



## بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ایزوتوپ‌های گوگرد در کانسار گلالی، غرب ایران

### مهرداد براتی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۲۳، نسخه نهایی: ۹۰/۲/۲۰)

**چکیده:** کانسار گلالی در غرب ایران، در زون سنندج سیرجان و در دامنه‌ی ارتفاعات کرمخانی کوه آلموقلاق واقع شده است. کانه اصلی این ذخیره، مگنتیت است، ولی مقادیری هماتیت، گوتیت، لیمونیت ثانویه، مالاکیت و پیریت در این کانسار دیده می‌شوند. این ذخیره در محل گسل شمالی گلالی واقع شده، و حرکات‌های این گسل در طول تاریخ، در تشکیل این ذخیره نقش تعیین‌کننده‌ای داشته است که در حقیقت آنچه امروز به عنوان کانسار گلالی شناخته می‌شود، مجموعه‌ای است که در اثر حرکات‌های گسلی و کانه‌زایی متعاقب آن شکل گرفته است؛ به طوری که می‌توان مراحل کانه‌زایی زیر را در آن مشخص کرد: کانه‌زایی فاز ۱: شامل اکسیدها و مخصوصاً مگنتیت بسیار چگال و فشرده با مقادیر بسیار ناچیزی پیریت به عنوان یک کانه‌ی سولفیدی است. کانه‌زایی فاز ۲: شامل کانی‌زایی سیلیکاتی، اکسیدی و سولفیدی است که کانه‌های تشکیل شده‌ی فاز ۲ کانه‌زایی، در کانه‌های موجود فاز ۱ تزریق شده‌اند. کانه‌زایی فاز ۳: شامل کانه‌زایی گوتیت با خاستگاه بسیار نادر گرمابی است. دگرسانی شامل اسکارنی شدن، اپیدوتی شدن، دولومیتی شدن به همراه رگه‌های آرژلیتی تا مونت‌موریونیتی. با اندازه‌گیری‌های انجام شده می‌توان رسوب‌های تبخیری را به‌عنوان خاستگاه گوگرد در این ذخیره معرفی کرد.

**واژه‌های کلیدی:** گلالی؛ آهن؛ اسکارن؛ ۳ فاز کانه‌زایی؛ حرکات‌های گسلی؛ مگنتیت؛ بافت برشی؛ ایزوتوپ‌های گوگرد.

### مقدمه

دارند که بعضی از آنها شناخته شده‌اند در حالی که از وجود بعضی از آنها، متخصصین هنوز بی‌خبرند [۹]. معدن آهن گلالی در ۲۸ کیلومتری شمال شرق شهرستان قروه و در ۴۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان همدان در زون زمین‌شناسی سنندج - سیرجان واقع شده است. معدن گلالی بزرگترین معدن اسکارن در منطقه‌ی کردستان است [۵، ۱۰]، که در حوضه‌ی پشت قوسی تشکیل شده است [۱۱] و از نظر ترکیب کانی‌شناسی و ژئوشیمی با معادن دیگر منطقه تفاوت دارد. ذخیره‌ی آهن گلالی در ارتباط با سیستم‌های ماگمایی - گرمابی وابسته به توده‌ی سینیتی - مونزونیتی الموقلاق است که در سطوح فوقانی پوسته‌ی زمین تشکیل شده است. توده‌ی پلوتونی نیمه عمیق الموقلاق خاستگاه گرما، شارها و فلز در گرمابی‌های سازنده‌ی این کانسار بوده‌اند [۱۱، ۱۲].

زون سنندج سیرجان در گستره‌ی ملایر - اصفهان به‌عنوان منطقه‌ی آهن دار در ایران شناخته شده است و دارای چندین ذخیره‌ی عدسی تا صفحه‌ای شکل بزرگ آهن‌دار است [۱]، که به سیستم‌های پلوتونی - ولکانیکی منطقه وابسته است [۳، ۲] که ذخایر آهن مهمترین ذخایر اقتصادی در این منطقه هستند. مهمترین معادن فعال آهن در این منطقه شامل معدن آهن باباعلی در شمال غرب همدان و شمس آباد نزدیک به اراک و شهرک نزدیک به زنجان و گلالی در ۲۸ کیلومتری شمال شرق شهر قروه در استان کردستان است [۵، ۴]. منطقه‌ی آهن - دار شهرک با دارا بودن ۱۰ نمایه‌ی بزرگ آهن و دو معدن فعال، بزرگترین معدن آهن در این منطقه است، [۶-۸]. علاوه بر این ذخایر تعداد زیادی نمایه‌ی آهن نیز در منطقه وجود

مگنتیت کانه‌ی اصلی این ذخایر است و کانه‌ی هماتیت در آنها به مقدار کمی یافت می‌شود. سولفید این ذخایر پیریت است که به شکل‌ها و ابعاد بسیار گوناگون در آنها دیده می‌شود. مقدار این کانی در این ذخایر بسیار متفاوت است و مقدار آن با عمق تغییر می‌کند. در کانسار شهرک، پیرویت سولفید اصلی است که در اعماق به پیریت تبدیل می‌شود [۶]. علاوه بر این کانی‌ها، مقادیر متفاوتی سولفیدهای دیگر مانند کالکوپیریت، بورنیت، کالکوزین و حتی کولیت در اعضای جنوبی‌تر این مجموعه مانند ذخیره‌ی همه‌کسی وجود دارد [۱۰]، در حالی که در اعضای شمالی‌تر این مجموعه پیرویت و پیریت تنها سولفیدهای موجود را تشکیل می‌دهند. لازم به یادآوری است که پیریت در همه حال سولفید غالب است. کانی‌های ثانویه که در این ذخایر عبارتند از لیمونیت، ملاکیت و سیدریت. ذخیره‌ی آهن گلالی در میانه نوار یاد شده قرار گرفته و دارای ژن اسکارنی است [۲۰، ۱۹، ۱۵، ۷] و بیشتر از مگنتیت با بافت و ساخت برشی تشکیل شده است که حاکی از قرارگیری این ذخیره در زون گسلی است. حرکت‌های این گسل (گسل گلالی) موجب تشکیل فازهای کانه‌زایی گوناگونی در محل این کانسار شده است.

#### روش بررسی

روش بررسی در این مقاله شامل: (۱) بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری (تعداد ۴۰ نمونه) (۲) بررسی‌های آزمایشگاهی (XRF, ICP-MS, EPMA) و (۳) برداشت.

#### بحث و بررسی

##### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

کانسار آهن گلالی در ۵۸ کیلومتری شمال غربی همدان و ۲ کیلومتری شمال روستای گلالی قرار گرفته است. مختصات جغرافیایی این معدن عبارتند از: طول ۴۷° ۹۳، ۵۴' و عرض ۳۴° ۱۹۶، ۵۹' شمالی و ارتفاع متوسط بیرون‌زدگی آن ۱۹۰۰ متر است. این کانسار در دامنه‌ی ارتفاعات کرمخانی آموقلاق قرار دارد (شکل ۱).

کانسار آهن گلالی از دو کانسار جداگانه تشکیل شده است. کانسار شماره ۱ در ارتفاع کمتر قرار دارد و در حال حاضر بهره برداری می‌شود و در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. واحدهای لیتولوژیک گستره این ذخیره عبارتند از:

۱. سری آتشفشانی - رسوبی
۲. سری آهکی - شیستی
۳. سری فیلیت همدان
۴. سری آهکی کرتاسه

معدن کاری در این ذخیره در طول زمان ادامه‌دار، و در ۳۰ سال اخیر گاها فعال و زمانی نیز غیر فعال بوده است. میزان دقیق تولید این ذخیره در این مدت کاری بسیار دشوار است. با توجه به بازدیدهای مکرر از منطقه می‌توان کل میزان استخراج شده از این معدن از سوی شرکت‌های مختلف را حدود ۱۰ میلیون تن آهن با عیار ۵۰٪ مگنتیت برآورد کرد [۱۳-۱۵]. از سال ۱۳۸۶، با بالا رفتن ارزش جهانی آهن و افزایش تقاضا برای این محصول این معدن دوباره فعال شده است. تولیدهای این معدن بیشتر به ذوب آهن اصفهان ارسال شده یا از بنادر به خارج از کشور صادر می‌شود. مهمترین خریدار خارجی محصولات این معدن چین است.

نزدیکترین نمایه‌ی آهن به کانسار گلالی، نمایه‌ی آهن مگنتیتی خسروآباد در فاصله‌ی ۵ کیلومتری جنوب‌غربی آن و در مسیر جاده‌ی آسفالت همدان - سنقر است [۱۶، ۲۱].

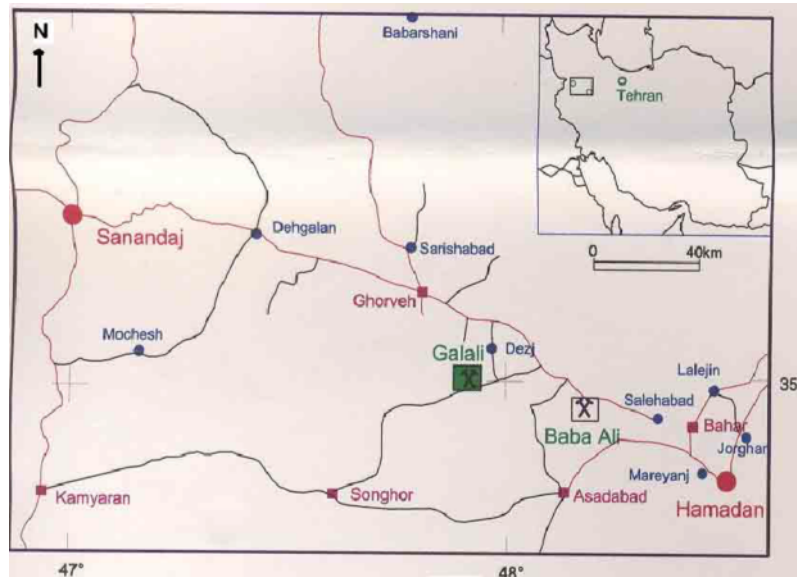
در بررسی‌های به عمل آمده مشخص شد که این ذخیره دارای ۳ فاز کانه‌زایی است که از این میان فاز اول ذخیره با تولید مگنتیت توده‌ای با عیار ۶۰٪ بسیار مهم است. در این مقاله به بررسی زمین‌شناسی، ژئوشیمی و کانه‌نگاری این کانسار به منظور تعیین چگونگی تشکیل آن می‌پردازیم.

#### زمین‌شناسی ناحیه‌ای

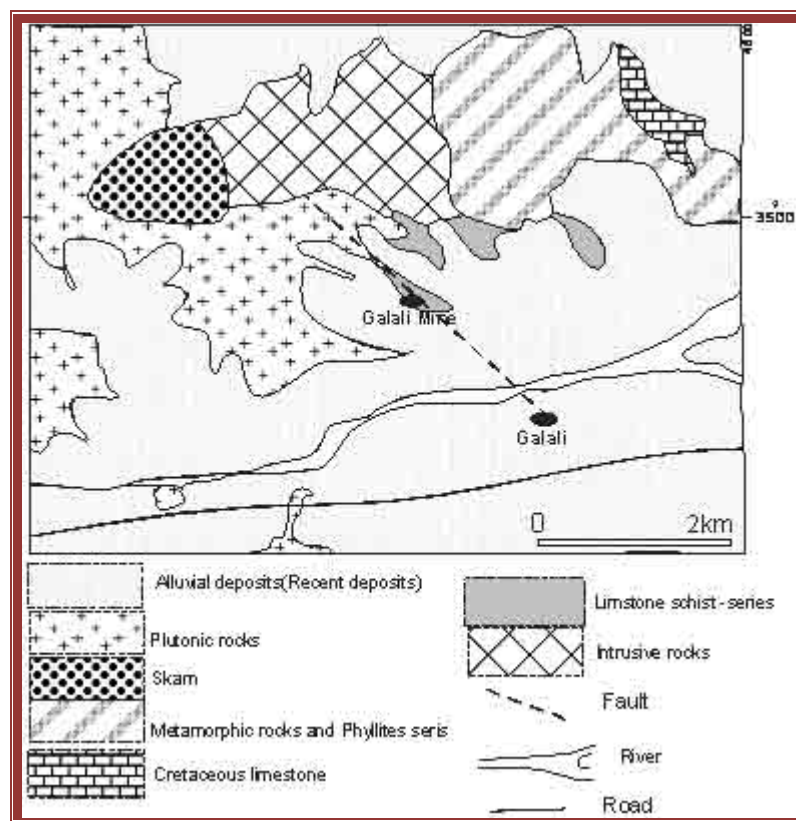
در غرب ایران در زون دگرگونه - آذرین، سنج سیرجان و زون آتشفشانی اسفندقه مریوان که به موازات این زون قرار گرفته است، تعداد زیادی کانسنگ و نمایه‌ی آهن حد فاصل شهرستان‌های اراک تا زنجان، در نواری به طول ۴۰۰ Km و عرض ۲۰۰ Km قرار گرفته‌اند [۷]، این کانسنگ‌ها و نمایه‌ها عموماً مانند کانسارهای گلالی، همه کسی و خسروآباد عدسی تا لایه‌ای شکل‌اند. ذخایر همه‌کسی و گلالی شبیهی نزدیک به قائمه دارند [۲]. در حالی که ذخایری با شیب نزدیک به صفر درجه و افقی نیز در آنها یافت می‌شوند که مهمترین آنها کانسار شهرک است [۱۷]. این ذخایر معمولاً به‌صورت مجموعه‌ای از بیرون زدگی‌های نزدیک به هم مانند ذخایر همه‌کسی و شهرک دیده می‌شوند [۱۰، ۱۷]. ولی ذخایری که دارای یک بیرون‌زدگی هم باشند، در آنها وجود دارند که مهمترین آنها ذخیره‌ی گلالی است. سنگ دربرگیرنده‌ی این ذخایر نیز طیف گسترده‌ای از سنگ‌های آذرین، رسوبی تا دگرگونه را در بر می‌گیرند [۱۱]. تمامی این ذخایر اپی‌ژنتیک هستند و تولید هاله‌های دگرسان مختلفی نظیر اسکارنی شدن، پروپلتیک، دولومیتی شدن، اپیدوتی شدن، کلریتی شدن، سیلیسی شدن و رگه‌های آرژلیتی کرده‌اند [۵، ۱۸].

منطقه شامل: کردیریت شیست، فیلیت، متادیوریت، متاریولیت، ماسه‌سنگ خاکستری دگرگونه با رگچه‌های اپیدوتی و مرمر اسکارنی شده به صورت عدسی تا صفحات نازک مگنتیت است (شکل ۱ ب) [۱۱].

۵. نهشته‌های ترشیاری واحدهای سنگ‌های آذرین در منطقه گلالی عبارتند از سنگ‌های نیمه عمیق تا آتشفشانی مانند سینیت، سینوکوارتز مونزونیت، کوارتز مونزوسینیت، داسیت پورفیری، گرانیت تا دیوریت و سینوگرانیت قلیایی، هم‌چنین سنگ‌های دگرگونی



شکل ۱ الف) موقعیت جغرافیایی کانسار گلالی را همراه با راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد.



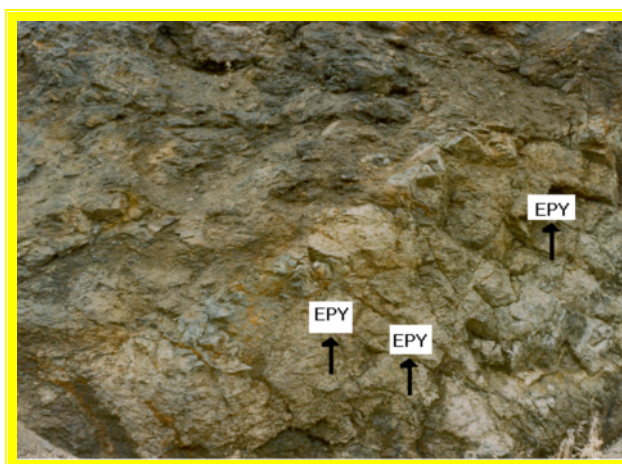
ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی.

## بررسی‌های میدانی

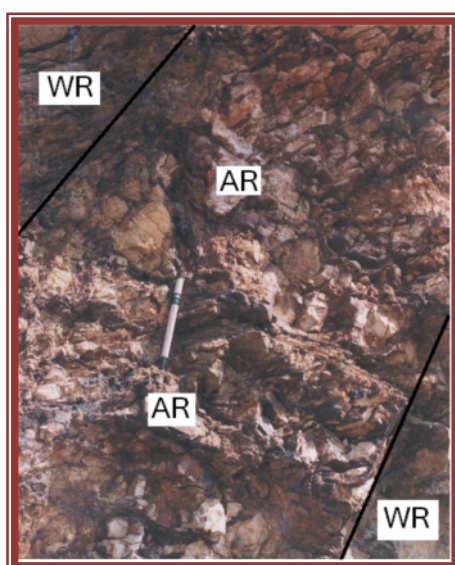
## دگرسانی

از مهم‌ترین دگرسانی‌های تشکیل شده همراه با ذخیره‌ی گلالی، می‌توان به دگرسانی‌های اسکارنی، اپیدوتی، دولومیتی و تبلور دوباره آهک‌ها و نیز دگرسانی پلیتی اشاره کرد. اسکارنی شدن: این زون ضخامت بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر دارد و به صورت منقطع به موازات محور طولی کانسار و در شرق آن قرار گرفته است. در مقاطع نازک تهیه شده از آن، کانی‌های سرسیت، فلدسپات، کلریت، ترمولیت، انواع کوارتز و کلسیت با بافت گرانوبلاستی دیده می‌شوند. اپیدوتی شدن: ضخامت این زون بین چند سانتیمتر تا یک متر است و از رگه‌های اپیدوتی سبزرنگ به‌همراه دانه‌های اپیدوت

پراکنده در سنگ تشکیل شده است این زون در غرب ذخیره، در داخل سنگ‌های آذرین قرار دارد و بیشتر از زوئیزیت تشکیل شده است (شکل ۲). دولومیتی شدن و آهک بلورین: این زون ضخامت متغیر داشته و پهنای آن بین یک متر تا حدود ۱۰ متر تغییر می‌کند و پس از زون اسکارنی قرار گرفته است. در اثر دگرتهادی یون  $Mg^{2+}$  در درون سنگ آهک میزبان تشکیل شده است. رگه‌های پلیتی: تشکیل این رگه‌ها پیش از فاز کانه‌زایی اولیه بوده است و رگه‌هایی از هماتیت و مگنتیت با ضخامت کمتر از یک سانتی‌متر در درون رگه‌های آرژلیتی با ضخامت حدود ۱ متر بوده و بیشتر در همجواری کانسار و سنگ دیواره‌ی شرقی دیده می‌شوند (شکل ۳).



شکل ۲ ته‌نشست اپیدوت (EPY) سبزرنگ در سطح درزها را در زون اپیدوتی شدن را نشان می‌دهد.



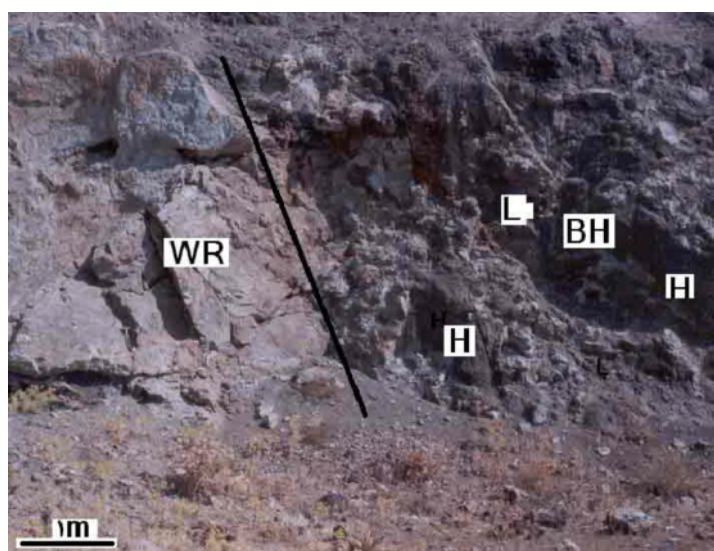
شکل ۳ یک رگه‌ی آرژلیتی (AR) را در سنگ دیواره‌ی (WR).

### بررسی کانساری

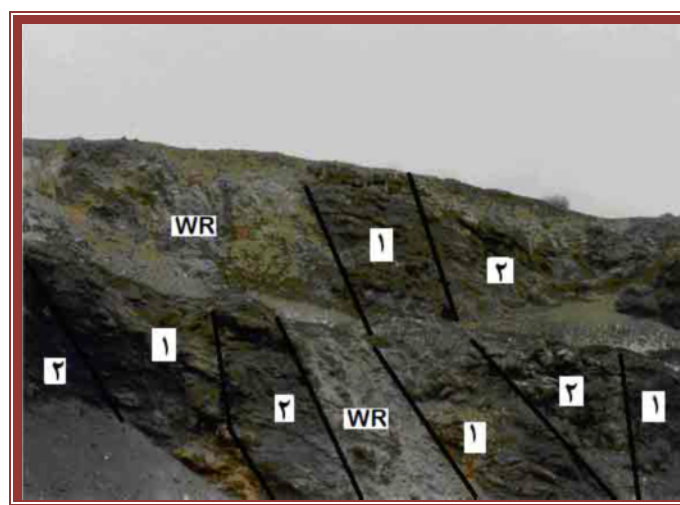
کانسار در تمام پله‌ها شدیداً خردشده و دارای ساختی برشی است که نشانه‌ی تشکیل ذخیره در راستای گسل گلالی است. خردشدگی شدید کانسار نشانه‌ی حرکت‌های مکرر گسل در طول زمان شکل‌گیری آن است. مرز ذخیره با دیواره‌ی سنگ-های آذرین آشکار است (شکل ۴)، به نظر می‌رسد که گسل فقط در کانسار اثر کرده، و در سنگ دیواره تأثیری نداشته است. ذخیره در مقیاس میدانی از ۳ بخش تشکیل شده است: الف) کانسنگ فاز ۱: این فاز از مگنتیت، چگال، فاقد تخلخل، قهوه‌ای تا سیاه رنگ و شدیداً مغناطیسی تشکیل شده است. ب) کانسنگ فاز ۲: در این فاز از مجموعه‌ای از سیلیکات‌های

تیره رنگ (آمفیبول، پیروکسن، بیوتیت، کلریت) همراه با مقادیر کمتری مگنتیت و هماتیت دیده می‌شود. کانسنگ موجود در این فاز متخلخل بوده و چگالی آن به طور محسوسی از کانسنگ فاز اول کمتر است. ویژگی این فاز وجود مقادیر زیادی کانی پیریت است. (شکل ۵). این فاز نیز پس از تشکیل دیواره، در اثر حرکات گسلی خردشده و ساخت برشی در آن حاصل شده است.

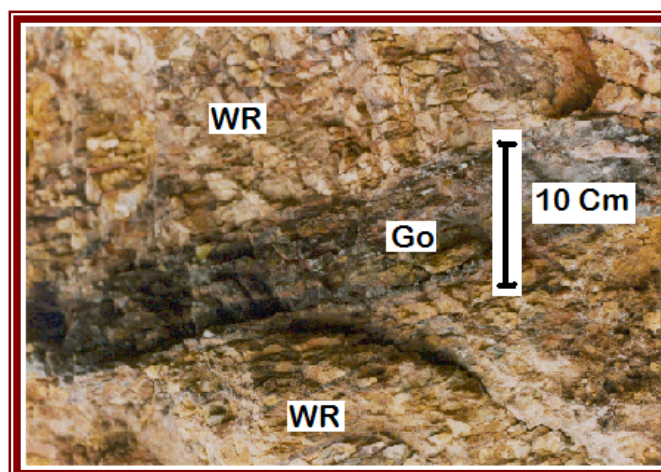
ج) کانسنگ فاز ۳: این فاز از تعداد معدودی رگه‌های گوتیتی به ضخامت ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر، تزریق شده در کانسنگ‌های مراحل قبلی و سنگ دیواره تشکیل شده است (شکل ۶).



شکل ۴ مرز غربی کانسار برشی گلالی با سنگ دیواره‌ی سالم و فاقد آثار برشی (WR). (H) = کانسار پرعیار فاز ۱ BH = کانسار برشی فاز ۱، L = ذخیره کم عیار فاز ۲.



شکل ۵ را بطنه و ریخت‌شناسی فازهای ۱ و ۲ کانساری را همراه با سنگ دیواره (WR). دید به شرق.



شکل ۶ یک رگه گوتیتی (Go) فاز ۳ کانه‌زایی در سنگ دیواره‌ی (WR) کانسار گلالی.

### بررسی‌های کانه‌نگاری

به منظور بررسی میکروسکوپی کانه‌های موجود در کانسار نمونه‌برداری صورت گرفت. در نمونه‌های انتخاب شده از فاز ۱ کانه‌زایی، مگنتیت یوهدرال تا ساب‌هدرال کانه اصلی است که در آن تیغه‌های جدایشی تیتانوهماتیت دیده می‌شوند و دارای بافت جدایشی اکسیدی تا مارتیت گرمایی مطابق با تقسیم بندی (Mucke 2003) [۲۲،۲۳] می‌باشند. در هیچ‌یک از نمونه‌های انتخاب شده از این فاز بافت مارتیت، بنابر آنچه که در ادبیات معدنی رایج است، دیده نشده است، این نمونه‌ها فاقد بافت جدایشی احیایی هستند. با توجه به بافت‌های مشاهده شده در مگنتیت‌های موجود در این نمونه‌ها می‌توان آنها را تیتانو مگنتیت نامید (شکل ۷-الف) [۲۴]. کانی‌های هماتیت و سولفیدی در این نمونه‌ها خیلی کم دیده می‌شوند. بافت نمونه-ی، موزاییکی درشت دانه مطابق با تقسیم‌بندی Inson 1989 [۲۶،۲۵] مشاهده شده است.

نمونه‌های برداشت شده از فاز ۲ کانه‌زایی، ظاهری متفاوت با نمونه‌های فاز ۱ دارند. در این نمونه‌ها مگنتیت نیمه شکلدار تا بی وجه ۵۰ تا ۶۰٪ سطح نمونه را می‌پوشاند و مشخصاً فاقد انواع بافت‌های جدایشی تیتانوهماتیت است. پیریت درشت بلور و نیمه شکلدار با مرزهایی تیز تا سینوسی در این نمونه‌ها به مقدار زیادی وجود دارد. گاهی در آنها بافت جانشینی دیده می‌شود. بیش از ۳۰٪ سطح نمونه‌ها را دانه‌های باطله می‌پوشانند (شکل ۷-ب).

مقاطع صیقلی تهیه شده از فاز ۳ کانه‌زایی این نمونه‌ها به طور کامل از گوتیت سفید رنگ که گاهی ترک‌خورده‌اند،

تشکیل شده‌اند. گوتیت تعداد زیادی از کانی‌های قبلی را جانشین کرده است (شکل ۷-پ).

### تجزیه شیمیایی

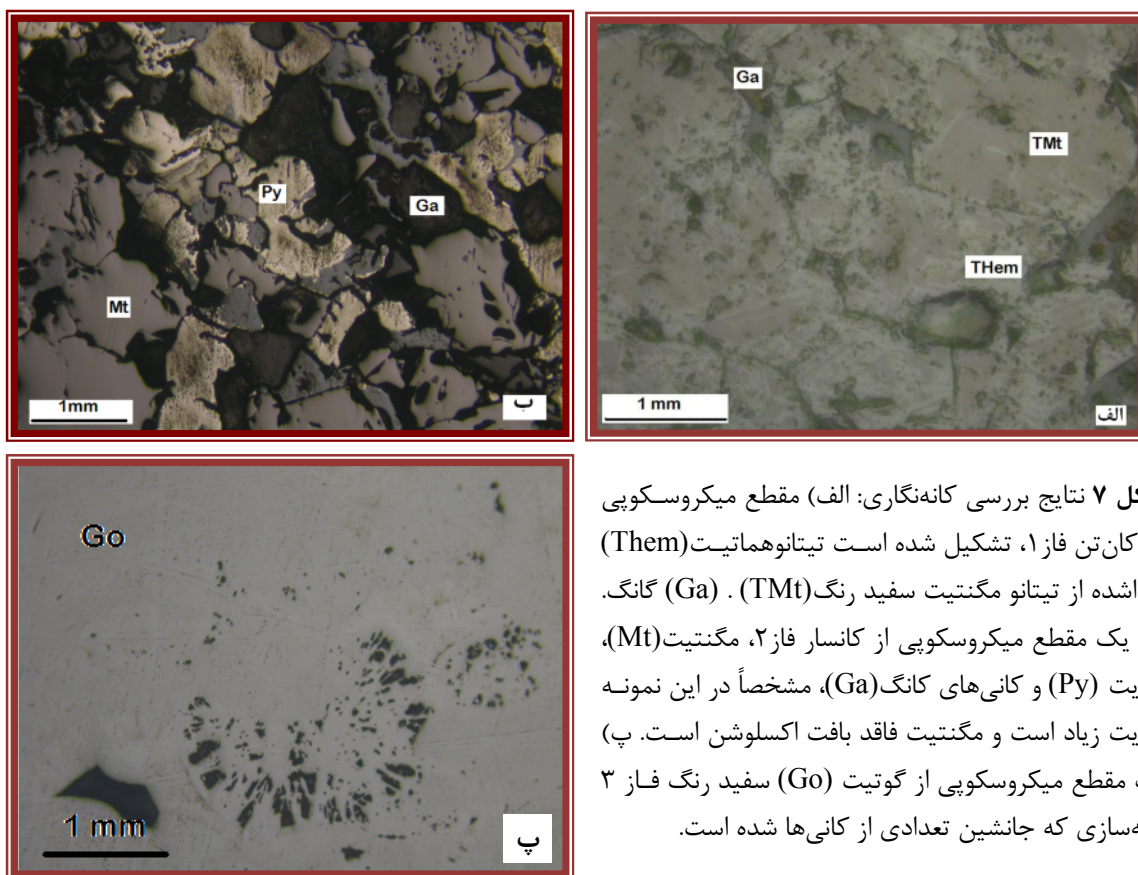
برای بررسی و مقایسه‌ی ترکیب شیمیایی هر یک از فازهای کانه‌زایی با هم، تعدادی از نمونه‌ها را مورد تجزیه شیمیایی با دستگاه‌های تجزیه مختلف نظیر EPMA, ICP-MS, XRF قرار دادیم.

### تجزیه به روش X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

در این روش برای اندازه‌گیری عناصر اصلی موجود در نمونه‌های شامل عناصر: Si- Al- Ti- Fe- Mg- Ca- Na- K- Mn- P: نخست تعداد ۸ نمونه انتخاب شدند و پودر آنها به روش XRF و با دستگاه Shimadzu مدل XRF - 1700 Sequential و ولتاژ و آمپر 40V - 30 mA مورد تجزیه شدند.

لازم به یادآوری است که سه نمونه از فاز ۱ کانه‌زایی (114G1, 15G1, 86G1, 77G1, G11) و سه نمونه از فاز ۲ (52G1) و یک نمونه از فاز سوم کانه‌زایی (54 G1) انتخاب شدند و نمونه‌ی با شماره 23 G1 ترکیبی از فازهای کانه‌زایی ۱ و ۲ بوده است. نتایج آزمایش‌ها در جدول ۱ درج شده‌اند.

بررسی این جدول نشان می‌دهد که به طور مشخصی میانگین SiO<sub>2</sub> در فاز ۲ کانه‌سازی بیش از فاز ۱ بوده و به ۵/۱۵٪ می‌رسد، در حالی که برای نمونه‌های برداشت شده از فاز ۱ این مقدار حدود ۱/۱٪ است. افزایش این مقدار در فاز ۲ کانه‌سازی به سیلیکات‌های موجود در این فاز مربوط بوده است.



شکل ۷ نتایج بررسی کانه‌نگاری: الف) مقطع میکروسکوپی از کان‌تن فاز ۱، تشکیل شده است تیتانوهما تیت (Them) جدا شده از تیتانو مگنتیت سفید رنگ (Tmt). گانگ (Ga). ب) یک مقطع میکروسکوپی از کانسار فاز ۲، مگنتیت (Mt)، پیریت (Py) و کانی‌های گانگ (Ga)، مشخصاً در این نمونه پیریت زیاد است و مگنتیت فاقد بافت اکسولوشن است. پ) یک مقطع میکروسکوپی از گوتیت (Go) سفید رنگ فاز ۳ کانه‌سازی که جانشین تعدادی از کانی‌ها شده است.

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی شیمیایی به روش XRF مقادیر بر حسب wt% (درصد وزنی) تضمینی شده‌اند.

|                                | ۱     | ۲     | ۳     | ۴      | ۵     | ۶     | ۷      | ۸     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| sample                         | ۸۶G۱  | ۷۷G۱  | G۱۱   | ۲۳G۱   | ۱۱۴G۱ | ۱۵G۱  | ۵۲G۱   | ۵۴G۱  |
| SiO <sub>۲</sub>               | ۱/۷۴  | ۰/۴۴  | ۱/۱۱  | ۱/۶۲   | ۹/۲۰  | ۱/۱۸  | ۵/۰۷   | ۵/۵۲  |
| Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> | ۰/۶   | ۰/۴۹  | ۱/۱۸  | ۰/۴۴   | ۰/۶   | ۱/۴۳  | ۰/۴۱   | ۰/۳   |
| TiO <sub>۲</sub>               | ۰/۰۶  | ۰/۰۱  | ۰/۰۴  | ۰/۰۹   | ۰/۰۸  | ۰/۰۷  | ۰/۰۷   | -     |
| Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> | ۹۴/۶۴ | ۹۸/۰۸ | ۹۵/۱۰ | ۹۴/۵۹  | ۸۳/۹۶ | ۹۴/۷۰ | ۹۱/۶۱  | ۸۴/۱۵ |
| MgO                            | ۰/۲   | ۰/۲۷  | ۰/۹۷  | ۰/۱۶   | ۲/۷   | ۱/۳۳  | ۰/۲    | ۰/۱۱  |
| CaO                            | ۰/۳۷  | ۰/۲۸  | ۰/۵۸  | ۰/۳۶   | ۲/۲۸  | ۰/۳۱  | ۰/۴    | ۰/۴۹  |
| Na <sub>۲</sub> O              | ۰/۱۱  | -     | -     | ۰/۰۱   | -     | -     | ۰/۰۳   | -     |
| K <sub>۲</sub> O               | -     | -     | -     | -      | ۰/۰۷  | ۰/۰۸  | ۰/۰۱   | -     |
| MnO                            | ۰/۰۶  | ۰/۰۵  | ۰/۰۵  | ۰/۰۷   | ۰/۰۷  | ۰/۰۵  | ۰/۰۴   | ۰/۰۵  |
| P <sub>۲</sub> O <sub>۵</sub>  | ۰/۰۱  | ۰/۰۱  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰  | ۰/۰۲  | -      | ۰/۰۱  |
| LOI                            | ۱/۵۳  | ۰/۰۲  | ۰/۳۳  | ۲/۷۹   | ۰/۹۲  | ۰/۲۶  | ۲/۱۹   | ۹/۳۴  |
| total                          | ۹۹/۳۳ | ۹۹/۶۵ | ۹۹/۳۵ | ۱۰۰/۱۵ | ۹۹/۸۹ | ۹۹/۴۴ | ۱۰۰/۰۴ | ۹۹/۹۶ |

در مورد عنصر Al تصمیم‌گیری دقیقی نمی‌توان ارائه کرد، زیرا این عنصر هم می‌تواند در ترکیب‌های اکسیدی آهن‌دار نظیر مگنتیت جانشین آهن شود، هم یک عنصر بنیادی در ترکیب‌های سیلیکاتی است. میزان تیتانیم نمونه‌های گرفته شده از فازهای ۱ و ۲ ناچیز و کمتر از ۰/۱٪ بوده است. به نظر می‌رسد که فاز ۲ کانه‌سازی سریع‌تر از فاز ۱ سرد شده است که در مگنتیت موجود در آن تیغه‌های اکسلوشنی تیتانو همتایت تشکیل نشده است. در نمونه انتخاب شده از گوتیت فاز ۳ کانه‌سازی، مقادیر تیتانیم زیر حد حساسیت دستگاه بوده است. جز یک مورد، میزان آهن کلیه‌ی نمونه‌های انتخاب شده از فازهای ۱ و ۲ بیش از ۹۱٪ بوده است در حالی که نمونه‌ی گوتیتی ۸۴٪ آهن در ترکیب خود داشت. متوسط MgO در نمونه‌های مگنتیتی فاز ۱ کانه‌سازی برابر ۰/۴۸٪ بوده است، در حالی که این مقدار در نمونه‌های فاز ۲ به مقدار ۱/۴۸٪ می‌رسید و این تفاوت معنی‌دار به دلیل حضور این عنصر در سیلیکات‌های موجود در فاز ۲ است. برای نمونه گوتیت مقدار این عنصر ۰/۱۱٪ ثبت شده. این روند کمابیش برای CaO نیز حفظ شده است. کل میزان Na<sub>2</sub>O نمونه‌ها ناچیز بوده است ولی میزان K<sub>2</sub>O در نمونه‌های فاز ۲ بیش از نمونه‌های فاز ۱ کانه‌سازی بود و این به دلیل حضور سیلیکات‌ها در این فاز است و طبیعتاً این عنصر در فاز ۳ کانه‌سازی نمی‌تواند حضور داشته باشد. میزان MnO کلیه‌ی نمونه‌ها تقریباً برابر و حدود ۰/۰۵٪ بود. منگنز ویژگی‌های ژئوشیمیایی مشابه آهن داشت و همراهی این عنصر با ترکیب‌های آهن‌دار اکسیدی و هیدروکسیدی طبیعی است. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که ترکیب شیمیایی نمونه‌های گرفته شده از فازهای ۱ و ۲ از بعضی جهات مشابه و از جهات دیگر متفاوتند، در حالی که نتایج وابسته به نمونه‌ی گوتیتی فاز ۳ به طور کلی با نمونه‌های گرفته شده از دو فاز دیگر متفاوت بوده است.

#### تجزیه به روش پلاسمای جفت شده‌ی القایی (ICP-MS)

##### Inductivity coupled plasma mass spectrometry

برای اندازه‌گیری عناصر فرعی و جزئی، از روش ICP-MS استفاده شد، و برای تولید پرتو پلاسمای آرگون (Argon Plasma) دستگاه SCIEX Perkin-Elmer مدل ELAN 6100 مورد استفاده قرار گرفت. منبع تولید اشعه آرگون پلاسما ۶۰۰۰ K و قدرت جدایش جرمی در نمونه‌ها برابر ۰/۳-۳ amu انتخاب شد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری در جدول ۲ دیده می‌شوند. بنابراین جدول، تقریباً کلیه نمونه‌های برداشت شده از فاز ۱ و ۲ کانه‌سازی، مقادیر تیتانیم (Ti) بیشتری نسبت به عناصر فرعی و نادر دیگر داشتند و بیشینه آن تا ۴۸۰ ppm نیز می‌رسید. ولی تیتانیم در گوتیت فاز ۳ بسیار پایین بوده و دلیل آن نیز توانایی پایین شبکه‌ی بلوری گوتیت در نگهداری این عنصر بوده است. هم‌چنین اگر از نمونه‌ی شماره‌ی 77G1 چشم‌پوشی شود، حداقل میزان عنصر (V) در نمونه‌های برداشت شده از فاز ۱ برابر ۱۵ ppm است، در حالی که بیشینه‌ی این عنصر در نمونه‌های گرفته شده از فاز ۲ برابر ۹۷ ppm به دست آمده و در گوتیت فاز ۳ نیز به ۱۸ ppm می‌رسید. میزان عنصر کرم (Cr) در تمامی نمونه‌های برداشت شده از فازهای مختلف پایین و بین ۱۸ تا ۵۲ ppm بوده است. اصولاً ترکیب‌های اکسیدی آهن، دارای مقادیر پایینی از عنصر کرم هستند. برخلاف عنصر کرم، میزان عنصر منگنز (Mn) در تمامی نمونه‌ها بالا است و دامنه‌ی تغییرات آن بین ۲۵۶ تا ۴۸۲ ppm قرار داشت. این امر به دلیل تشابه خواص ژئوشیمیایی عناصر آهن و منگنز است و این دو عنصر قادرند در ترکیبات اکسیدی جانشین یکدیگر شوند. ژئوشیمی عناصر کبالت (Co) و نیکل (Ni) نیز شبیه هم‌اند و چنانچه از نمونه‌ی شماره 86G1 چشم‌پوشی شود، مقدار این دو عنصر در کلیه‌ی نمونه‌ها پایین و روندی کاملاً مشابه با نمونه‌های دیگر دارند. مس (Cu) میانگینی برابر با ۲۲۳ ppm در نمونه‌های انتخاب شده فاز ۱ کانه‌سازی داشت در حالی که این مقدار برای نمونه‌های برداشت شده از فاز ۲ تا ۱۹۵ ppm می‌رسید و تفاوتی تا ۳۰ ppm داشتند که قابل توجه است. مقدار مس در گوتیت فاز ۳ تا ۱۱۱ ppm است که تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های دیگر دارد. طلا (Au) و پلاتین (Pt) نیز در نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند و در کلیه نمونه‌ها مقدار این عناصر کمتر از ۱ ppm بوده است. بنابر جدول ۲ همه‌ی نمونه‌هایی که داری طلا بودند، فاقد پلاتین‌اند و برعکس. مقادیر عناصر Y, La, Ce, Pr, Nd نیز در نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها یا فاقد این عناصر بودند یا مقادیری کمتر از ۲ ppm داشتند که قابل چشم‌پوشی هستند. می‌توان گفت که ژئوشیمی عناصر فرعی و جزئی نمونه‌های انتخاب شده از فاز ۱ و ۲ کانه‌ساز در مورد عناصر Ti, Cu, V متفاوتی ولی در موارد دیگر مشابه بوده‌اند. فاز ۳ کانه‌سازی به دلیل تفاوت کانی‌شناسی، ژئوشیمی متفاوتی دارد.

جدول ۲ مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی عناصر فرعی و جزئی موجود در نمونه را نشان می‌دهد. مقادیر بر حسب ppm تعیین شده‌اند.

|        | ۱      | ۲      | ۳      | ۴      | ۵      | ۶      | ۷      | ۸      |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| sample | ۸۶G۱   | ۷۷G۱   | G۱۱    | ۲۳G۱   | ۱۱۴G۱  | ۱۵G۱   | ۵۲G۱   | ۵۴G۱   |
| Ti     | ۳۵۵٫۹۷ | ۹۳٫۵۹  | ۲۵۰٫۴۷ | ۴۸۰٫۰۴ | ۴۱۴٫۰۶ | ۳۸۳٫۱  | ۳۶۳٫۳۸ | ۱۱٫۲۸  |
| V      | ۱۱۹٫۵۶ | ۶۴٫۰۲  | ۱۱۵٫۸۴ | ۴۹٫۰۹  | ۶۹     | ۹۷٫۹۲  | ۸۲٫۰۵  | ۱۸٫۷۲  |
| Cr     | ۲۸٫۲   | ۲۴٫۶۴  | ۵۰٫۴۸  | ۴۴٫۵۶  | ۱۸٫۱۲  | ۲۹٫۶۵  | ۵۲٫۴۸  | ۲۱٫۴۷  |
| Mn     | ۳۸۵٫۷۵ | ۳۰۱٫۲۹ | ۳۴۹٫۵۹ | ۴۸۹٫۷۹ | ۴۷۷٫۱۵ | ۳۱۷٫۱۴ | ۲۵۶٫۸۴ | ۳۳۳٫۲۷ |
| Co     | ۱۱۳٫۲۹ | ۳۰٫۵۷  | ۱۷٫۱۷  | ۶۱٫۳۲  | ۷٫۱۳   | ۸۶٫۰۲  | ۱۵٫۵   | ۲۲٫۴۳  |
| Ni     | ۱۰۴٫۹۳ | ۲۴٫۴۵  | ND     | ۴٫۶۶   | ND     | ۹٫۵۴   | ۶      | ۸٫۲۵   |
| Cu     | ۲۷۰٫۷۲ | ۹۲٫۷۹  | ۳۰٫۷۲  | ۱۴۰٫۸۶ | ۱۰۹٫۸۲ | ۲۵۶٫۳  | ۲۲۱٫۹۱ | ۱۱۱٫۴۱ |
| Au     | ۰٫۷۶   | ND     | ND     | ND     | ND     | ۰٫۶۲   | ۰٫۶۵   | ۰٫۶۵   |
| Pt     | ND     | ۰٫۷۸   | ۰٫۶۲   | ۰٫۷۳   | ۰٫۷۱   | ND     | ND     | ND     |
| Y      | ۱٫۷۷   | ND     | ND     | ND     | ND     | ۰٫۵۲   | ND     | ۱٫۱۶   |
| La     | ۲٫۱۲   | ND     | ۰٫۵۴   | ۰٫۷۸   | ۰٫۵۵   | ۰٫۸۲   | ND     | ۱٫۸    |
| Ce     | ND     | ۰٫۵۸   | ۰٫۹۴   | ۱٫۶۷   | ۰٫۸۴   | ND     | ND     | ND     |
| Pr     | ۰٫۵۶   | ND     | ND     | ND     | ND     | ND     | ND     | ۰٫۶۴   |
| Nd     | ND     | ND     | ND     | ۰٫۶۲   | ND     | ND     | ND     | ND     |

ND= اندازه‌گیری نشد

ستون اول جدول ۳ و شکل ۸ دیده می‌شوند. چنانکه در این شکل دیده می‌شود، در راستای یک نیم‌رخ در یک بلور مگنتیت، در ۴ نقطه به روش EPMA تجزیه‌ی شیمیایی صورت گرفت و نتایج در جدول ۳ آورده شده‌اند. با بررسی این جدول می‌توان نتیجه گرفت که بلور مورد بررسی نسبت به مقادیر  $MnO, MgO, Al_2O_3$  دارای منطقه‌بندی بوده و مقدار آنها از خارج بلور به سمت مرکز زیاد شده است و در مرکز بلور به بیشترین مقدار نسبت به این ترکیبات می‌رسند. در حالی که برای ترکیب‌های  $TiO_2, ZnO$  منطقه‌بندی، عکس حالت بالاست و از داخل به خارج بلور این عناصر افزایش می‌یابند. همچنین داده‌ها نشان می‌دهند که مقادیر ترکیب‌های  $V_2O_5, CaO, SiO_2, NiO$  در بلور تغییری ندارند.

به نظر می‌رسد که شاره‌ی سازای این کانسار در نخست از ترکیب‌های  $Mg, Mn$  و  $Al$  غنی بوده است، در حالی که با سرد شدن تدریجی ماگمای سازنده، مقدار این ترکیب‌های در آن کاهش یافته و برعکس، ماگما از عناصر  $Ti$  و  $Zn$  به طور نسبی غنی شده است. در طول زمان سرد شدن، مقادیر عناصر  $Ni, V, Ca, Si$  تقریباً ثابت مانده‌اند. در هر حال مقادیر بالای عناصر  $Mg$  و  $Al$  در این اندازه‌گیری‌ها قابل توجه است. به نظر می‌رسد که این دو عنصر شرایط متفاوتی با هم دارند. یون  $Mg^{+2}$  در ترکیب مگنتیت با فرمول باز  $FeO, Fe_2O_3$  در محل  $Fe^{+2}$  قرار دارد در حالی که یون  $Al^{+3}$  یون  $Fe^{+3}$  را جانشین کرده است. نکته‌ی قابل توجه هم‌روندی این دو عنصر با یکدیگر است که از خارج بلور به سمت داخل آن زیاد شده‌اند [۳۸].

### تجزیه شیمیایی به روش باریکه الکترونی Electron Probe Micro Analysis (EPMA)

برای بررسی تغییرات شیمیایی در بلورها در واحدهای کوچک مقیاس، از تجزیه به روش EPMA استفاده شد. نمونه‌های مورد استفاده در این بررسی‌ها بلوک‌های صیقلی بودند. کلیه نمونه‌ها با دستگاه EPMA ساخت کارخانه‌ی SHIMATZU ژاپن مدل ۱۶۱۰ مورد بررسی قرار گرفتند. ولتاژ شتاب‌دهنده‌ی الکترونی 35 KV، زمان تجزیه جهت عناصر مختلف تفاوت می‌کند. معمولاً برای عناصر اصلی حدود ۱۰ ثانیه در حالی که برای عناصر فرعی تا به ۱۰۰ ثانیه نیز می‌رسید. برای تصحیح داده‌ها دستورالعمل POP گرفته شد. به واسطه‌ی اکسیددی بودن نمونه‌ها، برای استاندارد کردن دستگاه، از نمونه‌های فلزی خالص ساخته شده‌ی کارخانه‌ی سازنده دستگاه استفاده شد. آشکارساز دستگاه Ultra thin window oxford Si(Li) یا (ATW) بود.

### بررسی نتایج حاصل از بررسی‌های EPMA

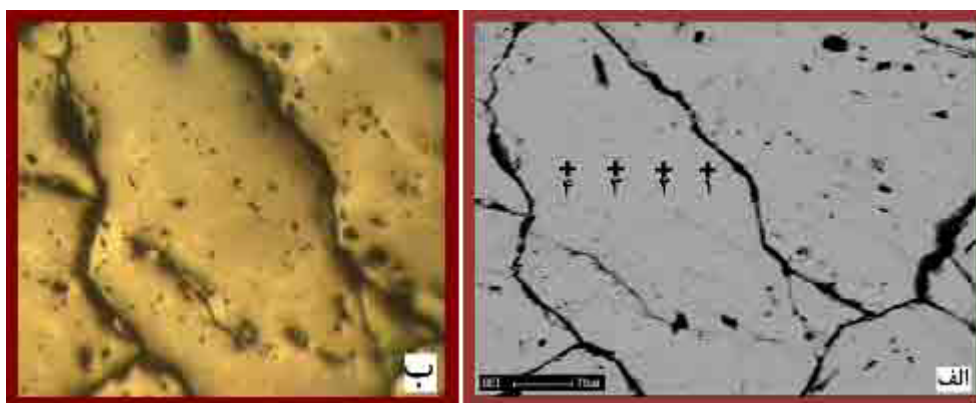
در مجموع از ۷ اندازه‌گیری صورت گرفته، از نمونه شماره‌ی G11 وابسته به مگنتیت فاز ۱، تعداد ۴ مورد تجزیه شدند و ۳ مورد روی مگنتیت موجود در فاز ۲ نمونه‌ی شماره‌ی 17G1 صورت گرفت که نتایج در جدول ۳ دیده می‌شوند. از آنجاکه ترکیب کانی‌شناسی گوئیت فاز ۳ کانه‌سازی با مگنتیت موجود در فازهای ۱ و ۲ قابل قیاس نیست، از ذکر مقادیر اندازه‌گیری شده برای این فاز خودداری می‌شود.

### نمونه‌ی مگنتیت فاز ۱

محل و مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی نمونه‌ی شماره G11 چهار

جدول ۳ مقادیر اندازه‌گیری شده در ۷ نمونه از ۲ نسل مختلف کانه‌سازی در معدن گلالی را نشان می‌دهد. (بر حسب درصد مولی)

|                                | G11-01 | G11-02 | G11-03 | G11-04 | ۱۷G-01 | ۱۷G-02 | ۱۷G-03 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MgO                            | ۱/۱    | ۲/۰۰۹  | ۱/۸۸۲  | ۱/۲۵۶  | ۱۰/۰۹۶ | ۵/۶۳۰  | ۶/۰۰۸  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۴۰۳  | ۱/۰۸   | ۰/۸۸۸  | ۰/۵۲۰  | ۰/۴۱۶  | ۰/۳۲۴  | ۰/۲۹۶  |
| SiO <sub>2</sub>               | ۰/۰    | ۰/۱۹۱  | ۰/۳۳۵  | ۱/۷۵۶  | ND     | ND     | ND     |
| CaO                            | ۰/۰۰۵  | ۰/۰۱۷  | ۰/۰۰۷  | ۰/۱۰۹  | ۰/۰۹   | ۰/۰۲۹  | ۰/۰    |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰/۰۹۷  | ۰/۰۷۲  | ۰/۰۸۱  | ۰/۱۰۲  | ۰/۰۴۸  | ۰/۱۰۳  | ۰/۰۴۱  |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ۰/۰    | ۰/۰    | ۰/۰۳۲  | ۰/۰۳۸  | ND     | ND     | ND     |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۰۱۹  | ۰/۰    | ۰/۰۲۳  | ۰/۰    | ۰/۰۱۱  | ۰/۰۱۷  | ۰/۰    |
| MnO                            | ۰/۰۲۲  | ۰/۰۴   | ۰/۰۶۹  | ۰/۰    | ۱/۰۶   | ۱/۲۱۸  | ۱/۱۸   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۹۸/۲۵۲ | ۹۶/۵۸۹ | ۹۶/۶۵۸ | ۹۶/۲۱۹ | ۸۸/۲۷۹ | ۹۲/۶۸  | ۹۲/۴۷۶ |
| NiO                            | ۰/۰    | ۰/۰    | ۰/۰    | ۰/۰    | ۰/۰    | ۰/۰    | ۰/۰    |
| ZnO                            | ۰/۱۰۲  | ۰/۰۰۳  | ۰/۰۲۵  | ۰/۰    | ND     | ND     | ND     |
| total                          | ۱۰۰    | ۱۰۰    | ۱۰۰    | ۱۰۰    | ۱۰۰    | ۱۰۰    | ۱۰۰    |



شماره ۸ الف) تصویر گرفته شده با دستگاه EPMA از دانه‌ی مورد آنالیز در نمونه‌ی شماره G11، همراه با محل نقاط اندازه‌گیری شده (ب) همان تصویر با پردازش کامپیوتری که ناهمواری‌های سطحی را همراه با تیغه‌های اکسلوژنی نشان می‌دهد (بدون مقیاس).

ترکیب‌های  $\text{CaO}$ ,  $\text{NiO}$  و  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  از خصوصیات کلیه نمونه‌های گرفته شده از معدن گلالی است.

نتایج مقایسه‌ی آنالیزهای شیمیایی به روش EPMA در مورد دو نمونه‌ی مورد بررسی بر حسب درصد مولی، در جدول ۳ دیده می‌شود. چنانکه در این جدول مشاهده می‌شود، میزان  $\text{MnO}$  و  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  نمونه‌های اندازه‌گیری شده از گونه‌ی ۲ به طور مشخصی از نمونه‌های گونه‌ی ۱ بالاتر است، در حالی که به طور مشخصی مقدار  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  مگنتیت گونه‌ی ۱ از مگنتیت گونه‌ی ۲ بین ۴ تا ۵٪ بیشتر است. مقادیر دیگر اندازه‌گیری شده شامل  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$  در هر دو نمونه‌ی مورد آزمایش در حد ثابتی بوده و تغییر مشخصی را نشان نمی‌دهند.

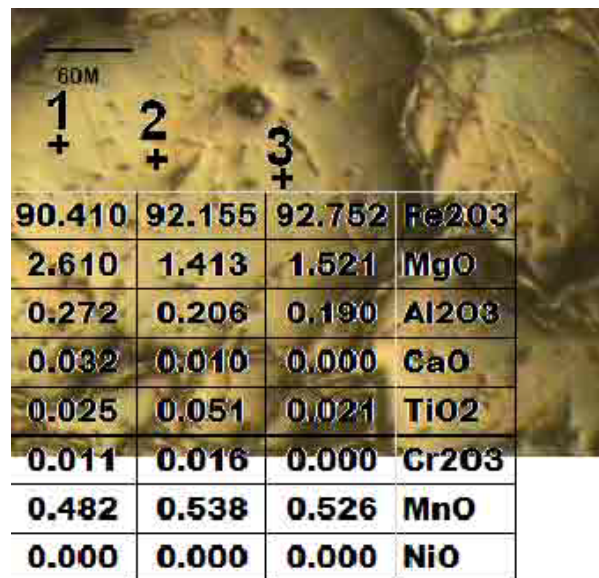
براساس جدول ۳، نمودارهای همبستگی دو متغیره‌ی Fe-Mg, Fe-Ca, Fe-Mn با استفاده از برنامه Microsoft

## نمونه‌ی مگنتیت فاز ۲

از یک بلور مگنتیت در نمونه‌ی 17G1 نیز تعداد ۳ آنالیز نقطه‌ای به عمل آمد و نتایج در جدول (۳) دیده می‌شوند. تصویر پردازش شده‌ی دانه همراه با نقاط مورد آزمایش و مقادیر مربوطه در شکل ۹ دیده می‌شود. بنابراین شکل، نقطه‌ی شماره ۲ روی تیغه ناشی از اکسلوژن قرار گرفته و به صورت چشمگیری دارای مقدار بالاتری تیتانیوم است که نشانه‌ی جدایش تیغه‌های تیتانوهماتیت از تیتانومگنتیت است. مقدار ترکیب‌های  $\text{MnO}$  از خارج به داخل افزایش یافته که نشانه‌ی منطقه‌بندی است، در حالی که مقدار  $\text{MgO}$  از خارج بلور به سمت داخل آن کم شده و تا حدودی طبیعی است. زیرا یون  $\text{Mg}^{+2}$  جانشین یون  $\text{Fe}^{+2}$  در ساختار مگنتیت می‌شود و چون آنالیز دوم روی تیغه‌ی اکسلوژنی بوده است، طبیعی است که مقدار این یون در آن کاهش نشان دهد. مقادیر پایین

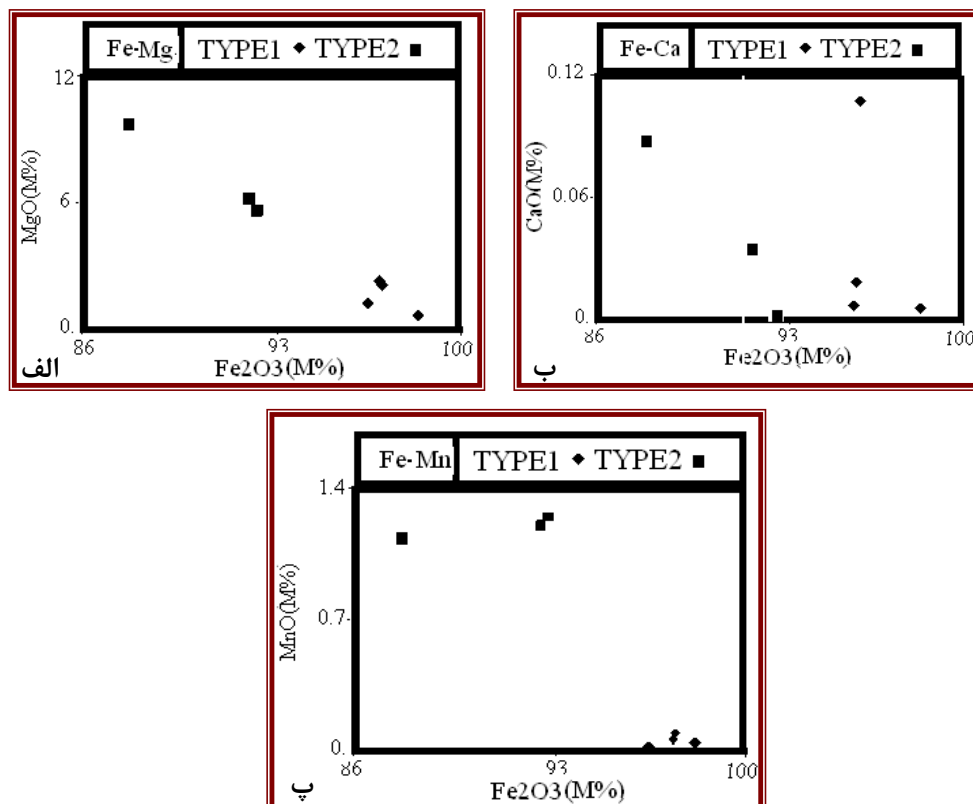
جدایی از یکدیگر را اشغال کرده‌اند و نشان می‌دهند که مگنتیت مورد بررسی در هر دو گونه‌ی کانه‌سازی در این پارامترها کاملاً متفاوت‌اند.

Excel 2003 رسم شده‌اند، (شکل ۱۰). در هر سه نمودار نمونه‌های آنالیز شده از گونه‌ی ۱ کانه‌سازی با نمونه‌های آنالیز شده از گونه‌ی ۲ کانه‌سازی دیده می‌شوند که مناطق کاملاً

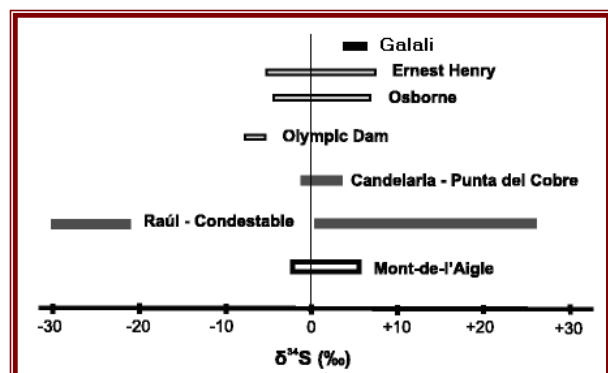


| 1      | 2      | 3      |       |
|--------|--------|--------|-------|
| 90.410 | 92.155 | 92.752 | Fe2O3 |
| 2.610  | 1.413  | 1.521  | MgO   |
| 0.272  | 0.206  | 0.190  | Al2O3 |
| 0.032  | 0.010  | 0.000  | CaO   |
| 0.025  | 0.051  | 0.021  | TiO2  |
| 0.011  | 0.016  | 0.000  | Cr2O3 |
| 0.482  | 0.538  | 0.526  | MnO   |
| 0.000  | 0.000  | 0.000  | NiO   |

شکل ۹ نمونه‌ی مگنتیت مورد آزمایش در نمونه‌ی شماره 17G1. بدون مقیاس ( مقادیر بر حسب درصد وزنی هستند).



شکل ۱۰ نمودارهای مختلف رسم شده براساس آنالیز به روش EPMA: (الف) نمودار Fe-Mg، (ب) نمودار Fe-Ca، (پ) نمودار Fe-Mn. مقادیر ترکیب‌های بر حسب درصد مولی هستند.



شکل ۱۱ مقایسه‌ی مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  برای ذخایر گلالی با تعدادی از ذخایر مشهور گونه‌ی IOCG داده‌ها از [۳۷].

#### برداشت

معدن آهن گلالی یک کانسار اسکارنی با تمایل به اسکارن کلسیمی است. گرچه حجم و مقدار ذخیره‌ی این کانسار محدود است ولی مجموع بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی و شیمیایی نشان می‌دهند که این کانسار از ۳ کانسار متفاوت ساخته شده است. فاز ۱ شامل مگنتیت با عیار بالا و فشرده با بافت موزاییکی و اکسلوشن [جدایشی] تیتانوهما تیت و خواص ژئوشیمیایی مشخص است. فاز ۲ کانساری از اکسیدهای آهن و سیلیکات‌های تیره رنگ آهن همراه با مقدار زیادی پیریت تشکیل شده، حضور فاز سیلیکاتی در این فاز سبب کاهش عیار ذخیره شده است. فاز ۳ کانساری، ارزش اقتصادی ندارد و فقط شامل تعدادی رگه‌ی گوتیتی است. ویژگی‌های این فازها در مواردی که مورد بررسی قرار گرفته است، تفاوت زیادی با یکدیگر دارند به طوری که می‌توان آنها را به راحتی از یکدیگر جدا کرد.

اندازه‌گیری مقدار  $^{34}\text{S}$  خاستگاه گوگرد را رسوب‌های تبخیری نشان می‌دهد، این خاستگاه گرچه برای ذخایر اسکارنی تا حدودی غریب است ولی با توجه به جایگاه زمین-ساختی این کانسار و قرار گیری آن در گونه‌ی بزرگتر ذخایر IOCG خاستگاه قابل قبولی برای آن است.

#### قدردانی

در خاتمه لازم می‌دانم از همکاری پرفسور اینسونگ لی (Insung Lee) استاد تمام وقت دانشگاه ملی سئول (Seoul National University) که همه‌ی بررسی‌های میکروسکوپی و آزمایش‌های شیمیایی در آزمایشگاه ایشان صورت گرفته است

#### بررسی ایزوتوپ‌های گوگرد

بنابر با شواهد موجود کانسار گلالی در گروه کانسارهای با ژنر اسکارنی تقسیم‌بندی می‌شود، این نوع ذخایر، خود در گروه بزرگتری به نام ذخایر اکسید آهن دارای طلا و مس یا Iron oxide copper gold deposits (IOCG) قرار می‌گیرند، این سیستم‌های کانه‌زا می‌تواند با سیستم‌های مس پرفیری در ارتباط می‌باشند [۲۷] از نظر زمین‌ساختی ذخایر تیپ IOCG هم در سیستم‌های کششی و هم در سیستم‌های فشارشی تشکیل می‌شوند. در حقیقت تنش وارد شده در حاشیه‌ی صفحه‌های عامل اصلی تشکیل کانسارهای درون‌زاد با عیار بالا، و عیار پایین این ذخایر است [۲۹،۲۸].

در این سیستم‌ها تعداد زیادی پلوتون تشکیل می‌شوند که هر یک از آنها خود می‌تواند دارای تعدادی استوک مجزا باشد، که هراستوک می‌تواند خاستگاهی برای تولید گرمایی‌های ماگمایی برای تشکیل ذخایر گونه‌ی IOCG باشد [۳۰]. نتایج آنالیز ایزوتوپی گوگرد در ذخایر IOCG وابسته به سیستم‌های پورفیری در دامنه‌ی باریکی در اطراف ۰ ‰ (نسبت در هزار) قرار می‌گیرند [۳۱-۳۳] که نشان دهنده‌ی خاستگاه ماگمایی برای ایزوتوپ‌های گوگرد در ذخایر IOCG است ولی این خاستگاه را به طور قاطع برای کلیه ذخایر این گونه کانساری نمی‌توان پیشنهاد کرد. در تعدادی از ذخایر این گونه مانند ذخیره‌ی Teresa de Colmo خاستگاه گوگرد، شسته شدن از رسوب‌های تبخیری مزوزوئیک است. [۳۴]. مقادیر مثبت بالا و نیز مقادیر منفی پایین  $\delta^{34}\text{S}$  در این ذخایر را می‌توان با خاستگاه آب دریا یا رسوب‌های تبخیری یا حتی خاستگاه زیست‌زایی ربط داد [۳۵،۳۶].

تعداد ۸ نمونه از کانی‌های سولفیدی گونه‌های ۱ و ۲ کانه-زایی در معدن گلالی که شامل کانی پیریت بود، برای اندازه‌گیری مقدار  $^{34}\text{S}$  انتخاب شدند و نتایج مقایسه‌ای آن با ذخایر Ernest Henry, Osborne, Olympic Dam, Candelaria - Punta del Cobre, Raul - Condestable, Monte-de-l'Aigle در شکل ۱۱ دیده می‌شوند. بنابر این شکل دامنه‌ی  $\delta^{34}\text{S}$  بسیار باریک است و در مقادیر مثبت بالا قرار گرفته است و از نظر این مقدار با ذخیره-ی Olympic Dam کاملاً تفاوت دارد، در حالی که در دامنه‌ی تغییرات  $\delta^{34}\text{S}$  ذخایر دیگر قرار می‌گیرد. بنابر این شکل، خاستگاه گوگرد می‌تواند رسوب‌های تبخیری باشد [۳۶،۳۵].

- [۱۲] براتی م، "مطالعه تطبیقی نحوه تشکیل کانسارهای آهن در بخشهایی از استانهای همدان-کرمانشاه و کردستان"، پایان نامه دکتری. دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۷) ۳۷۸ صفحه.
- [۱۳] مصطفوی ف، "خلاصه گزارش پیجویی کانسارهای سنگ آهن شمال غرب ایران"، (۱۳۷۷).
- [۱۴] "گزارش مطالعات ژئوفیزیکی به روش مغناطیس سنجی و ثقل سنجی در منطقه خسرو آباد سنقر"، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۵) ۵۶ صفحه.
- [۱۵] مظفری م، "پتروگرافی و ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آذرین و دگرگونی محور معادن آهن گلالی-باباعلی"، دانشگاه شهید بهشتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۸۲)، ۱۹۵ صفحه.
- [۱۶] متولی ک، قادری م، رشید نژاد عمران ن، "کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار آهن خسرو آباد شمال خاوری کرمانشاه"، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین (۱۳۸۳).
- [۱۷] همتی م، "بررسی پتروژنز و ژئوشیمی سنگهای آذرین منطقه شهرک (شرق تکاب)"، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۷۸) ۲۵۰ صفحه.
- [۱۸] پروژه اکتشاف و پی جویی معادن همه‌کسی همدان. مرکز اکتشاف یزد. شرکت سنگ آهن مرکزی ایران. (۱۳۷۰).
- [۱۹] شهاب پور ج، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۷۹) ۷۴۵ صفحه.
- [۲۰] فرخندی سرخابی ک، "بررسی پراکندگی عناصر نادر خاکی (آرایی ایی) و نیوبیوم (ان بی) در کانسارهای آهن آپاتیتی منطقه بافق"، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی، (۲۳۵ صفحه).
- [۲۱] شرکت مهندسين مشاور زریابان اکتشاف، "گزارش زمین-شناسی- معدنی کانسار سنگ آهن گلالی برداشت ۱/۵۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰"، (۱۳۸۰)، ۹۵ صفحه.
- [22] Mucke Aron, "Chamasite, siderite and the environmental conditions of their formation in chamosite-type phanerozoic ooidal ironstones", Ore Geology Reviews 28.235-249. (2006).
- [23] Mucke A., "Magnetite, ilmenite and ulvite in rocks and ore deposits: petrography, microprobe, analyses and genetic implications", mineralogy and petrology, 77:215-235. (2003).
- [24] Mucke A., Younessi, "Magnetite-apatite deposits (Kiruna-Type) along the sanandaj- sirjan zone and in the Bafg area, Iran, associated with ultramafic and calcalkalin rocks and

تشکر کنیم. همچنین از آقای جان‌هان‌سو (Jung hun Seo) همکار آزمایشگاه مواد معدنی دانشگاه ملی سئول به‌خاطر هماهنگی‌های انجام داده، نهایت تشکر و قدردانی را دارم. از آقای مهندس پیمان تومک مسئول فنی معدن آهن گلالی و آقای مهندس مرادی مدیر محترم شرکت صبانور، بهره‌بردار معدن گلالی به‌خاطر کلیه همکاری‌هایشان تشکر و قدردانی می‌نمایم.

## مراجع

- [۱] درویش‌زاده ع، "زمین‌شناسی ایران"، نشر دانش امروز، (۱۳۷۰)، ۶۳۵ صفحه.
- [۲] براتی م، "بررسی ژنز/احتمالی کانسار آهن همه‌کسی همدان"، مجموعه مقالات پنجمین همایش علمی انجمن زمین‌شناسی ایران، (۱۳۸۰).
- [۳] توکلی ح، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانسارهای آهن شمال غرب همدان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۳)، ۱۵۶ صفحه.
- [۴] غضنفری ب، "اطلس زمین‌شناسی ایران"، سازمان نقشه-برداری کشور، (۱۳۸۲)، ۹۸ صفحه.
- [۵] قربانی م، مرادی ی، "گزارش برآورد پتانسیل سنگ آهن در شمال غرب ایران"، (۱۳۸۰)، ۶۵ صفحه.
- [۶] عزیزی ح، "پتروگرافی و پتروژنز کانسار سنگ آهن شهرک تکاب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان (۱۳۷۰) ۱۹۲ صفحه.
- [۷] هوشمندزاده ع، "زمین‌شناسی ایران (کانسارهای آهن)"، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۴)، ۱۴۲ صفحه.
- [۸] مصطفوی ف، "خلاصه گزارش پی‌جویی کانسارهای سنگ آهن شمال غرب ایران"، (۱۳۷۸) ۱۳۲ صفحه.
- [۹] براتی م، امیری م، "بررسی پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین درونی منطقه آلماقولات همدان"، مجموعه مقالات نوزدهمین گردهمایی علوم زمین (۱۳۷۹).
- [۱۰] "گزارش زمین‌شناسی- معدنی کانسار سنگ آهن بابا علی برداشت ۱/۵۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰". شرکت تامین مواد اولیه فولاد صبا نور. (۱۳۸۰)
- [۱۱] امیری م، "بررسی پتروگرافی، پترولوژی و مواد معدنی شمال اسدآباد (آلموقلاق- همدان)"، دانشگاه تربیت معلم، پایان نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۷۴)، ۲۱۲ صفحه.

Thesis, Colorado School of Mines, Colorado, 141 pp. (2000).

[32] Hopper D, Correa A., "The Panulcillo and Teresa de Colmo copper deposits: two contrasting examples of Fe-ox-Cu-Au mineralisation from the Coastal Cordillera of Chile. In: Porter TM (ed) *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*", Australian Mineral Foundation, Adelaide, pp 177–189(2000).

[33] Marschik R, "Fontboté L The Punta del Cobre Formation, Punta del Cobre-Candelaria area", northern Chile. J S Am Earth Sci 14:401–433(2001a).

[34] Correa A Geología del yacimiento de Fe-Cu Teresa de Colmo, Región de Antofagasta, Chile. Actas 9th Congr Geol Chileno 2:102–106. (2000)

[35] Ripley EM, Ohmoto H Mineralogic, sulfur isotope, and fluid inclusion studies of the stratabound copper deposits at the Raul mine, Peru. Econ Geol 72:1017–1041(1977).

[36] De Haller A, Zúñiga A. J, Corfu F, Fontboté L The iron oxide-Cu-Au deposit of Raúl-Condestable, Mala, Lima, Peru. Resumen 11th Congr Geol Peruano. (2002)

[37] Simard. M, Beaudoin. G, Bernard.J and Hupé. A, Metallogeny of the Mont-de-l'Aigle IOCG deposit, Gaspé Peninsula, Québec, Canada. Mineralium Deposita. Vol 41, Num 6.607-636 p. (2006).

سایت رایانه‌ای

[38] <http://zeppchem.wikispaces.com/file/view/Types+of+Chemical+Reactions.pdf>.

"carbonatites", Mineralogy and Petrology :219-244(1994).

[25] Inson P.R., "Introduction to practical ore microscopy", Longman Earth science series newyork. (1989) .

[26] Goulart A.T, M.F. de Jesus Filho, J.D fabris, J.M.D Coey, "Multiple Iron Rich Spinel Phases and Hematite in a Magnetite Soil Developing on Tuffite", Phys Chem Minerals 25, 63-69(1997).

[27] Sillitoe Richard H. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view Mineralium Deposita International Journal for Geology, Mineralogy and Geochemistry of Mineral Deposits(2003).

[28] Sillitoe RH Major regional factors favouring large size, high hypogene grade, elevated gold content and supergene oxidation and enrichment of porphyry copper deposits. In: Porter TM (ed) Porphyry and hydrothermal copper and gold deposits. A global perspective. Australian Mineral Foundation, Adelaide, pp 21–34(1998).

[29] Tosdal RM, Richards JP Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu ± Mo ± Au deposits. In: Tosdal RM, Richards JP (eds) Structural controls of ore deposits. Rev Econ Geol 14:157–181(2001).

[30] Oyarzún J Algunos temas principales de la metalogénesis cretácica en el norte y centro de Chile. Actas 5th Congr Geol Chileno 3:G37–G52 (1988).

[31] Fox KA Fe oxide (Cu-Au) mineralization and alteration at the Productora prospect, Chile. MSc