



## کانی‌شناسی، ژئوشیمی و زایش رگه‌های مس‌دار سازند نسن، جنوب غرب آمل، پهنه البرز مرکزی

ناهدید علانی‌بخش<sup>۱</sup>، غلامحسین شمعیان<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۲- دانشیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: gh.shamanian@gu.ac.ir

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰، پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۳/۳

### چکیده

رگه‌های مس‌دار سازند نسن بخشی از زون البرز مرکزی است که در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غرب آمل واقع شده‌اند. سنگ میزبان این رگه‌ها، سنگ آهک دولومیتی سازند الیکا است. کانی‌سازی از نوع شکافه پرکن بوده و به صورت رگه‌ای و برش‌های گرمایی صورت گرفته است. کالکوپیریت، پیریت، تتراندريت، کوارتز، کلسیت و باریت از مهم‌ترین کانی‌های کانستگ است که در طی سه مرحله اصلی تشکیل شده‌اند. مرحله اول با حضور کلسیت، دولومیت، کوارتز و کالکوپیریت مشخص می‌شود. دولومیتی‌شدن و سیلیسی‌شدن سنگ دیواره در این مرحله رخ داده است. مرحله دوم، مرحله اصلی کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه است که بیشترین شدت کانی‌سازی سولفیدی را در بردارد. مرحله سوم با رگه‌ها و رگچه‌های کوارتزی مشخص می‌شود که مجموعه‌های کانی‌شناسی مراحل اول و دوم را قطع کرده‌اند. کلسدونی با بافت کلوفرمی و باریت از کانی‌های باطله این مرحله‌اند. کالکوسیت، آزوریت، مالاکیت، همتایت، گوتیت و کوپریت از محصولات دگرسانی برون‌زاد در این منطقه‌اند. دولومیتی‌شدن و سیلیسی‌شدن از دگرسانی‌های گرمایی است که در نزدیکی رگه‌ها بر شدت آنها افزوده می‌شود. ارزیابی داده‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش‌های مختلف آماری چندمتغیره منجر به شناسایی مناطق دارای عیارهای بالا شده است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که عناصر Sr, Ba, Sb, Zn, Cu و دارای الگوی توزیع مشابه بوده و دارای بیشترین غلظت در زون‌های دگرسانی گرمایی هستند. تلفیق نتایج زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نشانگر نقش محلول‌های گرمایی شور حوضه‌ای در تشکیل رگه‌های مس‌دار نسن است. داده‌ها نشان می‌دهند که جوشش، سردشدگی و رقیق‌شدگی مهم‌ترین فرایندهای موثر بر نهشت مواد معدنی در منطقه بوده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** دگرسانی، مجموعه‌های کانی‌شناسی، رگه‌های مس‌دار، البرز مرکزی، سازند نسن

### ۱- مقدمه

تاکنون مطالعات جامعی بر روی رگه‌های مس‌دار نسن انجام نشده و اطلاعات کافی درباره خاستگاه و ویژگی‌های پیدایشی آن وجود ندارد، در این مقاله سعی شده تا ویژگی‌های بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی کانستگ، به دقت بررسی و بر پایه آن درباره فرایندهای مؤثر بر کانی‌سازی اظهار نظر شود.

### ۲- روش بررسی

برای انجام این پژوهش، مطالعات در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی نحوه رخداد ماده معدنی، ارتباط با سنگ دیواره و تغییرات بافتی و کانی‌شناسی توده معدنی و سنگ دیواره بررسی شد و ۳۰ نمونه سنگی از سنگ دیواره و رگه‌های کانی‌سازی در راستای عمود بر گسترش رگه‌ها برداشت شد. در بخش مطالعات آزمایشگاهی، ۳۰ مقطع نازک-صیقلی در گروه زمین‌شناسی دانشگاه گلستان تهیه و بررسی‌های سنگ به روش‌های مرسوم میکروسکوپی بر روی آنها انجام شد. در این بررسی‌ها، کانی‌های کلسیت و دولومیت با رنگ‌آمیزی توسط محلول الیزارین رد اس (Red S Alizarin) به روش Dickson, (1965) شناسایی و از یکدیگر تفکیک شدند. برای شناسایی و تفکیک کانی‌های

گستره البرز در شمال ایران میزبان کانی‌سازی‌های فلزی و نافلزی متنوعی است که اگرچه در مقایسه با دیگر واحدهای ساختاری مانند ایران مرکزی، شرق ایران و سنجند-سیرجان کم‌اهمیت‌تر جلوه می‌کند، اما رویدادهای کانی‌سازی آن توزیع زمانی و مکانی منظم‌تری دارد. فسفات، بوکسیت، زغال‌سنگ، باریت، فلوریت، سرب، روی، آهن، طلا و مس از مهم‌ترین رخداد‌های کانی‌سازی در گستره البرز است (کاظمی، ۱۳۹۲).

منطقه نسن با موقعیت جغرافیایی ۱۷° ۵۱' طول شرقی و ۳۶° ۱۴' عرض شمالی در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان آمل و در بخش میانی البرز مرکزی واقع شده است. بررسی‌های زمین‌شناسی (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۹) و اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای به روش رسوبات رودخانه‌ای در برگه مرزن‌آباد از مهم‌ترین مطالعات پیشین است که منجر به شناسایی و معرفی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی فلزات پایه در منطقه نسن شده است. پس از آن، اکتشاف مقدماتی بر روی رگه‌های مس‌دار نسن توسط سازمان زمین‌شناسی کشور (حسین‌زاده، ۱۳۸۹) و اکتشاف کانی‌های فلزی و صنعتی در غرب منطقه بلده تا نسن توسط سازمان صنعت، معدن و تجارت استان مازندران (هاشم‌پور، ۱۳۹۰) انجام شده است. از آنجا که

کلسیت و دولومیت در سنگ دیواره و زون‌های کانی‌سازی از روش رنگ‌آمیزی با محلول آلزاین رد اس استفاده شد. برای این منظور ابتدا محلول رنگ‌آمیزی به روش Dickson, (1965) تهیه شد. برای تهیه این محلول مقدار ۰/۱ گرم پودر آلزاین‌رندر ۱۵۰ سی‌سی اسیدکلریدریک ۱/۵ درصد حل شد. برای کسب بهترین نتیجه، ابتدا همه نمونه‌های مورد بررسی توسط محلول اسیدکلریدریک رقیق شستشو داده شد. این محلول از مخلوط شدن ۱/۵ سی‌سی اسیدکلریدریک ۱/۵ درصد و ۹۸/۵ سی‌سی آب مقطر به دست می‌آید (Dickson, 1965). نمونه‌های آماده‌سازی شده به مدت ۱۰ تا ۱۵ ثانیه و در برخی موارد تا ۴۰ ثانیه در محلول آلزاین رد اس قرار گرفت و پس از خارج کردن نمونه از محلول و خشک شدن کامل آن شناسایی کانی انجام گرفت. در نتیجه این فرایند، کانی دولومیت بدون تغییر رنگ باقیمانده و کلسیت به رنگ صورتی تا قرمز تغییر رنگ می‌دهد.

شناسایی کانی‌های ناشناخته در ۵ عدد از نمونه‌ها به روش پراش پرتو ایکس (XRD) و با استفاده از دستگاه فیلیپس مدل PW 1800 در شرکت کانساران بینالود انجام شد. شناسایی کانی‌های بسیار ریزدانه و تعیین ترکیب شیمیایی آنها با استفاده از میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM-EDS) مدل LEO 1400 در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام پذیرفت. غلظت عناصر جزئی در ۳۰ نمونه کانسنگ با استفاده از دستگاه فلوروسانس پرتو ایکس (XRF) مدل PW 1480 توسط شرکت کانساران بینالود تعیین شد. حد آشکارسازی همه عناصر جزئی در این روش ۱ mg/kg بوده است.

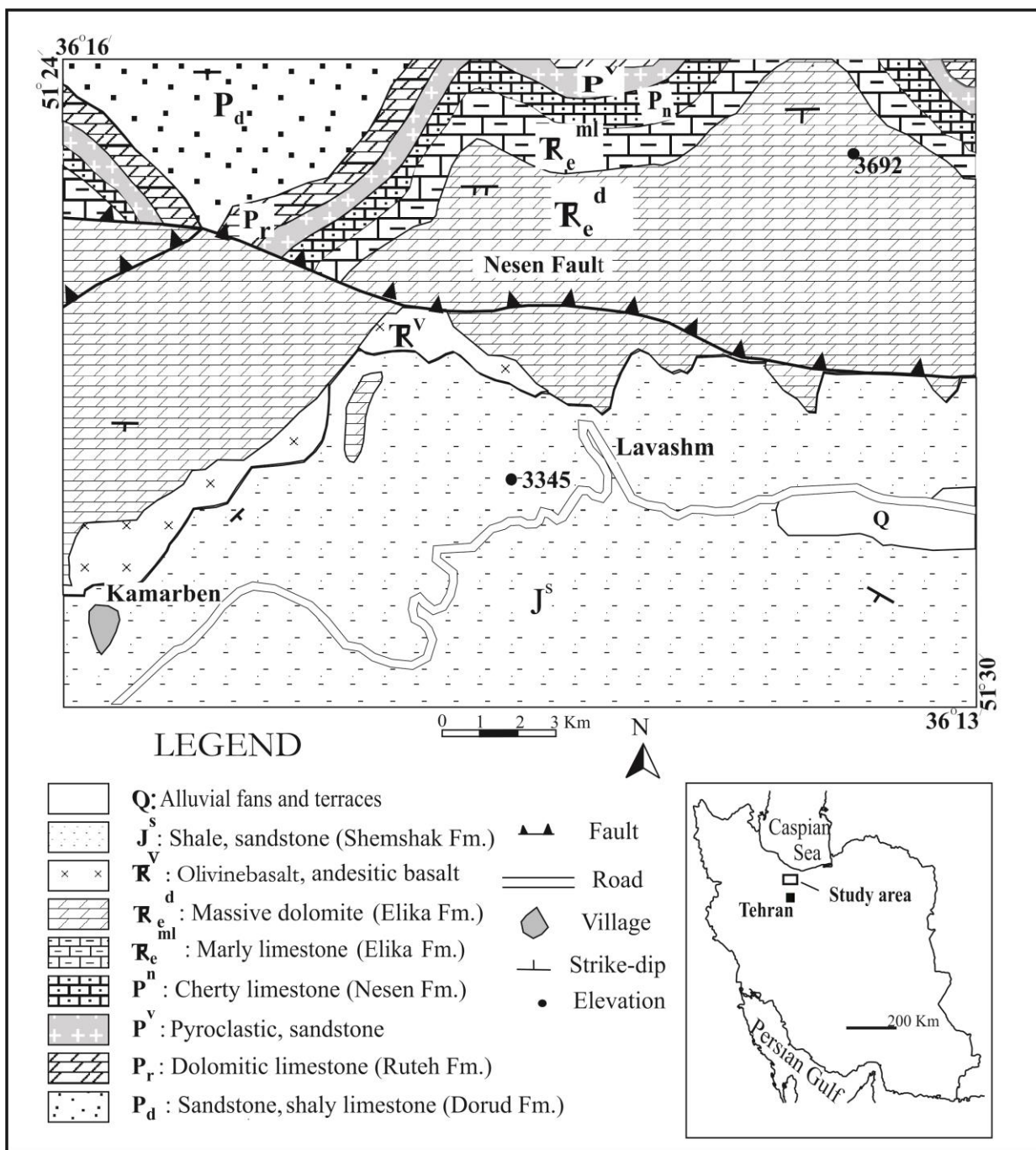
### ۳-۱- مشخصات سنگ‌نگاری

بر اساس مشاهدات میکروسکوپی، سنگ‌های آهکی سازند تریاس به طور عمده از کلسیت‌های ریزدانه تشکیل شده است که دارای آثار فسیلی از قبیل صدف‌های نرم‌تنان و روزن‌داران است (شکل ۲-الف). به منظور کنترل ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌آهک‌های یادشده و تفکیک کانی‌های کلسیت و دولومیت، برخی از نمونه‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی این سنگ‌ها با استفاده از آلزاین رد اس رنگ‌آمیزی شد. بر اساس نتایج حاصل از این روش، سنگ‌آهک‌های دور از کانی‌سازی دارای کمترین مقدار دولومیت می‌باشند و به‌طور عمده از کلسیت‌های ریزدانه تشکیل شده‌اند که با رنگ صورتی در مقاطع رنگ‌آمیزی شده مشخص می‌شود (شکل ۲-ب). واحد بازالتی و آندزیت‌بازالتی موجود بر روی سازند الیکا، در بین سنگ‌آهک‌های الیکا و شیل و ماسه‌سنگ‌های شمشک قرار گرفته است. بررسی میکروسکوپی این واحد نشان‌دهنده حضور کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند است (شکل ۲-پ) که در برخی از بخش‌ها به کانی‌های کلریت، اپیدوت و اکسیدهای آهن ثانویه دگرسان شده‌اند. سازند شمشک که ضخامت و گسترش جانبی زیادی در منطقه مورد مطالعه دارد به طور عمده شامل تناوبی از ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ضخیم‌لایه و لایه‌های شیلی است. ماسه‌سنگ‌های شمشک با توجه به فراوانی کوارتز و وجود کانی‌های فلدسپار پتاسیم‌دار و قطعات سنگی بر اساس طبقه‌بندی Folk, (1981) از نوع ماسه‌سنگ‌های ساب‌آرکوز لیتیک است (شکل ۲-ت).

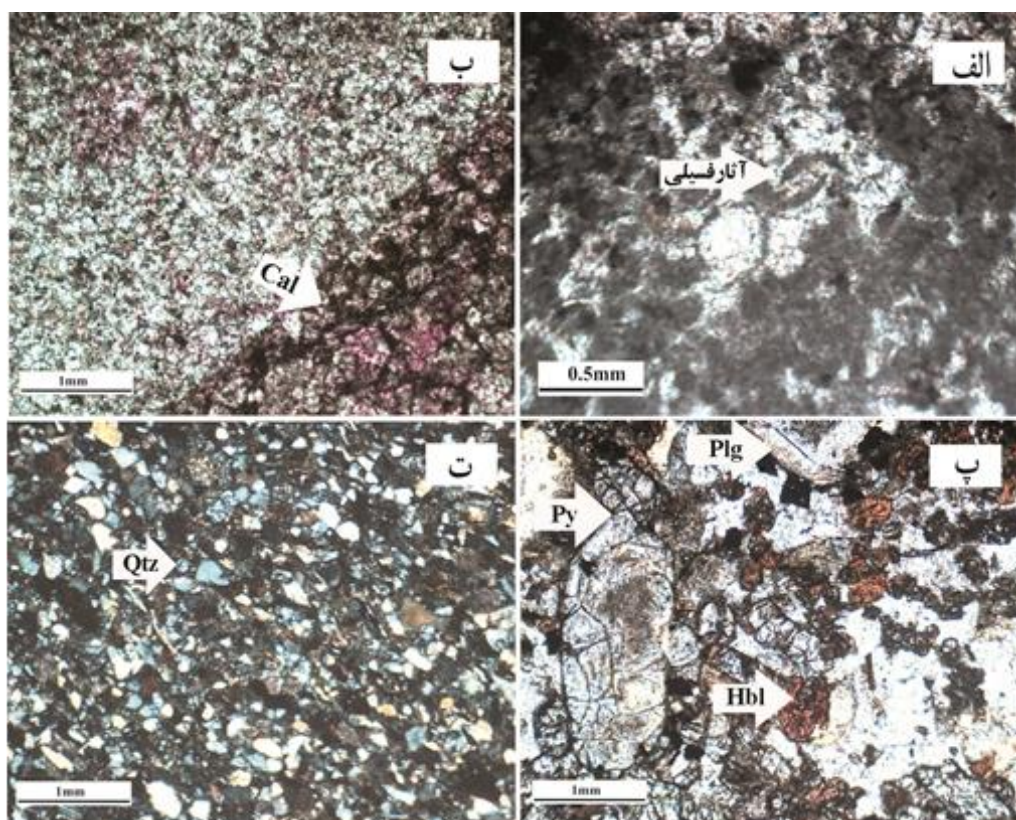
شناسایی کانی‌های ناشناخته در ۵ عدد از نمونه‌ها به روش پراش پرتو ایکس (XRD) و با استفاده از دستگاه فیلیپس مدل PW 1800 در شرکت کانساران بینالود انجام شد. شناسایی کانی‌های بسیار ریزدانه و تعیین ترکیب شیمیایی آنها با استفاده از میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM-EDS) مدل LEO 1400 در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام پذیرفت. غلظت عناصر جزئی در ۳۰ نمونه کانسنگ با استفاده از دستگاه فلوروسانس پرتو ایکس (XRF) مدل PW 1480 توسط شرکت کانساران بینالود تعیین شد. حد آشکارسازی همه عناصر جزئی در این روش ۱ mg/kg بوده است.

### ۳-۲ زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در واحد ساختاری البرز واقع است و از نظر ساختارهای زمین‌شناسی و واحدهای سنگی از این واحد پیروی می‌کند. بلندی‌های البرز با درازایی نزدیک به ۱۶۰۰ کیلومتر و راستای تقریبی شرقی- غربی که با خمیدگی به سوی جنوب تغییر راستا می‌دهد در بخش شمالی فلات ایران زمین قرار دارد و از نظر کوه‌نگاری تا قفقاز در غرب و تا کوه‌های پارامیسوس افغانستان در شرق گسترش دارد (Alavi, 1991 and 1996). منطقه مورد مطالعه در بخش مرکزی ارتفاعات البرز مرکزی قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا بیش از ۳۰۰۰ متر است. بر اساس بررسی‌های صحرایی، واحدهای سنگ‌چینه‌ای متعلق به پرمین، تریاس و ژوراسیک از واحدهای اصلی این منطقه است. سازندهای دورود، روته و نسن از واحدهای سنگ‌چینه‌ای متعلق به پرمین هستند که در بخش شمالی منطقه رخنمون دارند (شکل ۱). سنگ‌های آهک دولومیتی سازند روته بر روی ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های آهک شیلی سازند درود قرار گرفته و خود توسط مجموعه‌ای از سنگ‌های آهک‌چرتی سازند نسن پوشیده شده است. سازند نسن دارای مرز ناپیوسته با ماسه‌سنگ‌های مارنی و دولومیت‌های توده‌ای سازند الیکا است. سازند الیکا که از رخنمون قابل توجهی در بخش میانی منطقه مورد مطالعه برخوردار است توسط یک گسل راندگی اصلی با امتداد شرقی- غربی قطع شده است. این گسل باعث قطع شدگی واحدهای



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده منطقه نسن. موقعیت منطقه مورد مطالعه با مربع توخالی بر روی نقشه ایران نشان داده شده است (نقشه پایه از وحدتی دانشمند، ۱۳۷۹)



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی مهم‌ترین سنگ‌های متعلق به واحدهای سنگ‌چینه‌ای رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه الف) آثار فیسیلی از صدف نرم‌تنان و روزن‌داران در بخش بالایی سنگ آهک‌های الیکا که به دلیل دولومیتی شدن نامگذاری دقیق فسیل‌ها ممکن نیست، ب) سنگ آهک سازند الیکا که بخشی از آن (سمت چپ) پس از رنگ‌آمیزی توسط آلزارین به رنگ صورتی درآمده است، پ) کانی‌های هورنبلند، پیروکسن، پلاژیوکلاز در بازالت‌های روی سازند الیکا، ت) ماسه‌سنگ سازند شمشک. همه تصاویر در نور عبوری پلاریزه. اختصارات: Qtz = کوارتز، Cal = کلسیت، Plg = پلاژیوکلاز، Hbl = هورنبلند، Py = پیروکسن

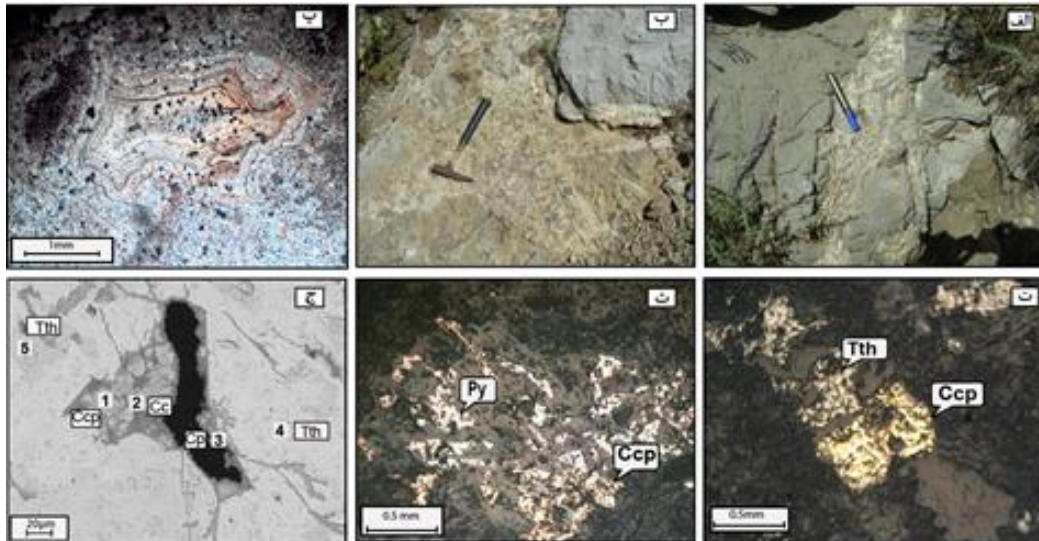
#### ۴- ریخت‌شناسی و کانی‌شناسی کانسنگ

مشخص می‌شود. دولومیتی شدن و سیلیسی شدن سنگ‌های کربناتی دیواره از رویدادهای قابل توجه در این مرحله است. مرحله دوم، اصلی‌ترین مرحله کانی‌سازی است و به ترتیب با فراوانی کالکوپیریت، تتراهدريت، پیریت و کالکوسیت مشخص می‌شود. کلسیت فراوان‌ترین کانی غیرسولفیدی این مرحله است که نسبت به کلسیت‌های مرحله اول درشت‌دانه‌تر است. کوارتز و باریت فراوانی ناچیزی در این مرحله دارند. مرحله سوم با رگه‌های سیلیسی مشخص می‌شود که سنگ دیواره و کانی‌سازی‌های پیشین را قطع کرده‌اند. این رگه‌ها به طور عمده از کوارتزهای ریزدانه تا متوسط‌دانه، کلسدونی‌های با بافت کلوفرمی و باریت مشخص می‌شود. سرانجام، کانی‌سازی برون‌زاد که بر اثر فرایندهای سطحی رخ داده با حضور کانی‌های آزوریت، مالاکیت، همتایت، گوتیت و کوپیریت مشخص می‌شود. کالکوپیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی در نمونه‌های مورد مطالعه است که به صورت بلورهای نیمه‌وجه‌دار تا بی‌وجه و با اندازه متوسط ۲ میلی‌متر دیده می‌شود (شکل ۳-ت). پیریت که در مرحله دوم از کانی‌سازی درون‌زاد تشکیل شده به صورت نیمه‌وجه‌دار با اندازه‌های ۱۰۰ میکرون تا ۰/۵ میلی‌متر قابل مشاهده است و اغلب با کالکوپیریت هم‌رشدی دارد (شکل ۳-ث). اغلب پیریت‌های مورد مطالعه از حاشیه به اکسیدها و هیدروکسیدهای ثانویه از قبیل گوتیت و همتایت دگرسان شده‌اند. تتراهدريت که با جلای فلزی در

کانی‌سازی در منطقه نسن از نوع شکافه پرکن است که در سنگ‌های کربناتی سازند الیکا رخ داده است و دارای ظاهر رگه‌ای، رگچه‌ای و برشی است. منطقه کانی‌سازی با گسترش طولی افزون بر ۳۰۰ متر و ضخامت متوسط ۲۰ متر مشخص می‌شود که در بردارنده رگه‌ها و برش‌های کانی‌سازی است. وجود دیواره‌های همساز و مرزهای تند بین ماده معدنی و سنگ دیواره (شکل ۳-الف) و بافت برشی کانسنگ (شکل ۳-ب) از مشخصات اصلی کانی‌سازی است که در مقیاس‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی قابل مشاهده است. کانسنگ دارای حفره‌های زیادی است که اغلب توسط کلسیت و کوارتزهای آغشته به مالاکیت و آزوریت آکنده‌اند. در برخی نمونه‌ها شواهدی از بافت کلوفرمی متشکل از کوارتز نهان‌بلور دیده می‌شود (شکل ۳-پ). بررسی‌های کانی‌شناسی نشان‌دهنده وجود کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، تتراهدريت، کالکوسیت، کلسیت، دولومیت، کوارتز و باریت در کانسنگ است. بر اساس تلفیق یافته‌های صحرایی و آزمایشگاهی، این کانی‌ها در دو مرحله اصلی درون‌زاد و برون‌زاد تشکیل شده‌اند (جدول ۱). کانی‌سازی درون‌زاد شامل سه مرحله است. مرحله اول با فراوانی کلسیت، دولومیت و کوارتز و کانی‌سازی ناچیز و پراکنده کالکوپیریت

نقطه‌های این کانی‌ها به روش SEM-EDS بیانگر هم‌نشینی کالکوپیریت، تتراهدریت و کالکوسیت و جانشینی کالکوپیریت توسط کوپریت است که با نتایج سنگ‌نگاری همخوانی دارد (شکل ۴).

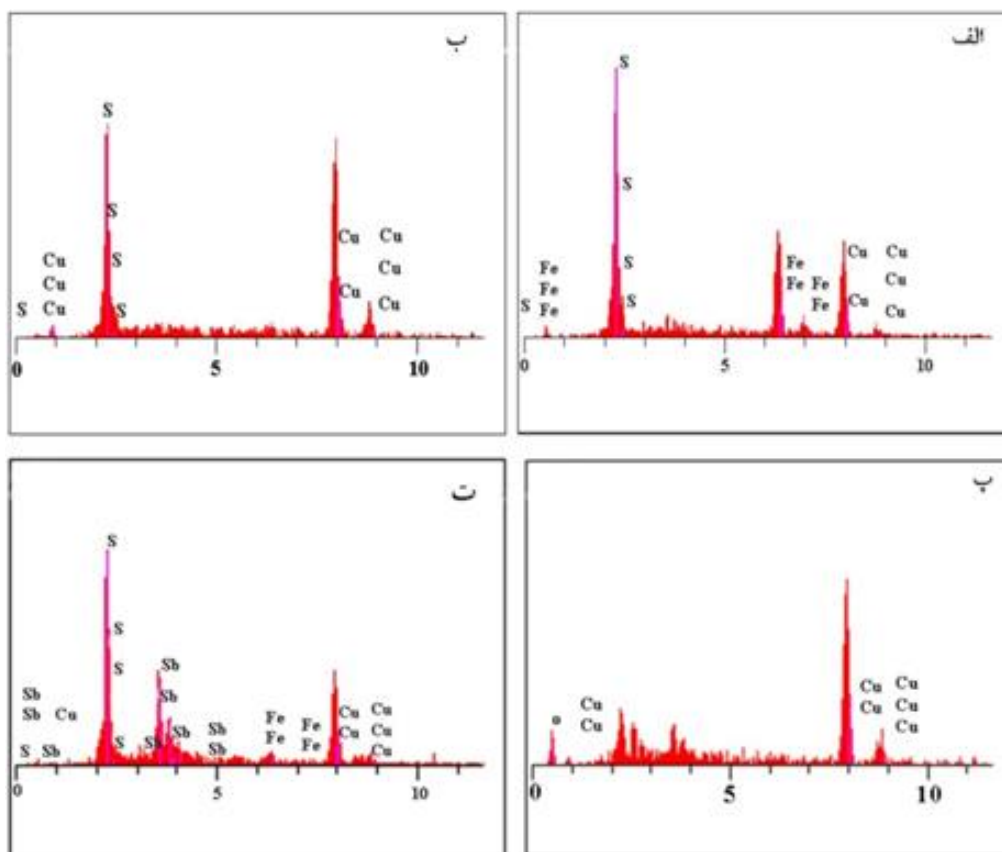
نمونه‌های دستی مشخص می‌شود به صورت شکافه پرکن فضای خالی بین قطعات برشی را پر کرده و با کالکوپیریت همراه است (شکل ۳-ت). بررسی کانی‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (شکل ۳-ج) و تجزیه



شکل ۳- تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از بافت‌ها و کانی‌های شناسایی شده در رگه‌های مس‌دار سازند نسن. الف) دیواره‌های همساز با مرزهای تند بین رگه‌ها و سنگ دیواره، ب) بافت برشی کانستگ، پ) کوارتزهای نهان بلور با بافت کلوفرمی، ت) هم‌رشدی کالکوپیریت (Ccp) و تتراهدریت (Tth) در نور بازتابی عادی، ث) هم‌رشدی پیریت و کالکوپیریت. پیریت در حال تبدیل شدن به هیدروکسیدهای آهن ثانویه است، ج) تصویر BS (Back-Scattered) از تتراهدریت، کالکوپیریت، کالکوسیت (Cc) و کوپریت (Cp)، تصویر پ در نورگذری عادی و تصاویر ت و ث در نور بازتابی عادی گرفته شده‌اند.

جدول ۱- توالی پاراژنری کانی‌سازی و کانی‌های دگرسانی در منطقه نسن. ضخامت خطوط بیانگر اهمیت و فراوانی کانی‌ها است

Stage	Hypogene			Supergene
	I	II	III	
Chalcopyrite	-----	-----	-----	
pyrite				
Tetrahedrite				
Calcite				
Dolomite				
Quartz		-----	-----	
Chalcedony			-----	
Barite		-----	-----	
Chalcocite				-----
Azurite				-----
Malachite				-----
Goethite				-----
Hematite				-----
Cuprite				-----



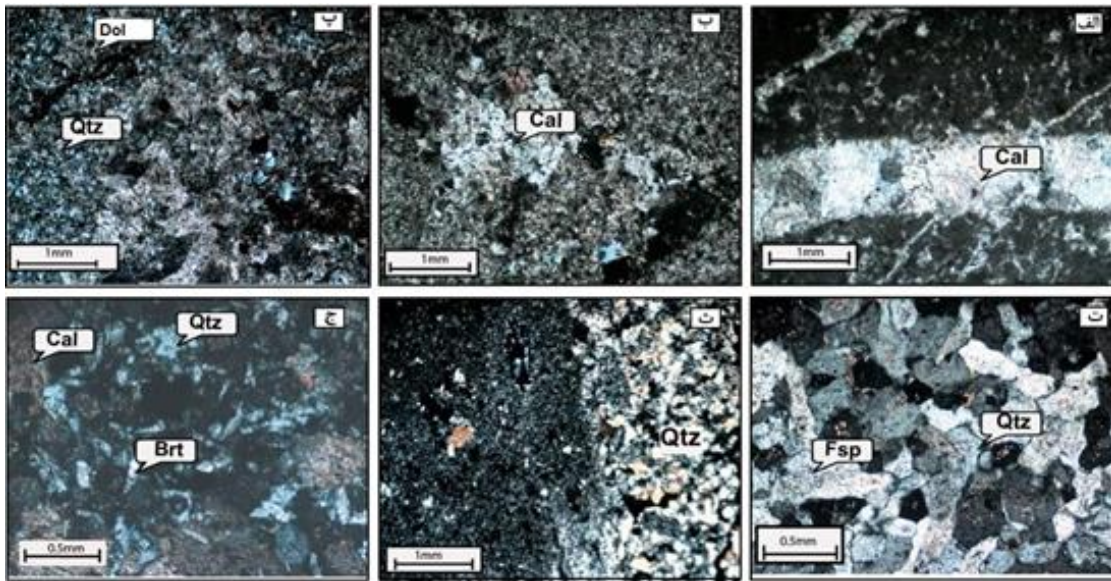
شکل ۴- نتایج تجزیه شیمیایی نقطه‌ای به روش SEM-EDS برای نقاط ۱ تا ۴ در شکل ۳- ج که نشان‌دهنده حضور کالکوپریت (الف) کالکوسیت (ب) کوپریت (پ) و تتراهدریت (ت) به ترتیب در نقاط ۱ تا ۴ است

مشخص با سنگ‌های کربناتی سیلیسی شده هستند (شکل ۵- ث). باریت یکی از کانی‌هایی است که در مرحله سوم کانی‌سازی، بلورهای کوارتز را همراهی می‌کند (شکل ۵- ج). پایانی‌ترین مرحله کانی‌سازی درون‌زاد با حضور کلسدون مشخص می‌شود که دارای بافت کلوفرمی آشکار است. این کانی آخرین فضاهای خالی میان سایر کانی‌ها را پر کرده و فاقد کانی‌سازی سولفیدی است.

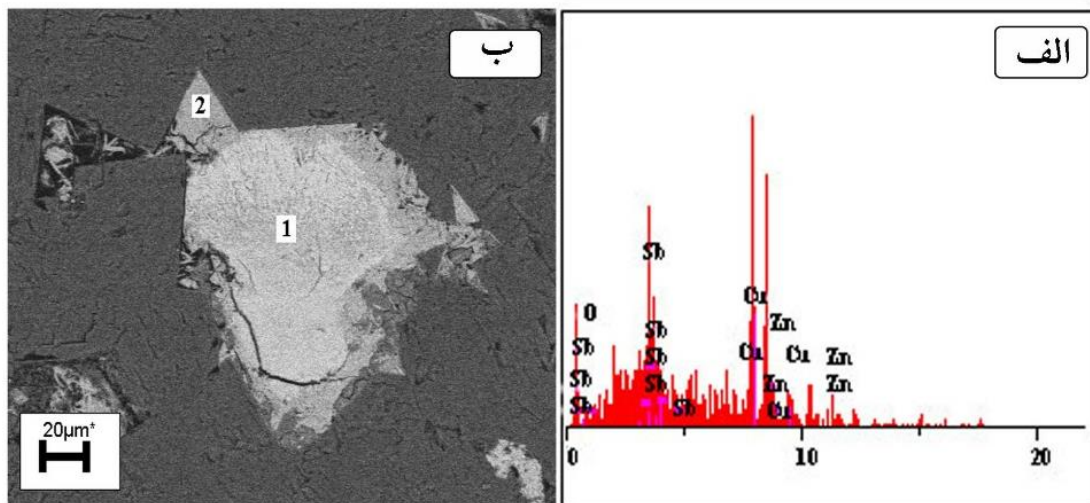
اگرچه در این مطالعه، اسفالریت و یا دیگر کانی‌های اصلی روی در بررسی‌های سنگ‌نگاری به روش‌های مرسوم میکروسکوپی مشاهده نشد، اما تنها در یکی از نمونه‌های مطالعه‌شده آثاری از اسفالریت به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) شناسایی شد (شکل ۶). از سوی دیگر، حسین‌زاده، (۱۳۸۹) در بررسی مقدماتی بر روی رگه‌های نسن به حضور اسفالریت در این رگه‌ها اشاره داشته است.

یکی از ویژگی‌های قابل توجه رگه‌های کانی‌سازی نسن توسعه فرایندهای دگرسانی برون‌زاد است که با حضور کانی‌های آزوریت، ملاکیت، کوپریت و گوتیت مشخص می‌شود. آزوریت و ملاکیت فراوانی زیادی داشته و آشکارا در سطح سنگ‌های دیواره کربناتی و رگه‌های کانی‌سازی وجود دارند. مطالعات میکروسکوپی الکترونی روبشی نشانگر حضور کوپریت در حاشیه بیرونی تتراهدریت و کالکوپریت است که در بخش‌های سطحی رگه‌های کانی‌سازی گسترده‌تری دارد.

کلسیت یکی از کانی‌های اصلی درون‌زاد است که به صورت آکنده‌گی‌های شکافی در رگچه‌ها (شکل ۵- الف) و فضاهای خالی (شکل ۵- ب) وجود دارد. این کانی در مراحل اول و دوم کانی‌سازی تشکیل شده و از بیشترین فراوانی در مرحله دوم برخوردار است. کلسیت‌های مرحله اول در مقایسه با کلسیت‌های مرحله دوم که اغلب درشت‌دانه و با کانی‌سازی سولفیدی همراهند، ریزدانه بوده و فقیر از کانی‌سازی هستند. بلورهای کلسیت در برخی نقاط و به‌ویژه در کانسنگ‌های برشی به صورت ورقه‌های سفیدرنگ و با اندازه‌های نسبتاً درشت وجود دارد. دولومیت یکی دیگر از کانی‌های موجود در زون‌های کانی‌سازی است که فراوانی کمتری نسبت به کلسیت دارد. دولومیت‌ها دارای شکل‌های نیمه وجه‌دار تا وجه‌دار و اندازه ریز تا متوسط هستند. شناسایی و تفکیک بلورهای کلسیت و دولومیت به روش رنگ‌آمیزی توسط آلیزارین رد اس انجام شد که در این حالت بلورهای دولومیت تغییر رنگی نداشت و بلورهای کلسیت صورتی شدند. کوارتز از کانی‌های اصلی کانسنگ است که در تمامی مراحل کانی‌سازی درون‌زاد تشکیل شده و بیشترین فراوانی را در مرحله سوم دارد. این کانی در مراحل اول و دوم کانی‌سازی به صورت ریزبلور تظاهر داشته و باعث سیلیسی‌شدن سنگ‌های کربناتی دیواره شده است (شکل ۵- پ). کوارتزهای مرحله سوم شامل بلورهایی با اندازه چند میکرون تا چند میلی‌متر است (شکل ۵- ت) که به صورت رگه‌ها و رگچه‌هایی دیده می‌شوند که دارای همبندی تند و



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی از کانی‌سازی کلسیت و کوارتز در رگه‌های مس‌دار سازند نسن. الف) رگچه‌های کلسیتی در مرحله اول کانی‌سازی، ب) آکنده‌های فضای خالی توسط کلسیت و کانی‌های سولفیدی (تیره) در مرحله دوم کانی‌سازی، پ) سیلیسی شدن سنگ دیواره کربناتی، ت) همبری رگچه‌های کوارتزی و سنگ دیواره سیلیسی شده، ث) بلورهای کوارتز در رگچه‌های مرحله سوم کانی‌سازی، ج) همراهی کوارتز (Qtz)، باریت (Brt) و کلسیت (Cal) در مراحل پایانی کانی‌سازی درون‌زاد. همه تصاویر میکروسکوپی در نورگذرای قطبیده گرفته شده است

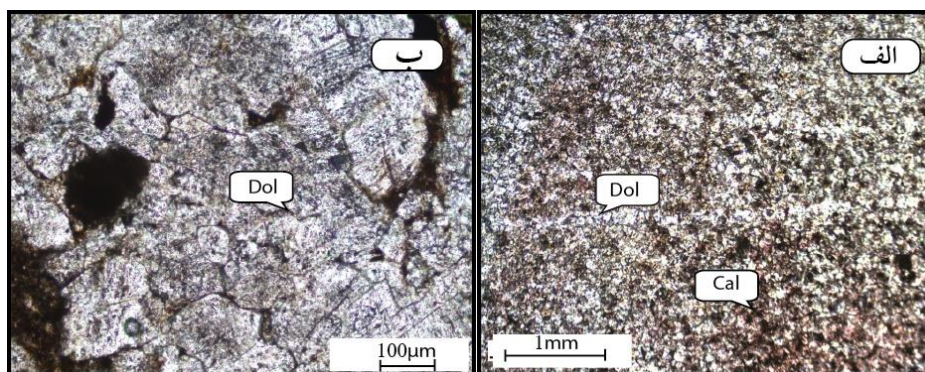


شکل ۶- الف) تصویر Back Scatterd از تتراهدریت (نقطه ۱) و اسفالریت (نقطه ۲). ب) نمودار تجزیه شیمیایی در نقطه ۲

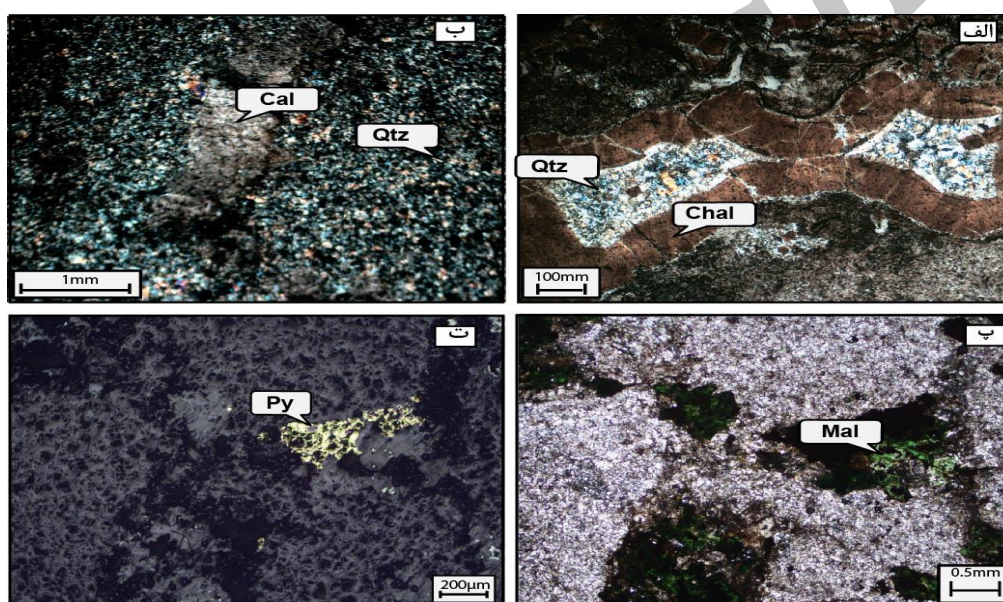
## ۵- دگرسانی گرمابی

تشکیل کوارتزهای ریزدانه و گاه کلسدونی (شکل ۸- الف) در فضاهای خالی موجود در سنگ دیواره و جانشینی آن بطن کلسیت مشخص می‌شود (شکل ۸- ب) که تا فاصله ۲۰ متری رگه‌های کانی‌سازی رخ داده و باعث شکنندگی سنگ‌ها شده است. توسعه دگرسانی‌های گرمابی باعث افزایش قابلیت نفوذپذیری و شکنندگی سنگ‌ها شده و شرایط مناسب برای کانی‌سازی را فراهم آورده است که در نتیجه آن رگه‌ها و رگچه‌های کانی‌سازی (شکل ۸- ب) و آکنده‌های غنی از سولفید تشکیل شده‌اند (شکل ۸- پ، ت).

دولومیتی شدن و سیلیسی شدن سنگ‌های کربناتی الیکا از رویدادهای دگرسانی گرمابی در منطقه مورد مطالعه است که در مقیاس‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی قابل مشاهده است. دولومیتی شدن، دگرسانی غالب در این منطقه است و گسترش مکانی وسیع‌تری در اطراف رگه‌ها دارد (شکل ۷- الف). دولومیت‌های بی‌وجه تا نیمه‌وجه‌دار حاصل از این دگرسانی در بطن کلسیت رشد کرده و باعث جانشینی گسترده سنگ دیواره در نزدیکی رگه‌های کانی‌سازی شده است (شکل ۷- ب). سیلیسی شدن با



شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی از دولومیتی شدن سنگ دیواره کربناتی در منطقه نسن. الف) دولومیتی شدن سنگ آهک سازند الیکا که در آن دولومیت دارای ظاهری افشان و رگجای است، ب) توسعه بلورهای دولومیت در بخش‌های کاملاً دولومیتی شده. تصاویر میکروسکوپی در نورگذری عادی گرفته شده است.  
اختصارات: Cal = کلسیت، Dol = دولومیت



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی از رویدادهای دگرسانی گرمایی در منطقه نسن. الف) سیلیسی شدن شدید سنگ‌های کربناتی سازند الیکا؛ از دیواره به سمت داخل کلسدونی (Chal)، کوارتزهای (Qtz) ریزدانه و کوارتزهای درشت‌دانه‌تر دیده می‌شود، ب) رگچه کلسیتی (Cal) حاوی سولفید (تیره) در سنگ‌های کربناتی سیلیسی شده، پ) آکندگی فضاهای خالی توسط کانی‌های سولفیدی؛ آغشتگی به ملاکیت (Mal) با رنگ سبز دیده می‌شود. ت) همان تصویر پ در نور بازتابی عادی که کانی‌سازی پیریت (Py) را نشان می‌دهد. تصاویر الف و ب در نورگذری قطبیده؛ تصویر پ در نور گذرای عادی

## ۶- ژئوشیمی کانسنگ

است (حسنی‌پاک، ۱۳۸۹). Levinson, (1974) نشان داده که ضریب تغییرات برای عناصر جزئی از ۲ تا ۲/۵ در تغییر است و اگر ضریب تغییرات توزیع یک عنصر جزئی در یک سری از داده‌ها کمتر از این مقدار باشد می‌توان استنباط کرد که آن عنصر در مقادیر بزرگ‌تر از آنچه برای آن انتظار می‌رود، تمرکز یافته و از این رو ممکن است بی‌هنجاری‌هایی از آن در سری داده‌ها یافت شود. بررسی ضریب تغییرات عناصر Cu, Zn, As و Sb که به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۷، ۰/۱ و ۱ است، نشان‌دهنده تمرکز غیرعادی و وقوع بی‌هنجاری ژئوشیمیایی برای این عناصر است.

بررسی همبستگی اسپیرمن بین داده‌های ژئوشیمیایی بیانگر بیشترین همبستگی بین عناصر Cr-Ni, Y-Pb, La-Ce, Ce-As و به ترتیب با

برای بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانسنگ و ارتباط آن با مشخصات کانی‌شناسی، غلظت عناصر جزئی در نمونه‌های کانسنگ اندازه‌گیری شد (جدول ۲) و داده‌ها به روش‌های آماری چند متغیره (Davice, 2002) مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج آمار توصیفی (جدول ۳) نشان می‌دهد که عناصر Cu, As و Zn به ترتیب با میانگین ۰/۷، ۰/۲۷ و ۰/۱۴ درصد بیشترین غلظت را دارند.

ضریب تغییرات به‌عنوان معیاری برای سنجش تغییرپذیری نسبی داده‌ها به کار می‌رود و برابر با نسبت انحراف معیار داده به مقدار میانگین آن



ضرایب همبستگی ۰/۹۷، ۰/۹۶، ۰/۹۶ و ۰/۹۶ است (جدول ۴). به علاوه، جفت عناصر Ba-Zn Zn-Pb و Sr-Ba همبستگی مثبت معنی‌داری دارند. همبستگی مثبت بین باریم، استرانسیم، سرب و روی نشانگر کانی‌سازی توأم این عناصر با یکدیگر است. این نتایج با مشاهدات کانی‌شناسی رگه‌های مس دار نسن همخوانی دارد. به گونه‌ای که حضور باریت در مرحله سوم کانی‌سازی درون‌زاد توسط بررسی‌های سنگ‌نگاری و حضور اسفالریت به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تأیید شد. حسین‌زاده، (۱۳۸۹) نیز در بررسی مقدماتی بر روی رگه‌های نسن به حضور

اسفالریت در این رگه‌ها اشاره داشته است. بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی، عناصر Cu, Zn, Sb و As در مقایسه با سایر عناصر از مقادیر بالایی برخوردارند که با نتایج کانی‌شناسی و حضور کالکوپیریت و تتراهدریت به‌عنوان کانی‌های اصلی درون‌زاد و کوپریت به‌عنوان کانی اکسیدی برون‌زاد همخوانی دارد. بالابودن غلظت عناصر Cu, Sb, As و Cu با حضور تتراهدریت به‌عنوان یکی از کانی‌های حاوی مس و آنتیموان مشخص می‌شود که در مطالعات سنگ‌نگاری شناسایی شد و به روش SEM-EDS تأیید شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانسنگ به روش XRF غلظت‌ها بر حسب قسمت در میلیون (ppm)

sample No	Cu	Pb	Zn	As	Cl	Ba	Sr	Ni	Cr	V	Ce	La	Zr	Y	Rb
NE-2	۱۸۸	۲۲	۶۰	۸۱	۶۹	۲	۶۱	۳۴	۵	۸	۳	۲	۱۸	۱	۱۵
NE-3	۱۱۰۵۶	۷۳	۲۰۶۸	۴۹۹۲	۲۱۹	۵۲	۱۰۵	۵۲	۲۵	۴۸	۱۲۰	۴۲	۳۷	۶	۱۴
NE-4	۱۲۳۴۱	۲۶	۹۶۸	۳۰۹۹	۲۴۱	۲۶۹	۱۷۸	۴۹	۱۶	۵۲	۶۶	۲۴	۴۳	۱	۱۴
NE-5	۱۲۴۵۱	۶۶	۱۹۴۶	۸۴۰۵	۱۲۳	۷	۱۱۵	۹۰	۳۲	۵۶	۲۳۴	۹۳	۵۴	۶	۱۹
NE-9	۸۱۳۴	۵۴	۵۵۹	۸۱۵	۱۵۸	۵	۷۹	۶۱	۱۰۸	۴۰	۱۹	۶	۴۰	۴	۱۶
NE-18	۱۶۸۵	۴۱۲	۴۰۷۴	۱۳۵۱	۷۵	۸۵۶	۳۱۹	۱۱۴	۲۰۲	۸۶	۶۴	۲۵	۸۴	۹	۲۷
NE-23	۵۴۳۸	۳۱	۴۶۳	۶۴۶	۲۶۶	۲	۴۸	۴۴	۸	۲۱	۳۶	۱۱	۳۷	۴	۲۲

جدول ۳- نتایج آمار توصیفی عناصر جزئی در نمونه‌های کانسنگ (مقادیر مربوط به غلظت بر حسب ppm)

	میانگین	میانه	مد	چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	دامنه	کمینه	بیشینه
Cl	۱۶۴	۱۵۸	۶۹	۰/۰۲	-۱/۹۱	۷۹	۱۹۷	۶۹	۲۶۶
Ba	۱۷۰	۷	۲	۲/۲۱	۴/۹۰	۳۱۷	۸۵۴	۲	۸۵۶
Sr	۱۲۹	۱۰۵	۴۸	۱/۶۷	۲/۸۲	۹۳	۲۷۱	۴۸	۳۱۹
Cu	۷۳۲۷	۸۱۳۴	۱۸۸	-۰/۴۳	-۱/۶۷	۵۰۳۸	۱۲۳۰۰	۱۸۸	۱۲۵۰۰
Zn	۱۴۴۸	۹۶۸	۶۰	۱/۲۴	۱/۴۰	۱۳۸۱۱	۴۰۱۴	۶۰	۴۰۷۴
Pb	۹۷/۷۱	۵۴	۲۲	۲/۵۳	۶/۵۴	۱۴۰	۳۹۰	۲۲	۴۱۲
Ni	۶۳/۴۲	۱۵۲	۳۴	۱/۱۲	۰/۳۰	۲۸	۸۰	۳۴	۱۱۴
Cr	۵۶/۵۷	۲۵	۵	۱/۷۰	۲/۲۹	۷۳	۱۹۷	۵	۲۰۲
V	۴۴/۴۲	۴۸	۸	۰/۱۸	۰/۴۱	۲۵	۷۸	۸	۸۶
Ce	۷۷/۴۲	۶۴	۳	۱/۵۳	۲/۴۴	۷۸	۲۳۱	۳	۲۳۴
La	۲۹	۲۴	۲	۱/۷۱	۳/۱۸	۳۱	۹۱	۲	۹۳
Zr	۴۴/۷۱	۴۰	۳۷	۱/۱۴	۲/۴۹	۲۰	۶۶	۱۸	۸۴
Y	۴/۴۲	۴	۱	۰/۲۲	-۰/۴۶	۲/۸	۸	۱	۹
Rb	۱۸/۱۴	۱۶	۱۴	۱/۱۴	۰/۴۳	۴/۸	۱۳	۱۴	۲۷
As	۲۷۶۹	۱۳۵۱	۸۱	۱/۲۸	۰/۹۸	۳۰۱۰	۸۳۲۴	۸۱	۸۴۰۵

جدول ۴- ماتریس همبستگی برای عناصر جزئی نمونه‌های کانستگ (همبستگی‌هایی که در سطح اطمینان ۹۸ درصد معنی‌دار بوده خاکستری شده‌اند)

	Cu	Pb	Zn	As	Cl	Ba	Sr	Ni	Cr	V	Ce	La	Zr	Y	Rb
Cu	۱														
Pb	۰/۱۷	۱													
Zn	۰/۳۵	۰/۸۹	۱												
As	۰/۸۵	۰/۵۷	۰/۷۵	۱											
Cl	۰/۴۲	-۰/۱۰	-۰/۰۷	۰/۱۴	۱										
Ba	۰/۳۲	۰/۶۱	۰/۸۸	۰/۶۳	-۰/۰۳	۱									
Sr	۰/۳۵	۰/۵۳	۰/۸۲	۰/۶۴	-۰/۳۱	۰/۹۵	۱								
Ni	۰/۳۲	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۶۰	-۰/۲۵	۰/۶۶	۰/۷۱	۱							
Cr	۰/۲۱	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۴۶	-۰/۲۱	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۹۶	۱						
V	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۸۹	۰/۷۵	-۰/۱۰	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۷۵	۱					
Ce	۰/۸۲	۰/۵۳	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۲۵	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۰	۰/۳۲	۰/۷۱	۱				
La	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۸۲	۰/۹۲	۰/۱۰	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۶۴	۰/۴۶	۰/۷۸	۰/۹۶	۱			
Zr	۰/۳۹	۰/۵۹	۰/۷۲	۰/۵۷	-۰/۱۰	۰/۷۵	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۹۳	۰/۵۲	۰/۵۹	۱		
Y	۰/۱۱	۰/۹۷	۰/۸۲	۰/۵۱	-۰/۱۸	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۷۱	۰/۵۷	۱	
Rb	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۱۴	-۰/۱۹	-۰/۱۹	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۴۵	۰/۴۱	۰/۲۷	-۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۴۴	۰/۵۳	۱

## ۷- بحث و نتیجه‌گیری

آن شده است.

شواهد ژئوشیمیایی، بافتی و کانی‌شناسی نشانگر حضور محلول‌های گرمابی نسبتاً غنی از کلر و سولفات در سامانه کانی‌سازی نسن و نقش رویدادهای جوشش، رقیق‌شدگی و سردشدگی در نهشت کانستگ است. کمپلکس‌های کلریدی نقش مهمی در انحلال‌پذیری و انتقال مس در این سامانه بر عهده داشته است. انحلال‌پذیری مس به طور عمده به شرایط pH و Eh محلول گرمابی و چگونگی رقیق‌شدگی و سردشدگی آن بستگی دارد (Morrison and Parry, 1986; Rose et al., 1979)

وجود برش‌های گرمابی حاصل از خردشدگی هیدرولیکی سنگ دیواره، از شواهد وقوع جوشش است. رقیق‌شدگی محلول گرمابی انحلال‌پذیری مس را به شدت کاهش داده (Morrison and Parry, 1986) و باعث نهشت کانی‌های سولفیدی مس شده است. سردشدگی محلول گرمابی که با توجه به توالی پاراژنری کانی‌ها تأیید می‌شود از دیگر عوامل مؤثر در نهشت کانستگ در منطقه مورد مطالعه است. وجود کوارتز در مجموعه کانی‌شناسی کانستگ و به عنوان یکی از محصولات دگرسانی بیانگر سردشدگی محلول گرمابی در تماس با سنگ‌های سردتر است (Anderson, 1983). حضور باریت در مجموعه کانی‌شناسی کانستگ و همبستگی معنی‌دار آن با استرانسیم نشان‌دهنده حضور محلول‌های غنی از باریم و استرانسیم در سامانه کانی‌سازی نسن است. همراهی باریت با سولفیدهای مس را می‌توان به آمیختگی محلول‌های غنی از باریم و استرانسیم با محلول‌های غنی از مس و یا فراشارش محلول‌های شور غنی از سولفات، باریم و استرانسیم و انتقال آنها به محیط‌های اکسیدی‌تر نزدیک به سطح نسبت داد (Morrison and Parry, 1986) بررسی‌های اکتشافی در منطقه غرب بلده تا نسن (هاشم‌پور، ۱۳۹۰) نشانگر وجود بی‌هنجاری‌های فلزات پایه،

سامانه کانی‌سازی نسن در سنگ‌های کربناتی سازند الیکا، از نوع شکافه پرکن بوده و دارای ظاهری رگه‌ای-رگچه‌ای و برشی است. دولومیتی‌شدن و سیلیسی‌شدن از رویدادهای دگرسانی گرمابی در این سامانه است که بیانگر اهمیت محلول‌های گرمابی غنی از سیلیس و CO<sub>2</sub> و غنی از عناصر قلیایی و قلیایی‌خاکی است (Leach et al., 2005). نهشت سیلیس و جانشینی آن به جای کربنات‌ها نتیجه سردشدگی و رقیق‌شدگی محلول‌های گرمابی است (Plumlee et al., 1994). منشأ سیلیس موردنیاز برای این دگرسانی به انحلال فشاری ذرات سیلیس آواری و منشأ محلول‌های اسیدی به احیای گرمابی-شیمیایی سولفات (Anderson, 1983)، دیازنر مواد آلی (Powell and Macqueen, 1984) و سردشدگی محلول‌های غنی از CO<sub>2</sub> (Qing and Mountjoy, 1994) نسبت داده شده است. عامل اصلی جانشینی سنگ آهک ناشی از حضور CO<sub>2</sub> در محلول‌های سیلیسی‌داری است که منشأ آن به مواد آلی و یا انحلال کانی‌های کربناتی نسبت داده است (Hutchcon, 1992; Qing and Mountjoy, 1994; Basuki et al., 2008). از آنجا که بررسی‌های صحرایی و یافته‌های آزمایشگاهی در این پژوهش، نشان‌دهنده نبود مواد آلی در منطقه مورد مطالعه است؛ به نظر می‌رسد کانی‌های کربناتی موجود در سازندهای پرمین و الیکا و انحلال آنها را می‌توان به‌عنوان منشأ تأمین‌کننده CO<sub>2</sub> در نظر گرفت. (Rimstidt, 1997) نشان داده که حلالیت کربنات‌ها تابع فشار مؤثر CO<sub>2</sub> بوده و اثر آن در دماهای پایین بیشتر است. این امر نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه با سردشدن شورابه‌های غنی از CO<sub>2</sub> و سیلیکا سنگ‌های کربناتی به طور گسترده انحلال یافته و سیلیس جایگزین

دره لیسبون در ایالت یوتا (جدول ۵) نشانگر نقش محلول‌های گرمابی شور و حاوی کمپلکس‌های کلریدی و سولفیدی حوضه‌ای است که از آب‌های منفذی منشأ گرفته و بر اثر فشار لیتوستاتیک به بخش‌های کم‌عمق مهاجرت کرده است.

رخدادهای معدنی و کانسارهایی مانند دونا است که با کانی‌سازی گالن، پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت و تتراهدریت مشخص می‌شود (آقازاده، ۱۳۸۶).

وجود این بی‌هنجاری‌ها و کانی‌سازی‌ها و خویشاوندی جغرافیایی و زمین‌شناختی آنها با سامانه کانی‌سازی نسن و تشابه آن با کانی‌سازی‌های

جدول ۵- مقایسه مهم‌ترین ویژگی‌های زمین‌شناختی رگه‌های مس‌دار سازند نسن با کانی‌سازی‌های دره لیسبون

نام منطقه	سنگ دیواره	ریخت‌شناسی ماده معدنی	کانه‌ها	باطله‌ها	کانی‌های ثانویه مس
دره لیسبون (موریسون و پاری، ۱۹۸۶)	ماسه‌سنگ	رگه‌ای، رگچه‌ای	کالکوپیریت کالکوسیت	کلسیت، باریت، سلسیت، گوتیت، دولومیت	کربنات‌های مس
منطقه نسن (این مطالعه)	سنگ آهک	برشی، رگه‌ای، رگچه‌ای	کالکوپیریت پیریت، کالکوسیت	کوارتز، کلسیت، باریت، گوتیت، دولومیت	کربنات‌های مس، اکسیدهای مس

## ۸- رهیافت‌های اکتشافی

کاظمی، م. س.، ۱۳۹۲، "فلززایی در زمان و مکان در گستره البرز و کاربردهای اکتشافی آن" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گلستان، ۲۲۰ صفحه.

وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۹، "نقشه زمین‌شناسی مرزن‌آباد با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

هاشم‌پور، م.، ۱۳۹۰، "پی‌جویی و اکتشاف مقدماتی کانی‌های فلزی و صنعتی در غرب منطقه بلده تا نسن" سازمان صنعت، معدن و تجارت استان مازندران، ۳۸۰ صفحه.

**Alavi M., 1991**, "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran", *Geological Society of America Bulletin*, 103, P.983-992.

**Alavi M., 1996**, "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran", *Geodynamics*, 21, P.1-33.

**Anderson G. M., 1973**, "The hydrothermal transport and deposition of galena and sphalerite near 100°C", *Economic Geology*, 68, P.480-492.

**Anderson G. M., 1983**, "Some geochemical aspects of sulfide precipitation in carbonate rocks", In *Kisvarsanyi G., Grant S. K., Pratt W. P., Koenig J. W., (eds.): International conference on Mississippi Valley type lead-zinc deposits. Proceedings volume, Missouri-Rolla Press, P.61-76.*

**Basuki N. I., Taylor B. E., Spooner E.T.C., 2008**, "Sulfur Isotope Evidence for Thermochemical Reduction of Dissolved Sulfate in Mississippi Valley-Type Zinc-Lead Mineralization, Bongara Area, Northern Peru", *Economic Geology*, 103, P.783-799.

**Davice C., 2002**, "Statistics and Data Analysis in Geology", *Third edition, John Wiley & Sons Inc, P.638.*

**Dickson J. A. D., 1965**, "A modified technique for carbonates in thin section", *Nature*, P.578.

**Folk R. L., 1981**, "Petrology of sedimentary rocks", *Hemphill Pub Co; Austin, Texas, Second Edition, 182.*

بررسی دگرسانی گرمابی و ارتباط آشکار زمانی و مکانی رگه‌های مس‌دار نسن با دگرسانی‌های سیلیسی و دولومیتی نشان‌دهنده کاربرد زون‌های دگرسانی به‌عنوان یک ابزار اکتشافی است. بررسی شواهد ژئوشیمیایی و همبستگی مثبت و معنی‌دار عناصر مس، باریم، استرانسیم و روی در منطقه مورد مطالعه نشانگر اهمیت بررسی‌های ژئوشیمیایی در اکتشاف رگه‌های این منطقه است. از آنجاکه جوشش یکی از فرایندهای مؤثر در نهشت کانسنگ است، از این‌رو شناسایی زون‌های جوشش دارای اهمیت است. برش‌های گرمابی یکی از معیارهای صحرایی مفید در تشخیص زون‌های جوشش و کانی‌سازی مرتبط با آن است. با توجه به این که کانی‌سازی از نوع شکافه پرکن بوده و برخی از رگه‌ها و رگچه‌ها دارای ارتباط آشکار با زون‌های گسلی هستند، شناسایی زون‌های گسلیده و بررسی سازوکار آنها در مراحل اکتشافی دارای اهمیت است.

## مراجع

آقازاده، م.، ۱۳۸۶، "بررسی‌های ژنتیکی و کانی‌شناسی با استفاده از توزیع REE ها در کانسار سرب دونا، جنوب شرق چالوس" خلاصه مقالات بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، صفحات ۱۲۰-۱۲۵.

حسنی‌پاک، ع.، ۱۳۸۹، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی" انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۵ صفحه.

حسین‌زاده، ر.، ۱۳۸۹، "گزارش عملیات اکتشاف مقدماتی بر روی رگه مس-دار نسن البرز مرکزی" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۱ صفحه.

- Hutchcon I., 1992**, "Sources of CO<sub>2</sub>, organic acids and H<sub>2</sub>S during diagenesis and their influence on carbonate dissolution in Subsurface dissolution porosity in carbonates-recognition, causes and implications", *American Association of Petroleum Geologists and Canadian Society of Petroleum Geologists, Short Course Notes, part 2*, P.20.
- Leach D.L., Sangster D.F., Kelley K.D., Large R.R., Garven G., Allen C.R., Gutzmer J., Walters S., 2005**, "Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective": *In Hedenquist J.W., Thompson J. F.H., Goldfarb R.J., Richards J.P. (eds): Economic Geology 100th Anniversary, Society of Economic Geology Inc.*, P.561-607.
- Levinson A. A., 1974**, "Introduction of Exploration Geochemistry", *Calgary, Applied Publishing Company*, P.608.
- Morrison S. J., Parry W. T., 1986**, "Formation of Carbonate-Sulfate Veins Associated with Copper Ore Deposits from Saline Basin Brines, Lisbon Valley, Utah: Fluid Inclusion and Isotopic Evidence", *Economic Geology*, 81, P.1853-1866.
- Plumlee G. S., Leach D. L., Hofstra A.H., Landis G.P., Rowan E.I., Viets J.G., 1994**, "Chemical reaction path modeling of ore deposition in Mississippi valley-type Pb-Zn deposits of the Ozark region, U.S. mid-continent", *Economic Geology*, 89, P.1361-1383.
- Powell T. G., Macqueen R.W., 1984**, "Precipitation of sulfide ores and organic matter: Sulfate reactions at Pine Point, Canada", *Science*, 224, P.63-66.
- Qing H., Mountjoy E. W., 1994**, "Origin of Dissolution vugs, Caverns and brecciation the Middle Devonian Presqu'île Barrier, Host of Pine Point Mississippi Valley-Type Deposits", *Economic Geology*, 89, P.858-876.
- Rimstidt J. D., 1997**, "Gangue Mineral Transport and Deposition", *In Barnes H, L. (ed.): Geochemistry of hydrothermal ore deposits, third edition, Wiley and Sons*, P.488-516.
- Rose A., Hawkes H., Webb J., 1979**, "Geochemistry in Mineral Exploration", *Academic press: London*, P.581.

