

کانی شناسی توده‌ی آهنی منطقه‌ی حاج الیاس در شمال باختری نهبندان، خاور ایران

محمدحسین زرین کوب^{۱*}، پوریا کتابی^۱، محمد شیوا^۲، محسن عسگری^۳

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- گروه معدن، دانشکده فنی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳- شرکت حدید سنگ پویا، بیرجند، ایران.

(دریافت مقاله: ۸۹/۲/۲۲، نسخه نهایی: ۸۹/۴/۲۶)

چکیده: بر اساس مشاهدات صحرایی، داده‌های مغناطیسی و آنالیزهای شیمیایی در منطقه‌ی حاج الیاس واقع در شمال باختری نهبندان، یک توده‌ی آهنی در درون سنگ آهک‌های دولومیتی کرتاسه زیرین شناسایی شد. نفوذ یک توده‌ی دیوریت پورفیری آهن‌دار به درون سنگ‌های کربناتی باعث کانی‌زایی آهن در این منطقه شده است. بررسی حدود ۷۵۰ متر مغزه‌های به‌دست آمده از ۷ گمانه‌ی پی‌جویی در منطقه، نشان داد که کانی‌زایی در مرز تماس توده‌ی دیوریتی با سنگ آهک‌های دولومیتی رخ داده است. مگنتیت، هماتیت و لیمونیت کانه‌های این زون هستند. پلاژیوکلاز، کوارتز، کلسیت، دولومیت، گارنت، کلینوپیروکسن، هورنبلند، تورمالین، هرسینیت، سرپانتین، اپیدوت، پیریت، اسفالریت و کالکوپیریت باطله‌های این زون را می‌سازند. گارنت بیشتر ترکیب آندرادیتی دارد. مگنتیت در درون شکستگی‌ها به هماتیت و لیمونیت دگرسان شده است. میانگین عیار آهن در زون کانه‌دار، ۷۰ درصد است. عیار مس و روی خیلی پایین است. بر اساس داده‌های کانی‌شناسی، کانی‌زایی در حاج الیاس با اسکارن نوع کلسیمی-منیزیمی همراه است.

واژه‌های کلیدی: اسکارن کلسیمی؛ منیزیمی؛ آهن؛ حاج الیاس؛ خاور ایران.

مقدمه

های ماگمایی انجام می‌شود، ولی در مراحل پس‌رونده این عمل می‌تواند به‌وسیله‌ی آب‌های جوی نیز صورت می‌گیرد [۶]. گستره‌ی مورد بررسی در خاور ایران و جنوب استان خراسان جنوبی، در فاصله‌ی ۱۸۰ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان بیرجند، در شمال غربی نهبندان و در گستره‌ی جغرافیایی $31^{\circ}52'00''$ - $31^{\circ}50'30''$ عرض شمالی و $59^{\circ}19'30''$ - $59^{\circ}17'00''$ طول خاوری در شمال باختری روستای دهنو در جوار مزار حاج الیاس جای دارد (شکل ۱). دسترسی به ناحیه از طریق جاده‌ی آسفالتی بیرجند- معدن قلعه زری امکان‌پذیر است. این جاده شمال باختری ناحیه را از طریق روستای بصیران به بیرجند وصل می‌کند. وجود آثار

اسکارن‌ها به‌عنوان یکی از شناخته شده‌ترین ذخایر اقتصادی تنگستن، قلع، مس، مولیبدن، سرب، روی، آهن و تقریباً به عنوان منابعی برای طلا، کبالت، نقره، بیسموت، برلیوم، فلورور، بر و عناصر نادر خاکی محسوب می‌شوند [۱-۴] در حالت کلی تشکیل اسکارن‌ها در سیستم‌های باز و در محیط‌های متفاوت گرمایی، ماگمایی تا چشمه‌های آبگرم صورت می‌گیرد. آبگون-های دخیل در تشکیل اسکارن از آبگون‌های دگرگون تا ماگما و جوی متغیر است [۵]. ذخیره‌های اسکارن به صورت شاخص، نشان دهنده‌ی مراحل پیش‌رونده و پس‌رونده‌ی دگرگونی هستند [۱]. گرچه فرایند اسکارنی شدن پیش‌رونده به‌وسیله‌ی آبگون-

* نویسنده مسئول، تلفن - نامبر: ۲۵۰۲۰۴۱ (۰۵۶۱)، پست الکترونیکی: zarrinkoub@yahoo.com

نفوذی، سنگ میزبان، زون کانی سازی شده.

- رنگ آمیزی سنگ های کربناتی میزبان برای شناسایی کلسیت و دولومیت.

- تجزیه ی ۱۰ نمونه از زون کانه دار به روش XRF در Acme کانادا.

- آنالیز کیفی یک نمونه از گارنت های زون کانه دار به روش XRD برای تعیین نوع گارنت در دانشگاه بیرجند.

زمین شناسی منطقه

منطقه ی مورد بررسی در مرز خاوری ایالت ساختاری لوت [۷] و در گستره ی نقشه ی زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بصیران [۸] قرار می گیرد.

قدیمی ترین واحد سنگی موجود در این منطقه، شیل و ماسه سنگ های ژوراسیک اند، که با سنگ های کربناتی کرتاسه-ی زیرین پوشانده شده اند. سنگ کربناتی با توده های شبه آتشفشانی کوارتز دیوریت پورفیری - دیوریت پورفیری وابسته به ترشیری قطع شده اند [۹]، و یک زون کانه دار را در جوار مزار حاج الیاس به وجود آورده اند (شکل ۲). جوان ترین واحد موجود در منطقه رسوب های وابسته به نئوژن است.

معدن کاری قدیمی در درون سنگ های کربناتی، وجود دایک-های دیوریت پورفیری در درون سنگ های کربناتی کانی زایی شده، باعث شد تا این منطقه ی به عنوان یک منطقه دارای پتانسیل معدنی، مورد بررسی قرار گیرد. هدف از این پژوهش، کانی شناسی سنگ رسوبی، توده ی نیمه عمیق نافذ، توده ی معدنی، عیارسنجی و بررسی گسترش کانی زایی در عمق بوده است.

روش انجام کار

کارهای انجام شده در این پژوهش عبارتند از:

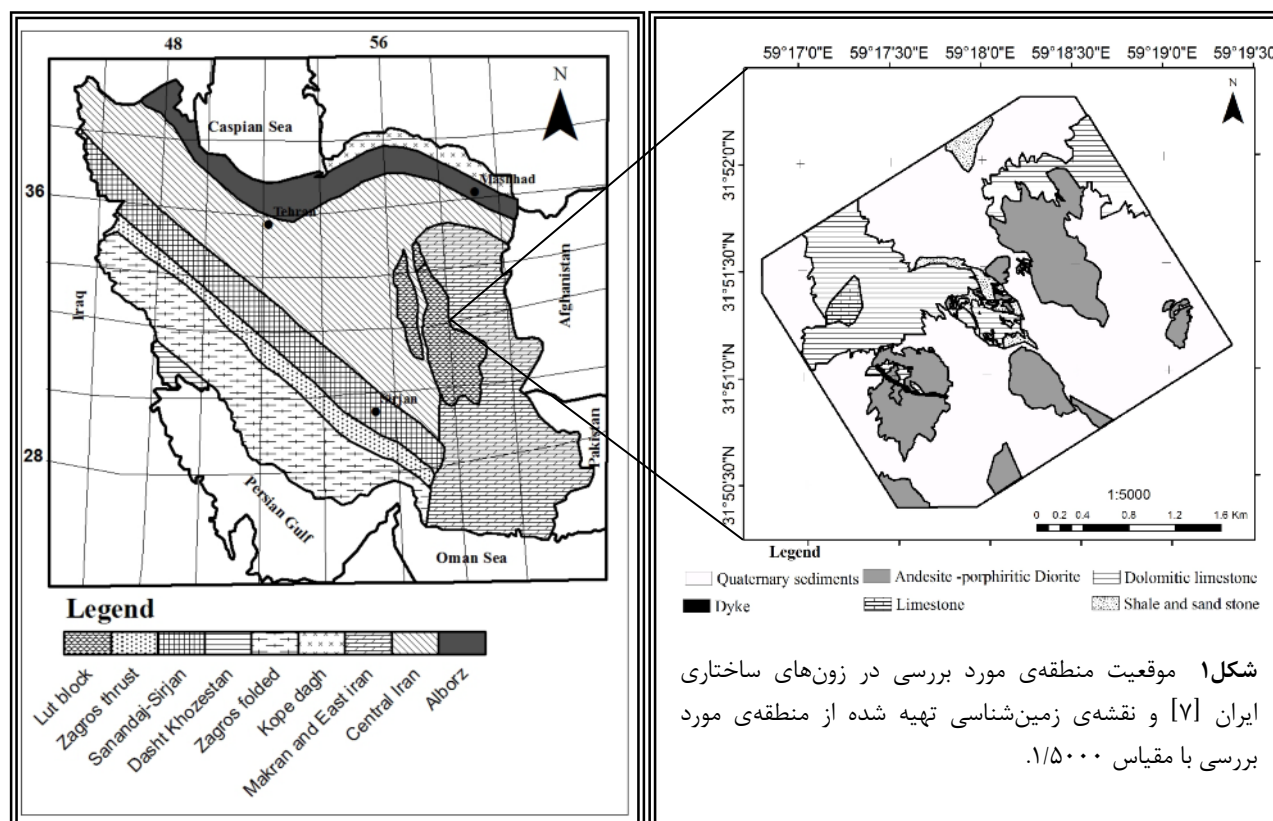
- پی جوئی های ژئوفیزیکی به روش مغناطیس سنجی به منظور معرفی مناطق امید بخش به گستردگی ۱ کیلومتر مربع.

- حفاری در منطقه با توجه به شناسایی مناطق امید بخش با روش مغناطیس سنجی در ۷ گمانه ی پی جویی و در مجموع در حدود ۷۵۰ متر.

- بررسی مغزه های حاصل از حفاری.

- تهیه ی نقشه ی زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰ با نرم افزار Arc GIS.

- بررسی های سنگ شناسی و کانی شناسی ۴۰ نمونه از توده ی



شکل ۱ موقعیت منطقه ی مورد بررسی در زون های ساختاری ایران [۷] و نقشه ی زمین شناسی تهیه شده از منطقه ی مورد بررسی با مقیاس ۱/۵۰۰۰.

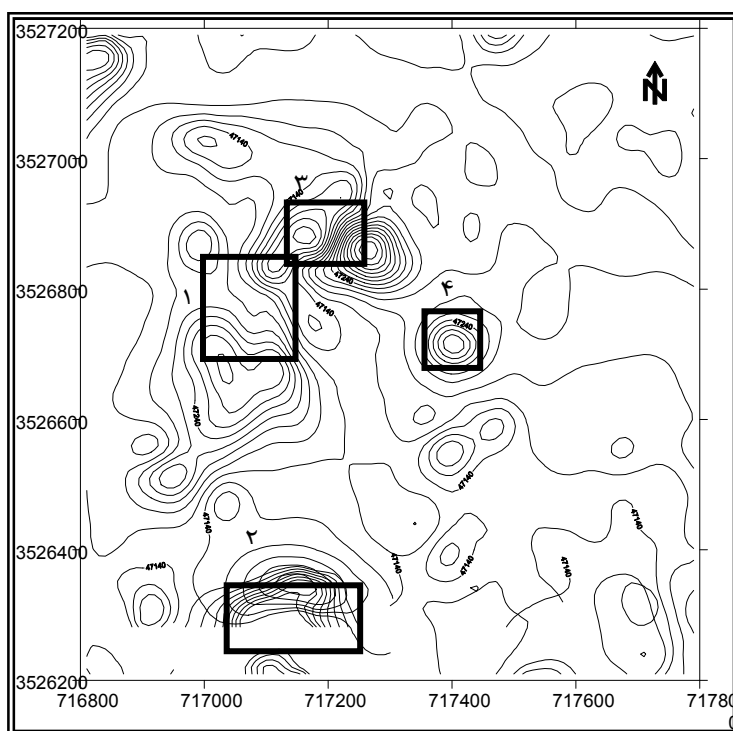


شکل ۲ نفوذ دایک کوارتز دیوریت پورفیری در سنگ آهک‌های دولومیتی و ایجاد زون آهن‌دار در منطقه‌ی حاج الیاس، نگاه به سمت شمال.

ژئوفیزیک (مغناطیس‌سنجی) در منطقه‌ی مورد بررسی حاج الیاس

پیمایش مغناطیس‌سنجی منطقه‌ی حاج الیاس به منظور بررسی موقعیت و گسترش بی‌هنجاری‌های حاصل از وجود نهشته‌های مغناطیسی انجام شده است. این پیمایش با یک دستگاه ژئوتریکس پروتونی (G826-G816) و در ناحیه‌ای به

گسترده‌ی حدود ۱ کیلومترمربع، با شبکه‌بندی منظم، از سوی شرکت مهندسین مشاور تهران پادیر صورت گرفته است. توپوگرافی ناحیه از ۱۵۳۰ متر تا ۱۷۴۰ متر بالای سطح تراز دریا (در حدود ۲۱۰ متر) تغییر می‌کند. گمانه‌های اکتشافی در منطقه‌ی حاج الیاس، بر مبنای نتایج مغناطیس‌سنجی تعیین و مورد حفاری قرار گرفتند (شکل ۳).



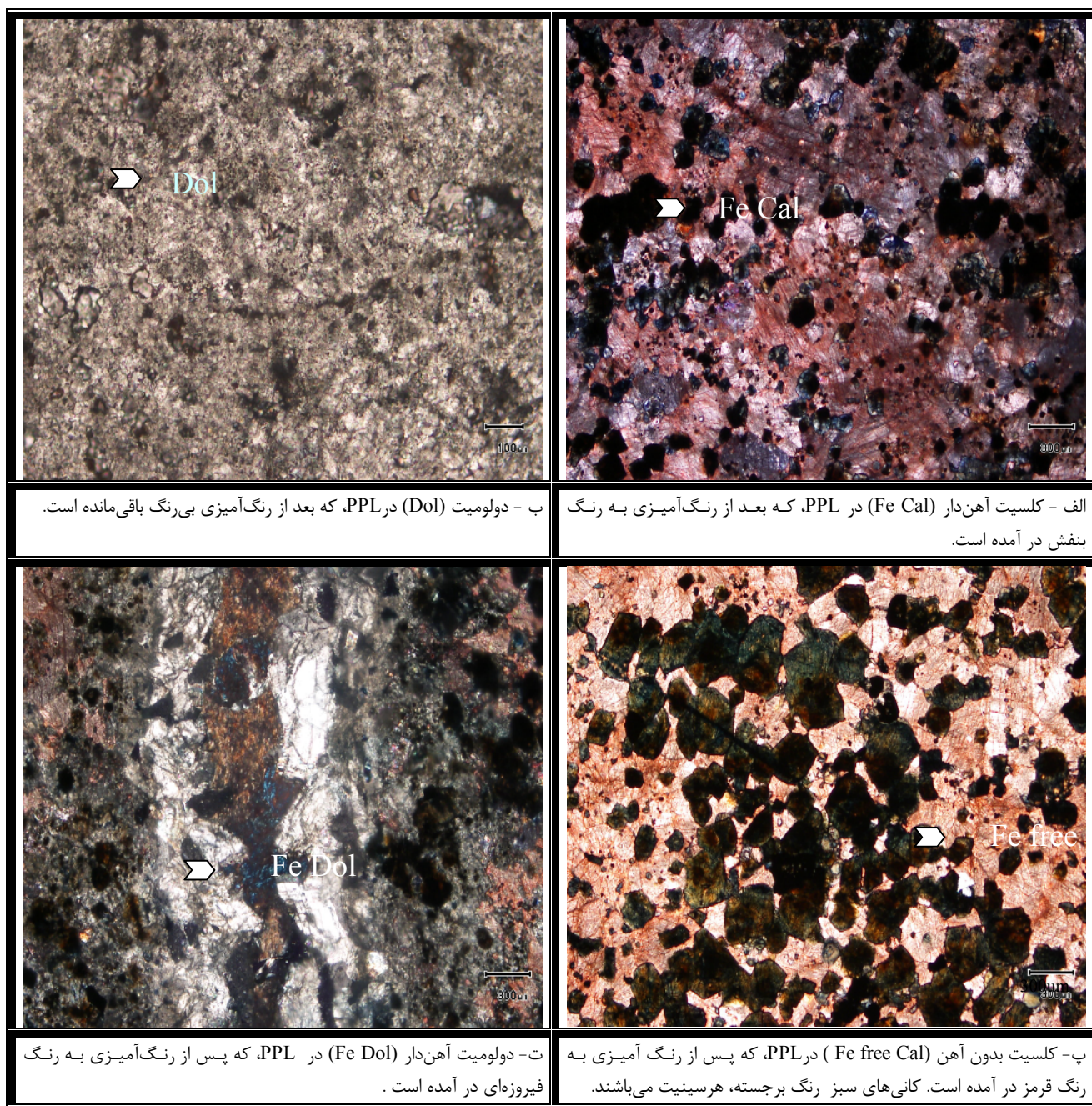
شکل ۳ نقشه‌ی شدت میدان مغناطیسی منطقه‌ی مورد بررسی حاج الیاس و نمایش گستره‌های پیشنهادی برای حفر گمانه‌های پی‌جویی، که به ترتیب اولویت با شماره ۱ تا ۴ نشان داده شده‌اند.

بحث و بررسی

معرفی سنگ میزبان

بر اساس نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰، پی‌جوئی‌های صحرایی و بررسی مغزه‌های حاصل از حفاری و مقاطع نازک، سنگ میزبان توده‌ی آهنی حاج الیاس، سنگ کربناتی است. برای تشخیص کلسیت از دولومیت، مقاطع نازک کربناتی، رنگ آمیزی (Staining technique) شدند. سنگ‌های کربناتی

وابسته به زون کانه‌دار واقع در اطراف توده‌ی نفوذی از سطح به عمق، دولومیت (شکل ۴-الف)، کلسیت آهن‌دار (شکل ۴-ب) و کلسیت بدون آهن (شکل ۴-پ) تشخیص داده شدند. در روش رنگ‌آمیزی، دولومیت بدون آهن بی‌رنگ، دولومیت آهن‌دار به رنگ فیروزه‌ای (شکل ۴-ت)، کلسیت بدون آهن به رنگ قرمز و کلسیت آهن‌دار به رنگ بنفش مشخص می‌شود [۱۰].



شکل ۴ نتایج حاصل از رنگ‌آمیزی مقاطع نازک سنگ‌های کربناتی برای تعیین میزان کلسیت و دولومیت در سنگ میزبان توده‌ی نفوذی.

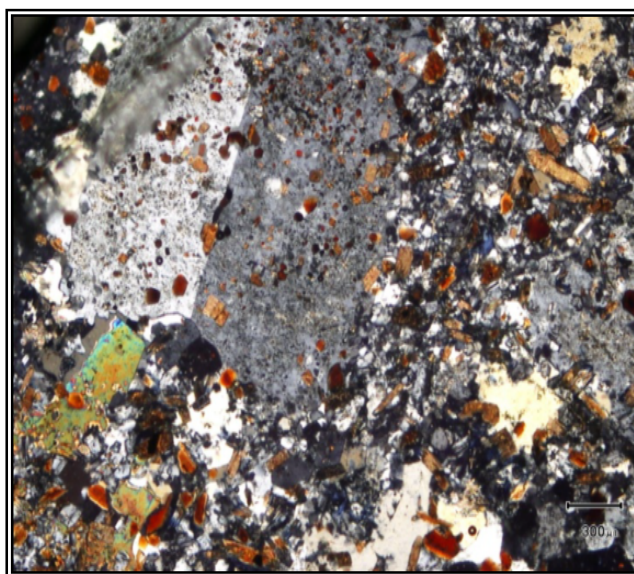
توده‌ی نفوذی

بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناسی حاصل از ۴۰ مقطع نازک تهیه شده از دایک‌ها و نمونه‌های به‌دست آمده از مغزه‌های حفاری، توده‌ی نفوذی، دیوریت پورفیری تا کوارتز دیوریت پورفیری است. بافت مهم این توده‌ی پورفیری با زمینه‌ی ریز دانه‌ای و پویی کیلیتیک (شکل ۵) است. پلاژیوکلاز، هورنبلند و کوارتز کانی‌های مهم آن را تشکیل می‌دهند. پلاژیوکلازها با ساختار منطقه‌بندی می‌تواند بیانگر افت سریع فشار و تغییرات ترمودینامیکی محیط تبلور باشد [۱۱] و بیشتر به اپیدوت و به‌میزان کمتر به کلسیت، کلریت و سرسیت دگرسان شده‌اند. بیوتیت نیز به‌عنوان محصولی از دگرسانی آمفیبول‌ها مشاهده می‌شود. اسفن و تورمالین از جمله کانی‌های فرعی این سنگ‌ها هستند. اپیدوت معمولاً به‌عنوان کانی باطله با اسکارن‌های دگرنهاده، به ویژه در مرز تماس با ذخیره انباشته می‌شود [۱۲]. در این سنگ‌ها متداول است. تغییر در اندازه‌ی دانه‌ها و تنوع بافتی این سنگ‌ها نشان می‌دهد که توده‌ی نفوذی منطقه در عمق‌های متفاوت (کم تا متوسط) جایگزین شده است [۱۳].

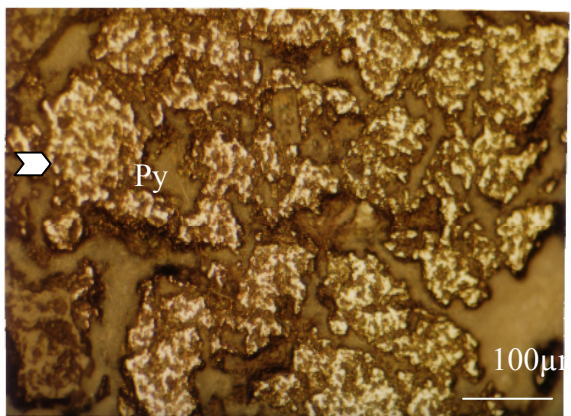
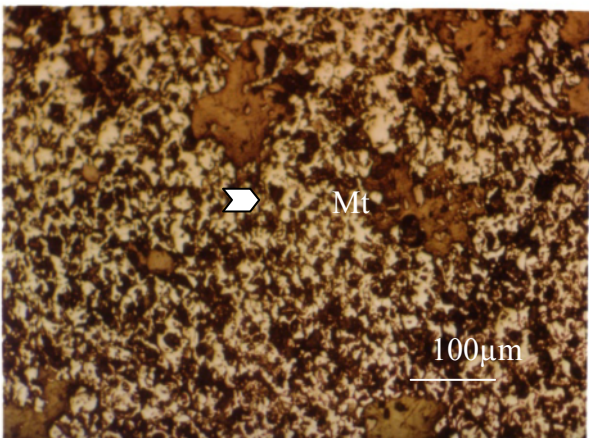
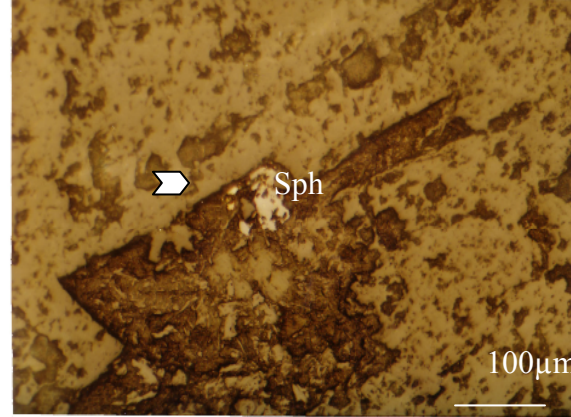
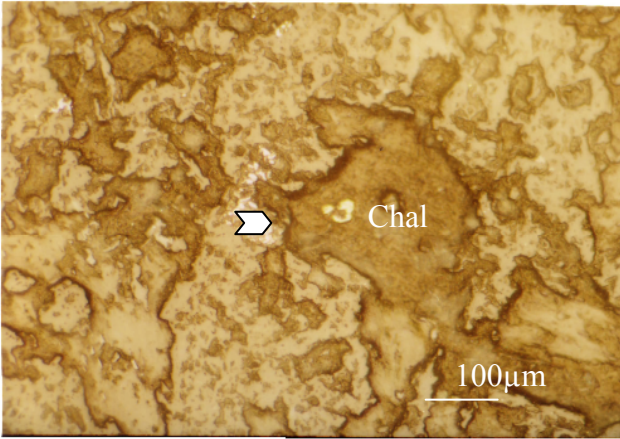
کانه‌زایی

مگنتیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی در زون کانهدار حاج الیاس محسوب می‌شود که در اثر هوازدگی سطحی طی فرایند مارتیتی شدن در طول شکستگی‌ها، به هماتیت و لیمونیت تبدیل شده است. کانی‌های فلزی زون کانهدار را مگنتیت (شکل ۶- الف)، هماتیت، لیمونیت، پیریت (شکل ۶- ب) و کالکوپریت (شکل ۶- پ)، و به مقدار خیلی کم، اسفالریت

(شکل ۶- ت) می‌سازند. پلاژیوکلاز، کوارتز، کلسیت، دولومیت، گارنت، کلینوپیروکسن، هورنبلند، تورمالین، هرسینیت، سرپانتین و اپیدوت از جمله کانی‌های مهم غیر فلزی در توده‌ی معدنی هستند. گارنت به‌عنوان یک کانی شاخص اسکارن‌ها در سنگ میزبان فراوان است که با تجزیه‌ی شیمیایی به‌روش XRD از نوع آندرادیتی تشخیص داده شد، و گارنت آندرادیتی ویژه‌ی اسکارن‌های آهن و مس‌دار تعیین شده است [۱۴]. با توجه به قرارگیری ماده‌ی معدنی در سنگ کربناتی میزبان توده‌ی آذرین، این کانی‌زایی در رده‌ی اگزواسکارن‌ها قرار می‌گیرد. عیار آهن در زون کانهدار با تجزیه‌ی شیمیایی به روش XRF حدود ۷۰ درصد تعیین شده است. عیار مس در حد عادی ولی عیار روی حالت غیر عادی دارد و به ۴۰۸ گرم در تن می‌رسد. بررسی حدود ۷۵۰ متر از مغزه‌های به‌دست آمده از ۷ گمانه پی‌جویی در منطقه، نشان داد که کانی‌زایی در مرز تماس توده‌ی کوارتز دیوریت پورفیری با سنگ آهک‌های دولومیتی رخ داده است. آثار کانه‌زایی در سطح نیز دیده می‌شود. عمیق‌ترین گمانه‌ی پی‌جویی حفر شده در منطقه تا عمق ۲۱۵ متری ادامه یافته است. دو گمانه ۵ و ۶ و در مرز بین کوارتز دیوریت پورفیری و سنگ کربناتی به‌ترتیب در عمق‌های ۱۰/۴۰ و ۲۴/۵۰ متری به زون کانهدار برخورد کرده‌اند. ضخامت زون آهن‌دار در گمانه‌ی شماره ۵ برابر سه متر و در گمانه‌ی شماره ۶ چهار متر است. نتایج حاصل از گمانه‌های پی‌جویی نشان می‌دهد که کانه‌زایی در اعماق کم رخ داده و دارای گسترش چشمگیری نیست.



شکل ۵ بافت پوئیکلیتیک و پورفیری با زمینه‌ی ریزدانه‌ای در کوارتز دیوریت پورفیری در XPL.

	
ب - پیریت (Py) متداول ترین سولفید در زون کانه دار و درون توده-ی نفوذی حاج الیاس است (PPL).	الف- مگنتیت (Mt) به عنوان کانی اکسیدی اصلی در زون کانه دار حاج الیاس (PPL).
	
ت- اسفالریت (Sph) به مقدار خیلی جزئی در زون کانه دار حاج الیاس مشاهده می شود (PPL).	پ- کالکوپیریت (Chal) به مقدار خیلی جزئی در زون کانه دار حاج الیاس مشاهده می شود (PPL).

شکل ۶ مگنتیت به عنوان متداول ترین اکسید، و پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت سولفیدهای موجود در مقاطع صیقلی به زون کانه دار منطقه ی مورد بررسی هستند.

واکنش ها و مجموعه کانی های تشکیل شده در اسکارنها به طور طبیعی به ویژگی های سنگ های مورد هجوم قرار گرفته، ترکیب آبگون های دگرنهاد کننده، فشار کل و رژیم دمایی مربوط می شوند [۱۵]. بررسی های میکروسکوپی زون های مختلف اسکارن در منطقه ی مورد بررسی نشان می دهد که

پیریت فراوان ترین کانی سولفیدی در زون کانه دار است. کالکوپیریت به مقدار بسیار اندک همراه با مگنتیت و پیریت مشاهده می شود. بلورهای کالکوپیریت دارای شکل مشخصی نیستند و بیشتر به صورت پرکننده ی فضای خالی در حاشیه ی مگنتیت و پیریت حضور دارند.

مقادیری از ولاستونیت که در برش‌های نازک قابل مشاهده باشد، حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است و غالباً در مرمرهای نزدیک به محل تماس با توده‌ی نفوذی، از طریق واکنش مرمر با شاره‌های غنی از آب ماگمایی تولید می‌شود [۱۷]. نبود ولاستونیت در اسکارن می‌تواند ناشی از نسبت پایین SiO_2 به Fe_2O_3 (کمتر از ۳) باشد [۱۸].

۲- مرحله‌ی پسروده: که خود به دو مرحله قابل تفکیک است: الف) مرحله‌ی پسروده‌ی پیشین: سیلیکات‌های کلسیمی بدون آب تشکیل شده در مرحله‌ی قبلی، به مجموعه‌ای از کانی‌های اکسیدی مثل مگنتیت و هماتیت (شکل ۷-ب)، سیلیکاتی کلسیمی آبدار مانند اپیدوت (شکل ۷-پ)، سولفیدی همچون پیریت و کالکوپیریت و کربناتی مانند کلسیت تبدیل می‌شوند که نشان از آغاز مرحله‌ی کانی‌سازی در طی این فرایند است. احتمالاً افزایش محلی گریزندگی اکسیژن نقش مهمی در شکل‌گیری اپیدوت‌ها داشته است [۱۹-۲۱]. عواملی از قبیل کاهش دما، واکنش اکسایشی و احیا در برخی از زون‌ها و یا خنثی شدن گرمایی‌ها (در تماس با سنگ کربناتی) تشکیل همبافت‌های کلوئیدی در اثر واکنش گرماب با سنگ‌های کربناتی، امکان ترکیب یون‌های فلزی آزاد شده با H_2S را فراهم می‌سازد و سبب ته‌نشست کانی‌های سولفیدی می‌شود [۲۲].

ب) مرحله‌ی پسروده پسین: که مجموعه‌ی کانی‌های تشکیل شده در مراحل پیشین، تحت تاثیر گرمایی‌ها کم دما به مجموعه‌ای از کانی‌های ریز دانه مانند کلریت، تالک، سرپانتین (شکل ۷-ت)، کلسیت، کوارتز و کانی رسی تبدیل شده‌اند.

بررسی شرایط فیزیکوشیمیایی اسکارن منطقه‌ی حاج الیاس
کانی‌های شکل‌گرفته در مراحل مختلف کانی‌زایی اسکارن حاج الیاس در چهار گروه سیلیکاتی، اکسیدی، کربناتی و سولفیدی قرار می‌گیرند. از آنجایی که بیشتر کانی‌ها بررسی شده در منطقه، در سیستم Ca-Fe-Si-O-H-C قرار می‌گیرند می‌توان با احتیاط از نمودار $\log f\text{O}_2\text{-T}$ در فشار ۵۰۰ بار و $\text{XCO}_2 = 0.1$ [۱۶] که گستره پایداری کانی‌های اسکارنی را نشان می‌دهد برای تعیین شرایط ژئوشیمیایی احتمالی برای تشکیل اسکارن حاج الیاس استفاده کرد.

آندرا دیت در محیط‌های اسکارنی معمولاً در دمای ۳۰۰ تا ۵۲۰ درجه و $\text{XCO}_2 = 0.1\text{-}0.6$ پایدار است [۲۳، ۱۶] و در خارج از این شرایط، آندرا دیت به کوارتز، کلسیت، مگنتیت

مراحل تکامل اسکارن که به موازات جایگزینی و تبلور کوارتز دیوریت پورفیری در منطقه حادث شده، شامل دو مرحله‌ی پیشرونده و پسروده است، که هرکدام با مجموعه‌های پاراژنری و بافت‌های شاخص هر مرحله مشخص می‌شوند. این مراحل به ترتیب زمان تشکیل عبارتند از:

۱- مرحله‌ی پیشرونده: که خود به دو مرحله قابل تفکیک است:

الف) دگرگونی مجاورتی: که در اثر صعود ماگما به بخش‌های بالایی پوسته رخ داده و سنگ آهک‌های موجود در منطقه‌ی را دولومیتی و متبلور کرده است. در این مرحله‌ی دگرگونی، کانسارسازی ایجاد نمی‌شود ولی می‌تواند نقش زمینه‌سازی را ایفا کند [۱].

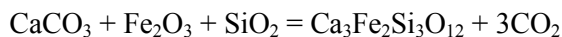
ب) مرحله‌ی تشکیل اسکارن: آماده شدن زمینه در مرحله‌ی دگرگونی مجاورتی، بستر مناسبی را برای نهشت مجموعه کانی‌های سیلیکاتی کلسیمی بدون آب از جمله گارنت آندرا دیتی، پیروکسن (هیدنبرژیت) و اسپینل (هرسینیت) در زون اسکارنی حاج الیاس فراهم کرده است. با ادامه‌ی تبلور ماگما، افزایش فشار حاصل از آبگون‌های ماگمایی آزاد شده، باعث بروز شکستگی‌هایی در درون سنگ‌های کربناتی مجاور می‌شود که می‌تواند معابری برای حرکت سریعتر شاره‌ها و زمینه‌ای برای اختلاط آن‌ها با آب‌های جوی فراهم کند. در مراحل دگرگونی، شاره‌ای حاوی Fe ، Si ، Mg با چابکی بالا و حالت نسبتاً اکسند باعث واکنش‌های کربن‌زدایی و گسترش سیلیکات‌های کلسیمی غنی از آهن بدون آب می‌شوند [۱۶] و آندرا دیت که یکی از سیلیکات‌های کلسیمی بدون آب اصلی در بیشتر ذخایر اسکارن آهن است در این راستا تشکیل می‌شود. در منطقه‌ی حاج الیاس پیروکسن نیز همراه با گارنت در زون‌های اسکارنی به‌عنوان یک کانی سیلیکات کلسیم بدون آب در مرحله‌ی پیشرونده اسکارن‌زایی تشکیل شده است. روابط پاراژنری و عدم مشاهده بافت‌های جانشینی، حاکی از رشد همزمان پیروکسن و گارنت در این زون است (شکل ۷-الف).

در بررسی‌های میکروسکوپی و صحرایی حضور ولاستونیت محرز نشد و به‌نظر می‌رسد که شرایط لازم برای ایجاد این کانی فراهم نشده است. مهم‌ترین واکنش تشکیل ولاستونیت در اسکارن‌ها به‌صورت زیر است:

$$\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$$

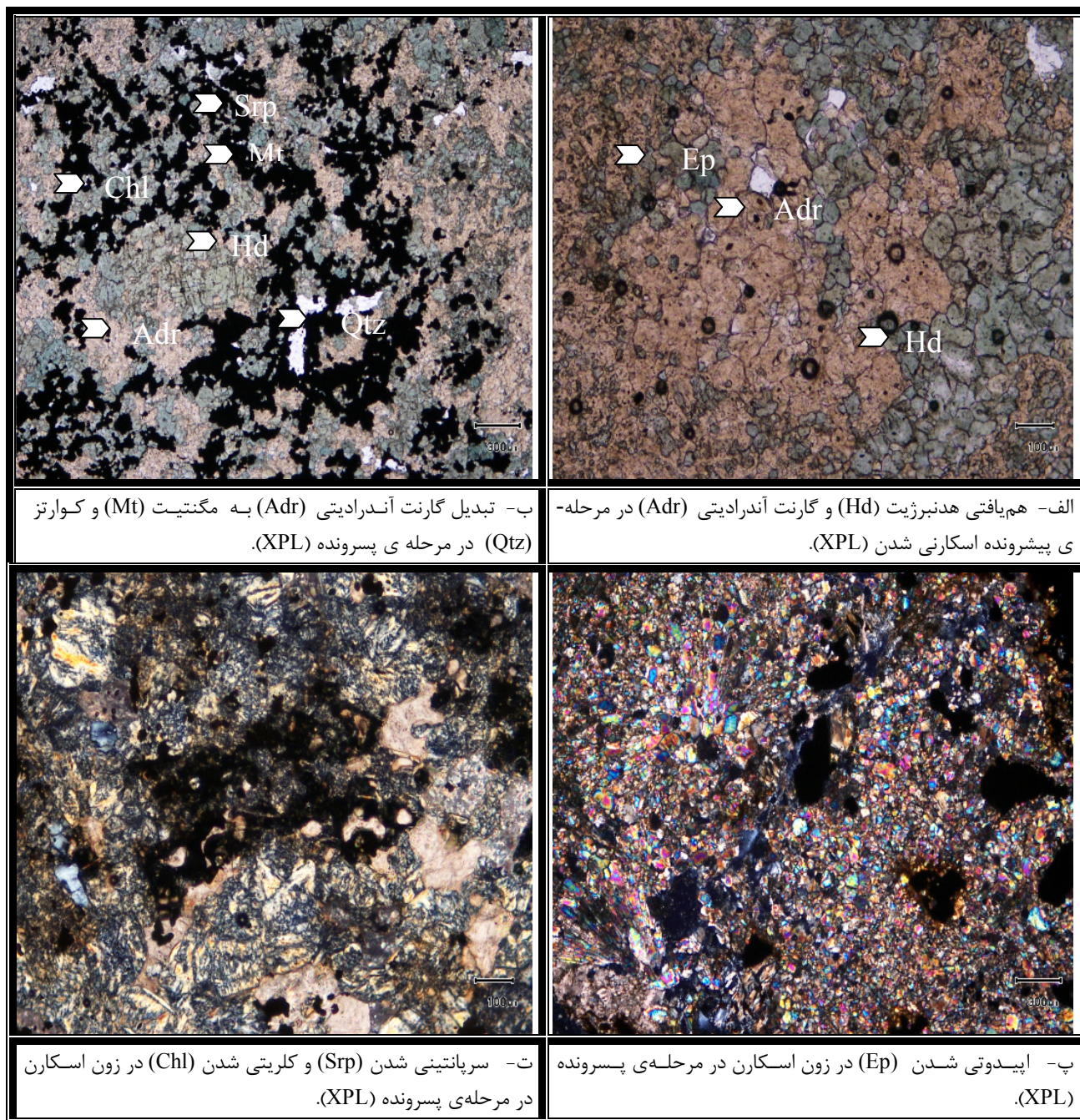
این واکنش هنگامی روی می‌دهد که فاز شاره‌ی غنی از CO_2 ، به‌وسیله‌ی آب رقیق شده باشد. دمای لازم برای تشکیل

نیز این ادعا را تایید می‌کند.

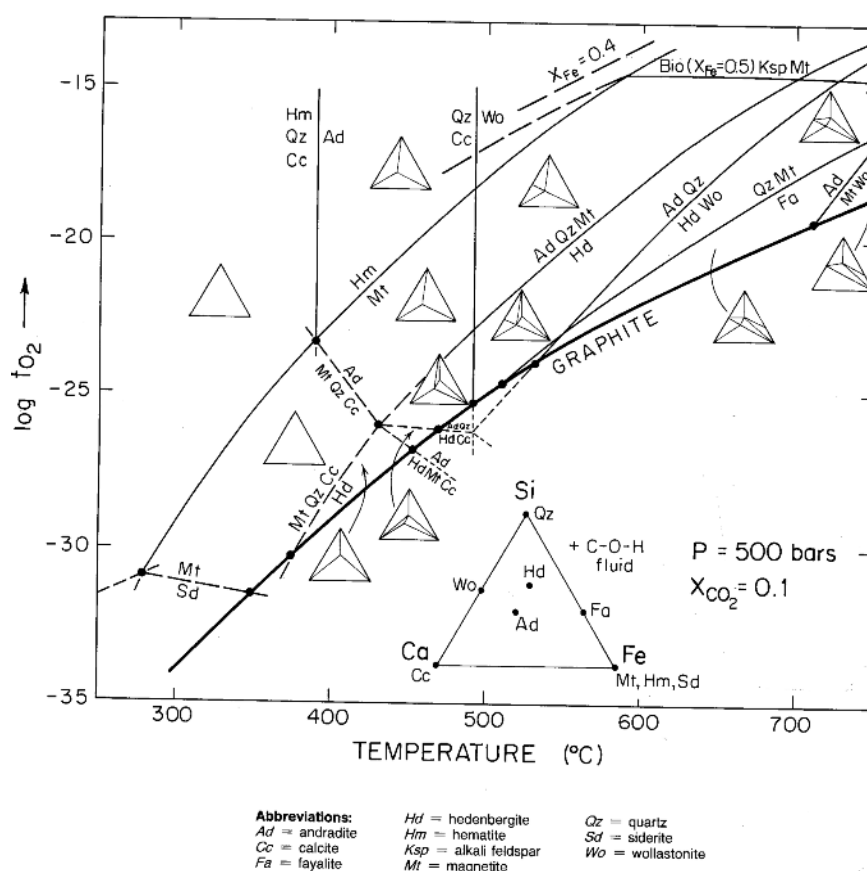


اسکارن‌های آهن تاکنون توسط افراد بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است [۲۴-۲۶] و بیشتر برای آهن مورد توجه بوده‌اند، ولی در موارد خاص برای مواد جانبی از جمله Cu, Co, Ni اهمیت دارند. عیار مواد جانبی در منطقه‌ی مورد بررسی قابل توجه نیست.

تجزیه می‌شود. نبود ولاستونیت در اسکارن‌های این منطقه دلیلی بر تشکیل آن در دمای کمتر از ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد است (شکل ۸). اسکارن‌زایی در مرحله‌ی پیشرونده با اضافه شدن Fe_2O_3 و SiO_2 به سنگ آهک و تشکیل گارنت آندرادییتی همراه بوده است. وجود گارنت آندرادییتی، اپیدوت و عدم حضور پیرویت حاکی از آن است که این اسکارن در شرایط اکسایشی شکل گرفته است. [۱۸] برخورد به زون آهن-دار در اعماق کم در گمانه‌های پی جویی منطقه‌ی حاج الیاس



شکل ۷ کانی‌شناسی زون اسکارن در مراحل پیشرونده و پسرونده در منطقه‌ی حاج الیاس.



شکل ۸ با توجه به نمودار $\text{Log } f\text{O}_2$ نسبت به دما، [۱۳]، حضور آندرایت و عدم حضور ولاستونیت در اسکارن منطقه‌ی حاج الیاس، احتمالاً اسکارنی شدن در دمای کمتر از ۵۵۰ درجه رخ داده است.

برداشت

تشکیل می‌دهند. کانی‌سازی آهن در زون گارنت-پیروکسن رخ داده است. با توجه به حضور آندرایت که در محیط‌های اسکارنی در دمای ۳۰۰ تا ۵۲۰ درجه و $\text{XCO}_2 = 0.1-0.6$ تشکیل می‌شود و عدم حضور ولاستونیت که در اسکارن‌ها در دمای ۶۰۰ رخ می‌دهد، اسکارن منطقه‌ی حاج الیاس احتمالاً در دمای کمتر از ۵۵۰ درجه تشکیل شده است. نتایج حاصل از گمانه‌های پی‌جویی نشان می‌دهد که کانه‌زایی در اعماق کم رخ داده و دارای گسترش قابل توجهی نیست.

قدردانی

کلیه‌ی هزینه‌های این پروژه از سوی شرکت جدید سنگ پویا پرداخت شده است. از مدیر عامل و هیئت مدیره این شرکت به خاطر همکاری صمیمانه‌شان تشکر می‌شود. از آقای دکتر غلامرضا میراب شهبستری عضو محترم هیئت علمی دانشگاه بیرجند به خاطر همکاری در امر رنگ‌آمیزی سنگ‌های کربناتی منطقه‌ی حاج الیاس، تشکر می‌کنیم.

براساس بررسی‌های صحرایی، مقاطع میکروسکوپی نازک و رنگ‌آمیزی مقاطع، سنگ میزبان توده‌ی آهنی منطقه‌ی حاج الیاس، سنگ آهک منسوب به کرتاسه تحتانی است که دولومیتی شده است. شواهد صحرایی و کانی‌شناسی، کانی‌زایی از نوع اسکارن را تایید می‌کند. با توجه به وجود کانی‌های منیزیم‌دار مانند سرپانتین، تالک و هرسینیت و سنگ میزبان آهک دولومیتی این اسکارن در رده‌ی کلسیمی-منیزیمی قرار می‌گیرد. عیار آهن در آن بالا و حدود ۷۰ درصد و کانی‌های سولفیدی پیریت، کالکوپیریت و به مقدار کمتر اسفالریت از کانی‌های فرعی آن است. جنس توده‌ی نفوذی آن دیوریت پورفیری - کوارتز دیوریت است. کانی‌های غیرفلزی شناسایی شده در زون کانی‌زایی شده عبارتند از پلاژیوکلاز، کوارتز، کلسیت، دولومیت، گارنت، کلینوپیروکسن، هورنبلند، تورمالین، هرسینیت، اپیدوت و کانی‌های فلزی را مگنتیت، هماتیت، لیمونیت، پیریت و به مقدار خیلی کم، اسفالریت و کالکوپیریت

مراجع

- [۱۴] کوهساری ا.ح.، میر دهقان س.ک.، انصاری ع.ح.، "مطالعات کانی‌شناسی اسکارن‌های کوه آهن یزد"، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران - دانشگاه مشهد، (۱۳۸۶)، ص ۲۹۳-۲۸۸.
- [15] Guilbert J.M., Lowell J.D., "Variations in zoning patterns in porphyry ore deposits", Canadian Institute of Mining Bulletin, 67. (1974) 99-109
- [16] Einaudi M.T., Burt D.M., "Introduction—terminology, classification and composition of skarn deposits", Economic Geology, vol. 77, No. 4, (1982) 745-754.
- [17] Bucher K., Frey M., "Petrogenesis of metamorphic rocks.", Springer, Berlin, (1994) 318 pp.
- [18] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "An introduction to the rock forming minerals. Second edition", Longman Scientific and Technical, (1992) 696 p.
- [19] Berman R.G., Brown T.H., Greenwood H.J., "An internally consistent thermodynamic data base for minerals in the system $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ", Atomic Energy of Canada Technical Report TR-337, (1985) 62p.
- [20] Perkins E. H., Brown T. H., Berman R.G., "PTX-SYSTEM: three programs for calculation of pressure-temperature composition phase diagrams", Computers and Geosciences 12, (1986) 749-755.
- [21] Shimizuki H., "Characteristics of skarn deposits and related acid magmatism in Japan", Economic geology. v. 75, (1980) 173-183.
- [22] Barnes H.L., "Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits", John Wiley and Sons, New York. (1979) 422 pp.
- [23] Harriss N.B., Einaudi M.T., "Skarn deposits in the Yeringtin, Nevada: Metasomatic skarn evolution near Ludwig", Economic geology 77, (1982) 877-898.
- [24] Sangster D.F., "The contact metasomatic magnetite deposits of southwestern British Columbia", Geol. Surv. Canada Bull. (1969) 172, 79.
- [25] Sokolov G.A., Grigorev V.M., "Deposits of iron, in Smirnov", V.I., ed., Ore deposits of the USSR: London, Pittman, v. 1, 1977, p. 7-113.
- [26] Grigoryev N.A., Sazonov V.N, Murzin V.V., and Gladkovskiy, "Sulfides as gold carriers in skarn magnetite deposit skarns and ores: Geochem", Intern. v. 27, (1990) 142-146.
- [1] Einaudi M.T., Meinert L.D., Newberry R.J., 'Skarn deposits', Econ. Geol. 75th Anniversary Volume (1981) 317-391.
- [2] Meinert L.D., "Skarns and skarn deposits", Geosci. Canada 19, (1992). 145-162.
- [3] Meinert L.D., "Igneous petrogenesis and skarn deposits", Geol. Assoc. Canada Spec. Pap. 40, (1993) 569-583.
- [4] Misra K.C. "Understanding Mineral Deposits", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands (2000).
- [5] Cook S.J. Bowman J.R., "contact metamorphism surrounding the Alta stock; finite element model simulation of the heat - and $18\text{O}/16\text{O}$ mass-transport during prograde metamorphism", jour.sci., 297 (1997) 1-55.
- [6] Meinert L.D., Hedenquist J.W., Satoh H., Matsuhisa Y., "Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids", Economic Geology 98, (2003) 147-156.
- [7] Stocklin J., "Structural history and tectonic of Iran", A review, The American association (1968).
- [۸] افتخار نژاد ج.، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش بصیران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره ۷۸۵۳، سازمان زمین‌شناسی کشور. (۱۳۷۱).
- [۹] شاهین ا.، زرین کوب م.ح.، شبستری غ.ر.، کتابی پ.، عباسلو ف.، "کانی‌شناسی و ژئوشیمی توده آهنی منطقه‌ی حاج الیاس در شمال باختری نهبندان"، خاور ایران، مجموعه مقالات هفدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران دانشگاه همدان، (۱۳۸۸)، ص ۱-۶.
- [10] Dickson J.A.D., "A modified staining technique for carbonates in thin section", Nature (1965) 205, 587.
- [11] Shelly D., "Igneous and metamorphic rocks under the microscope", Chapman and Hall, London, (1993) 445.
- [12] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "Rock-forming Minerals", vol. 1B. Disilicates and Ring Silicates. Longmans, London. (1986).
- [۱۳] یزدانی م.، جهانگیری ا.، شکوئی ح.، بررسی پترولوژی توده‌ی نفوذی و زون اسکارنی حاصل از آن در منطقه‌ی نبی جان (جنوب غرب کلبر)، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران - دانشگاه مشهد، (۱۳۸۶)، ص ۱۳۹-۱۳۴.