیقلی مطالعه شده، دانه‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار پیریت و کالکوپیریت به فراوانی دیده می‌شوند که تحت تأثیر فرایند اکسیداسیون به هیدروکسیدهای آهن نوع گوتیت و لپیدوکروزیت تبدیل شده‌اند. در بیشتر نمونه‌ها، دگرسانی در حدی بوده که فقط آثاری از سولفیدهای اولیه، به‌عنوان بافت باقیمانده برجای مانده است که با قدرت بازتابش بالا از بخش هیدروکسیدی قابل تفکیک است (شکل ۷). این دانه‌ها معمولاً در متنی رنگین (قهوه‌ای تا سبزرنگ) قرار گرفته‌اند که این متن می‌تواند توجیه کننده کانی‌های غیرسولفیدی روی از جمله اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت باشد. اگرچه این کانی‌ها به دلیل نداشتن جلای فلزی و در نتیجه عدم انعکاس نور از خود، در سطح مقاطع صیقلی قابل مشاهده نیستند ولی در نتایج تجزیه XRD گزارش شده‌اند (جدول ۱).

در نتایج تجزیه فلورسانس اشعه ایکس (XRF) میزان روی در برخی واحدها تا ۳۶/۰۶ درصد گزارش شده است (جدول۲) که از لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. سرب و روی در بیشتر ذخایر، ارتباط پاراژنتیکی باهم دارند، ولی مقادیر گزارش شده سرب در نمونه‌های این منطقه ناچیز است ($PbO < 0.15$ درصد) (جدول۲) که این امر ممکن است به دلیل تحرک پذیری کمتر Pb نسبت به Zn و باقی ماندن این عنصر در نزدیکی پروتولیت سولفیدی باشد.

تشکیل کانی‌های غیرسولفیدی روی در این منطقه بیشتر در مسیر لایه‌بندی و لامیناسیون‌های سنگ‌های کربناتی و گاهی ماسه سنگ‌ها و به صورت جانشینی و شکافه پرکن در زون برون‌زاد صورت گرفته است (شکل‌های ۸ و ۹). کانه‌های زون برون‌زاد شامل سیلیکات و کربنات روی و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن است که حضور آنها چهره‌ای لیمونیتی تا سرخ- قهوه‌ای را به سنگ‌های منطقه داده است. از دیگر کانه‌های موجود در زون سوپرژن می‌توان به هیدروکربنات مس (مالاکیت) (شکل۱۰) اشاره کرد که در بخش‌هایی از منطقه، درون واحدهای کربناتی شکل گرفته است. در برخی واحدها نیز آغشتگی‌های منگنز قابل مشاهده است (شکل۱۱).

۵- دگرسانی

رخ دادن فرایندهای مختلف زمین‌ساختی و گرمابی در این منطقه سبب ایجاد

دگرسانی در سنگ‌ها شده که پی‌آمد آن ایجاد رنگ‌های مختلفی است که نظر هر بیننده‌ای را به خود جلب می‌نماید (شکل ۱۵). دگرسانی گرمابی سبب شده است که سیال‌های گرمابی در حین واکنش با کانی‌های سولفیدی دیاژنتیک، از آهن غنی شده و در ضمن واکنش با سنگ میزبان کربناتی، در محل‌های دگرسان شده مقدار زیادی اکسید آهن به سنگ اضافه نموده‌اندکه سبب ایجاد رنگ‌های سرخ- قهوه‌ای تا لیمویی در منطقه شده است.

فرایندهای زمین‌ساختی نیز با ایجاد درز و شکاف در سنگ‌ها، آنها را برای انجام فرایندهای دگرسانی مستعدتر کرده‌اند. این شکاف‌ها بیشتر توسط کربنات‌ها و گاهی توسط سیلیس پر شده و رگچه‌های کربناتی و سیلیسی را به‌وجود آورده‌اند. وجود این رگه‌ها گویای ورود یک سیال ثانویه با محتوای بالای کلسیم و سیلیس به محیط است، تشکیل سریسیت در فضاهای خالی برخی نمونه‌ها نیز نشانگر حضور کاتیون‌های K^{+} و Mg^{2+} در سیال است.

از دیگر عملکردهای این فرایندها در سنگ‌های منطقه تبلور دوباره سنگ آهک‌ها و دولومیتی شدن آنهاست. تشکیل سیلیس به‌صورت باندهای چرت در درون دولومیت‌ها می‌تواند گویای همزمان بودن دگرسانی‌های سیلیسی و دولومیتی باشد. وجود باندهای چرت در درون دولومیت‌ها بیان‌گر ورود یک سیال پرسیلیس به درون سنگ‌های منطقه است و این محلول احتمالاً ترکیب میانبارهای سیال اولیه و ثانویه‌ی کاذب، که برای مطالعه میانبارهای سیال مورد استفاده قرار گرفته‌اند را تشکیل می‌دهد. این سیال احتمالاً یک سیال اکسیدان و با ترکیبی مشابه آب دریا بوده که وجود یون Mg^{2+} در آن سبب دگرسانی آهک‌های منطقه به دولومیت شده است. در این منطقه، دگرسانی سنگ میزبان آهکی به دولومیت گرمابی پیش از کانه‌زایی اتفاق افتاده است.

به طور کلی می‌توان گفت دولومیتی شدن (شکل ۱۲)، سیلیسی شدن (شکل ۱۳)، سریسیتی شدن (شکل ۱۴) و افزایش اکسیدهای آهن و منگنز به سنگ مهم‌ترین دگرسانی‌های تشخیص داده شده در این منطقه هستند.

۶- مطالعه میانبارهای سیال

مطالعات سنگ‌نگاری و حرارت سنجی میانبارهای سیال در نمونه‌های برداشت شده از منطقه خارنگون روی کانی‌های کوارتز و کلسیت صورت گرفته است. بر اساس این مطالعات، هر سه نوع میانبارهای اولیه (P)، ثانویه (S) و ثانویه کاذب (PS) مشاهده می‌شود. سیال تشکیل دهنده هر دو تیپ P و PS یکسان است ولی ترکیب سیال تشکیل دهنده میانبارهای ثانویه (S) متفاوت است. میانبارهای استفاده شده برای مطالعات حرارت سنجی، ازنوع میانبارهای سیال اولیه و ثانویه کاذب انتخاب شده‌اند.

بر اساس فازهای تشکیل دهنده نیز ۵ تیپ میانبار سیال شامل: ۱) دو فازه گاز- مایع (V+L)، ۲) دو فازه مایع - گاز (L+V) ، ۳) دو فازه گاز + مایع دارای CO_2 (L_{CO2}+Lqa+V) (شکل ۱۹)، ۴) دو فازه‌مایع + گاز دارای CO_2 و ۵) تک فازه مایع (L)، در نمونه‌های مربوط به این منطقه وجود دارند که در این میان، میانبارهای نوع مایع - گاز (شکل ۱۶) و میانبارهای تک فازه مایع (شکل ۱۷) از فراوانی بیشتری در نمونه‌ها برخوردار هستند.

در اندازه‌گیری‌های حرارت سنجی انجام شده، بیشتر میانبارهای دوفازه مایع-گاز و دو فازه مایع + گاز دارای CO_2 (شکل ۱۸) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اندازه‌گیری‌های انجام شده برای تیپ ۱ و ۳ به دلیل کمتر بودن میزان مشاهده شده کمتر است و در میانبارهای سیال تک فازه (L) نیز امکان اندازه‌گیری وجود ندارد.

طی عملیات سرمایش، دمای ذوب آخرین بلورهای یخ (T_m) در این میانبارها ۰/۵ تا ۱۷/۵- درجه سانتی گراد تعیین شده که بیشترین تعداد نمونه‌ها در این محدوده دمایی، مربوط به نمونه‌هایی است که در گروه دمایی ۰/۵تا ۱/۵- درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند. از این دما می‌توان به مقدار شوری و چگالی سیال پی برد.

در نمونه‌های مطالعه شده میزان شوری و دانسیته توسط نرم‌افزار مدلینگ PVTX شرکت Linkam محاسبه شده و اطلاعات به‌دست آمده به‌صورت هیستوگرام فراوانی ارائه شده است (شکل ۲۰). همان‌گونه که در این نمودار قابل مشاهده است، محدوده شوری میان ۰/۲ تا ۲۲ wt% eque. NaCl اندازه‌گیری شده و بیشترین فراوانی اندازه شوری مربوط به ۰/۲ تا ۲/۲ wt% eque. NaCl است. در این شکل، دو جمعیت از میانبارها قابل تفکیک است. یکی میانبارهایی با شوری ۰/۲ تا ۱۰/۲ و دیگری میانبارهایی با شوری ۱۲/۲ تا ۲۲/۲ که این مسأله می‌تواند گویای کانی‌سازی در دو مرحله توسط دو سیال با شوری متفاوت است.

طی عملیات گرمایش، که به‌منظور تعیین درجه حرارت تشکیل کانی‌ها صورت می‌گیرد، مشاهده شد که همگن شدگی فازهای تشکیل دهنده میانبارهای دوفازی (V+L و L+V) در مورد بیشتر نمونه‌ها با تبدیل فاز بخار به مایع، و در نمونه‌های دارای بخار بالا، با تبدیل مایع به بخار صورت گرفت که نتایج حاصل در شکل ۲۱ در قالب هیستوگرام دمای همگن‌شدگی ارائه شده است. در این نمودار گروه‌های دمایی متغیری از ۱۱۳ تا ۴۲۳ درجه سانتی‌گراد قابل مشاهده است و بیشترین فراوانی همگن‌شدگی دمایی مربوط به محدوده دمایی ۱۵۳-۱۷۳ درجه سانتی‌گراد است.

این پهنه به نسبت گسترده پراکندگی داده‌های شوری و دمای همگن شدگی، همان گونه که در شکل شماره ۲۲ نیز قابل مشاهده است، می‌تواند به دلیل رخداد اختلاط سیالی به‌وجود آمده باشد. حضور میانبارهای سیال از هر دو نوع تک فازه (L) و دو فازه (V+L و L+V) در نمونه‌ها نیز می‌تواند مؤید احتمال رخداد اختلاط سیالی بوده و یا این که نتیجه تراوش از برخی میانبارها باشد.

داده‌های مربوط به دمای همگن شدگی در همراهی با داده‌های مربوط به شوری، چگالی سیال را تقریباً در موقع به دام افتادن آن مشخص می‌کنند. با استفاده از این داده‌ها تغییرات چگالی سیال در این میانبارها از حدود ۰/۷ تا نزدیک به ۱/۱ g/cm^3 تعیین شد که در این گستره، پرجمعیت‌ترین گروه میانبارهای مطالعه شده با فراوانی ۱۵ نمونه، در محدوده چگالی ۰/۹۴ - ۰/۹۹ g/cm^3 قرار می‌گیرند (شکل ۲۳).

میزان کاهش نقطه انجماد سیال آبگین (Tm) نشانگر در صد تمرکز مواد محلول در سیال است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که کاتیون‌های اصلی موجود در ترکیب سیال کانه‌ساز در این منطقه احتمالاً Na، K و Ca بوده‌اند. شوری متوسط تا پایین این سیال‌های نشان از شرایط حمل توسط یک محلول کلریدی است و از طرفی حضور ژیپس در مجموعه کانی‌ها (بر اساس نتایج تجزیه XRD) بیانگر نقش $SO4^{2-}$ و وجود سیلیکات‌ها و کربنات‌های روی گویای نقش آنیون‌های Cl^{-} و HCO^{3-} به عنوان لیگاندهای اصلی حمل کننده فلزات بوده‌اند.

با استناد به داده‌های دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال می‌توان این گونه استنباط کرد که مینرالیزاسیون در زون خارنگون احتمالاً در نتیجه اختلاط حداقل دو سیال متمایز (یک سیال شور و گرم تا داغ با یک سیال سردتر و با شوری کمتر) صورت گرفته است. این سیال ها در حقیقت آب‌های جوی بوده‌اند که پس از نفوذ به اعماق مختلف پوسته، در نواحی با نفوذپذیری پوسته‌ای و جریان گرمایی بالا چرخش یافته و درجه حرارت و شوری آنها دچار تغییر شده است.

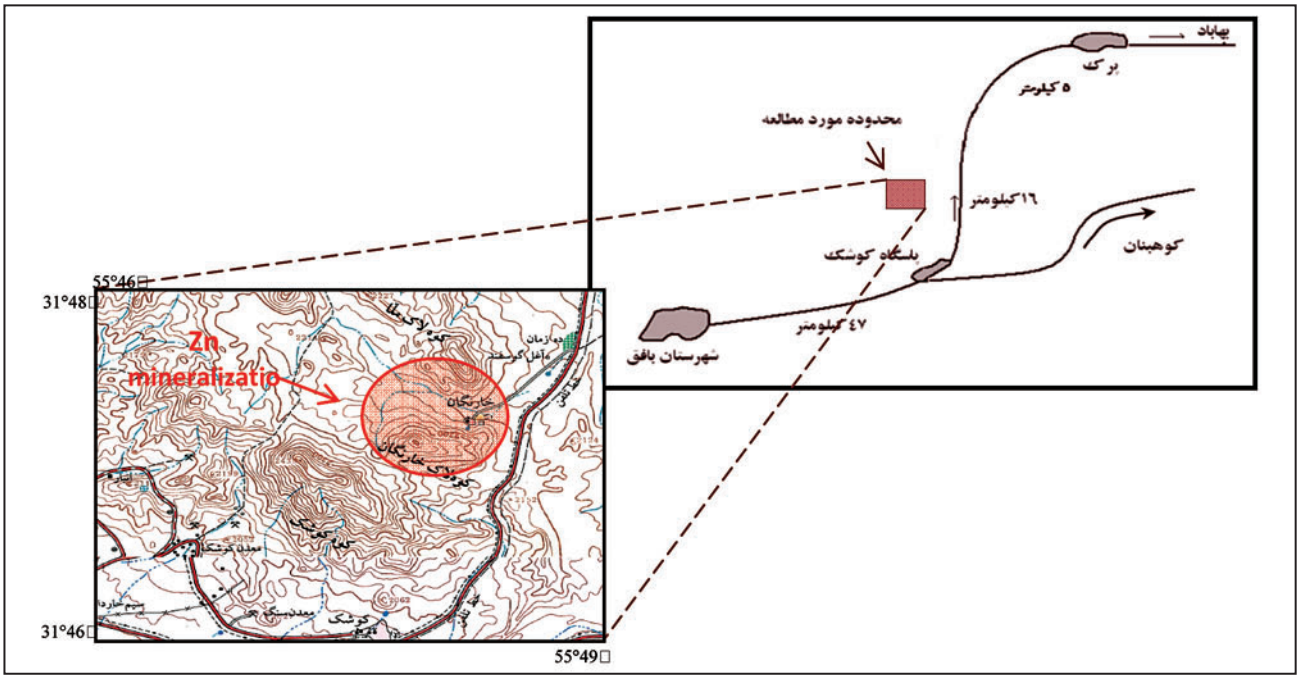
در نهایت، به منظور تعیین نوع ذخیره داده‌های دمای همگن‌شدگی و شوری معادل درصد وزنی نمک طعام، که دو پارامتر اساسی در آزمایشات میکروترمومتری هستند، با دیاگرام Wilkinso (2001) (شکل ۲۴) انطباق داده شد. در این نمودار رده‌های اصلی ذخایر معدنی محدوده‌هایی را در فضای دمای همگن شدگی - شوری اشغال می‌کنند که نشانگر ویژگی‌های اساسی سیال‌هایی است که در تشکیل آنها دخیل بوده‌اند و تماماً در میان منحنی اشباع هالیت و منحنی بحرانی برای محلول NaCl خالص محصور شده‌اند. نتایج حاصل از این تطابق، همان‌گونه که در شکل ۲۴ نیز قابل مشاهده است، گویای شباهت نهشته زون خارنگون به ذخایر اپی‌ترمال است.

۷- نتیجه‌گیری

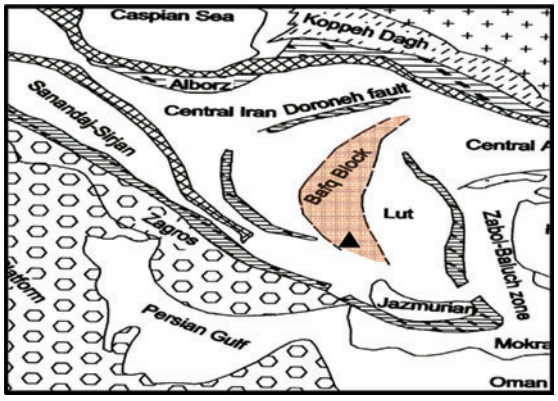
مراحل تشکیل نهشته غیرسولفیدی زون خارنگون را که به میزبانی واحدهای سنگ‌آهکی و دولومیتی متعلق به سازند ریزو (براساس نقشه ۱:۵۰۰۰ منطقه) به سن پرکامبرین بالایی- کامبرین زیرین تشکیل شده است، می‌توان این گونه تفسیر کرد که پس از تشکیل یک ذخیره سولفیدی اولیه تحت شرایط احیایی، این نهشته که دارای اسفالریت و مقادیری سولفیدهای آهن از قبیل پیریت و کالکوپیریت بوده است، در اثر بالاآمدگی زمین‌ساختی و در پی آن، افت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه، در معرض هوازدگی و شرایط اکسیدان سطحی قرارگرفته، سیال‌های جوی به درون آن نفوذ کرده و با کانی‌های سولفیدی وارد واکنش شده‌اند. اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی آهن سبب برجاگذاری هیدروکسید آهن نوع گوتیت و لپیدوکروزیت و تشکیل اسید سولفوریک و سولفات فریک شده است. بواسطه این دو ترکیب، سیال‌های جوی خاصیت اسیدی پیدا کرده و قدرت انحلال‌شان افزایش می‌یابد. این محلول اسیدی و اکسیدان سبب انحلال دیگر سولفیدهای فلزی به‌ویژه اسفالریت، آزاد شدن یون‌های فلزی از قبیل Zn و انتقال آنها شده است. محلول اکسیدان اسیدی Znدار سپس وارد واحدهای سنگ آهکی شده و ضمن واکنش با ترکیبات کربناتی سنگ میزبان، در راستای لایه‌بندی و لامیناسیون‌ها، سولفات روی جانشین کلسیت و دولومیت شده و اسمیت‌زونیت تشکیل شده است. همچنین، با وارد شدن سولفات روی به ترکیبات سیلیکاتی سنگ میزبان، همی‌مورفیت نیز جایگزین این ترکیبات شده است.

به نظر می‌رسد که کانه‌زایی زون خارنگون در زمره نهشته‌های غیرسولفیدی برون‌زاد روی از نوع جانشینی در سنگ دیواره و به مقدار کمتری جانشینی مستقیم قرار می‌گیرد که ماده معدنی آن به‌صورت غیرهمزاد و به‌شکل چینه‌کران در راستای لایه‌های سنگ آهکی با بافت و ساخت لامینه‌ای تشکیل شده است.

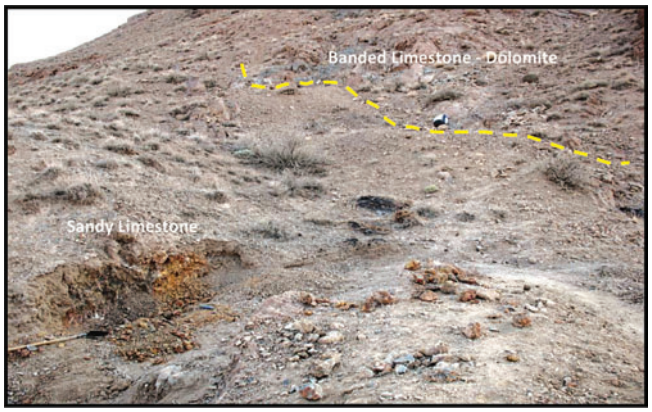
حاکم بودن شرایطی مانند وجود توالی‌های کربناتی، نبود و یا عدم تأثیر توده‌های آذرین و وجود گسل‌های کنترل کننده در منطقه می‌تواند بیانگر این موضوع است که توده‌ی سولفیدی روی‌دار اولیه در شرایطی مشابه با کانسارهای تیپ دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) شکل گرفته است (مشابه بسیاری از کانسارهای غیرسولفیدی سرب و روی استان یزد مانند طرز، گوجر، کارونگاه، تپه سرخ، آب حیدر، سنجدو، کوه قلعه، تاجکوه، کیچگرکوه و بنه‌انار). اما از سویی دیگر با توجه به حضور هیدروکربنات مس و آغشتگی‌های منگنز در سنگ‌های منطقه و همچنین وجود ذخیره ماسیوسولفیدی پراهمیتی چون کانسار سرب و روی کوشک در فاصله ۵ کیلومتری این نهشته احتمال سولفید توده‌ای بودن نهشته‌ی اولیه نیز دور از انتظار نیست.



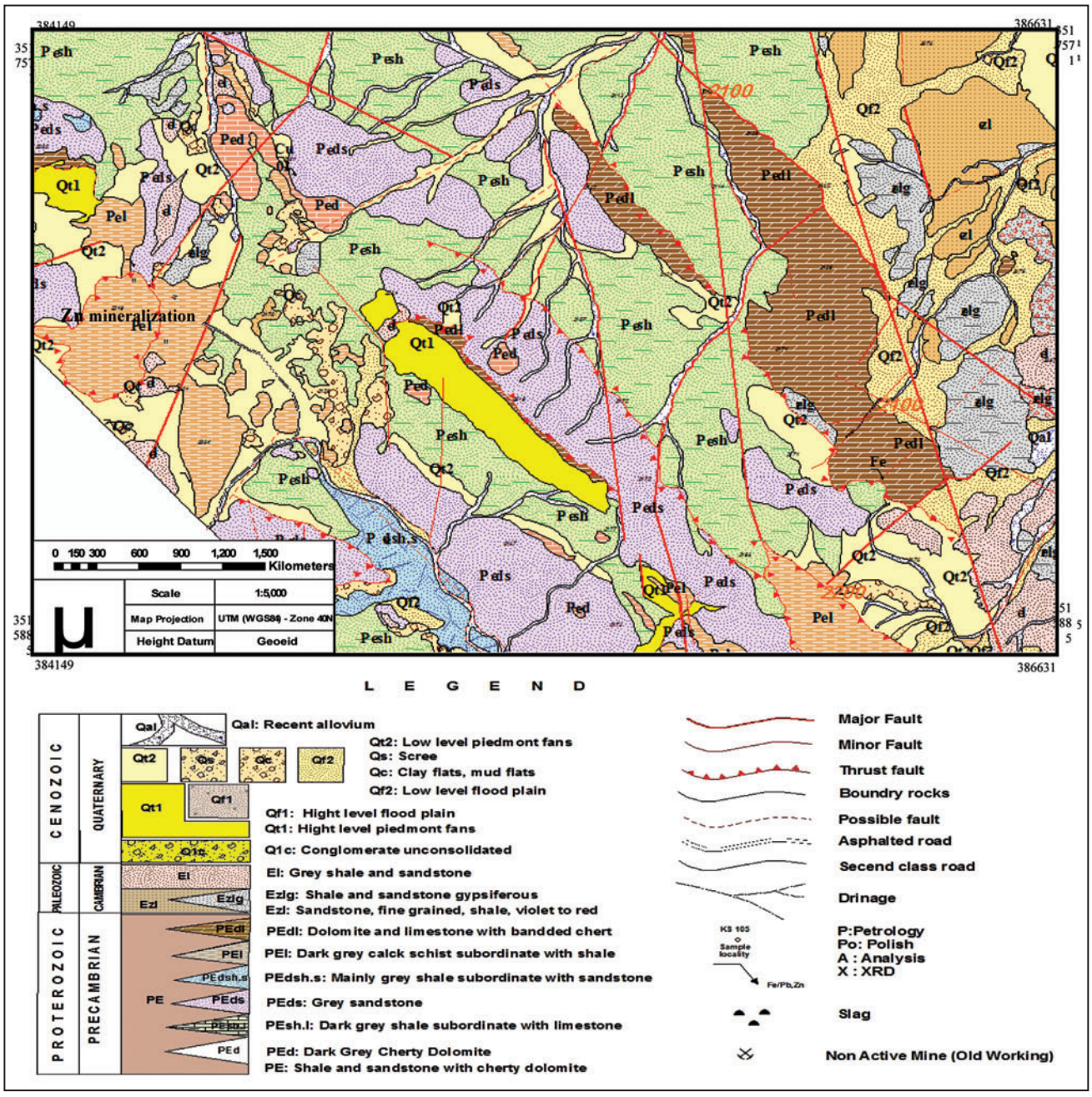
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده منطقه مطالعاتی. موقعیت دقیق منطقه خارنگون بر روی نقشه توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰ احمدآباد و شیطور) مشخص شده است.



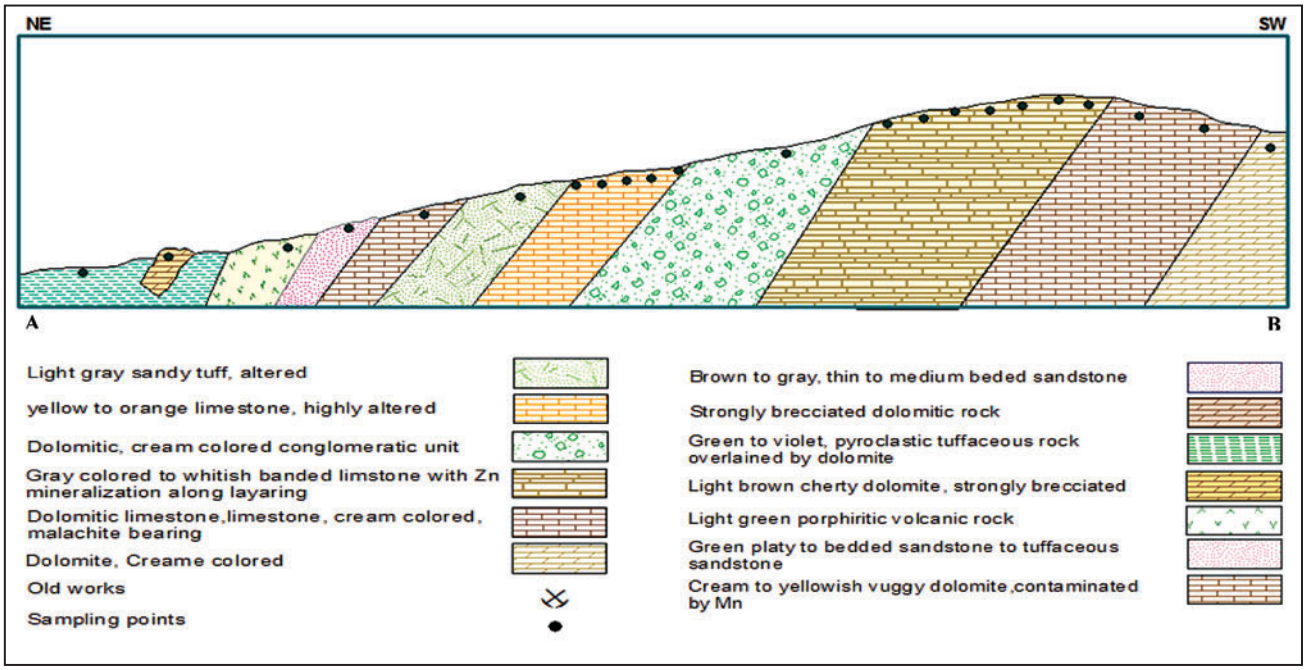
شکل ۲- موقعیت بلوک بافق- پشت بادام در ایران (این بلوک با رنگ تیره‌تر از دیگر پهنه‌ها متمایز شده است) و موقعیت منطقه خارنگون در بلوک بافق- پشت بادام (با علامت مثلث مشخص شده) (برگرفته از قربانی، ۱۳۸۱).



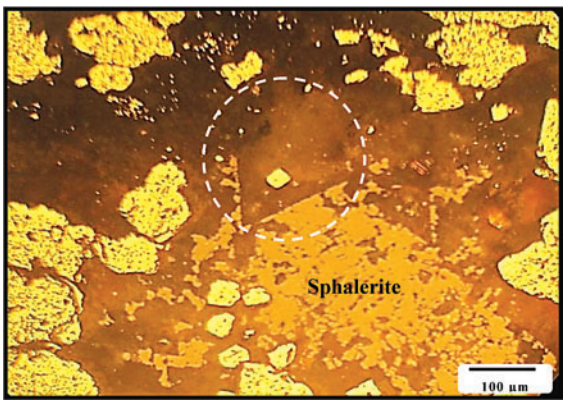
شکل ۳- رسوبات آهکی، دولومیتی و آهک ماسه‌ای وابسته به سازند ریزو به سن پرکامبرین بالایی- کامبرین زیرین که دربردارنده‌ی کانه‌زایی زون خارنگون هستند.



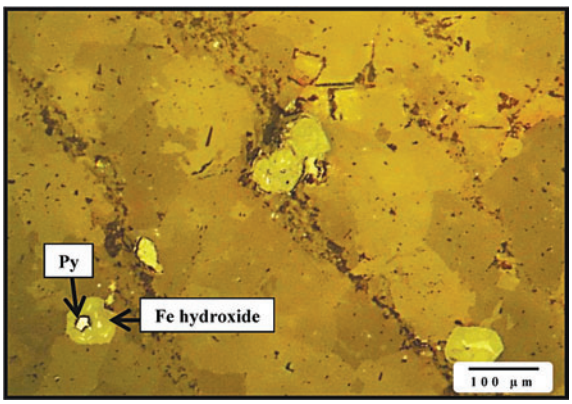
شکل ۴ - بخشی از نقشه زمین‌شناسی منطقه فرک با مقیاس ۱:۵۰۰۰ که دربردارنده زون مینرالیزه خارنگون است (برگرفته از حاج‌ملاعلی، ۱۳۹۱).



شکل ۵- مقطع عرضی تهیه شده از واحدهای سنگی مورد مطالعه در منطقه خارنگون، طی پروفیل A-B با روند شمال خاوری به جنوب باختری .



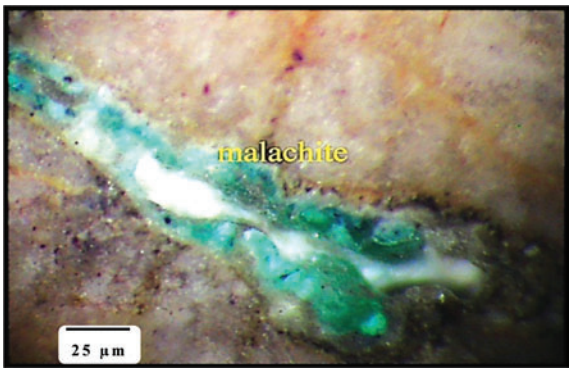
شکل ۶- پراکندگی دانه‌های غربالی پیریت در اطراف بلور خاکستری رنگ اسفالریت. تشکیل بلور رومبیک کربنات روی (که با دایره تفکیک شده است) در حاشیه اسفالریت نشان‌دهنده نزدیک شدن شرایط محیطی به شرایط اکسیدان است (نور XPL).



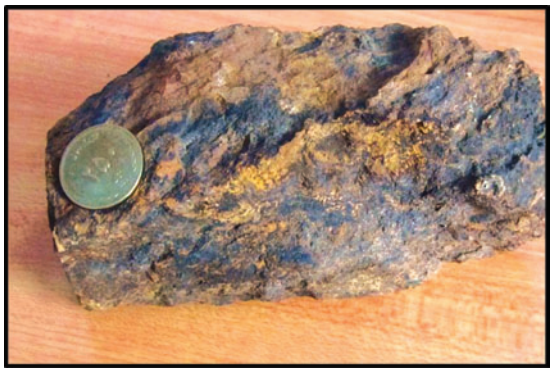
شکل ۷- دانه‌های پیریت که در اثر اکسیداسیون دچار واپاشی شده و به هیدروکسید آهن تبدیل شده‌اند. قطعاتی از پیریت اولیه در میان هیدروکسیدهای آهن باقی مانده است (نور PPL).

شکل ۸- نمایی از لایه بندی و آغشتگی به هیدروکسیدهای آهن در واحد سنگ آهکی.

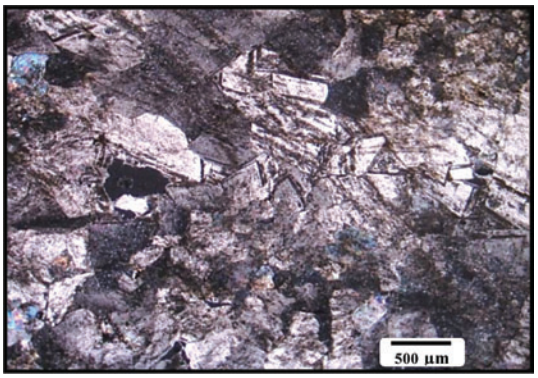
شکل ۹- نمایی نزدیک از کانی سازی غیرسولفیدی روی (به رنگ سفید) در مسیر لایه‌بندی سنگ‌های کربناتی.



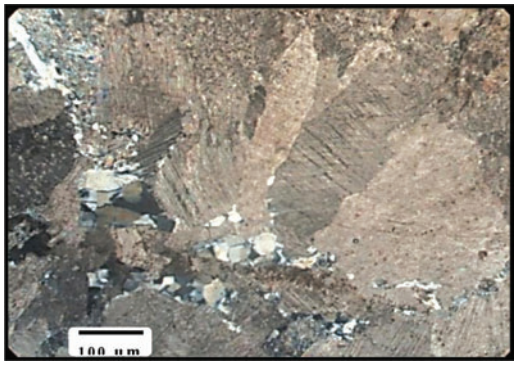
شکل ۱۰- کانی سبز رنگ مالاکیت در سطح مقطع صیقلی تهیه شده از سنگ آهک‌های دولومیتی منطقه خارنگون (نور XPL).



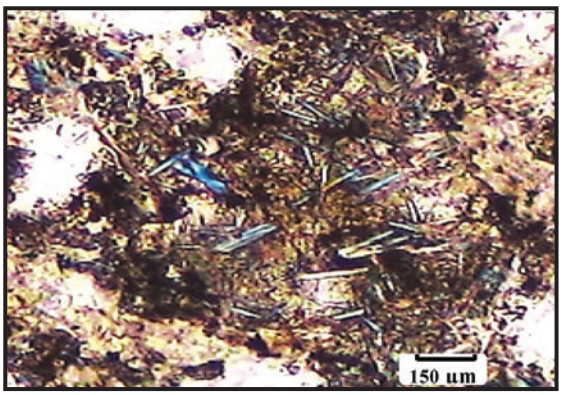
شکل ۱۱- تصویری از آغشتگی‌های سیاهرنگ منگنز در سطح سنگ دولومیتی کرم‌رنگ متعلق به منطقه خارنگون.



شکل۱۲- دولومیتی‌شدن سنگ آهک نشان‌دهنده ورود محلول‌های غنی از یون Mg^{2+} به درون سنگ‌های منطقه است (نور XPL).

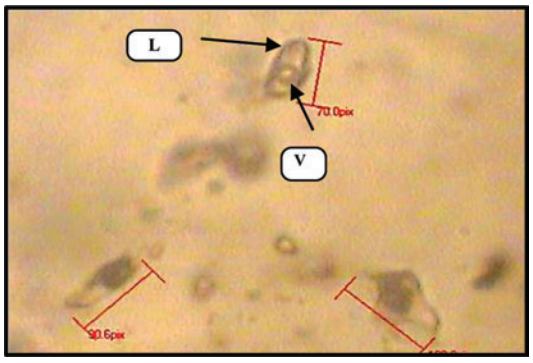


شکل۱۳- سیلیسی شدن سنگ در اثر اضافه شدن SiO_2 به آن توسط محلول‌های گرمابی (نور XPL).

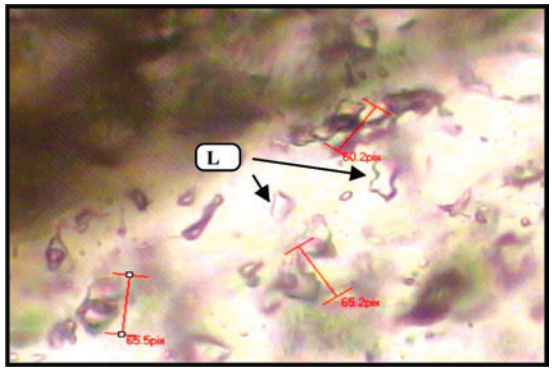


شکل۱۴- سریسیتی شدن زمینه ماسه سنگ آهکی در اثر ورود محلول‌های اسیدی (نور XPL).

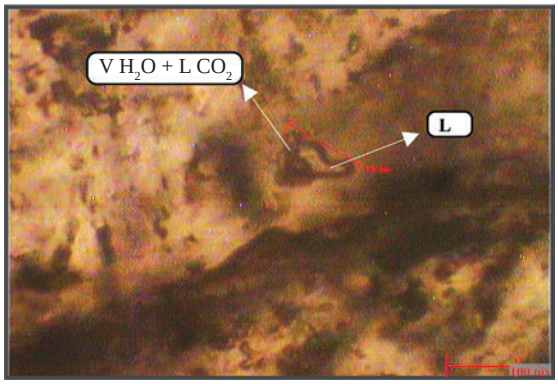
شکل ۱۵- بروز طیف رنگ‌های زرد تا نزدیک به سرخ در سنگ‌های منطقه خارنگون به دلیل حضور اکسیدهای آهن.



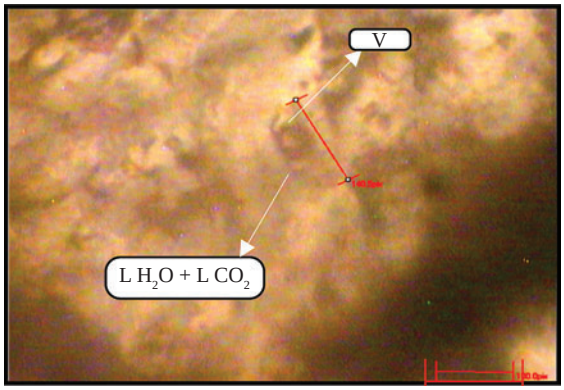
شکل ۱۶- میانبارهای سیال حاوی فاز مایع همراه با حباب گازی.



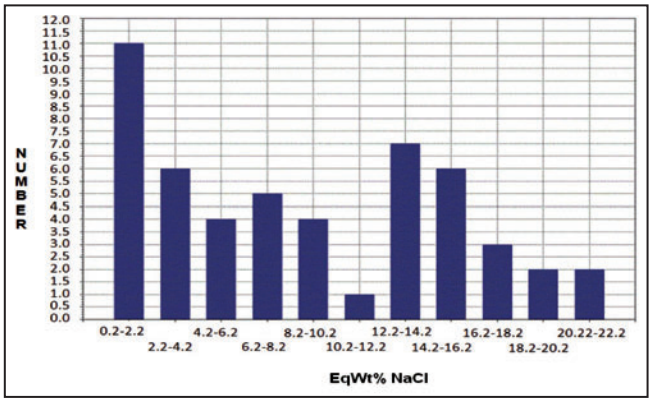
شکل ۱۷- تصویری از میانبارهای سیال دوفازه گاز- مایع و میانبارهای سیال تک فازه مایع.



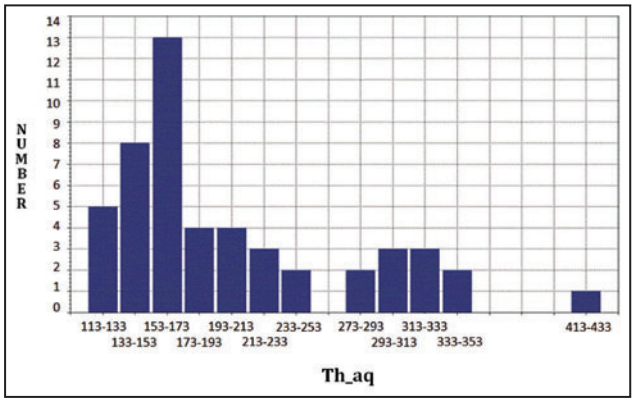
شکل ۱۸- سیال‌های دارای فاز مایع همراه با فاز حباب گاز که بیشترین حجم حباب توسط CO_2 پر شده است.



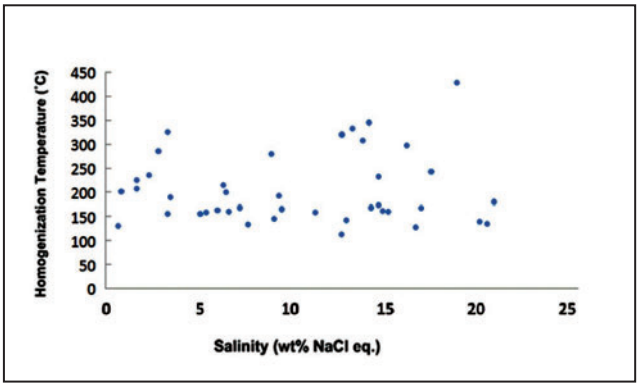
شکل ۱۹- سیال‌های گازی همراه بامایع دارای CO_2.



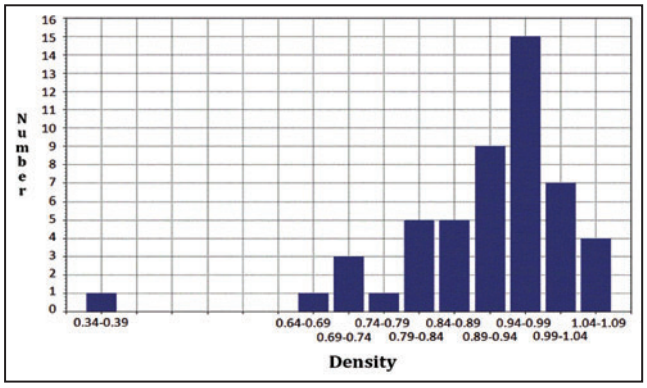
شکل ۲۰- میزان شوری میان بارهای سیال منطقه خارنگون.



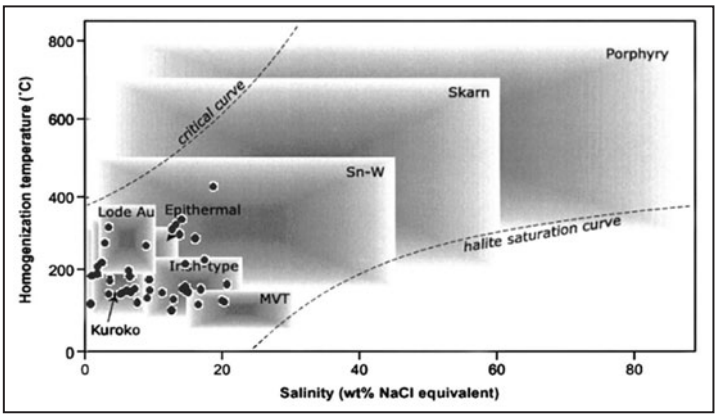
شکل ۲۱- نمودار ستونی دمای همگن شدگی میان بارهای سیال منطقه خارنگون (Th).



شکل ۲۲- نمودار پراکندگی میانبارهای سیال منطقه خارنگون بر اساس میزان شوری و دمای همگن شدگی.



شکل ۲۳- نمودار ستونی چگالی میان بارهای سیال منطقه خارنگون.



شکل ۲۴-دیاگرام دمای همگن شدگی - شوری نشان دهنده محدوده‌های تیپیک سیال‌های تیپ‌های مختلف کانسارها (Wilkinson,2001). در این دیاگرام نمونه‌های منطقه‌خارنگون در محدوده سیال‌های تشکیل دهنده ذخایر اپی‌ترمال قرار می‌گیرند.

جدول ۱- نتایج تجزیه XRD نمونه‌های برداشت شده از منطقه خارنگون.

FIELD NO.	XRD RESULTS	FIELD NO.	XRD RESULTS
2	Dolomite + Calcite + Quartz + Smithsonite(minor)	*17*	Smithsonite + Dolomite + Calcite
4	Dolomite + Quartz	*18*	Calcite + Quartz
7	Dolomite + Calcite + Quartz	*19*	Calcite + Dolomite + Hemimorphite
8	Quartz + Dolomite + Mica(minor)	*20*	Dolomite + Calcite
9	Quartz + Dolomite + Gypsum + Mica	*21*	Dolomite + Quartz
10	Quartz + Gypsum + Goethite	*22*	Dolomite + Quartz(minor) + Calcite(minor)
11	Quartz + Gypsum	*23*	Dolomite + Quartz + mica(minor)
12	Quartz + Dolomite	*24*	Dolomite + Quartz
13	Gypsum + Dolomite + Calcite + Quartz	*25*	Dolomite + Quartz + Calcite
16	Hemimorphte + Dolomite + Smithsonite + Quartz		

جدول ۲- نتایج تجزیه XRF برای برخی از اکسیدهای مهم در نمونه‌های برداشت شده از منطقه خارنگون.

S.N	1	5	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
formula	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Fe_2O_3	2.89	2.36	7.08	9.66	7.81	9.74	8.97	9.66	6.23	1.59	0.74	0.93	0.56	1.01	1.4	1.45	1.2	3.96	2.68	4.95
MnO	0.1	< .1	1.58	0.91	1.14	< .1	2.26	0.8	< .1	0.35	0.32	0.46	0.11	0.21	0.46	0.65	0.43	0.96	0.67	1.34
TiO_2	0.46	0.35	-	0.41	0.3	0.18	0.22	0.27	-	0.23	< .1	-	< .1	< .1	< .1	-	< .1	0.16	< .1	< .1
CuO	-	-	-	-	-	-	-	< .1	-	-	0.55	0.37	-	0.17	0.4	0.18	< .1	0.38	0.62	0.15
ZnO	0.16	0.11	< .1	0.61	0.42	0.36	1.84	< .1	0.37	0.43	36.06	26.38	0.28	3.96	0.66	0.44	2.78	3.15	0.41	0.54
PbO	-	< .1	-	-	-	< .1	-	-	< .1	0.15	0.14	-	-	-	-	-	-	< .1	-	-
BaO	-	-	0.7	< .1	-	0.21	-	0.66	3.37	< .1	-	< .1	0.28	0.27	0.66	-	< .1	0.43	0.88	-

کتابنگاری

حاج‌ملاعلی، ا.، ۱۳۹۱- گزارش اکتشاف مواد معدنی در منطقه فرک در مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰.

سهیلی، م. و مهدوی، م.، ۱۳۷۰- نقشه زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه اسفوردی.

قربانی،م.، ۱۳۸۱- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران؛ دانشگاه فردوسی مشهد.

References

Hitzman, M. W., 2001- Zinc Oxide and Zinc Silicate Deposits - A New Look [Abs.]. GeologicalSociety of America Annual Meeting, Abstracts with Programs, vol. 33, p. A-336 .

Hitzman, M. W., Reynolds, N. A., Sangster, D. F., Allen, C. R., Carman, C. E., 2003- Classification, Genesis, and Exploration Guides for Nonsulfide Zinc Deposits. Economic Geology, vol. 98, p. 685-714.

Holland, H. D., 2005- 100th Anniversary Special Paper: Sedimentary Mineral Deposits and the Evolution of Earth's Near-Surface Environments. Economic Geology, vol. 100, pp.1489-1509 .

Large, D., 2001- The geology of non-sulphide zinc deposits - An overview. Erzmetall, vol. 54, p. 264-276.

Kelly, W. C., 1958- Topical study of lead-zinc gossans: State Bureau of Mines and Mineral Resources, New Mexico Institute of Mining and Metallurgy Bulletin 46, 80 p.

Nuspl, A. , 2009- Genesis of nonsulfide zinc deposits and their future utilization, TU Bergakademie Freiberg, p.1-9.

Reichert, J. & Borg, G., 2008- Numerical simulation and geochemical model of supergene carbonate-hosted non-sulphide zinc deposits. Ore Geology Reviews vol. 33, p. 134-151.

Stocklin, J., 1968- Structural History and Tectonics of Iran; A Review, Bull Am. Assoc Petrol. Geol., 52, pp.1229-1258.

Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, Lithos 55 , p.229–272.

Geology, Mineralogy and Fluid Inclusion Investigation of Supergene Zn Deposit in Kharengun Zone, Northeast of Bafq,Central Iran

Z. Miriyan [1*], M. Lotfi [2], A. A. Shabani [3], M. A. A. Mokhtari [4] & E. Haj Molla Ali [5]

[1] M.Sc. Student, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

[2] Associate Professor, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

[3] Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Kharazmy University, Tehran, Iran

[4] Assistant Professor , Department of Geology, Zanjan University, Zanjan, Iran

[5] Ph.D. Student, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 2013 April 22 Accepted: 2014 February 26

Abstract

The Kharengun area is located in the Yazd province, Central Iran, 130 km east of Yazd city and 65 km northeast of Bafq city. Mineralization in Kharengun area occurred within calcic and dolomitic units of the Rizou Formation (equivalent to Soltaniyeh Formation) of upper Precambrian-lower Cambrian age. The ore minerals of this deposit includes smithsonite and hemimorphite, that is stratabound and formed epigenetically along layers and laminations of carbonate host rocks. The maximum grade of zinc in samples taken from the study area exceeds 36% and geochemical studies indicate significant absence of Pb along with Zn in this area. Therefore, the Kharengun mineralization is a monomineral Zn zone.The fluid inclusion microthermometry investments explain the role of meteoric waters in generation of this deposit. The homogenization temperatures and salinity of the inclusions show the similarity between these fluids and the solutions responsiblefor the development of epithermal deposits.The Zn mineralization present in this zone belongs to the nonsulfide supergene deposit class, and a mixture of wallrock replacement and direct replacement subclasses.

Keywords: Bafq, Khrengun, Supergene, Nonsulfide zinc, Smithsonite, Hemimorphite, Epithermal.

For Persian Version see pages 233 to 242

*Corresponding author: Z. Mirian; E-mail: anonymous4830@gmail.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional