

## بررسی کانه‌زایی و سیال‌های درگیر در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی)

فاطمه محمدپور<sup>۱</sup>، حبیب بیابانگرد<sup>۱\*</sup>، حسن میرنژاد<sup>۲</sup> و رضوان میرزایی رایینی<sup>۱</sup>  
<sup>۱</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران  
<sup>۲</sup> دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم در ۱۴۵ کیلومتری باختر شهرستان نهبندان و ۲ کیلومتری شمال‌باختر کانسار چندفلزی ماهور و در بخش خاوری بلوک لوت رخنمون دارد. این محدوده شامل سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری با سن ائوسن است و توده‌های نفوذی با ترکیب بیشتر دیوریتی و به‌صورت استوک و دایک در آن نفوذ کرده‌اند. سنگ‌های آندزیتی دگرسان شده، میزبان اصلی محدوده کانی‌زایی هستند. در این محدوده، کانه‌زایی به شکل‌های رگه‌ای و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود. پهنه برونزاد (سوپرژن) بیشتر از کانه‌های آزوریت، مالاکیت، لیناریت و اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت) و پهنه درونزاد (هیپوژن) بیش‌تر از کانه‌های گالن، پیریت، کالکوپریت و مگنتیت ساخته شده است. کوارتز و کلسیت اصلی‌ترین باطله‌ها هستند. دگرسانی‌ها در این منطقه از نوع سیلیسی، سریسیتی، پروپیلیتی، و آرژیلیک هستند. بررسی سیال‌های درگیر در مقاطع دوبر صیقل کانی کوارتز نشان‌دهنده مقدار شوری بین ۰/۱ تا ۶/۵ درصد نمک طعام و دمای همگن‌شدگی بین ۲۷۸ تا ۵۷۰ درجه سانتیگراد است. شاید دمای بالا با محدوده شوری کم در این محدوده کانی‌زایی شده به نسل دیگری از کانی‌سازی در منطقه مربوط باشد. داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی سیال‌های درگیر نشان می‌دهد که چه بسا این محدوده کانی‌زایی در پی آمیخته‌شدن سیال جوی و ماگمایی پدید آمده است؛ هرچند جای تردید وجود دارد. همچنین، شباهت‌هایی مانند شکل محدوده کانی‌زایی، کانه‌های نخستین، دگرسانی‌های دیده شده، محیط تکتونیکی و سری ماگمایی، نشان‌دهنده ارتباط خاستگاه این محدوده کانی‌زایی با محدوده کانی‌زایی چندفلزی ماهور است.

واژه‌های کلیدی: چندفلزی، دگرسانی، سیال‌های درگیر، محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲، ده‌سلم، بلوک لوت

### مقدمه

بلوک لوت واقع شده است. این محدوده کانی‌زایی  
نزدیک به ۱۴۵ کیلومتری باختر شهرستان  
نهبندان و در شمال باختر و نزدیکی کانسار

محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم،  
درمجاورت کانسار چندفلزی ماهور و در خاور

\* h.biabangard@scienceusb.ac.ir

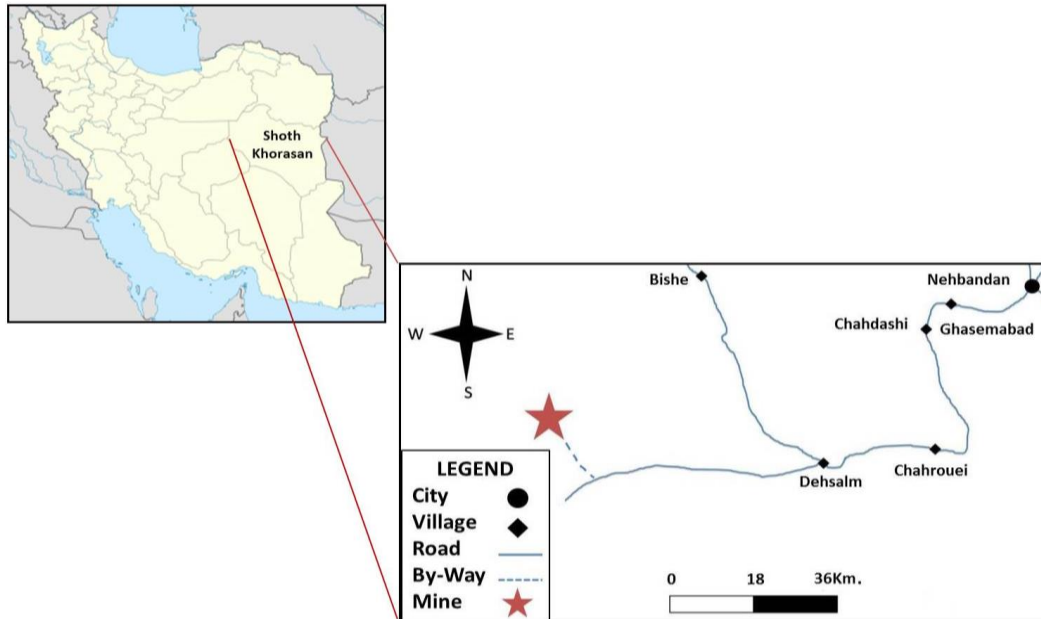
کانه‌زایی منطقه از نوع دره می‌سی‌سی‌پی است (Poorabdollahi Dizaj *et al.*, 2008). در محدوده کانی‌زایی مس-روی-سرب چهل‌کوره زاهدان، کانه‌نگاری کانی‌های سولفیدی و بررسی آنها با ریزکاو الکترونی نشان می‌دهد که این محدوده کانی‌زایی از نوع رگه‌ای همراه با توده‌های نفوذی گرانودیوریت و کوارتز مونزودیوریت بوده و سنگ میزبان آن توربیدیت است (Maanijoo *et al.*, 2008).

Mirzaei Rayeni (۲۰۱۲) زمین‌شیمی کانسار ماهور و سنگ‌های میزبان آن را بررسی کرده است. شناخت خاستگاه سیال‌های کانه‌ساز با به‌کارگیری ریزکاو الکترونی و ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد در کانسار چندفلزی ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) به‌دست Ahmadi و همکاران (۲۰۱۲)، نشان می‌دهد که گوگرد لازم برای پدیدآمدن کانی‌های سولفیدی در کانسار چندفلزی ماهور، از سیال‌های گرمایی و یا سنگ‌های آذرین منطقه ریشه گرفته است. Boomeri و همکاران (۲۰۱۳) پیدایش و شیمی کانی‌های سولفیدی و اکسیدی برون‌زاد در کانسار چندفلزی ماهور، باختر نهبندان را بررسی کرده‌اند. Sform (۲۰۱۱) به بررسی زمین‌شناسی و توالی کانی‌های همایند در کانسار پلی‌متال ماهور پرداخته است. همچنین، Sform و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی سنگ‌شناسی (پتروژئی) سنگ‌های آتشفشانی ماهور پرداخته‌اند و پیدایش آنها را در پهنه فرورانش و کمان‌های آتشفشانی کالک‌آلکان حاشیه فعال قاره می‌دانند. Mazaheri و همکاران (۲۰۱۴)، سنگ‌شناسی و جایگاه تکتونوماگمایی توده‌های گرانیتوییدی ماهور در جنوب‌باختر نهبندان را بررسی کرده‌اند. به باور ایشان نیز گرانیتوییدهای ماهور خاستگاه یکسان دارند و در پهنه فرورانش و کمان‌های آتشفشانی کالک‌آلکان حاشیه فعال قاره پدیده

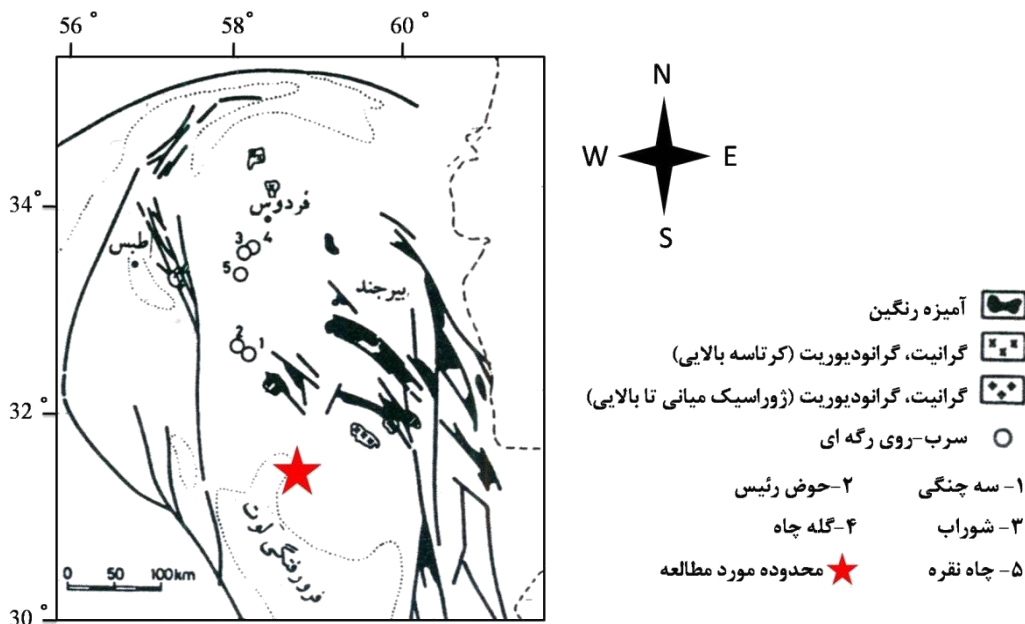
چندفلزی ماهور قرار دارد. تنها راه دسترسی به آن، جاده آسفالته نهبندان به کرمان (ده‌سلم به شهداد) است که پس از پیمودن این مسافت، از نهبندان به‌سوی شهداد، سه‌راهی معدن دیده می‌شود (شکل ۱). تاکنون در بلوک لوت، کانی‌زایی مس، سرب و روی، آنتیموان، جیوه و طلا از نوع رگه‌ای گزارش شده است. از میان آنها می‌توان مس طلادار قلعه‌زری، محدوده کانی‌زایی جیوه شوراب-کله‌نگینان (Ghorbani, 2002)، محدوده کانی‌زایی سرب و روی چاه سرب طبس (Poorabdollahi Dizaj *et al.*, 2008) و محدوده کانی‌زایی چهل‌کوره زاهدان (Maanijoo *et al.*, 2008) را نام برد. به‌نظر می‌رسد نوع کانی‌سازی در این بلوک، بیشتر از نوع رگه‌ای باشد که نمونه آشکار آنها همان قلعه‌زری و شوراب است (Ghorbani, 2002). بررسی‌های زمین‌شیمیایی در محدوده کانی‌زایی چندفلزی قلعه‌زری نشان داده است که این محدوده کانی‌زایی، یک نهشته رگه‌ای از نوع گرمایی چندفلزی است. رگه‌های کانه‌دار در امتداد سطوح گسل‌ها و پهنه‌های برشی، در درون سنگ‌های میزبان آتشفشانی ترسیری و با ترکیب بیشتر آندزیتی، نهشته شده‌اند (Hossein-Nejad and Moore, 2005). بررسی کانه‌زایی سرب-روی، مس و آنتیموان نوع انتشاری، رگچه‌ای و رگه‌ای در محدوده معدنی گله‌چاه-شوراب، نشان‌دهنده رخداد کانه‌زایی سرب-روی (مس) رگه‌ای و رگچه‌ای در معدن گله‌چاه است (Mehrabi *et al.*, 2011). همچنین، کانه‌زایی سرب-روی، مس و آنتیموان، شامل دو نوع کانی‌سازی، یکی رگچه‌ای و رگه‌ای برشی محدود به مناطق گسلی و دیگری کانه‌زایی انتشاری و انتشاری-رگچه‌ای در معدن شوراب است (Mehrabi *et al.*, 2011). بررسی‌های کانی‌شناسی و ایزوتوپی و زمین‌شیمی محدوده کانی‌زایی سرب و روی چاه سرب طبس، نمایانگر

کناره‌های خاوری بلوک لوت در پهنه زمین‌ساختی همانندی پدید آمده باشند ( Karimpour and Saadat, 2006). هدف از این نوشتار بررسی کانه‌زایی و سیال‌های درگیر در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ دهسلم است.

آمده‌اند. شکل ۲ جایگاه برخی از محدوده‌های کانی‌زایی گفته شده را نشان می‌دهد. مقایسه این ذخایر نشان می‌دهد که بیشتر آنها چندفلزی بوده و بیشتر دارای مس، سرب و روی و ترکیب‌های دیگر هستند. به‌نظر می‌رسد بیشتر آنها در

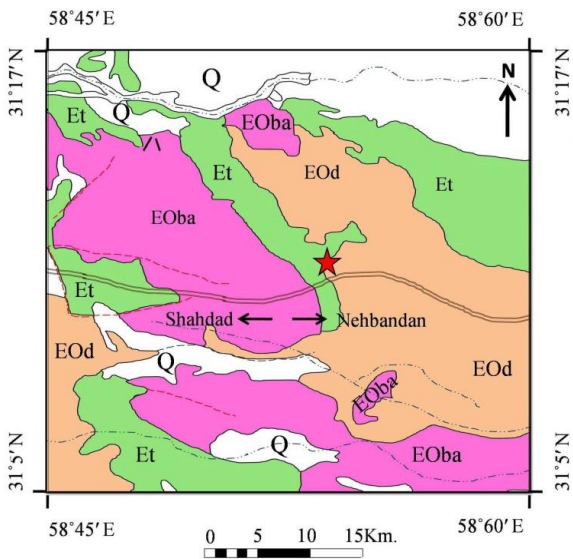


شکل ۱- راه‌های دسترسی به محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ دهسلم (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی).



شکل ۲- جایگاه محدوده کانی‌زایی‌های سرب-روی در لوت مرکزی (با تغییرات) و محدوده سرب ماهور ۲ (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) (Tarkian et al., 1983).

## زمین‌شناسی منطقه



## LEGEND

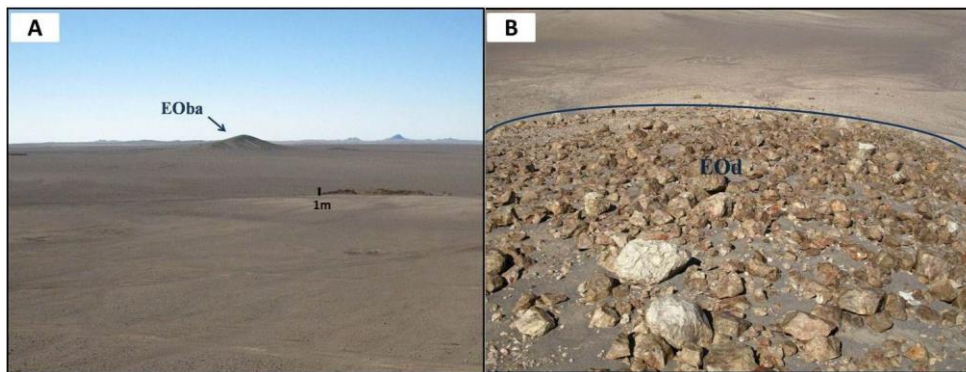
□	Q	Quaternary sediments	- - -	Fault
■	EOba	Basaltic Andesite	==	Road
■	EOd	Dacite	- · - · -	Drainage
■	Et	Tuff	★	Mahour polymetal deposit
			/ \	Veins of Lead

شکل ۳- بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ چاه‌وک (Hosseini *et al.*, 1992) با اندکی تغییرات. جای رگه‌های سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) به صورت تقریبی نشان داده شده است.

سنگ‌های داسیتی به رنگ خاکستری روشن، بخش‌های گسترده‌ای از خاور، جنوب و جنوب‌خاور منطقه را پوشانده‌اند و بیشترشان خرد و شکسته هستند (شکل ۴- B).

محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ در بخش کناره خاوری بلوک لوت رخنمون دارد. این بلوک دارای درازای ۹۰۰ کیلومتر در راستای شمالی-جنوبی و پهنای ۲۰۰ کیلومتر در راستای خاوری-باختری است (Nabavi, 1976; Stocklin and Nabavi, 1973). مرز خاوری آن با گسل نه‌بندان و حوضه‌ی فلیشی خاور ایران و مرز باختری آن با گسل نایبند و بلوک طبس شناخته می‌شود (Stocklin, 1968). ریخت‌شناسی منطقه‌ی ماهور پست و هموار است و از ماسه‌های بادی و سنگ‌های آتشفشانی تیره رنگ پوشیده شده است. تنها بلندی‌های منطقه، گرانیت سرخ‌کوه و گرانودیوریت عبداللهی هستند. سنگ‌های آتشفشانی که بیشتر ترکیب آندزیتی-داسیتی دارند، بخش‌های گسترده‌ای از منطقه را دربرگرفته‌اند.

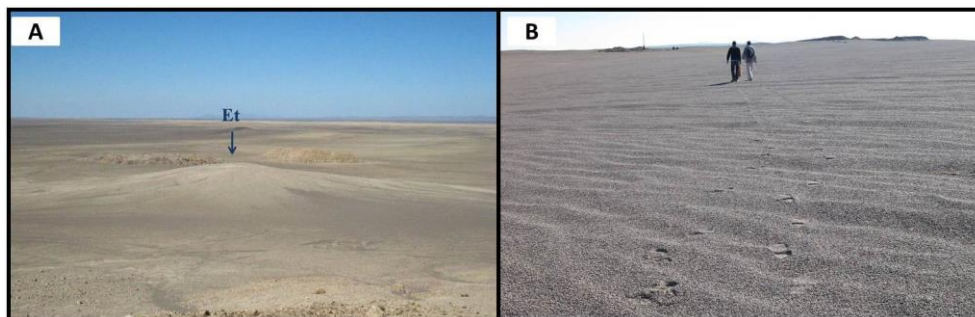
شکل ۳ محدوده کانی‌زایی ماهور در نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ده‌سلم (چاه‌وک) (Hosseini *et al.*, 1992) را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی (شکل ۳)، بیشتر سنگ‌های منطقه ماهور داسیتی، آندزیت بازالتی و توف‌های ائوسن هستند و با رسوب‌های جوان کواترنری پوشیده شده‌اند. سنگ‌های آندزیت‌بازالتی تا بازالت به رنگ خاکستری تیره تا سیاه در بخش‌های باختری منطقه دیده می‌شوند (شکل ۴- A).



شکل ۳- A) سنگ‌های آندزیت بازالتی محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) (دید به سوی باختر؛ B) سنگ‌های داسیتی محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم که به صورت بلوکی درآمده‌اند (دید به سوی شمال‌باختری).

توف‌ها در بخش‌های مختلف منطقه، با رنگ‌های سبز، خاکستری و ترکیب غالب داسیتی تا آندزیتی با سن ائوسن، دیده می‌شوند. این توف‌ها بیشتر دارای لیتیک هستند و دگرسانی‌های گوناگون، مانند آرژیلیتی شدن و سیلیسی شدن، نشان می‌دهند (شکل ۵- A) نهشته‌های آبرفتی جوان کواترنری، شامل ماسه، سیلت و رس‌های عهد حاضر، بیشتر رخنمون‌های سنگی پیشین را پوشانده‌اند (شکل ۵- B). کانه‌زایی سرب در منطقه ماهور که بیشتر رگه‌ای بوده و کمتر پراکنده یا توده‌ای است، در سطح زمین رخنمون مناسبی ندارند و نمونه‌برداری بر روی بخش‌های گوناگون فرودیواره، فرادیواره و کف ترانشه‌ها، پهنه‌های دگرسانی و مغزه‌های حفاری شده، انجام شد. میانگین درازای این ترانشه‌ها ۱۰ تا ۳۰ متر و پهنای آنها ۰/۵ تا ۱/۵ متر است (شکل ۶).

توف‌ها در بخش‌های مختلف منطقه، با رنگ‌های سبز، خاکستری و ترکیب غالب داسیتی تا آندزیتی با سن ائوسن، دیده می‌شوند. این توف‌ها بیشتر دارای لیتیک هستند و دگرسانی‌های گوناگون، مانند آرژیلیتی شدن و سیلیسی شدن، نشان می‌دهند (شکل ۵- A) نهشته‌های آبرفتی جوان کواترنری، شامل ماسه، سیلت و رس‌های عهد حاضر، بیشتر رخنمون‌های سنگی



شکل ۵- A) توف‌ها در کانسار سرب ماهور ۲ (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) (دید به سوی شمال‌باختری)؛ B) نهشته‌های کواترنر در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم (دید به سوی خاور).



شکل ۶- نمایی از ترانشه دارای رگه سرب در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) (دید به سوی خاور).

این دگرسانی بیشتر با دگرسانی آرژیلیک همراه است. سیلیسی شدن بیشتر رگه‌ای و رگچه‌ای و گاه انتشاری است و در سراسر سنگ میزبان روی داده است. همچنین، کانی‌های آلبیت و اپیدوت در پهنه‌های دگرسانی پروپلتیک دیده می‌شوند.

همچنین، اندازه رگه‌ها متغیر بوده، نزدیک به ۲۰×۴۰ سانتیمتر است. در پی دگرسانی سرپسیتی شدن که در آندزیت‌های میزبان به فراوانی دیده می‌شود، فلدسپارها در سنگ میزبان جای خود را به سرپسیت و کانی‌های کربناته داده‌اند.

## روش انجام پژوهش

پس از بررسی‌های نخستین، بازدیدهای صحرائی در منطقه انجام شد. برداشت‌ها از نمونه‌های سطحی، مغزه‌های حفاری و ترانشه‌ها هستند. سپس مقاطع نازک، نازک صیقلی و صیقلی تهیه شدند. بررسی‌های سنگ‌نگاری مقاطع با میکروسکوپ پلاریزان در نور پلاریزه طبیعی (XPL یا cross polarized light) و نور پلاریزه متقاطع (PPL یا plane polarized light) انجام شد. برای بررسی سیال‌های درگیر از نمونه‌های برداشت شده دارای رگه‌های کوارتز، ۵ مقطع دوبر صیقل تهیه و به شرکت مطالعاتی آذین زمین پویا ارسال شد.

## کانه‌زایی و توالی پاراژنز

کانه‌زایی در محدوده سرب ماهر ۲، از سطح به عمق، به‌صورت پهنه برونزاد (سوپرژن) و پهنه برونزاد (هیپوژن) است. پهنه برونزاد دارای کانی‌های مالاکیت، آزوریت، لیناریت و اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت) و پهنه برونزاد دارای کانی‌های گالن، پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت است. کربنات‌های آبدار مس (آزوریت و مالاکیت)، در کنار کانه‌های پیریت، گالن، کالکوپیریت و مالاکیت، به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند (شکل‌های A-7 و C-7). بر پایه بررسی‌های میکروسکوپی، کانه‌های آزوریت و مالاکیت که بدون شکل خاصی هستند، فضاهای تهی را پر کرده‌اند (شکل‌های B-7 و D-7). در مقاطع میکروسکوپی، کانه لیناریت با فراوانی کم، همراه با کانه گالن به رنگ آبی و به‌صورت پراکنده، دیده می‌شود (شکل A-8). در رخنمون‌های صحرائی و مقاطع میکروسکوپی، اکسیدهای آهن، مانند

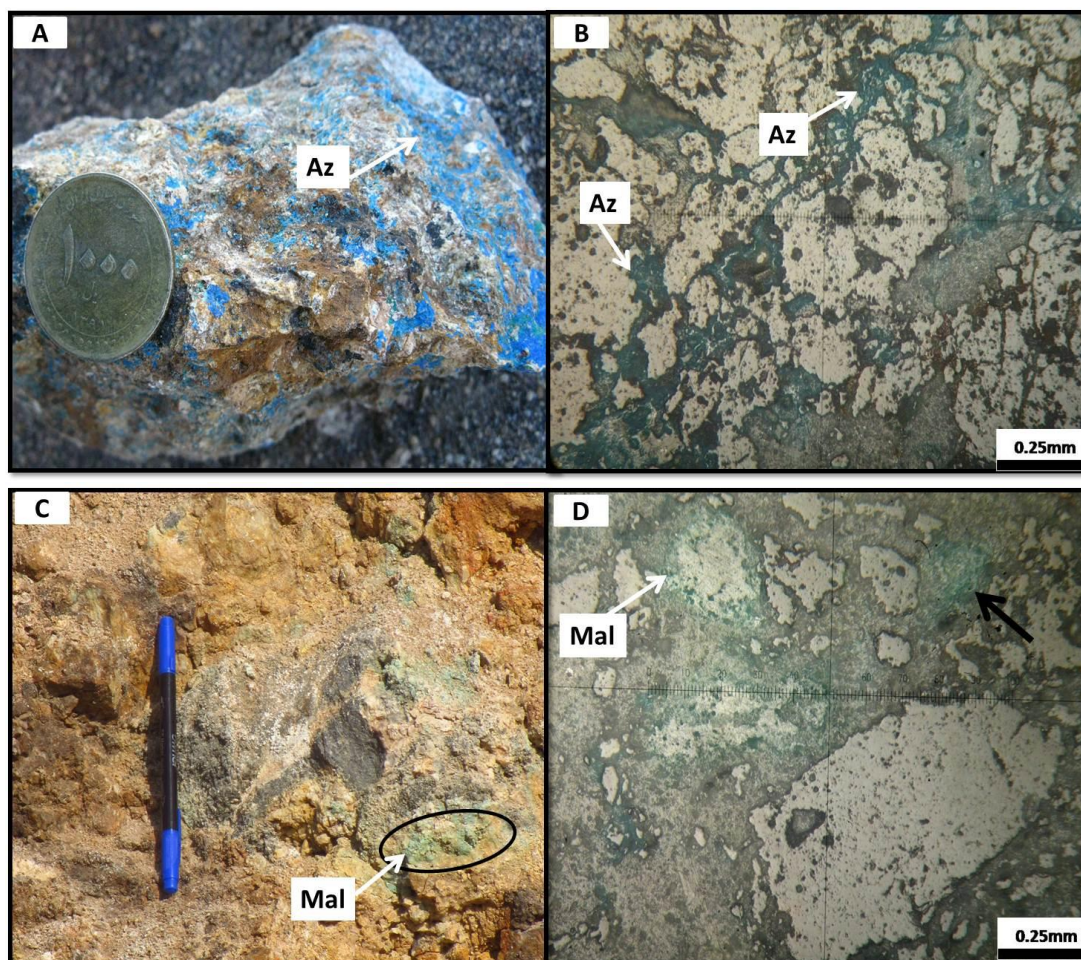
هماتیت، لیمونیت و گوبیتیت، با رنگ‌های قرمز، قهوه‌ای و زرد دیده می‌شوند. همچنین، کانه مگنتیت گاه با هماتیت در حال جایگزینی است (شکل B-8).

گالن از مهم‌ترین کانه‌های سرب‌دار پهنه برونزاد در محدوده کانی‌زایی سرب ماهر است. این کانه فراوان‌ترین کانه دیده‌شده در این محدوده است و در رخنمون ترانشه‌های حفر شده نیز به شکل‌های گوناگون رگه‌ای، توده‌ای و پوششی دیده می‌شود (شکل‌های A-9 تا D-9). گالن در زیر میکروسکوپ بیشتر توده‌ای با رخ‌های مثلثی است (شکل A-10)؛ اما شاید گاه در پی نیروهای زمین‌ساختی، گالن دچار شکستگی و خردشدگی شده است (شکل B-10).

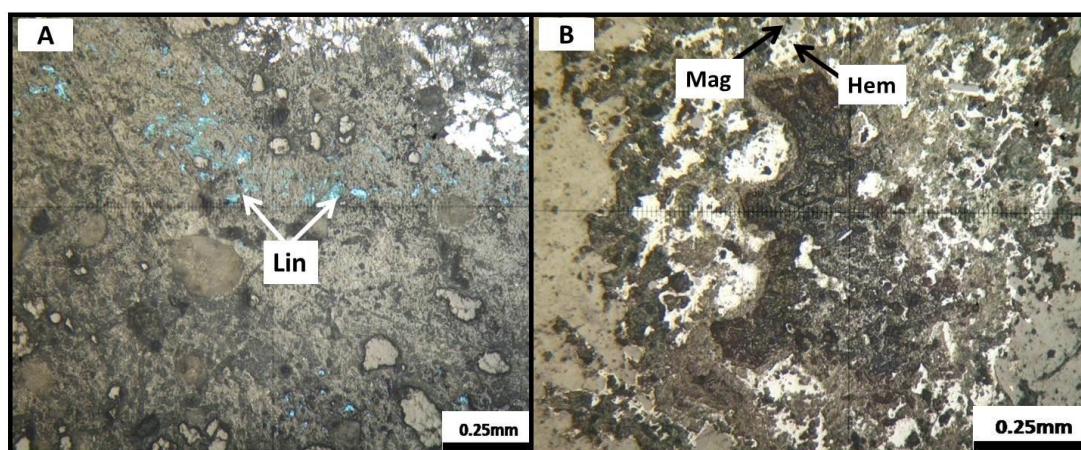
پیریت دومین کانه فراوان دیده‌شده در محدوده سرب ماهر است. در زیر میکروسکوپ، این کانی به‌صورت پراکنده، تجمعی، رگه‌ای و رگچه‌ای دیده می‌شود. همچنین، گاه دچار دگرسانی شده و با اکسیدهای آهن در حال جانشینی است. پیریت به شکل‌های بی‌شکل، نیمه‌شکل‌دار، شکل‌دار و در اندازه‌های گوناگون دیده می‌شود. گاه در پی نیروهای زمین‌ساختی دچار خردشدگی و شکستگی شده است. از بافت‌های دیده‌شده در آن، بافت‌های خلیجی، فرامبوئیدال و پراکنده را می‌توان نام برد (شکل‌های A-11 تا D-11).

کالکوپیریت به مقدار بسیار کم و در اندازه کوچک، به‌همراه کانه‌های پیریت و گالن، در پهنه برونزاد محدوده کانی‌زایی پدید آمده است (شکل A-12). کانه مگنتیت نیز بی‌شکل و با رنگ خاکستری و گاه به‌صورت ادخال درون پیریت دیده می‌شود (شکل B-12).



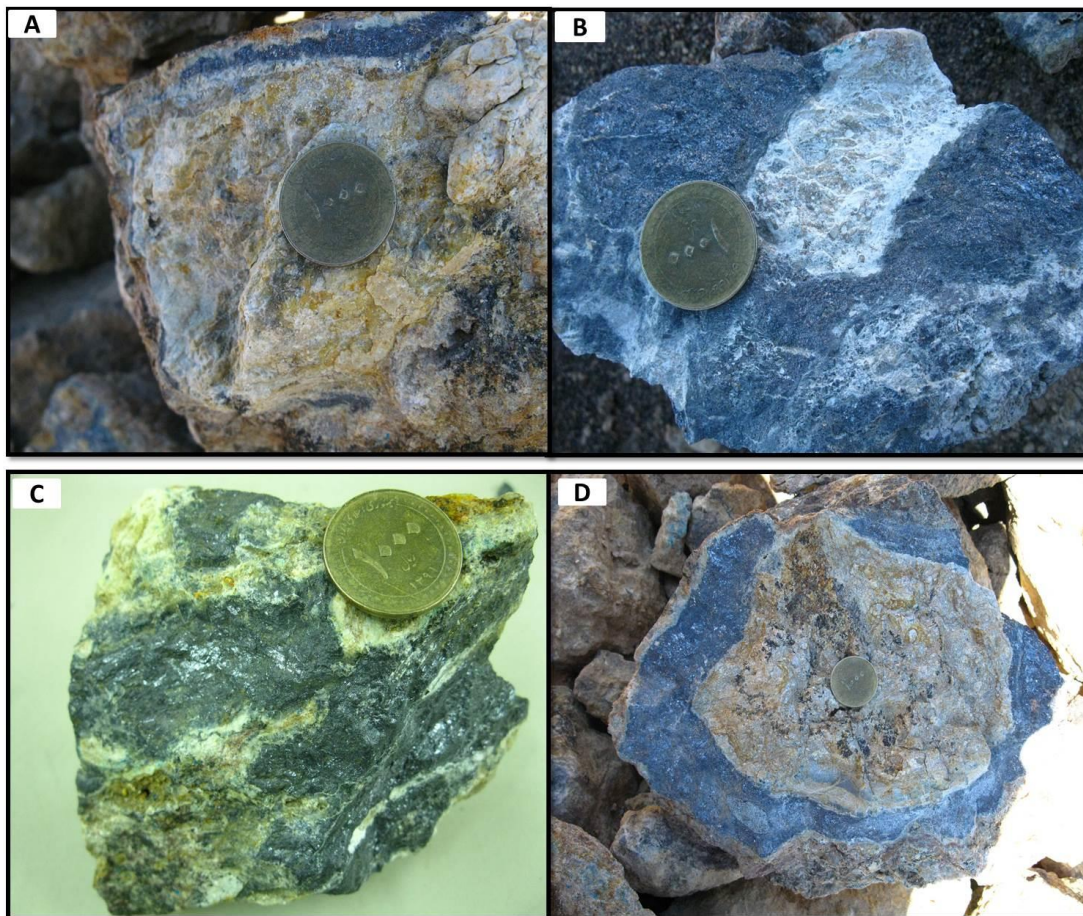


شکل ۷- ویژگی‌های کربنات‌های مس‌دار در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی): (A) نمونه دستی آزریت؛ (B) تصویر میکروسکوپی آزریت؛ (C) مالاکیت در رخنمون‌های سنگی (دید به سوی شمال باختری)؛ (D) تصویر میکروسکوپی مالاکیت (نور انعکاسی، بزرگنمایی 10X).

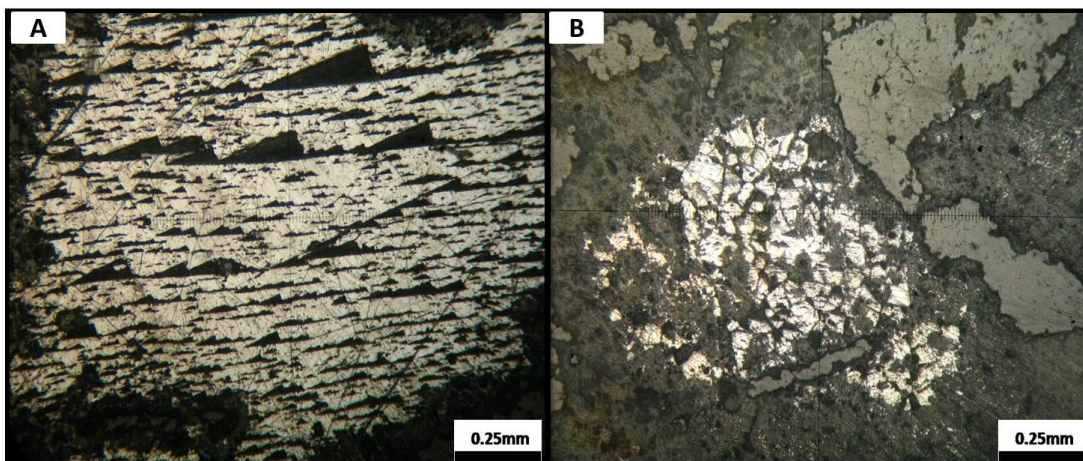


شکل ۸- (A) تصویر میکروسکوپی کانه لیناریت در کنار گالن در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی)؛ (B) تصویر میکروسکوپی جایگزینی مگنتیت با هماتیت (نور انعکاسی، بزرگنمایی 10X).



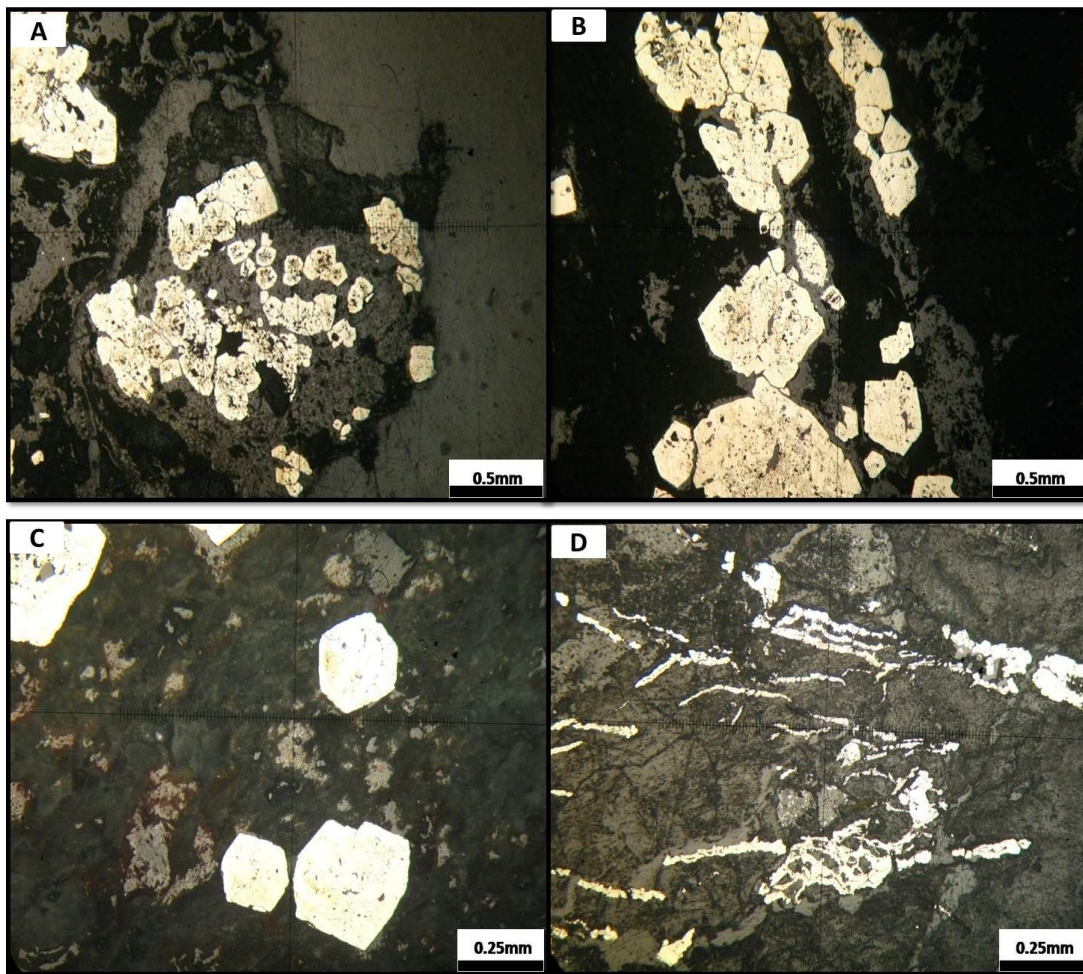


شکل ۹- شکل‌های کانه‌زایی سرب در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی). (A) رگه‌ای؛ (B, C) توده‌ای؛ (D) پوششی.

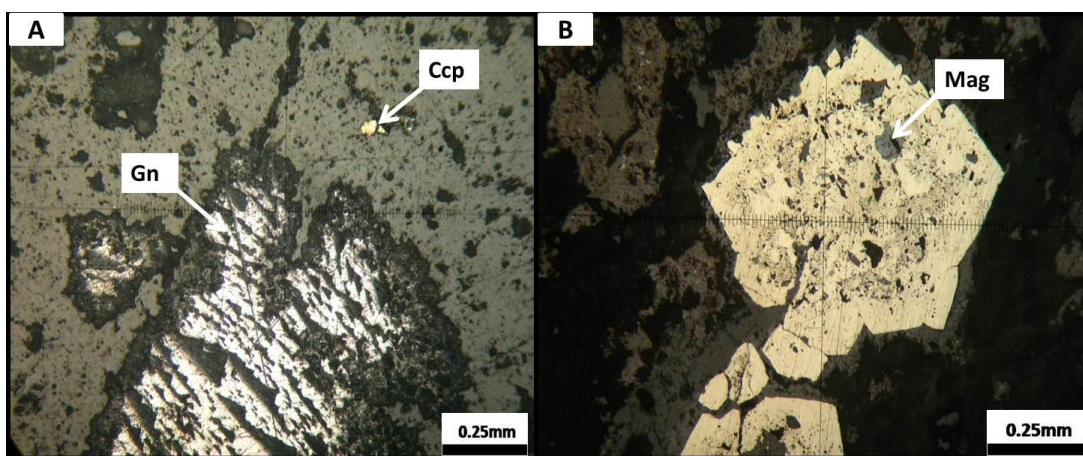


شکل ۱۰- تصویرهای میکروسکوپی کانه گالن در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی). (A) گالن به صورت توده‌ای با رخ‌های مثلثی در آن؛ (B) شکسته شدن کانه گالن در پی نیروهای زمین‌ساختی (نور انعکاسی، بزرگنمایی 10X).





شکل ۱۱- تصویرهای میکروسکوپی کانه پیریت در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی). (A) پیریت‌های دارای بافت فرامبوئیدال (بزرگنمایی 5X)؛ (B) پیریت‌های شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار و خلیجی (بزرگنمایی 5X)؛ (C) کانه پیریت شکل‌دار و پراکنده (بزرگنمایی 10X)؛ (D) رگچه‌های حاوی کانه‌زایی پیریت (بزرگنمایی 10X).

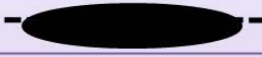
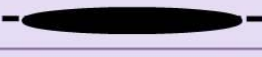
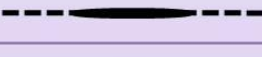
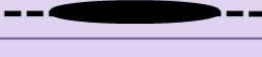
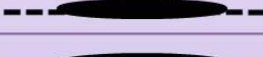




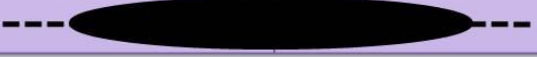


شکل ۱۲- (A) تصویر میکروسکوپی کانه کالکوپیریت در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی)؛ (B) مگنتیت به صورت ادخال داخل پیریت (بزرگنمایی 10X).

کانی‌زایی به ترکیب شیمیایی محلول کانه‌دار، حرارت و فشار، شرایط فیزیکو-شیمیایی محلول و تغییرات pH-Eh بستگی دارند (Karimpour, 1995). داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی توالی کانی‌های همایند محدوده کانی‌زایی سرب ماهور در جدول ۱ آورده شده است.

به کانی‌هایی که هم‌زمان از یک خاستگاه یکسان در شرایط ترمودینامیکی معین با هم در حال تعادل هستند، پاراژنز یا کانی‌های همایند گفته می‌شود. همچنین، اصطلاح کانی‌های همایند برای تقدم و تأخر تبلور کانی‌ها نسبت به یکدیگر کاربرد دارد. کانی‌های همایند در هر محدوده

جدول ۱- توالی کانی‌های همایند در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی).

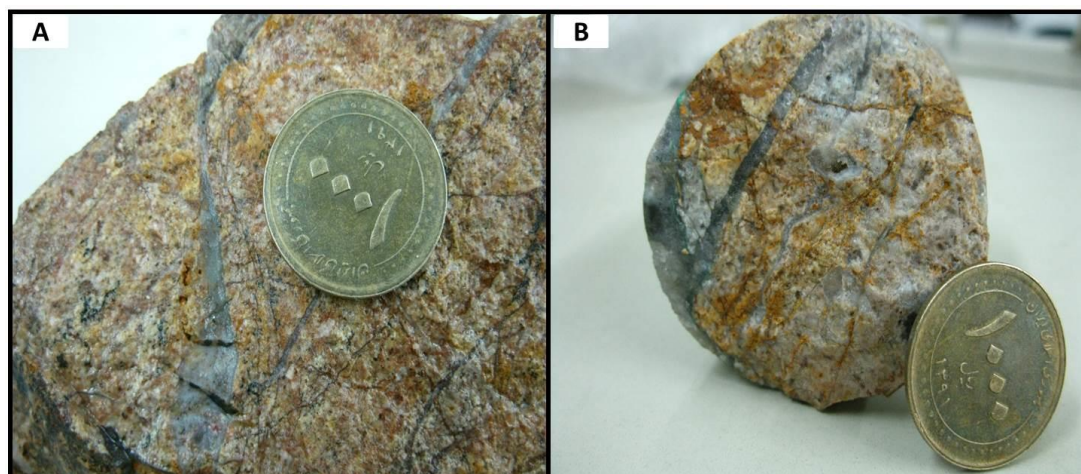
Minerals	Stage	
	Hypogene	Supergene
Galena		
Pyrite		
Chalcopyrite		
Magnetite		
Azurite		
Malachite		
Linarite		
Iron oxides		
Calcite		
Quarz		

درگیر، از میان ۴۰ نقطه (۲۵ نقطه سیال‌های درگیر نخستین، ۱۰ نقطه ثانویه دروغین و ۵ نقطه ثانویه)، بررسی سیال‌های درگیر تنها در ۱۳ نقطه انجام شد. داده‌های به‌دست‌آمده از این بررسی در جدول ۲ آورده شده است. در بررسی سیال‌های درگیر چنین انگاشته شد که درونمایه این حفره‌ها از همان سیال‌های کانه‌دار نخستین نهشته شده‌اند و پس از آن هیچ نشستی به درون و یا بیرون آن‌ها روی نداده است.

### سیال‌های درگیر

برخی از نمونه‌های برداشت شده از ترانشه‌ها و مغزه‌های حفاری در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور، دارای رگه و رگچه‌های کوارتز هستند (شکل ۱۳). از میان این نمونه‌ها، ۵ مقطع دوبر صیقلی برای بررسی سیال‌های درگیر تهیه و پس از بررسی‌های میکروسکوپی، ۳ نمونه برای بررسی زمین‌دماسنجی به شرکت آدین زمین پویای تهران فرستاده شد. با توجه به اندازه کوچک سیال‌های





شکل ۱۳- رگه‌ها و رگچه‌های کوارتز در نمونه‌های برداشت شده از محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی). (A نمونه دستی؛ B مغزه).

جدول ۲- داده‌های برآمده از بررسی سیال‌های درگیر در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) (P: سیال درگیر نخستین، S: سیال درگیر ثانویه، L: مایع، V: بخار، Qtz: کوارتز).

Sample No.	Sample Name	Fluid Type	Inclusion	Fluid Size (µm)	Inclusion Shape	Fluid Inclusion Shape	Phases (30°C)	Liquid (%)	T <sub>m</sub> (°C)	Th (V→L) (°C)	Host Mineral
1	F6-1	P		14		unshape	L+V	85	-1.9	278.3	Qtz
2	F6-2	S		16		unshape	L+V	90	-1.4	183.1	Qtz
3	F6-3	P		15		Euhedral	L+V	80	-0.1	438	Qtz
4	F6-4	S		7		Euhedral	L+V	80	-0.3	81.5	Qtz
5	F6-5	P		7		Euhedral	L+V	85	-2.1	570.3	Qtz
6	F6-6	P		8		unshape	L+V	90	-1.1	565	Qtz
7	F6-7	S		8		unshape	L+V	90	-2.6	156.9	Qtz
8	20-1	P		9		Euhedral	L+V	90	-4.3	363.4	Qtz
9	20-2	P		12		Euhedral	L+V	95	-1.4	474.3	Qtz
10	20-3	P		13		Euhedral	L+V	95	-1.2	483.2	Qtz
11	20-4	P		8		unshape	L+V	90	-1.7	520.9	Qtz
12	2 (44M)-1	P		15		unshape	L+V	80	-1.8	407.4	Qtz
13	2 (44M)-2	S		9		unshape	L+V	80	-1.3	139.6	Qtz

### سنگ‌نگاری سیال‌های درگیر

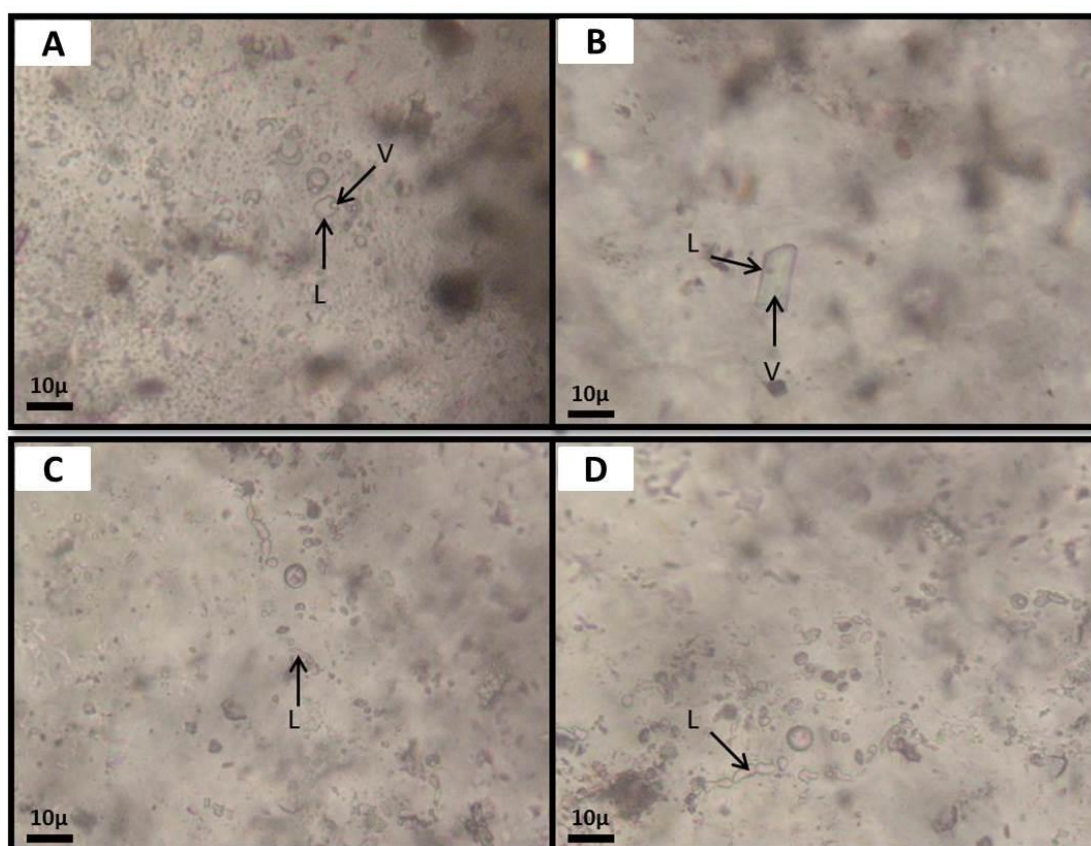
می‌شوند و چنانچه در این هنگام سیال رشددهنده کانی به دام افتد، سیال‌های درگیر پدیدآمده، سیال‌های ثانویه‌دروغین (pseudosecondary) گفته می‌شوند؛ اما اگر پس از پیدایش بلور تنشی بر آن آورده شود و در پی آن در کانی ترک‌ها و شکستگی‌های دیرزاد پدید آید، به‌گونه‌ای که سیال‌های بعدی در آن به دام افتند، به این گونه از سیال‌های درگیر، ثانویه (secondary) گفته می‌شود (Van den Kerkhof and Hein, 2001).

در واقع هر سیال درگیر در پی به‌دام‌افتادن حجم کوچکی از یک سیال درون بلور پدید می‌آید. این سیال یا در راستای نواحی رشد، یا در هر نقص بلوری که هنگام رشد، درون یک بلور پدید می‌آید، به‌دام می‌افتد. به این‌گونه سیال‌ها، سیال‌های درگیر نخستین (primary) گفته می‌شود. هنگامی که یک کانی در هنگام رشد ترک می‌خورد، ترک‌های ریز هم‌زمان با رشد بلور بسته



ده‌سلم، از داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی سیال‌های درگیر نخستین بهره گرفته می‌شود. این سیال‌ها به شکل‌های مختلف کروی، بیضوی، میله‌ای، چندگوشه و بی‌شکل، با اندازه بین ۷ تا ۱۶ میکرومتر دیده می‌شوند. از دید ترکیب فازی، این سیال‌های درگیر دو گونه هستند: (۱) دو فازی، دارای فاز مایع و گاز با غنی‌شدگی از فاز مایع؛ (۲) تک فازی دارای فاز مایع (شکل ۱۴).

در بررسی سیال‌های درگیر، پیش از انجام ریزدماسنجی (میکروترموتری)، نخست سنگ‌نگاری سیال‌های درگیر بررسی شد. در این بررسی‌ها، نوع، شکل، اندازه و فازهای ترکیبی سیال‌های درگیر شناخته شدند. بر این پایه، از نظر بررسی کانی‌های همایند، سیال‌های درگیر از نوع نخستین و ثانویه هستند. در اینجا برای بررسی سیال‌های درگیر محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲



شکل ۱۴- تصویرهای میکروسکوپی از سیال‌های درگیر تک‌فازی مایع (L) و دو‌فازی مایع و بخار (L+V) در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی).

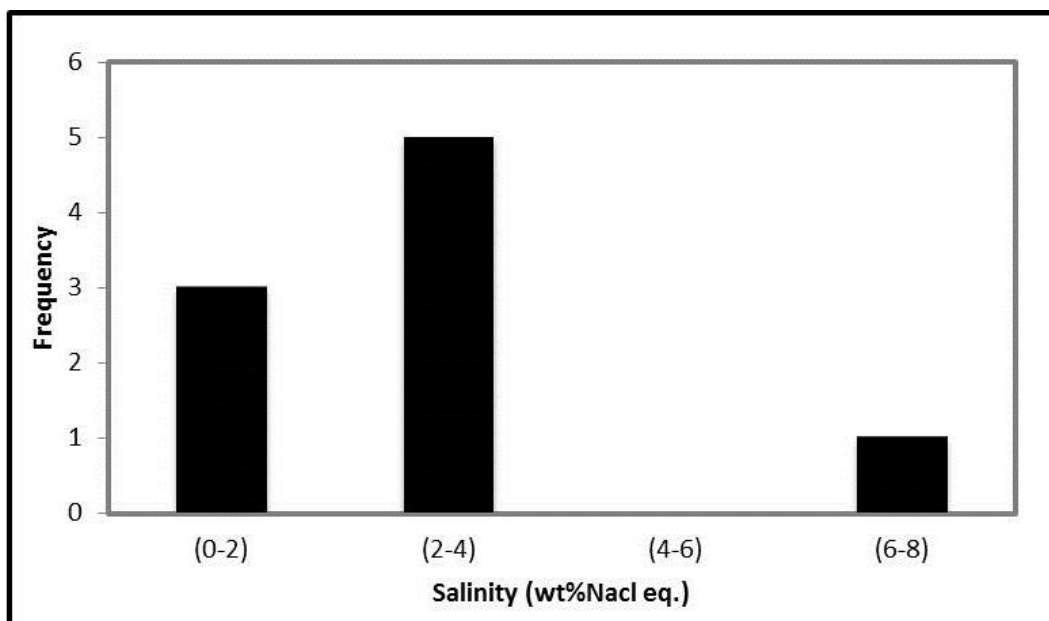
از آنجایی که دمای نقطه یوتکتیک در نمونه‌های محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم اندازه‌گیری نشد (به‌علت کوچک‌بودن اندازه سیال‌های درگیر)، و نیز ندیدن فاز جامد، چنین انگاشته می‌شود که این سیستم، از نوع  $H_2O$ -

#### بررسی‌های دماسنجی سیال‌های درگیر

بررسی سرمایش: با روش انجماد، نوع و میزان نمک‌ها در سیال‌های درگیر را می‌توان شناسایی کرد. کلوروسدیم مهم‌ترین ترکیب نمکی سیال‌های درگیر است (Karimpour and Saadat, )

۰/۱ تا ۶/۵ درصد وزنی به‌دست آمده است. همچنین، نمودار هیستوگرام شوری سیال‌های درگیر نسبت به فراوانی آنها در شکل ۱۵ نشان شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، بیشترین فراوانی در محدوده ۲ تا ۴ درصد وزنی معادل نمک‌طعام است.

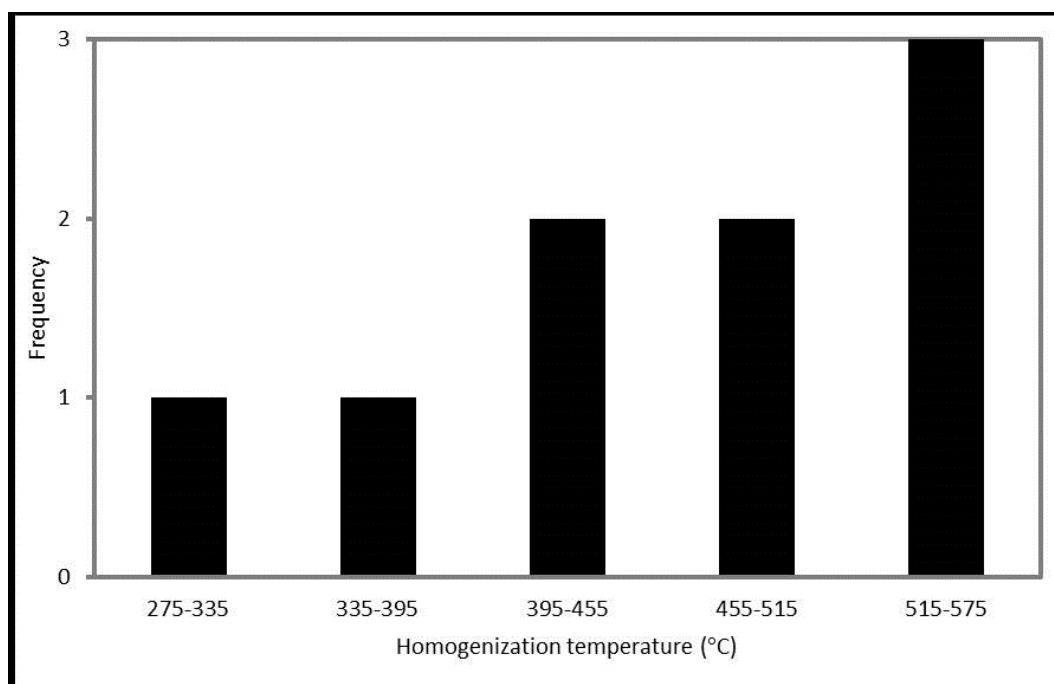
NaCl است. در نمونه‌های محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم، برای به‌دست‌آوردن شوری سیال‌های درگیر دوفازی مایع و بخار، از روش انجماد سیال‌ها و ذوب دوباره آنها بهره گرفته شد. در این اندازه‌گیری‌ها، با کاربرد روش پیشنهادی Hall و همکاران (۱۹۸۸)، اندازه نمک‌طعام بین



شکل ۱۵- نمودار هیستوگرام شوری برای سیال‌های درگیر محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) در برابر فراوانی آنها.

بررسی‌های گرمایشی: بررسی‌های گرمایشی برای به‌دست‌آوردن دمای پیدایش سیال درگیر و درصد نمک‌ها در آن کاربرد دارند ( Karimpour and Saadat, 2006). در این روش با گرم‌آدن تا دمای مشخصی، سیال درگیر کاملاً همگن می‌شود و با توجه به اینکه سیال‌های درگیر محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم از نوع دوفازی غنی از فاز مایع هستند، فاز بخار به آرامی کوچک‌تر شده و در دمای مشخصی ناپدید می‌شود. به این پدیده، همگن‌شدن به مایع گفته می‌شود و دمایی که در آن سیال درگیر کاملاً همگن می‌شود  $T_h$  نام دارد ( Karimpour and Saadat, 2006). دمای همگن‌شدگی نمونه‌ها از ۲۷۸ تا ۵۷۰ درجه سانتیگراد به‌دست آمده است. شایان ذکر است که با توجه به مقدار شوری اندک به‌دست‌آمده و همچنین، بررسی‌های پیشین در محدوده کانی‌زایی چندفلزی ماهور ( Mirzaei Sform, 2011; Rayeni, 2012) و شناسایی خاستگاه اپی‌ترمال تا مزوترمال برای این محدوده کانی‌زایی، دماهای بالاتر از محدوده دمایی اپی‌ترمال تا مزوترمال پذیرفتنی نیست. بر پایه هیستوگرام دمای همگن‌شدگی در برابر فراوانی، دمای ۵۱۵ تا ۵۷۵ درجه سانتیگراد دارای بیشترین فراوانی است (شکل ۱۶).

بررسی‌های گرمایشی: بررسی‌های گرمایشی برای به‌دست‌آوردن دمای پیدایش سیال درگیر و درصد نمک‌ها در آن کاربرد دارند ( Karimpour and Saadat, 2006). در این روش با گرم‌آدن تا دمای مشخصی، سیال درگیر کاملاً همگن می‌شود و با توجه به اینکه سیال‌های درگیر محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم از نوع دوفازی غنی از فاز مایع هستند، فاز بخار به آرامی کوچک‌تر شده و در دمای مشخصی ناپدید می‌شود. به این پدیده، همگن‌شدن به مایع گفته می‌شود و دمایی که در آن سیال درگیر کاملاً همگن می‌شود  $T_h$  نام دارد ( Karimpour and Saadat, 2006).



شکل ۱۶- نمودار هیستوگرام دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) در برابر فراوانی آنها.

بررسی‌های سرمایش و گرمایش بر روی سیال‌های درگیر ثانویه (جدول ۲)، نشان‌دهنده دمای همگن‌شدگی ۸۱ تا ۱۵۶ درجه سانتیگراد و شوری ۰/۵ تا ۴ درصد وزنی نمک‌طعام هستند. اختلاف دمای به‌دست‌آمده برای سیال‌های درگیر نخستین و ثانویه می‌تواند نشان‌دهنده دو فاز مستقل دمایی در پیدایش آنها باشد. همچنین، داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی سیال‌های درگیر نشان می‌دهد که چه‌بسا این محدوده کانی‌زایی در پی آمیخته‌شدن سیال جوی و ماگمایی پدید آمده است، هر چند جای تردید وجود دارد. بر پایه برخی ویژگی‌ها، مانند همانندی شکل محدوده کانی‌زایی، کانه‌های نخستین، دگرسانی‌های دیده‌شده، پهنه زمین‌ساختی و سری ماگمایی بین محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲

(Mohammadpour *et al.*, 2014) با محدوده کانی‌زایی چندفلزی ماهور، گویی این دو محدوده کانی‌زایی خاستگاه همانند و یکسانی دارند (جدول ۳). در حقیقت، در بررسی‌های پیشین بر روی سیال‌های درگیر و سنگ‌های میزبان کانسار چندفلزی ماهور، همه شواهد صحرایی و آزمایشگاهی، منطقه‌های دگرسانی، و نبود کانی‌های دما بالا (مانند گارنت، تورمالن، توپاز و غیره)، نشان می‌دهند که کانسار چندفلزی ماهور از گروه کانسارهای اپی‌ترمال رگه‌ای تا مزوترمال است (Ahmadi *et al.*, 2012). همچنین، بررسی‌های Mazaheri و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده که گرانیتوییدهای ماهور هم‌خاستگاه بوده و در پهنه فرورانش وابسته به کمان‌های آتشفشانی کالک‌آلکان و در کناره فعال قاره پدید آمده‌اند.

بررسی‌های سرمایش و گرمایش بر روی سیال‌های درگیر ثانویه (جدول ۲)، نشان‌دهنده دمای همگن‌شدگی ۸۱ تا ۱۵۶ درجه سانتیگراد و شوری ۰/۵ تا ۴ درصد وزنی نمک‌طعام هستند. اختلاف دمای به‌دست‌آمده برای سیال‌های درگیر نخستین و ثانویه می‌تواند نشان‌دهنده دو فاز مستقل دمایی در پیدایش آنها باشد. همچنین، داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی سیال‌های درگیر نشان می‌دهد که چه‌بسا این محدوده کانی‌زایی در پی آمیخته‌شدن سیال جوی و ماگمایی پدید آمده است، هر چند جای تردید وجود دارد. بر پایه برخی ویژگی‌ها، مانند همانندی شکل محدوده کانی‌زایی، کانه‌های نخستین، دگرسانی‌های دیده‌شده، پهنه زمین‌ساختی و سری ماگمایی بین محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲



جدول ۳- مقایسه محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم (خاور بلوک لوت، ایران مرکزی) با چند محدوده کانی‌زایی دیگر در محدوده بلوک لوت.

ویژگی‌های محدوده کانی‌زایی	چندفلزی ماهور	شوراب	گله‌چاه	حوض رئیس	سرب ماهور ۲
سنگ میزبان	آپلیت گرانیتی، گرانوفیر	داسیت پورفیری، شیل و سیلتستون‌های ژوراسیک	کوارتز لاتیت تا کوارتز مونزونیت پورفیری	بیوتیت پیروکسن مونزونیت پورفیری	آندزیت
شکل کانه‌زایی	رگه‌ای، پرکننده فضای خالی و جانیشینی	رگچه‌ای-رگه‌ای برشی، انتشاری و انتشاری-رگچه‌ای	رگچه‌ای، رگه‌ای	رگه‌ای	رگه‌ای، پرکننده فضای خالی
کانه‌های نخستین	پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، مگنتیت	گالن، اسفالریت، استیبنیت، پیریت و کالکوپیریت	گالن، اسفالریت، بورنونیت، کالکوپیریت	گالن، اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت	گالن، پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت
باطله‌ها	کوارتز و کلسیت	کوارتز± سیدریت± کلسیت	سیدریت+کوارتز± کلسیت± کانی‌های رسی	-	کوارتز و کلسیت
دگرسانی‌ها	سرسیستیک، سیلیسی، آرژیلیک، پروپیلتیک و پتاسیک	سرسیستیک، سیلیسی	کربناتی و سیلیسی	سیلیسی، آرژیلیک، کربناتی	آرژیلیک، سیلیسی، کلریتی، سرسیستیک، کربناتی
پهنه زمین ساختی و سری ماگمای	سپر قاره‌ای، کالک‌آلکان	-	-	فرورانش	فرورانش، کمان قاره‌ای، کالک‌آلکان
سن	اؤسن؟	ترسیری	ترسیری	اؤسن میانی- الیگوسن تحتانی	اؤسن
دمای همگن‌شدن (°C)	۲۹۰-۱۹۰	۲۷۵-۱۱۴	۲۳۶-۱۴۷	۲۷۸-۱۴۵	۵۷۵-۲۷۸؟
شوری	۲۳-۱۱/۷	۱۷/۷-۴/۲	۹/۴-۲/۸	۱۳/۴-۶/۸	۰/۱-۶/۵
منبع	Mirzaei Rayeni (2012), Sform (2011)	Mehrabi and Talefazel (2011)	Mehrabi et al. (2011)	Malekzadeh Shafaroudi (2013)	Mohammadpour et al. (2014)

### نتیجه‌گیری

در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم، سیال‌های درگیر تک‌فازی و دوفازی هستند. بررسی‌های انجام شده بر روی این سیال‌ها نشان‌دهنده مقدار شوری ۰/۱ تا ۶/۵ درصد نمک‌طعام و دمای همگن‌شدگی نزدیک به ۲۷۸ تا ۵۷۰ درجه سانتیگراد است.

در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم، شاید دمای بالا با اندازه شوری کم به نسل دیگری از

در محدوده کانی‌زایی سرب ماهور ۲ ده‌سلم، سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی آندزیت‌های دگرسان شده هستند. کانه‌زایی سرب در این سنگ‌ها رگه‌ای (اندازه‌ای نزدیک به ۲۰×۴۰ سانتیمتر) و کمتر پراکنده یا توده‌ای است. در پهنه‌های برونزاد یا سوپرژن کانه‌های (آزوریت، مالاکیت، لیناریت، اکسیدهای آهن) و در پهنه درونزاد یا هیپوزن (گالن، پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت) هستند.

قاره) در این محدوده کانی‌زایی با کانسار چندفلزی ماهور، خاستگاه آنها با هم ارتباط نزدیکی دارد. همچنین، بر پایه این بررسی، نوع محدوده کانی‌زایی گرمابی بوده و در راستای شکستگی‌ها پدید آمده است.

### سپاس‌گزاری

نگارندگان از مسئولان گرامی محدوده کانی‌زایی ماهور، آقایان رضا صادقی و ولی‌الله نیکبخت و سایر همکاران‌شان بسیار سپاس‌گزارند.

کانی‌سازی در منطقه وابسته باشد؛ اما پذیرش درستی این نکته نیازمند بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر است. بر پایه بررسی‌های پیشین بر روی سیال‌های درگیر و سنگ‌های میزبان کانسار چندفلزی ماهور، همچنین، همانندی شکل محدوده کانی‌زایی (رگه‌ای)، کانه‌های نخستین (پیریت، کالکوپیریت)، دگرسانی‌های دیده‌شده (سیلیسی، سریسیتی، پروپیلیتیک و آرژیلیک)، پهنه زمین‌ساختی و سری ماگمایی سنگ‌های سازنده و میزبان (کمان‌های آتشفشانی کالک‌آلکان کناره فعال

### منابع

- Ahmadi, A., Mirzaei Rayeni, R. and Mirnejad, H. (2012) The origin of ore-forming fluids in the Mahour polymetal ore deposit, using electron microprobe data and sulfur isotopes (East of Lut block, Central Iran). *Petrology* No. 10 (in Persian).
- Boomeri, M., Biabangard, H., Nakashima, K. and Sform, M. (2013) Occurrence and chemistry of supergene sulfide and oxide minerals in Mahour polymetal ore deposit west of Nehbandan. *Petrology* 4(14): 17-30 (in Persian).
- Ghorbani, M. (2002) Introduction of economic geology of Iran. Geological survey mineral exploration (in Persian).
- Hall, D. L., Sterner, S. M. and Bodnar, R. J. (1988) Freezing Point depression of NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O solutions. *Economic Geology* 93: 197-202.
- Hosseini, Z., Afsharian, M. and Chaichi, Z. (1992) Geological quadrangle map of Dehsalm (Chahvak) 1:250000. Geological survey and mineral exploration, Tehran (in Persian).
- Hossein-Nejad, A. A. and Moore, F. (2005) Geochemistry of Qalezari Ag-Au-Cu deposit, South Khorasan province. 9<sup>th</sup> symposium of geological of Iran, University of Tarbiat Moallem Tehran, Iran (in Persian).
- Karimpour, M. H. (1995) Applied geology. Saleh Publication, University of Ferdowsi Mashhad (in Persian).
- Karimpour, M. H. and Saadat S. (2006) Applied Economic geology. University of Ferdowsi Mashhad (in Persian).
- Maanijoo, M., Rasa, A., Lentz, D. and Alirezaei, S. (2008) Mineralography and Microprobe study of sulfide minerals in the Chehelchure deposit in Zahedan. *Geology of Iran* 2(8): 17-28 (in Persian).
- Malekzadeh Shafaroudi, A. and Karimpour, M. H. (2013) Geology and mineral deposits of lead- zinc-copper and fluid inclusion studies Hoze Raes, East Iran. *Journal of Advanced Applied Geology*, 2(6): 63-73 (in Persian).
- Mazaheri, S. A., Miri Bydokhti, R. and Karimpour M. H. (2014) Petrology and tectonomagmatic setting of granitoid intrusions of Mahoor area, southwest of Nehbandan. *Petrology* 5(19): 123-138 (in Persian).

- Mehrabi, B. and Talefazel, A. (2011) Investigation magmatic and surface fluids mixing in poly metal ore mineralization Shorab (south of Ferdos) using with isotope geochemistry and microthermometry evidences. *Journal of Crystallography and Mineralogy of Iran* 1(19): 121-130 (in Persian).
- Mehrabi, B., Tale Fazel, A. and Nokhbeh Alfoghahaei, A. (2011) Zn-Pb, Cu polymetal mineralization and disseminate vien and vienlent Sb in Galechah-Shourab mineralization, magmatic complex east of Iran. *Economic Geology* 1(3): 61-77 (in Persian).
- Mirzaei Rayeni, R. (2012) Geochemistry of Mahour copper deposit and its host rocks, east of Lut block, Central Iran. M.Sc. thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (in Persian).
- Mohammadpour, F., Biabangard, H., Mirnejad, H., Mirzaei Rayeni, R. and Niroumand, S. (2014) Investigation of petrography, alteration zones and geochemistry Dehsalm Mahour 2 lead deposit, East of Lut block, Central Iran. 6<sup>th</sup> symposium of Economic Geology Society of Iran, Sistan Balouchestan, Iran (in Persian).
- Nabavi, M. H. (1976) Intruduction to geology of Iran. Geological survey of Iran press, Tehran (in Persian).
- Poorabdollahi Dizaj, A., Rasa, A. and Behzadi M. (2008) Determination of Chahsorb Pb-Zn deposit genesis with mineralization and isotopic and geochemistry studies. 4<sup>th</sup> Geology and Bioenvironment Symposium (in Persian).
- Sform, M. (2011) Geology and paragenetic sequence of minerals in Mahour polymetalic deposit, west of Nehbandan (east of Iran). M.Sc. thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (in Persian).
- Sform, M., Biabangard, H., Zarrinkoub, M. H., Mehran, M. and Abrahimi, V. (2012) Geochemistry and petrology of volcanic rocks in the Mahour copper deposit, northwest of Nehbandan, East of Iran. *Journal of Mineralogy and Crystallography* (20): 241-252 (in Persian).
- Stocklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: A review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52(7): 1229-1258.
- Stocklin, J. and Nabavi, M. H. (1973) Tectonic map of Iran. Geological survey of Iran press, Tehran.
- Tarkian, M., Lotfi, M. and Baumann, A. (1983) Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran. Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project in Iran (geotraverse) 51: 357-383.
- Van den Kerkhof, F. and Hein, U. (2001) Fluid inclusion petrogtaphy. *Lithos* 55: 27-47.



## **The study of mineralization and fluid inclusion in Dehsalm Mahour 2 lead deposit, east of Lut block, Central Iran**

**Fateme Mohammadpour<sup>1</sup>, Habib Biabangard<sup>1\*</sup>, Hassan Mirnejad<sup>2</sup>  
and Rezvan Mirzaei Rayeni<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

<sup>2</sup> School of Geology, College of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

### **Abstract**

The Mahour 2 lead mineralization area is located, about 145 km west of Nehbandan and 2 km northwest of Mahour polymetal deposit and in the eastern part of Lut Block. The area comprises of volcanic and pyroclastic rocks (Eocene) intruded by several intrusive rocks mainly as dioritic dykes and stocks. Mineralization as veins and filling the space, occurred in altered andesitic rocks. Supergene zone is characterized by azurite, malachite, linarite and iron oxides (hematite and limonite) whereas, galena, pyrite, chalcopyrite and magnetite are the main minerals of hypogene zone. And, quartz and calcite are main gangue. The area is dominated by four types of alteration including silicic, sericitic, propylitic, and argillic. Fluid inclusions study on quartz mineral sections polished reveals the presence of 1.0 to 5.6 percent salt and homogeneous temperature between 278 to 570 ° C. The high temperature with low salinity zone mineralization in this area is likely related to another generation of mineralization in the area. The results of fluid inclusions show that the mineralization is probably a mixture of magmatic fluid and atmospheric, although there is doubt. Several similar criteria including form of deposit, primary ore deposit, alteration facies, tectonic environment and magmatic series document that there should be a correlation between the origin of the studied mineralization area and that of the Mahour polymetal deposit.

**Key words:** Poly metal, Alteration, Fluid inclusions, Mahour 2 lead deposit, Dehsalm, Lut block

\* h.biabangard@science.usb.ac.ir