



## رهیافتی بر شکل‌گیری کانسار مس ماهور، جنوب غرب نهبدان، بر پایه بررسی‌های کانی‌شناسی، میانبارهای سیال و ایزوتوب‌های گوگرد

علیرضا الماسی<sup>۱\*</sup>، روح الله میری بیدختی<sup>۲</sup>، محمدحسن کریم پور<sup>۲</sup>، سید احمد مظاہری<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۹/۸/۱۴، نسخه نهایی: ۹۹/۱۰/۱۷)

**چکیده:** منطقه ماهور در ۱۳۵ کیلومتری جنوب غرب نهبدان در استان خراسان جنوبی در بخش مرکزی کمربند آتشفسانی-ماگمایی قطعه لوت واقع است. نفوذ یک توده گرانیتوئیدی با ترکیب دیوریت، کوارتز مونزو دیوریت و کوارتز مونزو نیتی با سن الیگومن به درون سنگ‌های آتشفسانی منطقه با سن پالئوسن-ائوسن منجر به دگرسانی و کانی‌سازی شده است. پهنه‌های دگرسانی منطقه شامل آرژیلی (کانی‌های رسی)، پروپلیتی (کلریت، سریسیت، کلسیت و اپیدوت)، فیلی (کوارتز، سریسیت و پیریت) و سیلیسی هستند. رخداد کانی‌سازی به صورت افشاران و رگچه‌ای بوده و شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالان، آرسنوبیریت، کوبانیت، کولوپلیت، تراهادریت، جیمسونیت و استیبنینیت است. بر اساس روابط قطع شدگی بین رگچه‌ها، دو نوع رگچه کوارتز + اسفالریت + پیریت ± کالکوپیریت (رگچه‌های نوع ۱) و کوارتز + پیریت + کالکوپیریت ± اسفالریت (رگچه‌های نوع ۲) در بخش‌های عمقی منطقه شناسایی شده است. سیال‌های درگیر در رگچه‌های نوع ۱ و ۲ به ترتیب دارای شوری ۸/۶ تا ۲/۲۱ و ۹/۷ تا ۲/۲۰ درصد وزنی معادل NaCl و دمای همگن‌شدگی ۳۱۵ تا ۵۷۵ و ۱۷۷ تا ۴۵۴ درجه سانتیگراد هستند. یافته‌های ریزدماسنجی بیانگر دگرگونی سیال کانه‌ساز طی رخدادهای جوشش و آمیختگی سیال‌های ماگمایی با آبهای جوی است. مقدار  $S^{34}$  ۱۵/۳-۱۵/۸ درهزار بیانگر خاستگاه ماگمایی گوگرد است. نتایج بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، سیال‌های درگیر و ایزوتوب‌های پایدار گویای رخداد کانی‌سازی سامانه پورفیری در منطقه ماهور است.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌شناسی؛ دگرسانی؛ میانبارهای سیال؛ ایزوتوب‌های گوگرد؛ ماهور؛ قطعه لوت.

قلع هستند. از توده‌های نفوذی وابسته به کرتاسه می‌توان به کازو، بزمان و بجستان اشاره کرد. کازو و بجستان از گرانیتوئیدهای نوع I هستند و همراه آن‌ها کانی‌سازی پورفیری مس صورت گرفته است. اواسط ائوسن تا اوایل الیگومن را می‌توان دوره مهمی برای فعالیت ماگمایی و کانی‌سازی قطعه لوت در نظر گرفت. دیوریت، مونزو نیت و گرانودیوریت در بخش‌های مختلفی از قطعه لوت از جمله ماهرآباد، خوپیک، هیرد، آغل کوه، کجه، نجم آباد، فردوس، ده سلم، چاه شلجمی و قلعه زری گزارش شده‌اند. این توده‌های گرانیتوئیدی وابسته به سری‌های

**مقدمه**  
رخداد فعالیت‌های ماگمایی ترشیری متنوع از نظر ماهیت زمین‌شیمیایی، قطعه لوت را به یکی از مستعدترین پهنه‌های ساختاری ایران برای کانی‌سازی‌های فلزی و غیرفلزی تبدیل کرده است. فعالیت ماگمایی قطعه لوت از اواخر ژوراسیک تا کواترنری منجر به گسترش انواعی از سنگ‌های آتشفسانی، آذر آواری، نیمه‌آتشفسانی و نفوذی شده است [۱]. توده‌های گرانیتوئیدی سرخ کوه، شاه کوه و کلاته آهنی به سن ژوراسیک وابسته به سری‌های ایلمنیتی نوع S بوده و مستعد کانی‌زایی

کانسارهای چندفلزی نوع کردیلرن قابل مقایسه است. هدف ما از این پژوهش تعیین نوع کانه‌ها، بافت و روابط همیزی آن‌ها، تعیین مجموعه‌های دگرسانی منطقه، تحلیل تکامل سیال‌های گرمابی بر اساس بررسی سیال‌های درگیر و سرانجام، بررسی‌های ایزوتوپی گوگرد برای تعیین منبع گوگرد موثر در کانه‌زایی بود.

#### روش بررسی

در این پژوهش پس از پیمایش‌های صحرایی و کنترل واحدهای سنگی بروند یافته در منطقه مورد بررسی، از توده نفوذی نیمه عمیق، پهنه‌های دگرسان، رگه‌ها و بخش‌های کانه‌دار در سطح و عمق نمونه‌برداری شد. تعداد ۳۸ گمانه در کل به طول ۵۰۷۱ متر حفر و بررسی شدند. برای بررسی‌های سنگ‌شناسی و دگرسانی، ۱۱۰ مقطع نازک از نمونه‌های برداشت شده از سنگ‌های آذرین منطقه و بخش‌های دگرسان سطحی و زیرسطحی تهیه شد. همچنین برای بررسی‌های همزمان کانی-شناسی و دگرسانی، تعداد ۳۰ مقطع نازک-صیقلی و ۲۷ مقطعه صیقلی از نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های سطحی و گمانه‌های منطقه تهیه گردید. بررسی‌های سنگنگاری میانبارهای سیال بر ۱۱ مقطع دوبر صیقل تهیه شده از کوارتز و اسفالریت انجام شد. دماسنجدی ۱۴۰ میانبار سیال با میکروسکوپ مجهز به پلاتین سرمایی-گرمایی ساخت شرکت لینکام مدل TMH 600 در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. گفتنی است که مقدار شوری برای ۱۱۰ میانبار اندازه‌گیری گردید. به منظور تعیین خاستگاه گوگرد، ۸ نمونه پیریت و کالکوپیریت پس از خردایش، دست چینی و رسیدن به خلوص ۹۸ درصد در آزمایشگاه Iso-Analytical شهر کرو انگلستان با طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی ترموفینیگان دلتاپلاس برای شناسایی ترکیب‌های ایزوتوپی گوگرد تجزیه شدند. نسبت‌های ایزوتوپی گوگرد بر پایه استاندارد ترویلیت کانیون دیابلو (CDT) محاسبه شدند.

#### زمین‌شناسی منطقه

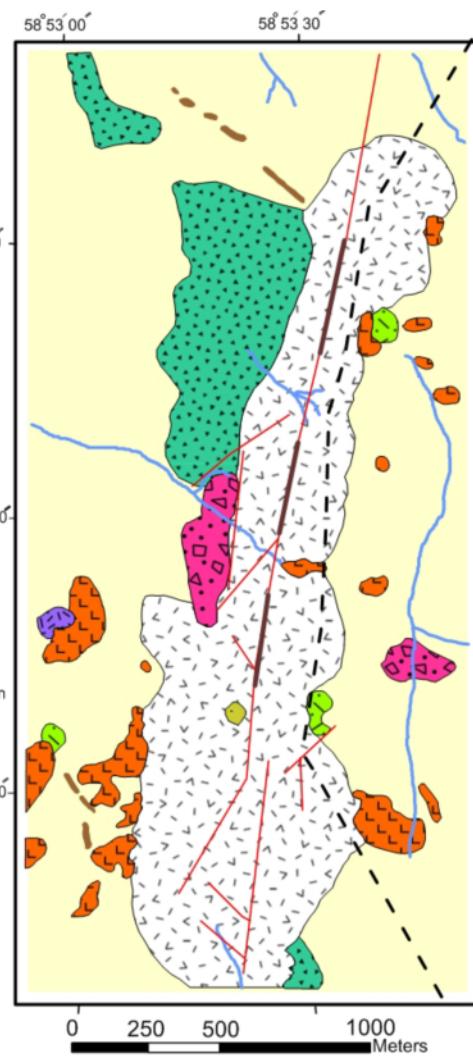
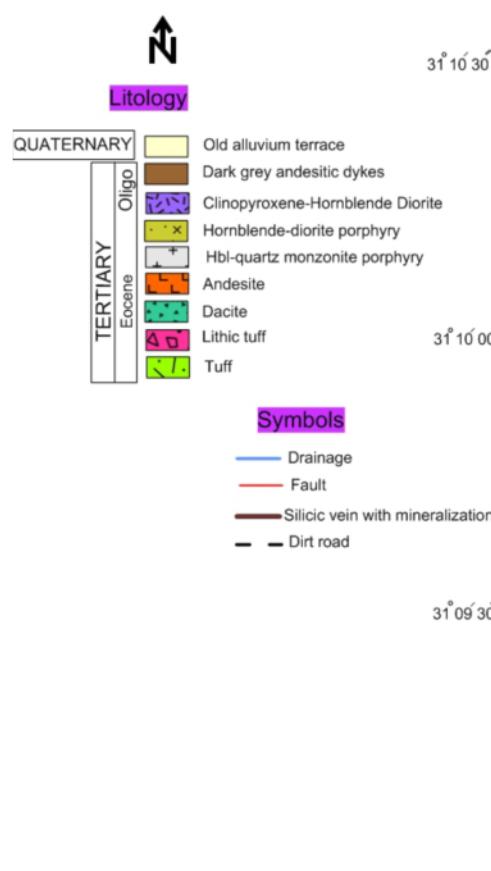
بر اساس نقشه ۱:۵۰۰۰ منطقه ماهور (شکل ۱)، واحدهای آذرین شناسایی شده در گستره مورد بررسی را می‌توان به دو بخش سنگ‌های آتشفسانی و آذرآواری پالئوسن-ائوسن و توده‌های نفوذی نیمه عمیق حدواتسط تقسیم کرد. سنگ‌های آتشفسانی آذرآواری پالئوسن-ائوسن در معرض توده‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق بوده‌اند. این واحدها مربوط

مگنتیتی نوع I هستند. توده‌های نفوذی ماهرآباد، خوپیک، ده سلم و چاه شلجمی به ویژه از نظر کانی‌زایی مس-طلای پورفیری اهمیت دارند [۲]. مرزهای شرقی و غربی قطعه لوت توسط گسل‌های نهیندان و ناییند و مرز شمالی آن با گسل درونه محدود شده‌اند. در این قطعه، حجم سنگ‌های آتشفسانی سنوزوئیک و سنوزوئیک نهشت‌های قاره‌ای نژوژن بیشتر از توده‌های نفوذی مزوزوئیک و سنوزوئیک است [۳]. کانسار چندفلزی ماهور در گستره طول‌های "۵۰°۵۸'۰۸" تا "۵۶°۵۸'۰۸" شرقی و عرض-های جغرافیایی "۳۱°۰۶'۵۰" تا "۳۱°۱۲'۴۵" شمالی در ۱۳۵ کیلومتری جنوب غرب نهیندان و ۴۵ کیلومتری غرب روستای ده سلم در استان خراسان جنوبی واقع است. راه دسترسی به منطقه از طریق جاده نهیندان-شهداد است. تاکنون پژوهش‌های بسیاری پیرامون سنگ‌های آذرین منطقه معدنی ماهور و کانی‌سازی‌های آن انجام شده است. [۴] بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی، کانسار چندفلزی ماهور را در رده کانسارهای فراگرمایی نوع رگه‌ای تا متوسط‌دم‌قرار داده‌اند. بر اساس بررسی‌های اس ferm [۵]، این کانسار دارای ماهیت فراگرمایی است. همچنین به باور اس ferm و همکاران [۶]، سنگ‌های آتشفسانی بروند یافته در گستره این کانسار دارای ماهیت آهکی-قلیایی پتانسیم بالا هستند و ویژگی‌های سنگ-های آتشفسانی نواحی فرورانش و قوس‌های آتشفسانی را نشان می‌دهند. بررسی‌های بومری و همکاران [۷] گویای تمرکز بالای نقره در کانی‌های سولفیدی این کانسار است. بررسی‌های زمین‌فیزیکی به روش قطبش القایی و مقاومت ویژه الکتریکی (IP/RS) نشان داد که بیشترین ناهنجاری‌های فلزی در منطقه ماهور همراه با دگرسانی‌های کوارتز-سربیست-پیریت، سیلیسی، و کلریت است [۸]. بر اساس سن‌سنجی به روش U-Pb بر کانی زیرکن، توده دیبوریتی همراه با کانسار ماهور با سن  $31,88 \pm 2$  میلیون سال وابسته به دوره ایلگوسن است [۹]. بر پایه نسبت‌های ایزوتوپی Sr و Nd، توده گرانیت‌وئیدی ماهور طی جایگیری در سطوح کم عمق شواهدی از آلودگی توسط پوسته قاره‌ای را نشان می‌دهد [۹]. بررسی‌های یونسی و همکاران [۱۰] بیانگر این است که سنگ‌های آذرین ماهور دارای سرشت آهکی قلیایی پتانسیم بالا تا شوشوئیتی، از نوع I و متآلومین هستند؛ همچنین گوشته سنگ‌کره‌ای عامل اصلی فعالیت‌های ماقمایی در ماهور است. بر پایه بررسی‌ها کانی‌شناسی یونسی و همکاران [۱۱]، خاستگاه کانسار ماهور با

عمیق منطقه ماهور دیوریتی است که در غرب بخش کانی‌سازی شده دیده می‌شود و بر اساس روابط این سنگ‌شناسی با سایر واحدها، به نظر می‌رسد که جدیدترین واحد سنگی منطقه است و ارتباطی نیز با کانی‌سازی ندارد (شکل ۱). بر اساس بررسی‌های میری بیدخنی و همکاران [۹]، توده گرانیتوئیدی ماهور در گستره گرانیتوئیدهای نوع I یا S قرار دارد و از نظر زمین‌ساختی در موقعیت کمربردهای آتشفسانی پهنه فرورانش (VAG) واقع بوده و در کرانه‌های قاره‌ای فعال شکل گرفته است. سن این واحد نفوذی بر پایه سن سنگی انجام شده، ابتدای الیگوسن و سن توده‌های نیمه نفوذی اوسن پایانی تعیین شده است [۹]. این توده‌ها کم و بیش دگرسان هستند و کانی‌سازی بصورت رگچه‌ای و پراکنده در آنها دیده می‌شود.

به پیش از کانی‌سازی هستند و بخش بزرگی از منطقه را می‌پوشانند. آنها شامل داسیت، آندزیت، توف و توف سنگی هستند و در بخش‌های مختلف منطقه دیده می‌شوند. به سبب نفوذ توده‌های نیمه عمیق مربوط به کانی‌سازی و اثر محلول‌های ماقمایی گرمایی کانه‌دار، سنگ‌های آتشفسانی کنار آنها نیز به شدت دگرسان شده‌اند و کانی‌سازی بیشتر بصورت پراکنده و رگچه‌ای در آنها دیده می‌شود.

توده‌های نفوذی نیمه عمیق حدواسط در سنگ‌های آتشفسانی نفوذ کردند و از این رو، سن نسبی آنها در نقشه پس از واحدهای آتشفسانی در نظر گرفته شده است. توده‌های نیمه عمیق بصورت دایک و استوک و در ارتباط با کانی‌سازی دیده می‌شوند. این توده‌ها از نظر ترکیبی از مونزنوزیت تا دیوریت متغیرند و اغلب بافت پورفیری درشت دانه دارند. توده نفوذی



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی ماهور.

زاویه‌دار تا بی شکل اشاره نمود که گاهی توسط کلسیت جایگزین شده‌اند (شکل ۲ ب). واحدهای نفوذی: هورنبلند دیوریت پورفیری در بخش شمالی، مرکز و یک توده در جنوب نقشه ۱:۵۰۰۰ رخنمون دارد و دارای پورفیری با زمینه دانه‌ریز تا دانه متوسط است. درشت بلورها حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد هستند. کانی‌های درشت بلور شامل ۳۰ درصد پلازیوکلاز با اندازه ۰/۵ تا ۴ میلیمتر، ۶ - ۵ درصد هورنبلند با اندازه ۰/۵ تا ۱ میلیمتر، ۳ - ۲ درصد پیروکسن از نوع اوژیت با اندازه ۰/۲ تا ۰/۵ میلیمتر و ۲ - ۱ درصد کوارتز کوگتر از ۰/۳ میلیمتر هستند. کانی‌های زمینه سنگ نیز شامل پلازیوکلاز و کوارتز است. کانی‌های کدر شکل دار تا نیمه شکل دار هستند و اندازه آنها تا ۰/۱ میلیمتر و مقدار آنها تا ۲ درصد است (شکل ۲ ب). کانی‌های ثانویه کلریت و کلسیت هستند که از دگرسانی هورنبلند و بصورت جزئی از پلازیوکلاز ایجاد شده‌اند. کوارتز دیوریت پورفیری با دو رخنمون در بخش مرکزی نقشه دیده می‌شود و دارای بافت پورفیری با زمینه دانه‌ریز است. درصد درشت بلورها حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد است. کانی‌های درشت بلور شامل ۳۰ - ۲۵ درصد پلازیوکلاز با اندازه ۲ تا ۵ میلیمتر، ۶ - ۵ درصد کوارتز با اندازه ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر و ۴ - ۳ درصد هورنبلند با اندازه ۰/۵ تا ۲ میلیمتر هستند. کانی‌های زمینه سنگ نیز شامل پلازیوکلاز و کوارتز است. کانی‌های کدر شکل دار تا نیمه شکل دار هستند و مقدار آنها تا ۲ درصد است (شکل ۲ ت). پلازیوکلاز بصورت جزئی به اپیدوت و کانی هورنبلند به کلریت دگرسان شده‌اند. هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری بیشتر در بخش شمالی نقشه بصورت گسترده رخنمون دارد و دارای بافت پورفیری با زمینه دانه‌ریز است. درصد درشت بلورها حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد هستند. کانی‌های درشت بلور شامل ۲۰ - ۱۵ درصد پلازیوکلاز با اندازه ۰/۵ تا ۲ میلیمتر، ۸ - ۶ درصد فلدسپار قلیایی با اندازه ۰/۵ تا ۱ میلیمتر، ۷ - ۵ درصد هورنبلند با اندازه ۰/۵ تا ۲ میلیمتر و ۵ - ۴ درصد کوارتز کوچکتر از ۰/۵ میلیمتر هستند. کانی‌های زمینه سنگ نیز شامل فلدسپار و کوارتز است. کانی‌های کدر شکل دار تا نیمه شکل دار هستند و مقدار آنها تا ۱ درصد است (شکل ۲ ث). فلدسپار قلیایی بصورت جزئی به سریسیت و هورنبلند به کلریت دگرسان شده‌اند. پیروکسن هورنبلند دیوریت بصورت یک استوک کوچک در مرکز نقشه

بیشتر گسل‌های راستالغز منطقه دارای راستای شمالی - جنوبی (SW)، و شمال شرق - جنوب غرب (NE-SW) با مولفه راست گرد هستند. کانه‌زایی‌ها بیشتر در پهنه‌های به شدت خرد شده گسلی تشکیل شده و گسل‌های با روند شمال غرب-جنوب شرق آن را جابه جا کرده‌اند. در بخش غربی کانسار، کانه‌زایی در گسل نرمال ماهور با شبیه نزدیک به قائم با روندهای N,NE-S,SW انجام شده است. این گسل بیش از ۲ کیلومتر طول دارد و پهنه‌ای آن تا ۲ متر می‌رسد [۱۱].

### سنگ‌شناسی

واحدهای آتشفسانی: گدارهای آندزیتی عمده‌ترین واحد سنگی در نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه اکتشافی ماهور هستند و در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن تا مایل به قرمز دیده می‌شوند. این واحد دارای بافت پورفیری است. کانی‌های درشت بلور آن پلازیوکلاز به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار هستند و از ویژگی‌های آنها می‌توان به ماکل آلیت پیراشیب، آلبیت کارلسپاد و گاهی منطقه‌بندی و بافت غربالی اشاره نمود. هورنبلند کانی اصلی دیگر این واحد بوده که به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار در متن سنگ پراکنده است. زمینه از بلورهای پلازیوکلاز و کانی‌های کدر تشکیل یافته است. کانی‌های ثانویه شامل کلسیت و کلریت هستند که از دگرسانی پلازیوکلازها و هورنبلند تشکیل شده‌اند. این واحد ارتباطی با کانی‌سازی ندارد. توف‌ها در سه نقطه نقشه زمین‌شناسی بصورت رخنمون‌های کوچک دیده می‌شوند و دارای بافت جریانی و قطعه‌های آذرآواری کم و با قطر کمتر از ۱ میلیمتر هستند. دمای بالای مواد آذرآواری که در مدتی کوتاه روی هم انباشته شده‌اند، موجب متراکم و سخت شدن این مواد گردیده است (شکل ۲ الف). این واحد ارتباطی با کانی‌سازی ندارد. ترکیب زمینه توف‌ها بیشتر آندزیتی است. توف‌های سنگی در دو نقطه نقشه زمین‌شناسی بصورت رخنمون‌های کوچک و متوسط دیده می‌شوند. این واحد دارای قطعه‌های آذرآواری با اندازه بیش از ۱ میلیمتر است و این قطعه‌ها بر اساس ترکیب به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول دارای ترکیب آندزیتی با درشت-بلورهای پلازیوکلاز و با زمینه ریزسنگی تا شیشه‌ای بوده و دسته دوم خرد هستند. دسته اول دارای ترکیب آندزیتی با درشت-بلورهای پلازیوکلاز و با زمینه ریزسنگی تا شیشه‌ای بوده و دسته دوم خرد هستند. دسته دوم خرد هستند. از ویژگی‌های کلی این خرد هستند. از نوع شیست هستند. از ویژگی‌های کلی این خرد هستند. از نوع شیست هستند. از

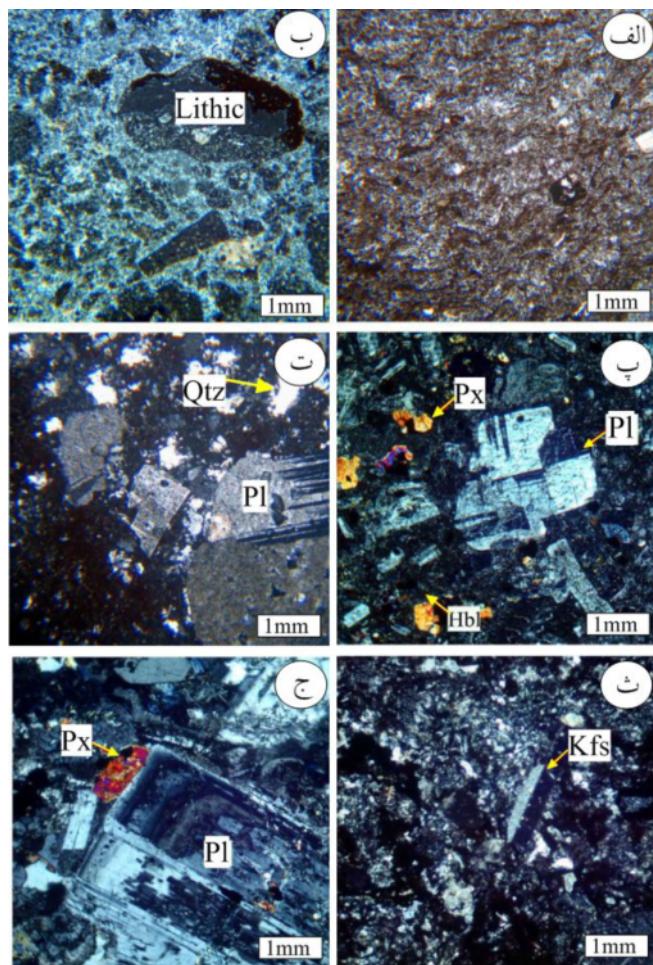
دگرسان شده‌اند.

#### دگرسانی

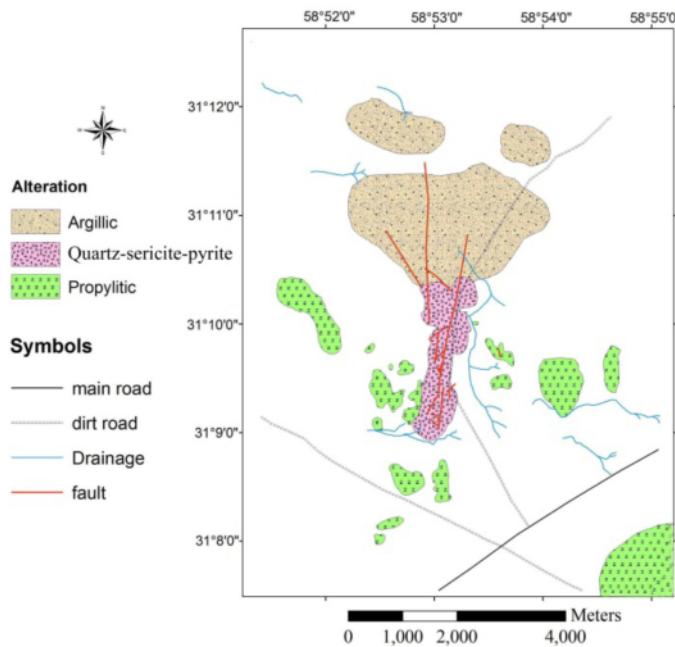
براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، دگرسانی‌های آرژیلی، پروپیلیتی، فیلی و سیلیسی در بخش‌های سطحی منطقه ماهور شناسایی شده‌اند (شکل ۳).

پهنه آرژیلی به علت شدت بالای کانی‌های رسی با تخریب بافتی همراه است و گستره وسیعی از نقاط کم ارتفاع و تپه ماهوری را شامل می‌شود. کانی‌های رسی فراآورده عمدتاً دگرسانی هستند. بخش بزرگی از واحدهای سنگی دستخوش این دگرسانی شده‌اند. این دگرسانی در لبه کانی‌سازی رگه‌ای نیز تا اعمق دیده می‌شود. با توجه به فراوانی اکسیدهای آهن ثانویه زیرپهنه دگرسانی هماتیت آرژیلی از پهنه آرژیلی تفکیک شده است.

رخمنون دارد و دارای بافت دانه‌ای است. پلازیوکلاز به مقدار ۷۵ - ۷۰ درصد بصورت شکل‌دار تا بی‌شکل با اندازه ۴ تا ۱۰ میلیمتر دیده می‌شود. براساس ویژگی‌های نوری، این پلازیوکلازها از نوع اولیگوکلاز تا آندزین هستند. حدود ۴ - ۳ درصد کوارتز بصورت نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل در بین دیگر کانی‌ها دیده می‌شود. پیروکسن حدود ۵ - ۶ درصد از نوع اوژیت با اندازه ۰/۵ تا ۲ میلیمتر حضور دارد. این کانی‌ها به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل و گاهی با ماکل دوقلو در متن سنگ دیده می‌شوند. هورنبلندهای حدود ۱۰ - ۸ درصد به صورت ستونی، شکل‌دار تا بی‌شکل با اندازه ۱ تا ۲ میلیمتر در متن سنگ مشاهده می‌شود (شکل ۲ ج). کانی‌های کدر شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار هستند و مقدار آنها تا ۱ درصد است. پلازیوکلاز بصورت جزئی به اپیدوت و هورنبلندهای طور گسترده به کلریت



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی واحدهای سنگی در منطقه اکتشافی ماهور در نور قطبیده متقطع (XPL): (الف) توف، (ب) توف سنگی. (پ) هورنبلندهای پورفیری، (ت) کوارتز دیوریت پورفیری، (ث) هورنبلندهای مونزودیوریت پورفیری و (ج) پیروکسن هورنبلندهای دیوریت. (Qtz: کوارتز، Pl: هورنبلندهای پورفیری، Px: فلدسپار پاتاسیم و Kfs: پیروکسن [۱۲]).



شکل ۳ نقشه دگرسانی‌های سطحی منطقه معدنی ماهور.

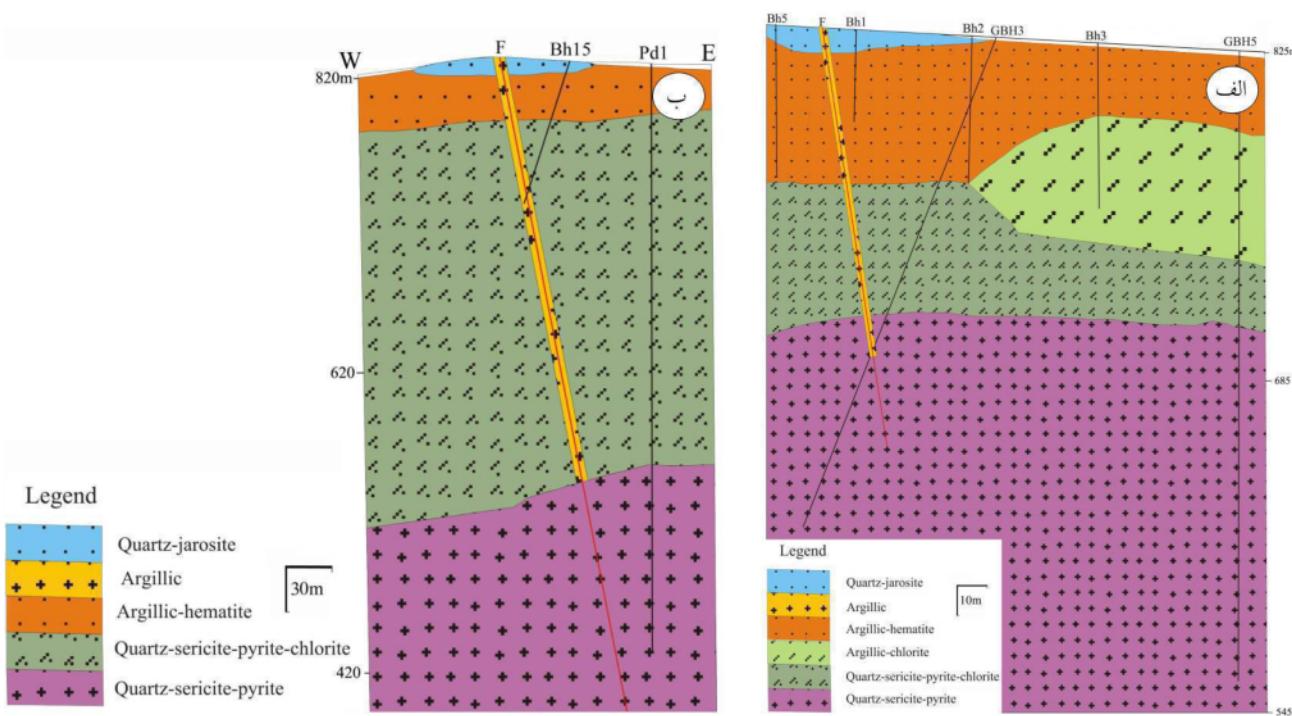
احتمال بسیار در اثر نفوذ سیال‌های گرم دگرسان کننده در راستای شکستگی‌های واحدهای سنگی پیرامون تودهای نفوذی بوده است. اثر این سیال‌ها بر کانی‌های سنگ ساز واحدهای سنگی و از همه مهمتر فلدسپارهای آن باعث تجزیه این کانی‌ها به فرأورددهای ثانویه چون سریسیت شده است. در بخش‌های سطحی، این دگرسانی دستخوش هوازدگی شده و کانی ژاروسیت شکل گرفته است.

دگرسانی سیلیسی به تشکیل کوارتز جدید یا کانی‌های سیلیکاتی بی‌شکل در یک سنگ طی دگرسانی نسبت داده می‌شود. بیشتر شکستگی‌هایی که سیال‌های گرمابی از میان آنها گذشته‌اند، دست کم به طور بخشی با کوارتز به شکل پراکنده و یا رگچه پر شده‌اند. در منطقه اکتشافی ماهور، این دگرسانی اغلب همراه با کانی‌سازی سولفیدی دیده می‌شود. کانی کوارتز کانی اصلی این دگرسانی است. این دگرسانی بصورت کلاهک و رگه در بخش‌های مختلف منطقه گسترش دارد، که البته به دلیل مقیاس نقشه قابل نمایش نیست. در کلاهک‌های سیلیسی و رگه‌های سیلیسی (دگرسانی سیلیسی) منطقه ماهور، کانی سازی بصورت کانی‌های گالان، پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و اسپیکیولاریت دیده می‌شود.

بر اساس نتایج بررسی مغزه‌ها، دو نیمرخ از دگرسانی‌های بخش‌های زیر سطحی منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰ تهیه گردید (شکل ۴). این دگرسانی‌ها بیشتر شامل کلریت-فیلی، فیلی و آژیلی برونزاد هستند.

دگرسانی پروپلیتی گسترش بسیاری دارد و بخش قابل توجهی از واحدهای نفوذی و آتشفسانی دستخوش آن شده‌اند. واحد نفوذی پیروکسن هورنبلندر دیبوریت و واحد آتشفسانی آندزیتی دچار این دگرسانی شده و کانی‌های کلریت، سریسیت، کلسیت و اپیدوت در آن شکل گرفته‌اند که در زمینه سنگ و بلورهای فلدسپار دیده می‌شوند. مقدار این کانی‌ها در نقاط مختلف متفاوت است. مقدار اپیدوت از ۱۵ تا ۲۵ درصد و کلریت از ۲۰ تا ۲۵ درصد متغیر است. اغلب این کانی‌ها ناشی از دگرسانی کانی‌های فرومیزین چون هورنبلندر هستند. کانی اصلی دگرسانی از نظر فراوانی فراوانی کلریت بوده که در برخی مقاطع نازک میکروسکوپی، بطور کامل جایگزین هورنبلندر شده است. کانی‌سازی پیریت به صورت افشار در این پهنه دیده می‌شود. کانی‌سازی شناسایی شده در منطقه ارتباط مشخصی با این دگرسانی نشان نمی‌دهد و به نظر می‌رسد که این دگرسانی کنترل سنگ‌شناسی دارد.

دگرسانی فیلی (کوارتز+سریسیت+پیریت) در بخش مرکزی منطقه گسترش دارد و در بردارنده کانی‌سازی پراکنده پیریت و کالکوپیریت است. این دگرسانی بیشتر در واحدهای کوارتزمنزودیبوریت و کوارتز مونزونیت پورفیری دیده می‌شود. کانی‌های این دگرسانی شامل کوارتز+سریسیت+پیریت و گاهی کلریت هستند. بخش اصلی کانی‌سازی در مغزه‌های حفاری مربوط به این پهنه دگرسانی است. تشکیل این دگرسانی به



شکل ۴ الف و ب) توزیع دگرسانی‌ها در بخش‌های زیر سطحی منطقه ماهور.

(۱ تا ۶ درصد) و اکسیدهای آهن (۱ تا ۷ درصد) است که به صورت دانه پراکنده در متن سنگ تشکیل شده‌اند. بیشترین پراکنده‌گی کانی‌سازی افسان در پهنه فیلی دیده می‌شود. کانی ژاروسیت به طور گسترده در این منطقه تشکیل شده است. این کانی به صورت ثانویه در محیط‌های اسیدی و غنی از سولفات تشکیل می‌شود [۱۴]. در این منطقه، کانی ژاروسیت بیشتر در لبه‌های سطوح بلوری پیریت ایجاد شده و در برخی مقاطع به طور کامل جایگزین پیریت شده است.

کانی‌سازی رگچه‌ای در مغزه‌های حفاری شناسایی شد. رگچه‌ها بر پایه روابط فضایی با هم (قطع شدگی) و ترکیب کانی‌شناختی از قدیم به جدید عبارتند از: ۱) رگچه کوارتز+اسفالاریت+پیریت  $\pm$  کالکوپیریت که با ضخامت‌هایی از کمتر از ۱ میلیمتر تا بیش از ۵ سانتی متر در اعماق مختلف دیده می‌شوند (شکل ۵ الف)، ۲) رگچه کوارتز + پیریت + کالکوپیریت  $\pm$  اسفالاریت با ضخامت‌هایی از کمتر از ۱ میلیمتر تا بیش از ۳ سانتیمتر در اعماق مختلف (شکل ۵ ب) و ۳) رگچه سنگ گچ بدون کانی‌سازی (شکل ۵ پ).

بر اساس بررسی‌های کانی‌نگاری، عمدۀ بافت‌های دیده شده در کانه‌ها پرکننده فضاهای خالی، بافت ناامیختگی (شکل ۶ الف)، جانشینی (شکل‌های ۶ ب و پ)، و برشی (شکل ۶ ت)

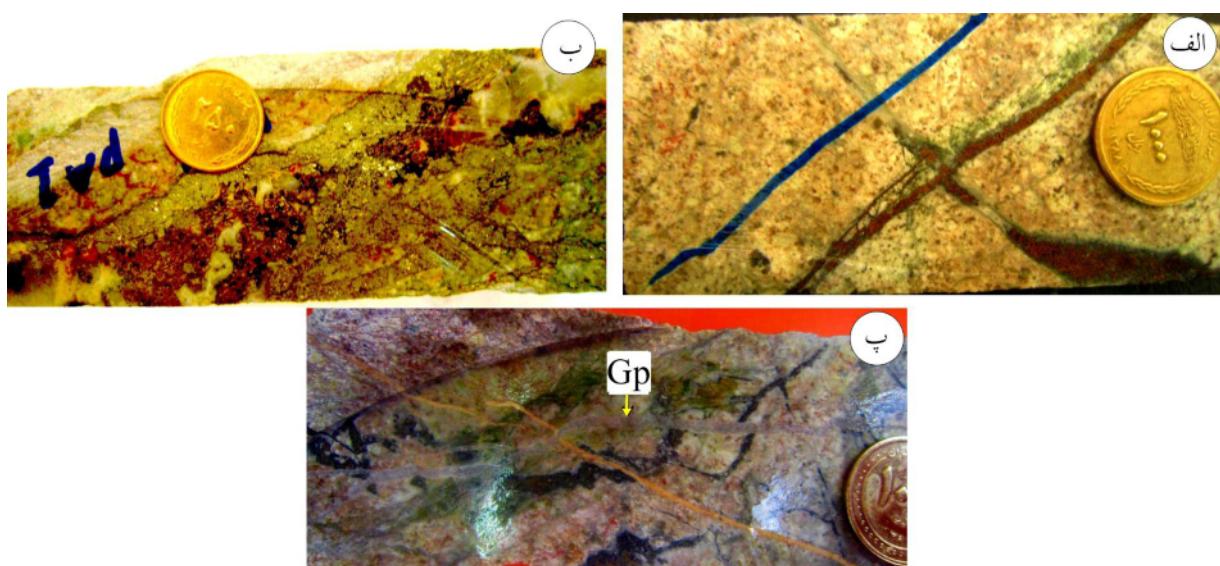
کانی‌شناختی و توالی همبازایی کانی‌سازی در منطقه ماهور به سه صورت رگچه‌ای، رگچه‌ای و افسان دیده می‌شود.

کانی‌سازی رگچه‌ای در بخش مرکزی کانسار مشاهده می‌گردد. رگه یاد شده دارای روند N18W با شیب ۸۰NE درجه، ضخامت متغیر ۱-۲ متر و طول تقریبی تا ۳۰۰۰ متر است. در بخش‌های سطحی این رگه، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، آتاکامیت، گوتیت، پیرولوژیت، هماتیت، لیمونیت، کالکوست، لیناریت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت دیده شد. این رگه کانی‌سازی شده در بخش‌های مختلف توسط گسل‌های عرضی راستالفرز بریده و جابجا شده است. ذخیره قطعی بخش رگچه‌ای تا عمق پیجویی شده (۴۰ متر) و با در نظر گرفتن عیار حد ۰,۶ درصد مس، پنجاه و هشت هزار تن کانسنگ با عیار میانگین ۱,۸ درصد مس و ۰,۵ درصد روی برآورد شده است [۱۳].

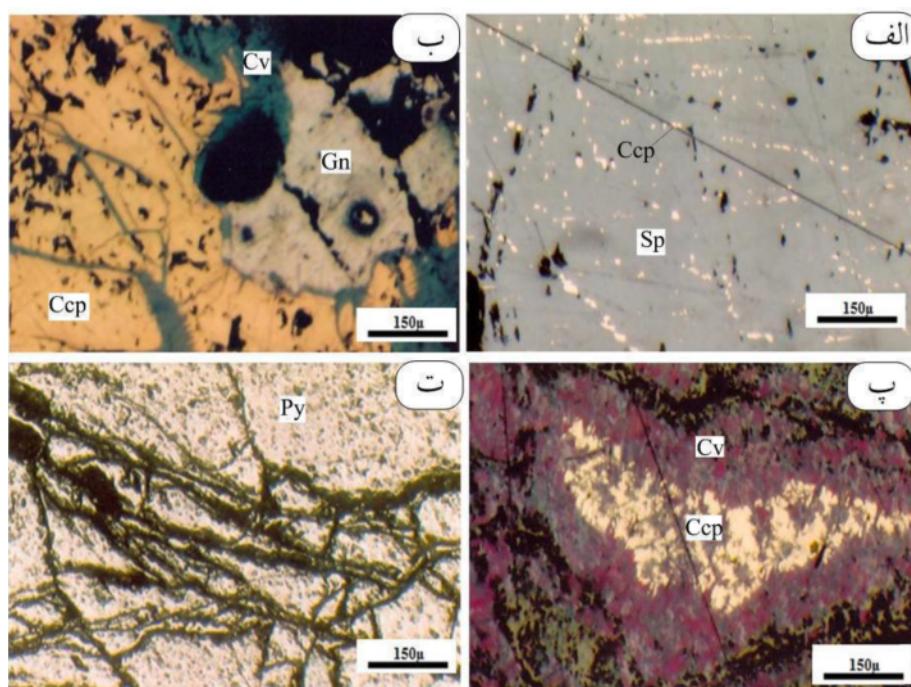
کانی‌سازی افسان بصورت گسترده در منطقه اکتشافی ماهور مشاهده می‌شود. کانی‌های سولفیدی مهمی که در این منطقه بصورت افسان دیده می‌شوند بیشتر شامل پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت هستند. بیش از ۵۰ درصد این کانی‌ها به اکسیدهای آهن ثانویه چون هماتیت و گوتیت و همچنین کانی ژاروسیت تبدیل شده‌اند. کانی‌سازی افسان شامل پیریت

لیمونیت، کالکوسیت، لیناریت، سروزیت، آنگلزیت، کولیت، مالاکیت و آزوریت کانی‌های برآمده از فرایندهای اکسایش در منطقه هستند. بر پایه نتایج ریزپردازش الکترونی [۱۱]، سولفوسالت‌های بیسیموم و سولفید کادمیم نیز در ماهور وجود دارند.

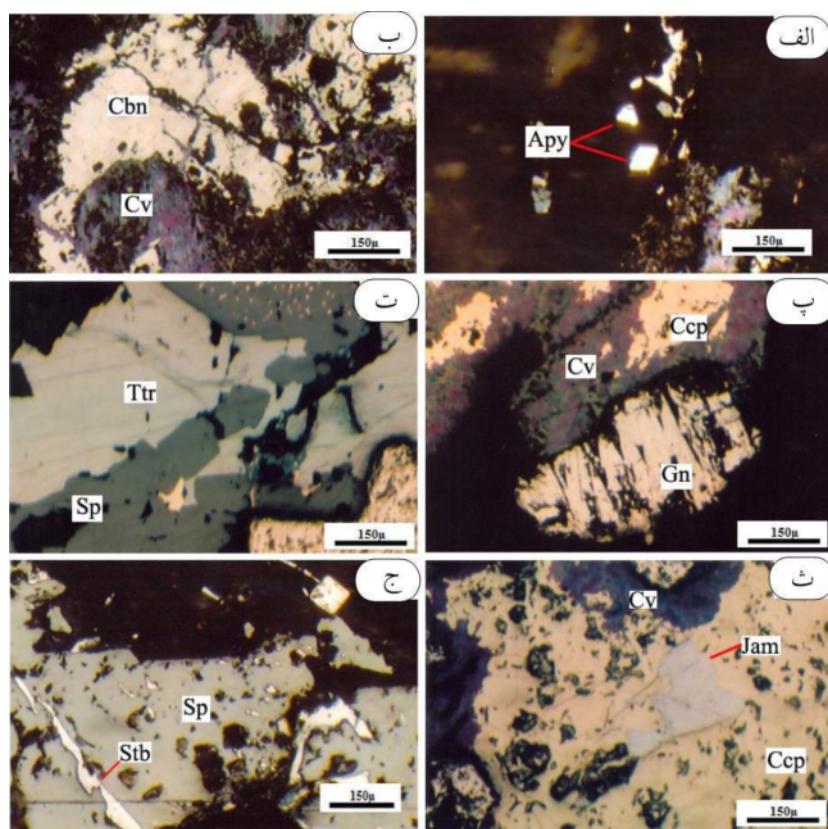
هستند. همچنین بر اساس این بررسی‌ها، پیریت، آرسنوبیریت، کوبانیت، کالکوبیریت، کوولیت، گالن، اسفالریت، تترائدریت، جیمسونیت و استیبنیت مهم‌ترین کانی‌های درونزاد شناسایی شده در منطقه ماهور هستند (شکل ۷). اکسید و هیدروکسیدهای آهن، آتاکامیت، گوتیت، پیرولوزیت، هماتیت،



شکل ۵ نمایی از کانی‌سازی رگچه‌ای در بخش‌های عمقی منطقه ماهور: (الف) رگچه کوارتز+اسفالریت+پیریت - ± کالکوبیریت، (ب) رگچه کوارتز + پیریت + کالکوبیریت - ± اسفالریت و (پ) رگچه سنگ‌گچ بدون کانی‌سازی. (Gp: سنگ‌گچ [۱۲]).



شکل ۶ نمایی از بافت‌های مختلف در کانه‌های کانسار ماهور: (الف) بافت جدایشی، اسفالریت کانی میزان و قطرک‌های ریز کالکوبیریت فاز جدا شده از آن، (ب و پ) تبدیل شدگی کالکوبیریت به کوولیت در لبه، (ت) نمایی از بافت برشی در پیریت. (Ccp: کالکوبیریت، Sp: اسفالریت، Cv: کوولیت، Gn: گالن و Py: پیریت [۱۲]).



شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی از کانه‌های کانسار ماهور: (الف) بلور شکل دار آرسنوبیریت، (ب) بلورهای توده‌ای و بی شکل کوبانیت که در لبه در حال تبدیل شدن به کولولیت هستند، (پ) بلور گالن با قطعه‌های مثلثی کشیده همراه با کالکوپیریت و کولولیت، (ت) کانی بی شکل تتراندریت همراه با اسفالریت، (ث) جیمسونیت به صورت میانبار در کالکوپیریت و (ج) کانی استیبنیت به صورت بلورهای باریک و کشیده. (Apy: آرسنوبیریت، Cbn: کوبانیت، Th: تتراندریت، Jam: جیمسونیت و Stb: استیبنیت [۱۲]).

هستند. توالی همبازابی مجموعه‌های کانیابی در منطقه ماهور در شکل ۸ نشان داده شده است.

#### میانبارهای سیال

سنگنگاری سیال‌های درگیر در منطقه ماهور بر ۱۲ مقطع دو برصیقل تهیه شده از کانی‌های کوارتز و اسفالریت (۱) رگچه‌های کوارتز+اسفالریت+پیریت  $\pm$  کالکوپیریت و (۲) رگچه‌های کوارتز + پیریت + کالکوپیریت  $\pm$  اسفالریت از پهنه دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت بخش‌های زیر سطحی انجام شد. بر این اساس، میانبارهای سیال در کوارتز و اسفالریت بیشتر از نوع دو فازی غنی از مایع و چند فازی مایع - گاز- جامد هستند (شکل ۹). این میانبارها با شکل‌های کروی تا بیضوی، میله‌ای و نامنظم دارای طول ۵ تا ۱۸ میکرون و عرض ۳ تا ۷ میکرون هستند. نتایج دما‌سنجی، مقادیر شوری و چگالی سیال‌های درگیر در رگچه‌های نوع ۱ و ۲ در جدول ۱ ارائه شده است. گفتنی است که شوری و چگالی بر اساس داده‌های نرم افزار

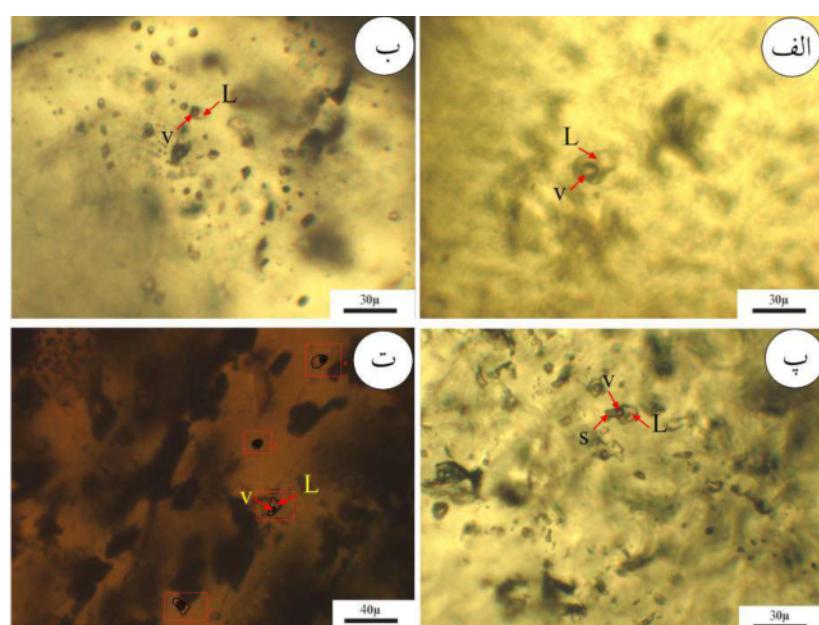
تعییر و تفسیر زایشی در منطقه اکتشافی ماهور براساس بررسی‌های کانی‌نگاری، بطور کلی نشانگر چهار فاز عمده کانی-سازی است. فاز اول با کانی‌سازی پیریت بصورت افسان در متن توده‌های نیمه عمیق چون کوارتزمونزودیوریت پوروفیری و کوارتزمونزونیت پوروفیری مشخص می‌شود. فاز دوم با برش گرمابی شناسایی می‌گردد. کانی‌سازی بیشتر پیریت در زمینه برش و کانی‌سازی فاز اول در قطعه‌های برش دیده می‌شوند. فاز سوم با همبزی پیریت و محلول جامد اسفالریت کالکوپیریت مشخص بوده و نشانده کانی‌سازی در دمای بالا است. رگچه‌های نوع ۱ در این فاز تشکیل شده‌اند. شواهدی چون بافت ناماً میختگی بین اسفالریت و کالکوپیریت وجود رنگ خاکستری تیره در اسفالریت (که بیانگر وجود FeS در شبکه اسفالریت بوده و این وضعیت تنها در دمای بالا امکان پذیر است) دمای بالای سیال گرمابی را در فاز سوم نشان می‌دهد. فاز چهارم با تشکیل رگچه‌های نوع ۲ مشخص می‌شود. کانی‌های همبززادی شامل پیریت  $\pm$  کالکوپیریت  $\pm$  اسفالریت

$\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  هستند و شوری سیال در رگچه‌های نوع ۱ بین ۲۱/۲ تا ۲۶/۸ با میانگین ۱۳/۵ درصد وزنی و در رگچه‌های نوع ۲ بین ۷/۹ تا ۲۰/۲ با میانگین ۱۲/۱ درصد وزنی محاسبه شده است. نمودار ستونی فراوانی دمای همگن‌شدنگی و شوری میانبارهای سیال در رگچه‌های نوع ۱ و ۲ در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

FLINCOR و بر پایه رابطه مرجع [۱۵] محاسبه شده است. دمای همگن‌شدنگی فاز بخار سیال‌های درگیر در رگچه‌های نوع ۱ برابر با ۵۷۵ - ۳۱۵ با میانگین ۴۱۰ درجه سانتیگراد و برای رگچه‌های نوع ۲ برابر با ۱۷۷ - ۳۹۴ با میانگین ۳۳۰ درجه سانتیگراد است. با توجه به میانگین دمای همگدازی ( $T_{\text{fm}}$ ) که ۵۵-درجه سانتیگراد است، فازهای نمک موجود از نوع  $\text{KCl}$



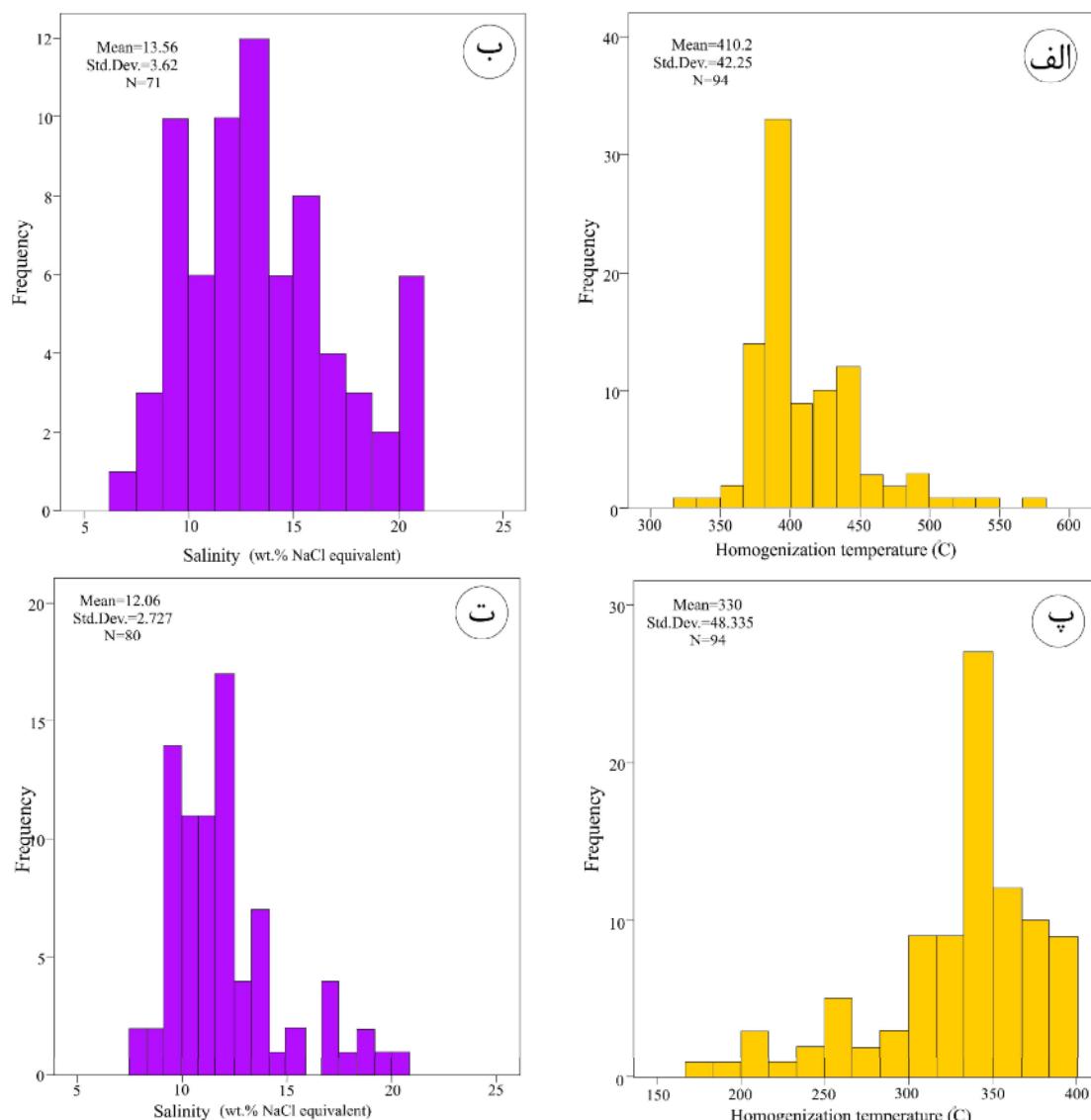
شکل ۸ توالی همبازایی مجموعه کانیایی در منطقه ماهور. در شکل سوپرزن → بروزگرد هیپوزن ← درونگزد.



شکل ۹ تصاویر میکروسکوپی از میانبارهای سیال منطقه ماهور: (الف) سیال‌های درگیر با دو فاز مایع و گاز در کانی کوارتز، (ب) فراوانی سیال‌های درگیر با دو فاز مایع و گاز و با شکلهای بیضوی و نامنظم در کانی کوارتن، (پ) سیال‌های درگیر با سه فاز مایع، گاز و جامد در کانی کوارت و (ت) سیال‌های درگیر با دو فاز مایع و گاز در کانی اسفالت.

جدول ۱ نتایج ریزدماسنجی رگههای نوع ۱ و ۲ در ماهور.

نوع رگجه	نوع میانبار	دماهی همگذاری Tfm°C	دماهی ذوب بخ Tm°C	دماهی همگن شدگی Th°C	شوری Wt% NaCl	چگالی
نوع ۱	L-V	-۵۴ تا -۵۸,۷	-۴,۳ تا -۱۸,۴	۳۱۵ تا ۵۷۵	۶,۸ تا ۲۱,۲	۰,۴ تا ۰,۸
نوع ۲	L-V	-۵۵ تا -۵۸,۵	-۵,۱ تا -۱۶,۴	۱۷۷ تا ۴۵۴	۷,۹ تا ۲۰,۲	۰,۵ تا ۰,۹
	L-V-S	-۵۵ تا -۵۷,۸	-۵,۹ تا -۶,۸	۳۴۱ تا ۳۵۲	۹,۱ تا ۱۰,۲	۰,۷۳ تا ۰,۷۶



شکل ۱۰ (الف و ب) نمودارهای فراوانی مقادیر شوری و دماهی همگن شدگی رگههای نوع ۱. (پ و ت) نمودارهای فراوانی مقادیر شوری و دماهی همگن شدگی رگههای نوع ۲.

نوع ۱ منطقه ماهور در گسترهای با شوری متوسط و دماهی بالا قرار دارند و روند مشخص آمیختگی سیال را نشان می‌دهند. در روند آمیختگی دو سیال، دو سیال با دماهی یکسان و شوری

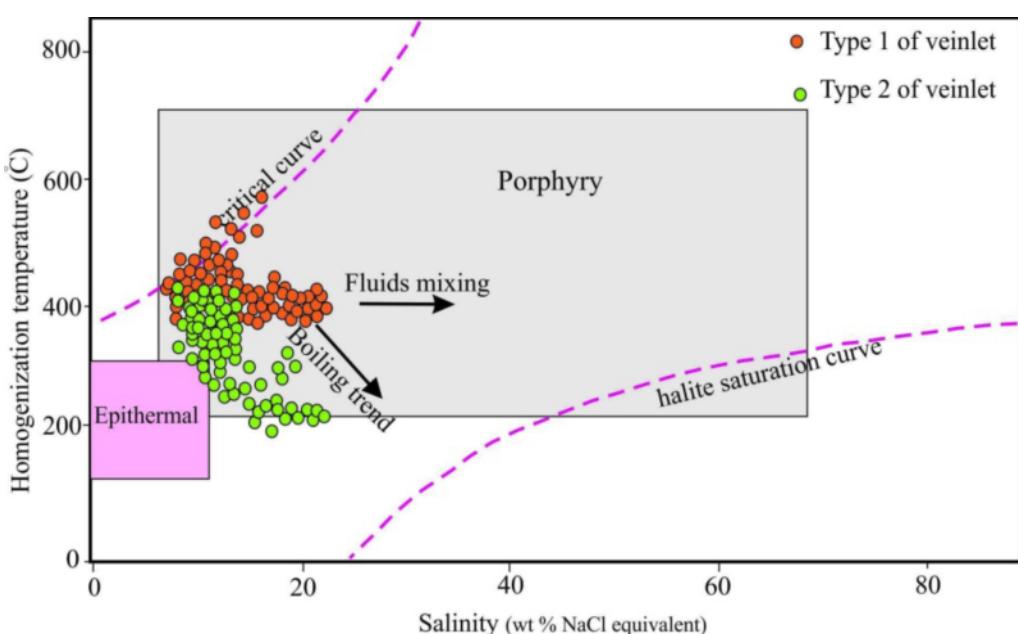
بر اساس منحنی دماهی همگن شدگی نسبت به شوری، روند تکاملی سیال کانی‌ساز در منطقه ماهور در شکل ۱۱ نشان داده شده است. بر این اساس، داده‌های ریزدماسنجی برای رگههای

**ایزوتوب‌های گوگرد**

نتایج تجزیه ایزوتوب‌های گوگرد کانی‌های سولفیدی کانسار ماهور در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  گوگرد احیایی ( $\text{H}_2\text{S}$ ) سیال در تعادل با کالکوپیریت و پیریت بر پایه دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر مربوطه به نمونه‌ها به ترتیب از رابطه جدایش مراجع [۲۰-۲۲] محاسبه شد. مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  از مقدار متوسط ۲/۶ درهزار است. پیریت دارای مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  از ۱/۹ تا ۲/۹۵ درهزار و گستره تغییراتی از ۱/۹ تا ۲/۹۵ درهزار و مقدار متوسط ۳/۵ درهزار است (شکل ۱۲). مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  سولفیدها در کانسارهای پورفیری بین ۵-۱۲ درهزار است [۲۳-۲۵]. در جدول ۳ مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  کانسار ماهور با چند کانسار پورفیری مقایسه شده است. مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  سولفیدهایی با خاستگاه ماقمایی و آذرین به ترتیب  $2 \pm 2$  درهزار [۲۷] و ۱۰ درهزار [۲۷] است. مقدار متوسط ۲/۵ در سولفیدهای کانسار ماهور حدود ۲/۵ درهزار بوده که این نشاندهنده تشکیل کانی‌های سولفیدی از سیالی است که گوگرد آن خاستگاه ماقمایی دارد. در نتیجه، گوگرد در کانی‌های سولفیدی این کانسار می‌تواند مستقیم از سیال ماقمایی و یا در اثر انحلال و آب شویی منابع آذرین سولفیددار پیشین ناشی شده باشد.

متفاوت با هم مخلوط شده‌اند که این امر موجب کاهش شوری و تغییر نکردن دمای سیال‌های درگیر نسبت به ترکیب اولیه شده است. داده‌های ریزدماسنجی برای رگچه‌های نوع ۲ منطقه ماهور در گستره‌ای با شوری متوسط و دمای بالا تا متوسط قرار دارند و روند مشخص جوشش را نشان می‌دهند. داده‌های ریزدماسنجی رگچه‌های نوع ۱ و ۲ ماهور در گستره سامانه‌های پورفیری قرار دارند. از آنجا که شوری این سیال‌ها در حد متوسط بوده به احتمال بسیار کانی‌سازی ماهور در لبه یک سامانه پورفیری واقع است. تغییرات شوری سیال‌های درگیر می‌تواند ناشی از آمیختگی سیال‌های مختلف با شوری‌های متغیر [۱۶]، به تله افتادن سیال‌های درگیر در مراحل مختلف کانی‌سازی و یا به دلیل حذف انتخابی آب از سیال بدام افتاده توسط سازوکار جدایش باشد [۱۷].

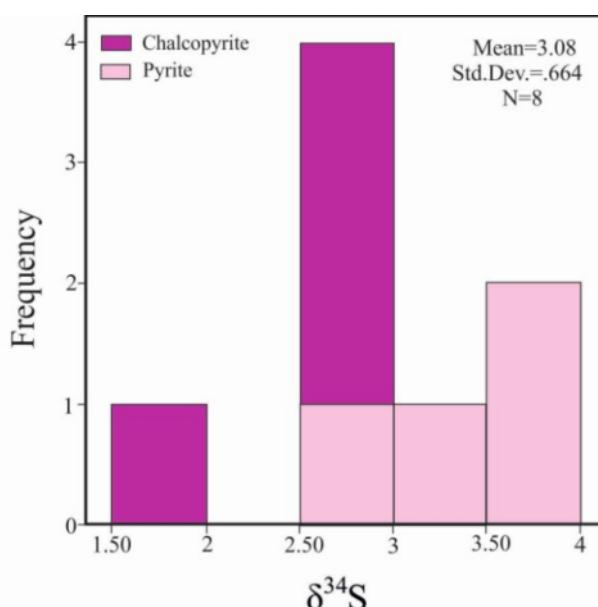
بر اساس یافته‌های مراجع [۱۸، ۱۹]، کمپلکس‌های کلریدی در کانسارهای با دمای تشکیل بیش از ۳۰۰ درجه سانتیگراد غالب هستند. از آنجا که میزان شوری سیال‌های تشکیل دهنده کانسار متوسط بوده و میانگین دمای تشکیل در رگچه‌های نوع ۱ و ۲ بترتیب ۴۱۰ و ۳۳۰ درجه سانتیگراد است، بنظر می‌رسد که کلریدهای محلول چون  $\text{NaCl}$  و  $\text{CaCl}_2$  نقش مهمی در انتقال فلزات داشته‌اند.



شکل ۱۱ موقعیت داده‌های ریزدماسنجی منطقه ماهور در نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی (برگرفته از مرجع [۲۰] با کمی تغییر).

جدول ۲ مقدار ایزوتوب‌های پایدار گوگرد در کانی‌های سولفیدی کانسار ماهور

$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S fluid}}(\text{\%})$	$1000 \ln \alpha$	T(°C)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{min}}(\text{\%})$	کانی
۲,۹۲	۱	۳۷۴	۲,۹۲	پیریت
۱,۸۹	۱	۳۶۷	۲,۸۹	پیریت
۳,۱۵	۰,۷	۴۷۰	۳,۸۹	پیریت
۲,۳۳	۱,۱	۳۱۸	۲,۴۳	پیریت
۱,۸	۰,۱	۳۷۴	۱,۹	کالکوپیریت
۲,۶۴	۰,۱	۳۶۷	۲,۷۴	کالکوپیریت
۲,۷۸	۰,۱	۴۷۰	۲,۸۸	کالکوپیریت
۲,۸۵	۰,۱	۳۱۸	۲,۹۵	کالکوپیریت

شکل ۱۲ نمودار ستونی فراوانی مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  در کانی‌های سولفیدی ماهور.

جدول ۳ مقایسه مقادیر نسبت‌های ایزوتوبی گوگرد کانسار ماهور با چند کانسار پورفیری.

مرجع	$\delta^{34}\text{S}$ کالکوپیریت(%)	$\delta^{34}\text{S}$ پیریت(%)	نام کانسار
[۲۸]	۱,۹ تا ۱,۶	۳,۹ تا ۱,۷	مس پورفیری دره زار
[۲۹]	۲,۳ تا ۲,۶	۲,۹ تا -۰,۷	مس پورفیری پرکام
[۳۰]	۰,۶۳	۲,۶ تا ۰,۲۸	مس پورفیری سرچشمہ
[۳۱]	-۱,۳	۰,۸ تا ۱,۹	مس پورفیری فاکسینگ، چین
[۳۲]	۳,۶ تا ۲,۱	۳,۴ تا ۲,۸	مس - مولیبدن پورفیری تیانهگزینگ، چین
این پژوهش	۲,۹۵ تا ۱,۹	۲,۹۲ تا ۲,۸۹	کانسار ماهور

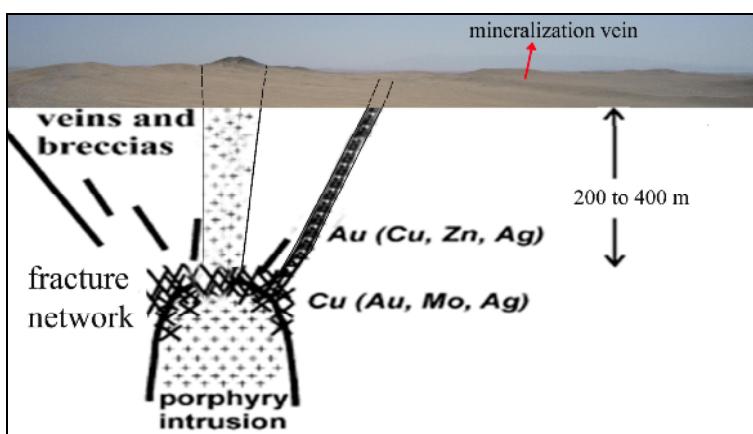
درهزار است [۲۱]. مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  کانی‌های سولفیدی منطقه ماهور با میانگین ۲/۵ درهزار بیانگر خاستگاه گوشتهدی گوگرد موجود در کانی‌های سولفیدی است. دگرسانی پتاسیمی با وجود حفاری‌های عمیق (بیش از ۳۹۲ متر) در کانسار ماهور دیده نشده است. دگرسانی فیلی در منطقه اکتشافی ماهور با انباشتهای کانی‌های ثانویه سرسیت + کوارتز + پیریت مشخص شده و افزون بر این کانی‌ها، کانی ثانویه کلریت نیز بیش از سایر ذخایر مس پورفیری کمان قاره‌ای در منطقه دیده می‌گردد. دگرسانی آرژیلی در منطقه اکتشافی ماهور بیشتر کنترل ساختاری دارد و پیرامون دگرسانی فیلی چنانکه در مدل مرجع [۴۶] ارائه شده است، مشاهده نمی‌شود. همچنین تفکیک دقیق دگرسانی‌های فیلی از آرژیلی در منطقه اکتشافی ماهور مشکل است. دگرسانی پروپلیتی نیز در کنترل سنگ‌شناسی دارد، به طوری که توده‌های دیوریتی و آندزیتی بیشتر دگرسانی پروپلیتی با کانی غالب کلریت و کانی‌های کربناتی نشان می‌دهند. غلظت عناصر فلزی در منطقه اکتشافی ماهور با عناصر مس و روی مشخص می‌شود [۴۷]. مقدار عنصر روی بسیار بیشتر از آن است که اغلب در ذخایر مس پورفیری جایگاه‌های کمان قاره‌ای دیده می‌شود [۴۸، ۴۶]. کانی غالب مس‌دار در منطقه اکتشافی ماهور کالکوپیریت همراه با مقادیر فرعی بورنیت و کولیت است. کانی‌سازی مس بیشتر در پهنه دگرسانی فیلی مشاهده می‌شود. همچنین کانی غالب روی‌دار در منطقه اسفالریت است و در پهنه دگرسانی فیلی دیده می‌شود. پهنه غنی شده بروزد که اغلب در ذخایر مس پورفیری محیط‌های کرانه قاره‌ای مشاهده می‌گردد [۴۶]، در منطقه اکتشافی ماهور وجود نداشته و یا گسترش بسیار محلی و محدود دارد. تفاوت‌های بیان شده بین منطقه اکتشافی ماهور با دیگر ذخایر مس پورفیری جایگاه‌های کمان قاره‌ای چون مدل دگرسانی و کانی‌سازی را می‌توان بر اساس تغییرات گستره ساختاری، عمقی، اندازه و مدت زمان نفوذ توده‌های نفوذی، هجوم آبهای زیرزمینی، دگرگونی مواد فرار منابع ماقمایی و ترکیب سنگ‌های دربرگیرنده توضیح داد [۴۹]. در مجموع و براساس همه شواهد، کانی‌سازی در منطقه اکتشافی ماهور بخشی از یک سامانه پورفیری عمیق‌تر بوده که در ارتباط با فرورانش پوسته اقیانوسی سیستان به زیر لوت تشکیل شده است. مدلی طرحوار برای رخداد کانی‌سازی ماهور در شکل ۱۳ ارائه شده است.

### برداشت

ذخایر مس پورفیری اغلب در جایگاه کمان اقیانوسی و کمان قاره‌ای و همچنین در مناطق کششی پس از برخورد تشکیل می‌شوند [۳۳-۳۵].

تکامل اقیانوس نفوذتیس در ایران با انواع مختلفی از کانی-سازی و ذخایر مس پورفیری همراه بوده است. ذخایر مس پورفیری در ایران در سه کمربند ارسباران، بخش میانی کمان ماقمایی ارومیه-دختر و شرق ایران مرکز هستند [۳۶]. فعالیت ماقمایی ترشیری در منطقه لوت-سیستان در شرق ایران به تکامل اقیانوس سیستان نسبت داده شده است [۳۷]. اقیانوس سیستان به احتمال بسیار طی پالتوسن پسین-ائوسن پیشین با فرورانش همزمان به سمت افغان و ایران (قطعه لوت) [۳۸] یا فرورانش به سمت ایران (به زیر قطعه لوت) [۳۹] بسته شده است. فعالیت ماقمایی پس از برخورد در راستای خط درز شمالی-جنوبی بیش از ۱۰۰۰ کیلومتری مجموعه‌های رتوک و نه و همچنین قطعه لوت طی ائوسن تا الیگوسن [۲، ۴۰]، به نابودی سنگ‌کره و صعود زبانه‌های سست‌کره‌ای طی رمبش کششی شرق ایران نسبت داده شده است [۴۱]. در اثر این رویداد کانسارهای پورفیری و رگه‌های متعددی در قطعه لوت تشکیل شده است [۴۰]. چند کانسار پورفیری  $\text{Cu} \pm \text{Mo} \pm \text{Au}$  که تاکنون شناخته شده‌اند شامل ماهر آباد [۴۲، ۴۳]، خوپیک یا شادان [۴۲]، ده سلم و چاه شلغمی [۴۴، ۳۸] هستند.

منطقه ماهور در غرب کانسار ده سلم از نظر جایگاه زمین-ساختی در موقعیتی مشابه قرار دارد. کانی‌سازی در پورفیری‌ها با فراوانی رگچه‌های سولفیدی و دگرسانی کوارتز سرسیت و بطور محلی دگرسانی فرعی اپیدوت مشخص می‌شود [۴۵]. در منطقه اکتشافی ماهور، کانی‌سازی سولفیدی مس و روی بصورت رگه و رگچه‌های پیریت  $\pm$  کالکوپیریت  $\pm$  اسفالریت و پراکنده (پیریت  $\pm$  کالکوپیریت  $\pm$  اسفالریت) همراه با دگرسانی فیلی و آرژیلی دیده می‌شود. دمای تشکیل و شوری سیال‌های گرمابی که ذخایر پورفیری را شکل می‌دهند، ۲۰۰-۷۰۰ درجه سانتیگراد و ۰-۷۰ درصد وزنی معادل  $\text{NaCl}$  است [۲۰]. براساس بررسی سیال‌های درگیر رگه‌های کوارتزی سولفیدی در منطقه ماهور، میانگین دمای تشکیل ۳۷۱ درجه سانتیگراد و میانگین شوری ۸/۱۲ درصد وزنی معادل  $\text{NaCl}$  است. مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  اولیه در سامانه‌های ماقمایی برآمده از جبه حدود  $\pm ۳$



شکل ۱۳ مدل طرحوار احتمالی از رخداد سامانه مس پورفیری و رگه‌های فراگرمایی منطقه اکتشافی ماهور (تصویر پایه پرگرفته از مرجع [۵۰] است).

مس پورفیری که نشان می‌دهد که کانی‌سازی شناسایی شده در منطقه اکتشافی ماهور در بخش بالایی و یا لبه‌ای یک سامانه پورفیری قرار دارد.

#### مراجع

- [1] Esmaeily D., Nedelec A., Valizadeh M.V., Moore F., Cotton J., "Petrology of the Jurassic Shah-Kuh granite (eastern Iran), with reference to tin mineralization", Journal of Asian Earth Sciences 25(2005) 961-980.
- [2] Karimpour M. H., Stern C. R., Farmer L., Saadat S., "Malekezadeh A. Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran", JGeope 1 (2011) 19-36.
- [3] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran: a review", American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52 (1968) 1229–1258.
- [4] Mirzaei Rayeni R., Ahmadi A., Mirnejad H., "Mineralogy and fluid inclusion studies in Mahour copper deposit, East of Lut block, central Iran (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (2012), 307-318.
- [5] M Esform., "Geochemistry and paragenesis sequence of minerals in Mahoor poly metal deposit, West of Nehbandan (East of Iran), (in Persian)", Msc thesis, Sistan and Baluchestan University(2011).
- [6] Esform M., Biabangard B., Bomeri M., Zarinkob M.H., Mahram M., Ebrahimi., V.,

شواهد زیر این احتمال را تقویت می‌کند:

- ارتباط کانی‌سازی با توده‌های نیمه عمیق حدوداً ۴۰۰ متری - قلیایی پورفیری در حد مونزونیت تا دیوریت،
- دگرسانی گستردۀ منطقه که رابطه تنگاتنگی با توده‌های نفوذی دارد و شامل پهنه‌های دگرسانی آرژیلی، کوارتز سرسیت کلریت پیریت و پروپلیتی است،
- کانی‌سازی گستردۀ منطقه به شکل‌های داربستی، پراکنده و برش گرمایی که مهمترین حالت آن بافت داربستی است و در برخی نقاط تا بیش از ۳۰ رگچه کوارتز سولفیدی در یک متر طول گمانه دیده می‌شود،
- مجموعه کانی‌ای درونزد شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و اسفالریت،
- ناهنجاری بالای مس (متوسط ۰/۵ درصد) و روی (متوسط ۱/۵ درصد) [۴۷]،
- درصد شوری و دمای همگن شدگی سیال‌های درگیر که در گستره ویژگی‌های سیال‌های درگیر ذخایر پورفیری قرار دارند،
- شباht نسبت‌های ایزوتوبی گوگرد کانی‌های سولفیدی منطقه با این نسبت‌ها در کانسارهای پورفیری،
- موقعیت زمین‌ساختی توده‌های نفوذی که در کمان ماقمایی پهنه فرورانش شکل گرفته‌اند، و
- ظهور پهنه دگرسانی کوارتز-سرسیت-کلریت-پیریت و دیده نشدن پهنه دگرسانی پتاسیمی حتی در گمانه‌های عمیق و همچنین بالا بودن مقدار عنصر روی نسبت به سایر ذخایر

- "*inclusion studies*", Geochim. Acta 53 (1989) 1209-1221.
- [16] Sheppherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M., "*A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*", Blackie and Son (1985) 239 p.
- [17] Hall A. J., Boyee A. J., Fallick A. E., Hamilton P. J., "*Isotopic evidence of the depositional environment of Late Proterozoic stratiform barite mineralisation, Aberfeldy, Scotland*", Chem. Geol. Isotope Geosci. Sect. 87 (1991) 99-114.
- [18] Seward T. M., "*The hydrothermal geochemistry of gold, in: Foster R. P., (ed.), gold metallogeny and exploration*", Blakie and Sons Ltd. (1991) 432 p.
- [19] Seward T. M., "*Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal solutions*", Geochim. cosmochim. Acta 37 (1973) 379-399.
- [20] Wilkinson J. J., "*Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits*", Lithos 55 (2001) 229-272.
- [21] Ohmoto H., Rye R. O., "*Isotopes of sulfur and carbon, In: Barnes, H. L. (Ed.) Geochemistry of hydrothermal ore deposits*", John Wiley and Sons, New York (1979) 509-567.
- [22] Li Y. B., Liu J. M., "*Calculation of sulfur isotope fractionation in sulfides*", Geochimica et Cosmochimica Acta 70 (2006) 1789-1795.
- [23] Rye RO, Bethke P.M, Wasserman M.D., "*The stable isotope geochemistry of acid sulfate*", Economic Geology 87(1992) 227-262.
- [24] Rye R.O., "*A review of stable isotope geochemistry of sulfate minerals in selected igneous environments and related hydrothermal systems*", Chem Geol 215(2005) 5-36.
- [25] Seal II Robert, R., "*Sulfur Isotope Geochemistry of Sulfide Minerals*", Reviews in Mineralogy and Geochemistry 61(2006) 633-677.
- [26] Faure G., "*Principles of Isotope Geology*", second ed. John Wiley and Sons Inc., New York, (1986) 598p.
- [27] Brownlow A. H., "*Geochemistry*", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey(1979).
- [28] Parsapoor A., Khalili M., Maghami M., Bagheri H. "*The investigation on physico-chemical conditions of sulfides and sulfates based on petrographic and sulfur - oxygen stable isotope studies from the Darreh-Zar porphyry copper*" *"Geochemistry and petrology of volcanic rocks at Mahoor Cu deposit, NW Nehbandan(in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 2 (2012) 241-252.
- [7] Boomeri M., Biabangard H., Nakashima K., Esform M., "*Occurrence and chemistry of supergene sulfide and oxide minerals in Mahour polymetal ore deposit west of Nehbandan, (in Persian)"*, Petrology 14(2013) 17-30.
- [8] Gourabjeri Puor A., Mobasher M., "*Compiling Data from Geological, Mineralogical and Geophysical (IPRS) Studies on Mahour Deposit, Northwest of Deh-salm, Lut Block, (in Persian)"*, Journal of Economic geology 7 (2016) 307-325.
- [9] Miri Beydokhti R., Karimpour M. H., Mazaheri S. A., Santos J. F., Klotzli U., "*U-Pb zircon geochronology, Sr – Nd geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of Mahoor granitoid rocks (Lut Block, Eastern Iran)"*, Journal of Asian Earth Sciences 111(2015) 192-205.
- [10] Younesi S., Hosseinzadeh M.R., Moayyed M., Maghsoudi A., "*Investigation of geology, petrology and petrogenesis of igneous rocks from the Mahour Mining exploration area, west Dehsalm: Implication for Lut tectonomagmatic setting, (in Persian)"*, Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 27(2016) 179-198.
- [11] Younesi S., Hosseinzadeh M.R., Moayyed M., "*Mineralogy of Mahour Zn-Cu-(pb-Bi-Ag) deposit, west of Dehsalm: implications for genesis and mineralization type, (in Persian)"*, Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 27(2017) 295-308.
- [12] Whitney D. L., Evans B. W., "*Abbreviations for names of rock-forming minerals*", American Mineralogist 95 (2010) 277-279.
- [13] Pars kani Co. "*Detailed report of Mahoor prospecting area(Nehbandan city, South Khorasan province), (in persian)"*, (2012).
- [14] Sasaki K., Konno H., "*Morphology of jarosite-group compounds precipitated from biologically and chemically oxidized Fe ions*", Cantribution mineral petrology 38 (2000) 45–66.
- [15] Brown P. E., Lamb W. M., "*P-V-T properties of fluids in the system H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl: New graphical presentations and implications for fluid*

- Block, Eastern Iran)". Journal of Asian Earth Sciences* 41 (2011), pp. 283-296.
- [39] Zarrinkoub, M.H., Pang, K.N., Chung, S.L., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y., Lee, H.Y., "Zircon U/Pb age and geochemical constraints on the origin of the Birjand ophiolite, Sistan suture zone, eastern Iran". *Lithos* 154 (2012), 392-405.
- [40] Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A., Fletcher, T. "High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: examples from the Tethyan arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan". *Economic Geology* 107 (2012), pp. 295–332.
- [41] Pang, K.N., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y., Chu, C.H., Lee, H.Y., Lo, C.H., "Eocene–Oligocene post-collisional magmatism in the Lut–Sistan region, eastern Iran: magma genesis and tectonic implications". *Lithos* 180–181 (2013), 234–251.
- [42] Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H., Stern, C.R., "The Khopik porphyry copper-gold prospect, Lut Block, Eastern Iran: geology, alteration, mineralization, fluid inclusion, and oxygen isotope studies". *Ore geology Reviews* 65 (2015), Part 2, Pages 522–544.
- [43] Siahcheshm, K., Calagari, A., Abedini, A., "Hydrothermal evolution in the Maher-Abad porphyry Cu-Au deposit, SW Birjand, Eastern Iran: Evidence from fluid inclusions". *Ore Geology Reviews* 58 (2014), pp 1-13.
- [44] Arjmandzadeh, R., Santos, J.F., "Sr-Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu-Mo porphyry mineralizing intrusives from Lut Block, eastern Iran". *International Journal of Earth Sciences* 103 (2014), Issue 1, pp 123-140.
- [45] Yang Z., Hou Z., White N.C., Chang Z., Li Z., Song Y., "Geology of the post-collisional porphyry copper-molybdenum deposit at Qulong, Tibet", *Ore Geology Reviews* 36 (2009) 133–159.
- [46] Lowell J. D., Guilbert J. M., "Lateral and vertical alteration– mineralization zoning In porphyry ore deposits", *Economic Geology* 65 (1970) 373–408.
- [47] Miri Beydokhti, R., "Mineralization, alteration, petrology and age dating of intrusive deposit, Kerman, (in Persian)", *Iranian Journal of Economic geology* 6 (2014) 177-197.
- [29] Taghipour N., Dorani M., "Geochemistry of Sulfur and Oxygen stable isotopes in Sulfide and Sulfate minerals at Parkam porphyry copper deposit, Shahr-e-Babak, Kerman province, (in Persian)", *Jouranl of Advanced Applied Geology*, 8 (2013) 61-70.
- [30] Maanijou M., Mostaghimi M., Abdollahi Riese M., Sepahi A.A., "Systematic sulfur stable isotope and fluid inclusion studies on veinlet groups in the Sarcheshmeh porphyry copper deposit: based on new data, (in Persian)", *Iranian Journal of Economic geology* 4(2012) 217- 239.
- [31] Wang Y.H., Zhang F.F., Liu J.J., Yang Que, C., "Genesis of the Fuxing porphyry Cu deposit in Eastern Tianshan, China: Evidence from fluid inclusions and C–H–O–S–Pb isotope systematics", *Ore Geology Reviews* 79(2016) 46-61.
- [32] Peng B., Sun F., Li B., "Geochronology and geochemistry of Tianhexing porphyry Cu-Mo deposit, northeast China", *Ore Geology Reviews* 197(2018) 130-142.
- [33] Richards J.P., "Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu–(Mo–Au) deposit formation", *Economic Geology* 98 (2003) 1515–1533.
- [34] Cooke D.R., Hollings P., Walshe J.L., "Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls", *Economic Geology* 100 (2005) 801–818.
- [35] Hou Z., Cook N.J., "Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue", *Ore Geology Reviews* 36 (2009) 2–24.
- [36] Aghazadeh, M., Hou, Z., Badrzadeh, Z., Zhou, L., "Temporal-spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: Constraints from zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology", *Ore Geology Reviews* (2015). doi:10.1016/j.oregeorev.2015.03.003.
- [37] McCall, G.J.H., "The geotectonic history of the Makran and adjacent areas of southern Iran". *J. SE Asian Earth Sci.* 15 (1997), 517–531.
- [38] Arjmandzadeh, R., Karimpour, M.H., Mazaheri, S.A., Santos, J.F., Medina, J.M., Homam, S.M., "Sr/Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut

- [49] Gustafson L.B., "Some major factors of porphyry copper genesis", *Economic Geology* 73 (1978) 600–607.
- [50] Frotteir G.L., Burov E., "The development and fracturing of plutonic apexes: implications for porphyry ore deposits", *Earth and Planetary Science Letters* 214 (2003) 341-356.
- rocks, southwest-west of Dehsalm, (in Persian)", Ph.D thesis, Ferdowsi University of Mashhad (2016) 247 p.
- [48] Sillitoe R. H, "Porphyry Copper Systems", *Economic Geology* 105 (2010) 3–41.