فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست

سال دهم، شماره ۳۶، پاییز ۹۵

مطالعه ژئوشیمی، کانی شناسی و سیالات درگیر ژیپس و نمک گنبد های نمکی منطقه لارستان

علی نخبه الفقهائی[۱]، نیما نظافتی[۲]، منصور قربانی[۳]، بیژن اعتمادی[٤] و رضا ارجمندزاده[٥]

۱-دکتری زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استادیار گروه زمین شناسی ، دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

٤- دانشیارگروه زمین شناسی، دانشکده علوم ، دانشگاه شیراز

۵- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

چکیده

گنبد های نمکی یکی از مهمترین سیماهای کمربند چین خورده زاگرس در جنوب ایران هستند. در این تحقیق ژیپس و نمک های گنبدهای نمکی دهکویه، کرمستج و پاسخند در منطقه لارستان واقع در جنوب ایران به تفکیک رنگ و به منظور تعیین ژنز آنها بر اساس بررسی های صحرایی، کانی شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر و دورسنجی مورد مطالعه قرار گرفتند. در مطالعات کانی شناسی دو کانی گلوبریت (Na2Ca(SO4)2) و ساسولیت B(OH)3 که شاخص فومارول های امروزی در نقاط مختلف دنیا می باشند برای اولین بار در در گنبد دهکویه به همراه نمک های سازند هرمز شناسایی شدند. بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی، استرانسیم دارای بیشترین فراوانی عناصر کمیاب و بیشترین همراهی با انیدریت و گچ است. همچنین در بین تمام عناصر، آهن بیشترین تاثیر را در تغییر رنگ نمک داشته است. در مطالعات سیالات درگیر در ژیپس، شوری بین ۹/۷ تا ۲۵/۳ درصد وزنی نمک طعام و دماهای همگن شدن از ۷۸/۸ تا ۲۳۰ سانتی گراد در تغییر است. در نمک های همراه کانی های ساسولیت و گلوبریت نیز سیالات با دمایی (گستره دمایی ۵۰ تا ٦۰ درجه سانتی گراد) شناسایی شدند. بر اساس نتایج فوق ژیپس احتمالا به صورت یک فرایند ثانویه غیر رسوبی (هیدروترمالی) تشکیل شده است. همچنین دودخان های کف دریا در تشکیل نمک های هرمز در زمان اینفراکامبرین نقش موثری داشته اند. به احتمال قوی این دودخان ها تامین کننده یون های مورد نیاز تشکیل نمک ها بوده و پیدایش حجم زیاد نمک های سازند هرمز در زمان نسبتا کوتاه را توجیه می‌کنند.

واژگان کلیدی: ساسولیت، گلوبریت، سیالات درگیر، سیالات هیدروترمال، فومارل،گنبد نمکی، لارستان

مقدمه

تاکنون پژوهش جامعی از نظر اقتصادی، زمین شناسی و منشا کانی‌های موجود در گنبدها بخصوص نمک ها، همچنین ژئوشیمی و چگونگی پراکندگی و تمرکز عناصر با استفاده از روش های نوین در گنبدهای نمکی منطقه لارستان در جنوب ایران با بیش از ۳۰ گنبد نمکی انجام نشده است. مدل های زمین‌شناسی و زایشی برای تشکیل رسوبات نمکی، یعنی "فرآیند تبخیر"، را نمی‌توان به درستی در نهشته‌های بسیار بزرگ مانند گنبدهای نمکی توضیح داد. تقارن زمانی و مکانی نهشته‌های نمکی با ریفتی شدن و ماگماتیسم قلیایی در حال حاضر به طور

گسترده ای پذیرفته شده است. به عنوان نمونه عهد حاضر از تشکیل نمک‌های مرتبط با فعالیت‌های ماگمایی، می‌توان به آتشفشان الدونیو لنگای در شمال تانزانیا در دره ریفت بزرگ اشاره کرد. گدازه سیاه ناتروکربنات $Na_2Ca(CO_3)_2$ غیر معمول از این آتشفشان در درجه حرارت (~۵۱۰°C) و به مقدار زیادی ازگدازه سیلیکاتی فوران می‌کند (Heerema ,2009) .نوع نمک و سولفات تشکیل شده به طور مستقیم مربوط به ترکیب شیمیایی مواد فرار منتشر شده و نسبت عناصر مختلف آن است و طول مدت و میزان تجمع تبخیری ها نیز تابعی از طول مدت و میزان بیرون ریختگی یون ها می باشد. در این تحقیق سعی شده با کمک مشاهدات صحرایی، مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمی بر روی انیدریت و نمک موجود در گنبدهای پاسخند و دهکویه و با تاکید بر مطالعه سیالات درگیر، منشا این نهشته ها بررسی شود.

زمین شناسی

گنبد نمکی دهکویه که در فاصله ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان لارستان و در مسیر جاده لار به جهرم قرار دارد، در یال جنوبی تاقدیس نمک دهکویه رخنمون یافته است و حدود ۲۵ کیلومتر مربع وسعت دارد. واحدهای سنگ شناسی اصلی این گنبد عبارتند از نمک، ژیپس، انیدریت، و پس از آن اکسیدهای آهن، دولومیت، مارن و آهک نیز دارای اهمیت هستند. گنبد کرمستج در بین طول های جغرافیایی ۳۷ ° ۲۷ شمالی و ۲۸ ° ٥٤ شرقی در فاصله هوایی ۲۷/۵ کیلومتری جنوب شرق لار قرار دارد. در این گنبد قطعات پراکنده و فراوان کوارتزیت، دیاباز، توف های ریولیتی، شیل های رنگین قرمز و سبز تا کرم، ماسه سنگ، سیلتستون، دولومیت-های تیره همراه با نهشته‌های ژیپس و انیدریت و همچنین اکسیدهای آهن مشاهده می‌شود.

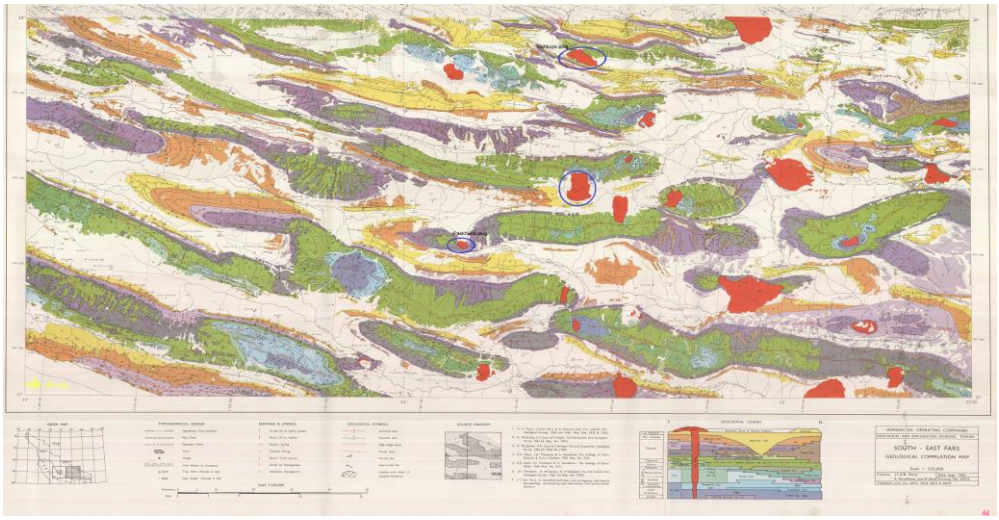
گنبد پاسخند با مختصات '۲۵ °۲۷ شمالی و '۰۹ °٥٤ شرقی در جنوب غرب لارستان در نزدیکی مرز استان فارس و هرمزگان قرار داشته و با حدود ۵ کیلومتر مربع وسعت در فاصله ٥٤ کیلومتری غرب لارستان و در مسیر جاده لار – بستک قرار دارد. حدود ۹۸٪ حجم گنبد را ژیپس و انیدریت همراه با هماتیت تشکیل می دهد و نمک حضور ندارد (شکل ۱). درون این مجموعه سیلتستون های بنفش ، دیابازهای دگرسان ، توف و قلوه‌های سیلیسی نهان بلور حضور دارند. در هر سه گنبد، کانی سازی گسترده هماتیت به شکل عدسی و توده‌های متعدد مشهود بوده و همچنین فعالیت‌های هیدروترمال منجر به تشکیل لایه‌ها و رگه هایی از بلورهای کوارتز در درز و شکاف‌ها شده است. لیتولوژی فوق همراه با ستون‌های نمکی نشان دهنده بخش های H1، H2و H3 از سازند هرمز می باشد .

آماده سازی نمونه‌ها و روش مطالعه

۲۰ نمونه از ژیپس، انیدریت و نمک های موجود در گنبدهای مورد مطالعه توسط روش‌های XRD ، XRF در آزمایشگاه شرکت بینالود و شرکت زرآزما و به روش ICP-MS-REE بر روی ٦۱ عنصر اصلی، فرعی و نادر خاکی در آزمایشگاه شرکت Bureau Veritas کشور استرالیا مورد تجزیه قرار گرفتند . پس از آنالیز نمونه‌ها و مشخص شدن ماهیت آنها، به منظور تعیین شوری و دمای همگن شدن بر روی دو نمونه از کانی ژیپس گنبد پاسخند و دو نمونه از کانی هالیت گنبد دهکویه و با توجه به اثبات حضور کانی ساسولیت و گلوبریت)، مطالعات سیال درگیر انجام گرفت.

کانی شناسی

فرم غالب پیدایش گچ در گنبدهای مورد مطالعه بر اساس فراوانی در درجه اول آلاباستر (گچ توده‌ای یا رخام)، سپس ساتین اسپار (گچ رشته‌ای) و در نهایت گچ سلنیت (گچ شیشه‌ای – تیغه‌ای) است. براساس نتایج حاصل از آنالیز XRD بر روی نمونه‌های گچ‌دار، کانی‌های انیدریت، دولومیت، کلسیت، کوارتز، ژیپس، و مسکویت، کلریت و ایلیت به عنوان کانی‌های اصلی و کانی‌های بازانیت، کلریت، مسکویت و ایلیت به عنوان کانی‌های فرعی شناسایی شدند. حضور کانی‌های پایدار کلریت و ایلیت و نبود و یا کاهش میزان فراوانی کانی های رسی همچون کائولینیت در نمونه‌های ژیپس و انیدریت مورد مطالعه، حاکی از دمای بالای حاکم بر رسوبات می‌باشد که طی دیاژنز تبدیل به کانی‌های پایدار مذکور گردیده است et (Karim all.,2010).

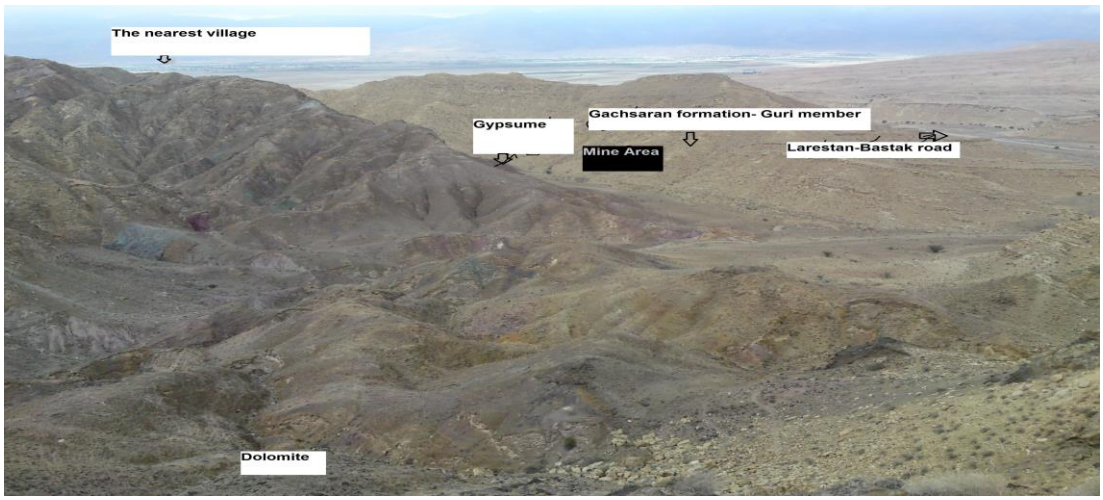


شکل ۱ – نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ لار و موقعیت برخی از مهمترین گنبدهای نمکی لار (مستطیل های مشخص شده) شامل گنبد نمکی های دهکویه و کرمستج و پاسخند

شکل ۲و۳ . نهشته‌های نمک رنگی در بخش‌های غربی گنبد نمکی دهکویه (نگاه به شمال غرب).

نمک‌های موجود در گنبد نمکی دهکویه و کرمستج برای اولین بار جداگانه بر اساس رنگ تفکیک و مورد تجزیه قرار گرفتند. تجزیه و تفکیک نمک‌ها بر اساس رنگ منجر به شناسایی و تفکیک بهتر فازهای کانیایی، پی بردن به محیط تشکیل، ایجاد ارتباط بهتر با داده های ژئوشیمیایی و همچنین شناسایی احتمالی عناصر مزاحم و یا اقتصادی در این نمک‌ها شده است. بر این اساس کانی هالیت به عنوان کانی اصلی در تمام نمونه‌ها و کانی‌های ژیپس و انیدریت، دولومیت، گلوبریت، آلبیت، کوارتز، مگنزیت، هالیت پوتاسین و ساسولیت به عنوان کانی فرعی حضور دارند. با مشاهده نتایج بالا مشخص می شود که سه کانی گلوبریت با فرمول $Na_2Ca(SO4)_2$ در نمونه نمک زرد گنبد دهکویه (شکل ۵- الف)، ساسولیت با فرمول $Br(OH)_3$ در نمک قهوه‌ای گنبد دهکویه (شکل۵- ب) و هالیت پوتاسین با فرمول $K_{0.4}Na_{0.6}Cl$ در نمونه نمک نارنجی زرد دهکویه جالب توجه است. دو کانی اول بخصوص کانی ساسولیت، اولین بار در گنبدهای نمکی ایران گزارش می‌شود. در نمونه نمک سیاه رنگ گنبد دهکویه حاوی دولومیت، رنگ تیره نمک احتمالا ناشی از حضور مقادیری مواد آلی یا اورانیوم می باشد (حلمی ۱۳۷۹). مهمترین نهشته‌های بورات جهان در محیط‌های فعال تکتونیکی کششی (ریفتی) یافت می‌شوند و احتمالا این شرایط در گذشته حوزه رسوبی هرمز نیز حکمفرما بوده است.

حضور کانی ساسولیت به همراه گلوبریت، به عنوان یک شاخص مهم در محیط‌های تصعید اطراف تالاب‌های چشمه های داغ، دودخان‌های آتشفشانی کف دریا و چشمه‌های آب گرم در مناطق مهم آتشفشانی کنونی مانند اطراف توسکانی، تالاب ساسو، در نزدیکی ناپل ایتالیا، همچنین نهشته بورات کرامر، در دره مرگ و آب گرم پارک ملی یلوستون در ایالات متحده آمریکا (Lynch et al 2013)، احتمال وجود شرایط مشابه در زمان پیدایش نمک‌های سازند هرمز در زمان اینفراکامبرین را تقویت می کند این مطلب حداقل منشاء آتشفشانی یون‌های تامین کننده کانی‌های نمک در حوزه‌های رسوبی محیط پیدایش نمک هرمز را تایید می کند (نخبه الفقهائی ۱۳۹٤). تناوب در تخلیه دوره‌ای یون‌های مختلف بوسیله فومارل‌ها، بخصوص کلرید و سولفات باعث تغییرات منطقه‌ای در جنس و نوع تبخیری‌ها در گنبدهای نمکی جنوب شده است. این یون‌ها بخصوص در گودی‌های کف دریا مجتمع شده و به مرور باعث تشکیل نهشته‌های نمکی- سولفاتی شده‌اند(Momenzadeh and Heidary 1990). همچنین تمایل قوی ترکیب بور با اکسیژن و تشکیل کانی ساسولیت، نشان از فوگاسیته بالای اکسیژن در محیط تشکیل دارد.



شکل ٤. دورنمایی از رخنمون‌های سنگی گنبد پاسخند و کنتاکت با سازند گچساران (آهک گوری) .نگاه به شمال

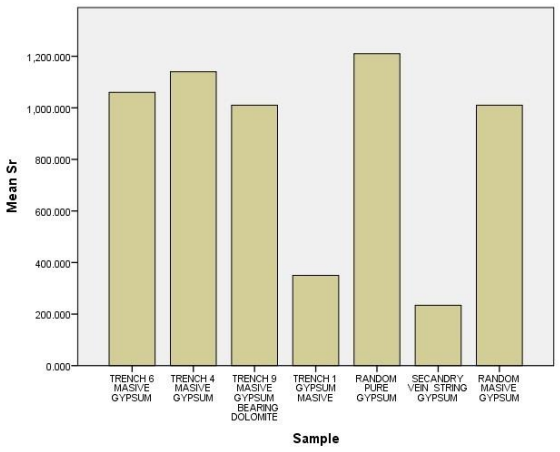
شکل ۵. نمایی از نمک های طعام به همراه ساسولیت (سمت راست) و گلوبریت (سمت چپ) در نمونه دستی گنبد دهکویه

ژئوشیمی

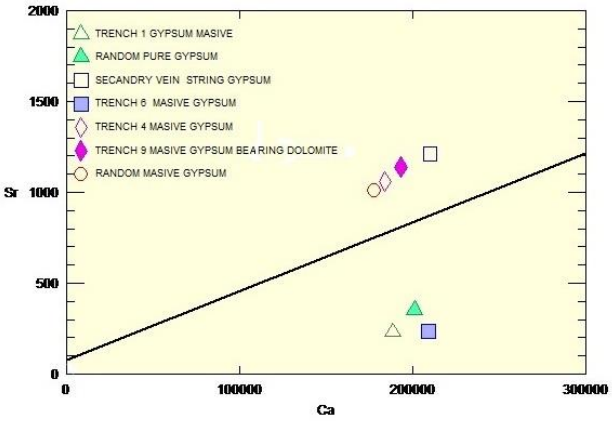
جدول آنالیز عناصر به انضمام واحدهای سنگی و روش تجزیه در جدول ۱ ارایه شده است. در نمونه‌های گچ و انیدریت، اکسیدهای اصلی (SiO_2 , H_2O , SO_3, CaO و MgO) و عناصر (Sr , Fe, K, Al) دارای فراوانی بیشتری هستند. استرانسیم در میان عناصر کمیاب دارای بیشترین مقدار و اهمیت در ژیپس و انیدریت است. تفاوت در غلظت استرانسیم در انواع گچ تابعی از غلظت آن در شوراب اصلی، که گچ میزبان از آن رسوب کرده است (Aljubouri 1998). مقدار متوسط استرانسیم نمونه‌های مورد مطالعه بالا بوده و میانگین آن ۱۲۱۰ پی پی ام است. بیشترین مقدار ۲٤۷۸ پی پی ام مربوط به بازانیت و کم‌ترین آن مربوط به نمونه گچ رشته‌ای ثانویه است. به نظر می‌رسد در ژیپس‌های ثانویه مقدار استرانسیم به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. این به این معنی است که استرانسیم موجود در درون محلول‌ها در حین آبگیری انیدریت از دست رفته است که معمولا به دلیل ناتوانی ساختار منوکلینیک گچ برای نگهداری همه استرانسیم آزاد شده از هیدراتاسیون انیدریت تفسیر می-شود (Butler 1973). بر اساس جدول همبستگی به روش اسپیرمن، استرانسیم دارای بیشترین همبستگی با کلسیم در انیدریت و سنگ گچ با ضریب (۰.۷۸٦) است (شکل ٦). براساس نتایج بدست آمده غلظت متوسط عناصر مهم در نمک بر حسب پی پی ام برای سدیم ۳۸٤۲۱۸، کلسیم ۸۲۷۷، منیزیم ۱۹۱۱، پتاسیم ۷٦٥.۸، گوگرد ۷۹۷۷، استرانسیم ۲٥٤، اورانیوم ۰/٦ ، مس ۲، آهن ٥۱۳، لیتیم ۲/۹ ، باریم ۸٦، آلومینیوم ٤۰۰/۹ و توریم ۰/٦۹ ۰می باشد. بیشترین ضریب همبستگی محاسبه شده در بین تمام عناصر در نمک های دهکویه، نئودیمیم و آلومینیوم با مقدار ۹۷۳/+ و استرانسیم و کلسیم با مقدار ۰/۹۲۷ است. مهمترین عنصر فلزی موجود سدیم می باشد که در قالب کانی هالیت جای می‌گیرد. حداکثر مقدار آن با ٤۳۰۰۰۰ ppm مربوط به نمونه نمک صورتی کرمستج و کمترین آن مربوط به نمونه نمک قهوه‌ای دهکویه با ۲٥۰۱۸۳ ppm می‌باشد که مقدار قابل قبولی جهت صنایع مختلف می‌باشد (شکل ۷). کاهش سدیم در نمونه نمک ساسولیت‌دار به سبب فزونی عناصر دیگر مانند بور در شبکه این کانی است. رنگ نمونه‌های نمک تیره و سبز تیره به احتمال زیاد مربوط به آغشتگی به آهن می‌باشد که مقدار آن تا ۱٦۲۰ ppm افزایش یافته است.

در گنبد دهکویه حضور کانی پتاسیم‌دار هالیت پتاسین،

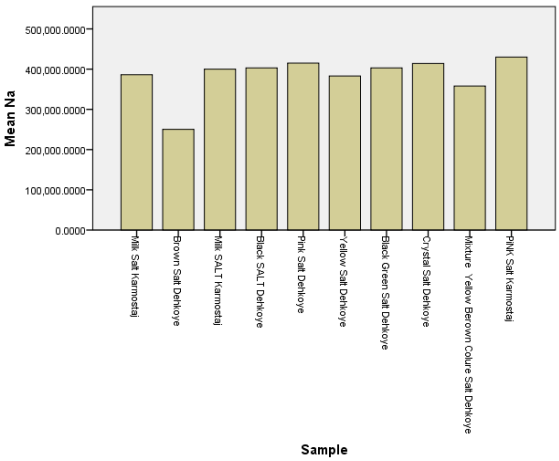
وجود آهن با نمک‌ها و وجود رنگ زرد در رسوبات سطحی و نمونه‌های نمک، در صورت بررسی بیشتر ممکن است نشان دهنده ذخیره مناسبی از پتاسیم باشد. میزان بالای پتاسیم در تجزیه شورابه دهکویه با ۱٤٤۱/۲۸ ppm نیز این مطلب را تایید می‌کند. میزان پتاسیم در نمونه‌های گنبد کرمستج پایین و فاقد ارزش اقتصادی می‌باشد. به نظر می‌رسد آهن بیشترین تاثیر در تغییر رنگ نمک را در بین عناصر گذاشته است. بر اساس نمودار فراوانی کلسیم بیشتر نمونه‌ها حدودا یکسان می‌باشد و تنها در نمونه نمک زرد قهوه‌ای دهکویه مقدار آن به ۳۲۸۰۰ ppm می‌رسد که ناشی از حضور مقدار بالای انیدریت با کلسیت می‌باشد. مقدار عنصر اورانیوم در تمام نمونه‌ها بسیار پائین می‌باشد و حداکثر مقدار آن ۳/۷ ppm در نمونه نمک قهوه‌ای ساسولیت‌دار می باشد. حداکثر مقدار لیتیم ۷/٤ ppm در نمونه نمک قهوه ای- زرد دهکویه است که قطعا اقتصادی نخواهد بود و احتمالا به دلیل کمبود لیتیم در منشا می‌باشد. در نمونه‌های نمک سیاه حاوی دولومیت و منیزیت، میزان Mg به میزان قابل توجهی بالا است. حضور کوارتز تقریبا در همه نمونه‌ها نشان دهنده ورود مواد خاکزاد به حوضه است. همچنین فراوانی آهن، سیلیسیم و منیزیم در نمونه‌ها رابطه مستقیم و خطی با هم دارند که نشان دهنده حضور بیگانه سنگ‌ها است (Bosak 1998). با مقایسه ژئوشیمی آب شورابه-های تشکیل دهنده گنبد نمکی دهکویه با چند دریاچه نمکی مهم، مکان نمونه‌ها در نمودار بیشتر نزدیک به راس Cl^- واقع شده است. این امر نشان دهنده تکامل بالای شورابه‌های تشکیل دهنده گنبد نمکی کرمستج و دهکویه است و شورابه‌های گنبد نمکی مورد مطالعه دارای روند تکاملی مشابه دریا چه‌های نمکی پیرامید و سودا از دریاچه‌های نمکی مهم آمریکاست. بنابراین می‌توان گفت که شورابه‌های تشکیل دهنده تبخیری‌های گنبد دهکویه در شوراب‌های دریایی تکامل یافته و از نوع کلریدی و قلیایی به حساب می‌آید (ترشیزیان ۱۳۸۸).



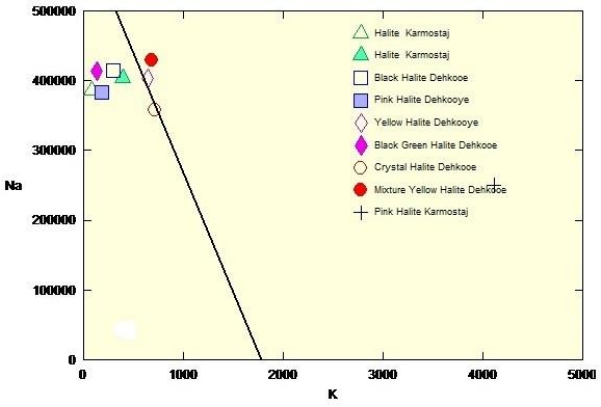
شکل٦ الف. نمودار همبستگی مثبت بین کلسیم و استرانسیم در نمونه های گچ گنبد پاسخند



شکل ٦ ب. هیستوگرام فراوانی عنصر استرانسیم در نمونه های گچ گنبد پاسخند.



شکل ۷ الف. هیستوگرام فراوانی سدیم در نمونه های نمک گنبدهای کرمستج و دهکویه



شکل ۷ ب. نمودار خطی همبستگی سدیم و پتاسیم

مطالعه سیالات درگیر:

پس از نمونه برداری برای مطالعات میانبارهای سیال، ٤ مقطع دو بر صیقلی تهیه گردید که پس از انجام پتروگرافی میانبارهای سیال بر روی آنها، ۳ نمونه برای اندازه گیری های میکروترمومتری انتخاب شدند. مطالعات سرد کردن و گرم کردن توسط دستگاه Linkam THMS600 با پمپ نیتروژن TM94 انجام شده است (شکل ۱-۹). گستره دمایی اندازه گیری دستگاه از ۱۹٦- تا ٦۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. خطای اندازه گیری دستگاه در حد ± ۰.۱ درجه سانتی گراد می باشد. در مجموع، اندازه گیری های میکروترمومتری بر روی ٦۰ میانبار سیال در شرکت زمین ریز کاوان انجام گرفت.

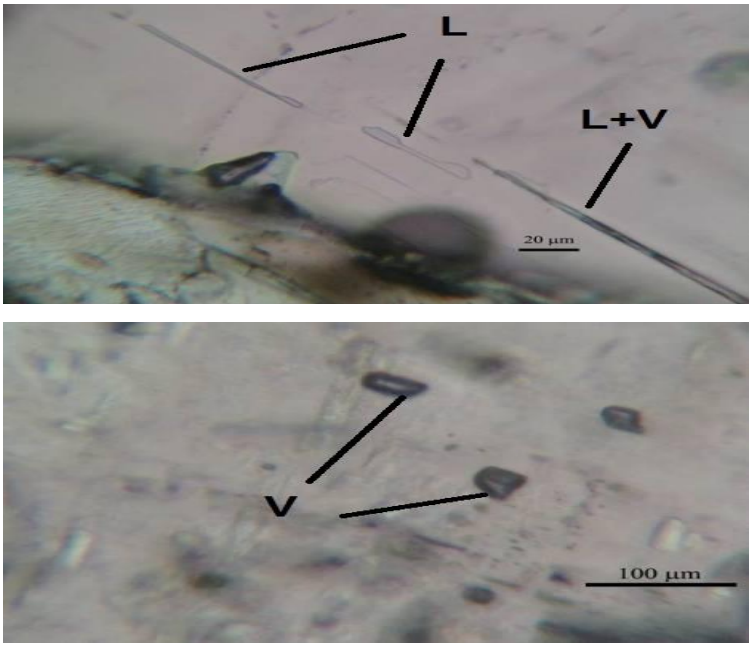
الف) ژیپس گنبد پاسخند

انواع میانبارهای سیال شامل تک فازی مایع، تک فازی گازی، دو فازی غنی از بخار می باشند. در ۳ نمونه ها از ژیپس های گنبد پاسخند اندازه میانبارهای تک فازی مایع ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون و اندازه میان بار تک فازی گازی ۲۰ تا ٤۰ میکرون می‌باشد. میانبارهای تک فازی مایع اغلب مستطیلی، میله‌ای و کشیده می‌باشند در حالی که میانبارهای تک فازی گازی اغلب بیضوی و شکل بلور منفی دارند. میانبارهای دو فازی غنی از بخار اغلب بیضوی شکل می باشند (تصاویر ۹ و ۱۰ و ۱۱). میانبارهای دو فازی غنی از بخار شوری بین ۹/۷ تا ۲۵/۳ درصد وزنی معادل نمک دارند که بیشترین اندازه گیری ها میزان ۲۵ درصد وزنی معادل نمک را نشان می دهد. شوری به نسبت بالای سیال در این میانبارها می تواند ناشی از حضور گنبد نمکی و سیالات با شوری بالای حاصل از آن و اختلاط با سیال تشکیل دهنده ژیپس باشد. در سه میانبار سیال، دی اکسید کربن شناسایی گردید که می تواند ناشی از منابع هیدروترمالی یا مواد آلی (نفتی) در سیال باشد (Sterner 1998). سه نوع میانبار سیال بر اساس فازهای حاضر در دمای اتاق در نمونه های گچ شناسایی شدند، اما فقط میانبارهای دو فازی غنی از بخار برای مطالعات دماسنجی مناسب بودند. میانبارهای دو فازی غنی از بخار با محو شدن حباب گاز همگن می شوند و دماهای همگن شدن گسترده ای دارد که از ۷۸/۸ تا ۲۳۰ درجه سانتی گراد تغییر می کند.

الف)نمک گنبد دهکویه

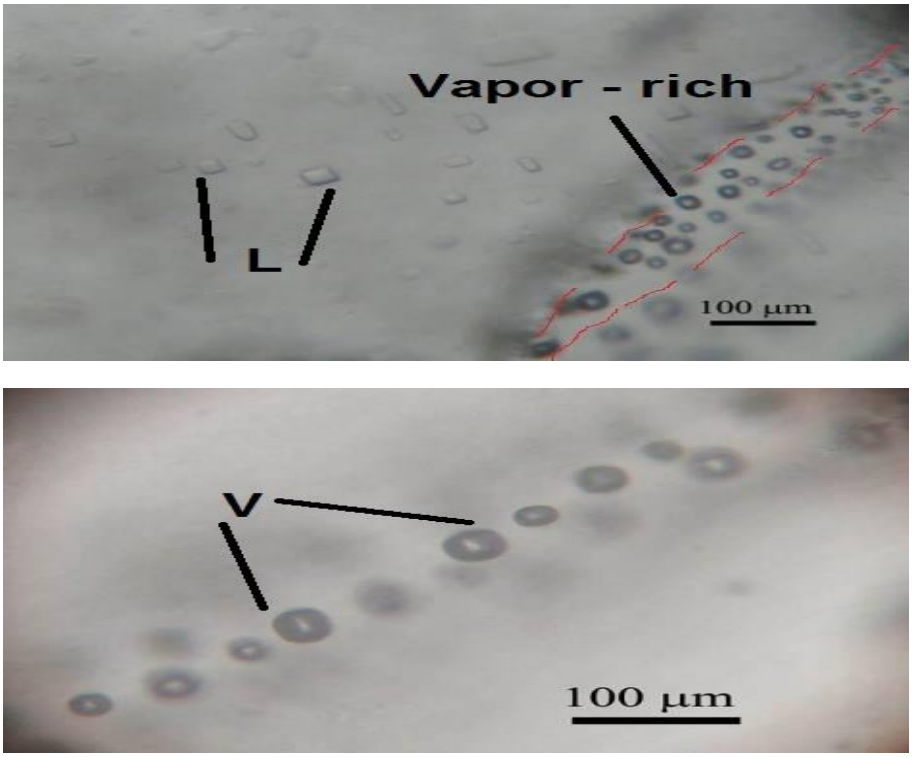
انواع میانبارهای سیال شامل تک فازی مایع، تک فازی گازی، دو فازی غنی از بخار می باشند. در دو نمونه از نمک های حاوی ساسولیت و گلوبریت در گنبد دهکویه، اندازه میانبارهای تک فازی مایع از ۱۰ تا ۳۰۰ میکرون تغییر می‌کند. اندازه میانبارهای تک فازی گازی از ٤٠ تا ۱۲۵ میکرون تغییر می کند و میانگین اندازه آنها حدود ۱۰۰ میکرون می‌باشد. میانبارهای دو فازی غنی از گاز از فراوانی کمتری نسبت به دیگر انواع میانبار در نمونه برخوردار می‌باشند و اندازه آنها از ۵ تا ۱۲۰ میکرون متغیر است. میانبارهای تک فازی مایع اغلب مستطیلی شکل، میله ای و کشیده می‌باشند، در حالی که میانبارهای تک فازی گازی اغلب بیضوی و شکل بلور منفی دارند. میانبارهای دو فازی غنی از بخار اغلب بیضوی شکل می باشند. داده‌های میکروترمومتری میانبارهای دو فازی در نمک در تفسیر نتایج کاربرد ندارند و تنها میانبارهای تک فازی مایع که در اثر فرایند سرد کردن در آنها حباب ظاهر می شود برای تعیین دمای همگن شدن کاربرد دارند (Becker 2008) .

در نمونه نمک همراه گلوبریت بر روی ۱۱ میانبار دو فازی مایع-بخار، دما سنجی انجام گردید که سه میانبار تا دمای ۷۰ درجه سانتی گراد همگن نشدند دیگر میانبارها با محو شدن حباب همگن شدند و دماهای همگن شدن از ۲۹/۹ تا ٦۹/۱ درجه سانتی گراد تغییر می کند. که دو گستره از دماهای همگن شدن را نشان می دهند. یکی میانبارهایی که در گستره دمایی ۳۰ تا ٤٠ درجه سانتی گراد همگن شده اند و گروه دیگر که در گستره دمایی ۵۰ تا ٦۰ درجه سانتی گراد همگن شده اند. در این مطالعه، دما سنجی بر روی یک میانبار دو فازی غنی از بخار نیز انجام شد که این میانبارها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد همگن شدند. در نمونه نمک همراه ساسولیت میانبارهای تک فازی مایع و دو فازی غنی از بخار برای مطالعات دماسنجی مناسب بودند. در این نمونه بر روی ٦ میانبار دو فازی مایع-بخار، دما سنجی انجام گردید که یکی از میانبارها تا دمای ۷۰ درجه سانتی گراد همگن نگردید . و بقیه دماهای همگن شدن از ۲۳/۷ تا ۵۷/۷ درجه سانتی گراد را نشان می دهند. در این نمونه غالب میانبارهای تک فازی مایع در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد همگن شدند و فقط یک میانبار در دمای ۵۷/۷ درجه سانتی گراد همگن گردید (شکل ۱۲).

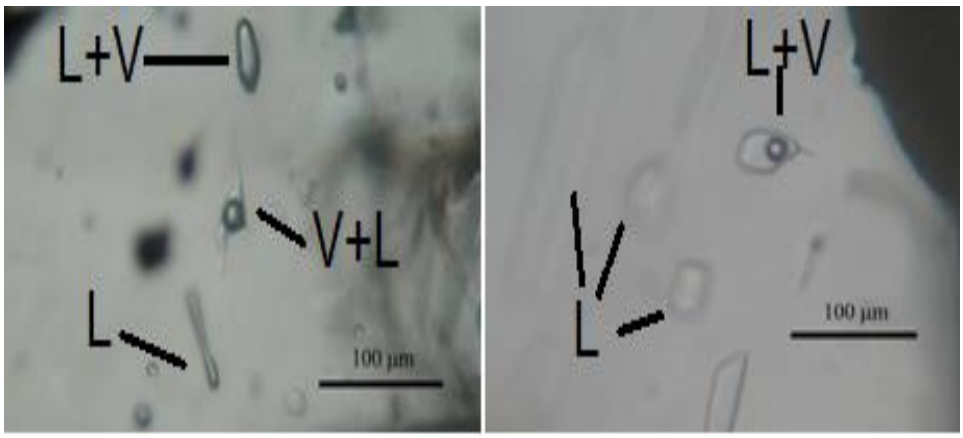


شکل ۸: انواع میانبارهای سیال شناسایی شده در گچ G2 . گنبد پاسخند

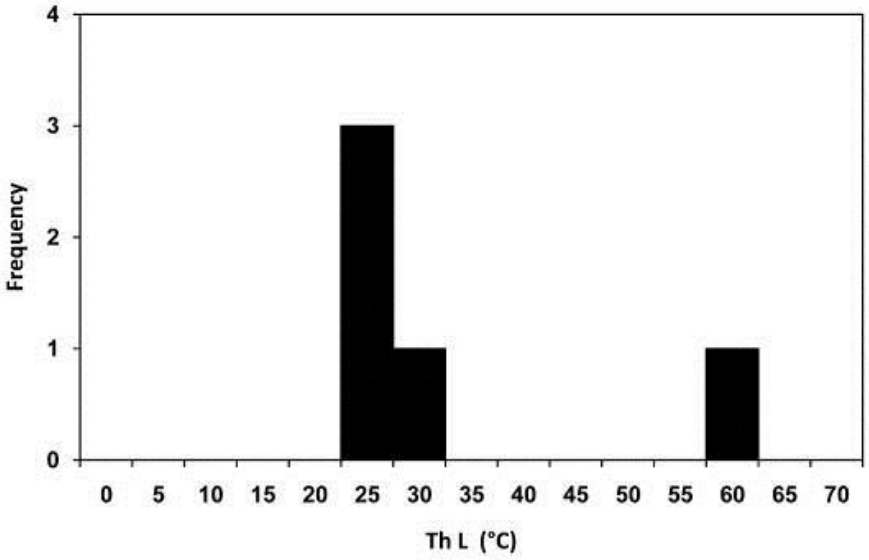
الف) میانبارهای تک فازی مایع میله ای در امتداد سطوح رخ بلور. ب) تجمعی از میانبارهای تک فازی گازی.



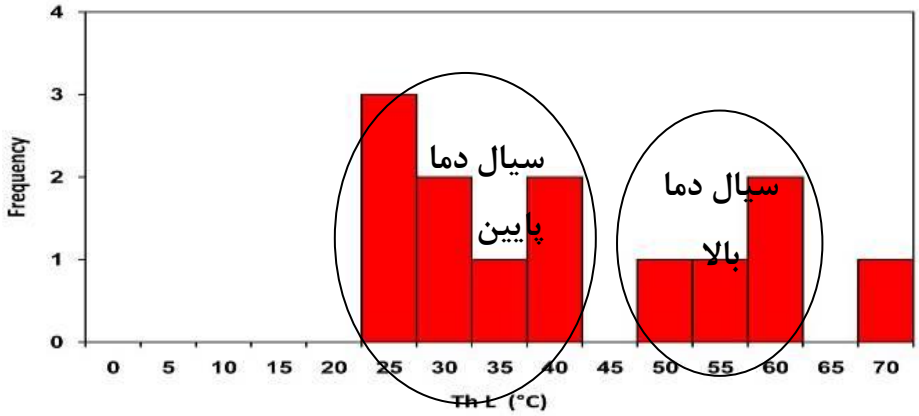
شکل ۹. تصاویر انواع میانبارهای سیال شناسایی شده در نمونه N5 .نمک گلوبریت الف) میانبارهای دو فازی غنی از بخار با اشکال نامنظم. ب) میانبار تک فازی گازی منفرد.



شکل ۱۰. انواع میانبارهای سیال شناسایی شده در نمونهN10 . نمک ساسولیت دار گنبد دهکویه-الف) تجمع میانبارهای تک فازی مایع و با آثار کشیدگی. ب) میانبارهای تک فازی مایع مربعی در سطوح رخ ج) میانبار دو فازی غنی از بخار منفرد. د) میانبار دوفازی غنی از بخار در مجاورت یک میانبار تک فازی گازی



شکل۱۲. توزیع فراوانی دمای همگن شدگی برای میانبارهای تک فازی مایع در نمونه نمک ساسولیت دار گنبد دهکویه



شکل ۱۳. توزیع فراوانی دمای همگن شدگی برای میانبارهای تک فازی مایع در دو نمونه نمک ساسولیت و گلوبریت گنبد دهکویه

جدول ۱. مشخصات نمونه برداری نمک ها و ژیپس های و تفکیک روش تجزیه در گنبدهای مورد مطالعه

شماره نمونه	محل نمونه برداری	روش	آنالیز	توضیح(شرح نمونه و هدف از نمونه برداری
N1	گنبد کرمستج	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک
N2	گنبد کرمستج	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک
N3	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک تیره
N4	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک صورتی
N5	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک زرد رنگ
N6	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک مشکی – سبز رنگ
N7	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک بلوری شفاف
N8	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک زرد رنگ و آهن‌دار
N9	گنبد کرمستج	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD و F.I	نمک صورتی
OR 58 N10	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD و F.I	نمک قهوه‌ای رنگ
A08	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	XRD	گچ توده‌ای
P1681	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	XRD	مخلوط پودر گچ و دولومیت
P102	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	XRF	گچ توده‌ای
A02	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	گچ توده‌ای
A05	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	گچ توده‌ای
A08	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	گچ توده‌ای
GDP	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	XRF	گچ رشته ای ثانویه
G1	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD و F.I	گچ شفاف شیشه‌ای
G2	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	گچ بلوری
G3	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	گچ رشته ای ثانویه
G4	گنبد پاسخند	کلوخه‌ای	F.I	گچ توده‌ای
D10	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	XRF	توف دگرسان
D11	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	XRF	توف دگرسان
D12	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	XRF	آهک که تحت هجوم محلول‌های سیلیس و آهن قرار گرفته‌اند.

نتیجه گیری

۱- میزان سدیم نمونه‌های نمک طعام و دیگر عناصر رابطه نزدیکی با هم دارند به طوری که هرچه میزان سدیم بیشتر شود، میزان عناصر دیگر در نمونه های نمک کمتر می شود و برعکس. بیشترین میزان سدیم متعلق به نمک بلوری شفاف و بی رنگ گنبد کرمستج است. هرچه نمک‌ها رنگین‌تر می شوند از میزان سدیم و خلوص نمک کاسته می شود. بطور کلی آهن بیشترین تاثیر در تغییر رنگ نمک را در بین عناصر داشته است.

۲- حضور کوارتز تقریبا در همه نمونه‌ها، نشان دهنده اهمیت ورود مواد خاکزاد به حوضه است. همچنین فراوانی آهن، سیلیسیم و منیزیم در نمونه‌ها رابطه مستقیم و خطی با هم دارند که ناشی از حضور بیگانه سنگ‌ها دارد.

۳- بر اساس جدول همبستگی به روش اسپیرمن، استرانسیم دارای بیشترین فراوانی عناصر کمیاب و بیشترین ضریب همبستگی با کلسیم در انیدریت و ژیپس، با ضریب همبستگی (۰.۷۸۶+) است.

٤- حضور کانی های رسی در میان ژیپس های گنبد پاسخند مانند کلریت حاصل دگرسانی کانی های منیزیم دار است و ایلیت حاصل دگرسانی فلدسپاتهای پتاسیم دار است. ایلیت عمدتاً در عمق زیاد و در مرحله دیاژنز دفنی عمیق ایجاد می‌گردد.

۵- در میانبارهای سیال نمونه‌های ژیپس در گنبد نمکی پاسخند، دماهای همگن شدن از ۷۸/۸ تا ۲۳۰ درجه سانتی گراد احتمالا ناشی از یک فرایند های غیر رسوبی (هیدروترمالی) و شوری به نسبت بالای آنها (بین ۹/۷ تا ۲۵/۳) می تواند ناشی از حضور گنبد نمکی و سیالات با شوری بالای حاصل از آن و اختلاط با سیال تشکیل دهنده ژیپس باشد.

در مجموع کانی‌های گلوبریت با فرمول $Na_2Ca(SO_4)_2$ در نمک زرد، کانی بور دار ساسولیت با فرمول $Br(OH)_3$ در نمک قهوه‌ای و کانی هالیت پوتاسین با فرمول $K_{0.4}Na_{0.6}Cl$ در نمک نارنجی زرد گنبد نمکی دهکویه که برای اولین بار در گنبدهای نمکی ایران در این منطقه گزارش می شود، به عنوان یک شاخص مهم در محیط-های تصعیدی اطراف تالاب‌های چشمه‌های داغ در نقاط مختلف دنیا معرفی شده است. در طول دوره های مختلف از تاریخ کره زمین، مانند کامبرین پایینی- اینفراکامبرین، شوری با توجه به ماگماتیسم گسترده در مناطق وسیعی از هیدروسفر بخصوص در اقیانوس تتیس بطور غیر طبیعی بالا بوده است. به نظر می رسد در زمان و مکان تشکیل این نمک ها یون های خاصی در ماگما بطور غیر عادی موجود بوده که باعث تشکیل نهشته‌های عظیم نمک شده اند. برای مثال همچنانکه در نهشته های معروف نیکل دنیا مانند معدن نیکل سادبوری در زمان های خاصی در پرکامبرین زیرین تشکیل شده که بعدا تکرار نشده اند و این می‌تواند ناشی از فراوانی نیکل در این زمان در جبه بوده که تخلیه شده و بعدا نهشته های قابل توجهی از نیکل تشکیل نشده اند . بنابراین این نمک‌ها لزوما نتیجه تبخیر آب دریا در طول دوره‌های طولانی از زمان نیستند. تناوب در تخلیه دوره‌ای یون‌های مختلف به وسیله فومارل‌ها، بخصوص کلرید و سولفات باعث تغییرات منطقه‌ای در جنس و نوع تبخیری‌ها در گنبدهای نمکی جنوب شده است. این یون ها بخصوص در گودی‌های کف دریا مجتمع شده و به مرور باعث تشکیل نهشته‌های نمکی- سولفاتی شده‌اند. نقش آب دریا به عنوان محیط واسط در تامین یون‌های مختلف مانند کلر، اکسیژن و بی-کربنات جهت تشکیل این نهشته‌ها بوده است. این نظریه می‌تواند برای مثال نبود نمک (در این تحقیق گنبد پاسخند) را توجیه کند. وقوع فعالیت گسترده ماگمایی بخصوص با توجه به وفور سنگ های مختلف آذرین و آهن فراوان همراه نمک‌ها، نبود فسیل‌های دریایی، توزیع جغرافیایی خاص گنبدهای نمکی، تشکیل نمک در محل ریفت‌های عهد حاضر، دمای بالای ذوب نمک ،

ویسکوزیته بالای نمک جهت انتشـار و تجمـع ثانویـه در بخش وسیعی از حوزه نهشت نمک، حجم عظیم نمک‌هـا، شکل خاص تشـکیلات نمـک بصـورت اسـتوک و سـیل (عمده تشکیلات نمکـی موجـود شـکل لایـه ای رسـوبی نداشته و در نقاط خاصی که همان محل تغذیه نمک بـوده اند، تشکیل گردیده اند)، تظاهر گنبدهای نمکی در محـل تقاطع گسل های عمده، و نتایج حاصل از مطالعه بـر روی سیالات درگیر بر روی نمک و انیدریت در این مطالعه نیز تاکیدی بر نقش فعالیـت هـای ماگمـایی در شـکل گیـری نمک‌های موجود در گنبدها است

منابع

-**آدابی، م ح.، (۱۳۹۰)**، "ژئوشیمی رسوبی"، انتشارات آرین زمین، ص۵۰۳.

-**ترشیزیان، ح.ا.، (۱۳۸۸)** ،"تکامل شورابه ها و تشکیل کانی های تبخیری در پلایای ساغند ایران مرکزی و مقایسهٔ آن با دریاچهٔ بزرگ نمک و حوضهٔ درهٔ مرگ در ایالات متحده"، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شمارهٔ ۱ ، ص۴۳- ٥٤.

-**جمالی، ن. اسکندری، ا، زارعیان، ر. نوری خانکهدانی، ک، کریمی م.، (۱۳۹۱)**، "بررسی کانی شناسی و ژئوشیمی گنبد کرسیا داراب"، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران. ۲۳ص.

- **حلمی، ف.، "شرحی بر نمک طعام - پتاس و پراکندگی آنها در ایران"، (۱۳۷۹)** ، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.۱۲۱ص.

- **نخبه الفقهایی، ع.، (۱۳۹٤)**،"بررسی زمین شناسی اقتصادی گنبدهای نمکی دهکویه،کرمستج و پاسخند در منطقه لار - بستک، جنوب ایران"، رساله دکتری رشته زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران.۳٤٥ص.

- **Aljubouri Zeki A., (2011),** "Geochemistry of Calcium Sulphate Rocks of Fat`ha Formation at Four Localities within Nineveh District, Northern Iraq (with emphasis on strontium distribution)", Iraqi National Journal of Earth Sciences vol.11 (1):pp 49-70.

- **Alkawaz, H. A. M., (1980),**"Geochemistry and Mineralogy of Marl Sediments Within the Fat`ha Formation in Selected Parts of Northern Iraq", Unpub. M.Sc.thesis, College of Science. Univ. of Mosul, Iraq , pp112.

- **Bosak P., Jaros J., Spudil J., Sulovsky P., Vaclavek V., (1998)**, "Salt Plugs in the Eastern Zagros, Iran: Results of Regional Geological Reconnaissance", Geo Lines (Praha) ,pp7 3- 174.

- **Becker S.P., Fall A., Bodnar R.J., (2008)** ," Synthetic inclusions. XVII. PVTX properties of high salinity H_2O-NaCl solutions (>30 wt % NaCl): Application to fluid inclusions that homogenize by halite disappearance from porphyry copper and other hydrothermal ore deposits", Economic Geology ,vol.103: pp539-554.

- **Butler G.P., (1973)** "Strontium Geochemistry of Modern and Ancient Calcium Sulphate Minerals. In: The Persian Gulf, ed. B.H. Purser", Springer, pp423 - 452.

- **Ganor J and Katz A. , (1989) ,** "The geochemical evolution of halite structures in hypersaline lakes:The Dead Sea, Israel", Limnol Oceanogr, vol.34(7):pp 1214-1223.

- **Hartmann B.H., Ramseyer K., Matter A., (2000)** "Diagenesis and pore-water evolution in Permian sandstones, Gharif Formation, Sultana of Oman". Journal of Sedimentary Research,vol. 70:pp 533-544.

- **Heerema S., (2009)** " A magmatic model for the origin of large salt formations", Journal of creation,vol. 23(3)

- **Karim A., Pe-piper G., Piper D.J.W., (2010)**, "Controls on diagenesis of Lower Cretaceous reservoir sandstones in the western Sable Subbasin, offshore Nova Scotia". Sedimentary Geology ,vol.224:pp 65-83.

- **Lynch David K. , Hudnut Kenneth W. , Adams Paul M. ,(2013)**," Development and growth of recently-exposed fumarole fields near Mullet Island, Imperial County", California. Geomorphology, Vol: 195, pp 27–44.

- **Momenzadeh, M., Heidary, A., (1990)** ,"The origin of Hormoz salt formation", Symposium on diapirismwith special reference to Iran,vol. 1:pp 109-140.

- **Playa E. D. I., Cendon A., Trave A. R. Chivas ., Y. A. G., (2007)**, "Using Multiple Geochemical Proxies to Trace Origin of Gypsum (Gulf of Carpentaria, Australia.)", Geogaceta, vol.42:pp135 - 138.

- **Sterner S.M., Hall D.L., Bodnar R.J., (1988)**, "Synthetic fluid inclusions V: solubility relations in the system NaCl-KCl-H_2O under vapor-saturated conditions", Geochimica et Cosmochimica Acta,vol. 52:pp 989-1005.

- **roedder E., Angelo w.m.d., Dorrzapf A.F Jr., Aruscavage P.J., (1987)**, " Composition of fluid Inclosions in permian salt beds,Palo duro basin,Texas USA", chemical geology,vol.61:pp 79-90.

A Study of Geochemistry, Mineralogy, and Fluid Inclusions on Gypsum and Salt Accompanied with the Introduction of Globerite and Sassolite Minerals in Dehkoyeh, Karmostaj, and Paskhand Salt Domes in Larestan

Ali Nokhbatolfoghahai[1], Nima Nezafati[2] , Mansoor Ghorbani[3] , Bijan Etemadi[4], Reza Arjmand zadeh[5]

1- PhD student in Economic Geology, Azad University, Science and Research Branch of Tehran

2-professor of Geology, Faculty of Sciences, Azad University, Science and Research Branch of Tehran

3-Associate Professor of Geology, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti

4- Associate Professor of Geology, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shiraz University

5-Assistant professor of Geology, Department of Geology, Payam nor ,Iran

ABSTRACT

In the study were analyzed the salts of Dehkoyeh and Karmostaj salt dome(separated based on color), and gypsum of Paskhand salt dome in Larestan region in Fars Province, which is performed in Iran for the first time. The discovery of Sassolite (B(OH)3) and Globerite (Na2Ca(SO4)2) salts (reported in Hormuz Salt Formation for the first time) following mineralogical studies confirm the efficient role of seabed fumaroles in Hormuz salt formation during Infra-Cambrian time. According to geochemical study, strontium is the most abundant trace element and with anhydrite and gypsum. Generally, iron has put the greatest impact on the changes of salt color from among all the elements. In gypsum, salinity changes between 9.7 wt% to 25.3 wt% of NaCl and homogenization temperatures vary between 78.5°C to 230°C. On this basis, Through the study of fluid inclusion data in the Sassolite and Globerite (Na2Ca(SO4)2) minerals, high temperature of 50°C to 60°C were identified. gypsum formation has probably occurred as a result of a secondary process and non-sediment (hydrothermal) processes. The high-temperature fluid has probably originated from the primary evaporative basin as a result of submarine hot solution (fumarole) activities forming the evaporative basin salts. In all probability this fumarole of suppliers ions needed was salt formation and the emergence of large volumes of Hormuz in a relatively short time to justify their salts.

Keywords: Sassolite, Globerite, Fluid Inclusion, Hydrothermal, Fumarole, Larestan