**بررسی رخداد کانه­زایی و کانه­نگاری در معدن مس چاه فیروزه، شمال شهربابک (استان کرمان)**

محمدرضا صفارحیدری1\*، محمدرضا رمضانی2 ، سارا شیخ فخرالدینی3

1و 2- واحد معدن و زمین­شناسی، معدن مس چاه فیروزه شهربابک، کرمان

3- کارشناس ارشد زمین­شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان

**Investigations about occurrence of mineralization and mineralography**

**Of Chah Firouzeh copper mine, north of Shahr-e- Babak (Kerman province)**

Mohammad Reza Saffar Heidari1\*, Mohammad Reza Ramazani2,

Sara Sheikh Fakhradini3,

1\*, 2Mine and Geology Affairs, Chah Firouzeh copper mine, Shahr-e- Babak, Kerman

3M. Sc., Department of Geology, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

**چکیده**

کانسار مس پورفیری چاه فیروزه در شمال­ شهربابک در استان کرمان واقع شده است. از نظر تقسیمات زمین­شناسی ایران، جزئی از کمربند ماگمایی سهند- بزمان محسوب می­شود. توده­های نفوذی با سن میوسن نظیر دیوریت و گرانودیوریت پورفیری در سنگ­های آتشفشانی ائوسن منطقه شامل آندزیت، آندزیت­بازالت، داسیت و توف­های داسیتی نفوذ کرده­اند. در محدوده چاه فیروزه به دلیل حجم بالا و عملکرد سیالات دگرسان کننده، فرآیندهای دگرسانی از اهمیت و گسترش قابل توجهی برخوردار هستند و انواع دگرسانی­های شاخص کانسارهای مس پورفیری در منطقه مشاهده می­شود. گسل­های موجود به طور عمده در دو راستا به صورت تقریبا متقاطع عمل کرده و می­توان آنها را به گسل­های اصلی و فرعی تقسیم کرد. این گسل­ها نقش عمده­­ای در دگرسانی و کانه­زایی مس ایفا کرده­اند. بر طبق مشاهدات صحرایی و مطالعات کانی­شناسی، رخداد کانه­زایی در منطقه به دو گروه هیپوژن (پیریت، کالکوپیریت و بورنیت) و سوپرژن (کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، کریزوکولا، گوتیت و هماتیت) تقسیم­بندی می­شود.

**کلید واژه**: کانه زایی، مس پورفیری، چاه فیروزه، شهربابک

**Abstract**

The Chah Firouzeh porphyry copper deposit is located in North of Shahr-e Babak (Kerman Province) and in the Sahand- Bazman magmatic belt. These Miocene intrusive bodies (diorite and granodiorite porphyry) are intruded into the volcanic rocks (andesite, andesite basaltic, dacite and dacitic tuff) of Eocene. In Chah firouzeh zone alteration processes are consid erably important and expanded due to high volume and wide operation of alteration fluid. In Chah firouzeh area the alterations are of porphyry copper type. Faults in two strike as intersecting and can divide them as main and minor faults. This fault has the main role in the alteration and copper mineralization. According to field observations and studies of minerals, occurrence of mineralization in minerals divided into two groups; hypogene (pyrite, chalcopyrite and bornite) and supergene (chalcocite, covellite, malachite, chrysocolla, goethite, hematite)

**Key word**: Mineralization, Porphyry copper, Chah Firouzeh, Shahr-e-Babak

**مقدمه**

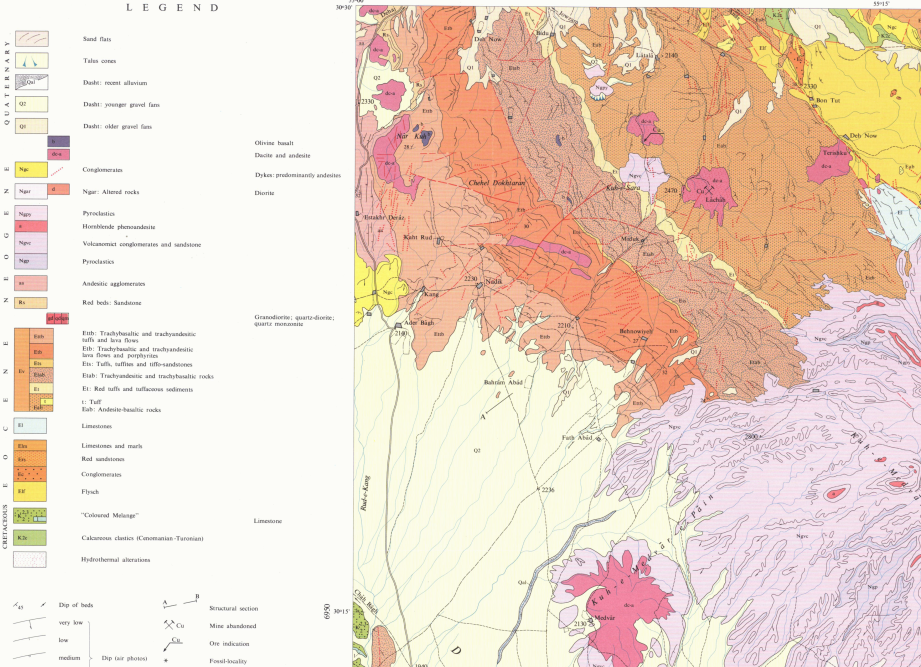
ذخاير مس پورفيري از مهم‌ترين منابع اين عنصر به همراه عناصر مهم ديگر مانند موليبدن و طلا محسوب می­گردند. اغلب اين ذخاير در ايالت‌هاي متالوژنيك كه با عنوان كمربندهاي مس پورفيري شناخته مي‌شوند، گسترده شده‌اند. كمربند مس پورفيري ايران كه خود بخشي از يك كمربند بزرگ جهاني مس محسوب مي‌شود، با روند شمال‌غربي- جنوب‌شرقي منطبق با كمان ماگمايي سهند ـ بزمان ( اروميه ـ دختر) قرار گرفته است (قربانی، 1387). بخش جنوبي اين كمربند تحت عنوان كمربند فلززایی كرمان شناخته می­شود و كانسارهاي بزرگي چون سرچشمه و ميدوك و ذخاير اميدبخشي مانند دره‌زار، نوچون، ايجو و چاه‌فيروزه در آن واقع شده‌اند. محدوده اكتشافي چاه‌فيروزه در فاصله تقريبي 35 كيلومتري شمال‌غرب شهر‌بابك در استان كرمان واقع شده است. اين ذخيره در محدوده عرض جغرافيايي ً30 َ24 ْ30 - ً00 َ23 ْ30 و طول جغرافيايی ً00 02 ْ55 - ً30 َ00 ْ55 قرار گرفته است. اين ذخيره در محدوده دهستان جوزم با مركزيت روستاي جوزم قرار داشته و جاده آسفالت شهر‌بابك ـ انار دسترسي به آن را ممكن مي‌سازد، به‌طوري‌كه پس از عبور از روستاي كهتوكرها و طي 3 كيلومتر به طرف انار مي‌‌توان به محدوده چاه‌فيروزه رسید.

بر‌اساس فاکتور‌هایی مانند تکامل زمین‌شناسی، عوامل کنترل‌کننده و وجود کانی‌سازی‌های مشخص، کمربند مس کرمان از سمت شمال‌غربی به سمت مرکز به چند منطقه به‌شرح زیر تقسیم شده است( قربانی، 1387):

1- منطقه شهربابک كه شامل ذخاير مس ايجو، ميدوك، پلنگي، سرنو، كدر، گود‌كلواري و چاه‌فيروزه است(شکل 1).

2- منطقه كوه همزار ـ كوه‌پنج كه مهم‌ترين ذخاير آن شامل سرچشمه، دره‌زار، نوچون، سركوه، باغ‌كوشك می­باشند.

3- منطقه چهار‌گنبد كه جايگاه معدن مس چهار‌گنبد و ذخاير مس رود‌تنگو، رود‌شلنگ، تخت‌بانه و بلبلي است.



شکل 1- نقشه زمین­شناسی منطقه (برگرفته از نقشه 100000/1 شهربابک) در کنار تصوير ماهواره­اي كانسارهای منطقه شمال و شمال­غرب شهربابک و موقعيت آنها نسبت به یکدیگر (برگرفته از کریمی و همکاران،1390)

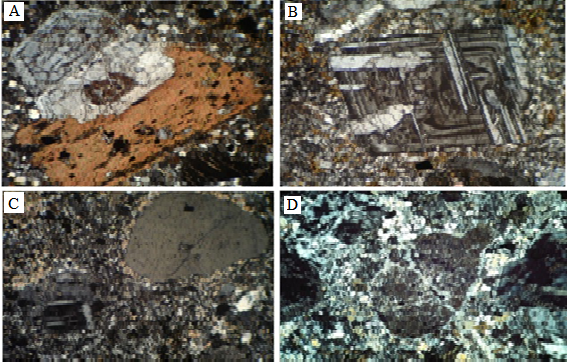
**بحث**

بر‌اساس مطالعات اكتشافي، واحدهاي سنگي در محدوده چاه‌فيروزه از قديم به جديد به‌شرح زير مي‌باشند:

1- آندزيت، داسيت و مواد آذرآواري متعلق به ائوسن 2- توده نفوذي چاه‌فيروزه (منسوب به ميوسن)

3 - توده ديوريتي در جنوب منطقه و دايك‌هاي ناشي از آن 4- واحد داسيتي جوان

كاني‌سازي مس در چاه‌فيروزه در ارتباط نزديك با يك توده نفوذي دیوریت/ گرانودیوریتی با بافت پورفيري است كه به‌صورت يك توده كشيده و ناپيوسته با راستاي شمالي- جنوبي جایگیر شده است. بخش شمالي و مركزي اين توده، به دليل دگرساني شديد فيليك و كمتر پتاسيك و همين‌طور پوشش خاك در سطح زمين به راحتي قابل تشخيص نيست. بخش جنوبي نيز اغلب توسط لاهار و آبرفت پوشيده شده است. تنها رخنمون آشكار اين توده، در مجاورت كارگاه استخراج در بخش جنوبي محدوده معدنی است. توده پورفيري چاه‌فيروزه از نظر كاني‌شناسي شامل پلاژيوكلاز، بيوتيت و به مقدار كمتر هورنبلند، كوارتز و فلدسپار پتاسيك و بافت نسبتاً يكنواخت است اما متحمل دگرساني‌هاي پتاسيك و فيليك با شدت‌های متفاوتی شده است به‌گونه‌اي كه از نظر كاني‌شناسي و رنگ ظاهري، در گمانه‌هاي مختلف و خاص تغييرات زيادي نشان مي‌دهد و گاه تشخيص آن بسيار دشوار است. در بخش‌هاي حاشيه‌اي توده پورفيري دانه‌ريزتر بوده و به‌طور محلي حاوي آنكلاوهایي از سنگ­های میزبان توده است. اندازه فنوكريست‌ها از 8-1 ميلي‌متر و زمينه ريز بلور سنگ از 1-1/0 ميلي‌متر متغير است (شكل2).



شکل2- تصویرهای میکروسکوپی از نمونه‌های معرف توده پورفیری چاه‌فیروزه

: A فنوکریست پلاژیوکلاز و بیوتیت در زمینه‌ای ریزدانه از کوارتز ـ فلدسپار. : B فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه‌ای ریزدانه از کوارتزـ فلدسپار.C : فنوکریست کوارتز و پلاژیوکلاز در زمینه ریزدآن‌های از کوارتزـ فلدسپار. فلدسپارها تا حدی سریسیتی شده‌اند. : D فنوکریست‌های فلدسپار پتاسیک و پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از کوارتزـ فلدسپار

## ويژگي‌هاي زمين‌شناسي ساختماني محدوده معدنی

برخلاف ناحيه مس­دار ميدوك كه در آن واحدهاي ساختاري با نظم تقریبا خاصي عموماً از راستاي شمال‌غربي، جنوب‌شرقي تبعيت مي‌كنند، در اطراف معدن چاه‌فيروزه سرشت پديده‌هاي زمين‌شناسي به گونه ديگري است. پديده ولكانو پلوتونيسم در اين منطقه فعال‌تر است. با توجه به اين پديده پيوند آن‌ها با رخدادهاي تكتونو ماگمايي از سوي ديگر بر پيچيدگي‌هاي تكتونيكي منطقه افزوده و واحدهاي سنگي را گسليده است. با اين وجود تا حدودي مي‌توان گسل‌هاي با راستاي شمالي- جنوبي تا شمال‌غربي- جنوب‌شرقي را در پيرامون كانسار مورد مطالعه معرفي نمود كه خود بعداً توسط گسله‌هاي عرضي و پهنابر و جوان‌تر قطع شده‌اند. رخدادهاي مهم زمين‌ساختي در اين منطقه و ناپيوستگي‌هاي ناشي از آن عمدتاً به فاصله زماني ائوسن تا اليگوسن مربوط مي‌شود. رخداد مهم در اين ميان به فاز پيرنه نسبت داده مي‌شود كه سبب فعاليت‌هاي تكتونو ماگمايي و كاني‌سازي‌هاي پيامد آن‌ها مي‌باشد. عملكرد پديده تكتونو ماگمايي اليگوميوسن در چاه‌فيروزه با راستاي شمال- شمال‌غربي و جنوب- جنوب‌شرقي منطقه را از لحاظ کانه زایی بارور كرده و بسته به حجم توده معدني و تنش‌هاي تكتونيكي ميزان ذخيره كانسار متغير و به تبعيت آن شدت و نوع دگرساني نيز تغيير مي‌كند (گزارش داخلی، 1388).

بر اساس مدل لوول و گیلبرت (Lowell and Gilbert, 1974) هر چهار زون یا منطقه دگرسانی مرتبط با کانسارهای مس پورفیری در چاه فیروزه دیده می­شود ولیکن دگرسانی نوع پتاسیک در عمق و دگرسانی نوع فیلیک در نمونه های سطی مغزه های حفاری شده در محدوده مطالعاتی قابل تشخیص هستند. بر اساس بررسی های اوليه در چاه فیروزه سیستم های رگه­ای متنوعی تشخیص داده شده که تقریبا در تمام آنها کانی باطله غالب کوارتز بوده است این رگه­ها شبیه به آن چیزی است که در معادن مس پورفیری ایران دیده میشود (هزارخانی و حاجی زاده، 1390). میزان تمرکز مس در زون پتاسیک چاه فیروزه حتی بالاتر از آن است که در بخش هیپوژن سیستم های مس پورفیری اقتصادی در دیگر معادن دیده می­شود. عمق کم تزريق، ترکیيب دیوریت/گرانودیوریتی ماگما و میزان سیال فراوان تولید شده در حین انجماد از عوامل اصلی وقوع این پدیده می باشند .(Hezarkhani, 2007) همچنین ایجاد سیالات حاوی کلر بالا که برای تشکیل کمپلکس­های مس و متحرک کردن آنها به سمت بالای سیستم ضروری است در مراحل بسیار ابتدائی انجام شده است. بنابراین به علت تولید حجم بالای سیالات مناسب در سیستم، به جای آنکه مس به داخل فاز جامد پخش گردد، برعکس در حین تشکیل فاز های سیال و غنی از کلر به داخل این مجموعه ها انتقال یافته و به طور مناسب حمل شده اند. عمق کم نفوذ نیز باعث آزادی فاز گاز و تغیيرات شدید حرارتی و جرمی (جوشش) را در مرحله حاد کانی­زائی نموده است. این تحولات باعث تمرکز سیالات کانه زا و نیز دانسیته بالای شکستگی ها و برشی شدن های مکرر در چاه فیروزه شده و شرایط لازم برای ایجاد نهشتی اقتصادی از مس را تامین کرده است. این مسئله همچنین با عدم حضور وسيع بلورهای کالکوپیریت در سیالات درگیر قابل توجيه است، چرا که شرایط مناسب برای خروج مس و تثبیت آن در سنگ، به طور کامل برقرار بوده است در چاه فیروزه اولین مرحله کانی زائی در ارتباط با دگرسانی پتاسیک است که خود محصولی از محلول های ماگمائی در حين کاهش حرارت است. برعکس، تحول محلول های گرمابی تاخیری بیشتر بر اثر هجوم سیالات جوی رقیق انجام شده است. این محلول­ها که باعث افزایش نسبت یونی پتاسیم به سدیم در سیستم بوده­اند، مسبب ایجاد دگرسانی فیلیک بوده­اند. تداوم جریان این سیالات به سیستم همراه با سرد شدن مجموعه، باعث اسیدی و بیشتر اکسیدان شدن محيط شده است. در نتیجه این تحولات سنگ میزبان دچار هجوم نفوذی هیدرولیکی شده و دگرسانی فیليک باز هم بیشتر گسترش یافته است. بروز جوشش همچنین رسوب مس را افزایش داده است. شستشوی مس در چاه فيروزه مانند بسیاری از معادن مس پورفیری پس از نهشت مستقیم مس در مرحله هیپوژن صورت گرفته است. همچنین گردش سیالات گرمابی مرحله نهائی به واسطه وجود شکستگی­های فراوان در سنگ، به سهولت صورت گرفته که خود مسبب افزایش تنش در سیستم و نهشت کالکوپیریت در سطح اقتصادی شده است. با توجه به مرز ناگهانی داشتن کانه­زائی و دگرسانی در این سیستم، به طور بارزی می توان اذعان نمود که کانه­زائی و دگرسانی مسبب آن بشدت در کنترل گسل های منطقه ای که حتی قبل از تزریق توده نفوذی نیز وجود داشته اند، قرار دارد. مجموعه گسل ها که احتمالا بعد از تزریق و ایجاد فشارهای بالا به سنگ های در برگیرنده نیز گسترش بیشتر یافته اند، به عنوان سدهائی فیزیکی عمل کرده اند که باعث جهت یابی هایی مشخص و محدود که حاصل آن کانه زائی در افق ها و روندهای خاصی بوده است را ایجاد نموده اند (هزارخانی و حاجی زاده، 1390).

**كاني‌سازي بر‌اساس مطالعات زمين‌شناسي**

بر‌اساس بررسي‌هاي انجام گرفته، كاني‌سازي در محدوده اكتشافي ارتباط تنگاتنگي با پديده‌هاي تكتونوماگمايي داشته و از لحاظ زماني به بعد از اليگوسن و قبل از فعاليت آتشفشاني مساهیم (مزاحم) نسبت داده مي‌شود. بر پايه شواهد صحرايي به نظر مي‌رسد اهيمت و شدت كاني‌سازي در جنوب منطقه افزون‌تر از شمال آن است. كاني‌سازي‌هاي عمده سطحي شامل مالاكيت، آزوريت، كريزوكولا (مس اكسيده) و در پاره‌اي از موارد پيريت است. گانگ كانسار هماتيت، گوتيت، ليمونيت و بعضاً سيليس مي‌باشد. رخداد كاني‌سازي در منطقه ياد شده چند ده متر بوده و به سوي شمال توسط نهشته‌هاي لاهار پوشيده شده كه به نظر مي‌رسد بخش پرعيار آن در حوالي گسل چاه‌فيروزه متمركز است. آنچه در سطح و ديواره گسل ديده مي‌شود شامل مالاكيت، آزوريت، كريزوكولا، پيريت و كمتر كالكوپیريت در گانگي از سيليس و كربنات است. ويژگي‌هاي كاني‌سازي در محدوده اكتشافي مورد مطالعه، با مشاهدات صحرايي، لاگ‌گمانه‌هاي مختلف، مطالعات مينرالوگرافي مشخص شده و ارزيابي‌هاي كمّي از كاني‌سازي عناصر باارزشي مثل مس و موليبدن (و در مواردي طلا) با استفاده از آناليز صورت گرفته است با توجه به فرآيندهاي درگير، كاني‌سازي در چاه‌فيروزه به دو مرحله كاني‌سازي هيپوژن؛ و كاني‌سازي سوپرژن قابل تفكيك است.

**الف: کانی‌سازی هیپوژن**

کانی‌سازی هیپوژن یا ژرف‌زاد و اولیه در چاه‌فیروزه به‌صورت استوک‌ورک (Stock work) و افشان (Disseminated) در بخش‌های بالایی توده پورفیری و همین‌طور در سنگ‌های میزبان آن (آندزیت، داسیت و توف) صورت گرفته است. کانی‌سازی نوع استوک‌ورک، شامل رگچه‌های متقاطع کوارتز+ کالکوپیریت± پیریت± مگنتیت است. کانی‌سازی نوع افشان شامل بلورهای پراکنده کالکوپیریت و همین‌طور رگچه‌های ظریف این کانی (غالباً همراه با پیریت) است. مهم‌ترین کانی سولفیدی مس در کانسنگ هیپوژن، کالکوپیریت است که معمولاً با پیریت همراه می‌باشد. نسبت پیریت به کالکوپیریت از کمتر از سه به یک در بخش‌های مرکزی سیستم تا افزون بر ده به یک در حاشیه‌ها افزایش می‌یابد. بورنیت به مقدار بسیار کم در برخی از گمانه‌ها مشاهده شده است. کانسنگ هیپوژن در چاه‌فیروزه فقیر از مولیبدن است. کانی مولیبدنیت که تنها کانی مستقل عنصر مولیبدن در ذخایر مس پورفیری است، به مقدار بسیار کم در بخش مرکزی سیستم کانی‌سازی مشاهده شده است. مگنتیت به مقدار کم به‌صورت افشان و همین‌طور رگچه‌ای، همراه با کانی‌های سولفیدی یا مستقل از آن‌ها وجود دارد. مقدار مگنتیت در چاه‌فیروزه، در مقایسه با برخی از پورفیری‌های دیگر چندان زیاد نیست و این امر باعث شده است که آزمون اکتشاف با روش مگنتومتری در بخش جنوبی این ذخیره، چندان موفقیت آمیز نباشد‌ و برعکس، بیشترین شدت میدان مغناطیسی در سنگ‌های آندزیتی در حاشیه توده پورفیری وجود دارد. دلیل این امر، به احتمال زیاد، از یک سو کمبود مگنتیت در منطقه کانی‌سازی مس و از سوی دیگر، دگرسانی کلریتی شدید در سنگ‌های آندزیتی حاشیه‌ای است. دگرسانی کلریتی با آزادشدن مقدار زیادی آهن و تشکیل مگنتیت ثانوی همراه بوده است( شهاب­پور، 1384).

**ب: کانی سازی سوپرژن**

با بالاآمدگی(Uplift) و فرسایش در ذخیره مس چاه‌فیروزه، کانسنگ هیپوژن در معرض هوازدگی توسط آب‌های جوی و اکسیژن اتمسفری قرار گرفت. این پدیده به تجزیه کانی‌های سولفیدی و شستشوی مس از بخش‌های سطحی، تشکیل کانی‌های اکسیدی مس و غنی‌سازی سوپرژن منجر گردیده است. از نظر توزیع مس و کانی‌شناسی کانسنگ، در بیشتر گمانه‌ها زون های زیر قابل تشخیص است.

**الف: زون شسته شده**

بخشی از آب‌های حاصل از بارش‌های جوی به‌درون زمین نفوذ می­کند. آب‌های جوی دارای مقداری CO2 محلول می­باشند که سبب تولید اسیدکربنیک، یون بی­کربنات و هیدروژن می­شود و آب‌های جوی را تا حدی اسیدی می­کند. همچنین، اسیدهای موجود در خاک، مانند اسید هومیک و اسید کربنیک که از اکسیداسیون بقایای گیاهی موجود در خاک به وجود می­آیند، موجب افزایش خاصیت اسیدی آب‌های جوی می­شود این آب‌ها علاوه بر خاصیت اسیدی به علت داشتن اکسیژن محلول، اکسیده نیز هستند. نفوذ آب‌های اکسیده و اسیدی به داخل سنگ‌ها با شکستن شبکه بلوری کانی‌های سولفیدی و سیلیکاتی همراه است. ضمن این پدیده، عناصر و مواد محلول شسته شده و از محیط خارج می­گردد و موادی مانند اکسیدهای آهن و سیلیس که حلالیت پایینی دارند، بجای می­مانند.

پیریت به‌عنوان فراوان‌ترین کانی سولفیدی در ذخایر مس پورفیری، در اثر نفوذ آب‌های جوی اکسیده شده و طی واکنش ­های زیر اسید سولفوریک و اکسید آهن تولید می­کند. چنانچه علاوه بر پیریت، کالکوپیریت نیز در کانسنگ اولیه وجود داشته باشد، از اکسایش این کانی بر اثر واکنش یون‌های Cu+2 آزاد می­شود. در جاهایی که کانسنگ اولیه حاوی مقدار زیادی کانی سولفید مس­ بوده، آثاری از کانی‌های اکسیدی مس بویژه کریزوکولا، مالاکیت و رس‌ها برجای مانده است. در مناطقی که شستشوی سنگ‌ها شدید است، در اثر تجزیه کانی‌های سیلیکاتی، عناصر قلیایی و سیلیس آزاد می­شود. با ادامه نفوذ سیال‌های جوی، عناصر قلیایی که حل پذیری به نسبت آسانی دارند، از محیط شسته می­شوند و سیلیس به جای می­ماند.

2FeS2 + 7.5O2 + 4H2O → Fe2O3 +4H2SO4

+4H+ 2CuFeS + 8.5O2 + 2H2O→ Fe2O3+2Cu+2 + 4SO-24

زون شسته شده در چاه‌فیروزه با فراوانی اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، مانند هماتیت ((Fe2O3 و گوتیت (Fe(OH)3)، سیلیس، و در برخی جاها جاروسیت (K(Fe+3,Al)3(SO4)2(OH)6) که در واقع همان گوسان­ها هستند مشخص می­شود.

با توجه به آب و هوای نیمه‌خشک در ناحیه شهربابک، سطح آب زیرزمینی در عمق نسبتاً زیادی از سطح زمین قرار دارد و این امر باعث شده است که هوازدگی و اکسایش کانی‌ها تا عمق درخور ملاحظه‌ای گسترش یابد. در محدوده گمانه‌های اکتشافی مختلف در چاه‌فیروزه، زون شسته شده ضخامت بسیار متغیری دارد که این امر ناشی از توپوگرافی و پوشش پس‌کانه (Post-Ore) متفاوت، جنس سنگ دربرگیرنده و نفوذپذیری آن، و همین‌طور فراوانی پیریت، نسبت پیریت به کالکوپیریت، و عیار کانسنگ اولیه است. ضخامت این زون از 10 متر تا افزون بر 100 متر متفاوت است.

ب: زون اکسید

این زون با تشکیل کانی‌های سیلیکاتی، کربناتی و اکسیدی مس مشخص می­شود. همانند زون شسته شده­، در تشکیل این زون نیز آب‌های جوی نقش مهمی دارد. زون اکسید ممکن است در زیر زون شستشو و یا همراه با آن تشکیل شود. در مناطقی که شستشو به دلیل کمبود پیریت یا نفوذپذیری سنگ‌های محل ضعیف باشد، این زون ممکن است در سطح زمین ایجاد شود. چنانچه اسید سولفوریک کافی در اثر اکسایش کانی‌های سولفیدی وجود داشته باشد، سولفیدهای مس اکسیده شده، یون­ مس از شبکه آن‌ها خارج و از زون شسته شده به‌سمت پایین انتقال می­یابد.

در بخش جنوبی چاه‌فیروزه، یک برونزد بزرگ از زون اکسیدی در سطح زمین دیده می­شود در اینجا کانی‌های اکسیدی مس، مانند مالاکیت، آزوریت و کریزوکولا، و همین‌طور اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در اثر اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی حاصل شده­اند. کانی‌های اکسیدی مس به‌صورت رگچه‌ای، پراکنده و همین‌طور جانشینی پدید آمده‌اند. مقداری کریزوکولا و مالاکیت تشکیل شده است. واکنش‌های مربوطه می­توانند به‌صورت زیر باشند:

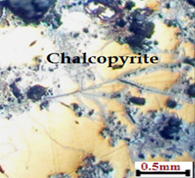
Cu+2 + SiO2 + 2H2O → CuSiO3(H2O) + 2H+

Cu+2 + H2O → CuO+2H+ , 2CuO+CO2+H2O → Cu(OH)2CO3

ضخامت زون اکسید تابع ترکیب کانسنگ اولیه، نسبت پیریت به کالکوپیریت، فراهم بودن اسید کربنیک و یون‌های بی‌کربنات، و عمق سطح آب زیرزمینی است. در ذخیره مس چاه‌فیروزه، ضخامت این زون از کمتر از یک متر تا 20 متر متغیر است. زون اکسید ممکن است بلافاصله در زیر زون شسته شده تشکیل گردد. چنانچه شستشوی مس به دلیل کمبود اسید سولفوریک به‌طور موثر رخ ندهد، یا یون بی‌کربنات و اسید کربنیک کافی برای تشکیل کانی‌های کربناتی مس وجود داشته باشد، زون اکسید می‌تواند در سطح زمین تشکیل گردد.

در برخی جاها ممکن است یک زون مرکب شسته شده ـ اکسید تشکیل گردد. این زون در شرایطی پدید می‌آید که بخشی از مس موجود درکانسنگ اولیه شسته می‌شود، در حالی که بخش دیگری از آن به کانی‌های اکسیدی تبدیل می‌گردد. این زون مرکب در برخی از گمانه‌ها در چاه‌فیروزه مشاهده شده است.

علاوه بر کانی های سولفیدی مس در چاه فیروزه، کانی فیروزه نیز به شکل شکافه پرکن دیده می شود که در واقع یک کانی ثانویه محسوب می­گردد و به عنوان آخرین فاز کانه­زایی در زون­های سوپرژن و اکسیدان تشکیل شده است. (سوری، 1390).

****

الف ب ج

**شکل 3-** الف: کریستال پیریت در کنار مالاکیت. ب : بلورهای کالکوپیریت. ج:حضور کانی­های مالاکیت و آزوریت در زون اکسید در کنار منطقه دگرسان شده در قسمت مرکزی محدوده معدنی چاه فیروزه

**نتیجه­گیری**

کانسارهای مس پورفیری را می­توان محصول سرد شدن سیستم­های هیدروترمالی همراه با نفوذی­های کم عمق پورفیری جایگیرشده در کمان­های ماگمایی مرتبط با فرورانش دانست. مطالعات اخیر در چاه فیروزه نشان می­دهد که تشکیل و جایگیری کانسار مس پورفیری نه تنها تحت تأثیر فرایندهای ماگمایی و هیدروترمالی می­باشد بلکه تکتونیک ناحیه­ای، محلی و رژیم­های تکتونیکی در زمان تشکیل این کانسار نیز اهمیت بسیار زیادی داشته اند. کانسارهای مس پورفیری در مقایسه با سایر کانسارهای هیدروترمالی به طرز جالب توجهی همزاد با توده­های نفوذی می­باشند که در امتداد سیستم­های گسلی امتداد لغز کمان های قارهای و جزیره ای می­باشند . بنابراین به منظور بررسی جایگاه مناسب جایگیری نفوذی های پورفیری و کانسارهای مس همراه آنها مانند چاه فیروزه، شناسایی محل های تمرکز سیالات ماگمایی درون پوسته بسیار با اهمیت می­باشد. سیالات عموماً از زون­های پرفشار به مناطق کم فشار با درجه حرارت پایین­تر مهاجرت می­کنند. در چنین شرایطی سیالات ماگمایی بیش از آنکه متمرکز گردند، پراکنده می­شوند. بررسی هندسه و مکانیسم گسل­های مرتبط با کانسارهای مس پورفیری از جمله چاه فیروزه، جهت مطالعه مکان­های مناسب برای جایگیری توده­های پورفیری می­تواند بسیار با اهمیت تلقی شود. زون­های برشی، حوضه­های در این راستا و انقطاع در امتداد گسل­های امتداد لغز مکان­هایی بسیار مناسب جهت نفوذ توده­های تفریق یافته پورفیری، حضور سیالات و تشکیل کانسارهای مس پورفیری می­باشند. با توجه به شرایط حاکم بر سیستم، به نظر می­رسد عوامل اصلی رخداد کانه­زایی در چاه فیروزه، عمق مناسب تزریق توده نفوذی، بالا بودن حجم آب و سیالات و افزایش شرایط اسیدی در مراحل پایانی می­باشند. افزایش مقدار اکسیژن سیستم به علت وجود آبهای جوی و به دنبال آن شستشوی شدید مس در بخش مرکزی و بالای مجموعه، همچنین نهشت کالکوپیریت و بورنیت در زون فیلیک و پتاسیک و برخی مناطق سطحی سبب نهشت اقتصادی مس در منطقه چاه فیروزه شده است. تمرکز تاخیری مس در پدیده شستشو، در بسیاری از معادن همچون سرچشمه و چاه فیروزه که با دگرسانی همراه است بزرگترین عامل اقتصادی بودن این کانسارها معرفی می­گردد.

**منابع**

1. سبزه­ای.م (1373)، نقشه زمين شناسي 100000/1 شهربابک، انتشارات سازمان زمين­شناسي کشور.
2. سوری،م. (1390)، مطالعه فرایندهای مسئول کانه زایی و تعیین تغییرات غلظت عناصر در زونهای دگرسانی کانه زایی و مطالعه کانی های گروه فیروزه در کانسار مس چاه فیروزه، پايان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
3. شرکت ملی صنایع مس ایران (1388)، گزارش پایان عملیات اکتشاف کانسار چاه فیروزه.
4. شهاب پور، ج (1384)، زمین شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
5. قربانی. م (1387)، زمین شناسی اقتصادی و ذخایر معدنی و طبیعی ایران ، انتشارات آرین زمین.
6. کریمی. م، آزادی.م.ح، خالویی. ش، قدمی. م، عطارزاده. پ، نوری. ر (1390)، مطالعه کانی شناسی ، دگرسانی و نحوه تشکیل کانسار مس پورفیری چاه فیروزه، اولین همایش ملی زمین شناسی ایران.
7. محمدزاده، ز ( 1387)، زمين شناسي، دگرساني و كاني سازي مس در منطقه چاه فيروزه، پايان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهيد بهشتي.
8. هزارخانی. ا، حاجی زاده. ف (1390) مطالعه زمین شیمیائي سیال هاي کانه دار در کانسار مس پورفیري چاه فیروزه شمال شهر بابک (استان کرمان)، و ارزيابي اقتصادي آن. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره 2.
9. Guilbert, J.M and Lowell, J.D (1974) Variations in zoning Pattern in porphyry copper deposits CIM Bulletin, No 742.
10. Hezarkhani, A., 2007. A Fluid Inclusion Investigation on Chah-Firuzeh Porphyry Copper Deposit, Based on Drill Core No. 6, Ahar Copper Company, Internal report, p. 42.