



## زمین شناسی، کانی سازی، کانی شناسی منطقه‌های اسکارن و ماده‌ی معدنی و ژئوشیمی مناطق پی‌جویی سنجدک II و III، شرق معدن سنگ آهن سنگان خواف

زکبه شاکردپور، محمدحسن کریم‌پور\*، آزاده ملک‌زاده شفارودی

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۴/۵/۱، نسخه نهایی: ۹۴/۸/۷)

**چکیده:** مناطق پی‌جویی سنجدک II و III بخشی از ناهنجاری‌های شرقی معدن سنگان در شمال غرب خواف را تشکیل می‌دهند. زمین‌شناسی منطقه شامل شیست‌های پرکامبرین، سنگ‌های رسوبی به سن ژوراسیک و کرتاسه تحتانی، توف و توده‌ی نفوذی به سن ائوسن هستند. انواع اسکارن در منطقه سنجدک III عبارتند از گارنت اسکارن، پیروکسن اسکارن، آمفیبول اسکارن، پیروکسن-گارنت اسکارن و گارنت-پیروکسن اسکارن. براساس آنالیز ریزپردازشی الکترونی گارنت‌ها به سری گراندیت (آندرادیت - گراسولار) وابسته‌اند، و پیروکسن‌ها از نوع دیوپسیدی و آمفیبول‌ها از نوع اکتینولیت‌های غنی از آهن هستند. دو نوع کانی‌سازی متفاوت صورت گرفته که عبارتند از ۱- پیریت و مگنتیت وابسته به منطقه‌های اسکارنی در سنجدک III و ۲- مگنتیت، اسپیکولاریت، باریت، هماتیت و گوتیت در منطقه‌های رگه‌ای (سنجدک II). رگه‌ها در راستای شمال شرقی- جنوب غربی قرار دارند. مقدار آهن با ۳۷/۹ درصد و منگنز با ۳۲۵۰۷ گرم در تن در نوع کانی‌سازی رگه‌ای بیشتر از اسکارند و بالاترین مقادیر آرسنیک و مس (به ترتیب ۱۵۸ و ۳۳۲ گرم در تن) به زون‌های اسکارنی وابسته‌اند. اسکارن آهن منطقه سنجدک III از نوع کلسیمی است. کانی‌سازی رگه‌ای سنجدک II می‌تواند به فعالیت‌های گرماب‌های جوانتر وابسته باشد که در منطقه‌های گسلی تشکیل شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** اسکارن، کانی‌سازی رگه‌ای، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، سنجدک II و III، معدن سنگان.

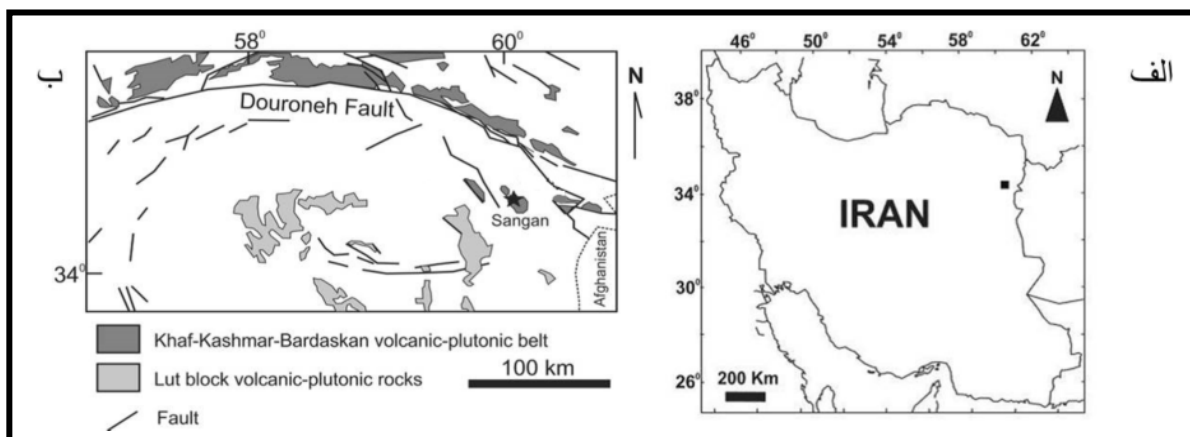
### مقدمه

معدن سنگ آهن سنگان خواف در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد، و ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی خواف بین طول-های جغرافیایی ۲۴' ۶۰° تا ۴۵' ۶۰° و عرض‌های جغرافیایی ۲۶' ۳۴° تا ۳۳' ۳۴° در استان خراسان رضوی قرار دارد، و کانسار در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خواف [۱] دیده می‌شود. این معدن از نظر زمین ساختی در شرق کمربند آتشفشانی نفوذی خواف - کاشمر-بردسکن در شمال گسل درونه و در پهنه‌ی ساختاری سبزوار واقع شده است [۲]. کانی-سازی آن از نوع اسکارن آهن است [۳]، (شکل ۱ - الف و ب). این کمربند به‌عنوان کمربند حاوی اکسید آهن در ایران معرفی شده است [۴، ۵]. توده‌های مگنتیتی معدن سنگ آهن سنگان روند شرقی-غربی داشته و از غرب به شرق شامل: بخش غربی

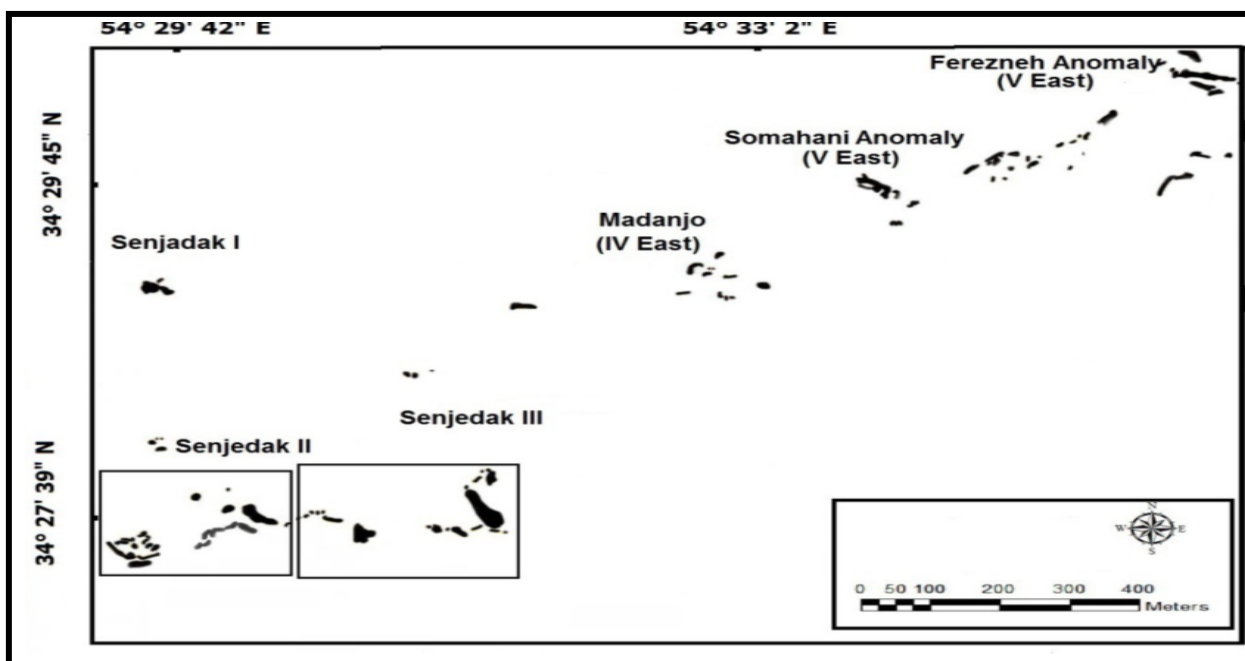
بخش مرکزی (باغک و A'C, B, A جنوبی و C شمالی)، بخش مرکزی (باغک و دردوی) و بخش شرقی (سنجدک III، سنجدک II، سنجدک I، معدن جو، سم‌آهنی و فرزنه) است (شکل ۲). معدن سنگان ۷۰۰ سال پیش شناسایی شده [۶] و بررسی‌های گسترده‌ای روی سنگ خاستگاه اسکارن، ژئوشیمی توده‌های مگنتیت و اسکارن، سنگ‌شناسی و سال‌سنجی توده‌های نفوذی در گستره‌ی دردوی، باغک، C شمالی، C جنوبی و A که از مناطق با ذخیره‌ی بالای آهن هستند، صورت گرفته است [۷-۱۰].

توده‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق متعددی در معدن سنگان وجود دارند که برخی قدیمی‌تر از کانی‌سازی آهن، بعضی وابسته به آن و تعداد کمی پس از کانی‌سازی ایجاد شده‌اند [۸-۱۰]. در این میان سن توده‌های وابسته به کانی-سازی آهن، ۳۹ میلیون سال تشخیص داده شد [۱۰].

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۷۹۷۲۷۵، نامبر: ۰۵۱۳۸۷۹۶۴۱۶، پست الکترونیکی: karimpur@um.ac.ir



شکل ۱ الف) موقعیت جغرافیایی معدن سنگان در شمال شرقی ایران، ب) موقعیت معدن سنگان در کمربند ماگمایی خواف-کاشمر- بردسکن.



شکل ۲ موقعیت جغرافیایی ناهنجاری‌های شرقی معدن سنگان.

اندواسکارن و آگزواسکارن ناهنجاری‌های شرقی معدن از دیگر رخنمون‌های سنگی شده است [۱۱]. مناطق مورد بررسی جزئی از ناهنجاری‌های شرقی معدن سنگان به نام‌های سنجدک II و III هستند (شکل ۲) که دارای وسعت آنها حدود ۴/۲ کیلومتر مربع است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه زمین‌شناسی-کانی‌سازی، تعیین دقیق انواع کانی‌سازی‌ها، بررسی شیمی کانی‌ها در منطقه‌ی اسکارن سنجدک III با استفاده از داده‌های ریزپردازشی و نیز بررسی ژئوشیمی و کانی‌شناختی ماده‌ی معدنی مناطق سنجدک II و III است.

بررسی‌های جدید [۸]، سن توده‌های نفوذی فاقد کانی‌سازی (مونزوگرانیت و سینوگرانیت) در شرق معدن سنگان را ۴۱ میلیون سال نشان می‌دهد که بیانگر قدیمی‌تر بودن آنها نسبت به توده‌های وابسته به کانی‌سازی یعنی ۳۹ میلیون سال است. توده‌های گرانیتی شرق معدن در گستره‌ی گرانیت-های نوع A قرار می‌گیرند که موقعیت زمین‌ساختی این گروه از سنگ‌ها مناطق کششی پسا کوهزایی است. همچنین استفاده از نسبت‌گیری و تصاویر ترکیب رنگی نوارهای فرورسرخ گرمایی، باعث جداسازی واحدهای کربناتی،

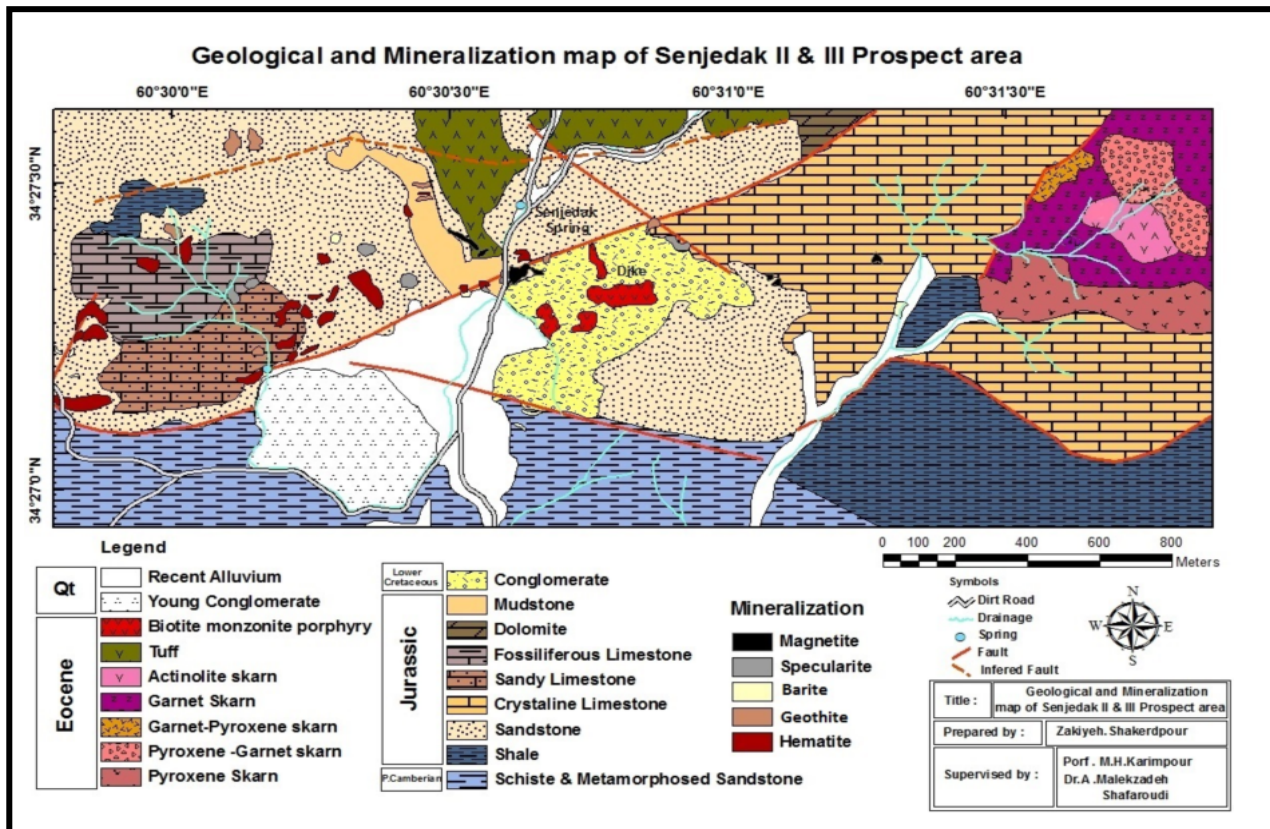
**روش بررسی**

به منظور بررسی‌های سنگ‌نگاری و کانی‌سازی، نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف منطقه انجام گرفت و در مجموع ۷۰ مقطع نازک، ۱۰ نازک صیقلی و ۱۵ بلوک صیقلی تهیه و بررسی شدند. در نهایت نقشه‌ی زمین‌شناسی و کانی‌سازی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ با نرم‌افزار GIS رسم شد. برای شناسایی دقیق کانی‌های اسکارن، آنالیز ریزپردازشی ۳ نمونه در ۲۰ نقطه روی گارنت، پیروکسن و آمفیبول به‌وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی مدل SX-100Cameca و با ولتاژ شتاب دهنده‌ی ۱۵ کیلو وات در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. همچنین ۲۰ نمونه‌ی خرده‌سنگی از نوع اسکارن و رگه‌ای با هدف بررسی‌های ژئوشیمیایی، به روش ICP-OES برداشت و به همان مرکز ارسال شدند. برای تهیه‌ی نمودارها از نرم‌افزار GCDkit2.2 و Excel استفاده شد.

**زمین‌شناسی**

معدن سنگ آهن سنگان خواف بخشی از کمربند آتشفشانی-آذرین خواف کاشمر- بردسکن است. این کمربند بیشتر از

سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط و کمتر مافیک با سن ترشیاری تشکیل شده است که توده‌های گرانیتوئید با ترکیب گرانیت تا مونزونیت در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. قدیمی‌ترین سازند-های موجود در منطقه‌ی معدن سنگان عبارتند از شیل‌های سیلیسی و سیلتستون. سنگ‌های کربناتی بیشتر به اسکارن و مرمر دگرگون شده‌اند و به سمت شرق به‌صورت آهک‌بلورین یافت می‌شوند. سن این سنگ‌ها به ژوراسیک فوقانی و کرتاسه زیرین نسبت داده می‌شود. در شمال معدن گرانیت سرنوسر با سن تقریبی ائوسن بالایی-الیگوسن پایینی نفوذ کرده است [۹]. زمین‌شناسی منطقه پی‌جویی سنجدک II و III بیشتر شامل واحدهای رسوبی و کمتر آتشفشانی-نفوذی است. قدیمی‌ترین واحد سنگی موجود در منطقه شیست به همراه ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده پرکامبرین است که در بخش جنوب غربی منطقه رخنمون دارد. این واحد فاقد هر گونه کانی‌سازی در منطقه است. سازندهای ژوراسیک موجود در منطقه به ترتیب از قدیم به جدید شامل واحدهای سنگی شیل، ماسه‌سنگ، کربنات، دولومیت و ماداستون است (شکل ۳).



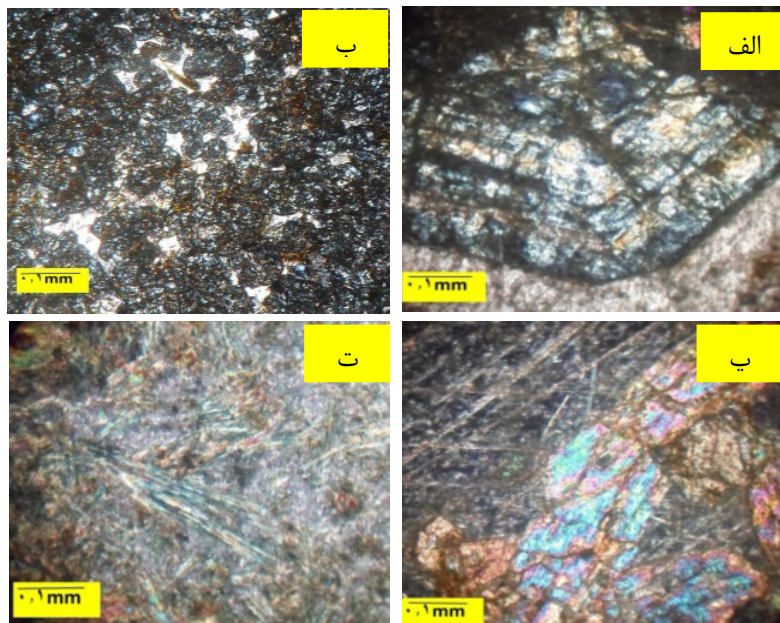
شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی و کانی‌سازی مناطق پی‌جویی سنجدک II و III [۱۷].

توپوگرافی آن بیشتر به صورت تپه‌های کوچک و مسطح است. واحد اسکارنی با سن ائوسن در شمال شرق منطقه سنجدک III رخنمون دارد که با توجه به ترکیب کانی‌شناسی به ۵ بخش تقسیم می‌شود که عبارتند از گارنت اسکارن، پیروکسن اسکارن، آمفیبول اسکارن، پیروکسن-گارنت اسکارن و گارنت-پیروکسن اسکارن. که در ادامه به تفصیل به توصیف کانی-شناسی آن‌ها پرداخته خواهد شد. تنها توده‌ی نفوذی منطقه با ترکیب بیوتیت مونزونیت پورفیری به شکل دایک در واحد کنگلومرا نفوذ کرده است. این توده در صحرا به شدت هوازده شده، و دارای بافت پورفیری، با کانی‌های اولیه بیوتیت، پلاژیوکلاز و کوارتز و کانی‌های ثانویه کلریت، سرسیتیک-کربناتی است. دگرسانی این توده از نوع سرسیت-کربنات است.

#### کانی‌شناسی و شیمی اسکارن

**گارنت اسکارن:** این منطقه بیشترین وسعت را میان منطقه‌های اسکارنی دارد و در مرکز واحدهای اسکارنی گسترش یافته است (شکل ۳). مقدار گارنت در این منطقه بیش از ۸۰ درصد است. گارنت‌ها کالک‌سیلیکات‌های بدون آب هستند که در مرحله‌ی دگرسانی پیشرونده ایجاد می‌شوند. گارنت در این منطقه به دو صورت همسانگرد و ناهمسانگرد مشاهده شدند (شکل ۴ الف، ب).

واحد شیل بیشتر در جنوب شرقی و به‌طور محدودتر در شمال غربی منطقه رخنمون دارد و به رنگ خاکستری تیره با تورق فراوان در صحرا مشاهده می‌شود. واحد ماسه‌سنگی، سنگ میزبان اصلی برای کانی‌سازی‌های نوع رگه‌ای هماتیت، گوتیت و باریت است که بنابر رده‌بندی فولک [۱۳] به ساب‌لیت‌آرنایت، لی‌ت‌آرنایت و ساب‌آرکوز تقسیم شده است. این واحد در شمال غرب منطقه به وسیله‌ی یک گسل با راستای شمال شرقی- جنوب غربی از واحدهای آهکی جدا شده است. واحدهای کربناتی بیشتر به رنگ کرم تا قهوه‌ای روشن در منطقه رخنمون دارند و به شکل کوه‌هایی با ارتفاعات زیاد و شیب تند مشاهده می‌شوند. بنابر رده‌بندی دانهام [۱۴] این واحد به ان-کوئیدپکستون، پکستون بایوکلاستی و وکستون تقسیم می‌شود. از فسیل‌های شناسایی شده در این واحد می‌توان به فسیل جانوران ریز دریایی، بریوزوا و براکیپود اشاره کرد. در شمال-غرب منطقه، واحد دولومیتی با گسترش محدود و بدون کانی-سازی رخنمون دارد. ماداستون با گسترش محدود در مرکز منطقه میزبان کانی‌سازی‌هایی از نوع مگنتیت، گوتیت و هماتیت است (شکل ۲). واحد کنگلومرا با سن کرتاسه تحتانی و گسترش در بخش مرکزی، بیشتر از قطعاتی به جنس کربناتی و سیمانی با ترکیب سیلیسی و کمتر کربناتی تشکیل شده است. اندازه‌ی قطعات کنگلومرا از گراول تا پیل در تغییر است و



شکل ۴ الف) تصویر میکروسکوپی از گارنت ناهمسانگرد در نور XPL، ب) گارنت همسانگرد در نور XPL، پ) پیروکسن در نور XPL، ت) اکتینولیت در نور XPL

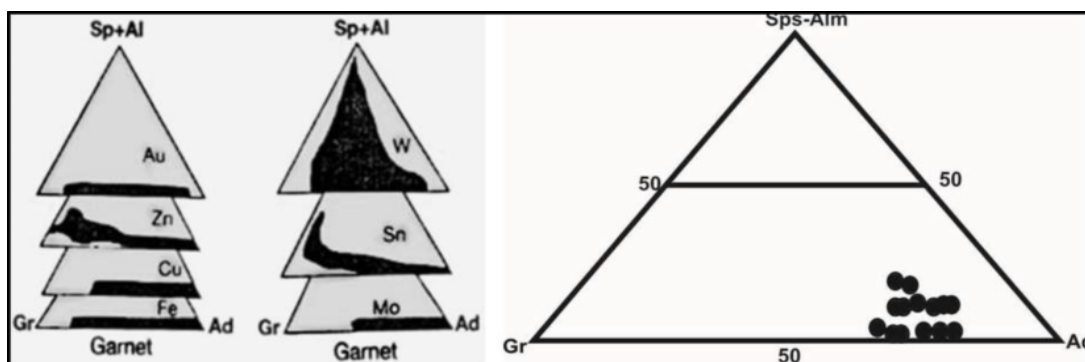
گارنت‌های ناهمسانگرد دارای ساختاری منطقه‌ای بوده و معمولاً درشت بلور و خودشکل هستند. در حالی که گارنت‌های همسانگرد، گارنت‌هایی ریز بلور و بدون ساختار منطقه‌ای هستند. منطقه‌بندی گارنت‌ها یکی از مهمترین معیارها برای درک تاریخچه‌ی سنگ‌های دگرگون و رشد گارنت‌ها است [۱۶، ۱۵]. این پدیده می‌تواند بر اثر فرآیندهای رشد طی افزایش دما، نشر و نشت آبگون در بلورهای گارنت ایجاد شود [۱۷]. بررسی ریزپردازشی گارنت‌ها، وابستگی آن‌ها را به سری گراندیت آشکار کرده و نشان دهنده‌ی غنی بودن آن‌ها از آهن است (جدول ۱ و شکل ۵). سری گراندیت تنها وابسته به این منطقه نبود بلکه در منطقه‌های پیروکسن-گارنت و گارنت-پیروکسن نیز مشاهده می‌شود. نتایج به دست آمده از جایگاه ترکیب شیمیایی هر دو نوع گارنت و مقایسه آن با جایگاه ترکیبی انواع اسکارن‌های جهان نشان داد [۱۸] که تمامی گارنت‌ها از نوع آندرادیت - گراسولار هستند و مقدار آندرادیت در آن‌ها به مقدار قابل توجهی از دیگر اعضای انتهایی گارنت‌ها بیشتر است. از نظر ترکیب شیمیایی این گارنت‌ها شامل

گارنت‌های ناهمسانگرد دارای ساختاری منطقه‌ای بوده و معمولاً درشت بلور و خودشکل هستند. در حالی که گارنت‌های همسانگرد، گارنت‌هایی ریز بلور و بدون ساختار منطقه‌ای هستند. منطقه‌بندی گارنت‌ها یکی از مهمترین معیارها برای درک تاریخچه‌ی سنگ‌های دگرگون و رشد گارنت‌ها است [۱۶، ۱۵]. این پدیده می‌تواند بر اثر فرآیندهای رشد طی افزایش دما، نشر و نشت آبگون در بلورهای گارنت ایجاد شود [۱۷]. بررسی ریزپردازشی گارنت‌ها، وابستگی آن‌ها را به سری گراندیت آشکار کرده و نشان دهنده‌ی غنی بودن آن‌ها از آهن است (جدول ۱ و شکل ۵). سری گراندیت تنها وابسته به این منطقه نبود بلکه در منطقه‌های پیروکسن-گارنت و گارنت-پیروکسن نیز مشاهده می‌شود. نتایج به دست آمده از جایگاه ترکیب شیمیایی هر دو نوع گارنت و مقایسه آن با جایگاه ترکیبی انواع اسکارن‌های جهان نشان داد [۱۸] که تمامی گارنت‌ها از نوع آندرادیت - گراسولار هستند و مقدار آندرادیت در آن‌ها به مقدار قابل توجهی از دیگر اعضای انتهایی گارنت‌ها بیشتر است. از نظر ترکیب شیمیایی این گارنت‌ها شامل

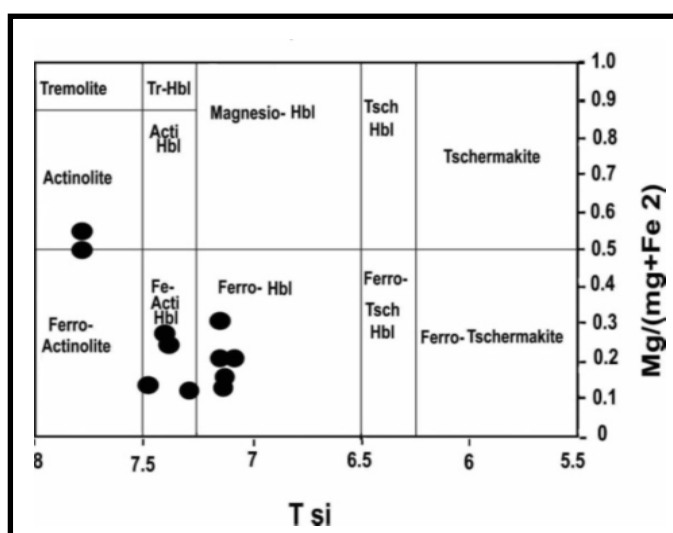
اسکارن‌های آهن جهانی همخوانی دارد. **آمفیبول اسکارن (اکتینولیت اسکارن):** در شمال شرقی واحد اسکارنی منطقه با گسترش محدود رخنمون دارد (شکل ۳). کانی‌های اصلی این منطقه شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد گارنت، ۱۸ تا ۲۰ درصد پیروکسن و کانی‌های ثانوی شامل ۴۰ تا ۴۵ درصد اکتینولیت، ۲ تا ۵ درصد کلریت و ۵ درصد کلسیت است. اکتینولیت محصول دگرسانی پیروکسن‌ها در مرحله‌ی پسرونده است (شکل ۴-ت). به‌منظور تعیین دقیق نوع این کانی از آنالیز ریز پردازشی استفاده شد. که پس از محاسبه‌ی فرمول شیمیایی آمفیبول‌های آنالیز شده براساس ۲۳ اتم اکسیژن به روش تعادل کاتیونی و قرار دادن داده‌های حاصل از آنالیز در نمودار [۱۹]، آمفیبول‌ها از نوع اکتینولیت غنی از آهن تعیین شدند (شکل ۶ و جدول ۲).

جدول ۱ نتایج آنالیز ریزپردازشی گارنت‌ها در اسکارن سنجدک III، محاسبات فرمول ساختاری براساس ۱۲ اکسیژن.

	S <sub>p-۴-۱</sub>	S <sub>p-۴-۲</sub>	S <sub>p-۶-۱</sub>	S <sub>p-۶-۲</sub>	S <sub>p-۷-۱</sub>	S <sub>p-۷-۲</sub>	S <sub>p-۹-۱</sub>	S <sub>p-۹-۲</sub>	S <sub>p-۱۰-۱</sub>	S <sub>p-۱۰-۲</sub>	S <sub>p-۱۱-۱</sub>	S <sub>p-۱۱-۲</sub>
SiO <sub>۲</sub>	۳۶٫۸۶	۳۶٫۶۹	۳۴٫۷	۳۶٫۹۱	۳۶٫۶۴	۳۶٫۸۵	۳۶٫۵۴	۳۹٫۳۲	۳۸٫۹۱	۳۸٫۸۸	۳۸٫۹۶	۳۸٫۳۳
TiO <sub>۲</sub>	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۹۵	۲٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۳
Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۵٫۶۱	۵٫۸۲	۵٫۱۷	۴٫۲۴	۴٫۹	۵٫۲۹	۵٫۸۵	۵٫۳۳	۳٫۷	۴٫۶۵	۴٫۰۳	۴٫۱۲
Cr <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
FeO	۲۱٫۵۷	۲۱٫۶۵	۲۴٫۶۹	۲۱٫۳۹	۲۲٫۷۷	۲۲٫۶۷	۲۳٫۹۲	۲۱٫۹۴	۲۳٫۱۹	۲۲٫۲۲	۲۳٫۵۲	۲۳٫۵۵
MnO	۰٫۲۷	۰٫۳۷	۰٫۱۸	۰٫۲۵	۰٫۲۴	۰٫۲۵	۰٫۲۰	۰٫۲۳	۰٫۲۱	۰٫۲۶	۰٫۲۲	۰٫۲۱
MgO	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۷۶	۰٫۰۱	۰٫۰۸	۱٫۴۲	۰٫۰۴	۰٫۰۴
CaO	۳۳٫۷۷	۳۳٫۶۸	۳۳٫۸۱	۳۴٫۵۸	۳۴٫۴۸	۳۳٫۸۹	۲۹٫۹۳	۳۳٫۸۵	۳۲٫۹۶	۳۰٫۴۳	۳۳٫۷۵	۳۳٫۲۸
Na <sub>۲</sub> O	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰	۰
K <sub>۲</sub> O	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۱۶	۰	۰	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰
Total	۹۸٫۱۵	۹۸٫۲۴	۹۸٫۶۴	۹۹٫۴	۹۹٫۰۹	۹۹٫۰۱	۱۰۰٫۴	۱۰۰٫۶	۱۰۰	۹۹٫۹۹	۱۰۰٫۵	۱۰۰٫۵۶
Si	۳٫۲۰	۳٫۱۸	۳٫۰۶	۳٫۱۶	۳٫۱۸	۳٫۱۸	۳٫۳۹	۳٫۳۰	۳٫۳۱	۳٫۲۷	۳٫۳۱	۳٫۲۹
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۱۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al	۰٫۵۷	۰٫۵	۰٫۵۳	۰٫۶۳	۰٫۵۰	۰٫۵۳	۰٫۴۷	۰٫۵۲	۰٫۳۷	۰٫۴۶	۰٫۴۰	۰٫۴۱
Cr	۰	۰٫۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰	۰٫۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Fe <sup>+۲</sup>	۱٫۴	۱٫۴۴	۱٫۸۲	۱٫۴۶	۱٫۵۸	۱٫۵۱	۱٫۰۶	۱٫۲۳	۱٫۲۵	۱٫۰۶	۱٫۳۷	۱٫۸۱
Fe <sup>+۳</sup>	۰٫۱	۰٫۱۲	۰	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۱٫۰	۰٫۶۰	۰٫۳۰	۰٫۳۹	۰٫۴۹	۰٫۳۰	۰٫۲۹
Mn	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Mg	۰٫۰۰	۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۹	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۱۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Ca	۳٫۱۴	۳٫۱۳	۳٫۲۰	۳٫۱۷	۳٫۲۰	۳٫۱۴	۲٫۶۸	۳٫۰۴	۳٫۰۰	۲٫۷۴	۳٫۰۷	۳٫۰۶
Tot. Cat	۸٫۵۰	۸٫۵۱	۸٫۶۵	۸٫۵۲	۸٫۵۶	۸٫۵۳	۸٫۳۵	۸٫۴۳	۸٫۴۴	۸٫۳۶	۸٫۴۸	۸٫۴۹
% Ad	۶۸٫۳۳	۶۷٫۵۵	۷۶٫۷۱	۶۸٫۰۵	۷۳٫۹۴	۷۰٫۲۸	۵۴٫۳۴	۶۳٫۳۰	۶۵٫۱۹	۵۱٫۴۲	۶۹٫۸۰	۶۹٫۶۷
% Gr	۲۷٫۱۸	۲۷٫۷۶	۲۲٫۶۳	۲۹٫۲۴	۲۳٫۲۳	۲۵٫۰۷	۲۴٫۳۸	۲۷٫۰۴	۱۹٫۳۰	۲۲٫۱۷	۲۰٫۵۵	۲۰٫۸۳
% Sp	۰٫۶۰	۰٫۸۲	۰٫۴۱	۰٫۵۵	۰٫۵۳	۰٫۵۵	۰٫۴۳	۰٫۶۸	۰٫۴	۰٫۵۳	۰٫۴۶	۰٫۴۵



شکل ۵ نمودار توزیع ترکیب تجزیه‌های نقطه‌ای گارنت در اسکارن سنجدک III و مقایسه آن با اسکارن‌های جهان [۱۸].



شکل ۶ موقعیت نمونه‌های آمفیبول منطقه سنجدک III در نمودار تعیین نوع آمفیبول [۱۹].

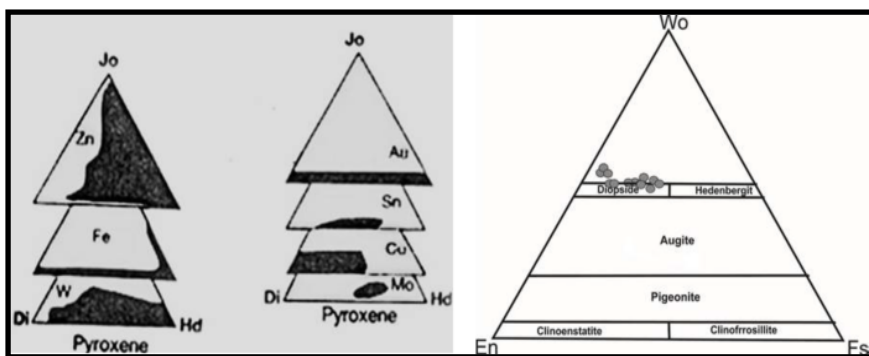
شیمیایی پیروکسن‌های بررسی شده براساس ۶ اتم اکسیژن به روش تعادل کاتیونی و قرار دادن داده‌های حاصل از بررسی روی نمودار (شکل ۷ و جدول ۳)، ترکیب کلینوپيروکسن‌ها در منطقه سنجدک III از نوع دیوپسید تعیین شد. از نظر ترکیب شیمیایی (بیشترین مقدار) این پیروکسن‌ها شامل ۶۸/۵۲ درصد مولی دیوپسید و ۳۹/۹۴ درصد مولی هیدنبرژیت هستند. در اسکارن‌های منیزیمی، دیوپسیدها از درجه خلوص بالایی برخوردارند (۹۵-۹۰ درصد) و کانی‌های معمول آن‌ها شامل فورستریت، اسپینل، تالک، فلوگوپیت، تره مولیت و سریانترین است که هیچ کدام در سنجدک III مشاهده نشد. با توجه به آنچه گفته شد می‌توان گفت اسکارن در منطقه سنجدک III از نوع کلسیمی است.

ترکیب این پیروکسن‌ها در گستره‌ی اسکارن‌های آهن قرار می‌گیرد.

پیروکسن-گارنت اسکارن: در واحد اسکارنی با گسترش محدود رخنمون یافته است (شکل ۳). بعد از گارنت، پیروکسن از مهمترین کانی‌های آهکی‌سیلیکاتی در مرحله‌ی دگرسانی پیشرونده اسکارن است که در این منطقه فراوانی آن نسبت به گارنت کمتر است. کلینوپيروکسن‌های بررسی شده ریز بلور و غالباً بدون شکل هستند (شکل ۴-پ). براساس بررسی‌های کانی‌شناسی، کانی‌های اصلی این منطقه شامل ۵۵ درصد گارنت، ۲۵ درصد پیروکسن و ۲۰ درصد کلسیت (به شکل اولیه) است. گارنت‌ها در این منطقه جزء سری گراندیت بوده و در اثر واکنش‌های قهقرایی در مرحله‌ی دگرسانی پسرونده از حاشیه و راستای شکستگی‌ها در حال تبدیل به اکتینولیت (کمتر از ۸ درصد) و اکسیدهای آهن (۳ تا ۴ درصد) هستند. پیروکسن‌ها تحت تاثیر این مرحله در حال تبدیل به (کمتر از ۳ درصد) اکتینولیت هستند. به‌منظور تعیین دقیق نوع این کانی از بررسی ریز پردازشی استفاده شد، که پس از محاسبه فرمول

جدول ۲ نتایج حاصل از آنالیز ریزپردازشی آمفیبول در اسکارن سنجدک III و محاسبات فرمول ساختاری براساس ۲۳ اکسیژن.

Sample No	S <sub>3</sub> -1	S <sub>3</sub> -2	S <sub>3</sub> -3	S <sub>3</sub> -4	S <sub>3</sub> -5	S <sub>3</sub> -6
SiO <sub>2</sub>	۴۹,۱۹	۴۷,۷۵	۵۴,۴۲	۵۴,۰۳	۴۶,۷۷	۴۷,۸۸
TiO <sub>2</sub>	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳,۶۲	۴,۹۲	۰,۲۶	۰,۱۳	۵,۴۴	۳,۶۷
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲,۸۳	۳,۴۹	۶,۶۰	۸,۶۵	۹,۰۷	۶,۸۹
FeO	۳۰,۱۵	۲۹,۴۶	۱۸,۱۳	۱۶,۱۲	۲۱,۰۵	۲۵,۳۶
MnO	۰,۲۱	۰,۱۷	۰,۱۸	۰,۱۸	۰,۱۲	۰,۱۳
MgO	۲,۶۸	۲,۵۱	۱۰,۱۵	۱۰,۳۵	۴,۶۶	۳,۷۱
CaO	۱۳,۱۱	۱۱,۱۱	۱۱,۱۲	۱۰,۵	۹,۶۱	۵,۱۰
Na <sub>2</sub> O	۰,۷۴	۰,۸۲	۰,۲۹	۰,۳۷	۱,۰۶	۰,۶۷
K <sub>2</sub> O	۰,۵۲	۰,۷۷	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۶۴	۰,۴۲
H <sub>2</sub> O*	۱,۹۶	۱,۹۵	۲,۰۷	۲,۰۷	۱,۹۵	۱,۹۴
Total	۱۰۳,۰۵	۱۰۲,۹۹	۱۰۳,۳۸	۱۰۲,۵۵	۱۰۰,۴۱	۱۰۱,۲۰
No. of oxygens	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳
Structural formulae						
Si	۷,۵۲	۷,۳۲	۷,۸۴	۷,۸۲	۷,۱۷	۷,۳۸
Al iv	۰,۴۷	۰,۶۷	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۸۲	۰,۶۱
Al vi	۰,۱۷	۰,۲۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۶	۰,۰۵
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe <sup>3+</sup>	۰,۳۲	۰,۴۰	۰,۷۱	۰,۹۴	۱,۰۴	۰,۷۹
Fe <sup>2+</sup>	۳,۸۵	۳,۷۸	۲,۱۸	۱,۹۵	۲,۷۰	۲,۷۳
Mn	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۱,۰۱	۰,۰۱
Mg	۰,۶۱	۰,۵۷	۲,۱۸	۲,۲۳	۱,۰۹	۰,۸۵
Ca	۱,۸۲	۱,۸۲	۱,۷۱	۱,۶۲	۱,۵۸	۱,۷۳
Na	۰,۲۱	۰,۲۴	۰,۰۸	۱,۱۰	۰,۳۱	۰,۲۰
K	۰,۱۰	۰,۱۵	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۱۲	۰,۰۸
OH*	۲	۲	۲	۲	۲	۲
Total	۱۷,۱۴	۱۷,۲۲	۱۶,۸۲	۱۶,۷۵	۱۷,۰۲	۱۷,۰۱
Calculation scheme						
Amphibole group						
(Ca+Na) (B)	۲	۲	۱,۷۹	۱,۷۳	۱,۸۹	۱,۹۳
Na (B)	۰,۱۷	۰,۱۷	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۳۱	۱,۲۰
(Na+K) (A)	۰,۱۴	۰,۲۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۱۲	۰,۰۸
Mg(Mg+Fe <sub>2</sub> )	۰,۱۳	۰,۱۳	۰,۴۹	۰,۵۲	۰,۲۸	۰,۲۰
Fe <sub>3</sub> (Fe <sub>3</sub> +Alvi)	۰,۶۴	۰,۶۵	۱	۱	۰,۸۶	۰,۹۳
Sum of S <sub>2</sub>	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳
Amphibole names	ferro-actinolite	ferro-actinolite	ferro-actinolite	ferro-actinolite	ferro-hornblende	ferro-actinolite



شکل ۷ نمودار توزیع ترکیب تجزیه‌های نقطه‌ای پیروکسن در اسکارن سنجدک III و مقایسه آن با اسکارن‌های جهان [۱۸].

جدول ۳ نتایج حاصل از بررسی ریزپردازشی پیروکسن در اسکارن سنجدک III و محاسبات فرمول ساختاری براساس ۶ اکسیژن.

Sample No	S <sub>r</sub> -۹	S <sub>r</sub> -۱۰	S <sub>r</sub> -۱۱	S <sub>r</sub> -۱۲	S <sub>r</sub> -۱۳	S <sub>r</sub> -۱۴
SiO <sub>۲</sub>	۵۲٫۵۷	۵۲٫۲۱	۵۱٫۶۸	۵۲٫۵۲	۵۳٫۰۹	۵۳٫۳۸
TiO <sub>۲</sub>	.	.	.	۰٫۰۱	۰٫۰۱	.
Al <sub>2</sub> O <sub>۳</sub>	۰٫۲۱	۰٫۲۵	۰٫۲۱	۰٫۳۶	۰٫۲۳	۰٫۱۳
Cr <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	.	.	.	.	.	.
FeO	۱۰٫۲۸	۱۱٫۷	۱۰٫۷۴	۱۱٫۶۴	۱۰٫۳۸	۱۰٫۲۸
MnO	۰٫۳۴	۰٫۴۶	۰٫۳۱	۰٫۳۸	۰٫۳۲	۰٫۳۴
MgO	۱۲٫۱	۱۰٫۶۲	۱۱٫۳۴	۱۱٫۱	۱۲٫۰۳	۱۱٫۷
CaO	۲۵٫۰۸	۲۴٫۸۲	۲۴٫۱۹	۲۴٫۶۷	۲۴٫۵۸	۲۴٫۸
Na <sub>۲</sub> O	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۱۲	۰٫۲۳	۰٫۱۶	۰٫۱۲
K <sub>۲</sub> O	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۵	.	۰٫۰۴	.
Total	۱۰۰٫۷۷	۱۰۰٫۲۵	۹۸٫۶۴	۱۰۰٫۹	۱۰۰٫۸۳	۱۰۰٫۷۵
Si	۱٫۹۶	۱٫۹۸	۱٫۹۸	۱٫۹۷	۱٫۹۸	۲٫۰۷
Ti	.	.	.	۰٫۰۰	۰٫۰۰	.
Al	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰
Fe <sup>+۳</sup>	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۳	.
Fe <sup>+۲</sup>	۰٫۲۴	۰٫۳۲	۰٫۳۰	۰٫۳۱	۰٫۲۹	۰٫۳۲
Mn	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Mg	۰٫۶۷	۰٫۶۰	۰٫۶۴	۰٫۶۲	۰٫۶۷	۰٫۶۵
Ca	۱	۱	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۰٫۹۹
Na	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۱٫۰۱	۰٫۰۰
Total	۴	۴	۴	۳٫۹	۳٫۹	۴
% Di	۶۸٫۵۲	۵۷٫۶۱	۶۲٫۰۴	۶۱٫۴۵	۶۳٫۱۷	۵۰٫۰۷
% Hd	۲۰٫۳۰	۳۱٫۵۵	۲۹٫۳۶	۲۹٫۹۴	۲۷٫۵۹	۲۴٫۶۸
% Jo	۶٫۱۶	۱۰٫۸۲	۸٫۵۹	۷٫۶۰	۹٫۲۳	۲۵٫۳۲

رگه‌ای. کانی‌سازی اسکارن تنها در سنجدک III مشاهده می‌شود و سنجدک II فاقد منطقه‌های اسکارنی است.

#### کانی‌های فلزی موجود در اسکارن

کانی‌سازی در اسکارن از شدت و گسترش بسیار کمی برخوردار بوده و شامل مگنتیت و پیریت است که در مرحله دگرسانی پسرونده ایجاد شده‌اند. این کانی‌سازی بیشتر به‌صورت پراکنده در متن سنگ صورت گرفته و به منطقه پیروکسن-گارنت اسکارن وابسته است.

**مگنتیت:** کانی‌سازی مگنتیت بیشتر در منطقه پیروکسن-گارنت اسکارن و به مقدار بسیار اندک (کمتر از ۱ درصد) مشاهده شد (شکل ۸ - الف). این کانی بیشتر به‌صورت پراکنده فضای خالی و پراکنده در متن سنگ وجود دارد و در حال تبدیل به هماتیت (۲۵ تا ۳۰ درصد) است.

**پیریت:** این کانی بیشتر در منطقه پیروکسن-گارنت اسکارن و با فراوانی (کمتر از ۱ درصد) به‌صورت ریز بلورهای بی‌شکل که بیشتر دارای بافت دانه‌ای و پراکنده‌اند، مشاهده می‌شود (شکل ۸ - الف). در مرحله پیشرونده اسکارن، کانی‌های سیلیکاتی

**منطقه‌ی گارنت-پیروکسن اسکارن:** این منطقه کمترین گسترش را در مقایسه با منطقه‌های اسکارنی دیگر داشته و در بخش غربی منطقه رخنمون دارد (شکل ۳). شامل بیش از ۵۰ درصد پیروکسن، ۱۰ درصد گارنت و ۳۵ درصد کلسیت است. تحت تاثیر شرایط پسرونده گارنت‌ها (۵ تا ۷ درصد) به اکتینولیت تبدیل شده‌اند.

**پیروکسن اسکارن:** در بخش جنوبی واحدهای اسکارنی گسترش دارد و پس از گارنت، اسکارن بزرگترین منطقه‌ی اسکارنی است (شکل ۳). کانی‌های اصلی این منطقه شامل ۱۸ تا ۲۰ درصد پیروکسن و ۷۰ تا ۷۵ درصد کلسیت است.

کلسیت کانی رایج این منطقه بوده و بخش بزرگی از سنگ را تشکیل می‌دهد و بیشتر به صورت اولیه در سنگ حضور دارد. پیروکسن‌ها تحت تاثیر شرایط پسرونده به (کمتر از ۵ درصد) اکتینولیت تبدیل شده‌اند.

#### کانی‌سازی

کانی‌سازی در ناهنجاری‌های سنجدک II و III در ۲ نوع متفاوت مشاهده شد. الف) کانی‌سازی اسکارن. ب) کانی‌سازی

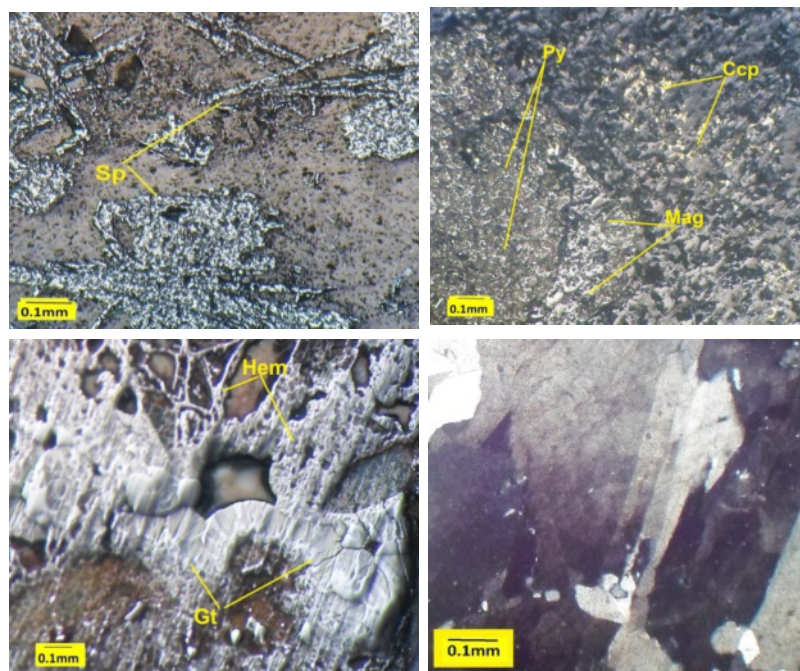


ارتباط با گسل‌ها و درز و شکستگی‌های موجود در منطقه، با راستای شمال شرقی - جنوب غربی است. کانی‌های اولیه آن شامل مگنتیت، اسپیکولاریت، باریت و کانی‌های ثانویه شامل هماتیت و گوتیت است. ضخامت رگه‌های همراه با کانی‌سازی هماتیت و گوتیت از ۱۰ سانتی‌متر تا ۳۰ متر در تغییر بوده و دارای طولی بیش از ۳۵ متر و شیب ۸۰ NW هستند. این رگه‌ها بیشتر در بخش غربی و درون واحد ماسه‌سنگی رخنمون دارند. ضخامت رگه‌های مگنتیت و اسپیکولاریت بین ۱ تا ۴ سانتی‌متر متغیر بوده و راستای آن‌ها در راستای گسل‌های منطقه شرقی - غربی است.

بدون آب نظیر گارنت و پیروکسن تشکیل می‌شود و کانی‌سازی فلزی صورت نمی‌گیرد. در مرحله‌ی بعد و به دنبال فرایندهای دگرنهادی، مگنتیت شروع به تشکیل شدن می‌کند. پس از این مرحله، در دگرسانی پسروده کانی‌سولفیدی پیریت در متن سنگ ایجاد شده و با پیشرفت این مرحله و تاثیر گرماب‌های با دمای پایین، کانی‌های با دما بالا و بدون آب مرحله قبل (گارنت و پیروکسن)، دگرسان شده و به مجموعه‌ای از کانی‌های آبدار نظیر آمفیبول، کلریت و اکتینولیت تبدیل می‌شوند (شکل ۹).

**کانی‌های فلزی موجود در کانی‌سازی رگه‌ای**

کانی‌سازی در نوع رگه‌ای محدود به سنجدک II بوده و در



شکل ۸ الف تصویر میکروسکوپی از مگنتیت (Mag) به‌همراه پیریت (Py) و کالکوپیریت (Ccp) درون منطقه‌ی اسکارنی نور PPL، ب) تصویر میکروسکوپی از اسپیکولاریت نور PPL، پ) تصویر میکروسکوپی از باریت نور XPL، ت) تصویر میکروسکوپی گوتیت (Gt) با بافت کلوپورم و هماتیت (Hem) در نور PPL [۲۰].

Mineral	Skarnification		Vein - type	Oxidized Zone
	Progerated	Retrograde		
Garnet	—————			
Dipside	—————			
Actinolite		—————		
Chlorite		---		
Calcite	-----			
Magnetite		---	-----	
Barite			—————	
Specularite			—————	
Pyrite			-----	
Pyrolusite				—————
Hematite				-----
Geothite			—————	

شکل ۹ روابط پاراژنتیکی کانی‌ها در کانی‌سازی اسکارنی و رگه‌ای در منطقه‌ی سنجدک II و III.

است. بیشتر کانی‌سازی آهن در منطقه، به نوع رگه‌ای وابسته است.

**منگنز:** مقدار این عنصر در منطقه از ۲۶۳۹ تا ۳۲۵۰۷ گرم در تن متغیر است. الگوی تغییرات عنصر منگنز با توجه به شکل (۱۰ - ب) همانند آهن بوده و مقدار این عنصر در کانی‌سازی نوع رگه‌ای بین ۱۴۱۶۹ تا ۳۲۵۰۷ و در نوع اسکارنی بین ۲۶۳۹ تا ۴۶۵۰ است. بیشترین مقدار منگنز در منطقه به کانی‌سازی نوع رگه‌ای وابسته است. همچنین کانی پیرولوسیت به مقدار بسیار اندک در بلوک‌های صیقلی مشاهده شد.

**سرب:** مقدار این عنصر در منطقه از ۲۱ تا ۱۸۶ گرم در تن متغیر است. (شکل ۱۰ - پ) نشان می‌دهد که مقدار سرب در کانی‌سازی نوع رگه‌ای بین ۱۸ تا ۱۸۶ و در نوع اسکارنی بین ۲۱ تا ۱۱۰ است. بیشترین مقدار سرب در واحد رگه‌ای و کمترین مقدار آن در واحد اسکارنی وجود دارد. با این وجود هیچ‌گونه کانی‌سرب‌داری در منطقه مشاهده نشد.

**روی:** مقدار این عنصر از ۲۸ تا ۳۵۹ گرم در تن متغیر است. شکل (۱۰ - پ) نشان می‌دهد که مقدار روی در کانی‌سازی نوع رگه‌ای بین ۳۹ تا ۳۵۹ و در نوع اسکارنی بین ۲۸ تا ۹۸ است. الگوی توزیع سرب و روی در منطقه تقریباً مشابه یکدیگر بوده و هر دو درون واحدهای اسکارنی دارای کمترین مقدار هستند. بیشترین مقدار روی در نوع رگه‌ای وجود دارد و هیچ‌گونه شاهده‌ی که مبتنی بر کانی با محتوای روی در منطقه باشد مشاهده نشد.

**آرسنیک:** مقدار آرسنیک از ۱۰ تا ۳۵۹ گرم در تن متغیر است. مقدار بالای آرسنیک در واحد اسکارنی قابل توجه است. (شکل ۱۰ - ت) نشان می‌دهد که مقدار آرسنیک در کانی‌سازی نوع اسکارنی بین ۳۲ تا ۱۵۸ و در نوع رگه‌ای بین ۱۰ تا ۲۵ است. اما با این وجود کانی آرسنیک‌دار در منطقه مشاهده نشد. ممکن است آرسنیک در ساختار سولفیدهای نظیر پیریت ظاهر شده باشد.

**مس:** مقدار این عنصر از ۱۰ تا ۳۳۲ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار مس با توجه به شکل (۱۰ - ت) در کانی‌سازی نوع اسکارنی بین ۸۸ تا ۳۳۲ و در نوع رگه‌ای بین ۱۰ تا ۵۲ است. الگوی توزیع مس به مانند آرسنیک بوده و کمترین مقدار مس به کانی‌سازی نوع رگه‌ای وابسته است.

**مگنتیت:** به‌طور کل مگنتیت در منطقه از پراکندگی و گستردگی کمی برخوردار است (۵ تا ۸ درصد) و بیشترین تمرکز آن درون واحد ماسه‌سنگ و ماداستون نزدیک به گسل مرکزی منطقه با روند شمال شرقی - جنوب غربی است. ضخامت رگچه‌ها از ۱ تا ۴ سانتی‌متر در تغییر است.

**اسپیکولاریت:** این کانی در بخش‌هایی از مرکز سنجدک II درون ماسه‌سنگ و آهک‌های فسیل‌دار (۲۵ تا ۳۰ درصد) مشاهده شد. بزرگترین سرشتی‌های اسپیکولاریت، دارا بودن طولی بیش از ۱/۲ میلی‌متر و بافت تارعنکبوتی است. اسپیکولاریت بیشتر به‌صورت رگچه‌هایی با ضخامت ۲ سانتی‌متر و طول ۲۰ سانتی‌متر رخنمون داشته و راستای آن بیشتر در راستای گسل‌های منطقه‌ی شرقی-غربی است (شکل ۸ ب). **باریت:** بیشتر به همراه کانی‌سازی مگنتیت و گوتیت، همسو با گسل‌های منطقه با راستای شمال شرقی-جنوب غربی مشاهده شد (شکل ۹ - پ). ضخامت رگه‌های حاوی کانی‌سازی باریت از ۵ تا ۴۰ سانتی‌متر در تغییر است.

**هماتیت:** هماتیت کانی فلزی اصلی از نوع رگه‌ای سنجدک II است و فراوانی آن به‌طور متوسط ۳۰ تا ۳۵ درصد بوده و بیشتر با بافت پرکننده‌ی فضا‌های خالی و شبکه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۸ - ت). بیشترین پراکندگی آن در بخش مرکزی و در مجاورت گسل اصلی منطقه‌ی درون واحد ماسه‌سنگی است. در اطراف رگه‌ها با ضخامت بیش از ۲۰ متر هیچ‌گونه آثاری از دگرسانی مشاهده نشد.

**گوتیت:** پس از هماتیت بیشترین کانی‌سازی را در منطقه به خود اختصاص داده است. فراوانی آن به‌طور متوسط ۱۰ تا ۱۵ درصد است و بیشتر درون واحد ماسه‌سنگی حضور دارد (شکل ۸ - ت). این کانی به مانند هماتیت دارای راستای شمال شرقی - جنوب غربی بوده و شیب آن بیشتر ۷۵ NW است. بافت قلوه-ای در گوتیت‌ها به خوبی در نمونه دستی قابل مشاهده است.

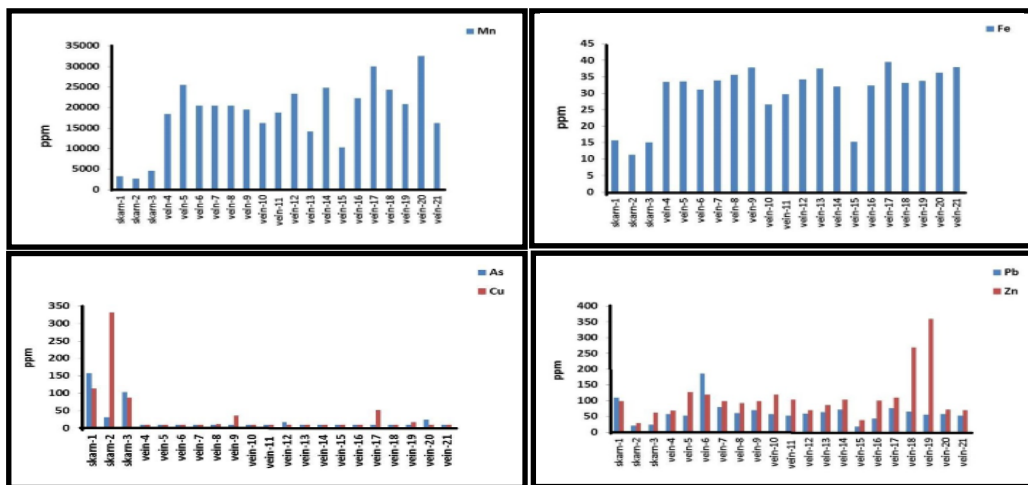
#### ژئوشیمی

به‌منظور بررسی و مقایسه‌ی تغییرات عناصر Zn, Mn, Cu, Fe, Pb, As در انواع کانی‌سازی اسکارن و رگه‌ای، ۲۰ نمونه انتخاب و سپس نمودار مربوطه ترسیم شد (جدول ۴).

**آهن:** مقدار این عنصر در منطقه از ۱۵ تا ۳۷/۹ درصد در تغییر است و بیشتر به‌صورت هماتیت و گوتیت در حضور دارد. شکل (۱۰ - الف) نشان می‌دهد که مقدار آهن در کانی‌سازی نوع رگه‌ای بین ۱۵/۳ تا ۳۷/۸ و در نوع اسکارنی بین ۱۱/۴ تا ۱۵/۷

جدول ۴ نتایج حاصل داده‌های بررسی‌های ICP-OES در انواع کانی‌سازی اسکارن و رگه‌ای.

SampleNo	As(ppm)	Cu(ppm)	Fe(%)	Mn(ppm)	Pb(ppm)
skam-۱	۱۵۸	۱۱۴	۱۵٫۷	۳۳۰۴	۱۱۰
skam-۲	۳۲	۳۳۲	۱۱٫۴	۲۶۳۹	۲۱
skam-۳	۱۰۳	۸۸	۱۵٫۱	۴۶۵۰	۲۴
vein-۴	۱۰	۱۰	۳۳٫۵	۱۸۳۹۵	۵۷
vein-۵	۱۰	۱۰	۳۳٫۶	۲۵۵۱۴	۵۳
vein-۶	۱۰	۱۰	۳۱٫۱	۲۰۴۴۹	۱۸۶
vein-۷	۱۰	۱۰	۳۴	۲۰۴۰۰	۸۰
vein-۸	۱۰	۱۲	۳۵٫۷	۲۰۴۰۴	۶۱
vein-۹	۱۰	۳۶	۳۷٫۸	۱۹۴۴۴	۷۰
vein-۱۰	۱۰	۱۰	۲۶٫۶	۱۶۲۵۴	۵۸
vein-۱۱	۱۰	۱۰	۲۹٫۸	۱۸۷۳۰	۵۳
vein-۱۲	۱۷	۱۰	۴۲٫۳	۲۳۳۳۷	۵۹
vein-۱۳	۱۰	۱۰	۳۷٫۵	۱۴۱۶۹	۶۳
vein-۱۴	۱۰	۱۰	۱۰۳۲	۲۴۸۶۹	۷۲
vein-۱۵	۱۰	۱۰	۱۵٫۳	۱۰۲۳۵	۱۸
vein-۱۶	۱۰	۱۰	۳۲٫۴	۲۲۲۷۵	۴۳
vein-۱۷	۱۰	۵۲	۳۹٫۶	۲۹۹۵۷	۷۶
vein-۱۸	۱۰	۱۰	۳۳٫۲	۲۴۳۶۱	۶۵
vein-۱۹	۸۳۲	۱۷	۳۳٫۷	۲۰۸۰۶	۵۵
vein-۲۰	۲۵	۱۰	۲۶٫۲	۳۲۵۰۷	۵۷
vein-۲۱	۱۰	۱۰	۳۷٫۹	۱۶۱۹۵	۵۳



شکل ۱۰ الف) نمودار توزیع فراوانی آهن در نوع اسکارن و رگه‌ای، ب) توزیع فراوانی منگنز در نوع اسکارن و رگه‌ای، پ) توزیع فراوانی سرب و روی در نوع اسکارن و رگه‌ای، ت) توزیع فراوانی آرسنیک و مس در نوع اسکارن و رگه‌ای.

### برداشت

اسکارن آهن در منطقه سنجدک III از نوع کلسیک بوده و اگزواسکارن در آن از گسترش خوبی برخوردار است. این منطقه فاقد منطقه اندواسکارن است. تنها توده‌ی نفوذی منطقه به- صورت دایک رخمون داشته و هیچ گونه ارتباطی با اسکارن و کانی‌سازی‌های رگه‌ای منطقه ندارد. مجموعه کانی‌شناسی این اسکارن شامل کانی‌های آهنی- سیلیکاتی بدون آب نظیر گارنت سرشار از آندرادیت، پیروکسن نوع دیوپسید و کانی‌های

آبداری نظیر اکتینولیت سرشار از آهن هستند. اسکارن سنجدک III بر خلاف اسکارن‌های کلسیمی که در غرب معدن سنگان واقع شده‌اند نظیر A ...، فاقد کانی‌سازی قابل توجه از نوع مگنتیت است. در این اسکارن کانی‌های با دما و فشار بالایی نظیر هاستینگزیت و ولاستونیت مشاهده نشد. کانی‌سازی‌های موجود در منطقه‌های رگه‌ای بیشتر از نوع هماتیت و گوتیت است که مقادیر بالای منگنز را نشان می‌دهند همچنین ناهنجاری‌هایی از عناصر Cu, Zn, As در این بخش دیده می-

the C-North and Baghak districts, Sangam iron mine, NE Iran", Journal of Asian Earth Sciences, (2013), 64.256-271.

[۱۱] مظه‌ری ن.، ملک‌زاده شفارودی آ.، نقشه برداری پیشرفته انواع مختلف کانی‌سازی‌های آهن، اندواسکارن و اگزواسکارن در کانسار آهن سنگان خواف، استان خراسان رضوی با استفاده از سنجنده استر، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره یازده، (۱۳۹۳).

[۱۲] شاکردپور ز.، "زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی سنجدک II و III، شرق معدن سنگ آهن سنگان خواف، خراسان رضوی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۹۴) ۱۴۱ص.

[13] Folk, R. L., "Petrology of sedimentary Rocks: Hemphill Publishing Co", Austin, (1974).

[14] Dunham R., "Classification of carbonate rocks according to depositional texture: in W.E. Ham, ed., Classification of Carbonate Rocks-A symposium: Am., Assoc. Petroleum Geologist Mem", (1962) 108-121.

[15] Dziggel, A., Wulff, K., K., Kolb, J., Meyer, F.M., and Lahaye, "Significance of oscillatory and bell-shaped growth zoning in hydrothermal garnet: Evidence from the Navachab gold deposit, Namibia". Journal of Chemical Geology, (2009) 262-276.

[16] Whitney, D.L., Gogen, E.T., Ketchan, R.A., and Kunze, K., "Formation of garnet polycrystals during metamorphic crystallization", Journal of Metamorphic Geology, 2 (2008) 365-383.

[17] Hwang, S.L., Yui, T.F., and Shen, "Submicron polyphase inclusions in garnet from the tananao metamorphic complex, Taiwan, a key to unraveling other wise unrecognized metamorphic events", Journal of Geology, (2001) 599-605.

[18] Ciboanu C.L., "Skarn texture and a case study: the oca de fire-Dognceaorefield, Banat, Romania", Ore Geology Reviews 24 (2004) 315-370

[19] Leak B.Y., Woolley A.R., Birch W.c., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthone F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovicher V.G., Linthout K., Larid J., Mandarin "Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association . Commission on new mineral and mineral names", Mineralogical Magazine 61 (1997) 295-321.

[20] Kretz, R., "Symbls for rock-forming minerals", American mineralogist, 68(1983) 277-279.

شوند. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی در منطقه سنجدک II نشان داد که این منطقه هیچ‌گونه شباهتی با دیگر کانی‌سازی‌های اسکارن آهن در معدن سنگان ندارد. این نوع کانی‌سازی می‌تواند به فعالیت‌های نهایی گرماب‌های کانه‌دار جوانتر در منطقه باشد که از طریق گسل‌ها به سطح راه پیدا کرده‌اند باشد.

#### مراجع

[۱] علوی نائینی م.، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خواف"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۵۸).

[2] Alavi M. "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran". Geological Society of American Bullitan (1991), 103.983-992.

[۳] کریم‌پور م ح.، دما، نحوه تشکیل و پاراژنز مگنتیت در بخش‌های مختلف کانسار آهن سنگان خراسان، خلاصه مقالات هفدهمین گردهمایی علوم زمین، تهران، (۱۳۷۷)، صفحه ۱۶۱ - ۱۶۷.

[۴] کریم‌پور م ح.، سعادت س.، و ملک‌زاده شفارودی آ.، "شناسایی و معرفی کانی‌سازی نوع Cu-AuFe-Oxides و مگنتیت مرتبط با کمربند ولکانیکی پلوتونیک خواف - کاشمر - بردسکن"، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، (۱۳۸۱).

[۵] کریم‌پور م ح.، "کانی‌شناسی، آلتراسیون، سنگ منشا و محیط زمین‌ساختی کانسارهای Cu-AuIron-Oxides و مثال - هایی از ایران"، یازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، (۱۳۸۲)، صفحه ۱۸۴-۱۸۹.

[۶] آراسته آ.، "گزارش اکتشافات مقدماتی سنگ آهن سنگان خراسان"، (۱۳۷۰) ۱۷۲ص.

[۷] گل‌محمدی ع.، کریم‌پور م ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، مظاهری س ا.، "پترولوژی و سن‌سنجی زیرکن به روش U-Pb در توده‌های نفوذی مناطق A، C جنوبی و درودی، معدن سنگ آهن سنگان خواف"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، (۱۳۹۲)، صفحه ۱۵۵-۱۷۳.

[۸] گل‌محمدی ع.، مظاهری س ا.، ملک‌زاده شفارودی آ.، کریم‌پور م ح.، "زیرکن با روش U-Pb و ژئوشیمی توده‌های گرانیتی سرخر و برمانی شرق معدن سنگ آهن سنگان خواف" مجله پترولوژی، شماره هفدهم، (۱۳۹۳)، صفحه ۸۳-۱۰۲.

[۹] کریم‌پور م ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، ژئوشیمی و کانی‌شناسی زون‌های اسکارنی و سنگ‌شناسی سنگ منشا کانسار آهن سنگان خراسان رضوی، مجله علوم زمین - سازمان زمین‌شناسی، (۱۳۸۶)، صفحه ۱۰۷-۱۲۶.

[10] MalekzadehShafaroudi, A., Karimpour, M. H., Golmohammadi, A., "Zircon U-Pb geochronology and petrology of intrusive rocks in