

مطالعه میانبارهای سیال کانسار سلسیت در منطقه پایکوه، شهرستان رامهرمز، استان خوزستان، جنوب غربی ایران

سید جواد مقدسی^{۱*}، غلامعلی ویسمرادیان^۲، محمدجواد عبدالمهی^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران sjmoghad@pnu.ac.ir

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

چکیده

کانسار سلسیت پایکوه در جنوب شرقی شهرستان رامهرمز و در کنار روستایی با همین نام در استان خوزستان واقع شده است. این منطقه بخشی از تاق‌دیس بنگستان در زون چین خورده زاگرس است. کانی‌سازی سلسیت بر روی بالاترین بخش سازند مارنی پابده و در زیر انیدریت پایه آسماری تشکیل شده است. پارائز کانیایی شامل کانی‌های سلسیت، کلسیت، دولومیت، ژپس و انیدریت با ساخت و بافت‌های لایه‌ای، نواری، دانه شکری، رگه‌ای، ژئودی و شعاعی است. مطالعات پتروگرافی وجود پنج نوع میانبار سیال شامل میانبارهای دو فاز غنی از مایع، میانبارهای دو فاز غنی از گاز، میانبارهای سه فاز حاوی بلور جامد، میانبارهای سه فاز غنی از CO₂ و میانبارهای تک فاز حاوی یک فاز مایع یا یک فاز گاز را نشان داد. شوری میان‌بارها از ۲/۴ تا ۱۵/۲۷ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر و بیشترین فراوانی معادل با ۸/۵ تا ۹/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است. محدوده دمای هم‌گن‌شدن میانبارها بین ۱۷۹ تا ۵۳۹ درجه سانتی‌گراد و بر اساس نمودار فراوانی، دو فاز اصلی کانی‌سازی، یکی در محدوده ۲۵۹ تا ۲۷۹ درجه سانتی‌گراد و دیگری ۲۹۹ تا ۳۱۹ درجه سانتی‌گراد شناسایی شد. شواهد صحرایی، کانی‌شناختی، ساخت و بافت و ریزدماسنجی نشان می‌دهد که احتمالاً شورابه‌های سیخی در شکل‌گیری مرحله کانی‌سازی سین‌ژنتیک و شورابه‌های درون‌سازندی در شکل‌گیری مرحله اپی‌ژنتیک کانی‌سازی نقش داشته‌اند.

کلیدواژه‌ها: کانی‌سازی سلسیت، کانی‌شناسی، میانبار سیال، پایکوه

Fluid Inclusion Investigation of the Payekuh Celestite Deposit, Ramhormoz County, Khuzestan Province, Southwestern Iran.

Seyed Javad, Moghaddasi ^{1*}; Gholamali, Veismoradian ²; Mohammad Javad, Abdollahi ³

¹ Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran. Email: sjmoghad@pnu.ac.ir

² Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

³ Department of Geology, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

Abstract

The Payekuh celestite deposit is located in the southeastern part of Ramhormoz County, adjacent to a village of the same name, in Khuzestan Province. The study area constitutes part of the Bangestan Anticline within the Folded Zagros Zone. Celestite mineralization has developed at the uppermost part of the marly Pabdeh Formation, directly beneath the basal anhydrite of the Asmari Formation. The mineral paragenesis comprises celestite, calcite, dolomite, gypsum, and anhydrite, exhibiting a variety of structures and textures, including layered, banded, fine-grained, vein-type, geodic, and radial forms. Petrographic investigations reveal the presence of five types of fluid inclusions, including liquid-rich two-phase inclusions, vapor-rich two-phase inclusions, three-phase inclusions containing a solid crystal, CO₂-rich three-phase inclusions, and single-phase inclusions containing either liquid or vapor. The salinity of the fluid inclusions ranges from 4.2 to 27.15 wt.% NaCl equivalent, with the highest

frequency occurring between 8.5 and 9.5 wt.% NaCl equivalent. The homogenization temperatures vary from 179 to 539 °C, and frequency distribution diagrams indicate the presence of two main mineralization stages, one within the temperature range of 259–279 °C and the other between 299–319 °C. Field observations, mineralogical characteristics, structural and textural features, and microthermometric data suggest that sabkha-type brines likely played a significant role in the formation of the syngenetic mineralization stage, whereas intraformational brines were involved in the development of the epigenetic mineralization stage.

Keywords: Celestite mineralization, Mineralogy, Fluid inclusions, Payekuh

۱- مقدمه

رخدادهای بزرگ سلسیت، همواره دارای سنگ میزبان کربناتی و تبخیری ساحلی هستند. سنگ‌های میزبان از نظر سنی از سیلورین تا پلیوسن متغیر هستند. این نهشته‌ها معمولاً چینه‌سان هستند و شواهد متغیری از فعالیت هیدروترمال مرتبط وجود دارد (Scholle et al., 1990). برخی از نهشته‌ها، مانند نهشته‌های پرمین تحتانی در اتحاد جماهیر شوروی سابق، نهشته‌های کرتاسه در مکزیک و نهشته‌های ائوسن در ترکیه، با باریت همراه هستند، اما بسیاری دیگر این ویژگی را ندارند. در هر حال، منشأ این نهشته‌ها همچنان مورد توجه است زیرا سلسیت یک کالای معدنی مهم اقتصادی به عنوان منبع اصلی ترکیبات شیمیایی استرانسیم مورد استفاده در آهنرباهای سرامیکی، رنگدانه‌ها، شیشه و متالورژی است (Ober, 1999). اسپانیا، مکزیک، چین، ترکیه و ایران تولیدکنندگان اصلی سلسیت هستند. دو فرضیه اصلی برای منشأ این ذخایر ارائه شده است: (۱) نهشته‌شدن هم‌زاد (سین‌ژنتیک) سلسیت از تبخیر آب دریا و (۲) جانشینی دیرزاد (اپی‌ژنتیک) کربنات‌ها و سولفات‌های کلسیم توسط سلسیت (Hanor, 2004). سلسیت یک کانی دیاژنتیکی فرعی رایج در نهشته‌های کربناتی دریایی است که تصور می‌شود در حین تبدیل آراگونیت یا کلسیت بیوژنیک حاوی Sr، به کلسیت یا دولومیت کم Sr تشکیل می‌شود. با این حال، رخدادهای بزرگ سلسیت رسوبی حاوی چندین میلیون تن ذخیره هستند و به راحتی قابل توضیح نیستند.

رخدادهای سلسیت ایران در دو ناحیه ایران مرکزی و زاگرس یافت می‌شوند. مهمترین کانسارهای سلسیت ایران مرکزی شامل کانسارهای طلحه، لشکر آباد، ابردژ، سیاه کوه و اختر هستند، که عمدتاً در سازند تبخیری قم قرار دارند (کریمی و راستاد، ۱۳۷۶). رخدادهای سلسیت زاگرس شامل سلسیت های یافت شده در گنبدهای نمکی و سازندهای آغاجاری، گچساران، پابده و آسماری است.

کانسار سلسیت پایکوه در جنوب شرقی شهرستان رامهرمز و در کنار روستایی با همین نام واقع شده است. منطقه پایکوه را می‌توان بخشی از تاقدیس بنگستان دانست که در مجاورت یال جنوبی این تاقدیس قرار دارد. در این مقاله، زمین‌شناسی و خصوصیات سیال کانی‌ساز کانسار سلسیت پایکوه بررسی می‌شود.

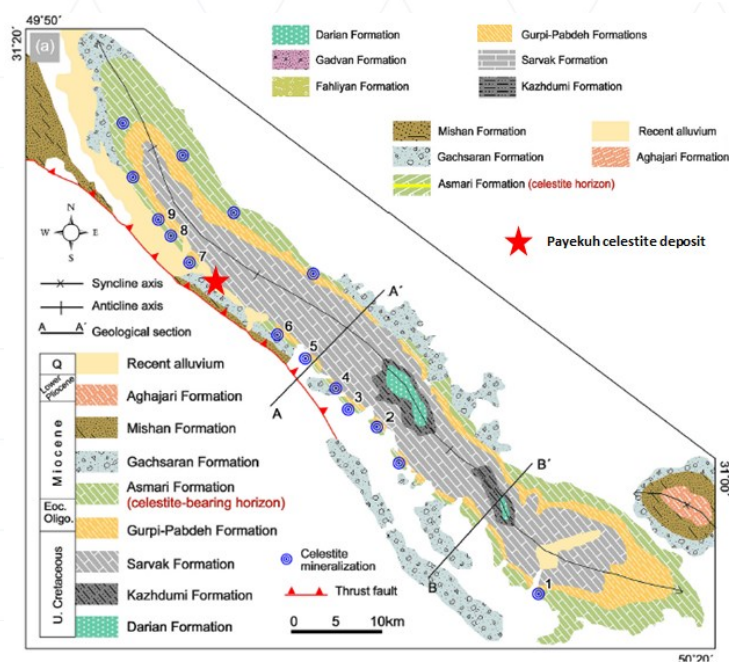
۲- مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، ضمن مطالعه کتابخانه‌ای، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی، تعداد ۱۸ نمونه از ماده معدنی به روش کلوخه‌ای برداشت گردید. برای مطالعه پتروگرافی و ریزدماسنجی میانبارهای سیال، از سه نمونه کانی‌سازی سلسیت منطقه مورد مطالعه، مقطع دوروصیقلی تهیه و توسط میکروسکوپ پلاریزان نور عبوری Nikon مدل Ep200 بررسی گردید. پس از پتروگرافی و انتخاب نمونه‌های میانبار سیال مناسب، اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی به وسیله صفحه گرم و سردکننده مدل MDS600 ساخت شرکت Linkam با دامنه تغییرات دمایی از ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گردید. دقت اندازه‌گیری طی عملیات سرمایش در حدود $1 \pm 0^\circ\text{C}$ و طی عملیات گرمایش حدود $1 \pm 0^\circ\text{C}$ اکتشافات معدنی کشور انجام گردید. نرخ عملیات سرمایش و گرمایش به ترتیب ۲ تا ۳ درجه سانتیگراد و ۵ تا ۸ درجه سانتیگراد در دقیقه متغیر بود.

برای تعیین درصد شوری و چگالی میانبرهای سیال از نرم‌افزار مدل‌سازی PVTX ویرایش ۲.۶ طراحی شده توسط شرکت لینکام استفاده شد.

۳- بحث

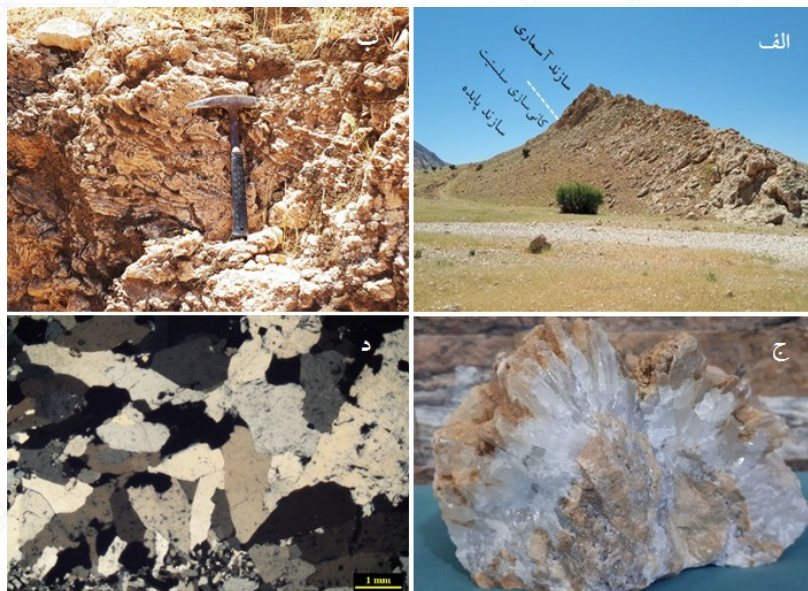
کانسار سلسیت پایکوه، بخشی از تاق‌دیس بنگستان به طول ۱۰۰ کیلومتر در حاشیه جنوبی زون ایزه (در مرز شمالی فروافتادگی دزفول) و بخشی از زون چین‌خورده زاگرس است. در این تاق‌دیس رخنمون‌هایی از سازندهای کرتاسه زیرین (سازند داریان) تا پلیوسن (سازند بختیاری) مشاهده می‌شود (شکل ۱). کانی‌سازی سلسیت بر روی بالاترین بخش سازند مارنی پابده و در زیر انیدریت پایه آسماری با سن چاتین پسین (معادل بخش زیرین آسماری میانی) یافت می‌شود. این انیدریت در مرکز حوضه پابده (لرستان و بخشی از خوزستان) گسترش دارد و به طور هم‌شیب بر روی سازند پابده و در زیر کربنات‌های دولومیتی دانه‌ریز بخش بالایی آسماری میانی قرار می‌گیرد. بعد از تشکیل این کانسارها، پیشروی دریای بوردیگالین همراه با نهشته‌شدن سازندهای دیگر این منطقه، موجب محفوظ ماندن این کانسار از فرسایش شده است. کوهزاد میوسن میانی موجب چین‌خوردگی و خروج از آب سازندهای این ناحیه شده است. نتیجه خروج از آب و فرسایش سازندهای واقع بر روی آنها، پدیدار شدن این کانسارها بر روی سطح بوده است.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی تاق‌دیس بنگستان و موقعیت کانسار سلسیت پایکوه که با علامت ستاره مشخص شده است (اقتباس از Hashempour et al., 2025).

افق حاوی کانی‌سازی سلسیت بر روی بالاترین بخش سازند مارنی پابده و در زیر انیدریت پایه آسماری به صورت لایه‌ای و عدسی شکل یافت می‌شود (شکل ۲). ماده معدنی نسبت به سنگهای دربرگیرنده موازی و لایه‌ای است. اندازه و ضخامت لایه‌ها و عدسی‌های سلسیتی بسیار متفاوت است. در بعضی از بخش‌ها کانسار از ضخامت تقریباً دو متر و طولی معادل ۱۰ متر از جوانب به لایه‌هایی با ضخامت بیست سانتیمتر تبدیل می‌شود که بیش از ۱۰۰ متر طول دارند. در بخشی‌هایی نیز ماده معدنی به صورت عدسی‌های کوچکی رخنمون دارد و پدیده بودیناژشدگی به خوبی قابل مشاهده است. رنگ ماده معدنی کرم رنگ و در بعضی از قسمت‌های افق معدنی به دلیل حضور اکسید آهن به رنگ قرمز، تغییر رنگ می‌دهد. بعضی از ساخت‌ها

و بافت‌هایی که در سلسیت‌های منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود عبارتند از: ساخت لایه‌ای، نواری، دانه شکری، رگه‌ای، ژئودی، شعاعی و تقریباً شعاعی (شکل ۲). پاراژنز کانیایی کانسار سلسیت پایکوه همانند بسیاری دیگر از ذخایر سلسیت ساده و شامل کانی‌های سلسیت، کلسیت، دولومیت، ژیپس و انیدریت است.



شکل ۲ الف) موقعیت افق کانی‌سازی سلسیت پایکوه در توالی رسوبی سازندهای پابده و آسماری، ب) بافت زیر (مخطط) در کانسار سلسیت پایکوه، ج) بافت شعاعی کانی سلسیت، د) بافت موزائیکی کانی سلسیت در نور عبوری پلاریزه متقاطع.

مطالعات میکروسکوپی بر روی مقاطع نازک سلسیت‌های کانسار پایکوه دلالت بر ته‌نشست سلسیت طی فرآیندهای سین‌دیاژنتیک دارد. سلسیت طی فرآیندهای سین‌دیاژنتیک تشکیل شده است و سپس فرآیندهای دیاژنز تاخیری و اپی ژنتیک باعث ایجاد بافت‌های ثانویه گسترده همراه با کانی‌سازی مرحله دوم شده است. وجود ساخت‌های جانشینی، وجود ادخال‌هایی از انیدریت، ژیپس و کلسیت در بلورهای سلسیت، جانشینی به جای سنگ‌آهک و ریز بلور بودن ماده معدنی درحالی که همراه با انیدریت و ژیپس ریز بلور است، نشان دهنده جانشینی سلسیت به جای ژیپس، انیدریت و سنگ‌آهک و تشکیل سلسیت به صورت سین‌دیاژنتیکی است. وجود بلورهای سلسیت خردشده که توسط سلسیت ثانویه و کلسیت اسپاری پر شده‌اند، بلورهای موزائیکی سلسیت با زوایای ۱۲۰ درجه، به دام افتادن بلورهای ریز خودشکل درون بلورهای بزرگتر و بی‌شکل، همراهی بلورهای درشت با بلورهای ریز، قطع‌شدگی بلورهای سلسیت نسل اول توسط آهک اسپاری و سلسیت رگه‌ای در مقیاس میکروسکوپی، اثرات دیاژنز تاخیری و فرآیندهای اپی ژنتیک را بر سلسیت‌ها نشان می‌دهند. برای مطالعه پتروگرافی و ریزدماسنجی میانبارهای سیال، از سه نمونه کانی‌سازی سلسیت منطقه مورد مطالعه، مقطع دوروصی‌لی تهیه و مطالعه گردید. از نظر منشاء، میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه بر اساس یرماکوف (Yermakov, 1965) به سه نوع اولیه، ثانویه و کاذب تقسیم می‌شوند. میانبارهای سیال اولیه به صورت مجزا و بزرگ در زمینه کانی‌های سلسیت پراکنده هستند. میانبارهای سیال ثانویه و کاذب اکثراً بصورت ادخال‌های ریز و به صورت خطی مشاهده می‌شوند. میانبارهای انتخاب شده جهت مطالعات ریزدماسنجی، از نوع اولیه می‌باشند. میانبارهای مطالعه شده بیشتر به شکل گرد یا بی‌شکل و گاهی کشیده و اندازه آنها از ۱۰ میکرون تا ۵۰ میکرون متغیر است. میزان درجه پرشدگی میانبارهای

سیال حاوی فاز مایع- گاز و نمونه‌های حاوی فازهای مایع- گاز- جامد بر اساس شفرد و همکاران (Shepherd et al., 1985) محاسبه شد. مطالعات پتروگرافی حاکی از وجود ۵ نوع میانبار سیال به شرح زیر می‌باشد:

میانبارهای نوع I که غنی از مایع بوده و حاوی دو فاز مایع و گاز (L+V) می‌باشند (شکل ۳ الف). در این نوع میانبارها، فاز گازی تنها ۱۰ تا ۳۵ درصد حجم میانبارهای سیال مطالعه شده را شامل می‌شود. این نوع میانبار، بیشترین فراوانی را در بین میانبارهای مطالعه شده دارد و میزان شوری بین ۲/۷ تا بیش از ۱۵ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است.

میانبارهای نوع II که غنی از گاز بوده و حاوی دو فاز گاز و مایع (V+L) می‌باشند (شکل ۳ ب). در بعضی موارد بیش از ۷۰ درصد حجم میانبار را حباب گاز فراگرفته است. دمای همگن شدن در این نوع میانبارها بالا، درصد شوری کم و چگالی پایین است. این میانبارها اغلب به فاز گازی همگن می‌شوند.

میانبارهای نوع III که حاوی سه فاز مایع، گاز و جامد (هالیت) (L+V+S) می‌باشند (شکل ۳ ج). در این نوع میانبار، فاز جامد بصورت بلورهای شکل دار مشاهده شد ولی هیچ کدام در محدوده دمایی مورد مطالعه ذوب نشدند. در تعدادی نیز قبل از ذوب شدن فاز جامد، همگن شدن به بخار روی داد و در نتیجه دمای ذوب برای فاز جامد ثبت نشد.

میانبارهای نوع IV که غنی از CO_2 بوده و شامل فاز گاز و مایع CO_2 دار (L+Vco₂+ Lco₂) می‌باشند (شکل ۳ د). در تعدادی از نمونه‌های میانبارهای سیال مطالعه شده، حضور مقادیر بالای CO_2 در فاز گازی موجب شده تا ThCO_2 و TmCO_2 قابل اندازه‌گیری باشد. در این نوع میانبارها بین ۵۶/۵- تا ۵۵/۵- درجه سانتی‌گراد است. تعدادی از این میانبارها، در طی همگن شدن، به دلیل وجود بیش از ۴۰ درصد CO_2 ، قبل از رسیدن به دمای همگن شدن دچار ترکیدگی شدند. دمای همگن شدن فاز CO_2 دار (ThCO_2) بین ۲۶ تا ۲۹/۸+ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

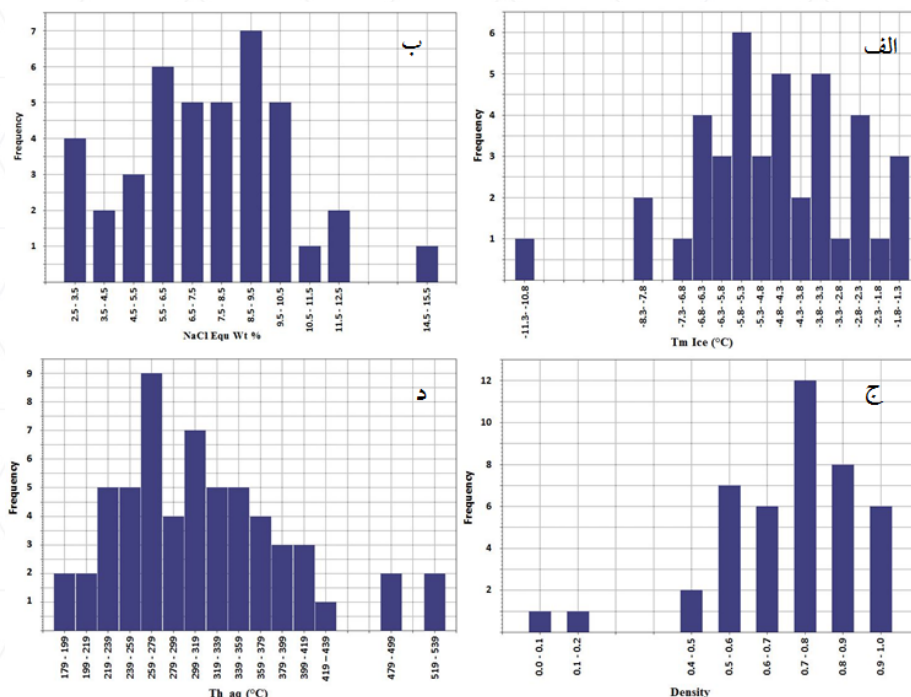
میانبارهای نوع V که حاوی یک فاز مایع (L) یا یک فاز گاز (V) هستند. این نوع میانبارها به دلیل وجود یک فاز، برای مطالعات ریزدماسنجی مناسب نبوده و در نتیجه اندازه‌گیری انجام نشد.



شکل ۳ طبقه‌بندی میانبارهای سیال کانسار سلسیت پاپکوه. الف) میانبار سیال نوع I (L+V)، ب) میانبار سیال نوع II (V+L)، ج) میانبار سیال نوع III (L+V+S) و د) میانبار سیال نوع IV (L+Vco₂+ Lco₂).

اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی بر روی میانبارهای نوع I، II و IV انجام گردید. بیشتر میانبارهای مطالعه شده در نمونه‌های محدوده معدن پاپکوه، از نوع گاز- مایع (نوع I) بوده و درجه پرشدگی آنها بین ۵۷ تا ۹۵ درصد متغیر است. با استفاده از روش انجماد، دمای ذوب آخرین بلور یخ (Tm) از ۱/۵- تا ۱۱/۸- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. شوری این میانبارها از ۲/۴ تا ۱۵/۲۷ درصد وزنی معادل نمک طعام محاسبه شد.

در شکل ۴ الف نمودار ستونی نقطه ذوب آخرین بلور یخ در مقابل فراوانی برای معدن سلسیت پایکوه نشان داده شده است. بیشترین فراوانی نقطه ذوب آخرین بلور مربوط به دماهای $-5/3$ تا $-5/8$ می‌باشد که به ترتیب معادل با $8/5$ تا $9/5$ درصد وزنی معادل نمک طعام است (شکل ۴ ب). حداکثر شوری سیال کانی‌ساز معادل $15/5$ درصد وزنی معادل نمک طعام است. شکل ۴ ج نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌ها دارای چگالی ۷ تا ۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند. در میانبراهایی که درجه پرشدگی از ۴۵ درصد بیشتر است، همگن‌شدن به فاز مایع و در میانبراهای با درجه پرشدگی کمتر از ۴۵ درصد، همگن‌شدن به فاز گاز صورت گرفت.



شکل ۴ نتایج ریزدماسنجی میانبراهای سیال کانسار سلسیت پایکوه. الف) نمودار ستونی نقطه ذوب آخرین بلور یخ، ب) نمودار ستونی شوری میانبراهای سیال، ج) نمودار ستونی چگالی میانبراهای سیال و د) نمودار دمای همگن‌شدن میانبراهای سیال.

اطلاعات بدست آمده نشان می‌دهد که محدود دمای همگن‌شدن میانبراهای بین ۱۷۹ تا ۵۳۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۴ د). بر این اساس، دو فاز اصلی کانی‌سازی، یکی در محدوده ۲۵۹ تا ۲۷۹ درجه سانتی‌گراد و دیگری ۲۹۹ تا ۳۱۹ درجه سانتی‌گراد رخ داده است.

۴- نتیجه‌گیری

افق حاوی کانی‌سازی سلسیت بر روی بالاترین بخش سازند مازنی پابده و در زیر انیدریت پایه آسماری به صورت لایه‌ای و عدسی شکل تشکیل شده است. بعضی از ساخت‌ها و بافت‌هایی که در سلسیت‌های منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود عبارتند از: ساخت لایه‌ای، نواری، دانه شکری، رگه‌ای، ژئودی، شعاعی و تقریباً شعاعی. پاراژنز کانیایی کانسار سلسیت پایکوه شامل کانی‌های سلسیت، کلسیت، دولومیت، ژپس و انیدریت است.

از نظر منشأ، میانبراهای سیال منطقه مورد مطالعه به سه نوع اولیه، ثانویه و کاذب تقسیم می‌شوند. مطالعات پتروگرافی حاکی از وجود ۵ نوع میانبر سیال به شرح زیر می‌باشد: میانبرهای دو فاز غنی از مایع، میانبرهای دو فاز غنی از گاز، میانبرهای سه فاز حاوی بلور جامد، میانبرهای سه فاز غنی از CO_2 و میانبرهای تک فاز حاوی یک فاز مایع یا

یک فاز گاز. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی نشان داد که شوری این میان‌پارها از ۲/۴ تا ۱۵/۲۷ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر و بیشترین فراوانی معادل با ۸/۵ تا ۹/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است. همچنین بیشتر نمونه‌ها دارای چگالی ۷ تا ۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند. محدود دمای همگن‌شدن میانبارها بین ۱۷۹ تا ۵۳۹ درجه سانتی‌گراد و بر اساس نمودار فراوانی، دو فاز اصلی کانی‌سازی، یکی در محدوده ۲۵۹ تا ۲۷۹ درجه سانتی‌گراد و دیگری ۲۹۹ تا ۳۱۹ درجه سانتی‌گراد رخ داده است.

شواهد صحرایی، کانی‌شناختی، ساخت و بافت و ریزدماسنجی در کانسار سلسیت پاپیکه نشان می‌دهد که احتمالاً شورابه‌های سبخایی در مرحله کانی‌سازی سین‌ژنتیک و شورابه‌های درون‌سازندی در مرحله اپی‌ژنتیک کانی‌سازی نقش داشته‌اند.

۵- مراجع

کریمی، ع.، راستاد، ا.، ۱۳۷۸. رخساره‌های کانهدار کانسار سلسیت نخجیر کوه ورامین؛ تحول دیاژنری و محیط رسوب‌گذاری. مجله علوم زمین، جلد ۹، شماره ۳۳-۳۴، صفحات ۲۰-۳۳.

Hanor, J.S., 2004. A model for the origin of large carbonate- and evaporite-hosted celestine deposits. *Journal of Sedimentary Research* 74, 168–175.

Hashempour, S.S., Maghfouri, S., Rastad, E., 2025. Metallogeny of celestite deposits in Iran; implications for future explorations. *Ore Geology Reviews*, 184, 106735.

Ober, J.A., 2016. Mineral commodity summaries 2016. In: *Mineral Commodity Summaries*. U.S. Geological Survey, Reston, VA, 205 pp.

Scholle, P.A., Stemmerik, L., Harpoth, O., 1990. Origin of major karst-associated celestite mineralization in Karstryggen, central East Greenland. *J. Sediment. Res.* 60 (3), 397–410.

Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, New York. 239 pp.

Yermakov, N.P., 1965. Research on the nature of mineral-forming solutions. Translated by V. P. Sokoloff and edited by E. Roedder. Pergamon Press, Oxford, 743 pp.