مطالعه کانی شناسی وسنگ شناسی کانسار آهن درشمال شرق اصفهان

ایرج نوربهشت*

چکیده

در ۷۵ کیلومتری شمال شرق اصفهان آهکهای کرتاسه درمجاور گرانودیوریتهای نئوژن دگرگون شده وباعث تشکیل کانسارسازی اسکارن دراین منطقه گردیده است منطقه دگرگونی به دوبخش غربی با ترکیبی از کانیهای ولاستونیت+ گارنت+ اسپنل + اگزانتوفیلیت+ کلسیت+ وزوویان+کوارتزوبخش شرقی با مجموعه کانیهای گارنت + کوارتز + کلسیت + ماگنتیت تقسیم میشود.

بخش غربی منطقه توسط نوربهشت وترابی [۱] موردبررسی قرار گرفته ومقاله حاضرنتیجه مطالعات دربخش شرقی منطقه است. دراین بخش توده‌ای ازمگنتیت وجوددارد که قسمتی ازآن دراثرعمل مارتیتیزاسیون به هماتیت تبدیل شده است .کانی اصلی همراه سنگ آهن ،گارنت ازنوع آندرادیت است. بطورکلی عیارآهن بین ۲۵ تا ۶۰ درصدنوسان دارد.بر طبق مشاهدات ومطالعات سطح زمین ، برای سنگ آهن ذخیره‌ای حدود ۱/۵ میلیون تن برآوردشده است ، که ذخیره قطعی آن احتمالا" بمراتب بیشتر ازاین مقدار میباشد.

---

* دانشیار گروه زمین شناسی ــ دانشکده علوم ــ دانشگاه اصفهان

مقدمه

منطقه مورد مطالعه قسمتی از یک ناحیه دگرگونی در جنوب کوه مارشینا ن است که در آن رسوبات مزوزوئیک در اثر نفوذ یک توده پلوتونیتی با ترکیب گرانودیوریتی دگرگون شده و کانسارسازی اسکارن بوقوع پیوسته است. معمولا" هنگامیکه یک توده ماگمائی به قسمتهای جامد پوسته زمین نفوذ می کند، موجب تبلور دوباره، دگرسانی و پدیده جانشینی در کانیهای تشکیل دهنده آنها می شود. عامل این تغییرات ممکن است حرارت یا سیالات گرم منشاء گرفته از توده ماگمائی و یا فعال شدن عناصر و گرم شدن آب موجود در محیط در نتیجه نفوذ مواد مذاب باشد. این اعمال به پدیده های مختلف دگرگونی منجر می شود. نفوذ توده آذرین بیشترین اثر را در سنگهای کربناته دارد و چنانچه مواد ی از توده نفوذی به سنگ میزبان افزوده شود، کانسارهای اسکارن پدید میآید [۲].

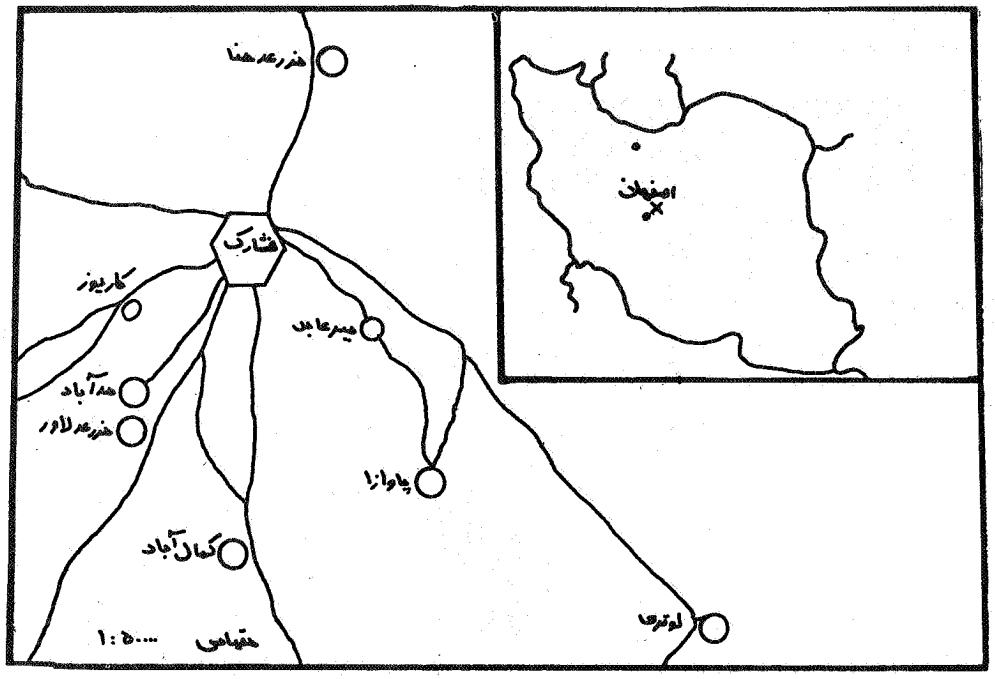
از آنجائیکه این کانسارها از نظر اقتصادی حائز اهمیت، و تعداد زیادی از کانسارهای مهم دنیا از جمله ماگنیت نایا[1] در اورال روسیه از اینگونه اند، مطالعه و بررسی علمی و اقتصادی کانسارهای اسکارن از اهمیت خاصی برخوردار است.

موقعیت جغرافیائی، زمین شناسی و سنگ شناسی

فشارک در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال شرق اصفهان و ۲۰ کیلومتری شمال کویرسگزی در طول جغرافیائی ۵۲/۲۲ و عرض جغرافیائی ۲۲/۵۲ در دامنه جنوبی کوه مارشینان به ارتفاع ۳۳۳۴ متر که بعد از کرکس بزرگترین قله در منطقه است واقع گردیده و میزان متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۲۴۰ میلیمتر در سال و جزو مناطق نیمه خشک محسوب میگردد (شکل ۱).

---

1. Magnitnaja

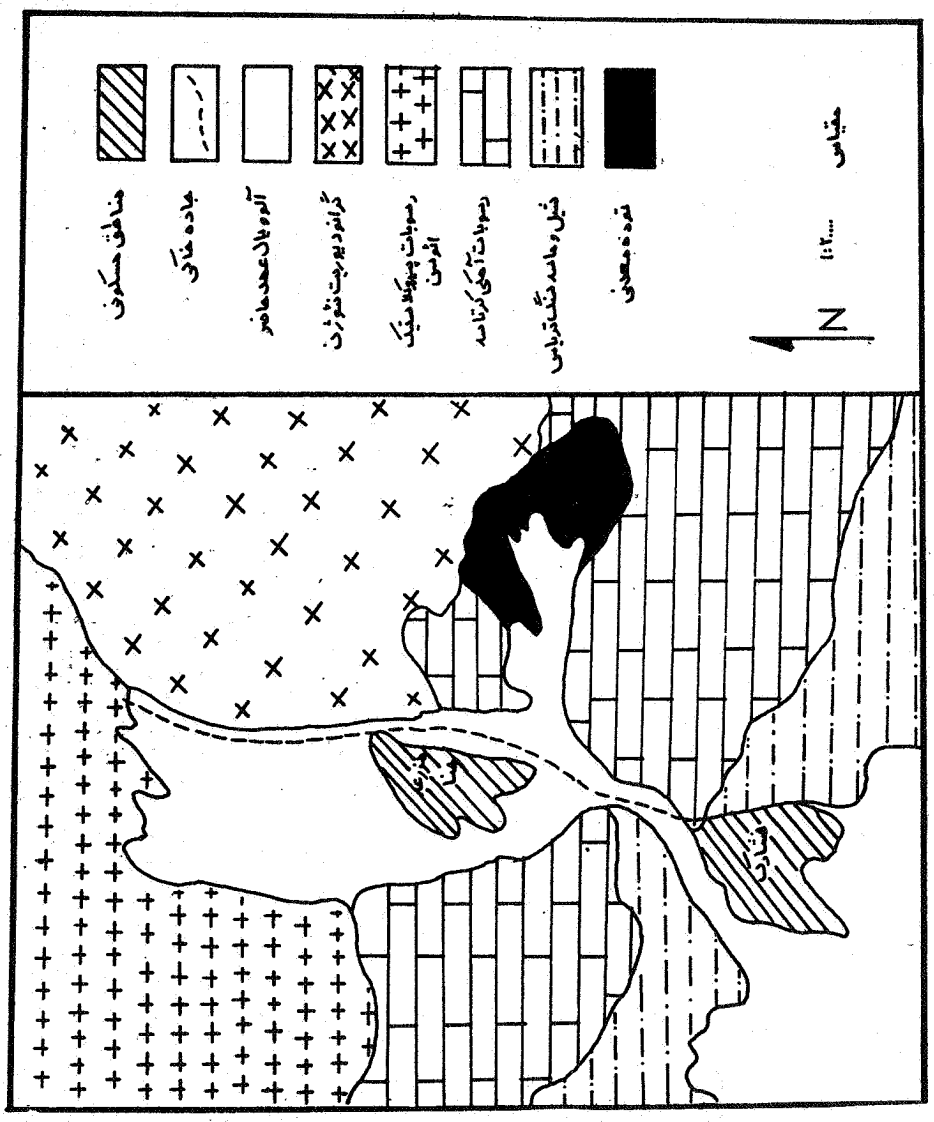


شکل ۱ـ نقشه‌راهنمای منطقه

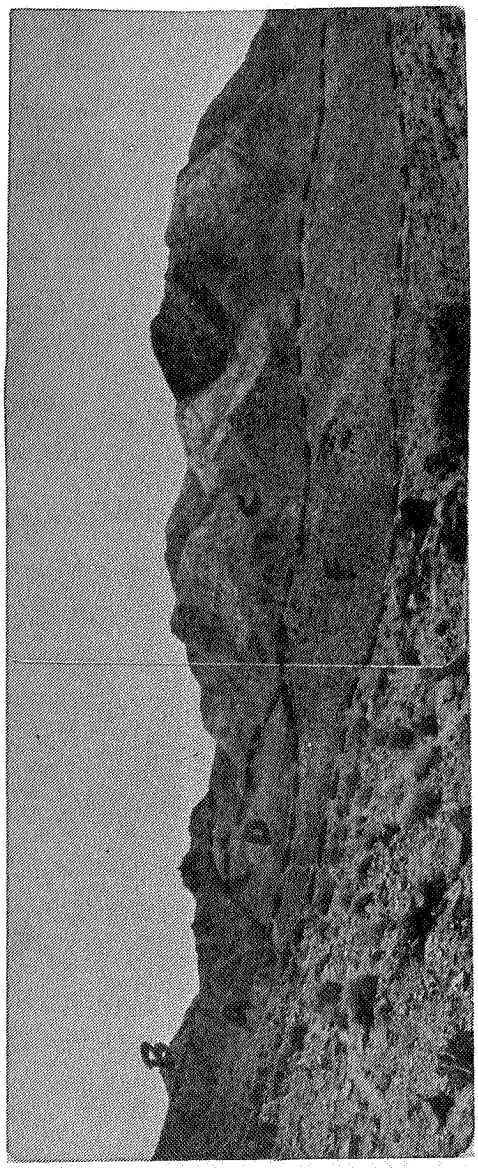
بطورکلی درناحیه موردمطالعه (شکل ۲) سه‌نوع مختلف سنگهای آذرین ، سنگهای رسوبی وسنگهای دگرگونی گسترش دارند ، که‌هریک بطورجداگانه موردبررسی قرارخواهندگرفت (شکل ۳).

۱ـ سنگهای آذرین

الف ـ سنگهای آذرین بیرونی : سنگهای آذرین بیرونی وولکانیکی ازکثرت وتوسعه بیشتری برخوردار بوده وغالبا " درشمال شرقی وشمال غربی فشارک ارتفاعاتی را بوجودآورده‌اند . این سنگها ازنظرترکیب ولیتولوژی متغیربوده واکثرا " ازآندزیت بازالت ـ لاتیت ـ لاوای آندزیتی ـ داسیت ـ برش آندزیتی ـ توف برشی وریولیت تشکیل شده‌اند . وجود لایه‌های آهکی نومولیتیک درمیان این سنگها سن ائوسن را مشخص می‌نماید .



شکل ۲ــ نقشه زمین شناسی منطقه



شکل ۳- A- گرانودیوریت B- ولکانیت C- آهکهای کرتاسه
D- بیرون زدگی اصلی سنگ آهن همرا ه با آهک های متبلور
E- سنگ آهن همرا ه با هورنفلسها و هوا ادآ برفتی

درمقاطع میکروسکپی که از این سنگها تهیه گردیده ، کانیهای پیروکسن (اوژیت) فلدسپات از نوع پلاژیوکلاز (آندزین)، بیوتیت قهوه‌ای با حاشیهٔ تیره ، کلریت در یک زمینه ویتروفریک همراه با شیشه که در بعضی نقاط پرلیتی شده و پدیده دیوتیریفیکاسیون در آن صورت گرفته ، وجود دارند .

ب ـ سنگهای آذرین درونی : بارزترین سنگ آذرین درونی در منطقه ، با تولیت مارشینان است که با ترکیب گرانودیوریتی در فاصله یک کیلومتری شمال روستای فشارک حضور دارد و مرتفع ترین قله منطقه (قله مارشینان ۳۳۳۴ متر) را تشکیل می دهد و نسبت به سنگهای آذرین بیرونی از گسترش نسبتا " کمی برخوردار می باشد . با تولیت مارشینان از میان سنگهای آتشفشانی و پیروکلاستیک متعلق به ائوسن به سمت بالا حرکت کرده و بر اثر فرسایش در سطح ظاهر شده و در شمال شرق و شمال غرب ، تماس بلافصلی با سنگهای ولکانیکی ائوسن دارد .

صعود با تولیت مارشینان از میان سنگهای پیروکلاستیکی بسمت سطح زمین و به تبع آن ، حرکت لایه‌های سنگهای آذرآواری در پیرامون این با تولیت ، جهت خاصی به خود گرفته بطوری که مورفولوژی ناحیه را بصورت یک طاقدیس کاملا" مدور نمایان نموده است .

گرانودیوریت مارشینان در چند نقطه (دره نظامی واقع در شمال شرق روستای زفره و شرق روستای سرسری) رگه‌هائی به ضخامت ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر از کوارتز و فلدسپات را به درون سنگهای ولکانیکی پیروکلاستیکی ائوسن تزریق نموده است . کانیهای اصلی سنگ پلاژیوکلاز ، کوارتز ، هورنبلند ، بیوتیت و کانیهای اوپاک می باشند . پلاژیوکلازها از نوع آندزین ، الیگوکلاز با ۲۵ تا ۳۰ درصد انورتیت بوده و اغلب دارای ساختمان زونه‌ای هستند .

در بعضی از نمونه‌ها پدیده کاتاکلاستیک در اثر فشار در برخی از بلورهای درشت پلاژیوکلازها دیده می شود . بیوتیت‌ها از نوع بیوتیت قهوه‌ای بوده و در برخی از نمونه‌ها همراه با پلاژیوکلازها تحت فشار خمیده شده بطوریکه گاهی

جدول ۲- ترکیب شیمیائی چهار نمونه ازگرانودیوریت ها به‌کمک فلورسانس اشعه ایکس

درصد اکسیدها	نمونه‌شماره ۴۵	نمونه‌شماره ۱۴۲	نمونه‌شماره ۷۵	نمونه‌شماره ۹۶
SiO_2	۶۵/۰۱	۶۲	۶۴/۲۰	۵۹/۸۸
Al_2O_3	۱۵/۱۷	۱۶/۹۹	۱۵/۴۵	۱۷/۰۲
TiO_2	۰/۵۶	۰/۹۷	۰/۶۰	۰/۹۵
$FeO(Fe_2O_3)$	۵/۵۸	۵/۰۱	۵/۵۵	۵/۱۵
MnO	۰/۱۰	۸	۰/۲۳	۰/۵۲
MgO	۲/۴۲	۲/۰۲	۲/۹۴	۲/۸۷
CaO	۵/۱۹	۵/۹۴	۵/۲۲	۵/۲۴
Na_2O	۲/۱۸	۳/۵۷	۲/۹۴	۲/۲۱
K_2O	۲/۱۷	۲/۸۸	۲/۱۹	۲/۲۸
P_2O_5	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۴۵
جمع	۹۹/۴۸	۱۰۰/۴۸	۹۹/۷۳	۹۸/۶۳

ترکیب‌کانی شناسی نورماتیو

Qz	۲۴/۸	۱۶/۸	۲۲/۳	۱۵/۳
Or	۱۲/۸	۱۷/۰	۱۲/۷	۱۲/۳
Ab	۲۶/۷	۳۰/۶	۲۶/۰	۲۷/۲
An	۲۰/۹	۲۱/۸	۲۱/۶	۲۵/۲
Di Wo	۱/۷	۴	۱/۳	۰/۱۱
Di En	۶/۰	۵	۷/۲	۹/۶
Di Fs	۰/۲	۰/۷	۰/۴	۰/۹
Mt	۴/۵	۳	۴/۳	۳/۲
Il	۱/۷	۲/۹	۱/۹	۲/۹
Ap	۰/۳	-	۰/۳	۱/۰

اوقات فرم رشته‌ای پیدا نموده‌اند. برخی از بلورهای بیوتیت درطول کلیواژها با خارج شدن آهن تبدیل به‌کلریت شده وبصورت لاملهائی دیده می شوند. کانیهای اوپاک بدوصورت اولیه با بلورهای نسبتا "شکل‌دار وثانویه، از تجزیه بیوتیت‌ها، پیروکسها وآمفیبولها ناشی شده‌اند. بلورهای درشت هورنبلندبصورت پوئیکیلوبلاست، بلورهائی‌ازپلاژیوکلازو آپاتیت را دربرگرفته‌اند.

درداخل گرانودیوریت فشارک آنکلاوهائی (اگزنولیت‌هائی) به ابعادمتغیرحداکثر ۱۵% ازجنس دیوریت به‌مقدارنسبتا "فراوان وغالبا" به‌صورتهای دایره‌ای وبیضوی شکل وجودداردکه به‌لحاظ ترکیب ورنگ تیره آنها ازفاصله‌چندمتری قابل تشخیص می باشند. به‌جزگرانودیوریت فشارک که‌وصف آن گذشت درشمال ارتفاعات مارشینان درروستای ماروماربین وظفرقند (خارج ازناحیه موردنظر) رخنمون هائی‌ازگرانیت با رنگ روشن جلب‌توجه می کندکه‌احتمال می رودرا رتباط با باتولیت فشارک باشند.

۲ـ سنگهای رسوبی

سنگهای رسوبی که‌درناحیه‌فشارک گسترده‌اندمتعلق به دوران مزوزوئیک هستند. طبق مطالعاتی که‌توسط سازمان زمین شناسی کشور صورت گرفته‌سنگهای رسوبی منطقه‌فشارک به‌صورت یک نوار بعرض‌متوسط یک کیلومتروطول هفت‌کیلومتردرا متدادشمال غربی ـ جنوب وجنوب‌شرقی درحاشیه‌جنوبی وجنوب‌غربی کوه‌مارشینان ودرتماس بلافصل سنگهای آذرین قراردارندوبه‌کرتاسه‌زیرین وتریاس بالائی نسبت داده‌شده‌اند، که‌هریک‌بطورجداگانه‌توصیف می‌گردند.

الف ـ آهکهای کرتاسه: سنگهای آهکی متعلق به‌کرتاسه‌دردامنه جنوبی‌ارتفاعات مارشینان که‌درمجاورت مستقیم سنگهای آذرینی (گرانودیوریت‌وپیروکلاستیک) واقع شده‌اند، آهکهای نازک لایه به‌رنگ خاکستری تاقهوه‌ای روشن باشیب‌حدود ۴۵ـ۳۰ درجه‌بسمت شمال

وشمال شرق وامتداد شمال غرب ـ جنوب شرق می باشند. این آهکها در شمال روستای فشارک به‌جهت تماس مستقیم با گرانودیوریت ها تحت تأثیرحرارت زیاد قرار گرفته‌اند. درمبحث سنگهای دگرگونی بطورکامل به‌آنها اشاره‌خواهدشد.

آهکهای کرتاسه‌درجنوب‌مزرعه‌حنا بعلت نفوذ اکسید منگنز به‌درون آنها اشکال دندریتی دارند. اگرچه‌طبق گزارش F8 سازمان زمین‌شناسی کشور [۳] این آهکها را به‌اشکوب‌بارمین معادل آهکهای اربیتولین‌دار زیرین نسبت داده‌اندولی درجستجوئی که‌صورت گرفت، هیچگونه‌آثاری ازفسیل اربیتولین ویا فسیل اوستراویا سایرماکروفسیل هائی که‌در آهکهای اربیتولین دارمربوط به‌اشکوب (بارمین بالائی) درناحیه کلاه‌قاضی اصفهان وجوددارد، رؤیت نگردید. ضخامت تقریبی‌این‌سنگهای کربناته‌بطورتقریب ۳۰۰ مترحدس زده‌می شود. ضمنا "آهکها دربعضی نقاط حالتی مارنی بخودمی گیرند. لازم به‌تذکراست که‌افقهای بارمین زیرین (ماسه‌سنگهای قرمز، کنگلومرا وآهک دولومیت زردرنگ) درناحیه فشارک مشاهده‌نمی شود. این آهکها بطورکاملا" مشخص ودگرشیب برروی سنگهای زیرین خودقرار دارند.

ب ـ ماسه‌سنگهای تریاس بالائی: نهشته‌هائی راکه‌به‌تریاس بالائی نسبت داده‌اند [۳] شامل ماسه‌سنگ زیردانه‌به‌رنگهای خاکستری تیره‌وروشن وشیل های سیاه رنگ اند. این رسوبات ازشیب‌وامتداد خاصی برخوردارنیستند، اما دربعضی نقاط ماسه‌سنگها دارای امتداد شمالی وجنوبی وشیب‌حدود ۶۰ ـ ۸۰ درجه‌شرقی می باشند. بطورکلی ناموزونی این رسوبات باآهکهای فوقانی (آهکهای کرتاسه) ودگر شیبی‌آنها با یکدیگربطوروضوح درطبیعت (بخصوص‌درمزرعه‌وژه) قابل مشاهده‌است.

درمطالعات سازمان زمین شناسی [۳] فسیلهای هتراستریدیوم و مرجان برای سنگهای مربوط به‌تریاس بالا معرفی شده‌است، لیکن‌در منطقه‌فشارک تا مزرعه‌وژه (غرب فشارک) که‌این سنگها گسترش دارند، هیچگونه‌آثاری ازاین فسیلها رویت نگردیده‌است. (لازم به

تذکر است که هترآستریدیوم و مرجان مونتلی والتیا در تریاس بالائی منطقه باقرآباد واقع درشمال اصفهان به فراوانی دیده می شوند. این سنگها ضمن آنکه گسترش کمتری نسبت به آهکهای کرتاسه دارند بصورت نواری به عرض حداکثر ۲۵۰ متر و بطول ۳ کیلومتر (از مزرعه وژه تا فشارک) در قاعده آهکهای کرتاسه قرار گرفته اند و جزو قدیمترین سنگهای ناحیه محسوب می گردند.

درحفاریهائی که به منظور احداث قنات در ناحیه صورت گرفته، شیلهای زغال دار در ناحیه وجود داشته اند، ولی درسطح موردی مشاهده نمی شود. ازنظر لیتولوژیکی این رسوبات با نهشته های مربوط به ژوراسیک (لیاس) درحوضه اصفهان مطابقت داشته، وتشابه لیتولوژیکی این رسوبات با تریاس بالائی درشمال شرق اصفهان (باقرآباد) مسلم است. اما به نظر نگارنده بعلت عدم وجود ماکروفسیل در این رسوبات جهت تعیین سن دقیق این بخش از رسوبات ناحیه فشارک، مطالعه دقیق تر وبیشتری مورد نیاز است. ارتباط بین آهکهای کرتاسه زیرین وآنچه که بعنوان تریاس بالائی خوانده شده تکتونیکی است که در منطقه، بخصوص درمزرعه وژه (۸ کیلومتری غرب فشارک)، قابل رؤیت است. لیکن در گزارش مربوط به سازمان زمین شناسی ونقشه زمین شناسی همراه با آن، این مورد مشخص نشده است.

۳ـ سنگهای دگرگونی

حضور وظهور با تولیت گرانودیوریتی مارشینان درمجاورت مستقیم آهکهای کرتاسه زیرین درنئوژن منجر به پدیده کنتاکت متامورفیسم گردیده است. شدت وضعف این دگرگونی نسبت به میزان فاصله رسوبات کرتاسه به گرانودیوریت متغیر بوده بطوریکه درهیچ جائی رسوباتی که به تریاس بالائی نسبت داده شده به لحاظ دوری از گرانودیوریت به هیچ وجه تحت تأثیر قرار نگرفته است. ضمناً " گرانودیوریت مارشینان درشمال وشمال شرق (کهنک، نیسیان ولوتری) وشمال غرب فشارک با سنگهای ولکانیکی وپیروکلاستیکی ائوسن در تماس مستقیم بوده ولی ولکانیت ها

ظاهرا " هیچگونه دگرگونی را متحمل نشده اند. لیکن آنچه در این میان بشدت دگرگونی حاصل کرده آهکهای کرتاسه زیرین می باشد که تحت عنوان هورنفلس های ناحیه فشارک معرفی می شود.

منطقه معدنی

با توجه به مقدار ماده معدنی (اکسید آهن) منطقه دگرگونی را به دو بخش شرقی وغربی می توان تقسیم نمود ؛ بخش غربی منطقه که فاقد ماده معدنی می باشد توسط نوربهشت وترابی [۱] مورد مطالعه قرار گرفته است. کانیهائی که در این بخش از منطقه وجود دارند عبارتند از: کلسیت، کوارتز، گارنت وزوویان (ایدوکراز)، اپیدوت ، ولاستونیت، اسپینل واگزانتوفیلت. بغیر از مقادیر پراکنده کانه که می توان از آنها بعنوان اکسسور در هورنفلسها نام برد، کانه دیگری در این منطقه دیده نمی شود.

از جنوب به طرف شمال در این منطقه سنگها تحت تأثیر رخساره پیروکسن ـ هورنفلس سپس هورنبلند ـ هورنفلس وبالاخره تحت تأثیر رخساره آلبیت ـ اپیدوت ـ هورنفلس قرار گرفته اند. نوربهشت [۱] ، ضمن بررسی گارنت های اطراف مزرعه وژه در شمال شرق اصفهان سنگهای این منطقه را نیز متبلور شده در رخساره هورنبلند ـ هورنفلس مشخص نموده است.

مطالعات صحرائی که در بخش شرقی (منطقه معدنی) انجام شده ، نشان میدهد که این منطقه بطول حدود ۸۰۰ متر و عرض ۴۰۰ متر با امتداد شرقی ـ غربی میباشد (شکل ۲). قسمت اعظم بخش میانی منطقه در اثر فرسایش از بین رفته و پوشیده از مواد آبرفتی است که در نتیجه دو برآمدگی تپه مانند در شرق وغرب منطقه مورفولوژی آنرا تشکیل میدهند. در بخش مرکزی منطقه دگرگونی از جنوب به طرف شمال ، متناوبا " بخشهائی با امتداد شرقی ـ غربی از هورنفلسها وسنگ آهن با ضخامت های مختلف از ۱۰ تا ۸۰ متر تکرار می شود. در یک نمونه برداری و بررسی سیستماتیک از این بخش ، اجتماع کانیهای زیر مشخص گردید :

۱ـ کلسیت + کلینوپیروکسن + وزوویان (ایدوکراز) + اپیدوت + گارنت
۲ـ کلسیت + گارنت + کوارتز
۳ـ کلسیت ـ پرهنیت + ماگنتیت
۴ـ گارنت + کوارتز + ماگنتیت
۵ـ کلسیت + وزوویان + کلینوپیروکسن
۶ـ گارنت + اپیدوت + کوارتز
۷ـ هورنبلند + اپیدوت + کوارتز + پلاژیوکلاز + اکتینولیت + ماگنتیت
۸ـ کلسیت + گارنت + ولاستونیت + وزوویان

کانی اصلی تمام سنگهای این منطقه گارنت میباشد که با اشکال و ترکیبات شیمیائی مختلف دیده می‌شود. پارامترهای بلورشناسی تعدادی از بلورهای گارنت بوسیله دستگاه

Automatic Philips PW 1100 Four-Circle Diffractometer

تعیین وضریب شکست آنها با استفاده از مایعات ایمرزیون و میزفدروف مشخص گردید. تجزیه شیمیائی گارنت‌ها بوسیله دستگاه مایکروپروب ساخت کارخانه کامکا فرانسه انجام گرفت. درجدول (۲) پارامترهای بلورشناسی وضریب شکست شش بلور گارنت آورده شده است. این داده‌ها بطریق وینچل [۵] درنمودار شماره (۱) رسم گردیده است. درصد اجزاء متشکله که باین طریق بدست آمده، با تجزیه شیمیائی آنها تا حدود زیادی مطابقت می نماید.

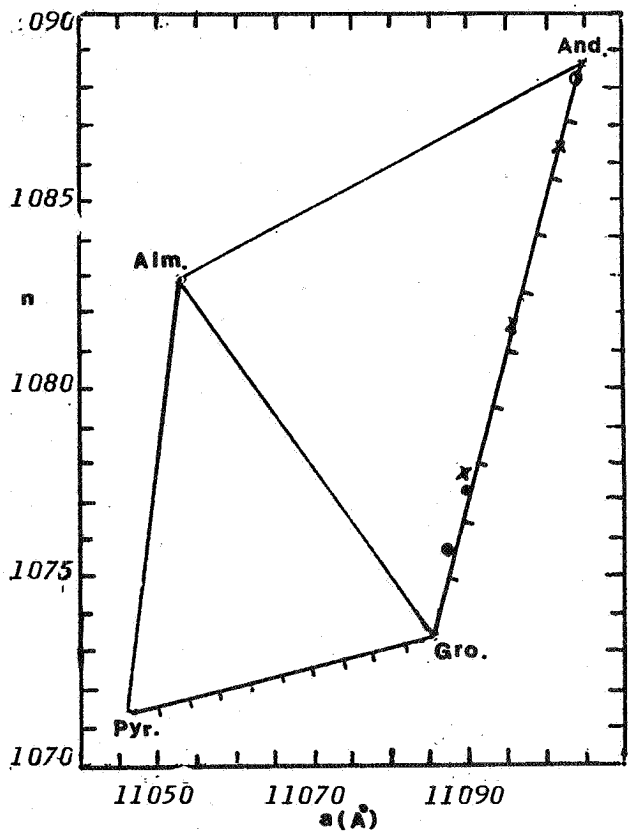
در دامنه شرقی توده سنگ آهن و در مجاورت آن سنگهای قهوه‌ای رنگ دیده می‌شود که تماما" از بلورهای ریز گارنت تشکیل شده است. در مطالعات میکروسکپی وبدون آنالیزور، این گارنت‌ها دارای ساختمان بسیار بارز منطقه‌ای هستند (شکل ۳) ولی در زیر نیکلهای عمود بر هم از نظر نوری کاملا" ایزوتروپ میباشند. تجزیه شیمیائی این گارنت‌ها نشان می‌دهد که از مرکز بطرف خارج تغییر شیمیائی منظمی صورت نگرفته است (جدول ۳)

---

1. Winchell

جدول ۲ـ پارامترهای بلورشناسی وضریب شکست شش بلورگارنت

شماره‌نمونه	ضریب‌شکست (n)	پارامتر a_0 (A^0)
۱۴–۱/۱	۱/۷۵۸	۱۱/۸۸۲ +۴
۱۴–۳/۱	۱/۷۸۰	۱۱/۹۱۳+۴
x–۱–۱/۱	۱/۸۱۸	۱۱/۹۶۰+۲
x–۲–۱/۲	۱/۸۶۷	۱۲/۰۲ +۴
x–۱۰–۴/۲	۱/۷۸۸	۱۱/۹۴+۲
۵۷–۱۳	۱/۸۸۲	۱۲/۰۴۸+۲

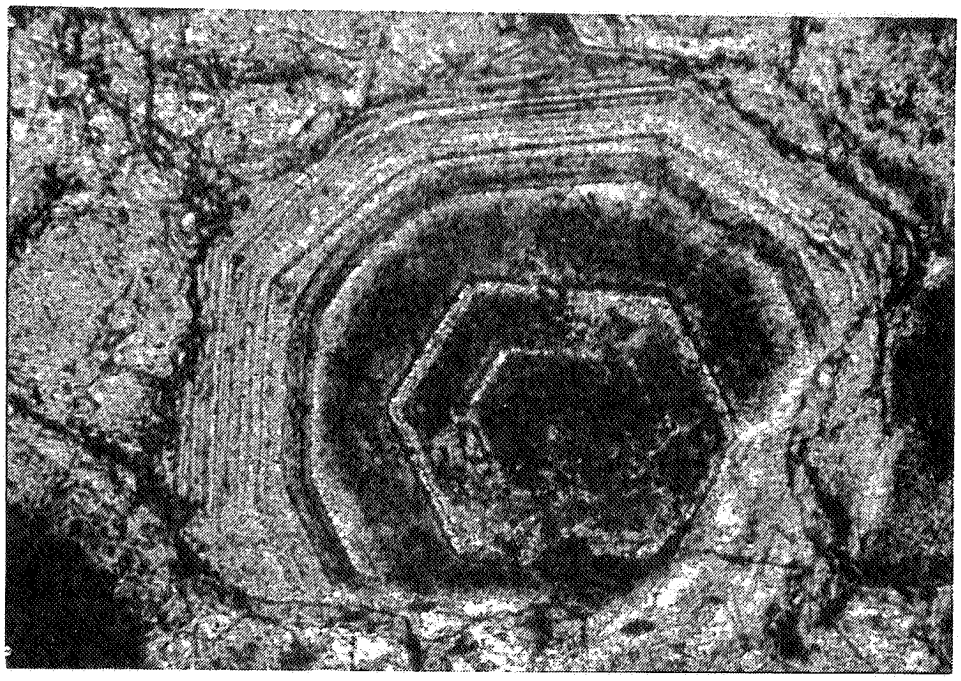


نمودار ۱ـ نمایش موقعیت گارنت های جدول (۱) درنمودار وینچل winchell با توجه به پارامترهای بلورشناسی وضرایب شکست آنها

- نمونه‌های ۱/۱–۱۴ و ۱/۳–۱۴
- × نمونه‌های ۱/۱–۱–× و ۱/۲–۲–× و ۴/۲–۱۰–×
- نمونه ۱۳–۵۷

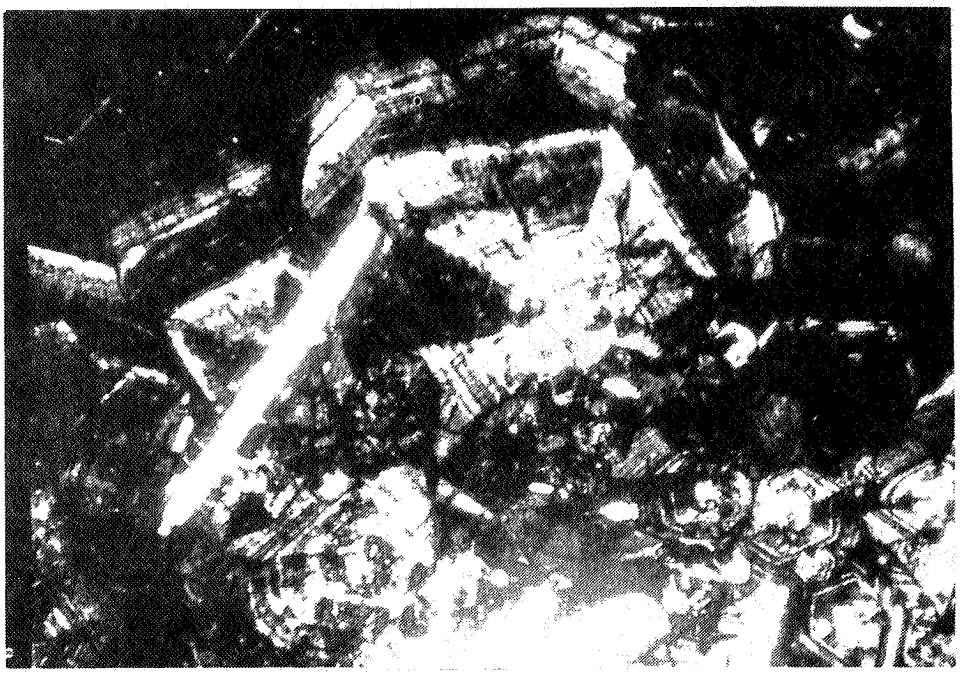
جدول ۲- تجزیه شیمیائی یک بلورگارنت از مرکز بطرف خارج

درصد درکسیدها	7 1/1-7 مرکز	8 1/1-8 وسط	9 1/1-9 کنار
SiO_2	۳۴/۹۶	۳۵/۲۲	۳۵/۱۷
TiO_2	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۷
Al_2O_3	۲/۴۵	۲/۸۱	۱/۴۵
Cr_2O_3	-	۰/۰۲	-
$FeO(Fe_2O_3)$	۲۴/۹۵	۲۴/۲۷	۲۵/۵۸
MnO	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۵۶
MgO	-	-	۰/۰۲
CaO	۳۲/۹۹	۳۳/۰۹	۳۲/۲۹
جمع	۹۵/۹۵	۹۶/۱۲	۹۶/۱۷
فرمول ساختمانی براساس ۲۴ اکسیژن			
Si	۶/۴۰۵۳	۶/۳۶۶۹	۶/۴۶۳۴
Ti	۰/۰۰۵۷	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۹۹
Al	۰/۵۲۸۷	۰/۸۱۱۳	۰/۳۱۳۱
Cr	-	۰/۰۰۳۶	-
Fe	۳/۸۲۲۹	۳/۵۱۶۵	۳/۹۳۱۸
Mn	۰/۰۸۲۷	۰/۰۸۹۹	۰/۰۸۶۸
Mg	۰/۰۰۰۵	-	۰/۰۰۷۷
Ca	۶/۴۷۵۵	۶/۴۰۷۱	۶/۵۵۴۳
ترکیب درصد گارنت ها			
آندرادیت	۹۳	۸۷/۶	۹۶/۲
گروسولار	۵/۴	۱۰/۸	۲/۲
اسپسارتین	۱/۶	۱/۶	۱/۶



شکل ۳ـ تصویر میکروسکپی یک بلورگارنت بدون
آنالیزور(مقیاس x ۱۶۰)

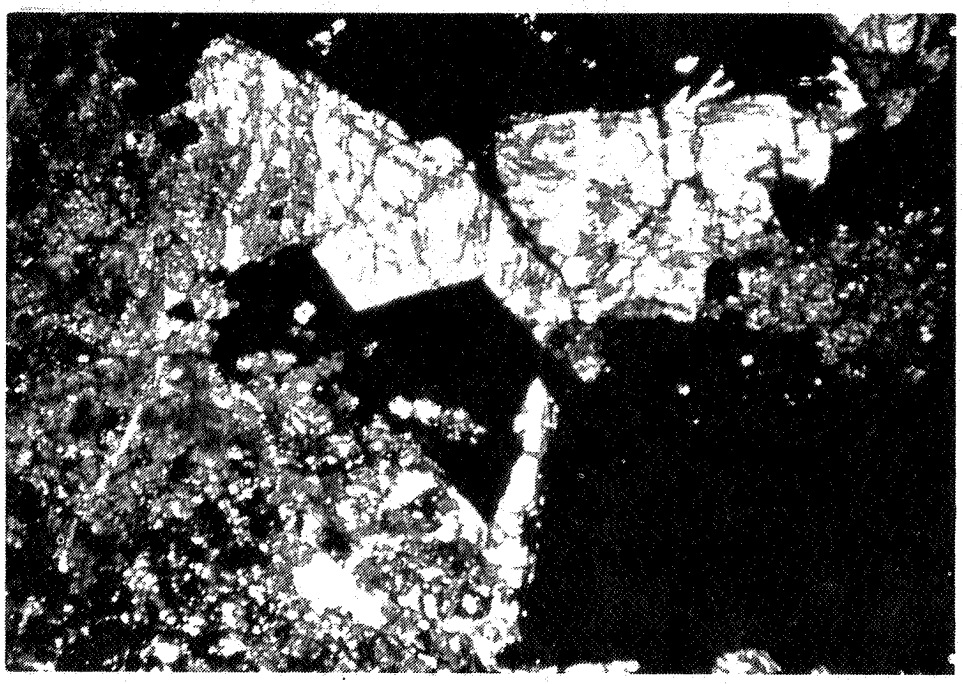
علاوه برگارنت های فوق در اطراف توده سنگ آهن وهمراه با آن گارنت هائی به صورت متراکم وتوده ای دیده می شوندکه بدون آنالیزور شفاف ویکنواخت اند ،ولی درزیرنیکلهای عمودبرهم ، ساختمانی زونه ای که مبین تغییرات شیمیائی است وتقسیماتی منطقه ای که مبین وجودماکل است دارند . (شکل ۴).



شکل ۴ـ بلورهای گارنت با ساختمان زونه‌ای وتقسیمات منطقه‌ای
درزمینه‌ای ازماگنتیت (نیکلهای عمودبرهم ، مقیاس ۱۶۰ x)

بررسیهای انجام شده نشان می دهدکه قسمت اعظم ماده معدنی در بخش شرقی این منطقه قرارگرفته است . دراینجا سنگ آهن به‌صورت توده‌ای درمجاورت وداخل آهکهای متبلورقرار دارد . ترکیب‌کلی کانی شناسی این آهکها کلسیت + کوارتز + گارنت + اپیدوت + پیروکسن است . اپیدوت وپیروکسن بصورت کانیهای فرعی‌به مقدار بسیار کم درلابلای بلورهای کلسیت دیده می شود. سنگ آهن عموما " همراه با گارنت های توده‌ای شکل ظاهر می‌شود .

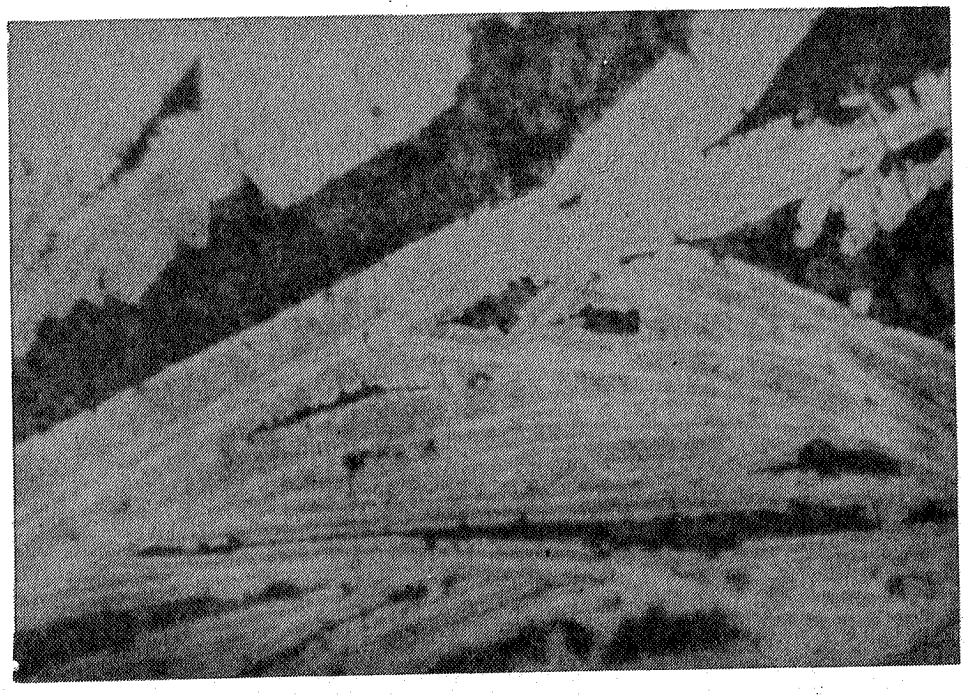
همانطورکه قبلا"ذکرشد ،این گارنت‌هااغلب‌دارای ساختمانی زونه‌ای بوده‌ودربعضی نمونه‌ها مگنتیت همراه باکوارتزمشاهده می‌شودوکوارتز تنها کانی همراه مگنتیت دراین نمونه‌ها ست . گارنت های‌همراه مگنتیت اغلب‌به‌اپیدوت تبدیل شده‌تا جائیکه‌دربعضی ازبلورهای گارنت، اپیدوت به‌صورت پسیدومرف جایگزین شده‌است (شکل ۵).



شکل ۵ـ بلورهای شکل دارتا نیمه‌شکل گارنت که‌تماما"به اپیدوت تبدیل شده‌اند.زمینه‌سیاه‌رنگ مگنتیت ودر سمت چپ تصویربلورهای ریزگارنت واپیدوت دیده می‌شوند (نیکلهای عمودبرهم، مقیاس × ۶۳)

تجزیه شیمیائی یک نمونه سنگ آهن به کمک دستگاه میکروپروب نشان می دهدکه گارنت های این ناحیه برخلاف بخش غربی منطقه دارای درصد بیشتری ازآندرادیت وضمنا " حاوی مقداری اسپسارتین نیز می باشند (جدول ۴).

آزمایشات شیمیائی وهمچنین مطالعات میکروسکپی بانورانعکاسی نشان می دهدکه آهن به صورت مگنتیت Fe_3O_4 بوده ودرآن عمل مارتیتیزاسیون مشاهده می‌شود . درنتیجه بخشی ازمگنتیت به هماتیت Fe_2O_3 تبدیل شده است (شکل ۶).



شکل ۶ـ تصویر میکروسکپی مگنتیت (خاکستری) با پدیده مارتیتی شدن(خاکستری روشن). قسمتهای خاکستری و تیره اجتماع بلورهای گارنت می باشد (مقیاس x ۶۳)

جدول ۴ـ ترکیب شیمیائی وکانی شناسی یک نمونه سنگ آهن از بخش شرقی منطقه بکمک دستگاه میکروپروب

درصد اکسیدها	۱ـ x ۱/۱	۲ـ x ۱/۲	۱۲ـ x ۵/۲	۱۰ـ x ۴/۲	۴ـ x ۱/۴	۱۱ـ x ۵/۱
SiO_2	۳۶/۵۷	۳۶/۱۵	۳۳/۷۶	۳۹/۰۴	۱/۴۲	۱/۰۳
TiO_2	۰/۹۳	۰/۲۸	—	۰/۴۵	۰/۰۸	۰/۰۴
Al_2O_3	۹/۹۵	۶/۱۸	۰/۹۴	۱۸/۶۹	۰/۱۴	۰/۰۷
Cr_2O_3	۰/۰۲	—	—	—	۰/۰۱	—
$FeO(Fe_2O_3)$	۱۵/۶۷	۲۰/۹۵	۲۷/۲۵	۴/۷۰	۹۰/۳۹	۹۱/۵۴
MnO	۲/۴۸	۱/۷۰	۰/۶۴	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۶
MgO	۰/۰۲	۰/۰۱	—	۰/۲۲	—	—
CaO	۳۲/۷۸	۳۳/۲۹	۳۳/۶۶	۲۷/۴۲	۰/۳۰	۰/۱۸
جمع	۹۹/۴۲	۹۸/۵۶	۹۶/۲۵	۱۰۰/۷۵	۹۲/۴۸	۹۳/۰۲
		گارنت			اکسیدآهن	
	فرمول براساس ۲۴ اکسیژن				فرمول براساس۴اکسیژن	
Si	۶/۱۲۲	۶/۲۷۴	۶/۲۰۱	۵/۹۹۲	۰/۰۷۲	۰/۰۵۲
Ti	۰/۱۱۷	۰/۰۳۷	۰	۰/۰۵۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
Al	۱/۹۶۳	۱/۲۶۴	۰/۲۰۷	۲/۳۸۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴
Cr	۰/۰۰۳	—	—	—	۰/۰۰۱	—
Fe	۲/۱۹۴	۲/۰۴۱	۴/۲۵۴	۰/۶۰۳	۳/۸۱۴	۳/۸۶۹
Mn	۰/۴۹۴	۰/۲۵۰	۰/۱۰۱	۰/۰۴۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷
Mg	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۷۳	۰	۰
Ca	۵/۸۸۰	۶/۱۹۰	۶/۷۲۱	۶/۱۲۱	۰/۰۱۶	۰/۰۱۰

	ترکیب درصد گارنت ها			
	۱ـ x ۱/۱	۲ـ x ۱/۲	۱۲ـ x ۵/۲	۱۰ـ x ۴/۲
آندرادیت	۵۴/۹۷	۸۶/۷	۱۰۰ نر	۲۸/۵۷
اسپسارتین	۵/۰	۱/۷		۱/۴۳
گروسولار	۳۹/۹۸	۱۱/۶		۶۴/۲۸
پیروپ	۰/۰۵	—		۵/۷۲

به عقیده تروگر[1] [۶] تغییر پتانسیل احیا بوسیله مواد گرمابی می تواند موجب تشکیل مارتیت شود. بتشتین[2] [۷] معتقد است در کشورهائی با آب و هوای گرم در قسمت فوقانی کانسار مگنتیت عمل مارتیتی شدن اغلب مطابق واکنش زیر انجام می شود:

$$4Fe_3O_4 + O_2 \longrightarrow 6Fe_2O_3$$

تجزیه شیمیائی ۵ نمونه از سنگ آهن از بخشهای مختلف منطقه مورد مطالعه گویای آنست که پرعیارترین سنگ آهن با داشتن حدود ۶۳% آهن در بخش غربی منطقه قرار دارد (جدول ۵). با نزدیک شدن بخش غربی از عیار آن کاسته می شود. بطور کلی از جنوب به طرف شمال توده معدنی، عیار آهن زیادتر شده ولی در داخل بخشهای با امتداد شرقی ـ غربی عیار آهن بسیار متغیر می باشد. در شرق منطقه سنگ آهن به علت دارا بودن آهن زیاد براحتی جذب آهن ربا می شود و با توجه به خاصیت مغناطیسی بودن مگنتیت به آسانی می توان آن را از سنگهای همراه که آنها نیز به رنگ سیاه می باشند تمیز داد.

منشاء و انتشار عناصر

ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه به صورت مگنتیت است که یک اکسید مضاعف آهن یعنی اکسید آهن دوظرفیتی و سه ظرفیتی است. در مورد منشاء آهن در کانسارهای اسکارن بخصوص از نوع مگنتیت نظریات زیادی ارائه شده است. به عقیده فرکائرن و بارتولومه[3] [۸] آهن می تواند بدو صورت زیر تشکیل شود.

ـ در اثر حرارت توده نفوذی آهن موجود در سنگهای رسوبی آزاد شود؛
ـ آهن بوسیله محلولهای ماگمائی ـ گرمابی وارد محیط رسوبی و دگرگونی گردد.

---

1. Troeger 2. Betechtin 3. Verkaeren & Bartholome

جدول ۵ـ ترکیب شیمیائی ۵ نمونه‌سنگ آهن بکمک فلورسانس اشعه ایکس
(تمام آهن برحسب Fe_3O_4 محاسبه‌شده است).

درصد اکسیدها	۱۱۳	۱۱۴	۱۱۵	۱۱۲	۱۲۰
SiO_2	۸/۵۹	۱۵/۸۱	۱۶/۲۴	۲۳/۴۳	۳۲/۴۱
Al_2O_3	۱/۳۴	۳/۵۱	۳/۰۱	۳/۶۲	۸/۶۳
TiO_2	۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۳۱
Fe_3O_4	۸۷/۶۰	۷۱/۴۵	۶۵/۳	۳۴/۶۰	۳۱/۸۹
MnO	۰/۱۸	۰/۳۳	۰/۹۷	۰/۷۴	۰/۶۶
MgO	۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۳۸	۰/۱۳
CaO	۲/۴۴	۸/۳۵	۱۴/۵۴	۲۶/۷۴	۲۵/۸۸
Na_2O	۰/۰۳	—	—	—	—
K_2O	۰/۰۱	۰/۰۷	—	—	—
P_2O_5	—	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۶
جمع	۱۰۰/۵۶	۱۰۰/۱۱	۱۰۰/۷۳	۹۹/۵۴	۹۹/۹۷

طبق نظریه بالتر[۹] بخشی از اکسید آهن دوظرفیتی تحت تاثیر CO_2 ، می تواند به آهن سه‌ظرفیتی تبدیل شده و باعث تشکیل مگنتیت گردد در درجه حرارتی که کانسارهای اسکارن تشکیل می‌شوند، معمولا" آهک تجزیه می‌شود:

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

گاز کربنیک آزاد شده در این شرایط به صورت عامل اکسیدکننده عمل می‌کند و آهن دوظرفیتی را به آهن سه‌ظرفیتی تبدیل می‌کند:

$$3FeO + CO_2 \longrightarrow Fe_3O_4 + CO$$

به عقیده پارک و مک دیارمید [۱] درصورت کاهش درجه حرارت، واکنش فوق به‌صورت عکس عمل می‌کند. از نظر شاند[۲] [۱۰]، پارک و مک دیارمید هیدروا کسید آهن دوظرفیتی در اثر از دست دادن آب ممکن است به مگنتیت تبدیل شود:

$$3Fe(OH)_2 \longrightarrow Fe_3O_4 + 2H_2O + H_2$$

طبق نظریه کریک[۳] [۱۱]، ممکن است انتشار SiO_2 ، Al_2O_3 و FeO از ماگما و انتشار CaO و CO_2 از سنگهای آهکی باشد. همانطورکه قبلا" ذکر گردید مگنتیت اصولا" همراه با گارنت از نوع آندرادیت تشکیل شده است. میشل لوی[۴] [۱۲] با ترکیبی از $3SiO_2 : Fe_2O_3$ و $3CaO$ درفشاری معادل ۵۰۰ بار و دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد موفق به تهیه آندرادیت گردید و با افزودن Al_2O_3 به ساختن گارنت از نوع آندرادیت ـ گروسولا مبادرت نمود. آندرادیتی را که در اثر نفوذ توده آذرین در سنگهای آهکی

---

1. Bulter 2. Shand 3. Kerrick
4. Michel- Levy

تشکیل می شود ، می توان نتیجه واکنشهای زیردانست :

1- $3SiO_2+3CaCO_3+Fe_2O_3 \longrightarrow Ca_3Fe_2Si_3O_{12}+3CO_2$

2- $3SiO_2+3CaCO_3+Fe_2O_3(Al_2O_3) \longrightarrow Ca_3(Fe,Al)_2Si_3O_{12}+3CO_2$

3- $3SiO_2+3CaCO_3+2FeO+1/2O_2 \longrightarrow Ca_3Fe_2Si_3O_{12}+3CO_2$

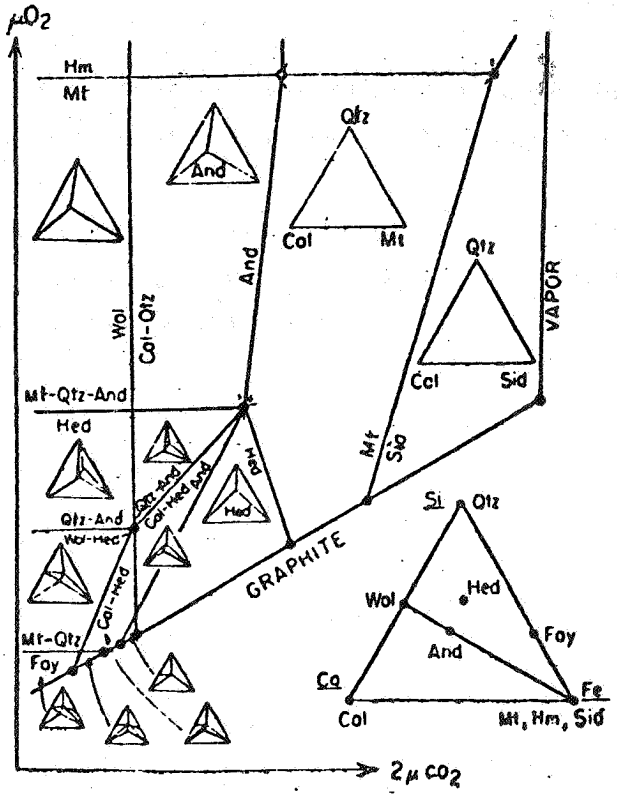
شکل ۷، ارتباط بین فشار موثر اکسیژن وگازکربنیک را درتشکیل کانیهای اسکارن نشان می دهد. با توجه به محدوده کانیهای کوارتز، مگنتیت ، کلسیت وآندرادیت ، مشاهده می شودکه درهنگام تشکیل این کانی ها فشار موثر اکسیژن با لاوفشار گازکربنیک بیشتر ازحد پایداری ولاستونیت بوده است .

طبق نظریه گوستافسون[1] [۱۴] ، آتکینسون وآینا ودی[2] [۱۵] ، فشار گازکربنیک با افزایش عمق زیاد می شودوازطرف دیگرتشکیل ولاستونیت مطابق واکنش $Sio_2 + CaCO_3 \longrightarrow CaSio_3 + CO_2$ وشکل ۸ ،بستگی به فشار موثرگازکربنیک داردوحوضه پایداری وتشکیل ولاستونیت با افزایش فشارکاهش می یابد. با توجه به اینکه درقسمت غربی منطقه دگرگونی ولاستونیت به مقدار زیادی تشکیل شده وبه طرف شرق ازمقدارآن کاسته می شودتا جائیکه توده سنگ آهن درشرق منطقه فاقدولاستونیت می شود ، می توان نتیجه گرفت که درزمان تشکیل کانیهای اسکارن در بخش غربی منطقه فشار موثرگازکربنیک به مراتب کمتراز بخش شرقی بوده است.

اکنون با توجه به ترکیب کانی شناسی ماده معدنی یعنی گارنت + کوارتز+ مگنتیت + کلسیت واینکه گارنت ازنوع آندرادیت بوده وتنها کانی عمده همراه مگنتیت می باشد ، می توان تصورکردکه آهن به صورت FeO ازطریق ماگما وهمراه با SiO_2 دردا خل سنگ آهک نفوذکرده ، بخشی

---

1. Gustafson 2. Atkinson & Einaudi



شکل ۷ـ حوزه پایداری کانیهای اسکارن در رابطه با فشار اکسیژن و گازکربنیک [۱۳]

ولاستونیت = *Wol* ، آندرادیت = *And* ، آنورتیت = *An*
مگنتیت = *Mt* ، کوارتز = *Qts* ، کلسیت = *Cal*
سیدریت = *Sid* ، هماتیت = *Hm* ، فایالیت = *Fay*
هدنبرژیت = *Hed*

ازآن طبق واکنش (3) تشکیل آندرادیت را داده وبخشی ازآن تحت تأثیر گازکربنیک تبدیل به مگنتیت شده است.

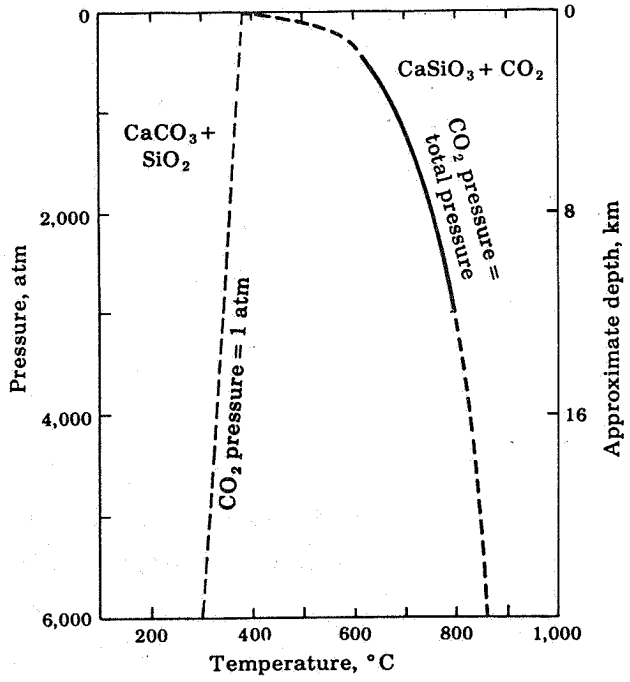
ازنظر وینکلر[1] [۱۷]، وجودکوارتزنشان می دهدکه با وجودحرارت

---

1. *Winkler*

مناسب جهت تشکیل ولاستونیت (بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد)، این کانی تشکیل نشده است که علت آن احتمالا "بالا بودن فشار موثر گاز کربنیک می‌باشد.

وجود کانیهائی مانند پرهنیت و اپیدوت را می‌توان حاصل دگرگونی قهقرائی که نتیجه تنزل درجه حرارت و افزایش فشار گازهائی مانند بخار آب است دانست و تشکیل اپیدوت را می‌توان به دگرگونی گرمابی نسبت داد.



شکل ۸ ـ منحنی های تعادلی حرارتی برای تشکیل ولاستونیت [۱۶]

نتیجه‌گیری

درحدود ۷۵ کیلومتری شمال شرق اصفهان ودرشمال روستای فشارک رسوبات مزوزوئیک دراثرنفوذیک توده پلوتونیتی با ترکیب گرانودیوریتی دگرگون شده ودرآن کانسارسازی اسکارن بوقوع پیوسته است.

منطقه معدنی به‌طول ۸۰۰ متروعرض ۴۰۰ متردرامتداد شرقی- غربی قراردارد. ماده معدنی مگنتیت است که‌دراثرعمل مارتیتیزاسیون‌بخشی ازآن به‌هماتیت تبدیل شده‌است. مشاهدات روی زمین نشان می‌دهد که‌درشرق منطقه، توده‌معدنی دارای رخنمون بیشتری بوده وسنگ آهن فاقدولاستونیت می‌باشد. با حرکت به‌طرف غرب ازمقدار بیرون زدگی سنگ آهن کم شده، ودرنمونه‌ها بلورهای ولاستونیت ظاهر می‌شوندتاجائیکه درغرب منطقه رخنمونهائی ازولاستونیت به‌صورت رشته‌ای با طول حدود ۳۰ سانتیمتر مشاهده می‌شود.

طبق مشاهدات آتکینسون وآینا ودی [۱۵]، دراسکارنهای بینگام آمریکا، مقدارمگنتیت با افزایش عمق زیادترمی‌گردد. برعکس درقسمتهای سطحی درصدمگنتیت کاهش ودرصدولاستونیت افزایش می‌یابد. با توجه به مطالب‌فوق انتظارمیرودتوده‌مگنتیت که‌درشرق منطقه‌رخنمون دارد، در بخش غربی منطقه‌درعمق نیزادامه‌داشته‌باشد. بطورکلی عیارآهن بین ۲۵ تا ۶۰ درصدنوسان دارد. به‌علت فقدان گوگردوفسفرونیزوجودمقدار مناسب‌سیلیس دربخش شرقی توده، می‌توان‌پیش بینی کردکه‌سنگ آهن دارای مرغوبیت نسبتا" خوبی است.

طبق مشاهدات روی زمین ومورفولوژی منطقه‌برای سنگ آهن‌ذخیره‌ای حدود ۱/۵ میلیون تن برآوردشده‌است که‌احتمالا"ذخیره‌قطعی آن‌به مراتب بیشترازاین مقدارخواهدبود. به‌منظورآگاهی کامل درموردخصوصیات کمی وکیفی کانسار، نیازبه‌عملیات تفضیلی‌ژئوفیزیکی وحفاری معدنی می‌رودکه‌خارج ازچارچوب‌این طرح قراردارد.

مراجع

1. Noorbehesht,I,and Torabi,H.," Petrographic and Mineralogic Studies of Hornfelses from North of Fesharak Village", Memorials of the Facul.of Engin.,Tehran University,No. 48,January,1988.

2. Park,J.C.F.and MacDiarmid,R.A.,Ore Deposits,3rd ed,W.H. Freeman and Co.,529P,1975.

3. Zahedi,M.," Explanatory Text of the Esfahan Quadrangel Map",1:250,000,Geol.Survey Iran.Geol.Quad.,No.F8,1976.

4. Noorbehesht,I., "Mineralogical Studies of Garnets in the Hornfelses of the Vege Field. Resea",Bull.of Isfahan University,Vol.2,No.1,2,1988.

5. Winchell,H.,"The Composition and Physical Properties of Garnets",Amer.Min.,V.43,1958.

6. Troeger,W.E.,Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale,Teil2,E.Schweizer-Bart'sche Verlag,Stuttgart, 1969.

7. Betechtin,A.G.,Lehrbuch der speziellen Mineralogie,VEB Deutscher Verlag für Drundstoffindustrie,Leipzig,1971.

8. Verkaeren,J.and Bartholome,P.," Petrology of the San Leone Magnetite Skarn Deposit"(S.W.Sardina),Econ.Geol., vol.74,1979.

9. Bulter,B.S.," A Suggested Explanation of the High Ferric Oxide Contact of Limestone Contact Zone ",Econ.Geol.,vol. 18,1923.

10. Shand,S.J.O.," The Genesis of Intrusive Magnetite and Related Ores",Econ.Geol,vol.42,1947.

11. Kerrick,D.M.," The Genesis of Zoned Skarns in the Sierra Nevada,California",Journal of Petrol.vol.18,1977.

12. Michel-Levy,M.," Reproduction artificielle des granats calciques;grossulaire et andradite",Bull.Soc.Frans.Min. Crist.,V.79,1956.

13. Burt,D.M.,Mineralogy and Geochemistry of Ca-Fe-Si Skarn Deposits,Unpublished Ph.D.Thesis, Harvard university, 1972a.

14. Gustafson,W.L.," The Stability of Andradite-Hedenbergite and Related Minerals in the System Ca-Fe-Si-O-H", Journal of Petrol.,vol.15,1974.

15. Atkinson,W.and Einaudi,M.T.," Skarn Formation and Mineralization in the Contact at Carr Fork",Bingham, Utah, Econ. Geol.,vol.73,1978.

16. Krauskopf,K.B.,Introdution to Geocoemistry,McGraw-Hill Book Company,721p,1967.

17. Winkler,H.G.F.,Die Genese der metamorphen Gesteine,2. Auflage,Springe-Verlag,Berlin Heidelberg,New York,1967.