



زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و شیمی منطقه‌های اسکارن و ماده‌ی معدنی در منطقه پی‌جویی اسکارن آهن معدن جو، شرق معدن سنگان خوف

نازی مظہری^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: ۹۴/۲/۲)

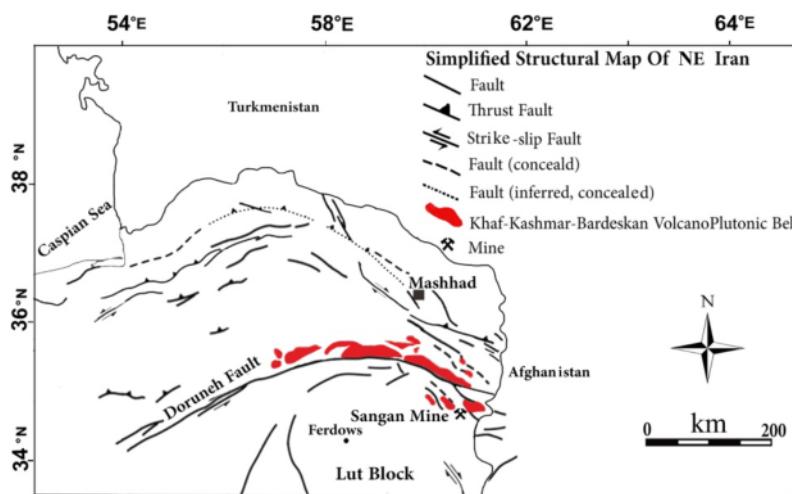
چکیده: منطقه‌ی پی‌جویی معدن جو از بیهنجاری‌های شرقی مجموعه‌ی معدن سنگ‌آهن سنگان خوف در جنوب‌شرق مشهد است. زمین‌شناسی این منطقه شامل سنگ‌های رسوبی ژوراسیک، واحدهای اسکارنی و توده‌ی نیمه‌عمیق ترشیری با ترکیب مونزونیت است. اسکارن‌های منطقه براساس فراوانی کانی‌های سیلیکاتی آهکی و نوع آنها به ۷ منطقه‌ی گارنت 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. کانی- سازی در منطقه‌ی پی‌جویی معدن جو به صورت توده‌ای و چینه‌سان در سنگ‌های آهکی دولومیتی صورت گرفته است. کانه اصلی، مگنتیت‌های شکل‌دار درشت‌دانه (۴۰ درصد)، همراه با مقادیر کمتری پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، ملنیکوویت، اسپیکیولاویت و پیرولوژیت، 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 عنصر 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 دردی 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 خوف.

مقدمه

معدن سنگان، یک ذخیره‌ی مهم و ارزشمند اسکارن آهن با در کمربند آتشفسانی- پلوتونیکی خوف- کاشمر- بردسکن واقع در کمربند آتشفسانی- پلوتونیکی خوف- کاشمر- بردسکن و همکاران [۳،۲] کمربند خوف- کاشمر- (شکل ۱). کریم‌پور و همکاران [۱] کمربند آهن در ایران برداشتن را خاستگاه کانی‌سازی تیپ اکسید آهن در ایران معرفی کردند که از جمله کانسارهای اکسید آهن موجود در این ناحیه می‌توان به طلا- اسپیکیولاویت کوهزر، تنورجه و معدن سنگان خوف 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 جنوب‌شرق مشهد و ۴۰ کیلومتری جنوب‌شرق خوف در استان خراسان رضوی بین طول‌های جغرافیایی ۲۴° ۶۰' - ۴۵° ۶۰' و عرض‌های جغرافیایی



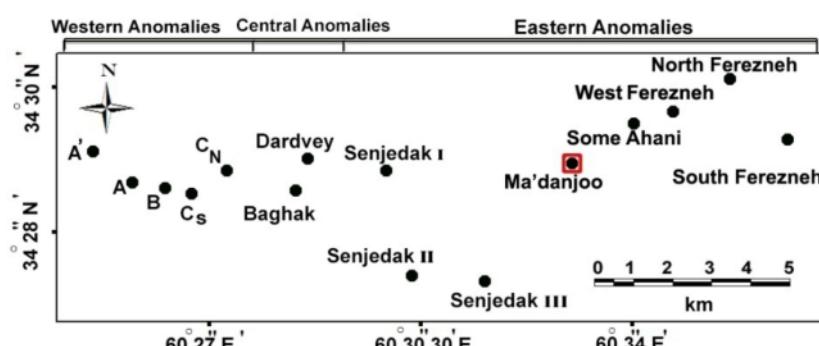
شکل ۱ نقشه ساده شده ساختاری شمال شرق ایران و موقعیت معدن سنگان در کمربند خوف-کاشمر-بردسکن.

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 ماده‌یمعدنی 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 ماده‌یمعدنی 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

به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر این پژوهش، در گستره‌ی ای به وسعت ۴ کیلومتر مربع، نمونه‌برداری‌هایی از بخش‌های مختلف شامل سنگ میزان، 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 و C' جنوبی هستند. در ناحیه مرکزی، دو کانسار مهم به نام‌های دردوی و باغک قرار گرفته‌اند. کانسارهای ناحیه شرقی نیز شامل ۶ بیهنجاری رخمنو دار سنجدک ۱، سنجدک ۲، سنجدک ۳، معدن جو، سم آهنی و فرزنه است که حدفاصل کانسارهای مرکزی و گسل باغک تا روستای فرزنه و دشت‌های شرقی است (شکل ۲). این پژوهش روی منطقه‌ی پی‌جوبی معدن جو که از بیهنجاری‌های شرقی معدن سنگ‌آهن سنگان است، متمرکز شده است. بیهنجاری‌های بخش شرقی، مراحل پی‌جوبی 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 پی‌جوبی 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، گرانیت 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، نیمه عمیق و از نوع سینیت پورفیری است [۶].

منطقه‌ی مورد بررسی در این پژوهش، بیهنجاری معدن جو، در بخش شرقی معدن سنگان و شمال شرق چشم می‌سنجد ک است (شکل ۲). قدیمی‌ترین سازندهای موجود در این منطقه، شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های رسوبی ژوراسیک هستند که موز آن‌ها با واحدهای کربناتی محدود به گسل‌ها است (شکل ۳). واحدهای کربناتی شامل سنگ‌های آهکی بلوین و سنگ‌های دولومیتی تیره هستند که در مکان‌هایی که شرایط زمین‌شناسی و زمین ساختی مهیا بوده، به اسکارن تبدیل شده‌اند و کانی‌زایی اکسید آهن در آن‌ها مشاهده می‌شود. ورود گرمابها در سنگ‌های کربناتی میزان، سبب تبلور دوباره سنگ‌های کربناتی، تبدیل آن‌ها به مرمر و دولومیت، تشکیل کانی‌های اسکارن و کانه‌زایی آهن به صورت دیرزاد شده است.

ماگماتیسم ترشیری و شکل‌گیری سنگ‌های آذرین در این گسترده، منحصر به بروزند توده کوچکی از بیوتیت مونزونیت در شمال‌غربی منطقه است (شکل ۳). بافت این توده پورفیری است و کانی‌شناسی آن شامل فلدسپار قلبی به میزان ۴۵ تا ۴۸ درصد، پلازیوکلاز (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 پلازیوکلاز 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 گرمابها که از راه گسل‌های موجود در دو سمت توده نفوذ کرده‌اند، ضمن تشکیل اسکارن با دمای بالا، سبب دگرسانی گسترده در این توده شده‌اند. شکل-گیری‌های 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 مهمن و بزرگ درونه است.

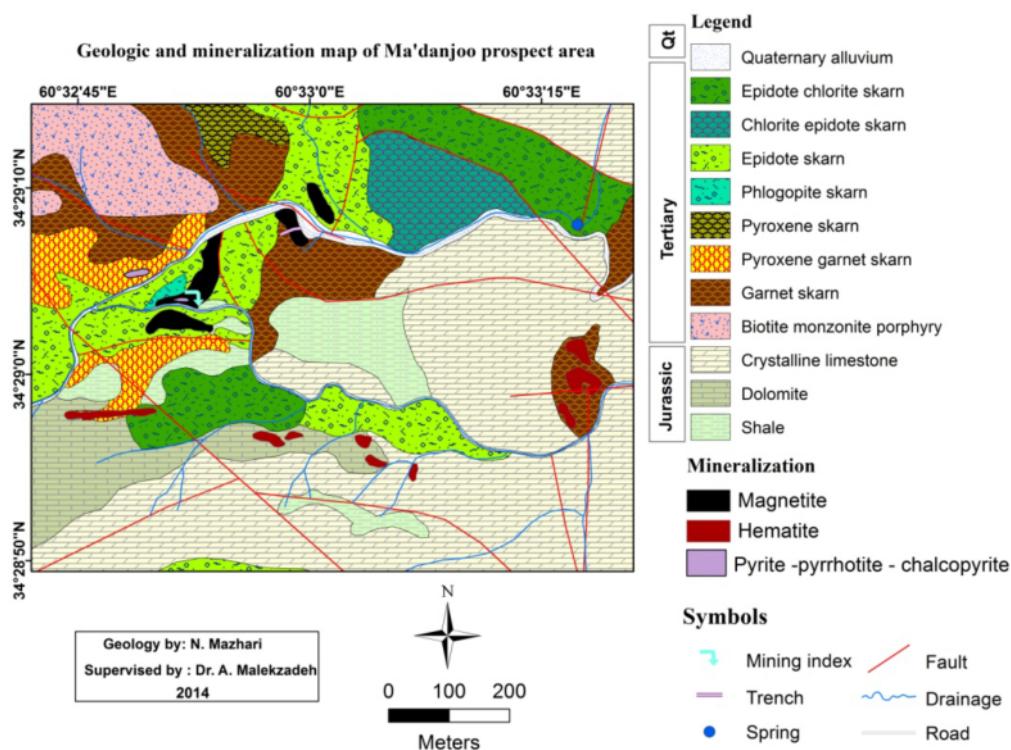
که در نهایت، ۶۰ مقطع نازک-صیقلی و ۴۰ مقطع نازک-صیقلی و ۳۰ مقطع بلوك صیقلی از توده‌ی نفوذی، سنگ‌های آهکی مرمری و دولومیتی، واحدهای اسکارنی و کانه‌زایی برای بررسی‌های سنگ نگاری، کانی‌شناختی و کانی‌سازی تهیه شدند. از مجموع مقاطع نازک صیقلی و بلوك صیقلی، تعداد ۱۰ مقطع و ۳۷ نقطه به منظور بررسی ریزپردازشی 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 پادشاهی 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)، کالکوپیریت (Fe)، پریکلاز (Mg)، ولستونیت (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 جزیی از کمریند آتشفسانی- پلوتونیکی خواف-کاشمر-بردسکن معرفی کردند. این کمریند با گسترش شرقی-غربی و خمیدگی به سوی شمال، در شمال گسل درونه (گسل بزرگ کویر) واقع شده و بیشتر از سنگ‌های آتشفسانی اسیدی تا حدواسط و گاهی مافیک با سن ترشیری تشکیل شده است. این سنگ‌ها بیشتر ترکیب داسیتی و آندزیتی داشته و توده‌های گرانیت‌وئیدی با ترکیب از گرانیت، گرانووپوریت و دیوریت در آن‌ها نفوذ کرده‌اند (شکل ۱).

قدیمی‌ترین سازندهای موجود در منطقه‌ی معدن سنگان عبارتند از چرت، شیل‌های سیلیسی، سیلستون و آهک بلوین. مجموعه‌ی بزرگی از سنگ‌های آتشفسانی در منطقه شامل داسیت، ریوداسیت، تراکیت، پیروکلاستهای آندزیتی و سنگ‌های ولکانوکلاستیک هستند که مربوط به فعالیت آتشفسانی 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 بلوین یافته می‌شوند [۵]. سن سنگ‌های کربناتی به ژوراسیک فوقانی و کرتاسه

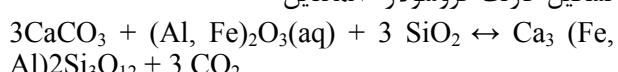


شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی- کانی‌سازی منطقه‌ی پی جویی معدن‌جو.

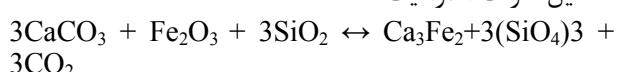
خالص به مرمر و ناخالص به دولومیت می‌شود. این مرحله با کانی‌سازی، همراه نخواهد بود و فقط زمینه‌سازی صورت می‌گیرد [۸]. در منطقه‌ی مورد بررسی، مرمرها و دولومیت‌های حاصل از دگرگونی ایزوشیمیایی، بستر مناسبی برای مراحل بعدی دگرگونی هستند.

در مرحله دوم، دگرنهادی و تشکیل اسکارن با آزاد شدن شاره‌های ماقمایی آغاز می‌شود [۹]. این شاره‌های ماقمایی غنی از آهن و سیلیسیسم با دمای بالا (حدود ۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد)، باعث دگرنهادی پیش‌رونده می‌شوند. در منطقه‌ی سانتری گراد، کانی‌های آهکی سیلیکاتی بی‌آب با ترکیب گارنت و معدن‌جو، کانی‌های آهکی 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]:

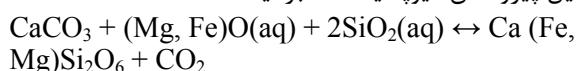
تشکیل گارنت گروسولار-آلمندین



تشکیل گارنت آندرادیت



تشکیل پیروکسن دیوپسید- هدنبرگیت



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

کانی‌شناسی زون‌های اسکارن

مهم‌ترین رخداد در منطقه‌ی معدن‌جو، 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 پسرونده آن‌ها (از جمله کلریت، کلسیت و کوارتز) هستند که در حجم گستردگی از سنگ‌های کربناتی تشکیل می‌شوند. کانی‌شناسی منطقه‌های اسکارن مستقیماً از ترکیب سنگ میزبان آهکی پیروی می‌کند، به‌طوری‌که ترکیب اسکارن در سنگ‌های آهکی دولومیتی منیزمه است که با حضور فلوگوپیت در منطقه توجیه می‌شود. علاوه بر این، عواملی چون گریزندگی اکسیژن و گوگرد، غلظت دی‌اکسید کربن در آب، وجود کلر، فلوئور و دیگر عنصرگازی 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 آهکی

Mineral	Stage		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 منطقه‌ی پی جویی معدن جو.

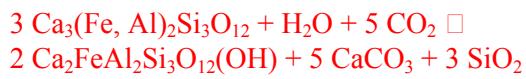
رگه‌ها و رگچه‌های تأخیری کلسیت و به ندرت کوارتز در منطقه به چشم می‌خورد. روابط پاراژنتیکی کانی‌ها در منطقه‌ی مورد بررسی، در **شکل ۴** آورده شده‌اند.

منطقه‌ی گارنت اسکارن: این منطقه در غرب، شرق و مرکز گستره پی جویی معدن جو قابل مشاهده است (**شکل ۳**). گارنت‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه دیده می‌شوند و اندازه‌ی درشت‌ترین بلورها به ۵/۵ 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 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 پسروندۀ عموماً از حاشیه و شکستگی‌ها در حال تبدیل به پیروکسن و اکتینولیت هستند که درصد تبدیل به ۲۰ درصد ترمولیت و اکتینولیت هستند که درصد تبدیل به ۲۰ درصد می‌رسد.

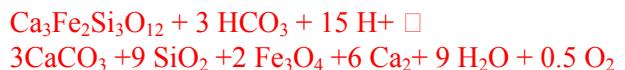
منطقه‌ی پیروکسن گارنت اسکارن: این منطقه در غرب گستره‌ی پی جویی قابل مشاهده است (**شکل ۳**). میزان گارنت در این منطقه به ۴۰ و میزان پیروکسن به ۲۵ درصد می‌رسد.

مرحله‌ی آخر که به مرحله‌ی پسروندۀ معروف است؛ کانی‌های تشکیل شده در مرحله‌ی پیش‌روندۀ 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 کانه‌ای مگنتیت و تشکیل کانی‌های سولفیدی مانند پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت و به مقدار جزئی ملینیکوپیت و پیرولوزیت و اکسیدهای ثانویه هماتیت، گوتیت و مقداری پسیلوملان در منطقه‌ی پی جویی، مربوط به این مرحله است. بعضی واکنش‌های احتمالی به این صورت پیش خواهد رفت [۱۰]:

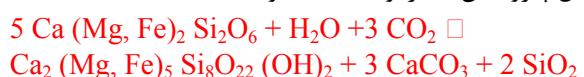
تبدیل گارنت به اپیدوت:

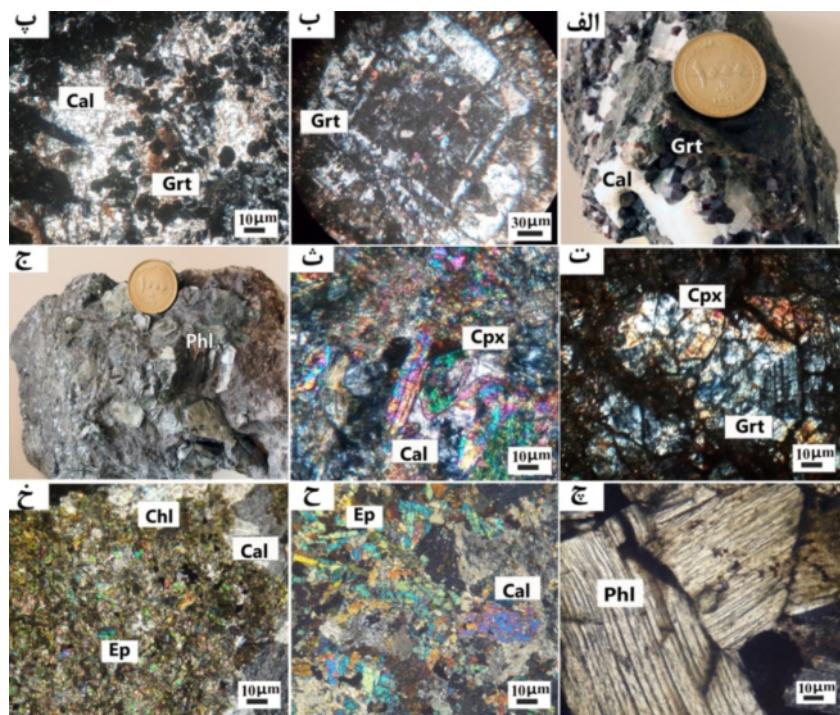


تبدیل گارنت به مجموعه کلسیت، کوارتز و مگنتیت:



تبدیل پیروکسن به ترمولیت- اکتینولیت:





شکل ۵ تصاویر نمونه‌های دستی و میکروسکوپی (XPL) منطقه‌ی پی جویی معدن‌جو. 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 به صورت ادخال در گارنت تشکیل شده‌اند که نشان‌دهنده‌ی رشد همزمان این دو کانی یا بلور 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 و کلریت در زمینه‌ی مرمری و دولومیتی (منطقه‌ی کلریت-اپیدوت اسکارن). Grt: گارنت، Cal: کلسیت، Cpx: کلینوپیروکسن، Phl: فلوگوپیت، 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 سرنشی‌های 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-ج).

اپیدوت اسکارن: این منطقه دارای گسترش نسبتاً زیادیست 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 به صورت بلورهای ریز بی‌شکل تا نیمه‌شکل دارند که اندازه‌ی آنها به ۰/۵ میلی‌متر می‌رسد. پیروکسن‌ها گاهی به صورت ادخال در گارنت تشکیل شده‌اند (۵ تا ۱۰ درصد) که نشان‌دهنده رشد همزمان این دو کانی یا بلور زودتر کلینوپیروکسن است (شکل ۵-ت). کلسیت، فراوان‌ترین کانی تشکیل‌دهنده‌ی زمینه است (۲۰-۲۵ درصد) و کلریت، اپیدوت، ترمولیت، اکتینولیت، پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، پیروولوزیت، 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 سنگ‌نگاری، 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 فیزیکوشیمیایی است. گرمابها طی مراحل بعدی دگرنهادی، از آهن فقیر و از آلومینیم غنی‌تر می‌شوند. بنابراین، حاشیه‌ی آندرادیت به گروسولار تغییر ترکیب می‌دهد. فقیرشدنگی 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 ۰/۷ 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 پیرو (دامنه‌ی تغییرات از صفر تا ۰/۲۳ درصد) مشخص می‌شود که غلبه با گارنت آندرادیتی است (شکل ۷ و جدول ۱).

منطقه، اپیدوت فراوان ترین سیلیکات آهکی آبدار است و میزان آن به ۴۰ درصد می‌رسد. در این منطقه، سیلیکات‌های آهکی بی‌آب به مجموعه‌ی اپیدوت، کلریت، ترمولیت، اکتینولیت، کوارتز، کلسیت (مجموعاً ۱۰ درصد به جز اپیدوت) و مگنتیت (۴۰ درصد) تبدیل و کانی‌های گدر 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 گدر 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 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 ۰/۰۶ 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-پ) و همراه با کانه‌زایی ثانویه همایت مشاهده می‌شوند.

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

نمونه wt.%	۱ هسته	۱ حاشیه	۴ هسته	۴ حاشیه	۶ هسته	۶ حاشیه	۸ هسته	۸ حاشیه
SiO₂	۳۹,۰۵	۳۸,۳	۳۷,۷۸	۳۹,۷۲	۳۹,۱۴	۳۹,۴۲	۳۹,۵۸	۳۸,۸۲
TiO₂	۰,۴۷	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۴۴	۰,۴۲	۰,۵۵	۱,۶۷
Al₂O₃	۷,۴۷	۰,۱۳	۰,۳۶	۸,۴۳	۷,۶۴	۹,۲۹	۸,۸	۷,۴۸
Cr₂O₃	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	۳۲,۱۲	۳۲,۱۵	۳۲,۸۵	۳۲,۵۵	۳۲,۹۲
Na₂O	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۵	۰	۰	۰
K₂O	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
اسپیسارتین	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

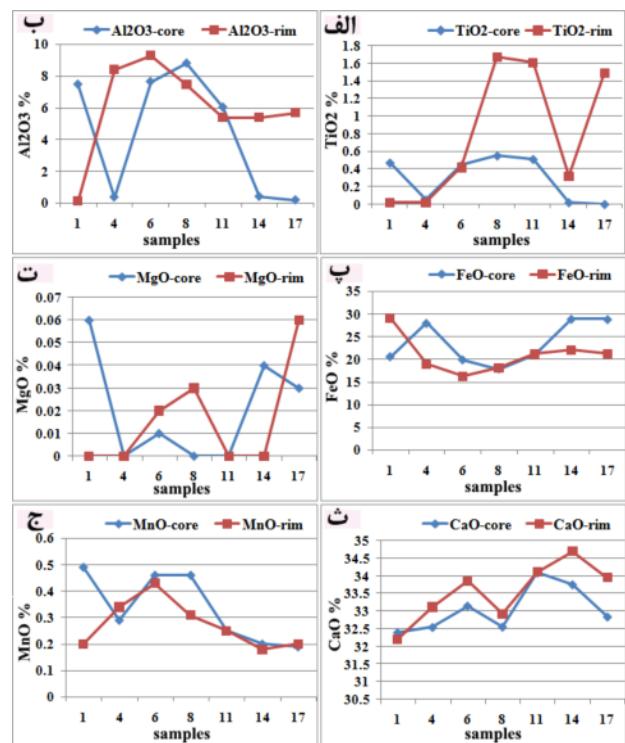
جدول ۲ نتایج آنالیز ریز پردازشی الکترونی گارنت‌های همسانگرد در مرکز و حاشیه بلور منطقه پی‌جویی معدن جو.

نمونه wt.%	۱۱ هسته	۱۱ حاشیه	۱۴ هسته	۱۴ حاشیه	۱۷ هسته	۱۷ حاشیه
SiO₂	۳۷,۴۳	۳۷,۱۳	۳۵,۹	۳۶,۶۲	۳۶,۷۴	۳۷,۴۳
TiO₂	۰,۵۱	۱,۶۱	۰,۰۲	۰,۳۲	۰	۱,۴۹
Al₂O₃	۶,۰۳	۵,۴۱	۰,۴	۵,۴	۰,۱۸	۵,۶۸
Cr₂O₃	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
Na₂O	۰	۰,۰۴	۰	۰	۰,۰۱	۰,۰۵
K₂O	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
اسپیسارتین	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

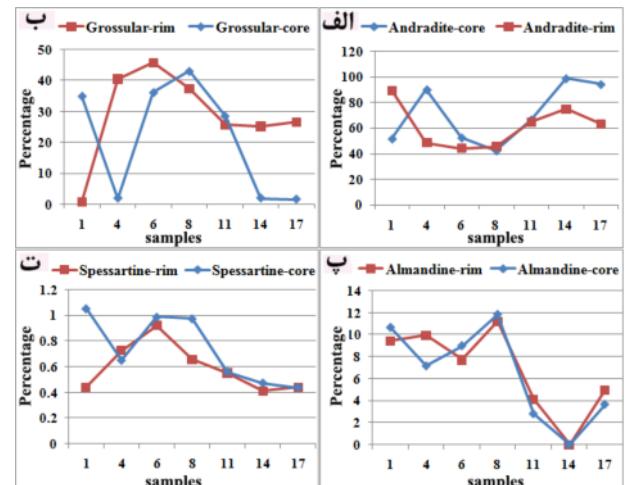
حاشیه از آندرادیت به گروسولار و برعکس تحت تأثیر مشارکت Al^{3+} و Fe^{3+} است. حرکت عناصری مانند Al و Ti در سیستم گرمابی بسیار ضعیف است [۱۴] و وجود این عناصر در ترکیب گارنت‌ها بهویژه در حاشیه می‌تواند ناشی از انحلال و تراوش از سنگ میزان رسوی حین واکنش‌های دگرگونی باشد. همچنین تغییرات Fe^{3+} را می‌توان به فرآیندهای جوششی، افزایش یا کاهش گریزندگی اکسیژن و تغییرات نسبت $\text{a Al}^{2+}/\text{a Fe}^{3+}$ حین واکنش‌های تعادلی با سنگ دیواره توجیه کرد [۱۲]. ترکیب گارنت‌های منطقه‌ی پی جویی معدن جو در مثلث آندرادیت، گروسولار، آلماندین+اسپسارتین (شکل ۸-الف) آورده و با ترکیب گارنت‌های معدن اسکارن آهن دنیا مقایسه شده است [۸، ۱۵]. گارنت‌های معدن جو 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 معدن جو نسبت به گارنت‌های دیگر معدن اسکارن آهن، تنها در میزان آلماندین متفاوت است که در نمونه‌های معدن جو 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 ۰/۰۳ تا ۱۱/۷ درصد، اکسید آلومینینیم 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 ۳۷/۸ تا ۶۹/۵ درصد متغیر است که دامنه‌ی نوسانات گستردده است. مقدار اکسید منگنز بسیار کم و زیر ۰/۳ درصد است (جدول ۳). در بررسی‌های میکروسکوپی و ریزکاو الکترونی، هیچ آثاری از منطقه‌بندی و تغییرات نوسانی در بلورهای پیروکسن مشاهده نمی‌شود. تغییرات ترکیب پیروکسن‌ها در مثلث هدنبرگیت، دیوپسید، ژوهانسیت با ترکیب پیروکسن‌های معدن اسکارن آهن دنیا مقایسه شده است (شکل ۸-ب) [۸، ۱۵]. پیروکسن‌های معدن جو در گستره‌ی ترکیب پیروکسن‌های معدن 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 کلینوپیروکسن 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 آلومینینیم. پ: تغییرات اکسید آهن. ت: تغییرات اکسید منیزیم. ث: تغییرات اکسید کلسیم. ج: تغییرات اکسید منگنر.

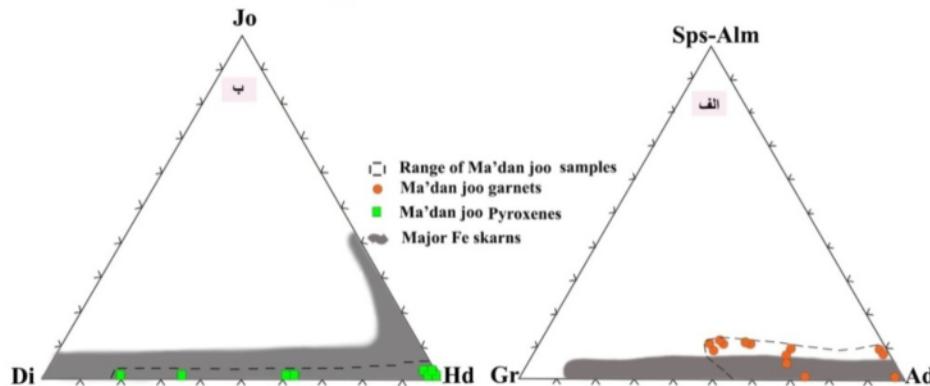


شکل ۷ تغییرات ترکیب گارنت‌ها در مرکز و حاشیه. الف: تغییرات ترکیب آندرادیتی. ب: تغییرات ترکیب گروسولاری. پ: تغییرات ترکیب آلماندینی. ت: تغییرات ترکیب اسپسارتینی.

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

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

نمونه wt.%	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
<chem>SiO2</chem>	۳۸.۹۶	۶۹.۴۷	۶۸.۰۴	۵۴.۳۹	۳۹.۷۶	۶۹.۵۴	۳۹.۵۸	۳۷.۸۸
<chem>TiO2</chem>	۰.۰۱	۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۸	۰	۰.۰۷	۰
<chem>Al2O3</chem>	۲۴.۶۷	۲۰.۲۷	۲۰.۲۱	۰.۷۵	۲۶.۱۶	۲۰.۲	۲۵.۲۲	۲۴.۳۳
<chem>Cr2O3</chem>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
<chem>FeO</chem>	۱۱.۷۸	۰.۳۴	۰.۲۵	۶.۹	۹.۰۵	۰.۰۳	۱۰.۵۳	۱۰.۴۱
<chem>NiO</chem>	۰	۰.۰۱	۰	۰.۰۲	۰	۰	۰	۰
<chem>MnO</chem>	۰.۰۸	۰	۰	۰.۳۱	۰.۰۲	۰	۰.۰۲	۰.۰۴
<chem>MgO</chem>	۰	۰.۱۲	۰.۰۸	۱۵.۸۴	۰.۰۵	۰.۰۳	۰	۰.۲۳
<chem>CaO</chem>	۲۳.۷۸	۰.۶۱	۰.۶۲	۲۲.۲۳	۲۴.۲۱	۰.۵۳	۲۴.۲۵	۲۲.۵۹
<chem>Na2O</chem>	۰.۰۲	۸.۷۹	۱۱.۲۱	۰.۱۷	۰	۹.۶۷	۰	۰.۰۲
<chem>K2O</chem>	۰.۰۲	۰.۱۵	۰.۱۱	۰.۰۶	۰	۰.۰۷	۰.۰۱	۰
Total	۹۹.۳۲	۹۹.۷۶	۱۰۰.۵۳	۱۰۰.۶۷	۹۹.۳۳	۱۰۰.۱۵	۹۹.۷۳	۹۵.۵
عضاوهای انتهایی								
هندنبرگیت	۹۸.۵۱	۶۱.۳۸	۶۳۶۸	۱۹.۴۶	۹۸.۸۱	۳۵.۹۴	۹۹.۸۱	۹۵.۸۵
دوبوسید	۰	۳۸.۶۲	۲۶.۳۲	۷۹.۶۵	۰.۹۷	۶۴.۰۶	۰	۳۷۸
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 معادن اسکارن آهن دنیا [۱۵، ۱۶].

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.

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 ملیکوویت، پیرولوژیت و اسپکیولاریت، کانی‌های اولیه و پسیلوملان و هماتیت کانی‌های ثانویه هستند (شکل ۹). کانی‌سازی در این منطقه به صورت 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 مارتیتی‌زاویون قرار گرفته و به هماتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۹-الف و ب).

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

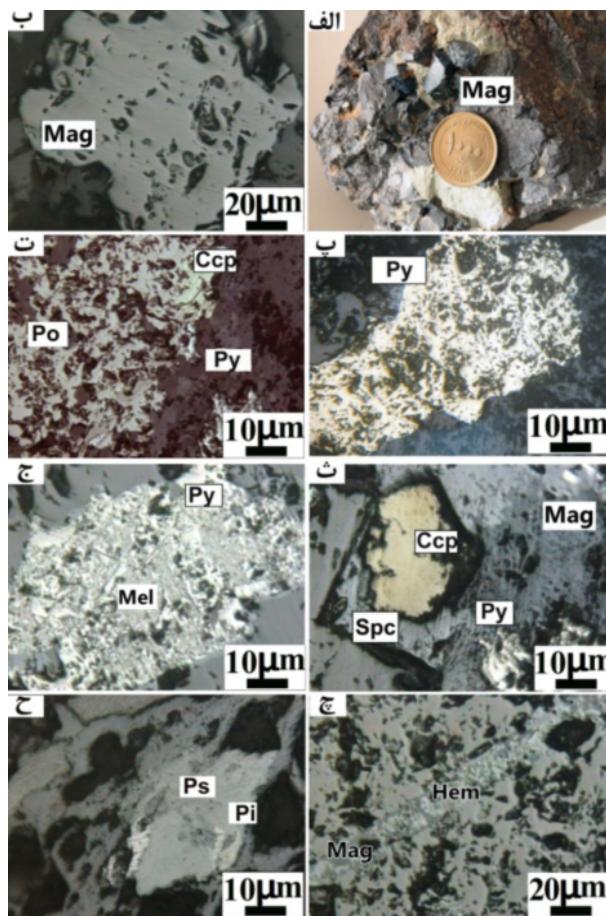
اسپیکیولاریت: اسپیکیولاریت به میزان بسیار کم (در حدود ۵ درصد) با چشم مسلح در منطقه قابل مشاهده است و همراه با مگنتیت و پیریت است (شکل ۹-ث).

پیرولوژیت: 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 به طور 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 همه جا همراه است و با پیریت، مگنتیت و کالکوپیریت یافت می‌شود. بافت جانشینی در سنگ، کربناتی و گاه توده‌های 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 به صورت 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 ۹-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 بی جوبی معدن جو. الف: مگنتیت‌های شکل دار در نمونه‌ی دستی. ب: تصویر میکروسکوپی مگنتیت‌های شکل دار. پ: بلورهای بزرگ، خودشکل و فاقد نابهنجاری 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 (اسپیکیولاریت) دیده می‌شوند. ج: بلورهای ملنیکوویت در حال متبلور شدن و تبدیل به پیریت. ج: تبدیل مگنتیت به هماتیت و تشکیل بافت مارتیتی. ح: بلور پیرولوژیت در حال تبدیل به پسیلوملان در طی فرآیندهای ثانویه. Mag: مگنتیت، Py: پیریت، Po: پیروتیت، Ccp: کالکوپیریت، Spc: اسپیکیولاریت، Mel: ملنیکوویت، Ps: پیرولوژیت، Pi: پسیلوملان [۱۱].

جدایش بالاتری در عناصر کالکوفیل مانند Ag , As , Cu , Pb و Mn 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 Ti , Mg , Al , V علاوه 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 کبات 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 حداقل 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 به‌جای Fe^{3+} و یا Fe^{2+} , علاوه بر جadasازی انواع مگنتیت‌های ماقمایی و گرمایی، می‌توان برای شناسایی انواع مختلف کانسراهای آهن یاری گرفت. داپیوس و بیادون [۱۹] از تغییرات در میزان عناصر Ca , Cr , V و Ni و نیز عناصر Al و Mn برای جدایش انواع گرماب‌ها و ماقمایی مگنتیت و نیز نوع کانی‌سازی وابسته به آنها استفاده کردند. این جدایش و تعریف با استفاده از نسبت‌های $\text{Ni}/(\text{Cr}+\text{Mn})$ نسبت به $\text{Ti}+\text{V}$ و $\text{Ca}+\text{Al}+\text{Mn}$ نسبت به $\text{Ti}+\text{V}$ برای نمونه‌های مربوط به معادن مهم دنیا (در هر نوع کانی‌سازی به طور متوسط ۶ معدن و ۲۰ نمونه) صورت گرفت. انواع کانی‌سازی‌ها شامل اکسید آهن-مس-طلاء، اسکارن، پورفیری، کایرونا، آهن‌های نواری و انواع $\text{Fe}+\text{Ti}$ 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 پیرولوژیت به وجود می‌آید. کانی مورد بحث همه‌جا همراه با اکسیدهای ثانویه آهن حضور دارد و نشان می‌دهد که محصول محلول‌های شرکت‌کننده بروزنزاد هستند (شکل ۹-ح).

شیمی کانی مگنتیت

مگنتیت، یک ردیاب پتروژنتیکی مهم است و دارای کاربردهای گسترده در بررسی‌های مربوط به پی جویی کانیهای است [۱۷]. به‌دلیل ساختار اسپینلی مگنتیت، بسیاری از عناصر از جمله Al , Mg , Ti , V , Cr , Mn , Co , Ni , Zn و یا Fe^{2+} شوند [۱۸]. تغییرات شیمی عناصر مگنتیت بر حسب اینکه کانی حاصل تبلور از ماقما (مگنتیت ماقمایی) 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 شاره‌سنگ، 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 حين 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].

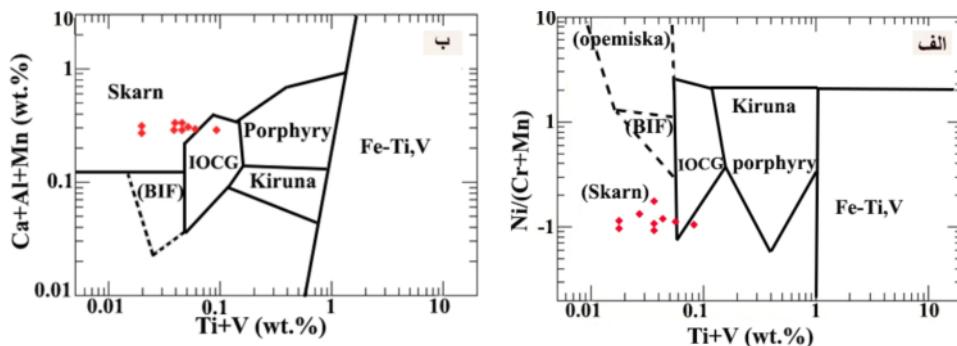
اسکارن‌های منیزیمی با میزان Co و Ti کم شناخته می‌شوند و تنها ده درصد مگنتیت‌های گرمایی بیش از یک درصد وزنی Ti دارند. V و Ni آنها زیر حد آشکارسازی و میزان Mn هم از انواع دیگر اسکارن‌ها کمتر بوده، ولی میزان Mg در همه‌ی انواع اسکارن‌ها متوسط است. مشارکت Mn و Mn مستقیماً در اثر گریزندگی اکسیژن کنترل می‌شود و میزان Zn در نمونه رابطه‌ی مستقیمی با Co و Cr در میزان Mg در مگنتیت‌های آذرین بالاتر و میزان 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، سنجنگاری 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 $\text{Ni}/(\text{Cr}+\text{Mn})$ نسبت به $\text{Ti}+\text{V}$ (شکل ۱۰-الف) و نمودارهای $\text{Ca}+\text{Al}+\text{Mn}$ نسبت به $\text{Ti}+\text{V}$ (شکل ۱۰-ب) حاکی از آن

جدول ۴ نتایج بررسی ریزکاوالکترونی 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	۰,۱۲	۰	۰,۰۱	۰,۰۱	-	-	-	-	-	۰	۰,۰۱	۰,۰۱
Al_2O_3	۰,۱	۰,۰۲	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۱	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۴
Cr_2O_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۰,۰۱
FeO	۸۸,۶۶	۸۹,۷۶	۸۷,۷۷	۹۰,۳۸	۸۹,۹۴	۹۱,۴۲	۹۰,۷۷	۸۹,۰	۱۸۴,۳۷	۹۱,۵	۹۰,۸۵	۹۱,۱۶
NiO	-	۰,۰۱	۰,۰۲	-	-	-	-	-	-	-	۰,۰۱	-
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	-	۰,۰۱	۰,۰۲	-	-	-	-	-	-	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱
CuO	-	۰,۰۳	-	۰,۰۵	-	۰,۰۲	۰,۰۳	-	۰,۰۱	۰,۰۱	-	۰,۰۳
ZnO	-	۰,۰۵	-	۰,۰۲	-	۰,۰۲	۰,۰۱	-	-	۰,۰۲	-	۰,۰۲
CoO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na_2O	-	-	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۳	-	۰,۰۱	-	۰,۰۳	۰,۰۸	۰,۰۵	-
Ag_2O	-	۰,۰۲	-	۰,۰۲	۰,۰۳	-	۰,۰۱	-	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۱	-
Au_2O_3	-	-	۰,۰۳	۰,۰۱	-	-	-	-	-	-	-	۰,۰۸
V_2O_3	۰,۰۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As_2O_3	-	-	-	-	۰,۰۱	۰,۰۴	-	۰,۰۱	-	-	-	-
Sb_2O_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۰,۰۲
Bi_2O_3	-	۰,۲۶	-	-	-	-	-	-	-	-	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 قرارگیری نمونه‌های منطقه‌ی پی جویی معدن جو در نمودارهای تعیین نوع مگنتیت (گرمایی و ماقمایی) و نوع کانسار [۱۸]. الف: نسبت $\text{Ni}/(\text{Cr}+\text{Mn})$ نسبت به $\text{Ti}+\text{V}$. ب: نسبت $\text{Ca}+\text{Al}+\text{Mn}$ نسبت به $\text{Ti}+\text{V}$.

مگنتیت‌های اسکارن‌های منیزیمی با میزان Co و Ti کم شناخته شده‌اند که اکسید کبالت در همه نمونه‌های معدن جو صفر است و بیشترین مقدار اکسید تیتانیم نیز به $0\text{,}08$ 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 حداقلتر به $0\text{,}02$ درصد می‌رسد و میزان اکسید وانادیم صفر است. میزان Mn کانسارهای اسکارن منیزیمی نیز از انواع دیگر اسکارن‌ها ($4\text{--}40$ درصد) کمتر است. مقدار اکسید منگنز در نمونه‌های معدن جو به $0\text{,}1$ 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 منیزیمی تبدیل می‌شود، به طوری که یکی از بیهنجاری‌های غربی (C شمالی) و بیهنجاری‌های مرکزی (باغک و دردوی) ترکیب منیزیمی دارند [۱۱]. در منطقه‌ی باغک و C شمالی، پاراژنر کانه‌سازی دوگانه مگنتیت شامل دولومیت، کلینوکلر، فورستریت، آمفیبول و فلوگوپیت است و بیشترین مقدار سولفید (به ترتیب $13\text{,}7$ و $2\text{,}77$ درصد وزنی) و بیشترین حضور کانی‌های سولفیدی پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت و آرسنپیریت در این دو منطقه یافت می‌شوند. کانی‌سازی دوگانه مگنتیت در دردوی، فلوگوپیت، آندرادیت و کربنات است و دارای کمترین مقدار گوگرد (بیشترین مقدار $1\text{,}5$ درصد وزنی) و فسفر (صفر) بین بیهنجاری‌های غربی و مرکزی است. همچنین منطقه‌ی اندوسکارن بین این سه منطقه وجود ندارد [۱۶, ۱۳]. با توجه به نکات یاد شده، اسکارن منیزیمی معدن جو بی‌شباهت به دیگر بیهنجاری‌های اسکارن منیزیمی معدن سنگان نیست. از حضور فلوگوپیت‌های درشت‌دانه، پایین بودن میزان گوگرد، رخداد سیلیکات‌های آهکی بی‌آب اپیدوت و ترمولیت، کانی‌زایی دوگانه و سنگ میزان دلومیتی، 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، به طوری که ترکیب پیروکسن‌ها در گستره دردوی دیوپسیدی است [۱۱] و در این منطقه هدبیرگیتی تا $69\text{,}77$ هدبیرگیتی- دیوپسیدی است. عیار آهن در معدن جو به

برداشت

در منطقه‌ی پی جویی معدن جو، سنگ‌های کربناتی دستخوش دگرگونی ایزوشیمیایی شده و به مرمر و دولومیت تبدیل شده‌اند و هرجا که شاره‌های ماقمایی 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، سیلیکات‌آبدار آهکی و کانی‌زایی 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 پسروندی دگرنهادی هستند، با بافت توده‌ای و به صورت چینه‌سان در سنگ‌های میزان 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 زمین‌ساختی (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 ریاب 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 اندوسکارن وجود ندارد، در حالی که 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 هدبیرگیتی و در بعضی نمونه‌ها هدبیرگیتی- دیوپسیدی است؛ به طوری که مقدار هدبیرگیت از 19 تا $98\text{,}5$ درصد و دیوپسید از صفر تا $79\text{,}6$ درصد در تغییر است. تغییرات ترکیب پیروکسن‌ها به سمت دیوپسید، رخداد منطقه‌ی فلوگوپیت اسکارن و کانی‌زایی مگنتیت در آن، حضور ترمولیت در فازهای پسروند، وجود مگنتیت‌های غنی از منیزیم (تا $1\text{,}83$ درصد) و غیبت منطقه‌ی اندوسکارن، نشان می‌دهد که اسکارن آهن معدن جو از نوع منیزیمی است.

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., Khodolnoc 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، در حالی که بیشترین مقدار در باغک ۶۱/۲٪ درصد وزنی است [1]. مقدار گوگرد نیز در باغک بالاتر از معدن جو (۰/۰۵٪ درصد وزنی) بوده و به ۱/۵٪ درصد وزنی می‌رسد.

قدرتانی

این مقاله مربوط به طرح شماره ۳، به شماره 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 جانب آقای مهندس گل محمدی قدردانی می‌شود. نویسندها مرتب سپاس و قدردانی خود را از سازمان توسعه و نوسازی معدن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) بهدلیل حمایت مالی از این طرح، همچنین مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران و جانب آقای مهندس قلیزاده، کارشناس محترم آزمایشگاه کانی‌شناسی به خاطر آنالیزهای دقیق و سریع ایشان به جا 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 Sangān iron skarn deposit, northeastern Iran*”, Ore Geology Reviews 65(2) (2015) 545-563.

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

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

[4] کریمپور م.ح، ملکزاده شفارودی الف، مقایسه ژئوشیمی سنگ منشاء توده مگنتیت طلادر تنورجه و مگنتیت بدون طلای معدن سنگان، استان خراسان رضوی، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱ (۱۳۸۵) ۲۶-۳.

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

[6] کریمپور م.ح، ملکزاده شفارودی الف، ژئوشیمی-کانی‌شناسی زونهای اسکارنی و پترولوری سنگ منشاء کانسار