

کانی‌شناسی و شیمی کانی‌ها در ناحیه معدنی سرب-نقره (روی-مس-باریت) راونج، شمال دلیجان

مجید قاسمی سیانی^(۱) و فاطمه عیسی‌آبادی^(۲)

۱. استادیار، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۶

چکیده

کانی‌سازی سرب-نقره راونج در شمال دلیجان در سنگ میزبان رسوبی تشکیل شده است. این سیستم کانه‌زایی توسط گسل‌های عادی کنترل شده و کانه‌زایی به صورت توده‌ای، لامینه، کلو فرم، پرکننده فضای خالی، برشی شدن، کارستی شدن و رگه-رگچه‌های هیدروترمال متشکل از گالن، اسفالریت، کانی‌های گروه فهلور، پیریت، کالکوپیریت، دولومیت، کلسیت، آنکریت، باریت و کوارتز رخ داده است. کانه‌زایی سولفیدی در دو افق کانه‌زایی شامل افق کانسنگی توده‌ای-برشی با میزبان کربناته توده‌ای کرتاسه بالایی (Km2) و افق کانسنگی سولفید لایه‌ای در واحد شیلی (Ks2) میانی و آهک نازک لایه پایینی (Km1) به صورت سین‌ژنتیک تا اپی‌ژنتیک رخ داده است. دولومیتی شدن مهمترین دگرسانی در ارتباط با کانه‌زایی بوده و در نزدیکی گسل‌های عادی رخ داده و شامل دولومیت‌های دیاژنزی و دولومیت‌های هیدروترمالی است. دولومیت‌های هیدروترمالی غنی از آهن هستند و آنکریت تشکیل شده نشان می‌دهد که سیال هیدروترمال کانه‌زا، غنی از آهن هستند. شیمی گالن و اسفالریت مرحله دوم نشان داد که این کانی‌ها تمایل به قطب دارای تتراهدریت-تنانتیت هستند که منطبق بر ادخال‌های کانی‌های گروه فهلور در مطالعات میکروسکوپی است. مقدار بالای کادمیم در اسفالریت و مقدار کم آن در گالن و حضور کانی آکانتیت، نشان دهنده پایین بودن دمای سیال تشکیل دهنده کانه‌زایی است. طبق شواهد کانی‌شناسی، شیمی کانه‌ها، بافت‌ها و ساخت‌های کانسنگ و مطالعات ساختاری و تلفیق این نتایج با داده‌های ژئوشیمی، سیالات درگیر و ژئوشیمی ایزوتوپی، کانی‌سازی راونج را می‌توان در رده کانسارهای سرب و نقره نوع ایرلندی در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: دولومیت‌زایی، راونج، سین‌ژنتیک-اپی‌ژنتیک، شیمی کانی.

مقدمه

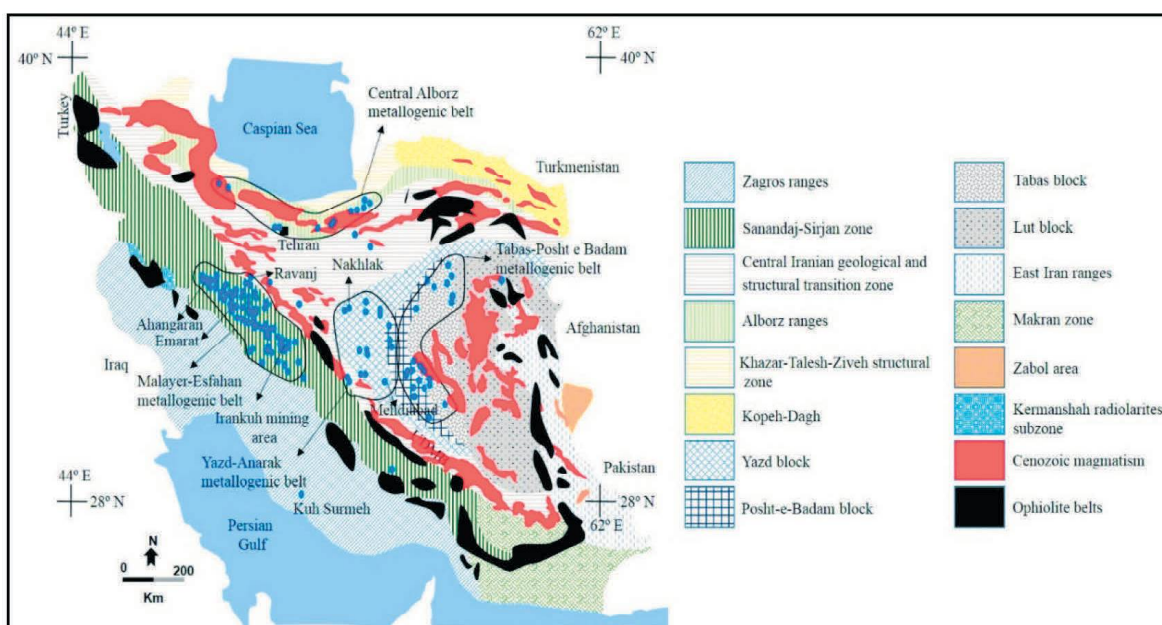
کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته با بیش از ۲۸۵ ذخیره معدنی در سراسر ایران گسترش دارند (Rajabi et al., 2012). شکل ۱ پراکندگی کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته را نشان داده که کانسار سرب و روی مهدی‌آباد با بیش از ۲۱ میلیون تن ذخیره، به عنوان

بزرگترین کانسار MVT جهان در رده جهانی (Leach et al., 2005)، مهمترین کانسار سرب و روی با میزبان کربناته است (Rajabi et al., 2012). در مورد ژنز کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته توافق بین زمین‌شناسان وجود ندارد و در سال‌های اخیر برخی از کانسارهای سرب و روی از نوع

* نویسنده مرتبط: majid4225@yahoo.com

است، در حالی که علی‌آبادی (۱۳۷۹) و Nejadhadad et al. (2016) مدل کانسارهای MVT را برای کانی‌سازی راونج به صورت ایپی‌ژنتیک بیان می‌کنند که از تحرک سیالات فسیلی و جوی و حمل دوباره فلزات از رسوبات کم‌عیار و نهشته‌شدن دوباره در رسوبات کربناته تشکیل شده است. عیسی‌آبادی (۱۳۹۳)، کانی‌سازی در راونج را از نوع دیپلوژنتیک معرفی کرده و آن را در رده کانسارهای سرب و نقره تیپ ایرلندی قرار داده است. شیمی کانی‌های سولفیدی و کربناته برای تعیین ژنز کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته از اهمیت بالایی برخوردار بوده و با توجه به اینکه شیمی کانی‌های سولفیدی و کربناته و کانی‌سازی نقره در کانسار راونج مورد مطالعه قرار نگرفته، در این پژوهش، ابتدا کانی‌سازی و دگرسانی در کانسار راونج را شرح داده و در ادامه با استفاده از نتایج شیمی کانی‌ها، نقش دولومیتی‌شدن در کانسار راونج مورد بررسی قرار گرفته و در انتها با استفاده از تلفیق نتایج این پژوهش با نتایج سیالات درگیر و کانی‌شناسی (Nejadhadad et al., 2016) و مطالعات رخساره کانی‌سازی، ژئوشیمی و کانی‌سازی (مدبری، ۱۳۷۴ و عیسی‌آبادی، ۱۳۹۳)، در مورد ژنز کانی‌سازی بحث شده است.

سدکس (برای مثال Momenzadeh, 1976) و یا از نوع MVT معرفی شده است (Ghazban et al. 1994; Ehya et al. 2010). کانسار سرب-نقره (روی-مس-باریت) راونج با ذخیره بالغ بر چهار میلیون تن، در ۳۰ کیلومتری شمال شرقی دلیجان و در کمربند ماگمایی ارومیه دختر، نزدیک به کمربند سندانج-سیرجان و در کمربند کانه‌زایی ملایر-اصفهان واقع شده است (شکل ۱). کانی‌سازی در هفت بخش مختلف رخ داده (شکل ۲) و از کانی‌های فلزی سولفیدی و کانی‌های کربناته (کلسیت و دولومیت)، کوارتز و باریت با فراوانی متغیر در بخش‌های مختلف کانسار تشکیل شده است (عیسی‌آبادی، ۱۳۹۳). با توجه به اهمیت کانی‌سازی نقره در راونج، مطالعاتی بر روی رخساره‌های رسوبی، کانی‌شناسی و ژنز کانه‌زایی انجام شده، که از مهمترین آنها، می‌توان به مطالعات مدبری (۱۳۷۴)، علی‌آبادی (۱۳۷۹)، عیسی‌آبادی (۱۳۹۳) و Nejadhadad et al. (2016) اشاره کرد. مدبری (۱۳۷۴) مدل تشکیل نوع سدکس را برای کانسار راونج ارائه کرده و منشأ فلزات را آتشفشان‌های دور دست و یا از هوازدگی قاره‌ای دانسته که در اثر واکنش با گوگرد احیایی در رخساره‌های کربناته محیط‌های جزرومدی تشکیل شده و فرایندهای رسوبی-دیازنتیکی را عامل اصلی کانه‌زایی دانسته



شکل ۱. پراکندگی کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته را نشان داده است (بر اساس Rajabi et al., 2012 با تغییرات). کمربندهای ساختاری ایران بر اساس آقائباتی ۱۳۸۵ و کمربندهای افیولیتی ایران بر اساس Ghazi et al., (2004) با تغییرات جزئی است. کانسار راونج در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر و در کمربند کانه‌زایی ملایر-اصفهان واقع شده است

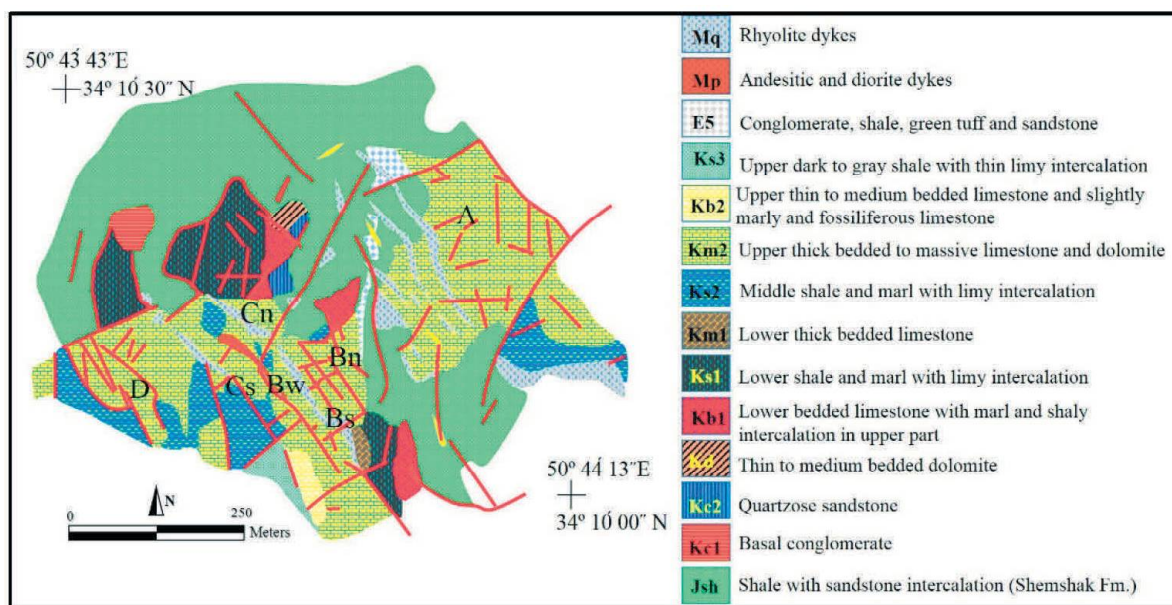
اٹوسن متشکل از کنگلومرای قاعده‌ای ماسه‌سنگ، واحدهای توف سبز و شیل است. واحدهای آذرین میوسن نیز به صورت دایک‌های آتشفشانی و نیمه‌آتشفشانی با ترکیب اسیدی ریولیت تا حدواسط آندزیتی و دیوریتی بوده که در اطراف کمربندهای کانی‌سازی به‌خصوص در واحد آهک‌های ضخیم‌لایه کانی‌سازی شده (Km2) رخنمون دارند (شکل ۳-ب). دو سیستم گسل عادی شمال‌غرب-جنوب‌شرق و شمال‌شرق-جنوب‌غرب بیشترین فراوانی سیستم‌های گسلی در منطقه راونج هستند که شرایط کششی را ایجاد کرده‌اند و ماده‌معدنی در فضای ایجاد شده از کشش تشکیل شده است (شکل ۳-ه). سیستم گسلی عادی شمال‌شرق-جنوب‌غرب با شیب کم و بیش ۶۰ درجه به سمت جنوب‌شرق نقش مهمتری در کانی‌سازی ایفا کرده و کم و بیش در پیت‌های معدنی، این گسل مشاهده شده است (شکل ۳-و). گسل‌های راندگی، گسل‌های کم و بیش قائم با جابجایی راستگرد و گسل‌های شرقی-غربی موجب جابجایی ماده معدنی در منطقه معدنی راونج شده و نقشی در کانه‌زایی ندارند.

روش مطالعه

به‌منظور مطالعات مینرالوگرافی، شیمی و دگرسانی کانه‌ها، تعداد ۳۸ مقطع صیقلی و نازک‌صیقلی از نمونه‌های برداشت شده تهیه و توسط میکروسکوپ پلاریزان زایس مدل Axioplan2 در دانشگاه خوارزمی و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور تفکیک دولومیت از کلسیت، تعداد ۱۰ مقطع نازک تهیه و توسط محلول آلیزارین قرمز و پتاسیم فروسیانید با اسید (۷/۵ درصد) و نسبت سه به دو ترکیب شده و در بوته‌های مخصوص رنگ‌آمیزی شد. مطالعات تکمیلی تر به روش EPMA در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به وسیله دستگاه الکترون مایکروپروب مدل CAMECA SX 100 با شرایط ۲۰ کیلوولت و ۲۰ نانو آمپر و با قطر اشعه یک تا پنج میکرون انجام شد. همچنین تعداد ۱۰ نمونه از فازهای کانه‌زایی و کمربندهای دگرسان به‌منظور مطالعات تکمیلی کانی‌شناسی و شناسایی پهنه‌های دولومیتی شدن مورد مطالعه پراش سنجی اشعه ایکس (XRD) در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران قرار گرفت.

زمین‌شناسی منطقه معدنی راونج

چینه‌شناسی منطقه معدنی راونج به‌طور عمده متشکل از سنگ‌های رسوبی کربناته-شیلی-مارنی کرتاسه است که بر روی واحدهای شیلی دگرگون شده‌ی ژوراسیک قرار گرفته و توسط واحدهای رسوبی اٹوسن پوشیده شده است (مدبری، ۱۳۷۴). واحدهای آذرین میوسن به‌صورت دایک‌هایی با ترکیب اسیدی تا حدواسط در منطقه رخنمون دارند (شکل ۲). واحدهای شیلی ژوراسیک (Jsh)، قدیمی‌ترین واحد چینه‌شناسی در منطقه را تشکیل داده که حاوی میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی غنی از کوارتز و مقادیری سیلتستون است. واحدهای کرتاسه زیرین با کنگلومرای قاعده‌ای (Kc1) و سپس ماسه‌سنگ کوارتزی (Kc2) و دولومیت‌های نازک لایه تا متوسط لایه (Kd) شروع می‌شود. گذر کنگلومرا به ماسه‌سنگ و سپس به دولومیت به صورت تدریجی مشاهده می‌شود. بر روی واحد ماسه‌سنگی، واحد دولومیتی تشکیل شده که از پایین به بالا از مقدار ماسه کاسته و بر مقدار دولومیت افزوده شده است. واحد دولومیتی با یک مرز ناگهانی به واحدهای نازک لایه آهکی با میان‌لایه‌های مارن و شیل (Kb1) در بخش‌های بالایی خود تبدیل می‌شود. فسیل‌های رودیست و اربیتولینا در این واحد آهکی مشاهده شده است. بر روی واحد آهکی زیرین، چینه‌شناسی غالب شیل با میان‌لایه‌های مارنی و آهکی (Ks1) قرار می‌گیرد. آهک‌های زیرین ضخیم لایه غنی از فسیل اربیتولینا (Km1) با ضخامت متوسط ۴۰ متر بر روی لایه‌های شیلی زیرین و در بخشی از بخش‌ها مستقیم بر روی واحد Kb1 قرار می‌گیرد (شکل ۳-الف). بر روی واحد آهکی ضخیم لایه، واحدهای شیلی میانی (Ks2) و آهکی توده‌ای ضخیم لایه بالایی (Km2) تشکیل شده که این دو واحد به‌عنوان میزبان اصلی کانه‌زایی در کانسار راونج شناخته می‌شوند (شکل ۳-ب). دولومیتی شدن و کارستی شدن در واحدهای کربناته مشاهده شده که نقش مهمی در کانی‌سازی سولفیدی در کانسار راونج دارند (شکل ۳-ج، د). چینه‌شناسی ستون بالایی کرتاسه متشکل از واحد آهکی نازک لایه پرفسیل (Kb2) و شیل‌های سیاه تا خاکستری بالایی (Ks3) همراه با میان‌لایه‌های آهکی است. واحدهای اٹوسن با تماس گسلی در کنار واحدهای کرتاسه قرار می‌گیرد که اولین نهشته‌های



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی راونج همراه با موقعیت هفت کمربند کانی‌سازی شده را نشان می‌دهد (بر اساس مدبری، ۱۳۷۴ با تغییرات جزئی)

کانه‌زایی، ساخت و بافت و دگرسانی

سولفیدی پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، تتراهدريت و تنانتیت و کانی‌های کربناته کلسیت و دولومیت همراه با آنکریت، باریت، کوارتز و کانی‌های ثانویه حاصل از فرایند سوپرژن است. دو افق کانسنگی در راونج تشخیص داده شده که شامل افق اصلی در واحد کربناته آهک توده‌ای (Km2) است که به صورت ساخت و بافت‌های توده‌ای، برشی و جان‌شینی، پرکننده فضای خالی و رگه و رگچه‌ای بوده و دارای بخش عمده کانی‌سازی است. ورود سیالات گرمایی مرتبط با کان‌زایی باعث گسترش دگرسانی سیلیسی شدن و کربناتی شدن در این افق شده است. افق دوم کانسنگی در واحد شیلی (Ks2) و آهک نازک لایه (Km1) با گسترش کمتری رخ داده و به رخساره کانسنگ سولفید لایه‌ای موسوم بوده و حاوی کان‌زایی گالن و پیریت با مقادیر کمتر اسفالریت به صورت لایه‌ای، کلوفرم و پراکنده است.

ساخت و بافت برشی که در اطراف گسل‌های کنترل کننده کان‌زایی دارای شدت بیشتری هستند، به عنوان یکی از مهمترین بافت و ساخت‌های کان‌زایی در افق کانسنگی اول محسوب می‌شود (شکل ۳-ح). در ساخت برشی قطعات کلسیت و دولومیت‌های درشت‌بلور تا متوسط بلور

کان‌زایی در راونج بیشتر در سنگ میزبان آهک توده‌ای (Km2) و به مقدار کمتر در واحد شیلی (Ks2) و آهک نازک لایه (Km1) به صورت سین‌ژنتیک تا اپی‌ژنتیک در هفت بلوک مجزا با نام‌های A، nB، BS، Cn، Cs، Cw و D تشکیل شده است (شکل ۲). کان‌زایی اغلب با دولومیتی شدن و وجود اکسید و هیدرواکسیدهای آهن-منگنز در دولومیت (آنکریتی شدن دولومیت) (شکل ۳-ز) و همچنین برشی شدن در امتداد گسل‌های عادی سنگ‌آهک همراه شده است (شکل ۳-ح). بافت‌های توده‌ای، لامینه، کلوفرم، پرکننده فضای خالی، برشی شدن، کارستی شدن و رگه-رگچه‌های هیدروترمال پایانی از مهمترین سیماهای کان‌زایی در راونج هستند. رگه‌های هیدروترمال بعدی که همراه با دولومیتی شدن بوده نیز بستری مناسبی برای کانی‌سازی در راونج محسوب می‌شود (شکل ۳-ط). کمربندی در راونج مشاهده می‌شود، به طوری که در بخش‌های جنوبی کانی‌سازی اسفالریت و پیریت مشاهده شده و به سمت مناطق شمالی مقدار سرب و به خودی خود باریت افزایش نشان می‌دهد. در بیشتر مواقع کانسنگ سرب و باریت با یکدیگر مشاهده می‌شود (شکل ۳-ی). کان‌زایی در راونج متشکل از کانی‌های

این رگه-رگچه‌ها بخش‌های برشی و توده‌ای افق کانسنگ اول را قطع می‌کند و به عنوان مرحله بعد از کانه‌زایی اصلی شناخته می‌شوند.

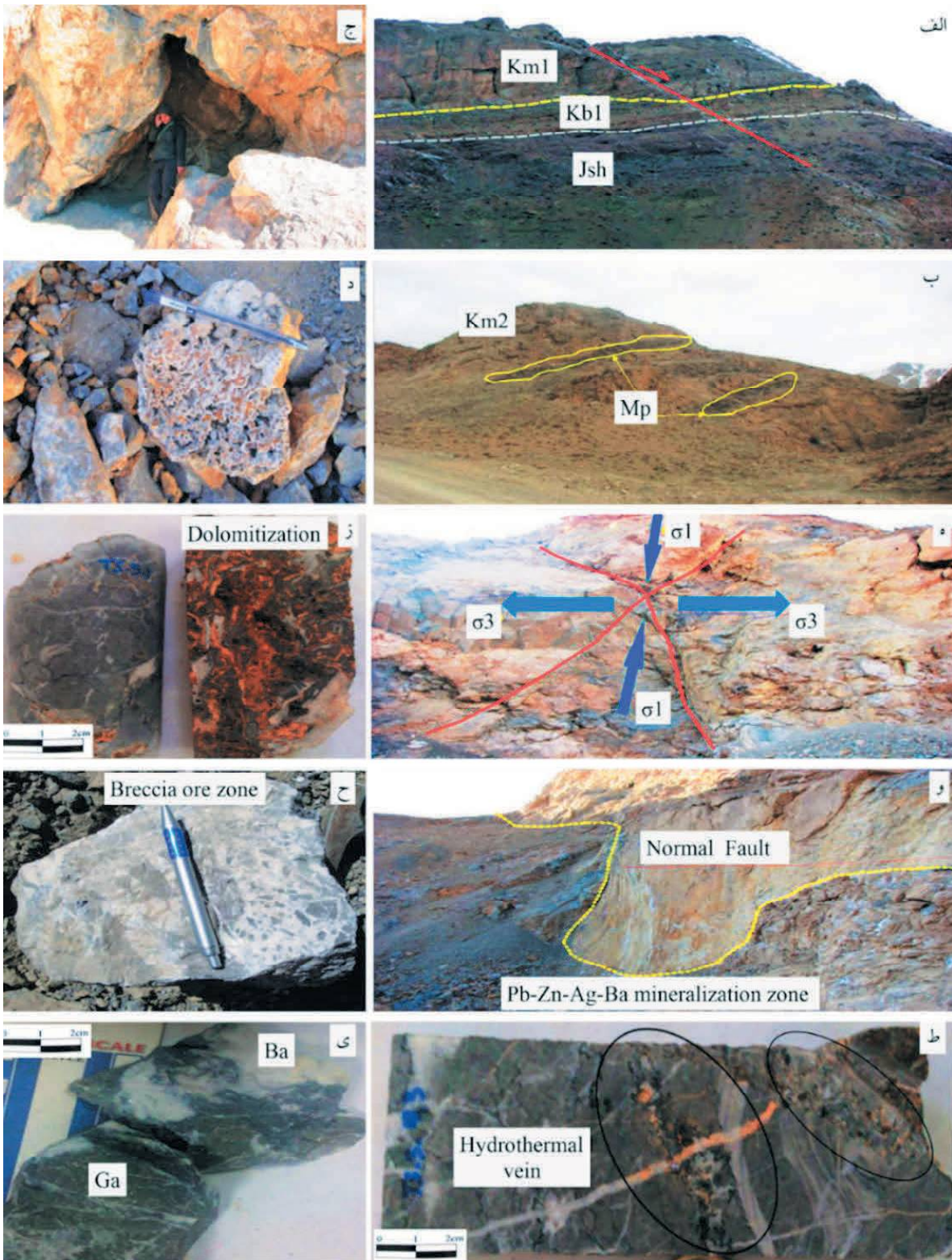
سیلیسی شدن و کربناتی شدن، دگرسانی‌های شاخص در ارتباط با کانی‌زایی راونج هستند. سیلیسی شدن به صورت بلورهای کوارتز ریز بلور تا متوسط بلور مشاهده می‌شود. دگرسانی کربناتی شدن متشکل از کلسیتی شدن و دولومیتی شدن بوده، به طوری که کلسیتی شدن از مرحله آغازین کانه‌زایی به صورت بلورهای میکرایتی تا میکرواسپارایتی به شکل جانشینی در فسیل‌های سنگ‌آهک نازک لایه و به صورت پرکننده حفرات تشکیل شده است. کلسیتی شدن در فاز اصلی کانه‌زایی بیشترین گسترش را داشته که به صورت بلورهای اسپارایتی درشت بلور قابل مشاهده هستند. کلسیتی شدن در رگه-رگچه‌های پس از کانه‌زایی نیز به صورت بلورهای ریز بلور تا متوسط بلور مشاهده شده است. دولومیتی شدن نیز در تمامی مراحل کانه‌زایی مشاهده شده و دولومیت‌های نسل اول به صورت ریز بلور در مرحله دیاژنز تشکیل شده و دولومیت‌های گرمابی نیز به دو نسل، یکی همراه با ساخت برشی-جانشینی و دیگری همراه با رگه-رگچه‌های بعد از کانه‌زایی تشکیل شده است.

کانی‌شناسی و توالی پاراژنزی

گالن: گالن مهمترین و فراوانترین کانی سولفیدی در راونج بوده و دارای چند نسل است. گالن نسل اول (Gn I) به صورت بلورهای پراکنده، نیمه‌شکل دار تا بی‌شکل و ابعاد ۰/۰۵ تا ۰/۵ میلی متر (شکل ۴-الف) همراه با پیریت فرامبوئیدال (Py I) و پراکنده (Py II) در زمینه آهک میکرایتی تا میکرواسپارایتی (Cal I) و بلورهای دولومیت ریز بلور دیاژنزی (Dd) تشکیل شده است. گالن‌های نسل اول حاوی ادخال‌هایی از اسفالریت (Sp I) و کالکوپیریت (Ccp I) و فاقد ادخال‌هایی از کانی‌های سولفوسالتی گروه فهلور است. گالن نسل دوم (Gn II) به صورت بلورهای درشت تا ابعاد یک سانتی متر بوده و خودشکل تا نیمه‌شکل دار هستند که از مشخصات آن‌ها وجود ادخال‌های فراوان اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت و کانی‌های سولفوسالتی هستند (شکل ۴-ب، ج).

به صورت زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده در زمینه دیده شده که سولفیدهای فلزی (گالن، اسفالریت و پیریت) به صورت جانشینی در قطعات آهکی تا توده‌ای و پراکنده در زمینه برش و مرز قطعات برشی تشکیل شده‌اند. در ساخت برش، پدیده جانشینی معمول بوده و به عنوان ساخت و بافت برشی و جانشینی در راونج اهمیت زیادی دارد. دومین ساخت و بافت مهم در کانسار راونج، ساخت و بافت توده‌ای بوده که بیشتر متشکل از کانی‌سازی توده‌ای باریت همراه با گالن در بخش بالایی افق کانسنگی اول و در بالای ساخت و بافت برشی جانشینی مشاهده شده و اغلب با یکدیگر هستند و در این پژوهش به عنوان کانسنگ توده‌ای-برشی شناخته شده است (شکل ۳-ی). سولفیدهای این بخش درشت بلور بوده که به دلیل جانشین شدن کانی‌های سولفیدی به جای کانی‌های سولفیدی تشکیل شده در مراحل قبل است که به فرآیند پالایش زونی معروف بوده و در بسیاری از کانسارهای سرب و روی سدکس و ایرلندی گزارش شده است (Goodfellow and Lydon, 2007a).

ساخت و بافت لامینه-پراکنده بیشتر در افق کانسنگی دوم مشاهده شده و به صورت سولفیدهای دانه پراکنده، لامینه و کلوفرم در متن سنگ‌آهک نازک لایه و شیلی تشکیل شده است. بخش لامینه از پیریت‌های فرامبوئیدال همراه با هم‌رشدی‌های گالن و اسفالریت تشکیل شده و نیز حاوی مواد آلی در خود هستند که شاید به عنوان کنترل کننده کانه‌زایی سولفیدی هستند و ارتباط مستقیمی با آنها و همچنین گسل‌های عای هم‌زمان با رسوب‌گذاری دارند. پیریت‌های فرامبوئیدال در طی مرحله پاراژنزی به پیریت‌های نیمه‌شکل دار و سپس پیریت‌های شکل دار تبدیل می‌شوند و به طور کلی، سولفیدهای این مرحله توسط سولفیدهای مراحل بعدی جانشین می‌شوند. رگه-رگچه‌های کلسیتی-دولومیتی حاوی سولفید به عنوان آخرین ساخت و بافت‌های کانه‌زایی در افق کانسنگی دوم قابل مشاهده هستند. این رگه و رگچه‌ها در اثر انحلال و کارستی شدن کربنات‌ها تشکیل شده و دارای ضخامت از چند میلی متر تا چند سانتی متر هستند (شکل ۳-ط). کانی‌شناسی سولفیدی بیشتر متشکل از گالن و پیریت است که باریت نیز آنها را همراهی می‌کند.



شکل ۳. الف) آهک ضخیم لایه زیرین (Km1) بر روی آهک شیلی (Kb1) و واحدهای شیلی ژوراسیک (Jsh)، ب) نفوذ دایک‌های حدواسط در واحد آهکی توده‌ای ضخیم لایه میزبان کانی‌سازی (Km2)، ج، د) کارستی شدن در واحد آهکی و کانه‌زایی سولفیدی در ارتباط با آن، ه) ساختارهای کششی در منطقه که موجب کانی‌سازی شده است، و) گسل نرمال که در امتداد کمربند کانی‌سازی مشاهده شده و در ارتباط با کانه‌زایی است و آیینه گسل به خوبی مشاهده می‌شود، ز، ح) کانه‌زایی در ارتباط با دولومیتی شدن و برشی شدن را نشان داده است، ط) رگه‌های هیدروترمال کانی‌سازی شده همراه با دولومیت هیدروترمال، ی) کانی‌سازی باریت (Ba) و گالن (Ga) در منطقه راونج

پراکنده در ساخت و بافت‌های رگه-رگجه‌ای همراه با بلورهای گالن نسل سوم (Gn III) تشکیل شده است (شکل ۴-ز).

کالکوپیریت: کالکوپیریت دارای فراوانی کم بوده و اغلب به صورت ادخال در گالن و اسفالریت نسل اول و دوم مشاهده شده است (شکل ۴-ب، ج). حضور ادخال‌های گالن و اسفالریت در کالکوپیریت، نشان‌دهنده تشکیل همزمان این کانی‌های سولفیدی است. کالکوپیریت در اثر دگرسانی سوپرژن به کوولیت و مالاکیت تبدیل شده است. ادخال‌هایی از کانی‌های سولفوسالنتی در کالکوپیریت ادخال در گالن مشاهده شده است.

کانی‌های گروه فهلور: در راونج، کانی‌های گروه فهلور به صورت ادخال در گالن و اسفالریت نسل دوم با فراوانی زیاد مشاهده شده است (شکل ۴-ح، ط). در برخی از موارد کانی‌های گروه فهلور به دور اسفالریت تشکیل شده است. ادخال‌هایی از کالکوپیریت در کانی‌های گروه فهلور مشاهده شده است. در بخش شیمی کانه‌ها، ترکیب کانی‌های گروه فهلور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلسیت: کلسیت به شکل میکرایتی تا میکرواسپارایتی (Cal I) در مراحل اولیه کانی‌سازی (شکل ۵-الف) تا کلسیت به عنوان سیمان برشی و درشت‌بلورهای (Cal II) همراه با دولومیت هیدروترمال (Dh I) و کانی‌سازی گالن و باریت (شکل ۵-ب) و در نهایت درشت‌بلورهای (Cal III) همراه با باریت، گالن و دولومیت در رگه-رگجه‌های مراحل پایانی کانی‌سازی مشاهده شده است (شکل ۵-ج).

دولومیت: دست کم سه نسل دولومیت در راونج تشخیص داده شده است. دولومیت‌های نسل اول از لحاظ اندازه، ریزبلور و دانه شکری بوده و جانشین سنگ میزبان میکرایتی تا میکرواسپارایتی شده است. همراهی این دولومیت‌ها با کلسیت سنگ میزبان در مراحل ابتدایی کانه‌زایی شکل گرفته و شاید منشأ دیاژنزی داشته و به‌همین منظور به دولومیت‌های دیاژنزی (Dd) مرسوم هستند (شکل ۵-د). بخش عمده دولومیت، از نوع دولومیت‌های گرمایی هستند که در مراحل بعدی کانه‌زایی شکل گرفته‌اند و در دو نسل قابل تشخیص هستند. نخست بلورهای دولومیت گرمایی نسل اول (Dh I) که با ابعاد درشت تا متوسط بلور دیده می‌شوند و همراه با بخش برشی جاننشینی و به

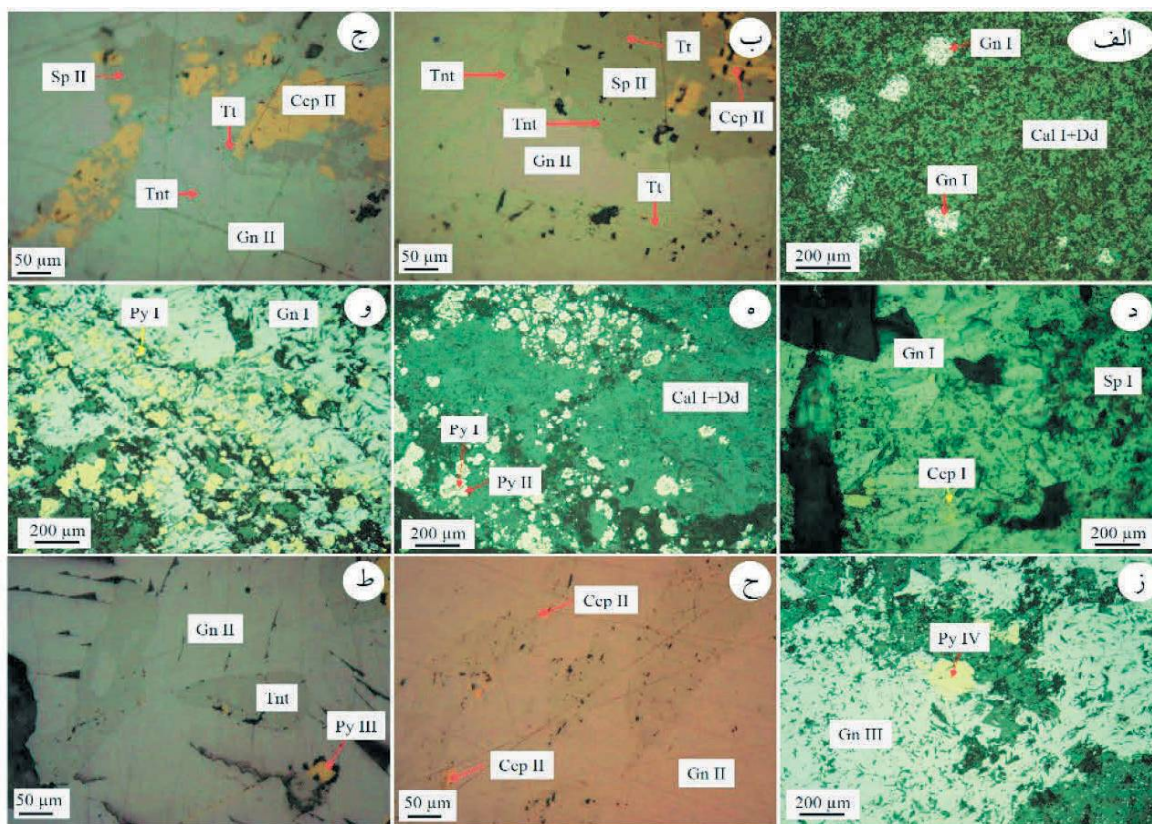
نسل سوم گالن (Gn III) به صورت پرکننده فضای خالی و فاقد ادخال تشکیل شده است.

اسفالریت: در کانسار راونج فراوانی اسفالریت کمتر از گالن بوده و در نمونه‌های دستی اسفالریت به سختی مشاهده می‌شود. اسفالریت (Sp I) به صورت هم‌رشدی و ادخال با گالن نسل اول (Gn I) و هم‌رشدی و ادخال (Sp II) در گالن نسل دوم (Gn II) مشاهده شده است (شکل ۴-د). فراوانی اسفالریت نسل دوم بیشتر بوده و اغلب همراه با کالکوپیریت و کانی‌های گروه فهلور مشاهده می‌شوند (شکل ۴-ب، ج). حضور ادخال اسفالریت در گالن و همچنین تشکیل گالن در حاشیه‌های اسفالریت نشان می‌دهد که گالن و اسفالریت به صورت همزمان تشکیل شده‌اند. همچنین ادخال‌های کالکوپیریت (Ccp II) در اسفالریت (Sp II) نیز نشان از همزمانی و هم‌رشدی این دو کانه دارد.

پیریت: پیریت به عنوان فراوانترین کانی سولفیدی آهن در راونج بوده و در چهار نسل قابل تشخیص است. نخست پیریت‌های فرامبوئیدال (Py I) بوده که در بخش‌های زیرین در واحد کم عیار شیلی (Ks2) و آهک نازک لایه (Km1) به صورت پراکنده تشکیل شده است. پیریت‌های فرامبوئیدال دارای ابعاد ۱۰ تا ۳۰ میکرونی هستند و توسط پیریت‌های نسل دوم (Py II) در برگرفته می‌شوند (شکل ۴-ه). پیریت‌های فرامبوئیدال به صورت پرکننده فضای خالی بین بلورهای کلسیت و در مواردی پرکننده میکروفسیل‌های واحد آهک نازک لایه تشکیل شده که نشان‌دهنده رسوبی بودن و تشکیل در دماهای کم (Reed and Wallace, 2001) و نقش باکتری‌های بیوژنیک در تشکیل آن است (Love, 1962; Mavrogenes et al., 1992). پیریت‌های نسل دوم از به‌هم‌پیوستن پیریت‌های نسل اول تشکیل شده و دارای ابعادی بین ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر هستند و با گالن (Gn I) همراه شده و به صورت لامینه مشاهده می‌شوند (شکل ۴-و). فراوانترین پیریت (Py III) همراه با گالن (Gn II) مشاهده شده و دارای ابعاد بزرگتری هستند. ادخال‌هایی از پیریت در گالن و همچنین ادخال‌های گالن در پیریت مشاهده شده که همزمانی تشکیل این کانی‌ها را می‌رساند. آخرین نسل از بلورهای پیریت (Py IV) به صورت بلورهای

که فاز نهایی کانی‌سازی را تشکیل می‌دهند و همراه با ماده معدنی نیز هستند، به عنوان نسل دوم دولومیت هیدروترمالی شناخته می‌شوند (Dh II). این دولومیت‌های هیدروترمالی نیز غنی از آهن و منگنز هستند و آنکریتی شده‌اند (شکل ۵-ج).

مقدار کمتر همراه با باریت و گالن توده‌ای دیده می‌شوند (شکل ۵-ه، و). این دولومیت‌ها به دلیل آزاد شدن آهن از سیالات گرمابی و یا اکسیداسیون به رنگ قهوه‌ای دیده شده و آنکریتی شده‌اند. رگه-رگچه‌های دولومیت-کلسیت متوسط تا درشت بلور



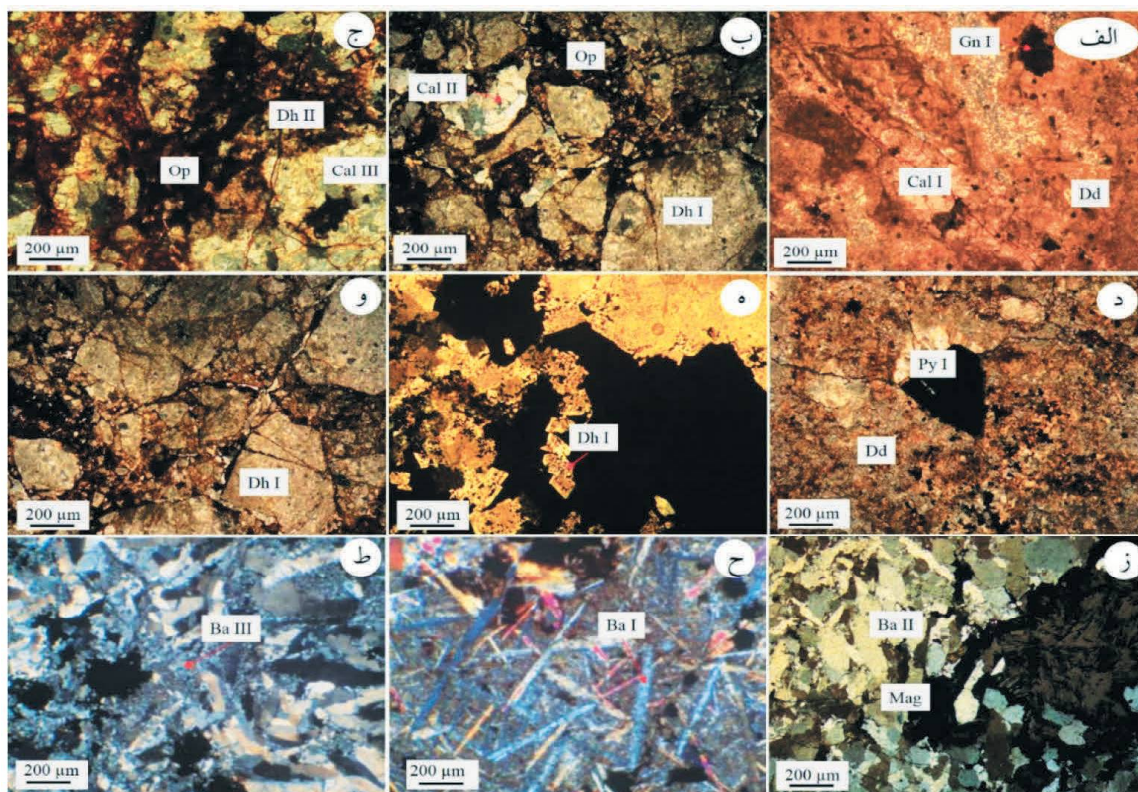
شکل ۴. الف) گالن نسل اول (Gn I) به صورت پراکنده، ب) ج) ادخال‌های کالکوپیریت (Ccp II)، اسفالریت (Sp II) و کانی‌های گروه فلوور در گالن (Gn II) و همچنین ادخال تتراهدریت-تنانتیت در اسفالریت نسل دوم (Sp II)، د) همراهی اسفالریت، گالن و کالکوپیریت نسل اول، ه) پیریت‌های فرامبوئیدال نسل اول (Py I) که توسط پیریت‌های نسل دوم (Py II) جانشین شده است، و) لامیناسیون تشکیل شده با کانی‌سازی پیریت و گالن در مرحله اول کانی‌سازی، ز) پیریت نسل چهارم (Py IV) همراه با گالن نسل سوم در مرحله پایانی کانی‌سازی، ح، ط) ادخال‌های کانی‌های گروه فلوور در گالن نسل دوم (Gn II). نشانه‌های اختصاری کانی‌ها بر اساس Whitney and Evans (2010)

می‌توان رخدادهای کانه‌زایی در کانسار راونج را به دو مرحله اصلی سین‌ژنتیک-دیازنتیک و اپی‌ژنتیک تقسیم کرد که مرحله اپی‌ژنتیک دارای دو زیرمرحله با توجه به نسل‌های مختلف کانی‌ها و ساخت و بافت‌های تشخیص داده شده است (شکل ۶). کانی‌های نسل اول به صورت ریزبلور بوده و در مرحله سین‌ژنتیک-دیازنتیک و در کانسنگ سولفیدی با ساخت و بافت لامینه-دانه پراکنده تشکیل شده و کانی‌های نسل بعدی از جانشین شدن کانی‌های نسل اول در مرحله اپی‌ژنتیک حاصل شده‌اند و درشت‌بلورتر هستند. شروع رسوب‌گذاری با تشکیل آهک‌های میکرایتی،

باریت: باریت در راونج بیشتر همراه با کانی‌سازی گالن است. بخش عمده باریت به صورت بلورهای منشوری و تیغه‌ای همراه (Ba II) با کانی‌سازی بافت توده‌ای باریت-گالن تشکیل شده است (شکل ۵-ز). همچنین باریت نسل اول (Ba I) همراه با آغاز دیازنز و کانی‌سازی گالن به صورت بلورهای طویل و منشوری تشکیل شده که پیریت‌های فرامبوئیدال و گالن در فضاهای بین منشورهای باریت تشکیل شده‌اند (شکل ۵-ح). باریت‌های تیغه‌ای همراه با باریت‌های ریزبلور در رگه-رگچه‌های پایانی (Ba III) قابل تشخیص است (شکل ۵-ط). با توجه به نسل‌های مختلف کانی‌های فلزی و باطله،

مرحله ساخت و بافت برشی-توده‌ای و رگه-رگچه‌های پایانی قابل تقسیم است. این مرحله با برشی شدن سنگ میزبان در اثر سیالات هیدروترمالی، کلسیت‌های نسل دوم همراه با دولومیت‌های رومبوندی هیدروترمالی نسل اول به عنوان قطعات برشی و سیمان برشی تشکیل شده و کانی‌سازی پیریت-گالن-اسفالریت-کالکوپیریت-کانی‌های گروه فهلور در آن تشکیل شده است. در ادامه سیستم کانی‌سازی شده از اسفالریت، کالکوپیریت و کانی‌های گروه فهلور فقیر شده و باریت و گالن افزایش نشان می‌دهد. آخرین فاز کانی‌سازی نیز رگه-رگچه‌های کلسیت-دولومیت هستند که کانی‌سازی مراحل قبلی را قطع کرده و حاوی مواد معدنی گالن و باریت نیز هستند. فرایندهای سوپرژن ثانویه نیز در اثر اکسایش کانسنگ سولفیدی اولیه رخ داده و کانی‌های سوپرژن را در بخش‌های سطحی کانسار ایجاد کرده است.

کوارتزهای ریزبلور و جلبک‌های فراوان و لامیناسیون رسوبی مشخص شده و با آغاز دیاژنز، باریت نسل اول به صورت بلورهای منشوری تشکیل شده است. همزمان با دیاژنز، دولومیت دیاژنزی و میکرواسپارایت نیز شکل گرفته و در ادامه کانی‌سازی پیریت فرامبوئیدال نسل اول و گالن نسل اول ریزبلور به صورت پراکنده و لامیناسیون‌های پیریت-گالن تشکیل شده‌اند. فعالیت‌های بیوژنیک و وجود مواد آلی باعث تشکیل سولفیدهای ریزدانه در این مرحله شده است. در ادامه دیاژنز و در مراحل نهایی مرحله سین‌ژنتیک-دیاژنتیک، پیریت‌های فرامبوئیدال (Py I) متبلور شده و از حالت گویچه‌ای به صورت بلوری و شکل‌دار جمعی با ابعاد بین ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر (Py II) تبدیل می‌شوند و اندازه آنها درشت‌تر می‌شود و گالن و اسفالریت نسل اول را همراهی می‌کنند. مرحله دوم کانی‌سازی، مرحله اپی‌ژنتیک بوده که به ترتیب باتوجه به ساخت و بافت‌های کانسنگ به دو زیر



شکل ۵. الف) کلسیت‌های میکرایتی تا میکرواسپارایتی نسل اول (Cal I) همراه با دولومیت دیاژنزی (Dd)، ب) کلسیت‌های درشت‌بلور نسل دوم (Cal II) همراه با دولومیت هیدروترمال نسل اول (Dh I) در کانسنگ برشی، ج) کلسیت نسل سوم (Dh II) و دولومیت‌های هیدروترمالی نسل دوم (Dh II) در رگه و رگچه‌های پایانی، د) دولومیت‌های دیاژنزی (Dd) در مرحله اول کانه‌زایی، ه) و) دولومیت‌های هیدروترمالی نسل اول که به صورت رومبوندی و درشت‌بلور در کانسنگ برشی-توده‌ای تشکیل شده است، ز) باریت‌های تیغه‌ای نسل دوم (Ba II) همراه با کانی‌سازی گالن در کانسنگ توده‌ای، ح) باریت‌های سوزنی نسل اول (Ba I) در مرحله دیاژنزی، ط) باریت‌های ریزبلور همراه با باریت‌های تیغه‌ای نسل سوم (Ba III) در مرحله رگه-رگچه‌های پایانی کانی‌سازی. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها بر اساس Whitney and Evans (2010)

شیمی‌کانی‌ها

حالی که در دماهای بالاتر از ۱۷۳ درجه سانتی‌گراد کان‌ی آرژنتیت حاکم است (Cook and Ciobanu, 2004). برای تفکیک تتراهدریت و تنانتیت، می‌توان از نمودارهای دوتایی و سه‌تایی عنصری $Sb/(Sb+As)$ و $Zn/(Fe+Zn)$ در مقابل مقادیر Ag در واحد فرمول کان‌ی (apfu) (Cook et al., 1998) و نمودار نسبت‌های عنصری $As/(Sb+As)$ و $Zn/(Fe+Zn)$ (Sack et al., 2002) استفاده کرد (شکل ۹). این نمودارها نشان می‌دهد که کان‌ی‌های سری تتراهدریت و تنانتیت در کان‌ی‌سازی راونج رخ داده‌اند.

Stage Mineral	Syngenetic- Diagenetic		Epigenetic		Supergene Alteration
	Py I	Py II	Breccia-Massive Py III	Veins Py IV	
Pyrite	Py I	Py II	Py III	Py IV	
Galena	Gn I		Gn II	Gn III	
Sphalerite	Sp I		Sp II		
Chalcopyrite	Ccp I		Ccp II		
Fahlore group minerals					
Dolomite	Dd		Dh I	Dh II	
Calcite	Cal I		Cal II	Cal III	
Barite	Ba I		Ba II	Ba III	
Quartz					
Ankerite					
Bitumen					
Covellite					
Goethite					
Cerussite					
Anglesite					
Smithsonite					
Malachite					
Alteration: Silicic Carbonate					

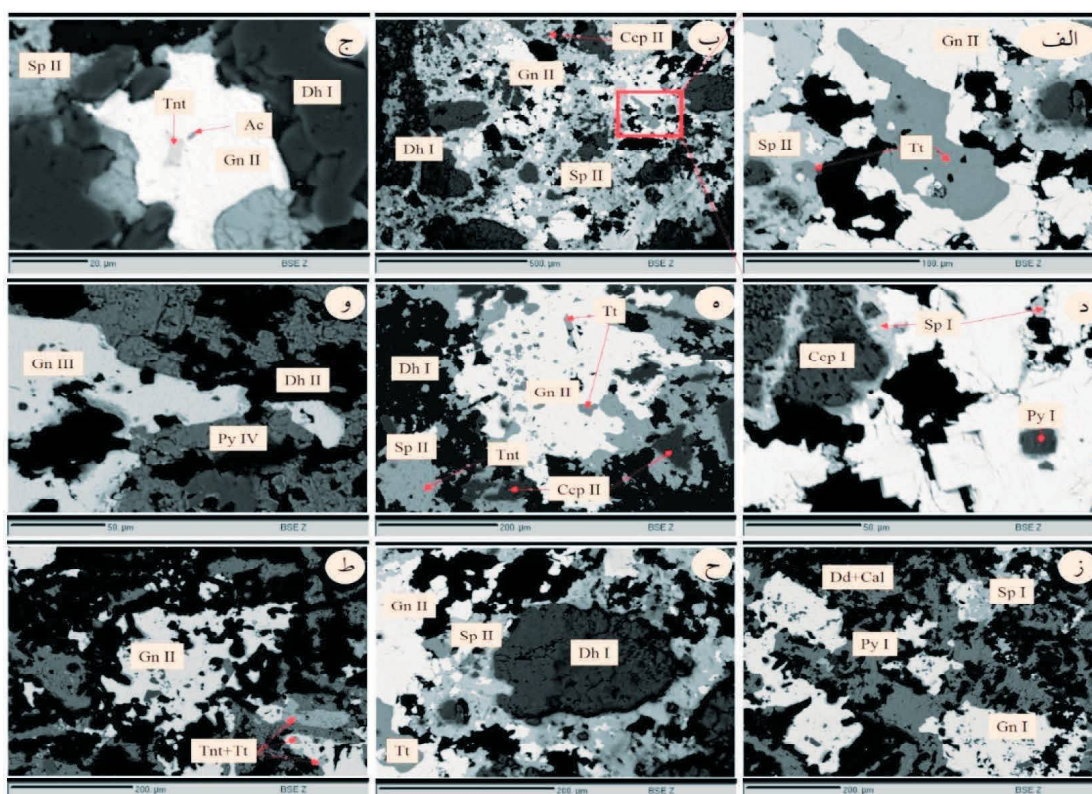
شکل ۶. توالی پاراژنتیکی کان‌های فلزی، کان‌های باطله و دگرسانی‌های مرتبط با کان‌های زایی در ناحیه معدنی راونج

اسفالریت: اسفالریت با فرمول شیمیایی $(Zn, Fe)S$ می‌تواند عناصری مثل $Fe, Cd, Mn, Ce, S, Hg, Pb$ و Sn, In را در شبکه بلوری خود به صورت عناصر کمیاب جانشین روی داشته باشد (Frenze et al., 2016; Ye et al., 2011). مقدار Cd در اسفالریت‌های نسل دوم (۱۲۰۰ تا ۱۰۰۰۰ و میانگین ۴۵۰۰ گرم در تن) بیشتر از نسل اول (۹۰۰ تا ۶۰۰۰ با میانگین ۳۰۰۰ گرم در تن) است (جدول ۱). مقدار Cd در کانسارهای رسوبی سرب و روی با افزایش دما کاهش می‌یابد (Schwartz, 2000)، به طوری که در کانسارهای MVT که کانسارهای دما پایین محسوب می‌شوند دارای

گالن و کان‌ی‌های گروه فهلور: گالن طی توالی پاراژنتی در سه نسل مختلف تشکیل شده است (شکل ۶). گالن‌های نسل دوم حاوی اذخالی‌های فراوانی از کان‌ی‌های گروه فهلور، کالکوپیریت و اسفالریت هستند (شکل ۷). میزان نقره در گالن نسل اول برابر ۱۰۰ تا ۲۱۰ گرم در تن (با میانگین ۱۲۰ گرم در تن) و مقدار آن در گالن نسل سوم برابر ۲۰۰ تا ۳۱۰ گرم در تن (با میانگین ۲۶۰ گرم در تن) است. گالن نسل اول به ترتیب دارای میانگین ۱۵۰، ۲۱۰ و ۱۰۰ گرم در تن برای عناصر مس، آهن و کادمیوم و این مقادیر برای گالن نسل سوم به ترتیب برابر ۱۱۰، ۴۹۰ گرم در تن و کمتر از حد تشخیص است. مقدار آنتیموان در گالن‌های نسل سوم (با میانگین ۱۱۰ گرم در تن) بیشتر از نسل اول (کمتر از حد تشخیص) بوده که احتمال دارد در گالن نسل سوم نیز اذخالی‌های کان‌ی‌های گروه فهلور وجود داشته باشد، هرچند که در مطالعات میکروسکوپی مشاهده نشد. بیشترین مقدار عناصر آنتیموان، مس و آرسنیک مربوط به گالن‌های نسل دوم بوده که به ترتیب دارای مقادیر میانگین ۵۴۵ گرم در تن، ۱۰۰ گرم در تن و ۱۲۰ گرم در تن است که اذخالی‌های کان‌ی‌های گروه فهلور در آنها نیز همین موضوع را تایید می‌کند. شکل ۸ الف (Pfaff et al., 2011) ترکیب شیمیایی عناصر مختلف را در گالن نشان می‌دهد که می‌توان استنباط کرد که کان‌ی‌های گالن نسل سوم و اول نزدیک به قطب گالن و گالن نسل دوم در زیر خط سیاه که نشان‌دهنده جانشینی $2Pb^{2+}=Ag^{+}+(Sb, As)^{3+}$ و افزایش مقدار نقره است، قرار می‌گیرند. این نمودار همراه با همبستگی مثبت سرب با نقره (عیسی‌آبادی، ۱۳۹۳) و مطالعات میکروسکوپی و میکروسکوپ الکترونی روبشی در این پژوهش نشان‌دهنده کان‌ی‌های تتراهدریت و تنانتیت در گالن است. در این نمودار ترکیب کان‌ی‌های گروه فهلور نیز برای مقایسه آورده شده که همگی در قطب کان‌ی‌های سولفوسالتی قرار می‌گیرند. نتایج جدول ۱ ترکیب یک کان‌ی را نشان می‌دهد که غنی از نقره بوده و نزدیک به ترکیب شیمیایی آکانتیت است که یک فرم از کان‌ی نقره با سیستم مونوکلینیک است که در کانسارهای سرب و روی رسوبی با دمای پایین‌تر از ۱۷۳ درجه سانتی‌گراد معمول بوده، در

کرده است (شکل ۴-ب و شکل ۷). شکل ۸-ب تغییرات شیمیایی را در اسفالریت‌های مورد مطالعه در کانی‌سازی راونج نشان داده که این نمودار بر اساس تغییرات شیمیایی عناصر $Ag+Sb+Cu+Ag$ در برابر $Fe+Zn+Mn+Cd+S$ در واحد فرمول کانی (apfu) است (Pfaff et al., 2011). در این نمودار، خط سیاه نشان دهنده کانی‌های بین سری محلول جامد تتراهدریت-تنانتیت (کانی‌های گروه فهلور) و اسفالریت است. همانطور که در شکل مشخص است، اسفالریت‌های نسل دوم در راونج به سمت قطب دارای تتراهدریت-تنانتیت تمایل نشان می‌دهند و همگی نتایج در امتداد خط و نزدیک به آن قرار می‌گیرند و نشان دهنده ادخال‌های کانی‌های گروه فهلور در اسفالریت نسل دوم هستند. ژئوشیمی کانسنگ نیز نشان داده که بین اسفالریت و عناصر نقره، آنتیموان، آرسنیک و مس همبستگی مثبتی وجود دارد که تأیید کننده این مطلب است (عیسی آبادی، ۱۳۹۳).

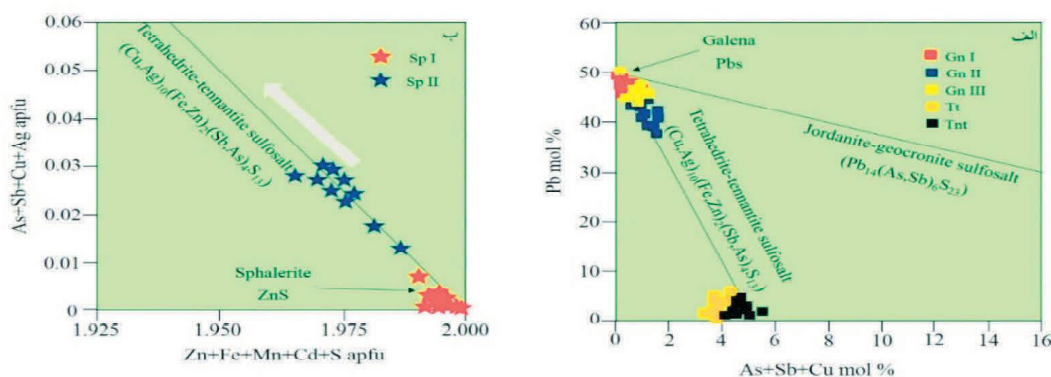
بالترین مقدار (بیشتر از ۲۳۰۰ گرم در تن) و در کانسارهای SEDEX دارای مقدار Cd کمتری نسبت به کانسارهای MVT (کمتر از ۲۰۰۰ گرم در تن) و کمترین مقدار در کانسارهای VMS (کمتر از ۱۵۰۰ گرم در تن) هستند. مقادیر کادمیم در کانسار راونج (با میانگین ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ گرم در تن به ترتیب برای اسفالریت نسل اول و دوم)، کم و بیش مشابه با کانسارهای MVT است. مقدار Fe در اسفالریت نیز تابعی از دما است (Craig and Scott, 1974) و با افزایش دما مقدار آهن در اسفالریت نیز افزایش نشان می‌دهد. مقدار آهن به ترتیب در اسفالریت‌های نسل اول و دوم برابر ۱۵۰۰ تا ۲۱۰۰۰ و ۱۰۰۰ تا ۹۰۰۰ گرم در تن است. مقادیر مس، آنتیموان و آرسنیک در اسفالریت‌های نسل دوم بیشتر از اسفالریت‌های نسل اول بوده که به دلیل کانی‌سازی کالکوپیریت و همچنین کانی‌های گروه فهلور همراه با اسفالریت در این مرحله بوده، که مطالعات میکروسکوپی نیز وجود این ادخال‌ها را تأیید



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی بازگشتی BSE از کانی‌سازی راونج را نشان داده است: الف، ب) کانی‌سازی گالن (Gn II) همراه با اسفالریت (Sp II) که حاوی ادخال‌های تتراهدریت و تنانتیت هستند، ج) ادخال کانی‌های اکانتیت (Ac) و تنانتیت (Tnt) در گالن همراه با دولومیت‌های هیدروترمالی (Dh I)، د) ادخال‌های پیریت (Py I) همراه با اسفالریت (Sp I) و کالکوپیریت (Ccp I) در گالن، ه) ادخال‌های کانی‌های گروه فهلور در گالن، و) گالن همراه با پیریت و دولومیت‌های هیدروترمالی مرحله رگه-رگچه‌های پایانی کانی‌سازی، ز) گالن همراه با پیریت و اسفالریت با ساخت لایه‌ای در مرحله دیاژنزی، ح، ط) کانی‌های گروه فهلور همراه با دولومیت هیدروترمالی با کانی‌سازی سرب و نقره در مرحله اپی‌ژنتیک. نشان‌های اختصاری کانی‌ها بر اساس Whitney and Evans (2010)

جدول ۱. خلاصه نتایج الکترون میکروپروب از کانی‌های گالن، اسفالریت و کانی‌های گروه فهلور در کانسار راونج. اعداد داخل پرانتز تعداد نقطه تجزیه شیمیایی است. nd به معنی مقادیر کمتر از حد تشخیص است

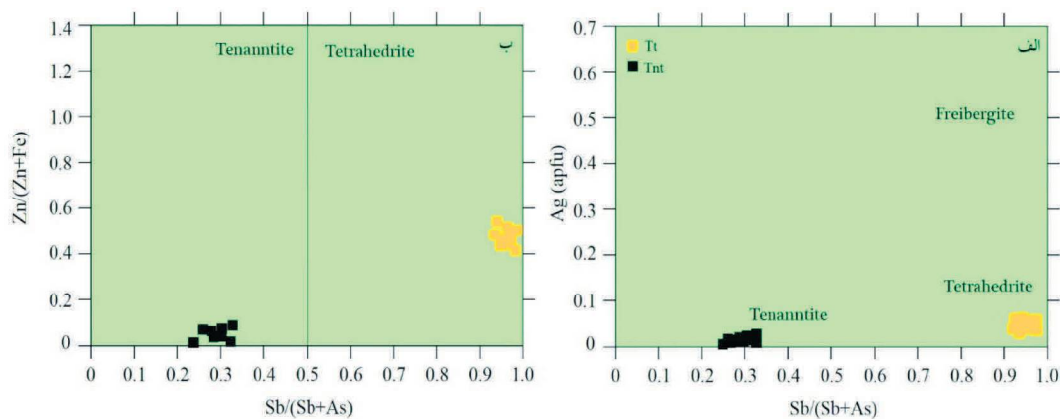
Minerals		S wt. %	Fe ppm	Cu ppm	Zn wt. %	As ppm	Ag ppm	Cd ppm	Pb wt. %	Sb ppm
Galena I (8)	Min	۱۳/۱	۱۸۰	nd	nd	nd	۱۰۰	nd	۸۶/۱	nd
	Ave	۱۳/۴	۲۱۰	۱۵۰	nd	۱۰۲	۱۲۰	۱۰۰	۸۶/۳	nd
	Max	۱۳/۷	۲۸۰	۳۰۰	nd	۱۶۵	۲۱۰	۱۱۰	۸۷/۸	nd
Galena II (10)	Min	۱۳/۰	۲۰۰	nd	nd	nd	۴۹۰	nd	۸۵/۸	۱۸۰
	Ave	۱۳/۶	۲۸۵	۱۰۰	nd	۱۲۰	۶۱۰	۱۰۵	۸۶/۱	۵۴۵
	Max	۱۳/۳	۵۰۰	۱۱۰	nd	۱۹۰	۱۲۰۰	۲۰۰	۸۷/۴	۸۸۰
Galena III (8)	Min	۱۳/۳	۳۸۰	nd	nd	nd	۲۰۰	nd	۸۶/۰	nd
	Ave	۱۳/۶	۴۹۰	۱۱۰	nd	۱۲۰	۲۶۰	nd	۸۶/۴	۱۱۰
	Max	۱۴/۲	۶۱۰	۲۵۰	nd	۱۴۰	۳۱۰	nd	۸۶/۸	۱۷۰
Sphalerite I (10)	Min	۳۳/۴	۱۵۰۰	nd	۶۳/۹	nd	nd	۹۰۰	nd	nd
	Ave	۳۳/۶	۶۰۰۰	۱۵۰	۶۴/۳	۱۰۶	nd	۳۰۰۰	nd	۱۲۵
	Max	۳۳/۸	۲۱۰۰۰	۴۰۰	۶۴/۶	۱۲۰	nd	۶۰۰۰	nd	۱۵۰
Sphalerite II (10)	Min	۳۳/۱	۱۰۰۰	۵۰۰	۶۲/۹	۱۲۰۰	nd	۱۲۰۰	nd	۷۵۰
	Ave	۳۳/۳	۲۰۰۰	۱۶۰۰	۶۳/۵	۴۰۰۰	۳۵۰	۴۵۰۰	nd	۱۰۰۰
	Max	۳۳/۵	۹۰۰۰	۷۰۰۰	۶۴/۱	۶۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	nd	۵۰۰۰
Tetrahedrite (10)	Min	۲۳/۴	۱۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱/۲	۴۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۰۷	۲۵۰۰۰۰
	Ave	۲۴/۱	۱۸۰۰۰	۳۴۰۰۰	۱/۶	۵۰۰۰	۸۵۰۰۰	۱۲۰۰	۰/۰۹	۲۸۵۰۰۰
	Max	۲۴/۳	۳۰۰۰۰	۳۸۰۰۰	۲/۲	۸۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۱۵۰۰	۰/۱۱	۳۱۰۰۰۰
Tennantite (10)	Min	۲۵/۵	۱۵۰۰۰	۴۰۰۰۰	۰	۱۲۰۰۰۰	۵۰۰۰	nd	۰/۰۱	۵۵۰۰۰
	Ave	۲۶/۴	۲۵۰۰۰	۴۵۰۰۰	۰/۱	۱۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	nd	۰/۰۲	۶۰۰۰۰
	Max	۲۷/۰	۴۵۰۰۰	۴۸۰۰۰	۰/۸	۲۲۰۰۰۰	۱۳۰۰۰	nd	۰/۰۶	۶۵۰۰۰
Acanthite (1)		۱۲/۷	۱۳۰۰	۵۰۰	۰/۱	۲۸۰	۸۷۰۰۰۰	۱۵۰	nd	nd



شکل ۸. الف) ترکیب گالن‌های نسل اول، دوم و سوم را نشان می‌دهد که گالن‌های نسل دوم با ادخال کانی‌های گروه فهلور تمایل به جهت خط تتراهدریت-تانانتیت نشان می‌دهند، ب) ترکیب اسفالریت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد که اسفالریت‌های نسل دوم در امتداد جهت خط کانی‌های تتراهدریت-تانانتیت قرار می‌گیرند (Pfaff et al., 2011)

دولومیت: مقادیر آهن و منگنز در انواع کانی‌های کربناته در کانسارهای رسوبی، نقش فرایندهای رسوبی و یا گرمایی را در تشکیل کانی‌های کربناته تعیین می‌کند (Davies and Smith, 2006). محتوی CaCO_3 و MgCO_3 به ترتیب برای دولومیت‌های دیاژنزی (Dd) و دولومیت‌های هیدروترمالی (Dh I و Dh II) برابر $۵۶/۵۰$ تا $۵۸/۸۰$ ، $۴۸/۴۰$ تا $۵۰/۸۰$ و $۴۸/۴۰$ تا $۵۳/۰۰$ درصد وزنی و برای کلسیت نسل دوم نیز برابر $۹۸/۲۰$ تا $۹۸/۶۰$ درصد وزنی است (جدول ۲). برای

تفکیک دولومیت‌های راونج از نمودارهای مقادیر عناصر CaO و Mg در برابر Fe و Mn و نمودار آهن در برابر منگنز استفاده شده است (شکل ۱۰). مقادیر آهن و منگنز در دولومیت‌های هیدروترمالی نسبت به دولومیت‌های دیاژنزی بیشتر است. طبق اعتقاد (Pearce et al., 2013)، دولومیت‌های دریایی از آهن و منگنز فقیر و دولومیت‌های تشکیل شده در شرایط گرمایی و احیایی از آهن و منگنز غنی هستند. تمرکز SrCO_3 در دولومیت‌های دیاژنزی



شکل ۹. برای تفکیک و شناسایی کانی‌های گروه فهلور از نمودارهای، الف) نمودار دوتایی نسبت عنصری $Sb/(Sb+As)$ در مقابل مقادیر $Zn/(Zn+Fe)$ در واحد فرمول کانی (Cook et al., 1998)، ب) نمودار دوتایی نسبت عنصری $Sb/(Sb+As)$ در مقابل مقادیر Ag استفاده شده است (Sack et al., 2005)

دولومیت، اهمیت بسزایی در تشخیص زمان تشکیل و نیز تعیین ارتباط کانه‌زایی با نوع رخساره دولومیتی دارد که در آن تشکیل شده است (Turner, 2011; Grandia et al., 2016; Rddad and Bouhleb, 2016). فرآیندهای دیاژنزی و گرمایی از مهم‌ترین عوامل دولومیتی شدن در حوضه رسوبی گرمایی به شمار می‌روند (Lee and Wilkinson, 2002; Wilkinson, 2003). پراکندگی کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته (Rajabi et al., 2012 and 2013) نشان می‌دهد که پهنه سنندج-سیرجان مهم‌ترین کمربندهای ساختاری ایران برای کانی‌سازی سرب و روی با میزبان کربناته است. کانی‌سازی راونج نیز در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر نزدیک به پهنه سنندج-سیرجان واقع شده و فعالیت‌های تکتونیک فشارشی طی فاز کوهزایی آلپی کرتاسه بالایی-پالئوسن منجر به تشکیل ضخامت عظیمی از سنگ‌های کربنات کرتاسه زیرین و ایجاد یک تله‌سنگی-ساختاری مناسب برای به دام افتادن سیال گرمایی کانه‌ساز در کانی‌سازی راونج و کانی‌سازی‌های پهنه سنندج-سیرجان شده است. مطالعات پتروگرافی و شیمی دولومیت در کانسار راونج، حضور سه تیپ دولومیت را طی توالی پاراژنتیکی نشان داد که متشکل از دولومیت‌های دیاژنزی و دولومیت‌های گرمایی (هیدروترمالی) است. دولومیت‌های گرمایی حاوی مقادیر بالایی از آهن و منگنز هستند، درحالی‌که دولومیت‌های دیاژنزی از استرانسیوم و باریم غنی‌شدگی نشان می‌دهند. دولومیتی شدن در کانسار راونج می‌تواند سنگ میزبان

(۳۰ تا ۵۰ درصد وزنی) بیشتر از دولومیت‌های هیدروترمالی Dh I و Dh II (کمتر از حد تشخیص تا ۳۰ درصد وزنی) است. تمرکز $BaCO_3$ در دولومیت‌های دیاژنزی (۲۰ تا ۸۰ درصد وزنی) بیشتر از دولومیت‌های هیدروترمالی Dh I و Dh II (به ترتیب برابر کمتر از حد تشخیص تا ۴۰ و ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی) است. ترکیب کانی‌های کربناته و جدایش دولومیت‌های هیدروترمالی از دیاژنزی در نمودار مثلثی $FeCO_3/MnCO_3$ - $Fe-Ca/Mg-Mn$ و نمودار مثلثی $MgCO_3-CaCO_3$ (شکل ۱۱؛ Pfaff et al., 2011) برای کانی‌های کربناته ارائه شده است. نمودار شکل ۱۱-الف نشان می‌دهد دولومیت‌های گرمایی از آهن و منگنز بیشتری برخوردار هستند و از بین دولومیت‌های گرمایی، دولومیت‌های گرمایی Dh I، مقادیر بیشتری آهن و منگنز دارد. در نمودار شکل ۱۱ ب نیز دولومیت‌های هیدروترمالی بیشتر در امتداد جهت یک واقع شده که به دلیل افزایش مقدار آهن و منگنز (آنکریتی شدن دولومیت‌ها) است و دولومیت‌های دیاژنزی و کلسیت‌های نسل دوم در امتداد و نزدیک به روند خطی کلسیت-دولومیت (جهت امتداد ۲) واقع شده‌اند.

بحث

ارتباط دولومیتی شدن و کانه‌زایی

دولومیتی شدن در کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته معمول می‌باشد و به‌عنوان میزبان کانه‌زایی است. در کانه‌زایی راونج نیز دولومیتی شدن در ارتباط با کانی‌سازی رخ داده و بر همین اساس، مطالعه میکروسکوپی و رخساره‌ای

نیز کانی‌های رسی همراه با میکرایت‌ها رسوب کرده و شاید سیال آزاد شده طی دیاژنز باعث شده منیزیم را با خود حمل کرده و دولومیت‌های ریزدانه دانه شکری همراه با مرحله سین‌ژنتیک-دیاژنتیک تشکیل شود. شبیه به این فرایند را Wilkinson, (2003) در حوضه ایرلندی شرح داده است. در مرحله اپی‌ژنتیک و رگه-رگچه‌های نهایی کانه‌زایی، دولومیت‌های هیدروترمالی در ارتباط با ساختارهای برشی و رگه-رگچه‌ای تشکیل شده که سیال مسئول دولومیتی‌شدن غنی از آهن و منگنز است. این دولومیت‌ها نیز باعث شده تخلخل سنگ میزبان افزایش پیدا کند و به عبارتی زمینه را برای کانی‌سازی سولفیدی فراهم کند. دولومیتی‌شدن در اطراف کمریندها و گسل‌های عادی در ارتباط با کانی‌سازی سولفیدی رخ داده و ارتباط نزدیک با کانی‌سازی سولفیدی به‌خصوص سرب دارند و بر همین اساس آنها را می‌توان با منشأ گرمابی دانست. دولومیت‌های هیدروترمالی و نقش آنها در فراهم کردن زمینه در کانی‌سازی حوضه ایرلندی توسط Wilkinson et al., (2005) پیش‌تر گزارش شده است.

کربناتی را برای کانی‌سازی سولفیدی آماده کند و برای همین در بخش‌هایی که کانی‌سازی سولفیدی مشاهده شده، بیشترین مقدار دولومیتی‌شدن رخ داده است. دولومیت‌های دیاژنزی می‌تواند در هر مرحله از دیاژنز پس از رسوبگذاری تا تدفین در اعماق تشکیل شود. به‌نظر می‌رسد رسوب‌گذاری همزمان با فعالیت‌های گسل‌های نرمال در ارتباط با کانه‌زایی، باعث رسوب‌آهک‌های میکرایتی و کانی‌های رسی در نواحی اطراف کانی‌سازی سین‌ژنتیک شده باشد. بر همین اساس است که آهک میکرایتی تا میکرواسپاریتی در این مرحله تشکیل شده است. همزمان با رسوب‌گذاری و پس از آن در حین دیاژنزی که در ناحیه راونج رخ داده، دولومیت دیاژنزی تشکیل شده است. منشأ منیزیم برای تشکیل دولومیت می‌تواند متفاوت باشد. به نظر Sternbach and Friedman (1984)، منیزیم لازم برای دولومیتی‌شدن از تبدیل کانی‌های رسی به‌خصوص مونت‌موریونیت و تغییر ساختاری آن فراهم شده و منیزیم آزاد شده باعث دولومیت‌زایی دیاژنزی شده است. در راونج

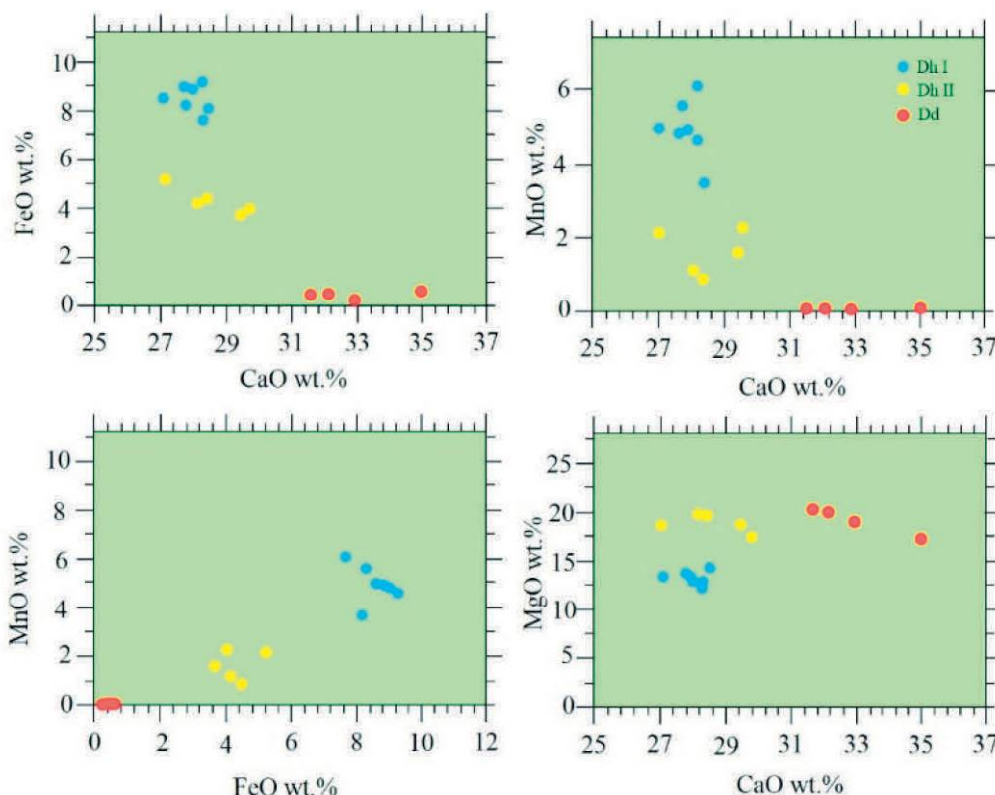
جدول ۲. نتایج الکترون میکروپروب از کانی‌های دولومیت و کلسیت در کانسار راونج. مقادیر بر اساس درصد وزنی است. nd به‌معنی مقادیر کمتر از حد تشخیص است

Minerals	CaO	MgO	FeO	MnO	BaO	SrO	CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃	MnCO ₃	BaCO ₃	SrCO ₃	Total
Dd	۳۲/۱۵	۲۰/۱۷	۰/۵۱	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۲۱	۵۷/۴۰	۴۲/۲۰	۰/۸۰	nd	۰/۲۰	۰/۳۰	۱۰۰/۹۰
Dd	۳۵/۰۰	۱۷/۱۵	۰/۶۳	۰/۰۳	۰/۴۷	۰/۳۲	۶۲/۵۰	۳۶/۳۰	۷/۰۰	nd	۰/۶۰	۰/۵۰	۱۰۰/۹۰
Dd	۳۷/۶۴	۲۰/۳۴	۰/۴۲	nd	۰/۳۸	۰/۲۷	۵۶/۵۰	۴۲/۶۰	۰/۷۰	nd	۰/۵۰	۰/۴۰	۱۰۰/۶۰
Dd	۳۲/۹۴	۱۹/۱۰	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۶۵	۰/۳۱	۵۸/۸۰	۴۰/۰۰	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۱۰۰/۵۰
Cal II	۵۵/۱۱	۰/۴۱	۰/۱۸	nd	۰/۱۱	۰/۰۱	۹۸/۴۰	۰/۹۰	۰/۳۰	nd	۰/۱۰	nd	۹۹/۷۰
Cal II	۵۵/۲۴	۰/۳۵	۰/۱۲	۰/۰۱	nd	۰/۰۳	۹۸/۶۰	۰/۷۰	۰/۲۰	nd	nd	nd	۹۹/۶۰
Cal II	۵۵/۰۰	۰/۶۲	۰/۱۷	nd	۰/۰۱	۰/۰۴	۹۸/۲۰	۱/۳۰	۰/۳۰	nd	nd	۰/۱۰	۹۹/۸۰
Dh I	۲۸/۴۷	۱۴/۱۵	۸/۱۰	۳/۵۴	۰/۱۵	۰/۱۰	۵۰/۸۰	۲۹/۶۰	۱۳/۱۰	۵/۷۰	۰/۲۰	۰/۱۰	۹۹/۵۰
Dh I	۲۸/۳۰	۱۲/۸۴	۹/۲۱	۴/۶۲	۰/۰۲	۰/۰۷	۵۰/۵۰	۲۶/۹۰	۱۴/۹۰	۷/۵۰	nd	۰/۱۰	۹۹/۸۰
Dh I	۲۷/۱۰	۱۳/۲۱	۸/۵۴	۵/۰۰	nd	nd	۴۸/۴۰	۲۷/۶۰	۱۳/۸۰	۸/۱۰	nd	nd	۹۷/۹۰
Dh I	۲۸/۳۰	۱۲/۴۲	۷/۶۲	۶/۱۰	۰/۰۶	۰/۲۰	۵۰/۵۰	۲۶/۰۰	۱۲/۳۰	۹/۹۰	۰/۱۰	۰/۳۰	۹۷/۰۰
Dh I	۲۷/۸۱	۱۳/۴۶	۸/۲۰	۵/۶۴	۰/۰۳	۰/۰۶	۴۹/۶۰	۲۸/۲۰	۱۳/۲۰	۹/۱۰	nd	۰/۱۰	۱۰۰/۳۰
Dh I	۲۸/۰۰	۱۲/۹۱	۸/۸۴	۴/۸۹	۰/۱۲	۰/۱۱	۵۰/۰۰	۲۷/۰۰	۱۴/۳۰	۷/۹۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۹۹/۵۰
Dh I	۲۷/۷۴	۱۳/۶۰	۸/۹۷	۴/۸۴	۰/۲۸	۰/۰۸	۴۹/۵۰	۲۸/۵۰	۱۴/۵۰	۷/۸۰	۰/۴۰	۰/۱۰	۱۰۰/۷۰
Dh II	۲۸/۴۱	۱۹/۵۴	۴/۴۶	۰/۸۹	۰/۱۱	۰/۰۴	۵۰/۷۰	۴۰/۹۰	۷/۲۰	۱/۴۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۱۰۰/۴۰
Dh II	۲۷/۱۰	۱۸/۶۲	۵/۲۱	۲/۱۴	۰/۰۷	۰/۱۸	۴۸/۴۰	۳۹/۰۰	۸/۴۰	۳/۶۰	۰/۱۰	۰/۳۰	۹۹/۵۰
Dh II	۲۸/۱۷	۱۹/۹۱	۴/۲۰	۷/۱۰	۰/۱۶	nd	۵۰/۳۰	۴۱/۷۰	۶/۸۰	۷/۸۰	۰/۲۰	nd	۱۰۰/۷۰
Dh II	۲۹/۴۹	۱۸/۸۰	۳/۶۷	۱/۵۴	۰/۰۵	۰/۱۶	۵۲/۶۰	۳۹/۳۰	۵/۹۰	۲/۵۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۱۰۰/۷۰
Dh II	۲۹/۷۱	۱۷/۲۱	۴/۰۰	۲/۲۰	۰/۱۲	۰/۱۵	۵۳/۰۰	۳۶/۰۰	۶/۵۰	۳/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۹۹/۴۰

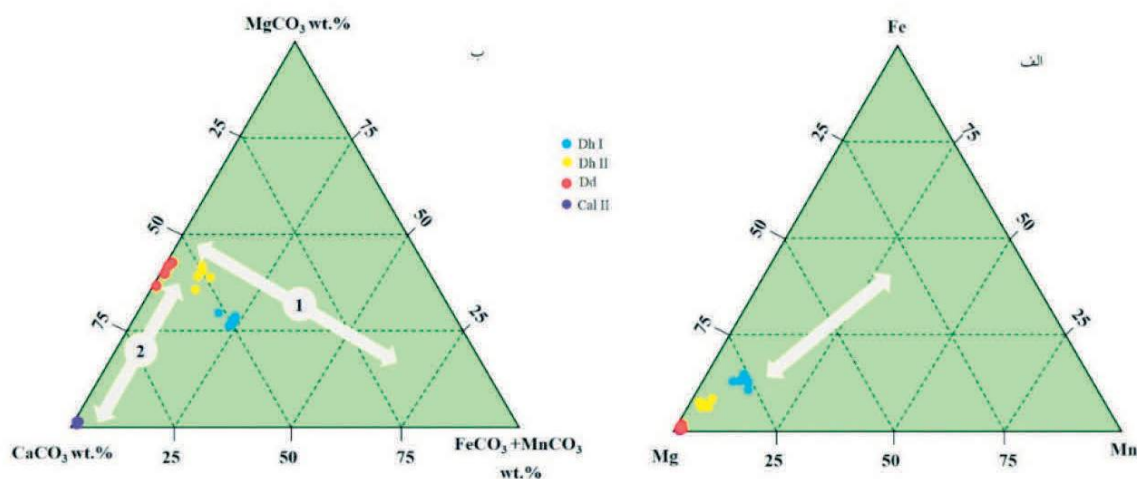
تعیین ژنز کانه‌زایی

دو رده کانسارهای نوع برون‌دمی-رسوبی یا نوع SEDEX و کانسارهای نوع MVT تقسیم کرده که در این رده‌بندی کانسارهای نوع ایرلندی به عنوان کانسارهای نوع جانشینی زیرسطحی با میزبان کربناته معرفی شده و در رده کانسارهای SEDEX جای می‌گیرد. از طرف دیگر، Leach et al. (2010)، کانسارهای سرب و روی با میزبان رسوبی، را بر پایه ویژگی‌های توصیفی و بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های ژنتیکی به دو گروه کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان آواری (SEDEX) و کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته یا نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) تقسیم کرده است. کانسارهای SEDEX به همه کانسارهای سرب و روی با میزبان شیلی، ماسه‌سنگی، سیلتستونی و یا جانشینی‌های کربناته درون توالی تخریبی گفته می‌شود. کانسارهای MVT، کانسارهایی هستند که در سکوه‌های کربناته تشکیل می‌شوند، در این رده‌بندی کانسارهای نوع ایرلندی در رده کانسارهای MVT قرار می‌گیرد.

در این بخش سعی شده تا با استفاده از نتایج این پژوهش و تلفیق آن با نتایج کارهای قبلی انجام شده (مدبری، ۱۳۷۴؛ علی‌آبادی، ۱۳۷۹؛ عیسی‌آبادی، ۱۳۹۳؛ Nejadhadad et al., 2016 and 2017)، ژنز کانه‌زایی در ناحیه معدنی سرب-روی-نقره-باریت راونج مورد بررسی قرار گیرد. به طور کلی سازوکار تشکیل همه کانسارهای سرب و روی رسوبی مشابه یکدیگر است و تفکیک و رده‌بندی این ذخایر پیچیده می‌باشد (Everett et al., 2003). شواهد آب و هوای دیرینه کانسارهای با میزبان رسوبی بیانگر عرض جغرافیایی پائین در زمان شکل‌گیری است که تخییر بیشتر صورت گرفته و این تخییر عامل افزایش شوری آب‌های دریایی بوده که در واحدهای رسوبی به دام افتاده‌اند و توانایی این آب‌ها را برای انحلال و حرکت فلزات افزایش داده است (Banks et al., 2002؛ Walshao et al., 2006). بر همین اساس، Wilkinson (2014) کانسارهای سرب و روی با میزبان رسوبی را بر پایه ویژگی‌های شاخص کانساری و ژنتیکی به



شکل ۱۰. نمودارهای دوتایی عناصر FeO، MgO و MnO و نمودار دوتایی MnO در برابر FeO برای تفکیک انواع دولومیت‌های مورد مطالعه نشان داده شده است



شکل ۱۱. الف) نمودار مثلثی Fe-Ca/Mg-Mn و ب) نمودار مثلثی $FeCO_3/MnCO_3-MgCO_3-CaCO_3$ برای کانی‌های کربناته که نشان می‌دهد دولومیت‌های هیدروترمال نسل اول و دوم غنی از آهن و منگنز هستند. امتداد جهت ۱ نشان‌دهنده افزایش مقدار آهن و منگنز (آنکریتی شدن دولومیت) و امتداد ۲ نشان‌دهنده روند خطی کلسیت-دولومیت است (Pfaff et al., 2011)

شواهدی از کانی‌سازی سین‌ژنتیک نشان می‌دهد و کانه‌زایی راونج در رده کانسارهای سدکس و یا ایرلندی قرار می‌گیرد تا نوع MVT. حضور پیریت‌های فرامبوئیدال و کانه‌زایی همراه با ماده آلی به دلیل همزمانی کانه‌زایی و رسوبگذاری و دیازنز در مرحله اول کانه‌زایی است (برای مثال به Reed et al., 2004 مراجعه شود). این در حالی است که Nejadhadad et al., (2016)، سولفیدهای ریزبلور در مرحله اول را حاصل سیال فوق اشباع از گوگرد دانسته است. منشأ گوگرد در کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته از منابعی نظیر افق‌های تبخیری، آب دریا، مواد آلی و سنگ‌های آذرین تامین می‌شود (Leavitt et al., 2013). در بخش زمین‌شناسی مشاهده شد که افق تبخیری خاصی در اطراف بلوک‌های کانه‌زایی مشاهده نشده و فعالیت‌های آذرین نیز بعد از کانه‌زایی رخ داده و نقشی در کانه‌زایی نداشته‌اند، هرچند که مدبری (۱۳۷۴) کانی‌سازی راونج را سدکس معرفی کرده و نقش فعالیت‌های آذرین در کانه‌زایی را مورد بحث قرار داده است. مطالعات ایزوتوپ پایدار گوگرد نشان داد که منشأ گوگرد برای کانی‌سازی سولفیدی (۲۷- تا ۱۱- پرمیل)، بیوژنیک و برای کانی‌سازی باریت (۲۰+ پرمیل) از نوع سولفات آب دریا است (Nejadhadad et al., 2016). بر همین اساس نقش فعالیت‌های بیوژنیک و احیاء سولفات توسط آن‌ها می‌تواند برای کانی‌سازی

کانی‌سازی در ناحیه راونج نیز در سنگ میزبان کربناتی تشکیل شده و ویژگی‌های آن با کانسارهای ایرلندی، SEDEX و MVT قابل مقایسه است. رخداد کانه‌زایی در راونج در مجاورت و در ارتباط با گسل‌های عادی بوده که این ویژگی هم در کانسارهای MVT (Velasco et al., 2003; Strobele et al., 2015; de Oliveira et Goodfellow and Kerr, 2013; Lydon, 2007a; Wilkinson, 2014; Yesares et al., 2019; Elliott et al., 2019) گزارش شده با این تفاوت که در کانسارهای SEDEX و ایرلندی، کانه‌زایی همزمان با رسوبگذاری رخ داده (سین‌ژنتیک تا دیازنتیک آغازین)، در حالی که در کانسارهای MVT کانه‌زایی هم می‌تواند همزمان با رسوبگذاری (مثل کانسارهای Wiesloch و Reocin؛ Grandia et al., 2003; Strobele et al., 2015; Velasco et al., 2003) و هم بعد از فعالیت گسل‌های عادی (با فاصله چندین میلیون سال) رخ دهد (Leach et al., 2012; Billstrom et al., 2010). در کانی‌سازی راونج در مرحله اول کانه‌زایی ساختارهای رسوبی-دیازنتیکی مشاهده شده و حضور پیریت‌های فرامبوئیدال، لامینه‌های رسوبی و افق کانسنگی لامینه‌ای و محدود بودن کانه‌زایی در اطراف گسل‌های نرمال در هفت بلوک کانه‌زایی شده،

جانشینی در مرحله اپی ژنتیک مشاهده شده است. از جمله شواهد این آمیختگی حضور باریت بوده و بدیهی است که حضور سولفات و باریت نمی‌توانند توسط یک سیال منتقل شوند (Wilkinson et al., 2005). حضور سیالات متفاوت و تشکیل باریت و گالن توسط 2016 Nejadhadad et al. گزارش شده، هرچند که راونج را مشابه با کانسارهای MVT در حوضه Viburnum Trend آمریکا معرفی کرده‌اند. در کانسارهای نوع ایرلندی، دگرسانی کربناتی و سیلیسی، مهم‌ترین نوع دگرسانی همراه با کانه‌زایی است (Hitzman et al., 2002; Wilkinson, 2003; Wilkinson, 2014) که در ناحیه راونج نیز این نوع دگرسانی‌ها گسترش فراوان و همراهی نزدیکی با کانه‌زایی دارند.

تمامی شواهد کانی‌شناسی بحث‌شده نشان می‌دهد که ژنر و رده‌بندی کانسار راونج پیچیده بوده، چراکه Nejadhadad et al. (2016)، کانی‌سازی را در رده کانسارهای MVT و مدبری (۱۳۷۴)، آن را در رده کانسارهای سدکس قرار داده است. (Rajabi et al., 2012) به فرایندهای سین ژنتیک و اپی ژنتیک در راونج اشاره می‌کند. اگرچه کانسارهای نوع ایرلندی در رده‌بندی (Leach et al., 2010) در رده کانسارهای MVT و در رده بندی (Wilkinson, 2014) در رده کانسارهای سدکس قرار می‌گیرد، ولی ویژگی‌های کانی‌شناسی مختص به خود را دارد که متمایز از دو نوع دیگر است. خصوصیات کانی‌سازی راونج مثل بخش‌های چینه‌سان و سین ژنتیک بودن، پیریت‌های فرامبوئیدال، وجود مواد آلی، حضور باریت فراوان، کانی‌سازی نقره قابل توجه، همزمانی با گسل‌های عادی و کانه‌زایی محدود به این گسل‌ها، کانسنگ برشی-توده‌ای اپی ژنتیک، حضور دولومیت‌های دیاژنزی و گرمابی، ذخیره کم راونج (یک میلیون تن) و مقدار سرب بالاتر نسبت به روی همگی نشان می‌دهد که کانی‌سازی در راونج از نوع ایرلندی بوده و خصوصیتی شبیه به کانسار سیلورماینز دارد (برای مثال مراجعه شود به Kyne, 2005; Wilkinson and Boyes, 2019). بر همین اساس است که در مطالعات قبلی راونج را در رده کانسارهای MVT و SEDEX قرار داده‌اند و اشاره‌ای به ایرلندی نداشته‌اند.

در راونج قابل قبول باشد که پیش از این نیز توسط (Machel et al., 2001) و (Jia et al., 2015) گزارش شده است. در مرحله اول کانه‌زایی، وجود مواد آلی همراه با کانی‌های سولفیدی تأیید شده است که سیال غنی از سولفات پس از واکنش با مواد آلی و فعالیت‌های بیوژنیک، گوگرد به صورت احیایی H_2S تبدیل شده و با سیال حاوی فلزات واکنش داده و ماده معدنی ته‌نشین پیدا می‌کند. عناصر سرب، روی، مس و نقره شاید توسط کمپلکس‌های کلریدی به منطقه کانی‌سازی حمل شده، چراکه شوری بالای سیالات درگیر (تا ۱۸ درصد وزنی معادل نمک طعام؛ Nejadhadad et al., 2016) این مطلب را تأیید می‌کند. دمای تشکیل ذخایر سرب و روی با میزبان کربناته پایین بوده و در کانسارهای سدکس و ایرلندی (بالای ۲۰۰ درجه سانتیگراد) بیشتر از کانسارهای MVT (کمتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد) است (Wilkinson, 2014). سیالات درگیر دمای ۱۶۰ تا ۱۶۵ درجه سانتیگراد را برای کانی‌سازی راونج نشان داده (Nejadhadad et al., 2016)، این دما کمی بالاتر از دماهای گزارش شده در کانسارهای MVT است. وجود آکانتیت در کانی‌سازی راونج نشان دهنده دماهای کمتر از ۱۷۳ درجه سانتیگراد است. همچنین مقادیر کادمیم در اسفالریت نیز تابع دما بوده و مقادیر کادمیم در کانسار راونج (با میانگین ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ گرم در تن به ترتیب برای اسفالریت نسل اول و دوم)، کم و بیش مشابه با کانسارهای MVT است. حضور باریت فراوان همراه با سولفوسالت‌های تتراهدریت و تنانتیت و مقادیر نقره بالا در کانی‌سازی راونج قابل توجه بوده و باعث شده که کانی‌سازی راونج در رده کانسارهای MVT قرار داده نشود، چراکه در کانسارهای MVT باریت و تتراهدریت یا وجود ندارند و یا دارای مقادیر بسیار کم هستند (Leach et al., 2005; Bouabdellah et al., 2012). در کانسارهای ایرلندی که در امتداد گسل‌های عادی تشکیل می‌شوند و بافت‌های برشی و جانشینی گسترده تشکیل می‌شود، باریت در اثر اختلاط سیالات متفاوت به فراوانی تشکیل شده و سولفوسالت‌های متنوعی نیز به صورت ادخال در کانی‌های سولفیدی تشکیل می‌شود (Wilkinson, 2014). بافت‌های برشی-توده‌ای-

نتیجه‌گیری

کانسار سرب-نقره راونج در شمال دلیجان در سنگ میزبان کربناته و شیلی به صورت توده‌ای، لامینه، کلوفرم، پرکننده فضای خالی، برشی شدن، کارستی شدن و رگه-رگچه‌های هیدروترمال تشکیل شده است. در این پژوهش کانی‌شناسی و شیمی کانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت که با تلفیق نتایج بدست آمده با مطالعات قبلی نتایج زیر بدست آمد:

کانه‌زایی سولفیدی در کانسار سرب-نقره راونج در دو افق کانسنگی توده‌ای-برشی (میزبان کربناته (Km2)) و افق کانسنگی لایه‌ای (واحد شیلی (KS2)) میانی و آهک نازک لایه پایینی (Km1)) به صورت سین‌ژنتیک تا اپی‌ژنتیک تشکیل شده است.

سیلیسی شدن و کربناتی شدن، دگرسانی‌های شاخص در ارتباط با کانی‌زایی راونج هستند که دولومیت‌های دیاژنزی و دولومیت‌های هیدروترمالی تشکیل شده در دگرسانی کربناتی ارتباط ژنتیکی نزدیکی با کانی‌سازی گالن، اسفالریت، کانی‌های گروه فلهور (تتراهدريت-تانانتیت)، پیریت، کالکوپیریت، دولومیت، کلسیت، آنکريت، باریت و کوارتز در مجاورت گسل‌های عادی دارند.

منشأ گوگرد برای کانی‌سازی سولفیدی (۲۷- تا ۱۱- پرمیل)، بیوژنیک و برای کانی‌سازی باریت (۲۰+ پرمیل) از نوع سولفات آب دریایی است.

اگرچه دمای تشکیل کانی‌سازی بر اساس مطالعات سیالات درگیر ۱۶۰ تا ۱۶۵ درجه سانتیگراد و بر اساس شیمی کانه اسفالریت (مقادیر کادمیم در آن) و حضور آکانتیت نشان می‌دهد که کانی‌سازی راونج مشابه با کانسارهای MVT است، اما ژنز و رده‌بندی کانسار راونج پیچیده بوده و شواهدی از جمله وجود هر دو نوع کانی‌سازی سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک، تشکیل پیریت‌های فرامبوئیدال، وجود مواد آلی، حضور باریت فراوان، مقدار بالای کانی‌سازی نقره، ارتباط ژنتیکی (مکانی و زمانی) کانی‌سازی با گسل‌های عادی، حضور دولومیت‌های دیاژنزی و گرمایی، ذخیره کم راونج (یک میلیون تن) و مقدار سرب بالاتر نسبت به روی نشان می‌دهد که کانی‌سازی در راونج از نوع ایرلندی بوده و خصوصیتی شبیه به کانسار سیلورمایز دارد.

منابع

- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۵۸۶.
- مدبری، س.، ۱۳۷۴. زمین‌شناسی، آنالیز رخساره، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار سرب و نقره راونج، ایران مرکزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۸۴.
- عیسی‌آبادی، ف.، ۱۳۹۳. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانسار سرب و نقره راونج دلیجان و تعیین موقعیت چینه‌شناختی کانه‌زایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ۱۵۱.
- علی‌آبادی، م.آ.، ۱۳۷۹. مطالعات ژئوشیمی و کانی‌شناسی و ژنز کانسار سرب و نقره راونج، دلیجان، ایران مرکزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۴۶.
- Banks, D.A., Boyce, A.J. and Samson, I.M., 2002. Constraints on the origins of fluids forming Irish Zn-Pb-Ba deposits: Evidence from the composition of fluid inclusions. *Economic Geology*, 97, 471-480.
- Billström, K., Broman, C., Schneider, J., Pratt, W. and Skogsmo, G., 2012. Zn-Pb Ores of Mississippi Valley Type in the Lycksele-Storuman District, Northern Sweden: A Possible Rift-Related Cambrian Mineralisation Event, *Minerals*, 2, 169-207.
- Bouabdellah, M., Sangster, D.F., Leach, D.L., Brown, A.C., Johnson, C.A. and Emsbo, P., 2012. Genesis of the touissit-bou beker Mississippi valley-type district (Morocco-Algeria) and its relationship to the Africa-Europe collision. *Economic Geology*, 107, 117-146.
- Cook, N.J. and Ciobanu, C.L., 2004. Bismuth tellurides and sulphosalts from the Larga hydrothermal system, Metaliferi Mts, Romania: paragenesis and genetic significance. *Mineralogy Magazine*, 68, 301-321.
- Cook, N.J., Spry, P.G. and Vokes, F.M., 1998. Mineralogy and textural relationships among sulphosalts and related minerals in

- the Bleikvassli Zn-Pb-(Cu) deposit, Nordland, Norway. *Mineralium Deposita*, 34, 35-56.
- Craig, J.R. and Scott, S.D., 1974. Sulfide Phase Equilibria, in *Sulfide Mineralogy: Short Course Notes*, P.H. Ribbe, Ed., Mineralogical Society of America, Washington, DC, 1, Chap. 5, 1-109.
 - Davies, G.R. and Smith L.B., 2006. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview. *AAPG Bulletin*, 90, 1641-1690.
 - de Oliveira, S.B., Leach, D.L., Juliani, C., Monteiro, L.V.S. and Johnson, C.A., 2019. The Zn-Pb Mineralization of Florida Canyon, an Evaporite-Related Mississippi Valley-Type Deposit in the Bongara District, Northern Peru. *Economic Geology*, 114, 1621-1647
 - Ehya, F., Lotfi, M. and Rasa, I., 2010. Emarat carbonate-hosted Zn-Pb deposit, Markazi Province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37, 186-194.
 - Elliott, H.A.L., Gernon, T.M., Roberts, S., Boyce, A.J. and Hewson, C., 2019. Diaterms act as fluid condition for Zn-Pb mineralization in the SW Irish ore field. *Economic Geology*, 114, 117-125.
 - Everett, C.E., Rye, D.M. and Ellam, R.M., 2003. Source or sink? An assessment of the role of the Old Red Sandstone in the genesis of the Irish Zn-Pb deposits. *Economic Geology*, 98, 31-50.
 - Frenze, M., Hirsch, T. and Gutzmer, J., 2016. Gallium, germanium, indium, and other trace and minor elements in sphalerite as a function of deposit type A meta-analysis. *Ore Geology Reviews*, 76, 52-78.
 - Ghazban, F., McNutt, R.H. and Schwarcz, H.P., 1994. Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Iran Kouh district, Esfahan area, west-Central Iran. *Economic Geology*, 89, 1262-1278.
 - Ghazi, A.M., Hassanipak, A.A., Mahoney, J.J. and Duncan, R.A., 2004. Geochemical characteristics, ^{40}Ar - ^{39}Ar ages and original tectonic setting of the Band-e-Zeyarat/Dar Anar ophiolite, Makran accretionary prism, S.E. Iran. *Tectonophysics*, 393, 175-196.
 - Goodfellow, W.D. and Lydon, J.W., 2007a. Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. *Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication*, 163-183.
 - Grandia, F., Cardellach, E., Canals, A. and Banks, D. A., 2003. Geochemistry of the fluids related to epigenetic carbonate-hosted Zn-Pb deposits in the Maestrat basin, eastern Spain: fluid inclusion and isotope (Cl, C, O, S, Sr) evidence. *Economic Geology*, 98, 933-954.
 - Hitzman, M.W., Redmond, P.B. and Beaty, D.W., 2002. The carbonate-hosted Lishcen Zn-Pb-Ag deposit. County Tipperary, Ireland, 97, 1627-1655.
 - Jia, L., Cai, C., Yang, H., Li, H., Wang, T., Zhang, B., Jiang, L. and Tao, X., 2015. Thermochemical and bacterial sulfate reduction in the Cambrian and Lower Ordovician carbonates in the Tazhong Area, Tarim Basin, NW China: evidence from fluid inclusions, C, S, and Sr isotopic data. *Geofluids*, 15, 421-437.
 - Kerr, N., 2013. Geology of the Stonepark Zn-Pb prospects, County Limerick, Ireland. M.Sc. thesis, University of Colorado, 131.
 - Kyne, R., Torremans, K., Güven, J., Doyle, R. and Walsh, J., 2019. 3-D Modeling

of the Lisheen and Silvermines deposits, County Tipperary, Ireland: Insights into structural controls on the formation of Irish Zn-Pb deposits. *Economic Geology*, 114(1), 93-116.

- Leach, D.L., Bradley, D.C., Huston, D., Pisarevsky, S.A., Taylor, R.D. and Gardoll, S.J., 2010. Sediment-hosted lead-zinc deposits in Earth history. *Economic Geology*, 105, 593-625.

- Leach, D.L., Sangster, D.F., Kelley, K.D., Large, R.R., Garven, G., Allen, C.R., Gutzmer, J. and Walters, S., 2005. Sediment hosted lead-zinc deposits: A global perspective. *Economic Geology*, 100th Anniversary, 561-607.

- Leavitt, W. D., Halevy, I., Bradley, A. S. and Johnston, D. T., 2013. Influence of sulfate reduction rates on the Phanerozoic sulfur isotope record. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 11244-11249.

- Lee, M.J. and Wilkinson, J.J., 2002. Cementation, hydrothermal alteration, and Zn-Pb mineralization of carbonate breccias in the Irish midlands: textural evidence from the Cooleen zone, near Silvermines, county Tipperary. *Economic Geology*, 97, 653-662.

- Love, L.G., 1962. Biogenic primary sulfide of the Permian Kupferschiefer and marl slate. *Economic Geology*, 57, 350-366.

- Machel, H.G., 2001. Bacterial and thermochemical sulfate reduction in diagenetic settings-old and new insights. *Sedimentary Geology*, 140, 143-175.

- Mavrogenes, J.A., Hagni, R.D. and Dingess, P.R., 1992. Mineralogy, paragenesis, and mineral zoning of the West Fork mine, Viburnum Trend, Southeast Missouri. *Economic Geology*, 87, 113-124.

- Momenzadeh, M., 1976. Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sed-

iments in the Malayer-Esfahan district (west central Iran), lithology, metal content, zonation and genesis [Unpublished Ph.D. thesis]: Heidelberg, University of Heidelberg, 300.

- Nejadhadad, M., Taghipour, B. and Karimzadeh Somarin, A., 2017. The Use of Univariate and Multivariate Analyses in the Geochemical Exploration, Ravanj Lead Mine, Delijan, Iran, *Minerals*, 7, 212-228.

- Nejadhadad, M., Taghipour, B., Zarasvandi, A., and Karimzadeh Somarin, A., 2016. Geological, geochemical, and fluid inclusion evidences for the origin of the Ravanj Pb-Ba-Ag deposit, north of Delijan city, Markazi Province, Iran, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25 (2), 179-200.

- Pearce, M.A., Timms, N.E., Hough, R.M. and Cleverley, J.S., 2013. Reaction mechanism for the replacement of calcite by dolomite and siderite: implications for geochemistry, microstructure and porosity evolution during hydrothermal mineralization. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 166, 995-1009.

- Pfaff, K.p., Hildebrandt, L., Leach, D., Jacob, D.E. and Markl, G., 2011. Formation of the Wiesloch Mississippi Valley-type Zn-Pb-Ag deposit in the extensional setting of the Upper Rhinegraben, SW Germany. *Mineralium Deposita*, 45, 647-666.

- Rajabi, A., Rastad, E. and Cant, C., 2012. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: Geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. *International Geology Review*, 54, 1649-1672.

- Rajabi, A., Rastad, E. and Cant, C., 2013. Metallogeny of Permian-Triassic carbonate-hosted Zn-Pb and F deposits of Iran: A review for future mineral exploration. *Australian Journal of Earth Sciences. An International Geoscience Journal of Geological Society of Australia*, 60, 197-216.

- Rddad, L. and Bouhleb, S., 2016. The Bou Dahar Jurassic carbonate-hosted Pb-Zn-Ba deposits (Oriental High Atlas, Morocco): Fluid-inclusion and C-O-S-Pb isotope studies. *Ore Geology Reviews*, 72, 1072-1087.
- Reed, C.P. and Wallace, M.W., 2001. Diagenetic evidence for an epigenetic origin of the Courtbrown Zn-Pb deposit, Ireland: *Mineralium Deposita*, 36, 428-441.
- Reed, C.P. and Wallace, M.W., 2004. Zn-Pb mineralisation in the Silvermines district, Ireland: a product of burial diagenesis, *Mineralium Deposita*, 39, 87-102.
- Sack, R. O., Kuehner S. M. and Hardy, L. S., 2002. Retrograde Ag-enrichment in fahlores from the Coeur d'Alene mining district, Idaho, USA. *Mineralogy Magazine*, 66, 215-229.
- Sack, R.O., Fredericks, R., Hardy, L.S. and Ebel, D.S., 2005. Origin of high-Ag fahlores from the Galena Mine, Wallace, Idaho, U.S.A. *American Mineralogist*, 90, 1000-1007.
- Schwartz, M., 2000. Cadmium in Zinc Deposits: Economic Geology of a Polluting Element. *Economic Geology Review*, 42, 445-469.
- Sternbach, C.A. and Friedman G, M., 1984. Ferroan carbonates formed at depth require prograde well-log correction: Hunton Group, deep Anadarko Basin (Upper Ordovician to lower Devonian) of Oklahoma and Texas: *Transaction of Southwest section. American Association of Petrology and Geology*, 68, 167-171.
- Ströbele, F., Hildebrandt, L. H., Baumann, A., Pernicka, E. and Markl, G., 2015. Pb isotope data of Roman and medieval objects from Wiesloch near Heidelberg, Germany. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 7, 465-472.
- Turner, E., 2011. Structural and stratigraphic controls on carbonate-hosted base metal mineralization in the mesoproterozoic Borden basin (Nanisivik district), Nunavut. *Economic Geology*, 106, 1197-1223.
- Velasco, F., Herrero, J.M., Yusta, I., Alonso, J.A., Seebold, I. and Leach, D., 2003. Geology and geochemistry of the Reocin zinc-lead deposit, Basque-Cantabrian Basin, Northern Spain. *Economic Geology*, 98, 1371-1396.
- Walshaw, R.D., Menuge, J.F. and Tyrrell, S., 2006. Metal sources of the Navan carbonate-hosted base metal deposit, Ireland: Nd and Sr isotope evidence for deep hydrothermal convection. *Mineralium Deposita*, 41, 803-819.
- Whitney, D.L., and Evans, B.V., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187.
- Wilkinson, J.J., 2003. On diagenesis, dolomitization and mineralization in the Irish Zn-Pb orefield. *Mineralium Deposita*, 38, 968-983.
- Wilkinson, J.J., 2014. Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives. *Treatise on Geochemistry 2nd edition*, 219-249.
- Wilkinson, J., Eyre, S. and Boyce, A., 2005. Ore-forming processes in Irish-type carbonate-hosted Zn-Pb deposits: Evidence from mineralogy, chemistry, and isotopic composition of sulfides at the Lisheen mine. *Economic Geology*, 100, 63-86.
- Ye, L., Cook, N.J., Ciobanu, C.L., Liu, Y.P., Zhang, Q., Gao, W., Yang, Y.L. and Danyushevsky, L.V., 2011. Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: a LA-ICPMS study. *Ore Geology Review*, 39, 188-217.
- Yesares, L., Drummond, D.A., Hollis, S.P., Doran, A.L., Menuge, J, F., Boyes, A.J., Blakeman, R.J. and Ashton, J.H., 2019. Coupling mineralogy, textures, stable and radiogenic isotopes in identifying ore-forming processes in Irish-type carbonate-hosted Zn-Pb deposits. *Minerals*, 9, 335, <https://doi.org/10.3390/min9060335>.