

# استفاده از داده‌های لیتوژئوشیمی و سیالات درگیر در مطالعه کانسار مس پورفیری ایجو، شمال غرب شهربابک

مجید قادری<sup>i</sup>؛ اردشیر هزارخانی<sup>ii</sup>؛ محمد طالبی<sup>iii</sup>

## چکیده

کانسار مس پورفیری ایجو در بخش جنوبی کمربند ولکانوپلوتونیک ارومیه-دختر و در شمال غربی شهربابک واقع شده است. منطقه مطالعه شده از یک مجموعه ولکانوپیروکلاستیک با سن ائوسن تشکیل شده است که با توده‌های نفوذی دیوریت و کوارتز دیوریت پورفیری الیگومیوسن قطع شده است. توده‌های مزبور چندین فاز مولد دگرسانی-کانه‌زایی دارد و دگرسانی‌های پتاسیک ضعیف (بیوتیتی)، فیلیک، رسی، پروپیلیتیک و سیلیسی مشاهده می‌شوند. کانی‌سازی شامل درون‌زاد، غنی‌شدگی سولفیدی ثانویه و اکسیدی است. داده‌های لیتوژئوشیمیایی نشان می‌دهند که بخش عمده‌ای از ذخیره مس کانسار ایجو در اثر فرآیندهای سطحی از بین رفته است. شوری میانگین سیالات درگیر دو فازی و غنی از مایع مطالعه شده در کانی کوارتز، ۲۴/۶ درصد وزنی معادل نمک طعام است. متوسط دمای همگن‌شدن این سیال‌ها ۲۹۶/۸ درجه سانتی‌گراد و عمق جایگزینی توده نفوذی حدود ۵۰۰ متر برآورد می‌شود. همراهی سیالات درگیر تک‌فازی گازی و چندفازی؛ که دال بر فرآیند جوشش است و نیز پایین بودن عیار میانگین مس، حاکی از آن است که سیال کانسار ساز اولیه از مس فقیر است و وجود مس در بخش‌های عمیق‌تر کانسار نیز بعید به نظر می‌رسد.

## کلمات کلیدی

زمین‌شناسی، لیتوژئوشیمی، سیالات درگیر، مس پورفیری، ایجو

## *The Use of Lithochemical Data and Fluid Inclusions in the Study of Iju Porphyry Copper Deposit, Northwest of Shahr-e-Babak*

Majid Ghaderi; Ardeshir Hezarkhani; Mohammad Talebi

### ABSTRACT

Iju porphyry copper deposit is located in southern part of Orumieh–Dokhtar volcano-plutonic belt, northwest of Shahr-e-Babak. The area is composed of an Eocene volcano-pyroclastic complex intruded by Oligo-Miocene diorite-quartzdiorite porphyries. The intrusive bodies contained several alteration-mineralization producing phases. Minor potassic (biotite), phyllic, clay, propylitic and silicic alterations are observed in the area. Mineralization occurs as hypogene, secondary sulfide enrichment and oxide. Lithochemical data show that the main part of the Iju deposit was destroyed due to surficial processes. Average salinity for the two-phase liquid-rich fluid inclusions studied in quartz grains is 24.6 wt% NaCl equivalent. Average homogenization temperature for the fluids was 296.8 °C and the emplacement depth is calculated as being about 500 meters. Combination of mono-phase gas and multi-phase fluid inclusions indicating boiling as well as low average of Cu content imply that the initial ore-forming fluid was poor in Cu and it would be unlikely to find copper at deeper parts of the deposit.

<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

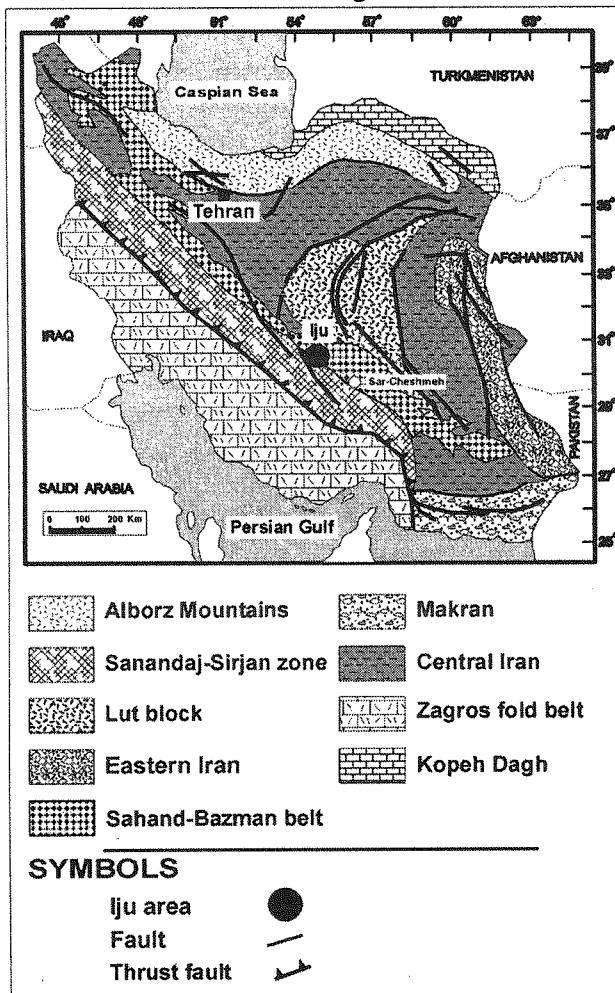
<sup>iii</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس

## KEYWORDS:

Geology, Litho-geochemistry, Fluid Inclusions, Porphyry Copper, Iju

## ۱- مقدمه

NE-SW و با شیبی در جهت شمال غرب و در بخش‌های شمال غربی و غرب در جهت N-S دیده می‌شوند. جابجایی اولیه و لکانیک‌های ائوسن در ائوسن پایانی صورت گرفته است، زمانی که طاق‌دیس‌ماندها و ناودیس‌ماندها تشکیل شده است و چین‌های مرکب با روند N-S همراه با جایگزینی دایک‌های آندزیتی بازالیت شکل گرفتند [۷]، [۸]. گسل‌ها، توده‌های نفوذی منطقه را به دو بخش تقسیم کرده‌اند. جوان‌ترین دایک‌های آندزیتی-داسیت در طول این گسل‌ها جایگزین شده‌اند، به طوری که سن آنها را پلیوسن-پلئستوسن ذکر کرده‌اند. سازندهای ائوسن و کواترنر بر روی سطح این گسل‌ها کشیده شده‌اند [۷].



شکل (۱): موقعیت کانسار ایجو بر روی نقشه زمین‌شناسی ایران

[۱۴]

## ۲-۳- چینه‌شناسی

ائوسن: در منطقه مطالعه شده، ائوسن به صورت گسترش توالی‌های آتشفشانی و آذرآواری بیشتر شامل توف، توف برشی، برش آندزیت و آگلومراست. این واحد آذرآواری با

کانسار مس ایجو در زون ساختاری ایران مرکزی، کمربند ولکانوپلوتونیک ارومیه-دختر، در بخش شمال غربی نوار دهج-ساردوئیه، در عرض جغرافیایی شمالی  $30^{\circ}31'45''$  تا  $30^{\circ}33'5''$  و طول جغرافیایی شرقی  $54^{\circ}56'10''$  تا  $54^{\circ}57'30''$ ، در مرکز نقشه ۱:۲۵۰/۰۰۰ انار و در انتهای جنوب شرقی نقشه ۱:۱۰۰/۰۰۰ دهج واقع شده است. منطقه مطالعه شده در ۷۲ کیلومتری شمال غرب شهرستان شهرابک و در ۱۴۷ کیلومتری شمال غرب کانسار مس سرچشمه قرار گرفته است (شکل (۱)). بزرگ‌ترین آبادی نزدیک به ایجو، روستای جوزم است که در حدود ۱۲ کیلومتری شرق کانسار قرار دارد. این کانسار با کوه‌های تله‌کوه، ارچنو و بادامیه در بر گرفته می‌شود که مرتفع‌ترین آنها، تله‌کوه با ارتفاع ۲۷۰۰ متر در غرب کانسار واقع است. منطقه توپوگرافی نسبتاً خشن و کوهستانی دارد. آبراهه‌ها به صورت شعاعی در جهات گوناگون توسعه یافته‌اند، اما آبراهه‌های اصلی داخل کانسار روند تقریباً شمال غرب-جنوب شرق و نیز شمالی-جنوبی دارند. قسمت‌های مرتفع منطقه به وسیله مواد تالوسی پوشیده شده است و یا از رخنمون‌های سنگی تشکیل گشته‌اند. پوشش گیاهی پراکنده و تنک است. بیشترین اطلاعات موجود در خصوص این منطقه، به گروه زمین‌شناسان یوگسلاو مربوط است که در طی سال‌های ۱۹۷۱ و ۱۹۷۳ تهیه شده است [۷]-[۹] و [۱۸].

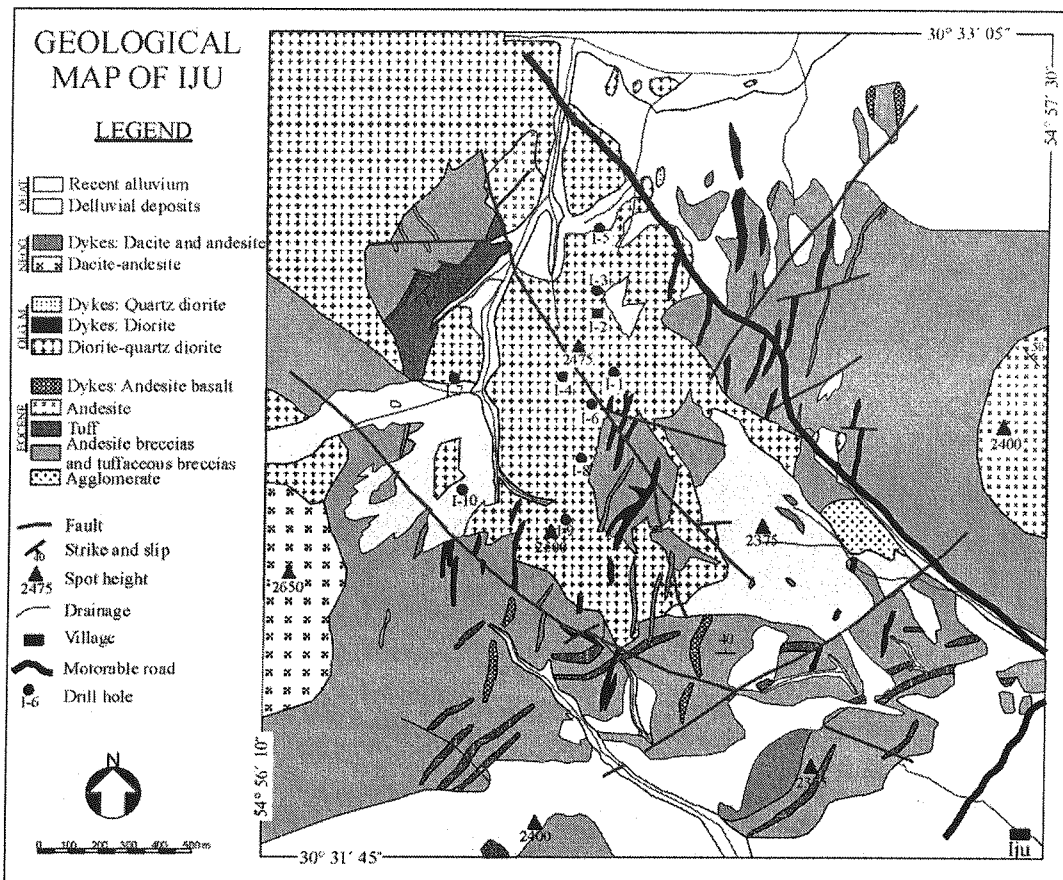
## ۲- روش مطالعه

در این تحقیق، با بهره‌گیری از مطالعات دقیق کانی‌شناسی، دگرسانی و مطالعه هاله‌های لیتوژئوشیمی و سیالات درگیر، وضعیت کانی‌سازی مس در کانسار ایجو بررسی شده است. برای انجام نمونه‌برداری سیستماتیک، شبکه نمونه‌برداری با سلول‌های مربعی و با ابعاد  $100 \times 100$  متری تشکیل داده و از هر سلول، یک نمونه معرف آن واحد برداشت شده است.

## ۳- زمین‌شناسی

### ۳-۱- زمین‌شناسی ساختمانی

منطقه ایجو به شدت گسل‌خورده است (شکل (۲)). سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در این منطقه با روند NW-SE و با شیبی به سمت جنوب غرب قرار دارد و در بخش‌های شرق و جنوب شرقی منطقه، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در جهت



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی محدوده کانسار ایجو [۳]

عظیم با روند NW-SE را تشکیل می‌دهند [۱۸]. پلیوسن-پلئیسنوسن: داسیت و آندزیت‌های نئوژن منطقه در بخش غربی و در اطراف تله‌کوه گسترش یافته است و بیشتر در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و نیز نفوذی‌های الیگوسن-میوسن نفوذ کرده‌اند [۱۸]. این سنگ‌ها در نمونه دستی با رنگ قهوه‌ای روشن مشخص هستند و همراه با آنها، دایک‌های فراوانی دیده می‌شوند که ساخت بلورین شیشه‌ای-پورفیری (hyalocrystalline-porphyry) دارند و در آنها، درشت‌بلورهای (phenocrysts) کوارتز، بیوتیت و پلاژیوکلاز دیده می‌شود. زمینه این سنگ‌ها شامل فلدسپارها، کلریت، کوارتز، کلسیت و میکرولیت همراه با کانی‌های ثانویه کوارتز است و آپاتیت و زیرکن به عنوان کانی‌های فرعی حضور دارند [۳].

### ۳-۳- سنگ‌شناسی

آندزیت: این سنگ‌ها در نمونه دستی به رنگ خاکستری و در مقطع میکروسکوپی بافت پورفیری دارند، با درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کانی‌های دگرسان‌شده آهن-منیزیم‌دار مشخص می‌باشند. حضور الیوین و افزایش درصد کانی‌های آهن-منیزیم‌دار و پلاژیوکلازهای بازیک، ترکیب این سنگ‌ها را به آندزیت‌بازالت نزدیک می‌سازد. کانی‌های آهن-منیزیم‌دار غالباً از نوع آمفیبول و پیروکسن هستند. دگرسانی در این نوع سنگ‌ها

جریان‌های بازالت و آندزیت‌بازالت محدود می‌شود [۱۸]. واحد سنگی مزبور جزء قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین واحدها در منطقه است [۱۸] و گسترش آن بیشتر در بخش‌های شرقی، جنوب و جنوب‌شرق کانسار است و توپوگرافی ملایم‌تری نسبت به داسیت‌ها و آندزیت‌های نئوژن دارد. این واحد بر روی زمین با رنگ خاکستری-بنفش مشخص است [۳]. رگه و رگچه‌های سیلیسی در بعضی از قسمت‌های این واحد دیده می‌شود. در مقطع میکروسکوپی، آندزیت‌ها با رنگ غالب خاکستری، با بافت پورفیری، فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و کانی‌های دگرسان‌شده آهن-منیزیم‌دار هستند که با حضور الیوین و افزایش درصد کانی‌های آهن-منیزیم‌دار و پلاژیوکلازهای بازیک به سمت آندزیت‌بازالت می‌روند. بیشتر این کانی‌های آهن-منیزیم‌دار شامل پیروکسن و آمفیبول هستند که به مقدار کمی اکسیده، کربناته، کلریتی، سریسیتی و به میزان بسیار کمتر، اپیدوتی شده‌اند. این بخش در قسمت مربوط به سنگ‌های آتشفشانی به طور کامل توضیح داده خواهد شد.

الیگوسن-میوسن: دیوریت و کوارتز دیوریت‌های پورفیری منطقه با سن نسبی الیگوسن-میوسن بیشتر در بخش مرکزی کانسار و به میزان کمتر در بخش‌های شمال‌غربی و جنوب‌غربی گسترش یافته است و خود قسمتی از توده‌های

شامل اکسیدی، کلریتی، کربناتی و سریسیتی شدن و به میزان بسیار کمتر، اپیدوتی، سیلیسی و رسی شدن است. ترکیب کانی‌شناسی این واحد، آلیت، ارتوکلاز، هورنبلند، درشت بلورهای پیروکسن، کوارتز، کلسیت، مسکویت، هماتیت، مالاکیت و زمینه‌ای دانه‌ریز را شامل می‌شود. تقریباً در همه این سنگ‌ها، کانی‌های کدر (opaque minerals) به مقدار فراوان وجود دارند که این کانی‌ها با توجه به مطالعه مقاطع صیقلی، بیشتر از جنس اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت) می‌باشند. ذکر این نکته لازم است که در بعضی از آندزیت‌ها؛ که در نمونه دستی رنگ تیره‌تری دارند، در مطالعه مقاطع میکروسکوپی، رخداد کانی‌های کدر، بیشتر در زمینه سنگ، حاشیه کانی‌ها و به صورت بافت جانیشینی و برجای‌مانده (relict texture) در پلاژیوکلازها و کانی‌های مافیک دیده می‌شود [۳]. این سنگ‌ها بافت پورفیری از پلاژیوکلازهای دانه‌درشت در یک زمینه دانه‌ریز دارند. در بعضی از این سنگ‌ها، رگچه‌های ریز کربناتی و کوارتزهای ریزبلورین (چرت) به صورت ثانویه مشاهده می‌شود [۳].

**آندزیت‌پالزت:** این واحد در نمونه دستی با رنگ خاکستری تیره تا کاملاً تیره مشخص شده است و بیشتر در بخش‌های شرقی و جنوب‌شرقی و با حداکثر ارتفاع ۲۳۰۰-۲۴۵۰ متر دیده می‌شود. در نمونه دستی، نسبت به واحد آندزیت، رگه و رگچه‌های سیلیسی کمتری دارد. در مقطع نازک، با بافت پورفیری و فلدسپارهای ریزدانه و درشت‌بلورهای کانی‌های آهن-منیزیم‌دار مشخص است. قسمت عمده آمفیبول و پیروکسن این سنگ‌ها، دگرسان و به وسیله کانی‌های ثانویه پر شده‌اند. زمینه ریزبلورین شامل کانی‌های مشابه با درشت‌بلورها، کانی‌های کدر و انواعی از ترکیبات ثانویه است [۱۸].

**دیوریت‌پورفیری و کوارتز‌دیوریت‌پورفیری:** این نوع سنگ‌ها بیشتر در بخش‌های مرکزی کانسار و کمتر در شمال‌غرب منطقه گسترش دارند. سنگ‌های مزبور، بخشی از توده‌های عظیمی هستند که با روند NE-SW در شمال‌غرب و جنوب‌شرق منطقه مشاهده می‌شوند [۱۸]. حداکثر ارتفاع این توده‌ها بین ۲۴۵۰ تا ۲۶۰۰ متر است و در منطقه از فاصله دور با رنگ سفید تا زرد کم‌رنگ مشخص هستند. تفاوت این دو نوع سنگ در میزان کوارتز اولیه آنهاست. گسترش واحد دیوریت‌پورفیری نسبت به کوارتز‌دیوریت‌پورفیری در منطقه بیشتر است. این توده‌های نفوذی در داخل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده‌اند. دایک‌هایی نیز با همین ترکیب و بیشتر با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و با طول بیش از ۵۰ متر در منطقه مشاهده می‌شوند. رگه‌های کوارتزی بسیار فراوان بخصوص

در بخش‌های مرکزی کانسار دیده می‌شود که همراه با آثار کانه‌زایی به صورت مالاکیت هستند. دیوریت‌پورفیری‌های غیردگرسان با رنگ خاکستری تا خاکستری تیره و با بافت مشخص پورفیری دیده می‌شوند که در مقطع میکروسکوپی، شامل مقدار فراوانی کانی‌های درشت پلاژیوکلاز با اندازه‌های متفاوت و از حد میلی‌متر تا سانتی‌متر و مقدار کمی آمفیبول به همراه بیوتیت و کوارتز می‌باشند. پلاژیوکلازها کم و بیش سریسیتی و کمی کربناته و اپیدوتیتی شده‌اند. هورنبلندها تا حدی به کلریت، کلسیت و به میزان کمتر دولومیت تجزیه شده‌اند. بیوتیت‌ها نیز کم و بیش کلریتی شده‌اند [۳].

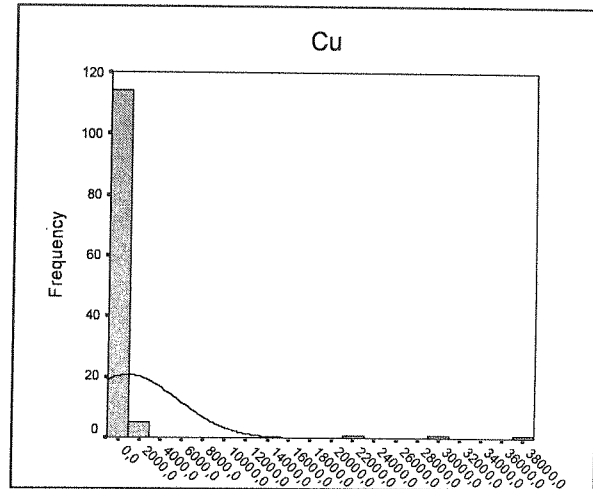
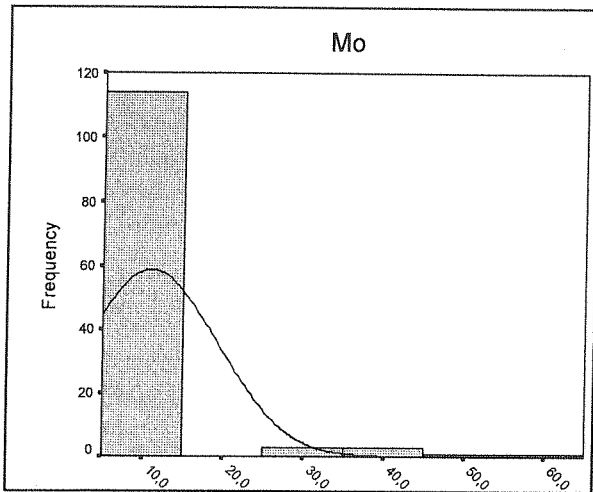
**داسیت و آندزیت‌های نفوژن:** گسترش این سنگ‌ها بیشتر در بخش غربی منطقه و در اطراف تله‌کوه است و اکثر ارتفاعات منطقه را می‌سازند. رخنمون‌های این سنگ‌ها جوان‌تر از توده‌های نفوذی و آتشفشانی‌های ائوسن هستند [۱۸]. دایک‌هایی از این جنس نیز به فراوانی در منطقه یافت می‌شود که در مقطع نازک، درشت‌بلورهای کوارتز، بیوتیت و پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از فلدسپار، کلریت، کوارتز، کلسیت و میکروولیت مشاهده می‌شوند. آپاتیت و زیرکن، کانی‌های فرعی این سنگ‌ها هستند. بعضی از آندزیت‌ها و داسیت‌ها، تحت تأثیر دگرسانی‌های گرمابی در حد کم تا متوسط قرار گرفته‌اند. دگرسانی‌ها شامل سریسیتی و رسی شدن پلاژیوکلازها، و کلسیتی، کلریتی و سوسوریتی شدن است [۳].

### ۳-۴- دایک‌ها

در منطقه ایجو، دایک‌های فراوانی با روند عمدتاً شمالی-جنوبی و با ترکیب داسیت-آندزیت، دیوریت و کوارتز‌دیوریت پورفیری حضور دارند که گاهی واحدهای قدیمی‌تر را قطع کرده‌اند. این دایک‌ها به فعالیت‌های آتشفشانی نفوژن مربوط هستند [۷]. دایک‌های مزبور، اغلب از سیستم‌های شکستگی پیروی می‌کنند و بیشتر در شرق و مرکز کانسار دیده می‌شوند. آنها اغلب فاقد کانی‌سازی و دگرسانی هستند و تنها، هوازدگی بر بعضی از آنها اثر کرده است. ضخامت دایک‌ها در منطقه از ۰/۵ تا ۱ متر و طول آنها بین ۱۰۰ و ۲۰۰ متر است.

### ۳-۵- ماگماتیسیم منطقه

در منطقه جوزم، پنج فاز آتشفشانی وجود دارد. فاز اول به ائوسن پیشین متعلق است و شامل آگلومرا، ایگنمبریت، لاپیلی‌توف، تراکی‌آندزیت و آندزیت است. فاز دوم (ائوسن میانی) شامل آنراواری‌ها، بازانیت، آگلومرا، ایگنمبریت، لاپیلی‌توف، تراکی‌آندزیت و آندزیت است. فاز سوم شامل فعالیت آتشفشانی ائوسن میانی است و ترکیب فنولیت،



شکل (۳): هیستوگرام فراوانی عناصر مس و مولیبدن در کانسار ایجو

#### ۴-۱- تجزیه و تحلیل پارامترهای آماری عناصر شاخص

مس (Cu): بررسی آماری عنصر مس به عنوان اصلی‌ترین عنصر در کانسارهای مس پورفیری حائز اهمیت است. در بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی نمونه‌های سنگی سطحی، مقدار میانه مس، ۷۹ ppm و میانگین، ۸۸۷ ppm به دست آمد. همان‌گونه که در شکل (۳) مشخص است، نمودار فراوانی مقادیر عنصر مس از توزیع نرمال تبعیت نکرده است و چولگی واضحی به سمت راست از خود نشان می‌دهد که این امر حاکی از لگاریتمی بهنجار (lognormal) بودن تابع توزیع مقادیر مس و همچنین تأثیر شدید دگرسانی در منطقه است. مناطق حاوی آنومالی بیشتر در بخش‌های مرکزی کانسار و گاهی در بخش‌های شمالی و جنوبی قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر می‌توان دو خانواده کاملاً مجزا در نمودار فراوانی مقادیر مس مشاهده کرد که یکی در بیشینه ۲۰۰۰ ppm و دیگری در ۲۷۳۰۰ ppm است. این تفکیک خانواده‌ها، نقش بسزایی در جدایش زمین‌شناسی از مقادیر بی‌هنجاری (anomaly) دارد [۱]، [۱۷]. این مقادیر بی‌هنجاری به عنوان مناطق امیدبخش برای کانی‌سازی اقتصادی در نظر گرفته می‌شوند.

مولیبدن (Mo): در بررسی‌های لیتوژئوشیمی انجام شده، مقادیر میانگین و میانه عنصر مولیبدن به ترتیب ۱۱ و ۹ ppm است. بیشینه عیار به دست آمده، ۶۶ ppm است. شکل (۳) توزیع فراوانی مقادیر عنصر مولیبدن را نیز نشان می‌دهد.

سرب (Pb): نمودار توزیع فراوانی عنصر سرب، چولگی شدیدی به سمت راست از خود نشان می‌دهد و به طور واضح از حالت تابع توزیع بهنجار (normal)، انحراف یافته است. در مورد عنصر سرب، همانند مس، دو خانواده کاملاً مجزا از هم

تفری فنولیت، آندزیت-بازالت و برش آتشفشانی دارد. فاز چهارم شامل تراکی آندزیت و بازالت و سنگ‌های آذرآوری است. فاز پنجم مشتمل بر نفوذی‌های نیمه عمیق (subvolcanic) است [۴].

#### ۴-۲- مطالعات لیتوژئوشیمی داده‌های سطحی

به منظور انجام عملیات نمونه‌برداری سنگی برای مطالعات لیتوژئوشیمی در منطقه ایجو، بعد از مرحله مشاهدات صحرایی و شناخت تغییرات سنگ‌شناسی، یک شبکه نمونه‌برداری طراحی شد. به این ترتیب که خط مبنا (base line) مرکزی نمونه‌برداری در راستای نقاط کانه‌زایی شده قرار گرفت و دو طرف این خط مبنا از هر طرف خطوط نمونه‌برداری دیگر با فاصله مشخص تعیین شد. شبکه نمونه‌برداری به ابعاد ۲/۷۵×۲/۵ کیلومتر و با سلول‌هایی به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متری، طراحی شد. در این طراحی، سعی شد که محدوده زون‌های دگرسانی-کانی‌سازی و همچنین محدوده عملکرد فرآیندهای ساختمانی مدنظر قرار گیرند. در بعضی موارد که سطح محدوده از آبرفت پوشیده شده بود و یا رخنمون سنگی وجود نداشت، نمونه‌ای برداشت نگردید. برای جلوگیری از آلودگی نمونه‌ها، تمامی مراحل آماده‌سازی، با دقت انجام و نمونه‌ها برای اکسیدهای  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  و عناصر فرعی  $Fe_2O_3$  و  $Cu$ ,  $Mo$ ,  $Pb$  و  $Zn$  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، تحت برنامه‌های آماری و زمین‌آماري، تجزیه و تحلیل شده‌اند.

جدول (۱): همبستگی چندگانه ژئوشیمیایی عناصر در کانسار ایجو

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1											
K <sub>2</sub> O	0.050	1										
CaO	0.283	-0.416	1									
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.276	-0.198	0.299	1								
SiO <sub>2</sub>	-0.246	0.346	-0.480	-0.607	1							
MgO	0.121	-0.211	0.214	0.119	-0.208	1						
Na <sub>2</sub> O	-0.034	-0.119	0.177	0.041	-0.355	0.151	1					
Cu	-0.293	0.081	-0.215	0.142	0.061	0.062	-0.082	1				
Pb	0.085	0.258	-0.241	0.073	0.095	-0.113	-0.095	0.018	1			
Zn	0.426	-0.132	0.052	0.225	-0.302	0.094	0.135	0.014	0.047	1		
Mo	-0.306	0.179	-0.178	0.116	0.095	0.031	0.023	0.408	-0.132	-0.194	1	
	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	Cu	Pb	Zn	Mo	

شکل (۴) مشاهده می‌شود، در فاصله ۲۵+ بیشترین مقدار عدم تشابه این متغیرها همگی در یک گروه قرار می‌گیرند. همچنین عناصر مس و مولیبدن با اکسیدهای اصلی SiO<sub>2</sub> و K<sub>2</sub>O همبستگی خوبی آشکار می‌سازند، به طوری که با هم یک زنجیره را در نمودار خوشه‌ای تشکیل می‌دهند. همبستگی‌های خوشه‌ای نیز وجود کانی‌سازی مس و مولیبدن در زون دگرسانی-کانی‌سازی فلیک را تأیید می‌کنند.

تهیه نقشه‌های هم‌عیار ژئوشیمیایی عناصر معرف: به منظور تعیین نقاط مستعد کانسارسازی مس و پی‌بردن به غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی عناصر معرف در کانسار ایجو، نقشه‌های هم‌عیار مس، مولیبدن، سرب، روی و اکسیدهای عناصر اصلی تهیه شد. در نقشه هم‌عیار پراکندگی ژئوشیمیایی عنصر مس، دو منطقه بی‌هنجاری مشخص است، یکی منطبق بر رخنمون توده کوآرتز دیوریت و دیوریت پورفیری در بخش‌های مرکزی کانسار با عیار حداکثر ۲/۷۳ درصد و دومین بی‌هنجاری در همبری توده‌های نفوذی با سنگ‌های میزبان داسیتی در بخش‌های غربی کانسار. کشیدگی شکل هاله‌های ژئوشیمیایی مس در کانسار ایجو با روند شمال غربی-جنوب شرقی است که احتمالاً حاکی از کشیدگی شمالی-جنوبی استوک پورفیری ایجو می‌باشد. بالاترین عیار مس در منطقه، نزدیک به محل حفاری I8 است که به نظر می‌رسد حضور رگه و رگچه‌های مالاکیت در نمونه‌های سنگ بستر، چنین عیار بالایی را موجب شده است. عیار حدود ۰/۱۱ درصد در بخش جنوبی کانسار را نیز می‌توان به کانی‌سازی مس به صورت مالاکیت در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن مربوط دانست (شکل (۵) و (۶)).

قابل تفکیک است که محدوده تغییرات سرب از ۱۰ تا ۵۱۷۰ ppm است. مقدار میانگین و میانه این عنصر به ترتیب ۱۲۹ و ۴۴ ppm است.

روی (Zn): نمودار توزیع فراوانی عنصر روی، چولگی واضحی به سمت راست از خود نشان می‌دهد. مقدار میانگین و میانه این عنصر به ترتیب ۱۴۷ و ۷۱ ppm و محدوده تغییرات آن از ۶ تا ۱۶۲۳ ppm است.

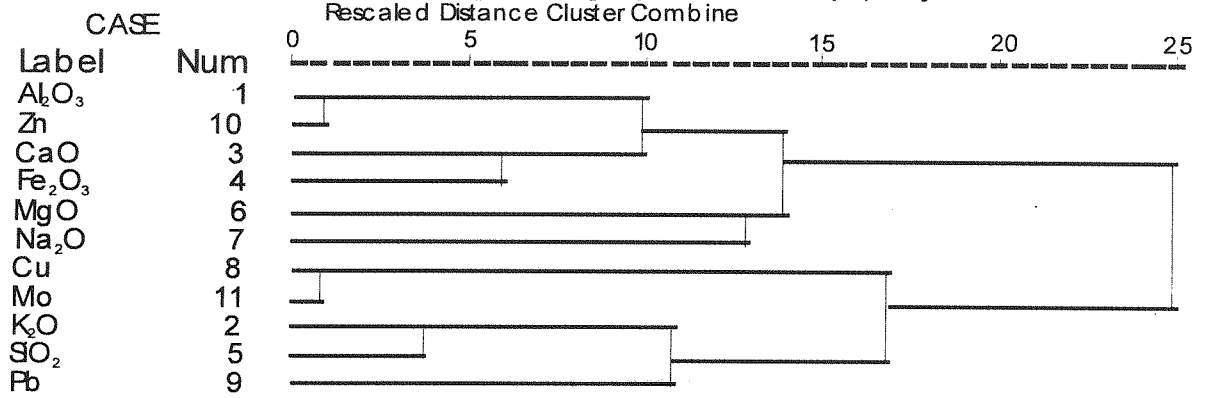
#### ۴-۲- همبستگی ژئوشیمیایی عناصر

همبستگی‌های چندگانه: هنگامی که همبستگی بین دو متغیر بررسی می‌شود، همبستگی را ساده و برای بیش از دو متغیر، همبستگی را چندگانه می‌نامند. جدول (۱) همبستگی چندگانه بین ۱۱ متغیر بررسی شده در کانسار ایجو را نشان می‌دهد. بیشترین میزان همبستگی عنصر مس با عنصر مولیبدن و میزان آن ۰/۴۰۸ است که حاکی از هم‌منشأ بودن این دو عنصر است. علاوه بر این، عنصر مس، ارتباط ضعیف ولی مثبتی را با اکسیدهای سیلیسیم، پتاسیم و آهن نشان می‌دهد که بر گسترش محدوده کانی‌سازی مس در زون فلیک دلالت دارد. عنصر مس با اکسید کلسیم ارتباط منفی نشان می‌دهد که حاکی از عدم گسترش کانی‌سازی مس در بخش‌هایی است که تحت تأثیر دگرسانی کلسیتی شدن قرار گرفته‌اند. همچنین، مس با اکسید منیزیم، ارتباط مثبت ضعیفی را ظاهر می‌سازد که می‌تواند نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی مس در خصوص دگرسانی کلریتی در بخش‌هایی از کانسار باشد. در ضمن، عدم وجود همبستگی بین عنصر مس و اکسید آلومینیم را می‌توان دلیلی بر عدم وجود کانی‌سازی اقتصادی مس در زون آرژلیک کانسار ایجو دانست [۲].

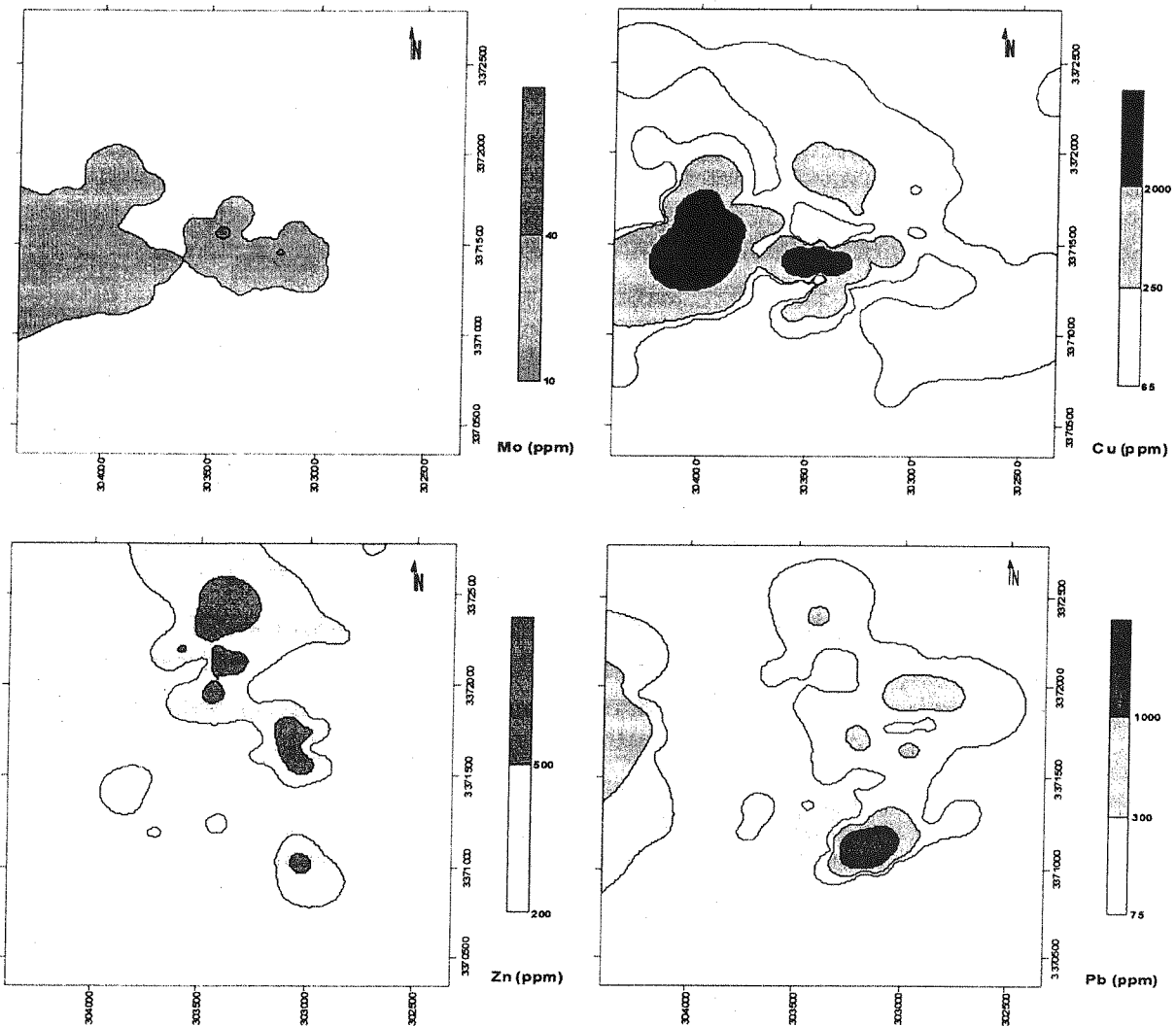
همبستگی‌های گروهی (خوشه‌ای): عناصر مس و مولیبدن بیشترین تشابه و کمترین فاصله (۱) را دارند و در یک شاخه قرار می‌گیرند. عنصر روی نیز با اکسید آلومینیم بیشترین تشابه و کمترین فاصله (۱) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در

**\* HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS\***

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups) at Iju



شکل (۴): نمودار همبستگی خوشه‌ای مربوط به منطقه ایجو

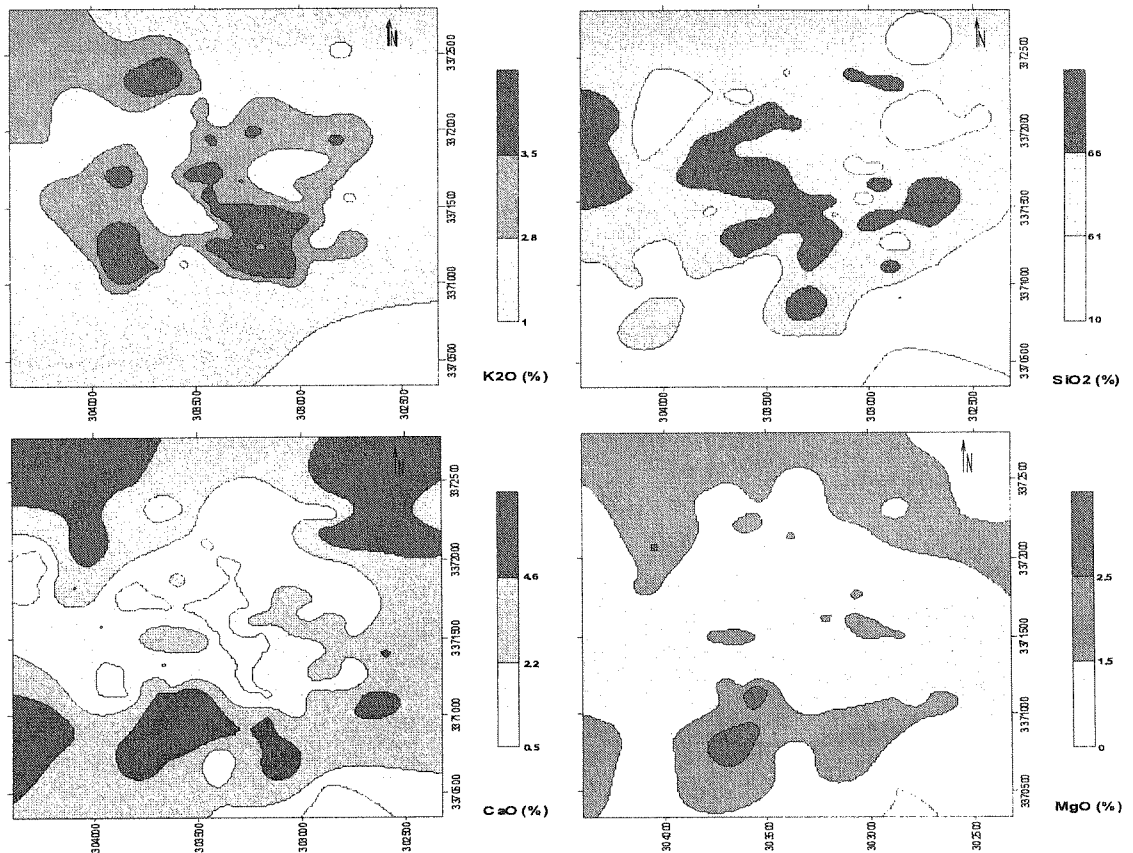


شکل (۵): نقشه هم‌عیار عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی در منطقه ایجو

بیشترین هاله‌های عناصر تحت‌کانساری در شرق و جنوب کانسار و بیشترین هاله‌های عناصر فوق‌کانساری در بخش‌های مرکزی دیده می‌شود. بررسی‌های انجام‌یافته دال بر آن است که شدت فرسایش در بخش‌های مرکزی، بیشتر از حاشیه‌های کانسار است. نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل (۲))، وجود یک

**۳-۴- تعیین موقعیت سطح فرسایش نسبت به سطح کانی‌سازی احتمالی**

چنانچه مس و مولیبدن را به عنوان عناصر تحت‌کانساری و سرب و روی را به عنوان عناصر فوق‌کانساری در نظر بگیریم،

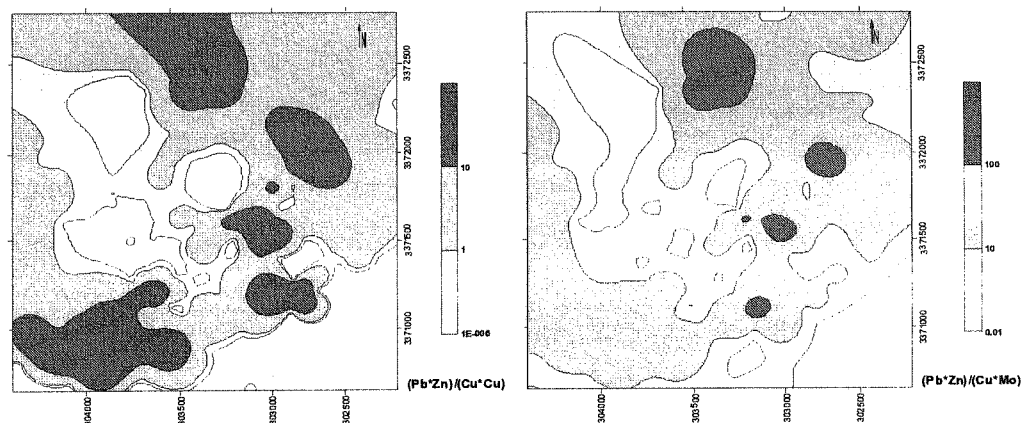


شکل (۶): نقشه هم‌عیار اکسیدهای سیلیسیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در منطقه ایجو

مس و مولیبدن در اعماق است. بالاترین تمرکز Mo در افق ۲۲۲۵ متری و کمترین تمرکز آن در افق ۲۲۲۵ است (شکل (۸)). یادآور می‌شود که کاهش میزان مس نسبت به مولیبدن شدت بیشتری دارد. کم‌شدن عیارهای مس و مولیبدن از افق ۲۲۲۵ به بعد می‌تواند نشان‌دهنده بخش انتهایی کانسار باشد. همان‌طور که در شکل (۸) دیده می‌شود، مقادیر مولیبدن در بخش‌های پایینی کانسار نسبت به مس دارای پیشینه‌ای است که با روند منطقه‌بندی طبیعی در کانسارهای مس پورفیری (Mo→Cu→Ag→Pb→Zn) هماهنگی دارد.

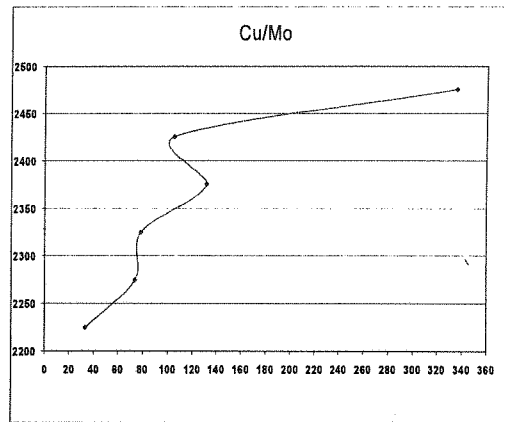
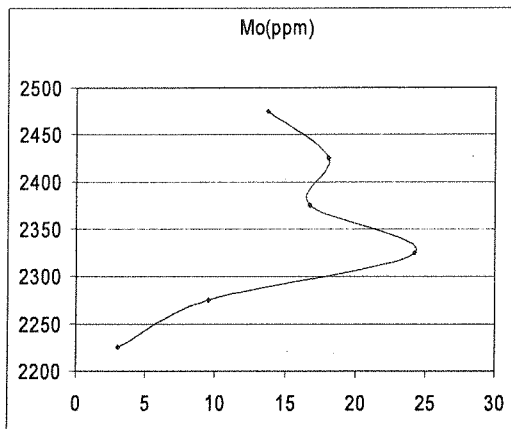
گسل اصلی در بخش مرکزی کانسار و چندین گسل کوچک دیگر را در اطراف آن مشخص می‌نماید. سطح فرسایش در دو طرف گسل اصلی با امتداد شمال‌غربی-جنوب‌شرقی قرار دارد و شدت آن در دو طرف این گسل متفاوت است (شکل (۷)). علاوه بر این، نقش شیب توپوگرافی عمومی منطقه (شرق-جنوب‌شرقی) را در انتقال عناصر فوق‌کانساری به بخش‌های حاشیه‌ای کانسار نباید نادیده گرفت (شکل (۷)).

بررسی روند منطقه‌بندی قائم: هدف از بررسی منطقه‌بندی (zonality) در کانسار ایجو، تشخیص روند تغییرات کانی‌سازی



شکل (۷): نمودار ضرایب منطقه‌بندی ضربی Zn\*Pb/Cu\*Cu و Zn\*Pb/Cu\*Mo در منطقه ایجو





شکل (۸): نمودار تغییرات عیار مس به مولیبدن نسبت به عمق و نمودار تغییرات عیار مولیبدن نسبت به عمق در کانسار ایجو

مشاهده می‌شوند، می‌تواند حاصل هجوم سیالات غنی از سیلیس باشد. واحدهای دیوریتی و کوارتز دیوریتی نیز به شدت تحت تأثیر سیلیسی شدن قرار گرفته‌اند.

دگرسانی آرژیلیک: این دگرسانی در کانسار ایجو از گسترش زیادی برخوردار نیست، اما مجموعه کانی‌های رسی به صورت محلی و پراکنده، داخل زون فیلیک مشاهده می‌شوند. دگرسانی مزبور با همبود کانی‌های رسی، سریسیت و کلسیت و نیز رنگ روشن خود در منطقه مشخص است (شکل ۹-پ و ت).

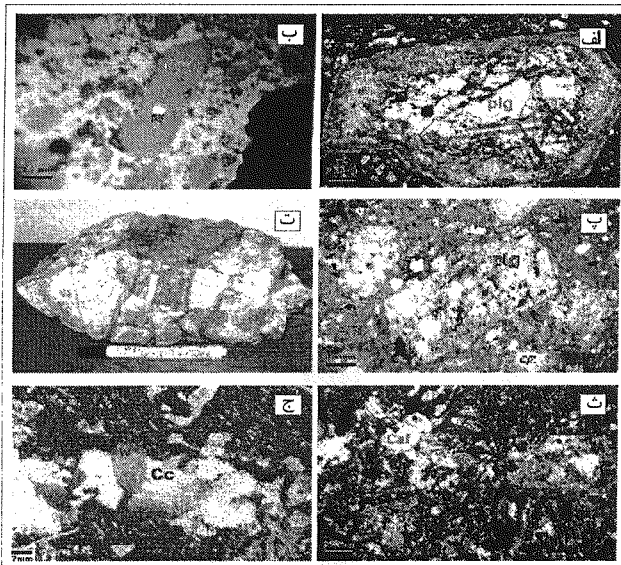
دگرسانی پروپیلیتیک: دگرسانی پروپیلیتیک به صورت هاله‌ای سبز رنگ در خارجی‌ترین قسمت‌های کانسار مشاهده می‌شود و منطبق بر سنگ‌های دیواره است و به طور محلی در برخی از دایک‌ها رخ داده است. آندزیت‌هایی که دگرسانی پروپیلیتیک را تحمل کرده‌اند، اغلب دانه‌ریز هستند و به رنگ سبز روشن تا

## ۵- دگرسانی

منطقه‌بندی دگرسانی و کانه‌زایی؛ که از مهم‌ترین مشخصات کانسارهای مس پورفیری است [۱۰]، در مورد کانسار ایجو بررسی شد. دگرسانی‌ها از شدت و درجات مختلفی برخوردار است و بیشتر در توده‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری‌های ائوسن گسترش دارند. محدوده دگرسانی حدود ۱ کیلومتر مربع وسعت دارد و شامل انواع دگرسانی‌های پتاسیک ضعیف، فیلیک، آرژیلیک، پروپیلیتیک [۲] و یک سری دگرسانی‌های غیرفراگیر همانند کلریتی، اپیدوتی، کلسیتی و رسی شدن است [۹] که به طور محدود دیده می‌شوند.

دگرسانی پتاسیک: این دگرسانی در کانسار ایجو با حضور بیوتیت ثانویه؛ که به طور محلی در بخش مرکزی کانسار قابل مشاهده است، مشخص می‌شود. با توجه به اینکه در توده نفوذی ایجو، کانی‌های بیوتیت و هورنبلند تحت تأثیر دگرسانی پتاسیک قرار گرفته‌اند و مقدار کمی کانی ارتوز ثانویه تشکیل شده، تبدیل هورنبلند و بیوتیت ماگمایی به بیوتیت ثانویه به توده نفوذی ایجو مربوط است. دگرسانی کلریتی، بیوتیت‌های ثانویه را نیز تحت تأثیر قرار داده است که آن را می‌توان حاصل کاهش غلظت یون پتاسیم نسبت به یون هیدروژن در سیال گرمایی دانست [۶].

دگرسانی فیلیک: دگرسانی فیلیک؛ که توده نفوذی ایجو و سنگ‌های درونگیر را تحت تأثیر قرار داده است، با رنگ روشن خود مشخص است و گسترش قابل‌توجهی را در منطقه نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۹-الف و ب) مشاهده می‌شود، حاشیه پلاژیوکلاز در حال تبدیل شدن به سریسیت است و نیز، همبود کوارتز و پیریت مشاهده می‌شود که این از ویژگی‌های زون فیلیک است. غالب حفرات خالی در بخش‌های سطحی؛ که اکسیداسیون شدیدی تحمل کرده‌اند، به کانی‌های پیریت مربوط است. رگه و رگچه‌های فراوان سیلیسی؛ که در زون فیلیک



شکل (۹): الف) سریسیتی شدن حاشیه پلاژیوکلاز در دیوریت، ب) همراهی کوارتز و پیریت، پ) شاخص دگرسانی آرژیلیک در داسیت، ت) دگرسانی آرژیلیک برون‌زاد با سیلیسی شدن درون‌زاد، ث) شاخص دگرسانی پروپیلیتیک در آندزیت، ج) رگچه کربناتی

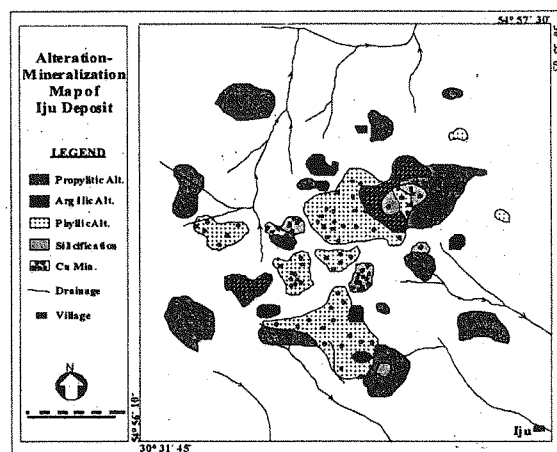
سبز تیره همراه با رگه و رگچه‌های فراوان کوارتز، کلسیت و اپیدوت دیده می‌شوند. مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که زمینه این سنگ‌ها به مجموعه‌های کلریتی و اپیدوتی تبدیل شده است. همچنین حضور رگه و رگچه‌های اپیدوتی، ژوئیتی و کلسیتی به همراه کانی‌های کدر در متن سنگ‌ها، نشان‌دهنده دگرسانی پروپلیتیک است (شکل ۹-ث)).

کربناتی‌شدن: در بیشتر سنگ‌های آتشفشانی و آنراواری‌های منطقه، رگچه‌های کربناتی از جنس کلسیت (شکل ۹-ج)) مشاهده می‌شود. کلسیت به صورت جاننشینی در کانی‌هایی مانند پلاژیوکلاز نیز حضور دارد. حضور دیگری از کلسیت به صورت شکافه‌پرکن به تنهایی و یا همراه با کوارتز دیده می‌شود. از میان سایر دگرسانی‌ها؛ که از رخداد کمتری برخوردار هستند، می‌توان به جاننشینی اکسیدهای آهن (به خصوص هماتیت و لیمونیت) درون کانی‌های آهن-منیزیم‌دار دگرسان‌شده و نیز در زمینه سنگ‌ها به صورت بافت‌های جاننشینی یا برجای‌مانده اشاره کرد. شکل (۱۰) نقشه انواع دگرسانی-کانه‌زایی در کانسار ایجو را نشان می‌دهد.

## ۶- کانه‌زایی

کانه‌زایی در کانسار ایجو به شکل انتشاری و رگچه‌ای دیده می‌شود. کانه‌زایی مس بیشتر در استوک پورفیری ایجو در بخش مرکزی و سنگ‌های آندزیتی دیواره غربی رخ داده است و فاز نفوذی تأخیری و دایک‌ها تقریباً عاری از کانه‌زایی هستند (شکل ۱۰)).

کانسارسازی درون‌زاد: منطقه کانی‌سازی اولیه؛ که در نتیجه تأثیر سیالات ماگمایی-گرمابی کانهدار تشکیل می‌شود [۱۰]، در منطقه ایجو به صورت استوک‌ورک و شکستگی‌های آغشته به اکسیدهای آهن، ملاکیت و آزوریت؛ که با توده نفوذی دیوریت و کوارتز دیوریت پورفیری ارتباط دارد، مشاهده



شکل (۱۰): نقشه دگرسانی-کانه‌زایی در کانسار ایجو [۳]

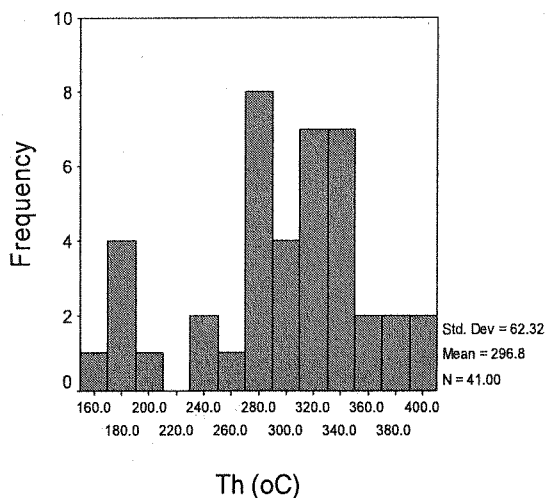
می‌شود [۳]. عمده‌ترین کانی‌های سولفیدی این زون شامل پیریت، کالکوپیریت و به میزان جزئی، مولیبدنیت است. عیار مس در این بخش معمولاً کمتر از ۰/۲ درصد و به ندرت به ۰/۴ درصد می‌رسد [۹].

کانسارسازی برون‌زاد: غنی‌سازی سولفیدی در کانسار ایجو غیرواضح است و منطقه‌بندی خاصی را تشکیل نمی‌دهد. مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی در این بخش شامل کالکوسیت، دیژنیت، مس طبیعی و به میزان بسیار جزئی، کوپریت است. در بخش اکسیدان نیز مهم‌ترین کانی‌های تشکیل‌شده شامل ملاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت، ژاروسیت و لیمونیت است.

## ۷- میکروترمومتری سیالات درگیر

در کانسار ایجو، تنها کانی شفاف و مناسب برای مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر، کوارتز است. نمونه‌های بررسی شده از محدوده زون‌های دگرسانی فیلیک و آرژیلیک برداشت شد. اکثر سیالات درگیر بسیار ریز و با قطر ۲ تا ۹ میکرون هستند. بزرگ‌ترین سیالات از نوع سه‌فازی است و در مجموع، سیالات درگیر دوفازی از فراوانی بیشتری برخوردار هستند. بیشترین فراوانی داده‌ها به دمای اولین نقطه ذوب یخ بین ۲۴- تا ۳۰- درجه سانتی‌گراد مربوط است و نقطه یوتکتیک نه‌چندان منفی را نشان می‌دهند که حاکی از شوری کم سیال کانسارساز اولیه و رقیق‌شدن سیال کانسارساز با آب‌های جوی فرورو است (شکل ۱۱)) [۱۹]. دامنه تغییرات ذوب کامل یخ (Tm) نیز از ۱۸- تا ۴۲- درجه سانتی‌گراد است. هر چه Tm به دست آمده منفی‌تر باشد، گویای شوری بیشتر سیال کانسارساز است که بیشترین مقدار داده‌ها (Tm) به محدوده دمایی ۲۰- تا ۲۶- درجه سانتی‌گراد و حدود ۲۶/۲٪ از کل داده‌ها مربوط است و کمترین میزان داده‌ها به محدوده دمایی ۳۸- تا ۴۴- درجه سانتی‌گراد و حدود ۲/۷٪ کل داده‌ها مربوط می‌باشد. با توجه به اینکه از روی ذوب آخرین قطعه یخ می‌توان میزان شوری را به دست آورد، میزان سیالات با شوری متوسط و بالا؛ که برای کانسارسازی تیپ پورفیری حائز اهمیت هستند، در نمونه‌های مربوط به کانسار ایجو بسیار کم است و متوسط درجه شوری، ۲۴/۶ درصد وزنی معادل نمک طعام است. همچنین با توجه به هیستوگرام فراوانی داده‌های مربوط به شوری سیال و وجود دو افتادگی (salinity gap)، سه جمعیت کاملاً متفاوت را می‌توان جدا کرد (شکل ۱۱))، که بیشترین فراوانی شوری سیال‌ها به شوری متوسط و حتی کم مربوط است. همان‌طور که مشخص است، در منطقه ایجو، سیالات با شوری بالا برای کانسارسازی پورفیری بسیار کم است که دلیلی بر مخلوط‌شدگی آب‌های جوی و سیالات گرمابی

کیلومتر، محدوده حرارتی ۳۰۰ تا ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ بار و شوری ۲۵ تا ۵۸ درصد وزنی نمک طعام قرار می‌گیرند [۵]، [۱۲] و [۱۳].



شکل (۱۲): هیستوگرام فراوانی درجه حرارت همگن شدن

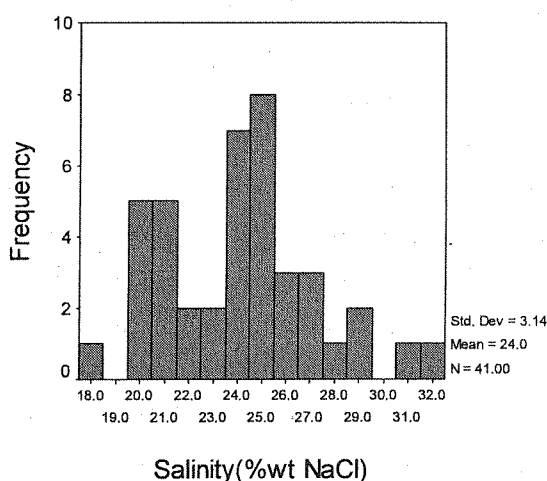
درجه حرارت پایین و نیز شوری کم در سیالات ممیزه سیستم ایجو، بر بارور نبودن سیستم دلالت دارند. این رخداد می‌تواند حاصل نقش بسیار پررنگ سیالات با منشأ جوی در تکوین مجموعه باشد. با در نظر گرفتن این پیش‌فرض که سیالات با منشأ ماگمایی در دامنه حرارتی ۵۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نضج گرفته باشند [۱۴]، در ایجو دو رخداد ممکن است قابل ارزیابی باشد:

(۱) بر اثر یک شکستگی حجیم در سیستم و در پیامد آن یک انتقال حرارت بسیار آبی ایجاد شده است، به طوری که احتمال واکنش سیالات اولیه با سنگ‌های میزبان بسیار کم و ایجاد تعادل سازنده در سیستم منتفی شده باشد (isopressure decomposition).

(۲) در پیامد مرحله (۱) شرایط مناسبی برای اختلاط حجیمی از آب‌های سردتر جوی با سیالات ماگمایی؛ که حالا از حرارت مناسبی برای نفوذ سیالات غریبه برخوردار است، ایجاد شده باشد (mixing).

با توجه به اطلاعات قابل‌بسط در ایجو می‌توان مدل پیشنهادی در شکل (۱۳) را ارائه کرد. شکل (۱۳) سازوکار تشکیل سیالات مولد موجود در ایجو را بر اساس فشار و حرارت در سیستم آب-نمک نشان می‌دهد. همزیستی سیالات درگیر واجد گاز و مایع در یک کانی میزبان با درجه حرارت هموزن شدن بسیار نزدیک، بر رخداد جوشش در ایجو دلالت دارد. روند مشخص شده با پیکان در مدل، روند دقیق کاهش ناگهانی فشار و حرارت را در تکوین سیالات مزبور نشان می‌دهد. نقطه X نشان‌دهنده شرایط فشاری و حرارتی سیال جوی است که به نفوذ در سیستم شروع می‌کند. این سیال در حین حرکت به

می‌باشد که نهایتاً باعث گسترش زون فیلیک کم‌عیار شده است. این افتادگی می‌تواند بیانگر فرآیند جوشش در سیال اولیه باشد، که خاص بسیاری از سیستم‌های پورفیری است. ذکر این نکته لازم است که به دلیل حضور فاز جامد هالیت در این سیالات درگیر، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کمپلکس‌های کلریدی ( $\text{CuCl}_2$ ) در انتقال مس دخالت داشته‌اند [۱۱]. همچنین، همراهی سیالات درگیر تک‌فازی گازی و چندفازی؛ که در مطالعه پتروگرافی سیالات درگیر این کانسار مشاهده می‌شود، دال بر جوشش است، و به تبع آن به نظر می‌رسد که تمامی مس موجود در محلول نهشته شده باشد. مطالعات ژئوشیمیایی؛ که بر روی نمونه‌های بخش فیلیک صورت گرفته است، نشان‌دهنده عیارهای پایین مس است.



شکل (۱۱): هیستوگرام فراوانی شوری

در مجموع می‌توان اظهار داشت که سیال کانسار ساز اولیه در کانسار ایجو، از نظر مس فقیر است و وجود مس در اعماق بیشتر نیز بعید به نظر می‌رسد، چون در محلی که جوشش اتفاق افتاده، سیال هر آنچه محتوای مس داشته باشد، بر جای می‌گذارد [۱۶]. در کانسار ایجو، میانگین عیار مس ۸۸۷ ppm است. همچنین با توجه به هیستوگرام دمای همگن شدن این سیال‌ها، دو جمعیت دمایی قابل تفکیک است: یکی در محدوده دمایی ۱۶۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد مربوط به سیال‌های موجود در رگه‌های کوارتزی در زون آرژیلیک، و دیگری در محدوده ۲۶۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد که به نمونه‌های زون دگرسانی فیلیک مربوط است (شکل (۱۲)). با توجه به اندازه‌گیری‌های صحرائی انجام شده، متوسط لایه‌های زمین‌شناسی شامل طبقات پیروکلاستیک و آندزیتی به ضخامت حدود ۵۰۰ متر و وزن مخصوص متوسط ۲/۶، فشار معادل ۱۲۵ بار در هنگام جایگزینی سیستم تخمین زده می‌شود [۲۰]، که همگی شواهدی بر فرسایش زیاد کانسار ایجو هستند. به طور کلی، اکثر معادن مس پورفیری ایران در عمق ۱/۵ تا ۲

## ۸- نتیجه گیری

انواع دگرسانی‌های اصلی شامل فیلیک، پتاسیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک و دگرسانی‌هایی که از گسترش کمتری برخوردارند شامل کربناتی، کلریتی و اپیدوتی‌شدن در کانسار ایجو قابل تشخیص هستند. دگرسانی فیلیک بیشتر در بخش‌های مرکزی کانسار و منطبق بر رخنمون توده‌های نفوذی و همچنین منطبق بر بیشترین میزان کانه‌زایی مس و مولیبدن است. دگرسانی آرژیلیک با دگرسانی فیلیک مرز تدریجی دارد. بیشتر سیالات درگیر موجود در زون‌های دگرسانی منطقه کانه‌زایی‌شده، دوفازی، کوچک با شوری پایین (متوسط ۲۴/۶ درصد وزنی معادل نمک طعام) و متوسط دمای همگن‌شدن ۲۹۶/۸ درجه سانتی‌گراد هستند که همگی شواهدی بر فقیر بودن میزان مس در سیال گرمابی اولیه منتج‌شده از توده نفوذی پورفیری ایجو است. تمامی مس موجود؛ که به صورت کالکوپریت نهشته گشته است، در اثر اکسیدشدگی سطحی به مالاکیت و آزوریت تبدیل شده است. با توجه به نتایج حاصل از مطالعات لیتوژئوشیمی (که زمینه محلی مس در منطقه را بسیار پایین نشان داده است) و نیز نتایج حاصل از بررسی‌های میکروترموتری سیالات درگیر (فقیر بودن سیال کانسار ساز اولیه از مس)، و همچنین با بازسازی شرایط شیمی-فیزیکی حاکم بر کانسار هنگام نضج آن، می‌توان ادعان داشت که در حال حاضر این کانسار اقتصادی نیست و سرمایه‌گذاری برای اکتشافات تفصیلی بر روی آن در حال حاضر پیشنهاد نمی‌شود.

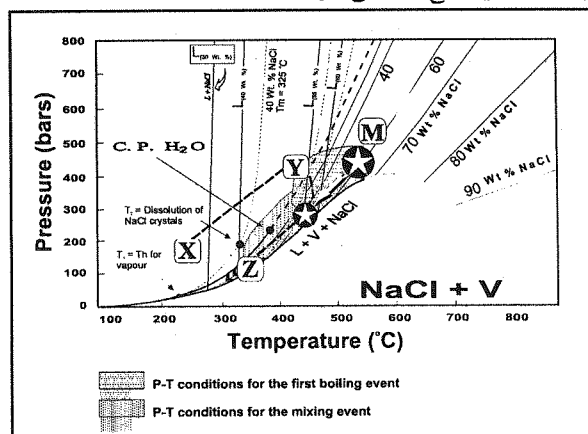
## ۹- تقدیر و تشکر

از مسؤولین و کارشناسان محترم مجتمع مس سرچشمه به ویژه آقایان مهندسین پورکانی، آتش‌پنجه، شفیعی، زاهدی و بابایی به دلیل حمایت از انجام این پژوهش و نیز از راهنمایی‌های ارزنده آقای دکتر رحیمی‌پور از دانشگاه شهید باهنر کرمان تشکر و قدردانی می‌شود.

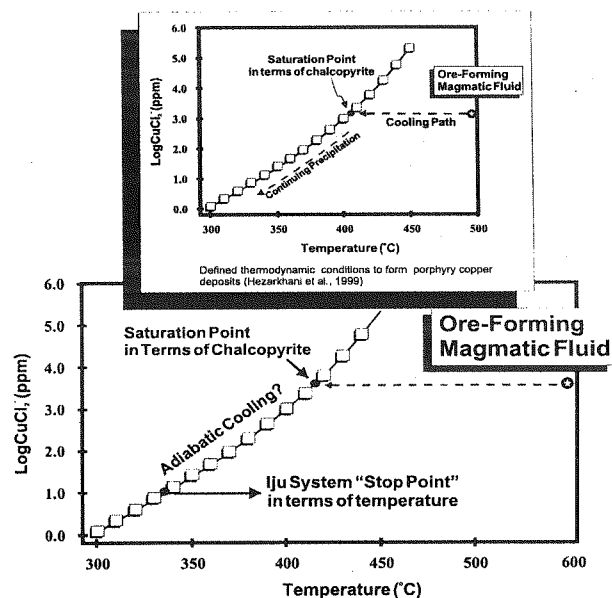
## ۱- مراجع

- [۱] حسنی‌پاک، علی‌اصغر؛ ژئوشیمی اکتشافی محیط سنگی، انتشارات دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ۱۳۷۶.
- [۲] شهاب‌پور، جمشید؛ زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ۱۳۷۹.
- [۳] طالبی، محمد؛ مطالعه لیتوژئوشیمی، دگرسانی و سیالات درگیر کانسار مس پورفیری ایجو، شمال غرب شهر بابک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت

سمت پایین و مخلوط شدن با سیالات با منشأ ماگمایی، به گرم‌شدن شروع می‌کند و فشار و حرارت آنها به طور منظم افزایش می‌یابد. در نقطه Y سیال جوی به حداکثر عمق خود رسیده و از آنجا به بعد به صعود در امتداد یک روند Y-Z (adiabatic cooling) شروع می‌کند. حبس این سیال باعث ایجاد سیالات درگیر نوع LV می‌شود.



شکل (۱۳): سازوکار تشکیل سیالات مولد موجود در کانسار ایجو بر روی نمودار فشار-دما برای سیستم آب-نمک با توجه به مطالعات اخیر [۱۳]، [۱۵]، شرایط تشکیل یک مس پورفیری اقتصادی، تبعیت از روند محاسبه‌شده در شکل (۱۴)



شکل (۱۴): نمودار حلالیت کالکوپریت در مقابل درجه حرارت برای کانسار ایجو

است. چنانچه شرایط را بر اساس آنچه در ایجو گذشته است بازسازی کنیم، در حرارت و فشار محاسبه‌شده برای این پتانسیل معدنی، روند تغییرات مطابق منحنی نماد شده در شکل نیست و بنابراین، توقع داشتن یک سیستم زایا و اقتصادی در ایجو منتفی است.

- مدرس، تهران، ۱۳۸۴.
- [۴] مرادیان، عباس؛ بررسی پترولوژیکی و ارزیابی اقتصادی سنگهای آذرین فلدسپاتوئیددار شمال شهربابک (جوزم)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۶۹.
- [۵] Bazin, D.; Hubner, H.; *Copper deposits in Iran*, Geological Survey of Iran, Rep. 13 1969.
- [۶] Beane, R. E.; Titley S. R.; "*Porphyry copper deposits; part II: Hydrothermal alteration and mineralization*", *Econ. Geol.* 75th Anniv. Vol., pp. 214-269, 1981.
- [۷] Dimitrijevic, M.; *Geology of Kerman region*, Geol. Surv. Iran, Rep. No. Yu/52 1973.
- [۸] Dimitrijevic, M.; Djordjevic, M.; Petrovic, Z.; *Geological map of Dehaj*, 1:100000 Series, Sheet 6951, Geol. Surv. Iran, 1971.
- [۹] Geological Survey of Iran (GSI), *Exploration for ore deposits in Kerman region*, Rep. No. Yu/53 1973.
- [۱۰] Guilbert, J. M.; Park, C. F.; *The geology of ore deposits*, W.H. Freeman and Company, New York, 1986.
- [۱۱] Hezarkhani, A.; *Physicochemical controls on alteration and copper mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran*, Unpublished Ph.D. thesis, McGill University, 1997.
- [۱۲] 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.
- [۱۳] 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.
- [۱۴] 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.
- [۱۵] Hezarkhani, A.; Williams-Jones, A. E.; Gammons, C. H.; "*Factors controlling copper solubility and chalcopyrite deposition in the Sungun porphyry copper deposit, Iran*", *Mineralium Deposita*, Springer, Berlin/Heidelberg, vol. 34, no 8, pp 770-783, 1999.
- [۱۶] 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.
- [۱۷] Rose, A. W.; Hawkes, H. E.; Webb, J. S.; *Geochemistry in mineral exploration* 2nd edition, Academic Press, 1979.
- [۱۸] Saric, V.; *Exploration for copper at locality Iju*, G.S.I. Rep. 33/Yu, 1971.
- [۱۹] Shepherd, T. J.; *A practical guide to fluid inclusion studies*, 1985.
- [۲۰] Wilkinson, J. J.; "*Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits*", *Lithos*, vol. 55, pp. 229-272, 2001.