



کانی‌شناسی و زمین‌شیمی زینسین‌دولومیت در کانسار سرب و روی بهرامتاج یزد، ایران مرکزی

کاظم قلی‌زاده*^۱، ایرج رسا^۱، محمد یزدی^۱، ماریا بونی^۲

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- گروه زمین‌فیزیک و آتش‌فشان‌شناسی، دانشگاه نایل ایتالیا

(دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۸، نسخه نهایی: ۹۸/۲/۱۴)

چکیده: کانسار سرب و روی بهرامتاج در ۹۰ کیلومتری شمال غرب شهر یزد و در پهنه زمین‌شناسی ایران مرکزی واقع است. کانی‌سازی سرب-روی در سنگ میزبان آهک‌های دولومیتی پالئوزوئیک تشکیل شده است. در این پژوهش، زینسین‌دولومیت به عنوان یکی از آثار مهم فرایند دگرسانی همراه با کانی‌سازی بررسی شده است. زینسین‌دولومیت بوسیله مقادیر متفاوتی از عنصر روی و مقادیر کمتری از عناصر سرب، مس و کادمیوم در شبکه آن مشخص شده است. بررسی زینسین‌دولومیت بوسیله دستگاه تجزیه تفریق گرمایی نشان می‌دهد که با افزایش روی در شبکه دولومیت، یک کاهش قابل توجه در نخستین دمای واکنشی گرماگیر دولومیت رخ می‌دهد. جانیشینی دولومیت بوسیله زینسین‌دولومیت برونزاد به عنوان قسمتی از فرایند چندمرحله‌ای کانی‌سازی در معدن بهرامتاج شناخته شده است که با پیشرفت فرایند تشکیل زینسین‌دولومیت شروع و با دولومیت‌زدایی مراحل ابتدایی ادامه یافته و سرانجام منجر به تشکیل کانی‌های غیرسولفیدی روی مانند اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت شده است.

واژه‌های کلیدی: زینسین‌دولومیت؛ کانی‌سازی سرب و روی؛ بهرامتاج؛ یزد؛ ایران مرکزی.

مقدمه

هیدروژینیکیت و در اثر اکسایش کانی‌های اولیه سولفیدی [۵-۸] یا از تمرکز کانی‌های روی در کارست‌ها و حفره‌ها شکل می‌گیرد [۹].

بیش از ۳۰۰ کانسار و رخداد سرب و روی با سنگ میزبان رسوبی در ایران گزارش شده است [۱۰، ۱۱]. این کانسارها شامل رسوبی برون‌دمی، نوع ایرلندی و نوع دره میسی‌سی‌پی هستند که در سنگ‌های آواری و کربناتی به وجود آمده‌اند [۱۲-۱۴]. بعضی از این کانسارها شامل کانی‌های برونزاد غیرسولفیدی هستند که بخش بزرگی از منابع سرب و روی ایران را تشکیل می‌دهند [۷، ۱۰]. ایران مرکزی یکی از مهمترین مناطق دارای کانسارهای غیرسولفیدی سرب و روی در ایران هست و در حال حاضر کانسارهای بزرگی مانند مهدی

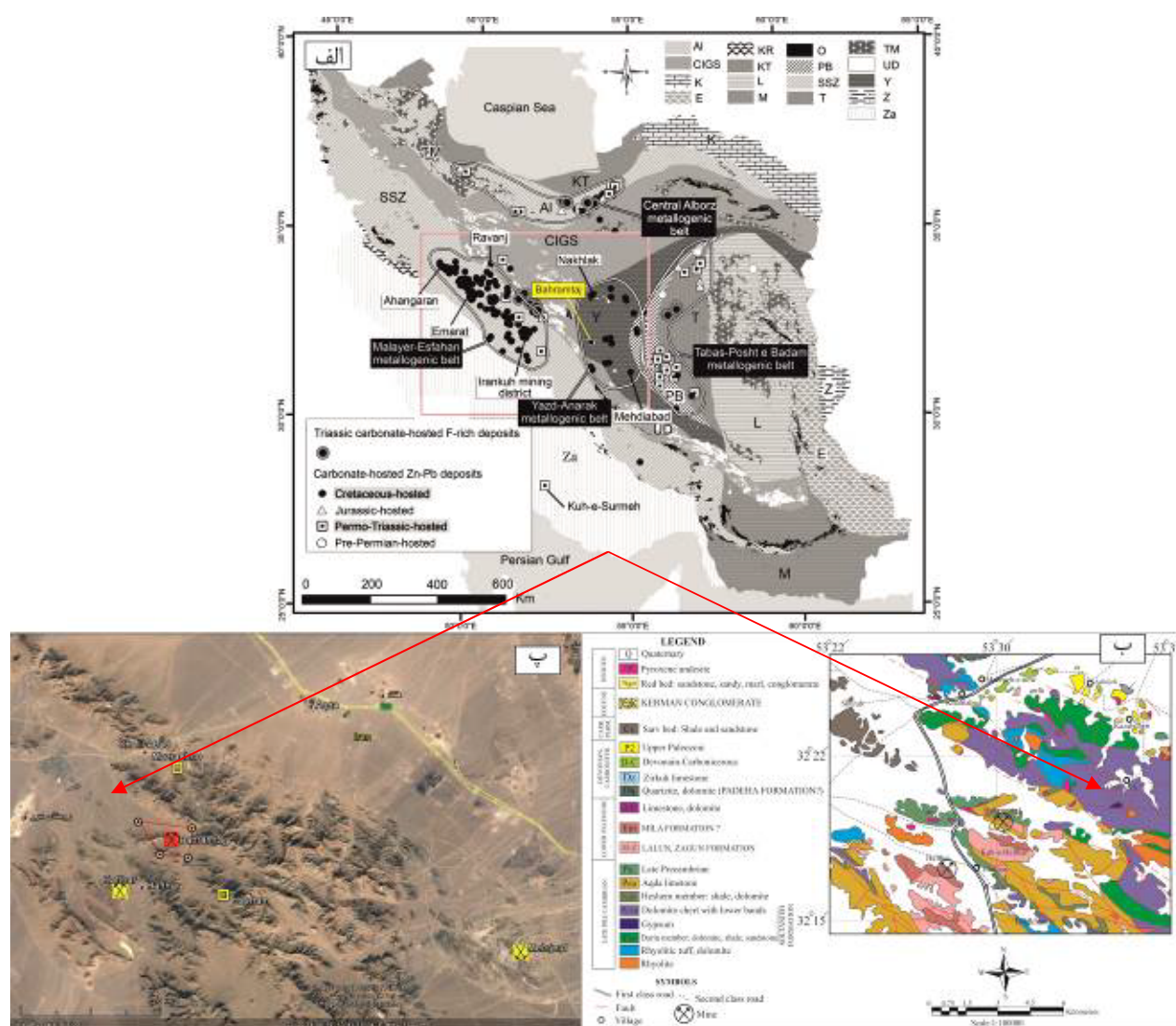
کانسارهای روی و سرب غیرسولفیدی گروهی از کانسارها هستند که اغلب از کانی‌های سیلیکاتی و کربناتی روی و سرب تشکیل شده و بیشتر از اکسایش کانسارهای روی و سرب سولفیدی ایجاد می‌شوند [۱-۳]. تقسیم‌بندی‌های متعددی در این کانسارها توسط زمین‌شناسان مختلف صورت گرفته است، از جمله تقسیم‌بندی آنها به دو گروه اصلی درونزاد و برونزاد که بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و زایشی است [۴، ۵]. نهشته‌های غیرسولفیدی روی از نوع درونزاد وابسته به سیال‌های گرم بوده و کانی‌های ویلمیت، فرانکلینیت و زینیکیت معمول‌ترین کانی‌های این منابع هستند، در حالی که نوع برونزاد اغلب همراه با کانی‌های همی‌مورفیت، اسمیت‌زونیت و

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۶۷۰۲۰۵۱، نمابر: ۰۲۶۳۴۷۶۲۲۷۲، پست الکترونیکی: k_gholizadeh@sbu.ac.ir

کامبرین وجود دارند که فعال و در حال استخراج هستند [۲۳-۲۵] (شکل های ۱ الف و پ).

با توجه به گستردگی سنگ های کربناتی که پتانسیل میزبانی کانسارهای روی غیرسولفیدی (برونزاد و درونزاد) را دارند، در این پژوهش با بررسی سنگ های کربناتی از نوع زینسین دولومیت ها که اغلب همراه با مناطق کانی سازی غیرسولفیدی روی و سرب هستند، ویژگی های زمین شیمیایی و ارتباط آنها با دولومیت های اولیه و همچنین کانی های غیرسولفیدی روی و سرب تعیین شود.

آباد، ایرانکوه، نخلک و کوشک در این ناحیه فعال هستند [۱۵]. در ایران مرکزی، سنگ های کربناتی با سن کرتاسه مانند ایرانکوه نقش مهمی به عنوان میزبان کانی زایی سرب و روی دارند [۱۶-۱۹]. سنگ میزبان کانی سازی در کانسار سرب نخلک و ناحیه فلز زایی کمربند ملایر- اصفهان مانند معدن کوه کلنگه نیز کربنات های کرتاسه پسین هستند [۲۰-۲۲]، اما کانسارهای مهم دیگری مانند کانسارهای سرب و روی کوشک در شرق شهرستان بافق، ندوشن در جنوب غرب ندوشن، هفتهر و بهرامتاج در شمال غرب اردکان، مربوط به سن پرکامبرین-



شکل ۱ الف) جایگاه کانسار بهرامتاج بر نقشه پهنه های زمین ساختی ایران، ب) نقشه ساده شده زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ عقدا و سرو بالا [۳۳]، [۳۴] و جایگاه کانسار بهرامتاج بر آن و پ) تصویر نرم افزار گوگل ارث از منطقه مورد بررسی و جایگاه کانسار بهرامتاج.

اگرچه وجود زینسین دولومیت در معادن سرب و روی با سنگ میزبان دولومیتی و همراهی آن با کانی‌های غیرسولفیدی در نقاط مختلف دنیا مانند جبالی در یمن، یانکو در پرو و همچنین چند معدن مختلف سرب و روی در منطقه ساردنیا در ایتالیا گزارش شده است [۲۶-۲۹]، اما اطلاعات بسیار کمی از نظر ساختاری و یا زمین شیمیایی در ارتباط با زینسین-دولومیت‌ها وجود دارد. با وجود معادن مختلف سرب و روی در ایران، پژوهش‌های خیلی کمی پیرامون زینسین دولومیت‌ها و همچنین کانی‌های وابسته مانند مینرکوردیت $(CaZn(CO_3)_2)$ انجام شده است. این کانی‌ها معمولاً در شرایط معمول تشکیل کربنات‌ها، جزء کانی‌های نیمه پایدار به شمار می‌روند [۳۰]. با توجه به ارتباط نزدیک این نوع دولومیت‌ها با کانی‌های غیرسولفیدی، شناسایی و بررسی آنها افزون بر معرفی این نوع دولومیت‌ها، به احتمال زیاد منجر به افزایش دقت وسعت مناطق اکتشافی می‌شود.

جایگاه جغرافیایی و زمین شناسی منطقه بهرامتاج

کانسار سرب و روی بهرامتاج در ۹۰ کیلومتری شمال غرب یزد و ۱۰ کیلومتری جنوب غرب عقدا واقع است. از نظر جایگاه زمین‌شناسی، کانسار بهرامتاج در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ناپین و ۱:۱۰۰۰۰۰ عقدا و سرو بالا (بخش غربی منطقه در ۱:۱۰۰۰۰۰ عقدا و بخش شرقی در ۱:۱۰۰۰۰۰ سرو بالا) قرار دارد (شکل ۱ ب). در نقشه‌های زمین‌شناسی، مولفان سنگ‌های رخنمون یافته در معدن را به سازندهای عقدا، لالون و واحدهای پرکامبرین تا کامبرین نسبت داده‌اند.

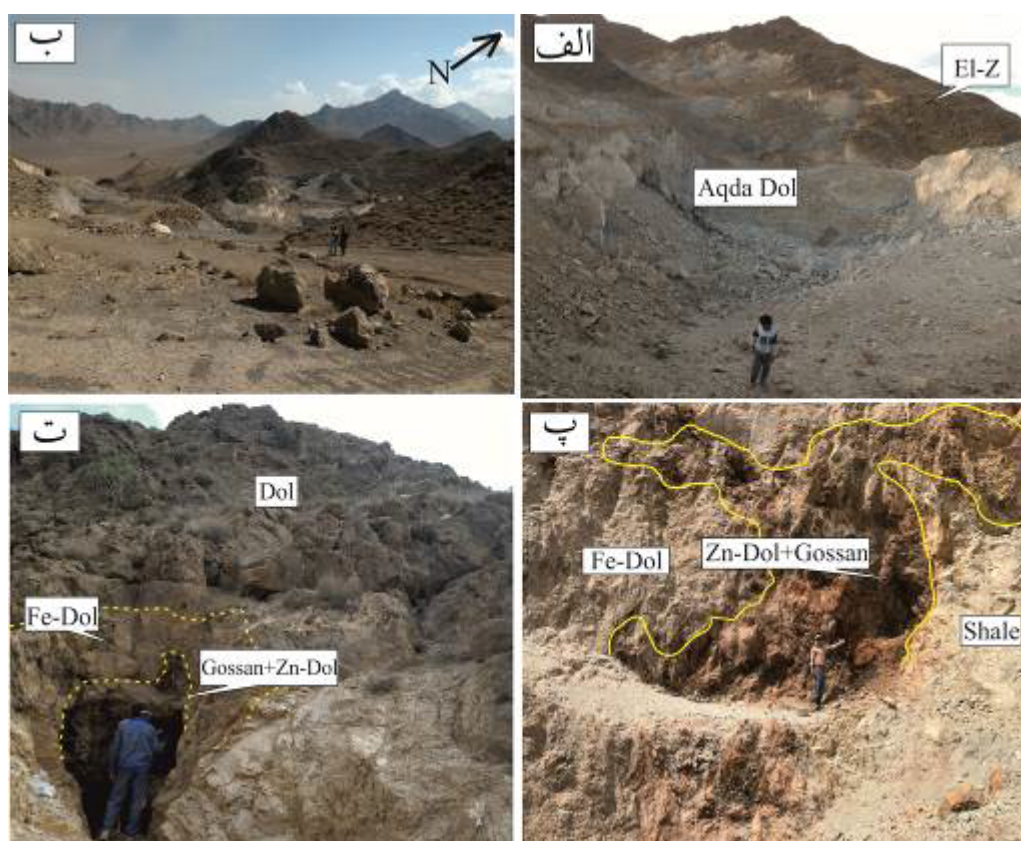
منطقه مورد بررسی از نظر پهنه‌بندی ساختاری و زمین شناسی در پهنه ایران مرکزی و در بلوک یزد قرار دارد (شکل ۱ الف) [۳۱]. از ویژگی‌های زمین‌ساختی این ناحیه وجود قطعه-های چین‌خورده است که دستخوش حرکات زمین ساختی متعدد و به ویژه فازهای کوهزایی آلپین شده‌اند. قطعه‌های زمین‌ساختی موجود در ناحیه با توالی زمین‌شناسی و الگوی ساختاری ویژه خود از نظر تاریخچه زمین‌شناسی متفاوت هستند و رخداد پدیده‌هایی چون دگرگونی و فعالیت ماگمایی در هر یک از زیر پهنه‌ها سرگذشت متفاوتی داشته‌اند. بررسی ساختارهای اصلی شامل گسل‌ها و چین‌ها در ناحیه مورد بررسی نشان می‌دهد که ساختارهای با روند شمال غرب- جنوب شرق مهم ترین ساختارهای این منطقه هستند و ساختارهای با روندهای دیگر (مثل تاقدیس بهرامتاج) بر آن‌ها اثر گذاشته‌اند [۳۲].

مهمترین واحدهای سنگی منطقه شامل سری سنگ چینه-ای دزو، سنگ آهک عقدا، سازند زاگون و سازند ماسه سنگی لالون هستند. سری سنگ چینه‌ای دزو شامل مجموعه‌ای از گدازه‌های تراکیتی تا ریولیتی، توفریولیتی با میان لایه‌های دولومیتی و سن کامبرین پیشین در راستای شمال غربی- جنوب شرقی ورقه عقدا گسترش دارد. سنگ آهک عقدا با ستبرای نزدیک به ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر بطور گسترده‌ای در این ورقه رخنمون دارد و در برگیرنده سنگ آهک‌های سیاه و بدبو و ورقه‌ای است که بطور بخشی دولومیتی شده‌اند (شکل ۲ الف). سازند زاگون شامل شیل، لای سنگ و سازند ماسه سنگی لالون ماسه‌سنگ تا سنگ‌های کوارتزی در نزدیکی روستای هفتهر و کانسار بهرامتاج به گونه دگرشیب روی سنگ آهک عقدا جای گرفته‌اند (شکل ۲ ب) [۳۳، ۳۴].

کانی زایی و دگرسانی در منطقه معدنی بهرامتاج

شناخت کانی ها و تعیین چگونگی تشکیل آنها نیاز به بررسی ارتباط آنها با هم دارد. به طور کلی، کانی‌های غیرسولفیدی روی که به اصطلاح کالامین نیز نامیده می‌شوند، ترکیبی از کانی‌های برونزاد روی همراه با کانی‌های غیرسولفیدی سرب، کربنات‌های هیدروکسیدی و سیلیکات‌ها هستند [۳۵، ۳۶]. دولومیت‌ها به طور گسترده در اطراف مناطق کانی‌سازی غیرسولفیدی روی تشکیل می‌شوند. دگرسان شدن سولفیدهای سرب و روی موجود در سنگ میزبان دولومیتی نیز منجر به تشکیل کالامین یا کانی‌های غیرسولفیدی می‌گردد [۳۷، ۳۸، ۳۹]. در منطقه معدنی بهرامتاج، طیف گسترده‌ای از کانی‌های روی، سرب و به مقدار کمتر مس تشکیل شده‌اند که از مهمترین آنها می‌توان به کانی‌های غیرسولفیدی (اسمیت-زونیت، همی مورفیت، هیدروزینکیت و به مقدار کمتر سروزیت)، سولفیدی (گالن) و کانی‌های باطله مانند دولومیت و کلسیت اشاره کرد (شکل ۲) [۴۰].

شواهدی از گسترش پهنه‌های گوسان‌دار، سنگ گچ، رگچه-هایی از جنس سیلیس و چرت در منطقه قابل مشاهده است. از آنجا که شناسایی کانی‌های غیرسولفیدی روی به علت شباهت زیاد آنها با کانی‌های کربناتی مانند دولومیت و کلسیت و گستردگی تنوع رنگی دشوار است [۴۱، ۴۲]، برای شناسایی صحیح کانی‌های غیرسولفیدی روی از معرف روی (زینک‌زپ) استفاده شده که در صورت وجود عنصر روی، رنگ آن به صورت نارنجی- قرمز می‌شود (شکل ۳).



شکل ۲ الف) نمایی از سینه کارهای فعال کانسار بهرامتاج در شمال دولومیت عقدا و جنوب سازند شیلی- ماسه سنگی لالون- زاگون (دید به سمت غرب)، ب) نمایی کلی از کانسار بهرامتاج (دید به سمت شرق)، پ: سینه کار فعال A در غرب منطقه و تبدیل شدگی دولومیت اولیه به دولومیت آهن دار که زینسین دولومیت به مقدار کمتر در اطراف کانی سازی روی دیده می شود (دید به سمت غرب) و ت) کانی سازی غیرسولفیدی روی که مرز تبدیل شدگی دولومیت نوع ۱ به دولومیت آهن دار نشان داده شده است. لکه های کوچکی از زینسین دولومیت نیز دیده می شود.



شکل ۳ الف) تشکیل کانی های اکسیدی- کربناتی- سیلیکاتی در بخش گوسنی منطقه و ب) شناسایی کانی های اکسیدی- کربناتی- سیلیکاتی روی بوسیله معرف روی (زینک زپ) در صحرا.

قسمت عمده ماده معدنی به ویژه غیرسولفیدی به صورت چینه کران درون واحد دولومیتی عقدا تشکیل شده که در کانسار بهرامتاج بخوبی مشهود است. بخش عمده سنگ کربناتی عقدا در کانسار بهرامتاج به دولومیت تغییر یافته است

البته دولومیت زایی در جنوب غرب عقدا و در بیشتر مناطق نسبتاً گسترده است (شکل ۲ پ). در منطقه معدنی بهرامتاج، دولومیت عقدا به سه رنگ مختلف اغلب سیاه نوک مدادی (دولومیت نوع یک) تا تیره، به صورت زرد تا قهوه ای (دولومیت

روی دار (زینسین دولومیت) به طور انتخابی و اغلب در طول درزها، شکستگی‌ها، گسل‌ها و یا ناپیوستگی‌ها صورت گرفته است که به عنوان مهمترین اثر دگرسانی برونزاد همراه با کانی-سازی غیرسولفیدی روی و سرب در منطقه دیده می‌شود. این نوع فرآیند جانشینی اغلب در بیشتر مناطق معدنی مربوط به فرآیندهای برونزاد رخ می‌دهد که منجر به جانشینی منیزیم بوسیله روی در ساختار دولومیت می‌شود که اندازه گیری آن اغلب مشکل است و باید این پدیده را با استفاده از تصاویر الکترونی و تجزیه جزئی در مقیاس میکرونی بررسی کرد. این نوع دولومیت روی دار در معدن بهرامتاج با استفاده از روش‌های تجزیه‌ای مختلف از جمله پراش سنجی پرتوی x (XRD)، طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS)، تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی (EPMA) و گرماوزن سنجی/اگرماسنجی تفاضلی (DTA/TGA) شناسایی و بررسی شد.

روش بررسی

به منظور بررسی کانی‌شناسی زینسین دولومیت‌ها در کانسار بهرامتاج، ۱۵ نمونه مختلف از مناطق در حال استخراج برداشت شد (جدول ۱). نکته قابل توجه فراوانی گسترده زینسین-دولومیت در غرب منطقه معدنی و همراهی با کالامین‌های نوع قرمز رنگ و همچنین نزدیک به بخش‌های گوسنی است.

نوع دو) و قرمز (دولومیت نوع سه) دیده می‌شود. رنگ‌های زرد تا قهوه‌ای دیده شده بعلت اکسایش برونزاد Fe^{2+} موجود در شبکه دولومیت است [۲۶، ۲۷]. اگر چه دولومیت نارنجی-قرمز ارتباط نزدیکی با نقاط کانی‌سازی دارد، ولی در دو نوع دولومیت دیگر نیز کانی‌سازی صورت گرفته است، با این تفاوت که دولومیت قرمز اغلب همراه با کالامین نوع قرمز رنگ تشکیل شده است اما میزبان کالامین نوع سفید رنگ بیشتر دولومیت سیاه یا زرد هستند. در بیشتر رخنمون‌ها به ویژه نزدیک مناطق کانی‌سازی، گستردگی پهنه‌های اکسیدی اغلب مستقل از سطح ایستابی فعلی و از نظر عمق و ضخامت به طور گسترده متغیر هستند. این تغییرات زیاد احتمالاً به علت عملکرد گسل‌های مختلف در منطقه معدنی است که قطعه‌های کانی‌سازی را جابجا نموده‌اند [۴۰]. حرکات مربوط به گسل‌ها در زمان‌های مختلف تا عهد حاضر است، و با توجه به این تغییرات حرکتی، نیمرخ‌های اکسایشی دربردارنده کانی‌سازی به سمت سطح یا به سمت مناطق زیرین عمقی جابجا شده‌اند. به هر حال، تشکیل کانی‌های غیرسولفیدی روی نتیجه اکسایش برجای کانی‌های سولفیدی اولیه بوسیله آب‌های اسیدی فرورو در حال چرخش درون سنگ‌های کربناتی است [۳۷، ۴۳]. تشکیل هاله گسترده‌ای از زینسین دولومیت که به طور انتخابی جانشین دولومیت اولیه در طول مناطق گسلی و شکستگی‌ها می‌شود اثر دیگری از دگرسانی برونزادی همراه با کانی‌های غیرسولفیدی است [۴۴]. جانشینی دولومیت‌ها با دولومیت‌های فاز جدید

جدول ۱ نمونه‌های شامل دولومیت، زینسین دولومیت و اسمیت‌زونیت از مناطق مختلف کانسار بهرامتاج.

شماره نمونه	نوع تجزیه	کانی‌های موجود در نمونه
ZA-1	EPMA, XRD, DTA/TGA	زینسین دولومیت < دولومیت آهن دار، دولومیت، کوارتز
Za-2	EPMA, XRD, DTA/TGA	زینسین دولومیت < دولومیت آهن دار، دولومیت، اسمیت‌زونیت
Za-3	EPMA, XRD, DTA/TGA	دولومیت آهن دار < زینسین دولومیت، دولومیت، اسمیت‌زونیت، کلسیت
Za-4	EPMA, XRD, DTA/TGA	دولومیت، دولومیت آهن دار، اسمیت‌زونیت، کلسیت
Za-5	EPMA, DTA/TGA	دولومیت، دولومیت آهن دار، اسمیت‌زونیت، کلسیت
Zd-3	EPMA, XRD, DTA/TGA	دولومیت، دولومیت آهن دار، کوارتز، کلسیت
E-Dol	EPMA, DTA/TGA	دولومیت آهن دار < زینسین دولومیت، دولومیت، اکسید آهن
C1-6.2-13	EPMA, XRD, DTA/TGA, ICP-MS	دولومیت آهن دار < زینسین دولومیت، دولومیت، اسمیت‌زونیت
B6.2-3	EPMA, XRD, DTA/TGA	زینسین دولومیت < دولومیت آهن دار، دولومیت، کلسیت، اسمیت‌زونیت
Tn11-1	EPMA, XRD	زینسین دولومیت < دولومیت آهن دار، اسمیت‌زونیت، کلسیت
C1-6.2-11	EPMA, XRD	دولومیت، دولومیت آهن دار، باریت، اکسید-هیدروکسید آهن
B96-W1	EPMA, XRD, DTA/TGA	کلسیت، اسمیت‌زونیت
D-LR	EPMA, XRD, ICP-MS	دولومیت، دولومیت آهن دار، کوارتز
D-MS	EPMA, XRD, ICP-MS	دولومیت، دولومیت آهن دار < زینسین دولومیت، اسمیت‌زونیت

گرماسنجی تفاضلی (DTA) یک روش سریع به منظور دستیابی به اطلاعات بیشتر از کانی‌های کربناتی است [۲۷، ۲۹، ۴۵]. به طوریکه این روش باعث تشخیص دولومیت خالص و زینسین دولومیت بر اساس نقطه گرمایی در نخستین واکنش گرماگیر است. این واکنش کربن زدایی $MgCO_3$ ساختار بلوری دولومیت را بررسی می‌کند و دمای آن وابسته به تغییرات القا شده بوسیله جانشینی فلزاتی مانند روی به جای منیزیم در شبکه دولومیت است [۲۷-۲۹]. تجزیه گرمایی با استفاده از دستگاه DTA/TGA مدل STA409 pc luxx ساخت شرکت NETZSCH آلمان در مرکز تحقیقات فرآوری بر نمونه‌ای به مقدار ۱۰۰ میلی گرم در جو هوا با افزایش تدریجی دما از دمای محیط تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد با آهنگ ۱۰ درجه بر دقیقه انجام شد.

تجزیه شیمیایی کامل نمونه‌ها بوسیله دستگاه ICP-MS مدل Agilent 7900 ساخت ایالات متحده آمریکا با روش استاندارد آماده سازی D4698 در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی کرج انجام شد.

نتایج و بحث

چنان که بیان شد تعداد ۱۵ نمونه سنگ دولومیت از طیف‌های رنگی مختلف در صحرا برداشت و به منظور شناسایی اولیه با XRD تجزیه شدند. کانی‌های دولومیت با استفاده از نرم افزار Xpert high Scorplus و دولومیت استاندارد با شماره کارت ۰۴۲۶-۰۳۶-۰۰ شناسایی شدند (شکل ۴). نتایج تجزیه اولیه نشان دهنده وجود دولومیت با قله معمول ۳۶ بود و هیچگونه اختلاف قابل توجهی در قله آن دیده نمی‌شد. بنابراین برای بررسی دقیق‌تر و با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی که وجود مقداری روی در دولومیت‌های قرمز رنگ همراه با کانی‌سازی سرب و روی را نشان می‌داد، شرایط تجزیه تغییر داده شد. با تغییر زمان و زاویه قله تعداد ۵ نمونه دارای مقادیر متفاوتی از عنصر روی (بین ۱ تا ۱۰ درصد) تجزیه شدند.

بر اساس نتایج برآمده از الگوهای XRD، فاصله بین صفحه ای (d) برای همه انواع دولومیت‌ها با تنوع رنگی مختلف تقریباً یکسان برابر با ۲/۸۸۹ انگستروم بدست آمد. در واقع، با توجه به محاسبات انجام شده مقدار d با وجود عنصر روی در شبکه دولومیت‌های مورد بررسی به ویژه نوع زینسین دولومیت، تغییر محسوسی نشان نمی‌دهد. بنابراین برای مقایسه بهتر انواع مختلف دولومیت، پارامترهای شبکه‌ای a و c سه نمونه با

نمونه‌ها با استفاده از روش‌های تجزیه XRD, EPMA, ICP-MS, DTA/TGA بررسی شدند. همه آزمایش‌ها در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. نمونه‌ها نخست به منظور شناسایی اولیه و با توجه به اختلاف رنگ صحرایی (کربنات سیاه تیره، زرد-قهوه‌ای و نارنجی-قرمز) و به منظور بالابردن دقت تجزیه بوسیله دریل کوچک از هم جدا شده و هر یک بوسیله پراش سنج پرتوی ایکس (Philips expert) با پرتوی $CoK\alpha$ با طول موج ۱/۷۹۹۰۱۰ انگستروم، اندازه گام 0.02° Th و زمان روبش 0.6° ثانیه تجزیه شدند.

بررسی مقاطع نازک- صیقلی بوسیله میکروسکوپ الکترونی و ریزپردازشگر الکترونی انجام شد. گفتنی است که شناسایی کانی‌های کربناتی در مقاطع بوسیله میکروسکوپ نوری بسیار مشکل بوده و یا امکان پذیر نیست. این بررسی‌ها بوسیله دستگاه EPMA مدل SX100 ساخت کشور فرانسه با اندازه باریکه ۵ میکرومتر، ولتاژ ۲۰ کیلو الکترون ولت، و جریان ۲۰ نانو آمپر و زمان تجزیه ۱۵ تا ۲۵ ثانیه انجام شد. استاندارد مورد استفاده برای عناصر مورد بررسی عبارت بودند از: کانی ولاستونیت $(Ca_3Si_3O_9)$ برای سیلیسیم و کلسیم، کانی پریکلز (MgO) برای عنصر منیزیم، کانی رودونیت $(CaMn_4(Si_5O_{15}))$ برای منگنز، اسپکیولاریت (Fe_2O_3) برای آهن، اکسید نیکل (NiO) برای نیکل، سلسنتین $(SrSO_4)$ برای استرانسیم، کالکوپیریت $(CuFeS_2)$ برای مس، اسفالریت (ZnS) برای عنصر روی، باریت $(BaSO_4)$ برای باریم و گالن (PbS) برای سرب.

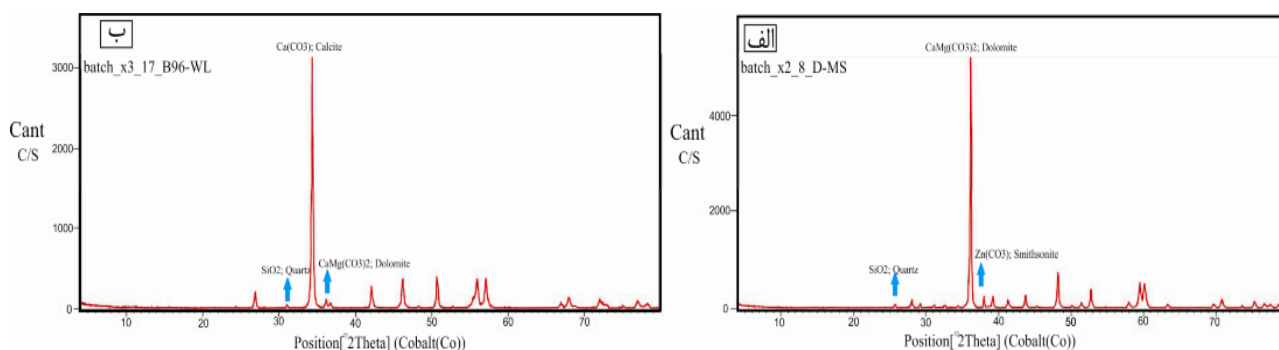
نتایج EPMA شامل تصاویر مختلف، نمودار و همچنین داده‌های تجزیه برای شناسایی دقیق کانی‌های مختلف، چگونگی ارتباط آن‌ها، تقدم و تأخر، سنگ میزبان و یا میانبار-های بسیار ریز (در حد چند میکرون) به کار می‌رود [۴۰]. به این منظور، مقاطع نازک- صیقلی نمونه‌ها در لام‌های استاندارد زمین شناسی (27×46) میلیمتر مربع برای جلوگیری از باردار شدن طی تابش الکترون به سطح نمونه با لایه نازکی از کربن به ضخامت ۱۰۰ انگستروم پوشش داده شد. نخست شناسایی کیفی- کمی اولیه بوسیله طیف‌های پراش انرژی پرتوی X (EDS) با زمان بیش از ۲۰ ثانیه برای هر نقطه انجام شد، البته همزمان تصاویر الکترونی ناشی از الکترون‌های برگشتی (BSE) کانی‌ها نیز تهیه می‌شود.

۴٪ اندازه‌گیری شد که به علت وجود اکسیدهای آهن در آن است، و در اندازه‌گیری نقطه‌ای شبکه این کانی، عیار آهن کمتر از مقدار بیان شده گزارش شده است. اگرچه تجزیه شیمیایی اطلاعات مفیدی را برای ارزیابی ترکیب اولیه نمونه ارائه می‌دهد و عیار فلزات را در نمونه مشخص می‌کند، اما وجود میانبارهای ریز کانی‌های بیگانه در زینسین دولومیت را نشان نمی‌دهد.

نمونه‌ها برای نتایج دقیق‌تر و تعیین ترکیب شیمیایی انواع دولومیت‌ها به روش EPMA بررسی شدند با توجه به نمودار-های به دست آمده، عناصر فلزی کانی دولومیت اولیه فقط منیزم و کلسیم هستند، ولی برای زینسین دولومیت‌ها، قله عنصر روی از حد زمینه بالاتر آمده و نشانگر وجود این عنصر در شبکه کانی دولومیت است و برخلاف تجزیه ICP-MS، میانبارهای ریز کانی‌هایی مانند اسمیت زونیت-همی مورفیت نمی‌توانند باعث ایجاد آلودگی و بالا رفتن قله عنصر روی شوند. در تصاویر الکترونی نیز وجود سه نوع دولومیت مشخص است: نواحی روشن مربوط به زینسین دولومیت‌ها و نواحی نسبتاً تیره دولومیت‌های اولیه هستند. دولومیت‌های آهن‌دار از زینسین-دولومیت‌ها تیره‌تر ولی از دولومیت‌های اولیه روشن‌تر دیده می‌شوند. تغییرات رنگی مختلف در تصاویر BSE ناشی از وجود ناخالصی و یا تغییر ترکیب شیمیایی در فازهای مختلف است که حتی مقدار کم در یک بلور نیز می‌تواند آن را بخوبی در تصاویر به ویژه با قدرت تفکیک بالا نشان دهد. هر فاز و یا کانی به طور مستقل تجزیه شدند که نتایج تجزیه نقطه‌ای نشانگر ترکیب شیمیایی انواع کانی‌های کربناتی به ویژه انواع دولومیت است.

استفاده از نرم افزار MAUD برپایه روش ریتولد محاسبه شد [۴۶] (جدول ۲). مقدار a و c برای نمونه D-LR مربوط به دولومیت سیاه‌رنگ نوع ۱ با مقدار روی کمتر از ۵۰۰ گرم در تن $a = 4.792 \text{ \AA}$, $c = 15.811 \text{ \AA}$ ، برای نمونه ZA-1 با مقدار عنصر روی بین ۳۵ تا ۶۵ درصد $a = 4.810 \text{ \AA}$, $c = 16.023 \text{ \AA}$ برای نمونه ZA-2 با مقدار عنصر روی بین ۱۰ تا ۱۶ درصد $a = 4.817 \text{ \AA}$, $c = 16.026 \text{ \AA}$ و برای نمونه ZA-3 با مقدار میانگین عنصر روی ۰٫۵ درصد $a = 4.808 \text{ \AA}$, $c = 16.017 \text{ \AA}$ بدست آمد. با توجه به این مقادیر، تغییر پارامترهای شبکه‌ای با مقدار روی در شبکه کانی دولومیتی نسبت مستقیم دارد که هرچه این مقدار بیشتر شده پارامترهای شبکه‌ای نیز افزایش یافته است، بطوریکه این مقدار در زینسین دولومیت‌ها بیشترین و در دولومیت تقریباً بدون ناخالصی روی (کمتر از ۵۰۰ گرم در تن) کمترین مقدار را دارد. در نتایج XRD، افزون بر دولومیت، مقدار کمی کلسیت، اسمیت زونیت، همی مورفیت، باریت، اکسیدهای آهن و کوارتز نیز دیده شد (شکل ۴).

برای انجام تجزیه شیمیایی کامل، در حد امکان سعی شده بود که نمونه‌ها از بخش‌هایی انتخاب شوند که میزان آلودگی نمونه‌ها با سنگ‌ها و کانی‌های در برگیرنده کمینه باشد. در نتایج تجزیه شیمیایی کامل سنگ بوسیله ICP-MS، عیار عناصر روی، آهن و منگنز در نمونه‌های مربوط به هر نوع دولومیت، به ترتیب از ۱۰۰ گرم در تن، ۰٫۱٪ و ۴۱۰ گرم در تن برای دولومیت نوع ۱، ۰٫۳٪، ۰٫۳۵٪ و ۱۲۳۰ گرم در تن برای دولومیت نوع ۲ و مقادیر ۰٫۲۳٪، ۰٫۷۵٪ و ۱٫۲٪ برای زینسین-دولومیت‌ها بود. در برخی نمونه‌ها مانند B6.2-3، عیار آهن تا



شکل ۴ الگوهای XRD (الف) کانی‌های دولومیت، اسمیت زونیت و کوارتز موجود در معدن بهرامتاج و (ب) کانی‌های کلسیت، کوارتز و دولومیت موجود در معدن بهرامتاج.

جدول ۲ پارامترهای شبکه‌ای دولومیت‌ها در بهرامتاج.

نوع دولومیت	عیار عنصر روی (%)	پارامتر شبکه‌ای	
		a(Å)	c(Å)
نوع ۱	> ۰.۵	۴,۰۷۹	۱۵,۸۱۱
نوع ۲	۰.۵ - ۲	۴,۸۰۸	۱۶,۰۱۷
نوع ۳	۱۰ - ۳	۴,۸۱۷	۱۶,۰۲۶

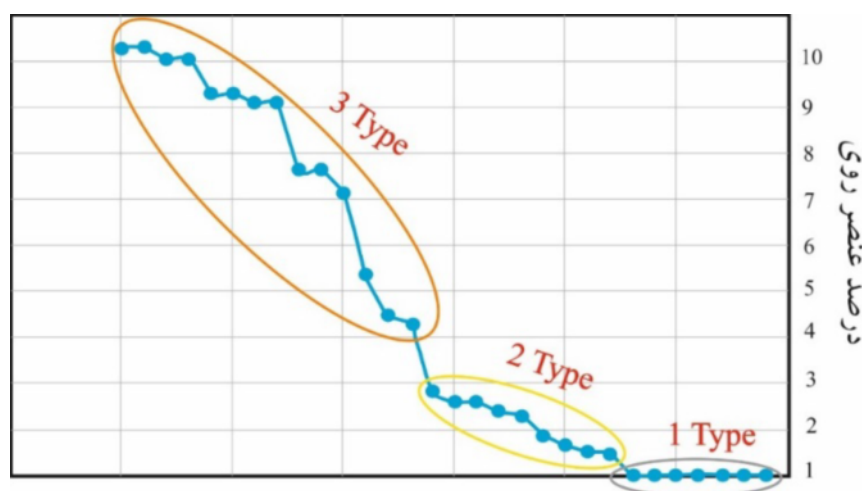
نتایج تجزیه شیمیایی دولومیت‌ها در جدول ۳ آمده است. دولومیت‌ها هم از نظر ظاهری و هم زمین شیمیایی به سه فاز مجزا تقسیم می‌شوند. دولومیت‌های اولیه از نظر عنصر سنجی دارای دو عنصر اصلی منیزیم و کلسیم و تقریباً بدون ناخالصی‌های عنصری دیگر هستند. البته در تصاویر الکترونی، شناسایی دولومیت‌های نوع اول و دوم به علت نزدیکی زیاد رنگ آنها بسیار مشکل است، ولی با توجه به اختلاف رنگ آنها در منطقه به ویژه اطراف رگه، دولومیت‌های سیاه رنگ به عنوان نوع ۱، دولومیت‌های زرد رنگ به عنوان نوع ۲ و دولومیت‌های نارنجی-قرمز رنگ (زینسین دولومیت) به عنوان نوع ۳ رده بندی شدند. در نتایج تجزیه شیمیایی نیز مقدار روی در معیار مهمی برای

تقسیم بندی بود و تقریباً اختلاف آن در دولومیت‌های قرمز رنگ (زینسین دولومیت‌ها) به خوبی مشخص است. بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی نقطه‌ای از هر نوع دولومیت، مقدار عنصر روی در دولومیت‌های اولیه سیاه رنگ زیر حد تشخیص دستگاه یعنی کمتر از ۵۰۰ گرم در تن است، در دولومیت نوع ۲ (آهن-دار) از ۰.۲۴ تا ۱.۳ درصد و در زینسین دولومیت‌ها از ۳ درصد شروع شده و به بیش از ۱۰ درصد رسیده است. در نمودار مربوط به دولومیت‌ها که بر اساس عنصر روی تهیه شده ۳ نوع دولومیت مشخص شده‌اند که بیشترین مقدار مربوط به زینسین دولومیت‌ها و کمترین آن مربوط به دولومیت‌های سیاه اولیه است (شکل ۵).

جدول ۳ نتایج تجزیه نقطه‌ای به روش ریزپردازش الکترونی (EPMA) انواع مختلف دولومیت در کانسار بهرامتاج (برحسب %).

نقطه آنالیز	نوع دولومیت	Pb	Ba	Sr	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Ca	Si	Mg	مجموع
۱	T1	۰	۰.۴۶	۰	۰	۰.۱۳	۰	۰.۳۲	۰.۰۹	۲۲.۹۸	۰.۱۲	۱۳.۰۸	۳۷.۱۸
۲	T1	۰.۶۴	۰	۰.۱۰	۰	۰.۱۷	۰	۰.۱۴	۰.۰۴	۲۲.۵۳	۰.۰۲	۱۲.۰۷	۳۵.۷۱
۳	T1	۰	۰.۵۹	۰	۰	۰.۱۰	۰	۰.۲۸	۰.۲۸	۲۱.۰۷	۰.۱۲	۱۳.۴۹	۳۵.۹۳
۴	T1	۰.۳۰	۰.۱۳	۰.۰۴	۰	۰.۱۱	۰	۰.۰۶	۰.۰۸	۲۳.۲۷	۰.۰۴	۱۲.۲۶	۳۶.۲۹
۵	T1	۰	۰	۰.۰۸	۰	۰.۱۲	۰	۰.۷۷	۰.۲۸	۲۲.۶۸	۰.۱۳	۱۱.۳۲	۳۵.۳۸
۶	T1	۰	۰	۰	۰	۰.۱۴	۰.۱۲	۰.۰۶	۰	۲۱.۶۶	۰.۰۹	۱۲.۷۴	۳۴.۸۱
۷	T1	۰.۴۲	۰	۰.۱۶	۰	۰.۲۹	۰.۰۷	۰	۰	۲۲.۴۴	۰.۰۷	۱۲.۳۴	۳۵.۷۹
۸	T2	۱.۴۳	۰	۰	۰.۴۷	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۵۰	۰.۱۳	۲۱.۳۴	۰.۰۵	۱۱.۶۹	۳۷.۹۲
۹	T2	۰.۰۱	۰	۰	۰.۵۲	۰.۱۲	۰	۰.۸۱	۰.۰۸	۲۲.۴۱	۰.۰۳	۱۳.۰۲	۳۷
۱۰	T2	۰.۰۶	۰	۰	۰.۶۶	۰.۱۵	۰.۲۴	۰.۴۰	۱.۱۰	۲۲.۳۲	۰.۰۳	۱۲.۲۹	۳۷.۲۵
۱۱	T2	۰.۲۷	۰	۰	۰.۸۷	۰.۱۲	۰	۲.۱۳	۰.۰۵	۲۲.۱۴	۰.۰۳	۱۲.۷۶	۳۸.۳۷
۱۲	T2	۰.۱۲	۰.۰۳	۰	۱.۳۰	۰.۰۷	۰	۰.۹۴	۰	۲۲.۳۵	۰.۰۲	۱۲.۲۲	۳۷.۰۵
۱۳	T2	۰	۰	۰	۱.۳۷	۰.۰۹	۰.۱۲	۰.۲۹	۰	۲۲.۶۴	۰.۰۳	۱۳.۵۹	۳۸.۱۳
۱۴	T2	۰.۲۲	۰	۰.۰۹	۱.۶۰	۰.۱۱	۰.۰۸	۶.۱۴	۰.۵۷	۱۹.۲۸	۰.۱۵	۱۲.۷۲	۴۰.۹۶
۱۵	T2	۰.۶۵	۰.۰۸	۰	۱.۶۰	۰.۱۵	۰	۰.۹۰	۰.۰۸	۲۲.۳۳	۰.۰۶	۱۲.۲۹	۳۸.۱۴
۱۶	T2	۰.۱۳	۰	۰.۰۱	۱.۸۱	۰	۰	۰.۶۸	۰.۵۶	۲۰.۷۵	۰.۰۹	۱۳.۳۹	۳۷.۵۱
۱۷	T3	۰.۵۵	۰.۰۸	۰	۳.۲۹	۰.۱۱	۰	۰.۰۵	۰.۴۴	۲۰.۶۶	۰	۷.۵۸	۳۳.۱۰
۱۸	T3	۲.۲۸	۰	۰	۳.۴۸	۰.۱۱	۰	۰	۰	۲۰.۹۹	۰	۶.۴۸	۳۳.۳۴
۱۹	T3	۰.۱۶	۰	۰.۰۳	۴.۳۴	۰	۰	۰.۲۱	۰.۲۲	۲۲.۳۶	۰.۱۵	۱۳.۹۳	۴۱.۴۰
۲۰	T3	۰.۲۹	۰	۰	۶.۰۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۰۵	۲۱.۰۲	۰.۲۷	۷.۷۲	۳۶.۰۳
۲۱	T3	۲.۴۰	۰	۰.۰۱	۹.۰۵	۰.۱۰	۰	۰.۰۷	۰.۰۱	۱۹.۶۴	۰.۰۱	۶.۹۳	۳۸.۲۲
۲۲	T3	۳.۱۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۸.۰۸	۰	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۰۴	۲۰.۸۷	۰.۰۷	۸.۳۶	۴۰.۶۶
۲۳	T3	۲.۶۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۹.۲۹	۰	۰	۰.۱۱	۰.۰۴	۱۹.۹۸	۰.۰۵	۷.۷۸	۳۹.۸۹
۲۴	T3	۳.۵۶	۰	۰	۶.۶۳	۰	۰.۰۱	۰.۱۴	۰.۰۸	۲۱.۶۵	۰.۰۴	۹.۰۹	۴۱.۲۰
۲۵	T3	۳.۱۹	۰	۰	۸.۲۹	۰.۰۲	۰	۰.۰۸	۰.۰۵	۱۸.۰۶	۰.۲۱	۷.۴۸	۳۷.۳۸
۲۶	T3	۲.۴۰	۰	۰.۰۱	۹.۰۵	۰.۱۰	۰	۰.۰۷	۰.۰۱	۱۹.۸۴	۰.۰۱	۶.۹۳	۳۸.۲۲
۲۷	T3	۳.۱۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۸.۰۸	۰	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۰۴	۲۰.۸۷	۰.۰۷	۸.۳۶	۴۰.۶۶
۲۸	T3	۲.۶۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۹.۲۹	۰	۰	۰.۱۱	۰.۰۴	۱۹.۹۸	۰.۰۵	۷.۷۸	۳۹.۸۹
۲۹	T3	۳.۵۶	۰	۰	۶.۶۳	۰	۰.۰۱	۰.۱۴	۰.۰۸	۲۱.۶۵	۰.۰۴	۹.۰۹	۴۱.۲۰
۳۰	T3	۳.۱۹	۰	۰	۸.۲۹	۰.۰۲	۰	۰.۰۸	۰.۰۵	۱۸.۰۶	۰.۲۱	۷.۴۸	۳۷.۳۸
۳۱	Mr*	۰	۰	۰	۳۰.۲۳	۰	۰	۲۰.۷	۰.۴۱	۱۲.۳۲	۰.۱۹	۷.۵۴	۵۱.۴۷
حد تشخیص	-	۲۲۰	۳۴۰	۲۷۰	۴۵۰	۱۷۰	۳۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۸۹	۳۴۰	۳۱۰	-

*مینر کوردیت



شکل ۵ نمودار برآمده از نتایج تجزیه نقطه‌ای و تفکیک سه نوع دولومیت با استفاده از عیار عنصر روی.

با توجه به تصاویر الکترونی، دولومیت‌های اولیه نوع ۱ به طور موضعی اغلب در مرزهای بلوری و یا درز و شکاف‌ها بوسیله دولومیت روی- آهن‌دار نوع ۲ جایگزین شده‌اند. تشکیل دولومیت‌های نوع ۱ و ۲ مربوط به محلول‌های گرمایی است. در تصاویر الکترونی، اکسایش و دولومیت‌زدایی دولومیت‌های اولیه با تشکیل کلسیت رگه‌ای و اکسیدهای آهن و منگنز بخوبی دیده می‌شود (شکل ۵). این نوع اکسید- هیدروکسیدهای آهن‌دار و کلسیت دارای مقداری عنصر روی و سرب هستند که در کلسیت رگه‌ای روی تا ۰/۵ درصد و سرب تا بیش از ۳ درصد رسیده است. اکسیدها- هیدروکسیدها نیز دارای مقداری روی (۰/۰۳ تا ۰/۴ درصد)، سرب (۰/۰۴ تا ۰/۰۹ درصد)، سیلیس (۰/۰۶ تا ۱/۸ درصد)، آهن (۵۲ تا ۶۲ درصد)، مس (۰/۰۲ تا ۰/۰۵ درصد) و منگنز (۰/۱۲ تا ۰/۲ درصد) هستند.

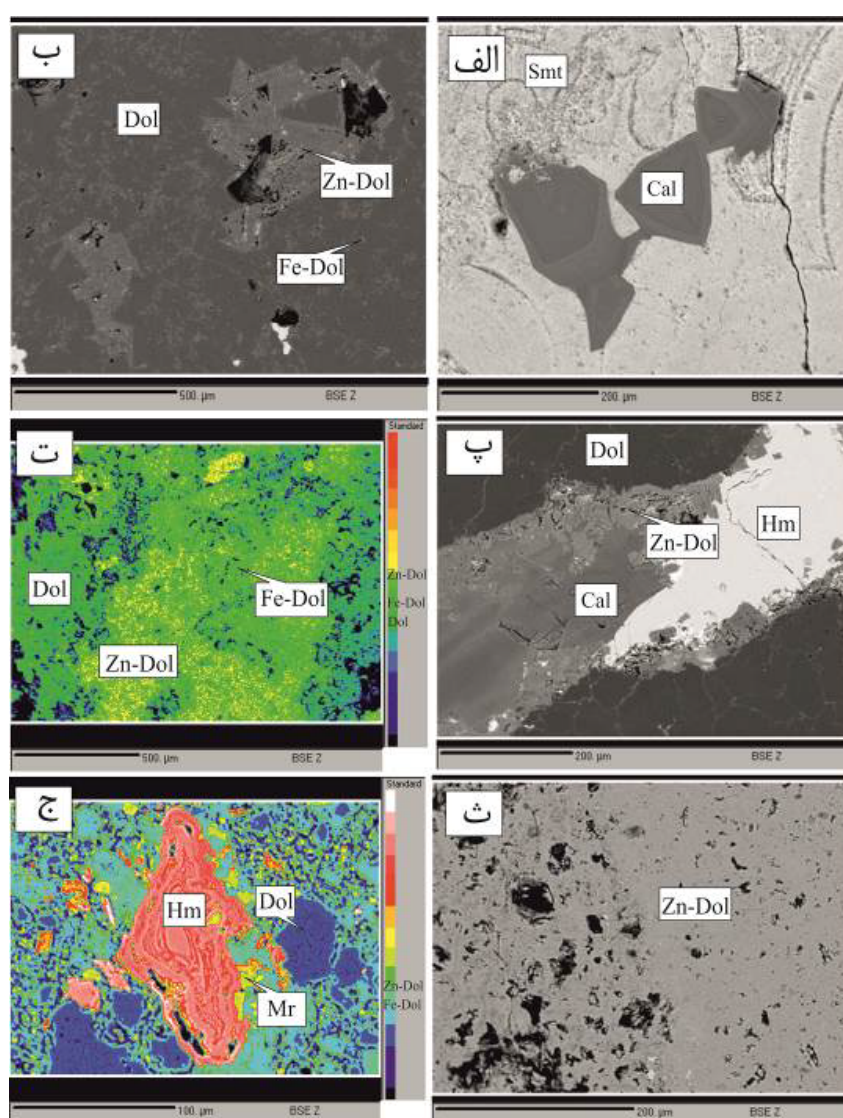
تشکیل زینسین دولومیت‌ها (نوع ۳) با دو نوع دولومیت دیگر متفاوت بوده و حتی با دولومیت‌های نوع ۲ نیز که حاوی مقداری عنصر روی هستند فرق دارد. چنانکه بیان شد، این نوع دولومیت‌ها بیشتر در مرزها و شکستگی‌ها تشکیل شده‌اند و به صورت لکه مانند یا پچ در اطراف دولومیت‌های دیگر به ویژه نوع ۲ و همراه با اکسیدها- هیدروکسیدهای آهن، منگنز و کانی‌های اکسیدی مس تشکیل شده‌اند (شکل ۶).

دولومیت‌های نوع ۳ از نظر مقدار روی (ناحیه زرد رنگ در شکل ۷ ت) به طور معمول غنی از عنصر روی (از ۳ درصد تا بیش از ۱۰ درصد) دارای مقدار آهن به طور متوسط زیر ۱ درصد، منگنز کمتر از ۰/۴ درصد، و سرب از ۰/۱۶ تا ۲/۶۶

درصد هستند. بررسی نمونه‌های مختلف در معدن بهرامتاج نشان می‌دهد که جانشینی عنصر روی تا جایی ادامه می‌یابد که عنصر روی به طور کامل جانشین منیزیم شود. وقتی منیزیم موجود در دولومیت به طور کامل با عنصر روی جانشین گردید و به ۱۷ تا ۲۲ درصد وزنی (تقریباً ۷۰٪ مول) جانشینی رسید، کانی کربناتی روی‌دار بنام مینرکوردیت تشکیل می‌شود. در میان نمونه‌های مورد بررسی، برای نمونه B96-B1 مربوط به تونل شماره ۱ (ارتفاع ۱۰۰ متری زیر سطح فعلی) کانی مینرکوردیت در نتایج EPMA گزارش شده است (شکل ۷ و جدول ۳). در تصاویر مربوط به این نمونه، حتی در نمونه دستی نیز چگونگی تبدیل و دگرسانی سنگ میزبان دولومیت به کانی- های روی‌دار بخوبی نمایان است. این فاز تبدیل شدگی نشان می‌دهد که جانشینی سنگ میزبان از مقدار کم عنصر روی به جای منیزیم شروع شده و به تدریج افزایش می‌یابد تا به ۷۰٪ وزن مولی روی در دولومیت برسد. سرانجام شبکه دولومیت ناپایدار شده و سپس اسمیت‌زونیت رسوب می‌کند. در واقع، زینسین دولومیت به عنوان یک فاز میانی بین دولومیت و اسمیت‌زونیت پدیدار می‌شود. در نمونه یاد شده کانی روی‌دار پس از کلسیت اسپاری تشکیل شده است (شکل ۷ الف). اسمیت‌زونیت تجزیه شده در برخی نمونه‌ها مانند نمونه‌های مربوط به تونل شماره ۱ دارای مقادیری منگنز تا حد ۵ درصد (Mg تا ۴/۶۵ درصد وزنی) هستند. به احتمال زیاد، در هنگام تشکیل اسمیت‌زونیت مقداری عنصر منیزیم می‌تواند در شبکه این کانی جای بگیرد [۴۷].



شکل ۶ الف و ب) همراهی کانی‌های غیرسولفیدی روی با اکسید-هیدروکسید آهن، منگنز و کانی‌های اکسیدی مس.



شکل ۷ الف: کلسیت شفاف همراه با کانی‌های سرب و روی، ب) همراهی سه نوع دولومیت اولیه، دولومیت آهن‌دار و زینسین‌دولومیت، پ) کلسیت شفاف، همی مورفیت و زینسین‌دولومیت، ت: تصویر رنگی از سه نوع دولومیتی که با افزایش مقدار روی رنگ کانی به سمت زرد میل می‌کند، ث: تبدیل کامل دولومیت آهن‌دار به زینسین‌دولومیت که فقط آثار بسیار ضعیفی از دولومیت آهن‌دار باقی مانده است و ج) تصویر رنگی با وضوح بالا از همراهی کانی‌های مینرکوردیت، همی مورفیت، و سه نوع دولومیت (Smt: اسمیت‌زونیت، Hm: همی مورفیت، Mr: مینرکوردیت، Dol: دولومیت و Cal: کلسیت) [۴۸، ۴۹].

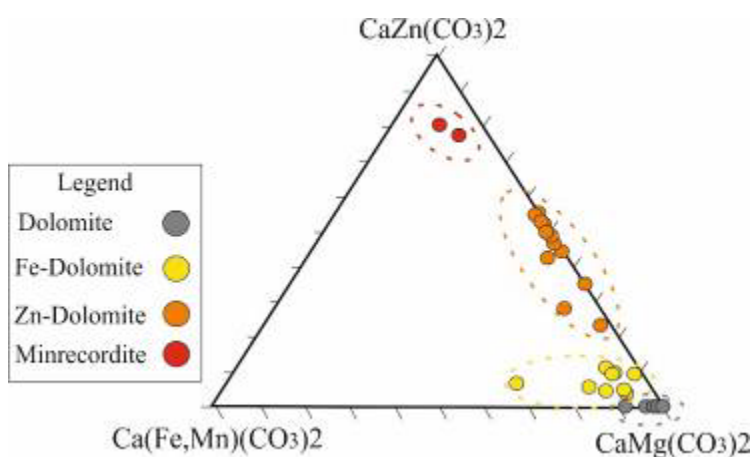
نمونه‌های مورد بررسی با میکروسکوپ الکترونی (EPMA و WDS-EDS)، وجود فازهای مختلف دولومیت و همچنین اکسید- هیدروکسیدهای آهن- منگنز، کانی‌های متنوع غیرسولفیدی روی، سرب و مس را نشان داده‌اند. در نمونه ZA-1 مربوط به بخش غربی معدن بهرامتاج، دولومیت اولیه غالباً به دولومیت فاز ۲ و زینسین دولومیت (فاز ۳) تبدیل شده است در نتایج تجزیه نمونه‌ها، مقدار روی بین ۴ تا ۷ درصد گزارش شده است. در نمونه ZD-3 مربوط به بخش مرکزی معدن، دولومیت فاز ۲ غالب بوده و تبدیل شدگی دولومیت فاز ۱ به فاز ۲ قابل مشاهده است. در نمونه E-Dol از سینه کار E، انتهای شرقی بخش مرکزی، زینسین دولومیت بسیار کم است اما دولومیت آهن‌دار نوع ۲ با مقدار روی متوسط ۱ درصد گسترش بسیاری دارد. بنابراین در نمونه‌های برداشت شده، مقدار زینسین- دولومیت از سمت غرب به بخش میانی کاهش می‌یابد.

نتایج تجزیه شیمیایی به روش EPMA براساس نمودار سه گوش تک کانیایی، $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ، $\text{CaZn}(\text{CO}_3)_2$ ، $\text{Ca}(\text{Fe,Mn})(\text{CO}_3)_2$ [۴۴] بررسی شد (شکل ۸). در این نمودار، میزان افزایش یا کاهش مقادیر روی در نمونه‌های مربوط به هر سه نوع دولومیت نمایان است. نمونه‌های با منیزیم بالا در یک قسمت نمودار (سمت منیزیم‌دار) و نمونه‌های دارای عنصر روی در سمت $\text{CaZn}(\text{CO}_3)_2$ متمرکز شده‌اند و یک اختلاف شیمیایی بین دو قسمت دیده می‌شود که احتمالاً به علت حضور کانی مینرکوردیت در بین نمونه‌هاست. دولومیت‌های نوع یک در این نمودار بیشتر در سمت $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ، دولومیت‌های نوع دو یعنی آهن‌دار نزدیک به $\text{Ca}(\text{Fe,Mn})(\text{CO}_3)_2$ و زینسین دولومیت‌ها بیشتر نزدیک به سمت $\text{CaZn}(\text{CO}_3)_2$ هستند. برای مثال، نمونه‌های زینسین- دولومیت مانند ZA-3 و B6.2-3 از روی غنی هستند و در سمت $\text{CaZn}(\text{CO}_3)_2$ متمرکز شده‌اند. با توجه به اصل گلدشمیت [۵۰]، ناپایداری در دولومیت‌ها با افزایش مقدار عناصر به صورت $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Mg}$ [۵۰-۵۲] کاهش می‌یابد، یعنی هرچه مقدار عنصری مانند منیزیم کاهش و عناصر دیگر مانند منگنز، روی، آهن و یا کبالت افزایش یابد، ناپایداری بیشتر می‌شود. با توجه به این سری عنصری، دولومیت‌های با مقدار بالای آهن نسبت به

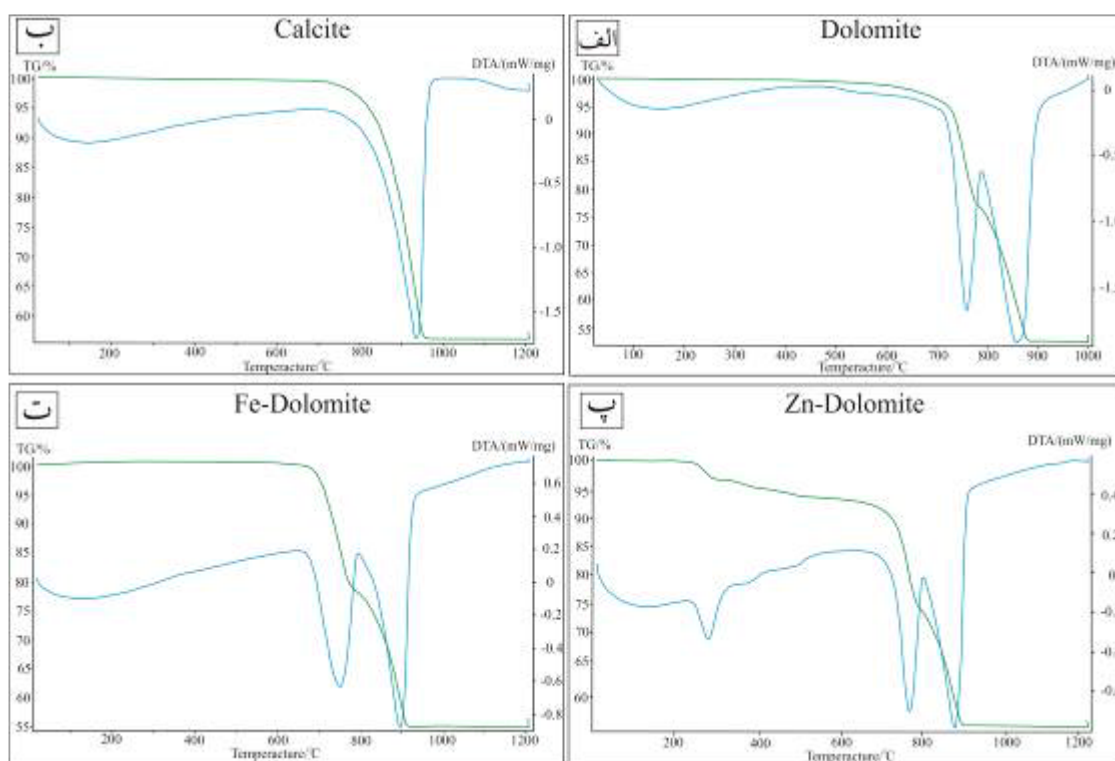
دولومیت‌های نوع منیزیمی ناپایداری بیشتری دارند و در اثر اکسایش و آبدهی، عنصر آهن موجود در شبکه دولومیت زودتر از عناصر دیگر مانند کلسیم و منیزیم خارج شده و فرآیند دولومیت‌زدایی صورت می‌گیرد. بنابراین می‌توان گفت که در فرآیند تشکیل زینسین دولومیت‌ها، دولومیت‌های نوع ۲ (نوع آهن‌دار) نقش مهمتری را ایفا کرده‌اند. در نتایج EPMA مربوط به دولومیت‌ها (جدول ۳)، عناصر دیگری مانند استرانسیم، باریم و سیلیسیم نیز گزارش شده‌اند که عیار استرانسیم در زینسین دولومیت‌ها زیر حد تشخیص دستگاه (کمتر از ۵۰۰ گرم در تن) و فقط در دو نقطه دولومیت‌های نوع ۱ برابر با ۰/۰۸ و ۰/۱۶ درصد است. اغلب سنگ‌های کربناتی قدیمی طی میانزایی مانند تبدیل آراگونیت به کلسیت، انحلال و قرار گرفتن در سیستم باز میانزایی استرانسیم خود را از دست می‌دهند [۱۲، ۱۹، ۵۳]. مقدار استرانسیم در نمونه‌های کربنات عقدا در بهرامتاج در مقایسه با دیگر کربنات‌ها پایین است. مقدار استرانسیم در کربنات‌های حاره‌ای عهد حاضر بین ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم [۵۴] و کربنات‌های معتدله بین ۱۶۴۲ تا ۵۰۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم [۵۵، ۵۶] است. کاهش عیار استرانسیم در کربنات‌های بهرامتاج می‌تواند نتیجه تاثیر محلول‌های گرمابی باشد. دولومیت‌ها در بیشتر مناطق کانی سازی کمی سیلیسی شده‌اند. در نتایج تجزیه نیز عنصر سیلیسیم در هر سه نوع به ویژه زینسین دولومیت وجود دارد و به بیشترین مقدار ۰/۳۷ درصد نیز می‌رسد. عنصر باریم نیز مانند استرانسیم فقط در دولومیت‌های نوع ۱ دیده شده است و در نوع‌های ۲ و زینسین دولومیت زیر حد تشخیص است.

نتایج به دست آمده از گرماسنجی تفاضلی نمونه‌های مختلف بهرامتاج (هر سه نوع دولومیت) در شکل ۹ نشان داده شده است. همچنین به عنوان نمونه با نتایج تجزیه دولومیت و کلسیت خالص نیز مقایسه شده است (شکل ۹). براساس این نمودارها نقاط واکنشی گرماگیر دولومیت‌ها در دماهای مختلف اندازه‌گیری شده است.

بررسی این نتایج نیز بیانگر وجود زینسین دولومیت در بهرامتاج است. این نتایج شبیه مواردی است که پیشتر در معادن متعددی در نقاط مختلف دنیا بررسی شده‌اند [۳۷، ۳۸].



شکل ۸ ترکیب‌های مختلف دولومیتی در نمودار سه گانه $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ - $\text{Ca}(\text{Fe,Mn})(\text{CO}_3)_2$ - $\text{CaZn}(\text{CO}_3)_2$ [۲۶].



شکل ۹ منحنی‌های گرماسنجی تفاضلی انواع دولومیت در منطقه معدنی بهرامتاج زینسین دولومیت‌ها با نمونه نوعی دولومیت خالص مقایسه شده- اند: الف) دولومیت خالص، ب) کلسیت خالص، پ) زینسین دولومیت و ت) دولومیت آهن‌دار.

دولومیت مربوط به واپاشی لایه‌های دولومیتی وابسته به ساختار و گرمای موجود است. هر چند این موارد همه متاثر از کاتیون-های جانشین شده بجای عنصر منیزیم نیز هستند. برای مثال، وجود مقادیر بالای عنصر آهن در انکریت باعث کاهش نخستین نقطه واکنشی گرماگیر می‌شود [۵۷]. براساس آزمایش‌های انجام شده، نسبت Mg:Fe به مقدار ۵:۱ باعث کاهش نقطه گرماگیر از ۸۰۰ به ۷۶۰ درجه سانتیگراد می‌شود. از آنجاکه

تصویر DTA نمونه خالص دولومیتی، دو قله مهم واکنشی گرماگیر را نشان می‌دهد. قله اول گرماگیر تقریباً در دمای ۷۸۰ تا ۸۰۰ درجه در نمونه‌های نسبتاً سالم و غیردگرسان مانند C1-6.2-13 دیده شده که این نمونه به دور از کانی‌سازی و فاقد هر گونه کانی‌سازی سرب و روی است. در نمونه‌های دارای عنصر روی با توجه به عیار روی، قله اول واکنشی تغییراتی نشان می‌دهد. در واقع، نخستین نقطه واکنشی گرماگیر

تأثیر جانشینی عنصر روی در ساختار دولومیت نسبت به آهن بیشتر است، در نمونه‌های مورد بررسی در معدن بهرامتاج اثر مقدار روی آشکارا نشان داده شده است.

در دولومیت‌های نوع ۲، نسبت منیزیم به روی (Zn:Mg) از ۱:۲۵ تا ۱:۷ است، ولی در زینسین دولومیت‌ها این نسبت از ۱:۲ شروع شده و تا ۱۰/۸ نیز می‌رسد که در نمونه‌هایی مانند B6.2-3 و ZA-1 مقدار روی از منیزیم بیشتر است. در میان نمونه‌های بررسی شده، نمونه ZD-3 از دولومیت‌های نوع ۲ با عیار متوسط عنصر روی در حدود ۰/۵ درصد و قله گرماگیر در دمای تقریبی ۷۸۰ درجه سانتی‌گراد روی داده است. البته با این تفاوت که نمونه ZD-3 در شروع قله در دمای ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد، یک کاهش جزئی حدود ۱۰٪ نیز دیده می‌شود. در نمونه B6.2-3 (بیشتر شامل زینسین دولومیت)، این کاهش در ابتدای قله نمایان‌تر است و در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد یک قله واکنشی وجود دارد که به نوعی می‌توان گفت که نخستین قله واکنشی گرماگیر آن در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد با کاهش وزن تقریبی ۲۰ درصد رخ داده است. با افزایش دما، قله واکنشی بعدی در دمای ۷۸۰ تا ۸۰۰ درجه و قله آخر در ۹۰۰ درجه سانتیگراد برای همه نمونه‌ها ظاهر شده است. چنان که در شکل ۹ دیده می‌شود، افزایش مقدار عنصر روی در ساختار دولومیت باعث کاهش نقطه واکنشی شده است، اما منحنی آن خطی نیست، در حالیکه در نمونه‌های نوع آهن‌دار مانند انکريت، اغلب منحنی واکنشی به صورت خطی دیده می‌شود (منحنی انکريت [۵۷]). هیچ دلیلی وجود ندارد که دما و افزایش نقطه دوم قله واکنشی گرماگیر و واپاشی لایه‌های CaCO_3 وابسته به مقدار عنصر روی باشد، اما در نمونه‌های با مقدار سرب تقریباً بیش از ۰/۵ درصد وجود دارد اثر آن دیده می‌شود. در نمونه‌های مورد بررسی اغلب عیار متوسط سرب کمتر از ۱ درصد است، ولی در برخی نمونه‌ها مانند ZA-1 تا ۲ درصد نیز رسیده است. این مقدار باعث پایین آمدن نقطه دوم واکنشی به کمتر از ۹۰۰ درجه سانتیگراد است، در حالیکه در نمونه نوعی دولومیت (عیار عناصر سرب و روی اندازه‌گیری شده کمتر از ۵۰۰ ppm) نقطه دوم واکنشی به ۹۲۰ درجه سانتیگراد می‌رسد.

برداشت

زینسین دولومیت برونزاد (فاز ۳) در معدن بهرامتاج در بخش‌های مختلف منطقه معدنی گسترش دارد، ولی اغلب بیشترین

پراکندگی را در غرب منطقه همراه با دولومیت‌های زرد-نارنجی (فاز ۲) نشان می‌دهد. این نوع دولومیت در سینه کارهای استخراجی مانند B، C و D تا ارتفاع ۴۰- متری نیز گسترش یافته است که احتمال وجود آن در عمق‌های بیشتر نیز همراه با کانی‌سازی غیرسولفیدی سرب و روی وجود دارد. بنابراین با توجه به شواهد موجود در منطقه معدنی بهرامتاج، رخداد زینسین دولومیت در پهنه اکسایشی نشان دهنده خاستگاه برونزادی آن است. معمولاً دمای تشکیل زینسین-دولومیت اغلب وابسته به دمای سیال‌های جوی طی فرآیند هوازدهی هنگام اکسایش کانی‌های سولفیدی است. زینسین-دولومیت طی فرآیندهای پیچیده‌ای جانشین فازهای پیشین دولومیت می‌شود. از نظر زمین شیمیایی، زینسین دولومیت بوسیله مقادیری از عنصر روی و همچنین مقدار کمی سرب، آهن و کادمیوم در شبکه آن مشخص شده است. همچنین مقدار آهن و منگنز نسبت به دولومیت‌های فاز دو به نسبت کمتر شده ولی مقدار عنصر مس تقریباً تغییر چندانی نکرده است. این فرآیند به عنوان یک فرآیند چند مرحله‌ای جانشینی در دولومیت‌ها تفسیر می‌شود که با دولومیت‌زدایی و تشکیل کلسیت و اکسیدهای آهن- منگنز شروع شده و سرانجام اسمیت‌زونیت بوسیله جانشینی کامل دولومیت تشکیل می‌شود. در نمونه B96-B1، آثاری از دولومیت اولیه، کلسیت و اسمیت-زونیت وجود دارد.

در موارد یاد شده، بررسی گسترش زینسین دولومیت و جانشینی آن در سنگ میزبان مناطق اهمیت بسیاری در اکتشاف کانی‌های غیرسولفیدی روی دارد. در واقع، مقدار عنصر روی در زینسین دولومیت همراه با مقدار روی در کانی‌های غیرسولفیدی مانند اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت محاسبه می‌شود، در حالی که این مقدار روی غیر قابل فرآوری است و می‌تواند باعث محاسبه غیرعادی در عیار حد پایانی گردد. بنابراین این موضوع باید به عنوان یک واقعیت در اکتشاف کانسارهای غیرسولفیدی روی در ایران مورد توجه قرار گیرد تا از بروز اشتباهات عمده در برآورد و ارزیابی نادرست عیار معادن جلوگیری شود، البته از طرفی می‌تواند به عنوان یک کلید اکتشافی مهم مورد توجه قرار گیرد. در نتیجه پیشنهاد می‌گردد که نخست بررسی‌های کلی در ارتباط با وجود زینسین-دولومیت‌ها در معادن غیرسولفیدی روی انجام شود و پس از آن

[9] Paradis S., Keevil H., Simandl G., Raudsepp M., "Carbonate-hosted nonsulphide Zn-Pb mineralization of southern British Columbia, Canada", Mineralium Deposita, 2015, 50, pp 923-951.

[10] Rajabi A., Rastad E., Canet C., "Metallogeny of Permian-Triassic carbonate-hosted Zn-Pb and F deposits of Iran: A review for future mineral exploration", Australian Journal of Earth Sciences 60 (2013) 197-216.

[11] Amiri A., "Mineralogical evolutions of carbonate-hosted Zn-Pb-(F-Mo) deposits in Kuhbanan-Bahabad area, Central Iran, metal source approach", Journal of Tethys 5 (2017) 001-032.

[12] Rajabi A., Rastad E., Alfonso P., Canet C., "Geology, ore facies and sulfur isotopes of the Koushk ventproximal sedimentary-exhalative deposit, Posht-e-Badam Block, Central Iran", International Geology Review 54 (2012a) 1635-1648.

[13] Rajabi A., Rastad E., Canet C., "An introduction to metallogeny of Permo-Triassic Carbonate-hosted Zn-Pb and F deposits of Iran: Application for future mineral exploration", Australian Journal of Earth Science 60 (2012b) 197-216.

[14] Maghfouri S., Hosseinzadeh M.R., Rajabi A., "A review of major non-sulfide zinc deposits in Iran", Geoscience Frontiers 9 (2018) 349-472.

[15] Parsa M., Maghsoudi A., "Controls on Mississippi Valley-Type Zn-Pb mineralization in Behabad distric, Central Iran: Constraints from spatial and numerical analyses", Journal of African Earth Sciences, 140, (2018) 189-198.

[16] Qasemi M., Momenzadeh M., Yaghoubpour A., Mirshokraee A., "Textural and mineralogical study of Zn-Pb Mehdi Abad deposit", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 3 (2008) 389-404 in Persian.

[17] Boveiri Konari M., Rastad E., "Nature and origin of dolomitization associated with sulphide mineralization: new insights from the Tappehsorkh Zn-Pb (-Ag-Ba) deposit, Irankuh Mining District, Iran", Geological Journal, 53 (2017) 1-211.

[18] Boveiri Konari M., Rastad E., Mohajjel M., Nakini A., Haghdost M., "Structure, Texture, Mineralogy and Genesis of Sulphide Ore Facies in Tappehsorkh Detrital-Carbonate-Hosted Zn-Pb-(Ag) Deposit, South of Esfahan" Scientific Quarterly Journal Geosciences, 25 (2016) 221-236 In Persian with English abstract.

میزان گستردگی، چگونگی ارتباط کانی سازی روی با آنها و نقش آنها در تعیین عیار واقعی معادن تعیین گردد.

قدردانی

از مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (به ویژه آقای دکتر بهروز کریمی و خانم مهندس معصومه معدنی پور) به خاطر انجام تجزیه های مختلف و از مهندس مهدی محمدی مدیرعامل محترم شرکت کاوش فن آور مانا به خاطر همکاری و هماهنگی در انجام عملیات صحرایی در معدن سرب و روی بهرامتاج تشکر می شود.

مراجع

[1] Rezaeian K., Rasa I., Jafari M., Amiri A., Khosrotehrani K., "Epigenetic dolomitization, Exploration guide of zinc and lead Non-Sulfide minerals with Carbonate -Hosted", Lahijan geoscience magazine, (2010) 31-40.

[2] Mondillo N., Boni M., Balassone G., Villa I., "The Yanque Prospect (Peru): From Polymetallic Zn-Pb Mineralization to a Nonsulfide Deposit", Economic Geology 109 (2014) 1735-1763.

[3] Slezak P.R., Olivo G.R., Oliveira G.D., Dardenne M.A., "Geology, mineralogy, and geochemistry of the Vazante Northern Extension zinc silicate deposit, Minas Gerais, Brazil", Ore Geology Reviews 56 (2014) 234-257.

[4] Heyl A.V., Boizon C.N., "Oxidized zinc deposits of the United States, part I. General geology", U.S. Geology Survey 1135-A (1962) 52p.

[5] Hitzman M.W., Reynolds N.A., Sangster D.F., Allen C.R., Carman C.E., "Classification, genesis, and exploration guides for nonsulfide Zinc deposits", Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists 98 (2003) 685-714.

[6] Boni M., Mondillo N., "The "calamine" and the "others": the great family of supergene nonsulfide zinc ores", Ore Geology Reviews 67 (2015) 208-233.

[7] Reichert J., Borg G., "Numerical simulation and a geochemical model of supergene carbonate-hosted nonsulphide zinc deposits", Ore Geology Reviews 33 (2008) 117-133.

[8] Choulet F., Charles N., Barbanson L., Branquet Y., Sizaret S., Ennaciri A., Badra L., Chen Y., "Non-sulfide zinc deposits of the Moroccan High Atlas: Multi-scale characterization and origin", Ore Geology Reviews 56 (2014) 115-140.

- Pb-Zn deposit in northeastern Yunnan Province, southeast China*", Ore Geology Reviews 107 (2019) 780-800.
- [28] Zabinski W., "Zincian dolomite from the Warynski mine, Upper Silesia. Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences", S Sci Chim, Geol et Geogr 7 (1959) 355-358.
- [29] Zabinski W., "Zincian dolomite: the present state of knowledge", Mineralogy Polonica 11 (1980) 19-32.
- [30] Mondillo N., Boni M., Balassone G., Grist B., "In search of the lost zinc: a lesson from the Jabali (Yemen) nonsulfide zinc deposit", J Geoch Expl 108 (2011) 209-219.
- [31] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran: A review", American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52 (1968) 1229-1258.
- [32] Aghanabati A., "Iran's Geology", Geological Survey of Iran (2005), 622p.
- [33] Alaei S., Fudazi M., "Geological Map of Aghda, Tehran, Geological Survey of Iran, scale 1:100,000", (2006).
- [34] Amidi M., Nabavi M.H., "Geological Map of the Sarve bala. Tehran, Geological Survey of Iran, scale 1:100,000", (1988).
- [35] Luke G., Nigel J., Cook C., Ciobanu L., Benjamin P.W., "Trace and minor elements in galena: A reconnaissance LAICP-MS study", American Mineralogist, 100 (2015) 548-569.
- [36] Newton T., "Geochemistry of the Timberville Zn-Pb District, Rockingham County", VA. Ph.D. thesis, University of Maryland, Maryland, USA, 2013. 137 pp.
- [37] Boni M., Large D., "Nonsulfide zinc mineralization in Europe: an overview", Economic Geology 98 (2003) 715-729.
- [38] Fazli S., Taghipour B., Lentz D., "The Zn-Pb sulfide and Pb-Zn-Ag non-sulfide Kuh-e-Surmeh ore deposit, Zagros Belt, Iran: Geologic, mineralogical, geochemical, and S isotopic constraints", Journal of Geochemical Exploration 194 (2018) 146-166.
- [39] Mondillo N., Wilkinson J., Boni M., Weiss D., Mathur M., "A global assessment of Zn isotope fractionation in secondary Zn minerals from sulfide and non-sulfide ore deposits and model for fractionation contro'l, Chemical Geology 500 (2018) 182-193.
- [40] Gholizadeh K., Rasa I., Yazdi M., Boni M., Mohamadi M., "Mineralogy of lead and zinc non-
- [19] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Esmaeili Sevieri A., Shabani S., Allaz J.M., Stern C.R., "Geology, mineralization, mineral chemistry, and ore fluid conditions of Irankuh Pb-Zn mining district, south of Isfahan", Journal of Economic Geology 9 (2018b) 267-294 In Persian with English abstract.
- [20] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Alaminia Z., Esmaeili Sevieri A., Stern C.R., "New hypothesis on time and thermal gradient of subducted slab with emphasis on dolomitic and shale host rocks in formation of Pb-Zn deposits of Irankuh-Ahangaran belt", Journal of Economic Geology 10 (2019) 677-706 In Persian with English abstract.
- [21] Jazi M.A., Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., "Crystallography, mineralogy and geochemistry of galena in Nakhlak lead mine (Esfahan)", Iran Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (2015) 3-18.
- [22] Vaziri S.H., Fursich F.T., Kohan salghadimvand N., "Facies analysis and depositional environments of the Upper Cretaceous Sadr unit in the Nakhlak area, Central Iran", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 29 (2012) 384-397.
- [23] Pourkaseb H., Taheri S., Zarasvandi A., Aliabadi M.A., "Geochemistry and Genesis of Robat paein Barite deposit, Khomein, Markazi", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 4 (2016) 813-82.
- [24] Yajam S., Aminin S., Ghalamghash J., "Petrogenesis of apatite-bearing granitic intrusion of Chah-e-Torsh", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 3 (2008) 425-434 in Persian.
- [25] Kuhjani V., Musivand F., Rajabi A., "Construction, texture, ore faces and the formation of Haftthar Zinc-Lead Deposit, Southwest of Aghda", 9th National economic Geology Conference of Iran (2017) in Persian.
- [26] Motavali K., Behzadi M., Yazdi M., "Hydrogeochemistry of lead and zink Nodushan deposit ecpecially mineralography and sulfide minerals analysis", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 4 (2018) 813-824.
- [27] Yang Q., Liu W., Zhang J., Wang J., Zhang X., "Formation of Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou triangle linked to the Youjiang foreland basin: Evidence from Rb-Sr age and in situ sulfur isotope analysis of the Maoping

USA. (2004).

- [50] Goldsmith R., Graf D.L., Northrup D.A., "Studies in the system CaCO_3 - MgCO_3 - FeCO_3 : (1) phase relations; (2) a method for major element spectrochemical analyses; (3) compositions of some ferroan dolomites", *Journal Geology* 70 (1962) 659-688.
- [51] Goldsmith R., Northrup D.A., "Subsolidus relations in the systems CaCO_3 - MgCO_3 - CoCO_3 and CaCO_3 - MgO - NiCO_3 ", *Journal Geology* 73 (1965) 817-829.
- [52] Rosenberg E., "Subsolidus relations in the system CaCO_3 - MgCO_3 - FeCO_3 , between 350 and 550°C", *American Mineralogist* 52 (1967) 787-796.
- [53] Vandeginste V., John C.M., "Manning, Ch Interplay between depositional facies, diagenesis and early fracture in the Early Cretaceous Habshan Formation, Jebel Madar, Oman", *Marine and Petroleum Geology* 43 (2013) 489-503.
- [54] Milliman J.D., "Marine Carbonates Part 1: Recent Sedimentary Carbonate", *Springer-Verlag, Berlin*, (1974) 375 p.
- [55] Rao C.P., Amini Z.Z., "Faunal relationship to grain-size, mineralogy and geochemistry in recent temperate shelf carbonate, Western Tasmania, Australia", *Carbonates and Evaporites*, 10 (1995) 114-123.
- [56] Rao C.P., Adabi M.H., "Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia", *Marine Geology*, 103 (1992) 249-272.
- [57] Kulp J.L., Kent P., Kerr P.F., "Thermal study of the Ca - Mg - Fe carbonate minerals", *American Mineralogist* 36 (1951) 643-670.
- sulfide minerals in Bahramtaj mining district", Geological Survey of Iran (2017) in Persian.
- [41] Lecumberri-Sanchez P., Romer R. L., Luders V., Bodnar R., "Genetic relationships between silver-lead-zinc mineralization in the Wutong deposit, Guangxi Province and Mesozoic granite magmatism in the Nanling belt, southeast China", *Mineralium Deposita* 49(2014), 353-369.
- [42] Wilkinson, J. J., "Sediment-hosted zinc-lead mineralization: Processes and perspectives. *Treatise on Geochemistry*", second Edition, Elsevier, (2014), 219-248.
- [43] Moore J. McM., "Supergene mineral deposits and physiographic development in southwest Sardinia, Italy: Transactions Institution Mining and Metallurgy Section B" *Applied Earth Science*, 71 (1972) 59-66.
- [44] Boni M., Mondillo N., Balassone G., "Zincian dolomite: a peculiar dedolomitization case?" *Geology* 39 (2011) 183-186.
- [45] Yazdi M., "Geochemical Sampling Methods", Jahad Daneshgahi press, (2018) 182p in Persian.
- [46] Dini G., Enayati M.H., "Quantitative X-ray Diffraction Analysis by the Rietveld Method", Jahad daneshgahi, Esfahan, (2016) 181p in Persian.
- [47] Birch W.D., "Zincian dolomite from Broken Hill, New South Wales *Journal of the Geological Society of Australia*", 30 (1983) 85-87.
- [48] Jaakko Siivola J., Schmid R., "List of Mineral Abbreviations", *Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: Web version* 01.02.07
- [49] Mandarino J.A., Back M.E., *Fleischer's Glossary of Mineral Species*, Ninth Edition, the Mineralogical Record Inc., and Tucson, Arizona,