



زمین شناسی، کانی شناسی و شیمی منطقه‌های اسکارن و ماده‌ی معدنی در منطقه پی جویی اسکارن آهن معدن جو، شرق معدن سنگان خواف

نازی مظهري^۱، آزاده ملکزاده شفارودی^{۱*}، مجید قادری^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۲۳، نسخه نهایی: ۹۴/۳/۲)

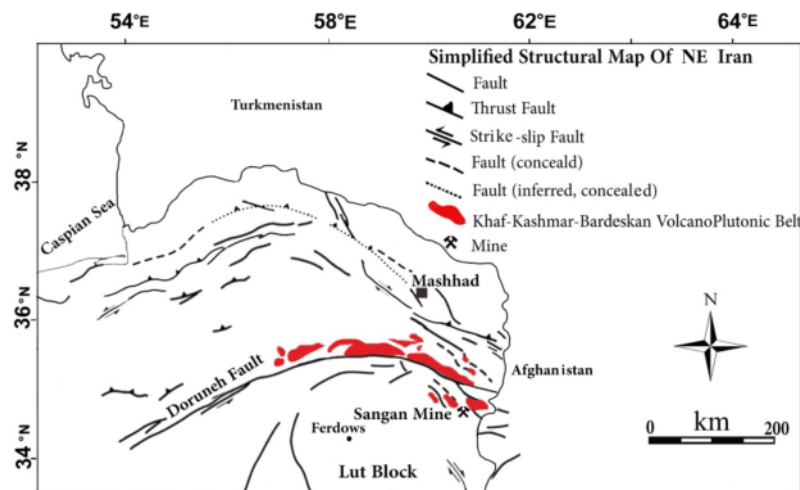
چکیده: منطقه‌ی پی جویی معدن جو از بیهنجاری‌های شرقی مجموعه‌ی معدن سنگ‌آهن سنگان خواف در جنوب شرق مشهد است. زمین‌شناسی این منطقه شامل سنگ‌های رسوبی ژوراسیک، واحدهای اسکارنی و توده‌ی نیمه‌عمیق ترشیری با ترکیب مونزونیت است. اسکارن‌های منطقه براساس فراوانی کانی‌های سیلیکاتی آهنی و نوع آنها به ۷ منطقه‌ی گارنت اسکارن، پیروکسن- گارنت اسکارن، پیروکسن اسکارن، فلوگوپیت اسکارن، اپیدوت اسکارن، کلریت- اپیدوت اسکارن و اپیدوت- کلریت اسکارن تفکیک شده‌اند. کانی‌سازی مگنتیت و کانی‌های سولفیدی همراه با اسکارن‌های با دمای پایین فلوگوپیت اسکارن و اپیدوت اسکارن رخ داده است. ترکیب گارنت‌ها براساس تجزیه‌ی ریزکاوش الکترونی، آندرادیت- گروسولار و پیروکسن‌ها از نوع هدنبرگیتی تا هدنبرگیتی- دیوپسیدی است. کانی‌سازی در منطقه‌ی پی جویی معدن جو به صورت توده‌ای و چینه‌سان در سنگ‌های آهنی دولومیتی صورت گرفته است. کانه اصلی، مگنتیت‌های شکل‌دار درشت‌دانه (۴۰ درصد)، همراه با مقادیر کمتری پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، ملنیکوویت، اسپیکولاریت و پیرولولزیت، و کانی‌های ثانویه شامل هماتیت و پسیلوملان است. مقدار FeO در مگنتیت بین ۸۴ تا ۹۱ درصد متغیر بوده و مقدار گوگرد از ۰/۰۲ درصد کمتر است. مگنتیت‌ها غنی از منیزیم بیش از ۱ درصداند. براساس میزان عناصر Ca, Al, Ti, Ni, Cr, V و Mn، مگنتیت‌ها از نوع اسکارنی هستند. اسکارن منیزیمی معدن جو دارای شباهت‌های بسیاری با اسکارن‌های منیزیمی معدن سنگان و به‌ویژه منطقه‌ی دردوی است که از جمله آن‌ها می‌توان به وجود پیروکسن دیوپسیدی، فلوگوپیت، ترمولیت و مگنتیت سرشار از منیزیم اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی؛ شیمی کانی‌ها؛ اسکارن آهن منیزیمی؛ معدن جو؛ معدن سنگان خواف.

مقدمه

۲۶' ۳۴° - ۳۳' ۳۴° قرار گرفته است. معدن سنگ‌آهن سنگان در کمربند آتشفشانی- پلوتونیک خواف-کاشمر- بردسکن واقع (شکل ۱). کریم‌پور و همکاران [۳،۲] کمربند خواف- کاشمر- بردسکن را خاستگاه کانی‌سازی تیپ اکسید آهن در ایران معرفی کردند که از جمله کانسارهای اکسید آهن موجود در این ناحیه می‌توان به طلا- اسپیکولاریت کوه‌زر، تنورچه و معدن سنگان خواف اشاره کرد [۴].

معدن سنگان، یک ذخیره‌ی مهم و ارزشمند اسکارن آهن با ذخیره‌ی بیش از هزار میلیون تن و عیار ۵۴ درصد آهن است که بزرگترین معدن آهن غرب آسیا به‌شمار می‌رود [۱]. این معدن در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد و ۴۰ کیلومتری جنوب شرق خواف در استان خراسان رضوی بین طول‌های جغرافیایی ۲۴' ۶۰° - ۴۵' ۶۰° و عرض‌های جغرافیایی



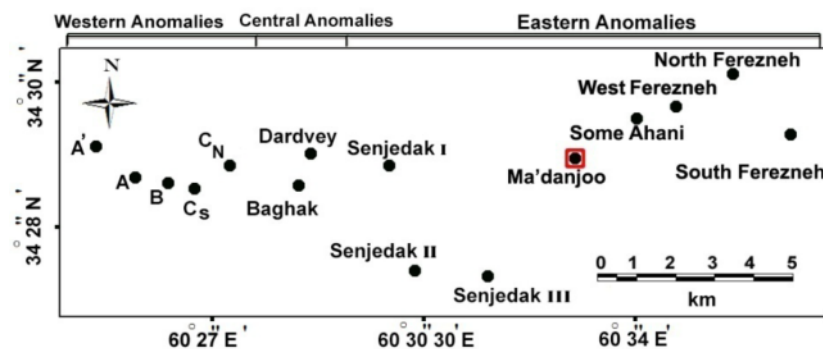
شکل ۱ نقشه ساده شده ساختاری شمال شرق ایران و موقعیت معدن سنگان در کمربند خواف-کاشمر-بردسکن.

ی معدن جو، آثاری از یک ترانشه‌ی قدیمی مشاهده می‌شود، در بخش مرکزی و محل اصلی کانه‌زایی نیز آثاری از معدن کاری قدیمی و برداشت مقادیری ماده‌ی معدنی به چشم می‌خورد. هدف این پژوهش، تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی با هدف تفکیک منطقه‌های اسکارنی، شناسایی توده‌های نفوذی و بررسی ارتباط آن‌ها با کانی‌سازی و اسکارن‌زایی، کانی‌شناختی منطقه‌های اسکارن و شیمی اسکارن و ماده معدنی و در نهایت تعیین نوع اسکارن (کلسیمی و منیزیمی) و ارتباط آن با دیگر کانسارهای اصلی معدن سنگان (بخش غربی و مرکزی) است.

روش بررسی

به‌منظور دستیابی به اهداف مورد نظر این پژوهش، در گستره ای به وسعت ۴ کیلومتر مربع، نمونه‌برداری‌هایی از بخش‌های مختلف شامل سنگ میزبان، منطقه‌های اسکارنی و کانی‌سازی سنگ‌آهن انجام گرفت و ۱۰۰ نمونه برداشت شدند.

مجموعه‌ی کانسارهای معدن سنگ‌آهن سنگان در گستره‌ی (شرقی- غربی) به طول ۲۶ کیلومتر و عرض ۸ کیلومتر قرار دارند. این منطقه به سه ناحیه‌ی شرقی، مرکزی و غربی تقسیم شده است و هر ناحیه خود شامل چند کانسار می‌شود. کانسارهای شناسایی شده در ناحیه‌ی غربی شامل ۵ کانسار A، A'، B، C شمالی و C جنوبی هستند. در ناحیه مرکزی، دو کانسار مهم به نام‌های دردوی و باغک قرار گرفته‌اند. کانسارهای ناحیه شرقی نیز شامل ۶ بیهنجاری رخنمون‌دار سنجدک ۱، سنجدک ۲، سنجدک ۳، معدن جو، سم آهنی و فرزنه است که حدفاصل کانسارهای مرکزی و غسل باغک تا روستای فرزنه و دشت‌های شرقی است (شکل ۲). این پژوهش روی منطقه‌ی پی‌جویی معدن جو که از بیهنجاری‌های شرقی معدن سنگ‌آهن سنگان است، متمرکز شده‌است. بیهنجاری‌های بخش شرقی، مراحل پی‌جویی مقدماتی را می‌گذرانند و اطلاعات بسیار اندکی از زمین‌شناسی و کانه‌زایی آن‌ها موجود است. در منطقه-



شکل ۲ موقعیت قرارگیری مجموعه کانسارهای سه‌گانه (غربی، مرکزی و شرقی) معدن سنگان که گستره منطقه پی‌جویی معدن جو در آن مشخص شده است.

زیرین نسبت داده می‌شود. کانی‌سازی در این سنگ‌ها به صورت انواع اسکارن رخ داده است. در بخش شمالی معدن، گرانیته سرنوسر نفوذ کرده است. رخنمون‌های کوچکی از سنگ خاستگاه کانی‌سازی به صورت دایک و سیل در بخش غربی در کنار اسکارن گارنت‌دار با دمای بالا شناسایی شد. این توده حدواسط، نیمه‌عمیق و از نوع سینیت پورفیری است [۶].

منطقه‌ی مورد بررسی در این پژوهش، بهنجاری معدن جو، در بخش شرقی معدن سنگان و شمال‌شرق چشمه سنج‌دک است (شکل ۲). قدیمی‌ترین سازندهای موجود در این منطقه، شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های رسوبی ژوراسیک هستند که مرز آن‌ها با واحدهای کربناتی محدود به گسل‌ها است (شکل ۳). واحدهای کربناتی شامل سنگ‌های آهکی بلورین و سنگ‌های دولومیتی تیره هستند که در مکان‌هایی که شرایط زمین‌شناسی و زمین‌ساختی مهیا بوده، به اسکارن تبدیل شده‌اند و کانی‌زایی اکسید آهن در آن‌ها مشاهده می‌شود. ورود گرماب‌ها در سنگ‌های کربناتی میزبان، سبب تبلور دوباره سنگ‌های کربناتی، تبدیل آن‌ها به مرمر و دولومیت، تشکیل کانی‌های اسکارن و کانه‌زایی آهن به صورت دیرزاد شده است.

ماگماتیسیم ترشیری و شکل‌گیری سنگ‌های آذرین در این گستره، منحصر به برونزد توده‌ی کوچکی از بیوتیت مونزونیت در شمال‌غربی منطقه است (شکل ۳). بافت این توده پورفیری است و کانی‌شناسی آن شامل فلدسپار قلیایی به میزان ۴۵ تا ۴۸ درصد، پلاژیوکلاز (الیگوکلاز-آلبیت) به میزان ۴۵ تا ۴۸ درصد، کوارتز ۳ تا ۵ درصد و بیوتیت ۱ تا ۳ درصد است.

کانی‌های فرعی زیرکن و اسفن و نیز کانی‌های کدر تا ۵ درصد در زمینه سنگ قابل مشاهده‌اند. عملکرد گرماب‌ها، موجب دگرسانی ارتوکلاز و پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی (۱۰٪) و تشکیل کلسیت و کوارتز شده است. در بررسی‌های میکروسکوپی و صحرایی، شواهدی از منطقه‌ی اندواسکارن در کنار این توده یافت نشد. به نظر می‌رسد که این توده از کانی‌سازی اسکارن قدیمی‌تر بوده و گرماب‌هایی که از راه گسل‌های موجود در دو سمت توده نفوذ کرده‌اند، ضمن تشکیل اسکارن با دمای بالا، سبب دگرسانی گسترده در این توده شده‌اند. شکل‌گیری‌های ساختاری بسیاری در منطقه به چشم می‌خورند که اساسی‌ترین آن گسل‌های با روند شمالی-جنوبی و شرقی-غربی هستند که شکل‌گیری آن‌ها حاصل فشارهای ناشی از تزریق توده‌های نفوذی سرنوسر در شمال و برمانی در جنوب‌شرق منطقه سنگان و نیز گسل مهم و بزرگ درونه است.

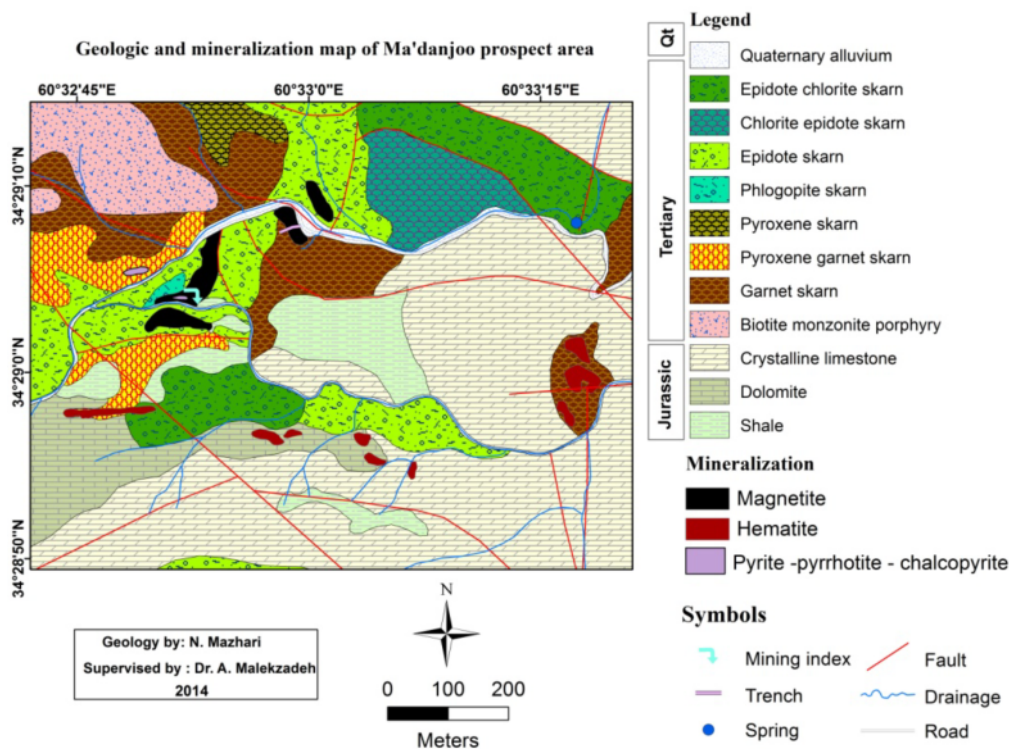
که در نهایت، ۶۰ مقطع نازک، ۴۰ مقطع نازک-صیقلی و ۳۰ مقطع بلوک صیقلی از توده‌ی نفوذی، سنگ‌های آهکی مرمری و دولومیتی، واحدهای اسکارنی و کانه‌زایی برای بررسی‌های سنگ‌نگاری، کانی‌شناختی و کانی‌سازی تهیه شدند. از مجموع مقاطع نازک صیقلی و بلوک صیقلی، تعداد ۱۰ مقطع و ۳۷ نقطه به‌منظور بررسی ریزپردازشی الکترونی انتخاب شدند، به طوری که ۸ نقطه برای کانی پیروکسن، ۱۷ نقطه برای کانی گارنت (مرکز و حاشیه‌ی کانی) و ۱۲ نقطه برای کانی مگنتیت در نظر گرفته شدند.

بررسی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناختی و کانی‌سازی در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. بررسی ریزپردازشی الکترونی برای کانی‌های یادشده در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام گرفت. ریزکاو الکترونی این مرکز مدل SX100 ساخت شرکت Cameca کشور فرانسه است و اندازه پرتو دستگاه از ۲ تا ۵ میکرون متغیر است. ولتاژ مورد استفاده برای کانی‌های اکسیدی و سیلیکاتی ۱۵ کیلووات بوده و استانداردها عبارتند از: رودونیت (Mn)، کالکوپریت (Fe)، پریکلز (Mg)، ولاستونیت (Ca, Si)، کروندوم (Al)، تیتانیا (Ti)، آلبیت (Na)، ارتوکلاز (K) و کرومیت (Cr).

زمین‌شناسی

کریم‌پور و همکاران [۱ و ۲]، معدن سنگ‌آهن سنگان خواف را جزئی از کمربند آتشفشانی-پلوتونیک خواف-کاشمر-بردسکن معرفی کردند. این کمربند با گسترش شرقی-غربی و خمیدگی به سوی شمال، در شمال گسل درونه (گسل بزرگ کویر) واقع شده و بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط و گاهی مافیک با سن ترشیری تشکیل شده است. این سنگ‌ها بیشتر ترکیب داسیتی و آندزیتی داشته و توده‌های گرانیته‌ی با ترکیبی از گرانیته، گرانودیوریت و دیوریت در آن‌ها نفوذ کرده‌اند (شکل ۱).

قدیمی‌ترین سازندهای موجود در منطقه‌ی معدن سنگان عبارتند از چرت، شیل‌های سیلیسی، سیلستون و آهک بلورین. مجموعه‌ی بزرگی از سنگ‌های آتشفشانی در منطقه شامل داسیت، ریوداسیت، تراکیت، پیروکلاست‌های آندزیتی و سنگ‌های ولکانوکلاستیک هستند که مربوط به فعالیت آتشفشانی در گستره‌ی زمانی کرتاسه تا اوایل ائوسن وابسته‌اند [۵]. سنگ‌های کربناتی بیشتر به اسکارن و مرمر دگرگون شده‌اند و به سمت شرق به صورت آهک بلورین یافت می‌شوند [۵]. سن سنگ‌های کربناتی به ژوراسیک فوقانی و کرتاسه

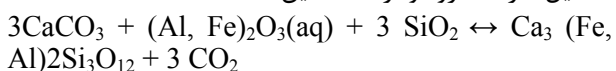


شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی-کانی‌سازی منطقه‌ی پی‌جویی معدن جو.

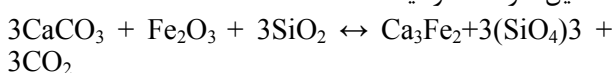
خالص به مرمر و ناخالص به دولومیت می‌شود. این مرحله با کانی‌سازی، همراه نخواهد بود و فقط زمینه‌سازی صورت می‌گیرد [۸]. در منطقه‌ی مورد بررسی، مرمرها و دولومیت‌های حاصل از دگرگونی ایزوشیمیایی، بستر مناسبی برای مراحل بعدی دگرگونی هستند.

در مرحله دوم، دگرزه‌ای و تشکیل اسکارن با آزاد شدن شاره‌های ماگمایی آغاز می‌شود [۹]. این شاره‌های ماگمایی غنی از آهن و سیلیسیم با دمای بالا (حدود ۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد)، باعث دگرزه‌ای پیش‌رونده می‌شوند. در منطقه‌ی معدن جو، کانی‌های آهنی سیلیکاتی بی‌آب با ترکیب گارنت و کلینوپیروکسن در منطقه‌ی گارنت اسکارن، پیروکسن-گارنت و پیروکسن اسکارن تشکیل شده است (شکل ۴). واکنش‌های احتمالی به این صورت پیش خواهد رفت [۱۰]:

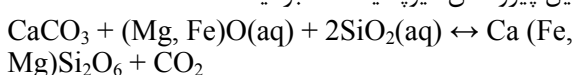
تشکیل گارنت گروسولار-آلماندین



تشکیل گارنت آندرادیت



تشکیل پیروکسن دیوپسید-هدنبرگیت



این شکستگی‌ها، مناسب‌ترین گذرگاه برای مهاجرت محلول‌های کانه‌دار از ژرفا به سطح بوده و از مهم‌ترین کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی در منطقه به‌شمار می‌روند (شکل ۳).

کانی‌شناسی زون‌های اسکارن

مهم‌ترین رخداد در منطقه‌ی معدن جو، نفوذ شاره‌های آهن‌دار در سنگ‌های کربناتی، تبلور دوباره‌ی سنگ‌های کربناتی، اسکارن‌زایی و نهشته‌شدن کانسارند. انواع سیلیکات‌های کلسیم بدون آب (گارنت و پیروکسن) و آبدار (از جمله فلوگوپیت، اکتینولیت، ترمولیت و اپیدوت) و فراورده‌های دگرسان پسروده آن‌ها (از جمله کلریت، کلسیت و کوارتز) هستند که در حجم گسترده‌ای از سنگ‌های کربناتی تشکیل می‌شوند. کانی‌شناسی منطقه‌های اسکارن مستقیماً از ترکیب سنگ میزبان آهنی پیروی می‌کند، به‌طوری‌که ترکیب اسکارن در سنگ‌های آهنی دولومیتی منیزی است که با حضور فلوگوپیت در منطقه توجیه می‌شود. علاوه بر این، عواملی چون گریزندگی اکسیژن و گوگرد، غلظت دی‌اکسیدکربن در آب، وجود کلر، فلئوژر و دیگر عناصرگازی و فعال، روی نوع کانی، ترکیب شیمیایی کانی، دامنه پایداری کانی و غیره تأثیر می‌گذارند [۷].

تشکیل اسکارن در سه مرحله رخ می‌دهد. در مرحله‌ی اول، گرما موجب دگرگونی ایزوشیمیایی و تبدیل سنگ‌های آهنی

Stage Mineral	Metasomatism stage		Oxidized zone
	Prograde	Retrograde	
Garnet	██████████		
Pyroxene	██████████		
Phlogopite			
Epidote		██████████	
Chlorite		██████████	
Tremolite		██████████	
Actinolite		██████████	
Scapolite		██████████	
Calcite		██████████	
Quartz		██████████	
Magnetite		██████████	
Pyrite		██████████	
Pyrrhotite		██████████	
Chalcopyrite		██████████	
Melnicovite		██████████	
Specularite		██████████	
Pyrolusite		██████████	
Hematite		██████████	
Psilomelane		██████████	

شکل ۴ روابط تشکیل دو گانه‌ی کانی‌ها و کانه‌ها در منطقه پی‌جویی معدن جو.

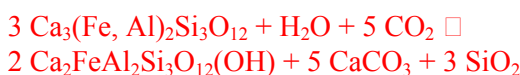
رگه‌ها و رگچه‌های تأخیری کلسیت و به ندرت کوارتز در منطقه به چشم می‌خورد. روابط پاراژنتیکی کانی‌ها در منطقه‌ی مورد بررسی، در شکل ۴ آورده شده‌اند.

منطقه‌ی گارنت اسکارن: این منطقه در غرب، شرق و مرکز گستره پی‌جویی معدن جو قابل مشاهده است (شکل ۳). گارنت‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه دیده می‌شوند و اندازه‌ی درشت‌ترین بلورها به ۰/۵ سانتی‌متر می‌رسد (شکل ۵-الف). براساس بررسی‌های سنگ نگاری، میزان گارنت در این منطقه به ۷۰ درصد می‌رسد. بلورهای گارنت با شکل یوهدرال تا نیمه شکلدار و بافت گرانوبلاستیک در زمینه‌ای از کلسیت و مگنتیت (۳۰ درصد) مشاهده می‌شوند. در منطقه‌ی های حاوی گارنت، دو نوع گارنت شناسایی شدند، گارنت‌های نابهنجار و گارنت‌های همسانگرد (شکل ۵-ب و پ)، گارنت‌های نابهنجاری دارای منطقه‌بندی نوسانی هستند. گارنت‌ها در شرایط پسرونده عموماً از حاشیه و شکستگی‌ها در حال تبدیل به پیروکسن و کانی‌های ثانویه‌ای نظیر کلریت، اپیدوت، ترمولیت و اکتینولیت هستند که درصد تبدیل به ۲۰ درصد می‌رسد.

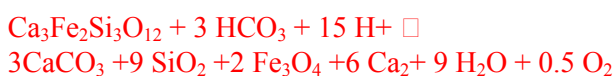
منطقه پیروکسن گارنت اسکارن: این منطقه در غرب گستره پی‌جویی قابل مشاهده است (شکل ۳). میزان گارنت در این منطقه به ۴۰ و میزان پیروکسن به ۲۵ درصد می‌رسد.

مرحله‌ی آخر که به مرحله‌ی پسرونده معروف است؛ کانی‌های تشکیل شده در مرحله پیشرونده در برخورد با آب‌های جوی با دمای کمتر به کانی‌های ثانویه آبدار مانند کلریت و اپیدوت تبدیل و نیز سولفیدها و اکسیدهای ثانویه تشکیل می‌شوند [۸]. تشکیل کانی‌های سیلیکات آهکی آبدار ترمولیت، اکتینولیت، اپیدوت و کلریت و منطقه‌های اسکارن فلوگوپیت، اپیدوت، کلریت- اپیدوت، اپیدوت- کلریت و نیز کانه‌زایی مگنتیت و تشکیل کانی‌های سولفیدی مانند پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت و به مقدار جزئی ملنیکوویت و پیرولولزیت و اکسیدهای ثانویه هماتیت، گوتیت و مقداری پسیلوملان در منطقه پی‌جویی، مربوط به این مرحله است. بعضی واکنش‌های احتمالی به این صورت پیش خواهد رفت [۱۰]:

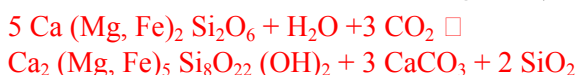
تبدیل گارنت به اپیدوت:

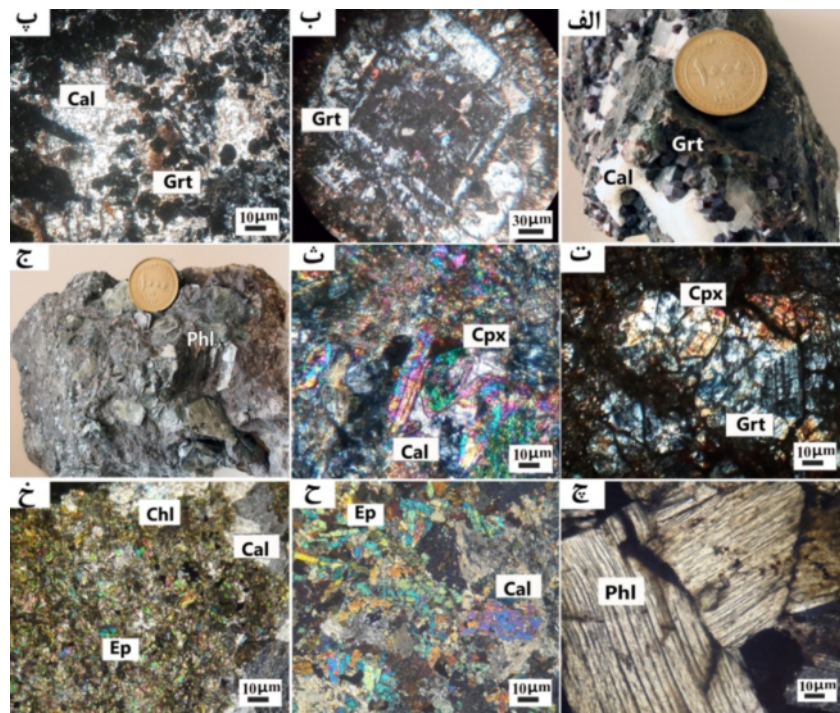


تبدیل گارنت به مجموعه کلسیت، کوارتز و مگنتیت:



تبدیل پیروکسن به ترمولیت- اکتینولیت:





شکل ۵ تصاویر نمونه‌های دستی و میکروسکوپی (XPL) منطقه‌ی پی جویی معدن جو. الف؛ گارنت‌های درشت‌بلور قهوه‌ای‌رنگ تا سیاه منطقه‌ی گارنت اسکارن در نمونه‌ی دستی. ب: گارنت‌های (منطقه‌ی گارنت اسکارن) نابهنجار دارای منطقه‌بندی در حال تبدیل به پیروکسن. پ؛ گارنت‌های همسانگرد منطقه‌ی گارنت اسکارن در زمینه کربنات، ت؛ بلورهای گارنت و پیروکسن در منطقه‌ی پیروکسن-گارنت اسکارن، پیروکسن‌ها گاهی به‌صورت ادخال در گارنت تشکیل شده‌اند که نشان‌دهنده‌ی رشد همزمان این دو کانی یا تبلور زودتر پیروکسن است. ث: بلورهای پیروکسن در منطقه‌ی پیروکسن اسکارن. ج: فلوگوپیت در نمونه‌ی دستی مربوط به منطقه‌ی فلوگوپیت اسکارن. چ: فلوگوپیت‌های منطقه‌ی فلوگوپیت اسکارن. ح: اپیدوت در زمینه کلسیت وابسته به منطقه‌ی اپیدوت اسکارن. خ: اپیدوت و کلریت در زمینه‌ی مرمری و دولومیتی (منطقه‌ی کلریت- اپیدوت اسکارن). Grt: گارنت، Cal: کلسیت، Cpx: کلینوپیروکسن، Phil: فلوگوپیت، Ep: اپیدوت، Chl: کلریت [۱۱].

کمتر، دیگر کانی‌های اپیدوت، ترمولیت و اکتینولیت (مجموعاً ۱۵ درصد) و به میزان بسیار اندک، اکسیدهای آهن (کمتر از ۵ درصد) تشکیل شده است (شکل ۵-ث).

فلوگوپیت اسکارن: منطقه‌ی فلوگوپیت اسکارن از سرشتی‌های مهم اسکارن‌های منیزی‌می آهن است. این منطقه از گستردگی کمی برخوردار بوده و تنها در مرکز و محل کانه‌زایی اصلی منطقه دیده می‌شود (شکل ۳). اندازه‌ی دانه‌های فلوگوپیت در نمونه دستی به ۱٫۵ سانتی‌متر و فراوانی آن‌ها به ۴۰ درصد می‌رسد (شکل ۵-ج). گارنت، اسکاپولیت، کلریت، اپیدوت، ترمولیت، اکتینولیت (مجموعاً ۱۰ تا ۱۵ درصد)، به میزان فراوان مگنتیت (۴۰ درصد) و نیز کانی‌های سولفیدی پیریت، پیروتیت و کالکوپیریت (۱۰ تا ۱۵ درصد) نیز در زمینه قابل مشاهده است (شکل ۵-چ).

اپیدوت اسکارن: این منطقه دارای گسترش نسبتاً زیاد است و در شمال، مرکز و جنوب دیده می‌شود (شکل ۳). در این

گارنت‌ها به اندازه‌ی ۰٫۳ تا ۰٫۵ سانتی‌متر، یوهدرال تا نیمه شکلدار و نابهنجار هستند. کلینوپیروکسن‌ها به‌صورت بلورهای ریز بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دارند که اندازه‌ی آنها به ۰٫۵ میلی‌متر می‌رسد. پیروکسن‌ها گاهی به‌صورت ادخال در گارنت تشکیل شده‌اند (۵ تا ۱۰ درصد) که نشان‌دهنده رشد همزمان این دو کانی یا تبلور زودتر کلینوپیروکسن است (شکل ۵-ت). کلسیت، فراوان‌ترین کانی تشکیل‌دهنده‌ی زمینه است (۲۰ درصد) و کلریت، اپیدوت، ترمولیت، اکتینولیت، پیریت، پیروپیت، کالکوپیریت، پیرولوزیت، پسیلوملان (مجموعاً ۱۰ درصد) و به میزان کمتر مگنتیت (۵ درصد) نیز در زمینه قابل مشاهده است.

منطقه‌ی پیروکسن اسکارن: این منطقه از گستردگی کمی برخوردار بوده و تنها در شمال‌غرب گستره قابل مشاهده است (شکل ۳). براساس بررسی‌های سنگ نگاری، مقدار پیروکسن به ۴۵ درصد می‌رسد. زمینه از کلسیت (۴۰ درصد) و به میزان

ترکیب این گارنت‌ها از مرکز به حاشیه برای آندرادیت از ۶۳ تا ۹۸ درصد، گروسولار از ۱٫۵ تا ۲۸ درصد، آلماندین از صفر تا ۵ درصد، اسپسارتین از ۰٫۴ تا ۰٫۵۶ درصد، پیروپ از صفر تا ۰٫۲۳ درصد در تغییر است. بیشترین میزان اکسید آهن مربوط به مرکز بلور با ۲۸٫۸۶ درصد و بیشترین مقدار اکسید تیتانیم ۱٫۶۱ درصد مربوط به حاشیه بلور است. برای اکسیدهای عناصر دیگر نمی‌توان الگوی تغییرات مشخصی را در نظر گرفت و نوسان‌ها از مرکز به حاشیه در نمونه‌های مختلف، متفاوت است (جدول ۲).

تغییرات ترکیب گارنت‌ها، نتیجه‌ی تغییرات فیزیکی‌شیمیایی است. گرماب‌ها طی مراحل بعدی دگرنهادی، از آهن فقیر و از آلومینیم غنی‌تر می‌شوند. بنابراین، حاشیه‌ی آندرادیت به گروسولار تغییر ترکیب می‌دهد. فقیرشدگی محلول از آهن در اثر تشکیل کانی‌های آهن‌دار دیگر و حتی مگنتیت توجیه می‌شود. اثر گرما نیز نقش مهمی در این تغییر ترکیب دارد. با کاهش دما، عناصر با دمای بالا مانند آهن در محلول کمتر حمل می‌شود و عناصر با دما پایین مانند آلومینیم بیشتر حمل می‌شود. این امر سبب تشکیل گروسولار در مراحل بعدی به دور آندرادیت‌های قبلی خواهد شد. تغییر شرایط گریزندگی اکسیژن نیز نقش مهمی را در حضور یا عدم حضور بعضی عناصر مانند Fe^{3+} بازی می‌کند [۱۲، ۱۳]. اگر سنگ‌های کربناتی دارای ناخالصی رسی باشند، مولفه Al می‌تواند در تشکیل و حضور آلماندین مؤثر باشد [۱۲].

تغییرات اکسید عناصر اصلی و ترکیب گارنت‌ها برای هر دو نوع اهمسانگرد و ناهمسانگرد از مرکز به حاشیه در شکل‌های ۶ و ۷ به تصویر کشیده شده‌اند. از میان اکسید عناصر تصویر شده در نمودار، تنها اکسید تیتانیم دارای اختلاف قابل توجهی در مرکز (بیشترین مقدار ۰٫۵ درصد) و حاشیه (۱٫۷ درصد) است (شکل ۶-الف). اکسیدهای عناصر دیگر، افت و خیزهایی را در مقدار نشان می‌دهند، ولی الگوی تغییرات و نوسان‌ها از روند خاص و منظمی پیروی نمی‌کند. تنها مورد قابل توجه (شکل ۷-الف) مقدار بالای ترکیب آندرادیتی است که به ۹۸٫۷۶ درصد می‌رسد (دامنه‌ی تغییرات از ۴۲٫۳۵ تا ۹۸٫۷۶ درصد است). بیشترین مقدار ترکیب گروسولاری به ۴۵٫۸ درصد می‌رسد (دامنه تغییرات از ۰٫۶ تا ۴۵٫۸ درصد است). همچنین در مقایسه با انواع دیگر گارنت آلماندینی (دامنه تغییرات از صفر تا ۱۱٫۸۳ درصد) و پیروپ (دامنه‌ی تغییرات از صفر تا ۰٫۲۳ درصد) مشخص می‌شود که غلبه با گارنت آندرادیتی است (شکل ۷ و جدول ۱).

منطقه، اپیدوت فراوان‌ترین سیلیکات آهنی آبدار است و میزان آن به ۴۰ درصد می‌رسد. در این منطقه، سیلیکات‌های آهنی بی‌آب به مجموعه‌ی اپیدوت، کلریت، ترمولیت، اکتینولیت، کوارتز، کلسیت (مجموعاً ۱۰ درصد به جز اپیدوت) و مگنتیت (۴۰ درصد) تبدیل و کانی‌های کیدر دگرسان شده است. کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و ملینکوویت (۱۰ درصد) نیز در زمینه قابل مشاهده است (شکل ۵-ح).

کلریت- اپیدوت اسکارن: این منطقه در شمال‌غرب و جنوب‌شرق دیده می‌شود (شکل ۳). میزان اپیدوت به ۲۰ درصد و مقدار کلریت به ۱۰ درصد می‌رسد. در زمینه‌ی مرمری و دولومیتی کدر رنگ، کانی‌های اپیدوت و کلریت به وسیله محلول‌های با دما پایین تشکیل شده‌اند (شکل ۵-خ).

اپیدوت- کلریت اسکارن: این ناحیه تنها در شمال‌غرب منطقه قابل مشاهده است (شکل ۳). کانی‌شناسی و شرایط تشکیل این ناحیه مشابه با منطقه‌ی کلریت- اپیدوت اسکارن بوده، با این تفاوت که غلبه با کانی کلریت است. میزان کلریت در این منطقه ۱۵ درصد و مقدار اپیدوت ۵ درصد در زمینه‌ی مرمری و دولومیتی است.

شیمی کانی گارنت

در منطقه‌های حاوی گارنت، دو نوع گارنت شناسایی شدند، که عبارتند از: گارنت‌های ناهمسانگرد و گارنت‌های همسانگرد. گارنت‌های همسانگرد، خودشکل و دارای منطقه‌بندی نوسانی هستند و همراه با این گارنت‌ها، کانه‌زایی مگنتیت مشاهده می‌شود (شکل ۵-ب). تغییرات ترکیب گارنت‌ها از مرکز به حاشیه آندرادیت از ۴۲ تا ۹۰ درصد، گروسولار از ۰٫۶ تا ۴۵ درصد، آلماندین از ۷ تا ۱۱ درصد، اسپسارتین از ۰٫۴ تا ۱ درصد و پیروپ از صفر تا ۰٫۲ درصد در تغییراند (جدول ۱). مقایسه‌ی مقدار تغییرات عناصر در حاشیه به مرکز نشان می‌دهد که اکسید منگنز با ۰٫۴۹ درصد و اکسید منیزیم با ۰٫۱۰۶ درصد دارای بیشترین مقدار در مرکز هستند. بیشترین مقدار اکسید آهن ۲۹٫۷ درصد، اکسید آلومینیم ۹٫۲۹ درصد و اکسید تیتانیم ۱٫۶۷ درصد به حاشیه وابسته‌اند. اکسید کروم فقط در مرکز به میزان ۰٫۲۰ درصد ثبت شده است. اکسیدهای عناصر دیگر، اختلاف قابل توجهی در مرکز و حاشیه نشان نمی‌دهند (جدول ۱).

دسته دوم، گارنت‌هایی هستند که دارای بافت گرانوبلاستیک بوده و بدون منطقه‌بندی نوسانی بوده (شکل ۵-ب) و همراه با کانه‌زایی ثانویه هماتیت مشاهده می‌شوند.

جدول ۱ نتایج بررسی ریز پردازشی الکترونی گارنت‌های نابهنجاری در مرکز و حاشیه بلور وابسته به منطقه پی‌جویی معدن جو.

wt.% \ نمونه	۱ هسته	۱ حاشیه	۴ هسته	۴ حاشیه	۶ هسته	۶ حاشیه	۸ هسته	۸ حاشیه
SiO ₂	۳۹,۰۵	۳۸,۳	۳۷,۷۸	۳۹,۷۲	۳۹,۱۴	۳۹,۴۲	۳۹,۵۸	۳۸,۸۲
TiO ₂	۰,۴۷	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۴۴	۰,۴۲	۰,۵۵	۱,۶۷
Al ₂ O ₃	۷,۴۷	۰,۱۳	۰,۳۶	۸,۴۳	۷,۶۴	۹,۲۹	۸,۸	۷,۴۸
Cr ₂ O ₃	۰	۰	۰,۰۲	۰	۰,۰۲	۰	۰,۰۱	۰
FeO	۲۰,۵۵	۲۹,۰۶	۲۷,۹۵	۱۹,۰۱	۱۹,۸۴	۱۶,۲۹	۱۷,۸۴	۱۸,۱۶
MnO	۰,۴۹	۰,۲	۰,۲۹	۰,۳۴	۰,۴۶	۰,۴۳	۰,۴۶	۰,۳۱
MgO	۰,۰۶	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰	۰,۰۳
CaO	۳۲,۳۹	۳۲,۲۱	۳۲,۵۴	۳۳,۱۲	۳۳,۱۵	۳۳,۸۵	۳۲,۵۵	۳۲,۹۲
Na ₂ O	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۵	۰	۰	۰
K ₂ O	۰,۰۱	۰	۰,۰۱	۰	۰,۰۱	۰	۰,۰۳	۰
Total	۱۰۰,۵۱	۹۹,۹۳	۹۹,۰۱	۱۰۰,۶۷	۱۰۰,۷۶	۹۹,۷۲	۹۹,۸۲	۹۹,۳۹
عضوهای انتهایی								
آندرادیت	۵۱,۶۲	۸۹,۳۴	۹۰,۱۱	۴۸,۷	۵۲,۴۱	۴۴,۱۴	۴۲,۳۵	۴۵,۳۱
گروسولار	۳۴,۹۸	۰,۶۶	۱,۸۵	۴۰,۵۴	۳۶,۱۸	۴۵,۸۱	۴۳,۱۰	۳۷,۳۷
آلماندین	۱۰,۶۵	۹,۴۹	۷,۱۶	۹,۹۷	۸,۹۹	۷,۷۴	۱۱,۸۳	۱۱,۲۲
اسپسارتین	۱,۰۵	۰,۴۴	۰,۶۵	۰,۷۲	۰,۹۹	۰,۹۲	۰,۹۷	۰,۶۶
پیروپ	۰,۲۳	۰	۰	۰	۰,۰۴	۰,۰۸	۰	۰,۱۱
اووارویت	۰,۰۶	۰	۰,۰۷	۰	۰,۰۶	۰	۰,۰۳	۰

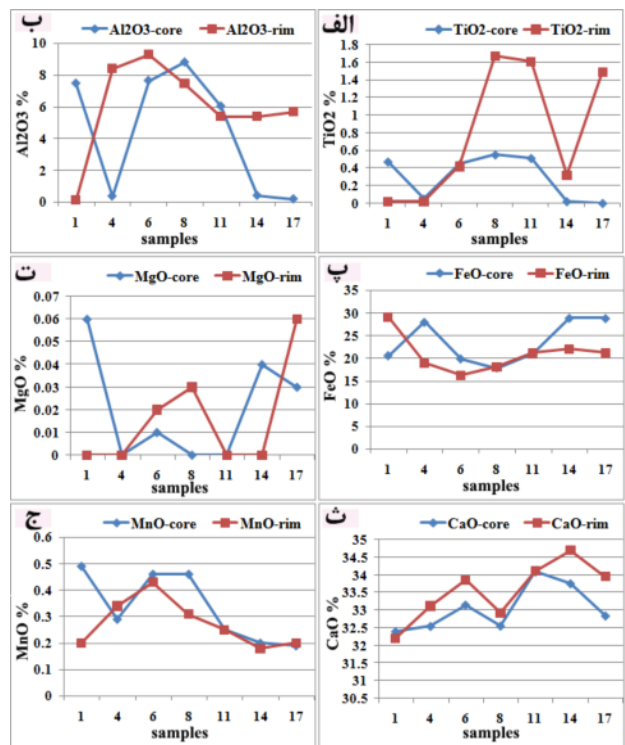
جدول ۲ نتایج آنالیز ریز پردازشی الکترونی گارنت‌های همسانگرد در مرکز و حاشیه بلور منطقه پی‌جویی معدن جو.

wt.% \ نمونه	۱۱ هسته	۱۱ حاشیه	۱۴ هسته	۱۴ حاشیه	۱۷ هسته	۱۷ حاشیه
SiO ₂	۳۷,۴۳	۳۷,۱۳	۳۵,۹	۳۶,۶۲	۳۶,۷۴	۳۷,۴۳
TiO ₂	۰,۵۱	۱,۶۱	۰,۰۲	۰,۳۲	۰	۱,۴۹
Al ₂ O ₃	۶,۰۳	۵,۴۱	۰,۴	۵,۴	۰,۱۸	۵,۶۸
Cr ₂ O ₃	۰	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰,۰۲
FeO	۲۱,۰۹	۲۱,۱۵	۲۸,۸۶	۲۲	۲۸,۸	۲۱,۲۹
MnO	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۲	۰,۱۸	۰,۱۹	۰,۲
MgO	۰	۰	۰,۰۴	۰	۰,۰۳	۰,۰۶
CaO	۳۴,۱	۳۴,۱۱	۳۳,۷۶	۳۴,۶۹	۳۲,۸۴	۳۳,۹۵
Na ₂ O	۰	۰,۰۴	۰	۰	۰,۰۱	۰,۰۵
K ₂ O	۰	۰,۰۲	۰	۰	۰	۰
Total	۹۹,۴۱	۹۹,۷۲	۹۹,۱۸	۹۹,۲۱	۹۸,۸	۱۰۰,۱۷
عضوهای انتهایی						
آندرادیت	۶۶,۵۴	۶۴,۷۹	۹۸,۷۶	۷۴,۶۸	۹۴,۲۲	۶۳,۲۰
گروسولار	۲۸,۵۴	۲۵,۶۵	۱,۸۹	۲۵,۲۰	۱,۵۱	۲۶,۶۳
آلماندین	۲,۸۲	۴,۱۳	۰	۰	۳,۶۷	۴,۹۷
اسپسارتین	۰,۵۶	۰,۵۵	۰,۴۷	۰,۴۱	۰,۴۴	۰,۴۴
پیروپ	۰	۰	۰,۱۷	۰	۰,۱۲	۰,۲۳
اووارویت	۰	۰	۰	۰	۰,۰۳	۰,۰۶

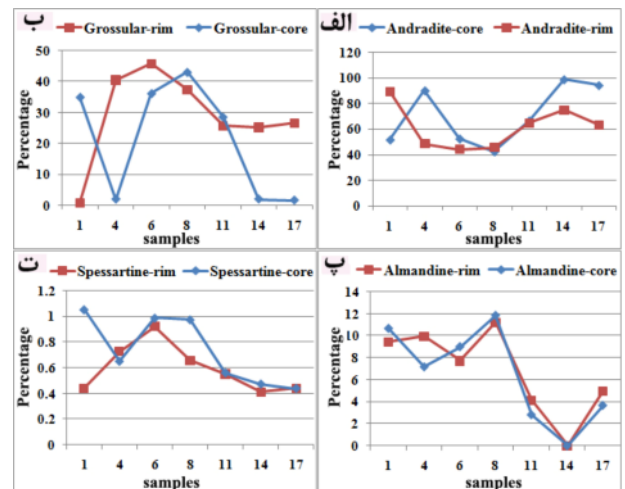
حاشیه از آندرادیت به گروسولار و برعکس تحت تأثیر مشارکت Al و Fe^{3+} است. حرکت عناصری مانند Ti و Al در سیستم گرمایی بسیار ضعیف است [۱۴] و وجود این عناصر در ترکیب گارنت‌ها به‌ویژه در حاشیه می‌تواند ناشی از انحلال و تراوش از سنگ میزبان رسوبی حین واکنش‌های دگرگونی باشد. همچنین تغییرات Fe^{3+} را می‌توان به فرآیندهای جوششی، افزایش یا کاهش گریزندگی اکسیژن و تغییرات نسبت Al^{2+} $a Fe^{3+}$ حین واکنش‌های تعادلی با سنگ دیواره توجه کرد [۱۲]. ترکیب گارنت‌های منطقه‌ی پی جویی معدن‌جو در مثلث آندرادیت، گروسولار، آلماندین+اسپسارتین (شکل ۸-الف) آورده و با ترکیب گارنت‌های معادن اسکارن آهن دنیا مقایسه شده است [۸، ۱۵، ۱۶]. گارنت‌های معدن‌جو بیشتر نزدیک به رأس آندرادیتی و در گستره‌ی ۷۰ تا ۹۰ درصد قرار می‌گیرند و میزان گروسولار تنها در بعضی از نمونه‌ها اندکی افزایش یافته است و به حدود ۵۰ درصد می‌رسد. گستره تغییرات گارنت‌های معدن‌جو نسبت به گارنت‌های دیگر معادن اسکارن آهن، تنها در میزان آلماندین متفاوت است که در نمونه‌های معدن‌جو نیز اندکی بیشتر و حدود ۱۰ درصد است.

شیمی کانی پیروکسن

ترکیب پیروکسن‌ها برای هدنبرگیت از ۱۹ تا ۹۹٫۸ درصد، دیوپسید از صفر تا ۷۹٫۶ درصد و ژوهانسیت از صفر تا ۱٫۵ درصد متغیر است. اکسید آهن از ۰٫۳ تا ۱۱٫۷ درصد، اکسید آلومینیم از ۰٫۷ تا ۲۶ درصد، اکسید کلسیم از ۰٫۶ تا ۲۴ درصد و اکسید سدیم از صفر تا ۱۱ درصد و اکسید سیلیسیم از ۳٫۸ تا ۶۹٫۵ درصد متغیر است که دامنه‌ی نوسانات گسترده است. مقدار اکسید منگنز بسیار کم و زیر ۰٫۳ درصد است (جدول ۳). در بررسی‌های میکروسکوپی و ریزکاوا الکترونی، هیچ آثاری از منطقه‌بندی و تغییرات نوسانی در بلورهای پیروکسن مشاهده نمی‌شود. تغییرات ترکیب پیروکسن‌ها در مثلث هدنبرگیت، دیوپسید، ژوهانسیت با ترکیب پیروکسن‌های معادن اسکارن آهن دنیا مقایسه شده است (شکل ۸-ب) [۸، ۱۵، ۱۶]. پیروکسن‌های معدن‌جو در گستره‌ی ترکیب پیروکسن‌های معادن اسکارن آهن قرار می‌گیرد. چهار نمونه دارای ترکیب هدنبرگیتی هستند و در رأس ضلع هدنبرگیتی قرار می‌گیرند و تنها دو نمونه، کاهش اندکی در میزان هدنبرگیت نشان داد (در حدود ۶۰ درصد) و مقدار دیوپسید دو نمونه از ۵۰ درصد بیشتر است. بنابراین می‌توان گفت داشت که پیروکسن‌ها در این منطقه از نوع کلینوپیکروکسن و ترکیب آن‌ها هدنبرگیتی تا هدنبرگیتی-دیوپسیدی است (شکل ۸-ب).



شکل ۶ تغییرات اکسید عناصر اصلی گارنت‌ها در مرکز و حاشیه. الف: تغییرات اکسید تیتانیم. ب: تغییرات اکسید آلومینیم. پ: تغییرات اکسید آهن. ت: تغییرات اکسید منیزیم. ث: تغییرات اکسید کلسیم. ج: تغییرات اکسید منگنز.

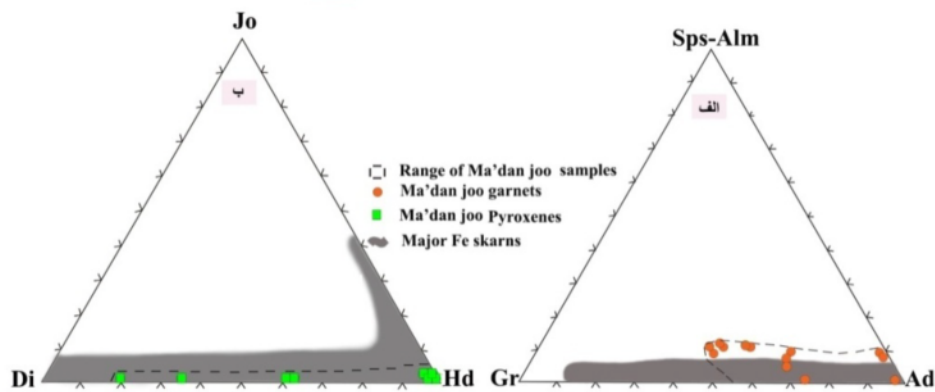


شکل ۷ تغییرات ترکیب گارنت‌ها در مرکز و حاشیه. الف: تغییرات ترکیب آندرادیتی. ب: تغییرات ترکیب گروسولاری. پ: تغییرات ترکیب آلماندینی. ت: تغییرات ترکیب اسپسارتینی.

ترکیب گارنت‌ها و میزان مشارکت عناصر، تابعی از دما، گریزندگی اکسیژن، ترکیب گرماب، ترکیب سنگ میزبان رسوبی و غیره است. تغییرات ترکیب گارنت‌ها در مرکز و

جدول ۳ نتایج بررسی ریزکاو ش الکترونی پیروکسن‌های منطقه‌ی پی‌جویی معدن جو.

نمونه	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
wt.%								
SiO ₂	۳۸٫۹۶	۶۹٫۴۷	۶۸٫۰۴	۵۴٫۳۹	۳۹٫۷۶	۶۹٫۵۴	۳۹٫۵۸	۳۷٫۸۸
TiO ₂	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۸	۰	۰٫۰۷	۰
Al ₂ O ₃	۲۴٫۶۷	۲۰٫۲۷	۲۰٫۲۱	۰٫۷۵	۲۶٫۰۶	۲۰٫۲	۲۵٫۲۳	۲۴٫۳۳
Cr ₂ O ₃	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
FeO	۱۱٫۷۸	۰٫۳۴	۰٫۲۵	۶٫۹	۹٫۰۵	۰٫۳	۱۰٫۵۳	۱۰٫۴۱
NiO	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۲	۰	۰	۰	۰
MnO	۰٫۰۸	۰	۰	۰٫۳۱	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۴
MgO	۰	۰٫۱۲	۰٫۰۸	۱۵٫۸۴	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰	۰٫۲۳
CaO	۳۳٫۷۸	۰٫۶۱	۰٫۶۲	۲۲٫۲۳	۲۴٫۲۱	۰٫۵۳	۲۴٫۲۵	۲۲٫۵۹
Na ₂ O	۰٫۰۲	۸٫۷۹	۱۱٫۲۱	۰٫۱۷	۰	۹٫۶۷	۰	۰٫۰۲
K ₂ O	۰٫۰۲	۰٫۱۵	۰٫۱۱	۰٫۰۶	۰	۰٫۰۷	۰٫۰۱	۰
Total	۹۹٫۳۲	۹۹٫۷۶	۱۰۰٫۵۳	۱۰۰٫۶۷	۹۹٫۲۳	۱۰۰٫۱۵	۹۹٫۷۳	۹۵٫۵
عضوهای انتهایی								
هدنیرگیت	۹۸٫۵۱	۶۱٫۳۸	۶۳٫۶۸	۱۹٫۴۶	۹۸٫۸۱	۳۵٫۹۴	۹۹٫۸۱	۹۵٫۸۵
دیوپسید	۰	۳۸٫۶۲	۳۶٫۳۲	۷۹٫۶۵	۰٫۹۷	۶۴٫۰۶	۰	۳٫۷۸
ژوهانسیت	۱٫۴۹	۰	۰	۰٫۸۹	۰٫۲۲	۰	۰٫۱۹	۰٫۳۷



شکل ۸ تغییرات ترکیب (الف) گارنت‌ها و (ب) پیروکسن‌های منطقه‌ی پی‌جویی معدن جو و مقایسه‌ی آن با ترکیب گارنت‌ها و پیروکسن‌های معدن اسکارن آهن دنیا [۱۵،۸،۱۴].

کانی‌شناسی ماده معدنی

کانه اصلی در منطقه‌ی پی‌جویی معدن جو، مگنتیت است که با مقادیری از کانی‌های سولفیدی و اکسیدی همراه است. پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت و به میزان کمتر ملنیکوویت، پیرولولزیت و اسپکیولاریت، کانی‌های اولیه و پسیلوملان و هماتیت کانی‌های ثانویه هستند (شکل ۹). کانی‌سازی در این منطقه به‌صورت توده‌ای و چینه‌سان در سنگ‌های آهکی دولومیتی صورت گرفته است. در ادامه به توصیف کانی‌ها پرداخته می‌شود.

مگنتیت: مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانه در این منطقه است و فراوانی آن به ۴۰ درصد می‌رسد. مگنتیت‌ها شکل‌دار بوده و دارای اندازه‌ی متوسط ۱/۵ سانتی‌متر هستند که در بعضی موارد تحت تأثیر ماریتی‌زاسیون قرار گرفته و به هماتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۹- الف و ب).

مگنتیت‌ها محصولات اکسایش در دمای بالا هستند و از دگرسانی گارنت‌ها و پیروکسن‌ها تولید می‌شوند (در بخش اسکارن، معادله‌ی تبدیل آورده شده است). پیریت: فراوان‌ترین کانی سولفیدی در منطقه است و میزان آن به ۱۵ درصد می‌رسد. بلورهای پیریت بزرگ، خودشکل و بدون نابهنجاری هستند. در بعضی مناطق، از حاشیه در حال تبدیل به هماتیت‌اند (در حدود ۲۰ درصد) و در بعضی نمونه‌ها، پیریت‌ها دارای بافت شکافه‌پرکن و حاصل نفوذ آبگون‌ها و کانی‌زایی از میان شکستگی‌های سنگ هستند (شکل ۹- پ، ت و ث). رشد بلورهای پیریت در حاشیه و یا پراکنده در متن بلورهای مگنتیت‌ها حاکی از تبلور پیریت پس از مگنتیت، در شرایط دمایی کمتر، گریزندگی گوگرد بیشتر و یا گریزندگی اکسیژن کمتر است.

و دارای بافت پرکننده و جانیشینی و به‌صورت شکل اولیه بی شکل است که در همه جا در حال تبدیل به پیریت (در حدود ۵۰ درصد) دیده می‌شود (شکل ۹-ج).

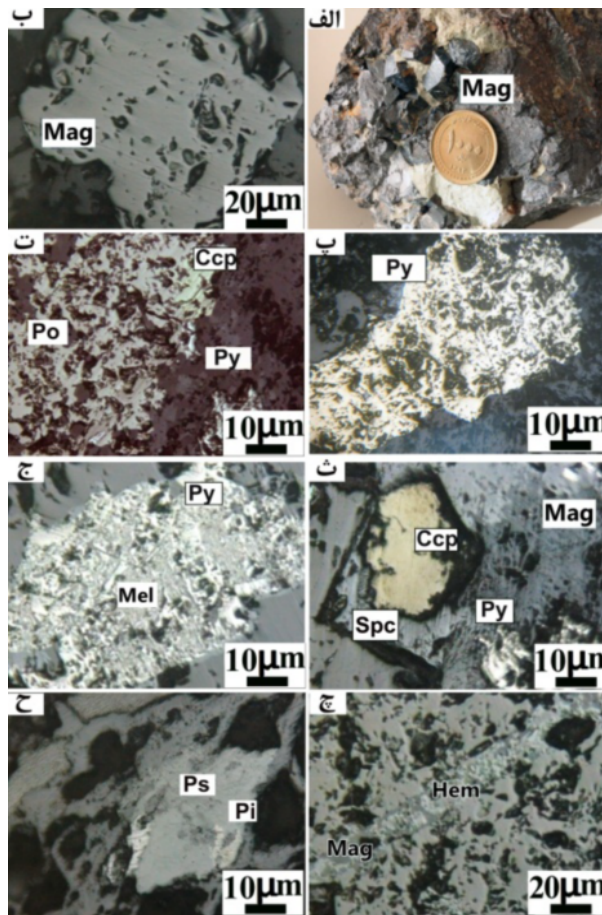
اسپکیولاریت: اسپکیولاریت به میزان بسیار کم (در حدود ۵ درصد) با چشم مسلح در منطقه قابل مشاهده است و همراه با مگنتیت و پیریت است (شکل ۹-ث).

پیرولوزیت: فراوانی کمی دارد و مقدار آن به سختی به یک درصد می‌رسد. بافت آن شکافه پرکن است و در همه جا در حضور پسیلوملان و اکسیدهای ثانویه یافت می‌شود. حضور آن محدود به مراحل نهایی فعالیت محلول‌ها است و به‌طور معمول در حال تبدیل به پسیلوملان (حدود ۶۰ درصد) دیده می‌شود (شکل ۹-ح).

پیروتیت: به میزان ۱۰ تا ۱۲ درصد در منطقه دیده می‌شود و در همه‌جا همراه است و با پیریت، مگنتیت و کالکوپیریت یافت می‌شود. بافت جانیشینی در سنگ، کربناتی و گاه توده‌ای است که در مرکز و حاشیه بعضی بلورها هم‌رشدی از کالکوپیریت (حدود ۱۰ درصد) و پیریت (۵ درصد) دیده می‌شود (شکل ۹-ت).

کالکوپیریت: به میزان ۷ تا ۱۰ درصد در منطقه مشاهده شده و بیشتر با پیریت یافت می‌شود. بلورهای کالکوپیریت دارای شکل مشخصی نیستند و بیشتر به‌صورت پرکننده فضای خالی در درون و یا پیرامون مگنتیت، پیریت و کانی‌های گانگ حضور دارد و در مراحل نهایی کانی‌سازی تشکیل شده است (شکل ۹-ت و ث).

ملنیکوویت: مقدار آن بسیار کم و در حدود ۵ تا ۷ درصد است،



شکل ۹ تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی (PPL) از کانی‌زایی‌ها در منطقه پی جویی معدن جو. الف: مگنتیت‌های شکل‌دار در نمونه‌ی دستی. ب: تصویر میکروسکوپی مگنتیت‌های شکل‌دار. پ: بلورهای بزرگ، خودشکل و فاقد ناپهنجاری پیریت. ت: پیروتیت‌های جانشین شده در سنگ کربناتی که بخشی از بلور در حال تبدیل به کالکوپیریت و همراه با پیریت است. ث: بلورهای کالکوپیریت فاقد شکل مشخص و در مجاورت مگنتیت، پیریت و سوزن‌های هماتیت اولیه (اسپکیولاریت) دیده می‌شوند. ج: بلورهای ملنیکوویت در حال متبلور شدن و تبدیل به پیریت. چ: تبدیل مگنتیت به هماتیت و تشکیل بافت مارتیتی. ح: بلور پیرولوزیت در حال تبدیل به پسیلوملان در طی فرآیندهای ثانویه. Mag: مگنتیت، Py: پیریت، Po: پیروتیت، Ccp: کالکوپیریت، Spc: اسپکیولاریت، Mel: ملنیکوویت، Pi: پیرولوزیت، Ps: پسیلوملان [۱۱].

جدایش بالاتری در عناصر کالکوفیل مانند Cu, As, Ag و Pb و نیز عناصر گروه PGE دارند و به همین دلیل، این عناصر در مقادیر بالا در مگنتیت حضور ندارند، البته Zn یک عنصر کالکوفیل استثنایی است. میزان واکنش با سنگ میزبان را می‌توان از غنی‌شدگی شاره‌ی باقیمانده از Mn و Mg شناخت. در شرایط مشابه گریزندگی اکسیژن و گوگرد و نیز عناصر لیتوفیل Mg, Al و Ti علاقه بیشتری به مشارکت در ترکیب سیلیکات‌ها دارند تا مگنتیت [۱۷].

اطلاعات مربوط به میزان و تغییرات عناصر شرکت‌کننده در ساختار مگنتیت حاصل از بررسی ریزکاوی الکترونی در جدول ۴ آورده شده‌اند. بیشترین میزان اکسید آهن (FeO total) به ۹۱/۵ درصد می‌رسد. دامنه‌ی تغییرات اکسید گوگرد از صفر تا ۰/۰۲ در نوسان است. میزان اکسید وانادیم و کروم، جز برای یکی از نمونه‌ها که ۰/۰۱ است، برای بقیه صفر و میزان اکسید کبالت در همه‌ی نمونه‌ها صفر است. مقدار اکسید نیکل نیز در بیشتر نمونه‌ها صفر و تنها برای سه نمونه از ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ درصد در تغییر است. میزان اکسید تیتانیم از ۰/۰۲ تا ۰/۰۸ درصد در تغییر است. بیشترین میزان اکسید طلا به ۰/۰۸ درصد و بیشترین مقدار اکسید نقره به ۰/۰۳ درصد می‌رسد. میزان اکسیدهای مس و روی نیز با هم در نوسانند که حداکثر مقدار آن‌ها به ۰/۰۵ درصد می‌رسد. مقدار اکسیدهای منگنز و آلومینیم تا ۰/۱ درصد در بعضی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین میزان عناصر شرکت‌کننده مربوط به اکسید منیزیم است که مقدار آن به ۱/۸۳ درصد می‌رسد (جدول ۴).

از ویژگی ساختار اسپینلی مگنتیت و جانشینی عناصر به جای Fe^{3+} و یا Fe^{2+} ، علاوه بر جداسازی انواع مگنتیت‌های ماگمایی و گرمایی، می‌توان برای شناسایی انواع مختلف کانسارهای آهن یاری گرفت. داپیوس و بیادون [۱۹] از تغییرات در میزان عناصر Ni, Cr, V و Ti و نیز عناصر Ca, Al و Mn برای جدایش انواع گرماب‌ها و ماگمایی مگنتیت و نیز نوع کانی‌سازی وابسته به آنها استفاده کردند. این جدایش و تعریف با استفاده از نسبت‌های $Ni/(Cr+Mn)$ نسبت به $Ti+V$ و $Ca+Al+Mn$ نسبت به $Ti+V$ برای نمونه‌های مربوط به معادن مهم دنیا (در هر نوع کانی‌سازی به‌طور متوسط ۶ معدن و ۷۰ نمونه) صورت گرفت. انواع کانی‌سازی‌ها شامل اکسید آهن-مس-طلا، اسکارن، پورفیری، کایرونا، آهن‌های نواری و انواع Fe+Ti و V بود که نتایج حاصله با نتایج بررسی‌های قبلی

هماتیت: هماتیت‌های ثانویه، محصول دگرسانی مگنتیت و پیریت هستند که با بافت‌های مارتیتی در مگنتیت‌ها (حدود ۵ درصد) و به‌صورت دگرسانی در حاشیه بلورهای پیریت (در حدود ۷ درصد) دیده می‌شوند (شکل ۹-ج).
پسیلوملان: این کانی با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شود. مقدار آن ۱ درصد و دارای بافت‌های پرکننده است و از دگرسانی پیرولوویت به‌وجود می‌آید. کانی مورد بحث همه‌جا همراه با اکسیدهای ثانویه آهن حضور دارد و نشان می‌دهد که محصول محلول‌های شرکت‌کننده برونزاد هستند (شکل ۹-ح).

شیمی کانی مگنتیت

مگنتیت، یک ردیاب پتروژنتیکی مهم است و دارای کاربردهای گسترده در بررسی‌های مربوط به پی‌جویی کانیهاست [۱۷]. به‌دلیل ساختار اسپینلی مگنتیت، بسیاری از عناصر از جمله $Al, Mg, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn$ می‌توانند جانشین Fe^{3+} یا Fe^{2+} شوند [۱۸]. تغییرات شیمی عناصر مگنتیت بر حسب اینکه کانی حاصل تبلور از ماگما (مگنتیت ماگمایی) یا شکل‌گیری از گرماب‌ها (مگنتیت هیدروترمالی) باشد، متفاوت خواهد بود. اختلاف در میزان این عناصر می‌تواند مگنتیت‌های با خاستگاه متفاوت را از هم تفکیک کند و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل آن‌ها را توضیح دهد. ترکیب مگنتیت با فاکتورهای مختلفی از جمله ژئوشیمی سنگ میزبان، مجموعه کانی‌ها، درجه‌ی واکنش شاره/سنگ، شرایط فیزیکوشیمیایی، دما، فشار، گریزندگی اکسیژن، گریندگی گوگرد و فعالیت سیلیس که به شرایط آذرین (۱۲۰۰ تا ۶۰۰) و یا به شرایط گرماب و دگرگونی (۶۵۰ تا ۲۰۰) اعمال می‌شود که حین تشکیل کانسار کنترل خواهد شد. از طرف دیگر نقش عناصر را نباید فراموش کرد، عناصر با ضریب جدایش بزرگتر برای جفت شدن در ساختار مگنتیت مناسب‌ترند [۱۷].

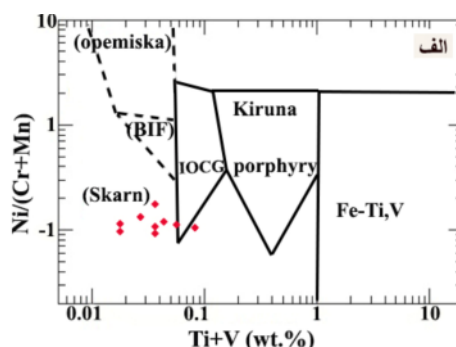
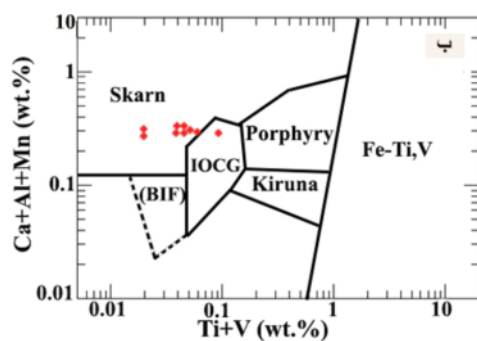
اسکارن‌های منیزیمی با میزان Co و Ti کم شناخته می‌شوند و تنها ده درصد مگنتیت‌های گرمایی بیش از یک درصد وزنی Ti دارند. Ni و V آنها زیر حد آشکارسازی و میزان Mn هم از انواع دیگر اسکارن‌ها کمتر بوده، ولی میزان Mg در همه‌ی انواع اسکارن‌ها متوسط است. مشارکت Mn و V مستقیماً در اثر گریزندگی اکسیژن کنترل می‌شود و میزان Mn در نمونه رابطه‌ی مستقیمی با Zn دارد. میزان Cr و Co در مگنتیت‌های آذرین بالاتر و میزان Mg در مگنتیت‌های گرمایی بیشتر است. کانی‌های سولفیدی نسبت به مگنتیت، ضریب

است که این نمونه‌ها در گستره‌ی مگنتیت‌های گرمایی قرار می‌گیرند و نوع کانی‌سازی در این منطقه از نوع اسکارن است. بررسی‌های صحرایی، کانی‌شناختی، سنگ‌نگاری و بررسی شیمی گارنت و پیروکسن‌ها نیز مؤید کانی‌سازی نوع اسکارن در این منطقه است.

همخوانی داشت و این نمودارها به عنوان نمودارهای استاندارد برای تبیین و جدایش انواع کانی‌سازی تأیید شدند [۱۹]. نتایج ترسیم مگنتیت‌های مربوط به منطقه پی جویی معدن جو در نمودارهای Ni/(Cr+Mn) نسبت به Ti+V (شکل ۱۰-الف) و Ca+Al+Mn نسبت به Ti+V (شکل ۱۰-ب) حاکی از آن

جدول ۴ نتایج بررسی ریزکاو الکترونی مگنتیت نمونه‌های منطقه‌ی پی جویی معدن جو.

نمونه wt. %	۷	۸	۹	۱۰	۱۵	۱۶	۲۰	۲۱	۲۲	۱۱۵	۱۱۶	۱۱۷
TiO ₂	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۴	-	-	-	-	-	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۲
SO ₂	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	-	-	-	-	-	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Al ₂ O ₃	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۱	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۴
Cr ₂ O ₃	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱
FeO	۸۸٫۶۶	۸۹٫۷۶	۸۷٫۷۷	۹۰٫۳۸	۸۹٫۹۴	۹۱٫۴۲	۹۰٫۷۷	۸۹٫۰۱	۸۴٫۳۷	۹۱٫۵۹	۹۰٫۸۵	۹۱٫۱۶
NiO	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰
MnO	۰٫۱	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۱	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۰٫۱	۰٫۰۹	۰٫۰۷
MgO	۱٫۶۲	۰٫۱۹	۱٫۸۳	۱٫۸	-	-	-	-	-	۱٫۰۸	۱٫۲۷	۱٫۰۳
CaO	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱
CuO	۰	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۵	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۳
ZnO	۰	۰٫۰۵	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۲
CoO	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Na ₂ O	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۳	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰
Ag ₂ O	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰
Au ₂ O ₃	۰	۰	۰٫۰۳	۰٫۰۱	-	-	-	-	-	۰	۰	۰٫۰۸
V ₂ O ₃	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
As ₂ O ₃	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰
Sb ₂ O ₃	۰	۰	۰	۰	-	-	-	-	-	۰	۰	۰٫۰۲
Bi ₂ O ₃	۰	۰٫۲۶	۰	۰	-	-	-	-	-	۰	۰٫۲۴	۰٫۲۳
Total	۹۰٫۵۹	۹۰٫۶۸	۸۹٫۹۶	۹۲٫۵۹	۹۰٫۱۸	۹۱٫۶۶	۹۱	۸۹٫۲	۸۴٫۵۵	۹۳	۹۲٫۷	۹۲٫۸۳



شکل ۱۰ فرارگیری نمونه‌های منطقه‌ی پی جویی معدن جو در نمودارهای تعیین نوع مگنتیت (گرمایی و ماگمایی) و نوع کانسار [۱۸]. الف: نسبت Ni/(Cr+Mn) نسبت به Ti+V. ب: نسبت Ca+Al+Mn نسبت به Ti+V.

برداشت

در منطقه‌ی پی جویی معدن جو، سنگ‌های کربناتی دستخوش دگرگونی ایزوشیمیایی شده و به مرمر و دولومیت تبدیل شده‌اند و هر جا که شاره‌های ماگمایی و گرمایی وارد عمل شده‌اند، تشکیل سیلیکات‌های آهکی بی‌آب با ترکیب گارنت و کلینوپیروکسن رخ داده است. در مراحل بعدی و با دخالت آب‌های جوی با دمای کمتر، سیلیکات آبدار آهکی و کانه‌زایی به شکل مگنتیت دیده می‌شود. شواهد صحرایی و بررسی‌های کانی‌شناختی و سنگ نگاری، تشکیل کانی‌های سیلیکاتی آهکی بی‌آب گارنت و پیروکسن و سیلیکات‌های آبدار فلوگوپیت، اپیدوت، ترمولیت، اکتینولیت و کلریت را در قالب اسکارن‌زایی در منطقه تایید می‌کند. کانی‌سازی آهن به شکل مگنتیت و همراه با سیلیکات‌هایی که محصول فرآیندهای پسرونده‌ی دگرزه‌ای هستند، با بافت توده‌ای و به صورت چینه‌سان در سنگ‌های میزبان آهکی دولومیتی تشکیل شده‌اند و همراهی آن‌ها با کانی‌های سولفیدی مس و آهن (پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت و ملنیکوویت) و اکسیدهای ثانویه آهن و منگنز (هماتیت و پسیلوملان) و نیز وجود ساختارهای زمین-ساختی (گسل‌ها، شکستگی‌ها و درزها) که تسهیل‌کننده و مجرای عبور شاره‌ها هستند، حکایت از کانی‌سازی نوع اسکارن در منطقه دارد. از طرف دیگر، تغییرات ترکیب مگنتیت می‌تواند ردیاب ژئوشیمیایی و بازتاب‌دهنده‌ی نوع کانی‌زایی و شرایط تشکیل کانسار باشد. نتایج حاصل از بررسی ریزپردازشی الکترونی مگنتیت‌های معدن جو، نشان می‌دهد که مگنتیت‌ها محصول فرآیندهای گرماب هستند و در گستره‌ی نوع اسکارن قرار می‌گیرند.

در اسکارن‌های منیزیومی، کانی‌های فلوگوپیت، دیوپسید، ترمولیت، تالک و سرپانتین دیده می‌شوند و منطقه‌ی اندواسکارن وجود ندارد، درحالی‌که در کانسارهای اسکارن‌های کلسیمی، غلبه با کانی‌های گارنت و پیروکسن است و میزان اپیدوت و اکتینولیت کمتر است [۲۰]. در گستره‌ی معدن جو، ترکیب پیروکسن‌ها هدنبرگیتی و در بعضی نمونه‌ها هدنبرگیتی-دیوپسیدی است؛ به‌طوری‌که مقدار هدنبرگیت از ۱۹ تا ۹۸/۵ درصد و دیوپسید از صفر تا ۷۹/۶ درصد در تغییر است. تغییرات ترکیب پیروکسن‌ها به سمت دیوپسید، رخداد منطقه‌ی فلوگوپیت اسکارن و کانه‌زایی مگنتیت در آن، حضور ترمولیت در فازهای پسرونده، وجود مگنتیت‌های غنی از منیزیم (تا ۱/۸۳ درصد) و غیبت منطقه‌ی اندواسکارن، نشان می‌دهد که اسکارن آهن معدن جو از نوع منیزیومی است.

مگنتیت‌های اسکارن‌های منیزیومی با میزان Co و Ti کم شناخته شده‌اند که اکسید کبالت در همه نمونه‌های معدن جو صفر است و بیشترین مقدار اکسید تیتانیوم نیز به ۰/۰۸ درصد می‌رسد. همچنین Ni و V آنها زیر حد آشکارسازی است که مقدار اکسید نیکل نیز در بیشتر نمونه‌های منطقه پی جویی صفر و تنها در سه نمونه به حداکثر به ۰/۰۲ درصد می‌رسد و میزان اکسید وانادیم صفر است. میزان Mn کانسارهای اسکارن منیزیومی نیز از انواع دیگر اسکارن‌ها (۴ درصد) کمتر است. مقدار اکسید منگنز در نمونه‌های معدن جو به ۰/۱ درصد می‌رسد.

بررسی‌های انجام شده روی دیگر بخش‌های غربی و مرکزی و بیهنجاری‌های موجود (مجموعاً ۷ بیهنجاری) نشان می‌دهد که بخش غربی معدن (A، A' و C جنوبی) سنگان، اسکارن کلسیمی است که با حرکت به سمت شرق، اسکارن کلسیمی به منیزیومی تبدیل می‌شود، به‌طوری‌که یکی از بیهنجاری‌های غربی (C شمالی) و بیهنجاری‌های مرکزی (باغک و دردوی) ترکیب منیزیومی دارند [۱]. در منطقه‌ی باغک و C شمالی، پارائز کانه-سازی دوگانه مگنتیت شامل دولومیت، کلینوکلر، فورستریت، آمفیبول و فلوگوپیت است و بیشترین مقدار سولفید (به ترتیب ۱۳/۷ و ۲/۷۷ درصد وزنی) و بیشترین حضور کانی‌های سولفیدی پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت در این دو منطقه یافت می‌شوند. کانی‌سازی دوگانه مگنتیت در دردوی، فلوگوپیت، آندرادیت و کربنات است و دارای کمترین مقدار گوگرد (بیشترین مقدار ۱/۵ درصد وزنی) و فسفر (صفر) بین بیهنجاری‌های غربی و مرکزی است. همچنین منطقه‌ی اندواسکارن بین این سه منطقه وجود ندارد [۶، ۱]. با توجه به نکات یاد شده، اسکارن منیزیومی معدن جو بی‌شابهت به دیگر بیهنجاری‌های اسکارن منیزیومی معدن سنگان نیست. از حضور فلوگوپیت‌های درشت‌دانه، پایین بودن میزان گوگرد، رخداد سیلیکات‌های آهکی بی‌آب اپیدوت و ترمولیت، کانی‌زایی دوگانه و سنگ میزبان دولومیتی، این‌طور به نظر می‌رسد که شباهت منطقه پی جویی معدن جو با کانسار دردوی بیشتر از دیگر بیهنجاری‌هاست و با توجه به اینکه در راستا شرقی آن قرار می‌گیرد، می‌تواند ادامه‌ی آن باشد که جداکننده‌ی آن‌ها، دو گسل اصلی با روند جنوب‌شرقی-شمال‌غربی و چند گسل فرعی با روند شمال‌شرقی-جنوب‌غربی هستند، هرچند اختلافاتی جزئی در ترکیب پیروکسن‌ها و عیار آهن نیز مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که ترکیب پیروکسن‌ها در گستره دردوی دیوپسیدی است [۱] و در این منطقه هدنبرگیتی تا هدنبرگیتی-دیوپسیدی است. عیار آهن در معدن جو به ۶۹/۷۷

سنگ آهن سنگان خراسان رضوی، فصلنامه علوم زمین، ۶۵ (۱۳۸۶) ۱۱۴-۱۰۸.

[7] Meinert L. D., Dipple G. M., and Nicolescu S., "World Skarn Deposits", Economic Geology 100th Anniversary Volume (2005) 299-336.

[8] Einaudi M.T., Meinert L.D., and Newberry R.J., "Skarn Deposits", Economic Geology 75th Anniversary Volume (1981) 317-391.

[9] Burnham C. W., "Magmas and hydrothermal fluids", in Barnes, H. L. ed., Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits (1979) 71-136.

[10] Deer W. A., Howie R. A. and Zussman J., "An Introduction to the Rock Forming Minerals", 7th impression, Longman, London (1991).

[11] Whitney D. L. and Evans B. W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[12] Jamtveit B., Wogelius R. and Fraser D., "Zonation patterns of skarn garnets - records of hydrothermal system evolution", Geology, 21-2 (1993) 113-116.

[13] Gulbin Yu. L., "Compositional zoning in garnet and kinetics of metamorphic crystallization", Geol. Ore Deposits, vol. 55, spec. issue 8 (2013) 1-17.

[14] Bestel M., Gawronski T., Abart R., Rhede D., "Compositional zoning of garnet orphyroblasts from the polymetamorphic Wölz Complex, Eastern Alps", Mineralogy and Petrology, 97, 3-4 (2009) 173-188.

[15] Meinert L. D., "Gold skarn deposits-geology and exploration criteria", Econ Geol Monogr 6(1989) 537-552.

[16] Meinert L. D., "Igneous petrogenesis and skarn deposits", Geol Ass Can Spec Pap 40 (1993) 569-583.

[17] Nadoll P., Angerer T., Mauk J L., French D., Walshe J., "The Chemistry of hydrothermal magnetite" A review, Ore Geology Reviews (2014) 1-70.

[18] Xiao-Wen H., Liang QI., Yumiao M., "Trace element geochemistry of magnetite from the Fe(-Cu) deposits in the Hami region, eastern Tianshan orogenic belt, NW China", Acta Geologica Sinica 88 (2014) 176-195.

[19] Dupuis C., Beaudoin G., "Discriminant diagrams for iron-oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types", Mineralium Deposita, 46 (2011) 319-335.

[20] 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.

درصد وزنی می‌رسد، درحالی‌که بیشترین مقدار در باغک ۶۱٫۲ درصد وزنی است [۱]. مقدار گوگرد نیز در باغک بالاتر از معدن جو (۰٫۰۵ درصد وزنی) بوده و به ۱٫۵ درصد وزنی می‌رسد.

قدردانی

این مقاله مربوط به طرح شماره ۳، به شماره‌ی ۲۷۱۱۸/۳ مورخ ۹۲/۲/۲۰، دانشگاه فردوسی مشهد است و با حمایت این دانشگاه انجام پذیرفته است. از کارکنان معدن سنگان خواف، به‌ویژه مدیریت، کارکنان اکتشاف و نیز جناب آقای مهندس گل‌محمدی قدردانی می‌شود. نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) به‌دلیل حمایت مالی از این طرح، همچنین مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران و جناب آقای مهندس قلی‌زاده، کارشناس محترم آزمایشگاه کانی‌شناسی به‌خاطر آنالیزهای دقیق و سریع ایشان به‌جا می‌آورند.

مراجع

[1] 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.

[۲] کریم‌پور م.ح.، کانی‌شناسی، آلتراسیون سنگ و مثال‌هایی از IOCG منشأ و محیط تکتونیکی کانسارهای ایران، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد (۱۳۸۲) ۱۸۹.

[۳] کریم‌پور م.ح.، سعادت س.، و ملک‌زاده شفارودی ا.، "شناسایی و معرفی کانی‌سازی نوع Fe-Oxides Cu-Au و مگنتیت مرتبط با کمر بند ولکانیکی-پلوتونیکی خواف-کاشمر-بردسکن"، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین (۱۳۸۱).

[۴] کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده شفارودی الف.، "مقایسه ژئوشیمی سنگ منشأ توده مگنتیت طلادار تنورچه و مگنتیت بدون طلای معدن سنگان، استان خراسان رضوی"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱ (۱۳۸۵) ۳-۲۶.

[۵] کریم‌پور م.ح.، "بررسی منشأ و چگونگی تشکیل کانسار آهن سنگان خراسان"، مجموعه مقالات سمینار سنگ آهن، دانشکده فنی دانشگاه تهران (۱۳۶۹) ۲۸۲-۲۶۹.

[۶] کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده شفارودی الف.، ژئوشیمی-کانی‌شناسی زونهای اسکارنی و پترولوژی سنگ منشأ کانسار