

# لیتوژئوشیمی و دگرسانی در اثر معدنی مس پورفیری سرنو، شمال غرب شهربابک، با نگرشی ویژه به سیالات درگیر

مجید قادری<sup>i</sup>؛ اردشیر هزارخانی<sup>ii</sup>؛ احسان زین‌الدینی<sup>iii</sup>

## چکیده

اثر معدنی مس پورفیری سرنو در شمال غرب شهربابک، در بخش جنوبی کمربند ولکانوپلوتونیک ارومیه-دختر واقع شده است. قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه، آتشفشانی‌ها و آذرآواری‌های ائوسن هستند که پورفیری‌های دیوریت و کوارتزیدیوریتی الیگومیوسن و داسیت‌ها و آندزیت‌های نئوژن در آنها نفوذ کرده‌اند. توده نفوذی دیوریتی و کوارتزیدیوریتی مولد کانه‌زایی در امتداد سیستم گسلی اصلی منطقه سرنو با کشیدگی شرقی-غربی جایگزین شده است. دگرسانی‌های موجود بیشتر از نوع فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک است و بیوتیتی‌شدن (دگرسانی پتاسیک ضعیف) به صورت محدود گسترش دارد. کانه‌زایی شامل مالاکیت، پیریت و کالکوپیریت است. ویژگی‌های ژئوشیمیایی تشکیل این اثر معدنی با مطالعات سیالات درگیر مشخص شد و نیز با بهره‌گیری از داده‌های زمین‌آماری، همبستگی مس با اکسیدهای عناصر اصلی و عناصر مولیبدن، سرب و روی، عمق فرسایش مشخص گردید. بیشتر سیالات درگیر سرنو، تک‌فازی و غنی از گاز است و دمای متوسط تولید سیالات ماگمایی حدود ۵۷۵ درجه و در عمق حداکثر ۲۰۰۰ متر و نیز همگن‌شدن فازهای نهایی، در ۳۲۱ درجه سانتی‌گراد منطبق با دگرسانی فیلیک، شوری پایین ۲۲/۹ درصد وزنی معادل نمک طعام و متوسط عمق، ۵۰۰ متر برآورد شد. با توجه به این دمای همگن‌شدن؛ که برای تشکیل یک زون فیلیک زایا برای این تیپ از کانسارها بسیار مناسب است، عدم وجود کانی‌زایی اقتصادی در این منطقه به علت ناپایداری و پایین بودن میزان کمپلکس‌های کلروره مس و در نتیجه، سالم‌تر ماندن فلدسپات‌های قلیایی است که خود عامل کاهش شوری سیال است. در نتیجه، مقدار ناچیزی کالکوپیریت اولیه و تشکیل شده نیز اکسید شده و از سیستم خارج شده است؛ لذا انجام کارهای اکتشافی تکمیلی بر روی اثر معدنی سرنو، به علت اقتصادی نبودن آن، در حال حاضر پیشنهاد نمی‌شود.

## کلمات کلیدی

لیتوژئوشیمی، دگرسانی، سیالات درگیر، مس پورفیری، سرنو

## *Lithochemistry & Alteration at Serenu Porphyry Copper Occurrence, Northwest of Shahr-e-Babak, With Special Reference to Fluid Inclusions*

Majid Ghaderi; Ardeshir Hezarkhani; Ehsan Zeinadini

### ABSTRACT

Serenu porphyry copper occurrence is located northwest of Shahr-e-Babak, in southern part of Orumieh-Dokhtar volcano-plutonic belt. Eocene volcanics and pyroclastics are the oldest geological units in the area. Oligo-Miocene diorite and quartzdiorite and Neogene dacite and andesite intruded the volcanics. Mineralized diorite and quartz diorite porphyries have emplaced along the main E-W trend fault system of the Serenu area. The alteration types are phyllic, argillic, propylitic and minor biotitization (weak potassic). The mineralization occurs as malachite, pyrite and chalcopyrite. Geochemical characteristics for the formation of the occurrence were determined through fluid inclusion studies. Moreover, using geostatistical data, the

<sup>i</sup> استادیار؛ گروه زمین‌شناسی اقتصادی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ mghaderi@modares.ac.ir

<sup>ii</sup> دانشیار؛ دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت؛ دانشگاه صنعتی امیرکبیر

<sup>iii</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی؛ دانشگاه تربیت مدرس

correlation between Cu and major oxides as well as Mo, Pb and Zn, the erosion depth of the occurrence was identified. The majority of fluid inclusions are mono-phase and vapor-rich, showing an average magmatic fluid generation of 575°C at 2000 meters depth; also, homogenization temperature of 321°C consistent with phyllic alteration and low salinity of 22.9 wt% NaCl equivalent, indicating an average depth of 500 meters. Since this homogenization temperature is suitable for the formation of a mineralized phyllic zone for this type of deposits, lack of economic mineralization in the area could be due to the instability and low amount of chlorine complexes and as a result, intact alkali-feldspars which itself is the reason for low salinity of the fluid. Therefore, the initial minor chalcopyrites have been oxidized and have left the system. For this reason, at present, conducting complementary exploration on the occurrence is not recommended.

**KEYWORDS:**

Litho geochemistry, Alteration, Fluid Inclusions, Porphyry Copper, Serenu

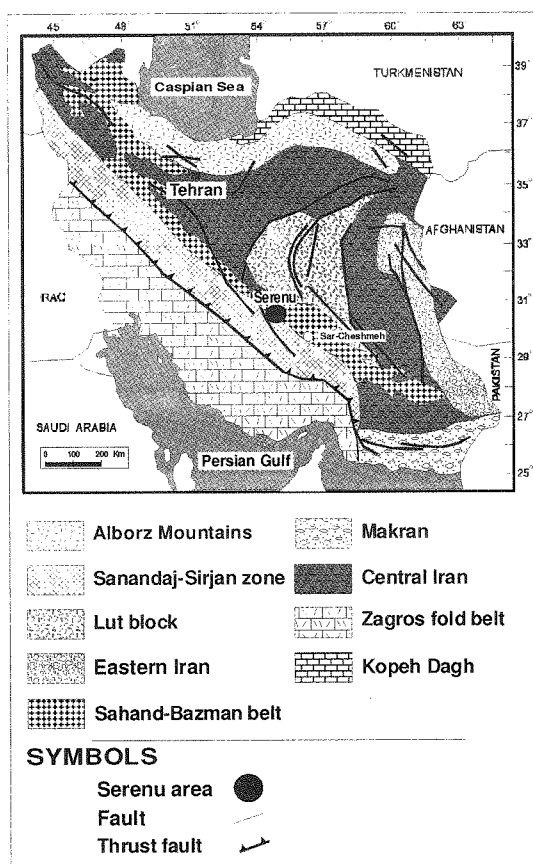
۱۰۸ آنالیز XRF برای اکسیدهای عناصر اصلی و AAS برای عناصر فرعی Cu, Mo, Pb و Zn و ۲۰ آنالیز XRD برای مطالعات لیتوژئوشیمیایی و دگرسانی بر روی نمونه‌های سنگی در آزمایشگاه مرکزی مجتمع مس سرچشمه صورت گرفت.

**۱- مقدمه**

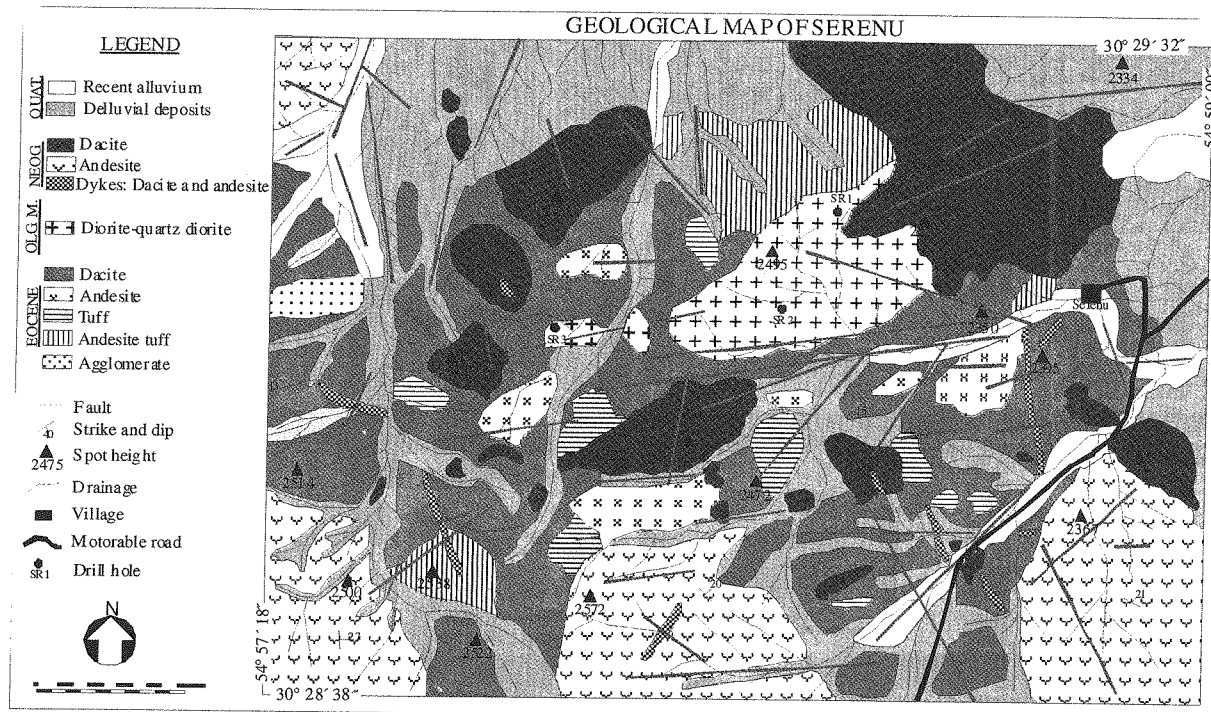
اثر معدنی مس پورفیری سرنو در ۵۰ کیلومتری شمال غرب شهربابک در محدوده طول‌های جغرافیایی ۵۴°۵۷'۱۸" تا ۵۴°۵۹'۰۹" شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۰°۲۸'۳۸" تا ۳۰°۲۹'۲۲" شمالی قرار گرفته است که بر اساس تقسیم‌بندی زمین‌ساختی [۱۰]، در قسمت شمال غربی کمربند دهج-ساردوئیه قرار دارد که خود بخشی از کمربند ولکانوپلوتونیک ارومیه-دختر است (شکل ۱). راه‌های دسترسی به منطقه از طریق جاده آسفالت شهربابک به جوزم و همچنین جاده آسفالته رفسنجان-انار-جوزم است. منطقه توپوگرافی کوهستانی و ارتفاعات بین ۲۲۵۰ تا ۲۵۵۰ متر دارد و مناطق کم‌ارتفاع‌تر از ۲۴۰۰ متر، نسبتاً هموار و سهل‌الوصول است. آبراهه‌ها به صورت شعاعی در جهات گوناگون توسعه یافته‌اند؛ اما آبراهه‌های اصلی، شرقی-غربی هستند. عمده‌ترین مطالعات انجام‌یافته در این منطقه را زمین‌شناسان گروه یوگسلاو در طی سال‌های ۱۹۷۱ و ۱۹۷۳ انجام داده‌اند [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]. بررسی حاضر، سعی بر آن است تا با تجزیه و تحلیل داده‌های علمی جدید شامل مطالعه لیتوژئوشیمی، دگرسانی و سیالات درگیر، امکان ادامه عملیات اکتشافی بر روی این اثر معدنی ارزیابی شود تا در صورت منفی بودن نتایج، از صرف هزینه‌های اضافی جلوگیری شود.

**۲- روش مطالعه**

مراحل اجرایی پژوهش حاضر شامل شناسایی اولیه ناحیه، تهیه نقشه زمین‌شناسی و سپس پیاده کردن شبکه نمونه‌برداری ۱۰۰×۱۰۰ متر در محدوده ۳ کیلومتر مربع بوده است. در مجموع، ۱۰۸ نمونه سنگی از منطقه برداشت شد که ۱۰۹ مقطع نازک، ۹ مقطع صیقلی و ۲۰ مقطع دوبرصیقل برای بررسی دگرسانی، کانه‌زایی و مطالعه سیالات درگیر و همچنین



شکل (۱): موقعیت اثر معدنی سرنو بر روی نقشه زمین‌شناسی ایران [۱۹]



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی محدوده اثر معدنی سرنو [۴]

در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده است [۲۴]. توده مزبور، رگچه‌های کوارتز نسبتاً فراوان و شکستگی‌های متعدد همراه با کانه‌زایی مالاکیت دارد. کالکوپیریت و پیریت بیشتر اکسیده شده‌اند. داسیت‌ها و آندزیت‌های نئوژن، حاصل جوان‌ترین فعالیت آتشفشانی در منطقه هستند که بیشترین ارتفاعات را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌های جوان، در نمونه دستی، متراکم و سخت و فاقد دگرسانی و کانه‌زایی هستند. ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای نئوژن در جنوب‌غربی منطقه توسعه یافته‌اند. نهشته‌های کواترنری، قسمت وسیعی از اطراف منطقه مورد مطالعه را می‌پوشانند که در طول آبراهه‌ها دیده می‌شوند و از قطعات و مواد آتشفشانی نیمه‌زاویه‌دار تشکیل شده‌اند. در شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه آورده شده است.

### سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن

قدیمی‌ترین و فراوان‌ترین سنگ‌های منطقه، آتشفشانی‌ها و آذرآواری‌های ائوسن هستند که عموماً از آندزیت، داسیت، آگلومرا و توف تشکیل شده‌اند [۲۴].

حفرات سطح سنگ، نشانگر بقایای بیوتیت و پلاژیوکلاز است که آهن آزاد شده از دگرش کانی‌ها (لیمونیت) این حفرات را پر و یا سطح سنگ را رنگ‌آمیزی کرده است. کانی‌های درشت آن، بیشتر پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند هستند. پلاژیوکلازها بیشتر رسی می‌شوند و به‌خوبی قابل تشخیص

در این پژوهش، سعی بر آن است که وضعیت زمین‌شناسی منطقه، نقش توده‌های نفوذی، آتشفشانی‌های ائوسن و گسل‌ها در کانه‌زایی اثر معدنی مس پورفیری سرنو، تفکیک انواع دگرسانی‌ها و همچنین تشخیص مناطق حاوی کانه‌زایی و ارتباط آن با نوع دگرسانی؛ و نیز نحوه توزیع عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی و اکسیدهای عناصر اصلی، ارزیابی شود. در این راستا همچنین به تجزیه و تحلیل داده‌ها و نیز بررسی سیالات درگیر شامل تعیین درجه شوری، درجه حرارت سیال کانسازان، عمق جایگزینی و فشار پرداخته می‌شود.

### ۳- زمین‌شناسی

قدیمی‌ترین و فراوان‌ترین سنگ‌های منطقه را آتشفشانی‌ها و آذرآواری‌های ائوسن تشکیل می‌دهند که شامل آندزیت، داسیت، آگلومرا و توف است و در اثر نفوذ توده کوارتز دیوریت و دیوریت پورفیری، دگرسان شده‌اند [۴]، [۷]، [۱۱]، [۲۵]. در بعضی مناطق، این دگرسانی همراه با کانه‌زایی است. کوارتز دیوریت‌های پورفیری شامل سه توده کوچک هستند که در بخش شمالی منطقه دگرسان شده مشاهده می‌شوند و به احتمال قوی، معرف قسمت‌های بالایی یک توده نفوذی بزرگ‌تر هستند. کوارتز دیوریت‌های پورفیری سرنو، اولین و مهم‌ترین فاز نفوذی در منطقه‌اند. منشأ کانه‌زایی مس و مولیبدن در منطقه، همین توده استوکی با سن نسبی الیگومیوسن است که

هستند. کوارتز به مقدار خیلی کم مشاهده می‌شود. کانی‌های تیره آن بیشتر به وسیله کلریت جانشین شده‌اند. شناسایی هورنبلندها با ویژگی‌هایی نظیر شکل سوزنی، رنگ روشن و جلای مات و بیوتیت‌ها با شکل کشیده تا شش‌گوش، رنگ سیاه و جلای درخشانده، امکان‌پذیر می‌شود. آپاتیت به صورت فرعی دیده می‌شود. مطالعه مقاطع نازک این سنگ‌ها، ترکیب زمینه را کانی‌های ریز سربسیست، کوارتز، فلدسپار پتاسیم، اکسید آهن، کلریت، هورنبلند و کانی‌های فلزی نشان داده و اکسید آهن به همراه کلریت به صورت پراکنده و یا در امتداد شکستگی‌های پلاژیوکلاز به رنگ سبز قهوه‌ای مشاهده می‌شود. در ضمن، در اثر سوختن کانی‌های مافیک نظیر هورنبلند و بیوتیت در حاشیه و یا در امتداد رخ‌های آنها، نواری از اکسید آهن (هماتیت) ملاحظه می‌شود. بافت معمول، میکرولیتیک پورفیریک و میکروگرانولار پورفیریک است. پلاژیوکلازها نیمه‌شکل‌دار و دارای ماکل پلی‌سنتتیک هستند که بیشتر در اثر دگرسان‌شدن به سربسیست، ماکل خود را به خوبی نشان نمی‌دهند. هورنبلند قهوه‌ای در متن سنگ‌ها وجود دارد که برخی از آنها سالم و رخ‌لوزی‌شکل دارند و اکثر آنها به اکسید آهن، بیوتیت، کلریت و کمتر اپیدوت تجزیه شده‌اند و قالب لوزی‌شکل آنها قابل مشاهده است. کانی‌های فرعی شامل زیرکن، آپاتیت و تیتانیت است و زمینه را پلاژیوکلازهای میکرولیتی، کوارتز و سربسیست تشکیل می‌دهد. کانی‌های ثانویه شامل سربسیست، کلریت، کلسیت و اپیدوت است (شکل ۳).

#### دیوریت و کوارتز دیوریت پورفیری الیگومیوسن

دیوریت و کوارتز دیوریت پورفیری منطقه، سه توده کوچک را در قسمت شمالی سنگ‌های بخش دگرسان‌شده تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها ساختار پورفیری هولوکریستالین و رنگ خاکستری روشن دارند. بافت آنها، پورفیری تا همسان‌دانه و کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده سنگ، پلاژیوکلاز، بیوتیت، هورنبلند و کوارتز است. آپاتیت به صورت فرعی دیده می‌شود. درشت‌بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار پلاژیوکلاز به صورت زونال، سربسیستی و کربناتی‌شده می‌باشند. مقداری کوارتز بی‌شکل و نیمه‌شکل‌دار به صورت پراکنده و با جلای شیشه‌ای دیده می‌شود. کانی‌های تیره شامل بیوتیت و هورنبلند است و به وسیله کلریت و کوارتز جانشین شده‌اند. زمینه، دانه‌متوسط و از پلاژیوکلاز، کلسیت، فلدسپار پتاسیم، کوارتز و مقدار کمی بیوتیت تشکیل یافته است. کانی‌های ثانویه حاصل از دگرسانی کانی‌های اصلی و فرعی؛ که در متن سنگ دیده می‌شوند عبارت از سربسیست و فلدسپار پتاسیم حاصل از تجزیه شدید پلاژیوکلازها، کانی‌های رسی حاصل از تجزیه فلدسپارهای

پتاسیم زمینه، کلریت، بیوتیت ثانویه و سربسیست حاصل از تجزیه بیوتیت‌های اولیه و هورنبلند است (شکل ۳).

#### داسیت‌ها و آندزیت‌های نئوژن

داسیت‌ها و آندزیت‌های نئوژن، حاصل جوان‌ترین فعالیت آتشفشانی در این منطقه است و سن آنها را می‌توان پلیو-پلئوستوسن در نظر گرفت. این سنگ‌ها در نمونه دستی، متراکم، سخت و فاقد دگرسانی هستند. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت در داسیت‌ها و درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در آندزیت‌ها به راحتی قابل تشخیص است. این سنگ‌ها ترکیب کانیایی متغیر دارند و با توجه به تغییرات میزان کوارتز، ترکیب داسیتی از خود نشان می‌دهند. در مطالعه مقاطع نازک، درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند به خوبی قابل تشخیص است و در داسیت‌ها علاوه بر کانی‌های فوق، کوارتز نیز دیده می‌شود. زمینه ریزدانه و بیشتر از پلاژیوکلاز و کمتر از کوارتز، کلسیت و کانی‌های تیره تشکیل شده و بافت میکرولیتیک پورفیری نیز دارند. کلریتی‌شدن کانی‌های مافیک (بیوتیت و هورنبلند) مشخص است. خوردگی خلیجی کوارتز در طی بالا آمدن ماگما و به علت تغییر فشار حاصل شده است و یا اینکه نتیجه رشد ناپایدار اولیه است [۲۶]، (شکل ۳).

#### ع- دگرسانی

در منطقه سرنو، دگرسانی گرمایی با گسترش تقریبی ۳ کیلومتر طول و بیش از یک کیلومتر عرض در جهت شرقی-غربی، آتشفشانی‌ها و آذرآواری‌های ائوسن و توده کوارتز دیوریت پورفیری را تحت تأثیر قرار داده است [۱۰]. دگرسانی در منطقه به صورت یکنواخت اتفاق نیفتاده و بیشترین گسترش آن در کوارتز دیوریت‌های پورفیری؛ که غالباً خرد و برشی هستند، مشاهده می‌شود.

سنگ‌های آذرین این منطقه، تحت تأثیر دگرسانی‌های پتاسیک ضعیف (بیوتیتی‌شدن)، فلیک، آرژیلیک، پروپیلیتی و سیلیسی‌شدن قرار گرفته‌اند. تشخیص انواع دگرسانی‌های منطقه، بر اساس مشاهده رخنمون سنگ‌ها، بررسی نمونه‌های دستی، نتایج آنالیز و مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته است. دگرسانی گرمایی باعث تغییر کانی‌های اولیه و تشکیل کانی‌های ثانویه؛ مانند سربسیست، کلریت، اپیدوت، کائولینیت، کربنات‌ها، سیلیس و کانی‌های معدنی شده است.

**دگرسانی فیلیک:** این دگرسانی (که با رنگ روشن مشخص است) در منطقه سرنو از نظر شدت و گسترش بر دیگر مناطق دگرسانی برتری دارد، به طوری که دگرسانی‌های دیگر را به میزان زیادی متأثر ساخته، آنها را پوشانده و علاوه بر قسمت‌هایی از توده نفوذی، سنگ دیواره و آتشفشانی‌ها را نیز تحت تأثیر قرار داده است. سریسیت به همراه کوارتز، مؤید دگرسانی فیلیک در منطقه است [۱۴]، (شکل ۴).

**دگرسانی آرژیلیک:** در منطقه مورد مطالعه، رسی شدن در قسمت‌هایی از توده نفوذی و بیشتر در آتشفشانی‌های ائوسن مشاهده شد. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، رسی شدن، بیشتر پلاژیوکلازها را تحت تأثیر قرار داده است. در اطراف رگچه‌های سیلیسی نیز گسترش کانی‌های رسی مشاهده می‌شود.

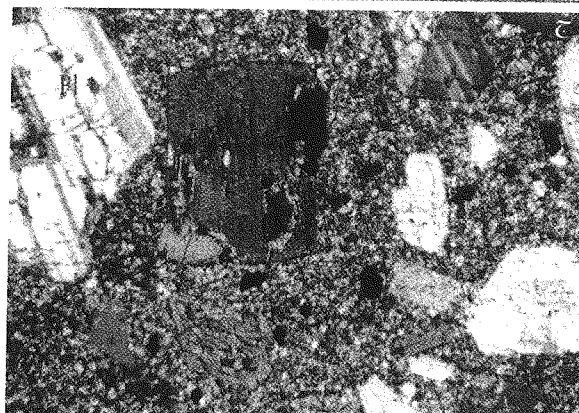
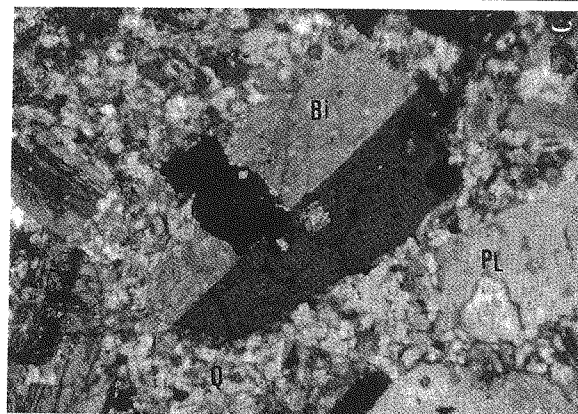
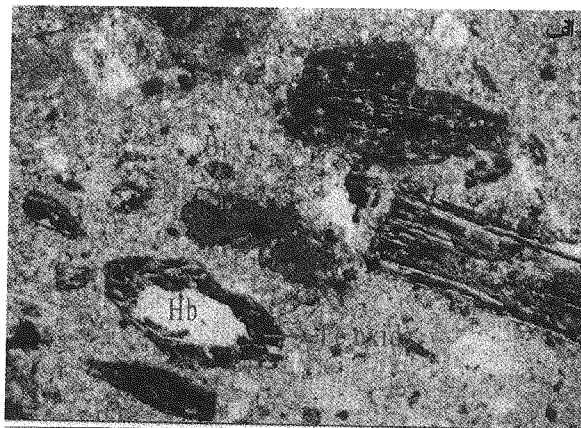
**دگرسانی پروپیلیتیک:** در منطقه سرنو، دگرسانی پروپیلیتیک، خارجی‌ترین هاله دگرسانی را به رنگ سبز تشکیل می‌دهد. حفره‌های پر شده از کلسیت و کلریت در صحرا قابل مشاهده است. این دگرسانی بر سنگ دیواره و برخی از دایک‌های منطقه، منطبق است و شامل کانی‌های گروه اپیدوت، کلریت، کلسیت و به مقدار کمتر، کانی‌های رسی و سریسیت می‌باشد.

**دگرسانی سیلیسی:** در این منطقه، دگرسانی سیلیسی در توده نفوذی کوارتز دیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. هجوم سیالات غنی از سیلیس، حاصل مرحله پایانی فعالیت گرمایی است [۵] که باعث توسعه رگه-رگچه‌های فراوان سیلیسی در منطقه شده است و علاوه بر توده نفوذی، در آتشفشانی‌های ائوسن به مقدار کمتر مشاهده می‌شود.

**سایر دگرسانی‌ها:** از دیگر دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه می‌توان به سوسوریتی شدن، کلسیتی شدن، اپیدوتی شدن و کلریتی شدن اشاره کرد که به طور پراکنده در توده نفوذی و آتشفشانی‌های ائوسن دیده می‌شود.

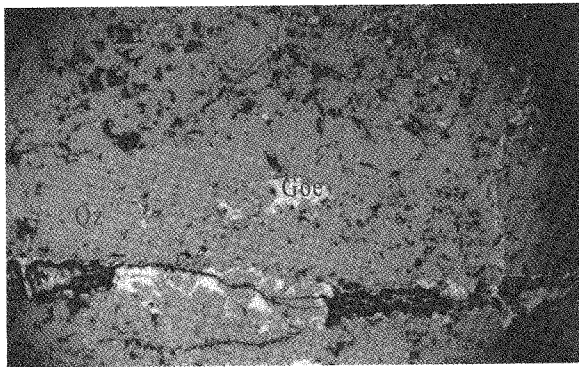
## ۱-۵- کانه‌زایی

کانه‌زایی در منطقه سرنو، در قالب دو بخش درون‌زاد و برون‌زاد صورت گرفته است. کانه‌زایی درون‌زاد به صورت انتشاری و رگچه‌ای دیده می‌شود.

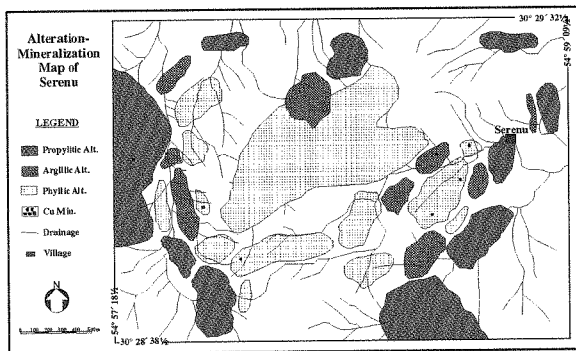


شکل (۳): تصاویر میکروسکوپی واحدهای سنگی منطقه سرنو؛ الف) آندزیت ائوسن، ب) کوارتز دیوریت پورفیری الیکومیوسن، ج) داسیت نئوزن

**دگرسانی پتاسیک:** دگرسانی پتاسیک در منطقه از گسترش بسیار کمی برخوردار است. از آنجا که در توده نفوذی سرنو، اکثر بیوتیت‌های اولیه و هورنبلندها، تحت دگرسانی بیوتیتی شدن (بیوتیت ثانویه) قرار گرفته‌اند و نیز بخش ناچیزی از پلاژیوکلازها به ارتوز ثانویه تبدیل شده است، می‌توان نتیجه گرفت که دگرسانی پتاسیک از نوع ضعیف است. این نوع دگرسانی را می‌توان حاصل کاهش غلظت یون پتاسیم نسبت به یون هیدروژن در سیال گرمایی دانست [۹]، (شکل ۴).



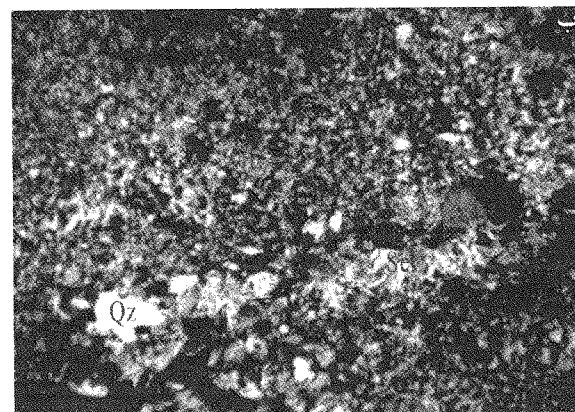
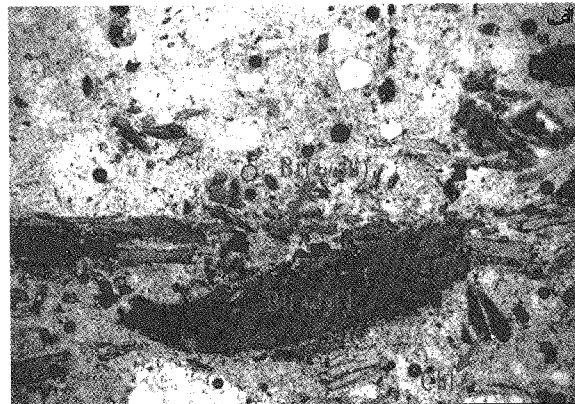
شکل (۵): تصویر میکروسکوپی کانه‌زایی در منطقه سرنو



شکل (۶): نقشه دگرسانی-کانه‌زایی در اثر معدنی سرنو

در اثر معدنی مس پورفیری سرنو، سولفیدهای اولیه، کانی‌های اصلی را تشکیل می‌دهند و سولفیدهای ثانویه، کیمیا هستند [۱۲]. در مطالعه میکروسکوپی ماده معدنی، همراهی کانیایی زیر مشخص شد: پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت، پیروتیت، تتراهدریت، انارژیت، گالن، اسفالریت، کالکوسیت، کولیت و روتیل. عمده‌ترین و مهم‌ترین کانی‌ها، پیریت و کالکوپیریت است. مقادیر دیگر کانی‌ها، بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی است. عیار پیریت بین ۰/۶ تا ۱۰ درصد متغیر است. این کانی فراوان‌ترین کانی معدنی است و آغشتگی‌هایی را تشکیل می‌دهد و یا شکستگی‌های خیلی ریز را پر می‌کند. پیریت معمولاً به صورت بی‌شکل، یا تمام‌بلور و ریزدانه است و دارای میانبارهای مگنتیت، کالکوپیریت و پیروتیت است. قسمت‌هایی از پیریت، خورده شده و به وسیله کالکوپیریت جانشین شده است. کالکوپیریت فراوان‌ترین کانی مس‌دار است، این کانی به طور نامنظم توزیع شده و آغشتگی‌ها یا رگچه‌هایی را تشکیل می‌دهد. همبستگی متقابل بین عیار پیریت و کالکوپیریت مشاهده نشده و کالکوپیریت در بعضی از بخش‌های نفوذی‌ها به مراتب فراوان‌تر است؛ در حالی که در همین قسمت‌ها، مقدار کلی سولفیدها کمتر است [۱۲].

به طور متوسط، عیار کالکوپیریت در منطقه حفاری شده حدود ۰/۴ درصد است. کالکوپیریت معمولاً به صورت ریزدانه



شکل (۴): تصاویر میکروسکوپی دگرسانی در واحدهای سنگی منطقه سرنو: الف) دگرسانی پتاسیک، ب) دگرسانی فیلیک

در مشاهدات صحرایی، کانه‌سازی به صورت استوکورک و شکستگی‌های آغشته به اکسید آهن، مالاکیت با رگچه‌های سیلیسی همراه با کانه‌زایی است. کانی‌سازی اولیه یا درون‌زاد که در نتیجه تأثیر سیالات ماگمایی-گرمايي کانه‌دار تشکیل می‌شود، قسمت اعظم کانی‌سازی مس را در منطقه به خود اختصاص داده است. پیریت، فراوان‌ترین کانی سولفیدی اولیه است. کالکوپیریت به صورت بی‌شکل، پراکنده و رگچه‌ای است. غنی‌شدگی ثانویه در ناحیه سرنو، چندان گسترش ندارد و علت آن را می‌توان، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و توپوگرافی پست منطقه دانست که در نتیجه آن، میزان شسته‌شدن عناصر فلزی کاهش می‌یابد، و همچنین وجود بارندگی‌های شدید، سبب انتقال سریع عناصر شسته‌شده به چرخه آب‌های سطحی و خروج آنها از منطقه شده است. مجموعه‌های سولفیدی غنی‌شدگی ثانویه در منطقه شامل کولیت (که به مقدار کم جانشین کالکوپیریت شده است) و نیز کالکوسیت (به عنوان محصول دگرسانی کالکوپیریت) است. در منطقه اکسیدان، مالاکیت، کالکانتیت، گوتیت، هماتیت و ژاروسیت دیده می‌شود (شکل ۵). شکل (۶) نقشه دگرسانی-کانه‌زایی در اثر معدنی سرنو را به نمایش می‌گذارد.

و بی‌شکل است و در هم‌رشدی با پیریت دارد و یا تشکیل میانبار در این کانی می‌دهد. مگنتیت به صورت ریزدانه و ایدئومرف و حاوی میانبارهایی از سولفیدها (عمدتاً کالکوپیریت) است. مگنتیت غالباً به هماتیت تبدیل می‌شود. پیروتیت بسیار کمیاب است و میانبارهای ریزی را در داخل پیریت تشکیل می‌دهد. تتراهدريت؛ که به وسیله گروه تنانتیت شناخته می‌شود، دانه‌های مجزایی را تشکیل می‌دهد و کانی بسیار کمیابی نیز است. انارژیت بسیار کمیاب است و تنها میانبارهای ریز در داخل تتراهدريت را تشکیل می‌دهد. گالن و اسفالریت رگچه‌های ریز و بسیار کمیابی را در داخل شکستگی‌های ریز تشکیل می‌دهند. این دو کانی همچنین در هم‌رشدی با کالکوپیریت دارند. کالکوسیت و کوولیت محصولات دگرسانی کالکوپیریت هستند و پوشش‌های نازکی را در طول شکاف‌ها تشکیل می‌دهند یا اینکه روی دانه‌های کالکوپیریت را می‌پوشانند [۱۲].

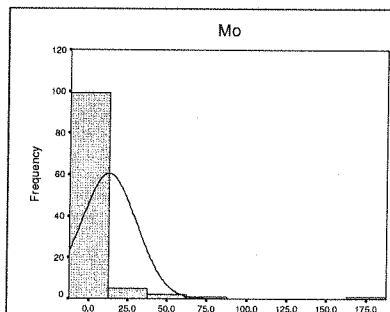
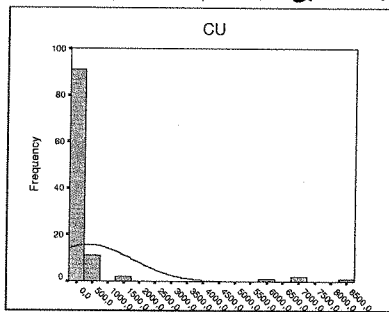
## ۲-۶- بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی

بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی باید با تکیه بر قوانین حاکم بر تمرکز عناصر در سنگ‌ها انجام شود [۱]، [۳]. در این روش، تغییرات تمرکز شاخص‌های ژئوشیمیایی بسیار بااهمیت است. عناصر معرف باید طوری انتخاب شوند که بتوانند نشان‌دهنده شاخص‌ترین مراحل یا فرآیندهای تشکیل کانساز باشند [۲]. در این تحقیق، ۱۰۸ نمونه در مساحتی بالغ بر ۳ کیلومتر مربع در جهت شرقی-غربی با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر از رخنمون به صورت ردیفی-تصادفی برداشت شد. در طراحی این شبکه نمونه‌برداری، محدوده زون‌های دگرسانی-کانی‌سازی و نیز محدوده عملکرد فرآیندهای ساختاری مدنظر بوده است. قابل ذکر است که در بعضی موارد، به دلیل پوشش منطقه و آبرفت و عدم وجود رخنمون سنگی در طول یک مسیر، نمونه‌ای برداشت نشد. برای جلوگیری از آلودگی نمونه‌ها، تمامی مراحل آماده‌سازی، با دقت انجام و نمونه‌ها برای اکسیدهای  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و عناصر فرعی  $\text{Cu}$ ،  $\text{Mo}$ ،  $\text{Pb}$  و  $\text{Zn}$  به روش‌های XRF و AAS و نیز تعدادی از نمونه‌ها برای اطمینان بیشتر به روش شیمی مرطوب در آزمایشگاه مرکزی مجتمع مس سرچشمه تجزیه شدند. داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌ها، تحت برنامه‌های آماری و زمین‌آماری، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

## تجزیه و تحلیل آماری داده‌های ژئوشیمیایی

در پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، اولین قدم، تعیین مقادیر عنصری به عنوان متغیرهای اکتشافی و مطالعه توابع توزیع

آماری این متغیرهاست [۲۳]. در شکل (۷) با توجه به هیستوگرام داده‌های خام  $\text{Cu}$  و  $\text{Mo}$ ، تابع  $\text{Cu}$  و  $\text{Mo}$  از یک توزیع بهنجار لگاریتمی (lognormal distribution) تبعیت می‌کند. برای مس و مولیبدن، هر کدام دو جمعیت می‌توان در نظر گرفت. بالاترین عیار مس ۸۴۰۰ ppm و بالاترین مقدار مولیبدن ۱۶۶ ppm است. در مجموع، هر دو نمودار، چولیدگی (skewness) مثبت دارند. تفکیک جمعیت‌ها در جدایش زمینه ژئوشیمیایی از مقدار بی‌هنجاری (anomaly) اهمیت دارد.



شکل (۷): هیستوگرام داده‌های خام مس و مولیبدن در اثر معدنی سرنو

وجود یک چنین تابع توزیع مقادیر مس، حاکی از کانی‌سازی درون‌زاد و کم‌عیار در بخش‌های مرکزی متمایل به شمال و جنوب شرقی اثر معدنی سرنو است. بیشترین فراوانی عنصر مولیبدن به پایین‌ترین حد تمرکز این عنصر مربوط است که نشان‌دهنده حد پایینی حساسیت دستگاه اندازه‌گیری اتمیک است. این مقادیر تحت عنوان داده‌های هنجار شده شناخته شده و تأثیر زیادی در تغییر شکل تابع پراکندگی و ایجاد چولیدگی در نمودار توزیع دارد و بنابراین سعی می‌شود با قرار دادن مقادیر معین به جای مقادیر هنجار شده، تأثیر چنین داده‌هایی به حداقل برسد. در اثر معدنی سرنو، بیشترین مقدار کانه‌زایی  $\text{Mo}$ ، در بخش مرکزی و با روند شرقی-غربی است که تقریباً منطبق بر کانه‌زایی  $\text{Cu}$  است. با توجه به ضرایب همبستگی Spearman (جدول ۱) می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین همبستگی  $\text{Cu}$  با  $\text{Mo}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  است. با در نظر گرفتن همبستگی منفی  $\text{Cu}$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  می‌توان نتیجه گرفت که کانه‌زایی در زون

آرژلیک وجود ندارد.

جدول (۱): همبستگی چندگانه ژئوشیمیایی عناصر در اثر معدنی سرنو

Cu	1																			
Pb	0.092	1																		
Zn	0.209	0.031	1																	
Mo	0.212	0.460	-0.122	1																
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.174	-0.290	0.063	-0.141	1															
K <sub>2</sub> O	0.042	0.225	-0.032	0.238	-0.349	1														
CaO	-0.010	-0.488	0.270	-0.321	0.235	-0.260	1													
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.400	-0.188	0.533	-0.033	0.188	-0.170	0.362	1												
SiO <sub>2</sub>	-0.187	0.235	-0.417	0.271	0.081	0.161	-0.688	-0.451	1											
MgO	0.224	-0.276	0.431	-0.153	0.262	-0.376	0.652	0.576	-0.538	1										
Na <sub>2</sub> O	-0.036	-0.229	0.040	-0.238	0.044	-0.327	0.431	-0.091	-0.658	0.274	1									
	Cu	Pb	Zn	Mo	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O									

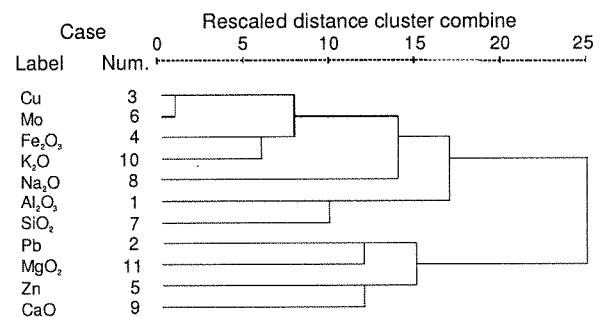
## ۷- مطالعه سیالات درگیر

لازمه هر گونه مطالعه و اندازه‌گیری سیالات درگیر، نمونه‌برداری صحیح و آماده‌سازی مقاطع خوب و قابل استفاده در مطالعات میکروترموتری است [۲۲]. نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه با توجه به گسترش کم توده نفوذی و سیلیسی شدن کم به صورت محدود و از نمونه‌های رگه‌ای کوارتزی صورت گرفت. نمونه‌های حاوی رگه‌های برداشت‌شده به زون فیلیک اثر معدنی سرنو مربوط است و سعی بر آن شد که از نمونه‌های با رگه‌های کوارتزی شفاف برداشت شود؛ زیرا کوارتز شفاف معمولاً بالاترین احتمال برای تهیه مقاطع مناسب سیال درگیر را داراست [۲۷]، [۲۸]. علاوه بر موارد فوق سعی شد نمونه‌برداری از مناطق با عیار بالا صورت گیرد. همبستگی مستقیم بین کوارتز به عنوان باطله با کانی‌زایی مناسب‌تر مس در رگه‌ها، اساس برداشت نمونه‌ها قرار گرفت. در مجموع ۲۰ مقطع دوبرصیقلی برای مطالعه سیالات درگیر در دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهیه شد. در این مطالعه، نمونه‌ها تا ضخامت ۲۰۰ میکرون نازک شده‌اند. مطالعات پتروگرافی، ابتدا با میکروسکوپ معمولی و سپس با خرد کردن نمونه به ابعاد ۴ تا ۵ میلی‌متر به وسیله دستگاه مطالعه سیالات درگیر از نوع Linkam مدل HF-S91 با کنترل حرارتی TMS92 و سرد کردن LNP در دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. با بررسی سیالات درگیر در نمونه‌های مورد مطالعه مشخص شد که بعضی از سیالات اندازه‌گیری شده، دوفازی غنی از مایع (L+V) و مقدار کمتری از آنها سه‌فازی (S+L+V) هستند؛ اما در مجموع سیالات غنی از گاز در مقاطع، فراوان‌ترین سیالات بوده‌اند. بیشتر این گروه اخیر سیالات درگیر تک‌فازی غنی از گاز هستند. در شکل (۹ الف)، سیالات درگیر سه‌فازی با حباب بزرگ گاز و در شکل (۹ ب)، سیالات دوفازی غنی از مایع همراه با حباب گاز آورده شده است. در شکل (۹ ج)، همجواری سیالات چندفازی و سه‌فازی همراه با سیالات تک‌فازی غنی از گاز؛ که نشان‌دهنده جوشش در سیستم‌های پورفیری است، دیده می‌شود. در نتیجه این جوشش، تمامی مس موجود در محلول نهشته شده است. ذکر این نکته لازم است که اکثر سیالات درگیر مورد بحث از نوع اولیه و همچنین فاز گازی در تمامی سیالات از نوع CO<sub>2</sub> است. این واقعیت با انجام Crashing Test و افزایش ناگهانی حجم گاز در جریان آزمایش تأیید شد. مطالعات سیالات درگیر در مقیاس میکروسکوپی و در دو بخش

همبستگی منفی Cu با CaO و مثبت ضعیف با MgO نشان‌دهنده کانه‌زایی بسیار ضعیفی در منطقه پروپلیتیک است که به علت آغشتگی مالاکیت است؛ ولی بین Cu و SiO<sub>2</sub> همبستگی، منفی است که نشان‌دهنده رخنمون کم توده نفوذی و سیلیسی شدن ضعیفی در منطقه است. همبستگی خوبی بین اکسیدهای CaO، MgO، Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> دیده می‌شود؛ ولی با این وجود، به طور کلی، بیشترین پراکندگی مس و مولیبدن در مرکز اثر معدنی است و پراکندگی Zn و Pb در حاشیه‌ها و منطبق با دیگر کانسارهای مس پورفیری است. شکل (۸) نمودار خوشه‌ای منطقه را نشان می‌دهد که با توجه به مطالب ذکر شده، همبستگی‌های موجود چیزی دور از ذهن نیست.

### HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS

Dendrogram using average linkage (between groups) at Serenu

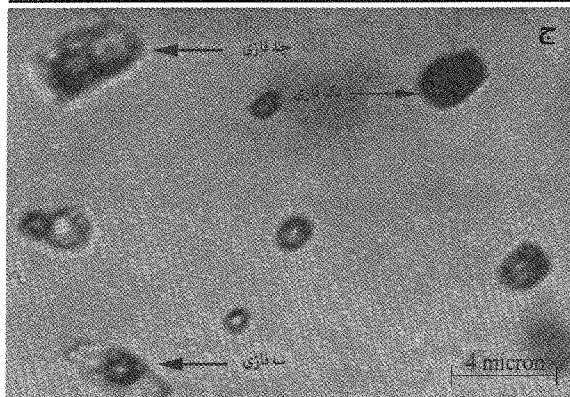
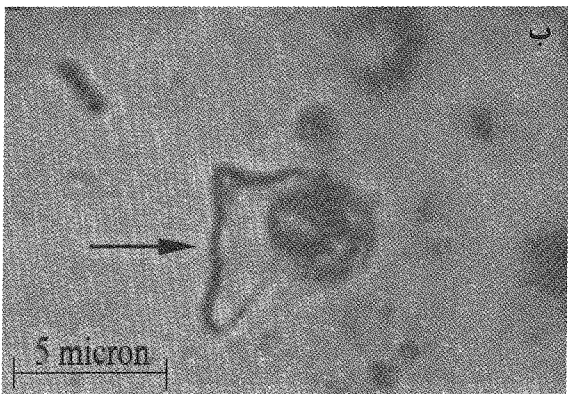
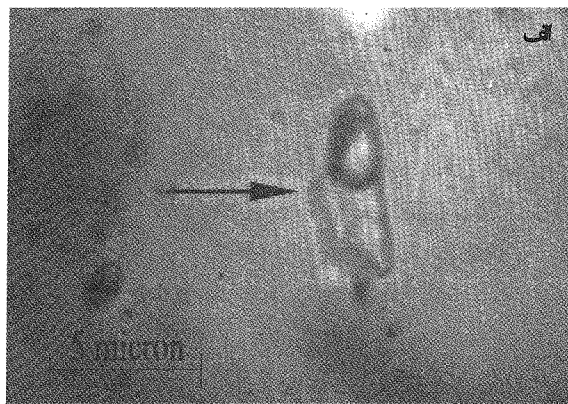


شکل (۸): نمودار خوشه‌ای اثر معدنی سرنو

## محاسبه سطح فرسایش

گسل‌های متعدد و فراوان در اثر معدنی سرنو وجود دارند که مهم‌ترین آنها، گسلی با روند شرقی-غربی است که از مرکز منطقه می‌گذرد و این اثر معدنی را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند. با توجه به شاخص‌های منطقه‌بندی به‌دست‌آمده از نسبت Pb\*Zn/Cu\*Mo در بخش‌های مختلف اثر معدنی، چنین نتیجه می‌شود که قسمت‌های شمالی، غربی و جنوب‌شرقی منطقه فرسایش کمتری را متحمل شده، و توده معدنی احتمالاً در عمق بیشتری قرار داشته است. البته، باید در مورد عناصر فوق‌کانساری با احتیاط برخورد شود. نسبت

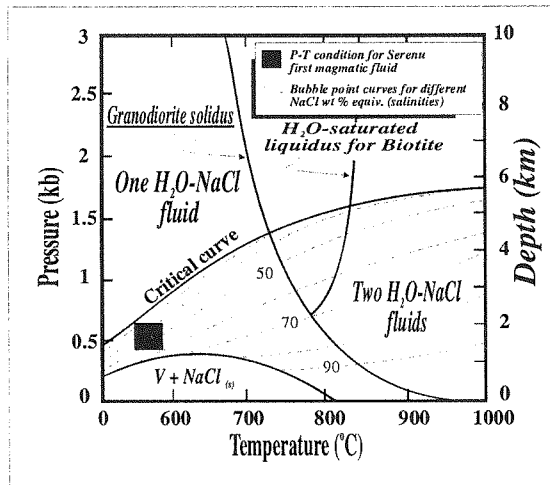




شکل (۹): تصاویر میکروسکوپی سیالات درگیر در اثر معدنی مس پورفیری سرنو؛ الف) سیالات سه‌فازی (مربوط به دگرسانی پتاسیک ضعیف)، ب) سیالات دو‌فازی (مربوط به دگرسانی فیلیک)، ج) همجواری سیالات چندفازی و سه‌فازی همراه با سیالات تک‌فازی

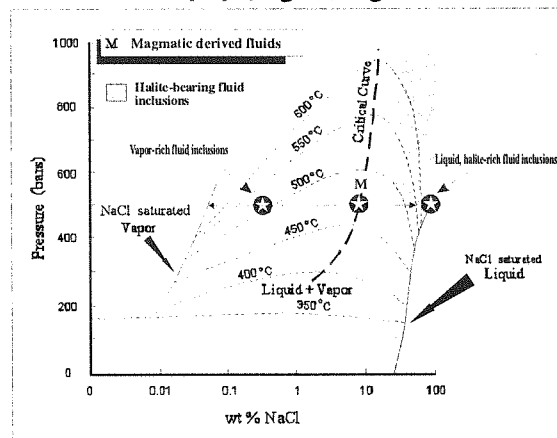
در شکل (۱۰) فراوانی درجه همگن‌شدن سه خانواده مشخص است که فراوان‌ترین آنها در محدوده دمایی ۲۲۵ تا ۳۲۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین فراوانی آنها در محدوده دمایی ۵۰۰ تا ۵۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته‌اند. دماهای به‌دست‌آمده در این آزمایش‌ها، به دلیل عدم تصحیحات مربوط به تأثیر فشار، کمترین دمای سیال کانی‌ساز را نشان می‌دهند. در شکل (۱۱) فراوانی شوری در منطقه آورده شده است که داده‌های مربوط به شوری سیال، دو افتادگی را نشان می‌دهد؛

سرمايش (freezing) و گرمایش (heating) صورت پذیرفت. در این مرحله با انتخاب سیالات بزرگ، مشخصات سیال؛ مانند شکل، اندازه، نوع سیال نسبت  $V/L$  و عکس‌برداری در مواردی که لازم بود، مدنظر قرار گرفت. در ابتدا، نمونه‌های مناسب را در دستگاه قرار داده و با نرخ سرمايش ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه ( $Rate\ 10^{\circ}C/min$ ) و تا حد نهایی ۱۵۰- درجه سانتی‌گراد دستگاه تنظیم شد. در دمای ۵۰- تا ۸۰- درجه سانتی‌گراد، تمامی نمونه‌ها یخ می‌زنند، سپس به مدت ۲ دقیقه دستگاه در وضعیت ثابت قرار گرفت. بعد از این مرحله، نمونه یخ‌زده با نرخ ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه آزمایش گرمایش شد. در این مرحله، اولین ذوب یخ به عنوان نقطه یوتکتیک ( $T_e$ ) تعیین شد. در ادامه گرمایش، دمای آخرین قطعه یخ؛ که به طور کامل ذوب شده است، یادداشت می‌شود که این همان  $T_m(ice)$  است. با استفاده از  $T_m$  می‌توان میزان شوری را به‌دست آورد؛ سپس برای به‌دست آوردن دمای همگن‌شدن سیال درگیر، نمونه را آنقدر حرارت می‌دهیم تا سیال، همگن و یکدست شود. با توجه به اینکه سیالات اکثر کانسارهای اقتصادی پایین‌تر از ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد همگن می‌شوند [۱۹] و دمای متوسط همگن‌شدن در نمونه‌های سرنو ۳۲۱ درجه سانتی‌گراد است، می‌توان نتیجه گرفت که دما برای تشکیل یک زون فیلیک خوب با عیار بالا تقریباً مناسب بوده است؛ اما به علت ناپایداری و پایین بودن میزان کمپلکس‌های کلروره مس - احتمالاً کلر و مس کمی در سیستم از بدو تشکیل وجود داشته تا کمپلکس کلرور مس ( $CuCl_2$ ) تشکیل و حمل و نهشت را سامان دهند- و در نتیجه، سالم‌تر ماندن فلدسپات‌های قلیایی و شوری کم سیال، در اثر معدنی سرنو، همان مقدار ناچیز کالکوپیریت اولیه تشکیل شده، اکسید و به مالاکیت تبدیل شده است [۱۵]، [۲۱]. علت کمبود  $Cl$  را می‌توان به ماگمای اولیه به‌شدت فقیر از کلر نسبت داد که بیوتیت و آمفیبول کمی را دارا بوده است؛ زیرا کلر در ساختمان بیوتیت و آمفیبول دیده می‌شود. همچنین مقدار مس از منشأ نیز کم بوده است و این مهم با عدم حضور بلورهای کالکوپیریت و سایر کانی‌های حاوی مس در سیالات درگیر اولیه مشهود می‌باشد.



شکل (۱۲): نمودار عمق به دمای سیالات درگیر تولید شده بر اثر تبلور ماگما در اثر معدنی سرنو

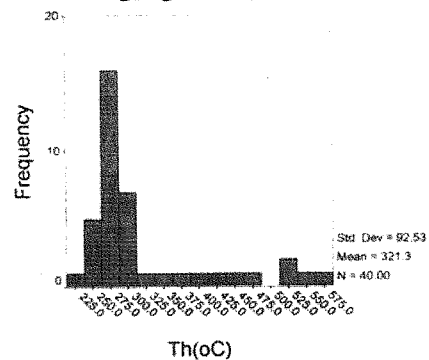
شکل (۱۳) تشکیل این تیپ اخیر سیالات درگیر در بازه‌ای از کاهش دما و فشار را به نمایش می‌گذارد که به تشکیل مستقیم آنها از منشأ ماگمایی منجر می‌شود [۱۷].



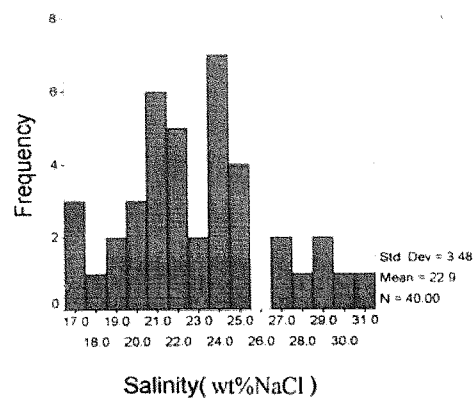
شکل (۱۳): نمودار شوری در مقابل فشار مربوط به تشکیل سیالات درگیر اثر معدنی سرنو [۱۷]

همگن شدن سیالات درگیر تأخیری در سیستم سرنو در شکل (۱۴) نشان داده شده است. دمای متوسط همگن شدن آنها ۲۲۱ درجه سانتی‌گراد است که در مرحله مخلوط شدگی ۵۰۰ متر؛ که تقریباً با فشار ۱۲۵ بار برابر است (نقطه Y در شکل ۱۴)، صورت گرفته است. این در حالی است که محلول‌های ماگمایی در فشار حدود ۵۰۰ بار و در حرارت ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد (نقطه M در شکل ۱۴) و تقریباً مشابه آنچه در کانسار ایجو در ۷ کیلومتری شمال اثر معدنی سرنو به دست آمد، تولید شده‌اند [۴]، [۶]. این تغییر فشار همچنین نشان می‌دهد که اثر معدنی سرنو پس از طی آخرین مرحله تکاملی خود، فرسایش قابل‌توجهی را تحمل کرده است (شکل ۱۴). مسیر X-Y-Z در شکل (۱۴) نمایش حرکت آب‌های جوی به

یعنی سه خانواده را می‌توان مشخص کرد. سیالات با شوری بالا (که برای تشکیل کانسارهای اقتصادی مس پورفیری مهم هستند) فراوانی بسیار کمی دارند (۲۶٪). از خصوصیات بارز این نمونه‌ها، وجود شوری وقفه‌دار (gap salinity) بود که خاص سیستم‌های مس پورفیری است. متوسط شوری در نمونه‌های اندازه‌گیری شده، ۲۲/۹ درصد وزنی نمک طعام بود که برای یک سیال مولد بسیار پایین است [۱۹]. حداکثر شوری در سیالات ۲۰/۶٪ و حداقل آن ۱۶/۶٪ است. وقفه شوری می‌تواند بیانگر فرآیند جوشش در سیال اولیه باشد که خاص سیستم‌های پورفیری است [۱۹]. مخلوط‌شدگی آب‌های جوی و سیالات گرمابی و نهایتاً گسترش زون فیلیک کم‌عیار در منطقه سرنو نشان‌دهنده سیالات با شوری کم است. یکی از دلایل غیراقتصادی بودن اثر معدنی سرنو، فراوانی فاز L+V و شوری کم سیالات درگیر مرتبط با کانی‌زایی مس است.

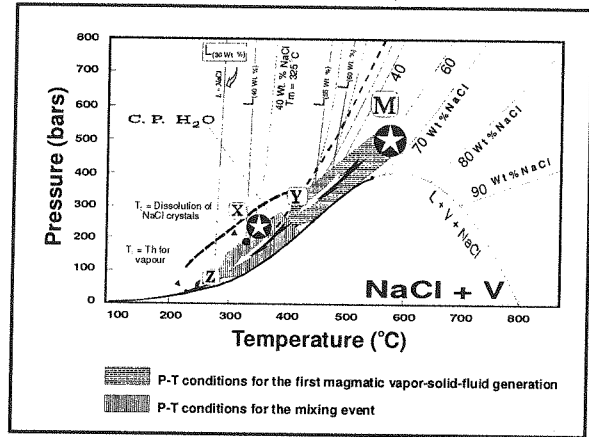


شکل (۱۰): هیستوگرام فراوانی درجه همگن شدن در اثر معدنی سرنو



شکل (۱۱): هیستوگرام فراوانی درجه شوری در اثر معدنی سرنو  
شکل (۱۲) نمایش عمق به دمای سیالات درگیر تولید شده بر اثر تبلور ماگما است [۱۷]. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ایجاد سیالات درگیر این تیپ در زمان انجماد نهایی یک گرانودیوریت فقیر از بیوتیت صورت گرفته است که خود یکی از شروط لازم برای ایجاد یک سیستم پورفیری است [۱۶].

داخل زمین و اختلاط آنها با سیالات ماگمایی حاصل از مرحله M است. به طور کلی، اکثر معادن مس پورفیری ایران در عمق ۱/۵ تا ۲ کیلومتر، محدوده حرارتی ۳۰۰ تا ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ بار و شوری ۲۵ تا ۵۸ درصد وزنی نمک طعام قرار می‌گیرند [۸]، [۱۸]، [۲۰]، که این شرایط در مرحله تکوین نهایی سرنو مهیا نبوده است.



شکل (۱۴): سازوکار تشکیل سیالات مولد موجود در اثر معدنی سرنو بر روی نمودار فشار-دما برای سیستم آب-نمک

## ۸- نتیجه‌گیری

توده نفوذی سرنو دو فاز ماگمایی دیوریت و کوارتز دیوریت دارد که در مرحله آخر به طور ضعیفی تحت تأثیر محلول‌های کانه‌دار و سیلیسی قرار گرفته و رگه‌های سیلیسی در سطح توده نفوذی دیده می‌شود. محلول‌های کانه‌دار همراه و پی‌آمد توده نفوذی، باعث دگرسانی شدید این توده‌ها و سنگ‌های درونگیر شده است که در محدوده مورد مطالعه، دگرسانی فیلیک با گسترش زیاد و همچنین دگرسانی رسی و پروپیلیتیک در حاشیه مشاهده می‌شود. دگرسانی بیوتیتی گسترش بسیار محدودی دارد. همچنین دگرسانی سیلیسی در توده نفوذی با گسترش محدود دیده می‌شود. دگرسانی فیلیک در خصوص سیالات دوفازه حرارت متوسط تا بالا، دگرسانی پتاسیک ضعیف با سیالات سه‌فازه و دوفازه حرارت بالا و دگرسانی پروپیلیتیک با سیالات دوفازه غنی از مایع با حرارت پائین تا متوسط است. کانی‌زایی در منطقه، شامل درون‌زاد، غنی‌شدگی سولفیدی ثانویه و اکسیدی است. منطقه غنی‌شدگی سولفیدی ثانویه ضخامت بسیار کمی دارد و از گسترش ناچیزی نیز برخوردار است. پاراژنز کانایی در این منطقه شامل کالکوسیت و بورنیت است [۱۰]. در منطقه اکسیدان نیز ژاروسیت، گوتیت، همتایت، مالاکیت و کالکانتیت گسترش دارند. بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی و آماری نمونه‌های سنگ بستر نشان می‌دهد که بی‌هنجاری‌های

مس-مولیبدن منطبق بر رخنمون توده نفوذی سرنو در مرحله دگرسانی فیلیک می‌باشند. عناصر سرب و روی در محدوده دگرسانی پروپیلیتیک و منطبق بر سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری بی‌هنجاری دارند. در بخش مرکزی منطقه؛ که دگرسانی فیلیک حضور دارد، اکسیدهای آلومینیم، آهن، منیزیم، کلسیم و سدیم کاهش نشان می‌دهند. نتایج هاله‌های ضربی و جمعی عناصر فوق‌کانساری به تحت‌کانساری در نمونه‌های سطحی نشان می‌دهد که در قسمت‌های مرکزی متمایل به شمال و جنوب شرقی متمایل به شرق، اثر معدنی سرنو فرسایش کمتری یافته و توده معدنی احتمالاً در عمق بیشتری قرار گرفته است. بر اساس مطالعه سیالات درگیر و نمودار عمق به دمای همگن‌شدن، برای اثر معدنی سرنو، در مرحله تولید سیالات ماگمایی حدود ۲۰۰۰ متر تقریباً معادل ۵۰۰ بار و فشار مرحله مخلوط شدگی به طور متوسط، ۵۰۰ متر معادل با فشار ۱۲۵ بار بوده است. این محاسبات نشان می‌دهند که فرسایش قابل توجهی بر روی این اثر معدنی انجام یافته است. شوری سیالات تشکیل‌دهنده این اثر معدنی، در مرحله تکوین نهایی بسیار پایین و به طور متوسط، معادل ۲۲/۹ درصد وزنی نمک طعام است. متوسط دمای همگن‌شدن سیالات درگیر در این مرحله ۳۲۱ درجه سانتی‌گراد منطبق بر زون فیلیک است. با توجه به اینکه سیالات اکثر کانسارهای مس پورفیری اقتصادی پایین‌تر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد همگن می‌شوند، می‌توان نتیجه گرفت که دما برای تشکیل یک زون فیلیک خوب با عیار بالا تقریباً مناسب بوده است؛ اما کمپلکس‌های کلرور مس ( $CuCl_2$ ) تولید شده از فعالیت ماگمایی اولیه بسیار ناچیز و به عبارتی برای نهشت حجم وسیعی از مس به صورت سولفور های آن که توانایی تشکیل یک سیستم پورفیری زایا را داشته باشد، وجود نداشته است. در نتیجه این کلر کم، شوری سیالات نیز کم شده و مقدار ناچیز کالکوپیریت تشکیل شده در سرنو نیز به مجموعه‌های اکسیدی تبدیل شده است؛ بنابراین انجام عملیات اکتشافی تکمیلی بر روی این اثر معدنی در حال حاضر پیشنهاد نمی‌شود.

## ۳-۹- تقدیر و تشکر

از مسؤولین و کارشناسان محترم مجتمع مس سرچشمه به ویژه آقایان مهندسین پورکانی، آتش‌پنجه و شفیع به خاطر حمایت از انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

- [۱۷] Hezarkhani, A.; "Mineralogy and fluid inclusion investigations in the Reagan porphyry system, Iran, the path to an uneconomic porphyry copper deposit", *J. Asian Earth Sciences*, Elsevier, The Netherlands., vol. 27, pp. 598-612, 2006.
- [۱۸] Hezarkhani, A.; "Fluid inclusion investigations of the Raigan porphyry copper system, Kerman-Bam, Iran", *International Geology Review*, Stanford, U.S.A., vol. 48, no. 3, pp. 255-270, 2006.
- [۱۹] Hezarkhani, A.; "Alteration/Mineralization and controls of chalcopyrite dissolution/deposition in the Raigan porphyry system, Bam-Kerman, Iran", *International Geology Review*, Stanford, U.S.A., vol. 48, no. 6, pp. 561-572, 2006.
- [۲۰] Hezarkhani, A.; Williams-Jones, A. E.; "Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions and stable isotopes", *Econ. Geol.*, vol. 93, pp. 651-670, 1998.
- [۲۱] Hezarkhani, A.; Williams-Jones, A. E.; Gammons, C. H.; "Factors controlling copper solubility and chalcopyrite deposition in the Sungun porphyry copper deposit, Iran", *Mineral. Deposita*, Springer, Berlin/Heidelberg, vol. 34, no. 8, pp. 770-783, 1999.
- [۲۲] Roedder, E.; Bodnar, R. J.; "Fluid inclusion studies of hydrothermal ore deposits". In: Barnes, H. L. (Ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, Wiley, New York, pp. 657-697, 1997.
- [۲۳] Rose, A. W.; Hawkes, H. E.; Webb, J. S.; *Geochemistry in mineral exploration*, 2nd edition, Academic Press, 1979.
- [۲۴] Saric, V.; *Exploration for copper in Serenu area*, G.S.I. Rep. 38/Yu, 1972.
- [۲۵] Shahabpour, J.; "Some secondary ore formation features of the Sar Cheshmeh porphyry copper-molybdenum deposit, Kerman, Iran", *Mineral. Deposita*, Springer, Berlin/Heidelberg, vol. 26, no. 4, pp. 275-280, 1991.
- [۲۶] Shelley, D.; *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*, Chapman and Hall, 1991.
- [۲۷] Shepherd, T. J.; *A practical guide to fluid inclusion studies*, 1985.
- [۲۸] Wilkinson, J. J.; "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", *Lithos*, vol. 55, pp. 229-272, 2001.
- [۱] پرند، سیمین؛ روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی ذخایر معدنی، ترجمه، بئوس، ا.ا. و گریگوریان، س.و.، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۰.
- [۲] حسنی‌پاک، علی‌اصغر؛ اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۰.
- [۳] حسنی‌پاک، علی‌اصغر؛ ژئوشیمی اکتشافی محیط سنگی، انتشارات دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ۱۳۷۶.
- [۴] زین‌الدینی، احسان؛ مطالعه لیتوژئوشیمی، دگرسانی و سیالات درگیر اثر معدنی مس پورفیری سرنو، شمال‌غرب شهربابک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۴.
- [۵] شهاب‌پور، جمشید؛ زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ۱۳۷۹.
- [۶] طالبی، محمد؛ مطالعه لیتوژئوشیمی، دگرسانی و سیالات درگیر کانسار مس پورفیری ایجو، شمال‌غرب شهربابک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۴.
- [۷] مرادیان، عباس؛ بررسی پترولوژیکی و ارزیابی اقتصادی سنگهای آذرین فلدسپاتوئیددار شمال شهربابک (جوزم)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۶۹.
- [۸] Bazin, D.; Hubner, H.; *Copper deposits in Iran*, Geological Survey of Iran, Rep. 13, 1969.
- [۹] Beane, R. E.; Titley S. R.; "Porphyry copper deposits; part II: Hydrothermal alteration and mineralization", *Econ. Geol. 75th Anniv. Vol.*, pp. 214-269, 1981.
- [۱۰] Dimitrijevic, M.; *Geology of Kerman region*, Geol. Surv. Iran, Rep. No. Yu/52, 1973.
- [۱۱] Dimitrijevic, M.; Djordjevic, M.; Petrovic, Z.; *Geological map of Robat, 1:100000 Series, Sheet 6950*, Geol. Surv. Iran, 1971.
- [۱۲] Geological Survey of Iran (GSI); *Exploration for ore deposits in Kerman region*, Rep. No. Yu/53, 1973.
- [۱۳] Geological Survey of Iran (GSI); *Metallogenic map of Kerman region, Scale 1:500000*, 1973.
- [۱۴] Guilbert, J. M.; Park, C. F.; *The geology of ore deposits*, W.H. Freeman and Company, New York, 1986.
- [۱۵] Hezarkhani, A.; *Physicochemical controls on alteration and copper mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran*, Unpublished Ph.D. thesis, McGill University, 1997.
- [۱۶] Hezarkhani, A.; "Petrology of the intrusive rocks within the Sungun porphyry copper deposit, Azerbaijan, Iran", *J. Asian Earth Sciences*, Elsevier, The Netherlands., vol. 27, pp. 326-340, 2006.