



## بررسی کانی‌سازی، زمین‌شیمی و میانبارهای سیال در رگه‌های کوارتز در ذخیره طلای مزرعه شادی (شمال شرق تبریز)

کیخسرو رادمرد<sup>۱</sup>، حسن زمانیان<sup>۲\*</sup>، محمدرضا حسین زاده<sup>۲</sup>، احمد احمدی خلجی<sup>۱</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(دریافت مقاله: ۹۵/۱۱/۱۲، نسخه نهایی: ۹۶/۱/۳۰)

**چکیده:** منطقه مزرعه شادی در ۱۳۰ کیلومتری شمال شرق تبریز و در پهنه فلززایی ارسباران قرار دارد. این ذخیره به صورت رگه‌ای در آندزیت‌های ائوسن قرار گرفته است و سیمای کانی‌سازی در منطقه شامل رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی است که توسط گسل‌ها کنترل شده است. بافت‌های فراگرمایی در رگه‌ها شامل بافت‌های شانه‌ای، کوارتز حفره‌ای، کوکاد، جعبه‌ای و کلسیت تیغه‌ای و برشی است. پیریت مهمترین کانی فلزی بوده و با کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، اسفالریت، گالن و طلا همراه است. نتایج نمونه‌برداری زمین‌شیمیایی در رگه‌های سیلیسی نشان‌دهنده بیشینه مقادیر طلا، سرب، نقره، مس و روی به ترتیب برابر با ۱۷۱۰۰ میلی‌گرم در تن، ۲۱۱۰۰، ۹۴۳، ۶۱۱ و ۳۳۳ گرم در تن هستند. بررسی‌های ریزدماسنجی بر نمونه‌های کوارتز پهنه سیلیسی و کانه‌دار صورت گرفته است و اطلاعات ریزدماسنجی لازم برای تفسیرهای جدید را به دست می‌دهد. اندازه میانبارها در نمونه‌ها از کمتر از ۵ تا ۹۰ میکرومتر بوده و سه نوع سیال درگیر دو فاز غنی از مایع، دو فاز غنی از بخار و تک فاز غنی از بخار شناسایی شده است. دماهای همگن-شدگی ۱۶۰ تا ۳۲۴ با میانگین ۲۲۸ درجه سانتی‌گراد و شوری ۰/۱۷ تا ۵/۱ درصد وزنی معادل NaCl است و دمای ذوب یخ بین ۲/۲ تا ۳/۲- تغییر می‌کند. میانبارهای سیال در محدوده فراگرمایی و بین سیالات ماگمایی و جوی قرار می‌گیرند. ته‌نشست طلا با عوامل رسوب پیریت، اکسایش، کاهش pH، جوشش و آمیختگی سیال‌ها صورت گرفته و دو جمعیت متفاوت میانبارهای سیال در محدوده موجود است. مشخصه‌های سیالات درگیر نشان‌دهنده عمق کانی‌سازی بین ۲۳۰ تا ۳۸۰ متر زیرسطح ایستایی دیرینه است و روند نمودارهای سه بعدی شوری-دما همگن‌شدگی و مقدار طلا و سرب-روی در میانبارها نشان‌دهنده نهشت سرب - روی از سیالات با شوری پایین‌تر و دمای بیشتر به سمت نهشت طلا از سیالات با شوری بیشتر و دمای کمتر است. پهنه‌بندی به دلیل جوشش در سیستم فراگرمایی باعث تشکیل فلزات پایه مانند مس، سرب، روی و مولیبدن در عمق‌های پایین‌تر و فلزات گرانبها در عمق‌های کمتر در مزرعه‌شادی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** میانبار؛ جوشش؛ فراگرمایی؛ مزرعه شادی؛ ارسباران.

### مقدمه

[۲]. با توجه به وجود فعالیت‌های ماگمایی پتانسیل کانی‌سازی مطلوبی برای انواع مس-مولیبدن و طلا در منطقه هیزه‌جان تا مزرعه‌شادی موجود است. کانی‌سازی مزرعه شادی در استان آذربایجان شرقی و در ۳۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان ورزقان و ۱۳۰ کیلومتری شمال شرق تبریز و در پهنه فلززایی

سنگ‌های آتشفشانی - نفوذی با ترکیب غالب متوسط تا فلسی و گرایش کلسیمی-قلیایی گسترش زیادی در پهنه زمین-ساختی البرز - آذربایجان دارند [۱]. این نوع سنگ‌ها میزبان اصلی ذخایر فلزهای پایه و گرانبها در بسیاری از نقاط هستند

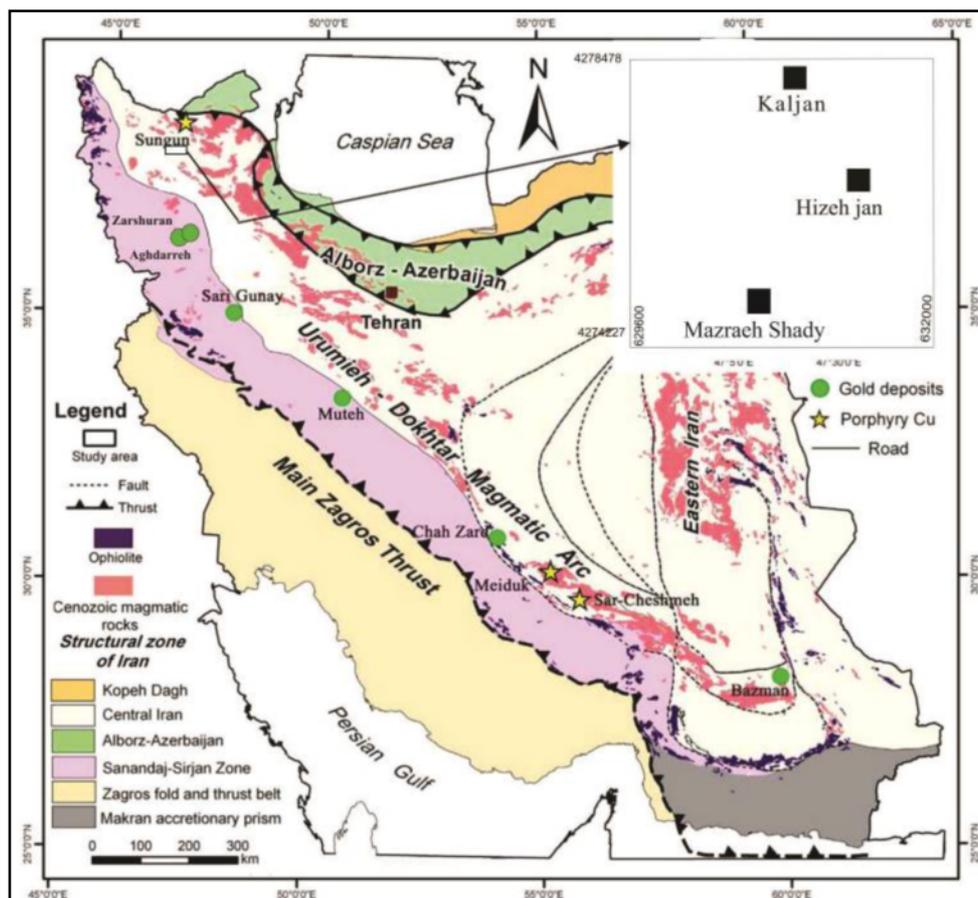
\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۸۱۲۰۳۱۰، پست الکترونیکی: hasanzamanian@yahoo.com

همراه، تعداد ۵۰ مقطع صیقلی و ۵۵ مقطع نازک صیقلی از رگه‌های کوارتز و نمونه‌های سطحی و گمانه‌های اکتشافی که در آنها کانه‌زایی سولفیدی صورت گرفته است، تهیه شد و با میکروسکوپ قطبشی با نور عبوری و بازتابی مورد بررسی شدند. در مجموع ۱۰۰ نمونه در آزمایشگاه AMDEL کشور استرالیا به روش ICP، ۱۲۵ نمونه در آزمایشگاه ALS کشور کانادا و تعداد ۶۳ نمونه سطحی با روش XRD در آزمایشگاه شرکت بینالود تجزیه شدند. برخی از داده‌های استفاده شده در این پژوهش از گزارش بررسی‌های زمین‌شناسی و دگرسانی ناحیه کالجان که توسط شرکت زرناب اکتشاف در سال ۱۳۸۵ تهیه شده است، برداشت شده‌اند. به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌دار و بررسی روند تغییرات شیمیایی و دمایی سیال کانه‌ساز طی تشکیل ذخیره معدنی مزرعه شادی، تعداد ۱۲ مقطع دوبرصیقل از رگه‌های سیلیسی سطحی و زیر-سطحی منطقه که بیشتر همراه با کانی‌های فلزی اکسیدی و

ارسیاران در شمال غرب کمان ماگمایی البرز - آذربایجان قرار دارد (شکل ۱) که به دلیل گسترش فعالیت‌های ماگمایی ترشیری و همچنین دگرسانی‌های وسیع، این محدوده به عنوان یکی از ۱۰ پهنه طلا دار برتر شناخته شده است. اهمیت این منطقه به دلیل وجود طلای فراگرمایی، مس و مولیبدن پورفیری و ذخایر جیوه، آرسنیک، آنتیمون و کائولن است. در این مقاله سعی شده است که با استفاده از بررسی‌های گرماسنجی میانبارهای سیال، دما، شوری، چگالی، خواص فیزیکوشیمیایی سیال تشکیل‌دهنده تیپ کانسار، پهنه‌بندی عناصر و عمق تشکیل فلزات پایه و طلا-نقره را مورد بررسی قرار داد تا به عنوان الگویی برای اکتشافات آتی مدنظر قرار گیرد.

### روش پژوهش

بررسی‌های صحرایی شامل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و دگرسانی گستره مورد بررسی همراه با نمونه‌برداری از سنگ‌ها و رگه‌ها هستند. به منظور شناسایی کانی‌های فلزی و باطله‌های



شکل ۱: جانمایی منطقه مزرعه‌شادی-هیزه جان و تعدادی مس پورفیری و فراگرمایی طلا روی کمان ماگمایی ارومیه-دختردر نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۵) اطلاعات دیگر [۳-۹].

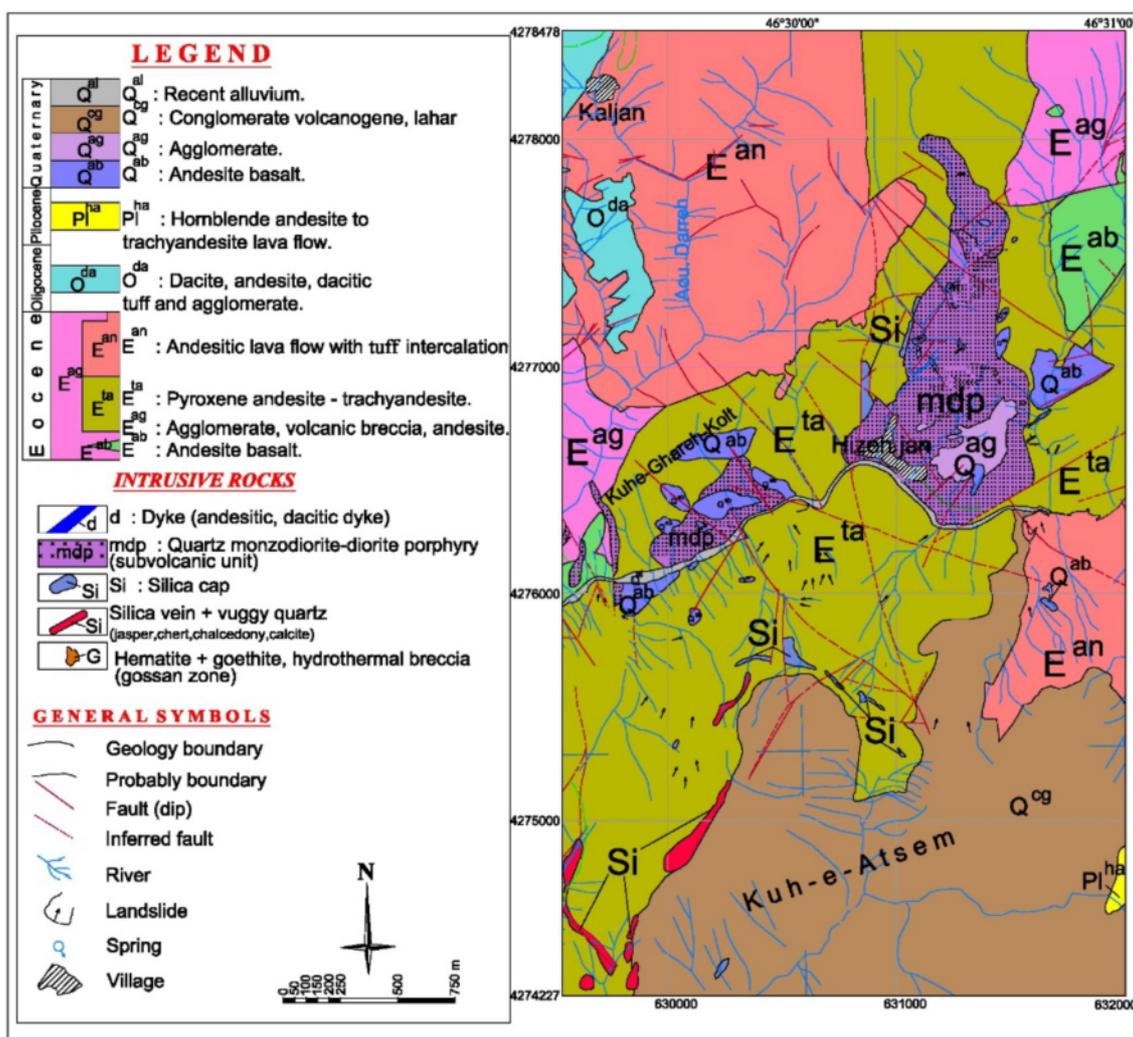
سولفیدی بودند، تهیه و بررسی‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال و سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری بر آنها انجام شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از صفحه گرم‌کننده و منجمدکننده Linkham THMSG600 نصب شده بر میکروسکوپ قطبشی مدل Olympus در دانشگاه لرستان انجام گرفت. گستره دمایی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است و با میانبارهای سیال مصنوعی [۱۰] در دماهای ۵۶٫۶-، ۰٫۰ و ۳۷۴٫۱ درجه سانتی‌گراد کالیبره شده است. گستره دمایی در این بررسی بین ۲۹- تا ۳۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده و دقت اندازه‌گیری‌ها برابر با ۰٫۱± درجه سانتی‌گراد در گستره دمایی ۷۰- تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد، ۲± درجه سانتی‌گراد در دماهای زیر ۷۰- درجه سانتی‌گراد و ۱± درجه سانتی‌گراد در دماهای بالای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است. به منظور جلوگیری از ترکیب میانبارهای سیال طی گرمایش، ابتدا فرآیند سرمایش بر روی آن انجام شد. بررسی داده‌های ریزدماسنجی و برآورد کسر حجمی فازهای مختلف (به‌منظور تبدیل دماهای ذوب و همگن‌شدگی و همچنین برآورد چشمی کسر حجمی به ترکیبات حجمی و چگالی) توسط نرم‌افزارهای فلوئیدز<sup>۱</sup> [۱۱] و کلاتریتز<sup>۲</sup> [۱۲] صورت گرفته و همچنین درجه شوری میانبارهای سیال آبگین با استفاده از آخرین دمای ذوب یخ و با توسط نرم‌افزار فلینکور<sup>۳</sup> [۱۳] محاسبه شده است. برای پردازش داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel, Surfer, Auto CAD و SPSS استفاده شده است.

#### زمین‌شناسی منطقه

منطقه مزرعه‌شادی- هیزه‌جان بخشی از کمان آتشفشانی آهکی-قلیایی در شمال ایران است که به طول ۱۸۰۰ کیلومتر از شمال‌غرب ایران به سمت شرق تا افغانستان کشیده شده است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده مورد بررسی متشکل از سنگ‌های آذرین خروجی (جریان‌های گدازه‌ای، گنبد‌های خروجی) سنگ‌های آذرین نیمه‌عمیق و واحدهای آذرآواری بوده و به طور کلی می‌توان آنها را به دو بخش سنگ-های آذرین خروجی و نفوذی- نیمه‌عمیق تفکیک کرد (شکل ۲). واحدهای سنگی آذرین خروجی با سن ائوسن پسین کواترنر وسعت قابل توجهی از نقشه را پوشانده‌اند [۱۴]. واحد

آگلومرا و برش آتشفشانی ( $E^{ag}$ ) شامل ردیفی از توف آگلومرا و برش‌های آتشفشانی است و به علت تقدم سنی همه فازهای زمین‌ساختی بعد از ائوسن بر این واحد اثر کرده و باعث چین-خوردگی و گسلش شدید آن شده‌اند. این واحد سنگ بستر اصلی سایر واحدهای محدوده بوده و در جنوب غرب دایک‌های آندزیتی تا داسیتی با روندهای متفاوت این واحد سنگی را قطع نموده‌اند. بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، بخش‌های آگلومرای دارای بافت پورفیری با زمینه شیشه‌ای- ریزبلوری هستند. واحد گدازه‌های آندزیت بازالتی ( $E^{ab}$ ) در بخش‌های غربی و شمال شرق در داخل و زیر واحد آگلومرای گسترش دارد. واحد گدازه تراکی‌آندزیتی ( $E^{ta}$ ) بیشترین وسعت را در منطقه مورد بررسی دارد و در بخش‌های جنوبی و شرقی با ریخت‌شناسی نرم گسترش دارد که در اطراف روستای کالجان به شدت دگرسان شده و دربردارنده رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی است. واحد گدازه‌های آندزیتی ( $E^{an}$ ) در بخش‌های شمالی و جنوب شرقی کالجان روی واحدهای آذرآواری - آتشفشانی آگلومرا و گدازه‌های آندزیت - تراکی‌آندزیت ائوسن با ضخامت زیاد قرار گرفته است. گدازه‌های داسیت- آندزیت، توف و آگلومرای الیگوسن ( $O^{da}$ ) با ترکیب داسیتی تا آندزیتی در بخش شمال‌غربی به طور دگرشیب بر روی واحدهای  $E^{an}$  و  $E^{ag}$  دیده می‌شود. این واحد از گدازه‌ها و مواد آذر آواری با ترکیب فلسی تا حد واسط تشکیل شده است. گنبد‌های گدازه-ای هورنبلند آندزیتی پلیوسن ( $PL^{ha}$ ) به صورت مجموعه‌ای از گدازه‌های گنبدی شکل آندزیت - تراکی‌آندزیت خاکستری سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده است و به صورت چند توده کوچک در اطراف روستای شرف‌آباد دیده می‌شود و مجموعه کنگلومرا، لاهار و آگلومرای کواترنری به طور دگرشیب روی آن دیده می‌شود. گدازه‌های آندزیت و آندزیت بازالتی کواترنری ( $Q^{ab}$ ) روی همه رخنمون‌های سنگی موجود در منطقه قرار گرفته که به احتمال زیاد آخرین فعالیت آتشفشانی در منطقه بوده است. روی این واحد نیز یک افق آگلومرای  $Q^{ag}$  که مربوط به فعالیت انفجاری آتشفشانی کواترنری است قرار گرفته و شامل قطعات لاپیلی و بمب‌های آتشفشانی در زمینه خاکستر نرم است رخنمون این واحد در شرق روستای هیزه-جان روی توده نیمه‌عمیق کواترنر مونزودیوریت دیده می‌شود.

- 1- Fluids
- 2- Clathrates
- 3- Fliincore



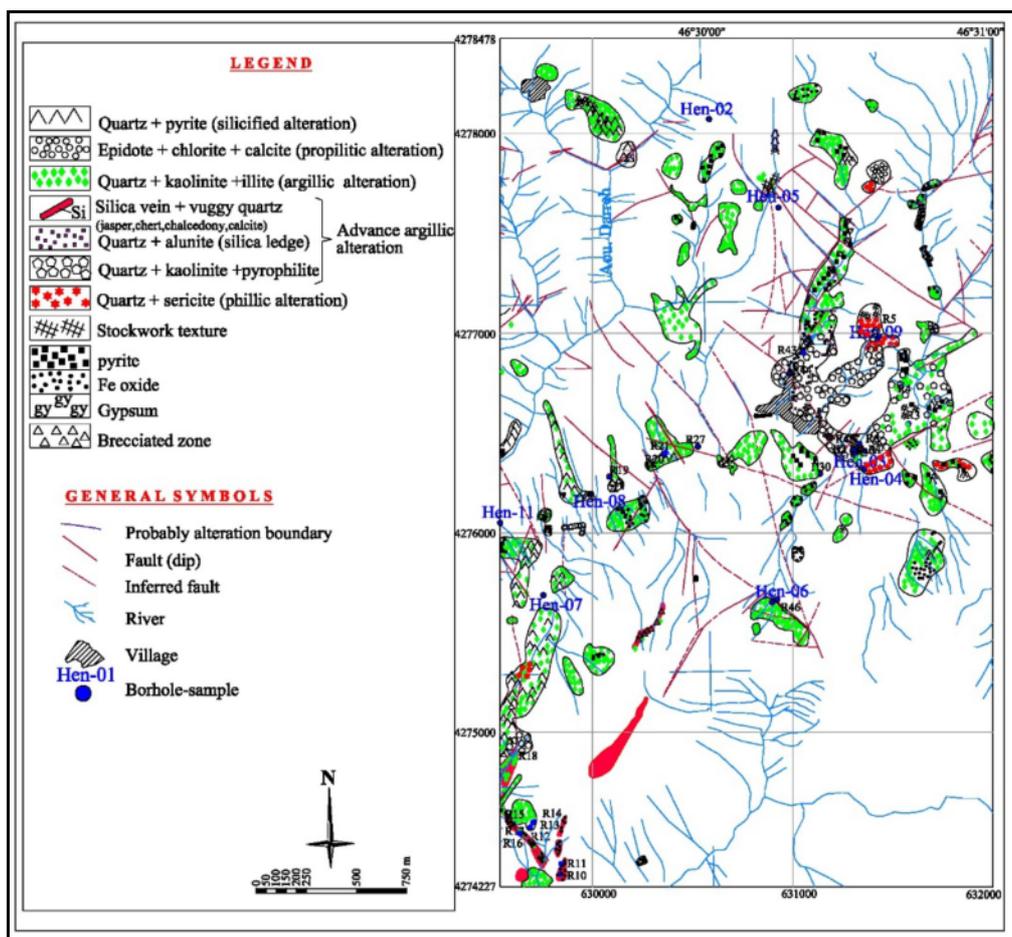
شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد بررسی.

کوارتزموزنودیوریت پورفیری تا دیوریت پورفیری با بافت ریزدانه‌ای پورفیری و شامل کانی‌سازی مس است. این توده در شمال روستای هیزه‌جان به صورت استوک‌های سالم و قابل تشخیص دیده می‌شود ولی در قسمت‌های جنوبی و در شرق روستا به علت شدت دگرسانی قابل تشخیص نیست. نفوذ این توده در واحدهای سنگی  $E^{ab}$ ,  $E^{ta}$ ,  $E^{an}$  باعث دگرسانی و کانی‌سازی در خود و در واحدهای مجاور در نزدیکی هیزه‌جان شده است. بافت داربستی در واحد نیمه‌عمیق آتشفشانی دیده می‌شود که به شدت دگرسان شده است. توده نفوذی کالجان مرکز فعالیت ماگمایی میزبان کانی‌سازی در منطقه بوده است و سایر توده‌ها و دایک‌ها در حقیقت شاخه‌هایی منشعب از این توده هستند. در بخش‌های جنوب غربی و شرق منطقه تعدادی دایک آندزیتی با ضخامت‌های ۰/۵ تا ۵ متر و طول چندین ۱۰

فعالیت‌های سیلابی همزمان با آخرین فعالیت‌های آتشفشانی باعث ایجاد مجموعه کنگلومرا و لاهار با قطعات درشت سنگ‌های آتشفشانی شده است که در حاشیه جاده شرف‌آباد به کالجان مشاهده می‌شود و در نقشه با علامت  $Q^{cg}$  نشان داده شده و ترکیب قطعات آتشفشانی آنها آندزیتی است. سنگ‌های آتشفشانی و آواری - آتشفشانی ائوسن را مجموعه‌ای از توده‌های نیمه‌عمیق کوارتزموزنودیوریت پورفیری تا دیوریت پورفیری (mdp) قطع نموده است و بیشترین رخنمون آن در نزدیکی روستای هیزه‌جان با امتداد شمالی - جنوبی به قطر بزرگ ۱۶۵۰ متر و قطر کوچک ۴۵۰ متر و در امتداد رودخانه هیزه‌جان به صورت چند توده کوچک دیده می‌شود. رنگ ظاهری آن خاکستری با بافت پورفیری و به صورت استوک‌های کوچک و بزرگ و دایک رخنمون داشته و دارای ترکیب

بایریت، گالن و اسفالریت هستند. روند این رگه‌ها بیشتر شمال‌شرق- جنوب‌غرب هستند و بیشترین تمرکز آنها در بخش جنوبی است. در مجموع، ۱۸ رخنمون، رگه و پهنه گسله همراه با کانی‌سازی با ۰/۲۵ تا ۲۵ متر پهنا و طول ۳ تا ۱۰۵۰ متر شناسایی شده است [۱۵]. ساخت و بافت بیشتر رگه‌ها و پهنه‌های کانساری از نوع برشی بوده و نشان‌دهنده تشکیل کانی‌ها در فضای بین شکستگی‌ها و برش‌ها به صورت پرکننده است. دگرسانی: در محدوده مزرعه شادی- هیزه‌جان پهنه‌های دگرسانی در وسعت زیاد و بیشتر در مرکز و در نزدیکی روستای هیزه‌جان وجود دارد. به منظور تفکیک دگرسانی‌ها، از شواهد صحرائی، نتایج تجزیه XRD نمونه‌های سطحی و بررسی مقاطع نازک استفاده شده است. دگرسانی‌های موجود در منطقه مورد بررسی عبارتند از (شکل ۳):

متر تا ۲۵۰ متر و با روندهای شمال شرق- جنوب غرب و شرقی- غربی دید شده است. به طور کلی گسل‌ها دارای سه روند NE-SW, N-S, NW-SE و بیشتر NW-SE هستند. تراکم گسل‌ها به سمت مرکز منطقه افزایش یافته است و در نتیجه میزان خروج محلول‌های گرمایی و دگرسانی که نسبت مستقیم با میزان تراکم این شکستگی‌ها دارد در این محدوده‌ها دارای شدت زیادی است [۱۴]. در بعضی قسمت‌ها روی سنگ‌های دگرسان شده رسی، کلاهک‌های سیلیسی (Si) متشکل از ژاسپر، اوپال و کلسدونی رخنمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را مجموعه‌ای از رگه‌های سیلیسی با ترکیب کوارتز متخلخل، ژاسپر و کلسدونی همراه با کلسیت و اکسید آهن قطع نموده‌اند که مربوط به گرمای توده‌های نفوذی نیمه عمیق کوارتزمونزدیوریت یا فعالیت‌های ماگمایی جوانتر بوده و شامل کانی‌سازی جزئی مس و طلا به صورت کالکوپیریت همراه



شکل ۳ نقشه دگرسانی منطقه مورد بررسی.

دگرسانی پروپلیتیک: این نوع دگرسانی با رنگ سبز روشن تا تیره و به طور پراکنده و با وسعت کم در جنوب غرب و شمال شرق و به طور جزئی در بخش میانی دیده می شود. این نوع دگرسانی بیشتر در حاشیه دگرسانی رسی قرار دارد و در گمانه های اکتشافی به طور عمده در آندزیت ها رخ داده است. در نمونه های مورد بررسی، زمینه بیشتر شامل مجموعه ای از اپیدوت، سریسیت، کائولینیت، کربنات و کلریت است و کانی های آمفیبول، پیروکسن و بیوتیت به کلریت، کلسیت، سریسیت اپیدوت و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده اند. بیشتر پلاژیوکلازها نیز به طور بخشی و گاه به صورت کامل به مجموعه ای از کربنات، کلریت، سریسیت و در مواردی به اپیدوت تجزیه شده اند.

دگرسانی رسی: این نوع دگرسانی به طور وسیع در بخش میانی و در بخش های غربی و شرقی منطقه دیده می شود. بر اساس شواهد صحرایی این نوع دگرسانی در ارتباط با واحدهای توفی و گدازه های ائوسن بوده و در اثر هیدرولیز شدید فلدسپات ها (محیط اسیدی)، کانی های رسی مانند کائولینیت تشکیل شده است (شکل ۴ الف). بر اساس نتایج XRD، نمونه های برداشتی کانی های اصلی شامل کائولینیت، مونت موریلونیت و کلسیت هستند. بیشتر پلاژیوکلازها، آمفیبول ها و پیروکسن ها به مجموعه ای از کوارتز، کائولینیت، هماتیت، کلسیت و گوتیت تجزیه شده اند. این دگرسانی دارای وسعت زیادی در سطح است و با نوع فیلیک همپوشی نشان می دهد. دگرسانی رسی در یک فاز تاخیری نسبت به دگرسانی فیلیک رخ داده است.

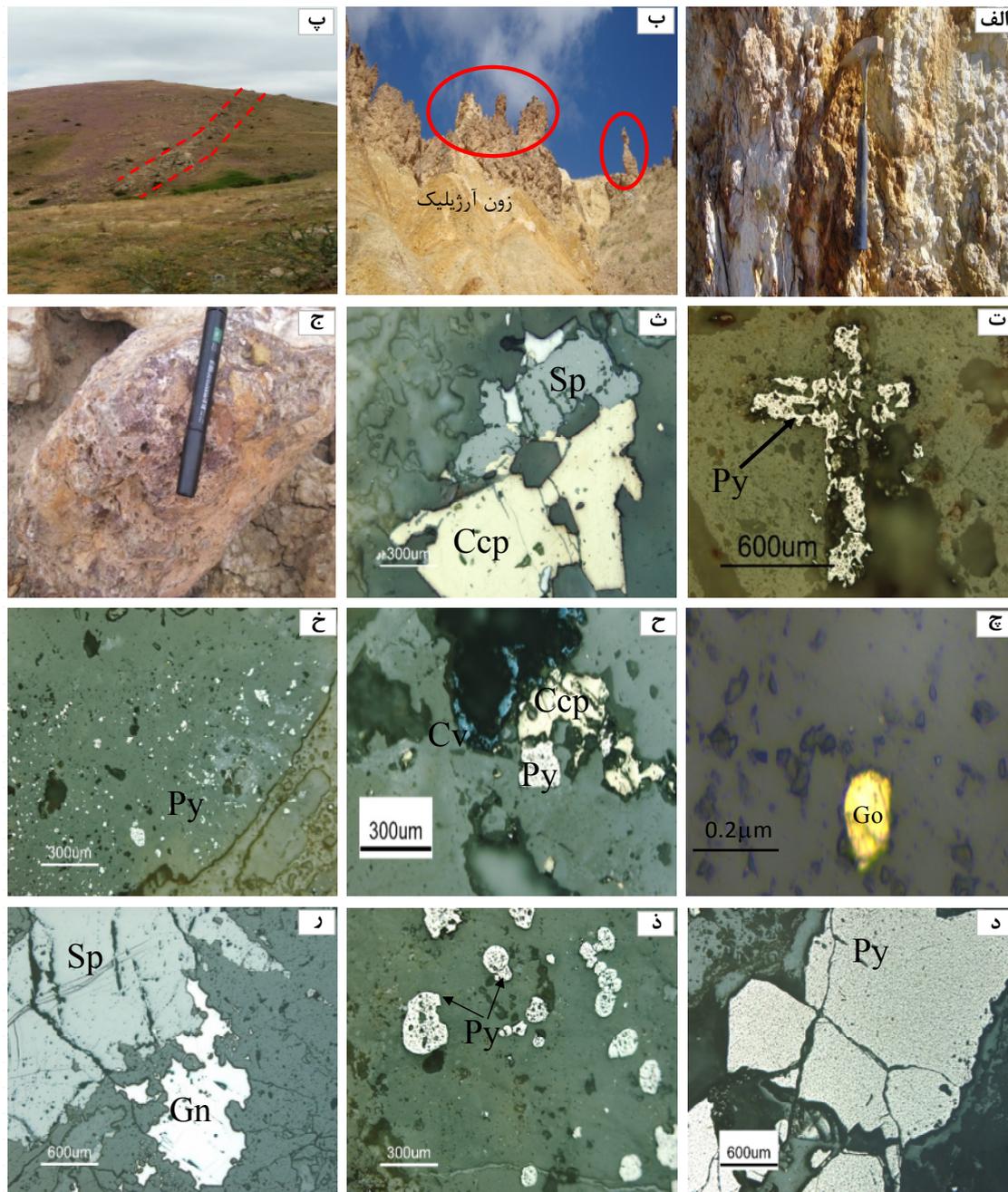
دگرسانی رسی پیشرفته: با توجه به شدت هیدرولیز، دما، ترکیب محلول، ترکیب کانی شناسی و بافت اولیه سنگ کانی های ایجاد شده در این دگرسانی متنوع هستند. این نوع دگرسانی شامل رگه ها و رگچه های سیلیسی همراه با کائولینیت، پیروفیلیت و سریسیت است و در نیمه شرقی به ویژه در شمال و شرق روستای هیزه جان دیده می شود. بیشتر پلاژیوکلازها به سریسیت و آمفیبول ها به کانی های کدر تجزیه شده اند. نتایج XRD نمونه ها نشان دهنده حضور کانی های کوارتز، کائولینیت، مسکویت، آلپیت، آنکریت، دیکیت، آلونیت و مونت موریلونیت است. این نوع دگرسانی در حاشیه رگه های سیلیسی در منطقه مزرعه شادی دیده نشده است.

دگرسانی فیلیک: حضور کانی سریسیت در بخش هایی از محدوده مورد بررسی نشان دهنده دگرسانی فیلیک است این نوع دگرسانی در شمال شرق، جنوب شرق و جنوب غرب هیزه جان دیده می شود. این نوع دگرسانی نسبت به سایر دگرسانی ها بیشترین حجم را در مغزه های حفاری نشان می دهد. نتایج XRD نمونه ها نشان دهنده حضور کانی های کوارتز، ژیبس و مسکویت - سریسیت در فاز اصلی و مونت موریلونیت در فاز فرعی است. پیریت نیز در بیشتر نمونه ها دیده می شود. بیشتر پلاژیوکلازها به طور کامل به سریسیت تجزیه شده اند و با نزدیک شدن به پهنه های کانی سازی شدت این نوع دگرسانی بیشتر می شود. سنگ های آندزیتی در برخی موارد دچار دگرسانی نوع فیلیکی نیز شده اند.

دگرسانی پتاسیمی: این نوع دگرسانی در سطح زمین دیده نشده و تنها در عمق حدود ۲۸۴ متری گمانه ۴ مشاهده شده است. وجود این نوع دگرسانی در عمق به احتمال زیاد نشان از تزریق یک فاز جوانتر به درون توده نفوذی کوارتزومونزدیوریتی است. دگرسانی پتاسیمی با پرشدگی فضاهای خالی با فلدسپار، کوارتز و کانی های کدر مشخص می شود.

دگرسانی سیلیسی: سیلیس در منطقه به سه صورت عمده دیده می شود:

- ۱- داربستی در شمال شرق روستای هیزه جان
  - ۲- کلاهک های سیلیسی در غرب و جنوب غرب هیزه جان که تشکیل قسمت های خشن در بخش های مرتفع را داده اند.
  - ۳- رگه ها و رگچه های سیلیسی در جنوب غرب منطقه با روندهای متفاوت
- دگرسانی سیلیسی به طور عمده بر پهنه های گسلی دیده می شود و بیشتر با کانی سازی سولفیدی همراه است. در حاشیه رگه ها کوارتز به دو شکل رگچه ای و پر کننده فضاهای خالی و جانیشینی وجود دارد. در بخش های فوقانی دگرسانی رسی کلاهک های سیلیسی به طور پراکنده دیده می شوند که به علت مقاومت بیشتر آنها در برابر هوازدگی و افزایش سیلیس در آنها، ریخت شناسی خشن و برجسته به آن داده است (شکل ۴ ب). در منطقه مزرعه شادی - هیزه جان، اکتشاف طلا در رگه های سیلیسی طلا دار (شکل ۴ پ) انجام می شود [۱۵]. دگرسانی در حاشیه رگه ها شامل سیلیسی شدن، رسی و سریسیتی شدن و پیریتی شدن است.



شکل ۴ الف) دگرسانی رسی در مزرعه شادی ب) کلاهک‌های سیلیسی در منطقه رسی پیشرفته پ) دورنمایی از رخنمون رگه سیلیسی در مزرعه-شادی ت) تشکیل پیریت به شکل صلیب در رگه سیلیسی ث) هم‌رشدی اسفالریت و کالکوپیریت ج) کوارتز حفره‌ای در نمونه دستی چ) طلای آزاد در کوارتز ح) هم‌رشدی کالکوپیریت و پیریت با کولیت خ) پیریت به صورت پراکنده د) پیریت شکله‌دار ذ) پیریت‌های بی‌شکل ر) هم‌رشدی گالن و اسفالریت.

#### کانی‌سازی

مهمترین سیمای کانی‌سازی در منطقه مزرعه شادی- هیزه- جان، پهنه‌های کانی‌سازی رگه‌ای - رگچه‌ای است که توسط گسل‌ها و پهنه‌های گسلی کنترل شده است. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده رگه‌ها کوارتز، ژاسپر، فلدسپات و کلسیت است و

کانه‌های تشکیل‌دهنده شامل پیریت، کالکوپیریت، طلا، گالن، کولیت و اسفالریت است (شکل‌های ۴ ت-ر). فرآورده دگرسانی پیریت متشکل از هماتیت، گوتیت و لیمونیت است و علاوه بر آنها جاروسیت و آلونیت نیز همراه با اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن در متن سنگ و درزه‌ها و شکاف‌ها دیده

## زمین‌شیمی

به منظور پی‌جویی‌های زمین‌شیمیایی، ۱۲۵ نمونه زیر سطحی از گمانه‌های اکتشافی و تعداد ۱۰۰ نمونه از رخنمون‌های سطحی، برداشت شدند. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های زیرسطحی الگوی توزیع عناصر ترسیم شد و از تجزیه نمونه‌های برداشت شده مقادیر بالای طلا، سرب، نقره، مس و روی گزارش شده است. توزیع عناصر به طور خلاصه به شرح زیر است: (۱) بیشترین مقدار طلا در نمونه‌های سطحی در رگه‌های سیلیسی ۱۷۱۰۰ میلی‌گرم در تن و در نمونه‌های زیرسطحی ۸۱۳ میلی‌گرم در تن بود. (۲) بیشترین مقدار سرب در رگه‌های سیلیسی ۲۱۰۰ گرم در تن و در نمونه‌های زیرسطحی ۴۷۵۰ گرم در تن بود. (۳) بیشترین مقدار روی در نمونه‌های سطحی در رگه‌های سیلیسی ۳۳۳ گرم در تن و در نمونه‌های زیرسطحی ۱۴۵۰ گرم در تن بود. (۴) بیشترین مقدار نقره در رگه‌های سیلیسی سطحی و نمونه‌های زیرسطحی به ترتیب ۹/۴۳ و ۵/۳ گرم در تن دیده شد. (۵) بیشترین مقدار مس متعلق به نمونه‌های زیرسطحی و برابر با ۳۴۱۰ گرم در تن بود، در حالیکه بیشترین مقدار آن در رگه‌های سیلیسی سطحی ۶۱۱ گرم در تن به‌دست آمد. (جدول‌های ۱ و ۲). دلایل تغییرات مقدار عناصر از سطح به عمق در بخش بحث و بررسی بیان شده است.

می‌شوند. مهمترین ساخت در کانی‌سازی مزرعه‌شادی برش‌های رگه‌ای چند مرحله‌ای است که در تشکیل آنها فرایندهای گرمایی نقش مهمتری نسبت به فعالیت‌های زمین‌ساختی داشته و محلول‌های کانه‌دار به حالت پراکنده مواد خود را در فضای بین قطعات خرد شده بر جای گذاشته‌اند. از دیگر بافتهای مهم می‌توان از برش خرد شده، بافت شانه‌ای، کوارتز حفره‌ای (شکل ۴ ج)، بافت کوکاد، بافت جعبه‌ای و کلسیت تیغه‌ای با بافت شبکه‌ای در فضای خالی برش سیلیسی نام برد [۱۵]. مهمترین بافتهای مشاهده شده در کانی‌های بافت پراکنده فضای خالی (شکل ۴ ت)، طلای آزاد در کوارتز (شکل ۴ چ)، بافت هم‌رشدی (شکل‌های ۴ ح-ر)، بافت پراکنده (شکل ۴ خ)، بافت میان‌بار و بافتهای شکل‌دار (شکل ۴ د)، نیمه شکل‌دار و بی‌شکل (شکل ۴ ذ) است. رگه‌های سیلیسی دارای روندهای متفاوت بوده و نتایج تجزیه عنصری نشان دهنده مقادیر بالای طلا و سرب در آنهاست. بلورهای شکل‌دار گالن همراه با پیریت دیده می‌شوند. بیهنجاری طلا در رگه‌های سیلیسی طلا‌دار با سنگ میزبان آندزیت تا تراکی‌آندزیت دیده می‌شود. دگرسانی در رگه‌های طلا‌دار شامل یک دگرسانی سیلیسی است که اغلب به سمت خارج به دگرسانی رسی منتهی می‌شود.

جدول ۱ نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های سیلیسی طلا‌دار.

name	Au (ppb)	Pb	Ag	Cu	Zn	Mo	As	Sb	Bi	S	Sn	W	Te	Rb	k	Mn	Ti	Tl
KSI56	۸	۸۳	۰.۳۶	۳۰.۳	۵.۹	۶.۳	۶۸۴	۰.۹	۰.۱	۲۱۰۰	۰.۹	۱.۹	۰	۵.۱	۶۸۴۰	۶۲	۳۵۶۰	۰.۳
KSI57	۲	۱۱	۰.۲۳	۱۵	۲.۴	۸.۵	۳۷۷	۰.۷	۰.۲	۱۲۲۰۰	۰.۹	۱.۵	۰	۲.۹	۴۶۵۰	۸۰	۳۰۳۰	۰
KSI59	۲	۱۱.۴	۰.۲۸	۲۳.۱	۳.۳	۳.۴	۲۸۲	۰.۷	۰.۱	۱۶۴۰۰	۱.۲	۱.۷	۰	۳.۳	۴۰۴۰	۶۵	۴۲۸۰	۰.۹
KSI60	۱	۱۲.۲	۰.۲	۳۲.۲	۲.۴	۳.۳	۲۷۸	۰.۶	۰.۱	۳۸۶۰۰	۰.۸	۱.۴	۰	۴.۴	۱۳۱۰۰	۷۸	۳۶۶۰	۰.۴
KSI65	۹	۸	۰.۲۳	۱۳.۴	۰.۹	۵.۹	۵۳	۰.۸	۰.۱	۲۲۵۰	۱.۱	۱.۳	۰	۱.۷	۱۲۶۰	۴۵	۳۸۴۰	۰.۱
KSI66	۳	۱۳.۲	۰.۳۹	۴۲.۲	۵.۸	۹	۱۴۵	۱	۰.۱	۴۴۳۰	۱.۶	۱.۶	۰	۲	۱۸۳۰	۷۶	۶۶۵۰	۱.۴
KSI71	۴	۱۷.۵	۰.۳۶	۲۶۱	۱۴.۷	۱۸	۱۸۲۰	۱	۰.۲	۵۷۵۰	۱	۱.۳	۰	۱.۵	۱۴۸۰	۱۲۷	۴۶۱۰	۰.۳
KSI73	۳	۲۴.۸	۰.۳۲	۳۳.۳	۳.۲	۸.۵	۱۵۱	۱.۳	۰	۲۰۷۰۰	۱.۲	۲.۹	۰	۳.۳	۵۹۹۰	۸۸	۵۷۵۰	۰.۶
KSI74	۵	۳۲.۵	۰.۲۳	۱۶.۷	۳.۷	۹.۲	۹۳.۱	۱.۱	۰.۶	۱۸۶۰۰	۱	۳.۴	۰	۲.۱	۵۴۴۰	۳۳	۴۰۴۰	۰
KSI75	۸۹۵	۴۳۰۰	۳.۲۱	۶۱۱	۱۴۴	۹	۸۵.۴	۳۷.۷	۰.۲	۲۰۱۰۰	۰.۵	۲.۱	۱.۳	۹.۱	۸۳۰۰	۶۵	۸۴۸	۰.۴
KSI77	۴۵۶	۳۱۲۰	۶.۱	۱۵۸	۷۱.۵	۴.۹	۲۴۹	۱۲.۱	۰.۹	۹۶۳۰	۰.۶	۳.۲	۰.۹	۵.۵	۴۶۹۰	۱۲۴	۱۸۸۰	۰.۵
KSI78	۲۴۲۰	۳۸۴۰	۱.۶۹	۶۸.۹	۳۳۳	۱۲.۳	۶۹۹	۲۵.۴	۰.۲	۲۰۸۰۰	۰.۶	۶.۸	۰.۴	۲۵.۶	۸۵۸۰	۷۱	۳۱۱۰	۷.۳
KSI81	۱۷۱۰۰	۲۱۱۰۰	۹.۴۳	۲۵۱	۱۸۲	۱.۸	۱۱۴	۱۵.۶	۰.۲	۱۶۵۰۰	۰.۵	۴.۲	۰.۶	۴.۱	۵۷۹۰	۱۰۲	۴۹۸	۰.۷
KSI82	۱۲۲	۱۵۳	۰.۸۷	۸.۲	۱۰.۴	۲.۱	۲۸.۶	۱.۷	۰.۶	۱۸۳۰۰	۰.۸	۱.۱	۰.۸	۷.۶۵	۳۱۳۰۰	۲۸	۲۱۲۰	۱.۶
KSI85	۲۹	۶۶.۶	۰.۷۳	۴۵	۷.۱	۳.۱	۱۷.۲	۱.۱	۰.۸	۲۲۰۰	۲	۱.۳	۰.۵	۹۷.۳	۳۳۲۰۰	۶۱	۳۶۱۰	۱.۷
KSI87	۱۲۸۰	۸۶۷	۲.۹۴	۱۳.۹	۳۱.۸	۲	۱۱.۶	۲۸.۵	۰.۶	۱۱۸۰	۰.۶	۰.۲	۰	۴.۱	۱۲۲۰۰	۴۹	۷۴۰	۰.۶

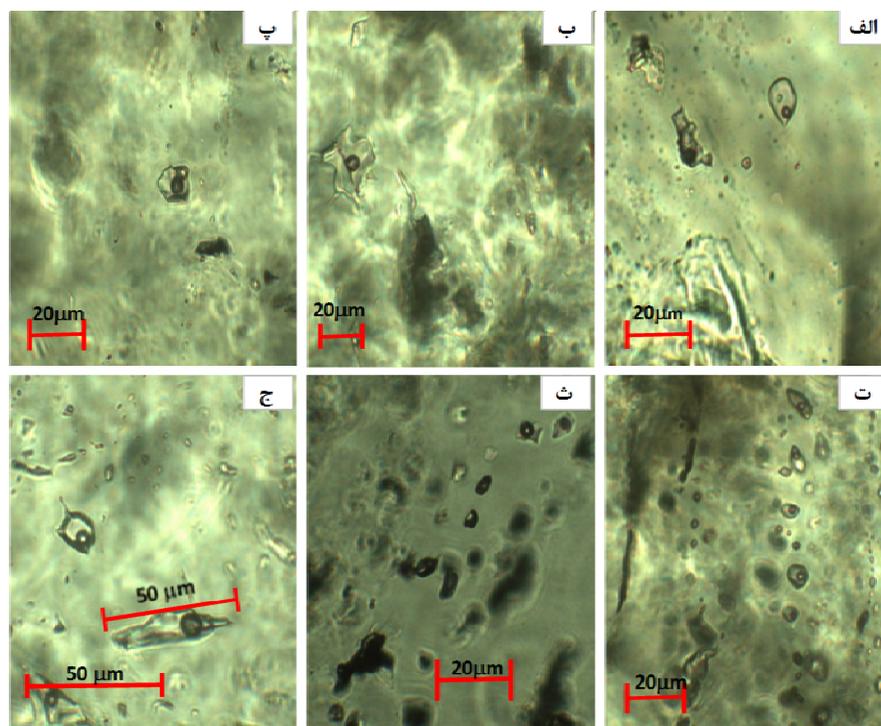
جدول ۲ نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از گمانه‌های اکتشافی

نام	عجق	Cu	Mo	Pb	Zn	Au	Ag	نام	عجق	Cu	Mo	Pb	Zn	Au	Ag
H6	۵	۵۰	۸	۷	۳۵	.	۰.۱	H7	۲۴۵	۲۱	۲	۱۱۷	۹۹	.	۰.۵
H6	۱۵	۱۸	۰.۵	۷	۵۶	.	۰.۱	H7	۲۵۵	۲۳	۲	۹۴	۱۰۲	.	۰.۷
H6	۲۵	۱۴	۰.۵	۶	۲۱	.	۰.۱	H7	۲۶۵	۴۹	۲	۱۱	۷۶	.	۰.۱
H6	۳۵	۲۴	۰.۵	۶	۳۵	.	۰.۱	H7	۲۷۵	۵۰	۱	۱۴	۷۹	.	۰.۱
H6	۴۵	۲۹	۰.۵	۴	۳۹	.	۰.۱	H7	۲۸۵	۵۳	۱	۱۳	۸۸	.	۰.۱
H6	۵۵	۸۵	۰.۵	۸	۵۶	.	۰.۱	H7	۲۹۵	۳۴۱.	۱۷	۱۴	۷۵	.	۲.۱
H6	۶۵	۸۰	۰.۵	۸	۵۳	.	۰.۱	H8	۵	۷۲	۰.۵	۵	۹۲	.	۰.۶
H6	۷۵	۸۱	۰.۵	۸	۵۵	.	۰.۱	H8	۱۵	۶۷	۰.۵	۲۱	۱۴۱	.	۰.۱
H6	۸۵	۵۷	۱	۶	۹۰	.	۰.۱	H8	۲۵	۵۹	۰.۵	۲۳	۱۱۱	.	۰.۶
H6	۹۵	۴۴	۲	۱۱	۱۸۸	.	۰.۱	H8	۳۵	۹۷	۰.۵	۱۲۱	۳۲۰	.	۰.۳
H6	۱۰۵	۴۲	۰.۵	۸	۷۹	.	۰.۱	H8	۴۵	۱۰۰	۰.۵	۱۲۷	۳۲۹	.	۰.۲
H6	۱۱۵	۲۳	۰.۵	۷	۶۷	.	۰.۱	H8	۵۵	۶۶	۰.۵	۴۸	۱۵۵	.	۰.۲
H6	۱۲۵	۵۴	۳	۸	۱۹۳	.	۰.۱	H8	۶۳	۳۹	۱	۵۱	۳۱۷	۰.۰۷	۰.۵
H6	۱۳۵	۴۳	۱	۵	۷۵	.	۰.۱	H8	۷۵	۵۵	۰.۵	۱۶۲	۴۱۲	.	۰.۸
H6	۱۴۵	۸	۸	۱۷	۱۴	.	۰.۱	H8	۸۵	۵۵	۰.۵	۱۶۱	۳۹۸	.	۰.۷
H6	۱۵۵	۷	۸	۱۳	۱۳	.	۰.۱	H8	۹۵	۲۵	۰.۵	۵۹	۳۶۹	.	۰.۴
H6	۱۶۵	۱۲	۲	۱۴	۳۲	.	۰.۱	H8	۱۰۵	۵۰	۱	۱۳۵	۴۲۶	.	۰.۹
H6	۱۷۵	۲۲	۲	۲۰	۳۵	.	۰.۱	H8	۱۱۵	۲۴	۱	۵۸	۱۱۳	.	۰.۷
H6	۱۸۵	۷	۳	۱۶	۱۵	.	۰.۱	H8	۱۲۵	۳۹	۰.۵	۳۴۴	۴۹۹	.	۱.۳
H6	۱۹۷	۲۶	۱۸	۳۱	۴	۰.۰۱	۰.۱	H8	۱۳۵	۴۰	۲	۵۸	۲۰۷	.	۲.۸
H6	۲۰۵	۲۸	۵۲	۱۶	۲۶	.	۰.۱	H8	۱۴۵	۳۱	۲	۱۶۷	۱۴۵۰	.	۳.۸
H6	۲۴۵	۶۸	۸	۲۵	۲۷	.	۰.۱	H8	۱۵۵	۴۶	۵	۴۷۰.	۷۹۱	.	۵.۳
H6	۲۲۵	۷۰	۹	۲۳	۳۸	.	۰.۱	H8	۱۶۵	۵۳	۴	۴۷۵۰	۷۹۶	.	۵.۳
H6	۲۳۵	۲۱	۴	۲۳	۳۰	.	۰.۱	H8	۱۷۵	۱۵	۱	۲۵۴	۱۱۸۵	.	۲.۱
H6	۲۴۵	۲۱	۴	۲۳	۳۲	.	۰.۱	H8	۱۸۵	۱۴	۱	۲۷۶	۱۰۸۰	.	۱.۲
H6	۲۵۵	۱۹	۱۲	۲۸	۴۰	.	۰.۱	H8	۱۹۵	۸	۰.۵	۱۱۲	۱۸۳	.	۰.۸
H6	۲۶۵	۱۸	۱۵	۲۹	۴۴	.	۰.۱	H8	۲۰۵	۱۹	۲	۳۴	۹۲	.	۰.۵
H6	۲۷۵	۲۱	۵	۱۲	۸	.	۰.۱	H8	۲۱۵	۱۰۲	۲	۱۰	۵۷	.	۲.۸
H6	۲۸۵	۲۳	۵	۱۲	۹	.	۰.۱	H8	۲۲۵	۵۷	۰.۵	۱۵	۶۰	.	۱.۸
H6	۲۹۵	۱۴	۱	۱۶	۱۱۷	.	۰.۱	H8	۲۳۵	۵۱	۱	۱۸	۶۲	.	۱.۲
H6	۳۰۵	۱۵	۲	۱۷	۱۳۰	.	۰.۱	H8	۲۴۵	۴۵	۱	۱۵	۶۱	.	۱.۳
H6	۳۱۵	۵۶	۳	۷۱	۶۲	.	۰.۱	H8	۲۵۵	۱۶	۲	۴۶	۲۰۴	.	۰.۵
H6	۳۲۵	۶۲	۵	۷۵	۶۴	.	۰.۱	H8	۲۶۵	۷۹	۱	۱۴	۶۱	.	۱.۴
H6	۳۳۵	۴۶	۱	۶۵	۱۷۲	.	۰.۱	H8	۲۷۵	۷۹	۱	۱۴	۶۲	.	۱.۱
H6	۳۴۵	۴۲	۱	۶۷	۱۶۹	.	۰.۱	H8	۲۸۵	۱۱۱	۳	۱۴	۶۰	.	۳.۳
H7	۵	۴۹	۲	۱۸۰	۵۵	.	۰.۲	H8	۲۹۵	۱۱۲	۴	۱۵	۶۰	.	۳.۲
H7	۱۵	۱۲۵	۵	۶۶۰	۲۹	.	۰.۴	H8	۳۰۵	۵۶	۰.۵	۷۱	۲۳۱	.	۰.۳
H7	۲۵	۱۵۸	۲	۱۲۲	۴۸	.	۰.۲	H8	۳۱۵	۵۶	۰.۵	۵۶	۲۷۷	.	۰.۱
H7	۳۵	۶۲	۲	۹۹	۱۲۲	.	۰.۸	H11	۵	۶۰	۲	۱۵	۶۹	.	۲.۱
H7	۴۵	۶۲	۱	۱۰۶	۶۵۲	۰.۲۹	۰.۲	H11	۱۵	۶۰	۱	۴	۵۵	.	۰.۱
H7	۴۷	۳۹	۲	۲۸۷	۱۰۲	۰.۸۱	۰.۴	H11	۲۵	۳۰	۶	۱۳	۴۸	.	۰.۱
H7	۴۹	۱۴۰	۴	۱۶۵۵	۱۲۱	۰.۳۴	۲	H11	۳۵	۴۰	۲	۱۵	۱۱۰	.	۰.۲
H7	۵۵	۶۱	۱	۸۵	۸۳	.	۱.۱	H11	۴۵	۵۰	۲	۱۷۰	۹۴۳	.	۰.۵
H7	۶۵	۷۴	۲	۴۴۳	۱۴۶	۰.۳۱	۰.۴	H11	۵۵	۵۰	۲	۲۵۴	۱۲۶۰	.	۰.۶
H7	۷۵	۸۱	۲	۳۰	۲۰۱	.	۰.۳	H11	۶۵	۳۰	۲	۱۱۵۰	۵۶۵	.	۱.۴
H7	۸۵	۷۷	۱	۱۱	۲۴۱	.	۰.۱	H11	۷۵	۲۰	۷	۱۴	۵۸	.	۰.۱
H7	۹۵	۳۹	۱	۱۰۵	۲۷۸	.	۰.۳	H11	۸۵	۲۰	۵	۹	۷۷	.	۰.۱
H7	۱۰۵	۷۱	۱	۹	۱۱۷	.	۰.۱	H11	۹۵	۴۰	۳	۱۰۴	۷۸۸	.	۰.۲
H7	۱۱۵	۶۸	۲	۴۸	۳۹۵	.	۰.۱	H11	۱۰۵	۸۰	۲	۱۹	۸۲	.	۰.۳
H7	۱۲۵	۷۷	۱	۲۰	۲۰۹	.	۰.۱	H11	۱۱۵	۷۰	۱	۶	۶۵	.	۰.۲
H7	۱۳۵	۷۴	۱	۲۲	۹۸	.	۰.۱	H11	۱۲۵	۳۰	۳	۴	۴۷	.	۰.۱
H7	۱۴۵	۵۶	۱	۳۳	۲۱۹	.	۰.۱	H11	۱۳۵	۵۰	۳	۱۱	۵۴	.	۰.۱
H7	۱۵۵	۲۸	۲	۱۲۵	۱۴۳	۰.۰۳	۰.۴	H11	۱۴۵	۶۰	۳	۳	۸۱	.	۰.۳
H7	۱۵۷	۱۲	۱۱	۴۵۴	۱۰۲۰	۰.۰۵	۰.۲	H11	۱۵۵	۱۱۰	۱	۱۵	۱۱۰	.	۰.۲
H7	۱۵۹	۱۱	۹	۳۹۴	۹۸۸	۰.۰۴	۰.۱	H11	۱۶۵	۳۰	۲	۳۰	۱۱۴	.	۰.۳
H7	۱۶۵	۲۲	۸	۲۹	۸۰	.	۰.۱	H11	۱۷۵	۶۰	۲	۷۰	۷۹	.	۰.۲
H7	۱۷۵	۴۹	۲	۲۶	۸۱	.	۰.۱	H11	۱۸۵	۳۰	۲	۲۳	۳۷	.	۰.۲
H7	۱۸۵	۳۰	۱	۳۰	۱۹۱	.	۰.۱	H11	۱۹۵	۴۰	۱	۱۶	۴۷	.	۰.۲
H7	۱۹۵	۶۶	۱	۷	۷۶	.	۰.۱	H11	۲۰۵	۳۰	۱	۲۶	۵۲	.	۰.۱
H7	۲۰۷	۵۹	۲	۲۰	۱۱۷	.	۰.۱	H11	۲۱۵	۵۰	۲	۲۷	۱۱۶	.	۰.۲
H7	۲۱۵	۵۷	۳	۱۵	۶۰	.	۰.۱	H11	۲۲۵	۵۰	۲	۲۹	۱۵۱	.	۰.۱
H7	۲۲۵	۴۴	۴	۱۱۸	۲۶۸	.	۰.۲	H11	۲۳۵	۴۰	۲	۸	۴۳	.	۰.۱
H7	۲۳۵	۱۹	۲	۴۴	۸۵	.	۰.۱								

## سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی میانبارهای سیال

بررسی‌های سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی بر میانبارهای سیال رگه‌های کوارتز کانه‌دار در نمونه‌های سطحی و گمانه‌های اکتشافی دارای کانه‌زایی سولفیدی صورت گرفت. اندازه میانبارها در نمونه‌ها از کمتر از ۵ میکرومتر تا ۹۰ میکرومتر متغیر است، اما بیشتر آنها اندازه بین ۵ تا ۲۵ میکرومتر دارند. بیشتر میانبارهای کوارتز، در دمای اتاق دو فازی (مایع + بخار) هستند به گونه‌ای که حباب‌های بخار ۳۰ درصد حجم میانبار را اشغال می‌کنند. تعداد کمی از میانبارهای سیال غنی از فاز بخار هستند و برخی نیز تنها از مایع تشکیل شده‌اند. بیشتر میانبارها بدون شکل هندسی مشخص، کم و بیش کروی هستند همزیستی میانبارهای غنی از مایع و غنی از بخار دیده شد و کانی نوزاد در میانبارها دیده نشد. میانبارهای سیال بر اساس معیارهای مرجع [۱۶] از نوع اولیه هستند و اندازه‌گیری‌ها بر میانبارهایی که به صورت جدا از هم وجود دارند، صورت گرفت. براساس نسبت فازهای تشکیل دهنده، سه نوع میانبار سیال شناسایی شده شامل میانبارهای دو فازی غنی از مایع (LV)، دو فازی غنی از گاز (VL) و تک فاز گاز (V) هستند (شکل ۵). بیشتر میانبارها از نوع دو فازی غنی از مایع بوده و اندازه‌گیری‌ها بیشتر بر آنها انجام شد. این نوع میانبارها دارای اندازه

بین ۴ تا ۹۲ میکرون هستند و دمای همگن‌شدگی با تبدیل بخار به مایع از ۱۶۰ تا ۳۰۸ درجه سانتی‌گراد و شوری آنها بین ۰٫۱۷ تا ۵٫۲ متفاوت بوده است. میانبارهای دو فازی غنی از گاز بیشتر در نمونه‌های سطحی دیده شده‌اند و اندازه آنها بین ۷ تا ۱۷ میکرون بوده و دارای شوری بین ۰٫۵ تا ۱٫۸ و دمای همگن‌شدگی آنها با تبدیل مایع به بخار در حدود ۱۷۳ تا ۳۲۴ درجه سانتی‌گراد هستند. در هر دو میانبار غنی از مایع و غنی از گاز کانی نوزاد مشاهده نشد. میانبارهای تک فاز گاز کمتر از بقیه میانبارها بوده و اندازه آنها بین ۱۰ تا ۳۱ میکرون است. شوری و دماهای همگن‌شدگی و ذوب یخ برای ۱۰۶ میانبار اندازه‌گیری شد. محل نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. دمای همگن‌شدگی برای نمونه‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب بین ۱۶۰ تا ۳۲۴ و بین ۱۷۶ تا ۳۰۲ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای همگن‌شدگی ۲۲۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین شوری ۱٫۹ با بیشینه ۵٫۱ درصد وزنی معادل NaCl است. دمای ذوب یخ بین ۲٫۲ تا ۳٫۲- تغییر می‌کند (جدول ۳). نمودار ستونی درصد فراوانی شوری، دمای همگن‌شدگی، ذوب‌نهایی یخ، چگالی و اندازه میانبارهای سیال در شکل ۶ آورده شده است.



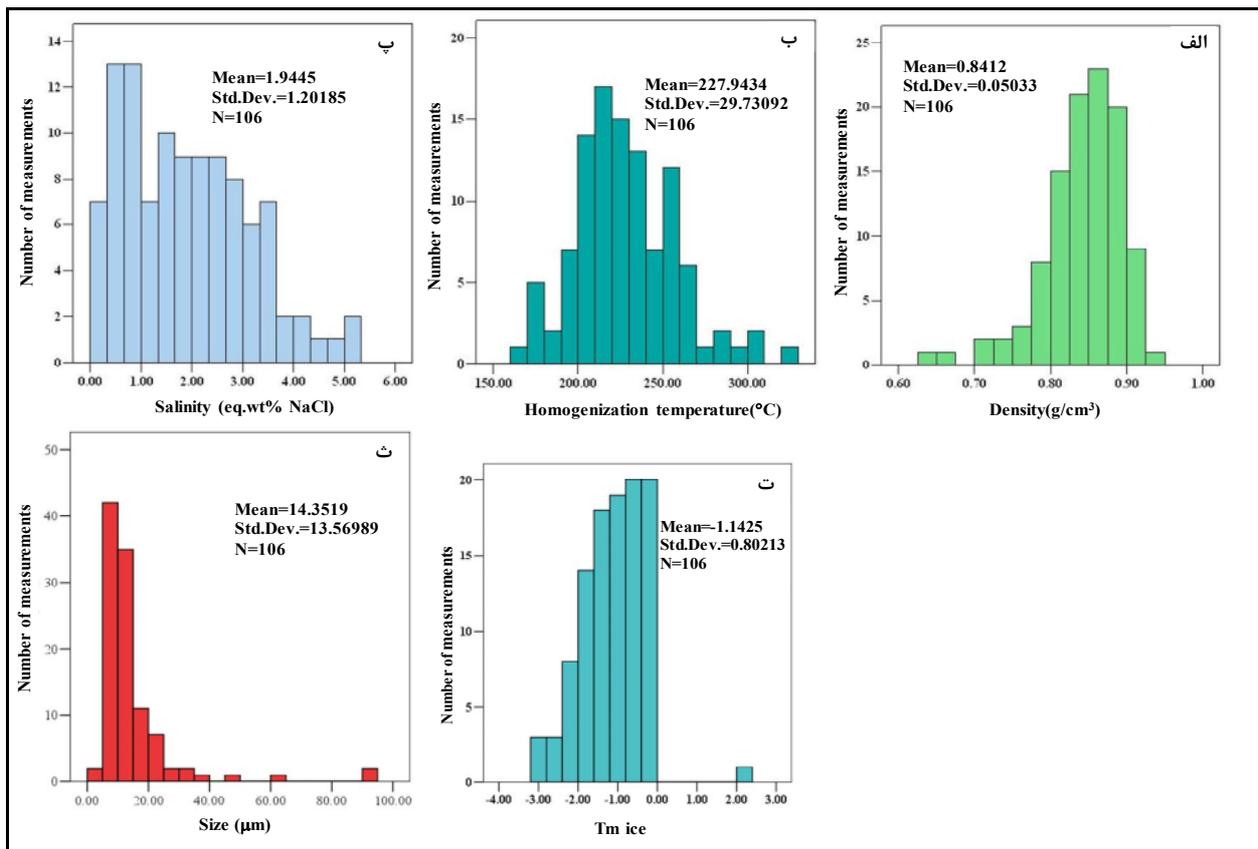
شکل ۵ انواع میانبارها در مزرعه‌شادی الف-ت) میانبارهای اولیه غنی از فاز مایع (ث) همزیستی میانبارهای اولیه غنی از فاز مایع و غنی از گاز (ج) میانبارهای بزرگ اولیه در رگه‌های سیلیسی نمونه‌های سطحی.

جدول ۳ نتایج بررسی میانبراهای سیال در هیزه‌جان- مزرعه‌شادی (نمونه‌های سطحی با R و نمونه‌های برداشتی از گمانه‌های اکتشافی با H و عمق نمونه‌ها با D نشان داده شده است).

Sample	Type	Origin	T <sub>fm</sub> (°C)	T <sub>hm, ice</sub> (°C)	Th (°C)	Salinity Wt. %	Density g/cm <sup>3</sup>	Phase transition	Size (µm)	Shape	Au (ppb)	Zn+Pb (ppm)
R-19	LV	P		-۰.۱	۳۰.۸۲	۰.۱۶۶	۰.۶۷۲	L	۶۱.۱	Elongate	۵۹	۱۱۵۶
R-19	LV	P	-۲۱	-۱.۳	۱۷۸.۹	۲.۱۴۲	۰.۹۰۸	L	۱۳.۹	Irregular		
R-19	VL	P		-۰.۸	۱۷۳.۴	۱.۳۲۲	۰.۹۰۸	V	۷.۳	Irregular		
R-19	VL	P		-۰.۷	۲۸۷.۱	۱.۱۵۸	۰.۷۳۳	V	۱۵	Spherical		
R-19	LV	P		-۰.۵	۲۲۱.۱	۰.۸۲۷	۰.۸۴۴	L	۱۲	Spherical		
R-19	LV	P	-۲۶	-۲.۸	۲۰.۱۹	۴.۵۴۶	۰.۹۰۲	L	۵.۲	Spherical		
R-19	LV	P	-۲۳	-۲.۳	۲۰.۹۵	۳.۷۵۷	۰.۸۸۷	L	۱۶	Elongate		
R-19	VL	P		-۱.۱	۱۷۸.۲	۱.۸۱۶	۰.۹۰۶	V	۶.۱	Elongate		
R-19	LV	P		-۱.۹	۲۰.۴۵	۳.۱۱۷	۰.۸۸۷	L	۷.۴	Spherical		
R-19	LV	P	-۲۲	-۱.۶	۲۵۱.۷	۲.۶۳۲	۰.۸۱۸	L	۱۱.۴	Spherical		
R-19	LV	P	-۲۲	-۲.۱	۲۵۶.۶	۳.۴۳۸	۰.۸۱۹	L	۱۶.۳	Spherical		
R-19	LV	P		-۱.۴	۲۳۱.۲	۲.۳۰۶	۰.۸۴۴	L	۱۱.۳	Spherical		
R-19	LV	P		-۲.۶	۲۶۷.۳	۴.۲۳۲	۰.۸۱	L	۶.۹	Spherical		
R-19	LV	P		-۲	۲۱۰.۴	۳.۲۷۸	۰.۸۸۱	L	۹.۷	Elongate		
R-19	LV	P	-۲۳	-۱.۸	۱۹۰.۵	۲.۹۵۹	۰.۹	L	۱۱.۱	Elongate		
R-19	VL	P	-۲۲	-۰.۹	۲۷۰	۱.۴۸۷	۰.۷۷۱	V	۱۲.۱	Spherical		
R-19	VL	P	-۲۲	-۰.۴	۲۹۸.۳	۰.۶۶۲	۰.۷۰۲	V	۳۱.۲	Elongate		
R-19	VL	P		-۰.۱	۲۵۵.۹	۰.۱۶۶	۰.۷۸۲	V	۱۰.۶	Spherical		
R-19	VL	P		-۰.۳	۲۵۹.۹	۰.۴۹۷	۰.۷۷۹	V	۱۷.۲	Spherical		
R-19	VL	P		-۰.۶	۳۲۴.۱	۰.۹۹۳	۰.۶۴۷	V	۱۶.۳	Elongate		
R-19	LV	P	-۲۴	-۲.۱	۱۸۹.۲	۳.۴۳۸	۰.۹۰۵	L	۳۰.۸	Spherical		
R-17	LV	P	-۲۱	-۰.۶	۲۱۶.۱	۰.۹۹۳	۰.۸۵۳	L	۹۰.۱	Elongate		
R-17	LV	P	-۲۰	-۰.۳	۲۱۱.۸	۰.۴۹۷	۰.۸۵۵	L	۹۲.۸	Elongate		
R-17	LV	P		-۱.۱	۲۰۰.۳	۱.۸۱۶	۰.۸۸۱	L	۱۰.۹	Irregular		
R-17	LV	P		-۱.۶	۲۰۲.۵	۲.۶۳۲	۰.۸۸۶	L	۱۵.۲	Spherical		
R-17	LV	P		-۰.۸	۱۹۲.۶	۱.۳۲۲	۰.۸۸۶	L	۹.۸	Spherical		
R-17	LV	P	-۲۳	-۲.۱	۲۳۸.۶	۳.۴۳۸	۰.۸۴۶	L	۴.۵	Oval		
R-17	LV	P	-۲۵	-۱.۸	۲۳۹.۷	۲.۹۵۶	۰.۸۴۰	L	۱۵.۵	Spherical		
R-17	LV	P	-۲۱	-۱.۵	۲۰۸.۸	۲.۴۶۹	۰.۸۷۷	L	۱۳.۵	Irregular		
R-17	LV	P		-۱.۳	۱۶۰.۵	۲.۱۴۲	۰.۹۲۷	L	۲۱.۷	Elongate		
R-17	LV	P		-۱.۹	۲۰۹.۸	۳.۱۱۷	۰.۸۸۱	L	۱۱.۷	Elongate		
R-17	LV	P	-۲۴	-۲.۱	۲۱۴.۳	۳.۴۳۸	۰.۸۷۸	L	۴.۳	Spherical		
R-17	LV	P	-۲۲	-۱.۵	۲۵۵.۶	۲.۴۶۹	۰.۸۰۹	L	۲۷.۹	Irregular		
R-17	LV	P		-۱.۲	۱۹۳.۹	۱.۹۷۶	۰.۸۹	L	۸.۸	Irregular		
R-17	LV	P	-۲۲	-۱.۹	۲۰.۶۶	۳.۱۱۷	۰.۸۸۵	L	۲۰.۲	Elongate		
R-17	LV	P	-۲۳	-۲.۳	۲۴۱.۴	۳.۷۵۷	۰.۸۴۵	L	۲۰	Elongate		
R-17	LV	P	-۲۱	-۲	۲۵۲.۳	۳.۲۷۸	۰.۸۲۳	L	۱۲.۱	Spherical		
R-17	LV	P		-۱.۶	۱۷۶.۲	۲.۶۳۲	۰.۹۱۳	L	۹.۶	Spherical		
R-17	LV	P		-۰.۹	۲۴۸.۱	۱.۴۸۷	۰.۸۰۹	L	۱۳	Spherical		
R-17	LV	P	-۲۲	-۰.۵	۲۳۲.۷	۰.۸۲۷	۰.۸۲۸	L	۹.۲	Spherical		
R-17	LV	P		-۰.۳	۲۲۸.۱	۰.۴۹۷	۰.۸۳	L	۱۱.۹	Spherical		
R-17	LV	P	-۲۱	-۰.۹	۲۶۹.۵	۱.۴۸۷	۰.۷۷۳	L	۱۳.۹	Irregular		
H7-D66	LV	P	-۲۲	-۱.۸	۲۰.۹۱	۲.۹۵۶	۰.۸۸	L	۱۶.۵	Irregular	۸۱۳	۳۸۹
H7-D66	LV	P	-۲۱	-۱.۳	۲۱۰.۶	۲.۱۴۲	۰.۸۷۱	L	۲۰	Elongate		
H7-D66	LV	P		-۰.۴	۲۲۵.۴	۰.۶۶۲	۰.۸۳۷	L	۱۳.۱	Spherical		
H7-D66	LV	P		-۰.۱	۲۲۱.۲	۰.۱۶۶	۰.۸۳۸	L	۱۰.۶	NC		
H7-D66	LV	P	-۲۲	-۱	۳۰۲.۳	۱.۶۵۱	۰.۷۰۹	L	۱۰.۳	Oval		
H7-D66	LV	P		-۰.۹	۲۳۶.۸	۱.۴۸۷	۰.۸۲۹	L	۷.۵	Elongate		
H7-D66	LV	P	-۱۹	-۰.۵	۲۲۹.۷	۰.۸۲۷	۰.۸۳۲	L	۱۸.۵	Irregular		
H7-D66	LV	P	-۲۱	-۰.۷	۲۲۶.۶	۱.۱۵۸	۰.۸۴	L	۱۲.۲	Spherical		
H7-D66	LV	P	-۲۴	-۲.۱	۱۸۹.۹	۳.۴۳۸	۰.۹۰۵	L	۱۰	Elongate		
H7-D66	LV	P		-۱.۱	۲۲۰.۱	۱.۸۱۶	۰.۸۵۵	L	۸.۸	Elongate		
H7-D66	LV	P		-۱.۷	۲۳۱.۶	۲.۷۹۴	۰.۸۴۹	L	۱۰.۶	NC		

ادامه جدول ۳ نتایج بررسی میانبارهای سیال در هیزه جان- مزرعه شادی

Sample	Type	Origin	T <sub>fm</sub> (°C)	T <sub>lm, ice</sub> (°C)	T <sub>h</sub> (°C)	Salinity Wt. %	Density g/cm <sup>3</sup>	Phase transition	Size (µm)	Shape	Au (ppb)	Zn+Pb (ppm)		
H7-D66	LV	P	-۲۶	-۳,۱	۲۴۳,۳	۵,۰۱۲	۰,۸۵۵	L	۲۱,۸	Elongate	۸۱۳	۳۸۹		
H7-D66	LV	P	-۲۱	-۱,۶	۲۱۲,۵	۲,۶۳۲	۰,۸۷۳	L	۱۰,۷	Oval				
H7-D66	LV	P	-۲۹	-۳,۲	۲۲۲,۶	۵,۱۶۶	۰,۸۸۳	L	۱۲	Spherical				
H7-D66	LV	P		-۲,۹	۲۱۵,۱	۴,۷۰۲	۰,۸۸۸	L	۱۳,۵	Elongate				
H7-D66	LV	P		-۱,۸	۲۲۰,۶	۲,۹۵۶	۰,۸۶۶	L	۸,۲	Spherical				
H7-D66	LV	P	-۲۷	-۲,۵	۲۶۵	۴,۰۷۴	۰,۸۱۲	L	۱۵,۸	Spherical				
H7-D66	LV	P		-۱,۱	۲۳۳,۱	۱,۸۱۶	۰,۸۳۷	L	۷,۱	Spherical				
H7-D66	LV	P	-۲۴	-۱,۲	۲۰۱,۹	۱,۹۷۹	۰,۸۸۱	L	۱۰,۶	Elongate				
H7-D61	LV	P		-۱,۴	۲۳۳,۹	۲,۳۰۶	۰,۸۴۲	L	۸,۵	Spherical	۳۱۴	۵۸۹		
H7-D61	LV	P		-۰,۵	۲۵۲,۷	۰,۸۲۷	۰,۷۹۵	L	۷,۱	Spherical				
H7-D61	LV	P		-۱,۹	۲۲۴,۵	۳,۱۱۷	۰,۸۶۲	L	۹,۷	Oval				
H7-D61	LV	P	-۲۱	-۰,۲	۲۴۴,۸	۰,۳۳۱	۰,۸۰۳	L	۱۳,۳	Elongate				
H7-D61	LV	P		-۰,۷	۲۱۰,۴	۱,۱۵۸	۰,۸۶۳	L	۶,۲	Rectangular				
H7-D61	LV	P		-۱	۲۱۸,۱	۱,۶۵۱	۰,۸۵۶	L	۵,۸	Spherical				
H7-D61	LV	P	-۲۰	-۰,۲	۲۳۴,۲	۰,۳۳۱	۰,۸۱۹	L	۸,۶	Elongate				
H7-D61	LV	P	-۲۱	-۰,۴	۱۹۶,۱	۰,۶۶۲	۰,۸۷۷	L	۱۲,۷	Elongate				
H7-D61	LV	P		-۰,۴	۲۱۳,۳	۰,۶۶۲	۰,۸۵۴	L	۶,۴	Irregular				
H7-D61	LV	P		-۱,۷	۱۷۶,۷	۲,۷۹۴	۰,۹۱۵	L	۱۱,۲	Irregular				
H7-D61	LV	P	-۲۴	۲,۲	۲۱۶	۳,۵۹۸	۰,۸۷۷	L	۱۴,۵	Spherical				
H7-D61	LV	P		-۱,۴	۲۲۱,۳	۲,۳۰۶	۰,۸۵۸	L	۶,۶	Elongate				
H7-D61	LV	P	-۱۹	-۱,۳	۲۰۶,۲	۲,۱۴۳	۰,۸۵۷	L	۶,۱	Oval				
H7-D61	LV	P		-۰,۴	۲۱۹,۳	۰,۶۶۲	۰,۸۴۵	L	۶,۶	Irregular				
H7-D61	LV	P		-۰,۹	۲۰۲,۷	۱,۴۸۷	۰,۸۷۶	L	۹,۷	Spherical				
H7-D61	LV	P		-۱,۵	۲۵۰,۹	۲,۴۶۹	۰,۸۱۷	L	۶,۱	Spherical				
H7-D61	LV	P	-۲۰	-۰,۹	۲۱۹,۱	۱,۴۸۷	۰,۸۵۳	L	۱۲,۱	Irregular				
H7-D61	LV	P		-۲,۲	۲۳۰,۴	۳,۵۹۸	۰,۸۵۹	L	۶,۶	Irregular				
H7-D61	LV	P		-۱,۳	۲۱۸,۵	۲,۱۴۳	۰,۸۶۱	L	۶,۴	Irregular				
H7-D155	LV	P	-۲۵	-۱,۷	۲۳۳,۷	۲,۷۹۴	۰,۸۴۷	L	۱۰,۸	Irregular	۵۲	۱۴۷۴		
H7-D155	LV	P	-۱۹	-۰,۵	۲۱۹,۳	۰,۸۲۷	۰,۸۴۷	L	۸	Oval				
H7-D155	LV	P		-۱,۵	۲۲۵,۵	۲,۴۶۹	۰,۸۵۵	L	۷,۸	Oval				
H7-D155	LV	P		-۰,۶	۲۵۹,۵	۰,۹۹۳	۰,۷۸۵	L	۸,۵	Spherical				
H7-D155	LV	P		-۰,۵	۲۴۰,۲	۰,۸۲۷	۰,۸۱۵	L	۷,۴	Spherical				
H7-D155	LV	P	-۲۱	-۰,۳	۲۵۷,۵	۰,۴۹۷	۰,۷۸۲	L	۵,۵	Spherical				
H7-D155	LV	P		-۰,۴	۲۸۰,۷	۰,۶۶۲	۰,۷۴	L	۷,۹	Oval				
H7-D155	LV	P	-۲۲	-۰,۵	۲۴۱,۶	۰,۸۲۷	۰,۸۱۳	L	۴,۹	Elongate				
H7-D155	LV	P		-۰,۹	۲۶۰,۳	۱,۴۸۷	۰,۷۸۹	L	۸,۷	Spherical				
H7-D155	LV	P	-۲۲	-۱,۲	۲۱۸,۸	۱,۹۷۹	۰,۸۵۹	L	۸,۸	Elongate				
H8-D65	LV	P		-۰,۶	۲۲۹,۳	۰,۹۹۳	۰,۸۳۴	L	۱۴,۲	Spherical			۷۰	۳۶۸
H8-D65	LV	P		-۰,۸	۲۶۱,۶	۱,۳۲۲	۰,۷۸۵	L	۶,۶	Irregular				
H8-D65	LV	P		-۱,۱	۲۴۹,۱	۱,۸۱۶	۰,۸۱۲	L	۵,۳	Spherical				
H8-D65	LV	P		-۰,۵	۱۹۵,۵	۰,۸۲۷	۰,۸۷۹	L	۲۹,۱	Spherical				
H8-D65	LV	P		-۰,۴	۲۶۷,۹	۰,۶۶۲	۰,۷۶۶	L	۳,۷	Oval				
H8-D65	LV	P		-۰,۱	۲۰۸,۱	۰,۱۶۶	۰,۸۵۶	L	۱۲,۸	Elongate				
H8-D65	LV	P		-۰,۴	۲۵۱,۶	۰,۶۶۲	۰,۷۹۵	L	۱۳,۸	Spherical				
H8-D65	LV	P		-۰,۳	۲۳۲,۴	۰,۴۹۷	۰,۸۲۴	L	۷,۹	Oval				
H8-D65	LV	P		-۰,۵	۲۰۵,۴	۰,۸۲۷	۰,۸۶۶	L	۱۰,۸	Elongate				
H8-D65	LV	P		-۰,۹	۲۲۰,۵	۱,۴۸۷	۰,۸۵۲	L	۱۶,۴	Elongate				
H8-D65	LV	P		-۱,۴	۲۵۲,۲	۲,۳۰۶	۰,۸۱۲	L	۶,۹	Irregular				
H8-D65	LV	P		-۱,۷	۲۱۷,۷	۲,۷۹۴	۰,۸۶۸	L	۸,۲	Elongate				
H8-D65	LV	P		-۰,۷	۱۹۳,۸	۱,۱۵۸	۰,۸۸۴	L	۸,۷	Elongate				
H8-D65	LV	P		-۰,۲	۱۹۹,۶	۰,۳۳۱	۰,۸۷	L	۱۱,۲	Elongate				
H8-D65	LV	P		-۱,۵	۲۳۹,۴	۲,۴۶۹	۰,۸۳۴	L	۲۴,۸	Spherical				
AVRAGE			-۲۲	-۱,۱	۲۲۷,۹	۱,۹۴	۰,۸۴		۱۴,۴					
MAX			-۱۹	۲,۲	۳۲۴,۱	۵,۱۷	۰,۹۳		۹۲,۸					
MIN			-۲۹	-۳,۲	۱۶۰,۵	۰,۱۷	۰,۶۵		۴,۳					



شکل ۶ نمودار ستونی الف) درصد فراوانی چگالی ب) دمای همگن شدگی پ) شوری ت) ذوب نهایی یخ و ث) اندازه میانبراهای سیال در مزرعه شادی

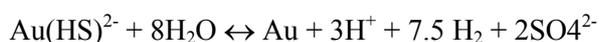
### بحث و بررسی

داده‌های دماسنجی میکروسکوپیکی (ریزدماسنجی) نشان‌دهنده وجود سیالی با شوری پایین (۰/۱۷ تا ۵/۱۷ درصد وزنی معادل NaCl) است. کانی‌شناسی کانسنگ و محتوای فلزی این امر تأییدکننده آن بوده و چنین سیالی شاخص بیشتر کانسارهای فراگرمایی فلزات گرانبه‌است [۱۸، ۱۷]. پیریت کانی فلزی غالب و طلا ماده معدنی اصلی در محدوده طلای مزرعه شادی بوده و فلزات پایه کمیاب هستند. ویژگی تک فلزی - تک کانیایی کانسنگ نشان‌دهنده غلظت کمتر گوگرد کاهیده در محلول کانه‌زا یا کمتر بودن مقدار آن از مقدار کل فلز بوده است [۱۹]. در بیشتر ذخایر فراگرمایی، پیریت یا اکسید آهن حضور دارد و آدولاریا به عنوان باطله دیده می‌شود [۲]. آهن موجود در آب-های جوی فرورو و آمیختگی آنها با محلول‌های گرمایی باعث رسوب پیریت شده است و رسوب پیریت به علت جدا کردن لیگاند سولفور که حمل‌کننده طلا بوده است باعث ته‌نشست طلا طبق معادله زیر می‌شود [۲۰]:

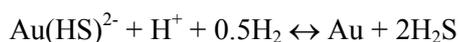
$$\text{Fe}^{2+} + 2\text{Au}(\text{HS})^{2-} = 2\text{Au}(\text{s}) + \text{FeS}_2(\text{s}) + 2\text{H}^+ + 2\text{HS}^-$$

بیشتر محلول‌های گرمایی اشباع از طلا نیستند و با تغییرات فیزیکی محیطی و شیمیایی از طلا اشباع می‌شوند. جوشش، رسوب پیریت، تغییر کوارتز به سیلیکای بی‌شکل و تغییر pH و فعالیت سولفور همگی به رسوب طلا منجر می‌شوند. سازوکار حمل نقره به خوبی شناخته شده نیست، با این حال اگر به صورت کمپلکس بی‌سولفیدی حمل شود جوشش باعث رسوب آن خواهد شد، ولی اگر به صورت کلریدی حمل شده باشد جوشش تأثیر چندانی در رسوب آن نخواهد داشت. آزمایش‌ها نشان داده است که حل شدن نقره در محلول‌های کلریددار در دمای ۳۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد که بالاتر از سیستم‌های فراگرمایی است با افزایش pH کاهش می‌یابد و این نشان‌دهنده تغییر از حمل با کمپلکس‌های کلریدی در محلول‌های اسیدی به حمل با کمپلکس‌های سولفور در محلول‌های بازی و خنثی است پس اگر نقره با کمپلکس‌های سولفوری حمل شده باشد، تغییر در خواص محلول‌های گرمایی، مانند pH یا جوشش

در کوارتز و همجنین در پیریت، در نتیجه فرایندهای جوشش، واکنش سیال با سنگ و آمیختگی سیالها صورت گرفته است. آمیختگی آب جوی اکسیدی با سیال کانه‌دار نیز در تنه‌نشست طلا طبق معادله زیر موثر بوده است:



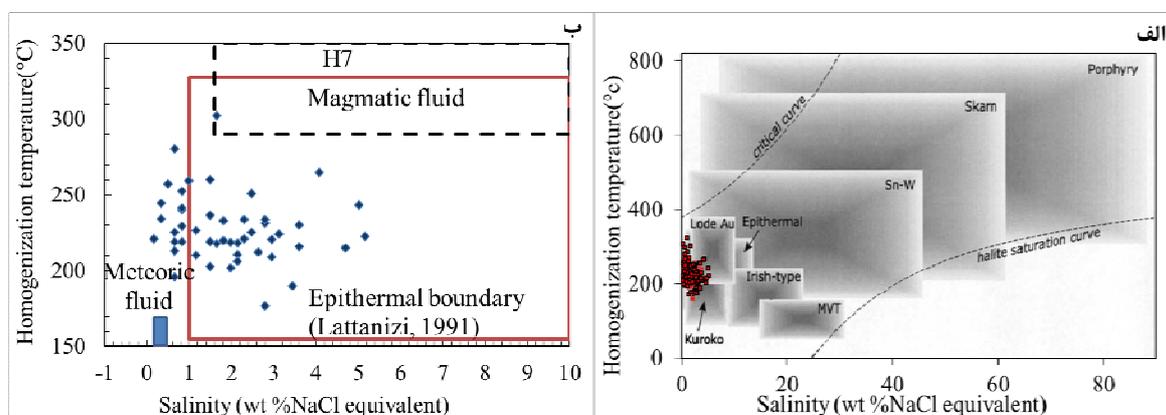
تاثیر خروج  $\text{CO}_2$  در کاهش pH بیشتر از خروج  $\text{H}_2\text{S}$  است [۲۷]. هنگامی که سیال می‌جوشد،  $\text{CO}_2$  و  $\text{SO}_2$  به فاز بخار وارد شده و مایع باقیمانده مازاد  $\text{H}^+$  را حمل کرده و شرایط اسیدی ایجاد می‌شود [۲۸]. روند دمای همگن‌شدگی - شوری، با ترکیبی از فرایندهای جوشش یک سیال غنی از گاز و نیز آمیختگی (رقیق شدن) یک سیال شورتر و داغ‌تر با سیالی با شوری و دمای پایین‌تر همخوانی دارد. رقیق‌کننده‌های سیال شامل آب زیرزمینی سرد و یا آب‌های گرم شده با بخار است که در محیط‌های فراگرمایی معمول هستند (شکل ۸). این فرایند سبب فوق اشباع شدن سیلیس و نهشت آن به صورت بی‌شکل و بلورین و دگرسانی رسی و کربناتی می‌شود. وارد شدن  $\text{CO}_2$  به فاز بخار هنگام جوشش، تراکم و جذب آن به درون سیال جوی سرد در سطوح بالاتر و نیز در حاشیه رگه‌ها سبب تشکیل آب‌های داغ شده غنی از  $\text{CO}_2$  و واکنش آن با سنگ‌های درونگیر و سبب دگرسانی‌های کربناتی و رسی گشته است. جوشش سیال باعث کاهش  $\text{H}_2\text{S}$  در فاز بخار و منجر به ناپایداری کمپلکس  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  و تنه‌نشست طلا طبق معادله زیر می‌شود:



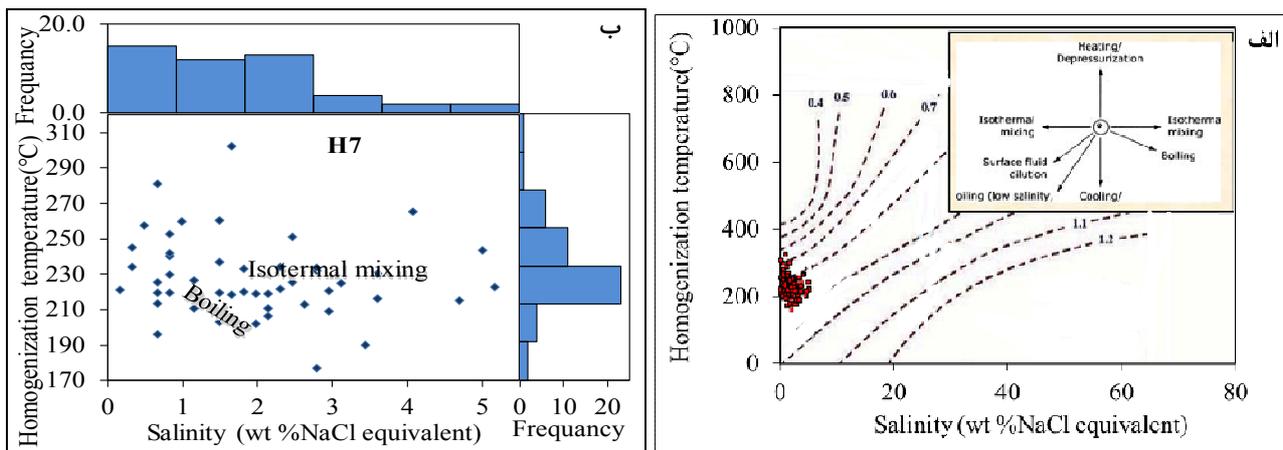
منجر به ته‌نشینی نقره خواهد شد [۲۱]. با توجه به شکل‌های ۷ الف- ب، میانبرهای سیال مزرعه شادی در محدوده فراگرمایی و در بین سیالات ماگمایی و جوی قرار می‌گیرند. مقدار پایین فلز، با شوری پایین سیال گرمایی سازگار است، چرا که برای انتقال مقادیر بالایی از فلزهای پایه، به مقدار زیادی کلرید برای تشکیل کمپلکس نیاز است [۱۹]. عامل دیگر در کانی‌زایی آمیختگی محلول‌های گرمایی با آب‌های جوی است و وجود چشمه‌های تقریباً اسیدی در منطقه شادی بر آب‌های جوی تقریباً اسیدی است که در تماس با محلول‌های فراگرمایی باعث کاهش غلظت گونه‌های سولفیدی و کاهش pH محلول‌ها شده‌اند. عامل اکسایش نیز با توجه به کاهش غلظت گونه‌های سولفیدی حل شده در محلول و نیز کاهش pH نقش مشابهی در رسوب مس و عناصر طلا و نقره طبق معادله زیر داشته است:



با توجه به وجود کوارتزهای حفره‌ای و دگرسانی رسی در اطراف رگه‌ها می‌توان گفت که عوامل ته‌نشینی کانی‌ها شامل آنهایی هستند که در کاهش pH نقش داشته‌اند، چرا که کاهش pH از یک طرف باعث کاهش حلالیت سیلیس و از طرف دیگر باعث ایجاد دگرسانی رسی شده است. وجود کوارتز حفره‌ای نشان‌دهنده اسیدپتیه بالای سیال گرمایی است [۲۶]. شوری کم سیال، و کانی‌شناسی کانسنگ و دگرسانی پیشنهاد می‌کند که کمپلکس  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  مسؤؤل انتقال طلا در رگه‌های طلا‌دار مزرعه شادی بوده است. نهشت طلا به صورت ذرات طلای آزاد



شکل ۷ الف) موقعیت نمونه‌های مزرعه‌شادی در نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی [۲۲] ب) نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی در گمانه H7 بر اساس نتایج مراجع [۲۳-۲۵].



شکل ۸ الف) نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی در [۲۹] ب) نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی در گمانه H<sub>7</sub> [۲۲].

کانی‌های دگرسانی تشکیل شده با این نوع سیال فقیر از طلا هستند و در رگه‌های سیلیسی نیز این روند به صورت کاهش نزولی مقدار طلا از رگه‌ها به سمت حاشیه دگرسانی رسی مشخص است. عواملی که باعث تنه‌نشست کمپلکس‌های فلزی-سولفیدی می‌شوند متفاوت از تنه‌نشست فلزات از کمپلکس‌های کلریدی بوده و در مورد روی آمیختگی سیال یا رقیق شدن و کاهش دما باعث افزایش تنه‌نشست فلز شده است. این عمل همان اکسایش سیال کانه‌دار است که اثر ویژه‌ای در کاهش حلالیت کمپلکس‌های فلز-سولفید دارد. اکسایش (یا از دست دادن الکترون) موجب کاهش pH و همچنین تمرکز کلی سولفید می‌شود و به موجب آن تنه‌نشست فلز طبق معادله زیر تشدید می‌شود:



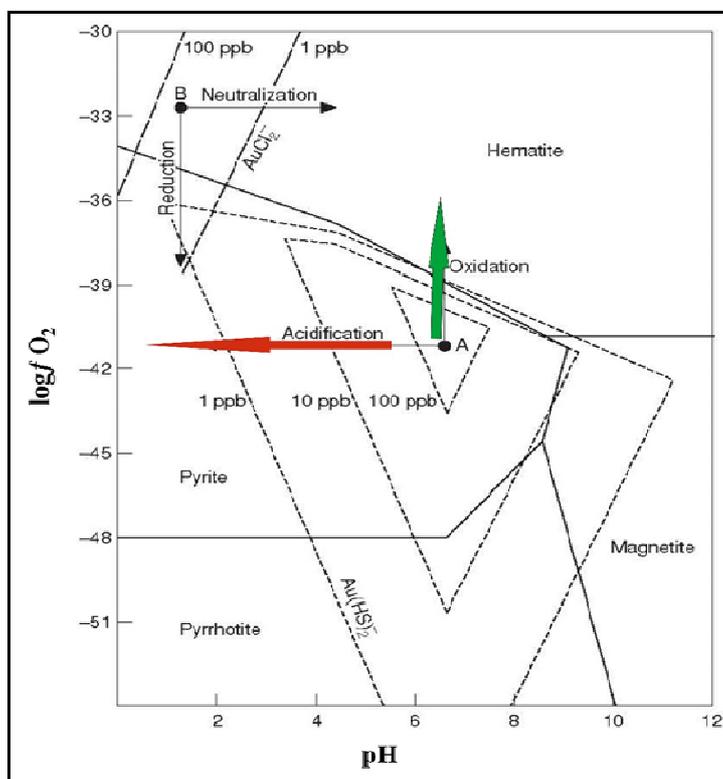
این روند سازگار با کاهش دما در طول زمان و مسیر است. تغییرات شدیدی در دماهای همگن‌شدگی می‌تواند نشان‌دهنده تغییر شرایط گرمایی طی تشکیل رگه و یا به دام افتادن فازهای مایع و بخار با نسبت‌های متفاوت باشد. ارتباط مستقیم بین نهشت طلا و جوشش در بیشتر رگه‌های طلا در محدوده طلای مزرعه‌شادی مشخص است. پس به طور کلی می‌توان روند تکاملی شکل ۹ را برای منطقه در نظر گرفت. رخداد جوشش به وسیله همزیستی فاز غنی از بخار و فاز غنی از مایع در میانبارهای سیال تأیید می‌شود. این شواهد نشان می‌دهند که مقادیر دمای Th اندازه‌گیری شده می‌تواند نشان‌دهنده دمای

تشکیل رگه باشد و در نتیجه نیازی به تصحیح فشار نیست (شکل ۱۰ الف). عمق تشکیل رگه‌های کوارتز نسبت به سطح ایستابی دیرینه به کمک منحنی‌های جوشش [۳۱] و نیز دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال با فرض اینکه جوشش در زمان تشکیل رگه‌ها اتفاق افتاده است تعیین شد. با استفاده از نمودار شکل ۱۰ ب مشخص می‌شود که دو جمعیت متفاوت میانبارهای سیال در منطقه مزرعه شادی وجود دارد. با توجه به شکل ۱۱ الف، تشکیل کوارتز در عمق بین ۳۸۰ تا ۲۳۰ متر زیر سطح ایستابی دیرینه رخ داده است. عمق تشکیل رگه‌های کوارتز در (شکل ۱۱ ب) به تفکیک آورده شده است. البته برآورد دقیق عمق تشکیل رگه‌ها با تعیین غلظت گازهای موجود در میانبارهای سیال ممکن است [۳۲]. این داده‌ها روندی از سیال‌های با شوری پایین و دمای بالاتر، با چیرگی نهشت سرب و روی، به سیال‌های با شوری بالاتر و دمای پایین-تر، با چیرگی نهشت طلا را نشان می‌دهند (شکل ۱۱ الف). روند نمودارهای سه بعدی شوری-دمای همگن‌شدگی مقدار طلا و سرب-روی در میانبارها نشان‌دهنده نهشت سرب-روی از سیالات با شوری پایین‌تر و دمای بیشتر در عمق بیشتر به سمت نهشت طلا از سیالات با شوری بیشتر در دما و عمق کمتر است (شکل‌های ۱۲ الف و ب). در صورت انتقال فلز با کمپلکس‌های فلز - سولفید مجموعه زیر تنه‌نشست با مجموعه تنه‌نشست امونز همخوانی دارند:

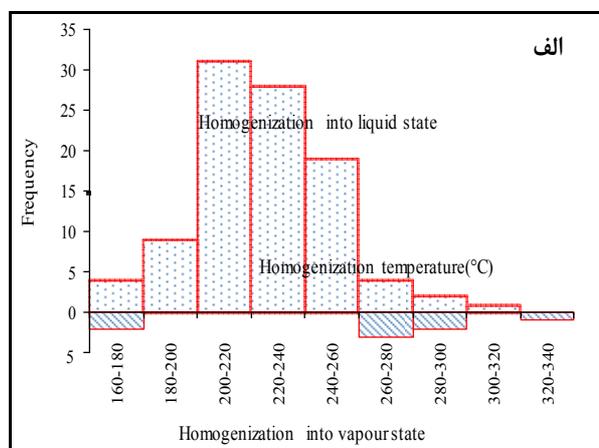
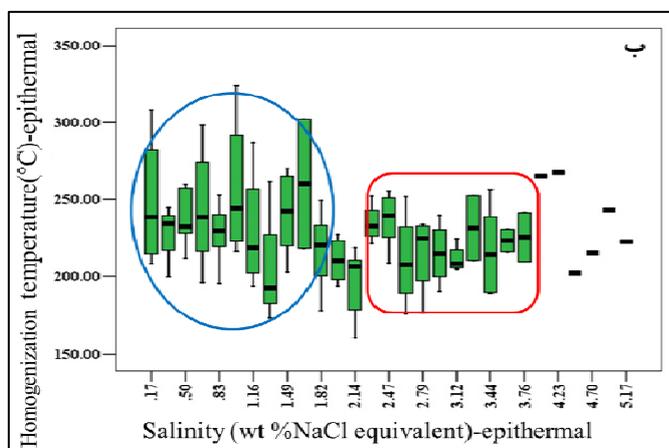
Fe- Ni- Sn- Cu- Pb- Ag- Au- Sb- Hg

شادی، حمل طلا- نقره و فلزات پایه با کمپلکس‌های فلز - سولفید را تایید می‌کنند. مقدار عناصر سرب، روی و طلا در میانبارها در عمق مختلف در جدول ۳ آورده شده است.

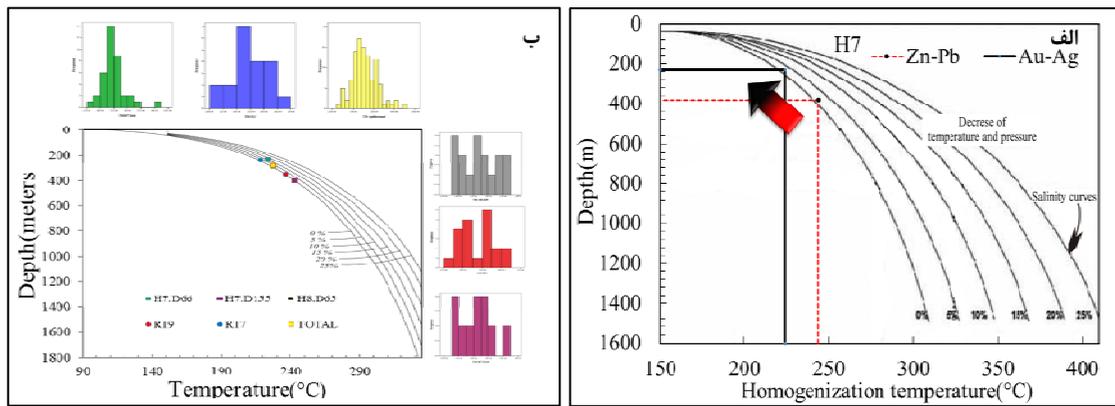
در صورت انتقال فلز با کمپلکس‌های فلز- کلرید، مجموعه بالا کوتاهتر و با دنباله زیر خواهد بود [۳۳]: Cu- Ag- Pb- Zn مشاهدات و دمای تشکیل کانه‌ها و پهنه‌بندی در منطقه مزرعه



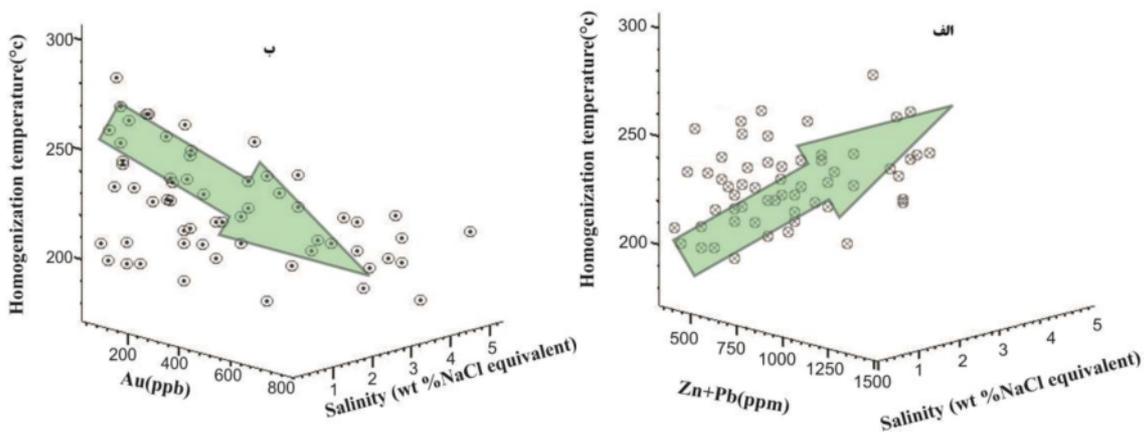
شکل ۹ نمودار  $\text{Log } f\text{O}_2\text{-PH}$  که نشان دهنده پایداری اکسید آهن و کانی‌های سولفیدی در ارتباط با پایداری طلا برای کمپلکس‌های  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  و  $\text{AuCl}_2^-$  در سیال است. اکسایش سیال A (پیکان سبز) و یا اسیدی شدن (پیکان قرمز) آن باعث کاهش پایداری کمپلکس  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  و احتمالاً باعث ته‌نشست طلا می‌شود. برعکس برای کمپلکس  $\text{AuCl}_2^-$  در سیال B، ته‌نشست طلا در پاسخ به افزایش PH یا احیا شدن رخ می‌دهد نمودار فازی و منحنی‌ها برگرفته از مرجع [۳۰] هستند. روند تکامل سیالات کانی‌ساز در مزرعه‌شادی با پیکان‌های سبز و قرمز نشان داده شده‌است.



شکل ۱۰ الف) نمودار ستونی فراوانی دمای همگن‌شدگی به فاز مایع و بخار (ب) : نمودار ستونی فراوانی دمای همگن‌شدگی - شوری همراه با چارک و میانه در کل میانبارهای سیال که نشان‌دهنده دو جمعیت متفاوت در میانبارهای سیال است.



شکل ۱۱ عمق به دام افتادن سیالات درگیر در مزرعه‌شادی الف) در مناطق نهشت سرب-روی و طلا-نقره. (قسمت قرمز پیکان نشان‌دهنده نهشت سرب و روی و قسمت سیاه آن نشان‌دهنده نهشت طلا است) ب) در همه مقاطع به تفکیک در گمانه‌های ۷ و ۸ و در نمونه‌های سطحی [۳۱].



شکل ۱۲ نمودار سه بعدی شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی همراه با مقادیر الف) سرب و روی ب) طلا.

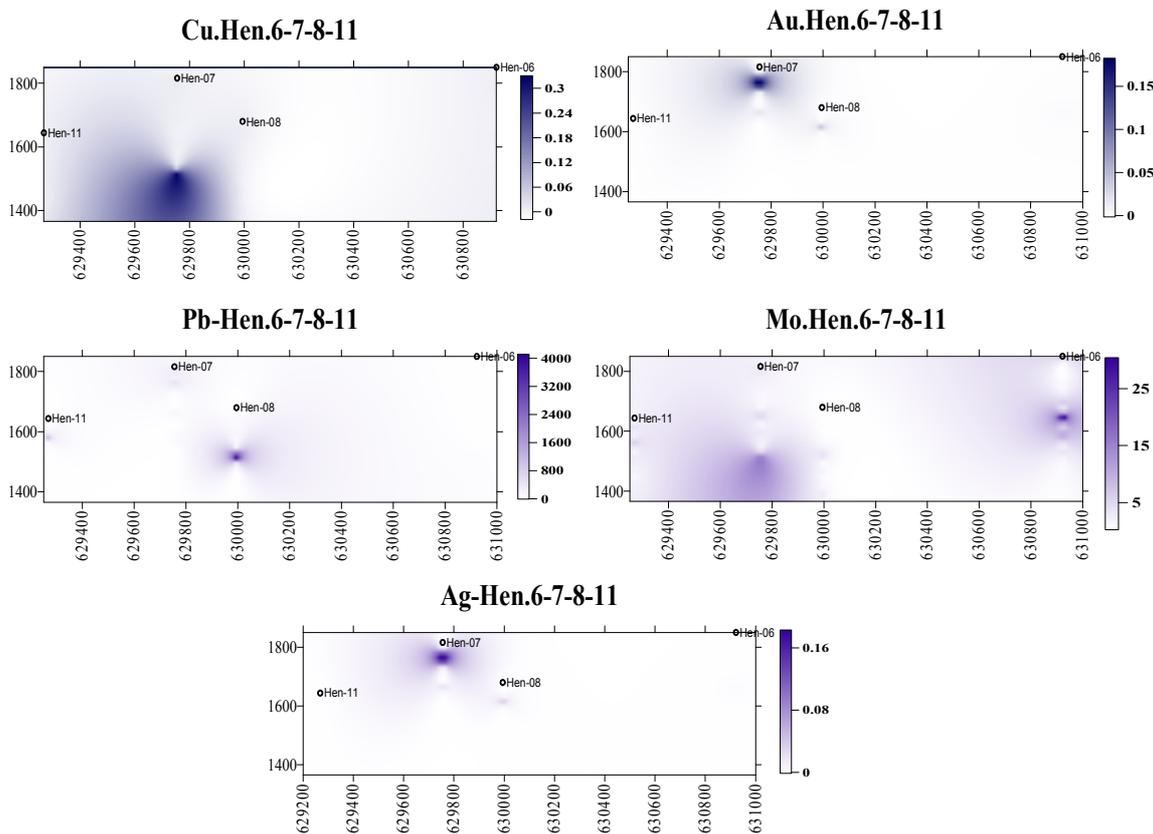
کانسارهای فراگرمایی سولفیدی شدن متوسط نوع فلزهای گرانبه‌است [۳۹،۳۸،۲۸]. برای تعیین فشار از نمودار مرجع [۱۶] استفاده شد و فشار حاکم در طی تشکیل سیالات کمتر از ۱۰۰ بار بدست آمد (شکل ۱۴ الف). به دلیل شوری و دمای همگن‌شدگی کمتر سیالات در مزرعه‌شادی مقدار مس در این کانسار کمتر از مس پورفیری سونگون است (شکل ۱۴ ب).

براساس بررسی‌های کانی‌شناسی و روابط بافتی سه مرحله در دنباله کنارزایی قابل تشخیص است (شکل ۱۵). در مرحله پیش از کانی‌سازی اصلی کوارتز همراه با پیریت (با بافت پرکننده حفره‌ها و درزه‌ها) تشکیل شده است. مقادیر متفاوتی مگنتیت و کوولیت به صورت اولیه در این مرحله تشکیل شده است. در مرحله اصلی کانی‌سازی کوارتز به همراه کانی‌های فلزی شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و طلا تشکیل شده است و مهمترین بافت‌های مشاهده شده در کانی‌ها بافت

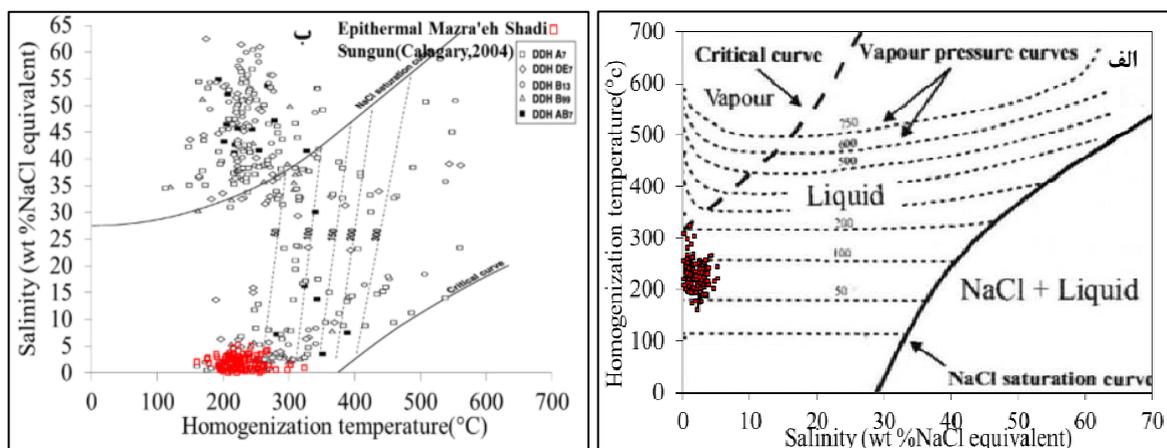
در گمانه‌های ۶-۷-۸-۱۱ کانی‌سازی فراگرمایی فلزات پایه مانند مس، سرب، روی و مولیبدن در عمق‌های پایین‌تر و فلزات گرانبه‌ها در عمق‌های کمتر دیده می‌شوند (شکل ۱۳). محور افقی این نمودارها مشخص‌کننده طول جغرافیایی و محور عمودی کد ارتفاعی گمانه‌ها را نشان می‌دهد این پهنه‌بندی به دلیل جوشش در سیستم‌های فراگرمایی است [۳۵،۳۴]. وجود گستره وسیعی برای عمق تشکیل رگه‌های کوارتز ممکن است بازتاب تغییر شرایط گرمایی در اثر مسدود شدن مجرای عبور سیال و تغییر فشارهای ایستابی به لیتوستاتیک ناشی از آن بوده یا به تغییر در عمق سطح ایستابی دیرینه مربوط باشد [۳۷،۳۶،۳۰،۱۷]. بافت و ساخت رگه‌ها، کانی‌شناسی کانسنگ (فراوانی پیریت و نبود سولفیدهای فلزات پایه)، شوری، دمای همگن‌شدگی پایین سیال گرمایی، مجموعه کانی‌های دگرسانی و سنگ میزبان ماگمایی دیرینه‌زا بیانگر کانه‌زایی از نوع

هماتیت و گوتیت تشکیل شده است و سایر هیدروکسیدهای آهن بر اثر دگرسانی برونزاد پیریت و کالکوپیریت پدید آمده‌اند که این مرحله فاقد کانی‌سازی است.

پرکننده فضای خالی، بافت هم‌رشدی، بافت پراکنده، بافت میانبار و بافت‌های شکل‌دار، نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل است. کانی طلا به صورت پراکنده در کوارتز مشاهده می‌شود. در مرحله پس از کانی‌سازی اصلی کوارتز پیریت در مقادیر کم به همراه



شکل ۱۳ نمایش میزان فراوانی عناصر در گمانه‌های اکتشافی در کانی‌سازی رگه‌ای سیلیسی فراگرمایی



شکل ۱۴ نمودار توزیع شوری نسبت به دمای همگن شدگی الف) توزیع میانبارهای سیال در مزرعه‌شادی [۴۰] ب) مقایسه توزیع فراوانی میانبارهای سیال مزرعه‌شادی با کانسار مس پورفیری سونگون [۴۱] منحنی‌های روی نمودار برگرفته از [۴۲] و خطوط منقطع نشان‌دهنده فشار بخار محلول از برگرفته از مرجع [۱۶] هستند.

شکل ۱۵ دنباله کنارزایی کانی‌ها در کانسار مزرعه‌شادی.

مرحله کانی‌ها	پیش از کانی‌زایی اصلی	کانی‌زایی اصلی	پس از کانی‌زایی اصلی
کوارتز	—————	—————	—————
پیریت	—————	—————	—————
طلا	—————	—————	—————
اسفالریت	—————	—————	—————
کالکوپیریت	—————	—————	—————
گالن	—————	—————	—————
مگنتیت	—————	—————	—————
هماتیت	—————	—————	—————
گوتیت	—————	—————	—————
کوولیت	—————	—————	—————
کلسیت	—————	—————	—————

اصلی    
  فرعی    
  به صورت جزئی

### برداشت

توده نفوذی کالجان مرکز فعالیت ماگمایی میزبان کانی‌سازی در منطقه است و سایر توده‌ها و دایک‌ها در حقیقت شاخه‌هایی منشعب از این توده هستند. مهمترین سیمای کانی‌سازی در منطقه مزرعه شادی- هیزه‌جان، پهنه‌های کانی‌سازی رگه‌ای - رگچه‌ای است که توسط گسل‌ها و پهنه‌های گسلی کنترل شده است. بیهنجاری طلا در رگه‌های سیلیسی طلا دار با سنگ میزبان آندزیت دیده می‌شود. میانبارهای سیال مزرعه‌شادی در محدوده فراگرمایی و در بین سیالات ماگمایی و جوی قرار می‌گیرند. پیریت کانی فلزی غالب و طلا ماده معدنی اصلی در محدوده طلای مزرعه‌شادی بوده و فلزات پایه کمیاب هستند. تشکیل کوارتز در عمق بین ۳۸۰ تا ۲۳۰ متر زیر سطح ایستایی دیرینه رخ داده است. روند نمودارهای سه بعدی شوری-دمای همگن‌شدگی مقدار طلا و سرب-روی در میانبارها نشان‌دهنده نهشت سرب - روی از سیالات با شوری پایین‌تر و دمای بیشتر

در عمق بیشتر به سمت نهشت طلا از سیالات با شوری بیشتر و دمای کمتر در عمق کمتر است. ته‌نشست طلا با عوامل رسوب پیریت، آمیختگی محلول‌های گرمایی با آب‌های جوی، اکسایش، کاهش pH، کاهش فشار، جوشش و آمیختگی سیال-ها صورت گرفته است و با توجه به نقش این عوامل و بیشتر جوشش، کانی‌سازی فراگرمایی فلزات پایه مانند مس، سرب، روی و مولیبدن در عمق‌های پایین‌تر و فلزات گرانبها در عمق-های کمتر دیده می‌شوند. به احتمال به دلیل شوری کمتر و دمای همگن‌شدگی کمتر سیالات در مزرعه شادی مقدار مس در این کانسار کمتر از مس پورفیری سونگون است.

### مراجع

[1] Riou R., Dupuy C., Dostal J., "Geochemistry of coexisting alkaline and calc-alkaline volcanic rocks from northern Azerbaijan (N.W.Iran)", Journal of Volcanology and Geothermal Research, V. 11 (1981) 253-275.

- geochemistry", *Geochimica et Cosmochimica Acta* V. 48 (1984) 2659-2668.
- [11] Bakker R.J., "Optimal Interpretation of Microthermometrical Data from Fluid Inclusion; Thermodynamic Modelling and Computer Programming, University Heidelberg", Germany (1999) pp.54.
- [12] Bakker R.J., "Clathrates: Computer programs to calculate fluid inclusion V-X properties using clathrate melting temperatures", *Computers & Geosciences*, V. 23 (1997) 1-18.
- [13] Brown P.E., "Flincon: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data", *American Mineralogist*, 74 (1989) 1390-1393.
- [14] Rassi R., Afzal P., "Correlation between Au Lithochemical Anomalies and Fault-density using Geostatistical and Fractal Modeling in Sharafabad-Hizehjan Area, NW Iran", *Universal Journal of Geoscience* 3(2) (2015) 51-58.
- [۱۵] پورنیک پ.، "گزارش اکتشافات تفصیلی طلا در محدوده اکتشافی شرف‌آباد- هیزه‌جان، کانی‌سازی مزرعه شادی"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۵) ۲۶۴ صفحه.
- [16] Roedder E., "Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America*", *Reviews in Mineralogy*, V. 12 (1984) PP 644.
- [17] Albinson T., Norman D. I., Cole D., Chomiak B., "Controls on formation of low sulfidation epithermal deposits in Mexico: constraints from fluid inclusion and stable isotope data", *Society of Economic Geologists Special Publication* 8 (2001) 1-32.
- [18] Hedenquist J. W., Henley R. W., "Effect of CO<sub>2</sub> on freezing point depression measurements of fluid inclusions: Evidence from active system and application to epithermal studies", *Economic Geology*, V. 80 (1985) 1379-1406.
- [19] Ohmoto H., Goldhaber M.B., "Sulfur and carbon isotopes: In H.L. Barnes (ed.), *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*", 3rd
- [2] Sillitoe H.R., Hedenquist J.W., "Linkage between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. *Society of Economic Geologist*", Special Publication 10 (2003) 315-343.
- [3] Alavi M., "Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution", *American Journal of Science*. (2004) 304, 1-20.
- [4] Berberian M., King G.C.P., "Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Canadian Journal of Earth Sciences*. 18 (1981) 210-265.
- [5] Bonini M., Corti G., Sokoutis D., Vannucci G., Gasperini P., Cloetingh S., "Insights from scaled analogue modelling into the seismotectonics of the Iranian region", *Tectonophysics* 376 (2003) 137-149.
- [6] Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahandi M.R., "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*. 21 (2003) 397-412.
- [7] Richards J.P., Wilkinson D., Ullrich T., "Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit northwest Iran", *Economic Geology*. 101 (2006) 1455-1496.
- [8] Regard V., Bellier O., Thomas J.C., Bourlès D., Bonnet S., Abbassi M.R., Braucher R., Mercier J., Shabanian E., Soleymani S., Feghhi K.h., "Cumulative right-lateral fault slip rate across the Zagros-Makran transfer zone: role of the Minab-Zendan fault system in accommodating Arabia-Eurasia convergence in southeast Iran", *Geophys. Journal. Int.* 162 (2005) 177-203.
- [9] Shafiei B., Haschke M., Shahabpour J., "Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks southeastern Iran", *Mineral Deposita* 44 (2009) 265-283.
- [10] Sterner S.M., Bodnar R.J., "Synthetic fluid inclusion in natural quartz I. Compositional types synthesized and applications to experimental

- NaCl solutions*", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57 (1993) 683–684.
- [30] Wood S.A., Samson I.M., "Solubility of ore minerals and complexation of ore metals in hydrothermal solutions", *Reviews in Economic Geology*, 10 (1998) 33–80.
- [31] Haas J.L., Jr., "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure", *Economic Geology*, 66 (1971) 940-946.
- [32] Simmons S.F., "Hydrologic implications of alteration and fluid inclusion studies in the Fresnillo district, Mexico: Evidence for a brine reservoir and a descending water table during the formation of hydrothermal Ag-Pb-Zn ore bodies", *Economic Geology*, 86 (1991) 1579-1602.
- [33] Barnes H.L., "Zoning of ore deposits: types and causes", *Transactions of the Royal Society Edinburgh*, 69 (1975) 295-311
- [34] Buchanan L. J., "Precious Metal Deposits Associated with Volcanic Environments in the Southwest: In Relations of Tectonics to Ore Deposits in the Southern Cordillera. *Geological Society of Arizona*", *Digest*, V. 14 (1981) 237–262.
- [35] Grancea L., Bailey L., Leroy J., Banks D., Marcoux E., Milési JP., Cuney M., André AS. D., Istvan D., Fabre C., "Fluid evolution in the Baia Mare epithermal gold/polymetallic district, Inner Carpathians", *Romania. Mineralium Deposita*, V. 37 (2002) 630–647.
- [36] Arribas A., Jr., Cunningham C.G., Rytuba J.J., Rye R.O., Kelly W.C., Podwysocki M.H., McKee E.H., Tosdal R.M., "Geology, geochronology, fluid inclusions, and isotope geochemistry of the Rodalquilar gold alunite deposit", Spain: *Economic Geology*, 90 (1995) 795-822.
- [37] John D., Hofstra A.H., Fleck R.J., Brummer J.E., Saderholm E.C., "Geologic setting and genesis of the Mule Canyon low sulfidation epithermal goldsilver deposit", North-Central Nevada: *Economic Geology*, 98 (2003) 425-463
- [38] Simmons S.F., Christensen B.W., "Origins of calcite in a boiling geothermal system", *American Journal of Science*, 294 (1994) 361-400.
- ed., New York, John Wiley and Sons (1997) 517-611.
- [20] Henley R. W., Brown K. L., i *Reviews in Economic Geology*, 2 (1985) 25-44.
- [21] Pokrovski G. S., Borisova Yu. A., Harrichoury J.C., "The effect of sulfur on vapor-liquid fractionation of metals in hydrothermal systems", *Earth and Planetary Science Letters* 266 (3-4), (2008) 345-362.
- [22] Wilkinson J.J., "Fluid Inclusion in Hydrothermal Ore Deposits", Elsevier, *Lithos* 55 (2001) 229 – 272.
- [23] Hedenquist J.W., Arribas A., "Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far southeast Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines", *Economic Geology* 93 (1998) 373–404.
- [24] Naden J., Killias S.P., Darbyshire D.P.F., "Active geothermal system with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmato-hydrothermal mineralization: the example of Milos Island", Greece. *Geology* 33(2005) 541–544.
- [25] Lattanzi P., "Applications of fluid inclusions in the study and exploration of mineral deposits", *European Journal of Mineralogy* 3 (1991) 689–697.
- [26] Simmons S.F, Browne P.R.L., "Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki geothermal system: Implications for understanding low sulfidation epithermal environments", *Economic Geology*, 95 (2000) 971-999.
- [27] Drummond SE., Ohmoto H., "Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems", *Economic Geology*, V, 80 (1985) 126–147.
- [28] Hedenquist J.W., Arribas A., Gonzalez-Urien, E., "Exploration for epithermal gold. In: Hagemann, S.G., Brown, P.E. (Eds.), *Gold in 2000*", *Reviews in Economic Geology*, 13 (2000).245–277
- [29] Bodnar R.J., "Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O–

Geochimica et Cosmochimica Acta 51 (1987) 1965-1975.

[41] Calagari A. A., "Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azarbaidjan, Iran.", Journal of Asian Earth Sciences 23 (2004) 179-189

[42] Ahmad S.N., Rose A.W., "Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico", Economic Geology 75 (1980) 229-250.

[39] Alderton D.H.M., Fallick A.E., "The nature and genesis of gold-silver-tellurium mineralization in the Metaliferi Mountains of Western Romania", Economic Geology, 95(2000) 495-516.

[40] Chou I. M., "Phase relations in the system NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O. III: solubilities of halite in vapour-saturated liquids above 445 °C and redetermination of phase equilibrium properties in the system NaCl-H<sub>2</sub>O to 1000 °C and 1500 bars",