

بررسی الگوی کانسار سازی آهن در کانسار گل گهر سیرجان، کرمان

نوشته: آیتا بابکی* و دکتر علیجان آفتابی*

Investigation on the Model of Iron Mineralization at Gol Gohar Iron Deposit, Sirjan-Kerman

By: A. Babaki* & Dr. A. J. Aftabi*

چکیده

کانسار سنگ آهن گل گهر در ۵۵ کیلومتری جنوب باختری سیرجان و در خاوری زون سنندج-سیرجان واقع شده است. سنگهای همبر کانسار شامل واحدهای رسوبی ± آتشفشانی دگرگون شده در رخساره شیست سبز و با سن احتمالی پروتروزویک پسین-پالئوزویک پیشین است. مهم ترین واحدهای سنگی میزبان کانسار شیل، ماسه سنگ، سیل بازالتی، گابروی و دیابازی، سنگهای یخساری (دیامیکتیت) و توالیهای کربناتی-چرتی می باشد که در قسمت بالایی با توالیهای ضخیم کربناتی پایان می یابد. ساخت کانسار شامل نوارهای ضخیم، متوسط و ریز مگنتیت همراه با شیل، ماسه سنگ و کربناتهای چرتی است. حضور قطعات معلق و تخریبی درون نوارهای مگنتیت و سنگهای همبر، کانسار را در گروه آهن نواری راپیتان قرار می دهد. نوارهای مگنتیت با بافتهای دانه ای، نواری و توده ای به خوبی بیانگر رسوبگذاری آهن به شکل هیدرومگنتیت است. حضور مواد آلی (گرافیت) و ریز لایه های پیریت بیانگر شرایط اکسایش- کاهش و تغییرات سریع فوگاسیته اکسیژن در زمان تشکیل کانسار است. سیلهای بازی منطقه از نوع بازالت تولیتی بوده و بیانگر عملکرد کافت ناقص اقیانوسی در زمان تشکیل کانسار می باشد. حضور دیامیکتیت و قطعات معلق بیانگر رسوبگذاری دریایی- یخچالی، همراه با فعالیتهای متصاعدی آتشفشانی است. نفوذ آب دریا به درون حوضه کافتی و واکنش با سنگهای نفوذی، سنگهای دگرگونی قدیمی آهن دار و کانسارهای آهن نواری قدیمی منجر به شستشو و انتقال آهن و سیلیس، به شکل محلولهای گرمابی- برنومدی شده است. برگشت بالارونده محلولهای گرمابی به درون آب دریا و حوضه رسوبی و برخورد با آبهای سرد یخساری منجر به نهشت هیدرومگنتیت در بین رسوبات و قطعات تخریبی یخچالی شده است. حضور بافت توده ای مگنتیت، مقادیر زیادی تورمالین و عیار کم منگنز بیانگر کانسار از نوع همجوار، به مرکز فعالیتهای آتشفشانی- رسوبی با دمای تقریبی ۱۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی گراد است.

کلید واژه ها: کانسار گل گهر سیرجان، آهن، راپیتان، کرمان

Abstract

The Gole Gohar iron deposit is located at about 55 km southwest of Sirjan and in the eastern edge of the Sanandaj-Sirjan structural zone of Iran. The host rocks of the ore deposit include metamorphosed sedimentary ± volcanic rocks of the greenschist facies, probably of Upper Proterozoic-Lower Paleozoic age. The most important host rock units include shale, sandstone, gabbroic-basaltic and diabasic sills, diamictite and cherty carbonatic sequences that have been changed to thick carbonate successions in the upper units. The structure of iron ore comprises macro, meso and microbanding of magnetite associated with shale, sandstone and cherty carbonates. The presence of diamictites and phenoclasts in magnetite banding and host rocks indicates an iron ore association similar to the Rapitan banded iron ore. Magnetite banding, granular, banded and massive textures all represent deposition of iron as hydromagnetite. The presence of organic matter (graphite) and microlayers of pyrite indicates variation due to reducing-oxidizing conditions controlled by oxygen fugacity at the time of formation of the iron ore. The sills of basic rocks in the region are of tholeiitic basalt characteristics that represent the process of inactive oceanic rifts at the time of ore formation. The presence of diamictites and dropstones represents glacio-marine deposition associated with volcanic-exhalative activity. The recharge of seawater into rifting basin reacts with basic intrusives, old metamorphic iron bearing rocks and old banded iron ores, causes leaching and discharging of iron and silica, producing exhalative hydrothermal fluids. The upflow discharge of hydrothermal solutions into the seawater and sedimentary basin, followed by reaction with cold glacial water, causes hydromagnetite deposition within sediments and diamictites. The

presence of massive magnetite texture, abundant tourmaline and low content of manganese indicates proximal ore mineralization in the central part of the volcanic-sedimentary activities formed at about 100-250 °C.

Key Words: Gol Gohar Iron deposit, Rapitan, Sirjan, Kerman

مقدمه

یخساری (دیامیکتیت) شیل، چرت دولومیتی و دولومیت چرتی است. سنگهای مذکور در رخساره شیست سبز دگرگون شده و سن احتمالی پروتروزوییک پسین- پالئوزوییک پیشین را نشان می‌دهند (شکل ۱d). موقعیت ایستگاههای نمونه برداری و نقشه زمین‌شناسی واحدها در شکل ۱c مشاهده می‌شود. کانسار گل گهر شامل ۶ توده معدنی است (شکل ۲a). مطالعات بر روی توده شماره ۱ خاوری، شماره ۴ و شماره ۳ انجام گرفته است. در سراسر توده‌های معدنی توالی ضخیمی از سنگ پوش کوارتزیت بر روی توده‌های معدنی مشاهده می‌شود (شکل ۲b). توالی لایه‌ها در گودال روباز معدن شامل کوارتزیت، مگنتیت بالایی، مگنتیت میانی (شکل ۲c) و مگنتیت زیرین است (شکل ۲d).

روش نمونه‌برداری، مطالعه و تحقیق

به منظور تعیین الگوی کانسار سازی کانسار گل گهر بیش از ۲۰۰ نمونه مغزه معدنی از توده معدنی ۱ خاوری، ۴ و ۳ و در حدود ۲۰ نمونه سنگ همبر (مطالعات ناحیه‌ای) برداشت شد. پس از مطالعه نمونه‌های دستی ۸۰ مقطع صیقلی، ۵۰ مقطع نازک و ۳ مقطع نازک صیقلی تهیه و مورد مطالعات میکروسکوپی قرار گرفت. در ادامه، ۲۴ نمونه ماده معدنی و سنگ همبر برای تجزیه به سازمان زمین‌شناسی کشور و شرکت توسعه علوم زمین شیمیایی ارسال گردید. نمونه‌ها به روش فلوتورسانی پرتو ایکس (XRF) و روش پلاسما القایی جفت شده (ICP) تجزیه شدند.

مشخصات ساختی و بافتی کانسار و سنگ همبر

مهم‌ترین ساخت کانسنگ در کانسار گل گهر ساخت نواری (ضخیم، متوسط و نازک) کانیهای اکسیدی، سولفیدی، سیلیکاتی، کربناتی با بین لایه‌های شیلی، ماسه سنگی، قطعات تخریبی یخساری، گری‌واکی، توریدیت و سیل دیابازی است (شکل ۳a). ساخت قطعات بیگانه، معلق و قطعات تخریبی کوارتز مضرس در سیمان کربناتی (شکل ۳b)، قطعات تخریبی کربنات با حفظ لایه‌بندی و رسوبگذاری اولیه (شکل ۳c)، قطعات معلق در شیست دگرگون شده (شکل ۳d) قطعات بیگانه آذرین در بین نوارهای معدنی مگنتیت (شکل ۳e) جالب‌ترین ساختها در کانسار گل گهر است. بعضی از سنگهای همبر یخساری بیش از ۱۰ درصد قطعات معلق دارند و مشابه کنگلومرای یخساری (Paraconglomerate) یا

کانسارهای آهن به چهار گروه اسکارن، ماگمایی، آتشفشانی- برونومی- رسوبی و رسوبی تقسیم شده‌اند. در ارتباط با الگوی کانی‌زایی کانسار گل گهر و نوع این کانسار، تاکنون مطالعات زیادی انجام شده است. متأسفانه در بیشتر مطالعات به ویژگیهای ساختی و بافتی و انطباق آن با مطالعات ژئوشیمی توجه چندانی نشده است. این نوشتار با توجه به مطالعات گسترده ساخت، بافت و ژئوشیمی کانسار گل گهر با انواع کانسارهای آهن (جدول ۱) صورت گرفته است و در نهایت الگوی کانه‌زایی آهن نواری از نوع راپیتان در مورد کانسار گل گهر ارائه شده است. کانسارهای آهن رسوبی در محدوده زمانی پرکامبرین-پالئوزوییک گسترش داشته‌اند (سبزه‌ای، ۱۳۷۰ و بابکی، ۱۳۸۳). مطالعات چینه‌شناسی کانسار گل گهر، سنی در حدود پروتروزوییک پسین- پالئوزوییک پیشین را نشان می‌دهد (شکل ۱a). کانسار سنگ آهن گل گهر سیرجان یکی از ذخایر اقتصادی مهم آهن در ایران با ذخیره قطعی حدود ۹۰۰ میلیون تن سنگ آهن با عیار ۵۷/۲ درصد آهن، ۰/۱۶ درصد فسفر و ۱/۸۵ درصد گوگرد است (گزارش داخلی شماره ۱ معدن، ۱۳۸۰ و بابکی، ۱۳۸۳).

موقعیت جغرافیایی و زمین ریخت شناسی

ناحیه معدنی سنگ آهن گل گهر در ۵۵ کیلومتری جنوب باختری سیرجان (استان کرمان) و در لبه خاوری زون ساختاری سنندج- سیرجان قرار دارد. مختصات جغرافیایی این منطقه در طول جغرافیایی ۱۰° ۵۵' - ۲۴' ۵۵° و عرض جغرافیایی ۰۳° ۲۹' - ۰۷' ۲۹° است (شکل ۱b). جاده آسفالته سیرجان- نیریز- شیراز و راه آهن بافق- بندرعباس راههای ارتباطی منطقه می‌باشند (شکل ۱b). آب و هوای منطقه خشک و بیابانی، با ریزشهای جوی کم است که به دلیل آب و هوای خشک و کمبود رطوبت، فرسایش شیمیایی تأثیر بسیار کمی بر زمین‌ریخت‌شناسی منطقه داشته است. عواملی مانند فرسایش و رسوبگذاری، بالآمدگیها و فرورفتگیها و سیلابها عوامل اصلی تغییرات زمین‌ریخت‌شناسی منطقه هستند.

موقعیت زمین‌شناسی

کانسار سنگ آهن گل گهر در درون واحدهای رسوبی ± آتشفشانی قرار گرفته است (سبزه‌ای، ۱۳۷۰ و بابکی، ۱۳۸۳). مهم‌ترین واحدهای سنگی میزبان کانسار شامل ماسه سنگ، سیل بازالتی، گابرویی، دیابازی، سنگهای

نشده است. مهم‌ترین نقش و اثر دگرگونی ناحیه‌ای بر روی سنگ آهن گل گهر تبلور دوباره و افزایش قطر دانه های مگنتیت است که ارزش اقتصادی کانسار را از نظر کانه آرایایی بالا می‌برد.

مطالعات ژئوشیمی کانسار

به منظور تعیین ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگهای همبر، ۵ نمونه سنگ رسوبی دگرگون شده (شیست اکتینولیتی، شیت کلریتی، شیت کوارتز-مسکوویت دار حاوی قطعات بیگانه، کالک سیلیکات شیت و یک نمونه سیل دیباز) تجزیه شیمیایی شده و با سنگ همبر کانسارهای آهن جهانی مقایسه شدند (جدول ۲). بر اساس مقایسه داده‌های جهانی با داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی در کانسار گل گهر، سنگ همبر کانسار گل گهر از نوع شیستهای با سنگ مادر ماسه سنگی- پلیتی- توریدیتی و گریواکی است که در رخساره شیستهای کلریتی، مسکوویتی، اکتینولیتی دگرگون شده است.

حضور مقادیر زیاد Na_2O و K_2O در نمونه بازالت بیانگر مودال بالای فلدسپارها بر اساس مطالعه مقاطع نازک و نیز به دلیل دگرسانی اسپیلیتی در نمونه بازالت است. نتایج تجزیه شیمیایی این نمونه بیانگر بازالت از نوع تولییتی اقیانوسی و کافتی است. تجزیه شیمیایی ۱۹ نمونه معدنی دلالت بر فراوانی آهن، سیلیسیم و کمی آلومینیم دارد. ضریب همبستگی (Spearman) این عناصر در شکل ۵e نشان داده شده است. مقدار سیلیسیم در کانسار گل گهر نسبت به دیگر کانسارهای آهن رسوبی کمتر است. این شاید به دلیل آزاد شدن کمتر اسید سیلیسیک به نسبت یون آهن دو ظرفیتی و نیز به دلیل تشکیل و فراوانی کانیهای سیلیکاتی فرومنیزیم دار (کلریت، تالک و اکتینولیت) باشد که منجر به تشکیل مقادیر کمتر چرت (کوارتز) می‌شود. از ویژگیهای بارز کانسار گل گهر مقادیر فراوان آهن و بی‌هنجاری منفی تا برابر با عیار میانگین پوسته‌ای (کلارک) عناصری مانند مس، سرب، روی، کبالت، نیکل و سایر عناصر فرعی است.

بحث و تحلیل داده‌های کانسار گل گهر

(Spry et al. 1976)، تبلور ژلهای اولیه کانیها را در طی دیاژنز و دگرگونی منجر به تشکیل بلورهای شکل‌دار- نیمه‌شکل دار کانی مورد نظر می‌دانند (شکل ۵b). اگر به نظر (Guilbert & Park 1997)، تشکیل بلورهای مگنتیت را مستقیم از آب دریا و یا بر اساس مطالعات پیشین کانسار گول گهر (Mucke & Younessi 1994) و (Mucke & Golestaneh 1982) تشکیل مگنتیت کانسار گل گهر را به شکل ماگمایی در نظر بگیریم، بلورهای شکل دار مگنتیت پس از تحمل دیاژنز و دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره شیت سبز بافتهای خرد شده

(Sharpstone) هستند (شکل b و Fa). دیامیکتیت به دلیل مقدار کمتر قطعات درشت (ده درصد)، زمینه و سیمان لایه‌ای (کربناتی- شیلی)، نداشتن ساخت هم‌آغوشی (imbricate structure) و به جای گذاشتن انحنا در لایه‌های زیرین از کنگلومرای رودخانه‌ای-دریایی قابل تشخیص است. این در حالی است که کنگلومراهای رودخانه‌ای-دریایی دارای بیش از ۹۰ درصد قطعات درشت است و ویژگیهای دیگر را ندارد. دیگر ساخته‌های کانسنگ در کانسار شامل توده‌ای، گوسانی (اکسیدی)، رگه‌ای، رگچه‌ای و چین خورده است. مهم‌ترین بافتهای کانسنگ در کانسار، بافت دانه‌ای مگنتیت (شکل ۴c)، نواری کانیهای اکسیدی، سولفیدی و گرافیت (شکل ۴d)، توده‌ای (شکل ۴e)، جانیشینی و تبلور دوباره پیریت (شکل ۴f) است. مهم‌ترین ساخته‌های مشاهده شده در سنگهای همبر شامل لایه‌ای، شستی، شبه گنسی، قطعات معلق (Dropstones)، رگه‌ای، رگچه‌ای (در وسعت بسیار کم)، آذرین (سیل) است. بیشتر ساخته‌ها بیانگر رسوبگذاری همزاد (همزمان با رسوبگذاری) در یک محیط دریایی- یخساری است. بافت در بعضی از سنگهای همبر، به دلیل حضور قطعات معلق ظاهر گنسی دارد و با واژه بافت شبه گنسی تعریف می‌شود. کانیهای فلزی کانسار شامل مگنتیت، همتیت، مارتیت، کینومگنتیت، مگهمیت، گنوتیت (شکل ۵a)، پیریت و به ندرت کلکوپیریت و پیروتیت است. کانیهای غیرفلزی کانسار شامل کوارتز، کلریت، مسکوویت، بیوتیت، رپیدولیت، گرینالیت، اپیدوت، تورمالین، اکتینولیت، کانی آلی (گرافیت) و مقادیر کمتری گارنت است که معرف رخساره دگرگونی شیت سبز می‌باشند. در بین کانیهای ذکر شده، مگنتیت جالب‌ترین بافت را از مرحله رسوبگذاری تا دیاژنز و دگرگونی نشان می‌دهد. حضور مگنتیت دانه‌ای (شکل ۴c) بیانگر رسوبگذاری اولیه مگنتیت به شکل هیدرومگنتیت است. به رغم تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای بر روی توده‌های معدنی و سنگهای همبر کانسنگ گل گهر، تکرار و تناوب لایه‌ها و نوارهای مگنتیت و پیریت با کربناتها، چرت و شیل به خوبی حفظ شده است. این بیانگر رسوبگذاری هیدروکسید آهن به طور متناوب با کربناتها و شیل و سایر رسوبهای پیش از دگرگونی است و نقش مستقیم دگرگونی را در کانی زایی آهن منتفی می‌نماید. نبود بافت جانیشینی پیروتیت به جای پیریت و نبود جانیشینی مگنتیت به جای کربناتها و یا سیلیکاتها نشان می‌دهد که دگرگونی پس از تشکیل کانسار رخ داده و تأثیری در فرایند کانسار سازی نداشته است. هم چنین، نبود ولاستونیت و دیگر کانیهای دگرگونی همبری، ارتباط دگرگونی همبری را با کانسار سازی آهن منتفی می‌سازد. این در حالی است که تاکنون توده‌های نفوذی دگرگون نشده و اسکارن همراه با نوارهای مگنتیتی و پیریتی دیده

(Peter, 2002). آبهای سرد یخساری غنی از اکسیژن، سبب شده است که نمودار عنکبوتی (شکل ۶b) در کانسار گل گهر شباهتی به آبهای اقیانوسی عهد حاضر داشته باشد. نمودار عنکبوتی عناصر خاکی کمیاب سنگ همبر کانسار نسبت به کندریت (شکل ۶d) مبین غنی شدن سنگهای شیت آکتینولیتی کلریت دار از عناصر خاکی کمیاب سبک (تمرکز عناصر سبک توسط کانیهای ورقه‌ای آبدار) و غنی شدن شیت کوارتز مسکوویت دار حاوی کانیهای تخریبی مانند زیرکن (شکل ۶e) از عناصر خاکی کمیاب سنگین است. مقایسه عناصر فرعی و کمیاب کانسار آهن گل گهر با کانسارهای آهن رسوبی جهانی، انطباق این کانسار را با کانسار آهن نواری راپیتان نشان می‌دهد (شکل ۶f). مقدار بسیار کم منگنز، مقادیر فراوان کانی تورمالین در بین لایه‌های سنگ معدن و سنگهای همبر و بافت توده‌ای مگنتیت، بیانگر نزدیک بودن کانسار گل گهر به مرکز کافت است. تورمالین کانی دیگری است که به فراوانی در کانسار گل گهر مشاهده شده است. تورمالین با چند رنگی شدید و به رنگ قهوه‌ای، قهوه‌ای-سبز و سبز-آبی مبین تورمالین غنی از آهن و شاخص اکتشافی کانسارهای آهن و کانسارهای آتشفشانی-بروندمی-رسوبی است (Slack, 1982). کانی تورمالین بیانگر فعالیت‌های آتشفشانی و خروج مقادیر فراوان بور (بیش از ۱۰۰۰ گرم در تن) و واکنش محلولهای گرمابی بوردار با کانیهای رسی و سیلیکاتی است.

الگوی کانسار سازی و اکتشاف کانسار گل گهر

در مورد الگوی کانی‌زایی کانسار گل گهر می‌توان گفت با حضور شرایط کشتی و کافتی پروتروزیویک پسین-پالئوزویک پیشین ایران (درویش زاده، ۱۳۷۰ و آقائاتی، ۱۳۸۳)، مذابهای بازی و توده‌های نفوذی به سمت بالا حرکت می‌کنند. در همین زمان آبهای اقیانوس که وارد حوضه کافتی شده به سمت پایین حرکت می‌کنند. عیار بالای آهن و عیار پایین مس، سرب، روی و ... بیانگر نفوذ آب تا ژرفای ۵ الی ۱۰ کیلومتری زیر سطح زمین است (Russell et al., 1981). آب اقیانوسی ضمن نفوذ به اعماق، در اثر گرادیان گرمایی بالای مناطق کافتی و ضمن نزدیک شدن به توده نفوذی (بازالت تولیتی) گرم شده و سبب شستشوی عناصری مانند آهن، منگنز، سرب، روی به شکل کمپلکسهای کلریدی، هیدرواکسیدی و بی‌کربناتی و انتقال گازهای آتشفشانی و اسید سیلیسیک شده و با توجه به جریان همرفتی به سمت بالا حرکت می‌کند. با توجه به فرضیه جدایش و لایه‌بندی آبهای اقیانوسی غیراکسیدی در قعر و آبهای اکسیدی در مناطق کم‌عمق، محلولهای گرمابی حاوی عناصر، به داخل آب اقیانوسی فقیر از اکسیژن می‌ریزند. شرایط تا سیر شدن آب اقیانوس از اکسیژن حلشده، به منظور رسوبگذاری یونها مؤثر نیست و تکرار فورانهای

و گسلیده نشان می‌دادند که در کانسار گل گهر چنین ساخت و بافتی با گسترش فراوان تا به حال مشاهده نشده است. بر اساس مطالعات Yeo (1981)، کانسارهای آهن نوع راپیتان در مصر و کانادا یافت شده‌اند که رسوبگذاری آهن در آنها به شکل ژل اولیه هیدرومگنتیت بوده است. حضور ریز لایه‌ها و توالیهای متوسط لایه پیریت با مگنتیت و حضور کانی گرافیت در کانسار، مبین شرایط نیمه‌اکسیدی-احیایی و بیانگر تغییرات سریع فوگاسیته اکسیژن است که منجر به رسوبگذاری کانیهای فوق شده است. به طور کلی، ماده معدنی به شکل ژل اولیه هیدرومگنتیت، مکیانویت، مواد آلی به همراه رس، گل رسی، چرت، دولومیت چرتی، کلسیت و ماسه سنگ در شرایط آرام رسوب کرده‌اند. سپس رسوبات تحت تأثیر دیاژنز پیشرفته و دگرگونی (شکل ۵c) به مگنتیت، پیریت و دیگر کانیهای سولفیدی، کلریت، تالک، اکتینولیت، گرافیت و کوارتز تبدیل شده است. سنگ‌شناسی کانسار سنگ آهن گل گهر عمدتاً شامل کوارتزیت و مسکوویت شیت حاوی قطعات درشت تخریبی است و بافت شبه گنیسی را نشان می‌دهد (شکل ۵c). اغلب شیتسهای معدنی مقادیر فراوانی مگنتیت و شیت کلریتی و تالک دارند (شکل ۵e). به منظور بررسی نظریه ماگمایی بودن کانسار گل گهر تعدادی از مغزه‌های معدنی با استفاده از مغناطیس سنج و دستگاه هیدروسیکلون، کانه‌آرایی شدند و پیریت و مگنتیت این نمونه‌ها جداسازی شد. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانه‌آرایی شده مبین سه تا چهار برابر افزودگی عیار عناصر فرعی در پیریت نسبت به مگنتیت توده‌ای با مقادیر کم پیریت است (شکل ۶a). کمبود نیکل و کبالت در مگنتیت الگوی کانی‌زایی ماگمایی را نفی می‌کند. این موضوع بیانگر جذب این عناصر توسط ژل سولفیدی اولیه، مانند مکیانویت در حضور مواد آلی و شرایط احیایی محیط می‌باشد (Bralia et al., 1979). نمودار بهنجارشده‌گی عناصر خاکی کمیاب گل گهر نسبت به مجموعه شیل مرکب شمال آمریکا (North American Shale Composite) مبین تمرکز عناصر خاکی کمیاب سبک در هیدرواکسیدها، اکسیدها و کانیهای ورقه‌ای آبدار و تمرکز عناصر خاکی کمیاب سنگین در کانیهای تخریبی (زیرکن، اسفن و گارنت) است (شکل ۶b). عناصر خاکی کمیاب سبک موجود در شیل گل گهر در مقایسه با مجموعه شیل آمریکا به دلیل فراوانی بیشتر کانیهای ورقه‌ای آبدار، هیدرواکسیدها و ... بهنجارشده‌گی منفی نشان می‌دهند. در بهنجارشده‌گی عناصر خاکی کمیاب نسبت به کندریت (شکل ۶c)، کلیه عناصر به مقدار فراوان غنی‌شدگی نشان می‌دهند به جز اروپیم. این موضوع تناقضی با منشأ گرفتن این عناصر از بازالت تولیتی ندارد و تنها مبین پوشانده شدن بی‌هنجاری اروپیم، به وسیله کانیهای تخریبی و عملکرد آبهای سرد یخساری غنی از اکسیژن است (شکل ۶b)

مقایسه کانسار گل گهر با نمونه‌های جهانی

به منظور مقایسه کانسار گل گهر با انواع کانسارهای آهن جهان، از نمودارهای رسم شده به وسیله Loberg & Honrdal, 1983؛ Webb et al., 2003 و Lottermoser & Ashley, 2000 استفاده شده است. از لحاظ ساختی و بافتی کانسار گل گهر با توجه به حضور قطعات معلق و یخساری، مشابه کانسارهای آهن نواری نوع راپیتان است (شکل b و a). مقایسه کانسار گل گهر با کانسار آهن رسوبی برامر (Braemar) در استرالیا، بیانگر تشابه ژئوشیمیایی عناصر اصلی در هر دو کانسار (شکل c) (Lottermoser & Ashley, 2000) و قرارگیری نمونه‌های کانسار گل گهر در محدوده کانسارهای آهن نواری (BIF)، مشابه با کانسارهای آهن نواری گروه هامرسلی استرالیا است (شکل d) (Webb et al., 2003). ضریب همبستگی عنصر تیتانیم با سیلیسیم ($r=0.6$) و آلومینیم ($r=0.4$) در کانسار گل گهر نیز، مشابه کانسار آهن نواری برامر (Braemar) استرالیاست (شکل f و e) (Lottermoser & Ashley, 2000). در بررسی ژئوشیمی کانسارهای آهن پرکامبرین سوئد، اغلب از نمودارهای دوتایی و نسبت عنصر وانادیم به عناصر دیگر استفاده کردند. همان طور که در شکل‌های 9a و 9b مشاهده می‌شود، در تمامی نمونه‌ها نسبت وانادیم به نیکل، در محدوده کانسارهای آهن نواری قرار گرفته است. مقادیر بالای وانادیم، کانسار را به سمت کانسارهای آهن برونومی-رسوبی سوق می‌دهد، در صورتی که مقادیر بالای تیتانیم و نیکل، معرف کانسار آهن ماگمایی است. بر اساس نمودارهای دوتایی وانادیم/تیتانیم نسبت به نیکل/تیتانیم نیز، تمامی نمونه‌ها در محدوده کانسارهای آهن نواری قرار می‌گیرند (شکل 9c).

مقایسه کانسار گل گهر با دیگر کانسارهای آهن ایران

کانسار گل گهر سیرجان با کانسارهای آهن جلال آباد زرنند، بافق و کانسار آهن هرمز شباهت‌های بسیاری دارد. می‌توان به مواردی مانند محدوده پروتروزویک پسین-پالئوزویک پیشین، ساخت و بافت همزمان با رسوبگذاری (syngenetic) و لایه‌ای، کمبود سولفیدهای مس، سرب و روی، دگرسانی ضعیف، کمبود ساخت و بافت رگه‌ای، رگچه‌ای و استوک‌ورک و ستون چینه‌شناسی یکسان، شامل توالی‌های رسوبی و آتشفشانی مشابه که در نهایت به توالی‌های کربناتی و سولفاتی ختم می‌شود (شکل a) و ویژگی‌های ژئوشیمیایی یکسان که در جدول‌های 3 و 4 مشاهده می‌شود اشاره کرد. در مورد محدوده زمانی، هوشمندزاده (1367)، معتقد است که کانی زایی ذخایر آهن در ایران مرکزی در مرز پروتروزویک پسین تا اردووسین انجام شده است. آقاناتی (1383) الگو

آتشفشانی و شستشو و انحلال عناصر از توده‌های نفوذی بازالتی-دیابازی و سنگهای پوسته‌ای قدیمی‌تر غنی از آهن عناصر ادامه دارد. در ضمن فعالیت‌های آتشفشانی مقادیر زیادی گاز وارد آب اقیانوس و جو می‌شود و به طور تدریجی با تغییر شرایط کره زمین و عملکرد دی‌اکسید کربن در فرایند گلخانه‌ای، آب و هوای گرم کره زمین را فرا می‌گیرد و یخسارها شروع به ذوب شدن می‌کنند. با ادامه یافتن ذوب یخسارها حجم عظیمی از آبهای اقیانوسی غنی از اکسیژن و قطعات تخریبی، در مقیاسهای متفاوت، به سمت حوضه رسوبگذاری حرکت می‌کنند. در این زمان با گسترش دوره‌های بین یخساری مقادیر فراوان کلسیم، پتاسیم و سدیم به آب اقیانوس اضافه شده و در آب و هوای گرم و اسیدی با پیشروی آب دریا، فرسایش شیمیایی و فیزیکی سنگهای پوسته زمین و در نتیجه انتقال مقادیر فراوان قطعات تخریبی را به دنبال دارد (شکل v). توالی ریز لایه‌های سولفیدی در لایه‌های کانسنگ (شکل b)، بیانگر تغییرات سریع Eh محیط رسوبگذاری است. به دلیل نبود فسیل جانوری و گیاهی نقش و حضور باکتریها (سیانوباکتریها) در تغییر شرایط اکسایش-کاهش محیط پررنگ می‌شود. ریزجانداران سبب تبدیل سولفاتهای حل شده در آب اقیانوس به HS^- و H_2S می‌شوند. در اثر واکنش محلول کلریدی با هیدرواکسیدها و بی‌کربنات آهن با یونهای مذکور، ژل اولیه سولفیدی رسوب می‌کنند. در نهایت با گرم‌تر شدن شرایط آب و هوایی پس از دوره‌های یخساری، لایه‌هایی از کلاهک کربناتی، سولفاتی و تبخیری در اغلب کانسارهای آهن ایران دیده می‌شود. نسبت بالای $\frac{Na_2O}{K_2O}$ و $\frac{FeO}{Fe_2O_3}$ در سیلهای بازی بیانگر توده نفوذی بازالت از نوع تولیتی است. گسترش سیلهای دیابازی به تعداد زیاد ولی وسعت کم، بخصوص در خاور معدن، بیانگر عملکرد یک کافت ناقص بین قاره‌ای و یا اقیانوسی می‌باشد و در اعماق بیشتر این نواحی، نباید احتمال حضور توده‌های عظیم بازالتی-دیابازی را مردود دانست. توالی متناوب قطعات بیگانه آذرین و لایه‌های بازالت بیانگر خروج توده‌های نفوذی بازی و تکرار فورانهای آتشفشانی به درون حوضه رسوبی است (شکل v). دمای محلولهای گرمابی اولیه کانسار ساز در کانسار گل گهر بر اساس نسبت آهن و منیزیم در کانی کلریت که به شکل میانبار در داخل مگنتیت بوده و مورد تجزیه میکروپروب قرار گرفته‌اند (داده‌ها از Mucke & Younessi, 1994)، در حدود 230 تا 240 درجه سانتی‌گراد است (شکل v). دمای تشکیل کانسار بر اساس کانسارهای مشابه با گل گهر در استرالیا (Trendall & Morris, 1983) 120 تا 220 درجه سانتی‌گراد و در صورت تشکیل تورمالین 100 تا 300 درجه سانتی‌گراد است.

۵) مهم ترین کانیهای کانسار شامل مگنتیت، هماتیت و پیریت هستند که به طور متناوب با کربناتها، چرت و کوارتزیت تکرار می شوند.

۶) آهن، آلومینیم و سیلیسیم سه عنصر اصلی تشکیل دهنده نوارهای ماده معدنی هستند. سیلیسیم به شکل چرت نسبت به کانسارهای آهن رسوبی دیگر کمتر دیده می شود که می تواند به دلیل انحلال پذیری کم سیلیس از بازالت تولیتی و رسوبات و یا به دلیل تمرکز سیلیسیم در کانیهای سیلیکاتی فرومنیزیم دار باشد. مقدار بیشتر آلومینیم در کانسار گل گهر به دلیل حضور کلریت و کانیهای فلدسپار در لایه های ماده معدنی و سنگهای همبر است.

۷) براساس نمودارهای وانادیم- تیتانیم، وانادیم به تیتان در برابر نیکل به تیتان و وانادیم در برابر نیکل کانسار گل گهر ویژگیهای کلی کانسارهای آهن نواری را نشان می دهد.

۸) نبود توده های نفوذی گابرویی، توده های نفوذی اسیدی و هاله اسکارن و مقدار کم کبالت و نیکل در مگنتیت الگوی کانی زایی ماگمایی و اسکارن را نفی می کند.

۹) حضور بافت و ساخت نواری بین مگنتیت و پیریت با سنگهای شیلی، کربناتی و چرتی که در رخساره شیبست سبز دگرگون شده اند، نشان می دهد که گرچه دگرگونی باعث افزایش قطر بلورهای مگنتیت و دیگر

و زمان کانی زایی آهن در کانسار گل گهر سیرجان را مشابه کانسارهای منطقه بافق (چغارت) و با سن احتمالی پرکامبرین منظور می نماید. در بسیاری از نقاط دیگر دنیا فعالیت دوره ای و متناوب ریفتها در مرز پرکامبرین-پالئوزوییک زیرین نیز گزارش شده است (Peter, 2002 و Kirschvink et al., 2000).

منشأ اولیه این کانسارها فعالیت های آتشفشانی- برونومی است که در نهایت در برخورد با آبهای اقیانوسی کانسارهای آهن رسوبی را تشکیل داده اند. همان طور که در شکل ۱۰b مشاهده می شود، الگوی چشمه های ماگمایی- گرمابی- برونومی یا الگوی Bull's eye Pattern (Peter, 2002)، را در مورد این کانسارها می توان در نظر گرفت. با بالا آمدن چندین توده نفوذی جداگانه در شرایط کشتی و کافتی ایران در پروتروزوییک پسین- پالئوزوییک پیشین و انتقال آب اقیانوس به اعماق پوسته، کانسارهای آهن ایران، احتمالاً در یک روند تقریباً شمالی- جنوبی مشاهده می شوند. حضور توالیهای نفوذی متفاوت از بازالت تا ریولیت در کانسارهای آهن ایران به دلایلی مانند ذوب بخشی متفاوت، هضم سنگهای پوسته قاره ای (ماگمای ریولیتی)، ذوب بخشی گوشته در فشارهای کم (ماگمای بازالتی تولیتی) و در فشارهای زیاد (ماگمای بازالتی قلیایی) است (شکل ۱۰b).

نتیجه گیری

۱) کانسار سنگ آهن گل گهر در درون واحدهای رسوبی \pm آتشفشانی و با سن احتمالی پروتروزوییک پسین- پالئوزوییک پیشین تشکیل و در رخساره شیبست سبز دگرگون شده است.

۲) مهم ترین واحدهای در برگیرنده توده های معدنی شامل شیل، ماسه سنگ، سیل بازالتی، گابرویی و دیابازی، سنگهای یخساری (دیامیکتیت) و توالیهای کربناتی- چرتی است که در قسمت بالایی به توالیهای ضخیم کربناتی ختم شده است.

۳) توده های سنگ آهن در کانسار گل گهر در مقیاس بزرگ، شامل لایه های ماده معدنی (نوارهای مگنتیت و کانیهای سولفیدی فلزدار)، شیل، چرت، کانیهای سیلیکاتی فرومنیزیم دار (تالک و کلریت)، سنگهای تخریبی، سیلهای بازالت، گابرو و دیاباز و لایه های کربنات است. بیشتر نوارهای مگنتیت همراه با شیل حاوی قطعات یخساری دگرگون شده در رخساره شیبست سبز می باشند.

۴) ساخت نواری، با حضور مقادیر فراوان قطعات معلق و بیگانه و بافت لایه ای مگنتیت، پیریت، کلریت، چرت، گرافیت، کربناتها و قطعات بیگانه مهم ترین ساخت و بافت کانسار گل گهر بوده و مبین رسوبگذاری آرام و تدریجی عناصر در یک محیط آرام و ساکن است.

کانیها شده است، ولی نقش تعیین کننده ای در تشکیل کانسار نداشته و کانی زایی آهن نواری قبل از فرایند دگرگونی ناحیه ای شکل گرفته است. ۱۰) براساس نمودارهای هنجار شده عناصر خاکی کمیاب نسبت به شیل استاندارد و کندریت، کانسار سنگ آهن گل گهر شباهت نزدیکی با کانسار آهن نواری نوع راپیتان دارد. همچنین نمودار عناصر کمیاب در کانسار گل گهر نسبت به مقدار میانگین پوسته (کلارک) بیانگر الگوی کانسار آهن نواری راپیتان می باشد.

۱۱) الگوی احتمالی تشکیل کانسار سنگ آهن گل گهر در ارتباط با شرایط کافتی ایران در پروتروزوییک پسین- پالئوزوییک پیشین است که سبب نفوذ آبهای دریایی تا اعماق ۵ تا ۱۰ کیلومتری شده است. در اثر برخورد آب با توده های نفوذی، شیل و سنگهای غنی از آهن محلولهای گرمابی غنی از عنصر آهن تشکیل می شوند. برخورد محلولهای گرمابی با آبهای سرد یخساری دمای محلول گرمابی را پایین آورده و سبب رسوبگذاری آهن به شکل هیدرومگنتیت در بین قطعات بیگانه یخساری شده است. وجود ساختهای معلق در کانسار گل گهر معرف آهن نواری از نوع راپیتان است. حضور ریز لایه های سولفید در بین لایه های اکسید آهن و نسبت بالای گوگرد به اکسیژن بیانگر ایجاد شرایط کاهیدگی گهگاه و تغییرات سریع و پیوسته فوگاسیته اکسیژن است.

جدول ۱- مشخصات انواع مهم کانسارهای آهن (بابکی، ۱۳۸۳)

انواع کانسارهای آهن	آلگوما	سوپرپور	رابطان	اسکارن	
				ماگمای	اتولیتی (مبنت)
سن	قدیمی تر از ۲۶۰۰ میلیون سال	قدیمی تر از ۱۸۰۰ میلیون سال	۴۵۰ تا ۸۰۰ میلیون سال	فانروزوبیک	فانروزوبیک
سنگهای همراه	گری واک، شیل آلی همراه با سنگهای بازالت، بالشی و ریولیتی	کنگولمر-کوارتزیت و بازالت و شیل گرافیتی	سنگهای تخریبی یخساری، سنگهای رسوبی کم عمق، ماسه سنگ، شیل، سنگ آهک دولومیتی چرت دار	گابرو ± آنورتوزیت ± رسوبات همی پلاژیک	بازالت، آندزیت
گسترش و ضخامت	توده‌ای عدسی شکل با چندین کیلومتر طول و ضخامت بین ۰/۱ تا ۱۰ متر	توده‌ای، لایه‌ای به طول بیش از صد کیلومتر و ضخامت بین یک تا چندین کیلومتر	توده‌ای، عدسی شکل به طول چند متر تا چند کیلومتر و با ضخامت ۰/۱ متر تا چندین متر	گسترش کم	گسترش زیاد، ذخیره اقتصادی کمتر از آهن نواری
توالی چینه‌ای	در قاعده سنگهای آرکن	لایه پیشرونده بر روی سنگهای پرکامبرین	بر روی سگوها، بازالت و رسوبات تخریبی و یخساری	کمر بند سبز	جزایر کمائی و کمانهای بیرونی عمق و فلات قاره
فعالیت ماگمای و سنگهای آذرین همراه	بازالت، ریولیت و ...	نبود و یا کمبود مواد آذرین	بازالت و یا سنگهای دگرگونی	گابرو ± آنورتوزیت ± سینیت	بازالت ± آندزیت ± گرانیت
ساخت	توده‌ای و عدسی ± استوک ورک ± رگچه‌ای ± استوک ورک	لایه‌ای، نواری	لایه‌ای، نواری ± توده ای	توده‌ای و برشی در مناطق همجواری، لایه‌ای و نواری در مناطق غیر همجواری	استوک ورک، دایک، باتولیت، گنبدی شکل، توده‌ای یا هاله واکنشی
بافت	لایه‌ای، نواری، توده‌ای، رگه‌ای، رگچه‌ای ± استوک ورک	لایه‌ای، نواری	لایه‌ای، نواری، دانه‌ای ± رگه‌ای و رگچه‌ای ± جانیشینی	دانه‌ای، جانیشینی، رگه‌ای، رگچه‌ای	اتولیتی، پلیتی، بیژولیتی
ویژگیهای ژئوشیمیایی	آهن ± مس ± نیکل ± سرب و روی	آهن + منگنز + آلومینیم + سیلیسیم و مقادیر کمتر کانیهای فرعی	آهن + سیلیسیم ± آلومینیم ± مس ± سرب و روی ...	آهن + کالیت + نیکل + مس + سرب و روی ± گوگرد و منگنز (کم)	مقادیر بالای آلومینیم + آهن + مسفر + کلسیم
کانه‌ها	مگنتیت + پیریت + کلکو پیریت + اسفالریت + پیروتیت + گالن	همانیت ± مگنتیت ± پیریت	مگنتیت ± همانیت ± پیریت ± کلکو پیریت ± پیروتیت	مگنتیت ± پیریت ± کلکو پیریت ± پنتلاندیت ± پیروتیت ± اسفالریت	همانیت ± گنوتیت ± لیمونیت ± پیریت
کانیها	کوارتز، پلاژیوکلاز	کوارتز، سیلیکاتهای ورقه‌ای	کوارتز، کلریت، اکتینولیت	مقادیر بالای پلاژیوکلاز و بیروکسن	فرسالت، هدنبرژیت، اپیدوت، آمفیبول، کلریت، بیروکسن حاوی سدیم

جدول ۲- تجزیه شیمیایی عناصر اصلی در سنگهای شیست گل گهر (*) و مقایسه آن با نمونه‌های جهانی کانسار آهن نوع راپیتان کانادا (شماره ۱) و کردیلرا شمالی (شماره‌های ۲ و ۳)

عناصر اصلی	شیست اکتیبولیتی*	شیست بیوتیتی*	شیست مسکوویتی-کلریتی*	کالک سیلیکات شیست*	میانگین شیل کانی‌زا آهن نواری راپیتان کانادا (۱)	میانگین نمونه‌های یک چاه حفاری در کردیلرا (۲)	سنگهای تخریبی راپیتان در کردیلرا (۳) میانگین
SiO ₂	۴۱/۵۵	۶۶/۶۸	۴۹/۹	۲۳/۲	۴۹/۷۲	۴۹/۲۰	۴۶/۰۳
TiO ₂	—	—	—	—	۱/۴۳	۱/۱۶	۰/۴۵
Al ₂ O ₃	۱۰/۰۲	۱۴/۶۶	۶/۹	۷/۹	۱۵/۴۷	۱۲/۰۲	۱۴/۷۳
Fe ₂ O ₃	۶/۶۰	۳/۰۱	۷	۴/۱۵	۹/۳۱	۶/۴۸	۷/۴۲
FeO	۹/۷۱	۲/۹۷	۶/۴	۵/۱۷	۵/۰۹	۵/۰۹	۶/۸۲
MgO	۱۱/۱۷	۲/۹۸	۱۳/۴	۱۴/۲۲	۶/۳۲	۷	۳/۰۳
CaO	۱۰/۲۰	۰/۲۳	۱۰/۳	۲۹/۷۸	۳/۰۴	۶/۶	۵/۹۸
Na ₂ O	۱/۴۹	۱/۷۷	۱/۸۶	۴/۵۵	۰/۹۸	۱/۰۳	۱/۴
K ₂ O	۲/۳۹	۴/۶۴	۰/۳۴	۰/۵۳	۳/۲۱	۲/۲۶	۲/۵۳
MnO	—	—	—	—	۰/۳	۰/۷	۰/۴۸
L.O.I	۵/۱۰	۲/۳۴	۲/۱۸	۸/۴۱	۴/۲۰	۸	۷/۷۵
Total	۹۸/۷۷	۹۹/۲۸	۹۸/۲۸	۹۷/۹۷	۹۹/۲۸	۹۹/۳۰	۹۹/۴۶

جدول ۳- میانگین عیار عناصر اصلی (درصد) و فرعی و کمیاب (گرم بر تن) کانسار گل گهر در مقایسه با کانسار آهن جلال آباد زرنند (داده‌ها از خسروانجام، ۱۳۷۷ و Gotlov & Esev, 1976)

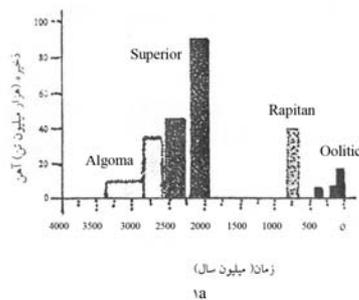
تغییرات عیار عناصر کانسار سنگ آهن گل گهر	متوسط عیار عناصر گل گهر	تغییرات عیار عناصر کانسار جلال آباد	متوسط عیار عناصر کانسار جلال آباد	عناصر اصلی و فرعی
۱-۴۹/۹	۱۹/۴۰	۱۲/۲۳-۲۵/۱	۱۷/۱۹	SiO ₂
۰/۲۸-۰/۵۴	۰/۳۹	۰/۰۷-۰/۱۲	۰/۱	TiO ₂
۱-۱۰/۹	۲/۳۸	۰/۷۱-۲/۱	۱/۳۲	Al ₂ O ₃
۴۲/۷-۶۶/۸	۴۹/۱۲	۳۰/۳۸-۷۰/۱	۴۹/۷۸	Fe ₂ O ₃
۱۰/۲۹-۱۹/۲۷	۱۱/۹۶	۵/۲۶-۲۲/۵۹	۱۴/۰۴	FeO
۱/۵-۱۴/۳	۵/۱۱	۲/۸۷-۹/۰۹	۵/۵۳	MgO
۰/۰۱-۰/۰۴	۰/۰۱۳	۰/۱-۰/۱۹	۰/۱۳	MnO
۱-۱۰/۳	۴/۵۵	۲/۳۲-۴/۲۵	۳/۳۶	CaO
۰/۰۴۲-۶/۱۲	۲/۲	۰/۱-۰/۱۳	۰/۱۱۵	Na ₂ O
۰/۰۶-۱/۷۷	۰/۱۹	—	—	K ₂ O
—	—	۰/۰۱-۰/۰۴	۰/۰۲	V ₂ O ₅
—	۰/۷۴	۰/۰۵-۰/۰۹	۰/۰۷۳	P
—	۰/۱۹	۰/۱۳-۱/۵۳	۰/۹۸	S
۱/۰۱-۶/۶۲	۳/۸	—	—	L.O.I
۱۰-۲۱	۱۱/۵	۷/۷-۱۴	۱۰/۸۵	Cr
۱۰-۷۴	۴۹/۱۲	۸۳-۱۷۰	۱۲۶/۵	Ni
۵-۸۳	۴۴/۲۵	۹۳-۴۵۲	۲۷۵/۵	Co
۲۵-۲۰۴	۶۴/۸۷	۲۲۱-۸۰۰	۵۱۰/۵	Zn
		۱۴۰-۸۰۸/۵	۴۷۲/۲۵	Cu
۲/۵-۵	۲/۵	۲۲۹/۶-۲۳۲	۲۳۰/۸	Mo
—	۱۴/۷	۴/۸-۵/۳	۵/۰۵	Ti/V
	۱۰۰/۸	—	۹۳/۶۴	Total

جدول ۴- میانگین عیار عناصر آهن، فسفر و گوگرد در معادن آهن منطقه بافق در مقایسه با گل گهر (اقتباس از Forster & Jafarzadeh, 1994)

S%	P%	Fe%	نام کانسار
۰/۴	۰/۵۶	۵۱/۷۰	چاه گز
۰/۲۱	۰/۵۷	۵۴/۲۳	چادرملو
۰/۱۵	۱	۵۹	چادرملو شمالی
۰/۲۷	۰/۴۸	۵۵/۱۳	چغارت
۰/۰۷	۰/۰۵	۴۴/۴۳	سه چامون
۰/۱۹	۰/۷۴	۶۱/۳۴	گل گهر



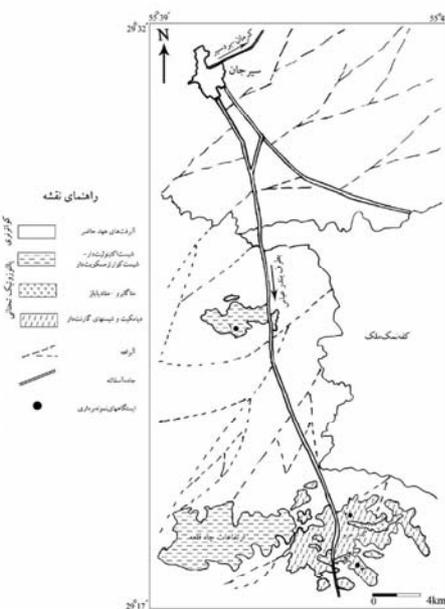
۱b



۱a



۱d

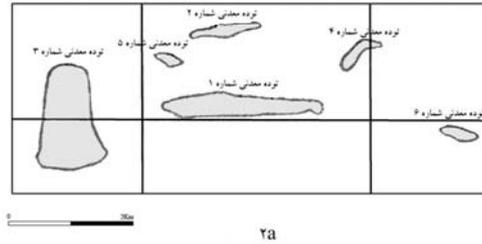


۱c

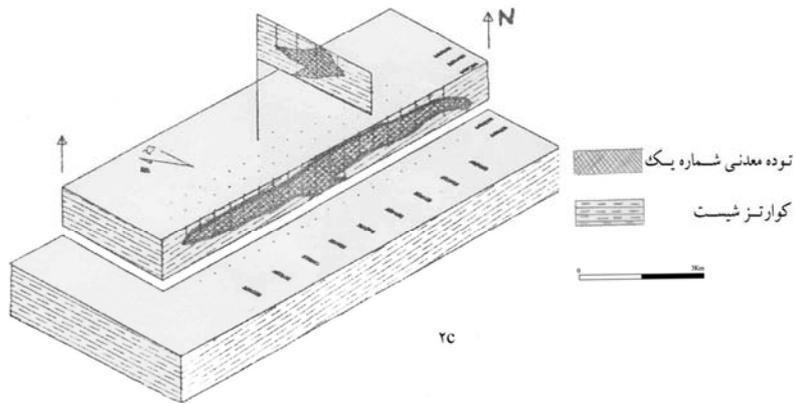
شکل ۱a: توزیع زمانی کانسارهای آهن نواری (Kirschvink et al., 2000); ۱b: راههای ارتباطی و موقعیت جغرافیایی معدن گل گهر سیرجان، ۱c: نقشه زمین شناسی سیرجان (Dimitrijevic, 1973) با تغییرات، ۱d: لایه بندی سنگ های شیست سربیزی، کلریتی، فیلیت و کوارتزیت. دید به سمت جنوب غرب.



۲b



۲a



۲c

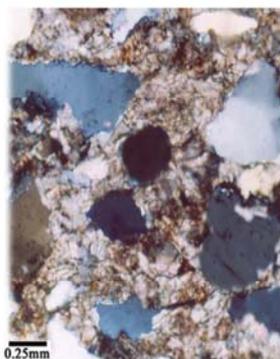


۲e



۲d

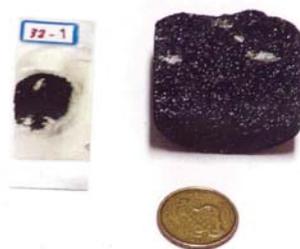
شکل ۲a: موقعیت شش توده معدنی گل گهر (گزارش داخلی شماره ۱ معدن)، ۲b: توالی سنگ پوش کوارتزیت و مگنتیت فوقانی، ۲c: مقطع طولی ذخیره شماره ۱ (گزارش داخلی شماره ۱ معدن)، ۲d: زون اکسیدان (مگنتیت میانی) گل گهر، ۲e: زون مگنتیت تحتانی گل گهر.



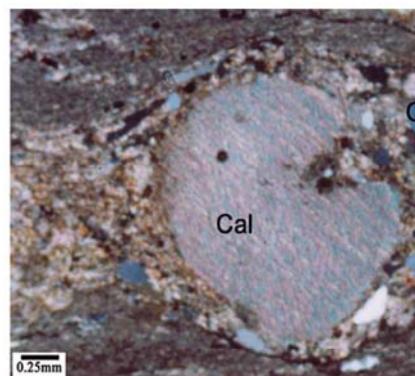
۳b



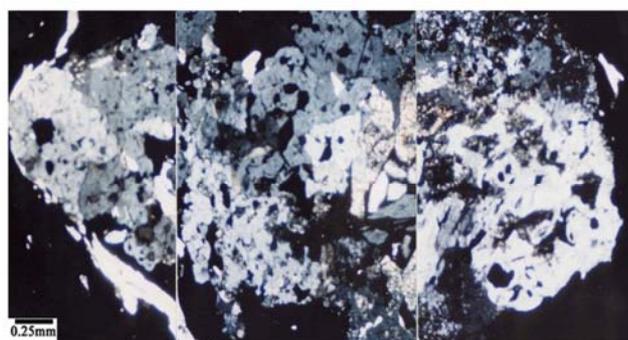
۳a



۳d



۳c



۳e

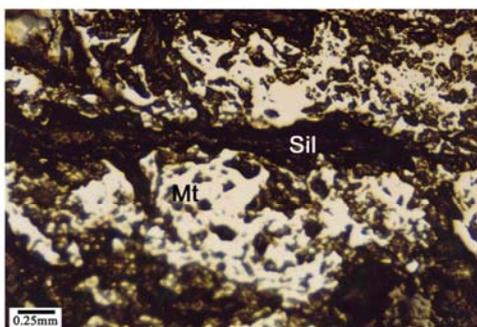
شکل ۳a: ساخت لایه‌ای در لایه‌های مختلف توده معدنی و سنگهای همبر، ۳b: کوارتز مضرس (تخریبی) در دیامیکتیت یخچالی، ۳c: دانه کلسیت تخریبی با حفظ رسوبگذاری اولیه (به خمیدگی لایه زیرین توجه شود)، ۳d: قطعات معلق در توالیهای دگرگونی اطراف معدن گل گهر، ۳e: قطعه غریبه آذرینی در بین نوارهای ضخیم مگنتیت و کلریت.



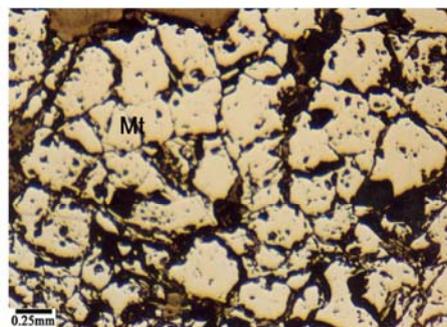
۴b



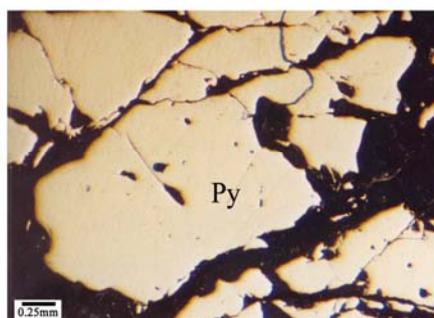
۴a



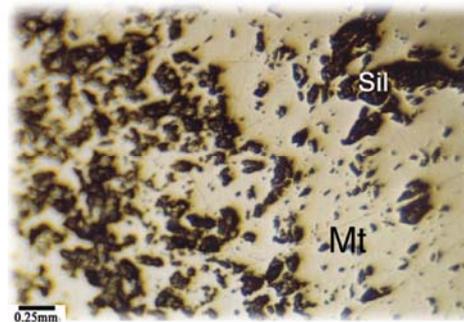
۴d



۴c

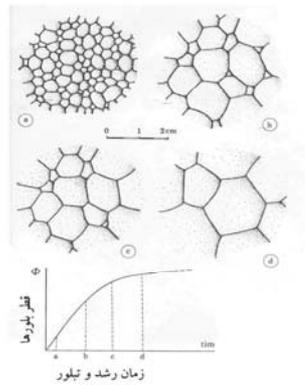


۴f

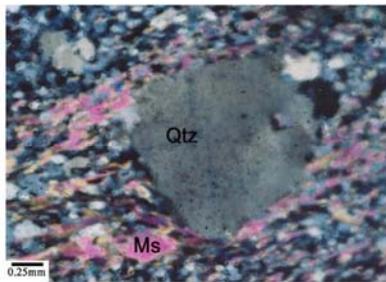


۴e

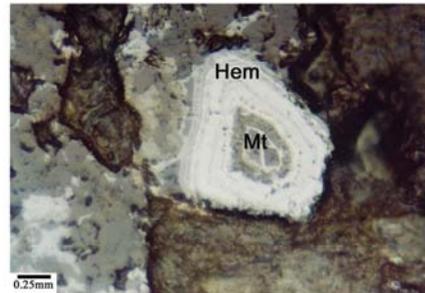
شکل ۴a: قطعات معلق (بزرگتر از ۲ سانتیمتر) در دیامیکتیت یخچالی با زمینه کربناتی-شیلی، ۴b: قطعات تخریبی در کنگلومرای یخچالی با زمینه کربناتی-شیلی، ۴c: بافت دانه‌ای مگنتیت حاوی ادخال سیلیکاتی، ۴d: لایه بندی مگنتیت، کانیه‌های سیلیکاتی، گرافیتی و سولفیدی، ۴e: بافت توده‌ای مگنتیت، ۴f: بافت تبلور مجدد یافته دانه‌های پیریت.



5b



5d



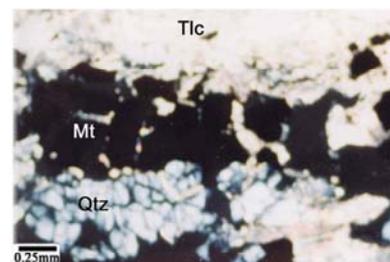
5a

نام کانی	تبلوراته آهن‌دار		کانسار آهن		تبلوراته آهن‌دار	
	دیازنز	دیازنز درجه ضعیف	دیازنز گونی	دیازنز گونی	اکسیداسیون و انحلال عناصر	اکسیداسیون محیط
	PH(3-5)	PH(6-10)	PH(4-9)	PH(3-5)	PH(6-10)	PH(4-9)
مگنتیت	-----	-----	-----	-----	-----	-----
هماتیت	-----	-----	-----	-----	-----	-----
کوارتز	-----	-----	-----	-----	-----	-----
کالرت	-----	-----	-----	-----	-----	-----
تالک	-----	-----	-----	-----	-----	-----
موسکویت	-----	-----	-----	-----	-----	-----
پیریت	-----	-----	-----	-----	-----	-----
کوردون	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ایداون	-----	-----	-----	-----	-----	-----
اکینولیت	-----	-----	-----	-----	-----	-----
گرافیت	-----	-----	-----	-----	-----	-----
کربنها	-----	-----	-----	-----	-----	-----

5c

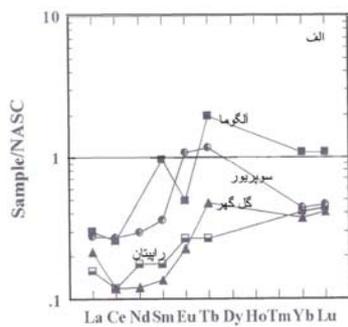
Spearman Correlations	Ag	Fe	Zn	Pb	Cu	Cr	Co	Ni	Au
Fe	0.25								
Zn	0.0028	0.168							
Pb	0.0022	0.0602	0.1589						
Cu	0.147	0.0702	-0.23	-0.1					
Cr	-0.018	-0.922	-0.168	-0.008	-0.002				
Co	0.0042	0.08	-0.502	-0.642	0.686	-0.181			
Ni	0.005	0.010	-0.482	-0.1494	0.656	-0.252	0.82		
Au	0.910	0.500	0.006	0.0012	0.0042	-0.002	0.003	0.0042	

5f

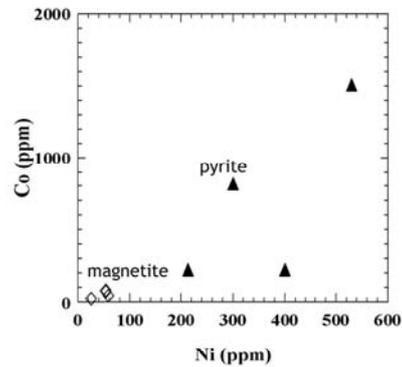


5e

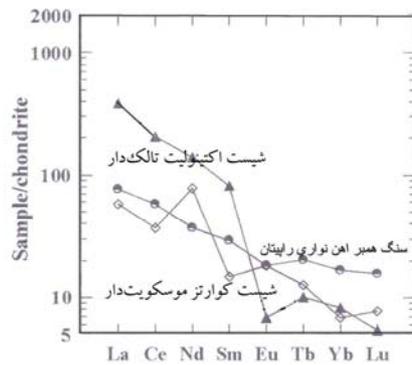
شکل 5a: منطقه بندی کانیهای هوازده آهن‌دار در دانه مگنتیت (منطقه اکسیدان)، 5b: مراحل تکامل زل اولیه و کانیهای طی دگرگونی (Spry, 1976)، 5c: مجموعه کانی شناسی کانسار گل گهر از دیازنز تا دگرگونی، 5d: قطعات تخریبی کوارتز در شیب کوارتز-موسکویت‌دار، 5e: توالی مگنتیت و کانیهای سیلیکاتی در شیب کالرت و تالک‌دار، 5f: ضریب همبستگی اسپیرمن عناصر معدنی کانسار گل گهر



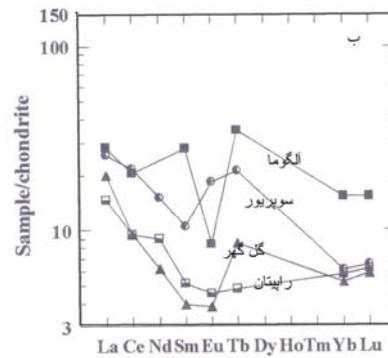
۶b



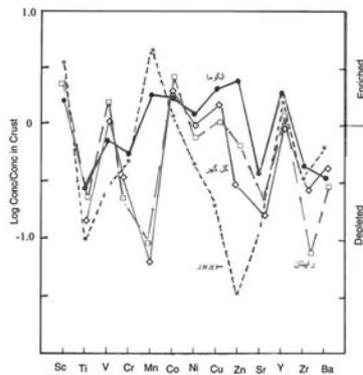
۶a



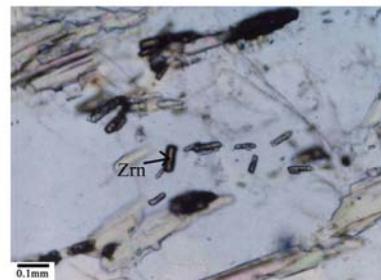
۶d



۶c

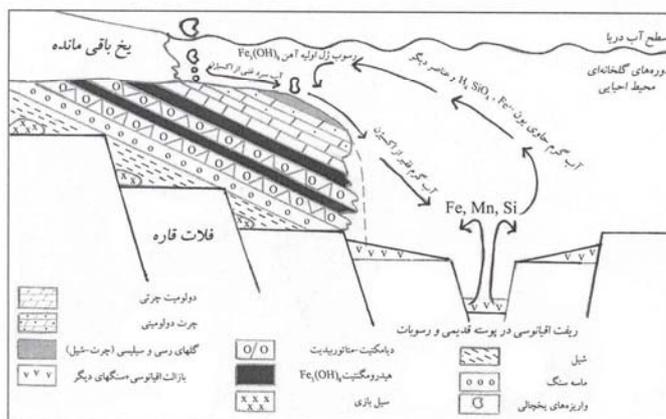


۶f



۶e

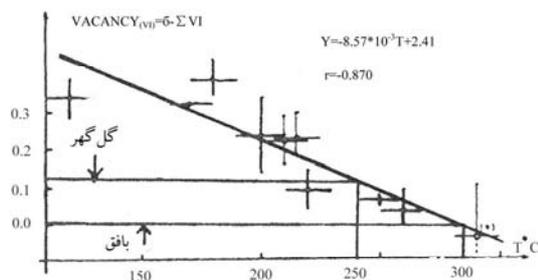
شکل ۶a: تغییرات کبالت در مقابل نیکل در مگنتیت و پیریت کانه آرائی شده گل گهر، c و ۶b: الگوی پراکندگی عناصر خاکی نادر گل گهر در مقایسه با کانسارهای آهن رسوبی جهان نسبت به مجموعه شیل شمال آمریکا و کندریت، ۶d: الگوی پراکندگی عناصر خاکی نادر سنگ همبر کانسار گل گهر و سنگ همبر آهن نواری رابتان کانادا نسبت به کندریت (داده‌ها از Klein, 1993)، ۶e: قطعات تخریبی زیرکن در شیت موسکویت کوارتزدار، ۶f: مقایسه عیار عناصر فرعی و کمیاب گل گهر با کانسارهای آهن رسوبی جهان نسبت به متوسط پوسته‌ای (کلارک) (داده‌ها از یعقوبی، ۱۳۷۷، بابکی، ۱۳۸۳ و Maynard, 1983).



va



vb

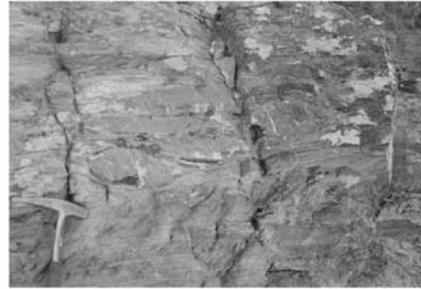


vc

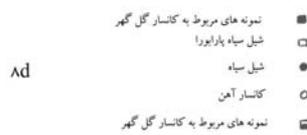
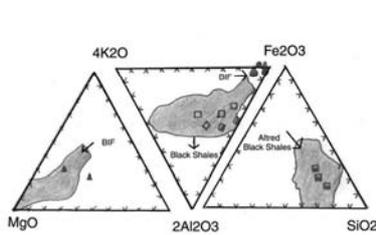
شکل va: الگوی آهن نواری راپتان در کانسار گل گهر سیرجان، بدون مقیاس، vb: توالی ریز لایه‌های سولفید در بین نوارهای مگنتیت و کانیهای سیلیکاتی، گرافیتی، vc: تعیین دمای کانسار بر اساس یون آلومینیوم (عدد اشتراکی 6) (داده‌ها از بابکی، ۱۳۸۳ و Mucke & Younessi, 1994).



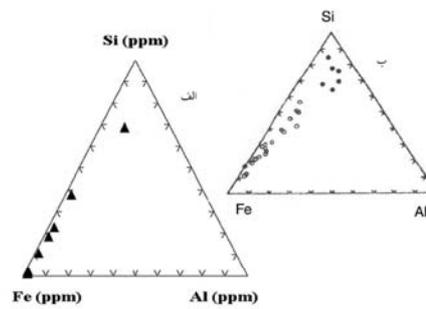
Ab



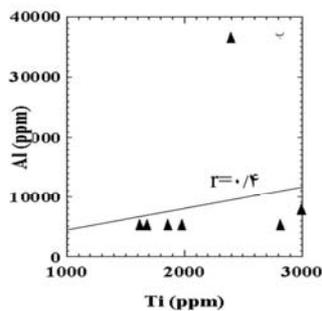
Aa



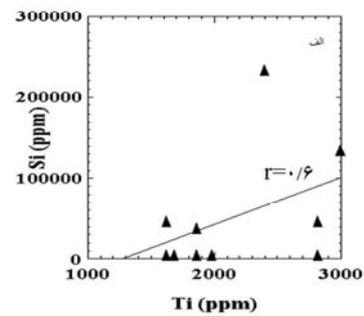
Ad



Ac

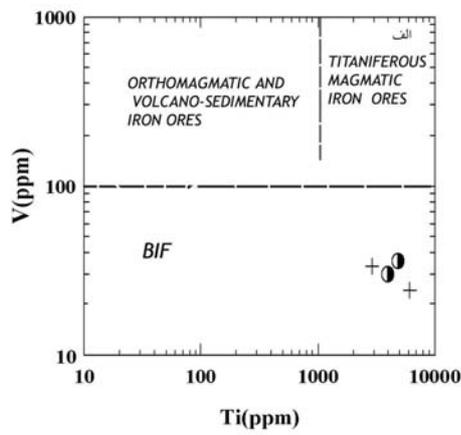


Af

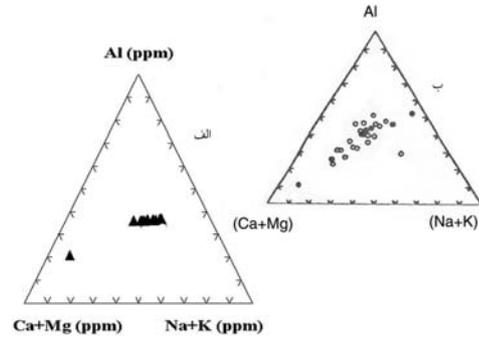


Ae

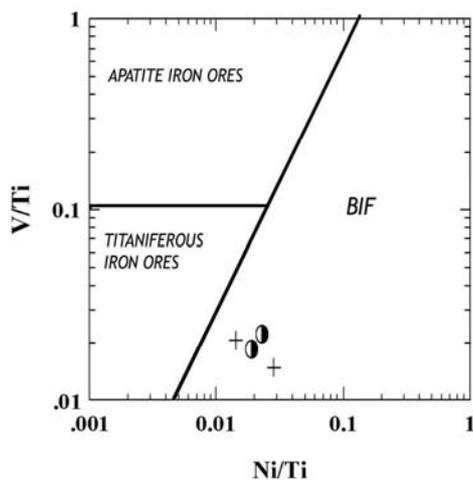
شکل Aa: سنگهای شیست در برگرنده لایه های سنگ آهن و لایه های دیامیکتیت کانسار گل گهر، Ab: لایه های حاوی دیامیکتیت در تشکیلات آهن دار غرب اسکاتلند (Young, 2002)، Ac: نمودارهای سه تایی عناصر اصلی در مقایسه با آهن آدلاید (اقتباس از Lottermoser & Ashley, 2000)، شکل Ad: نمودارهای سه تایی عناصر اصلی (اقتباس از Webb et al., 2003)، شکل f و Ae: همبستگی تیتانیوم با سیلیسیم و آلومینیوم.



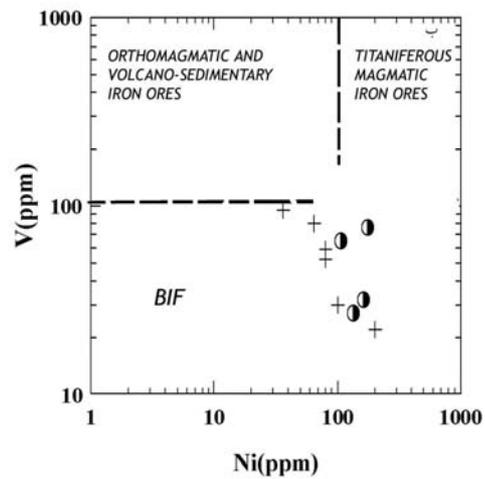
9b



9a

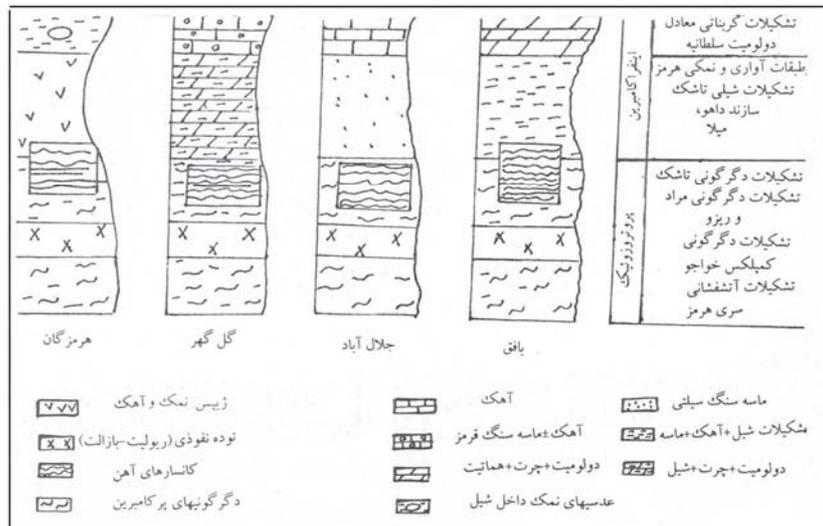


9d

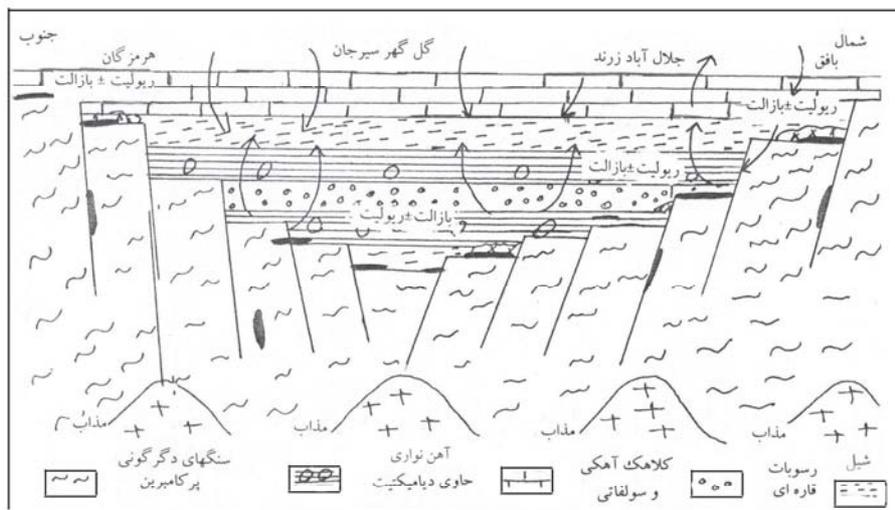


9c

شکل 9a: نمودار سه تایی عناصر اصلی گل گهر (الف) و مقایسه آن با تشکیلات آهن آدلاید (اقتباس از Lottermoser & Ashley, 2000).
 b و c: تعیین نوع کانسار آهن گل گهر بر اساس نمودار دوتایی وانادیم و تیتانیوم و وانادیم و نیکل (اقتباس از Lottermoser & Ashley, 2000).
 d: تعیین نوع کانسار آهن گل گهر از (Lottermoser & Ashley, 2000).
 ..2000



۱۰a



۱۰b

شکل ۱۰a: مقایسه ستون چینه شناسی کانسارهای آهن جنوب، جنوب غرب و مرکز ایران (بدون مقیاس)، شکل ۱۰b: الگوی احتمالی تشکیل کانسارهای آهن جنوب، جنوب غرب و مرکز ایران بر اساس مدل چشمه های ماگمایی-گرمایی-متصاعدی، بدون مقیاس (Peter, 2000).

کتابنگاری

- آفانباتی، س.، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران انتشارات سازمان زمین شناسی، ۵۸۶ صفحه.
- بابکی، آ.، ۱۳۸۳- بررسی الگوی کانسارسازی آهن در کانسار گل گهر سیرجان، کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۳۸۲ صفحه .
- خسروانجام، م.، ۱۳۷۷- منشأ کانسار آهن جلال آباد زرنند، پایان نامه کارشناسی ارشد، ص ۷۴-۱۳۴.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین شناسی ایران، انتشارات امیر کبیر، ۹۰۲ صفحه.
- سبزه‌یی، م.، ۱۳۷۰- نقشه زمین شناسی گل گهر، ۱/۱۰۰،۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور.
- گزارش داخلی شماره ۱ معدن، ۱۳۸۰- مهندسین مشاور کوشا معدن، ۲۰۰ صفحه.
- هوشمندزاده، ع.، ۱۳۶۷- مقدمه ای بر زمین شناسی بیابانک-بافق، سازمان زمین شناسی کشور.
- یعقوبی، ع.، ۱۳۷۷- بررسی ژئوشیمی و ژنز کانسار شماره ۲ گل گهر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۲۱۴ صفحه.

References

- Bralia, A., Sabatini, G. and Troja, F., 1979- A reevaluation of the Co, Ni ratio in Pyrite as geochemical tool in ore genesis problem: *Mineral. Deposita.*, v.14, p: 353-374.
- Forster, H. and Jafarzadeh, A., 1994- The Bafq Mininig District in Central Iran a highly mineralized Infracambrian Volcanic Field, *Econ. Geol.*, v. 89, p: 1697-1721.
- Gotlov, V. I. and Esev, Y. M., 1976- Report on the result of preliminary survey of the Zarand Iron ore deposit: *NISCO, TECNO-EXPORT, USSR*, 1,104p.
- Guilbert, J. M., and Park, C. F., 1997- The geology of ore deposits: Freeman Company, 985p.
- Kirschvink, J., Gaidos, E. , Bertani, L. , Beukes, N. , Gutzmer, J. , Maepa, L. and Steinberger, R. ,2000- Paleoproterozoic snowball Earth :Extreme climatic and Geochemical global v. 97. p: 1400-1405.
- Klein, C. and Beukes, N. J., 1993- Sedimentology and geochemistry of the glaciogenic Late Proterozoic Rapitan iron-formation in Canada, *Econ. Geol.* v. 88, p: 542-565.
- Loberg, B. E. H. and Hornidal, A. K., 1983- Ferried Geochemistry of Swedish Precambrian Iron Ores, *Mineral Deposita*, v. 18, p: 487-504.
- Lottermoser, B. G. and Ashley, P. M., 2000- Geochemistry, Petrology and origin of Neoproterozoic ironstones in the eastern part of the Adelaide Geosyncline, South Australia, *Precambrian Research*, v. 110, p: 49-67.
- Maynard, J. B., 1983- Geochemistry of sedimentary ore deposits, Springer-Verlag, 305P.
- Mucke, A. and Golestaneh, F., 1982- The Genesis of the Gol Gohar Iron ore Deposit (Iran), *Institu fur Mineralogie und Kritallographieder Technischen Universitat Berlin*, p: 193-212.
- Mucke, A. and Younessi, R., 1994- Magnetite-Apatite Deposits (Kiruna-type) along the Sanandaj-Sirjan zone and in the Bafq area, Iran, *Mineralogy and Petrology*, p: 219-244.
- Peter, J. M., 2002- Ancient iron formations: their genesis and use in the exploration for stratiform base metal sulphide deposits, with examples from the Bathurst Mining Camp: *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks*, P: 139-170.
- Russell, M. J., Solomon, M. and Walse, J. L., 1981- The genesis of sediment-hosted, exhalative Zinc+Lead deposits: *Mineral. Deposita*, v. 16, p: 113-127.
- Slack, J. F., 1982- Tourmaline in Appalachian-Caledonian massive sulphide deposits and its exploration significance, correlation of Caledonian stratabound sulphides, *Geological Survey, National Center, Reston, Virginia*, v. 60, p: 81-88.
- Spry, A., 1976- Metamorphic texture, Pergamon press, New York, p: 250-299.
- Trendall, A. F. and Morris, R. C., 1983- Iron formation facts and problem, *Elsevier Pub.* 558p.
- Webb, A. D., Dickens, G. R. and Oliver, N. H. S., 2003- From banded iron- formation to iron ore: geochemical and mineralogical constraints from across the Hamersley Province, Western Australia, *Chemical Geology*, v. 197, p: 215-251.
- Yeo, G. M., 1981- The late Proterozoic Rapitan Glaciation: In the northern Cordillera, *Geological Survey of Canada*, p: 25-46.
- Young, G. M., 2002- Stratigraphic and Tectonic Setting of Proterozoic Glaciogenic. Rocks: *Journal of African Earth Science*, Geological Society of Africa Presidential, v.35, P: 451-466.

*گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

*Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran