

# ویژگی‌های ترموبارومتری کانه‌زایی دیرزاد بر اساس داده‌های میانبرهای سیال در گنبد نمکی دهکویه، لار، استان فارس

محمد جباریان<sup>۱</sup>، مهرداد کریمی<sup>۲</sup>، محمد لطفی<sup>۳</sup> و کمال نوری خانکهدانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>۲</sup>استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار، گروه زمین‌شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶

## چکیده

گنبد نمکی دهکویه در فاصله حدود ۳۰ کیلومتری شمال شرق لار در استان فارس قرار دارد. این گنبد نمکی از سازند هرمز به سن اینفراکامبرین و در پهنه زاگرس چین‌خورده تشکیل شده است. هسته این گنبد بیشتر از جنس نمک و گچ بوده و سطح گنبد نمکی به وسیله مارن، گچ و رسوبات آهکی و دولومیتی پوشیده شده است. کانی‌سازی آهن به همراه آثاری از مس در بخش‌های آهکی - دولومیتی بخش پوش سنگ گنبد نمکی در سازند هرمز صورت گرفته است. کانی‌سازی به صورت ساده و شامل کانی‌های همایت کمی گویت و گاه آثاری از مگنتیت و ندرتا اثرات کانی‌های مس است. در این پژوهش مطالعه میانبرهای سیال، بر روی نمونه‌های گرفته شده از کوارتزهای همراه با کانی‌های سولفیدی و کربناته مس و آهن صورت گرفته است. بر این اساس دمای همگن‌شدگی (TH) محلول کانه‌ساز در محدوده (۱۷۲ تا ۳۷۴) و میانگین ۲۳۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که معرف شرایط اپی‌ترمال تا ابتدای هیپوترمال و به طور میانگین ابتدای مزوترمال است. عمق تشکیل کانسار بین ۵۰ تا ۱۵۰۰ متر و بطور میانگین حدود ۲۰۰ متر تعیین گردید. محلول‌های گرمایی تشکیل دهنده کانسار به دلیل شوری بالا منشأ شورابه‌های ماگمایی دارند که در اثر چگالی پایین و فشارهای تکتونیکی به حرکت در می‌آیند. این محلول‌ها پس از اختلاط با آب‌های جوی در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌های موجود به سمت بالا صعود کرده‌اند و کانه‌زایی دیرزاد به وجود آمده است.

**کلیدواژه‌ها:** دهکویه، گنبد نمکی، کانه‌زایی دیرزاد، آهن، میانبرهای سیال.

\*نویسنده مسئول: مهرداد کریمی

E-mail: karimimehrdad63@yahoo.com

## ۱- پیش‌نوشتار

در ناحیه خلیج فارس و جنوب ایران در حدود ۲۰۰ گنبد نمکی شناخته شده است که برخی بر روی سطح رخنمون دارند و شماری نیز مدفون می‌باشند (Ala, 1974). این گنبد‌ها مربوط به سری هرمز است که در قاعده ستون چینه‌شناسی زاگرس قرار دارند و عمدتاً از کانی‌های تبخیری نمک و گچ با قابلیت انحلال پذیری بالا تشکیل شده است (Ahmadzadeh Heravi et al., 1990; Arian and Noroozpour, 2015). بخش بیشتری از این گنبد‌ها را هالیت (NaCl) تشکیل داده و برخی از آنها عمدتاً از انیدریت و ژپس تشکیل شده‌اند (Darvishzadeh, 1990؛ آقابیاتی، ۱۳۸۳).

اهمیت گنبد‌های نمکی تنها منحصر به وجود نمک در آنها نمی‌باشد. بلکه ارزش عمده آنها به واسطه وجود ذخایر نفت و گاز، اکسیدهای آهن و پتاس، عناصر نادر خاکی و به خصوص ذخایر با ارزش اورانیم در آنها می‌باشد (Talbot, 2009). کانی‌سازی مس رسوبی نیز در گنبد‌های نمکی گزارش شده است (آقازاده و بدرزاده، ۱۳۸۹). به اعتقاد Player (1969) قطعات نمک در اثر فشارهای وارده از اطراف به صورت بیرون زدگی به طرف خارج ظاهر می‌شود. زمین‌شناسان دیگری از قبیل Blatt و Stocklin، سنگ‌های آتشفشانی همراه گنبد‌های نمکی مانند سازند هرمز را شناسایی کرده‌اند و کانی‌زایی آهن در گنبد‌های نمکی جنوب ایران را مورد توجه قرار داده‌اند (Harrison, 1930; Oberin, 1957).

در گنبد نمکی دهکویه علاوه بر کانه‌زایی آهن به صورت همزاد و چینه‌سان، کانه‌زایی دیرزاد آهن و مس نیز بصورت محدود تشکیل شده است. این کانه‌زایی به‌خصوص با دگرسانی نوع سیلیسی و گاه رسی همراه است. از نظر پیشینه مطالعاتی در این منطقه مطالعات محدودی صورت گرفته است که می‌توان به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ لار (اویسی و یوسفی، ۱۳۸۶)، گزارش اکتشاف آهن در گنبد نمکی دهکویه (کریمی و نوری، ۱۳۹۴)، منشأ هالیت با معرفی کانی‌های گلوبریت و ساسولیت در گنبد نمکی لارستان (نخبة الفقهای و همکاران، ۱۳۹۵) و مطالعه ژئوشیمی، کانی‌شناسی و میانبرهای سیال ژپس و نمک گنبد‌های نمکی منطقه لارستان (نخبة الفقهای و همکاران، ۱۳۹۵ الف) اشاره کرد.

## ۲- زمین‌شناسی منطقه

گنبد نمکی دهکویه در فاصله حدود ۳۰ کیلومتری شمال شرق لار و حدود ۳۲۰ کیلومتری جنوب شرق شیراز در استان فارس واقع شده است (شکل ۱). این گنبد نمکی به سن اینفراکامبرین در پهنه زاگرس چین‌خورده، بدون نظم چینه‌شناسی در ارتباط با سری (سازند) هرمز می‌باشد. آنچه به نام سازند هرمز خوانده می‌شود، نهشته‌هایی به ضخامت ۱۵۰۰ متر شامل شیل‌های سرخ قهوه‌ای، دولومیت، مقداری گچ و نمک و مقدار کمتر سنگ‌های آذرین است که با اندازه‌های مختلف روی گنبد‌های نمکی و گاه درون آنها دیده می‌شوند (Stocklin, 1972).

گنبد نمکی دهکویه از نظر چینه‌شناسی از قدیم به جدید شامل سری هرمز با سن اینفراکامبرین و محیط اطراف در ارتباط با سازندهای شامل، آسماری (آهک و دولومیت)، گچساران (ژپس، مارن و آهک)، میشان (آهک و مارن) و آغاچاری و بختیاری (ماسه سنگ) به صورت یک ساختمان تاقدیسی می‌باشد (شکل ۲). بطور کلی این منطقه را می‌توان به ۳ بخش تقسیم کرد:

الف) در قسمت مرکزی گنبد نمکی قدیمی‌ترین واحد سنگ‌شناسی رخنمون یافته و شامل سازند هرمز است. این واحد زمین‌شناسی، به دلیل تنوع ترکیب سنگ‌شناسی، دارای تنوع ساخت‌های ژئومورفولوژیکی می‌باشد. سری هرمز با رخنمونی از نمک،

گچ، سنگ آهک، دولومیت، شیل های ارغوانی، سیلت و توف های سبز ظاهر شده است. بخش زیرین بیشتر از جنس نمک و گچ و بخش میانی بیشتر از شیل، مارن، توف و گچ و بالاخره بخش فوقانی از سنگ آهک دولومیتی، مارن به همراه گچ تشکیل شده است (شکل های ۳- الف تا ت).

ب) در قسمت شمالی گنبد نمکی طبقات رسوبی ضخیمی از آهک آسماری- جهرم دیده می شود. سنگ های این واحد با رنگ هوازده گرمی تا قهوه ای روشن دیده می شود که در برخی موارد، دارای فسیل هایی از جنس نومولیت بوده است.

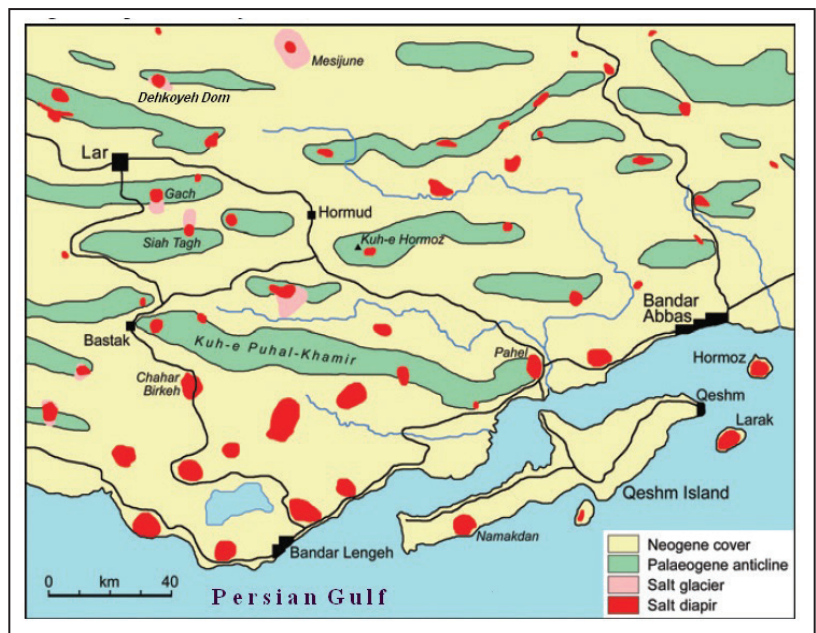
ج) در جنوب گنبد نمکی رخنمون های کشیده ای از مارن های الوان سازند میشان همراه با بخش فوقانی آهک گوری، بخش چهل و مول از سازند گچساران، کنگلومرا و ماسه سنگ بختیاری و آغاچاری برونزد دارند.

ساختار کلی منطقه بصورت یک تاقدیس می باشد که حرکت دیاپیری

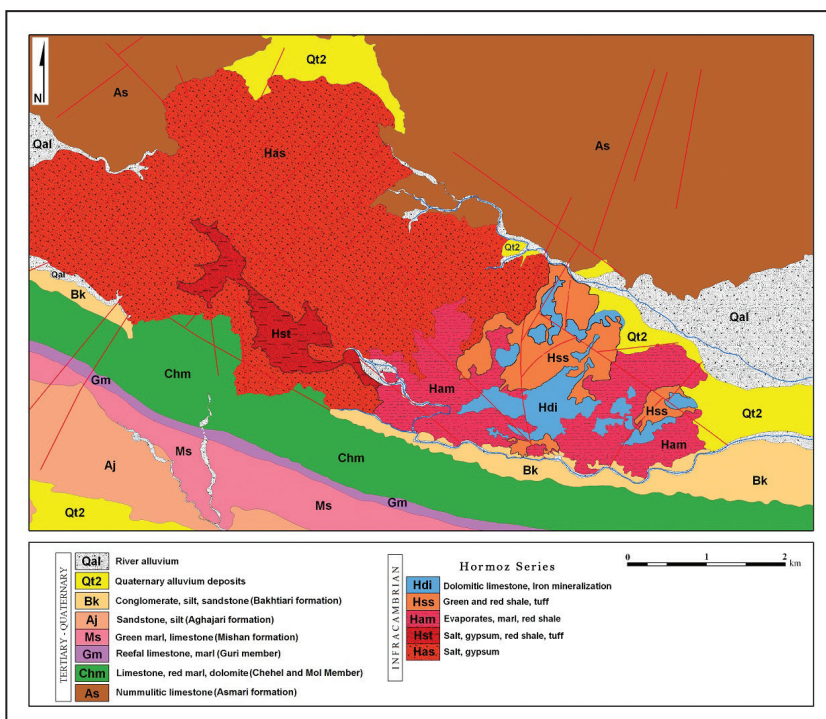
سنگ های آهکی و دولومیتی پوشیده شده است.

ساختار کلی منطقه بصورت یک تاقدیس می باشد که حرکت دیاپیری

ساختار کلی منطقه بصورت یک تاقدیس می باشد که حرکت دیاپیری

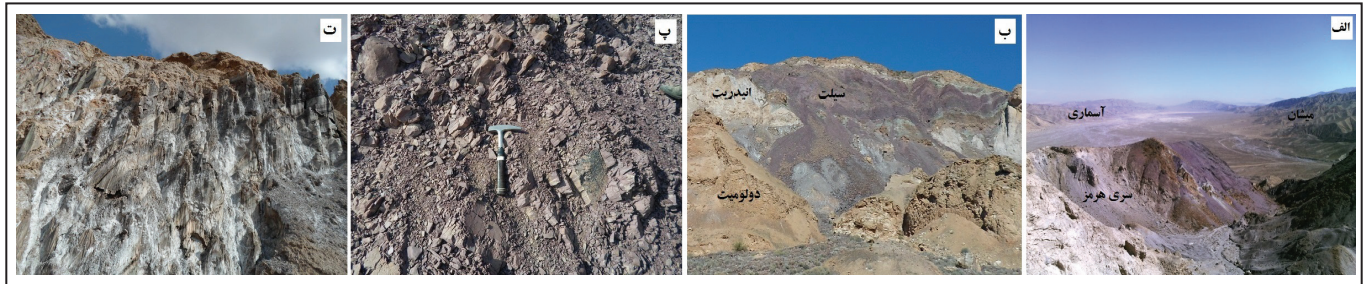


شکل ۱- نقشه پراکندگی گنبد های نمکی در زاگرس و خلیج فارس و موقعیت گنبد نمکی دهکویه (Waltham, 2008).



شکل ۲- نقشه زمین شناسی گنبد نمکی دهکویه (کریمی و نوری، ۱۳۹۴).

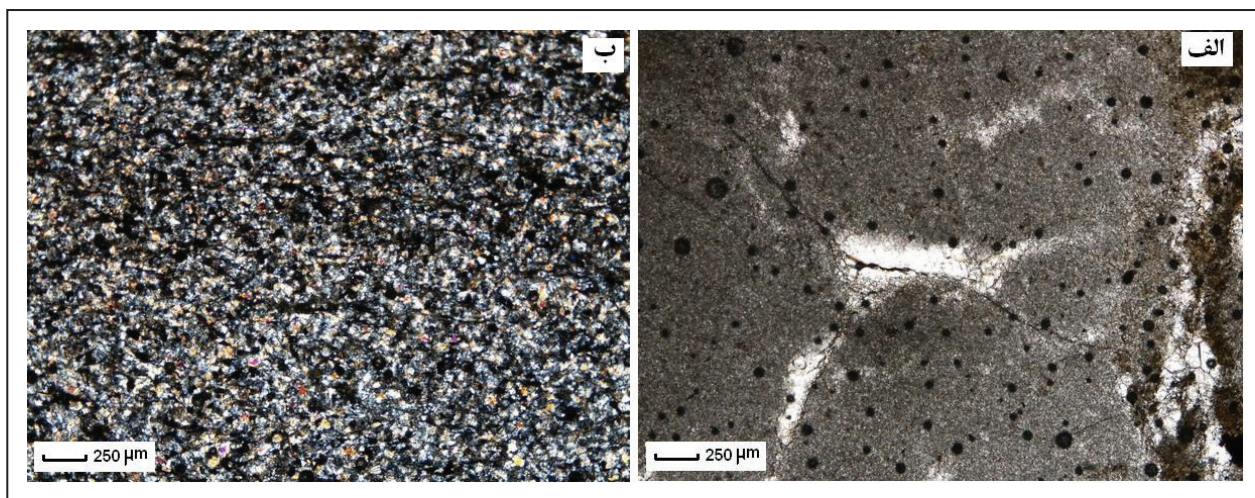




شکل ۳- الف) رخنمون واحدهای تشکیل دهنده گنبد نمکی دهکویه در ضلع شرقی گنبد؛ ب) رخنمون واحدهای تبخیری به همراه شیل های ارغوانی و توف های سبز و سنگ آهک از سری هرمز در ضلع شمالی گنبد (دید به سمت جنوب)؛ پ) رخنمون شیل و سیلت ارغوانی از سری هرمز؛ ت) رخنمون واحدهای نمک و گچ در بخش هسته گنبد.

کانی های رسی، کوارتز و کلسیت می باشد که به وسیله بافت آواری و ریزبلور خود به راحتی شناسایی می شوند. سیلتستون ها به لحاظ ترکیب کانی شناسی مشابه مارن ها هستند. با این تفاوت که میزان کوارتز آزاد در این سنگ ها بیشتر بوده در حالی که مقدار کانی کلسیت در آنها پایین است. قطعات کوارتز در این سنگ ها عموماً زاویه دار و گوشه دار می باشد که حاکی از تشکیل آنها در شرایط آواری است (شکل ۴- ب).

سازند آسماری بیشترین گسترش را در محدوده مطالعه شده دارد. این سنگ ها ذرات ریز گل کربناته، به صورت میکریست هستند که در برخی قسمت ها به علت داشتن میکروفسیل نومولیت به صورت بیومیکریست دیده می شود. ریز درزه های سنگ توسط بلورهای ریز کلسیتی ثانویه پر شده است (شکل ۴- الف). از دیدگاه سنگ شناسی در سازند هرمز مارن و سیلت های ارغوانی مهم ترین سنگ های آواری این بخش را تشکیل می دهند. این سنگ ها دارای پارائزری از



شکل ۴- الف) تصویر میکروسکوپی از سنگ های آهکی میکریستی سازند آسماری XPL (بزرگنمایی ۴۰ برابر)؛ ب) کانی های رسی، کوارتز، فلدسپات و کلسیت در سیلتستون های ارغوانی سری هرمز XPL (بزرگنمایی ۴۰ برابر).

### ۳- گسترش افق کانه دار

۱۰۰ متر و عرض یک تا ۲ متر دیده می شوند (شکل ۶- الف). با توجه به مشاهده کانی سازی در ترانسه های حفر شده به نظر می رسد که حجم کانه زایی از آنچه که ظاهراً بر روی زمین دیده می شود؛ بیشتر است. کانی سازی دیرزاد بصورت پر شدگی در شکستگی و فضاهای خالی سنگ های سری هرمز از کانی های اکسید آهن و کمی کربنات و سولفید مس و آهن بوده و بیشتر با دگرسانی ضعیف سیلیسی و گاه رسی همراه است (شکل های ۶- الف تا ت).

کانی شناسی ماده معدنی در گنبد نمکی دهکویه به صورت ساده می باشد. مهمترین این کانی ها بصورت کانی های اکسید آهن است که از نوع هماتیت و گاه آثاری از مگنتیت و ندرتاً اثرات کانی های مس مانند کالکوپیریت به همراه پیریت است. کانی های گوتیت و ملاکیت در اثر هوازدگی کانی های اولیه بوجود آمده اند. در بخش غربی گنبد، کانی سازی آهن اهمیت کمتری دارد. به نظر می رسد که در این بخش پوش سنگ فرسایش یافته و اغلب، رخنمون های سنگ های تبخیری مانند گچ و نمک دیده می شود. کانی سازی علاوه بر سنگ های کربناته در سنگ های تبخیری گچی نیز حائز اهمیت است و زبانه هایی را تشکیل می دهد. دلایل متعددی نشان

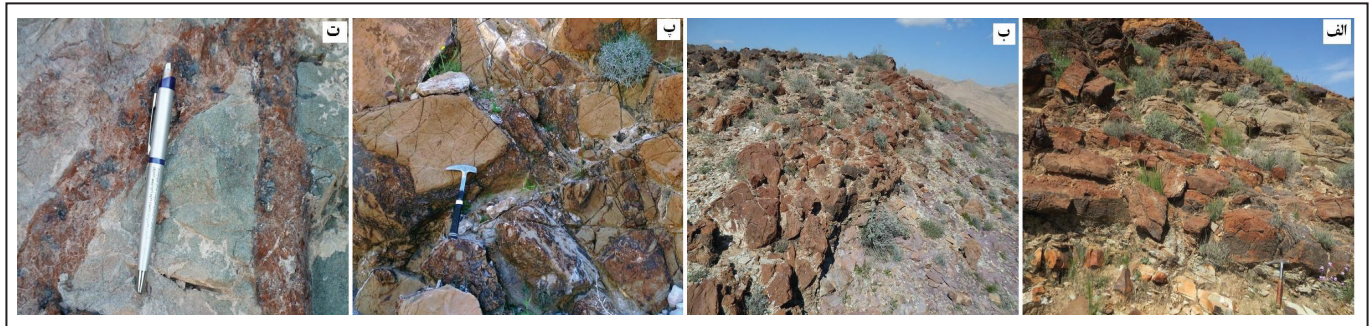
در ناحیه معدنی دهکویه کانی سازی همزاد آهن (هماتیت همراه با کمی مگنتیت) در بخش های آهکی- دولومیتی بخش پوش سنگ گنبد نمکی در سازند هرمز صورت گرفته است و حجم اصلی کانه زایی را تشکیل می دهد. کانی سازی دیرزاد بصورت زبانه ها و رگه و رگچه هایی از آهن، گاه همراه با کمی مس در شکستگی ها و فضاهای خالی سنگ های مختلف سازند هرمز تشکیل شده است. همچنین کانی سازی آهن در بخش های گچی واحد (Ham) در زیر پوش سنگ نیز قابل توجه است. کانی سازی ضعیفی نیز بصورت دیرزاد در واحد توف سبز و سیلت های ارغوانی واحد (Hss) و توف های ریولیتی صورت گرفته است که کم عیار هستند و اقتصادی نیستند. طول محدوده کانه دار بر روی زمین حدود ۶ کیلومتر است و آثار کانی سازی در نقاط مختلفی از این محدوده به چشم می خورد (شکل های ۵- الف تا ت).

کانه زایی در منطقه گسترش وسیعی دارد و اغلب سنگ های بخش بالایی سری هرمز با شدت و ضعف دارای کانی های آهن هستند و به دلیل سختی بیشتر رگه های معدنی و سنگ های میزان آهکی و همچنین رنگ تیره، رخنمون آن به راحتی قابل تشخیص است. این رخنمون ها بصورت توده هایی به طول های چند متر تا بیش از

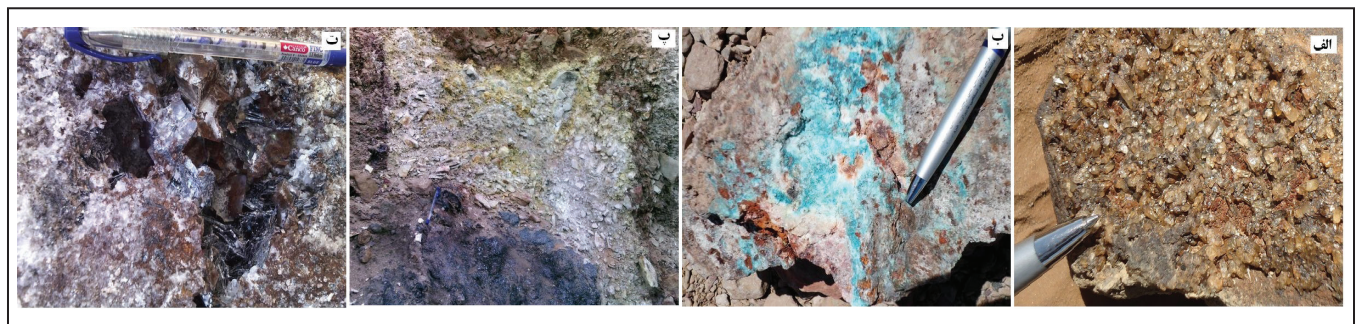


فلزی در سنگ میزبان نفوذ یافته و رگه و رگچه هایی را تشکیل داده اند. در طی این فرآیندها، علاوه بر کانی های اکسیدی آهن، کانی های سولفیدی آهن و مس نیز تشکیل شده است (شکل های ۷- الف تا ت).

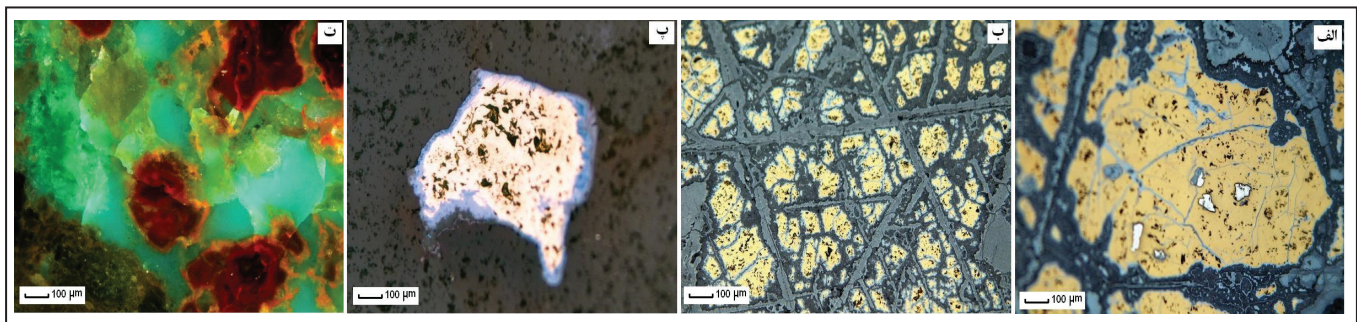
می دهد که تشکیل توده اصلی عناصر فلزی در کانسار به صورت همزاد (سین ژنتیک) و در اثر فعالیت های آتشفشانی- رسوبی زیر دریایی است و پس از تشکیل و نهشت ذرات تشکیل دهنده سنگ، در فرایندهای دیرزاد (اپی ژنتیک) دوباره بخشی از مواد



شکل ۵- الف) کانه سازی آهن در سنگ های آهنی پوش سنگ؛ ب) کانی سازی همزاد بصورت استراتیفرم در بخش آهنی پوش سنگ؛ پ) کانی سازی دیرزاد آهن در شکستگی های سنگ آهنک دولومیتی؛ ت) پر شدگی شکستگی توف ریولیتی سری هرمز توسط محلول های غنی از آهن.



شکل ۶- الف) تشکیل بلورهای کوارتز به همراه آغستگی آهن به وسیله محلول های غنی از سیلیس در شکاف های سنگ های آهنی و دولومیتی میزبان؛ ب) تشکیل کانی کربنات مس به همراه کوارتز در نواحی سیلیسی شده؛ پ) دگرسانی رسی در مجاورت توده آهن دار؛ ت) کانی سازی آهن به همراه بلورهای کوارتز در فضای خالی سنگ آهنی.



شکل ۷- الف) بلورهای ریز پیریت در متن کانی کالکوپیریت PPL؛ ب) پر شدگی شکستگی کانی کالکوپیریت توسط کانی های هیدراکسید آهن PPL؛ پ) تشکیل کانی کولیت به صورت جاننشینی حاشیه ای پیرامون کالکوپیریت PPL؛ ت) کانی مالاکیت به همراه گونیت XPL.

## ۴- مطالعه میانبارهای سیال

### ۴-۱. نمونه برداری، آماده سازی و روش کار

نصب شده بر روی میکروسکوپ پلاریزان با مدل Olympus و مجهز به Stage در دانشگاه خرم آباد انجام گرفته است. این دستگاه مجهز به سیستم خنک کننده LNP95 Liquid Nitrogen و همچنین دارای کنترل کننده دمایی T95-Linkampad-LCD Touch Screen می باشد که امکان کنترل سریع و راحت تر نرخ گرمایش و سرمایش و ثابت نگه داشتن دما را فراهم می کند. دامنه دمایی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی گراد است. دستگاه با میانبارهای سیال مصنوعی  $H_2O + NaCl, KCl$  (Sterner and Bodnar, 1984) در دماهای ۵۶/۶- و ۳۷۴/۱ درجه سانتی گراد کالبره شده است.

در این مطالعات داده های اندازه گیری شده حاصل از بررسی های ریزدماسنجی

مطالعه میانبارهای سیال، ما را در بیان حقایق از مراحل تشکیل نهشته های معدنی یاری می نماید (Roedder, 1984). مطالعه میانبارهای سیال اولیه ثابت کرده است که بهترین ابزار برای تعیین دمای کانسنگ است. نبود رخ، شفافیت کانی و توانایی تبلور مجدد آسان، کانی کوارتز را به یک میزبان مناسب برای میانبارهای سیال تبدیل کرده است (Walshe and Hobbs, 1999; Roedder, 1979).

برای انجام این مطالعات از ۱۲ نمونه مقطع نازک دوبر صیقل استفاده گردید. این نمونه ها از رگه ها و رگچه های سیلیسی همراه با کانی سازی دیرزاد انتخاب شد. به طوری که همراه بودن کوارتز با کانه های مس و آهن دیرزاد مشخص باشد. اندازه گیری ها با استفاده از صفحه گرم کننده و منجمد کننده THMSG600 Linkham

(Freezing) صورت پذیرفته است (جدول ۱). میانبرهای مطالعه شده از نظر شکل غالباً شکل‌های سوزنی، کروی، بیضوی و بی‌شکل داشته‌اند. بر اساس تقسیم‌بندی‌های متداول (Roedder, 1958; Sheppherd et al., 1985) اغلب میانبرهای سیال دارای هر سه فاز مایع، جامد و گاز بوده‌اند و ندرتاً از دو فاز مایع و گاز تشکیل شده‌اند. فاز جامد میانبرها بیشتر هالیت و سیلویت بوده است. درجه پرشدگی در بیشتر نمونه‌ها بین ۶۵ تا ۹۵٪ می‌باشد ولی درجه پرشدگی کمتر از ۴۲٪ نیز مشاهده می‌شود که در هنگام حرارت دادن، این میانبرها به فاز گاز هموزن می‌شوند. جدول ۲ میانگین نتایج اندازه‌گیری میانبرهای سیال را نشان می‌دهد.

و تخمین‌های کسر حجمی فازهای مختلف (به منظور تبدیل دماهای ذوب و همگن‌شدگی و همچنین تخمین‌های چشمی کسر حجمی به ترکیبات حجمی و چگالی) توسط برنامه‌های نرم‌افزاری فلوتیدز (Bakker, 2003) و کلاتریتر (Bakker, 1997) مورد پردازش قرار گرفته‌اند. همچنین درجه شوری میانبرهای سیال آبگین از روی آخرین دمای ذوب یخ و با استفاده از نرم افزار فلینکور (Brown, 1989) محاسبه گردیده است.

در این پژوهش بیش از ۳۰۰ میانبر سیال به وسیله میکروسکوپ معمولی مورد بررسی قرار گرفته و بر روی ۱۲۲ میانبر عمل حرارت دادن (Heating) و انجماد

جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری میانبرهای سیال.

No.	Sample	Size (µm)	Shape	Phases (30°C)	liquid	Vapour (%)	Halite (%)	Salinity (wt% NaCl equiv)	Density
1	DJF-1	20.3	Elangate	L+V	85	15		22.488	1.000
2	DJF-1	12.3	Elangate	L+V+S	55	20	25	36.200	1.129
3	DJF-1	33.8	Elangate	L+V+S	60	15	15	35.777	1.099
4	DJF-1	45.2	Oval	L+V+S	70	10	20	35.346	1.141
5	DJF-1	33.2	Irregular	L+V+S	65	15	20	38.996	1.118
6	DJF-1	28.5	Spherical	L+V+S	70	15	15	37.767	1.091
7	DJF-1	27.2	Irregular	L+V+S	65	15	20	37.804	1.091
8	DJF-1	25.1	Oval	L+V+S	65	10	25	37.445	1.139
9	DJF-1	23.2	Spherical	L+V+S	60	20	20	36.110	1.139
10	DJF-1	32.7	Irregular	L+V+S	75	10	15	33.148	1.152
11	DJF-1	24.4	Spherical	L+V+S	70	10	20	33.064	1.148
12	DJF-1	42.6	Irregular	L+V+S	80	10	10	33.562	1.137
13	DJF-1	20.2	NC	L+V+S	55	20	25	39.723	1.137
14	DJF-1	18.5	Spherical	L+V+S	65	15	20	37.158	1.093
15	DJF-1	29.3	Spherical	L+V+S	70	15	15	38.757	1.137
16	DJF-1	13.6	Irregular	L+V+S	70	10	20	35.805	1.150
17	DJF-1	23.8	Elangate	L+V+S	75	10	15	39.149	1.125
Average		29.05			67.9	13.8	18.75	35.782	1.119

No.	Sample	Size (µm)	Shape	Phases (30°C)	liquid (%)	Vapour (%)	Halite (%)	Salinity (wt% NaCl equiv)	Density	Th(V→L) (°C)	Th - HI (°C)
1	DJF-2	24.4	Spherical	L+V+S	45	20	25	43.452	1.191	251.8	361.1
2	DJF-2	20.1	Spherical	L+V+S	55	20	20	41.092	1.161	257.7	335.5
3	DJF-2	14.8	NC	L+V+S	65	15	20	39.061	1.134	264.2	311.4
4	DJF-2	21.9	Irregular	L+V+S	60	20	20	36.241	1.174	187.1	273.7
5	DJF-2	7.8	NC	L+V+S	70	15	15	35.743	1.135	228	266.4
6	DJF-2	7.2	NC	L+V+S	75	10	15	40.969	1.196	215.4	334.1
7	DJF-2	16.9	Spherical	L+V+S	55	25	20	36.790	1.125	249.9	281.5
8	DJF-2	11.5	Irregular	L+V+S	65	15	20	42.199	1.140	291.6	347.8
9	DJF-2	14.8	Oval	L+V+S	65	10	25	34.358	1.169	172.3	244.8
10	DJF-2	8.9	NC	L+V+S	60	15	25	34.630	1.163	182.5	249.2
11	DJF-2	15.7	Irregular	L+V+S	60	20	20	35.202	1.161	192.5	258.2
12	DJF-2	19.7	Rectangular	L+V+S	65	15	20	35.871	1.162	198.7	268.3
13	DJF-2	10.5	Spherical	L+V+S	80	10	10	35.118	1.162	189.8	256.9
14	DJF-2	18.9	Rectangular	L+V+S	70	15	15	36.768	1.143	230.5	281.2
15	DJF-2	12.7	NC	L+V+S	55	20	25	36.103	1.160	203.1	271.7
16	DJF-2	21.5	Irregular	L+V+S	55	20	25	37.290	1.138	241.9	288.4
17	DJF-2	20.1	Irregular	L+V+S	75	10	15	36.534	1.150	220.4	277.9
18	DJF-2	19.2	Elangate	L+V+S	70	10	20	35.636	1.134	228.3	264.8
19	DJF-2	23.5	Spherical	L+V+S	60	15	25	36.775	1.160	211.9	281.3
20	DJF-2	9	Spherical	L+V+S	75	10	15	37.165	1.155	221.3	286.7
21	DJF-2	22.8	Irregular	L+V+S	65	15	20	37.305	1.123	257.1	288.6
22	DJF-2	9.6	Elangate	L+V+S	55	20	25	36.338	1.131	239.4	275.1
23	DJF-2	13.8	Elangate	L+V+S	70	15	15	36.241	1.120	250.8	273.7
Average		15.3			65.8	15.4	19.8	36	1.145	226	286

ادامه جدول ۱

No.	Sample	Size (µm)	Shape	Phases (30°C)	liquid (%)	Vapour (%)	Halite (%)	Salinity (wt% NaCl)	Density	Th (V→L) (°C)	Th - HI (°C)
1	DJF-3	25.4	Rectangular	L+V+S	60	20	20	36.811	1.128	247.7	281.8
2	DJF-3	18.2	Irregular	L+V+S	65	15	20	37.049	1.127	250.2	285.1
3	DJF-3	7.6	Spherical	L+V+S	70	15	15	37.542	1.094	289.3	291.8
4	DJF-3	8	Spherical	L+V+S	25	10	15	36.083	1.112	256.1	271.4
5	DJF-3	6.6	Spherical	L+V+S	70	10	20	36.669	1.134	239.6	279.8
6	DJF-3	28.9	Irregular	L+V+S	55	20	25	33.800	1.153	186.4	235.5
7	DJF-3	17.4	NC	L+V+S	65	15	20	35.623	1.128	234.1	264.6
8	DJF-3	20.5	NC	L+V+S	55	20	25	37.979	1.128	259.4	297.6
9	DJF-3	25.8	NC	L+V+S	75	10	15	42.421	1.156	277.8	350.2
10	DJF-3	24.7	Spherical	L+V+S	40	30	30	38.349	1.128	263.7	302.4
11	DJF-3	8.9	Spherical	L+V+S	65	15	20	36.919	1.180	188.1	283.3
12	DJF-3	9	Spherical	L+V+S	60	20	20	27.751	1.186	190.5	294.6
13	DJF-3	15.2	NC	L+V+S	70	15	15	35.339	1.163	191.7	260.3
14	DJF-3	13.6	Irregular	L+V+S	70	15	15	36.570	1.171	195.8	278.4
15	DJF-3	13	Spherical	L+V+S	75	10	15	38.132	1.155	231.5	299.6
16	DJF-3	10.6	Irregular	L+V+S	65	15	20	39.093	1.147	250.3	311.8
17	DJF-3	37.5	Elangate	L+V+S	70	15	15	39.739	1.132	273.5	319.7
18	DJF-3	42.3	Elangate	L+V+S	60	20	20	38.654	1.132	262.2	306.3
19	DJF-3	51.6	Elangate	L+V+S	55	20	25	37.107	1.157	218.3	285.9
20	DJF-3	15.6	Elangate	L+V+S	80	10	10	36.485	1.143	227.6	277.2
21	DJF-3	28.7	Irregular	L+V+S	60	15	25	43.938	1.195	252.1	366.1
22	DJF-3	9.8	Spherical	L+V+S	60	20	20	37.180	1.143	234.6	286.9
23	DJF-3	36.5	Irregular	L+V+S	60	15	25	36.962	1.147	228.7	283.9
24	DJF-3	9.1	Oval	L+V+S	65	15	20	36.704	1.155	215.8	280.3
25	DJF-3	7.4	Elangate	L+V+S	70	15	15	44.372	1.204	247.3	370.5
26	DJF-3	14.4	Spherical	L+V+S	55	20	25	37.504	1.142	239.4	291.3
<b>Average</b>		<b>19.47</b>			<b>62.3</b>	<b>16</b>	<b>19.6</b>	<b>37.491</b>	<b>1.148</b>	<b>236.6</b>	<b>294.6</b>

No.	Sample	Size (µm)	Shape	Phases (30°C)	liquid (%)	Vapour (%)	Halite (%)	Salinity (wt% NaCl equiv)	Density	Th (V→L) (°C)	Th - HI (°C)
1	DJF-4	10.7	Spherical	L+V+S	75	10	15	37.797	1.151	231.6	295.2
2	DJF-4	36.2	Irregular	L+V+S	60	20	20	39.656	1.167	234.2	318.7
3	DJF-4	21.5	Spherical	L+V+S	65	15	20	37.467	1.140	241.1	290.8
4	DJF-4	15.2	Spherical	L+V+S	60	15	25	41.162	1.158	261.7	336.3
5	DJF-4	27.8	Spherical	L+V+S	45	25	30	38.201	1.172	211.9	300.5
6	DJF-4	13.8	Irregular	L+V+S	60	15	25	42.823	1.155	283.1	354.5
7	DJF-4	11.4	Irregular	L+V+S	65	15	20	37.512	1.160	219.6	291.4
8	DJF-4	8.4	Rectangular	L+V+S	70	10	20	37.056	1.147	229.8	285.2
9	DJF-4	10.7	Oval	L+V+S	60	20	20	37.676	1.130	254.3	293.6
10	DJF-4	20.4	NC	L+V+S	75	10	15	37.549	1.123	259.3	291.9
11	DJF-4	9.7	Irregular	L+V+S	70	15	15	38.101	1.143	244.7	299.2
12	DJF-4	9.4	Spherical	L+V+S	70	10	20	38.481	1.148	243.4	304.1
13	DJF-4	7.9	Rectangular	L+V+S	60	20	20	38.178	1.090	313.9	300.2
14	DJF-4	20.4	Spherical	L+V+S	80	10	10	37.586	1.165	214.4	292.4
15	DJF-4	36.4	Elangate	L+V+S	65	15	20	36.761	1.147	225.5	281.1
16	DJF-4	11.5	Spherical	L+V+S	65	15	20	37.460	1.158	220.6	290.7
17	DJF-4	8.8	Irregular	L+V+S	55	20	25	38.988	1.140	256.8	310.5
18	DJF-4	19.3	Oval	L+V+S	65	15	20	37.283	1.158	218.1	288.3
19	DJF-4	31.6	Spherical	L+V+S	80	10	10	39.998	1.136	272.2	322.8
<b>Average</b>		<b>17.4</b>			<b>64.7</b>	<b>15</b>	<b>19.5</b>	<b>38.407</b>	<b>1.147</b>	<b>244</b>	<b>302.5</b>



ادامه جدول ۱

No.	Sample	Size (µm)	Shape	Phases (30°C)	liquid (%)	Vapour (%)	Halite (%)	Salinity (wt% NaCl equiv)	Density	Th(V→L) (°C)	Th - HI (°C)
1	DJF-5	9.3	Spherical	L+V+S	60	15	25	38.132	1.177	205.2	299.6
2	DJF-5	7.5	Spherical	L+V+S	60	15	25	33.913	1.147	194.5	237.4
3	DJF-5	117.9	Irregular	L+V+S	85	5	10	36.633	1.144	227.8	279.3
4	DJF-5	14.3	Elangate	L+V+S	65	15	20	36.117	1.152	213.3	271.9
5	DJF-5	8.6	Elangate	L+V+S	60	20	20	37.165	1.155	221.1	286.7
6	DJF-5	18.1	Spherical	L+V+S	65	15	20	35.723	1.144	218.6	266.1
7	DJF-5	9.8	Oval	L+V+S	75	10	15	35.523	1.150	208.4	263.1
8	DJF-5	26.8	Irregular	L+V+S	65	10	25	39.344	1.155	245.7	314.9
9	DJF-5	21.4	Rectangular	L+V+S	80	10	10	37.767	1.158	224.1	294.8
10	DJF-5	11.1	Irregular	L+V+S	75	10	15	38.686	1.160	232.9	306.7
11	DJF-5	7.9	Spherical	L+V+S	65	15	20	37.460	1.163	215.8	290.7
12	DJF-5	24.8	Rectangular	L+V+S	60	20	20	36.283	1.147	220.5	274.3
13	DJF-5	17.7	Elangate	L+V+S	65	15	20	36.847	1.144	230.7	282.3
14	DJF-5	9.1	Irregular	L+V+S	55	20	25	39.615	1.161	241.6	318.2
15	DJF-5	33.6	Irregular	L+V+S	80	5	15	37.341	1.151	227.3	289.1
16	DJF-5	15.2	Spherical	L+V	90	10		21.943	1.002	225.4	
17	DJF-5	12.8	Irregular	L+V	90	10		23.084	1.007	243.6	
	Average	21.5			70.3	12.9	19	35.387	1.144	223.3	285

No.	Sample	Size (µm)	Shape	Phases (30°C)	liquid (%)	Vapour (%)	Halite (%)	Salinity (wt% NaCl equiv)	Density	Th(V→L) (°C)	Th - HI (°C)
1	DJF-6	26.2	Irregular	L+V+S	70	10	20	41.500	1.204	212.1	340.1
2	DJF-6	30.1	Irregular	L+V+S	70	15	15	35.563	1.152	207.3	263.7
3	DJF-6	7.7	Rectangular	L+V+S	55	20	25	36.876	1.138	237.4	282.7
4	DJF-6	20.4	NC	L+V+S	80	5	15	36.276	1.162	203.9	274.2
5	DJF-6	12.3	Spherical	L+V+S	80	10	10	36.725	1.135	238.3	280.6
6	DJF-6	14.4	Elangate	L+V+S	65	10	25	38.040	1.165	219.7	298.4
7	DJF-6	21.7	Elangate	L+V+S	60	15	25	36.408	1.157	209.8	276.1
8	DJF-6	14.8	Rectangular	L+V+S	70	10	20	39.590	1.170	230.5	317.9
9	DJF-6	16.6	NC	L+V+S	50	20	30	40.150	1.163	245.5	324.6
10	DJF-6	7.2	Rectangular	L+V+S	70	10	20	36.962	1.159	214.4	283.9
11	DJF-6	37.7	Rectangular	L+V+S	65	15	20	43.462	1.211	228.1	361.2
12	DJF-6	15.2	Irregular	L+V+S	80	5	15	38.567	1.166	224.6	305.2
13	DJF-6	31.5	Irregular	L+V+S	70	10	20	36.415	1.124	247.2	276.2
14	DJF-6	11.6	Spherical	L+V+S	70	10	20	36.317	1.124	246.9	274.8
15	DJF-6	6.7	Spherical	L+V+S	80	5	15	36.804	1.124	251.7	281.7
16	DJF-6	22.5	Irregular	L+V+S	65	10	25	38.940	1.153	242.8	309.9
17	DJF-6	15.3	Oval	L+V+S	65	15	20	41.110	1.162	256.2	335.6
18	DJF-6	19.7	Elangate	L+V+S	65	15	20	37.880	1.151	233.5	296.3
19	DJF-6	9.1	Irregular	L+V+S	60	20	20	35.858	1.151	210.9	268.1
20	DJF-6	27.4	Irregular	L+V+S	75	10	15	37.364	1.157	221.3	289.4
	Average	18.4			68.25	12	19.75	38.040	1.156	229.1	297.03

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری‌های ميانبارهای سيال در کل نمونه‌ها.

Total	Size (µm)	liquid (%)	Vapour (%)	Halite (%)	Salinity (wt% NaCl equiv)	Density	Th (V→L) (°C)	Th - HI (°C)
Average	19.75	66.3	14.4	19.45	36.914	1.142	235.95	291
Max	82.6	90	30	30	44.372	1.211	374.4	370.5
Min	6.4	25	5	10	21.165	1.000	172.3	222.6

#### ۴-۲. انواع ميانبارهای سيال

بر اساس نوع و درصد فازهای موجود در ميانبارهای سيال (Shepherd et al., 1985) و رفتار ریزدماسنجی آنها، ۳ نوع ميانبار سيال تشخيص داده شده است: ۱) ميانبارهای تک فاز مایع، ۲) ميانبارهای دو فازي غنی از مایع، ۳) ميانبارهای سه فازي حاوی فازهای حالت و احتمالاً سیلیت.

در نمونه‌های مطالعه شده ميانبارهای تک فازي مایع، فراوانی بسیار اندکی دارند؛ کمتر از ۵ درصد ميانبارها را به خود اختصاص می‌دهند و اندازه آنها بین ۶ تا ۱۵ میکرون متغیر می‌باشد. این ميانبارها اغلب به اشکال بیضوی، نامنظم و کروی دیده می‌شوند. ميانبارهای دو فازي غنی از مایع نیز فراوانی کمی دارند و کمتر از ۵ درصد ميانبارها را به خود اختصاص می‌دهند. به طور کلی این ميانبارها از یک فاز مایع و یک فاز بخار تشکیل شده اند که حجم فاز بخار در آنها کمتر از ۱۵ درصد حجم ميانبار می‌باشد. اندازه این ميانبارها بین ۶ تا ۴۵ میکرون متغیر است (شکل ۷- الف). این ميانبارها اغلب به اشکال بیضوی، نامنظم و کروی کشیده دیده می‌شوند. ميانبارهای سه فازي متشکل از فازهای حالت و سیلیت بخش غالب ميانبارهای سيال مشاهده شده در نمونه را تشکیل می‌دهند. این ميانبارها بیش از ۹۰ درصد فراوانی ميانبارها را شامل می‌شوند. به طور کلی از یک فاز مایع و یک فاز بخار و یک فاز جامد (حالت با فرم هگزائدر و به ندرت همراه سیلیت با فرم اکتائدر) تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۸- ب و پ). برای شناسایی حالت از سیلیت، از شکل گرد شده لبه‌های سیلیت و برجستگی پایین‌تر استفاده شد. همچنین دمای انحلال سیلیت معمولاً پایین‌تر است. در این ميانبارها بلورهای حالت بزرگ تر و همچنین دارای فراوانی نسبی بیشتری نسبت به بلورهای سیلیت هستند.

حجم فاز بخار در این ميانبارها غالباً کمتر از ۲۰ درصد حجم ميانبار و حجم فاز جامد کمتر از ۲۵ درصد حجم ميانبار می‌باشد. اندازه آنها بین ۵ تا ۳۵ میکرون متغیر است. هر سه نوع ميانبارهای سيال اغلب بصورت متفرد، تجمعات و در زون‌های رشد کانی مشاهده می‌گردند (شکل ۸- ت).

#### ۴-۳. نتایج مطالعات دماسنجی ميانبارهای سيال

مهم ترین نتایج حاصل از مطالعه ی این سیالات به صورت زیر بوده است:  
 - اندازه ميانبارها ۶/۴ تا ۸۲/۶ میکرومتر و میانگین ۱۹/۷۵ میکرومتر می‌باشد (شکل ۹).  
 - بر اساس نوع و درصد فازهای موجود در ميانبارهای سيال (Shepherd et al., 1985) و رفتار ریزدماسنجی، سه نوع ميانبار سيال تشخيص داده

شده است: نوع اول (I): ميانبارهای دو فازه آبگین (L+V)، نوع دوم (II): ميانبارهای سه فازه (L+V+S) با فاز جامد حالت و نوع سوم (III): ميانبارهای چند فازي (شامل فاز مایع، گاز، حالت، سیلیت، و احتمالاً اریتروسیدریت). ميانبارهای نوع دوم (II) فراوان ترین انواع ميانبارهای سيال هستند و بیشتر مطالعات ریزدماسنجی بر روی آنها صورت گرفته است. دو نوع دیگر فاقد اهمیت هستند.

- با توجه به اینکه تقریباً تمامی ميانبارها بصورت سه فازي و حاوی فاز جامد هستند این مسئله نشان دهنده شوری بالای سيال بوده است.

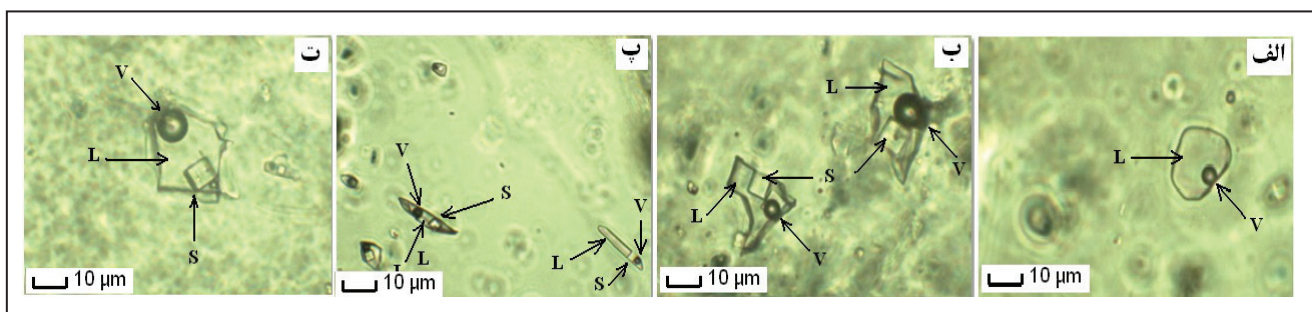
- ميانبارهای سيال این بلورها اغلب دارای نسبت‌های تقریباً ثابتی از مایع و بخار (L/V) هستند که معرف به دام افتادن همگن از سيال آبگین در شرایط تقریباً یکنواخت می‌باشند.

- سیالات موجود در بلورهای کوارتز در محدوده دمایی ۱۷۲ تا ۳۷۴ درجه سانتی‌گراد و به طور متوسط ۲۳۶ درجه سانتی‌گراد همگن می‌شوند (شکل ۹ و جدول ۱). بدین ترتیب رگه‌های حاوی کوارتز و سیالات همراه آنها، در شرایط اپی‌ترمال تا ابتدای هیپوترمال و بطور میانگین در شرایط ابتدای مزوترمال شکل گرفته‌اند.  
 - بر اساس شکل ۱۰- الف نوع نمک موجود در سیالات، اغلب NaCl می‌باشد. همچنین بر اساس شکل ۱۰- ب چگالی سيال حاوی نمک بطور میانگین نزدیک به  $1/15 \text{ g/cm}^3$  تعیین شده است.

- میزان پرشدگی سيال برابر ۷۵٪ از حجم ميانبار است و با توجه به اینکه شوری متوسط سيال (در ميانبارهای دو فازي یا در سيال آبگین ميانبارهای سه فازي) حدود ۲۱ درصد وزنی معادل NaCl است در این صورت چگالی کل  $0/92 \text{ g/cm}^3$  (شکل ۱۰- پ) می‌باشد.

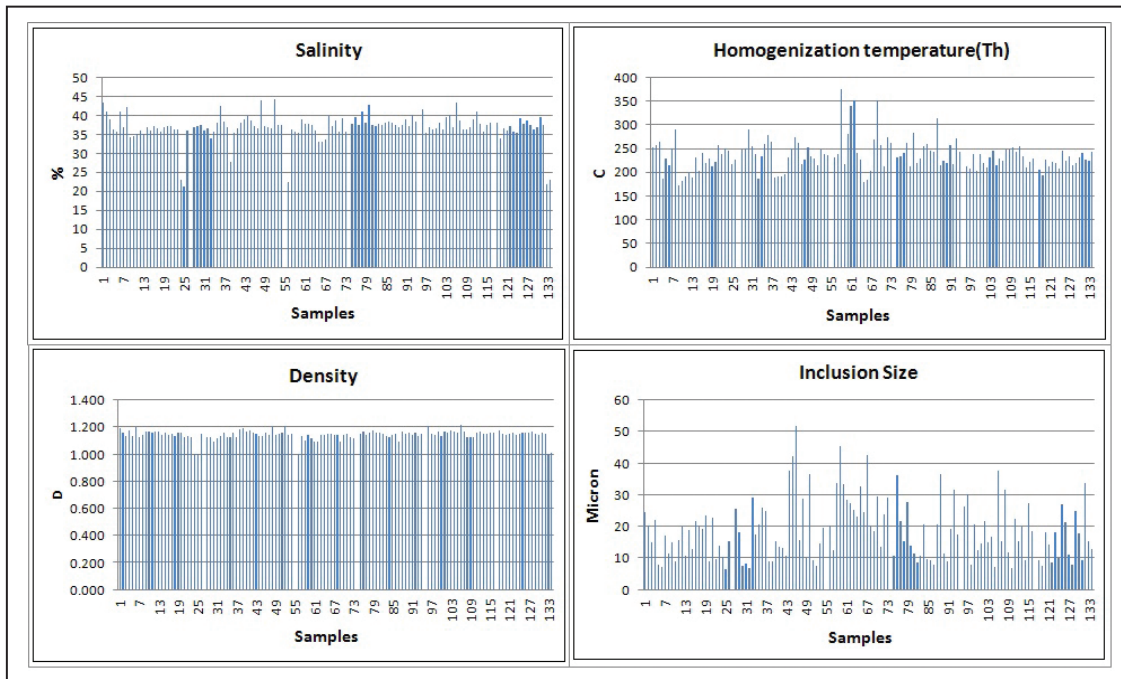
- بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های ميانبارهای سيال در نمونه‌های سیلیس منطقه دهکویه محدوده دمای ذوب یخ در ميانبارهای دو فازي ۱۸- تا ۲۱- با میانگین ۱۹- درجه سانتی‌گراد است. با توجه به این نتایج، میزان شوری بین ۲۱ تا ۲۳ درصد وزنی معادل نمک طعام و در ميانبارهای چند فازي و غنی از NaCl ۲۱ تا ۴۴ با میانگین ۳۷ درصد وزنی معادل نمک طعام به دست می‌آید.

- بر این اساس نمودار Hass (1971) با توجه به دمای جوشش بین ۱۷۲ تا ۳۷۴ و میانگین ۲۳۶ درجه سانتی‌گراد عمق تشکیل بین ۵۰ متر تا ۱۵۰۰ متر و به طور میانگین حدود ۲۰۰ متر تعیین می‌گردد (شکل ۱۰- ت).



شکل ۸- تصویر میکروسکوپی از انواع ميانبارهای سيال با بزرگنمایی ۴۰۰؛ الف) ميانبار سيال با دو فاز مایع و بخار؛ ب) ميانبار سيال با سه فاز مایع، بخار و جامد؛ پ) ميانبار سيال بصورت کشیده و کپسولی؛ ت) بلور نسبتاً درشت حالت در ميانبار که نشان دهنده شوری بالای سيال اولیه می‌باشد.





شکل ۴-۹- نمودار ستونی دمای همگنی، شوری، اندازه میانبارها و چگالی در کل نمونه‌های مطالعه شده.

#### ۴-۴. تعیین محیط گرمایی

دما بالاتر می‌شود. چنین پدیده‌ای در سامانه‌های زیر منحنی جامد رخ می‌دهد (Best, 1982).

تجربیات آزمایشگاهی پیشنهاد می‌کنند که سیالاتی که از نظر چگالی و در نتیجه از نظر شوری تفاوت چشمگیری با هم دارند بی‌نهایت کند با هم مخلوط می‌شوند (Henley and McNabb, 1978). لذا روندهای اختلاط همیشه بخوبی مشخص نیست چون بدام افتادن میانبارهای با شوری متفاوت خیلی محتمل تر از بدام افتادن میانبارهای با شوری متوسط است. در نتیجه اندازه گیری‌های اضافی تأثیر چندانی در بهبود روند کلی نخواهد داشت. بر اساس شکل ۱۰-۱ ج اختلاط محلول‌ها در دهکویه بارز و ناشی از اختلاط محلول‌های داغ با شوری بالا و محلول‌های کم عمق و سطحی با شوری پایین است. پدیده افزایش شوری میانبارهای سیال ناشی از پدیده جوشش بوده که در محیط‌های دگرگونی بسیار رایج در محدوده دمایی ۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز با افزایش چگالی سیال همراه است (Yoo et al., 2011). در چنین شرایطی، میانبارهای تشکیل شده از پدیده کف جوشی، به دلیل کاهش دما یا کاهش فشار، به سمت تشکیل یک سیال چگال تر با شوری بیشتر نسبت به میانبارهای اولیه پیش می‌روند. در واقع خروج فاز گازی و تولید حباب باعث افزایش چگالی سیال باقیمانده می‌شود (Wilkinson, 2001).

#### ۴-۶. منشأ سیالات کانسنگ ساز

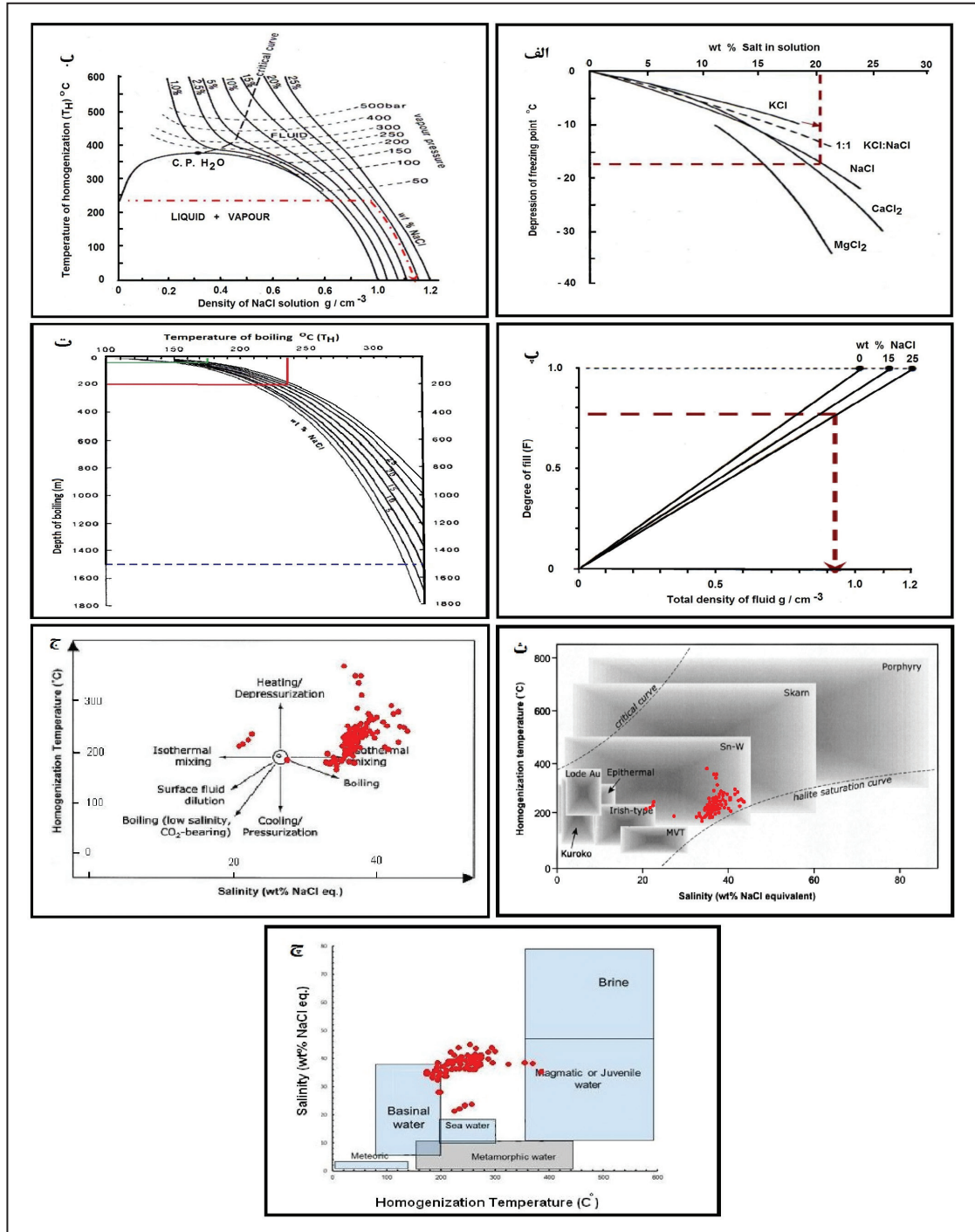
برای تشخیص چگونگی تمرکز مواد معدنی نیاز به درک منشأ و ماهیت سیالات کانسنگ ساز ضروری است. با استفاده از نمودار دوتایی میزان شوری به دمای همگن‌شدگی (شکل ۱۰-۱) می‌توان بدون استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار منشأ سیالات گرمایی را پیش‌بینی کرد (Kesler, 2005). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود بیشتر میانبارهای سیال کانسار دهکویه در محدوده بالای آب‌های دگرگونی با شوری بالا و از نظر دمایی بین محدوده آب‌های فسیل (حوضه‌ای) تا شوراب‌های ماگمایی قرار می‌گیرند که این خود با توجه به شوری بالا و مسئله اختلاط آب‌ها قابل توجه می‌باشد. با توجه به اینکه سیال‌های دگرگونی معمولاً دارای تمرکز پایینی از گوگرد کاهشی است و در ترکیب خود سرشار از  $CO_2$  به صورت فاز کلاتریت در میانبارهای سیال هستند (Moore et al., 1997) بنابراین عدم حضور فاز کلاتریت میانبارهای کانسار دهکویه نیز نشان‌دهنده بیشترین شباهت سیال کانه‌زا با اختلاط آب‌های ماگمایی با آب‌های جوی و یا شوراب‌های حوضه‌ای است.

برای تعیین نوع محیط گرمایی و ذخایر وابسته به این محیط‌ها بر اساس داده‌های ریز داماسنجی و با استفاده از نمودار (2001) Wilkinson داده‌های شوری و دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال در برابر یکدیگر ترسیم شدند (شکل ۱۰-۱). همان‌گونه که در شکل مشخص است اغلب داده‌های ترسیم شده از میانبارهای سیال در محدوده ذخایر مزوترمال (میان دمایی) قرار می‌گیرند. بنابراین محیط گرمایی منطقه مورد مطالعه و ذخایر موجود در آن را می‌توان در گروه ذخایر نوع میان دمایی (Mesothermal) رده‌بندی کرد. از ویژگی‌های این نوع ذخایر، می‌توان به شوری متوسط (۳۰ تا ۷۰ درصد وزنی معادل نمک طعام)، دمای همگن‌شدگی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد (Roedder, 1984)، اندازه کوچک میانبارها (کمتر از ۲۰ میکرومتر)، میانبارهای چند فاز و غنی از NaCl، حضور فاز کلاتریت در میانبارهای سیال میان دمایی (Sun et al., 2013) و ارتباط با پدیده‌های زمین‌ساختی ناحیه‌ای گسل‌های عادی و معکوس اشاره کرد. بنابراین منشأ سیالات تشکیل دهنده آنها بیشتر آب‌های ماگمایی، دگرگونی، یا اختلاط اینها با آب‌های جوی یا فسیل می‌باشد (Kesler, 2005).

#### ۴-۵. تغییرات چگالی و تحول سیال کانسنگ ساز

بررسی تغییرات چگالی با استفاده از نمودار (Zhang and Frantz 1987) در تعیین روند تکامل سیال گرمایی مهم است. این تغییرات در نمودار شکل ۱۰-۱ ج نشان داده شده که مشابه نمودار (Roedder 1984) بوده اما بر مبنای تغییرات چگالی تنظیم شده است. ترسیم داده‌ها در این نمودار و جهت‌گیری ترجیحی آنها می‌تواند فرآیندهایی را نشان دهد که با تحول سیال باعث نهشت کانه‌ها شده است. طبق این نمودار بازه متغیر چگالی از کمتر از ۰/۹ تا بیش از ۱/۲  $gr/cm^3$  بوده و روند تحول سیال گرمایی منجر به نهشت دیرزاد کانه‌های مس و آهن در کانسار دهکویه شده است.

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود کاهش دمای همگن‌شدگی از ۳۷۴ به ۱۷۲ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش چگالی از ۰/۹ به ۱/۲  $gr/cm^3$ ، کاهش سرعت سیال کانه ساز و در نهایت باعث تمرکز و رسوب مواد معدنی می‌گردد. این ویژگی همچنین باعث کاهش ثابت دی‌الکتریک سیال و در نهایت نهشت بلورها شده است. کف جوشی در سیالات گرمایی طی و افشارش رخ داده و باعث خروج مواد فرار به‌ویژه  $H_2O$  و  $CO_2$  به دلیل کاهش انحلال‌پذیری آنها در فشار کمتر می‌گردد. طی این پدیده خروج مواد فرار از سیال گرمایی باعث ایجاد دگرسانی با حضور کانی‌های



شکل ۱۰- الف) افت نقطه انجماد آب خالص به عنوان تابعی از درصد نمک موجود در محلول برای  $\text{NaCl} + \text{KCl} + \text{CaCl}_2$  و  $\text{MgCl}_2$ . بر اساس نقطه انجماد سیال در این میانبارها، میانگین نمک در سیال میانبارهای دو فازی ۲۱ درصد می‌باشد (Clynne and Potter, 1977)؛ ب) نمودار دما - چگالی برای محلول‌های  $\text{NaCl}$  که ارتباط بین دمای همگن شدن (TH) آنکلوژیون‌های آبگین ( ) چگالی محلول  $\text{NaCl}$  درصد وزنی  $\text{NaCl}$  در محلول و فشار بخار محلول در دمای (TH) را نشان می‌دهد. بر اساس میانگین دمای همگن شدن (۲۳۶ درجه سانتی‌گراد) و درصد شوری (۲۱٪ وزنی نمک طعام) چگالی سیال نمکی میانبارهای سیال دو فازی  $1/15 \text{ g/cm}^3$  به دست می‌آید (Shepherd et al., 1985)؛ پ) ارتباط بین درجه پرشدگی (F) در دمای ۲۵ و چگالی کل محتویات میانبار، برای محلول‌های  $\text{NaCl}$  دار مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به درصد شوری میانبارهای سیال و درجه پرشدگی ۷۵٪ چگالی کل سیال درگیر  $0.95 \text{ g/cm}^3$  بدست می‌آید (Bodnar, 1983)؛ ت) منحنی‌های جوشش برای محلول‌های  $\text{NaCl}$  که ارتباط بین دمای جوشش یا (TH) و عمق جوشش را برای سیستمی تحت شرایط هیدرواستاتیک نشان می‌دهند (Hass, 1971). بر این اساس با توجه به دمای جوشش بین ۱۷۲ تا ۳۷۴ و میانگین ۲۳۶ درجه سانتی‌گراد عمق تشکیل بین ۵۰ تا ۱۵۰۰ متر و بطور میانگین حدود ۲۰۰ متر تعیین می‌گردد؛ ث) نمودار شوری در مقابل دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال و قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده ذخایر میان‌دمایی (مزوترمال) (Roedder, 1984)؛ ج) نمودار Zhang and Frantz (1987) محدوده تغییرات چگالی سیال کانستنگ ساز و تأثیر فرایندهای سردشدگی و جوشیدن (Wilkinson, 2001)؛ چ) تعیین نوع سیال کانستنگ ساز با استفاده از میزان شوری در مقابل دمای همگن‌شدگی (Kesler, 2005).

## ۵- نتیجه گیری

اهمیت گنبد‌های نمکی ایران تنها منحصر به وجود نمک در آن نیست بلکه اغلب از جهت عناصر فلزی بخصوص آهن نیز مهم هستند. در گنبد نمکی دهکویه علاوه بر کانه‌زایی آهن به صورت همزاد و لایه‌ای شکل، کانه‌زایی دیرزاد آهن و مس بصورت محدود در شکستگی‌ها و پرشدگی فضاها خالی و زبانه‌های نفوذ یافته تشکیل شده است. این کانه‌زایی دیرزاد به خصوص با دگرسانی نوع سیلیسی همراه است. به همین دلیل، جهت مطالعه و تعیین شرایط تشکیل این نوع کانه‌زایی، مطالعات میانبرهای سیال مورد نظر قرار گرفت. زیرا میانبرهای سیال بیشتر به عنوان بازمانده‌ای از سیالات اولیه‌ای که کانی از آن نهشته شده است، شرایط محیط اولیه زمین شناختی را بازگو می‌کنند.

بررسی روی نمونه‌های گرفته شده از باطله کوارتزی همراه با کانی‌های سولفیدی آهن و مس، دمای همگن شدن (TH) را که در حقیقت نشان‌دهنده دمای جوشش محلول کانه‌ساز است در محدوده ۱۷۲ تا ۳۷۴ و میانگین ۲۳۶ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید که معرف شرایط اپی‌ترمال تا ابتدای هیپوترمال و به طور میانگین ابتدای مزوترمال است.

با توجه به اینکه دمای ذوب یخ (TM) در کانسار دهکویه بین ۱۸- تا ۲۱- درجه سانتی‌گراد و میانگین حدود ۲۰- به دست آمده است. بنابر این میزان شوری محلول آنها بین ۲۱ تا ۴۴ درصد وزنی معادل نمک طعام و میانگین حدود ۳۷% معادل NaCl می‌باشد. به دلیل این شوری بالا تقریباً تمامی میانبرها بصورت سه فازی و حاوی بلورهای نسبتاً درشت کاملاً مکعبی شکل نمک هستند که نشان دهنده غلظت بالای نمک در اینگونه سیالات است. فشار تشکیل کانسار بین ۲۰ تا ۵۰۰ بار و عمق تشکیل کانسار ۵۰ تا ۱۵۰۰ متر و میانگین ۲۰۰ متر به دست می‌آید. با مقایسه تغییرات شوری و دمای همگن شدن شستگی سیالات درگیر، احتمالاً

محلول‌های گرمایی تشکیل دهنده کانسار به دلیل شوری بالا، منشأ آب‌های ماگمایی دارند که در اثر تغییر چگالی و فشارهای تکتونیکی به حرکت در آمده و در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌های موجود به سمت بالا صعود و در ضمن صعود نمک‌های مسیر خود را نیز حل کرده‌اند و شوری آن افزایش یافته است. محتوی فلزات این سیالات با شستشوی سنگ‌های قدیمی که در اثر دگرشکلی و تکتونیزه شدن آمادگی لازم برای از دست دادن بخشی از فلزات خود را پیدا کرده‌اند، افزایش یافته است و سپس کمپلکس‌های فلزی حمل شده در اثر مخلوط شدن با آب‌های جوی و احتمالاً کاهش فشار ناپایدار گردیده و فلزات همراه رسوب کرده‌اند و در نهایت کانی‌سازی دیرزاد در درون گسل‌ها و شکستگی‌ها و بخش‌های انحلال یافته آهکی صورت گرفته است.

به دلایل متعدد، حجم اصلی توده کانسار آهن هماتیته بصورت همزاد (سین‌ژنتیک) و در اثر فعالیت‌های آتشفشانی-رسوبی زیر دریایی تشکیل شده است و پس از نهشت ذرات تشکیل دهنده سنگ همراه با کانه‌های آهن به صورت چینه‌سان، در اثر فرایندهای کوهزایی و ساختاری گنبد نمکی، محلول‌های داغ غنی از نمک مجدداً بخشی از مواد فلزی و ترکیبات گوگردی را از سنگ‌های مسیر و طبقات کانه‌دار شسته و سپس به صورت دیرزاد (اپی ژنتیک) در فضاها خالی و شکستگی سنگ میزبان برجای گذاشته‌اند. در طی این فرایندها و واکنش این محلول‌ها، علاوه بر کانی‌های اکسیدی آهن، کانی‌های سولفیدی مس و آهن نیز تشکیل شده است. در اثر فرایندهای سوپرژن، از اکسیداسیون سولفیدهای مس، کانی‌های کربنات مس نیز بصورت مالاکیت و آزوریت تشکیل شده‌اند. با توجه به اینکه کانی‌سازی دیرزاد آهن با آثاری از مس محدود به سنگ‌های سری هرمز می‌باشد، به نظر می‌رسد که این فعالیت‌ها احتمالاً قبل از تشکیل سنگ‌های جوان دوره ترشیاری صورت گرفته است.

## کتابنگاری

- آفازاده، م. و پدرزاده، ز.، ۱۳۸۹- معرفی افق‌های کانه‌زایی مس رسوبی در ایران، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. آفاباتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۶۲۲ ص.
- اویسی، ب. و یوسفی، ت.، ۱۳۸۶- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ لار، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- کریمی، م. و نوری، ک.، ۱۳۹۴- گزارش اکتشاف آهن در گنبد نمکی دهکویه (لار-فارس)، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان فارس، ۲۴۸ ص.
- نخبة‌الفقهای، ع.، نظافتی، ن.، قربانی، م. و اعتمادی، ب.، ۱۳۹۵- مطالعه ژئوشیمی، کانی‌شناسی و میانبرهای سیال ژیبس و نمک گنبد‌های نمکی منطقه لارستان، فصلنامه زمین‌شناسی محیط زیست، سال دهم، شماره ۳۶، ص. ۴۱ تا ۵۴.
- نخبة‌الفقهای، ع.، نظافتی، ن.، قربانی، م.، اعتمادی، ب. و ارجمندزاده، ر.، ۱۳۹۵- منشأ هالیت با معرفی کانی‌های گلوپریت و ساسولیت در گنبد نمکی لارستان، مجله رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۸، ص. ۱۱ تا ۲۱.

## References

- Ahmadzadeh Heravi, M., Houshmandzadeh, A. and Nabavi, M. H., 1990- New Concepts of Hormuz Formation Stratigraphy and The Problem of Salt Diapirism in South Iran, Symposium in Southern Iran, A. A. P. G. Bull., Vol. 58, No. 9, Pp. 1758- 1770.
- Ala, M. A., 1974- Salt Diapirism in Southern Iran. AA PG Bull. Vol. 58, PP. 1758-1770.
- Arian, M. and Noroozpour, H., 2015- Tectonic Geomorphology of Iran's Salt Structures, Open Journal of Geology, 5, 61-72.
- Bakker, R. J., 1997- Clathrates: Computer programs to calculate fluid inclusion V-X properties using clathrate melting temperatures. Computers and Geosciences, V. 23, 1- 18.
- Bakker, R. J., 2003- Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties: Chemical Geology 194 , 3- 23.
- Best, M. G., 1982- Igneous and metamorphic petrology, New York: W. H. Freeman and company, 630p.
- Bodnar, R., 1983- A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PV-T-X properties of inclusion fluid. Economic Geology 78: 535-542.



- Brown, P. E., 1989- FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data, *American Mineralogist*, V. 74, p. 1390-1393.
- Clyne, M. A. and Potter, R. W., 1977- Freezing point de-pression of synthetic brines. *Geol. Soc. Am., Abstr. Pro-grams* 9, 30.
- Darvishzadeh, A., 1990- Geological features Infracambrian Persian Gulf salts. *Proceedings of the Symposium diapirism with special regard to Iran*.
- Harrison J. V., 1930- The geology of some salt plugs in Laritsan, South Persia, *Geol. Soc. London, Quart. Jour.*, 86, 465-522.
- Hass, J. L., 1971- The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure, *Economic Geology*, V. 66, p. 940- 946.
- Henley, R. W. and McNabb, A., 1978- Magmatic vapor plumes and ground-water interactions in porphyry copper emplacement: *Economic Geology*, v. 73, p. 1-20.
- Kesler, S. E., 2005- Ore-forming fluids: *Elements*, v. 1, p. 13-18, doi: 10.2113/gselements.1.1.13.
- Moore, J. N., Nomian, D. I., Kennedy, B. M. and Adams, M. C., 1997- Origin and chemical evolution of The Geysers, California. *hydrothermal fluids: Implications from fluid inclusion gas compositions. Geotherm. Resources Council Trans.* 21, 635-64 1.
- Oberin, C. A., 1957- Salt diapirism in South Persia", *Geologie eu mijnbouw*, 1 , 212- 238.
- Pirajno, F., 2009- *Hydrothermal processes and mineral systems*: Springer, New York, 1273p.
- Player, R. A., 1969- The Hormuz Salt Plugs of southern Iran. MS, PhD. Thesis, 300 pp. Reading Univ. Reading.
- Roedder, E., 1979- Fluid inclusions as samples of ore fluids: In H. L. Barnes (Ed), *Geochemistry of Hydrothermal Ore deposits*: John Wiley and Sons, p. 684- 737.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusion. review in mineralogy. *Mineralogical Society of America, Book Crafters, Inc., Chelsea, Michigan*, 644 P.
- Roedder, E., 1958- Technique for the extraction and partial chemical analysis of fluid filled inclusion from minerals. *econ.geol.* 53, 235-269.
- Shepherd, T., Rankin, A. H. and Alderton, D. H. M., 1985- *A practical guide to fluid inclusion studies*: Blackie, USA Champan and Hall, New York, 239p.
- Sterner, S. M. and Bonder, R. J., 1984- Synthetic fluid inclusions in natural quartz. I. Compositional types synthesized and applications to experimental geochemistry, *Geochim et Cosmochim. Acta*, V. 48, p. 2659-2668.
- Stocklin, J., 1972- Iran Central, septentrional et Oriental. *Lexique stratigraphique International*", III, Fascicule, Centre National de recherche Scientifique, Paris 9b, Iran , 1-283.
- Sun, T., Zhang D. B. and Wentzcovitch, R. M., 2013- Dynamical stabilization of cubic CaSiO<sub>3</sub> perovskite at high temperatures and pressures, *Abstract in International Conference on 3-D Wave Propagation and Imaging through the Earth's Interior*, Wuhan, China.
- Talbot, C., 2009- potash in salt mushroom at Hormoz strait, Iran, *Journal of ore geology review* 35, 317-332.
- Talbot, C. J. and Alavi, M., 1996- The Past of Future Syntax is Across The Zagros. "In: *Salt Tectonics*. (Edited by Aesop, G. I. Blundell, D. J. and Davison, I.), *Geol. Soc. Spec. Pub. No. 10*. 10, 89-109.
- Walshe, J. L. and Hobbs, B. E., 1999- Hydrothermal systems, giant ore deposits and a new paradigm for predictive mineral exploration. *CSIRO Exploration and Mining Research Reviews* 30-31.
- Waltham, T., 2008- Salt terrains of Iran, *Geology today*, vol. 24 ,No. 5, 188-194.
- Wilkinson, J. J., 2001, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: *Lithos*, V. 25, p. 229- 272.
- Yoo, B. C., Brown, P. E. and White, N. C., 2011- Hydrothermal fluid characteristics and genesis of Cu quartz veins in the Hwanggangri metallogenic district, Republic of Korea: mineralogy, fluid inclusion and stable isotope studies. *Journal of Geochemical Exploration* 110 (3), 245- 259.
- Zhang, Y. G. and Frantz, J. D., 1987- Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl- KCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O using synthetic fluid inclusions. *Chem. Geol.*, 64, 335-350.

# Thermobarometric properties of epigenetic mineralization based on fluid inclusion data in Dehkoyeh salt dome, Lar, Fars province

M. Jabbarian<sup>1</sup>, M. Karimi<sup>2\*</sup>, M. Lotfi<sup>3</sup> and K. Noori Khankahdani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Geology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Geology, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Geology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 2017 August 01

Accepted: 2018 February 05

## Abstract

Dehkooye salt dome is located 30 km northeast of Lar in Fars province, Iran. The salt dome occurred in Zagros folded zone where infracambrian thick evaporate strata (Hormoz series) intruded Cenozoic sedimentary rocks. Core of the dome mainly made up of salt and gypsum and overlain by marl, gypsum, limestone, and dolomitic formations. Besides primary stratiform mineralization, epigenetic iron and copper mineralization occurred mostly within dolomitic lime stone members in the cap rock of the salt dome in Hormoz Formation. Ore mineralogy is simple and includes hematite, minor goethite, and sparse occurrence of magnetite. Chalcopyrite is evident as minor phase. Samples for fluid inclusion studies were collected from sulfide-bearing quartz veins and veinlets. According to homogenization temperature (Th: 172-374 ° C with average 374° C), which in fact represents the boiling point of the irrigation solution, indicate the epithermal to the beginning of hypothermal conditions and the mean of the beginning of the mesothermal. The depth formation of deposit was between 50 to 1500 meters and an average of about 200 meters. The hydrothermal solutions forming the ore deposit, due to their high salinity, have the origin of magmatic brine that have been displaced because of low density and tectonic pressures. This solutions have climbed upwards along faults and fractures and after being mixed with meteoric waters, epigenetic mineralization is created.

**Keywords:** Dehkooye, Salt dome, Epigenetic mineralization, Iron, Fluid inclusion.

For Persian Version see pages 289 to 300

\*Corresponding author: M. Karimi; E-mail: karimimehrdad63@yahoo.com