

## دماسنجی بر پایه ماکل کلسیت و سیال‌های درگیر در باریت (کانسار سرب - روی ایرانکوه، جنوب‌باختری اصفهان)

هنگامه حسینی‌دینانی \* و علیجان آفتابی

بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

### چکیده

ایالت معدنی سرب و روی ایرانکوه در ۲۰ کیلومتری جنوب‌باختری شهر اصفهان، در پهنه سندانج- سیرجان و در توالی کرتاسه پیشین منطقه فلززایی اصفهان- ملایر جای دارد. کانسنگ معدنی در مرز گسلیده میان شیل ژوراسیک و کربنات‌های کرتاسه است. این کانسار از کانی‌های اسفالریت، گالن، پیریت، باریت، کلسیت، دولومیت، کوارتز، مقدار اندکی مارکازیت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، ژپس، مالاکیت، هماتیت و گوئتیت ساخته شده است. کانی‌سازی به‌گونه‌ی رگه و رگچه‌های گرمابی کانه‌دار در ارتباط با کانه‌های فلزی با شکستگی‌ها و گسل‌ها دیده می‌شود. در این پژوهش، دمای پیدایش کانسار (با به‌کارگیری ماکل کلسیت و سیال‌های درگیر درون باریت) و نیز خاستگاه کانسار بررسی شده است. داده‌های ماکل کلسیت و سیال‌های درگیر در باریت دمای همسانی را برای سیال کانه‌ساز نشان می‌دهند. این داده‌ها نشان‌دهنده آمیزش دو سیال با دما و شوری متفاوت در فرایند اصلی ته‌نشست سولفیدهای فلزی هستند. سیال‌های درگیر نشان‌دهنده بازه دمایی ۸۰ تا ۱۶۶ درجه سانتیگراد، شوری ۲۰/۹۴-۵/۳۹ درصد وزنی معادل نمک‌طعام و چگالی ۱/۱۲-۰/۹۵ برای کانسار ایرانکوه هستند. این کانسار به کانسارهای گروه MVT شباهت بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: ماکل کلسیت، سیال‌های درگیر در باریت، منطقه معدنی روی-سرب ایرانکوه، پهنه سندانج-سیرجان

### مقدمه

کوه‌های ایرانکوه، با روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری، از جنوب‌خاوری فلاورجان تا گردنه لاشتر، با درازایی نزدیک به ۲۵ کیلومتر و پهنای ۴ کیلومتر کشیده شده‌اند. هر دو یال این رشته کوه دارای کانسنگ سرب و روی است. مهم‌ترین آنها تپه‌سرخ، گردنه و گوشفیل

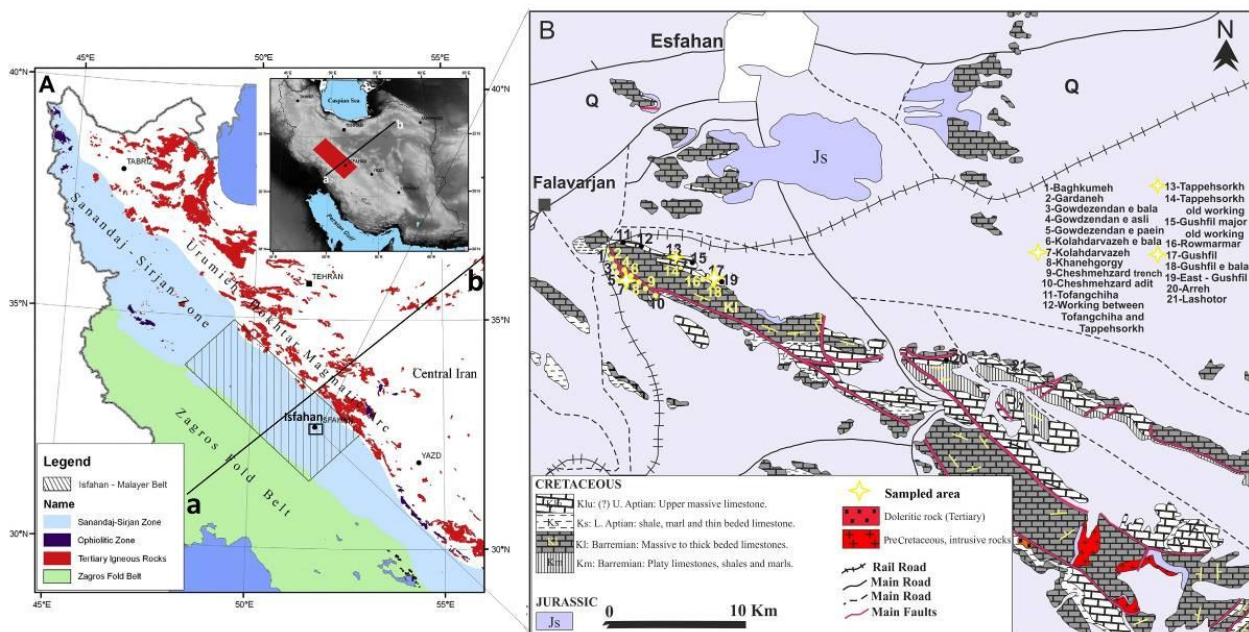
ایالت معدنی سرب و روی ایرانکوه در ۲۰ کیلومتری جنوب‌باختری شهر اصفهان و در طول جغرافیایی ۴۶' ۳۱" تا ۵۱' ۳۰" ۴۵° و عرض جغرافیایی ۲۲' ۳۷" تا ۳۲' ۵۳" ۲۸' ۳۲° جای دارد (شکل ۱). رشته

\* hengameh.hosseini@yahoo.com, aftabi@mail.uk.ac.ir

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

پژوهش عبارتند از: (۱) نقش کانی‌شناسی در شناسایی شرایط پیدایش کانی‌ها و سنگ‌ها؛ (۲) اندازه‌گیری دمای پیدایش کانی‌ها با به‌کارگیری همزمان از ماکل کلسیت و سیال‌های درگیر در باریت و مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده از آنها؛ (۳) شناسایی خاستگاه کانسار.

در یال شمالی و کلاه دروازه، گودزدندان و خانه‌گرگی در یال جنوبی هستند (شکل ۱). اندوخته این کانسار بیش از ۱۰ میلیون تن با ۱۱/۴ درصد روی و ۲/۴ درصد سرب است و نسبت Zn/Zn+Pb بالا و نزدیک به ۰/۷۶ دارد (Ghazban *et al.*, 1994). مهم‌ترین هدف‌های این



شکل ۱- (A) جایگاه پهنه‌های سندج-سیرجان، اصفهان-ملایر و منطقه ایرانکوه در جنوب‌باختری اصفهان بر روی بخشی از نقشه زمین‌شناسی ایران؛ (B) نقشه زمین‌شناسی منطقه ایرانکوه، با تغییرات پس از Zahedi (۱۹۷۶). همه کانسارهای ایرانکوه با شماره در نقشه نشان داده شده‌اند.

کلسیت را می‌توان به چهار گروه گوناگون رده‌بندی کرد (شکل ۲):  
 (۱) گروه اول (I) دارای باریکه‌های مستقیم هستند و دمای زیر ۲۰۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد؛  
 (۲) گروه دوم (II) پهن‌تر بوده و دمای بیشینه ۳۰۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد؛  
 (۳) گروه سوم (III) در دمای بالای ۲۰۰ درجه سانتیگراد پدیدار می‌شود و خمیدگی آنها پیامد فعالیت لغزشی سطوح است؛  
 (۴) گروه چهارم (IV) در دمای بیشتر از ۲۵۰ درجه سانتیگراد و در پی باز تبلور پدید می‌آیند (Burkhard, 1993).

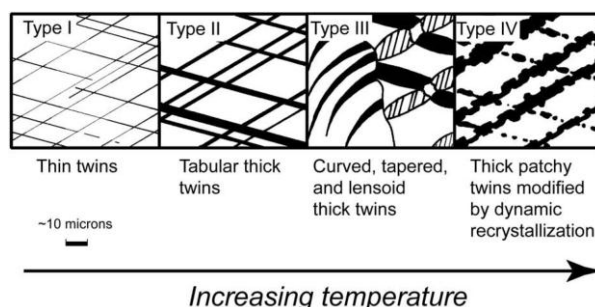
اگرچه دماسنجی برپایه ماکل کلسیت روش دقیقی نیست و نمی‌توان به آن استناد کرد؛ اما می‌توان از این روش برای ارزیابی دمای تقریبی سیال سازنده آن بهره گرفت. میانگین پهنای ماکل کلسیت با دمای دگرشکلی آن وابستگی مستقیم دارد؛ به‌گونه‌ای که ماکل‌های با پهنای کم در دمای کمتر از ۱۷۰ درجه سانتیگراد و ماکل‌های پهن‌تر در دمای بیشتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد ساخته می‌شوند. در دمای بالاتر از ۲۵۰ درجه سانتیگراد، تبلور دینامیک، دگرشکلی مهمی را در کلسیت پدید می‌آورد (Ferrill *et al.*, 2004). برپایه رده‌بندی Burkhard (۱۹۹۳)، ماکل‌های

را  $17-22 \text{ wt\% NaCl}$  به‌دست آوردند.

برپایه شواهد بافتی، همزادبودن (سین‌ژنتیک)، Rastad (۱۹۸۱) شرایط پیدایش کانسارهای ایرانکوه و خاستگاه سرب و روی آن را خشکی‌های پیرامون حوضه دانسته است؛ اگرچه خاستگاه آتشفشانی آنها را نیز رد نمی‌کند. برپایه خاستگاه غیردریایی Sr، ایزوتوپ‌های پایدار و وابستگی کانسنگ با گسل ایرانکوه، Ghazban و همکاران (۱۹۹۴) برای این منطقه خاستگاه اپی‌ژنتیک را پیشنهاد کرده‌اند و شواهدی ارائه داد که نشان‌دهنده جای‌داشتن این کانسار در گروه کانسارهای MVT است. برپایه رخداد کانه‌زایی سولفیدی در راستای گسل‌ها، Reichert (۲۰۰۷) رویداد کانه‌زایی کانسارهای ایرانکوه را اپی‌ژنتیک دانسته است. برپایه شواهد بافتی، ساختی و وابستگی سنگ میزبان با ماده معدنی، Boveiri Konari و همکاران (۲۰۱۵) کانسار تپه سرخ را همانند کانسارهای نوع سدکس می‌دانند. از آنجایی که تا اکنون بررسی سیال‌های درگیر بر روی باریت‌های منطقه ایرانکوه انجام نشده است، در این پژوهش نمونه‌های این کانی که همراه با کانی‌زایی سولفیدی بوده‌اند به کار برده شده‌اند.

### زمین‌شناسی منطقه

ایالت معدنی سرب - روی ایرانکوه در پهنه سنج - سیرجان و در توالی کرتاسه پیشین منطقه فلززایی اصفهان - ملایر جای دارد (Momenzadeh, 1976) (شکل ۱). کانه‌زایی سرب و روی در هر دو یال رشته کوه ایرانکوه دیده می‌شوند. بر خلاف کانسارهای دامنه شمالی (گردنه، تپه سرخ و گوشفیل)، بخش بزرگی از کانسنگ در کانسارهای دامنه جنوبی (خانه‌گرگی، گود زندان و کلاه‌دروازه)، کربنات روی و کمی کربنات سرب است. نسبت کربنات به سولفید در بخش بالایی ماده معدنی بیشتر است و با افزایش ژرفا سولفیدها بیشتر می‌شوند. این رخداد را می‌توان پیامد فرایندهای



شکل ۲- نمایش تاثیر دما بر دگرشکلی ماکل‌های کلسیت (Burkhard, 1993; Ferrill et al., 2004)

بیشتر ماکل‌هایی که در دمای کمتر از  $170^\circ\text{C}$  درجه دگرشکل شده‌اند باریک هستند و در زیر میکروسکوپ، به‌صورت خطوط سیاه باریک دیده می‌شوند. سبب این ماکل‌ها در فاصله قائم میان مرزها اندازه‌گیری می‌شود و معمولاً کمتر از  $1 \mu\text{m}$  هستند. با دگرشکلی آزمایشی کلسیت در دمای  $300^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد، افزایش پهنای ماکل تا  $5 \mu\text{m}$  برابر روی می‌دهد (Groshong et al., 1984). پهنای ماکل‌های سستبر از فاصله میان لبه‌های درونی مرز ماکل‌ها اندازه‌گیری می‌شود و معمولاً از  $1 \mu\text{m}$  تا بیشتر از  $10 \mu\text{m}$  است. در این بررسی، برای رده‌بندی ماکل‌ها از روش Groshong و همکاران (۱۹۸۴) و Ferrill و همکاران (۲۰۰۴) بهره گرفته شده است.

سیال‌های درگیر از مهم‌ترین روش‌های ارزیابی محلول‌های کانی‌ساز هستند (Wilkinson, 2001). Ghazban و همکاران (۱۹۹۴)، برپایه سیال‌های درگیر در دولومیت زمین‌اسبی کانسار گوشفیل، دمای همگن شدن  $120-90^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد و شوری نزدیک به  $10 \text{ wt\% NaCl}$  را برای سیال‌های آن به‌دست آوردند. Rajabzadeh (۲۰۰۷)، سیال‌های درگیر را در باریت و فلوریت کانسار MVT کمشچه در ایران مرکزی بررسی و با به‌کارگیری آن ترکیب سیال کانه ساز را شناسایی کرد. Teimouri Asl و همکاران (۲۰۱۱)، دمای همگن شدن سیال‌های درگیر درون کلسیت کانسار ایرانکوه را  $160-100^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد و شوری

محدوده به آسانی شناسایی می‌شود و مهم‌ترین واحد مرتبط با کانه‌زایی است. این واحد فسیل نداشته و ستبرای چشمگیری دارد (Ghazban *et al.*, 1994)؛

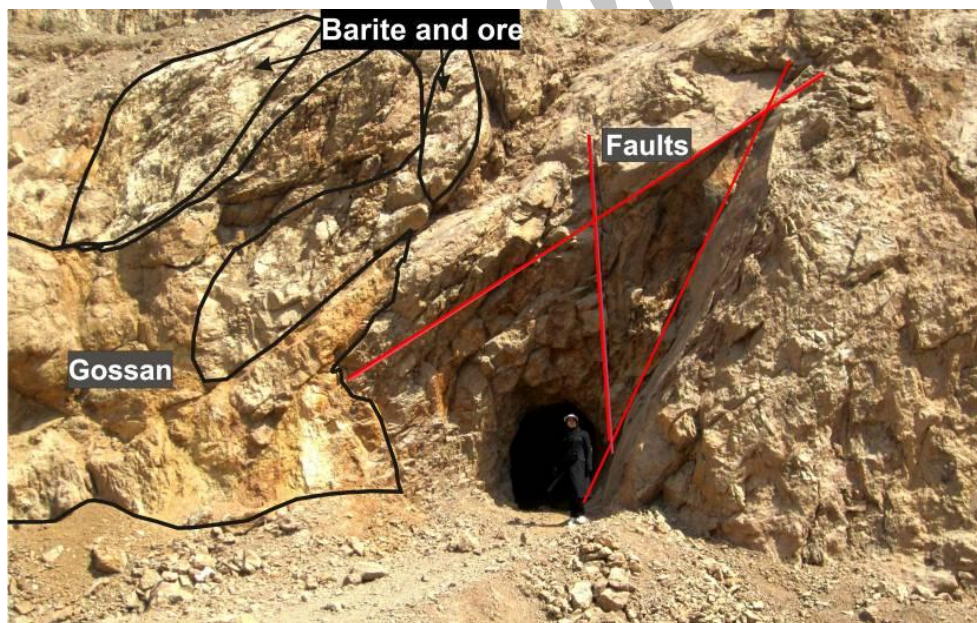
(۲) سنگ آهک فسیل‌دار با سن کرتاسه پیشین (دوکفه‌ای، اربیتولینا، جلبک، تکستولاریا، میلیولیدا، اकिनودرم و رودیست) و خاکستری روشن. توده‌های عدسی‌شکل در میان دولوستون‌ها جای دارند (Ghazban *et al.*, 1994). شیل‌های سیاه‌رنگ با سن کرتاسه در کانسار کلاه‌دروازه رخنمون دارد.

گسل‌ها و چین‌ها از روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری گسل رورانده اصلی زاگرس و گسل‌های پهنه سندانج- سیرجان پیروی می‌کنند (شکل ۱). شکل ۳ ارتباط صحرایی رگه‌ها و عدسی‌های باریت را با کانی‌زایی و گسلش نشان می‌دهد.

هوازدگی، اکسیداسیون و فرسایش کانسنگ بیشتر در دامنه جنوبی دانست.

کانسنگ رگه‌ای در مناطق گسلیده کربنات‌های دولومیتی‌شده کرتاسه پیشین رخ داده است (شکل ۱). دولومیتی‌شدن که نقش مهمی در پیدایش تخلخل لازم برای کانی‌زایی داشته است؛ با آزادشدن منیزیم پدیدآمده از جایگزینی کانی‌های رسی و آب‌زدایی شیل و واکنش با کلسیت رخ داده است. شیل و ماسه‌سنگ سازند شمشک، به سن ژوراسیک پسین، از کهن‌ترین سنگ‌های رخنمون‌یافته در منطقه هستند. این سنگ‌ها با توالی پیش‌رونده کرتاسه پیشین دگرشیب پوشیده شده‌اند. کربنات‌های کرتاسه به دو شکل متفاوت در منطقه نمود دارند:

(۱) واحد کربنات دولومیتی قهوه‌ای روشن که در



شکل ۳- نمای صحرایی از ارتباط باریت با کانی‌زایی و گسلش در منطقه ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان)

### روش انجام پژوهش

نمونه‌برداری برای کانی‌شناسی و بررسی سیال‌های درگیر از سه کانسار کلاه‌دروازه، تپه سرخ و گوشفیل انجام و ۶۴ مقطع نازک، نازک - صیقلی و صیقلی از سه منطقه سولفیدی،

سولفیدی- اکسیدی و اکسیدی ساخته شد. شمار ۱۹ مقطع دوبر صیقل از باریت منطقه سولفیدی کانسارهای تپه‌سرخ، کلاه‌دروازه و گوشفیل (و یک نمونه کوارتز برای رگه‌دارای مالاکیت) همزمان با کانه‌زایی با ضخامت ۰/۳-۰/۵ میلی‌متر آماده شد

مونت‌موریلونیت)، فلدسپار (آلیت)، کمی سربسیت، کوارتز، مواد آلی بیتومینی و مقدار اندکی پیریت فرامبوئیدال است. آهک فسفیل‌دار کرتاسه دارای کلسیت، دولومیت، باریت، به‌همراه کمی تکه‌های تخریبی (میکا، فلدسپار، کوارتز و رس)، است. سنگ‌های کربناتی کانسار دچار دگرسانی دولومیتی و سیلیسی شدن شده‌اند؛ به‌گونه‌ای که دولوستون منطقه‌ای کمتر از ۵ سانتیمتر از مرز کانسنگ را با بافت «فلفل نمکی» (ترکیبی از بلورهای لوزی‌شکل دولومیت در زمینه‌ای از کوارتز و مواد معدنی) می‌سازد (شکل ۴). این سنگ‌ها دارای بیش از ۸۰ درصد بلورهای خاکستری-سفید دولومیت زین‌اسبی (شکل ۴) پرکننده فضای خالی، جانیشینی و رگه‌ای - رگچه‌ای هستند. اندازه بلورهای دولومیت گرمابی از ۰/۲۵ تا نزدیک ۲ میلی‌متر تغییر می‌کند.

کلسیت، دولومیت، باریت و کوارتز مهم‌ترین کانی‌های سازنده این واحدهای کربناته هستند که در ادامه اندکی به شرح آنها پرداخته می‌شود (جدول ۱). در این منطقه، سه نسل کلسیت با بافت‌های توده‌ای، رگه‌ای و رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی می‌توان دید (شکل ۵):

(۱) نخستین نسل، کلسیت (i) در سنگ میزبان است. این نسل همراه با فسفیل‌های گوناگون پدید آمده است؛

(۲) کلسیت‌های رگه‌ای (ii) که سنگ میزبان و کلسیت اولیه (رسوبی) را قطع می‌کنند و به پنج گروه رده‌بندی می‌شوند: (الف) رگه‌های کلسیت و بی کانی‌های تیره؛ (ب) رگه‌های کلسیت همراه با کانی‌های تیره؛ (پ) رگه‌های کلسیت همراه با کوارتز؛ (ت) رگه‌های کلسیت همراه با ایلیت؛ (ث) رگه‌های کلسیت همراه با باریت؛

(۳) کلسیت‌های نسل سوم (iii) پرکننده فضای خالی و رگه‌ای روی داده‌اند (شکل ۵).

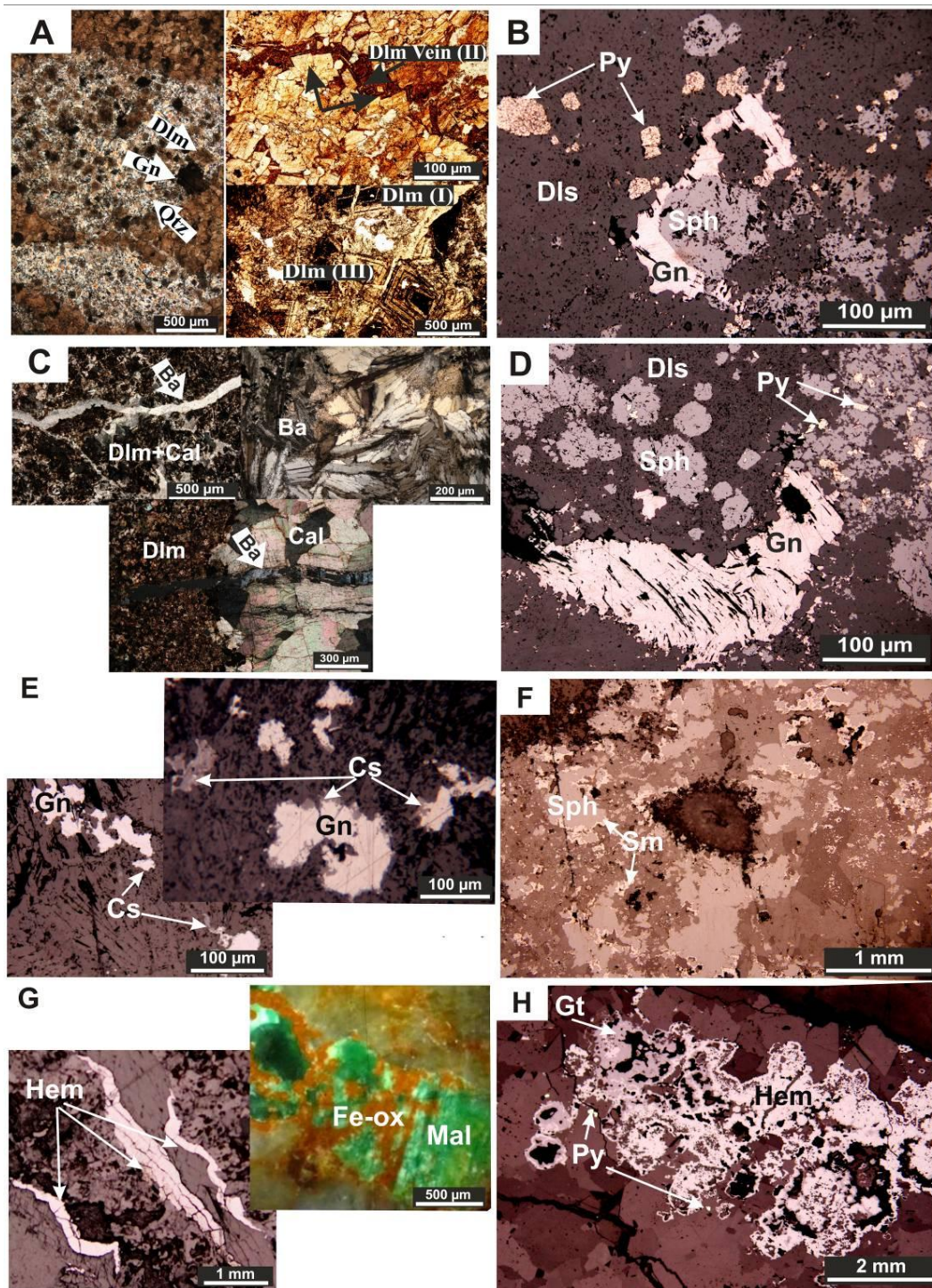
که پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری و عکس‌برداری از روی لام جدا شدند. به‌علت ریزبودن سیال‌های درگیر در نمونه‌ها، بررسی‌های میکروترمومتری برای تنها ۷ نمونه امکان‌پذیر بود (جدول ۳).

سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و دماسنجی با به‌کارگیری میکروسکوپ‌های پلاریزان مدل Olympus BX60 و دستگاه Linkam مدل THM600 در دانشگاه شهید باهنر کرمان و مرکز تحقیقات و فراوری مواد معدنی ایران انجام شد. دامنه دمایی این دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتیگراد است. این دستگاه مجهز به دو سامانه تنظیم گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)، مخزن ازت (برای پمپ نیتروژن، برای انجماد) و مخزن آب (برای خنک‌کردن دستگاه در دمای بالا) است. دقت صفحه گرمایش ۰/۶± درجه است و با نیترات‌سزیم (با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه سانتیگراد) انجام شد. انجماد با دقت ۰/۲± درجه و در حضور نمونه شاهد آن-هگزان (n-Hexane)، با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه‌سانتیگراد، انجام شد. برای شناسایی غلظت‌های عناصر فرعی در باریت، ۷ نمونه از همان نمونه باریت‌هایی که بررسی سیال‌های درگیر بر روی آنها انجام شد، خرد شدند. سپس با به‌کارگیری دست و گاه در زیر میکروسکوپ، باریت‌های بسیار خالص (نزدیک به ۱۰۰٪) جدا شدند. این نمونه‌ها، برای انجام تجزیه ۵۵ عنصری و با به‌کارگیری گدازش پراکسیدسیدیم و ترکیبی از روش‌های ICP-AES و ICP-MS به آزمایشگاه SGS کانادا فرستاده شدند.

### سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی

شیل‌های ژوراسیک و سنگ‌های کربناتی مهم‌ترین سنگ‌های دربرگیرنده ماده معدنی هستند؛ به‌گونه‌ای که رگه‌های گالن - اسفالریت - باریت در مرز گسلیده میان آنها پدید آمده‌اند (Hosseini Dinani et al., 2015). شیل ژوراسیک ایرانکوه دارای رس (ایلیت، کائولینیت ±

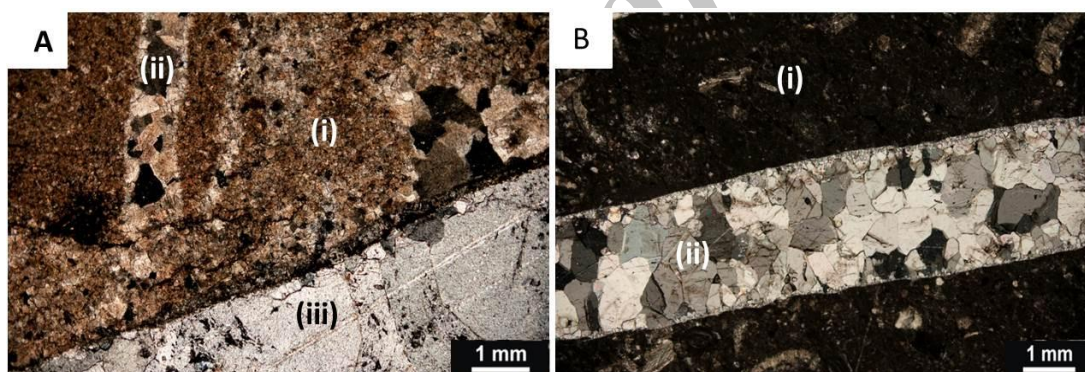




شکل ۴- تصویرهای میکروسکوپی از کانی‌های اصلی سازنده سنگ‌ها و مواد معدنی در ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان). (A) دولومیت‌های (Dlm) گوناگون و بافت فلفل‌نمکی؛ (B) اسفالریت (Sph)، گالن (Gn) و پیریت (Py) در سنگ میزبان دولوستون (Dls) در منطقه سولفیدی؛ (C) باریت (Ba) توده‌ای و رگچه‌های قطع‌کننده دولومیت و کلسیت (Cal) گرمابی؛ (D) اسفالریت، گالن و پیریت در سنگ میزبان کربنات دولومیتی در منطقه سولفیدی؛ (E) جانشینی سروزیت (Cs) به جای گالن در منطقه انتقالی اکسیدی - سولفیدی؛ (F) جانشینی اسمیت‌زونیت (Sm) به جای اسفالریت در منطقه انتقالی اکسیدی - سولفیدی؛ (G) هماتیت (Hem)، ملاکیت (Mal) و اکسیدهای آهن در منطقه اکسیدی؛ (H) جانشینی گوئتیت (Gt) و هماتیت به جای پیریت در منطقه اکسیدی (نماد کانی‌ها از Kretz, ۱۹۸۳)

جدول ۱- جدول کانی‌های همایند (پاراژنز) در منطقه ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان) بر پایه بررسی‌های میکروسکوپی و صحرایی

Minerals	Diagenetic	Mineralization	
		Epigenetic	Supergene
Calcite (L)	●	●	
Dolomite (L)	●	●	
Galena		●	
Sphalerite		●	
Pyrite (Sh)	●	●	
Barite		●	
Smithsonite			●
Cerussite			●
Anglesite			●
Hematite			●
Goethite			●
Quartz (Sh)	---	●	
Jasperoids		---	



شکل ۵- نمایش (تصویرهای PPL) نسل‌های کلسیت با بافت‌های گوناگون در منطقه ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان). (A) به ترتیب زمان پیدایش، کلسیت میزبان اولیه، کلسیت رگه‌ای که آن را قطع کرده و کلسیت رگه‌ای دانه درشت‌تر؛ (B) کلسیت رگه‌ای در سنگ آهکی اولیه فسیل‌دار

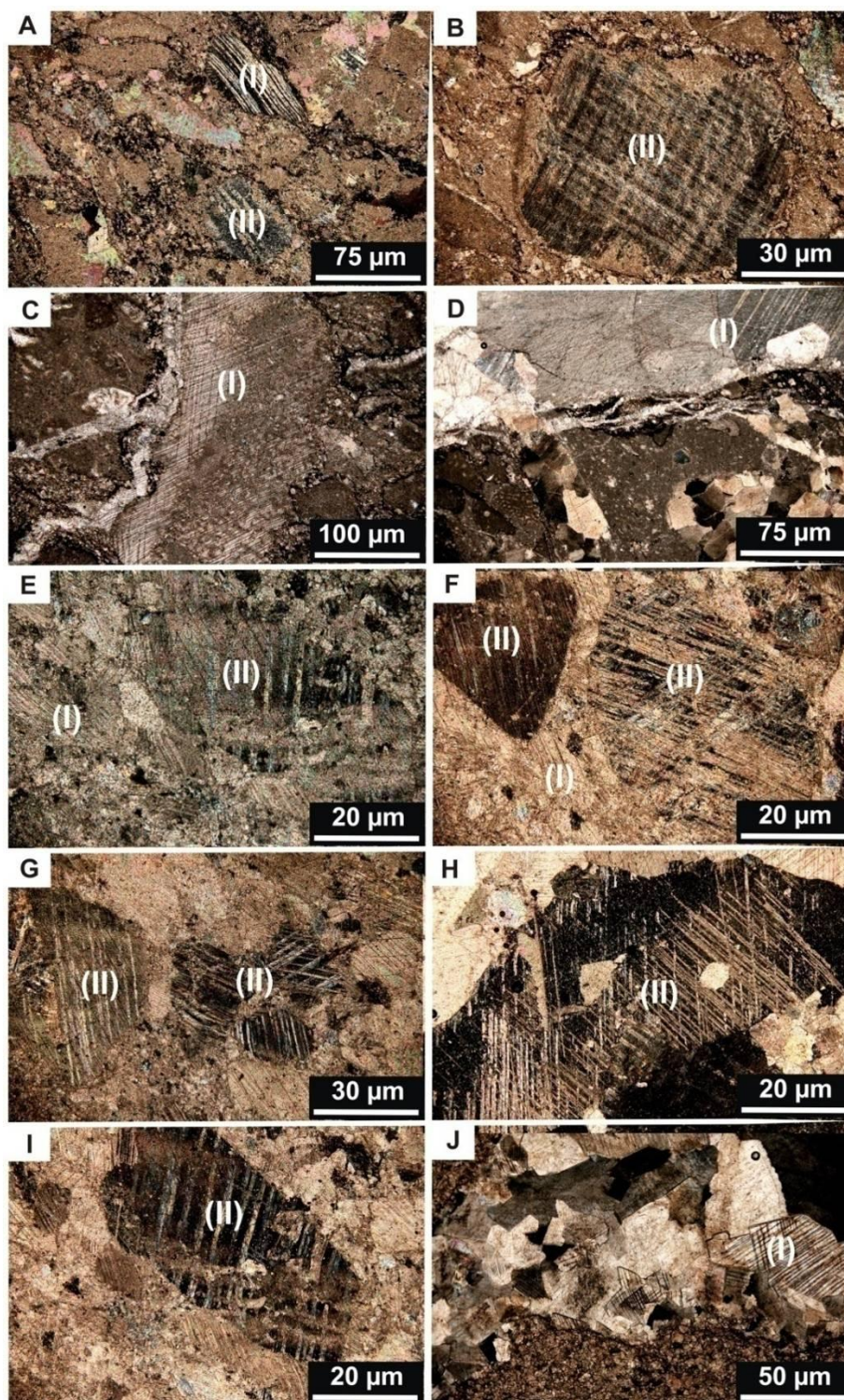
دولومیت با دولومیت زین‌اسبی پوشیده می‌شود و پیش از کانه‌زایی سولفیدی پدید آمده است؛ (۳) دولومیت‌های زین‌اسبی دانه درشت که با کانی‌های سولفیدی همراه هستند (شکل ۴). برپایه پیشنهاد Ghazban و همکاران (۱۹۹۴)، همراهی این دولومیت با اسفالریت و بیتومین، یک خاصیتگاه تأخیری (اپی ژنتیک) را نشان می‌دهد.

سه دسته دولومیت در منطقه دیده می‌شود (شکل ۳):  
 (۱) دولومیت‌های متوسط تا ریزبلور که بیشترین پراکندگی را در منطقه دارند و کانسنگ به بخش زیرین این واحد محدود می‌شود؛  
 (۲) تک‌بلورهای درشت‌دانه و خودشکل دولومیت با بافت دانه‌شکری و قطر ۵۰ تا ۲۰۰ میکرومتر که در مرز با منطقه کانه‌زایی سولفیدی دیده می‌شوند. این نوع



باریت‌های درشت رگه‌ای همراه با کانی‌های سولفیدی دیده می‌شود. کوارتز در منطقه ایرانکوه با سنگ میزبان و به شکل رگه‌های گرمابی و ژاسپروئید همراه است.

تصویر بافتی و ساختی باریت بیشتر همراه با کانسنگ، در توده‌های عدسی شکل متمرکز می‌شود که به شکل جانشینی (گهگاه با بافت جارویی؛ شکل ۴) و



شکل ۶- نمایی از انواع ماکل‌های I و II در کلسیت گرمابی در منطقه ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان)



منطقه، ماکل‌های گروه اول و دوم را نشان می‌دهند. این ماکل‌ها در دمای کمتر از ۱۷۰ درجه سانتیگراد پدید آمده‌اند.

جدول ۲- مقادیر پهنای ماکل و شدت ماکل کلسیت در منطقه ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان)

Sample No.	Twin intensity (N/mm)	Twin width( $\mu$ )
1	91	1.2
2	88	0.9
3	85	0.8
4	82	1.2
5	78	1
6	76	0.6
7	74	0.3
8	72	0.4
9	73	0.4
10	69	0.6
11	69	0.6
12	64	0.8
13	60	0.2
14	55	0.4
15	55	0.6
16	56	0.7
17	52	0.7
18	65	1.8
19	64	1.8
20	35	1.2
21	31	0.6
22	39	2.2
23	55	3
24	22	3.9
25	29	0.8
26	22	0.5

شدت ماکل‌ها در سنگ‌هایی که در دمای بالای ۲۰۰ درجه سانتیگراد دگرشکل می‌شوند، گهگاه از ۴۰ تا در یک میلیمتر بیشتر می‌شود. نمونه‌هایی که در دمای کمتر از ۱۷۰ درجه سانتیگراد دگرشکل شده‌اند، میانگین پهنای ماکل کمتر از ۱ میکرون دارند.

کانه‌زایی در ایرانکوه بیشتر پرکننده فضای تهی در راستای گسل‌ها و شکستگی‌هاست و به شکل یک عدسی ناهمشیب است که در مرز میان شیل و کربنات دولومیتی شده جای گرفته است. توالی کانه‌زایی سولفیدی از اسفالریت، گالن، پیریت و کمی مارکازیت ساخته شده است. از کانی‌های ناسولفیدی نیز می‌توان باریت، دولومیت، اسمیت، زونیت، سرروزیت، هماتیت، گوئیت (شکل ۴)، کمی کوارتز، مالاکیت، آزوریت و ژیپس را نام برد (جدول ۱).

### بحث

#### (الف) دماسنجی بر پایه ماکل کلسیت و سیال‌های درگیر در باریت

در این بررسی، اندازه بلورهای کلسیت گرمایی همزمان با کانی‌زایی آزمایش شده، از ۴۰ تا ۵۰۰ میکرون است (شکل ۶). با به‌کارگیری پهنای و شدت ماکل می‌توان دمای کانی‌زایی را ارزیابی، مقایسه و تفسیر کرد. پهنای میانگین ماکل برای یک نمونه با به‌دست‌آوردن میانگین پهنای ماکل برای هر مجموعه و متوسط میانگین‌های مجموعه ماکل‌ها به‌دست می‌آید. میانگین هر مجموعه ماکل از جمع پهنای ماکل‌های باریک و ضخیم و تقسیم کل مجموعه‌ها بر تعداد کل آنها به‌دست می‌آید. شدت ماکل (سطوح ماکل/mm) برای هر مجموعه ماکل با تقسیم شمار ماکل‌ها در یک مجموعه (ضخیم و باریک) به پهنای دانه میزبان در راستای عمود بر ماکل اندازه‌گیری می‌شود. در دمای بالا، کلسیت ماکل‌های ضخیم با شدت ماکل کم را نشان می‌دهد و در دمای کم وارونه است. وابستگی میان آنها را می‌توان در جدول ۲ دید.

برپایه این جدول و شکل ۷، بیشتر نمونه‌های

بزرگ، تخت و نامنظم دوباره تعادل یافته و در راستای خاصی به میانبرهای کوچکتر تقسیم می‌شوند (شکل ۸).

برپایه فازهای دیده‌شده در دمای اتاق، در این نمونه‌ها سیال‌های درگیر عبارتند از (شکل ۹):

(I) تک فاز مایع (L)؛

(II) تک فاز گاز (V)؛

(III) دو فازی مایع-گاز (L+V، سرشار از مایع)؛

(IV) دو فازی گاز - مایع (V+L، سرشار از گاز)؛

(V) سه فازی مایع + گاز + بلور (نوع V؛ گهگاه دیده شد).

سیال‌های درگیر بیشتر از گروه دو فازی و سرشار از مایع با حباب بخار (L+V) هستند. حباب بخار نزدیک به ۱۰ تا ۲۰ درصد حجم میانبر را فراگرفته است. برپایه رابطه زیر، درجه پرتدگی آنها (F) نزدیک به ۹۰ تا ۸۰ درصد است (Shepherd *et al.*, 1985; Alfons, 2001; ) (Bagheri, 2011):

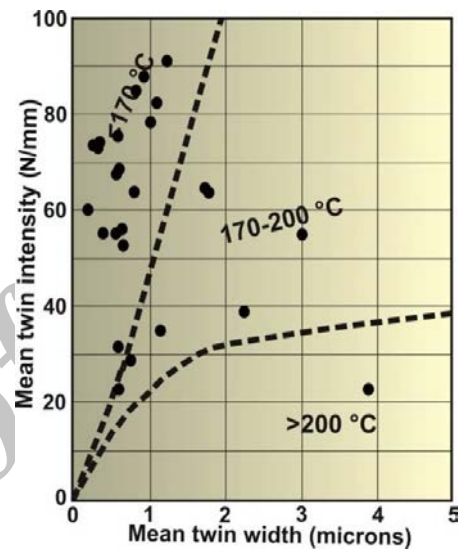
$$F = (V_L / V_L + V_V) \times 100 \rightarrow$$

$$F = (0.8 / 8.2) \times 100 = 80 \%$$

$V_L$  و  $V_V$  به ترتیب نشان‌دهنده حجم فاز مایع و حجم فاز بخار هستند.

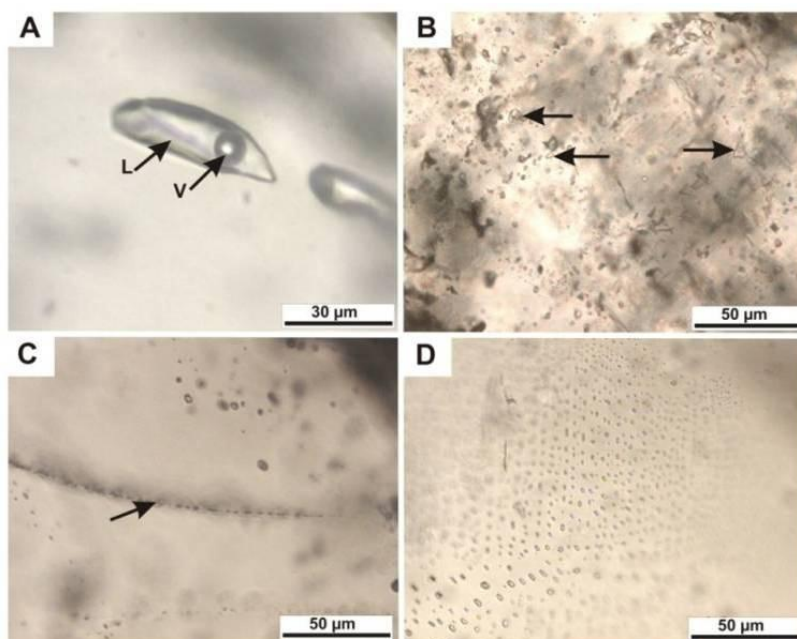
برپایه معیارهای Shepherd و همکاران (۱۹۸۵)، سیال‌های درگیر نخستین در هنگام رشد بلور به دام می‌افتند؛ اما سیال‌های درگیر ثانویه می‌توانند در هر زمان پس از رشد بلور میزبان به دام افتاده باشند. سیال‌های درگیری که در شکاف‌های ریز پدید می‌آیند را سیال‌های درگیر ثانویه دروغین می‌نامند. در این بررسی، بیشتر سیال‌های درگیر از نوع اولیه هستند که در هنگام پیدایش بلور به دام افتاده‌اند. نمونه‌هایی از میانبرهای اولیه و ثانویه باریت در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.

نمونه‌هایی که در دمای بیش از ۲۰۰ درجه سانتیگراد دگرشکل شده‌اند، شدت ماکل‌شان ۰ تا ۴۰ در یک میلی‌متر بوده و در بازه گسترده‌ای از واتنش هستند. پس دمای سیال گرمایی می‌تواند پیدایش ماکل‌های کلسیت را در پی داشته باشد و دمای دگرشکلی را می‌توان همان دمای پیدایش کلسیت، اسفالریت و گالن دانست.

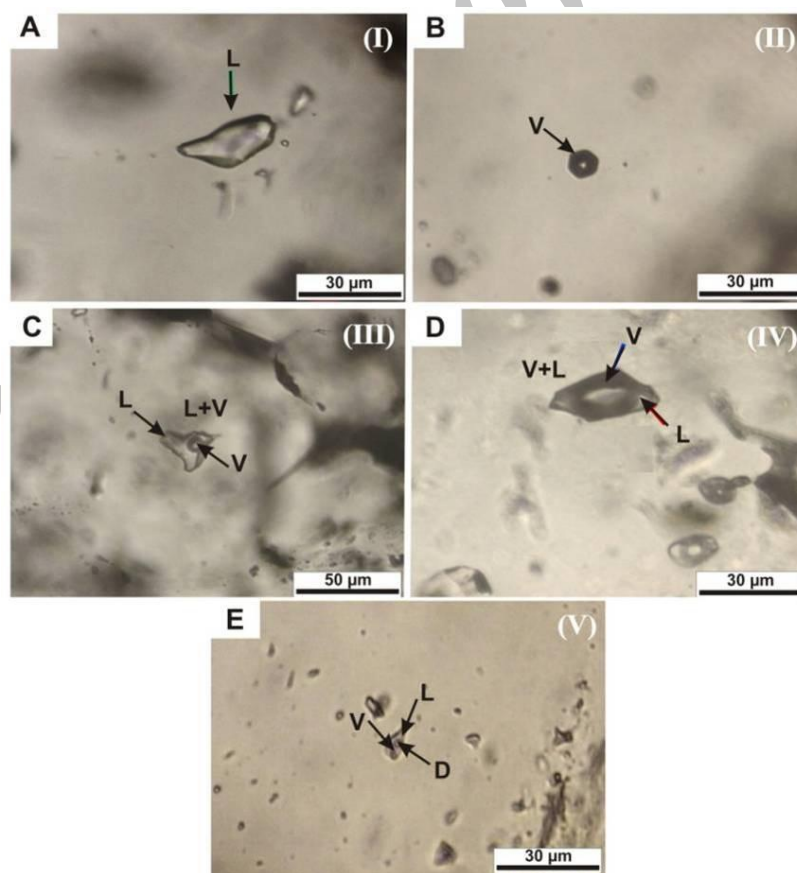


شکل ۷- میانگین پهنای ماکل کلسیت گرمایی در برابر میانگین شدت ماکل‌های آن. برپایه این شکل بیشتر نمونه‌ها در بازه دمایی کمتر از ۱۷۰ درجه سانتیگراد، کمی از آنها در بازه دمایی ۱۷۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد و گهگاه در بیش از ۲۰۰ درجه سانتیگراد پدید آمده‌اند (نمودار از Ferrill و همکاران، ۲۰۰۴)

سیال‌های درگیر را می‌توان با معیارهای دیداری، مانند اندازه، شکل، رنگ، شاخص انکساری و به‌ویژه با فازها در دمای اتاق، توصیف کرد (Alfons *et al.*, 2001). اندازه سیال‌های درگیر در باریت‌های عدسی و رگه‌ای از ۱ تا ۳۰ میکرون متغیر است. اندازه بیشترشان نزدیک به ۴ تا ۱۲ میکرون است و گاه به ۳۵ میکرون می‌رسد. همچنین، بی‌شکل، نامنظم و گاه دارای شکل‌های کشیده هستند (شکل ۸). پدیده گردن‌یافتگی نیز در میانبرها دیده می‌شود که در آن میانبرهای



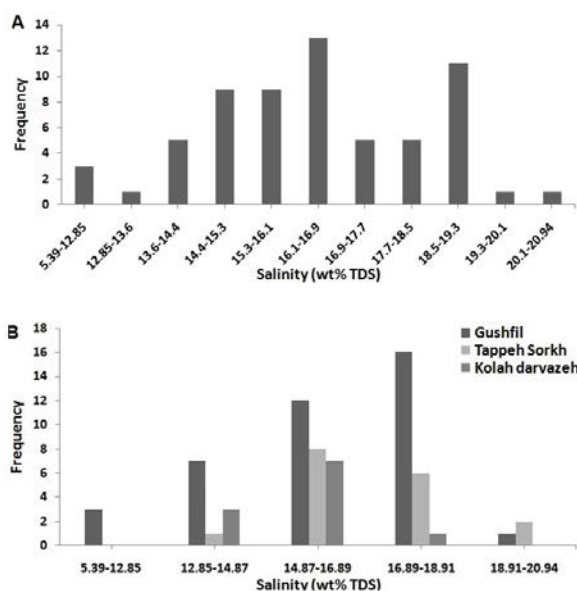
شکل ۸- نمایی از سیال‌های درگیر گوناگون در باریت همزمان با کانه‌زایی ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان): (A) سیال‌های درگیر نخستین با پدیده گردن‌یافتگی؛ (B) سیال‌های درگیر نخستین بسیار ریز؛ (C) سیال‌های درگیر ثانویه خطی؛ (D) سیال‌های درگیر ثانویه صفحه‌ای



شکل ۹- سیال‌های درگیر گوناگون از دیدگاه تعداد فاز در باریت همزمان با کانه‌زایی ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان): (A) تک‌فازی مایع (نوع I)؛ (B) تک‌فازی گاز (نوع II)؛ (C) دو فازی مایع+گاز (نوع III)؛ (D) دو فازی گاز + مایع (نوع IV)، (E) سه‌فازی مایع + گاز + بلور هالیت (نوع V)



سیال‌های درگیر، دمای نزدیک به ۸۰ تا ۱۶۶ درجه سانتیگراد را برای تبدیل به فاز مایع نشان می‌دهد؛ یعنی  $L+V \rightarrow L$ . نمودار این بازه دمایی در شکل ۱۱ نشان داده شده است که دمای همگن‌شدن را به ترتیب در کلاه‌دروازه ۱۱۰-۸۸ درجه سانتیگراد با میانگین ۱۰۲/۷۱ درجه سانتیگراد، در تپه سرخ میان ۱۶۲-۱۱۰ درجه سانتیگراد با میانگین ۱۳۴ درجه سانتیگراد و در گوشفیل ۱۶۴-۸۰ درجه سانتیگراد با میانگین ۱۱۸/۰۵ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نمودار شوری سیال‌های درگیر در باریت. (A) کل کانسار ایرانکوه و (B) معادن ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان)

برای به‌دست‌آوردن دمای به‌دام‌افتادن سیال‌های درگیر، باید تصحیح فشار، چگالی و ترکیب محلول را انجام داد؛ اما شکل سیال‌ها و ماهیت فضای باز کانی‌زایی نشان می‌دهد که کانی‌زایی در ژرفای کمتر از اندازه‌ای است که تصحیح فشار بتواند تغییری در دماهای یکنواختی پدید آورد (Shepherd *et al.*, 1985). از این‌رو، دماهای همگن‌شدن هم‌اندازه یا نزدیک به دماهای به‌دام‌افتادن سیال در هنگام پیدایش بلورهاست.

## (ب) بررسی‌های دماسنجی، شوری و چگالی سیال‌های گرمابی

**ارزیابی شوری:** نمودار آب-نمک، بهترین روش برای ارزیابی شوری میانبارهای آبگین است؛ زیرا کاهش نقطه انجماد آب خالص وابستگی مستقیم با مقدار نمک در محلول دارد (Clynne and Potter, 1977; Bagheri, 2011). این روش با اندازه‌گیری دمای ذوب‌نهایی یخ (TLM) در هنگام گرمایش دوباره میانبارهایی که پیش از این منجمد شده‌اند امکان‌پذیر است. در سیستم‌های نمک-آب، نخستین پیدایش مایع پس از انجماد کامل (TFM) و ذوب که معادل دمای یوتکتیک است باید دانسته شود. اندازه‌گیری شوری برپایه دمای ذوب آخرین قطعه یخ که با دمای انجماد همخوانی دارد انجام می‌شود. کمترین دمایی که در آن، این پدیده رخ می‌دهد، نشان‌دهنده بالاترین مقدار شوری است. پس از منجمدکردن کامل نمونه‌ها و گرمایش آنها در دمای TLM از ۸۰- تا ۹۰- درجه سانتیگراد و با به‌کارگیری نمودار Shepherd و همکاران (۱۹۸۵) و نرم‌افزار FLINCOR، مقدار شوری در بازه ۵/۳۹ تا ۲۰/۹۴ درصد وزنی معادل نمک کل به‌دست آمد (شکل ۱۰ و جدول ۳). مقادیر میانگین شوری در گوشفیل، تپه‌سرخ و کلاه‌دروازه به ترتیب ۱۶/۵۲، ۱۷/۰۴ و ۱۵/۴۲ درصد وزنی معادل نمک‌طعام به‌دست آمد.

**ارزیابی دمای همگن‌شدن:** هدف اصلی بررسی‌های گرمایش، اندازه‌گیری دمای نهایی همگن‌شدن است (دمایی که در آن، میانبار، یک سیستم تک‌فازی می‌شود). این دما، همان دمای کل همگن‌شدن مایع-بخار است؛ اما برای میانبارهای دارای کانی‌نوزاد، دمای انحلال نمک نیز می‌تواند باشد. آزمایش گرمایش روی

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال‌های درگیر در باریت کانسار ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان)

Deposit	Size ( $\mu\text{m}$ )	Tm ice ( $^{\circ}\text{C}$ )	TDS wt%	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Homogenization type	Type
(Goushfil)	5	-11.1	15.07	110	1.06	L+V→L	P
	8	-14.1	17.86	115	1.07	L+V→L	P
	7	-15.2	18.73	120	1.08	L+V→L	P
	7	-3.2	5.39	160	0.95	L+V→L	P
	12	-12	15.95	128	1.05	L+V→L	P
	5	-15.2	18.78	110	1.08	L+V→L	P
	5	-15.2	18.78	115	1.08	L+V→L	P
	5	-3.2	5.39	150	0.95	L+V→L	P
	5	-3.2	5.39	155	0.95	L+V→L	P
	13	-11.5	15.47	125	1.05	L+V→L	P
	10	-11.5	15.47	120	1.05	L+V→L	P
	8	-14.5	18.2	124	1.07	L+V→L	P
	8	-13	14.98	130	1.01	L+V→L	P
	10	-13.5	17.33	115	1.07	L+V→L	P
	6	-13.8	17.59	130	1.06	L+V→L	P
	8	-11.4	15.37	115	1.05	L+V→L	P
	8	-13	16.88	125	1.06	L+V→L	P
	7	-13	16.88	120	1.06	L+V→L	P
	8	-14	17.77	141	1.05	L+V→L	P
	8	-14	17.77	120	1.07	L+V→L	P
7	-12.5	16.42	115	1.06	L+V→L	P	
12	-13.5	17.33	135	1.05	L+V→L	P	
8	-13	16.88	115	1.07	L+V→L	P	
8	-15	18.61	105	1.09	L+V→L	P	
13	-14	17.77	110	1.08	L+V→L	P	
(Kolah Darvazeh)	7	-11.2	15.17	88	1.07	L+V→L	P
	8	-11.5	15.47	108	1.06	L+V→L	P
	6	-12.5	16.42	110	1.07	L+V→L	P
	6	-10.8	14.77	105	1.06	L+V→L	P
	6	-11.2	15.17	94	1.07	L+V→L	P
	7	-12.5	16.42	110	1.07	L+V→L	P
	20	-12	15.95	104	1.07	L+V→L	P
	4	-10	13.94	90	1.06	L+V→L	P
	6	-10.2	14.15	93	1.06	L+V→L	P
	6	-11.2	15.17	102	1.06	L+V→L	P
7	-13.2	17.06	106	1.07	L+V→L	P	
Malachite -Bearing Vein	5	-10	13.99	220	0.95	L+V→L	P
	6	-8.5	12.28	180	0.98	L+V→L	P
	5	-12	15.95	172	1.01	L+V→L	P
	8	-14.2	17.94	186	1.02	L+V→L	P

جدول ۳- ادامه

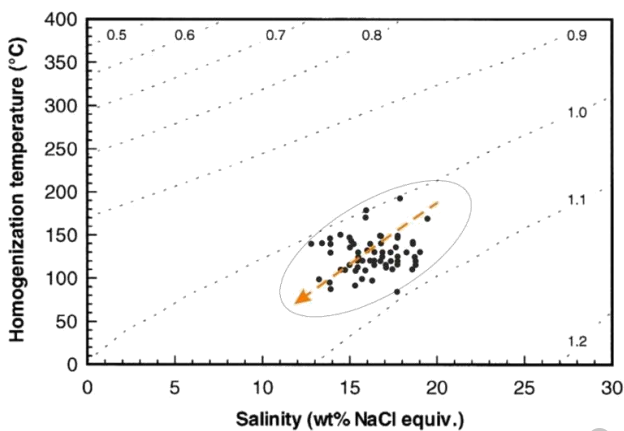
Deposit	Size ( $\mu\text{m}$ )	Tm ice ( $^{\circ}\text{C}$ )	TDS wt%	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Homogenization type	Type
(Tapeh Sorkh)	5	-11.2	15.17	133	1.04	L+V→L	P
	6	-15	18.61	134	1.07	L+V→L	P
	7	-15	18.61	135	1.06	L+V→L	P
	5	-13	16.88	143	1.04	L+V→L	P
	5	-10.5	14.46	145	1.03	L+V→L	P
	6	-14	17.77	144	1.05	L+V→L	P
	5	-15	18.61	120	1.08	L+V→L	P
	7	-13.2	17.06	110	1.07	L+V→L	P
	7	-13	16.88	135	1.05	L+V→L	P
	6	-12.5	16.42	125	1.05	L+V→L	P
	6	-15.5	19.02	125	1.07	L+V→L	P
	6	-14	17.77	110	1.08	L+V→L	P
	(Goushfil)	8	-10	13.94	134	1.02	L+V→L
10		-18	20.94	82	1.12	L+V→L	P
4		-11.5	15.47	115	1.05	L+V→L	P
5		-10.5	14.47	105	1.05	L+V→L	P
4		-10	13.94	140	1.02	L+V→L	P
6		-10	13.94	125	1.04	L+V→L	P
8		-12	15.95	160	1.02	L+V→L	P
8		-9.5	13.41	134	1.02	L+V→L	P
5		-9	12.85	134	1.02	L+V→L	P
10		-10	13.94	82	1.07	L+V→L	P
(Goushfil)	10	-12.2	16.14	115	1.06	L+V→L	P
	9	-13.5	17.33	105	1.08	L+V→L	P
	5	-14	17.77	80	1.09	L+V→L	P
	5	-12.2	16.14	92	1.08	L+V→L	P
(Tapeh Sorkh)	4	-13	16.88	142	1.05	L+V→L	P
	7	-11	14.97	141	1.03	L+V→L	P
	7	-12.2	16.14	136	1.04	L+V→L	P
	8	-16	19.42	166	1.05	L+V→L	P
	6	-11.1	15.07	138	1.03	L+V→L	P

می‌شود. داده‌های سیال‌های درگیر در نمودار شکل ۱۲ رسم و تغییرات چگالی اندازه‌گیری شد؛ (۲) روش دیگر برای ارزیابی چگالی به‌کارگیری نرم‌افزار FLINCOR است. در این نرم‌افزار، با وارد کردن دمای همگن‌شدن و شوری سیال‌های درگیر، چگالی به‌دست می‌آید. در هر دو روش، چگالی سیال در بازه ۰/۹۵ تا ۱/۱۲ گرم بر سانتیمتر مکعب با میانگین ۱/۰۵ گرم بر سانتیمتر مکعب به‌دست آمد.

ارزیابی چگالی سیال‌های درگیر: برای ارزیابی چگالی سیال‌های درگیر از دو روش زیر به‌کار گرفته است:  
(۱) زمانی که داده‌های دمای همگن‌شدن با داده‌های شوری سیال ترکیب شوند، می‌توانند چگالی سیال را بدون در نظر گرفتن شرایط به‌دام‌افتادن آن ارزیابی کنند؛ از این‌رو، نمودار Richardson و همکاران (۱۹۸۸) به‌کار برده

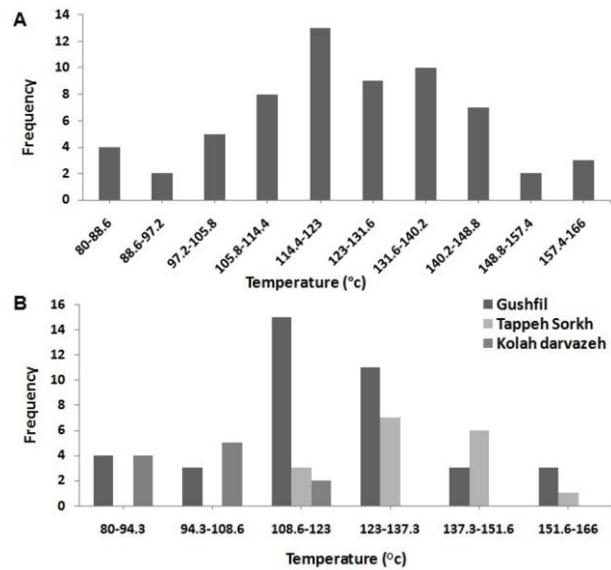


همگن‌شدن سیال‌ها نشان می‌دهد که فرایند سردشدن ساده نیز می‌تواند از عوامل فرعی مؤثر در ته‌نشینی ماده معدنی بوده باشد. از این‌رو، باریم به‌همراه عوامل کانی‌ساز بیشتر با یک محلول اصلی منتقل شود. همچنین، عامل اصلی ته‌نشینی آنها می‌تواند همکنش با سنگ میزبان قلیایی و آمیزش با آب‌های دریایی دارای سولفات باشد ( Ghazban *et al.*, 1994).



شکل ۱۲- نمودار شوری در برابر دمای همگن‌شدن سیال‌های درگیر در باریت برای ارزیابی چگالی سیال‌های کانی‌زا در کانسار ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان) و روندی که این داده‌ها نشان می‌دهند (Shepherd *et al.*, 1985)

شکل ۱۳ گروه‌های اصلی کانسارهای معدنی را برپایه دمای همگن‌شدن و شوری نشان می‌دهد و آنها را با داده‌های منطقه ایرانکوه مقایسه می‌کند (Hosseini- Dinani and Aftabi, 2016). این گروه‌ها بازه‌های گسترده‌ای در فضای شوری- دمای همگن‌شدن دارند و میان منحنی اشباع‌هالیت و منحنی بحرانی محلول‌های ضعیف NaCl محدود می‌شوند. برپایه مقایسه این نمودار با دماها و شوری‌های به‌دست‌آمده، دیده می‌شود که کانسار ایرانکوه از نوع اندوخته می‌سی‌سی‌پی است. این نکته با داده‌های Wilkinson و همکاران (۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۱۴) و Leach و همکاران (۲۰۰۵) و Basuki و Spooner (۲۰۰۲) سازگار است (جدول ۴).

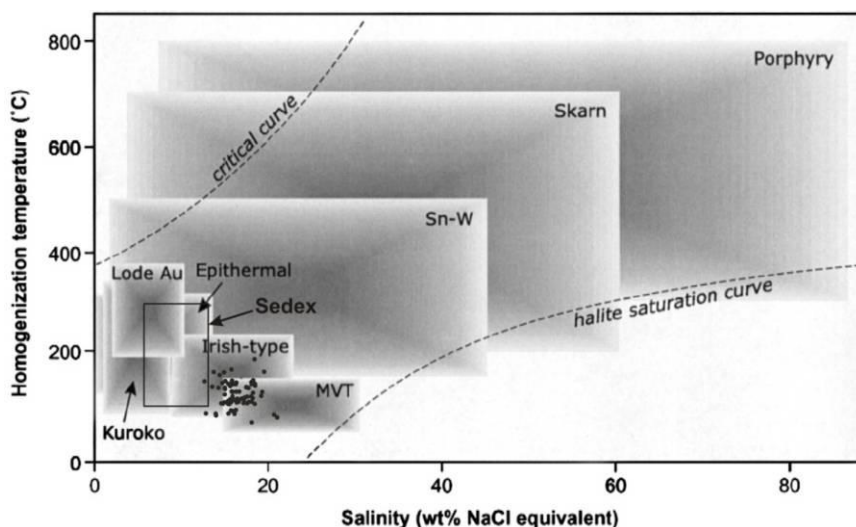


شکل ۱۱- نمودار دمای همگن‌شدن سیال‌های درگیر در باریت. (A) کل کانسار ایرانکوه؛ (B) معادن ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان)

### ترکیب سیال‌های درگیر و محلول گرمایی:

افزون‌بر روش‌های کمی، ترکیب شیمیایی سیال‌های درگیر را می‌توان با روش‌های کیفی نیز ارزیابی کرد. از آنجایی که رنگ یخ در هنگام انجماد نمونه‌ها کمی مایل به قهوه‌ای بود؛ می‌توان ترکیب تقریبی  $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$  را برای سیال کانی‌زا برآورد کرد (Wilkinson, 2001). البته دارابودن کانه‌های کربناتی سرب و روی نیز می‌تواند نشان‌دهنده دارابودن آنیون  $\text{CO}_3^{2-}$  یا  $\text{HCO}_3^{2-}$  در سیال‌ها باشد.

با به‌کارگیری شوری و دمای همگن‌شدن سیال‌های درگیر (شکل ۱۲)، معمولاً ۳۰ تا ۴۰ نمونه برای شناختن یک جمعیت خاص کافی است. بهترین روش نمایش داده‌ها، نمودارهای دو متغیره هستند. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ دو جمعیت جداگانه سیال‌های درگیر در منطقه را نشان می‌دهند. تغییرات مقدار شوری در سیال‌های درگیر گسترده‌تری چندانی ندارد. دامنه میانگین دمای



شکل ۱۳- نمودار دمای همگن شدن-شوری انواع ذخایر معدنی و جایگاه نمونه‌های سیال‌های درگیر در باریت ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان) بر روی آن (با تغییرات از Wilkinson, 2001)

معمولاً بالا (بیش از ۱۵ NaCl درصد وزنی) است. حضور مواد آلی نیز معمول است. جدول ۴ ویژگی‌های کلی انواع کانسارهای سرب و روی را با ایرانکوه آورده شده است. برپایه این جدول، داده‌های ایرانکوه بیشتر همانند نوع MVT هستند. برپایه پیشنهاد Basuki و Spooner (۲۰۰۲)، روندی کلی در کاهش شوری و افزایش دما، از کانسارهای نوع MVT به سوی کانسارهای ماسه‌سنگی Pb-Zn، تا کانسارهای نوع رگه‌ای و نوع ایرلندی و سپس، نوع متصاعدی - رسوبی است.

برپایه پیشنهاد Wilkinson (۲۰۰۱، ۲۰۱۴)، سیال‌های درگیر در کانسارهای MVT معمولاً ساده هستند و دو فاز آب-نمک با حباب بخار کوچک (کمتر از ۱۰٪ حجمی) دارند. گاه هیدروکربن نیز در آنها دیده می‌شود. دماهای انجماد نیمه‌پایدار بسیار کم هستند (بیشترشان زیر ۶۰- سانتیگراد). این پدیده پیامد شوری بالای آنها بوده و چگالی این سیال‌ها بالاست (بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب). دمای سیال‌ها معمولاً کم (کمتر از ۱۵۰ سانتیگراد) و شوری

جدول ۴- مقایسه ویژگی‌های سیال‌های درگیر در کانسارهای گرمابی با ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان)، با تغییراتی پس از Wilkinson (۲۰۱۴)

ویژگی‌ها	متصاعدی- رسوبی (Leach et al., 2005)	ایرلندی (Wilkinson et al., 2003)	نوع دره می‌سی‌سی‌پی (Leach et al., 2005)	ایرانکوه
دمای سیال کانه‌ساز (درجه سانتیگراد)	۳۰۰ تا ۷۰	۲۸۰ تا ۷۰	دمای کم (۹۰ تا ۱۵۰)	دمای کم (۸۰-۱۶۶)
شوری سیال کانه‌ساز (درصد وزنی نمک‌طعام)	۶-۱۵	۱۰-۲۲	۱۵-۳۰	۵/۳۹-۲۰/۹۴

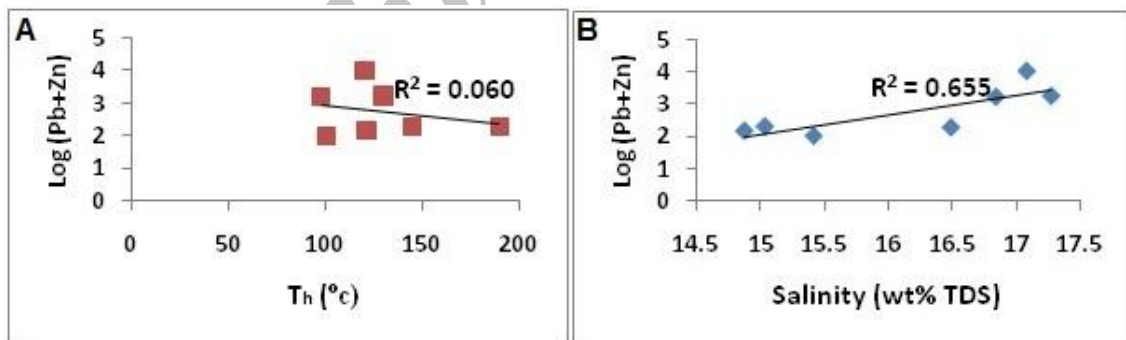
نشان می‌دهد. شکل ۱۴ همبستگی مقادارهای شوری و دمای همگن‌شدن سیال‌های درگیر را در باریت در برابر سرب و روی در همان نمونه‌های باریت نشان می‌دهد. شوری با مقادارهای سرب و روی در کانی باریت همبستگی نشان می‌دهد. این همبستگی درباره دمای همگن‌شدن و غلظت بالا نیست. از این‌رو، این روابط پیشنهاد می‌کند که اندازه‌گیری شوری سیال‌های درگیر در مرحله‌های نخستین پیجویی می‌تواند به ارزیابی پیدایش کانه (حدآستانه شوری) و عیار احتمالی کانه‌ها کمک کند.

کانسارهای نوع MVT و کانسارهای نوع متصاعدی - رسوبی عضوهای پایانی به‌شمار می‌روند و انواع کانسارهای دیگر در میان آنها جای می‌گیرند. روند کلی کاهش شوری به‌ترتیب از کانسارهای MVT به‌سوی کانسارهای نوع ایرلندی و کانسارهای نوع رگه‌ای تا کانسارهای نوع متصاعدی - رسوبی است.

**کاربرد اکتشافی سیال‌های درگیر: جدول ۵**  
مقدارهای دما و شوری سیال‌های درگیر در چند نمونه باریت را به همراه مقادیر سرب و روی در همان نمونه‌ها

جدول ۵- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی چند نمونه باریت ایرانکوه (جنوب‌باختری اصفهان)

نمونه	میانگین دمای همگن‌شدن (°C)	میانگین شوری (wt% NaCl)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
B-1 (K)	۱۰۰/۹	۱۵/۴۲	۴۱	۶۰
B-2 (G)	۹۸	۱۶/۸۴	۲۰۷	۱۴۳۰
B-3 (T)	۱۴۴/۶	۱۶/۴۹	۷۵	۱۱۰
B-5 (G)	۱۲۱/۱	۱۴/۸۸	۶۴	۹۰
B-8 (نمونه مالاکیت‌دار)	۱۸۹/۵	۱۵/۰۴	۹۶	۱۰۲
B-10 (G)	۱۲۰/۱۳	۱۷/۰۸	۶۳۲	۹۷۰۰
B-12 (T)	۱۲۹/۹۱	۱۷/۲۷	۶۶۷	۱۱۰۰



شکل ۱۴- نمودارهای دمای همگن‌شدن و شوری در سیال‌های درگیر باریت در برابر مجموع غلظت سرب و روی در همان نمونه‌های باریت (کانسار ایرانکوه، جنوب‌باختری اصفهان) (مقادیر شوری همبستگی خوبی با غلظت سرب و روی نشان می‌دهند)

گالن، اسفالریت، کلسیت، دولومیت، باریت، کوارتز، کمی مارکازیت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، ژیپس، مالاکیت، همتایت و گوئیتیت هستند. شکل هندسی ماده معدنی، پرکننده فضای خالی و جانمایی در گسل‌هاست.

## نتیجه‌گیری

برپایه بررسی‌های صحرائی و سنگ‌شناسی، رگه‌های سولفیدی در منطقه ایرانکوه در مرز گسلیده میان شیل ژوراسیک و کربنات‌های کرتاسه هستند. مهم‌ترین کانی‌های کانسار پیریت،



نخستین نفتی مایع و همگن است. هیچ گواهی برای رخداد جوشش در منطقه دیده نشده است. تغییرات گسترده دما و شوری می‌تواند نشانه‌ای از آمیزش دو سیال با دما و شوری کم و بالا، سازوکار اصلی تهنشست کانسنگ و باریت باشد. یکی از این سیال‌ها دارای سولفات و دیگری دارای مواد آلی و فلزات است. چه‌بسا باریت با سیال‌های تهی از گوگرد و احیایی منتقل شده و در پی واکنش با آب‌های اکسیدان سرشار از سولفات تهنشین شده باشد.

برپایه حضور رگه و رگچه‌های گرمایی کانه‌دار، ارتباط کانه‌های فلزی با شکستگی‌ها و گسل‌ها و نیز داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی سیال‌های درگیر (مانند: شوری، دما و ...)، این کانسار از گروه کانسارهای اپی‌ژنتیک دره می‌سی‌سی‌پی است.

داده‌های به‌دست آمده از ماکل‌های کلسیت، دمای کمتر از ۱۷۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. افزون‌براین، داده‌های سیال‌های درگیر در باریت بازه دمایی کمابیش همسان (۸۰ تا ۱۶۶ درجه سانتیگراد)، شوری  $\text{NaCl}$  ۲۰/۹۴ wt.% - ۵/۳۹ و چگالی ۱/۱۲-۰/۹۵ را برای کانسار ایرانکوه نشان می‌دهند. از این‌رو، کانسار ایرانکوه به کانسارهای نوع MVT شباهت بیشتری دارد.

داده‌های سیال‌های درگیر در کلاه‌دروازه تا اندازه‌ای دما و شوری کمتری از گوشفیل و تپه‌سرخ نشان می‌دهند؛ اما در کل می‌توان گفت همگی از سیالی با ویژگی‌های همانند پدید آمده‌اند. نمونه‌های سیال‌های درگیر با درجه‌های پرشدگی کمابیش ثابت ۸۰-۹۰٪ به مایع همگن می‌شوند. این پدیده نشان‌دهنده سیال

## منابع

- Alfons, M. and Ulrich, F. (2001) Fluid inclusion Petrography. *Lithos* 55: 27-47.
- Bagheri, H. (2011) An introduction of sampling and instrumental digestion. *Jahad-e- Daneshgahi Publication, Isfahan* (In Persian).
- Basuki, N. I. and Spooner, E. T. C. (2002) A Review of Fluid Inclusion Temperatures and Salinities in Mississippi Valley-type Zn-Pb Deposits: Identifying Thresholds for Metal Transport. *Exploration Mining Geology* 11: 1-17.
- Boveiri Konari, M. Rastad, E. Mohajjel, M. Nakini, A. and Haghdoost, M. (2015) Texture, structure, mineralogy and genesis of sulphide ore facies at Tappehsorkh detrital – carbonate hosted Zn – Pb – (Ag) deposit, South of Esfahan. *Iranian Scientific Quarterly Journal of Geoscience* 25(97): 221-236 (in Persian).
- Burkhard, M. (1993) Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review. *Journal of Structural Geology* 15: 351-368.
- Clynne, M. A. and Potter, R. W. (1977) Freezing point depression of synthetic brines. *Geology society of America Annual Meeting* 9: 930.
- Ferrill, D. A. Morris, A. P. Evans, M. A. Burkhard, M. Groshong, R. H. and Onasch, C. M. (2004) Calcite twin morphology: a low-temperature deformation geothermometer. *Journal of Structural Geology Acta* 26: 1521-1529.
- Ghazban, F. McNutt, R. H. and Schwarcz, H. P. (1994) Genesis of sediment hosted Zn-Pb-Ba deposits in Irankuh district, Esfahan area, west-central Iran. *Economic Geology* 89: 1262-1274.
- Groshong, R. H. Pfiffner, O. A. and Pringle, L. R. (1984) Strain partitioning in the Helvetic thrust belt of eastern Switzerland from the leading edge to the internal zone. *Journal of Structural Geology* 6: 5-18.

- Hosseini-Dinani, H. Aftabi, A. Esmaeili, A. and Rabbani, M. (2015) Composite soil-geochemical halos delineating carbonate-hosted zinc-lead-barium mineralization in the Irankuh district, Isfahan, west-central Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 156: 114–130.
- Hosseini-Dinani, H. and Aftabi, A. (2016) Vertical litho-geochemical halos and zoning vectors at Goushfil Zn–Pb deposit, Irankuh district southwestern Isfahan, Iran: Implications for concealed ore exploration and genetic models. *Ore Geology Reviews* 72: 1004–1021.
- Kretz, R. (1983) Symbols of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277–279.
- Leach, D. L. Sangster, D. F. and Kelley, K. D. (2005) Sediment-hosted lead-zinc deposits: A global perspective. In: *Economic Geology 100th Anniversary Volume, 1905–2005* (Eds. Hedenquist, J. W., Thompson, J. F. H., Goldfarb, R. J. and Richards, J. P.) 561–608. Littleton, Colorado, Society of Economic Geologists Inc.
- Momenzadeh, M. (1976) *Stratabound Lead–Zinc Ores in the Lower Cretaceous and Jurassic Ores in the Malayer–Esfahan District (West-Central Iran) Lithology, Metal Content, Zonation and Genesis*. PhD thesis, Heidelberg University, Germany.
- Rajabzade, M. A. (2007) A Fluid inclusion study of a large MVT barite-fluorite deposit: Komshech, Central Iran. *Iranian Journal of Science and Technology* 31: 73–87.
- Rastad, E. (1981) *Geological, Mineralogical and Ore Facies Investigations on the Lower Cretaceous Stratabound Zn–Pb–Ba–Cu Deposits of the Irankuh Mountain Range, Esfahan, West Central Iran*. PhD thesis, Heidelberg University, Germany.
- Reichert, J. (2007) A metallogenetic model for carbonate-hosted non-sulphide zinc deposits based on observations of Mehdi Abad and Irankuh, Central and Southwestern Iran. PhD thesis, Martin Luther University, Halle Wittenberg. Germany.
- Richardson, C. K., Ray, R. O. and Wasserman, N. D. (1988) The Chemical and Thermal evolution of fluids in the Cave – in – Rock Fluorspar district, Illinois: Stable Isotope Systematic at the Deardroff mine. *Economic Geology* 83: 765–783.
- Shepherd, T., Rankin, A. H. and Alderton, D. H. M. (1985) *A Practical guide to fluid inclusion studies*. USA Chapman and Hall, New York.
- Teimouri Asl, F., Pakzad, H. R. and Bagheri, H. (2011) Investigation of metal and ore fluids sources in Irankuh lead – zinc deposit. *Stratigraphy and Sedimentology Researchs* 44: 83–102 (In Persian).
- Wilkinson, J. J. (2001) Fluid inclusion in hydrothermal ore deposit. *Lithos* 55: 229–272.
- Wilkinson, J. J. (2014) *Sediment-hosted zinc–lead mineralization: processes and perspectives*. Treatise on Geochemistry, 2<sup>nd</sup> Edition, London, 219–249.
- Wilkinson, J. J. Boyce, A. J. Everett, C. E. and Lee, M. J. (2003) Timing and depth of mineralization in the Irish Zn-Pb orefield. In: *Europe’s Major Base Metal Deposits* (Eds. Kelly, J. G., Andrew, C. J. and Ashton, J. H.) 483–497. Dublin, Irish Association for Economic Geology.
- Zahedi, M. (1976) *Explanatory text of the Esfahan 1:250,000 quadrangle map*. Geological Survey of Iran, Tehran.

Archive of SID

## Geothermometry obtained from the calcite twin and fluid inclusions in barite (Irankuh Pb-Zn deposit, Southwest of Isfahan)

Hengameh Hosseini\* and Alijan Aftabi

Department of Geology, Faculty of sciences, University of Bahonar, Kerman, Iran

### Abstract

The Irankuh mining district is located 20 km southwest of Isfahan and is geologically situated in Sanandaj - Sirjan zone. Based on the field and experimental studies, ore minerals are emplaced in the faulted contact of Jurassic shale and Cretaceous carbonates. The most important minerals include pyrite, galena, sphalerite, calcite, barite, dolomite, quartz, minor marcasite, smithsonite, cerussite, gypsum, malachite, hematite and goethite. The mineralization is mainly occurred as hydrothermal veins and veinlets associated with fractures and faults, suggesting the deposit is likely to be of epigenetic type. A comparison between geothermometric results obtained from the calcite twins and fluid inclusions showed a similar temperature range for the mineralization (less than 170°C). Fluid inclusion studies indicate the temperature, salinity and density ranges of 80-166°C, 5.39-20.94 wt.% NaCl and 0.95-1.12, respectively. The data have more similarities with MVT deposits than other Pb – Zn deposits.

**Key words:** calcite twin, fluid inclusions in barite, Irankuh mining district, Sanandaj-Sirjan zone

Archive of SID