

## بررسی ارتباط دگرسانی دولومیتی شدن و رخداد کانه‌زایی در کانسار اپی‌ژنتیک آهن‌گران (جنوب خاور ملایر): شواهد کانی‌شناسی، ژئوشیمی و شیمی کانی‌ها

سبحان حیاتی<sup>۱</sup>، محمد معانی‌جو<sup>۲\*</sup>، ابراهیم طالع فاضل<sup>۳</sup> و حسن محسنی<sup>۴</sup>

۱، ۲، ۳ و ۴ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: maanijou@yahoo.com

دریافت: ۹۴/۱۱/۱۸ پذیرش: ۹۵/۴/۲۶

### چکیده

ایالت فلززایی ملایر اصفهان در پهنه سندج سیرجان، میزان ذخایر و نشانه‌های معدنی مختلفی است که از دیدگاه فلززایی اغلب آن‌ها در سنگ میزبان کربناته کرتاسه زیرین رخ داده‌اند. کانسار سرب آهن‌تقره آهن‌گران (جنوب خاور ملایر) به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر این ایالت در سنگ میزبان‌های سنگ‌آهک، سنگ‌آهک دولومیتی، دولومیت و ماسه‌سنگ واحد کرتاسه زیرین تشکیل شده است. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در منطقه شامل شیست، اسلیت، کوارتزیت و شیل‌های منتسب به ژوراسیک است که به صورت دگرشیب بر روی سنگ‌های تریاس قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی همراه با دگرسانی دولومیتی در قالب دو کانسنگ سولفیدی (حاوی رگه‌های سرب‌تقره) و اکسیدی (کلسنگ آهک آهنی فروخته‌شده)، رخ داده است. بر اساس مطالعات پتروگرافی و شیمی کانی‌ها، حداقل سه نوع دولومیت شامل دولومیت‌های ریزبلور (RD<sub>1</sub>)، متوسط‌بلور (RD<sub>2</sub>) و درشت‌بلور دارای منطقه‌بندی (RD<sub>3</sub>)، در سنگ میزبان کانسنگ‌های سولفیدی و اکسیدی تشخیص داده شد. در این میان، دولومیت‌های RD<sub>1</sub> و RD<sub>2</sub> اغلب در سنگ میزبان کانسنگ سولفیدی و دولومیت‌های RD<sub>3</sub> اغلب در زمینه کلسیت‌های ریزبلور میزبان کانسنگ اکسیدی تشکیل شده‌اند. ترکیب شیمیایی دولومیت‌های RD<sub>2</sub> حاکی از وجود مقادیر بالای عناصر آهن (متوسط ۱۳/۵ wt%)، سرب (متوسط ۸۰ ppm) و منگنز (متوسط ۱۶۰۰ ppm) در مقایسه با دولومیت‌های RD<sub>1</sub> است. بالا بودن محتوای عنصری سرب (۱۰۰ ppm) در دولومیت‌های RD<sub>2</sub>، وجود هم‌پستگی بالا میان سرب و عناصر کلسیم (R=۰/۵۷)، آهن (R=۰/۶۰) و استرانسیوم (R=۰/۷۸) و مجاورت این دولومیت‌ها به رگه‌های کانه‌دار سرب، احتمال تشکیل دولومیت‌های RD<sub>2</sub> را از طریق سیال کانه‌ساز تقویت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: دولومیت، کانی‌سازی، شیمی کانسار، دگرسانی، آهن‌گران

### مقدمه

می‌شود. طبق شواهد، رخداد دگرسانی در ذخایر یا سنگ میزبان رسوبی اغلب هم‌زمان یا کمی بعد از تکوین مراحل رخداد کانه‌زایی انجام می‌شود. در میان سایر دگرسانی‌های شاخص در ذخایر ماگمایی-گرمایی نظیر دگرسانی‌های پتاسیک، فلیک و آرژیلیک، دگرسانی‌های مرتبط با کانسارهای یا میزبان رسوبی از قبیل کربناتی‌شدن (نظیر دولومیتی و آنکریتی‌شدن)، به عنوان دگرسانی پنهان<sup>۲</sup>، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳۱ و ۴۳]. کانسار سرب-تقره-آهن آهن‌گران در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب‌خاوری شهرستان ملایر، در شمالی‌ترین بخش ایالت فلززایی ملایر-اصفهان و یخس مرکزی پهنه سندج-سیرجان قرار گرفته است (شکل ۱). تاکنون معادن، کانسارها و نشانه‌های معدنی سرب و روی متعددی در محور ملایر-اصفهان یا سنگ میزبان‌های سنگ‌آهک، سنگ‌آهک-دولومیت، شیل و در

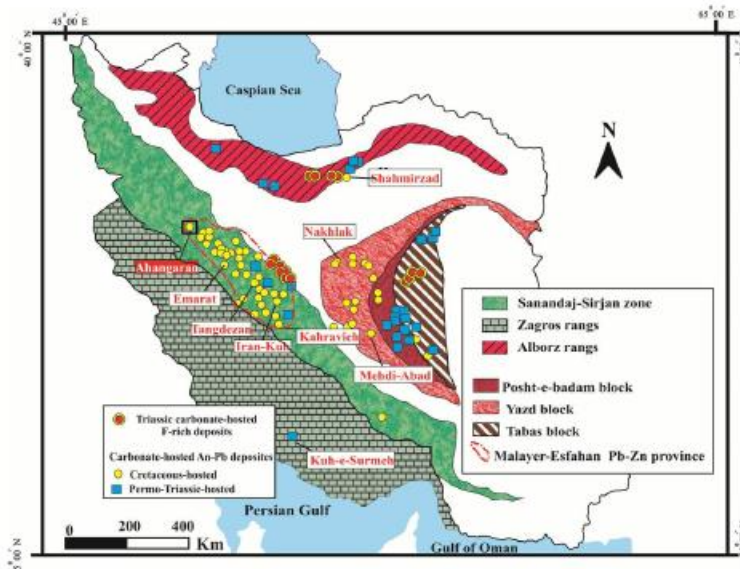
در بسیاری از کانسارهای سرب و روی یا سنگ میزبان کربناته که ارتباط مشخصی یا منابع آذین ندارند، سنگ میزبان به عنوان تامین‌کننده عناصر فلزی، نقش موثری در رخداد کانه‌زایی دارد. در این میان، دگرسانی دولومیتی‌شدن<sup>۱</sup> به عنوان یکی از کنترل‌کننده‌های اصلی کانه‌زایی در ذخایر فلزی پایه یا سنگ میزبان رسوبی از قبیل کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)، رسوبی-متصاعدی (SEDEX)، نوع ایرلندی و آلپی گزارش شده است [۱۷، ۳۸، ۴۲ و ۵۰]. پژوهشگران این حوزه دگرسانی دولومیتی‌شدن را تغییراتی می‌دانند که در اثر حرکت سیالات کانه‌ساز در سنگ دیواره‌ی دربرگیرنده به لحاظ خصوصیات ژئوشیمیایی (شیمی کانه‌ها و غلظت عناصر) و کانی‌شناسی (یافت، ساخت، دانه‌بندی و رنگ)، ایجاد

<sup>2</sup> Inconspicuous Alteration

<sup>1</sup> Dolomitization alteration

اپیژنتیک و ارتباط آن‌ها با رخداد کانی‌سازی انجام نشده است. این پژوهش تلاش می‌کند تا ارتباط میان دولومیت‌زایی و کانه‌زایی را در هر دو بخش از دیدگاه‌های کانی‌شناسی، یافت و ساخت، ژئوشیمی و شیمی کانه‌ها مورد بررسی قرار دهد. همچنین در این پژوهش رخداد دگرسانی دولومیتی‌شدن در ارتباط با کانه‌زایی و اهمیت آن از دیدگاه اکتشافی نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

مواردی ماسه‌سنگ منتسب به کرتاسه گزارش شده است [۱۱]. دولومیتی‌شدن، شایع‌ترین دگرسانی در اغلب کانسارهای سرب و روی ایران از قبیل کانسارهای نخلک [۳]، ایران کوه [۲۹]، شه‌میرزاد [۲]، که‌رویه [۱۰]، تنگ دزان [۸]، مهدی‌آباد [۴۳] و کوه سرمه [۱۲]، است (شکل ۱). از آنجایی که دولومیت به عنوان مهم‌ترین سنگ میزبان کانسنگ‌های اکسیدی و سولفیدی کانسار آهن‌گران شناخته می‌شود، تاکنون مطالعه دقیقی بر روی دولومیت‌های



شکل ۱. موقعیت برخی از مهم‌ترین کانسارهای فلزات پایه با میزبان کربناته در محور فلززایی ملایر-اصفهان و بخش‌های دیگر ایران [۱۹ و ۴۶]

## مواد و روش‌ها

تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران<sup>۱</sup> مورد تجزیه قرار گرفت. این دستگاه با ولتاژ ۴۰kV و جریان ۳۰ mA با هدف دستیابی به کانی‌های رسی تنظیم شده است. به منظور مطالعه ژئوشیمیایی کانسنگ، نیز تعداد ۱۰۰ نمونه از زون معدنی و سنگ میزبان به روش فلورسانس اشعه مجهول (XRF) یا همکاری شرکت معادن سرمک در IMPRC مورد تجزیه قرار گرفتند. برای دستیابی به شیمی کانی‌های کربناته، مطالعه محتوای عناصر اصلی و فرعی آن‌ها از تجزیه ریزکاوا الکترونی (EPMA) با دستگاه CAMECA SX100 و تصاویر الکترونی برگشتی (BSE) در IMPRC استفاده شد. این دستگاه با ولتاژ ۲۰kV و جریان ۲۰ nA با هدف دستیابی به مجموعه عناصر Mn, Sr, Na, Ca, Fe, Mg و Pb تنظیم شد. حد آشکارسازی برای عناصر مختلف در حد ۰/۰۲ درصد وزنی است.

در انجام این پژوهش به منظور بررسی سنگ میزبان کانه‌زایی کانسار آهن‌گران از رخنمون‌های سنگی در بخش کانسنگ اکسیدی و سولفیدی تعداد تقریبی ۲۰۰ نمونه برداشت شد. نمونه‌پرداری‌ها با روش‌های دنیال رگه، تکه‌ای و کاتالی از هر دو بخش سنگ میزبان و ماده معدنی انجام گرفته است. از نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۳۰ مقطع نازک و صیقلی مورد آماده‌سازی قرار گرفت که از بین آن‌ها تعداد ۱۵ مقطع نازک-صیقلی و ۵ مقطع نازک با هدف شناسایی کلسیت از دولومیت توسط محلول آلزارین قرمز (Red-s)، با روش دیکسون [۲۶] رنگ‌آمیزی شد. مطالعات کانی‌شناسی با استفاده از میکروسکوپ نوری زلیس مدل Axioplan2 در دانشگاه یوغلی‌سینا انجام شد. همچنین تعداد ۵ نمونه پودر سنگ نیز به روش پراش اشعه مجهول (XRD) از رگه‌های کانی‌سازی و واحدهای دگرسان، در مرکز

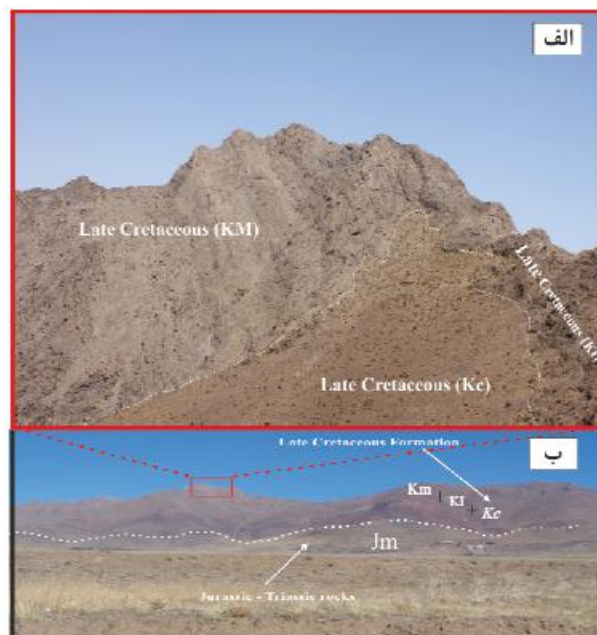
<sup>۱</sup> IMPRC

## زمین‌شناسی

شکل‌گیری پهنه سنندج-سیرجان یا زایش اقیانوس نتوتتیس طی پرمین و متعاقباً تخریب ناشی از همگرایی بعد از آن و برخورد قاره‌ای بین صفحه ایران یا صفحه عربستان در گستره زمانی تریاس-کرتاسه صورت گرفته است. پژوهش‌های صورت گرفته گویای آنست که اقیانوس نتوتتیس در اواخر کرتاسه به علت فرورانش صفحه عربستان به زیر پخش ایران پسته شده و به موجب آن گسل‌های متعددی بین زون زاگرس در جنوب باختر و مجموعه قوسی ایران مرکزی پدیدار شده است [۷، ۲۱ و ۵۳].

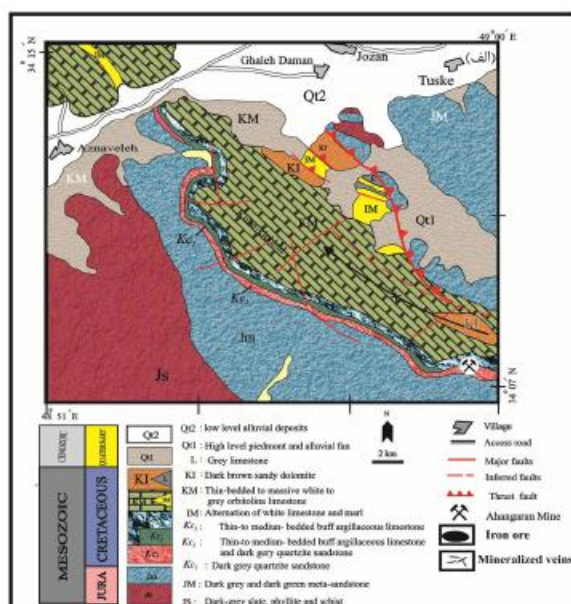
کوه آهکی کله پید از دیدگاه ساختاری به مثابه یک ناودیس بزرگ به طول تقریبی ۸۰۰۰ متر یا راستای شمال باختری- جنوب خاوری در قسمت جنوبی شهرستان ملایر واقع شده است (شکل ۳). معدن آهنگران در دامنه جنوب خاوری ارتفاعات کوه کله پید جای گرفته که تقریباً تمام واحدهای سازنده این کوه از توالی سنگ‌های کریناته کرتاسه زیرین و پیوسته دولومیت تشکیل شده است (شکل ۲). فعالیت‌های ساختمانی و ایجاد گسل‌های متعدد در برخی از پخش‌ها موجب قطع‌شدگی یا جایجایی لایه‌های سازنده این ناودیس شده است. نتایج حاصل از برداشت ساختارهای زمین‌شناسی منطقه و همچنین تحلیل مقدماتی تنش دیرین، تشکیل ساختارهای مربوطه را به زمان کرتاسه زیرین

و در ارتباط با فازکوهزایی لارامید نشان می‌دهد [۱۵]. مهمترین واحدهای سنگی منطقه‌ی معدنی آهنگران از قدیم به جدید شامل: ۱) واحدهای دگرگونه تریاس-ژوراسیک و ۲) واحدهای رسوبی (کریناته-آواری) کرتاسه زیرین است (شکل ۲-ب). قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه مجموعه دگرگونی‌های فیلیت، اسلیت و شیست‌های سیاه و سبز متعلق به ژوراسیک است که سنگ پستر کوه کله پید را تشکیل داده و در جنوب خاور پرگه ۱:۱۰۰۰۰۰ ملایر [۴] رخنمون دارد (شکل ۲). واحدهای سنگی کرتاسه زیرین به عنوان لیتولوژی اصلی میزبان کاتسار آهنگران اغلب در پخش‌های مرتفع و دامنه کوه کله پید رخنمون داشته و از سه عضو اصلی  $Kc$ ,  $KI$ ,  $Km$  تشکیل شده است (شکل ۲-الف). در این میان، واحد سنگی  $Kc$  دارای سه زیر عضو فرعی ( $Kc_1$ ,  $Kc_2$ ,  $Kc_3$ ) است (شکل ۳). به لحاظ لیتولوژی جنس این زیر عضوها از پایین به بالا شامل، واحد ( $Kc_1$ ) یا لیتولوژی ماسه‌سنگ کوارتزی و دولومیت یا میان لایه‌هایی از شیل، واحد ( $Kc_2$ ) شامل ماسه‌سنگ و کوارتزیت که با مرز تدریجی بر روی واحد پایین قرار گرفته و واحد ( $Kc_3$ ) متشکل از ماسه‌سنگ، دولومیت و سنگ آهک دولومیتی که میزبان کانه‌زایی پخش‌های سولفیدی و اکسیدی منطقه معدنی آهنگران است.



شکل ۲. الف) نمایی از ارتباط واحدهای کرتاسه زیرین (شامل  $Kc$ ,  $Km$ ,  $KI$ ) (دید به سمت شمال باختر). ب) دورنمایی از سنگ‌های رسوبی دگرگون شده ژوراسیک-تریاس که به عنوان سنگ پستر منطقه آهنگران در قسمت زیرین واحدهای کرتاسه قرار گرفته‌اند (دید به سمت شمال).





شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه و موقعیت کانسار آهنگران در آن (با تغییرات از [۴])

### ویژگی‌های گانه‌زایی

مطالعات میدانی، بررسی رخنمون‌های سنگی و نمونه‌برداری از تونل‌های کانسار آهنگران موجب شناسایی دو افق گانه‌دار فوقانی (افق I) و تحتانی (افق II)، شده است. افق I متشکل از کانسنگ اکسیدی-هیدروکسیدی آهن، منگنز و تیتان در سطح که به صورت چندین عدسی منقطع، باریک و طولی از جنوب خاور تا شمال یاختر منطقه رخنمون دارد. افق II شامل گانه‌زایی سولفیدی چندقلزی سرب، نقره، مس، آنتیموان که توسط ۳۴ تونل مورد استخراج قرار گرفته است. سنگ میزبان اصلی دو افق ذکر شده شامل سنگ‌آهک، سنگ‌آهک‌های دولومیتی، دولومیت ماسه‌سنگی و دولومیت‌های آهکی است (شکل ۵-الف). طبق مطالعات کانی‌شناسی، کانسار آهنگران شامل مجموعه‌های چندقلزی متشکل از دو گروه کانی‌شناسی-شیمیایی اکسیدی (شامل هماتیت، مگنتیت و گوتیت) و سولفیدی-سولفوسالتی (شامل گالن، کالکوپیریت، پیریت، تتراهدريت، تنانتیت و پورتونیت)، است. مشاهدات صحرایی از دهانه و میزبان چندین تونل و بررسی نقشه زمین‌شناسی-اکتشافی معدن آهنگران (با مقیاس ۱:۵۰۰۰ توسط [۱۴])، گویای آن است که گانه‌زایی بخش سولفیدی اغلب در میزبان واحد دولومیت ماسه‌سنگی بوده و به لایه‌های دولومیتی ختم می‌شود.

### پتروگرافی دولومیت‌ها

در بسیاری از کانسارهای سرب و روی یا میزبان کریناته، عواملی نظیر دولومیتی‌شدن، تغییرات رخساره و تراوایی اولیه

سنگ میزبان آهکی از کنترل کننده‌های اصلی در شکل‌گیری کانسار و هاله‌های لیتوژئوشیمیایی پیرامون توده معدنی است [۳۶ و ۳۷]. رخداد فرآیندهای انحلال، تبلور مجدد و برش‌های گرمایی تقریباً در تمام ذخایر سرب یا میزبان کریناته معمول است. این فرآیندها ممکن است در بخش‌هایی یا دگرسانی‌های سیلیسی و دولومیتی همراه شده و شرایط رخداد گانه‌زایی در سنگ دیواره را فراهم نمایند [۸].

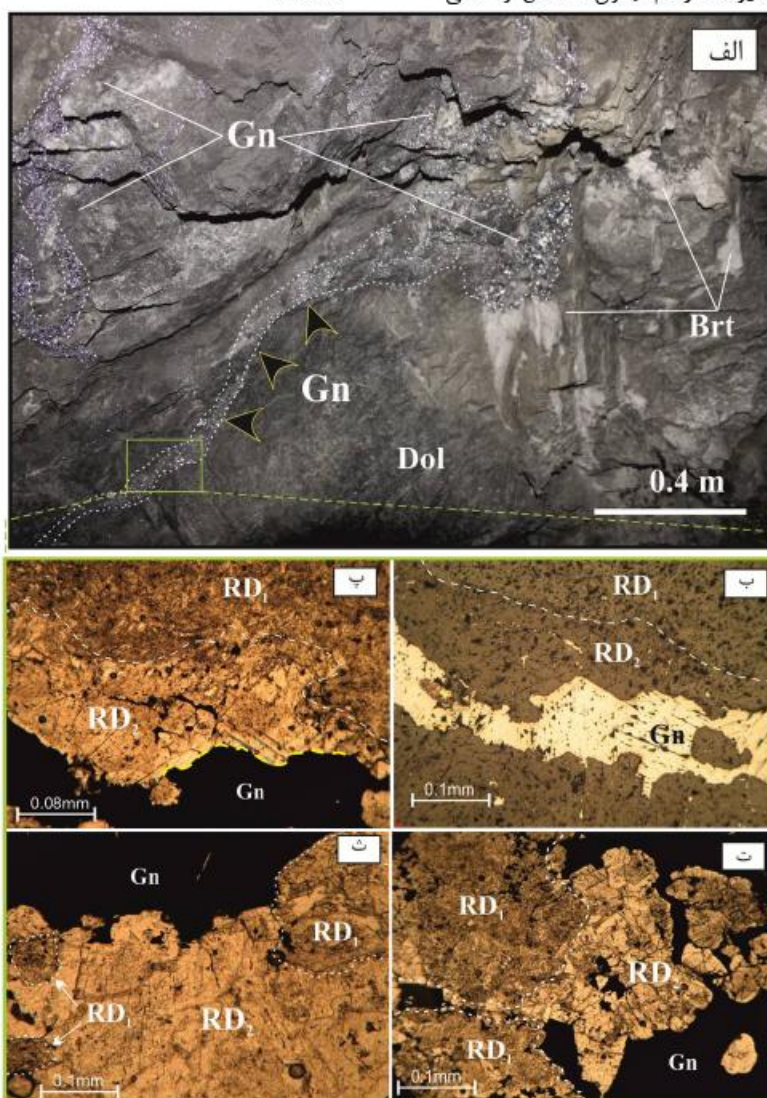
فرآیند دولومیتی‌شدن در منطقه‌ی معدنی آهنگران به دو صورت شامل: ۱) دولومیتی‌شدن بخشی یا انتخابی<sup>۱</sup> بوده که در آن دولومیت‌ها، دارای ساختمان ایدومورف و منطقه‌بندی هستند و ۲) دولومیتی‌شدن کامل<sup>۲</sup> که سنگ در این حالت کاملاً تبدیل به دولومیت شده و بقایای سنگ اولیه به کلی از بین رفته است. به طور کلی مکانیزم تشکیل دولومیت‌ها را می‌توان با استفاده از فایریک و اندازه یلورها و ویژگی‌های دیگری مانند تفریق ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد و اکسیژن، دما، شوری، ترکیب سیال و شرایط اکسیدان و احیا تشخیص داد [۴۸]. تشخیص و تفکیک دولومیت‌ها در کانسنگ اکسیدی و سولفیدی بر اساس مطالعات پتروگرافی، نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی (EPMA) و استفاده از رنگ‌آمیزی مقاطع دولومیت انجام شده است. کانی‌سازی دولومیت در منطقه آهنگران، براساس رده‌بندی ارائه شده توسط گرگ و

<sup>۱</sup> Partial or selective dolomitization

<sup>۲</sup> dolomitization Complete

اوقات به صورت یقنایای پرچامانده و شیبه ادخال در متن دولومیت‌های RD<sub>2</sub> دیده می‌شوند (شکل ۴ ت-ث). دولومیت‌های RD<sub>2</sub> با ابعاد متوسط تا درشت پلور، برخلاف دولومیت‌های اولیه اغلب در مجاورت رگه‌ی گالن مختصره و گاهی اوقات به صورت قطعات پرشی قابل مشاهده است (شکل ۴ پ-پ). این دولومیت‌ها به صورت پلورهای درشت نیمه شکل‌دار تا خود شکل یا رنگ قهوه‌ای روشن و مرزهای پلور کاملاً مشخص قابل تشخیص می‌باشند. دولومیت‌های RD<sub>1</sub> بخش اصلی متن سنگ میزبان کاتسنگ اکسیدی را تشکیل داده‌اند. همچنین، دولومیت‌های RD<sub>2</sub> در حدود ۸۰ درصد حجمی اطراف رگه‌های معدنی را به خود اختصاص داده‌اند.

سییلی [۳۰] با حضور سه نوع دولومیت شامل، (۱) دولومیت‌های سبز تیره ریزپلور (RD<sub>1</sub>)، (۲) دولومیت‌های قهوه‌ای روشن متوسط پلور (RD<sub>2</sub>) و (۳) دولومیت‌های درشت پلور دارای منطبقه‌بندی (RD<sub>3</sub>)، مشخص می‌شود (شکل‌های ۴ و ۵). شواهد پتروگرافی نشان داده است که کاتی‌سازی دولومیت‌های نوع اول و دوم (RD<sub>1</sub> و RD<sub>2</sub>) متعلق به کاتسنگ سولفیدی و به ویژه سینه کارهای تونل ۱۵-۱۰ است (شکل ۴-الف). دولومیت‌های نوع اول (RD<sub>1</sub>) اغلب با فاصله از رگه‌های سرب-مختصره تشکیل شده است (شکل ۴-پ-پ). این نوع دولومیت‌ها به لحاظ خصوصیات میکروسکوپی در مقطع نازک از پلورهای ریزپلور، هم‌بعد و بی‌شکل، یا رنگ سبز تیره، متراکم، بدون تخلخل و گاهی

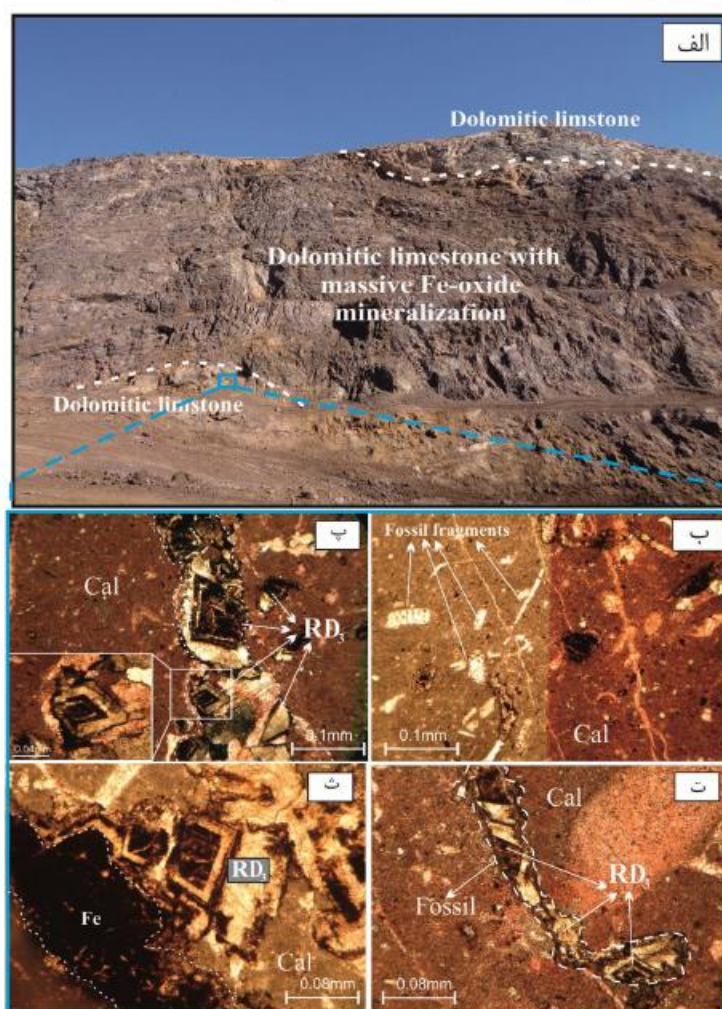


شکل ۴. الف) نمایی از کاتی‌سازی انشعابی رگه-رگچه‌ای گالن-باریت (Brt) در میزبان دولوستون (Dol) (فراز تونل ۱۵-۱۰). ب) رگه حاوی گالن (Gn) و گالکوپیریت (Cpy) در نور پازتابی به همراه دو نوع دولومیت، پ) تصویر قبیل در نور عبوری، یا بزرگ نمایی بیشتر و مشاهده تفاوت در نوع بافت دو تیپ دولومیت، ت و ث) حضور بقایای دولومیت RD<sub>1</sub> در زمینه‌ای از دولومیت‌های RD<sub>2</sub>



میزبان کاتسنگ اکسیدی، وکستون دولومیتی نام دارد که دارای ۵۰ تا ۹۰ درصد حجمی کلسیت و ۱۰ تا ۲۰ درصد حجمی دولومیت است (شکل ۵). عناصر زیستی و فسیلی از قبیل قطعات خردشده‌ی خارپوستان و صفحات مربوط به روزنه‌داران نیز حدود ده درصد حجمی فضای سنگ را تشکیل داده است (شکل ۵-ب). با استفاده از مطالعات پتروگرافی و روابط متقاطع بین کانی‌ها کریناته و بخش‌های کانه‌دار، می‌توان گفت دولومیت‌های  $RD_1$  قبل از رخداد کانه‌زایی و دولومیت‌های  $RD_2$  و  $RD_3$  همزمان یا کمی بعد از رخداد کانه‌زایی تشکیل شده‌اند. توالی پاراژنتیک کانی‌ها در شکل ۶ ارائه شده است.

طبق شواهد کانی‌شناسی، دولومیت‌های درشت یلور دارای منطقه‌بندی ( $RD_3$ ) در سنگ کریناته‌ی میزبان کاتسنگ اکسیدی و در متنی از کلسیت‌های ریزیلور (میکرایت) تشکیل شده‌اند (شکل ۵-الف و ب). از لحاظ کانی‌شناسی، دولومیت‌های  $RD_3$  با فراواتی کمتر از ۲۰ درصد حجمی بصورت یلورهای نیمه‌شکل تا خودشکل، کشیده یا ابعاد تقریبی ۰/۱ تا ۰/۳ میلی‌متر در زمینه‌ی کلسیت‌های میکرایتی و خرده فسیل‌ها پراکنده‌اند (شکل ۵-ب). مهم‌ترین خصوصیت این دولومیت‌ها قرارگیری در امتداد شکستگی‌ها، رگه‌ها و قالب فسیل‌ها است (شکل ۵-ب-ت). بر مبنای طبقه‌بندی سنگ‌های کریناته توسط [۲۷]، سنگ



شکل ۵. تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از دولومیت‌های دارای منطقه‌بندی ( $RD_3$ ) (الف) فراز رخساره توده‌ای کاتسنگ اکسیدی در قسمت باختری معدن که در پایین توده معدنی لایه‌های سنگی آهک دولومیتی رخنمون پیدا کرده‌اند (دید به سمت شمال خاور، عرض تصویر حدود ۲۰۰ متر). (ب) سنگ آهک دولومیتی رنگ آمیزی شده، به همراه قطعات فسیل موجود در زمینه سنگ، (ب) تشکیل دولومیت‌های ( $RD_3$ ) دارای منطقه بندی با شکل رومبوهدری منظم در امتداد یک رگه در سنگ آهک متعلق به بخش زیرین کاتسنگ اکسیدی. (ت) جانشین شدن دولومیت‌های دارای منطقه بندی در قالب یک خرده فسیل به صورت کامل و (ت) رشد یلورهای درشت دولومیت دارای منطقه‌بندی در یک امتداد به صورت تداخلی در مجاورت آغشنگی‌های آهن ناشی کانی‌سازی فلزی

	Sulfide ore		Oxide ore	
	Pre mineralization	Post mineralization	Pre mineralization	Post mineralization
<b>Ore minerals</b>				
Galenag	██████████			
Fahlore group	██████████			
Chalcopyrite	██████████			
Magnetite			██████████	
Hematite				██████████
Geothite				██████████
Hosted Rock				
Calcite			██████████	
RD <sub>1</sub>	██████████		██████████	
RD <sub>2</sub>		██████████		
RD <sub>3</sub>			.....	██████████

شکل ۶. توالی پارازنتیک انواع دولومیت و سنگ آهک دولومیتی مرتبط با کانسنگ‌های اکسیدی و سولفیدی

دولومیت‌های RD<sub>2</sub> از ۷۰ تا ۱۰۰ ppm و در دولومیت‌های RD<sub>3</sub> از زیر حد آشکارسازی تا ۴۰ ppm در تغییر است (جدول ۱ و شکل ۷-الف).

داده‌های بدست آمده از تجزیه دستگاهی ریزکاو الکترونی (EPMA) با هدف دستیابی به خصوصیات شیمیایی دولومیت‌ها و بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر، توسط نرم‌افزار SPSS مورد تحلیل آماری قرار گرفتند. به منظور مطالعه همبستگی آماری بین متغیرهای کانه‌ساز یا یکدیگر در کانسنگ‌های سولفیدی و اکسیدی از ماتریس همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن-پیرسون بهره گرفته شد. طبق نتایج همبستگی اسپیرمن-پیرسون، در سنگ میزبان کانسنگ سولفیدی به ترتیب زوج عناصر کلسیم-منیزیوم ( $R=0.74$ )، کلسیم-سرب ( $R=0.57$ )، آهن-سرب ( $R=0.60$ )، آهن-منگنز ( $R=0.62$ )، استرانسیوم-سرب ( $R=0.78$ ) و استرانسیوم-کلسیم ( $R=0.5078$ ) دارای همبستگی ترتیبی هستند. علاوه بر این، در سنگ میزبان کربناته کانسنگ اکسیدی زوج عناصر کلسیم-منیزیوم ( $R=0.38$ )، آهن-منگنز ( $R=0.62$ ) و منگنز-سرب ( $R=0.96$ ) دارای همبستگی خطی هستند (جدول ۲).

به منظور تکمیل مطالعات ژئوشیمی، تعداد ۸۰ نمونه سنگی به تفکیک از کانسنگ‌های سولفیدی و اکسیدی برداشت شده و با استفاده از روش دستگاهی XRF مورد تجزیه قرار گرفتند. نتایج تجزیه ۱۰ نمونه معرف از کانسنگ سولفیدی و ۱۰ نمونه معرف از کانسنگ اکسیدی در جدول ۳ ارائه شده است. بر این اساس، مقادیر متوسط عناصر FeO (wt%)، Pb (۱۲/۰۳)، MnO (۶/۲۸ wt%)، CaO (۸/۸۸ wt%)، TiO<sub>2</sub> (۳/۱۵ wt%) و در سنگ میزبان

### شیمی کانی‌های کربناته

بررسی ترکیب شیمیایی دولومیت‌ها و عناصر فرعی موجود در ساختار آن‌ها از قبیل وجود عناصر Na، Mn و Fe، یکی از راه‌های مفید در دستیابی به شرایط تشکیل سنگ میزبان و پی‌بردن به ترکیب سیال گرمایی در کانسنگ‌های یا میزبان کربناته است [۲۲، ۴۵ و ۵۷]. با توجه به ارتباط دولومیت‌ها با کانه‌سازی در یخش‌های اکسیدی و سولفیدی، تجزیه نقطه‌ای EPMA بر روی قسمت‌های مختلف دولومیت‌ها و دیگر کانی‌های کربناته انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

بر اساس این نتایج، تمرکز آهن در دولومیت‌های RD<sub>1</sub> (دولومیت‌های دور از رگه) از ۶/۸۵ تا ۹/۵۳ درصد وزنی، در دولومیت‌های RD<sub>2</sub> (دولومیت‌های مجاور رگه) از ۱۲/۵۰ تا ۱۴/۴۳ درصد وزنی و دولومیت‌های RD<sub>3</sub> (دولومیت‌های دارای منطقه‌بندی مرتبط با کانسنگ اکسیدی) از ۱/۷۵ تا ۲/۷۷ درصد وزنی، در تغییر است (جدول ۱ و شکل ۸-ب). به نظر می‌رسد اختلاف تمرکز آهن در یخش‌های مختلف دولومیت‌های دارای منطقه‌بندی، ناشی از تنوع ماهیت سیال در هنگام نهشت آن است [۵۷]. محتوای Mn نیز در دولومیت‌های RD<sub>1</sub> از ۱۲۱۰ تا ۳۰۱۰ ppm، در دولومیت‌های RD<sub>2</sub> از ۱۵۷۰ تا ۱۷۹۰ ppm و در دولومیت‌های RD<sub>3</sub> از ۳۲۰ تا ۵۴۰ ppm در تغییر بوده که رفتار آن مشابه آهن در ژئوشیمی دولومیت‌ها است (جدول ۱ و شکل ۸-پ). دولومیت‌های دریایی از آهن و منگنز فقیر و دولومیت‌های تشکیل شده در شرایط احیایی و گرمایی از آهن و منگنز غنی هستند [۲۳]. غلظت Pb نیز در دولومیت‌های RD<sub>1</sub> از زیر حد آشکارسازی تا ۵۰ ppm در

روند افزایش و کاهش عناصر در آن‌ها، نمودار تغییرات مقادیر میانگین برای ۹ عنصر معرف رسم شده است (شکل ۸). تشابه در روند تغییرات عناصر در سنگ‌های کریناته میزبان کانه‌زایی‌های سولفیدی و اکسیدی، احتمالاً گویای منشأ مشترک سنگ میزبان این کانسنگ‌ها است.

کریناته کانسنگ سولفیدی و مقادیر متوسط عناصر FeO (۷۲/۲۴ wt%) MnO (۱۲/۵۰ wt%) و CaO (۲/۱۴ wt%) و Pb (۰/۵۵ wt%) در میزبان کانسنگ اکسیدی، بدست آمده است (جدول ۳). به منظور نشان دادن نتایج حاصل از تجزیه XRF در کانسنگ‌های اکسیدی و سولفیدی و امکان مقایسه

جدول ۱. غلظت عناصر و ترکیبات اصلی و کمیاب در انواع دولومیت‌ها و کلسیت‌های زمینه با استفاده از تجزیه نقطه‌ای EPMA (ND).

مقادیر محاسبه نشده

Minerals	Fe (wt.%)	Ca (wt.%)	Mg (wt.%)	Na (ppm)	Pb (ppm)	Sr (ppm)	Mn (ppm)	CaCO <sub>3</sub> (wt.%)	MgCO <sub>3</sub> (wt.%)	FeCO <sub>3</sub> (wt.%)
RD <sub>1</sub>	9.53	18.66	6.73	10.25	50	730	3010	46.31	22.04	19.76
RD <sub>1</sub>	6.58	20.54	8.82	20.12	ND	90	1210	51.145	30.517	13.56
RD <sub>2</sub>	14.43	17.57	4.48	50.01	100	1300	1520	43.749	16.746	29.93
RD <sub>2</sub>	13.05	18.6	5.15	ND	70	310	1790	46.46	17.819	27.49
RD <sub>3</sub>	2.77	22.47	10.11	10.02	10	ND	540	56.59	34.98	5.73
RD <sub>3</sub>	1.75	22.99	11.02	10.45	ND	20	320	59.73	38.12	3.62
RD <sub>3</sub>	2.43	22.99	10.48	80.12	40	ND	460	57.24	36.26	5.03
RD <sub>3</sub>	2.64	22.09	10.06	30.72	ND	50	490	57.02	38.80	5.46
RD <sub>3</sub>	2.66	22.43	10.07	ND	ND	ND	450	55.85	34.84	5.29
RD <sub>3</sub>	0.26	22.47	10.02	ND	ND	20	470	55.95	34.66	5.50
Calcite	0.26	35.54	0.87	ND	40	10	110	9.98	3.010	0.53
Calcite	0.43	38.36	0.44	ND	10	60	190	95.51	1.52	0.89
Calcite	1.18	37.34	0.2	ND	40	ND	480	92.97	0.69	2.44
Calcite	1.21	37.37	0.18	ND	ND	ND	690	88.07	0.62	2.50

جدول ۲. ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرین-پیرسون برای عناصر موجود در ترکیب دولومیت‌ها در کانسنگ‌های اکسیدی و سولفیدی

	Ore-type	Mg	Ca	Pb	Fe	Mn	Sr
Mg	Sulfide	1.00					
	Oxide	1.00					
Ca	Sulfide	0.74	1.00				
	Oxide	0.38	1.00				
Pb	Sulfide	-0.79	0.57	1.00			
	Oxide	-0.16	-0.66	1.00			
Fe	Sulfide	-0.62	-0.99	0.60	1.00		
	Oxide	0.40	-0.67	0.47	1.00		
Mn	Sulfide	-0.80	-0.60	-0.14	0.62	1.00	
	Oxide	-0.41	-0.73	0.96	0.62	1.00	
Sr	Sulfide	0.14	0.50	0.78	-0.47	-0.26	1.00
	Oxide	0.24	0.18	-0.13	-0.15	-0.17	1.00

### دولومیت‌زایی

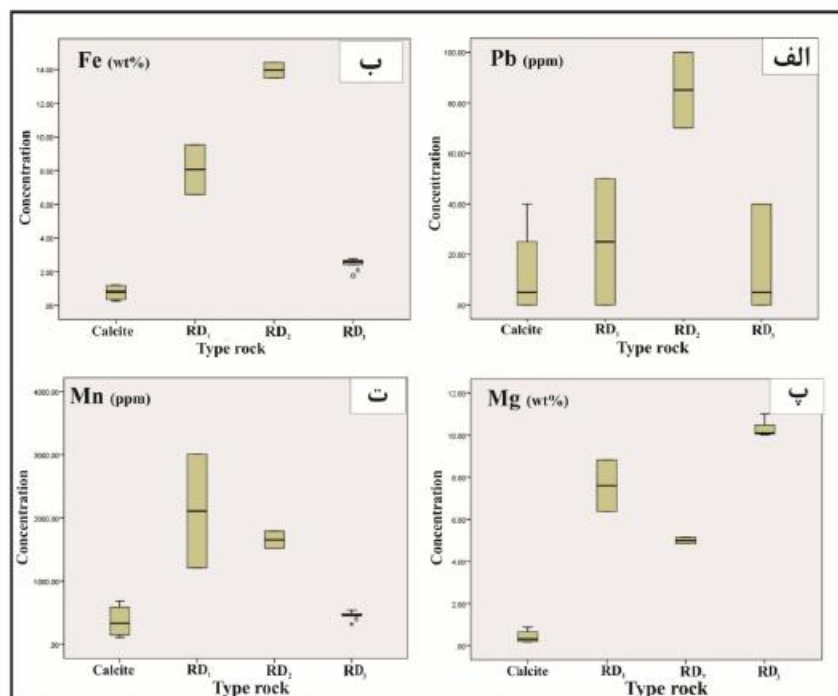
باشند، دارای پلورهای درشت‌تری هستند (شکل ۴-پ). نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی نشان داده که میزان Fe (۱۴ wt%) و Pb (۱۰۰ ppm) در دولومیت‌های RD<sub>2</sub> که در نزدیکی رگه‌های سرب شناسایی شده‌اند از دولومیت‌های RD<sub>1</sub> که به صورت جزیره‌ای در متنی از دولومیت‌های RD<sub>2</sub> قرار گرفته، بیش‌تر است (شکل ۹-الف و ب). هم‌چنین بر اساس ماتریس همبستگی، در دولومیت‌های میزبان کانسنگ سولفیدی بین عناصر مهم دولومیت‌ساز و کانه‌ساز کلسیم-سرب (R=۰/۵۷)، آهن-سرب (R=۰/۶۰)، استرانسیوم-سرب (R=۰/۷۸) و آهن-منگنز (R=۰/۶۲)، ضریب

دولومیت‌ها از نظر زمان تشکیل به دو گروه اولیه (سین‌کرتیک) و ثانویه (دی‌کرتیک) تقسیم می‌شوند [۱]. دولومیت‌های اولیه ریزپلور بوده و از نظر ژئوشیمیایی دارای عناصر Sr و Na بالا و عناصر Fe و Mn کمتری نسبت به دولومیت‌های ثانویه هستند [۱۳]. اندازه پلورهای دولومیت می‌تواند در جهت تشخیص دولومیت‌های اولیه و تأخیری به کار رود [۱۸، ۲۰، ۳۹ و ۵۶]. دولومیت‌های RD<sub>1</sub> و RD<sub>3</sub> که در مجاورت رگه‌ها و یخس‌های کانه‌دار شناسایی شده‌اند و احتمال می‌رود که تحت تأثیر سیال کانه‌ساز قرار گرفته

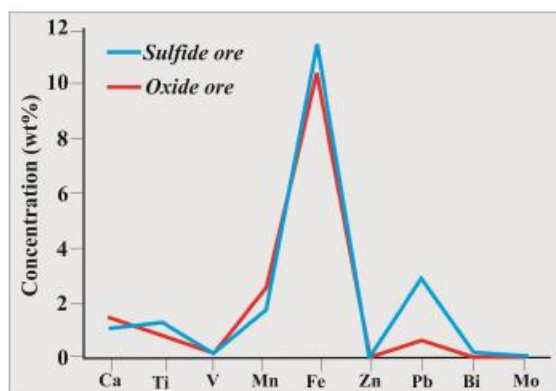


در مقابل سرب در دولومیت‌های کانسنگ سولفیدی نشان داد که آهن یا سرب و استرانسیوم همبستگی مثبت و یا منبسط و کلسیم همبستگی منفی دارد (شکل ۱۰). محاسبه همبستگی منفی بین آهن و منیزیوم ( $R = -0.62$ ) و منفی بودن روند تغییرات در نمودار دوتایی دلایلی بر جانشینی آهن به جای منیزیوم در دولومیت‌های  $RD_2$  است. از این نظر دولومیت‌های  $RD_2$  را می‌توان دولومیت‌های آهن‌دار<sup>۱</sup> محسوب کرد (شکل ۱۱). به عقیده بسیاری از پژوهشگران برای درک زمان دولومیتی‌شدن از میزان تمرکز عناصر آهن و منگنز استفاده می‌کنند که طبق آن دولومیت‌های اولیه دارای مقادیر آهن و دولومیت‌های تأخیری که در عمق بیش‌تر و به وسیله محلول‌های غیردریایی تشکیل می‌شود از محتوای آهن و منگنز بیش‌تری برخوردارند [۱۸، ۳۵ و ۴۸]. طبق شواهد ذکر شده، بالا بودن مقادیر آهن در دولومیت‌های  $RD_2$  و روند مثبت تغییرات آهن نسبت به سرب و محاسبه همبستگی مثبت بین زوج عناصر سرب-آهن، سرب-کلسیم و سرب-استرانسیوم، بازتابی از اثر کانه‌زایی بر فرآیند دولومیت‌زایی در کانسار آهن‌گران است (جدول ۲ و شکل ۱۰).

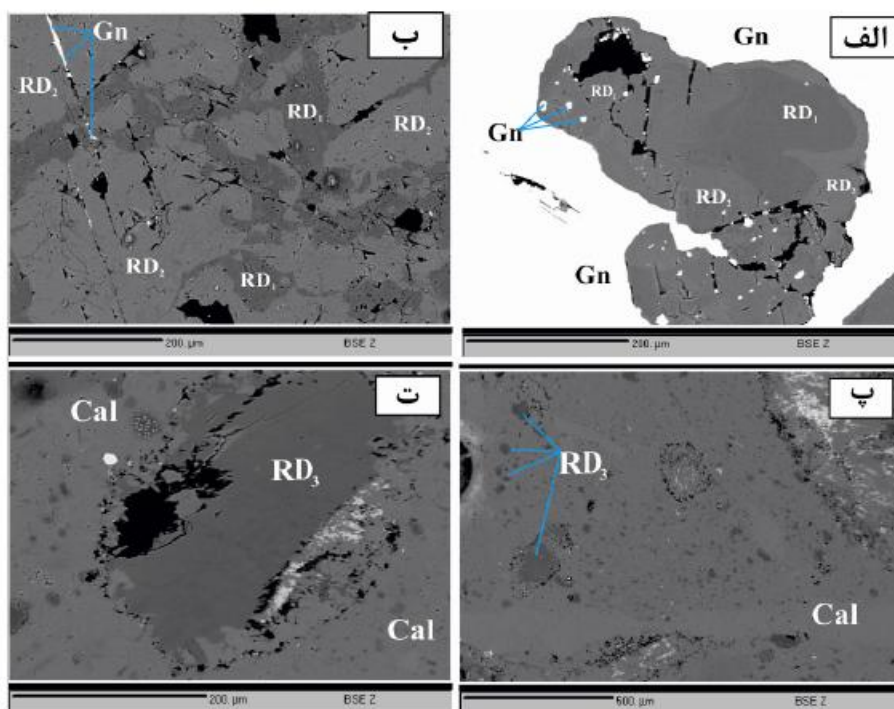
همبستگی بالایی وجود دارد (جدول ۲). بالا بودن آهن در میزان کانسنگ سولفیدی (در مقایسه با اکسیدی) می‌تواند همبستگی‌های مذکور بین سرب و آهن را توجیه کند و بازتابی از غلظت بالای آهن در سیال کانه‌ساز باشد (شکل ۸). بالا بودن سرب در دولومیت‌های  $RD_2$  نسبت به دولومیت‌های  $RD_1$  از یک طرف (شکل ۷-الف) و وجود همبستگی بالا بین سرب و عناصری مانند کلسیم، منگنز و استرانسیوم از طرف دیگر (جدول ۲)، همچنین نزدیکی دولومیت‌های  $RD_2$  به رگه‌های سرب، همگی از شواهدی است که احتمال تشکیل دولومیت‌های  $RD_2$  را از طریق تأثیر سیال کانه‌ساز تقویت می‌کند. مقایسه مقادیر آهن در داده‌های XRF گویای آنست که محتوای آهن در سنگ‌های کریاته میزان در هر دو کانسنگ مشابه است (به طور متوسط ۱۰ wt%) (جدول ۳). محتوای بالای آهن در کل حجم سنگ‌های کریاته میزان کانسنگ سولفیدی در مقایسه با اکسیدی، می‌تواند با بالا بودن میزان درصد وزنی آهن در ساختمان دولومیت‌های نوع  $RD_2$  مرتبط باشد (جدول ۱ و شکل ۷-ب). بررسی نمودارهای تغییرات آهن در مقابل منیزیوم، کلسیم و سرب و رسم نمودار استرانسیوم



شکل ۷. نمودار جعبه‌ای از تغییرات محتوای عناصر اصلی در سه نوع دولومیت. الف و ب) بالا بودن همزمان محتوای آهن و سرب در دولومیت‌های  $RD_2$  می‌تواند دلیلی بر تأثیر کانه‌زایی بر روی این دولومیت‌ها باشد. ب) دولومیت‌های  $RD_2$  در مقایسه با دولومیت‌های  $RD_1$  از منیزیوم کمی برخوردار است و ت) پراکندگی بالای منگنز در دولومیت‌های  $RD_1$



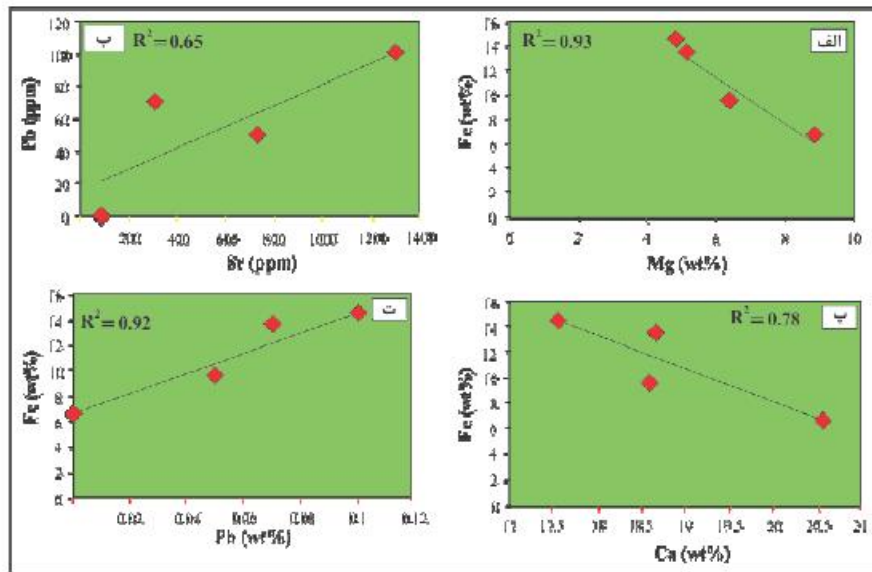
شکل ۸. نمودار مقادیر میانگین تعداد ۹ عنصر معرف در سنگ میزبان کانسنگ‌های اکسیدی و سولفیدی و روند مشابه کاهش و افزایش عناصر در آن‌ها



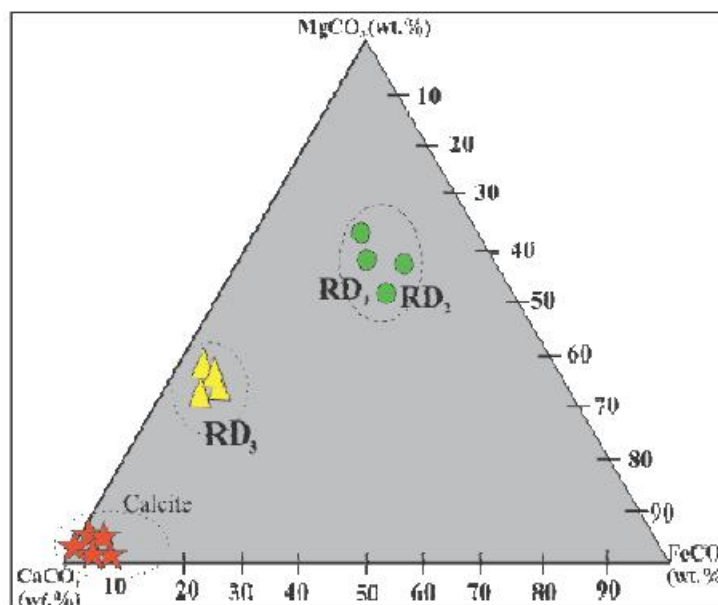
شکل ۹. تصاویر الکترونی برگشتی BSE از انواع دولومیت‌ها شامل: الف و ب) رخداد دولومیت‌های RD<sub>2</sub> در مجاورت گالن و باقی ماندن دولومیت‌های RD<sub>1</sub> به صورت جزیره در میزبان دولومیت‌های RD<sub>2</sub>. پ و ت) بلورهای درشت دولومیت RD<sub>3</sub> در زمینه کلسیت

اساسی داشته باشد. اول اینکه سیالات دولومیت‌ساز که سنگ آهک میزبان کانسنگ اکسیدی را تحت تأثیر قرار داده‌اند به علت مقاومت فیزیکی پایین فسیل‌ها و عناصر زیستی و آلومک‌ها نسبت به متن سنگ، بیش‌تر روی این قسمت‌ها تأثیر گذاشته‌اند، دوم اینکه به عقیده [۴۲] فسیل‌های دارای پوسته کلسیتی یا منیزیم بالا می‌تواند یکی از منابع تأمین کننده  $Mg^{+2}$  برای تشکیل دولومیت باشد. به احتمال زیاد پوسته فسیل‌هایی که در داخل آن‌ها دولومیت تشکیل شده دارای منیزیم بالایی هستند (شکل ۵-۵).

از نظر کانی‌شناسی مهم‌ترین ویژگی دولومیت‌های نوع RD<sub>3</sub> وجود منطقه‌بندی در قسمت‌های مختلف کانی و قرارگیری در زمینه کلسیت‌های ریزیلور به حالت شناور است (شکل‌های ۹-پ-ت و ۱۱). تفاوت در ساخت منطقه‌ای دولومیت‌ها مربوط به تغییرات متوالی شرایط فیزیکوشیمیایی (مانند pH, Eh) سیالاتی است که عامل حمل مقادیر متفاوتی از  $Mn^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$  و عناصر دیگر هستند [۲۹]. این تیپ دولومیت عموماً در قالب‌پر جای مانده‌ی خرده‌فسیل‌ها شکل گرفته‌اند (شکل ۵-۵). جانشین شدن این تیپ دولومیت در جایگاه فسیل‌ها می‌تواند دو علت



شکل ۱۰. نمودارهای دوتایی همبستگی خطی میان عناصر مختلف در کانسنگ سولفیدی. الف) آهن در مقابل منیزیم، ب) استرانسیوم در مقابل سرب، ت) آهن در مقابل کلسیم، پ) آهن در مقابل سرب



شکل ۱۱. نمودار سه تایی درصد وزنی مقادیر  $MgCO_3$ ,  $CaCO_3$  و  $FeCO_3$  که بر مبنای آن نسل‌های مختلف دولومیت از کلسیت قابل تفکیک است.

### بحث و نتیجه‌گیری

در اغلب کانسارهای فلزات پایه یا میزبان کریناکه، یخشی از رسوبات حاوی کانی دولومیت می‌باشند و برخی از آن‌ها به طور کامل از دولومیت تشکیل شده‌اند. دولومیت می‌تواند در پیش‌تر مراحل دیاژنز، یعنی یاقاصله پس از رسوب‌گذاری تا تدفین در اعماق و از آب‌هایی یا ترکیب شیمیایی مختلف (مخلوط آب‌های جوی و دریایی، آب دریا، آب‌های غیردریایی و آب‌های بسیار شور) تشکیل شود [۱]. سیالات

غنی از یون  $Mg^{+2}$  منشأ بسیاری مهمی برای تشکیل دولومیت محسوب می‌شوند. تولید منیزیم برای تشکیل دولومیت خاستگاه‌های متفاوتی دارد بطوری که پژوهشگرانی مانند [۳۴، ۴۰، ۴۵ و ۵۴] دو منبع مهم، را برای تولید منیزیم مورد نیاز، اساسی می‌دانند. یکی از مهم‌ترین منابع منیزیم، دخالت و تبدیل کانی‌های رسی مانند مونت‌موریلوتیت، ایلیت و کائولینیت در واکنش‌های رخداد دولومیت است. این مدل بیان می‌کند در اثر فرایند تبدیل و

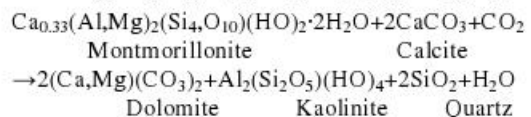


یا نوع RD<sub>1</sub> (۵) محاسبه همبستگی مثبت بین زوج عناصر سرب-آهن، سرب-کلسیم، سرب-استراتسیوم و روند افزایشی نمودارهای دوتایی بین زوج عناصر نام برده و (۶) تشابه منشأ تأمین Mg و Pb برای تشکیل کانه‌زایی سرب و دولومیت‌زایی. با کنار هم قرار دادن نحوه تشکیل کانه‌زایی سرب و کانی‌سازی دولومیت‌ها در کانسنگ سولفیدی و تلفیق شواهد بالا می‌توان نتیجه گرفت که در نتیجه کانه‌زایی، رخداد فرآیند دولومیت‌زایی پنهان و تبدیل دولومیت‌های RD<sub>1</sub> به دولومیت‌های RD<sub>2</sub> انجام شده است.

تشکیل دولومیت‌های RD<sub>3</sub> در سنگ میزبان ذخیره آهن به صورت ثانویه (شکل ۵- پ ست) می‌تواند با ماهیت ثانویه ذخیره آهن کانسار آهن‌گران در ارتباط باشد. قسمتی از کانسنگ اکسیدی آهن‌گران به احتمال زیاد توسط فرآیندهای رسوبی ایجاد شده است. بر اساس مطالعات [۶] و [۵۵]، کانسنگ اکسیدی را می‌توان یک مجموعه گوسان یا کلاهدک آهنی در نظر گرفت که همراه مجموعه‌ای از اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت و جاروسیت) در اثر هوازدگی طی غنی‌سازی سوپرژن به صورت سطحی در بخش‌های فوقانی کانسار شکل گرفته است. در بخش اکسیدی تشکیل قسمتی از کانسنگ آهن به صورت رسوبی طی دیاژنز تدفینی از یک طرف و رخداد دولومیت‌های زونه در داخل شکستگی‌های سنگ میزبان توسط انحلال فشاری و مکانیکی در مدت دیاژنز تاخیری [۳۴] از طرف دیگر می‌تواند ارتباط تشکیل دولومیت‌های RD<sub>3</sub> را با کانه‌زایی بخش اکسیدی واضح تر کند.

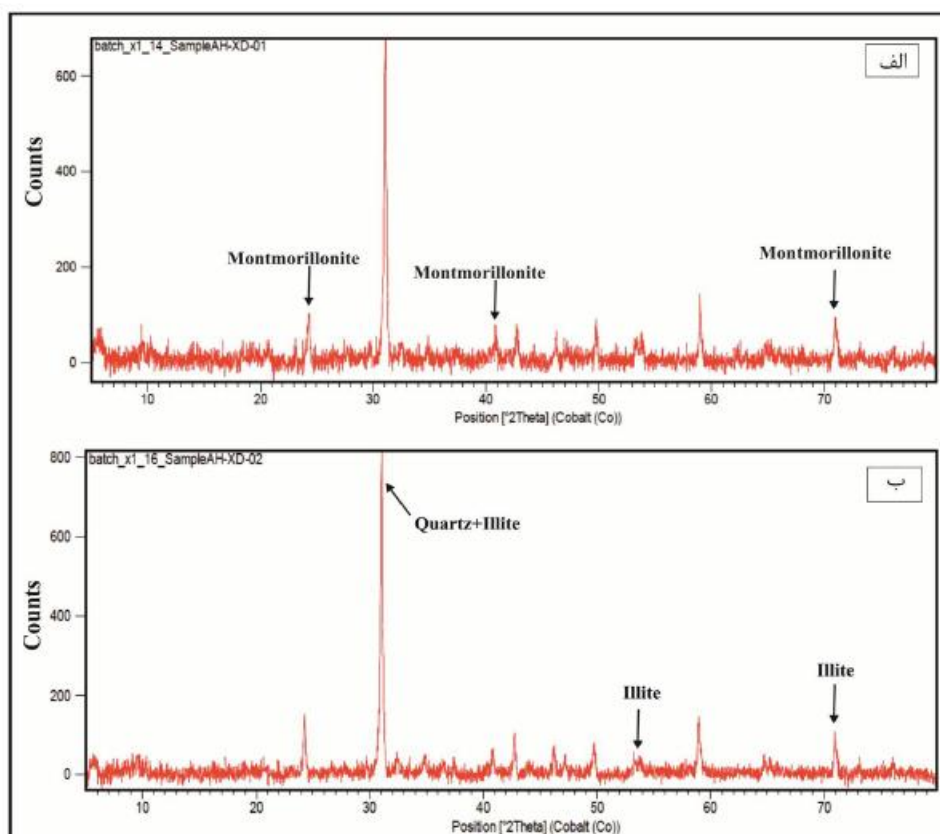
با کنار هم قرار دادن چند شاهد مهم از جمله وجود کانی‌های رسی مانند مونت‌موریلونیت در کانسنگ اکسیدی (به منظور تأمین Mg<sup>2+</sup> مورد نیاز برای دولومیت‌سازی)، وجود منطقه‌بندی یازر در دولومیت‌ها و تشابه شرایط تشکیل دولومیت‌ها زونه با ذخیره آهن در مراحل مختلف دیاژنز با توجه به نظرات [۲۹ و ۳۴] به علاوه آغشتگی‌های متعدد آهن در بخش‌های مختلف این دولومیت‌ها، همگی این نظر را تقویت می‌کند که تشکیل ذخیره آهن در داخل حوضه رسوبی بر خصوصیات دولومیت RD<sub>3</sub> تأثیر گذار بوده است. تأثیرات کانه‌زایی بر دولومیت‌زایی RD<sub>2</sub> و RD<sub>3</sub> بیش‌تر در حوضه تغییرات خصوصیتی یافت و ساختی و افزایش یا کاهش برخی از عناصر در ساختمان دولومیت‌ها در زمان تشکیل بوده است.

تغییر کانی‌های رسی، Mg<sup>2+</sup> از داخل ساختارهای اتمی صفحه‌ای مونت‌موریلونیت آزاد شده، سپس Mg<sup>2+</sup> حاصله جانشین Ca<sup>2+</sup> در کلسیت شده و باعث تشکیل دولومیت می‌شود (واکنش زیر). منبع دوم برای تولید منیزیم، تراکم شیل‌های پستر ژوراسیک و یا شورابه‌های حوضه‌ای است.



به عقیده بسیاری از محققان منشأ سیالات و فلزات مربوط به کانسارهای سرب غیرمرتبط با منابع آذرین (مانند آهن‌گران) از رسوبات عمدتاً آواری و یا شیل‌های موجود در پستر رسوبی کانسارها تأمین می‌شود. سیالات ضمن عبور از درون سنگ‌های رسوبی آواری مانند ماسه‌سنگ و شیل، فلزات موجود در سنگ را شستشو می‌دهند. این پژوهشگران تصریح می‌کنند که سرب، روی و باریم موجود در سیالات گرمایی در اثر انحلال فلدسپارپتاسیم و یا تبدیل مونت‌موریلونیت به الپیت حاصل می‌شود [۲۴، ۲۵ و ۴۴]. در کانسار آهن‌گران بر مبنای نتایج XRD در نمونه‌های تجزیه شده کانسنگ اکسیدی و سولفیدی کانی‌های الپیت و مونت‌موریلونیت مشاهده شده است (شکل ۱۲). طبق این شواهد بنظر می‌رسد در کانسار آهن‌گران فرآیندهای رخداد دولومیت‌زایی و کانه‌زایی احتمالاً منشأ یکسانی داشته‌اند. بنابراین بنظر می‌رسد مکانیسم تشکیل و منشأ فلزات در کانسار آهن‌گران و اغلب کانسارهای سرب روی یا میزبان کریئاته در محور ملایر-اصفهان سیالاتی هستند که احتمالاً فلزات را از توالی سنگ پستر قدیمی (در اینجا واحد شمشک) طی فرآیندهای کوه‌زایی جدا کرده و در زون‌های خردشده، شکستگی‌ها و امتداد مرزهای سنگی متمرکز کرده است [۵، ۶، ۱۶ و ۴۴].

بر مبنای شواهد کانه‌زایی، کانی‌شناسی، یافت و ساخت و شیمی کانی‌های کریئاته مهم‌ترین دلایل ارتباط کانه‌زایی با دولومیت‌زایی در کانسنگ سولفیدی کانسار آهن‌گران عبارت است از: (۱) همراهی دولومیت‌های RD<sub>2</sub> در مجاورت رگه‌های کانه‌دار، (۲) ماهیت ثانویه و درشت بلور بودن دولومیت‌های RD<sub>2</sub> در مقابل دولومیت‌های دیگر، (۳) بالا بودن مقادیر آهن و منگنز در ساختمان دولومیت‌های RD<sub>2</sub>، (۴) بالا بودن مقادیر آهن کل (FeO<sub>TOT</sub>) در سنگ میزبان بخش کریئاته کانسنگ سولفیدی در مقایسه با بخش اکسیدی، (۴) محتوای بالای عنصر سرب در دولومیت‌های RD<sub>2</sub> در مقایسه



شکل ۱۲. طیف‌های XRD حاصل از تجزیه کانسنگ‌های اکسیدی و سولفیدی که در آن حضور کانی‌های رسی ایلیت و مونت‌موریلونیت قابل رویت است.

جدول ۳. نتایج تجزیه XRF برای برخی از عناصر اصلی و فرعی در سنگ میزبان کانسنگ‌های اکسیدی و سولفیدی (ND: مقادیر اندازه‌گیری نشده)

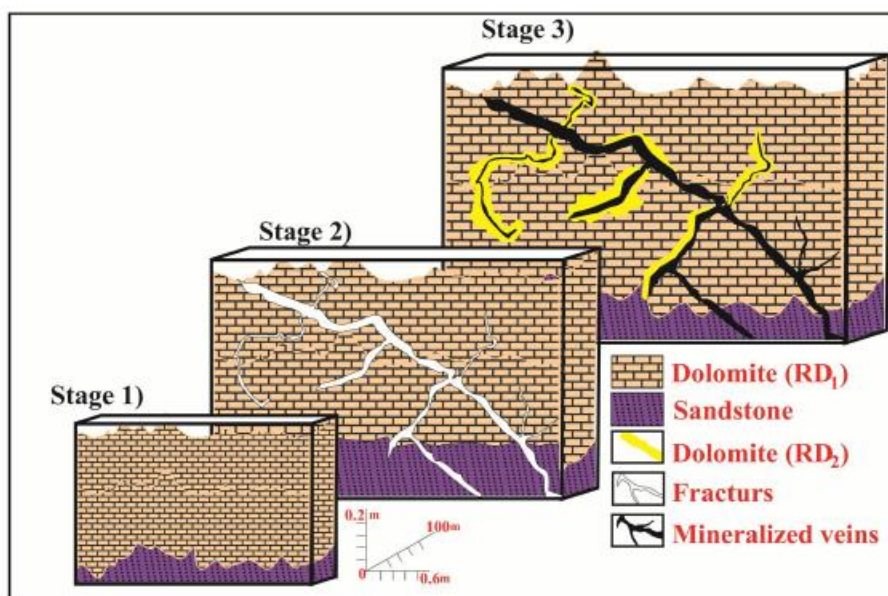
Sample no.	Ore-type	FeO wt%	CaO wt%	MnO wt%	TiO <sub>2</sub> wt%	V wt%	Zn wt%	Pb wt%	Bi wt%	Mo wt%	Ag ppm	Se ppm
Ah-S03	Sulfide	12	8.88	1.62	1.05	0.205	0.03	2.92	0.09	0.02	10.78	820
Ah-S05	Sulfide	11	0.61	0.27	0.19	0.003	1.17	3.2	0.11	0.03	20.03	612.62
Ah-S07	Sulfide	12.3	1.71	3	2.85	0.422	0.06	3	0.11	0.02	13.74	446.01
Ah-S10	Sulfide	12.4	2.63	2.83	1.64	0.277	0.03	2.18	0.08	0.02	2.258	672.42
Ah-S12	Sulfide	11	0.80	0.14	0.28	ND	0.1	2.44	0.08	0.04	10.13	651.45
Ah-S03	Sulfide	30.3	2.92	4.74	0.56	0.15	0.01	2.35	0.09	0.03	ND	1265.6
Ah-S05	Sulfide	38.4	1.72	2.74	0.22	0.02	0.01	3.16	0.11	0.04	10.24	1601.1
Ah-S15	Sulfide	11.7	2.27	4.09	4.64	0.54	0.08	2.56	0.09	0.01	19.95	1132.2
Ah-S45	Sulfide	13.2	0.28	3.32	1.64	0.25	0.25	3.04	0.1	0.02	11.79	884.07
Ah-S45	Sulfide	11.1	0.18	0.93	5.70	0.66	0.03	2.4	0.09	0.01	13.75	674.17
Ah-O34	Oxide	12.9	2.07	2.61	1.44	0.24	0.03	0.28	0.01	0.02	5.94	373.0
Ah-006	Oxide	13.4	2.66	8.72	1.69	0.26	0.07	0.09	ND	0.02	4.83	ND
Ah-O09	Oxide	12.8	0.89	4.31	2.83	0.41	0.02	0.09	0.01	0.02	6.93	25.63
Ah-O11	Oxide	13	0.73	2.62	1.59	0.25	0.06	0.09	0.01	0.02	6.66	261.16
Ah-O13	Oxide	13.6	1.85	3.66	2.94	0.39	0.03	1.65	0.08	0.02	12.04	664.27
Ah-O04	Oxide	12.9	2.91	2.3	1.14	0.20	0.01	0.37	0.02	0.02	8.85	ND
Ah-O02	Oxide	12.9	2.69	6.35	2.41	0.32	0.01	0.09	ND	0.02	4.87	ND
Ah-O25	Oxide	13	1.40	3.03	2.60	0.35	0.44	0.09	ND	0.02	10.25	205.82
Ah-O12	Oxide	13.2	0.56	7.42	0.88	0.12	0.15	0.85	0.04	0.03	6.25	659.22
Ah-O12	Oxide	13.1	0.06	2.69	0.52	0.03	0.01	0.09	0.01	0.03	7.23	173.39

کریناته و ژئوشیمی سنگ میزبان مشخص شد که دولومیت‌های RD<sub>2</sub> و RD<sub>3</sub> هم‌زمان و یا کمی بعد از کانه‌زایی تشکیل شده‌اند و از مصادیق مهم دگرسانی دولومیتی‌شدن در ذخایر معدنی محسوب می‌شوند. به عقیده برخی از پژوهشگران از جمله [۲۳ و ۵۰] وجود دگرسانی‌های دولومیتی در کانسارهای سرب و روی یا میزبان کریناته در صورتی که با داده‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، مطالعات صحرایی و نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی منطبق شوند می‌تواند به عنوان یک ابزار اکتشافی از آن استفاده کرد.

### سیاسگزاری

از مسئولین محترم شرکت معادن سرمک و مدیریت مجتمع معدنی آهنگران به خصوص مهندس حسینقلی و مهندس خاکباز که بستر لازم را برای بازدیدهای صحرایی و نمونه‌برداری فراهم آورده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود. این پژوهش از طرف دانشگاه بوعلی‌سینا و سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) مورد حمایت مالی قرار گرفته است. بدین وسیله از مدیریت و کارشناسان بخش کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران نیز تقدیر و تشکر می‌شود.

بنابراین یا جمع‌بندی شواهد ذکر شده می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که در بخش سولفیدی دولومیت‌زایی در دو مرحله انجام شده در مرحله اول قبل از کانه‌زایی تغییراتی در سنگ میزبان رخ داده است که به آماده شدن زمینه<sup>۱</sup> معروف است (شکل ۱۳-۱). این تغییرات سبب بالا رفتن توان واکنش سنگ میزبان در برابر محلول کانه‌دار، افزایش تراوایی و تخلخل شده است. در کانسار آهنگران دولومیت‌های RD<sub>1</sub> متعلق به این مرحله است. [۴۴] بر این عقیده است که آماده شدن زمینه شامل مواردی مثل کارستی‌شدن، یرشی‌شدن شیمیایی، شکستگی‌های ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی و انحلال یا کارست‌های گرمایی می‌شود (شکل ۱۳-۲). بعد از نفوذ سیال کانه‌ساز در میزبان دولومیتی واکنش سیال با میزبان کریناته، باعث تبدیل دولومیت‌های RD<sub>1</sub> به RD<sub>2</sub> می‌شود. البته این تبدیل‌شدگی باعث تغییرات فابریک و اندکی شیمی کانی کریناته شده است (شکل ۱۳-۳). در تحلیل چگونگی تشکیل دولومیت‌های RD<sub>2</sub> و RD<sub>3</sub> شواهد ارائه شده، ثابت می‌کند این دولومیت‌ها تحت تأثیر مستقیم یا غیر مستقیم کانه‌زایی قرار گرفته‌اند و اطلاق دگرسانی دولومیتی می‌تواند توصیف صحیحی برای این دولومیت‌ها باشد. با جمع‌بندی مطالب گفته شده و بر مبنای شواهد کانی‌شناسی، شیمی کانی‌های



شکل ۱۳. مدل شماتیک از سطح مقطع کانی‌سازی در فراز تونل ۱۵-۱۰ در کانسنگ سولفیدی کانسار آهنگران. الف) تشکیل دولومیت‌ها نوع اول در بخش بالایی افق ماسه‌سنگی (قبل از کانه‌زایی). ب) رخداد شکستگی‌های متعدد در سنگ میزبان دولومیتی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی و پ) نفوذ سیال کانه‌ساز در داخل شکستگی‌ها و رخداد دگرسانی دولومیتی (پس از کانه‌زایی)



## منابع

- [۱۳] مرادپور، م.، آدابی، م. (۱۳۸۶) پتروگرافی و ژئوشیمی دولومیت‌های کرتاسه زیرین خاور اصفهان. مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۱، (۱۵) ۲۵.
- [۱۴] مقدوری، ا.، پور احمدی، م.، نیاسری، (۱۳۸۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی آهنگران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. شرکت معادن سرمک.
- [۱۵] نیازی، س. (۱۳۹۲) تحلیلی ساختاری زمین‌شناسی معدن آهنگران. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه تربیت‌مدرس، ۱۴۵ صفحه.
- [۱۶] وفاپای‌زاد، معصومه (۱۳۹۲) مطالعه سیالات درگیر و ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد کانسار سرب و روی آهنگران ملایر. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، ۱۲۰ صفحه.
- [17] Abidi, R., Slim-Shimi, N., Somarin, A., Henchiri, M (2010) Mineralogy and fluid inclusions study of carbonate-hosted Mississippi valley-type Ain Allega Pb-Zn-Sr-Ba ore deposit, Northern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 57(3), 262-272.
- [18] Adabi, M. H (1997) Sedimentology and geochemistry of Upper Jurassic (Iran) and Precambrian (Tasmania) carbonates. PhD diss., University of Tasmania.
- [19] Aghanabati, A (1998) Major sedimentary and structural units of Iran (map). *Geosciences*, 7, 29-30.
- [20] Amthor, J. E., & Friedman, G. M (1991) Dolomite-rock textures and secondary porosity development in Ellenburger Group carbonates (Lower Ordovician), west Texas and southeastern New Mexico. *Sedimentology*, 38(2), 343-362.
- [21] Berberian, M., & King, G (1981) Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2), 210-265.
- [22] Bouch, J. E., Naden, J., Shepherd, T. J., McKervey, J. A., Young, B., Benham, A. J., & Sloane, H. J (2006) Direct evidence of fluid mixing in the formation of stratabound Pb-Zn-Ba-F mineralisation in the Alston Block, North Pennine Orefield (England). *Mineralium Deposita*, 41(8), 821-835.
- [23] Cao, J., Hu, W., Yao, S., Zhang, Y., Wang, X., Zhang, Y., & Huang, Z (2007) Carbon, oxygen and strontium isotope composition of calcite veins in the carboniferous to Permian source sequences of the Junggar Basin: implications on petroleum fluid migration. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(5), 722.
- [۱] آدابی، م.، ح. (۱۳۸۳) ژئوشیمی رسوبی، انتشارات زمین آراین، ۴۴۸ صفحه.
- [۲] بازرگانی، ک.، مهرابی، ربیعی، م. (۱۳۸۹) تأثیر بستر کریناته در شکل‌گیری کانسارهای سرب و روی شمال باختر شهپیرزاد، البرز مرکزی، ایران. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال ۱۸، شماره ۱، صفحه ۵۳-۶۶.
- [۳] جزئی، م.، شهاب‌پور، ج. (۱۳۸۹) بررسی خصوصیات کانی‌شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی معدن سرب نخلک، اصفهان. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره دو، صفحه ۱۳۵-۱۵۱.
- [۴] جعفریان، م.، زمانی، پ.، سهیلی، م. (۱۹۶۷) نقشه زمین‌شناسی "۱:۱۰۰۰۰۰" ملایر، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران.
- [۵] حسین‌خانی، ا.، ملاصلحی، ف. (۱۳۹۳) مطالعات کانی‌شناسی سرب و نقره و بررسی‌های ایزوتوپی سرب در معدن آهنگران، ملایر. فصلنامه علوم‌زمین، شماره نود و چهار، صفحه ۳۵۹-۳۶۸.
- [۶] حیاتی، س. (۱۳۹۴) مطالعه خصوصیات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی کانه‌های نقره‌دار و کانسنگ اکسیدی کانسار آهنگران ملایر. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، ۱۸۰ صفحه.
- [۷] درویش‌زاده، م. (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران. انتشارات امیرکبیر، ۴۳۲ صفحه.
- [۸] دلاور، س.، رسا، ا.، لطفی، م.، بورگ، گ.، رشید نژاد عمران، ن.، افضل، پ. (۱۳۹۱) رخساره‌های کانه‌دار کانسار روی سرب (نقره) تنگ‌دزان در توالی کریناته ژوراسیک کرتاسه، بوبین میان‌دشت (اصفهان). مجله علوم، سال ۲۳، شماره ۹۱، صفحه ۷۷-۸۸.
- [۹] رسا، ا.، کاظمی مهرنیا، ا. (۱۳۸۴) کانسارهای فلزات پایه با میزان سنگ‌های کریناتی، انتشارات روز بهان.
- [۱۰] شمسی‌پور، ر.، کرمانی، ن.، باقری، ه. (۱۳۹۰) مطالعه ایزوتوپی و زمین‌دماسنجی کانسار سرب کهرویه (جنوب خاور شهرضا). مجله پترولوژی، سال اول، شماره چهارم، صفحه ۳۵-۴۴.
- [۱۱] قربانی، م. (۱۳۸۶) زمین‌شناسی اقتصادی (ذخایر معدنی و طبیعی ایران)، انتشارات آراین زمین، ۴۹۳ صفحه.
- [۱۲] ملاصلحی، ف.، میرنژاد، ح. (۱۳۸۹) مقایسه ترکیب ایزوتوپی سرب در کانسار کوه سورمه با برخی از کانسارهای سرب و روی ایران مرکزی و بررسی نقش فرورانش نئوتتیس در تحرک مجدد سرب ایران مرکزی. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۸ شماره ۱، صفحه ۱۱-۱۷.

- [37] Leach, D. L., & Sangster, D. F (1993) Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. Geological Association of Canada Special Paper, 40, 289–314.
- [38] Leach, D., Sangster, D., Kelley, K., Large, R. R., Garven, G., Allen and C., Walters, S. G (2005) Sediment-hosted lead-zinc deposits: A global perspective. *Economic Geology*, 100, 561–607.
- [39] Lee, Y. I., & Friedman, G. M (1987) Deep-burial dolomitization in the Ordovician Ellenburger Group carbonates, west Texas and southeastern New Mexico. *Journal of Sedimentary Research*, 57(3), 544–557.
- [40] McHargue, T. R., & Price, R. C (1982) Dolomite from clay in argillaceous or shale-associated marine carbonates. *Journal of Sedimentary Research*, 52(3), 873–886.
- [41] Mukhopadhyay, J., Chanda, S. K., Fukuoka, M., & Chaudhuri, A. K (1996) Deep-water dolomites from the Proterozoic Penganga Group in the Pranhita-Godavari Valley, Andhra Pradesh, India. *Journal of Sedimentary Research*, 66(1), 223–230.
- [42] Navarro-Ciurana, D., Codina-Miquela, R., Cardellach, E., Gómez-Gras, D., Grier, A., Daniele, L., & Corbella, M (2013) Dolomitization Related to Zn-(Pb) Deposits in the Río Mundo Area (Riópar, Albacete). *Macla*, (17), 79–80.
- [43] Paradis, S., Hannigan, P., & Dewing, K (2007) Mississippi Valley-type lead-zinc 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*, 5, 185–203.
- [44] Pirajno, F (2009) *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer.
- [45] Pires, F. R. M., Mendes, C. L. O., & Miano, S. C (2004) Fluorite mineralization related to the dolomitization: an equilibrium study of the Proterozoic stratabound carbonate Macaia-Ijaci Basin, Lavras, Minas Gerais, Brazil. *Anuário Do Instituto de Geociências*, 27, 11–26.
- [46] Rajabi, A., Rastad, E., & Canet, 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(14), 1649–1672.
- [24] Chaudhuri, S., Broedel, V., & Clauer, N (1987) Strontium isotopic evolution of oil-field waters from carbonate reservoir rocks in Bindley field, central Kansas, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(1), 45–53.
- [25] Coveney, R. M., & Glascock, M. D (1989) A review of the origins of metal-rich Pennsylvanian black shales, central USA, with an inferred role for basinal brines. *Applied Geochemistry*, 4(4), 347–367.
- [26] Dickson, J. A. D (1965) A modified staining technique for carbonates in thin section. *Nature*, 205(587), 587–587.
- [27] Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional textures.
- [28] Gao, Ga and Land, L. S (1991) Early Ordovician cool creek dolomite, middle arbuckle group, slick hills, SW Oklahoma, USA: origin and modification. *Journal of Sedimentary Research*, 61(2), 542–542.
- [29] Ghazban, F., McNutt, R. H., & Schwarcz, H. P (1994) Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan area, west-central Iran. *Economic Geology*, 89(6), 1262–1278.
- [30] Gregg, J. M., & Sibley, D. F (1984) Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture. *Journal of Sedimentary Research*, 54(3), 908–931.
- [31] Guilbert, J. M., & Park Jr, C. F (2007) *The geology of ore deposits*. Waveland Press.
- [32] Héroux, Y., Chagnon, A., & Savard, M (1996) Organic matter and clay anomalies associated with base-metal sulfide deposits. *Ore Geology Reviews*, 11(1), 157–173.
- [33] Kahle, C. F (1965) Possible roles of clay minerals in the formation of dolomite. *Journal of Sedimentary Research*, 35(2), 448–453.
- [34] Kendall, A. C (1977) Origin of dolomite mottling in Ordovician limestones from Saskatchewan and Manitoba. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 25(3), 480–504.
- [35] Land, L. S (1986) Environments of limestone and dolomite diagenesis: some geochemical considerations. *Colorado School of Mines Quarterly*, 81(4), 26–41.
- [36] Leach, D. L., Bradley, D. C., Huston, D., Pisarevsky, S. A., Taylor, R. D., & Gardoll, S. J (2010) Sediment-hosted lead-zinc deposits in Earth history. *Economic Geology*, 105(3), 593–625.

- massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt. *Ore Geology Reviews*, 53, 181–203.
- [56] Ye, Q., & Mazzullo, S. J (1993) Dolomitization of lower Permian platform facies, Wichita Formation, north platform, Midland basin, Texas. *Carbonates and Evaporites*, 8(1), 55–70.
- [57] Zhang, J., Hu, W., Qian, Y., Wang, X., Cao, J., Zhu, LiQ, Xie X (2009) Formation of saddle dolomites in Upper Cambrian carbonates, western Tarim Basin (northwest China): Implications for fault-related fluid flow. *Marine and Petroleum Geology*, 26(8), 1428–1440.
- [47] Randell, R. N., Héroux, Y., Chagnon, A., & Anderson, G. M (1997) Organic matter and clay minerals at the Polaris Zn-Pb deposit, Canadian Arctic Archipelago. *Carbonate-Hosted Lead-Zinc Deposits*. Society of Economic Geologists Special Publication, 4, 320–329.
- [48] Rao, C. P (1996) Elemental composition of marine calcite from modern temperate shelf brachiopods, bryozoans and bulk carbonates, eastern Tasmania, Australia. *Carbonates and Evaporites*, 11(1), 1–18.
- [49] Reichert, J., & Borg, G (2008) Numerical simulation and a geochemical model of supergene carbonate-hosted non-sulphide zinc deposits. A Special Issue Devoted to Nonsulfide Zn-Pb Deposits, 33(2), 134–151. <http://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.02.006>
- [50] Sass-Gustkiewicz, M., Dzulynski, S., & Ridge, J. D (1982) The emplacement of zinc-lead sulfide ores in the Upper Silesian District; a contribution to the understanding of mississippi valley-type deposits. *Economic Geology*, 77(2), 392–412.
- [51] Shingaly, W. S., Al-Juboury, A. I., & Elias, E. M (2014) Dolomite textures in the Upper Cretaceous carbonate-hosted Pb-Zn deposits, Zakho, Northern Iraq. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(8), 3163–3174.
- [52] Srinivasan, K., Walker, K. R., & Goldberg, S. A (1994) Determining fluid source and possible pathways during burial dolomitization of Maryville Limestone (Cambrian), Southern Appalachians, USA. *Sedimentology*, 41(2), 293–308.
- [53] Stampfli, G. M., & Borel, G. D (2002) A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1), 17–33.
- [54] Sternbach, C. A., & Friedman, G. M (1984) Ferroan carbonates formed at depth require porosity well-log correction: Hunton Group, deep Anadarko Basin (Upper Ordovician to lower Devonian) of Oklahoma and Texas: Transaction of Southwest section: Am. Assoc. Petrol. Geology, 68(1) 167–17.
- [55] Velasco, F., Herrero, J. M., Suárez, S., Yusta, I., Alvaro, A., & Tornos, F (2013) Supergene features and evolution of gossans capping