

## مطالعه کانی شناسی و سنگ شناسی کانسار آهن در شمال شرق اصفهان

### ایرج نوربهبشت\*

#### چکیده

در ۷۵ کیلومتری شمال شرق اصفهان آهنکهای کرتاسه در مجاور گرانودیوریت‌های نئوژن دگرگون شده و باعث تشکیل کانسارهای اسکارن در این منطقه گردیده است. منطقه دگرگونی به دو بخش غربی با ترکیبی از کانیهای ولاستونیت، گارنت، اسپنل، اگزانتوفیلیت، کلسیت، و زووین، کوارتز و بخش شرقی با مجموعه کانیهای گارنت، کوارتز، کلسیت، ماگنتیت تقسیم می‌شود.

بخش غربی منطقه توسط نوربهبشت و تراپمسی [۱] مورد بررسی قرار گرفته و مقاله حاضر نتیجه مطالعات در بخش شرقی منطقه است. در این بخش توده‌ای از مگنتیت وجود دارد که قسمتی از آن در اثر عمل ماریتیت‌زاسیون به هماتیت تبدیل شده است. کانی اصلی همراه سنگ آهن، گارنت از نوع آن‌درادیت است. بطور کلی عیار آهن بین ۲۵ تا ۶۰ درصد نوسان دارد. بر طبق مشاهدات و مطالعات سطح زمین، برای سنگ آهن ذخیره‌ای حدود ۱/۵ میلیون تن برآورد شده است، که ذخیره قطعی آن احتمالاً "بمراستب بیشتر از این مقدار می‌باشد".

---

\* دانشیار گروه زمین شناسی - دانشکده علوم - دانشگاه اصفهان

## مقدمه

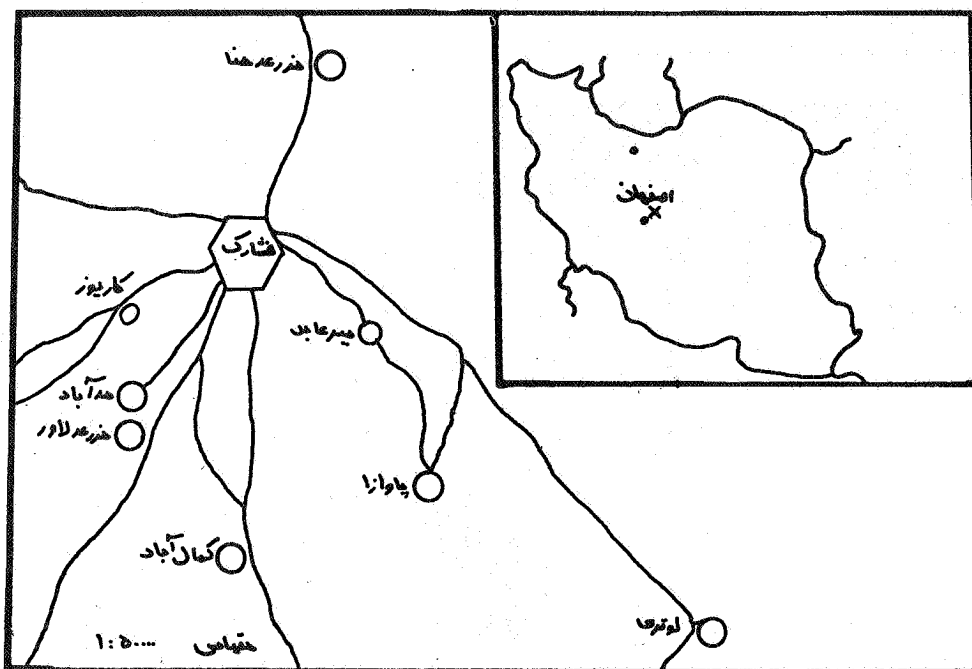
منطقه مورد مطالعه قسمتی از یک ناحیه دگرگونی در جنوب کوه مارشینان است که در آن رسوبات مزوزوئیک در اثر نفوذ یک توده پلوتونیتی با ترکیب گرانودیوریتی دگرگون شده و کانسارهای اسکارن بوقوع پیوسته است. معمولاً هنگامیکه یک توده ماگمایی به قسمتهای جامد پیوسته زمین نفوذ می کند، موجب تبلور دوباره، دگرسانی و پدید آمدن جانشینی درکانیهای تشکیل دهنده آنها می شود. عامل این تغییرات ممکن است حرارت یا سیالات گرم منشأ گرفته از توده ماگمایی 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 دار دوچنا نچه مواد آذر توده نفوذی به سنگ میزبان افزوده شود، کانسارهای اسکارن پدید می آید [۲].

از آنجائیکه این کانسارها از نظر اقتصادی حائز اهمیت، و تعداد زیادی از کانسارهای مهم دنیا از جمله ماگنیتیت نایب در آلورال 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 ۲ 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 سالانه منطقه ۲۴۰ میلی متر در سال و جزو مناطق نیمه خشک محسوب میگردد (شکل ۱).

## 1. Magnitnaja

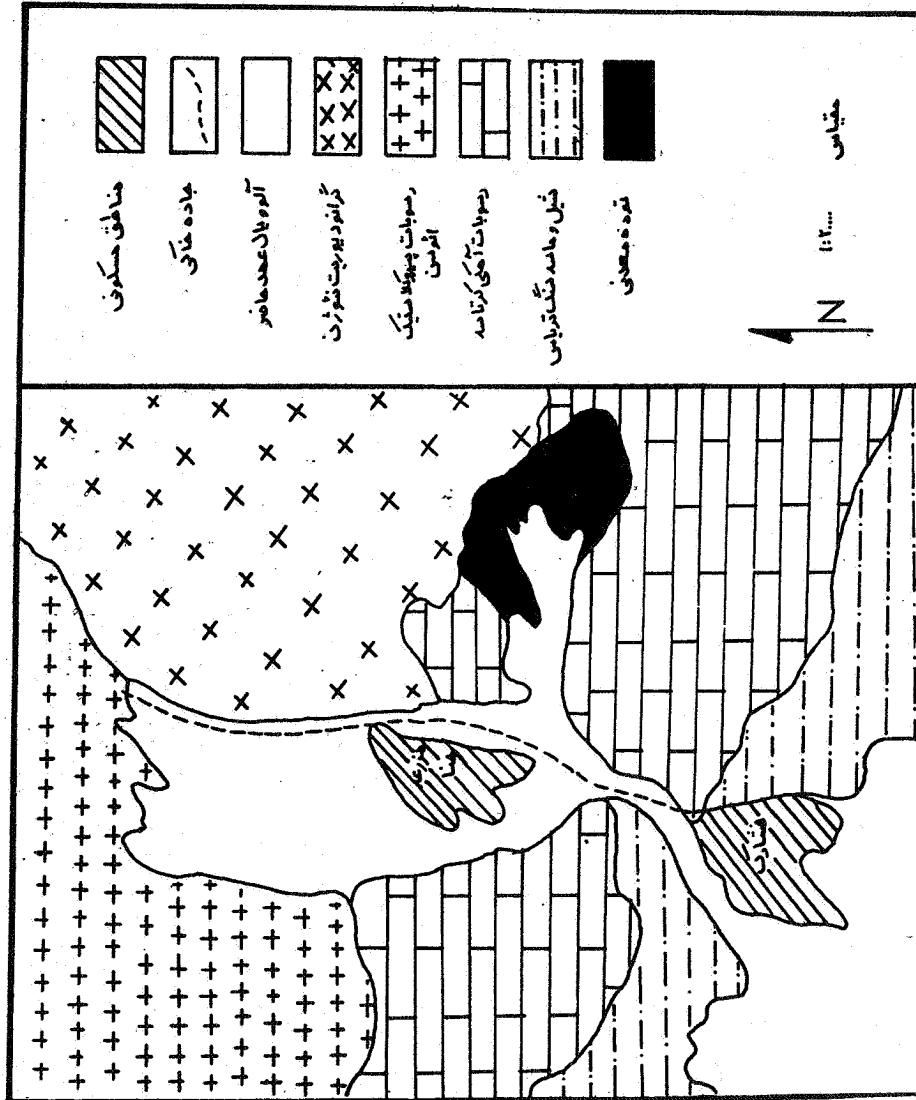


شکل ۱- نقشه راهنمای منطقه

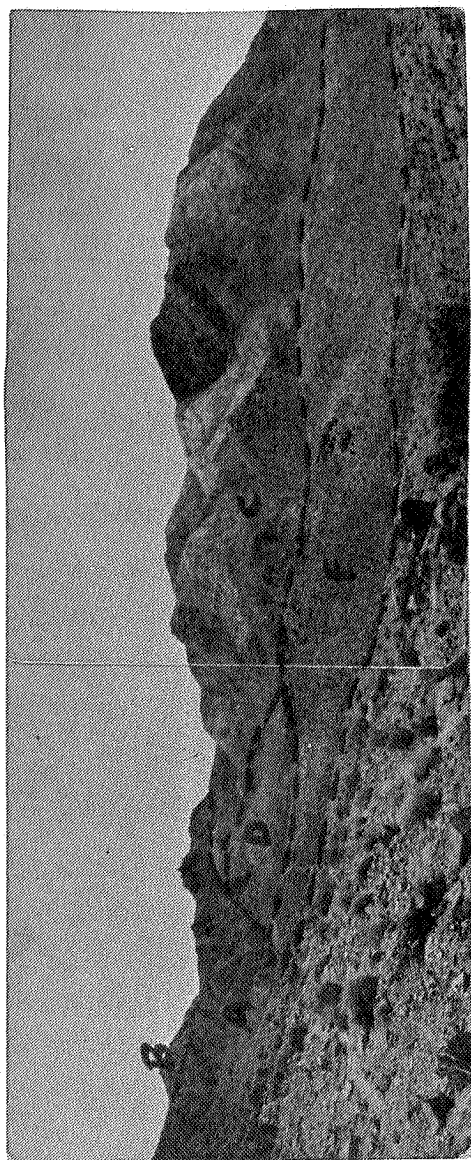
بطور کلی در ناحیه مورد مطالعه ( شکل ۲ ) سه نوع مختلف سنگهای آذرین ، سنگهای رسوبی و سنگهای دگرگونی گسترش دارند ، که هر یک بطور جداگانه مورد بررسی قرار خواهند گرفت ( شکل ۳ ) .

#### ۱- سنگهای آذرین

الف- سنگهای آذرین بیرونی : سنگهای آذرین بیرونی وولکانیکی از کثرت و توسعه بیشتری برخوردار بوده و غالباً " در شمال شرقی و شمال غربی فشارک ارتفاعاتی را بوجود آورده اند . این سنگها از نظر ترکیب و لیتولوژی متغیر بوده و اکثراً " از آندزیت بازالت - لائیت - لاوای آندزیتی - داسیت - برش آندزیتی - توف برشی و ریولیت تشکیل شده اند . وجود لایه های آهکی نوپولتیک در بین این سنگها سن ائوسن را مشخص می نماید .



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه



شکل ۳- A- گرانودیوریت B- ولکانیت C- آهکهای کرتاسه  
D- بیرون زدگی اصلی سنگ آهن همراه با آهک های متبلور  
E- سنگ آهن همراه با هورنفلسها و مواد آبرفتی

در مقاطع میکروسکوپی که از این سنگها تهیه گردیده، کانیهای پیروکسن (اویژیت) فلدسپات از نوع پلاژیوکلاز (آندزین)، بیوتیت قهوه‌ای با حاشیه تیره، کلریت دریک زمینه ویتروفریک همراه با شیشه که در بعضی نقاط پرلیتی شده و پدیده دیوتیریفیکاسیون در آن صورت گرفته، وجود دارند.

بسیارترین آذرین درونی: پیا رزترین 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 نسبتاً کمی برخوردار می باشد. با تولیت مارشینان از میان سنگهای آتشفشانی و پیروکلاستیک متعلق به ائوسن به سمت با لاحتکرت کرده و بر اثر فرسایش در سطح ظاهر شده و در شمال شرق و شمال غرب، تماس بلا فصلی با سنگهای ولکانیکی ائوسن دارد.

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

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

در بعضی از نمونه‌ها پدیده کاتاکلاستیک در اثر فشار در برخی از نوارهای 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 شیمیایی چهار نمونه از گرانودیوریت ها به کمک فلورسانس اشعه ایکس

درصد اکسیدها	نمونه شماره ۲۵	نمونه شماره ۱۲۲	نمونه شماره ۷۵	نمونه شماره ۹۶
SiO <sub>2</sub>	۶۵/۰۱	۶۲	۶۴/۲۰	۵۹/۸۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۵/۱۷	۱۶/۹۹	۱۵/۴۵	۱۷/۰۲
TiO <sub>2</sub>	۰/۵۶	۰/۹۷	۰/۶۰	۰/۹۵
FeO(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	۵/۵۸	۵/۰۱	۵/۵۵	۵/۱۵
MnO	۰/۱۰	۴۸	۰/۲۲	۰/۵۲
MgO	۲/۴۲	۲/۰۲	۲/۹۴	۲/۸۷
CaO	۵/۱۹	۵/۹۴	۵/۲۲	۵/۲۴
Na <sub>2</sub> O	۲/۱۸	۲/۵۷	۲/۳۴	۲/۲۱
K <sub>2</sub> O	۲/۱۷	۲/۸۸	۲/۱۹	۲/۲۸
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۴۵
جمع	۹۹/۴۸	۱۰۰/۴۸	۹۹/۷۲	۹۸/۶۲

ترکیب کانی شناسی نورما تبو

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

اوقات فرم رشته‌ای پیدا نموده‌اند. برخی از بلورهای بیوتیت در طول کلیواژها با خارج شدن آهن تبدیل به کلریت شده و بصورت لاملهائی دیده می‌شوند. کانیهای اوپاک بدو صورت اولیه با بلورهای نسبتاً "شکل‌دار" و ثانویه، از تجزیه بیوتیت‌ها، پیروکسها و آمفیبول‌ها ناشی شده‌اند. بلورهای درشت هورنبلند بصورت پوئیکیلوبلاست، بلورهای ازپلاژیوکلازو آپاتیت را دربرگرفته‌اند.

در داخل گرانودیوریت فشارک آنکلاوهای (اگزولیت‌های) به ابعاد متغیر حداکثر ۱۵٪ از جنس دیوریت به مقدار نسبتاً "فراوان و غالباً" به صورت‌های دایره‌ای و بیضوی شکل وجود دارد که به لحاظ ترکیب و رنگ تیره آنها از فاصله چندمتری قابل تشخیص می‌باشند. به جز گرانودیوریت فشارک که وصف آن گذشت در شمال ارتفاعات مارشینان در روستای ماروماربین و ظفرقند (خارج از ناحیه مورد نظر) رخنمون‌های ازگرائیت بارنگ روشن جلب توجه می‌کنند که احتمال می‌رود در ارتباط با بتولیت فشارک باشند.

## ۲- سنگهای رسوبی

سنگهای رسوبی که در ناحیه فشارک گسترده‌اند متعلق به دوره‌ای مزوزوئیک هستند. طبق مطالعاتی که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور صورت گرفته سنگهای رسوبی منطقه فشارک به صورت یک نوار بعرض متوسط یک کیلومتر و طول هفت کیلومتر در امتداد شمال غربی - جنوب و جنوب شرقی در حاشیه جنوبی و جنوب غربی کوه مارشینان و در تماس بلافاصله سنگهای آذرین قرار دارند و به کرتاسه زیرین و تریاس بالائی نسبت داده شده‌اند. که هر یک بطور جداگانه توصیف می‌گردند.

الف - آهکهای کرتاسه: سنگهای آهکی متعلق به کرتاسه در دامنه جنوبی ارتفاعات مارشینان که در مجاورت مستقیم سنگهای آذرین (گرانودیوریت و پیروکلاستیک) واقع شده‌اند، آهکهای نازک لایه به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای روشن با شیب حدود ۴۵-۳۰ درجه بسمت شمال



و شمال شرق و امتداد شمال غرب جنوب شرقی می باشند. این آهکها در شمال روستای فشارک به جهت تماس مستقیم با گرانودیوریتها تحت تأثیر حرارت زیاد قرار گرفته اند. در مبحث سنگهای دگرگونی بطور کامل به آنها اشاره خواهد شد.

آهکهای کرتاسه در جنوب مزرعه حنا بعلت نفوذا کسب منگنز به درون آنها اشکال دندریتی دارند. اگرچه طبق گزارش F8 سازمان زمین شناسی کشور [۳] این آهکها را به اشکوب با رمین معادل آهکهای اربیتولین دار زیرین نسبت داده اند ولی در جستجویی که صورت گرفت، هیچگونه آثاری از فسیل اربیتولین و یا فسیل اوسترا و یا سایر میکروفسیل های کوه در آهکهای اربیتولین دار مربوط به اشکوب (با رمین بالائی) در ناحیه کلاه قاضی اصفهان وجود دارد، رویت نگردید. ضخامت تقریبی این سنگهای کربناته بطور تقریبی ۳۰۰ متر حدس زده می شود. ضمناً "آهکها در بعضی نقاط حالتی مارنی بخود می گیرند. لازم به تذکر است که آهکهای با رمین زیرین (ماسه سنگهای قرمز، کنگلومرا و آهک دولومیت زرد رنگ) در ناحیه فشارک مشاهده نمی شود. این آهکها بطور کامل "مشخص و دگرشیب بر روی سنگهای زیرین خود قرار دارند.

ب- ماسه سنگهای تریاس بالائی: نهشته های راکه به تریاس بالائی نسبت داده اند [۳] شامل ماسه سنگ زیزدانه به رنگهای خاکستری تیره و روشن و شیل های سیاه رنگ اند. این رسوبات از شیب و امتداد خاصی برخوردار نیستند، اما در بعضی نقاط ماسه سنگها دارای امتداد شمالی و جنوبی و شیب حدود ۶۰ - ۸۰ درجه شرقی می باشند. بطور کلی ناموزونی این رسوبات با آهکهای فوقانی (آهکهای کرتاسه) و دگرشیبی آنها با یکدیگر بطور واضح در طبیعت (بخصوص در مزرعه وژه) قابل مشاهده است. در مطالعات سازمان زمین شناسی [۳] فسیل های هتراستریدیوم و مرجان برای سنگهای مربوط به تریاس بالائی معرفی شده است، لیکن در منطقه فشارک تا مزرعه وژه (غرب فشارک) که این سنگها گسترش دارند، هیچگونه آثاری از این فسیلها رویت نگردیده است. (لازم به

تذکر است که هترآستریدیوم و مرجان مونتلی والتیا در تریاس با لائی منطقه با قرآ با واقع در شمال اصفهان به فراوانی دیده می شوند. این سنگها ضمن آنکه گسترش کمتری نسبت به آهکهای کرتاسه دارند بصورت توارى به عرض حداکثره ۲۵ 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. در حفاری هائى که به منظور احداث ثقات در ناحیه صورت گرفته، شیلهای زغال دار در ناحیه وجود داشته اند، ولی در سطح موردی مشاهده نمی شود. از نظر لیتولوژیکی این رسوبات با نهشته های مربوط به ژوراسیک (لیاس) در حوضه اصفهان مطابقت داشته، و تشابه لیتولوژیکی این رسوبات با تریاس با لائی در شمال شرق اصفهان (با قرآ باد) مسلم است. اما به نظر نگارنده بعلمت عدم وجود ماکروفسیل در این رسوبات جهت تعیین سن دقیق این بخش از رسوبات ناحیه فشارک، مطالعه دقیق تر و بیشتری مورد نیاز است. ارتباط بین آهکهای کرتاسه زیرین و آنچه که بعنوان تریاس با لائی خوانده شده تکتونیکی است که در منطقه، بخصوص در مزرعه وژه (۸ کیلومتری غرب فشارک)، قابل رؤیت است. لیکن در گزارش مربوط به سازمان زمین شناسی و نقشه زمین شناسی همراه با آن، این مورد مشخص نشده است.

### ۳- سنگهای دگرگونی

حضور و ظهور با تولیت گرانودیوریتی ما رشینان در مجاورت مستقیم آهکهای کرتاسه زیرین در نئوژن منجر به پدیده کنتاکت متامورفیک گردیده است. شدت و ضعف این دگرگونی نسبت به میزان فاصله رسوبات کرتاسه به گرانودیوریت متغیر بوده بطوریکه در هیچ جایی رسوباتی که به تریاس با لائی نسبت داده شده به لحاظ دوری از گرانودیوریت به هیچ وجه تحت تأثیر قرار نگرفته است. ضمناً "گرانودیوریت ما رشینان در شمال و شمال شرق (کهنک، نیسیان و لوتری) و شمال غرب فشارک با سنگهای ولکانیکی و پیروکلاستیکی ائوسن در تماس مستقیم بوده ولی ولکانیتها

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 و غربی می توان تقسیم نمود؛ بخش غربی منطقه که فاقد ماده معدنی می باشد توسط نوربهشت و ترابی [۱] مورد مطالعه قرار گرفته است. کانیهای که در این بخش از منطقه وجود دارند عبارتند از: کلسیت، کوارتز، گارنت و زووین (ایدوکراز)، اپیدوت، ولاستونیت، اسپینل و اگزانتوفیلت. بغیر از مقدار پراکنده کانه که می توان از آنها بعنوان اکسورد هورنفلسها نام برد، کانه دیگری در این منطقه دیده نمی شود. از جنوب به طرف شمال در این منطقه سنگها تحت تأثیر رخساره پیروکسن-هورنفلس سپس هورنبلند-هورنفلس و بالاخره تحت تأثیر رخساره آلپیت-اپیدوت-هورنفلس قرار گرفته اند. نوربهشت [۱]، ضمن بررسی گارنت های اطراف مزرعه و ژه در شمال شرق اصفهان سنگهای این منطقه را نیز متبلور شده در رخساره هورنبلند-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-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 و غرب منطقه مورفولوژی آنرا تشکیل میدهند. در بخش مرکزی منطقه دگرگونی از جنوب به طرف شمال، متناوبا "بخشهای با امتداد شرقی-غربی از هورنفلسها و سنگ 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:

- ۱- کلسیت + کلینوپیروکسن + وزوویان (ایدوکرز) + اپیدوت + گارنت
- ۲- کلسیت + گارنت + کوارتز
- ۳- کلسیت - پرهنیت + ماگنتیت
- ۴- گارنت + کوارتز + ماگنتیت
- ۵- کلسیت + وزوویان + کلینوپیروکسن
- ۶- گارنت + اپیدوت + کوارتز
- ۷- هورنبلند + اپیدوت + کوارتز + اپلاژیوکلاز + اکتینولیت + ماگنتیت
- ۸- کلسیت + گارنت + ولاستونیت + وزوویان

کانی اصلی تمام سنگهای این منطقه گارنت می باشد که با اشکال و ترکیبات شیمیایی مختلف دیده می شود. پارامترهای بلورشناسی تعدادی از بلورهای گارنت بوسیله دستگاه

*Automatic Philips PW 1100 Four-Circle Diffractometer*

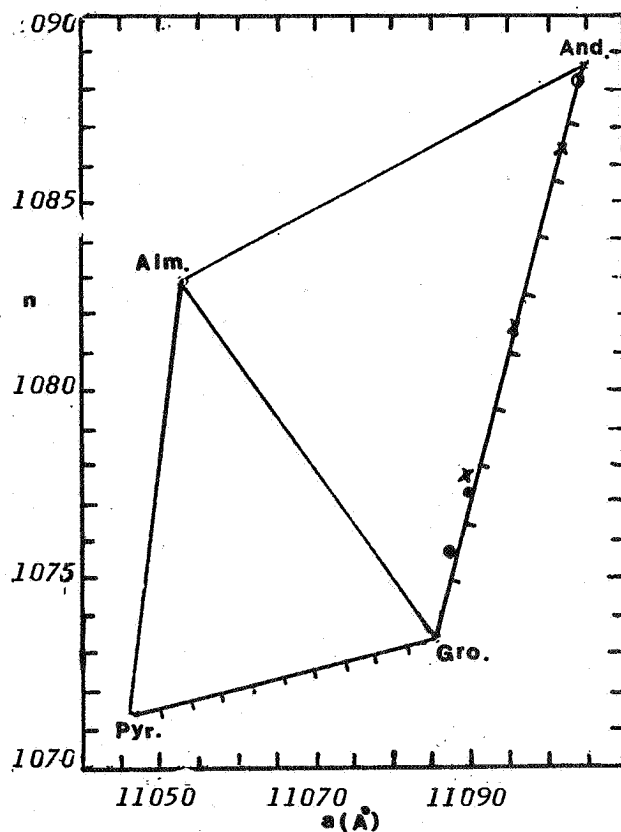
تعیین وضرب شکست آنها با استفاده از مایعات ایمرزیون و میزفدروف مشخص گردید. تجزیه شیمیایی گارنتها بوسیله دستگاه میکروپروب ساخت کارخانه کامک فرانسه انجام گرفت. در جدول (۴) پارامترهای بلورشناسی وضرب شکستش بلور گارنت آورده شده است. این دادهها بطریق وینچیل [۵] در نمودار شماره (۱) رسم گردیده است. درصدا جزاء متشکله که با این طریق بدست آمده، با تجزیه شیمیایی آنها تا حدود زیادی مطابقت می نماید.

در دامنه شرقی توده سنگ آهن و در مجاورت آن سنگهای قهوه‌ای رنگ دیده می شود که تماماً از بلورهای ریز گارنت تشکیل شده است. در مطالعات میکروسکوپی و بدون آنالیزور، این گارنتها دارای ساختمان بسیار بارز منطقه‌ای هستند (شکل ۳) ولی در زیر میکلهای عمود بر هم از نظر نوری کاملاً یزوتروپ میباشند. تجزیه شیمیایی این گارنتها نشان می دهد که از مرکز بطرف خارج تغییر شیمیایی منظمی صورت نگرفته است (جدول ۳)

*1. Winchell*

جدول ۲- پارامترهای بلورشناسی و ضریب شکست شش بلورگارنت

پارامتر $(A^0)a_0$	ضریب شکست $(n)$	شماره نمونه
۱۱/۸۸۲+۴	۱/۷۵۸	۱۴-۱/۱
۱۱/۹۱۳+۴	۱/۷۸۰	۱۴-۳/۱
۱۱/۹۶۰+۲	۱/۸۱۸	x-۱-۱/۱
۱۲/۰۲+۴	۱/۸۶۷	x-۲-۱/۲
۱۱/۹۴+۲	۱/۷۸۸	x-۱۰-۴/۲
۱۲/۰۴۸+۲	۱/۸۸۲	۵۷-۱۳

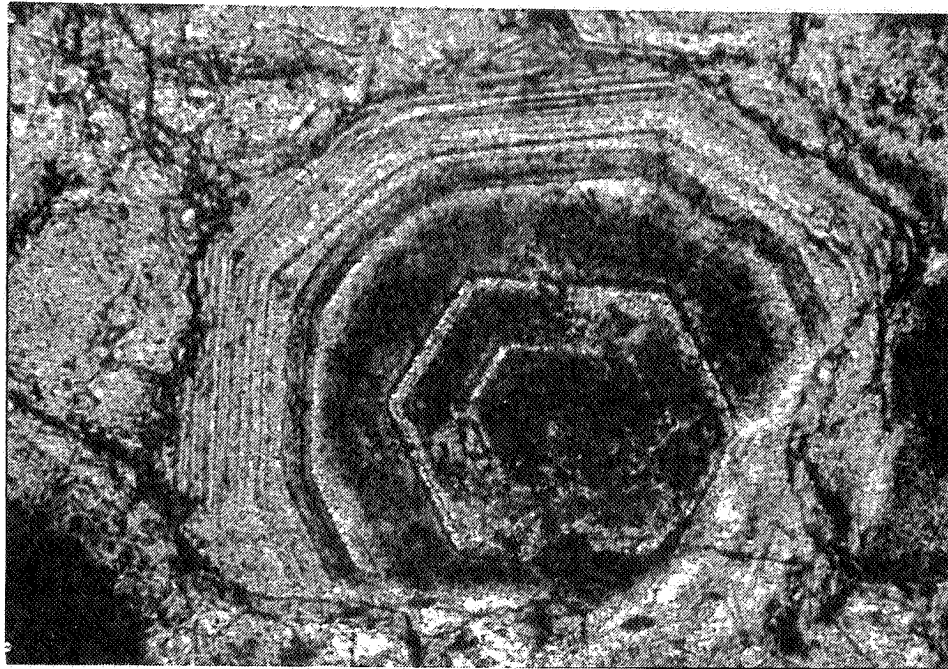


نمودار ۱- نمایش موقعیت گارنت‌های جدول (۱) در نمودار وینچل  
 winchell با توجه به پارامترهای بلورشناسی و ضرایب شکست آنها

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

جدول ۴- تجزیه شیمیائی یک بلورگارنت از مرکز پرف خارچ

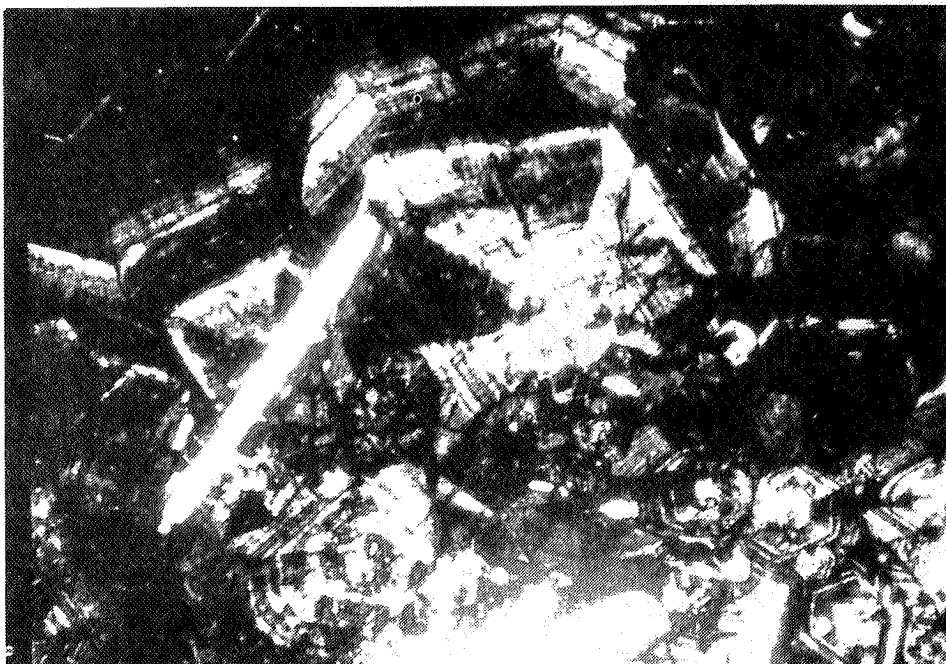
درصد درکسیدها	7-1/1 مرکز	8-1/1-8 وسط	9-1/1-9 کنار
SiO <sub>2</sub>	۲۴/۹۶	۲۵/۲۲	۲۵/۱۷
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲/۲۵	۲/۸۱	۱/۴۵
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	۰/۰۲	-
FeO(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	۲۴/۹۵	۲۴/۲۷	۲۵/۵۸
MnO	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۵۶
MgO	-	-	۰/۰۲
CaO	۲۲/۹۹	۲۲/۰۹	۲۲/۲۹
جمع	۹۵/۹۵	۹۶/۱۲	۹۶/۱۷
فرمول ساختاری براساس ۲۴ اکسیژن			
Si	۶/۴۰۵۲	۶/۲۶۶۹	۶/۲۶۲۴
Ti	۰/۰۰۵۷	۰/۰۱۲۴	۰/۰۰۹۹
Al	۰/۵۲۸۷	۰/۸۱۱۲	۰/۲۱۳۱
Cr	-	۰/۰۰۲۶	-
Fe	۲/۸۲۲۹	۲/۵۱۶۵	۲/۹۲۱۸
Mn	۰/۰۸۲۷	۰/۰۸۹۹	۰/۰۸۶۸
Mg	۰/۰۰۰۵	-	۰/۰۰۷۷
Ca	۶/۴۷۵۵	۶/۴۰۷۱	۶/۵۵۴۲
ترکیب درصدی گارنت ها			
آندرا دیت	۹۲	۸۷/۶	۹۶/۲
گروسولاز	۵/۴	۱۰/۸	۲/۲
اسپارتنین	۱/۶	۱/۶	۱/۶



شکل ۳- تصویر میکروسکوپی یک بلور گارنت بدون آنالیزور (مقیاس  $\times 160$ )

علاوه بر گارنت‌های فوق در اطراف توده سنگ آهن و همراه با آن گارنت‌هایی به صورت متراکم و توده‌ای دیده می‌شوند که بدون آنالیزور شفاف و یکنواخت‌اند، ولی در زیر میکالهای عمود بر هم، ساختمانی زون‌های که مبین تغییرات شیمیایی است و تقسیماتی منطقه‌ای که مبین وجود ماکل است دارند. (شکل ۴).

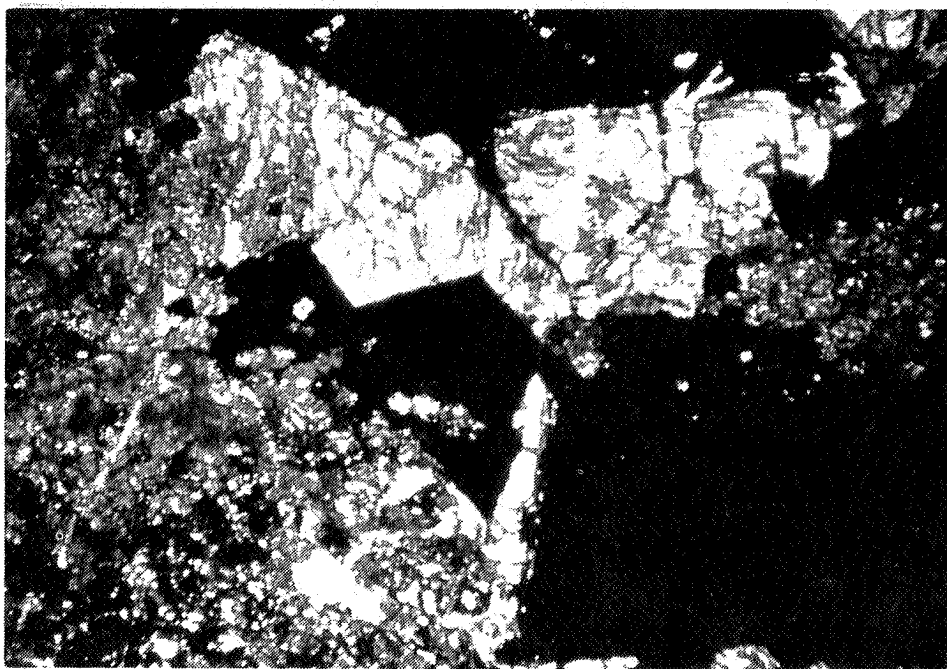




شکل ۴- بلورهای گارنت با ساختمان زون‌های و تقسیمات منطقه‌ای درزمینه‌ای از ماگنتیت (نیکله‌های عمود برهم، مقیاس ۱۶۰ x)

بررسیهای انجام شده نشان می‌دهد که قسمت اعظم ماده معدنی در بخش شرقی این منطقه فراگرفته است. در اینجا سنگ آهن به صورت توده‌ای در مجاورت و داخل آهکهای متبلور قرار دارد. ترکیب کلی کانی شناسی این آهکها کلسیت + کوارتز + گارنت + اپیدوت + پیروکسن است. اپیدوت و پیروکسن بصورت کانیهای فرعی به مقدار بسیار کم در لابلای بلورهای کلسیت دیده می‌شود. سنگ آهن عموماً " همراه با گارنت های توده‌ای شکل ظاهر می‌شود.

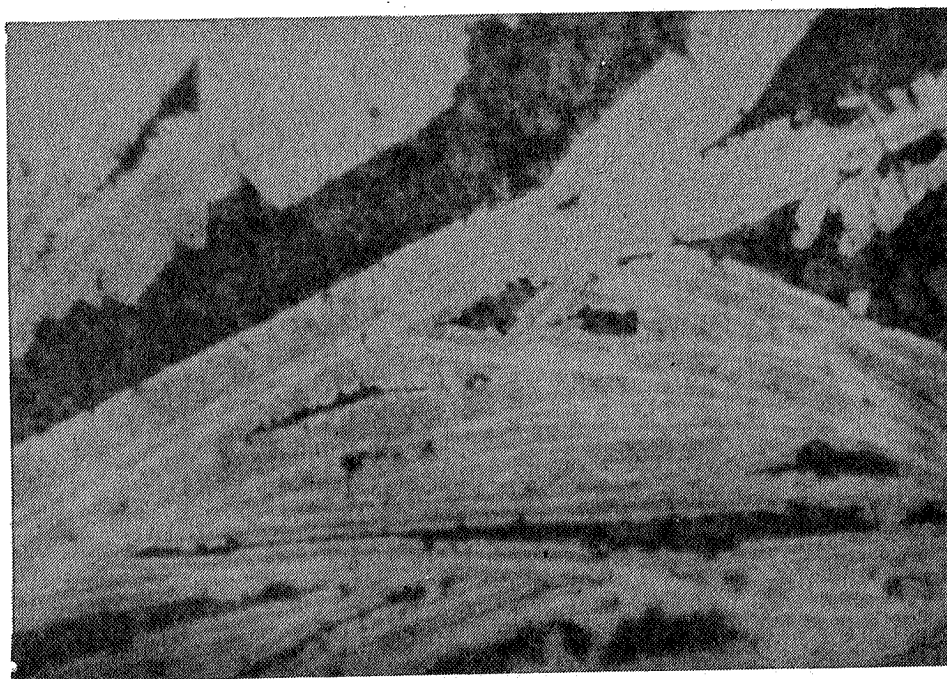
همانطور که قبلاً ذکر شد، این گارنت‌ها اغلب دارای ساختمانی زونه‌ای بوده و در بعضی نمونه‌ها مگنتیت همراه با کوارتز مشاهده می‌شود و کوارتز تنها کانی همراه مگنتیت در این نمونه‌هاست. گارنت‌های همراه مگنتیت اغلب به‌پیدوت تبدیل شده تا جاییکه در بعضی از بلورهای گارنت، پیدوت به صورت پسیدومرف جایگزین شده است (شکل ۵).



شکل ۵ - بلورهای شکل دارتا نیمه شکل گارنت که تماماً "به پیدوت تبدیل شده‌اند. زمینه سیاه رنگ مگنتیت و در سمت چپ تصویر بلورهای ریز گارنت و پیدوت دیده می‌شوند (نیکلهای عمود برهم، مقیاس  $\times 63$ )

تجزیه شیمیائی یک نمونه سنگ آهن به کمک دستگاه میکروپروپ نشان می دهد که گارنت های این ناحیه برخلاف بخش غربی منطقه دارای درصد بیشتری از آنند را دیت و ضمناً "خاوی مقداری اسپیرتین نیز می باشند (جدول ۴).

آزمایشات شیمیائی و همچنین مطالعات میکروسکوپی بانورانعکاسی نشان می دهد که آهن به صورت مگنتیت  $Fe_3O_4$  بوده و در آن عمل مارتیتیزاسیون مشاهده می شود. در نتیجه بخشی از مگنتیت به هماتیت  $Fe_2O_3$  تبدیل شده است (شکل ۶).



شکل ۶- تصویر میکروسکوپی مگنتیت (خاکستری) با پدید آمده مارتیتی شدن (خاکستری روشن). قسمتهای خاکستری و تیره اجتماع بلورهای گارنت می باشد (مقیاس  $\times 63$ )

جدول ۴- ترکیب شیمیائی و کانی شناسی یک نمونه سنگ آهن از بخش شرقی منطقه بکمک دستگاه میکرو پروب

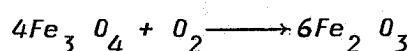
درصد اکسیدها	x-۱ ۱/۱	x-۲ ۱/۲	x-۱۲ ۵/۲	x-۱۰ ۴/۲	x-۴ ۱/۲	x-۱۱ ۵/۱
SiO <sub>2</sub>	۳۶/۵۷	۳۶/۱۵	۳۳/۷۶	۳۹/۰۴	۱/۴۲	۱/۰۲
TiO <sub>2</sub>	۰/۹۲	۰/۲۸	-	۰/۴۵	۰/۰۸	۰/۰۴
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۹/۹۵	۶/۱۸	۰/۹۲	۱۸/۵۹	۰/۱۴	۰/۰۷
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۰۲	-	-	-	۰/۰۱	-
FeO(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	۱۵/۶۷	۲۰/۹۵	۲۷/۲۵	۲/۷۰	۹۰/۳۹	۹۱/۵۴
MnO	۲/۴۸	۱/۷۰	۰/۶۲	۰/۳۲	۰/۱۴	۰/۱۶
MgO	۰/۰۲	۰/۰۱	-	۰/۳۲	-	-
CaO	۳۲/۷۸	۳۲/۲۹	۳۳/۶۶	۳۷/۲۲	۰/۲۰	۰/۱۸
جمع	۹۹/۴۲	۹۸/۵	۹۶/۲۵	۱۰۰/۷۵	۹۲/۴۸	۹۳/۰۲

	کالکولیشن					
	فرمول براساس ۲۴ اکسیژن			فرمول براساس ۴ اکسیژن		
Si	۶/۱۲۲	۶/۲۷۴	۶/۲۰۱	۵/۹۹۲	۰/۰۷۲	۰/۰۵۲
Ti	۰/۱۱۷	۰/۰۳۷	۰	۰/۰۵۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
Al	۱/۹۶۲	۱/۲۶۴	۰/۲۰۷	۲/۳۸۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴
Cr	۰/۰۰۲	-	-	-	۰/۰۰۱	-
Fe	۲/۱۹۴	۲/۰۴۱	۲/۲۵۴	۰/۶۰۲	۲/۸۱۴	۲/۸۵۹
Mn	۰/۴۹۴	۰/۲۵۰	۰/۱۰۱	۰/۰۴۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷
Mg	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۷۲	۰	۰
Ca	۵/۸۸۰	۶/۱۹۰	۶/۷۲۱	۶/۱۲۱	۰/۰۱۶	۰/۰۱۰

ترکیب در صدگازها				
x-۱۰ ۴/۲	x-۱۲ ۵/۲	x-۲ ۱/۲	x-۱ ۱/۱	
۲۸/۵۷	۱۰۰	۸۶/۷	۵۴/۹۷	آندرادیت
۱/۴۲		۱/۷	۵/۰	اسپارترین
۶۴/۲۸		۱۱/۶	۳۹/۹۸	گروسولار
۵/۷۲		-	۰/۰۵	پروپ

به عقیده تروگر [۶] تغییر پتانسیل احیا بوسیله مواد گرمایی می تواند موجب تشکیل ما رتیت شود. بتش تین<sup>۲</sup> [۷] معتقد است در کشورهایی با آب و هوای گرم در قسمت فوقانی کانسار مگنتیت عمل مارتیتی شدن اغلب مطابق واکنش زیر انجام می شود:



شجریه 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 آهن کاسته می شود. بطور کلی از جنوب به طرف شمال توده معدنی، عیار آهن زیادتر شده ولی در داخل بخشهای با امتداد شرقی - غربی عیار آهن بسیار متغیر می باشد. در شرق منطقه سنگ آهن به علت دارا بودن آهن زیاد دیرا حتی 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 مضع آهن یعنی اکسید آهن دو ظرفیتی و سه ظرفیتی است. در مورد منشاء آهن در کانسارهای اسکارن بخصوص از نوع مگنتیت نظریات زیادی ارائه شده است. به عقیده فرکاثرن و بارتولومه<sup>۳</sup> [۸] آهن می تواند بدو صورت زیر تشکیل شود.

— در اثر حرارت توده نفوذی آهن موجود در سنگهای رسوبی آزاد میشود؛  
— آهن بوسیله محلولهای ماگمایی - گرمایی وارد محیط رسوبی و دگرگونی گردد.

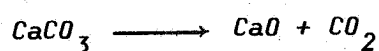
1. Troeger 2. Betehtin 3. Verkaeren & Bartholome

## استقلال

جدول ۵- ترکیب شیمیایی ۵ نمونه سنگ آهن بکمک فلورسانس اشعه ایکس  
( تمام آهن بر حسب  $Fe_3O_4$  محاسب شده است ) .

درصد کسیدها	۱۱۲	۱۱۳	۱۱۴	۱۱۵	۱۱۶	۱۱۷	۱۱۸
$SiO_2$	۳۳/۴۱	۳۳/۴۲	۱۵/۸۱	۱۶/۲۴	۳۳/۴۲	۳۳/۴۲	۳۳/۴۱
$Al_2O_3$	۸/۶۲	۲/۶۲	۲/۵۱	۲/۰۱	۲/۶۲	۲/۶۲	۸/۶۲
$TiO_2$	۰/۳۱	۰/۱۱۲	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۳۱
$Fe_3O_4$	۲۱/۱۱	۲۴/۶۰	۷۱/۴۵	۶۵/۲	۲۴/۶۰	۲۴/۶۰	۲۱/۱۱
$MnO$	۰/۶۶	۰/۸۴	۰/۳۲	۰/۹۷	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۶۶
$MgO$	۰/۱۱۲	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۱۱۲
$CaO$	۲۵/۸۸	۲۶/۷۴	۸/۲۵	۱۴/۵۶	۲۶/۷۴	۲۶/۷۴	۲۵/۸۸
$Na_2O$	-	-	-	-	-	-	-
$K_2O$	-	-	۰/۰۷	-	-	۰/۰۷	-
$P_2O_5$	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۶
جمع	۱۱۱/۹۷	۱۱۱/۵۶	۱۰۰/۱۱	۱۰۰/۷۲	۱۱۱/۵۶	۱۱۱/۵۶	۱۱۱/۹۷

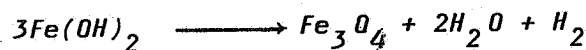
طبق نظریه بالتز [۹] بخشی از اکسید آهن دو ظرفیتی تحت تاثیر  $CO_2$ ، می تواند به آهن سه ظرفیتی تبدیل شده و باعث تشکیل مگنتیت گردد. در درجه حرارتی که کانسارهای اسکارن تشکیل می شوند، معمولاً آهن تجزیه می شود:



کازکربنیک آزاد شده در این شرایط به صورت عامل اکسیدکننده عمل می کند و آهن دو ظرفیتی را به آهن سه ظرفیتی تبدیل می کند:



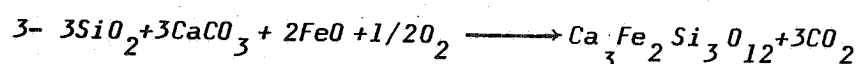
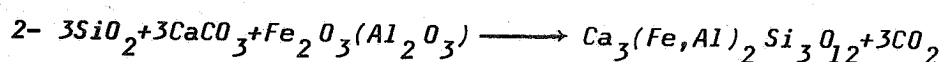
به عقیده پارک و مک دیا رمید [۱۱] در صورت کاهش درجه حرارت، واکنش فوق به صورت عکس عمل می کند. از نظرشاندا [۱۰]، پارک و مک دیا رمید هیدرواکسید آهن دو ظرفیتی در اثر ازدست دادن آب ممکن است به مگنتیت تبدیل شود:



طبق نظریه کریک [۱۱]، ممکن است انتشار  $SiO_2$ ،  $Al_2O_3$  و  $FeO$  از ماگما و انتشار  $CaO$  و  $CO_2$  از سنگهای آهنی باشد. همانطور که قبلاً ذکر گردید مگنتیت اصولاً همراه با گارنت از نوع آندرا دیت تشکیل شده است. میشل سوی [۱۲] با ترکیبی از  $3SiO_2$ ،  $Fe_2O_3$  و  $3CaO$  در فشاری معادل ۵۰۰ بار و دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد موفق به تهیه آندرا دیت گردید و با افزودن  $Al_2O_3$  به ساختن گارنت از نوع آندرا دیت - گروسولا مبادرت نمود. آندرا دیتی را که در اثر نفوذ توده آذرین در سنگهای آهنی

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

تشکیل می شود، می توان نتیجه واکنشهای زیر دانست:

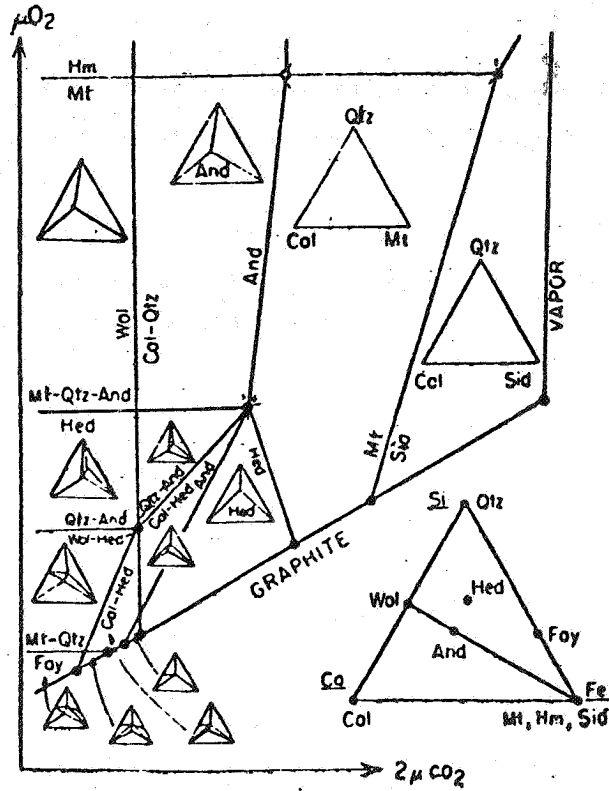


شکل ۷، ارتباط بین فشار موثر اکسیژن و گام زکربنیک را در تشکیل کانیهای اسکارن نشان می دهد. با توجه به محدوده کانیهای کوارتز، مگنتیت، کلسیت و آندرا دیت، مشاهده می شود که در هنگام تشکیل این کانیها فشار موثر اکسیژن با لافشار گام زکربنیک بیشتر از حد پایداری ولاستونیت بوده است.

طبق نظریه گوستافسون<sup>۱</sup> [۱۶]، آتکینسون و آیناودی<sup>۲</sup> [۱۵]، فشار گام زکربنیک با افزایش عمق زیاد می شود و از طرف دیگر تشکیل ولاستونیت مطابق واکنش  $SiO_2 + CaCO_3 \longrightarrow CaSiO_3 + CO_2$  و شکل ۸، بستگی به فشار موثر گام زکربنیک دارد و حوضه پایداری و تشکیل ولاستونیت با افزایش فشار کاهش می یابد. با توجه به اینکه در قسمت غربی منطقه دگرگونی ولاستونیت به مقدار زیادی تشکیل شده و به طرف شرق از مقدار آن کاسته می شود تا جاییکه توده سنگ آهن در شرق منطقه فاقد ولاستونیت می شود، می توان نتیجه گرفت که در زمان تشکیل کانیهای اسکارن در بخش غربی منطقه فشار موثر گام زکربنیک به مراتب کمتر از بخش شرقی بوده است. اکنون با توجه به ترکیب کانی شناسی ماده معدنی یعنی گارنت + کوارتز + مگنتیت + کلسیت و اینکه گارنت از نوع آندرا دیت بوده و تنها کانی عمده همراه مگنتیت می باشد، می توان تصور کرد که آهن به صورت FeO از طریق ماگما همراه با  $SiO_2$  در داخل سنگ آهک نفوذ کرده، بخشی

1. Gustafson 2. Atkinson & Einaudi





شکل ۷- حوزه پایداری کانیهای اسکارن در رابطه با فشار اکسیژن و گاز کربنیک [۱۳]

*An* = آنورتیت ، *And* = آندرا دیت ، *Wol* = ولاستونیت  
*Cal* = کلسیت ، *Qtz* = کوارتز ، *Mt* = مگنتیت  
*Fay* = فایالیت ، *Hm* = همتیت ، *Sid* = سیدریت  
*Hed* = هدبرژیت

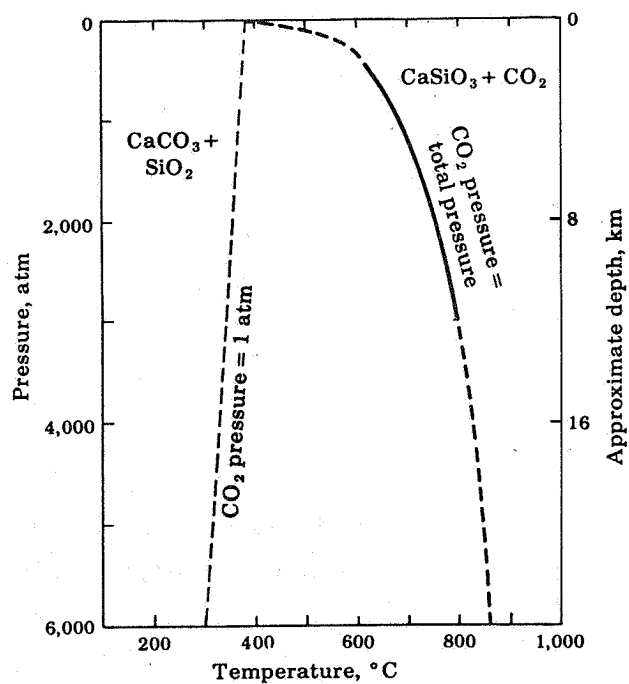
از آن طبق واکنش (3) تشکیل آندرا دیت را داده و بخشی از آن تحت تأثیر گاز کربنیک تبدیل به مگنتیت شده است .

از نظروینکلر<sup>۱</sup> [۱۷] ، وجود کوارتز نشان می دهد که با وجود حرارت

1. Winkler

مناسب جهت تشکیل ولاستونیت (بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد)، این کانی تشکیل نشده است که علت آن احتمالاً "با لا بودن فشار موثر گاز کربنیک می باشد.

وجود کانیهای مانند پرهنیت و اپیدوت را می توان حاصل دگرگونی قهقهه را می بیند که نتیجه تنزل درجه حرارت و افزایش فشار رگانه های ما نند بخار آب است دانست و تشکیل اپیدوت را می توان به دگرگونی گرمایی نسبت داد.



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

## نتیجه گیری

در حدود ۷۵ کیلومتری شمال شرق اصفهان و در شمال روستای فشارک رسوبات مزوزوئیک در اثر نفوذ یک توده پلوتونیتی با ترکیب گرانودیوریتی دگرگون شده و در آن کانسارهای اشکارن بوقوع پیوسته است. منطقه معدنی به طول ۸۰۰ متر و عرض ۴۰۰ متر در امتداد شرقی-غربی قرار دارد. ماده معدنی مگنتیت است که در اثر عمل مارتیتیزاسیون بخشی از آن به هماتیت تبدیل شده است. مشاهدات روی زمین نشان می‌دهد که در شرق منطقه، توده معدنی دارای رخنمون بیشتری بوده و سنگ آهن فاقد ولاستونیت می‌باشد. با حرکت به طرف غرب با مقدار بیرون زدگی سنگ آهن کم شده، و در نمونه‌ها بلورهای ولاستونیت ظاهر می‌شوند تا جاییکه در غرب منطقه رخنمونهای ازولاستونیت به صورت رشته‌ای با طول حدود ۳۰ سانتی‌متر مشاهده می‌شود.

طبق مشاهدات آتکینسون و آیناودی [۱۵]، در اسکارنهای بینگام آمریکا، مقدار مگنتیت با افزایش عمق زیادتر می‌گردد. برعکس در قسمت‌های سطحی درصد مگنتیت کاهش و درصد ولاستونیت افزایش می‌یابد. با توجه به مطالب فوق انتظار می‌رود توده مگنتیت که در شرق منطقه رخنمون دارد، در بخش غربی منطقه در عمق نیز ادامه داشته باشد. بطور کلی عیار آهن بین ۲۵ تا ۶۰ درصد نوسان دارد. به علت فقدان گوگرد و فسفر و نیز وجود مقدار مناسب سیلیس در بخش شرقی توده، می‌توان پیش‌بینی کرد که سنگ آهن دارای مرغوبیت نسبتاً خوبی است.

طبق مشاهدات روی زمین و مورفولوژی منطقه برای سنگ آهن ذخیره‌ای حدود ۱/۵ میلیون تن برآورد شده است که احتمالاً ذخیره قطعی آن به مراتب بیشتر از این مقدار خواهد بود. به منظور آگاهی کامل در مورد خصوصیات کمی و کیفی کانسار، نیاز به عملیات تفصیلی ژئوفیزیکی و حفاری معدنی می‌رود که خارج از چارچوب این طرح قرار دارد.

## 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, Teil 2, E. Schweizer-Bart'sche Verlag, Stuttgart, 1969.
7. Betehtin, 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. Sardinia), *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., Introduction to Geochemistry, McGraw-Hill Book Company, 721p, 1967.
17. Winkler, H. G. F., Die Genese der metamorphen Gesteine, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1967.