مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و ششم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۹۷، از صفحهٔ ۸۷۱ تا ۸۸۴

انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

# کانی‌شناسی و شیمی کانی‌های سیلیکاته در کانسار اسکارن آهن دردوی (ناحیه معدنی آهن سنگان، شمال شرق ایران)

**مجید قاسمی سیانی*، بهزاد مهرابی**

*گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران*

(دریافت مقاله: ۹۶/۹/۱۸، نسخه نهایی: ۹۶/۱۲/۲۶)

**چکیده:** کانسار سنگ آهن دردوی، بخش مرکزی ناحیه معدنی سنگان، در ۳۰۰ کیلومتری جنوب‌شرقی مشهد در پهنه ساختاری شرق ایران قرار دارد. کانسار دردوی نمونه‌ای شاخص از اسکارن‌های غنی از مگنتیت بوده و در محل همبری توده‌نفوذی گرانیت سرنوسر و سنگ‌های کربناته منیزیم بالا تشکیل شده است. پهنه‌های اسکارن در کانسار آهن دردوی از سه پهنه برون اسکارن، درون اسکارن و کانسنگ آهن تشکیل شده‌اند. پهنه برون اسکارن متشکل از زیر پهنه پیروکسن اسکارن، گارنت اسکارن و اپیدوت-فلوگوپیت اسکارن است. بر پایه نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی، ترکیب کلینوپیروکسن از نوع دیوپسید-هدنبریت (از $Di_{46}$–$Hd_{52}$ تا $Di_{96}$ $Hd_3$) و ترکیب گارنت از نوع آندرادیت-گروسولار (از $Ad_{35}$–$Gr_{63}$ تا $Ad_{60}$ $Gr_{39}$) است. در پهنه‌های اسکارنی یک تغییر در ترکیب کانی‌ها وجود دارد که از پهنه درون اسکارن به سمت مرحله برون اسکارن مقدار منیزیم افزایش و مقدار آهن کاهش یافته است. در اسکارن دردوی به دلیل تغییر شرایط اکسیدان به احیا در طی توالی همبرزایی، اشباع سولفیدی رخ داده است که باعث تشکیل کانه‌زایی سولفیدی کالکوپیریت، پیروتیت و پیریت همزمان و پس از تشکیل مگنتیت و کانی‌های سیلیکاته بدون آب شده، که خود شاهد دیگری بر شرایط احیاست. مگنتیت در دردوی براساس مقدار عناصر وانادیوم، کروم، نیکل، تیتانیوم، کلسیم، آلومینیوم و منگنز در آن، در رده کانسارهای اسکارنی قرار می‌گیرد. اسکارن دردوی نیز با توجه به وجود پهنه درون‌اسکارن، کانی اسکاپولیت و کانی‌های منیزیم بالا در آن، در رده اسکارن‌های منیزیمی-کلسیمی رده‌بندی می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** *ناحیه معدنی سنگان؛ کانسار دردوی؛ گرانیت سرنوسر؛ کانی‌شناسی؛ شیمی کانه‌ها.*

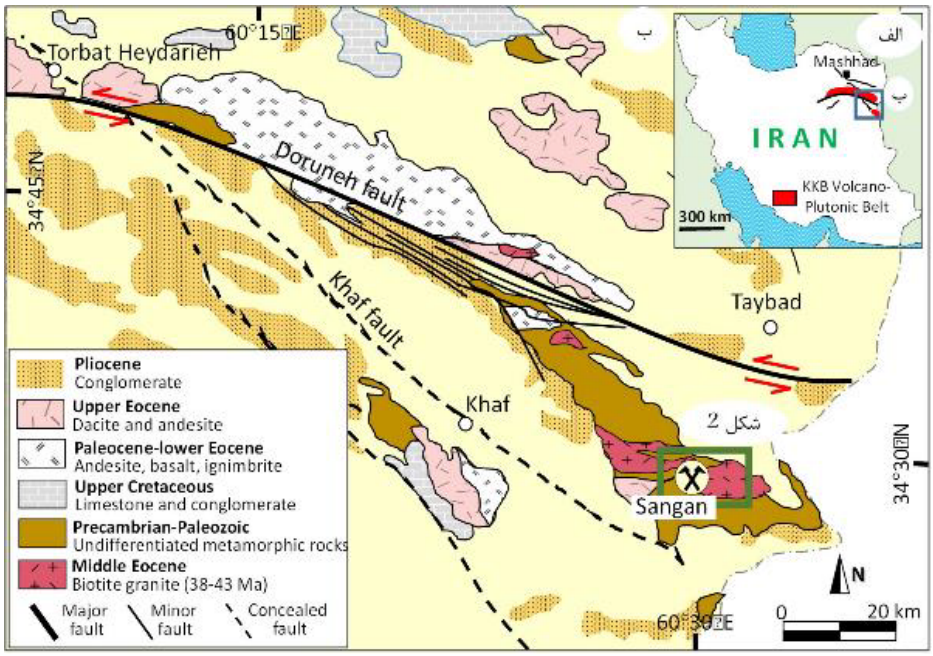
**مقدمه**

ناحیه معدنی سنگان، در فاصله ۳۰۰ کیلومتری جنوب‌شرقی مشهد و ۱۸ کیلومتری شمال‌شرقی سنگان از توابع شهرستان خواف و در کمربند آتشفشانی-نفوذی خواف-کاشمر-بردسکن قرار دارد (شکل ۱). ناحیه معدنی سنگان دارای بیش از هزار تن ذخیره آهن با عیار بین ۳۵ تا ۶۰ درصد آهن (تقریباً ۷۰ درصد از معدن دارای عیاری بیش از ۵۰ درصد) بوده و یکی از ناحیه-های معدنی بسیار با ارزش در ایران است [۲،۱]. مجموعه معادن سنگ آهن سنگان شامل ۱۴ کانسار است که با روند شرقی-غربی در راستای گسل درونه تقریباً با ۲۶ کیلومتر طول و ۸ کیلومتر عرض تشکیل شده‌اند و به سه بخش شرقی، مرکزی و غربی تقسیم می‌شوند. مهمترین کانسارهای اسکارن سنگان شامل کانسارهای غربی (A', A, B، C جنوبی، C شمالی)، مرکزی (دردوی و باغک) و شرقی (سنجده ۱، ۲ و ۳، فرزنه شمالی و غربی، سم آهنی و معدن‌جو) است، که کانسار سنگ آهن دردوی به مساحت ۲٫۱ × ۸٫۱ کیلومتر مربع در گستره بخش مرکزی قرار می‌گیرد (شکل ۲). طبرپایه گزارش شرکت ملی فولاد ایران [۳] و مهندسین مشاور معدنکاو [۴]، کانسار آهن دردوی حدود ۸۸ میلیون تن ذخیره دارد که حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد آن آهن نوع متوسط تا پرعیار (بین ۲۰ تا ۶۰

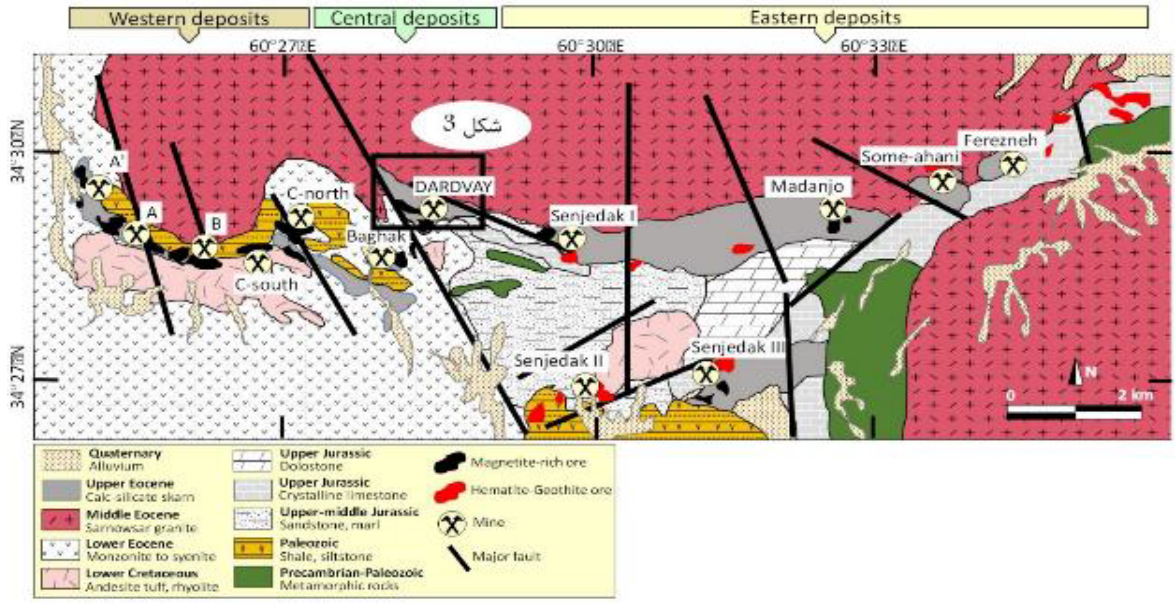
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۸۹۲۹۹۴۷، نمابر: ۰۲۶۳۲۵۱۱۰۰۰، پست الکترونیکی: majid4225@yahoo.com

درصد عیار) و حدود ۱۱ درصد آن آهن نوع کم عیار (کمتر از ۲۰ درصد عیار) است.

پژوهش‌های بسیاری پیرامون کانسارهای مختلف ناحیه معدنی سنگان صورت گرفته است [۵-۱۶]، ولی تاکنون بررسی جامعی روی شیمی کانی‌های سیلیکاته در اسکارن انجام نشده است. با توجه به اینکه کانسارهای اسکارن از نظر کانی‌شناسی بسیار پیچیده هستند، این پژوهش با هدف بررسی گسترده و جامع کانی‌شناسی و شیمی کانی‌های سیلیکاته در پهنه‌های اسکارنی کانسار آهن دردوی ارائه شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای بررسی‌های دقیق‌تر ناهنجاری‌های دیگر سنگان مفید واقع شود.




**شکل ۱** ناحیه معدنی سنگان که بخشی از کمربند آتشفشانی-نفوذی خواف-کاشمر-بردسکن است. جایگاه این کمربند در شمال شرقی ایران نشان داده شده است [۱].




**شکل ۲** نقشه زمین‌شناسی ساده شده ناحیه معدنی سنگان با تغییرات بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ تایباد [۱۸]. جایگاه ۱۴ کانسار اسکارنی در روند غربی-شرقی در شکل نشان داده شده است.

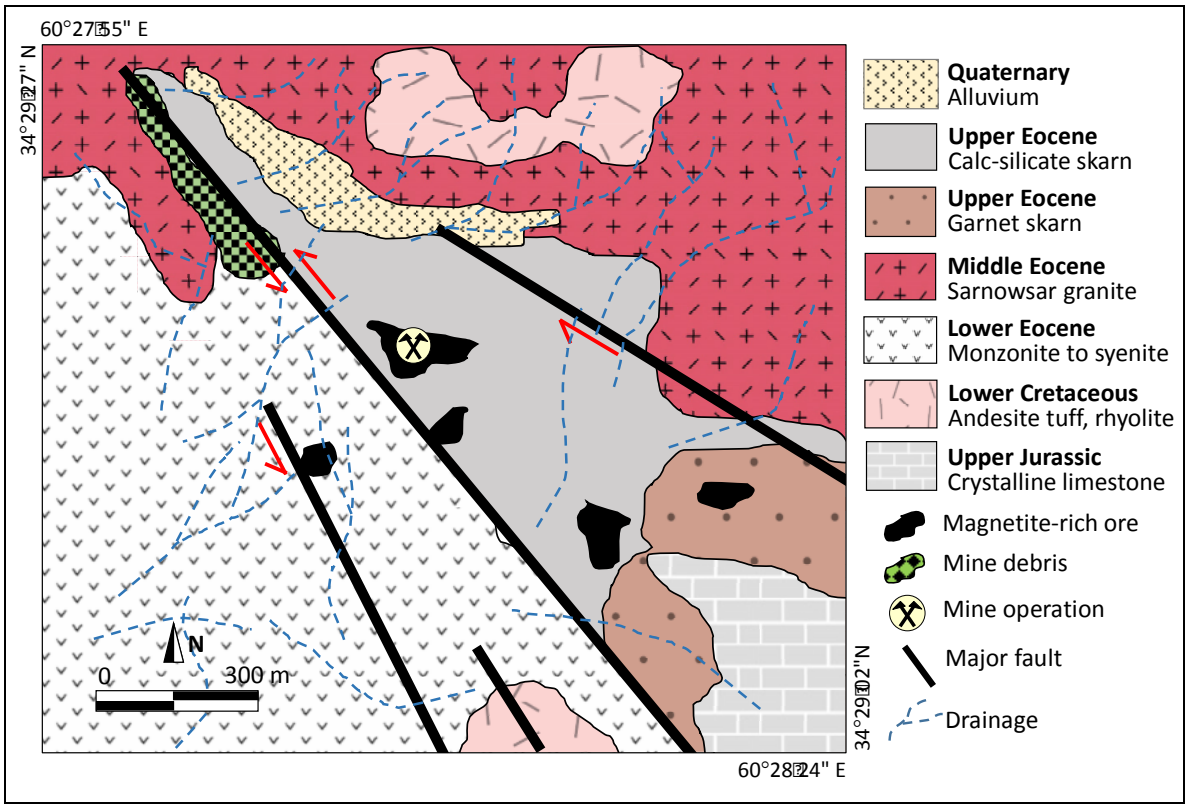
**زمین‌شناسی و کانه‌زایی**

پژوهش کریم‌پور و همکاران [۱] نشان می‌دهد که ناحیه معدنی سنگان جزئی از کمربند آتشفشانی-نفوذی خواف-کاشمر-بردسکن بوده که با روند شرقی-غربی در شمال گسل درونه قرار گرفته است. این کمربند به طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط و گاه مافیک تشکیل شده که در مجموع شامل داسیت، ریوداسیت، آندزیت، پیروکسن آندزیت، لاتیت، تراکی آندزیت، توف و جوش آتشفشانی هستند که توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی نیز با ترکیبی از فلدسپارگرانیت قلیایی (سی‌نیت و سی‌ینوگرانیت)، گرانیت، گرانودیوریت، کوارتزمونزونیت و دیوریت در آنها نفوذ کرده است. توده گرانیتی سرنوسر در راستای شرقی-غربی نقش مهمی در کانی-سازی اسکارن آهن در منطقه سنگان و به ویژه کانسار آهن دردوی داشته است. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه نیز به طور عمده شامل سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی و رسوبی (از قبیل توف، جوش آتشفشانی، ریولیت، چرت، شیل‌های سیلیسی و آهک) وابسته به پرکامبرین (پروتروزوئیک پسین) هستند که دستخوش دگرگونی ناحیه‌ای درجه کم، از نوع شیست سبز شده‌اند [۱۷]. بر اساس شرح نقشه ۱:۲۵۰،۰۰۰ تایباد [۱۸]، سنگ‌های وابسته به پالئوزوئیک در منطقه شامل دو ردیف یکی متعلق به پالئوزوئیک پیشین متشکل از متاپلیت، آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ، کوارتزیت و جوش سنگ به همراه مقادیر محدودی سنگ‌های آتشفشانی بازی و سیل، و دیگری ردیف بالایی که شامل سازندهای بهرام، سردر و جمال شامل شیست‌های تیره‌رنگ، کوارتزیت، آهک بلورین، توف‌های دگرگونه و جوش سنگ با ضخامتی حدود ۴۰۰ تا ۵۵۰ هستند. پس از آن طبقات ژوراسیک از قدیم به جدید به سه بخش ژوراسیک پیشین (سازند شمشک)، میانی (سازند دلیچای) و پسین (سازند لار) تقسیم می‌شوند که در منطقه مورد بررسی، سازند ژوراسیک‌پیشین و پسین رخنمون دارند. همچنین نهشته‌های کرتاسه در منطقه دو بخش کرتاسه‌پیشین و پسین تشکیل شده‌اند که در مجموع با ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر شامل جوش سنگ قاعده‌ای، آهک زیستی-آواری، آهک مارنی و آهک ضخیم لایه هستند که در بعضی مناطق به طور موضعی توسط واحدهای توف و ایگنمبریت قطع شده‌اند (شکل ۲).

در مرز گرانیت سرنوسر با سنگ‌های پرکامبرین، دگرگونی مجاورتی از نوع اسکارن و سیلیکات آهکی هورنفلس (اسکارنوئید) رخ داده است و سنگ‌های کربناته در منطقه اغلب به اسکارن و مرمر دگرگون شده‌اند [۵]. کانی‌سازی آهن اغلب در این سنگ‌ها صورت گرفته است و به صورت عدسی‌های میان لایه‌ای و نواری بین واحد سنگ آهک بلوری و بیشتر در متن اسکارن دیده می‌شود. واحدهای آذرین (گرانیت سرنوسر)، واحدهای آهک منیزیم‌دار و پهنه‌های اسکارنی همراه با کانی-سازی مگنتیت مهمترین واحدهای زمین‌شناسی کانسار اسکارن دردوی هستند (شکل ۳). کانی‌سازی مگنتیت در آهک منیزیم-دار شکل گرفته و به صورت ساخت و بافت‌های توده‌ای، عدسی‌شکل، پراکنده، پرکننده فضای خالی، شکفته بلوری و تنش آواری است. مگنتیت کانه فلزی اصلی کانسار دردوی است. کانه‌زایی بیشتر توسط گسل‌ها کنترل می‌شود. مجموع رخنمون‌های افقی کانسار ۶۰۰ متر و عمودی آن ۲۵۰ متر با ضخامت ۱-۶۰ متر (میانگین ۳۵ متر) توسط حفاری‌ها به ثبت رسیده است. تأثیر دگرنهادی و دگرگونی مجاورتی در تماس با گرانیت سرنوسر قابل مشاهده است. کانسار اسکارن دردوی دارای کانی‌شناسی پیچیده بوده و متشکل از سیلیکات‌های گارنت، کلینوپیروکسن، اسکاپولیت، هورنبلند، اپیدوت، اکتینولیت-ترمولیت، کلریت، کوارتز، فلدسپار، زیرکن، مسکوویت، کانی‌های رسی و کانه‌های سولفیدی شامل پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، مارکازیت و اکسید و هیدروکسیدهای مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و کربنات‌های کلسیت، دولومیت و سیدریت است. در ادامه پهنه‌های اسکارنی و شیمی کانی‌ها شرح داده می‌شود.

**روش بررسی**

برای بررسی‌های کانی‌نگاری و شیمی کانی‌ها، تعداد ۸۰ مقطع صیقلی، نازک صیقلی و نازک از نمونه‌های برداشت شده از مغزه‌های حفاری، رخنمون‌های کانی‌سازی شده و پهنه‌های اسکارن در کانسار اسکارنی دردوی تهیه شد. بررسی‌های میکروسکوپی در دانشگاه خوارزمی و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در دانشگاه لیدز انگلیس با دستگاه مدل FEI Quanta 650 FEG-ESEM تهیه شد. نقاط مشخص‌شده در تصاویر SEM برای تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی (EPMA) در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به وسیله دستگاه مدل CAMECA SX 100 و در دانشگاه لیدز انگلیس با دستگاه مدل JEOL JXA8230 بررسی شدند. همچنین تعداد ۴۰ الگوی پراش پرتوی X (XRD) از پهنه‌های اسکارنی برای شناسایی کانه‌های فلزی و کانی‌های سیلیکاته در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تهیه شد.




**شکل ۳** نقشه زمین‌شناسی ساده شده کانسار اسکارن دردوی که در برخوردگاه مستقیم گرانیت سرنوسر را نشان داده است [۴].

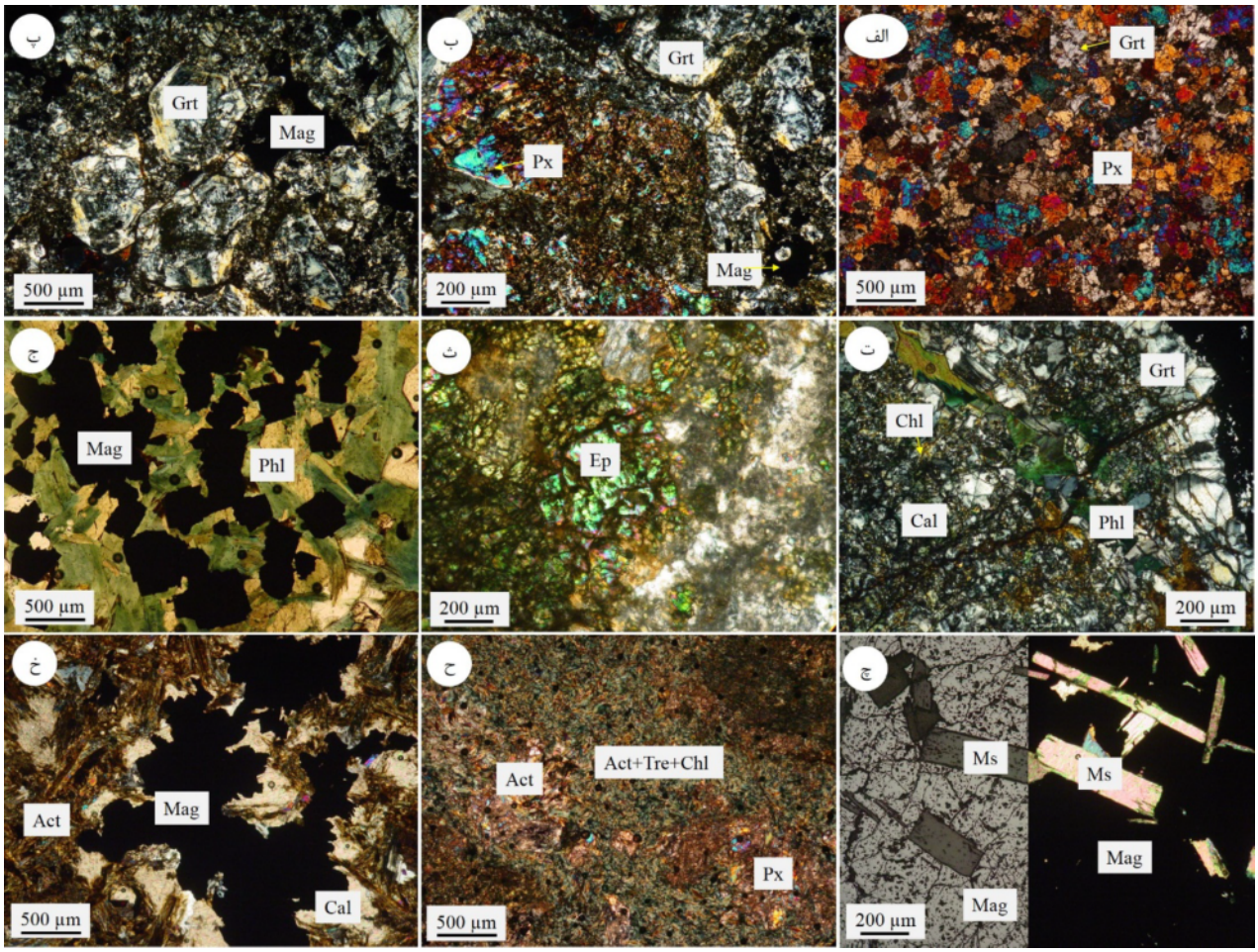
**کانی‌شناسی پهنه‌های اسکارنی**

در اثر نفوذ توده گرانیتی سرنوسر در منطقه، محلول‌های گرمابی آهن‌دار در سنگ‌های آهکی نفوذپذیر تزریق شده و در شرایط مناسب سنگ‌بافتی و سنگ‌شناسی، جانشینی محلول‌های آهن‌دار و تغییر ترکیب کانی‌شناسی رخ داده است. انواع مختلفی از کانی‌های سیلیکاته قلیایی بدون آب و آبدار، کانه‌های سولفیدی و کانی‌های کربناته حجم گسترده‌ای از کانی‌های منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴). بر اساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، اسکارن دردوی متشکل از گرانیت سرنوسر به عنوان خاستگاه کانی‌سازی، کانسنگ آهن (به طور عمده شامل مگنتیت)، پهنه اسکارنی (دربردارنده دو پهنه درون اسکارن و برون اسکارن)، رگه‌های کوارتز تأخیری کانه‌دار و عقیم و سنگ‌های سیلیکات قلیایی هورنفلس (اسکارنوئید) میزبان است (شکل ۵).

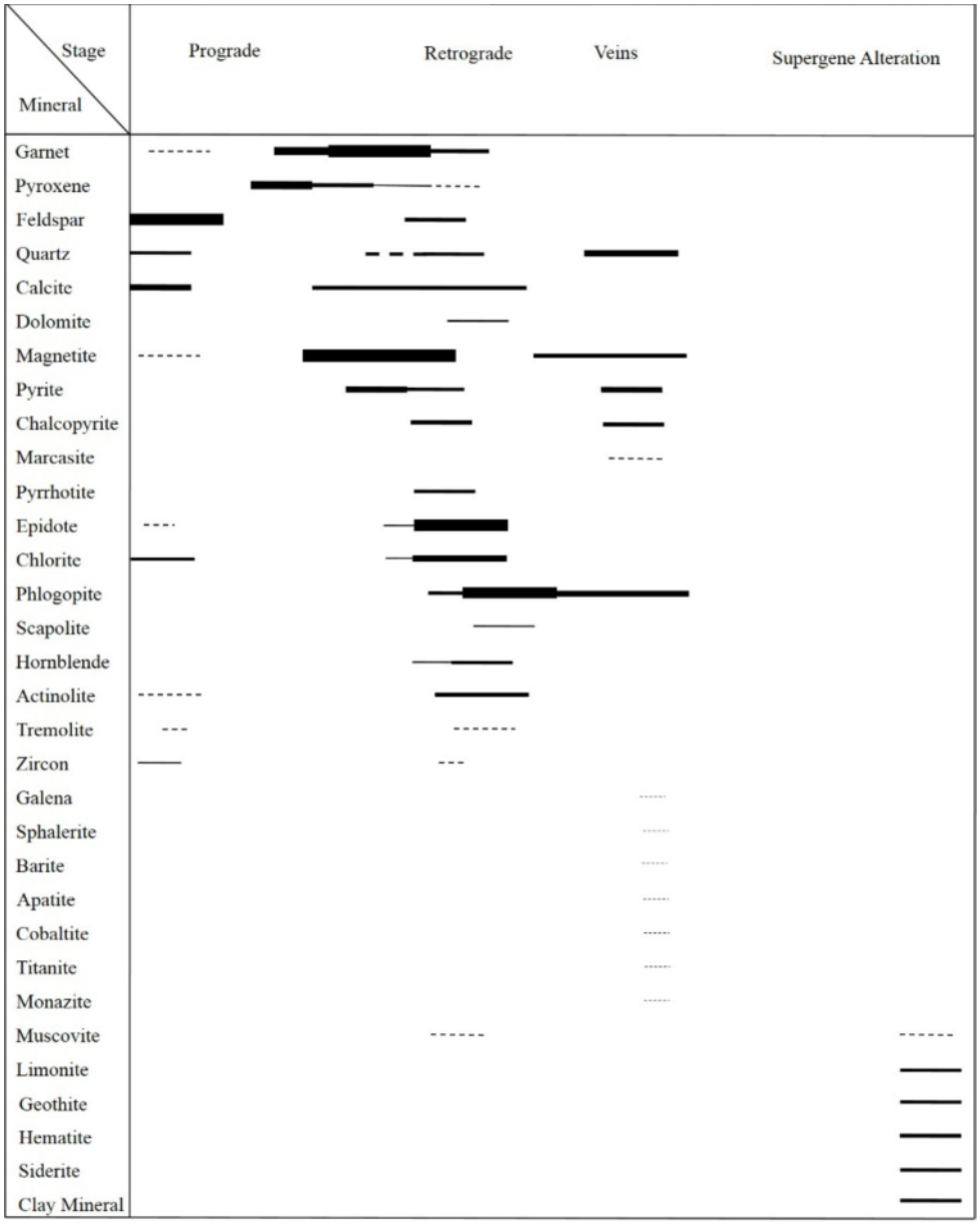
درون‌اسکارن به صورت نواری تیره با ضخامت متغیر از کمتر از یک متر تا حدود ۸ متر در درون و همبری توده نفوذی سرنوسر با سنگ‌های کربناته مجاور تشکیل شده و شامل کانی‌های مگنتیت، گارنت، پلاژیوکلاز، کوارتز، ترمولیت-اکتینولیت، اپیدوت، کلریت و کلسیت است. در پهنه درون اسکارن، پلاژیوکلاز به اپیدوت، کلریت و کلسیت دگرسان شده و بلورهای مافیک از بین رفته و توسط اکسید و هیدرواکسیدهای آهن جانشین شده‌اند. برون اسکارن در منطقه دردوی از سمت توده نفوذی به سمت سنگ میزبان کربناته شامل سه زیرپهنه کلینوپیروکسن اسکارن، گارنت اسکارن و اپیدوت-فلوگوپیت اسکارن است. زیرپهنه کلینوپیروکسن و گارنت اسکارن در مرحله پیشرونده و زیرپهنه اپیدوت-فلوگوپیت اسکارن در مرحله پسرونده به عنوان کانی‌های اصلی کانی‌سازی اسکارن تشکیل شده‌اند. زیرپهنه کلینوپیروکسن اسکارن شامل کلینوپیروکسن‌های ریزبلور تا درشت بلور (ابعاد ۱۵ میکرون تا ۳/۵ میلیمتر) و به صورت خودشکل با ضخامتی برابر ۱ تا ۲ متر در دردوی تشکیل شده است (شکل ۴ الف).

کلینوپیروکسن نخستین کانی تشکیل شده در پهنه برون اسکارن بوده است و به تدریج کانی‌سازی گارنت نیز شروع می-شود. در بخش‌هایی گارنت و کلینوپیروکسن با همدیگر دیده می‌شوند. بلورهای درشت گارنت شامل میانبارهایی از کلینوپیروکسن هستند که نشان می‌دهد که گارنت همزمان و

پس از کلینوپیروکسن تشکیل شده است (شکل ۴ ب). زیرپهنه گارنت اسکارن دارای ضخامتی برابر ۴ متر است. ابعاد بلورهای گارنت به چند سانتیمتر نیز رسیده است و به صورت بلورهای خودشکل هستند (شکل ۴ پ). گارنت و کلینوپیروکسن در مراحل بعدی شکسته شده و توسط کلریت، فلوگوپیت، اپیدوت و مگنتیت جانشین شده‌اند (شکل ۴ ت). مرحله پسرونده با کانی‌های اپیدوت، فلوگوپیت، ترمولیت-اکتینولیت، کوارتز، اسکاپولیت، هورنبلند و گارنت و کلینوپیروکسن شناخته شده است (شکل‌های ۴ ث و ج). با توجه به فراوانی اپیدوت و فلوگوپیت در دردوی، این زیرپهنه در این پژوهش به نام زیرپهنه اپیدوت-فلوگوپیت معرفی شده است. این زیرپهنه هم به صورت توده‌ای و هم رگه و رگچه‌هایی دیده می‌شود که مراحل اسکارن پیشین را قطع کرده‌اند. موسکوویت نیز به صورت بلورهای خودشکلی در مگنتیت دیده شده است (شکل ۴ چ). اپیدوت که بیشتر با فلوگوپیت و مگنیتت همراه است و به عنوان نخستین کانی‌های تشکیل شده در این پهنه محسوب می‌شوند. کانی‌های ترمولیت-اکتینولیت و هورنبلند از نظر فراوانی در رده بعدی هستند و به نظر می‌رسد که از دگرسانی کلینوپیروکسن تشکیل شده‌اند و در مواردی وجود باقی‌مانده‌هایی از کلینوپیروکسن این فرضیه را تایید کرده است (شکل‌های ۴ ح و خ).




**شکل ۴** تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های سیلیکاته آبدار و بدون آب اسکارن دردوی. الف) بلورهای خودشکل پیروکسن (Px) همراه با گارنت (Grt)، ب) بلور گارنت که پیروکسن را در برگرفته است که نشان می‌دهد که گارنت پس از پیروکسن تشکیل شده است، پ) بلورهای خودشکل گارنت همراه با مگنتیت (Mag) در فضای بین آنها، ت) رگه و رگچه‌های فلوگوپیت (Phl)، کلریت (Chl) و مگنتیت که گارنت را قطع کرده‌اند، کلسیت (Cal) ریزبلور نیز دیده شده است، ث) اپیدوت (Ep) که یکی از فراوانترین کانی‌های پهنه برون اسکارن است، ج) همراهی فلوگوپیت و مگنتیت در پهنه برون اسکارن، چ) میانبارهای موسکوویت (Ms) در مگنتیت، ح) اکتینولیت (Act)-ترمولیت (Tre) و کلریت برآمده از دگرسانی پیروکسن و خ) همراهی مگنتیت با اکتینولیت. (علایم اختصاری کانی‌ها بر گرفته از مرجع [۱۹] است.)



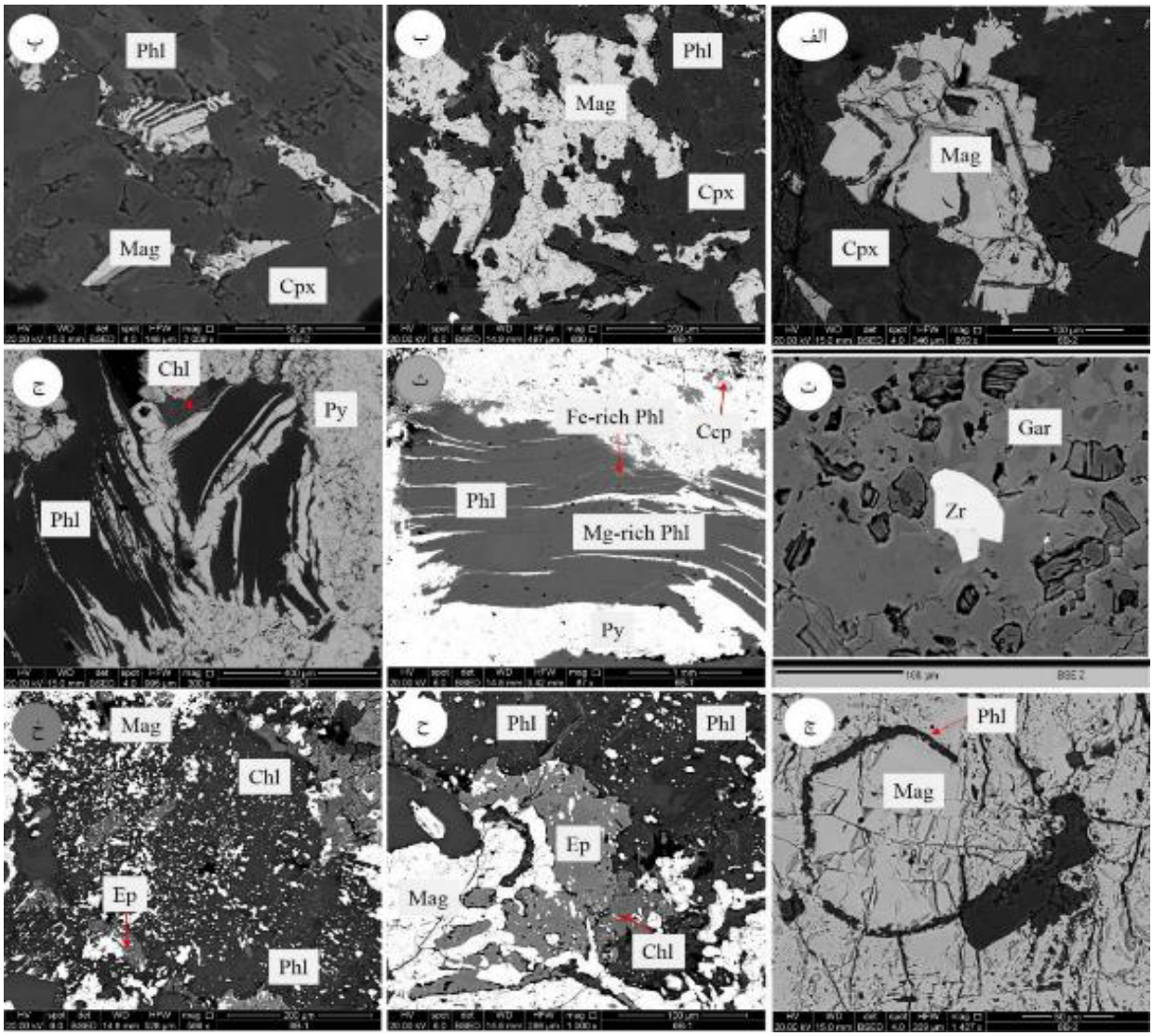

**شکل ۵** توالی همبرزایی کانسار اسکارن دردوی.

پهنه اسکارنی آهن شامل از مگنتیت (بیش از ۶۵٪ حجمی)، گارنت، پیریت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و توده‌ای، پیروتیت، کالکوپیریت، مارکاسیت، فلوگوپیت و اپیدوت است که توسط هاله‌های گسترده لیمونیتی و گوتیتی اطراف فرا گرفته شده است. پهنه اسکارن مگنتیتی به سه بخش مگنتیت-گارنت-پیروکسن اسکارن، مگنتیت اسکارن همراه با کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت)، و رگه-رگچه‌های مگنتیت+ فلوگوپیت+ پیریت+ کالکوپیریت+ مارکازیت تقسیم می‌شود. همرشدی‌های مگنتیت با گارنت و پیروکسن و در مواردی شکستگی‌های پرشده گارنت توسط مگنتیت و همچنین همراهی غالب مگنتیت با اپیدوت و فلوگوپیت نشان می‌دهد که کانه‌زایی مگنتیت در اواخر مرحله پیشرونده همراه با گارنت و پیروکسن شروع شده و بیشتر کانه‌زایی در اوایل مرحله پسرونده شکل گرفته است (شکل ۵). مگنتیت به صورت بلورهای خودشکل تا بی‌شکل تشکیل شده و در پهنه‌های سطحی مارتیتی شده و به هماتیت تبدیل شده است. مرحله آخر کانی‌سازی در اسکارن دردوی مربوط به رگه‌های تاخیری کانه‌دار و بی‌بار است که کانی‌های مراحل پیش را قطع کرده‌اند و دربردارنده فلوگوپیت، کالکوپیریت و مارکازیت و پیریت همراه با مگنتیت هستند.

**شیمی کانی‌های سیلیکاته**

بررسی شیمی کانی‌های سیلیکاته اسکارن یکی از مهم‌ترین بررسی‌ها در این نوع کانسارهاست [۲۰]. در این پژوهش سعی شده است که بررسی‌های شیمی بر کانی‌های سیلیکاته مانند کلینوپیروکسن، گارنت، آمفیبول، فلوگوپیت و فلدسپار و بر کانی اصلی اکسیدی از جمله مگنتیت انجام شود که در ادامه توضیح داده می‌شود.

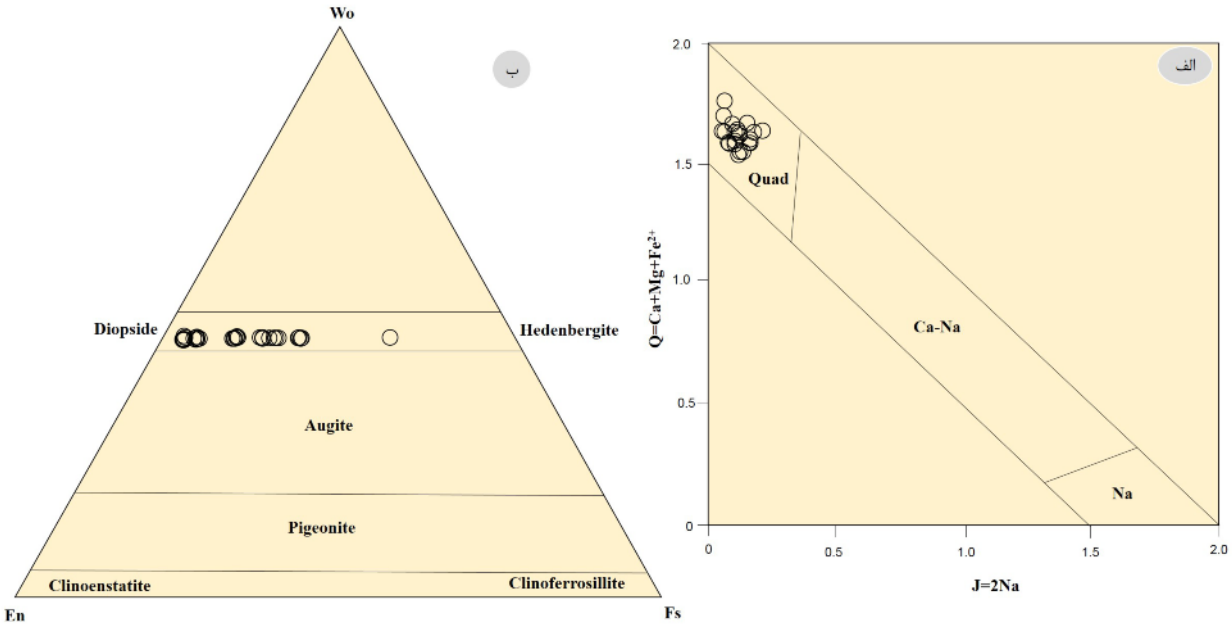
**کلینوپیروکسن**: کلینوپیروکسن در دردوی در پهنه برون اسکارن یافت شده و به عنوان نخستین کانی سیلیکاته بدون آب تبلور یافته است (شکل‌های ۶ الف تا پ). کلینوپیروکسن به صورت بلورهای درشت در زیرپهنه کلینوپیروکسن اسکارن و بلورهای متوسط تا ریزبلور همراه با گارنت و کانی‌های فلوگوپیت و آمفیبول در زیرپهنه اپیدوت-فلوگوپیت اسکارن دیده شده است. نتایج تجزیه ریزپردازشی کانی کلینوپیروکسن در جدول ۱ ارائه شده است. پیروکسن براساس قرارگیری کاتیون‌ها به ۴ گروه پیروکسن‌های Ca-Fe-Mg (Quad)، پیروکسن‌های Na-Ca، پیروکسن‌های Na و دیگر پیروکسن‌ها تقسیم می‌شوند [۲۱]. پیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار J-Q در گستره‌ی پیروکسن‌های Ca-Fe-Mg قرار می‌گیرند و از سدیم تهی هستند (شکل ۷ الف). برای جدایش پیروکسن-های گروه Ca-Fe-Mg از شکل ۷ ب استفاده شد.




**شکل ۶** تصاویر میکروسکوپ الکترونی از کانی‌های تشکیل شده در اسکارن دردوی: الف تا پ) همراهی مگنتیت با کلینوپیروکسن (Cpx) و فلوگوپیت، ت) میانبار زیرکن (Zr) در گارنت، ث) منطقه‌بندی در بلور فلوگوپیت، ج) فلوگوپیت، کلریت و پیریت (Py)، چ) رورشدی فلوگوپیت بر بلور مگنتیت، و ح و خ) اپیدوت، فلوگوپیت و کلریت که فراوانترین کانی‌های سیلیکاته همراه با مگنتیت در اسکارن پسرونده هستند.

**جدول ۱** نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی کانی‌های سیلیکاته در کانسار اسکارن دردوی. اعداد داخل پرانتز تعداد نقطه تجزیه شده را نشان می-دهد. اعداد هر ردیف کمترین و بیشترین مقدار برای هر کانی ارائه شده است.

| | Pyroxene (28) Min-Max | Garnet (11) Min-Max | Amphibole (12) Min-Max | Phlogopite (14) Min-Max | Feldspar (21) Min-Max |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | ۴۸٫۱۲-۵۵٫۴۱ | ۳۶٫۴۷-۳۷٫۶۰ | ۳۷٫۶۷-۵۷٫۳۶ | ۳۷٫۶۵-۳۹٫۱۸ | ۵۲٫۹۰-۶۷٫۷۵ |
| $TiO_2$ | ۰٫۰۰-۱٫۴۳ | ۰٫۰۰-۱٫۷۵ | ۰٫۰۰-۰٫۴۷ | ۰٫۰۸-۰٫۱۷ | ۰٫۰۲-۰٫۱۹ |
| $Al_2O_3$ | ۰٫۰۱-۱۶٫۰۴ | ۸٫۴۹-۱۱٫۰۶ | ۰٫۵۷-۱۷٫۳۷ | ۱۵٫۱۸-۱۶٫۸۹ | ۱۹٫۲۰-۲۸٫۷۱ |
| $Fe_2O_3$ | ۰٫۰۰-۱۱٫۰۵ | ۱۱٫۶۸-۱۹٫۷۴ | ۵٫۵۸-۸٫۵۶ | ----- | ۰٫۰۹-۰٫۸۸ |
| $Cr_2O_3$ | ۰٫۰۰-۰٫۰۹ | ۰٫۰۰-۰٫۰۲ | ۰٫۰۰-۰٫۰۳ | ۰٫۰۰-۰٫۰۶ | ----- |
| FeO | ۰٫۰۰-۸٫۷۸ | ۰٫۰۰-۰٫۰۳ | ۵٫۴۹-۱۲٫۵۳ | ۳٫۴۶-۱۳٫۶۷ | ----- |
| MnO | ۰٫۰۴-۰٫۵۷ | ۰٫۰۰-۰٫۵۰ | ۰٫۰۰-۰٫۱۸ | ۰٫۰۵-۰٫۱۷ | ۰٫۰۰-۰٫۰۳ |
| MgO | ۹٫۳۷-۱۸٫۱۶ | ۰٫۰۵-۰٫۴۱ | ۸٫۳۶-۲۲٫۷۹ | ۱۷٫۹۷-۲۴٫۶۲ | ۰٫۰۰-۰٫۰۸ |
| CaO | ۲۵٫۸۰-۱۱٫۸۰ | ۳۴٫۰۱-۳۵٫۵۸ | ۱۱٫۹۸-۱۴٫۷۶ | ۰٫۰۰-۰٫۰۵ | ۰٫۰۸-۱۱٫۷۳ |
| $Na_2O$ | ۰٫۰۱-۱٫۵۳ | ۰٫۰۰-۰٫۰۱ | ۰٫۱۸-۱٫۸۲ | ۰٫۱۱-۰٫۲۳ | ۴٫۰۳-۹٫۳۸ |
| $K_2O$ | ۰٫۰۰-۰۱۱ | ۰٫۰۰-۰٫۱۵ | ۰٫۱۰-۲٫۷۲ | ۹٫۳۵-۱۰٫۰۲ | ۰٫۳۳-۹٫۵۲ |
| Total | ۹۸٫۹۴-۱۰۰٫۳۰ | ۹۹٫۸۱-۱۰۰٫۵۵ | ۹۹٫۳۷-۱۰۲٫۶۴ | ۹۷٫۳۶-۹۹٫۵۶ | ۹۷-۵۷-۹۹٫۲۸ |
| Si | ۱٫۵۹-۲٫۰۰ | ۲٫۹۴-۲٫۹۸ | ۵٫۶۰-۸٫۰۰ | ۵٫۵۶-۵٫۶۸ | ۲٫۴۱-۲٫۸۶ |
| Ti | ۰٫۰۰-۰٫۰۴ | ۰٫۰۰-۰٫۰۵ | ۰٫۰۰-۰٫۰۵ | ۰٫۰۰-۰٫۰۱ | ۰٫۰۰-۰٫۰۰ |
| Al | ۰٫۰۰-۰٫۵۷ | ۰٫۰۱-۱٫۱۱ | ۰٫۰۹-۳٫۰۵ | ۲٫۶۶-۲٫۸۸ | ۱٫۰۳-۱٫۵۵ |
| Cr | ۰٫۰۰-۰٫۰۰ | ۰٫۰۰-۰٫۰۰ | ۰٫۰۰-۰٫۰۰ | ۰٫۰۰-۰٫۰۰ | ----- |
| $Fe^{3+}$ | ۰٫۰۰-۰٫۳۳ | ۰٫۸۴-۱٫۲۰ | ۰٫۰۰-۱٫۰۰ | ----- | ۰٫۰۰-۰٫۰۳ |
| $Fe^{2+}$ | ۰٫۰۰-۰٫۲۹ | ۰٫۰۰-۰٫۲۰ | ۰٫۰۰-۱٫۶۸ | ۰٫۲۹-۱٫۷۰ | ----- |
| Mn | ۰٫۰۰-۰٫۰۱ | ۰٫۰۰-۰٫۰۳ | ۰٫۰۰-۰٫۰۳ | ۰٫۰۰-۰٫۰۲ | ۰٫۰۰-۰٫۰۰ |
| Mg | ۰٫۵۶-۰٫۹۸ | ۰٫۰۰-۰٫۰۴ | ۱٫۹۴-۴٫۹۸ | ۳٫۹۸-۵٫۳۴ | ۰٫۰۰-۰٫۰۰ |
| Ca | ۰٫۵۳-۱٫۰۰ | ۲٫۹۱-۳٫۷۸ | ۱٫۹۸-۲٫۰۷ | ۰٫۰۰-۰٫۰۰ | ۰٫۰۰-۰٫۵۷ |
| Na | ۰٫۰۰-۰٫۱۱ | ۰٫۰۰-۰٫۰۰ | ۰٫۰۰-۰٫۰۱ | ۰٫۰۳-۰۰٫۰۶ | ۰٫۳۹-۰٫۹۰ |
| K | ۰٫۰۰-۰٫۰۱ | ۰٫۰۰-۰٫۰۱ | ۰٫۰۰-۰٫۵۲ | ۱٫۷۶-۱٫۸۵ | ۰٫۰۱-۰٫۵۶ |
| Cation | ۳٫۹۹-۴٫۰۱ | ۷٫۹۳-۹٫۴۴ | ۱۵٫۰۵-۱۶٫۰۰ | ۱۹٫۸۵-۱۹٫۹۹ | ۴٫۸۲-۵٫۰۱ |
| Johannsenite | ۰٫۲۲-۱٫۶۴ | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Diopside | ۴۶٫۹۲-۹۶٫۷۷ | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Hedenbergite | ۳٫۰۳-۵۲٫۶۰ | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Andradite | ----- | ۳۵٫۶۴-۶۰٫۷۶ | ----- | ----- | ----- |
| Grossular | ----- | ۳۸٫۸۳-۶۳٫۵۸ | ----- | ----- | ----- |
| Pyrope | ----- | ۰٫۱۰-۰٫۸۰ | ----- | ----- | ----- |
| Almandine | ----- | ۰٫۰۰-۰٫۳۰ | ----- | ----- | ----- |
| Spessartine | ----- | ۰٫۰۰-۰٫۵۰ | ----- | ----- | ----- |
| Uvarovite | ----- | ۰٫۰۰-۰٫۰۵ | ----- | ----- | ----- |
| Annite | ----- | ----- | ----- | ۰٫۰۱-۰٫۲۸ | ----- |
| Phlogopite | ----- | ----- | ----- | ۰٫۷۲-۰٫۹۹ | ----- |
| An | ----- | ----- | ----- | ----- | ۰٫۸۳-۵۷٫۵۷ |
| Ab | ----- | ----- | ----- | ----- | ۳۶٫۰۶-۹۶٫۲۶ |
| Or | ----- | ----- | ----- | ----- | ۲٫۰۸-۵۴٫۴۸ |
| Mg/(Fe+Mg) | ----- | ----- | ۰٫۵۳-۱٫۰۰ | ----- | ----- |



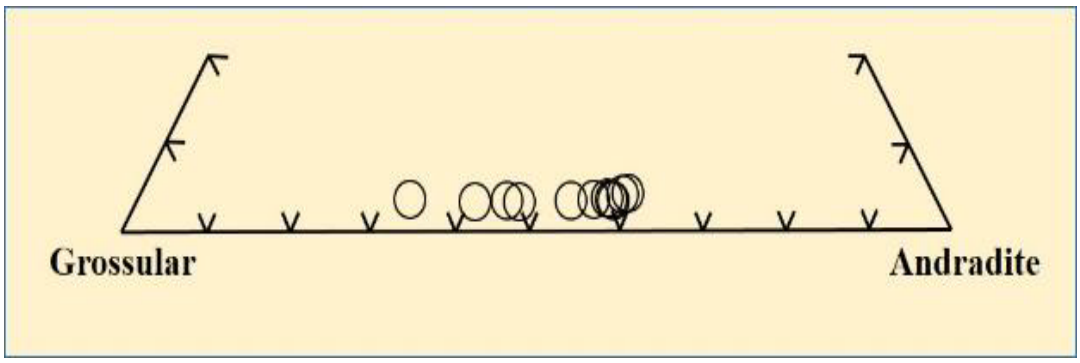

**شکل ۷** الف) نمودار J-Q [۲۱] که نشان می‌دهد که کلینوپیروکسن‌های اسکارن دردوی در گستره‌ی پیروکسن‌های Ca-Fe-Mg قرار می‌گیرند و ب) کلینوپیروکسن در کانسار اسکارن دردوی از نوع دیوپسید و هدنبرژیت بوده که درگستره‌ی کانسارهای اسکارن آهن متداول است.

بر این اساس در کانسار اسکارن دردوی، پیروکسن از نوع دیوپسید و هدنبرژیت است. کلینوپیروکسن طی توالی همبرزایی تغییراتی را نشان داده است. کلینوپیروکسن‌های یافت شده در زیرپهنه کلینوپیروکسن اسکارن بیشتر دارای ترکیب هدنبرژیت بوده و کلینوپیروکسن یافت شده در زیرپهنه گارنت و همچنین همراه با پهنه پسرونده دارای مقادیر بیشتری دیوپسید است. به طور کلی، کلینوپیروکسن‌های اسکارن دردوی دارای ترکیب $Di_{96}Hd_3$ تا $Di_{46}Hd_{52}$ هستند. همچنین بلورهای درشت پیروکسن در منطقه وجود دارند که دارای منطقه‌بندی هستند، به طوری که برای مثال در دو نمونه اشاره شده در مرکز دارای ترکیب $Di_{82}Hd_{16}$ و $Di_{84}Hd_{15}$ و در لبه دارای ترکیب $Di_{96}Hd_3$ و $Di_{96}Hd_3$ هستند. مقدار ژوهانسنیت با توجه به مقدار کم منگنز بسیار کم است. ترکیب کلینوپیروکسن نشان می‌دهد که کانسار اسکارن دردوی در گستره کانسارهای آهن قرار می‌گیرد.

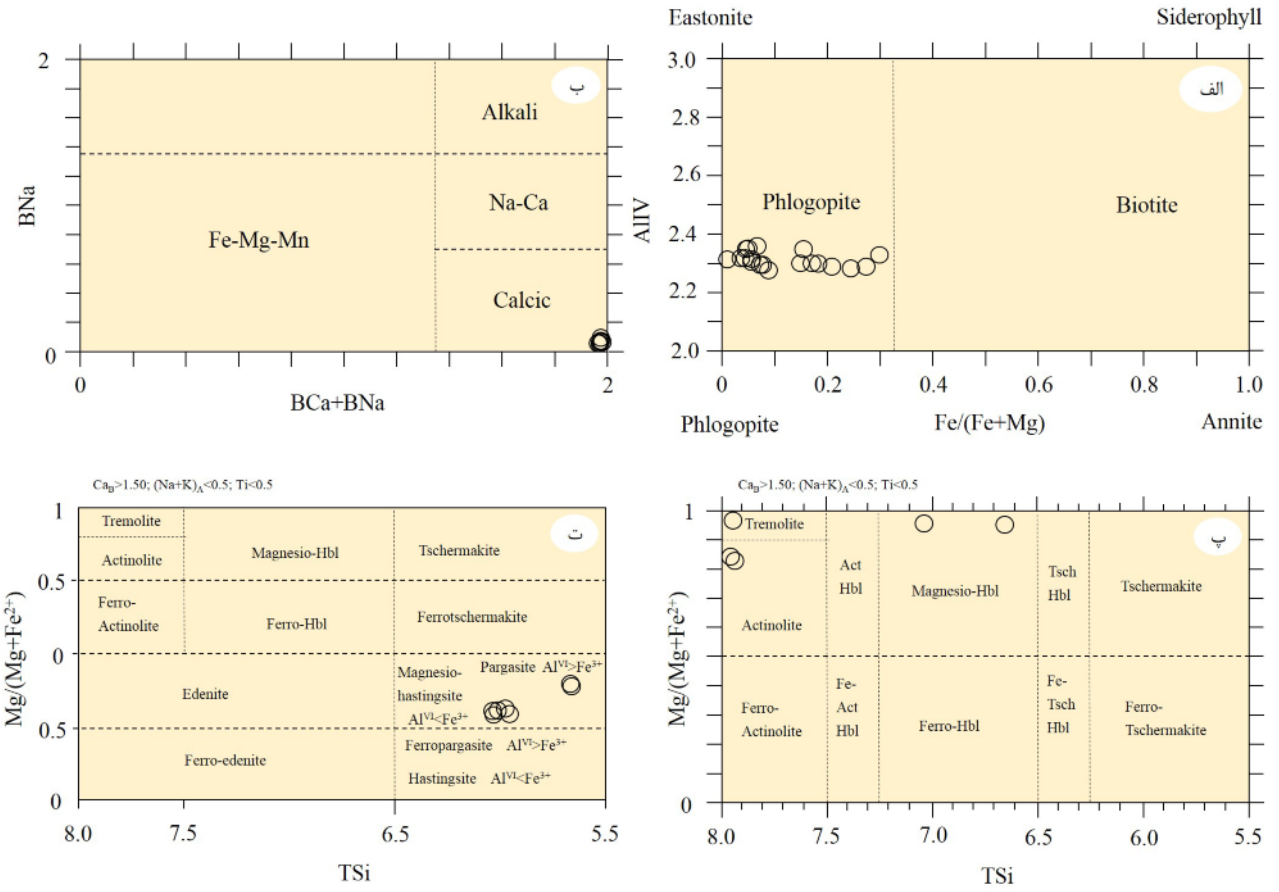
**گارنت**: در این پژوهش، گارنت در پهنه درون اسکارن تجزیه نشده است. نتایج تجزیه ریزپردازشی کانی گارنت در پهنه برون اسکارن در جدول ۱ ارائه شده است (شکل ۶ ت). نتایج شیمی گارنت نشان می‌دهد که گارنت‌ها فقیر از منگنز، منیزیم، کروم و نیکل و غنی از سیلیسیم، کلسیم، آهن و آلومینیوم هستند. ترکیب شیمیایی گارنت نیز مثل پیروکسن در طی توالی همبرزایی تغییر می‌کند و این تغییرات نسبت به پیروکسن کمتر است. گارنت در کانسار اسکارن دردوی از نوع آندرادیت-گروسولار بوده که در کانسارهای آهن اسکارنی معمول است (شکل ۸). گارنت دارای ترکیب $Ad_{60}Gr_{39}$ تا $Ad_{35}Gr_{63}$ است. گارنت نیز مثل پیروکسن کمی منگنز دارد و مقدار گارنت اسپسارتین در اسکارن دردوی ناچیز است. این امر گویای این است که یک محیط اکسیدان در اسکارن دردوی حاکم بوده که در ارتباط با ماگمای سری مگنتیتی یا I است. بررسی‌های سنگ‌زایی انجام شده [۱۶] نیز نشان داده که گرانیت سرنوسر از نوع گرانیتوئیدهای سری مگنتیتی یا I است.

**فلوگوپیت** : فلوگوپیت نیز یکی از کانی‌های سیلیکاته فراوان در کانسار اسکارن دردوی است و در مرحله پسرونده و همچنین رگه و رگچه‌های مرحله نهایی تشکیل شده است (شکل‌های ۶ ث تا خ). نتایج تجزیه ریزپردازشی کانی فلوگوپیت در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج شیمی نشان داد که فلوگوپیت براساس شکل ۹ الف [۲۲] به عنوان کانی میکایی کانسار با ترکیب ۷۲ تا ۹۹ درصد فلوگوپیت شناخته شده است. بلورهای فلوگوپیت نیز یک منطقه‌بندی روشن و تیره نشان می‌دهند که با تجزیه ریزپردازشی مشخص شد که قسمت‌های تیره‌تر کانی فلوگوپیت دارای مقدار بیشتر منیزیم و مقدار کمتر آهن و آلومینیوم نسبت به قسمت‌های روشن آن هستند. فلوگوپیت‌هایی که در

مرحله پسرونده تشکیل شده‌اند دارای مقدار آنیت کمتر از یک درصد هستند، در حالی‌که فلوگوپیت‌های تشکیل شده در رگه-رگچه‌های پایانی دارای مقدار آنیت آن برابر با ۲۸ درصد است (شکل ۹ الف). بررسی‌ها و تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که در لبه بیشتر بلورهای مگنتیت، فلوگوپیت به صورت یک رورشدی بر روی بلور مگنتیت تشکیل شده است (شکل ۶ چ) که خود نشان می‌دهد که تشکیل فلوگوپیت پس از تشکیل مگنتیت نیز ادامه داشته است. بنابراین بلورهای فلوگوپیت یک منطقه‌بندی رشدی و همچنین رورشدی نشان می‌دهند که نشان از دگرگونی چند مرحله‌ای کانی‌سازی فلوگوپیت در اسکارن دردوی دارد.




**شکل ۸** کانی‌های گارنت در کانسار اسکارن دردوی از نوع آندرادیت و هدنبرژیت بوده که درگستره‌ی کانسارهای اسکارن آهن متداول هستند.




**شکل ۹** الف نمودار مرجع [۲۳] که براساس آن، کانی میکایی تجزیه شده در اسکارن دردوی از نوع فلوگوپیت با مقدار آهن کم است، ب) نمودار مرجع [۲۳] که براساس آن، آمفیبول اسکارن دردوی از نوع آمفیبول‌های کلسیمی است که در نمودارهای پ و ت مشخص شد که انواع آمفیبول شناسایی شده در اسکارن دردوی شامل اکتینولیت-ترمولیت، هورنبلند غنی از منیزیم، پارگازیت و هاستینگزیت غنی از منیزیم هستند.

**آمفیبول**: آمفیبول به طور گسترده در پهنه اسکارنی (برون اسکارن) در طی مرحله پسرونده تشکیل شده است. اکتینولیت به صورت بلورهای خودشکل همراه با مگنتیت دیده شده است. بر اساس [۲۳] آمفیبول‌ها به چهار گروه Mg-Fe-Mn-Li، کلسیمی، کلسیمی- سدیمی و سدیمی تقسیم شده‌اند. به طور کلی، آمفیبول در دردوی از نوع آمفیبول‌های کلسیمی است (شکل ۹ ب). بر اساس نمودار ارائه شده در مرجع [۲۳]، ترکیب آمفیبول‌ها در اسکارن دردوی در گستره‌ی اکتینولیت- ترمولیت، هورنبلند غنی از منیزیم، پارگازیت و هاستینگزیت غنی از منیزیم قرار می‌گیرند (شکل‌های ۹ پ و ت). با توجه به اینکه کربنات در منطقه اسکارنی دردوی از نوع ناخالص منیزیم‌دار است، وجود آمفیبول‌های اکتینولیت و هورنبلند غنی از منیزیم قابل قبول است. آمفیبول نوع اکتینولیت دارای مقدار سیلیسیم در یک گستره محدود هستند و مقدار Mg/(Mg+Al) بین ۰/۸۴ تا ۰/۸۵ است. از ویژگی‌های آمفیبول بالا بودن مقدار $Fe^{+3}$ و Mg است (جدول ۱) و مقدار (Na+K)A در نمونه‌های ترمولیت-اکتینولیت کمتر از ۰/۲ و در هورنبلند، پارگازیت و هاستینگزیت غنی از منیزیم بیشتر از ۰/۲ است (شکل‌های ۹ پ و ت و جدول ۱). هاستینگزیت غنی از منیزیم دارای مشخصات Si=6.02-6.08، CaB>1.5، (Na+K)A>0.5، Ca<0.5 و $Al<Fe^{+3}$ و پارگازیت دارای مشخصات Si=5.60-5.65، CaB>1.5، (Na+K)A>0.5، CaA<0.5 و $Fe^{+3}<Al$ است. اکتینولیت و ترمولیت نیز به ترتیب دارای مشخصات Si=7.92-8.00، (Na+K)A<0.5 CaB>1.5 و CaA<0.5 و Si=7.97، CaB>1.5، (Na+K)A<0.5 و CaA<0.5 هستند.

**فلدسپار:** فلدسپار در گرانیت سرنوسر و همچنین مرحله پسرونده تشکیل شده است. در اسکارن (گرانیت سرنوسر)، فلدسپارهای زمینه از نوع آلبیت (An 0-7) و درشت‌بلورهای آندزین (An 27-28) تشکیل شده است. در گرانیت‌های فلدسپارقلیایی و فلدسپارهای پهنه اسکارنی پسرونده، پلاژیوکلاز از نوع لابرادوریت (An 54-55) و فلدسپار قلیایی از نوع میکروکلین (Or 48-55) است. نتایج تجزیه ریزپردازشی کانی فلدسپار در جدول ۱ ارائه شده است.

**مگنتیت:** کانسارهای نیکل-مس دربردارنده مقادیر بالایی از عناصر Ni و Cr و کانسارهای اسکارن شامل مقادیر قابل توجه Ca هستند. مگنتیت‌های با مقادیر پائین Ti از شاخص‌های کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) است و با کانسارهای اسکارن، سولفید توده‌ای و سازند آهن نواری (BIF) مشترک است. مگنتیت‌های کانسارهای کایرونا (مگنتیت- آپاتیت) و مس پورفیری در مقایسه با کانسارهای IOCG مقادیر بیشتری Ti دارند. تراکم عناصر Mg و Al در کانسارهای کایرونا به نسبت پائین است. در کانسارهای آهن- تیتانیوم، کانسارهای دربردارنده وانادیوم و کانسارهای کرومیت، مقدار عناصر Ti, Cr, V در مگنتیت به نسبت بیشتر است [۲۴]. مگنتیت‌های گرمابی دارای مقادیر Cr و Ni پائینی بوده و مقادیر Mg و Mn آنها افزایش یافته است.

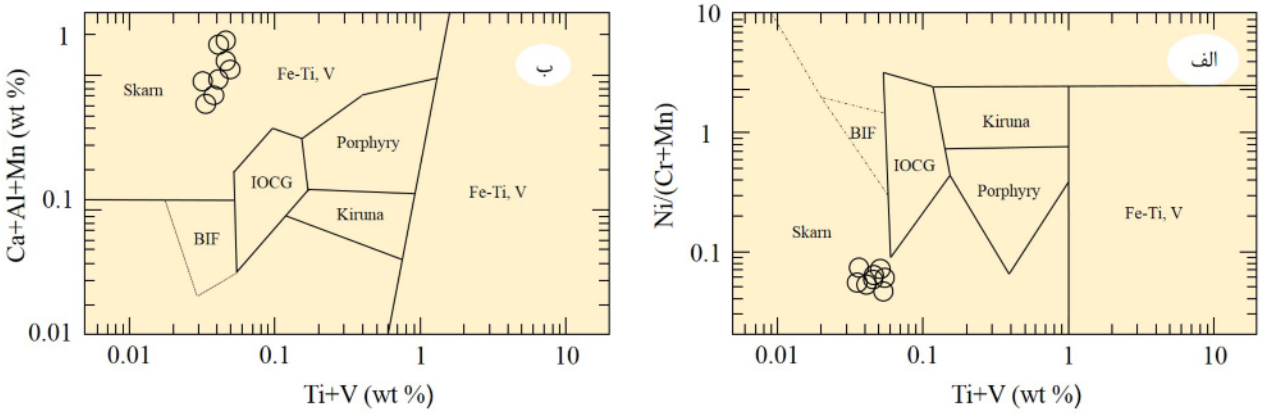
بر این اساس، برای رده‌بندی کانه‌زایی مگنتیت در دردوی، تعداد ۱۰ نقطه تجزیه شیمیایی شوند که نتایج در جدول ۲ آورده شده است. تراکم وانادیم و تیتانیم در کانی‌های اکسید آهن، تغییرات شدیدی نسبت به (وابسته به) نوع ذخایر نشان می‌دهد. نمودار Ti+V نسبت به Ca+Al+Mn و نمودار Ni/(Cr+Mn) نسبت به Ti+V تفکیک کانسارهای اسکارن، IOCG، BIF، کایرونا، پورفیری مس و ذخایر آهن-تیتان- وانادیم را نشان می‌دهد [۲۴]. بر اساس این نمودارها، داده‌های کانسار دردوی در گستره کانسارهای اسکارن واقع است (شکل ۱۰).

## برداشت

با نفوذ توده نفوذی سرنوسر، سنگ‌های آهکی منیزیم‌دار دستخوش دگرگونی هم‌شیمی شده و به مرمر دولومیتی تبدیل شده است. ساختار اصلی منطقه دردوی در اثر چین خوردگی‌ها و شکستگی‌های تشکیل شده دستخوش دگرگونی‌های ناشی از نفوذ توده بزرگ گرانیتوئیدی سرنوسر است. بر اساس بررسی- های زمین‌شناسی و کانی‌شناسی، اسکارن‌زایی متشکل از گرانیت سرنوسر به عنوان خاستگاه کانی‌سازی، پهنه اسکارن (شامل از دو زیرپهنه درون اسکارن و برون اسکارن)، کانسنگ آهن (متشکل از مگنتیت) و رگه‌های کوارتز تأخیری کانه‌دار است.

**جدول ۲** نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی مگنتیت در کانسار اسکارن دردوی.

| نقطه | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $V_2O_5$ | FeO | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO | MnO | CoO | NiO | ZnO | $Cr_2O_3$ | مجموع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱٫۵۹ | ۰٫۰۶ | ۱٫۲۷ | ۰٫۰۳ | ۱۹٫۵۰ | ۷۴٫۷۵ | ۰٫۰۲ | ۱٫۷۵ | ۰٫۲۸ | ۰٫۰۹ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۹ | ۰٫۰۱ | **۹۹٫۴۵** |
| ۲ | ۱٫۸۵ | ۰٫۰۴ | ۱٫۵۲ | ۰٫۰۵ | ۱۶٫۲۰ | ۷۸٫۳۴ | ۰٫۰۴ | ۱٫۷۳ | ۰٫۱۸ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۲ | **۱۰۰٫۰۳** |
| ۳ | ۱٫۷۹ | ۰٫۰۶ | ۱٫۹۱ | ۰٫۰۵ | ۱۴٫۶۸ | ۷۸٫۲۸ | ۰٫۰۶ | ۲٫۷۶ | ۰٫۲۱ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | **۹۹٫۸۲** |
| ۴ | ۳٫۶۸ | ۰٫۰۷ | ۱٫۵۲ | ۰٫۰۳ | ۱۴٫۰۹ | ۷۸٫۲۶ | ۰٫۰۵ | ۱٫۱۲ | ۰٫۱۹ | ۰٫۰۷ | ۰٫۰۲ | ۰٫۰۲ | ۰٫۰۱ | **۹۹٫۱۳** |
| ۵ | ۳٫۴۳ | ۰٫۰۴ | ۱٫۳۱ | ۰٫۰۳ | ۱۲٫۵۴ | ۷۵٫۴۸ | ۰٫۰۱ | ۵٫۰۵ | ۰٫۲۵ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | **۹۸٫۱۹** |
| ۶ | ۲٫۷۰ | ۰٫۰۴ | ۱٫۱۵ | ۰٫۰۴ | ۱۳٫۶۱ | ۷۹٫۳۶ | ۰٫۰۰ | ۱٫۸۴ | ۰٫۱۸ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۲ | **۹۸٫۹۶** |
| ۷ | ۱٫۷۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۴۱ | ۰٫۰۲ | ۱۴٫۵۳ | ۸۳٫۳۱ | ۰٫۰۲ | ۰٫۴۱ | ۰٫۱۶ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۲ | ۰٫۰۷ | ۰٫۰۲ | **۱۰۰٫۷۸** |
| ۸ | ۳٫۰۱ | ۰٫۰۶ | ۰٫۲۱ | ۰٫۰۵ | ۱۶٫۹۰ | ۷۲٫۹۹ | ۰٫۰۳ | ۴٫۱۸ | ۰٫۳۵ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۲ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | **۹۸٫۹۰** |




**شکل ۱۰** الف) نمودار تغییرات Ti+V نسبت به Ni/(Cr+Mn) که نشان دهنده ارتباط نمونه‌های کانسار آهن دردوی با کانسار نوع اسکارن است، ب) نمودار تغییرات Ti+V نسبت به Ca+Al+Mn که قرار گرفتن کانسار دردوی در گستره‌ی اسکارن را نشان داده است [۲۴].

سیلیکات‌های بدون آب کلینوپیروکسن و گارنت در مراحل اولیه و پیشرونده تشکیل اسکارن، رخ داده‌اند. در مراحل بعدی، در اثر دخالت آب‌های جوی، سیلیکات‌های آبدار از قبیل اپیدوت، فلوگوپیت، کلریت، آمفیبول، اسکاپولیت و کانی‌های دیگر در مرحله پسرونده تشکیل شده است. کانه‌زایی مگنتیت نیز در هم در پهنه پیشرونده و هم در پهنه پسرونده تشکیل شده است. کانی‌سازی آهن به صورت مگنتیت توده‌ای، عدسی-شکل، پراکنده، پرکننده فضای خالی، درشت‌بلوری و تنش‌آواری بوده است و کانی‌های سولفیدی مثل کالکوپیریت، پیریت، پیروتیت و مارکازیت، مگنتیت را همراهی می‌کنند. آخرین تظاهرات کانی‌سازی در منطقه مربوط به رگه و رگچه‌های کانی‌سازی شده و عقیم بوده که کانی‌سازی مراحل پیشین را قطع کرده است. شواهد کانی‌شناسی و صحرایی دلالت بر کانی-سازی آهن از نوع اسکارن در منطقه دردوی دارد. از طرف دیگر، نتایج تجزیه شیمیایی مگنتیت نیز نشان داد که مگنتیت در دردوی در گستره‌ی کانسارهای اسکارنی قرار می‌گیرد [۲۴]. در اسکارن‌های منیزیمی، کانی‌های فلوگوپیت، دیوپسید، ترمولیت، طلق و سرپانتین دیده می‌شوند و منطقه‌ی درون اسکارن وجود ندارد، در حالی که در کانسارهای اسکارن کلسیمی، غلبه با کانی‌های گارنت و پیروکسن بوده و مقدار اپیدوت و اکتینولیت کمتر است [۲۵]. با این حال، شواهد زمین‌شناسی و کانی‌شناسی نشان می‌دهد که اسکارن دردوی نه منیزیمی و نه فقط کلسیمی بوده بلکه ترکیبی از اسکارن-های منیزیمی-کلسیمی است. در اسکارن دردوی پهنه درون اسکارن تشکیل شده و کلینوپیروکسن نوع هدنبرژیتی نیز دیده شده است. همچنین کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن غالب نیستند و اسکاپولیت نیز در پهنه اسکارنی تشکیل شده است. اکتینولیت و فلوگوپیت به همراه اپیدوت در اسکارن دردوی از فراوانی قابل ملاحظه‌ای برخوردار هستند. چنان که اشاره شد، ناحیه معدنی سنگان دارای ۱۴ کانسار است که در راستای غربی-شرقی تشکیل شده‌اند. به نظر گل محمدی و همکاران [۲]، کانسارهای اسکارنی غربی ناحیه از نوع کلسیمی بوده و اسکارن‌های بخش شرقی منیزمی هستند. اسکارن دردوی به همراه اسکارن باغک در بخش مرکزی سنگان تشکیل شده است. هرچند براساس بررسی‌های ایشان [۲]، کانسار اسکارن دردوی نیز در رده اسکارن‌های منیزمی قرارگرفته ولی نتایج این پژوهش و همچنین پژوهش طالع فاضل و همکاران [۱۶] نشان داده که اسکارن دردوی از نوع منیزیمی-کلسیمی است.

بخش منیزیمی کانسار بیشتر قابل توجه است و کانی‌های منیزیم بالا به ویژه در مراحل پسرونده تشکیل شده‌اند. با توجه به افزایش مقدار منیزیم در سنگ آهک میزبان اسکارن از سمت غرب به شرق در سنگان می‌توان اسکارن کلسیمی در غرب و افزایش اسکارن‌های منیزیمی به سمت شرق سنگان را توضیح داد.

فراوانی کانی‌های منیزیم بالا در پهنه اسکارنی برون اسکارن بالاست. به طور کلی، مقدار منیزیم از مراحل اولیه اسکارن به مراحل پایانی بیشتر و مقدار آهن در ترکیب کانی‌ها کمتر شده و آهن به صورت ترکیب مگنتیت و کانی‌های سولفیدی تشکیل شده است. هاستینگزیت به سمت توده نفوذی تشکیل شده، در حالی که اکتینولیت-ترمولیت، پارگازیت و هورنبلند غنی از منیزیم در پهنه برون اسکارن نزدیک به سنگ آهک منیزیمی تشکیل شده است. ترکیب آمفیبول‌ها نیز یک افزایش در مقدار منیزیم و کاهش در مقدار آهن را از سمت توده نفوذی به سمت سنگ‌های میزبان نشان می‌دهد. ترمولیت و اکتینولیت دارای مقدار بیشتری منیزیم هستند که به نظر می‌رسد که از تجزیه دیوپسید نتیجه شده‌اند و هاستنگزیت از تجزیه هدنبرژیت تشکیل شده است. فلوگوپیت تشکیل شده در پهنه برون اسکارن از مقدار منیزیم بالاتری برخوردار است و یک درصد آنیت دارد، در حالی که فلوگوپیتی که در رگه‌های پایانی تشکیل شده دارای مقدار آهن بیشتری است که این امر نشان می‌دهد که رگه و رگچه‌های پایانی پس از کانی‌سازی اسکارن بوده و در این زمان با توجه به کاهش مقدار کانی‌سازی مگنتیت، مقدار آهن در ترکیب این فلوگوپیت‌ها بیشتر شده است.

در محیط‌های اکسیدان، پیروکسن‌های غنی از منیزیم و گارنت‌های غنی از آندرادیت به عنوان سیلیکات‌های آهکی بدون آب اصلی تشکیل می‌شوند و هدنبرژیت و گروسولار در اسکارن‌های احیایی کانی اصلی هستند [۲۶، ۲۷]. در اسکارن دردوی رخداد دیوپسید و گارنت غنی از آندرادیت، شرایط اکسایشی را در مراحل اولیه اسکارن پیشرونده نشان می‌دهد. همچنین نسبت کم فراوانی کلینوپیروکسن به گارنت در اسکارن دردوی نشان دهنده شرایط اکسایشی در سنگ‌های دیواره کانسار است [۲۶]. در اسکارن دردوی، کلینوپیروکسن دیوپسید و گارنت آندرادیت با هم دیده می‌شوند. طی توالی همبرزایی نیز افزایش مقدار منیزیم در کلینوپیروکسن رخ داده آنها و در مرکز بیشتر دارای ترکیب هدنبرژیتی و در لبه دیوپسیدی هستند. با تغیر شرایط اکسایشی به احیایی، تغییرات کانی‌شناسی نیز در دردوی قابل مشاهده است. گارنت نوع گروسولار بیشتر شده و همچنین کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت و مارکازیت) پایدار شده و در فضای بین بلورهای مگنتیت تشکیل شده‌اند. کانی‌سازی سولفیدی در مراحل بعد نیز طی رگه و رگچه‌های پایانی تشکیل شده است. بررسی‌های کانی‌شناسی نیز نشان داد که کانی‌سازی مگنتیت توسط فازهای سولفیدی قطع و جانشین شده است. جانشینی مگنتیت توسط کانی‌های سولفیدی بستگی به گریزندگی اکسیژن و شرایط اکسایش-احیا دارد [۲۸]. در اسکارن دردوی، نزدیک به توده نفوذی، مگنتیت همراه با کانی‌های سولفیدی تشکیل شده‌اند و به سمت مرحله پسرونده از مقدار کانه‌زایی مگنتیت کاسته شده و کانی‌های سولفیدی افزایش یافته است. این نشان دهنده تغییر شرایط اکسایش بوده و گریزندگی اکسیژن با افزایش pH کاهش یافته است [۲۹]. افزایش pH می‌تواند بر اثر جوشش سیال کانه‌زا رخ دهد که نشانه‌هایی از شرایط جوشش پیشتر در کانسار دردوی گزارش شده است [۱۶].

**مراجع**


[1] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Mazaheri S. A., *"Alteration-mineralization, and radiometric ages of the source pluton at the Sangan iron skarn deposit, northeastern Iran",* Ore Geology Reviews 65 (2015) 545–563.

[2] Golmohammadi A., Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Mazaheri S.A., *"Alteration-mineralization, and radiometric ages of the source pluton at the Sangan iron skarn deposit, northeastern Iran",* Ore Geology Reviews 65(2) (2015) 545–563.

[3] National Iranian Steel Company., *"Reconnaissance exploration report of Sangan western anomalies",* Internal report, (1990) 130p.

[4] Madankav Engineering consultant., *"Detailed exploration report, geophysics and drilling of Dardvey and Baghak anomalies (Sangan mines) ",* Internal report, (2006) 230p.

[5] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., *"Geochemistry and mineralogy of skarn zones and petrology of source rock Sangan iron mine, Khorasan Razavi, Iran",* Scientific Quarterly Journal, Geosciences 65 (2007) 108–125.

[6] Malekzadeh Shafaroudi A., Mazhari N., Ghaderi M., *"Geology, mineralogy, and chemistry of skarn zones and orebody in Ma'danjoo iron skarn prospect area, east of Sangan mine, Khaf, NE Iran",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (1) (2016) 83-98.

[7] Karimpour M.H., *"Geochemisry and minerlogy of the Khorasan Sangan iron ore deposits",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 2 (2) (1994) 145-156.
[8] Kaheni Sh., Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., *"The geochemistry and mineralogy of North C ore body and Baghak anomaly and determination of two Pyrrhotite generations which are different in composition in Sangan mine, eastern Iran",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 16 (2) (2008) 313-326.
[9] Mazaheri S.A., *"Classification of amphiboles from Iron ore deposits, Sangan area, Khaf",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 10 (1) (2002) 67-80.
[10] Mazaheri N., Malekzadeh Shafaroudi A., Ghaderi M.,"*Geology, mineralogy and geochemistry of Ferezneh ferromanganese anomaly, east of Sangan mines complex, NE Iran",* Iranian Journal of Economic Geology 7 (1) (2015) 23-37.
[11] Boomeri M., "*Petrography and geochemistry of the Sangan iron skarn deposit and related igneous rocks, northeastern Iran",* Ph. D thesis, Akita Univ, Japan, (1998) 226 p.
[12] Boomeri M., *"Geochemical characteristics of halogen–bearing hastingsite, scapolite and phologopite from the Sangan iron skarn deposits, northeastern Iran",* Journalal of Mineralogy Petrology and Economic Geology 92 (1998) 481-501.
[13] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M. H., Golmohammadi A., *"Zircon U-Pb geochronology and petrology of intrusive rocks in the C-north and Baghak districts, Sangan iron mine, NE Iran",* Journal of Asian Earth Sciences 64 (2013) 256–271.
[14] Mazaheri S. A., *"Petrological studies of skarns from Marulan South, New South Wales Australia and Sangan, Khorasan, Iran",* Ph. D. thesis, University of Wollongong, New South Wales Australia (1995).
[15] Mazhari N., Malekzadeh Shafaroudi A., Ghaderi M., Star Lackey J., Lang Farmer G., Karimpour M.H., *"Geochronological and Geochemical Characteristics of Fractionated I-type Granites Associated with the Skarn Mineralization in the Sangan Mining Region, NE Iran",* Ore Geology Reviews 84 (2017) 116-133.
[16] Tale Fazel E., Mehrabi B., Khakzad A., Kianpour R., *"Stages and Mineralization Conditions of Dardvey Iron Skarn Based on Mineralogy and Fluid Inclusion Evidences, Sangan Area (Khorasan Razavi)",* Scientific Quarterly Journal, Geosciences 81 (2011) 349–360.
[17] Aghanabati A., *"Geology of Iran",* Geological Survey of Iran (2004) 640p.
[18] Geological Survey of Iran, *"Report of Taybad geological map at the scale 1/250000",* (1990) 150p.
[19] Whitney D.L., Evans B.V., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals",* American Mineralogist 95 (2010) 185–187.
[20] Einaudi M.T., Meinert L.D., Newberry R.J., *"Skarn deposits",* Economic Geology, 75th Anniversary (1981) 317-91.
[21] Morimoto N., *"Nomenclature of pyeoxenes",* Fortschr mineral 66 (1988) 237–252.
[22] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., *"An introduction to the rock forming minerals",* Longmans 692p, 2th edition, London (1992).
[23] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice G.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Shumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Wittaker E.J.W., Youzhi G., *"Nomenclature of amphiboles. Report of Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names",* European Journal of Mineralogy 9 (1997) 623–651.
[24] Dupuis C., Beaudoin G., *"Discriminant diagrams for iron oxide trace element finger printing of mineral deposit types",* Mineralium Deposita 46 (2011) 319–335.
[25] Purtov V.K., Kholodnoc V.V., Anfilogov V.N., Nechkin G.S., *"The role of chlorine in the formation of magnetite skarn",* International Geology Review 31 (1989) 63–71.
[26] Kwak T.A.P., *"Hydrothermal alteration in carbonate-replacement deposits",* Geological Association of Canada Short Course Notes 11 (1994) 381–402.
[27] Meinert L.D., *"Skarns and skarn deposits",* Geoscience Canada 19 (1992) 145–162.
[28] Logan M.A.V., *"Mineralogy and geochemistry of the Gualilan skarn deposit in the Precordillera of western Argentina",* Ore Geology Reviews 17 (2000) 113–138.
[29] Drummand S.E., Ohmoto H., *"Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal system".* Economic Geology 80 (1985) 126–147.