



کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



کانی شناسی و مینرال شیمی ذخیره آهن پیوه ژن، شمال شرق ایران



پروین نجف زاده طهرانی، دانشجوی دکتری زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز، ایران (parvin_tehrani@yahoo.com)

علی اصغر کلاگری، استاد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز، ایران

فرانسیسکو ولاسکو، استاد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه یلبائو، اسپانیا

وارطان سیمونز، استادیار زمین شناسی اقتصادی، مرکز تحقیقات علوم پایه تبریز، ایران

کمال سیاه چشم، استادیار زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز، ایران



چکیده:

ذخیره آهن پیوه ژن در جنوب غرب مشهد و در زون ساختاری بینالود جنوبی واقع شده است. این ذخیره به صورت لایه ها، رگه ها و عدسی های مجزا از هم در یک زون گسله در سنگ میزبان کربناته با سن دینین تشکیل شده است. بررسی های کانه نگاری نشان می دهند که گوتیت و هماتیت کانه اصلی کانسنگ های آهن بوده و مگنتیت، پیروتیت و پیریت در مقادیر کمتر آنها را همراهی می کنند. بررسی های میکروسکوپی حضور بافت های اسکلتال، جانشینی برجای مانده، جانشینی حاشیه ای و شبه ریخت را در کانسار مسجل می سازد. بر اساس یافته های سنگ نگاری و تجزیه های XRD و مینرال شیمی دو دسته از کانی های زون هیپوژن (پیروتیت، پیریت، مگنتیت) و زون سوپرژن (هماتیت، گوتیت) در این کانسار تشکیل شده اند. مشاهدات صحرایی و مطالعات کانی شناسی، حضور بافت های جانشینی گسترده در سنگ های کربناته میزبان، توالی پاراژنزی هماتیت و گوتیت و کانه زایی آهن در امتداد زون های شکسته و خرد شده، پیشنهاد می کنند که ذخیره آهن فوق اپی ژنتیک بوده و در طی دو مرحله فرآیندهای هیدروترمالی هیپوژن و سوپرژن تشکیل شده است.

کلید واژه ها: مگنتیت، پیروتیت، ذخیره آهن پیوه ژن، جنوب غرب مشهد

Mineralogy and mineral chemistry of Pivehzhhan iron deposit in northeast of Iran.

Pavin Najafzadeh Tehrani¹ (parvin_tehrani@yahoo.com), Ali Asghar Calagari¹, Francisco Velasco², Vartan Simmonds³, Kamal Siahcheshm

Abstract:

The Pivehzhhan iron deposit is located in southwest of Mashhad, southern Binalud structural zone of Iran. The deposit occurred as layered bandings, vein/veinlets, and discontinuous lenses in a fault zone hosted by Devonian carbonate rocks. Mineralographic examinations show that goethite and hematite are the major iron minerals accompanied by lesser amounts of pyrrhotite, pyrite, and magnetite displaying skeletal, relict replacement, marginal replacement, and pseudomorphic textures. On the basis of petrographical, analytical (XRD) data, and electron probe microanalysis (EPMA) two sets of minerals belonging to hypogene (pyrrhotite, pyrite, magnetite) and supergene (hematite, goethite) zones are present in this deposit. Field observations, mineralogical studies, presence of widespread replacement textures in carbonate-host rocks, paragenetic sequence of goethite and



کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنفرانس بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



hematite, and iron mineralization within fractured zones suggest that Pivehzhhan iron deposit is epigenetic, and was formed during two stages of hypogene and supergene hydrothermal processes.

Keywords : magnetite, pyrrhotite, Pivehzhhan iron deposit, southwest of Mashhad



مقدمه :

ناحیه مورد مطالعه در ۸۰ کیلومتری جنوب غرب مشهد و در زون بینالود جنوبی، واقع است. زون بینالود یکی از مناطق ساختاری پیچیده در شمال شرق ایران، و محل خط درز پالئوتتیس می باشد. افق های حاوی کانی سازی Fe، Pb و Zn درون بخش پایینی رسوبات آهنی دونین (Wauschkun et al. 1983)، کانسنگ های هماتیت در ماسه سنگ های کامبرین (نجف زاده طهرانی و همکاران، ۱۳۹۲)، از مهم ترین تشکیلات آهن دار در زون بینالود جنوبی می باشند. ذخیره آهن پیوه ژن، یکی از ذخایر آهن مهم در این ناحیه است (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۷۴). پورلطیفی (۱۳۷۷) در طی مطالعه و تهیه نقشه زمین شناسی چهار گوش ۱:۱۰۰۰۰۰ طرجه به وجود کانی سازی هایی از آهن در منطقه پیوه ژن اشاره کرده است. وحدانی (۱۳۸۶) در پایان نامه کارشناسی ارشد به مطالعات کانی شناسی و پتروگرافی آن پرداخته است. با این وجود تا کنون مطالعات دقیق مینرالوژی و مینرال شیمی بر روی آن انجام نشده است. هدف از این مطالعه بررسی کانسنگ گوتیت-هماتیت (مگنتیت) پیوه ژن در زون بینالود جنوبی با تکیه بر کانی شناسی و مینرال شیمی می باشد. این نوشتار با استفاده از یافته های به دست آمده از بررسی های مینرالوگرافی، آنالیزهای XRD، XRF و الکترون مایکروپروب تهیه شده است.



بحث و روش تحقیق:

در این مطالعه فازهای کانیایی نامشخص به روش دیفراکسیون اشعه X (XRD) شناسایی شدند. تجزیه ترکیب شیمیایی کانی های تشکیل دهنده کانسنگ های آهن و سنگ میزبان با استفاده از آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA) انجام شده است. جهت آنالیز ژئوشیمیایی کل سنگ برای تعیین مقادیر اکسیدهای اصلی، عناصر کمیاب و جزئی تعداد ۴ نمونه از کانسنگ های آهن پس از خردایش و نرمایش به روش فلوتورسانس اشعه X (XRF) تجزیه شدند. تمامی آنالیزهای مذکور در آزمایشگاه SGiker دانشگاه بیلانو (اسپانیا) انجام شده است.

زمین شناسی ناحیه معدنی پیوه ژن

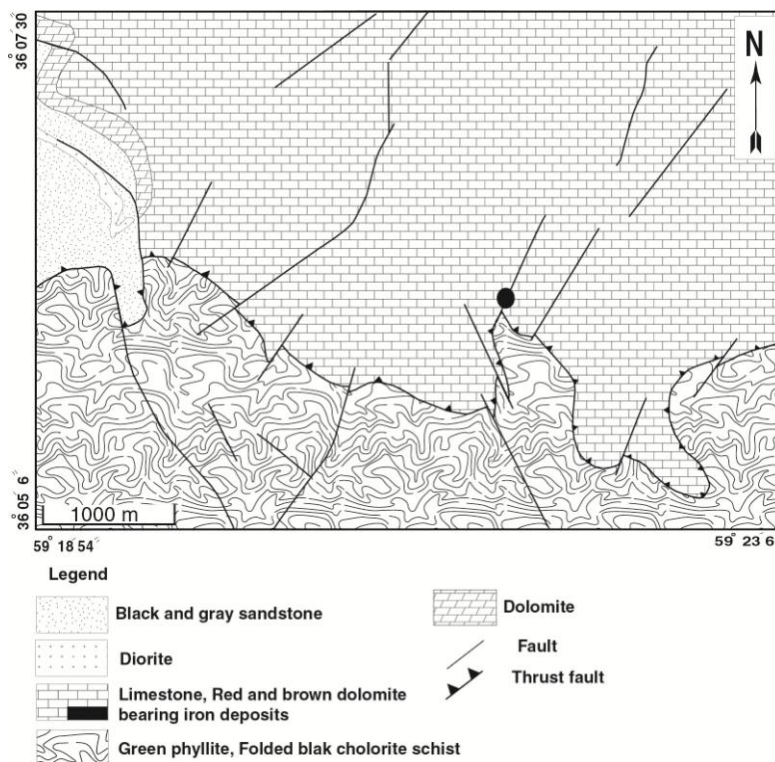
سنگ های فراگیر ناحیه پیوه ژن شامل واحدهای ماسه سنگی، سنگ های کربناته دونین و مجموعه دگرگون شده ژوراسیک می - باشند (شکل ۱). توالی رسوبی دونین بر روی واحدهای ژوراسیک، رانده شده است. چین خوردگی سنگ های کربناتی، متورق بودن آن ها، برونزدگی اکسیدهای آهن، پرشدگی شکاف ها و درزه ها توسط اکسیدهای آهن، حضور درشت بلورهای کلسیت و حفرات



کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



کارستی حاوی کانی سازی آهن (هماتیت و گوتیت) شاخص ترین سیمای زمین شناسی در این ناحیه محسوب می شوند. افق کانه دار در گستره معدنی پیوه ژن در سنگ درون گیر کربناته دگرگون شده (شیست آهنکی) و سنگ دولومیتی جای دارد. کانه زایی اکسید آهن، به اشکال رگه ای، توده ای، لایه ای و عدسی، در مرز لایه بندی سنگ میزبان کربناته و با تبعیت از مسیر شکستگی ها و گسل های منطقه انجام شده است. راستای کانه زایی در محدوده معدنی، شمال غرب-جنوب شرق است. شیب لایه های هماتیت ۳۰ تا ۴۰ درجه به سمت جنوب می باشد. کانسنگ عدسی آهن از هماتیت و گوتیت تشکیل شده و طول ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر و ضخامت ۱۵ الی ۲۰ متر دارند. کانسنگ توده ای شکل دارای ابعاد و ضخامت متغیر می باشد که احتمال می رود در نتیجه پر شدن فضاهای خالی حاصله از گسلش، توسط محلول های کانه دار به وجود آمده باشند. کانی سازی رگه ای شکل کاملاً موازی طبقات و سنگهای دربرگیرنده بوده و ضخامت آن بین ۱۰ تا ۵۰ سانتی متر می باشد. رگه های مگنتیت - هماتیت با وسعت کم با همان راستای کانه زایی (شمال غرب-جنوب شرق)، بیشتر در داخل سنگ های کربناته شیستوز مشاهده می شوند. کانه سازی سولفیدی (پیریت، پیروتیت)، به صورت رگه ای، پراکنده و پرکننده حفرات به همراه مگنتیت در داخل سنگ های دولومیت میزبان مشاهده شده است. در اثر فرآیندهای ساختمانی بعد از کانه زایی کانسنگ های آهن به همراه سنگ میزبان متحمل گسل خوردگی و چین خوردگی شده اند.



شکل ۱: نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه که در آن موقعیت ذخیره آهن پیوه ژن مشخص شده است.

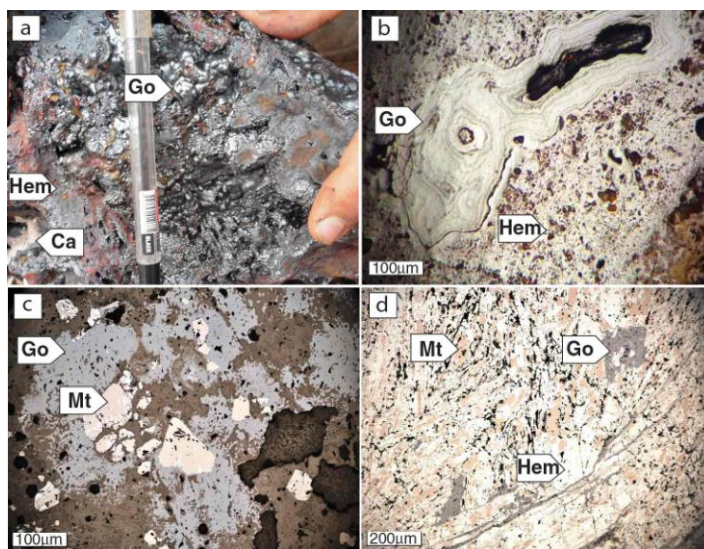


کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنفرانس بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



پetroگرافی و کانی شناسی کانسنگ آهن

بر اساس مطالعات مینرالوگرافی، الکترون میکروپروب و آنالیزهای XRD، هماتیت و گوتیت فراوانترین کانی های اکسیدی و هیدراکسیدی در کانسنگ های آهن هستند که توسط مگنتیت و سولفیدهای آهن (پیروتیت و پیریت) همراهی می شوند. هماتیت بافت های اسپی کولاریت، توده ای، اسکلتی (skeletal)، جعبه ای (boxwork)، شکافه پرکن، رگه و رگچه ای نشان می دهد. گوتیت دارای بافت های گل کلمی (شکل a۲)، استلاگمیتی و کلوفریم (شکل b۲) می باشد. کانی مگنتیت به دو فرم بی شکل و مکعبی (شکل c۲) در اندازه بین ۲۰ تا ۲۰۰ میکرون دیده می شود. اغلب مگنتیت های بی شکل به هماتیت دگرسان شده اند (شکل d۲). پیروتیت ها به صورت دانه های ریز و فاقد شکل هندسی منظم مشاهده شده اند. این کانی به صورت فاز تاخیری سولفیدی است و جزایری از مگنتیت را درون خود جای داده است. بیشتر این بلورها از حاشیه و اطراف دگرسان شده و به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن ثانویه تبدیل شده اند. پیریت به فرم های پراکنده در متن سنگ و پر کننده رگه ها مشاهده شده است. کلسیت، کوارتز، آلبیت، کلریت، موسکویت، کائولینیت، باریت، دولومیت و آنورتیت از کانی های باطله همراه با کانسنگ های آهن می باشند.



شکل ۲: تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از کانسنگ های آهن پیوه زن. علائم اختصاری به کار رفته شامل Hem: hematite, Go: Goethite, Mt: Magnetite, Ca: Calcite, (a) تصویر نمونه دستی از کانی گوتیت با بافت گل کلمی (b) تصویر میکروسکوپی از کانی گوتیت با بافت کلوفریم (XPL)، (c) تصویر میکروسکوپی از مگنتیت یوهدرال به همراه گوتیت (XPL)، (d) تصویر میکروسکوپی از کانی مگنتیت با بافت توده ای که به هماتیت دگرسان شده است (XPL).



کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



پetroگرافی سنگ میزبان

سنگ های درون گیر در محل کانسار شامل شلیست های آهکی، سنگ آهک و دولومیت می باشند. این سنگ ها در قسمت هایی ری- کریستالیزه شده و در سطوح هوازده به رنگ قهوه ای تیره مشاهده می شوند. وجود رگه های متقاطع آهن و کلسیت، فرآیندهای برشی شدن، حفرات باز شده و پر شده (crack seal)، تورق و فابریک اولترامیلیونیتی از ویژگی های قابل ذکر در آنها می باشد. بافت های جانیشینی به دلیل حضور کلسیت و دولومیت به عنوان کانی های به شدت واکنش پذیر در سنگ میزبان، مهم ترین بافت های شناسایی شده هستند. شلیست های آهکی متورق بوده و پیریت به دو فرم پرکننده رگه ها و پورفیرو کلاست های اتومورف در آنها مشاهده شده است. سنگ آهک ها از نوع بایو میکرایت بوده و از پوسته های فسیلی کلسیتی شده و بلورهای کلسیت تشکیل شده اند. دولومیت ها از نوع دولومیکرواسپارایت می باشند و از نظر بافتی اغلب یک اندازه بوده و بلورها نیمه شکل دار تا بی شکل با مرزهای بلوری از نوع نیمه مسطح (planner-s) می باشند.

ژئوشیمی کل کانسنگ آهن

تجزیه چهار نمونه کانسنگ های حاوی کانی سازی مگنتیت و پیرویت، هماتیت و هماتیت-گوتیت به روش XRF میانگین Fe_2O_3 (۸۱ درصد وزنی)، MnO (۲/۰۵ درصد وزنی) و SiO_2 (۱ درصد وزنی) را نشان می دهد. مقادیر بالای CaO (۷/۲۱ درصد وزنی) به دلیل حضور کربنات های گرمابی در این سنگ ها می باشد. میانگین Cr در کانسنگ های ذخیره پیوه ژن (۱۰۶ ppm) بوده که تقریباً نزدیک به کانسارهای گرمابی آهن (۲۰۰ ppm) است (Nystrom and Henriquez, 1994, Barker, 1995). میزان Cu نمونه ها بین (۱۴۳/۸۸-۱۴۳۹/۲۸ ppm) متغیر است. نسبت Cr/V در کانسنگ آهن پیوه ژن (۲/۴۵) می باشد و در محدوده کانسارهای گرمابی $Cr/V < 1$ قرار می گیرد (Marschik and Fontbote, 2001). میانگین مقدار عنصر V (۶/۰۸ ppm) می باشد که بسیار کم تر از این عنصر غیر متحرک در کانسارهای ماگمایی است.

مینرال شیمی مگنتیت و پیرویت

نتایج آنالیز میکروپروب بر روی فنوکریست های ۴ نمونه با دگرسانی حداقل کانی های مگنتیت نشان می دهد که میانگین اکسیدهای Fe_2O_3 (۷۰/۵۷ درصد وزنی)، V_2O_3 (۰/۰۲ درصد وزنی)، Al_2O_3 (۰/۱۷ درصد وزنی)، Cr_2O_3 (۰/۰۱ درصد وزنی) MnO (۰/۰۱ درصد وزنی)، MgO (۰) و TiO_2 (۰/۰۲ درصد وزنی) می باشد. بر اساس ویژگی های ژئوشیمیایی و میزان تمرکز عناصر As ، Co ، Ni و Fe نشان می دهد در پیرویت ها میانگین As (۰/۱ درصد وزنی) بوده و مقدار Fe آنها بین (۶۱/۲ درصد وزنی) می باشد. میانگین Co (۰/۰۱ درصد وزنی) و Ni (۰/۰۱ درصد وزنی) در آنها می باشند. میزان S در پیرویت ها با افزایش یا کاهش Fe و As تغییرات محسوسی را نشان نمی دهد. براساس درصد اتم های Fe تشکیل دهنده پیرویت (۰/۴۷ تا ۰/۴۸) از نوع غنی از Fe و هگراگونال پیرویت ($Fe_{47}S-Fe_{48}S$) می باشد.



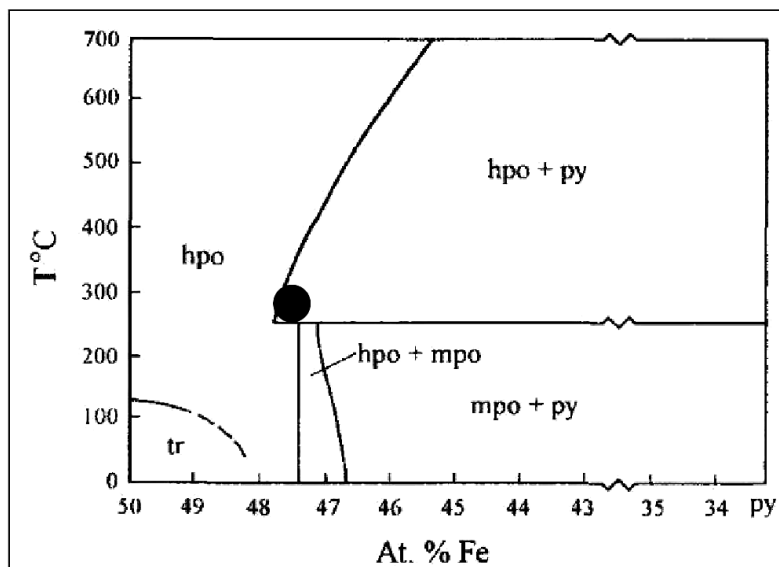
کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنفرانس بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران

تشکیل کانسنگ آهن پیوهژن

شواهد بافتی، ساختی، کانی شناختی و ژئوشیمیایی نشان دهنده منشاء دیرزاد کانه زایی آهن همراه با دو مرحله متفاوت دگرسانی در ناحیه پیوهژن می باشد. کانه زایی هیپوژن با پیدایش مگنتیت $\pm$ پیریت $\pm$ پیروتیت $\pm$ هماتیت و معمولاً با دولومیتی شدن سنگ میزبان همراه است. تشکیل بلورهای ایدیومورف مگنتیت در سنگ درونگیر با دولومیتی شدن هم خوانی دارد. پیروتیت فاز تاخیری پس از تشکیل مگنتیت بوده و جزایری از مگنتیت را درون خود جای داده است. پیریت معرف بیشترین غلظت گوگرد و شرایط احیایی و پیروتیت معرف کمترین مقدار $\log a_{O_2}$ (احیایی) و کمترین غلظت گوگرد است (Henley et al., 1984). افزایش $\log a_{O_2}$ از حالت احیایی که در آن پیروتیت می تواند پایدار باشد باعث می شود که ابتدا مگنتیت و سپس هماتیت در شرایط اکسیدان تشکیل شود. ترسیم پیروتیت هگراگونال و پیریت هم رشد با آن بر روی دیاگرام دو تایی $At.\%Fe$ و T بر حسب درجه سانتی گراد (Lianxing and Vokes, 1996) دمای تشکیل کانی های سولفیدی را حدود ۳۰۰ درجه سانتی گراد نشان می دهد (شکل ۳). با توجه به اینکه مگنتیت به صورت رگه ای و شکافه پر کن دیده می شود، می توان ورود سیال گرمابی به درزه ها و حفرات ناشی از تغییر حجم سنگ (طی فرآیندهای تکتونیک) را عامل کانه زایی به شکل مگنتیت در مرحله اول دانست. تمرکز پایین عناصر Ti و V ، Ni ، Co ، Cr در کانی مگنتیت ذخیره پیوهژن نشان دهنده منشاء هیدروترمال مگنتیت ها در این ذخیره می باشد. ترکیب شیمیایی مگنتیت در ذخایر آهن به (۱) دمای تشکیل (۲) میزان غلظت عناصر در منشاء سیال هایدروترمال و (۳) شدت واکنش سیال با سنگ میزبان وابسته است (Nadoll et al., 2014). از آنجاییکه سنگ میزبان ذخیره آهن پیوهژن کربنات های به شدت واکنش پذیر می باشند، احتمالاً غلظت این عناصر در سیال سازنده پایین بوده است. نتایج حاصل از مطالعات سنگ شناسی و کانی شناسی در تعیین مسیر تحول سیال کانه ساز و تشکیل پیای کانی های مختلف و سپس تغییرات بعدی بر روی کانی های پیشین در ذخایر آهن پیوهژن نشان گر آن است که مگنتیت و پیریت فازهای اولیه کانیایی بوده و طی کانه سازی هیدروترمال در سنگ میزبان به وجود آمده اند. پیروتیت در مراحل بعدی تشکیل شده است. هماتیت و گوتیت فازهای کانی زایی ثانویه بوده و طی دگرسانی سوپرژن شکل گرفته اند. دگرسانی سوپرژن با حضور بافت های جانشینی برجای مانده، جانشینی حاشیه ای، سودومورف و اسکلتال و حضور حفرات و تخلخل فراوان در کانی های هماتیت و گوتیت قابل تأیید می باشد. بر اساس نتایج به دست آمده و مطالعات کانی شناسی و مینرال شیمی، صعود سیالات هیدروترمال حاوی مواد کانه دار در امتداد مناطق برشی و ته نشینی مواد معدنی در امتداد این مناطق سبب کانی سازی های گسترده آهن شده است. آهن می تواند به وسیله گرمابی ها از کانی های حاوی آهن شسته و سپس در محیط های مناسب نهشته شود. این دسته از کانسارها مستقیماً می توانند به یک توده نفوذی وابسته باشند و یا از یک منبع ماگمایی در پوسته زیرین به درون رخنمون های سطحی تغذیه شوند (Guilbert and Park, 1997).



کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



شکل ۳: نمودار شماتیک سیستم Fe-S (Lianxing and Vokes, 1996). دایره توپر موقعیت پیرویت ها به همراه پیریت در کانسنگ آهن پیوه ژن را نشان می دهد. فازهای کانایی: hpo = hexagonal pyrrhotite; mpo = monoclinic pyrrhotite; py = pyrite; tr = trolite.



نتیجه گیری :

ذخیره آهن پیوه ژن به صورت لایه ها، رگه ها و عدسی های مجزا از هم در یک زون گسله در سنگ میزبان کربناته با سن دونین تشکیل شده اند. گوتیت و هماتیت به همراه مگنتیت، پیرویت و پیریت کانیه های تشکیل دهنده این ذخیره می باشند. بر اساس یافته های سنگ نگاری و تجزیه های XRD دو دسته از کانیه های زون هیوژن (پیرویت، پیریت، مگنتیت) و زون سوپرژن (هماتیت، گوتیت) در این کانسار تشکیل شده اند. کانه زایی اولیه در عمق با ظهور مگنتیت، پیریت و پیرویت همراه بوده است. در اثر فرسایش لایه های فوقانی و پایین آمدن سطح آب های زیرزمینی، منطقه هیوژن در معرض هجوم آب های اکسیژن دار با منشاء جوی قرار گرفته است. کانیه های سولفیدی (پیریت و پیرویت) نهشته شده در مرحله هیوژن اکسیده شده و H_2SO_4 و کانیه های هیدراکسیدی آهن تشکیل گردیده اند. در نهایت با حرکت این محلول ها در امتداد زون های برشی و خرد شده و افزایش pH (به واسطه واکنش با کانیه های کربناته) شرایط مناسب برای ناپایداری سولفات های آهن فراهم آمده و در نتیجه ترسیب آنها به صورت اکسیدها و هیدراکسیدهای آهن سه ظرفیتی انجام شده است. مشاهدات صحرایی و مطالعات کانیه شناسی، حضور بافت های جانشینی گسترده در سنگ های واکنش پذیر کربناته میزبان و توالی پاراژنری هماتیت و گوتیت، کانه زایی آهن در امتداد زون های شکسته و خرد شده،



کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



پیشنهاد می کند که ذخیره آهن فوق اپی ژنتیک بوده که در طی دو مرحله فرایندهای هیدروترمالی هیپوژن و سوپرژن تشکیل شده است.



منابع فارسی :

بور لطیفی ع.، ۱۳۷۷ "نقشه زمین شناسی چهارگوش طرقله با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
جعفرزاده ا.، قربانی م.، پزشکپور م.، ۱۳۷۴، "زمین شناسی ایران- کانسارهای آهن"، چاپ اول، (۱-۱۹۵). انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
نجف زاده طهرانی، پ.، کلاگری، ع.ا.، عابدینی، ع.، مظلومی، ع.ر.، ۱۳۹۲، "سیماهای زمین شناسی، کانی شناسی، دگرسانی و زمین شیمی عناصر نادر خاکی کانسار آهن نیزار، جنوب باختر مشهد"، کانی شناسی و بلورشناسی ایران، شماره ۲، (۲۲۹-۲۴۲)
وحدانی. م.ج.، ۱۳۸۶، "زمین شناسی اقتصادی آهن پیوهژن"، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز، تبریز.



References:

- Barker, D. S., 1995. "Crystallization and alteration of quartz monzonite, Iron Spring mining district, Utah-relation to associated iron deposits". *Economic Geology*, 90, 2197-2217.
- Guilbert, j.M., Park, C.F., 1997. "The geology of ore deposits". Freeman and Company, New York. p. 985.
- Henley, R.W., Truesdell, A.H., Barton, P.A., 1984. "Fluid-mineral equilibria in hydrothermal system". *Society of economic geologist, review in economic geology*, 1, 267p.
- Lianxing, G., Vokes, F. M., 1996. "Intergrowths of hexagonal and monoclinic pyrrhotites in some sulphide ores from Norway". *Mineralogical Magazine*. 60, p. 303-316.
- Marschik, R., Fontbote, L., 2001. "The Candelaria-Punta Del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn -Ag) deposits, Chile". *Economic Geology*. 96, p. 1799-1826.
- Nadoll, P., Angerer, T., Mauk, J.L., French, D., Walsh, J., 2014., "The chemistry of hydrothermal magnetite": A review, *Ore Geology Reviews*. 61, p. 1-32.
- Nyström, J. O. and Henriquez, F., 1994. "Magmatic features of iron ores of the Kiruna-type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetite geochemistry". *Economic Geology* 89, 820-839.
- Wauschkun, A., Ohnsmann, M., Momenzadeh, M., 1983. "Fe, Pb, Zn and barite occurrences in the Paleozoic rocks of the south Binalud mountains, NE Iran", Geodynamic project (Geotraverse) in Iran, Final report, Geological survey of Iran, Report No 51, p. 337-347.