

## بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و زمین‌شیمیایی منطقه اکتشافی مس امیرآباد، شمال‌غرب نیشابور

فهیمه رحمانی<sup>۱</sup>، آزاده ملکزاده شفارودی<sup>۲\*</sup>، مریم جاویدی مقدم<sup>۱</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۶/۱، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۹/۳۰)

**چکیده:** منطقه اکتشافی امیرآباد در شمال‌غرب شهرستان نیشابور، در استان خراسان‌رضوی واقع است. زمین‌شناسی منطقه شامل واحدهای آذرین نیمه‌عمیق (دیوریت‌پورفیری) با سن اثوسن پسین، آتشفسانی (آنذیت) و رسوبی (ماسه‌سنگ و کنگلومرا) با سن بالائون است. واحدهای رسوبی منطقه شامل تناوبی از ماسه‌سنگ سرخ اکسایشی، ماسه‌سنگ خاکستری و کنگلومراست. از نظر موقعیت زمین ساختی، ماسه‌سنگ‌ها در شرایط قوس قاره‌ای تا اقیانوسی در حوضه رسوبی نهشته شده‌اند. کانی‌سازی مس بصورت عدسی و لایه‌ای (هم درونزدایی) در بخش‌هایی با ترکیب بیشتر لیت آرنایتی (درشت دانه) و دارای سنگواره‌های گیاهی فراوان رخ داده است. کانی‌سازی اولیه (با بافت‌های پراکنده، رگچه‌ای و جانشینی) شامل پیریت و کالکوسیت بوده است که طی مراحل بروزنزد کانی‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت، ملاکیت، هماتیت و گوتیت ایجاد شده‌اند. بیشترین بی‌亨جاري‌های زمین‌شیمیایی در افق‌های کانی‌سازی برای مس ۶ درصد، نقره ۱۴ گرم در تن و روی ۹۹ گرم در تن است. بر پایه نوع سنگ میزبان، نوع کانی‌های سولفیدی، بافت و عوامل کنترل کننده کانه‌زایی (وجود آثار گیاهی به عنوان عامل احیا کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان) این منطقه شبیه کانسارهای مس رسوبی نوع سرخ لایه است.

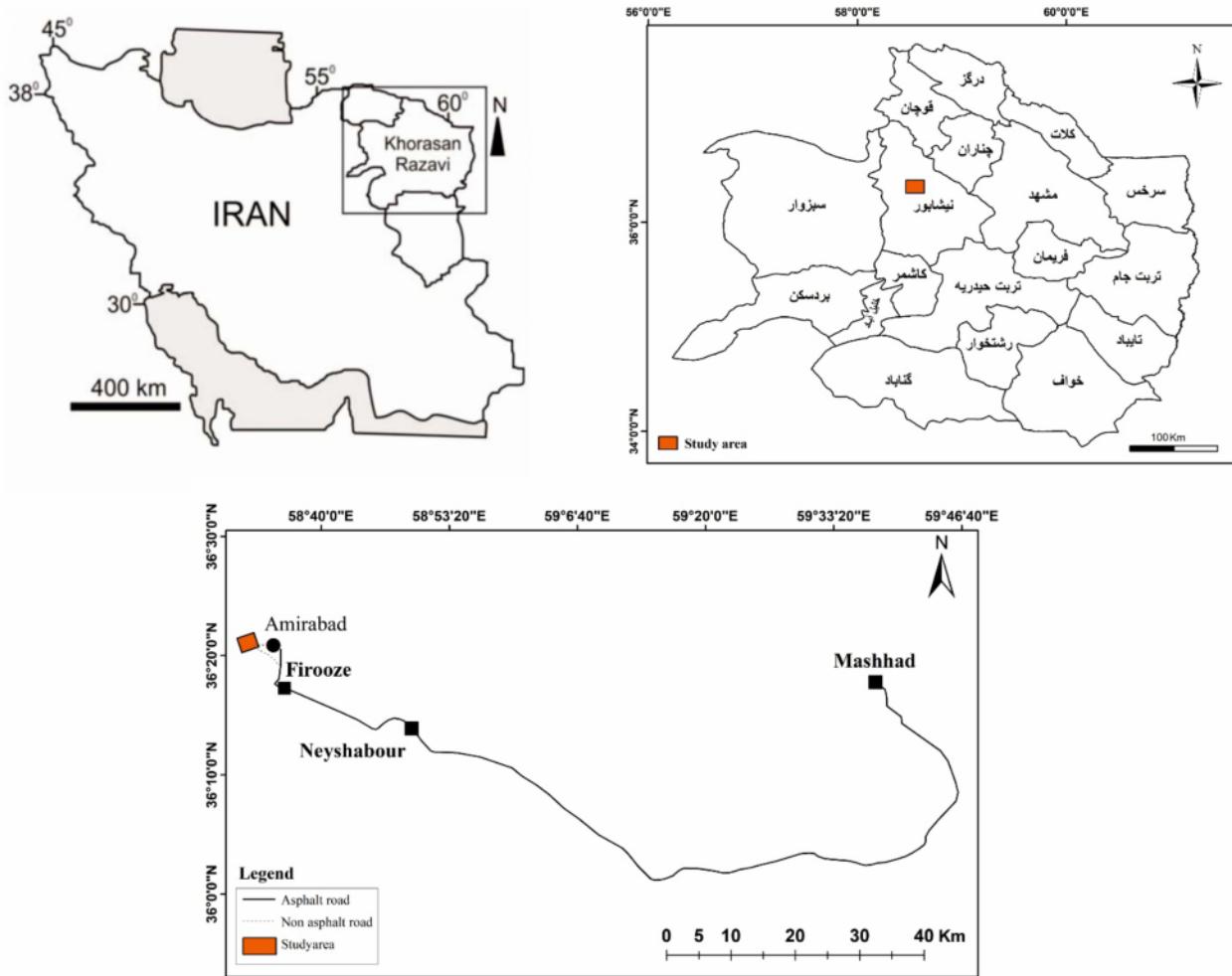
**واژه‌های کلیدی:** زمین‌شیمی؛ همزاد؛ کانی‌سازی مس رسوبی نوع سرخ لایه؛ امیرآباد؛ نیشابور.

این نوع کانسارها در چند ساله اخیر در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند [۵]. پهنه‌های ساختاری اصلی ایران که میزبان این کانسارها هستند عبارتند از پهنه زاگرس، قطعه طبس، پهنه ایران مرکزی، پهنه سبزوار و پهنه کپه داغ. کانسارهای نوع SCD در ایران در ادوار مختلف زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند، از جمله کامبرین-اردویسین (نهشته‌های ده معدن و خونگاه در پهنه زاگرس)، پرمین (کانسار قره‌تپه در پهنه ایران مرکزی)، ژوراسیک پسین (کانی‌سازی مس درسازند گرده‌دو در راور-طبس-عشق‌آباد، ژوراسیک پسین تا کرتاسه پیشین (کانی‌سازی در سازند شوریجه از پهنه کپه‌داغ)، الیگومن تا میوسن (کانسار بنده-قیچی، نهشته‌های SCD ناحیه بوستان آباد-تبریز-تسوچ

**مقدمه**  
کانسارهای مس با میزبان رسوبی پس از کانسارهای مس پورفیری از مهم‌ترین منابع مس دنیا هستند، به طوریکه حدود ۲۳ درصد مس دنیا از این ذخایر تولید می‌شود [۱-۳] ماهیت چندفلزی آنها (دارا بودن نقره) باعث افزایش ارزش اقتصادی آنها می‌شود. این کانسارها با نام‌های مختلفی چون ذخایر مس چینه گران یا چینه سان با سنگ میزبان رسوبی (SCD)، مس همراه با سرخ لایه‌ها و مس ماسه‌سنگی شناخته می‌شوند [۴]. کانسارهای مس رسوبی در محیط‌های چون محیط‌های ساحلی، دریاچه‌ای و یا دریابی کم‌عمق و حوضه‌های تبخیری وابسته به آن‌ها تشکیل می‌شوند [۲].

سبزوار و پیرامون آن نفوذ کرده است و به سمت شمال تا کوه‌های البرز ادامه دارد [۷]. تشکیل این کمان وابسته به پهنه فرورانش ورقه‌ای اقیانوسی نئوتیپس سبزوار در زیرصفحه توران است [۸، ۹]. کانی‌سازی‌های متعدد مس و آهن در ارتباط با فرایندهای ماگمایی-گرمابی چون معدن مس- طلا-اورانیوم-عناصر خاکی نادر سبک نوع مس- طلا همراه با اکسید آهن (IOCG) فیروزه نیشابور [۱۰]، مگنتیت-آپاتیت خانلق [۱۱] و مس المحقق [۱۲] در پهنه بینالود شناسایی گردیده‌اند. در مقابل، کانسار مس امیرآباد از نخستین کانسارهای رسوی گزارش شده از این پهنه است. در این پژوهش، ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و زمین‌شیمیایی منطقه اکتشافی مس امیرآباد بررسی شده است.

و منطقه آوج دوزکند-مشمپا) و سرانجام پلیوسن (کانسار قره آگاج در پهنه ایران مرکزی) [۶]. محیط‌های اصلی زمین ساختی برای نهشته‌های SCD ایران، حوضه‌های کششی مربوط به کافت‌های درون قاره‌ای و پهنه‌های گسترش پسا برخورد هستند [۶]. رخداد مس امیرآباد در ۲۵ کیلومتری شمال‌غربی نیشابور، در استان خراسان رضوی و در گسترهای بین طول‌های "۳۶°۲۰'۳۴" تا "۳۶°۲۱'۱۷" و عرض‌های جغرافیایی "۴۰°۰'۳۴" تا "۳۶°۲۰'۳۴" شمالی واقع است. نزدیک‌ترین روستا به این منطقه، روستای امیرآباد در ۴ کیلومتری شرق آن است (شکل ۱). براساس تقسیمات ساختاری، این منطقه در پهنه بینالود واقع بوده و جزئی از کمریند آتشفانی-نفوذی سنوزئیک قوچان-سبزوار است. این کمان ماگمایی با روند شمال غربی-جنوب شرقی در افیولیت



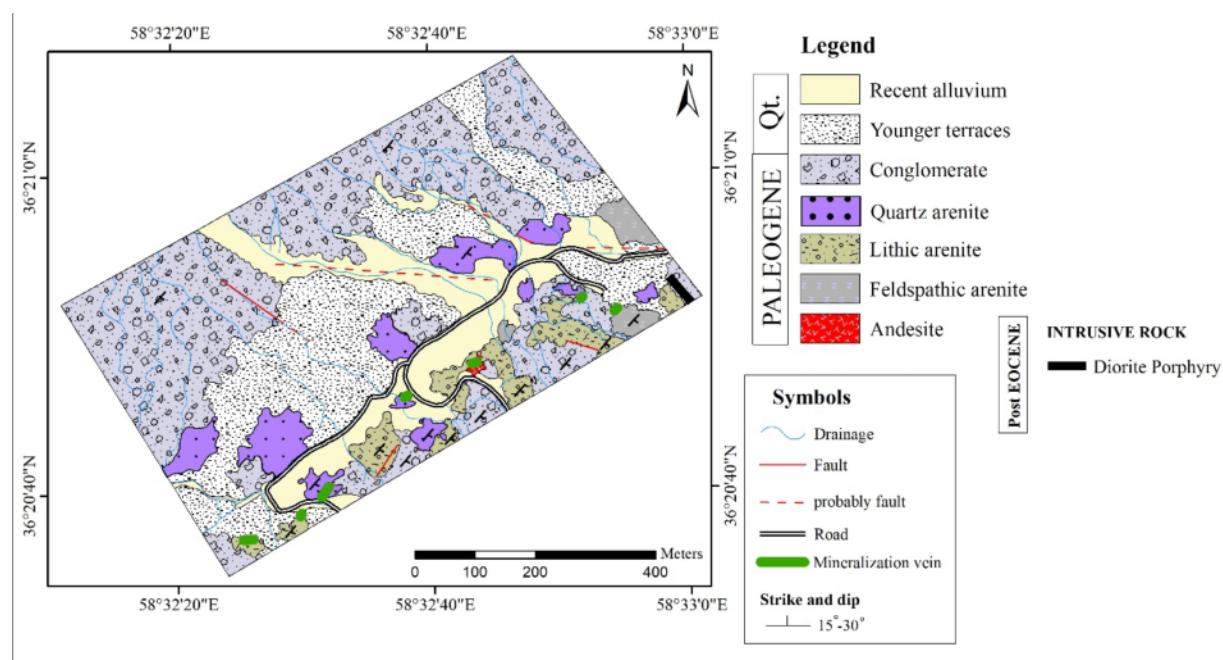
شکل ۱ موقعیت منطقه در استان خراسان رضوی و نقشه‌ی راه دسترسی به منطقه‌ی مورد بررسی.

### زمین‌شناسی و سنگنگاری

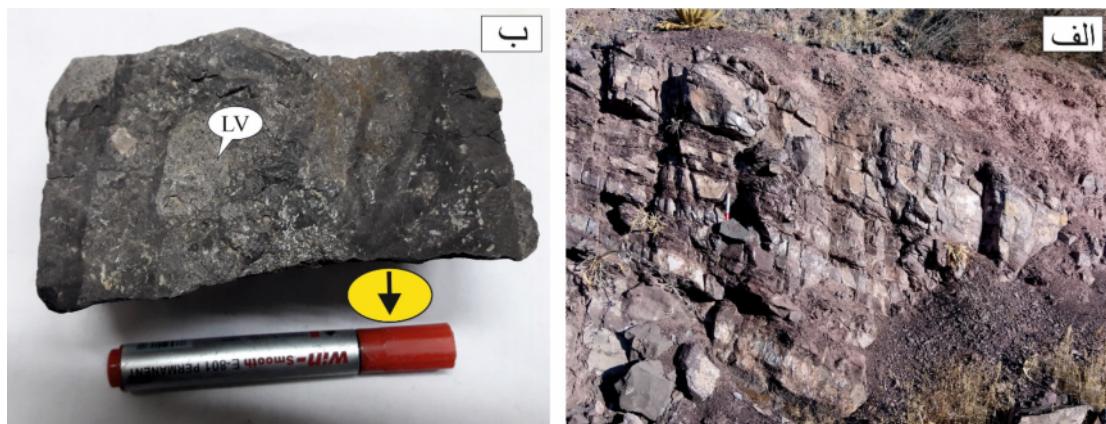
منطقه مس امیرآباد در گوشه شمال‌غربی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ نیشابور [۱۲] واقع است. سن واحدهای سنگی این منطقه پالئوژن و اوسن پیشین است. سنگ‌های رسوبی با سن پالئوژن بیشترین گسترش را در منطقه امیرآباد دارند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، واحدهای رسوبی شناسایی شده در منطقه امیرآباد شامل آندزیت، آرنايت فلدسپاتیک، آرنايت سنگی، کوارتز‌آرنايت، کنگلومرا و دایک دیوریت‌پورفیری هستند. همچنین قدیمی‌ترین واحد شناسایی شده در منطقه دایک دیوریت‌پورفیری است که گسترش محدودی در شرق منطقه دارد. همچنین واحد آتشفسانی (آنذیت) گسترش بسیار محدودی در جنوب منطقه مورد بررسی دارد (شکل ۲). برپایه‌ی بررسی‌های سنگنگاری، واحدهای سنگی منطقه شامل واحدهای آذرین (دیوریت‌پورفیری، آندزیت) و رسوبی (ماسه‌سنگ و کنگلومرا) هستند. در منطقه اکتشافی امیرآباد، در افق‌های کاهن‌ساز در سنگ میزان ماسه‌سنگی دو پهنه ماسه‌سنگ سرخ اکسایشی (شکل ۳ الف) و ماسه‌سنگ خاکستری شناسایی شدند. بر اساس تقسیم‌بندی مرجع [۱۴]، واحد ماسه‌سنگی شامل آرنايت فلدسپاتیک، آرنايت سنگی و کوارتز‌آرنايت است. (شکل‌های ۲ و ۴).

### روش بررسی

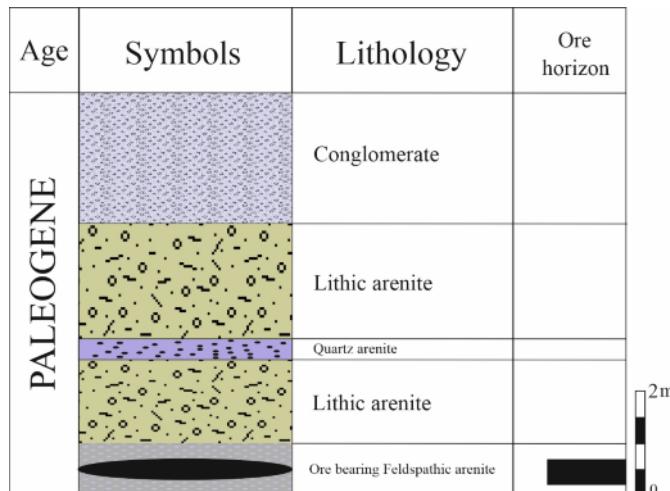
برای دستیابی به اهداف این پژوهش، بررسی‌های صحرایی (ویژگی‌های ساختی، بافتی و چگونگی ارتباط پدیده‌ها) و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و کانی‌سازی (از سطح و ترانشه‌ها) در منطقه اکتشافی امیرآباد انجام شد. بیش از ۶۲ نمونه از واحدهای سنگی و کانی‌سازی برداشت و در مجموع، ۳۵ مقطع نازک، ۶ مقطع نازک صیقلی و ۶ قطعه صیقلی برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی تهیه گردید. سرانجام نقشه زمین‌شناسی - کانی‌سازی منطقه با مقیاس ۱:۱۵۰۰۰ در نرم افزار ArcGIS تهیه شد. همچنین ۷ نمونه زمین‌شیمیایی به روش خردمنگی از محل کانی‌سازی‌ها (سطح و ترانشه‌ها) برداشت و به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) برای ۳۴ عنصر در آزمایشگاه زرآزما تجزیه شدند. به دلیل بیشتر بودن مقدار مس در ۵ نمونه زمین‌شیمیایی از حد بالایی تشخیص ICP-OES این عناصر به روش جذباتی (AAS) در آزمایشگاه کانسار-های بلورین آمتیس‌شرق تجزیه شدند. همچنین ۶ نمونه زمین‌شیمیایی به روش خردمنگی از محل رخنمون‌های ماسه‌سنگی برداشت گردید و به روش طیف‌سنجی فئورسانس پرتوی ایکس (XRF) در آزمایشگاه زرآزما تجزیه گردیدند.



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه امیرآباد.



شکل ۳ (الف) تصویر صحرایی از واحد ماسه سنگ سرخ اکسایشی، (ب) تصویر نمونه دستی از کنگلومرا پیکان برای اشاره به مقیاس تصویر است (Lv= خرده سنگ آتشفشاری).

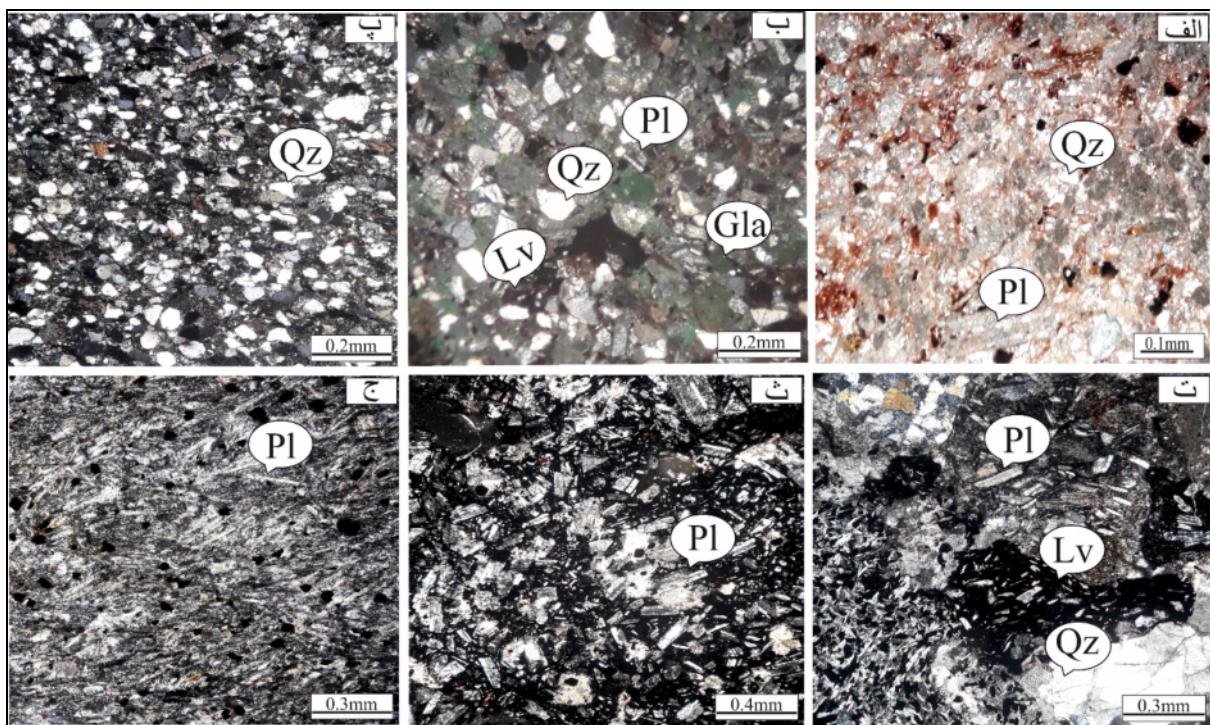


شکل ۴ ستون چینه شناسی از منطقه اکتشافی امیرآباد و موقعیت افق احیایی کانه دار در آن.

پلازیوکلاز با اندازه ۰/۵ تا ۰/۵ میلیمتر (۲۰\_۳۰ درصد حجمی)، کلسیت با اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۳-۵ درصد حجمی)، گلاکونیت با اندازه ۰/۱ میلیمتر (۵ درصد حجمی)، دارای سنگواره های خارپوستان با اندازه ۰/۴ میلیمتر (۱ درصد حجمی)، سنگواره زیست آوار با اندازه ۳ میلیمتر (۵ درصد حجمی) و سنگواره نومولیت با اندازه ۰/۴ میلیمتر (۵ درصد حجمی) است. خرده سنگ های آتشفشاری اغلب در بردارنده بلورهای نازک و کشیده پلازیوکلاز در زمینه ای با بافت ریزدانه و یا شیشه ای هستند (شکل ۵ ب). خرده سنگ های آتشفشاری و قطعه های کربناتی بیشتر ترکیب حد وسط (در حد آندزیت، تراکیت) داشته و به مقدار کمتر ترکیب اسیدی (داسیت) دارند. قطعه های آهکی و چرت نیز به مقدار کم در این واحد شناسایی گردید. سیمان بین قطعه های بیشتر کربناتی است.

واحد آرنایت فلدسپاتی با کمترین گسترش در جنوب منطقه رخون دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت نابالغ بوده و بیشتر از کانی های کوارتز با اندازه ۰/۱ تا ۰/۲ میلیمتر (۱۵-۱۰ درصد حجمی)، پلازیوکلاز با اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۴۰-۳۵ درصد حجمی)، فلدسپار قلیایی با اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۲۰-۳۰ درصد حجمی)، گلاکونیت با اندازه ۰/۱ تا ۰/۳ میلیمتر (۵ درصد حجمی) و سنگواره زیست آوار با اندازه ۰/۲ میلیمتر (۱-۲ درصد حجمی) تشکیل شده است. این واحد همچنین دارای خرده سنگ های آتشفشاری، کربنات و چرت است (شکل ۵ الف).

واحد آرنایت سنگی در بخش های جنوب و جنوب غربی منطقه رخمنون دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت نابالغ بوده و بیشتر شامل خرده سنگ های آتشفشاری و کانی هایی از جمله کوارتز با اندازه ۰/۳ تا ۰/۵ میلیمتر (۱۵\_۲۰ درصد حجمی)،



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از (الف) واحد کوارتز آرنايت، (ب) واحد آرنايت سنگی، (پ) واحد آرنايت فلدسپاتی، (ث) واحد کنگلومرا، (ت) واحد آندزیت و (ج) واحد دیوریت پورفیری. (QZ=کوارتز، Pl=پلازیوکلаз، Lv=کلسیت، Gla=گلاکونیت [۱۵]).

۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۱۵-۲۰ درصد حجمی)، پلازیوکلاز با اندازه ۰/۰۱ تا ۰/۱ میلیمتر (۲۵-۳۰ درصد حجمی)، کلسیت با اندازه ۰/۲ میلیمتر (۵-۱۰ درصد حجمی)، هورنبلند با اندازه ۱ میلیمتر (۲-۳ درصد حجمی)، سنگواره‌های بازو پایان با اندازه ۱/۵ میلیمتر (۵ درصد حجمی)، اوئید با اندازه ۰/۰۲ (۵ درصد حجمی)، آنکوئید با اندازه ۰/۱ میلیمتر (۲ درصد حجمی)، و زیست آوار با اندازه ۰/۲ میلیمتر (۵ درصد حجمی) نیز شناسایی گردیدند (شکل ۵ ت).

واحد آندزیت گسترش محدودی در جنوب شرق منطقه دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت شیشه‌ای و پورفیری است و نزدیک به ۴۵ تا ۵۰ درصد درشت‌بلور دارد. این واحد شامل کانی‌های پلازیوکلاز با اندازه ۰/۴ تا ۱ میلیمتر (۴۰-۴۵ درصد حجمی)، هورنبلند با اندازه ۰/۳ میلیمتر (۲-۳ درصد حجمی) و پیروکسن با اندازه ۰/۲ میلیمتر (۲-۳ درصد حجمی) است و بقیه سنگ نیز زمینه‌ی شیشه‌ای تشکیل می‌دهد. در بعضی بخش‌ها، پلازیوکلازها به کانی رسی تبدیل شده‌اند (شکل ۵ ث). دایک دیوریت پورفیری قدیمی‌ترین واحد شناسایی شده در منطقه است که گسترش محدودی در شرق منطقه دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری است و نزدیک به ۴۵ تا ۵۰

واحد کوارتز آرنايت بطور محدود در بخش‌های جنوب، جنوب-غرب و مرکز منطقه رخمنون دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت بالغ و شامل کانی‌هایی از جمله کوارتز با اندازه ۰/۱ تا ۰/۰۹ میلیمتر (۹۰ درصد حجمی)، کلسیت با اندازه ۰/۰۲ تا ۰/۰۳ میلیمتر (۵ درصد حجمی) و به مقدار کمتر پلازیوکلاز با اندازه ۰/۰۳ تا ۰/۰۴ میلیمتر (۲-۳ درصد حجمی) و گلاکونیت با اندازه ۰/۰۳ میلیمتر (۱ درصد حجمی) است. این واحد دارای خردسنهای آتشفسانی (با ترکیب حدواتسط) و آهکی است (کمتر از ۲ درصد). همچنین در برخی نمونه‌ها، رگچه‌های مالاکیت، اکسید آهن و کربنات نیز شناسایی شده‌اند. سیمان بین قطعه‌ها بیشتر کربناتی است (شکل ۵ پ).

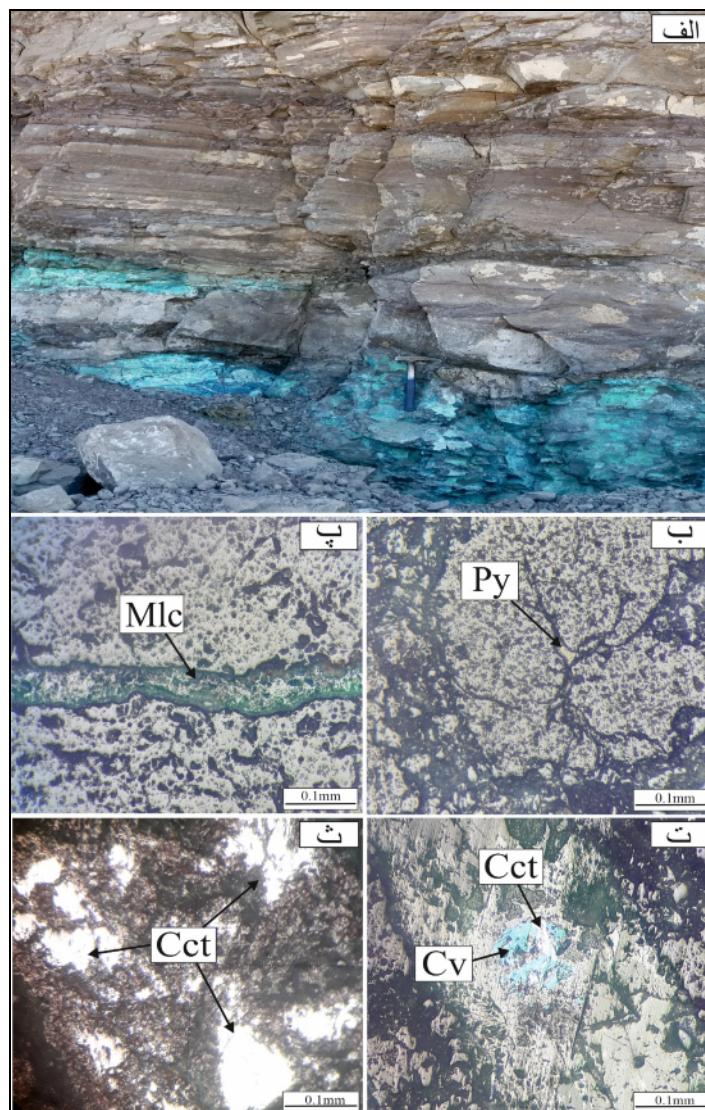
واحد کنگلومرا بیشترین گسترش را در منطقه مورد بررسی دارد (شکل‌های ۲ و شکل ۳ ب). اندازه قطعه‌ها در این واحد از چند میلی‌متر تا ۱۵ سانتی‌متر بوده و جنس آنها آتشفسانی، ماسه‌سنگی، آهکی و چرت است. سیمان بین قطعه‌های بیشتر کربناتی است. در بخش جنوب و جنوب‌شرق منطقه دانه‌ها جور شدگی و گردش‌گی خوبی ندارند. در بخش شمال و شمال‌غرب منطقه، اندازه قطعه‌های از چند میلی‌متر تا ۷۵ سانتی‌متر متغیر است. در این واحد، کانی‌های کوارتز با اندازه

وکنگلومرا) و همروند با لایه‌بندی سنگ میزبان به صورت هم- درونزدای رخ داده است. همچنین به مقدار بسیار محدود کانی- زایی مس در واحد آندزیتی نیزشناصایی گردید. در افق‌های کانه‌دار در سنگ میزبان ماسه‌سنگی، دوپنه شناسایی شدند که عبارتند از پنهانه سرخ اکسایشی و پنهانه احیایی کانه‌زایی شده (شکل ۴). تعیین شرایط کانه‌زایی کانسارهای مس‌چینه‌سان با سنگ میزبان رسوی نیازمند بررسی‌های گستردۀ در سنگ میزبان لایه‌های احیایی و همچنین لایه‌های سرخ است [۱۶-۲۰].

درصد درشت بلور دارد. کانی‌های آن شامل پلاژیوکلاز با اندازه ۰،۲ تا ۰،۳ میلیمتر (۴۵-۵۰ درصد حجمی)، فلدسپار قلیابی با اندازه ۰،۲ تا ۰،۳ میلیمتر (۳-۵ درصد حجمی)، هورنبلند با اندازه ۰،۱ تا ۰،۳ میلیمتر (۴-۵ درصد حجمی) و پیروکسن (۲-۱ درصد حجمی) هستند. در این واحد، زمینه به شدت کربناتی شده است و پلاژیوکلازاها به کانی رسی تبدیل شده‌اند (شکل ۵ ج).

#### کانی‌سازی

در منطقه مس امیر آباد، کانی‌سازی به شکل لایه‌ای و عدسی (شکل‌های ۴ و ۶ الف) در واحدهای رسوی (تناوب ماسه‌سنگ



شکل ۶ الف) تصویر صحرایی از کانی‌سازی به شکل عدسی همروند با سنگ میزبان ماسه‌سنگی، ب) کانی پیریت با بافت پراکنده، پ) رگچه مالاکیت، کالکوسیت و کوولیت، ث) کالکوسیت و کوولیت و کوولیت اوایله . (Py=پیریت، Mlc=مالاکیت، Cct=کالکوسیت، Cv=کوولیت [۱۵]).

گردید. کانی پیریت بصورت شکل دار و با اندازه  $۰\text{,}۰۲\text{,}۱\text{,}۰\text{,}۰۱$  میلی-متر دارای بافت پراکنده است (شکل ۶ ب). کالکوسیت کانی سولفیدی اصلی در کانسار مس امیرآباد بوده که دارای دو نسل است. کالکوسیت اولیه بصورت پراکنده، جانشینی و رگچه‌ای دیده می‌شود (شکل ۶ ث). نسل دوم کالکوسیت‌های ثانویه هستند که در اثر فرایندهای برونزاد ایجاد شده‌اند. کوولیت کانی ثانویه سولفیدی است که در اثر جانشینی ثانویه در لبه کانی کالکوسیت ایجاد می‌شود (شکل ۶ ت). ملاکیت فراوان-ترین کانی در رخداد معدنی منطقه امیرآباد است (شکل‌های ۶ الف، پ و ۷). این کانی از اکسایش کانی‌های سولفیدی اولیه مس (کالکوسیت) ایجاد شده است.

#### زمین‌شیمی

#### زمین‌شیمی پهنه‌کانی‌سازی

بر اساس نتایج زمین‌شیمیایی پهنه‌های کانی‌سازی، مقدار مس از  $۲\text{,}۵۷$  درصد تا بیش از  $۶$  درصد در تغییر است. بیشترین مقدار مس مربوط به واحد آرنايت سنگی است که در بخش جنوب منطقه مورد بررسی رخنمون دارد. مس موجود در این واحد مربوط به حضور کوولیت، کالکوسیت و ملاکیت است. مقدار نقره بین  $۴$  تا  $۱۴$  گرم در تن در تغییر است. بیشترین مقدار این عنصر مربوط به واحد آرنايت سنگی بوده که در جنوب منطقه موردبرسی رخنمون یافته است. مقدار سرب از  $۴$  تا  $۸$  گرم در تن در تغییر بوده و بیشترین مقدار آن مربوط به واحد کوارتز‌آرنايت است. این واحد در مرکز منطقه گسترش یافته است. مقدار روی بین  $۵۵$  تا  $۹۹$  گرم در تن در تغییر بوده و بیشترین مقدار آن نیز مربوط به واحد کوارتز‌آرنايت در مرکز منطقه مورد بررسی است. هیچ کانی مستقلی برای نقره، سرب و روی در منطقه مورد بررسی شناسایی نشد.

پهنه سرخ اکسایشی در صحراء به رنگ قرمز-قهوه‌ای تا سرخ دیده می‌شود. ترکیب سنگی این بخش بیشتر از کوارتز‌آرنايت تا آرنايت فلدسپاتی و آرنايت سنگی است. رنگ قرمز آن به دلیل حضور اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن است. هیدروکسیدهای آهن به صورت قشرنازکی پیرامون قطعه‌های آواری و دانه‌های کوارتز وجود دارند.

در پهنه احیایی (کانی‌زایی شده)، کانی‌سازی به صورت لایه‌ای تا عدسی شکل رخ داده است (شکل ۶ الف). در حضور بقایای گیاهی با افزایش نفوذپذیری سنگ میزان، کانی‌زایی تشدید شده و با کاهش آن، از شدت کانی‌زایی کاسته می‌شود. سنگواره گیاهی با ایجاد یک محیط احیا پیرامون خود، باعث تهنشست مس و دیگر عناصر فلزی موجود در سیال اکسایشی عبور کننده از درون منفذ می‌شود [۲۱]. در منطقه امیرآباد، هرجا که موادآلی وجود داشته‌اند کانی‌زایی رخ داده است، شدت کانی‌زایی در قاعده ماسه‌سنگ‌ها به دلیل فراوانی بقایای گیاهی، بیشتر است (شکل ۷). افزون بر وجود سنگواره گیاهی، کانی‌سازی درون بخش‌های آرنايتی سنگی درشت دانه (نفوذ پذیر) رخ داده است. بنابراین می‌توان گفت که وجود گیاه به عنوان عامل احیایی و نفوذپذیری سنگ میزان برای کانی‌سازی در منطقه امیرآباد مهم است.

از دید کانی‌شناسی، کانسار مس امیرآباد دارای کانی‌های اولیه سولفیدی پیریت و کالکوسیت است که طی مراحل برونزاد کانی‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت، ملاکیت، هماتیت و گوتیت ایجاد شده‌اند (شکل‌های ۶ ب، پ و ت). در این منطقه، حدود شش ستون چینه بررسی شده‌اند و ضخامت لایه‌های کانی‌سازی بین  $۲۵$  سانتی‌متر تا  $۱$  متر و شیب آنها  $۱۵$  تا  $۳۰$  درجه است. کانی‌سازی بیشتر با بافت جانشینی، رگچه و به مقدار کمتر با بافت پراکنده در منطقه مورد بررسی دیده

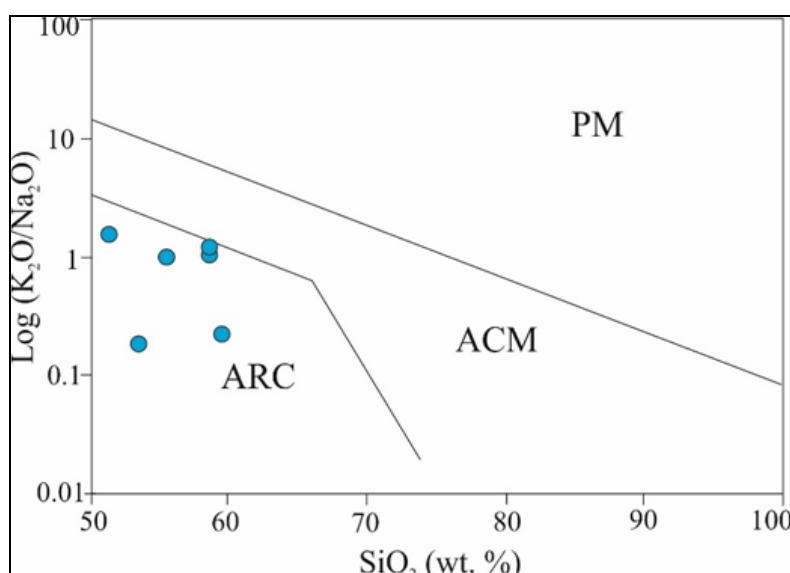


شکل ۷ تصویر صحرایی از (الف) سنگواره‌های گیاهی که با کالکوسیت جانشین شده‌اند و (ب) آثار سنگواره گیاهی در واحد کوارتز‌آرنايت. (مالاکیت [۱۵])

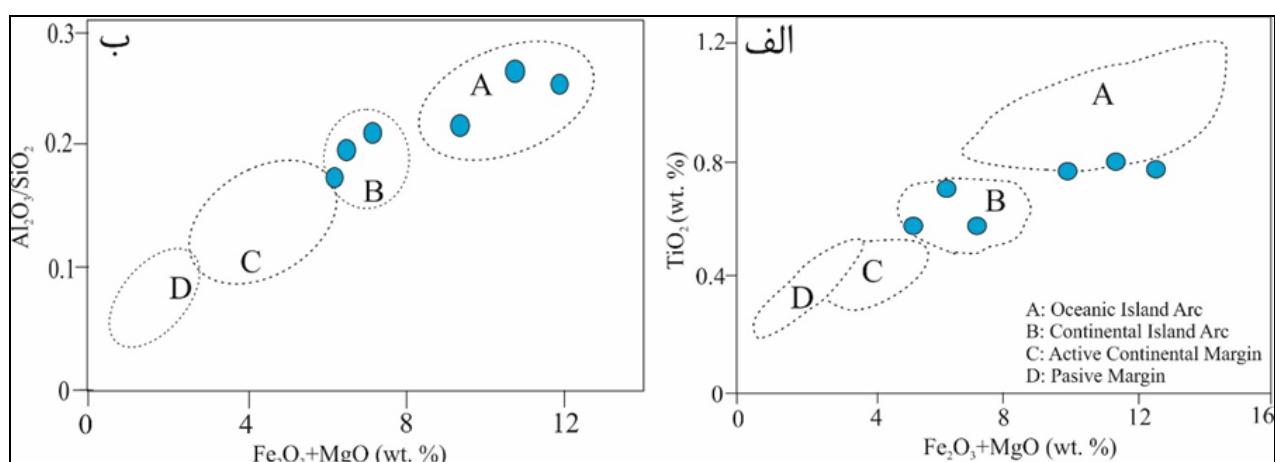
مقدار بالای  $\text{Al}_2\text{O}_3$  نیز مربوط به وجود فلدسپارها و همچنین کانی‌های رسی در واحد ماسه‌سنگی است. بر پایه مقدار اکسیدهای اصلی می‌توان موقعیت زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها را مشخص نمود. در نمودار مقدار  $\text{SiO}_2$  نسبت به  $\text{LogK}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  برای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی (شکل ۸) [۲۲]، ماسه‌سنگ‌های مورد بررسی در حوضه قوسی قرار دارند. همچنین بر اساس نمودارهای مقدار  $\text{TiO}_2$  نسبت به  $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  (شکل ۹ الف) و  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (شکل ۹ ب)، برای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی [۲۳]، ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد بررسی در یک حوضه رسوی وابسته به قوس ماقمایی قاره‌ای تا اقیانوسی نهشته شده‌اند.

### زمین شیمی سنگ میزبان ماسه‌سنگی

بر اساس نتایج زمین شیمیایی اکسیدهای اصلی از واحدهای ماسه‌سنگی منطقه امیرآباد، تغییرات  $\text{SiO}_2$  از ۵۱,۴۹ تا ۵۹,۱۹ درصد،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  از ۹,۵۳ تا ۱۶,۲۷ درصد،  $\text{CaO}$  از ۲,۵۶ تا ۱۲,۲۳ درصد،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  از ۳,۸۷ تا ۶,۴۴ درصد،  $\text{K}_2\text{O}$  از ۰,۶۵ تا ۰,۲۳ درصد،  $\text{MgO}$  از ۱,۷۷ تا ۵,۳۹ درصد،  $\text{MnO}$  از ۰,۰۸ تا ۰,۱۹ درصد،  $\text{P}_2\text{O}_5$  از ۰,۱۱ تا ۰,۴۵ درصد،  $\text{Na}_2\text{O}$  از ۰,۷۱ تا ۰,۱۹ درصد و  $\text{TiO}_2$  از ۰,۱۱ تا ۰,۱۹ درصد است. توزیع عناصر اصلی، نشانگر کانی‌شناسی نمونه‌های مورد بررسی است. مقادیر  $\text{CaO}$  در این نمونه‌ها می‌تواند به دلیل حضور سیمان کربناتی و کلسیت باشد. مقادیر  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  می‌تواند مربوط به اکسیدهای آهن در بخش ماسه‌سنگ سرخ اکسایشی باشد.



شکل ۸ نمودار تفکیک موقعیت زمین‌ساختی در ماسه‌سنگ‌های منطقه امیرآباد [۲۲].



شکل ۹ نمودار تفکیک کننده موقعیت تکتونیکی در ماسه‌سنگ‌های منطقه امیرآباد [۲۳].

برخی پژوهشگران [۲۵، ۲۶] کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوی را به ۳ گروه اصلی شامل رخسارهای احیایی (RF)، لایه‌های سرخ رنگ (RB) و ماسه سنگی احیایی (RV) تقسیم کرده‌اند. سنگ میزبان کانسارهای مس رسوی نوع سرخ لایه بصورت لایه‌ای و اغلب با کنگلومرا و ماسه سنگ‌ها (به ویژه آرکوز سنگی) همراه هستند [۲۳]. این دسته از کانسارها در فصل مشترک ماسه سنگ و کنگلومرای قرمز اکسایشی و خاکستری احیایی تشکیل می‌شوند [۱]. بر اساس موقعیت زمین ساختی، محیط ته نشست، سنگ میزبان، سنگواره‌های گیاهی، هندسه، ساخت، بافت، کانی‌شناسی، دگرسانی و عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی، کانسار امیرآباد شباهت بسیاری با کانسارهای مس رسوی نوع سرخ لایه دارد (جدول ۱).

### نوع کانه‌زایی

در کانسارهای مس رسوی، کانی‌سازی به طور کلی در واحدهای رسوی با سنگواره‌های گیاهی (برای مثال قطعه‌های چوب) در ارتباط بوده و این حالت تنها شاخص ذخایر نوع سرخ لایه است و کانه‌های اصلی شامل کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، پیریت، گالن، اسفالریت، کوولیت و کریزوکلا هستند که دو مورد آخر اغلب خاستگاه برونزادی دارند [۶]. کانه‌زایی مس در منطقه مورد بررسی در واحد ماسه‌سنگی (با فراوانی بقایای گیاهی) به شکل لایه‌ای و عدسی و همرونده با لایه‌بندی سنگ میزبان به صورت همزاد رخ داده است. کانه‌های اولیه سولفیدی پیریت و کالکوسیت و کانه‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت و گوتیت با بافت جانشینی، سیمان میان‌بلوری، رگچه و به مقدار کمتر با بافت پراکنده ایجاد شده‌اند.

**جدول ۱** مقایسه و ویژگی‌های کانسار امیرآباد با انواع مختلف کانسارهای مس با میزبان رسوی

	کانسارهای مس استراتی فرم با میزبان رسوی			کانسار مس امیرآباد
	افق قرمز	ذخایر ماسه سنگی (ربوت)	رخساره احیایی	
سن	نئوپروتروزوفیک - اواخر مژوزوفیک - اوایل سنوزوفیک	ریفت - حوضه‌های ملائی پس از کوه‌زایی	اوخر - اواسط نئوپروتروزوفیک	پالتوژن
محیط تکتونیکی	ریفت	ریفت	او لاکوژن و ریفت‌های درون قاره	قوس قاره‌ای تا اقیانوسی
محیط کانسار	محیط ساحلی، دلتا، محیط رودخانه‌های کم عمق	دلتا، پلایای حوضه، محیط ساحلی	تابدال (جز و مد)	
سنگ میزبان	توالی آواری افق قرمز شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن است	ماسه‌سنگ‌های با بستر ضخیم، سیلتستون و شیل با وسعت کمتر	شیل تیره تا خاکستری، سیلتستون، سنگ رسی، دولومیت کربن دار	ماسه سنگ
هندسه	لایه‌ای با بستر افق لنزی	صفحه لنزی مطابق با بستر	بستر ورقه‌ای ولنزی	لایه‌ای و عدسی
بافت و ساختار	پراکنده، جانشینی، شبه لامینه، سیمان شده	پراکنده، جانشینی	پراکنده، جانشینی، شبه لومینال، کلروفورم، سیمان	بافت جانشینی، سیمان میان بلوری، رگچه و پراکنده
کانی شناسی	کالکوسیت، بورنیت، پیریت، مس و نقره طبیعی، گالن، اسفالریت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، نقره طبیعی، گالن و اسفالریت	کالکوسیت، بورنیت، گالن، کالکوپیریت، پیریت، مس طبیعی، اسفالریت	کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، پیریت، هماتیت و گوتیت
آلتراسیون غالب	شسته شده	شسته شده	شسته شده و دولومیتی شده	شسته شده
منبع مس	توالی افق قرمز	توالی افق قرمز	توالی افق قرمز	توالی افق قرمز
عناصر همراه	نقره-سرب-روی-اورانیوم±کبات	نقره-سرب-روی-(مولیبدن)	کبات-نقره-سرب-روی-زرمانیم+طلاء	نقره-سرب-روی
مثال	ناسیمنتو، کوروکورو	دیزارگان، اسپارلیک	کوپرشیفر، زامبیا، کوموتو	*
رفنس	[۲۶]	[۲۸]	[۳۰]	
	[۲۷]	[۲۹]	[۲۱]	
	[۲]	[۲]	[۲]	
			[۳]	

## برداشت

در منطقه اکتشافی امیرآباد، کانی‌سازی به شکل لایه‌ای و عدسی در واحدهای ماسه‌سنگی و به مقدار بسیار محدود در واحد آندزیتی شناسایی گردید. ماسه‌سنگ‌های منطقه امیرآباد بیشتر از کوارتز، پلاژیوکلаз و خردہ سنگ‌های آتشفسانی (آندرزیت، تراکیت و به مقدار کمتر داسیت) تشکیل شده‌اند و ترکیب آرنایت سنگی تا کوارتز‌آرنایتی دارند. در بخش‌هایی با ترکیب بیشتر آرنایتی سنگی (درشت دانه) و دارای سنگواره‌های گیاهی فراوان، کانی‌سازی رخ داده است. این شواهد نشان دهنده نقش عوامل احیایی (سنگواره‌های گیاهی) و نفوذ پذیری بالا (درشت دانه) در شکل‌گیری کانی‌سازی مس امیر آباد هستند. منطقه اکتشافی امیرآباد را می‌توان از نظر سنگ‌میزبان (ماسه‌سنگ)، کانی‌های اولیه سولفیدی (پیریت و کالکوسبیت)، بافت و عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی (وجود آثار گیاهی به عنوان عامل احیا کننده) شبیه کانسارهای مس‌رسوبی نوع سرخ لایه در نظر گرفت. تا کنون کانی‌سازی‌های متعددی در ارتباط با فعالیت‌های ماقمایی گرمابی در پهنه بینالود شناسایی گردیده است. کانسار مس امیرآباد نخستین گزارش از کانی‌سازی مس نوع رسوبی است. با توجه به گسترش واحدهای ماسه‌سنگی در شمال نیشابور، این احتمال وجود دارد که ذخایر مشابهی از این نوع کانی‌سازی در شمال نیشابور وجود داشته باشند که این نیازمند کارهای اکتشافی بیشتر است.

## قدرتانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح شماره ۳۵۴۵۳۰ انجام شده است. از خانم‌ها مهندس آرزو خسروی فورگ و مهندس مینا رمضانی که در بخش عملیات صحرایی ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاریم.

## مراجع

- Hitzman M., Kirkham R., Broughton D., Thorsen J., Selley D., "The sediment-hosted stratiform copper ore system". In Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.M., R.J., Goldfarb, Richards, J.P., (Ed.), One Hundred Anniversary volume. Economic Geology, Littleton (2005 ) 609-612.

- Copper Deposit, Northwestern Zanjan ", Scientific-Research Quarterly of Earth Sciences 96 (2013) 249-262.*
- [22] Roser B. P., Korsch R. J., "Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub> Oratio", Journal of Geology 94 (1986) 635- 650.
- [23] Bhatia M. R., Crook K. A. W., "Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins", Contributions to Mineralogy and Petrology 92 (1986) 181-193.
- [24] Cox D. P., Carrasco R., André-Ramos O., Hinojosa-Velasco A., Long K. R., "Copper deposits in sedimentary rocks in U.S ", In Bleiwas, D.I. and Christiansen, R.G., (Eds.), Geology and Mineral resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia with a section on Application of economic evaluations to deposit models; Geological Survey and Servicio Geológico de Bolivia, Geological Survey Bulletin (1991) 95-108.
- [25] Thorson J. P., "Paradox Basin sandstone-hosted copper deposits generated by two episodes of basinal fluid expulsion ", Geological Society of America, Abstracts with Programs 36 (2004) 517p.
- [26] Woodward L. A., Kaufman W. H., Schumacher O. L., Talbott L. W., "Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico ", Economic Geology 69, (1974) 108-120.
- [27] Avila-Salinas W., "Origin of the copper ore at Corocoro ", Bolivia in Fontbote, Amstutz, G.C., Cardozo, M., Cedillos, E., Frutas, J., eds., Stratabound ore deposits of the Andes. Berlin-Heidelberg, Springer Verlag (1990) 659-670.
- [28] Gablina I.F., "New data on formation conditions of the Dzhezkazgan copper deposit ", International Geology Review 23 (1981) 1303-1311.
- [29] Adkins A.R., "Geology of the Montanore stratabound Cu-Ag deposit, Lincoln and Sanders Counties, Montana ", Belt Symposium III, Program and Abstracts, Whitefish, Montana, USA. (1993).
- ULREE IOCG type in Iran. Iranian Journal of Economic Geology", 3 (2012) 193-216.
- [11] Zarei A., Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., "Geochemistry and Genesis of Iron-apatite Ore in the Khanlogh Deposit, Eastern Cenozoic Quchan-Sabzevar Magmatic Arc, NE Iran", Acta geologica sinica 90 (2016) 121-137.
- [12] Asadzadeh Z, Heydarian Shahri M.R., Malekzadeh Shafaroudi A, "Geology, mineralogy and geochemistry of copper exploration area of Al-Majug, Khorasan-Razavi province", Second International Congress of Applied Geology, Islamic Azad University of Mashhad (2014) 328-336.
- [13] Ghaemi F., Hosseini K., "Geological map of Neishabur" Scale 1:100,000, Organization of Geology and Mineral Exploration of Iran (1999).
- [14] Folk R.L., "Petrology of sedimentary Rocks", Austin, Texas, Hemphill (1980) 159 p.
- [15] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.
- [16] Boyle R. W., Brown A. C., Jefferson C. W., Jowett E. C., Kirkham R. V., "Sediment-hosted stratiform copper deposits. Geological Association of Canada", Special Paper 36 (1989) 710 p.
- [17] Kirkham R. V., "Sediment-hosted stratiform copper. Geological Survey of Canada, Geology of Canada", 8 (1995) 223-240.
- [18] Brown A. C., "World-class sediment-hosted stratiform copper deposits characteristics, genetic concepts and metallotects ", Australian Journal of Earth Sciences 44 (1997) 317-328.
- [19] Brown A. C., "Global-scale constraints on the formation of sediment-hosted stratiform copper deposits", Proceedings, International Cornet symposium, Mons (1997) 93-102.
- [20] Brown, A. C., "sorkh layeh: source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead, and sandstone uranium-vanadium deposits", Geological Association of Canada, Geotext 4 (2003) 121-133.
- [21] Bikdeli Z., Ebrahimi M., Nabatian Q., Mokhtari M.A., "Mineralization, Mineralogy, Structure and Texture of Cheharabad Sedimentary

Association of Canada, Special Paper 36, Canada (1989) 427-452.

[31] Oszczepalski S., "Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland", Mineralium Deposita 34 (1999) 599-613.

[30] Annels A.E., "Ore genesis in the Zambian Copper belt, with particular reference to the northern sector of the Chambishi basin", In: Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett E.C., Kirkham R.V. (Ed.), Sediment - hosted Stratiform Copper Deposits. Geological