

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوشیمی

مطالعه ژئوشیمیایی نهشته‌های تبخیری پلایای حاج علی قلی و ارزیابی اقتصادی آن

نگارنده: عطیه نجیب

اساتید راهنما

دکتر فرج الله فردوست

دکتر مهدی جعفرزاده

استاد مشاور

مهندس عبدالعظیم حاج ملاعلی

شهریور ۱۳۹۸

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای راسبی ساگرم که از روی کرم پدر و مادری خداکار نصیحت ساخته تا سیه درخت پربار وجودشان بیایم و از ریشه آن ها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگاریه، هستی ام بوده اند و تتم را گرفتند و راه رفیق را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. حال این برگ سبزی است تخم درویش تقدیم آمان.....

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس حافظه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است.

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهمان به شجاعت می گرید

و به پاس محبت های بی درنشان که هرگز فروکش نمی کند.

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

شکر و قدردانی

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش فرید نعمت. حمد و سپاس ایندستان را که با الطاف بیکران خود همه چیز را از مرد و لطف آفرید و نور ایمان و دانش را در دل بندگان خود روشنی بخشید. بنام خداوندی که بر ما آشکار نمود راه‌های شناختن را و عطا فرمود قدرت بی‌محدود آنرا، آن که بر منت نهاد تا بسجود کنم نشانه‌های او را و فرصتی ایجاد کرد تا باز گوئیم. آن را، خدای بزرگ و دانا و بخشننده پاک که دادگری نیک و توانا است، آفرید کاری بزرگ که آدمی را با دهنش نیروی هوش و دانش بر دیگر آفریدگان شهباری بخشید. بعد از حمد خدای بر خود لازم می‌دانم که از تمامی عزیزانی که در طی این پژوهش مرایاری کرده اند قدردانی و شکر نمایم. در ابتدا خالصانه‌ترین و صمیمانه‌ترین احترام و سپاس خویش را نثار پدر و مادر مهربان و خواهران عزیزتر از جانم، می‌کنم که در جست‌وجوی شرف این تحسیر از بیچگونه کوششی فروگذار نکرده و هرگز نرسد و طلاق را تحمل نموده اند. از اساتید را بهمانا جناب آقای دکتر فروست و جناب آقای دکتر صفرزاده که در طول انجام مراحل مختلف تدوین این پایان نامه مرایاری نمودند صمیمانه شکر و قدردانی می‌نمایم. بر خود لازم می‌دانم از اساتید محترم دانشگاه گامان جناب آقای دکتر سید محمد با الله، دکتر سید سلطان محمدی، دکتر زدی که بی‌سجودانه‌ای مرا از راهبانی‌های ارزشمندشان بهره مند نمودند شکر و سپاس ویژه بعمل آورم. سپاس خود را از جناب آقای مهندس سریزین، کارشناس آتایگاه ایکس آردی زر آتایگاه جناب آقای مهندس بلایی، آقای مهندس وطن پرور مسئول آتایگاه فراکلادان مشهد جناب آقای دکتر خانی معاون پژوهشی مرکز تحقیقات علم و فناوری استان سمنان (شهرستان شاهرود)، که در طی مراحل آتایگاهی زحمت فراوانی را تحمل شدند اعلام می‌دانم. از دیگر اساتید محترم و دانشجویان دانشمندی که در علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود از جمله دکتر قلاتی، دکتر صادقیان، دکتر علی پور، دکتر رضایی، دکتر کردی، دکتر موسوی مهندس تحقیقی، مهندس مرتضی احمیان فرید، یونس سرتمشی و خانم هانزینب اورک، مینا شمرلی، زهراسکوبی ران سید نادری، فائزه عطیعی تبار، ممتاز رحمتی، نسیه کافلی، محمود کریمی و تمامی دوستان نیک اندیشم که لطف و محبتشان، همواره در طول انجام این پژوهش بمرایم بودند کمال شکر و قدردانی را دارم.

تعهدنامه

اینجانب عطیه نجیب دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زمین شیمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان: مطالعه ژئوشیمیایی نهشته‌های تبخیری پلایای حاج علی قلی و ارزیابی اقتصادی آن تحت راهنمایی دکتر فرح‌الله فردوست و دکتر مهدی جعفرزاده و مشاور مهندس عبدالعظیم حاج ملاعلی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه صنعتی شاهرود و یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۹۸/۰۶/۱۳

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات، مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

یکی از مهمترین مناطق تشکیل نهشته‌های تبخیری، محیط‌های پلایا هستند که بیش از ۸۰٪ نهشته‌های تبخیری جهان را به خود اختصاص داده‌اند. پلایای حاج‌علی‌قلی در شمالی‌ترین بخش پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی و در بین ارتفاعات البرز شرقی در شمال نوار آتشفشانی-رسوبی طرود-چاه شیرین در جنوب قرار گرفته است. مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی احاطه‌کننده این پلایا در بخش شمالی واحدهای سنگی رسوبی از قبیل سنگ‌آهک، دولومیت، شیل و ماسه‌سنگ و در بخش جنوبی سنگ‌های آذرین از جمله بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکیت و سنگ‌های آذرآواری از جمله توف و آگلومرا هستند. علاوه بر این‌ها توده‌های نفوذی از قبیل گرانودیوریت، داسیت، توده‌های بازیک و همچنین واحدهای پلایای از قبیل مارن‌های ژپس‌دار در بخش شرقی منطقه می‌باشند. طی بازدیدهای صحرائی تعداد ۶۸ نمونه برداشت که از این‌میان ۲۵ نمونه جهت آنالیز عناصر اصلی با استفاده از دستگاه ICP-MS و تیتراسیون، همچنین تعداد ۴۳ نمونه جهت بررسی عناصر فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. عناصر اصلی پلایای حاج‌علی‌قلی بر اساس فراوانی شامل کلر، سدیم، سولفات، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و لیتیم و عناصر جزئی شامل استرانسیم، باریوم و روبیدیم است. بر اساس نتایج آنالیزهای به‌دست آمده مشخص شد که کلیه عناصر اصلی به جز منیزیم و سدیم همبستگی مثبتی باهم نشان می‌دهند. بررسی کانی‌شناسی در نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش پتروگرافی و پراش اشعه ایکس (XRD) صورت گرفت که مشخص گردید هالیت، ژپس و کلسیت کانی‌های اصلی تشکیل دهنده با فراوانی بسیار بالای هالیت می‌باشند. با توجه به عیار اندازه‌گیری شده در حال حاضر عناصر مورد بررسی قابلیت بهره‌برداری یا ارزش اقتصادی ندارند.

کلمات کلیدی: نهشته‌های تبخیری، ارزیابی اقتصادی، پلایا، ژئوشیمی، پلایای حاج‌علی‌قلی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ۱- عطیه نجیب، فرج الله فردوست، مهدی جعفرزاده. ۱۳۹۷. جایگاه زمین شناسی و کانی شناسی پلایای حاج علی قلی، جنوب دامغان. دهمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران.

| | |
|----|---|
| ع | فهرست مداول |
| ۱ | فصل ۱ |
| ۱ | کلیات |
| ۲ | ۱-۱ مقدمه..... |
| ۳ | ۲-۱ موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی..... |
| ۴ | ۳-۱ شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی..... |
| ۶ | ۴-۱ وضعیت معیشتی و اجتماعی..... |
| ۷ | ۵-۱ ژئومورفولوژی..... |
| ۹ | ۶-۱ پیشینه تحقیق..... |
| ۹ | ۱-۶-۱ مطالعه پلایاها در ایران..... |
| ۱۰ | ۱-۶-۲ مطالعه پلایای حاج علی قلی..... |
| ۱۱ | ۷-۱ شرح مختصری از نهشته‌های تبخیری در جهان و ایران..... |
| ۱۲ | ۱-۷-۱ Racetrack پلایای..... |
| ۱۳ | ۲-۷-۱ Black Rock پلایای..... |
| ۱۴ | ۸-۱ پراکندگی تبخیرها در ایران..... |
| ۱۵ | ۱-۸-۱ پلایای ابرکوه..... |
| ۱۶ | ۲-۸-۱ پلایای میقان اراک..... |
| ۱۷ | ۳-۸-۱ پلایای گاوخونی..... |
| ۱۷ | ۹-۱ طرح مسئله و هدف از مطالعه..... |
| ۱۹ | ۱۰-۱ ضرورت انجام تحقیق..... |
| ۱۹ | ۱۱-۱ روش مطالعه..... |

| | |
|----|--|
| ۱۹ | ۱-۱۱-۱ گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع |
| ۱۹ | ۲-۱۱-۱ مطالعات صحرائی |
| ۲۰ | ۳-۱۱-۱ مطالعات آزمایشگاهی و دستگاہی |
| ۲۰ | ۴-۱۱-۱ تدوین پایان نامه |
| ۲۱ | فصل ۲ زمین شناسی |
| ۲۲ | ۱-۲ مقدمه |
| ۲۳ | ۲-۲ ویژگیهای عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی و البرز (شرقی و مرکزی) |
| ۲۵ | ۲-۲-۱ ویژگیهای عمومی پهنه ساختاری البرز |
| ۲۷ | ۳-۲ زمین شناسی ناحیه‌ای منطقه مورد مطالعه |
| ۲۸ | ۴-۲ چینش‌شناسی و شرح سازندهای منطقه مورد مطالعه |
| ۳۱ | ۲-۴-۱ واحدهای پرکامبرین |
| ۳۱ | ۲-۴-۲ پالئوزوئیک |
| ۳۳ | ۲-۴-۳ مزوزوئیک |
| ۳۴ | ۲-۴-۴ سنوزوئیک |
| ۳۷ | ۲-۵-۱ گسل دامغان |
| ۳۸ | ۲-۵-۲ گسل آستانه |
| ۳۸ | ۲-۵-۳ گسل عطاری |
| ۳۹ | ۲-۵-۴ گسل میامی (شاهرود) |
| ۴۰ | ۲-۵-۵ گسل طرود- انجیلو |
| ۴۲ | ۳-۱ مقدمه |
| ۴۳ | ۳-۲ محیط تشکیل کانیه‌های تبخیری |
| ۴۳ | ۳-۲-۱ محیط دریایی |

| | |
|----|---|
| ۴۳ |۲-۲-۳ محیط‌های غیر دریایی |
| ۴۵ |۳-۳ کانی‌های تبخیری |
| ۴۹ |۴-۳ کانی‌شناسی رسوبات پلایای حاج‌علی‌قلی |
| ۴۹ |۱-۴-۳ کوارتز |
| ۵۰ |۲-۴-۳ فلدسپات |
| ۵۲ |۳-۴-۳ کانی‌های رسی و میکا |
| ۵۵ |۴-۴-۳ کربنات‌ها |
| ۵۷ |۵-۴-۳ سولفات‌ها |
| ۵۸ |۶-۴-۳ کلریدها |
| ۶۱ |۳-۵ روند نهشت کانیهای تبخیری و مدل حوضه پلایای حاج‌علی‌قلی |

فصل ۴

۶۳

محیط رسوبی و ساختمان‌های رسوبی

۶۳

| | |
|----|--|
| ۶۵ |۱-۴ مقدمه |
| ۶۵ |۲-۴ زیر محیط‌های رسوب‌گذاری پلایای حاج‌علی‌قلی |
| ۶۶ |۱-۲-۴ زیر محیط رودخانه فصلی (Ephemeral stream) |
| ۶۶ |۲-۲-۴ زیر محیط مخروط افکنه‌ها |
| ۶۷ |۳-۲-۴ زیر محیط پهنه گلی خشک (Dry mudflat sub environment) |
| ۶۸ |۴-۲-۴ زیر محیط پهنه گلی نمکی (Saline mudflat sub environment) |
| ۷۰ |۵-۲-۴ زیر محیط پهنه نمکی (Saline pan sub environment) |
| ۷۵ |۳-۴ ساختمان‌های رسوبی |
| ۷۵ |۱-۳-۴ پوسته‌های شورزده نمکی |
| ۷۸ |۲-۳-۴ تپیه‌ها |

۳-۳-۴ ترکیب‌های گلی ۷۹

۴-۳-۴ اشکال گل کلمی ۸۰

۸۱ فصل ۵

۸۱ ژئوشیمی

۱-۵ مقدمه ۸۲

۲-۵ روش آنالیز ۸۲

۳-۵ ژئوشیمی عناصر اصلی ۸۴

۱-۳-۵ توزیع آنیون کلر ۸۶

۲-۳-۵ توزیع سدیم ۸۶

۳-۳-۵ توزیع آنیون سولفات ۸۸

۴-۳-۵ توزیع منیزیم در منطقه ۸۹

۵-۳-۵ توزیع پتاسیم در منطقه ۹۰

۶-۳-۵ توزیع کلسیم در منطقه ۹۱

۷-۳-۵ توزیع لیتیم در منطقه ۹۲

۴-۵ مقایسه درصد عناصر اصلی با یکدیگر ۹۳

۵-۵ همبستگی بین عناصر اصلی ۹۴

۱-۵-۵ تغییرات عناصر اصلی با سدیم ۹۶

۲-۵-۵ تغییرات عناصر اصلی با کلر ۹۹

۶-۵ نمودار خوشه‌ای عناصر اصلی پلایای حاج‌علی‌قلی ۱۰۱

۷-۵ بررسی غلظت عناصر و مقایسه آن با حد کلارک ۱۰۲

۸-۵ ژئوشیمی عناصر جزئی ۱۰۳

| | | |
|---------|--|-----|
| ۱-۸-۵ | مقایسه میانگین عناصر جزئی رسوبات بلوک شرق و غرب پلایا با استاندارد جهانی (UCC, PAAS) | ۱۰۴ |
| ۲-۸-۵ | همبستگی بین عناصر جزئی | ۱۰۶ |
| ۳-۸-۵ | بررسی تغییرات عناصر جزئی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری | ۱۰۷ |
| ۱-۳-۸-۵ | بررسی تغییرات آنومالی استرانسیم | ۱۰۹ |
| ۲-۳-۸-۵ | بررسی تغییرات آنومالی روبیدیم | ۱۱۰ |
| ۳-۳-۸-۵ | بررسی تغییرات آنومالی باریوم | ۱۱۲ |
| ۹-۵ | بررسی عناصر کمیاب در بلوک غربی رسوبات پلایای حاج‌علی‌قلی | ۱۱۳ |
| ۱۰-۵ | نمودارهای مثلثی عناصر بخش غرب منطقه | ۱۱۴ |
| ۱۱-۵ | کانسارهای تبخیری | ۱۱۵ |
| ۱-۱۱-۵ | کانی‌های سولفات | ۱۱۶ |
| ۲-۱۱-۵ | کانسارهای پتاس | ۱۱۷ |
| ۱۲-۵ | کانسارهای سلیستین (سولفات استرانسیم) | ۱۲۱ |
| ۱۳-۵ | پهنه‌بندی عناصر اصلی پلایای حاج‌علی‌قلی | ۱۲۱ |
| ۱۲۷ | فصل ۶ نتیجه‌گیری | |
| ۱۲۸ | نتایج | |
| ۱۲۹ | پیشنهادات | |
| ۱۳۰ | منابع | |

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱). موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه ۳
- شکل (۱-۲). نقشه اقلیمی استان سمنان (برگرفته از نقشه ۵
- شکل (۱-۳). نمایی از پوشش گیاهی اطراف پلایای حاج علی قلی ۶
- شکل (۱-۴). نقشه توپوگرافی منطقه و موقعیت پلایا حاج علی قلی ۸
- شکل (۱-۵). تصویر ماهواره‌ای پلایای حاج علی قلی ۸
- شکل (۱-۶). موقعیت و سن نهشته‌های تبخیری مهم در جهان ۱۲
- شکل (۱-۷). Sliding Rock بر روی سطح پلایای ۱۳
- شکل (۱-۸). پلایای Black Rock در تابستان ۱۴
- شکل (۱-۹). نقشه پراکندگی نهشته‌های تبخیری در مناطق مختلف ایران ۱۵
- شکل (۲-۱). پهنه‌بندی رسوبی ساختاری ایران ۲۲
- شکل (۲-۲). پهنه ساختاری استان سمنان ۲۳
- شکل (۲-۳). تقسیمات پهنه زمینشناسی البرز ۲۷
- شکل (۲-۴). نقشه زمین‌شناسی ۲۸
- شکل (۲-۵). موقعیت تکتونیکی ۳۷
- شکل (۲-۶). گسل شمال دامغان ۳۹
- شکل (۳-۱). حوزه پایداری کانیه‌های تبخیری ۴۷
- شکل (۳-۲). a - تصویری از بلورهای کوارتز که در متن کربناته قرار دارد. ۵۰
- شکل (۳-۳). گراف XRD از نمونه مقطع AN1-1 ۵۱

- شکل (۳-۴). گراف XRD از نمونه مقطع AN1-3-1 ۵۲
- شکل (۳-۵). گراف XRD از نمونه مقطع AN1-6-2 ۵۴
- شکل (۳-۶). گراف XRD از نمونه مقطع AN1-5 ۵۶
- شکل (۳-۷). گراف XRD از نمونه مقطع AN 2-1 ۵۷
- شکل (۳-۸). نمایی از کانی لوزی شکل ژیپس که در متن کربناته قرار دارد. ۵۸
- شکل (۳-۹). نمایی از هالیت در گل‌های بین‌لایه‌ای ۵۸
- شکل (۳-۱۰). a نمایی از ایزوتوپ بودن هالیت. b-تصویری از شکل هالیت ۶۰
- شکل (۳-۱۱). نمونه دستی از بلورهای هالیت در پلایای حاجعلیقلی ۶۰
- شکل (۳-۱۲). a - ساختار چشم‌گاو b- ساختار قطره اشکی (Tucker,2001) ۶۱
- شکل ۴-۱. نمایی از پهنه گلی خشک و زمین‌پف کرده ۶۷
- شکل ۴-۲. نمودار گراف مربوط به مقطع AN1-6-1 زیر محیط پهنه گلی نمکی ۶۹
- شکل ۴-۳. نمودار گراف مربوط به نمونه AN1-3-1 زیر محیط پهنه‌نمکی ۷۰
- شکل ۴-۴. نمونه صحرایی نشان‌دهنده مراحل مختلف تبلور در پهنه نمکی ۷۱
- شکل ۴-۵. مراحل تشکیل پوسته‌های هالیت ۷۳
- شکل ۴-۶. نمونه هالیت در گل‌های بین‌لایه‌ای ۷۳
- شکل ۴-۷. پوسته‌های شورزده در پلایای حاج‌علی‌قلی ۷۶
- شکل ۴-۸. نمایی از زمین‌پف کرده در پلایای حاج‌علی‌قلی ۷۶
- شکل ۴-۹. نمایی از تی پی‌ها در پلایای حاج‌علی‌قلی ۷۷
- شکل ۴-۱۰. پلی‌گون‌های نمکی در پلایای حاج‌علی‌قلی ۷۸
- شکل ۴-۱۱. اشکال گل‌کلمی در پلایای حاج‌علی‌قلی ۷۹
- شکل ۵-۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده به همراه نام پوروفیل آن‌ها ۸۳
- شکل ۵-۲. نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت آنیون کلر ۸۶

- شکل ۳-۵. نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون سدیم ۸۷
- شکل ۴-۵. نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت آنیون سولفات ۸۸
- شکل ۵-۵. نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون منیزیم ۸۹
- شکل ۶-۵. نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون پتاسیم ۹۰
- شکل ۷-۵. نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون کلسیم ۹۱
- شکل ۸-۵. نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون لیتیم ۹۳
- شکل ۹-۵. نقشه ژئوشیمیایی نحوه توزیع عناصر اصلی ۹۴
- شکل ۱۰-۵. نمودار همبستگی سدیم در مقابل عناصر اصلی ۹۷
- شکل ۱۱-۵. نمودار همبستگی کلر در مقابل عناصر اصلی ۱۰۰
- شکل ۱۲-۵. دندوگرام خوشه‌ای عناصر اصلی ۱۰۱
- شکل ۱۳-۵. نمودار هیستوگرامی عناصر اصلی با حد کلارک ۱۰۲
- شکل ۱۴-۵. محدوده حوضه حاج علی قلی ۱۰۳
- شکل ۱۵-۵. نمودار هیستوگرام مقایسه غلظت عناصر جزئی ۱۰۴
- شکل ۱۶-۵. نحوه توزیع عناصر جزئی ۱۰۷
- شکل ۱۷-۵. تغییرات و پراکندگی غلظت عنصر استرانسیم ۱۰۸
- شکل ۱۸-۵. نمودار هیستوگرامی مقایسه تغییرات میانگین اسرانسیم ۱۰۹
- شکل ۱۹-۵. تغییرات و پراکندگی غلظت عنصر روبیدیم ۱۱۰
- شکل ۲۰-۵. تغییرات میانگین فراوانی عنصر روبیدیم در بلوک شرقی و غربی ۱۱۰
- شکل ۲۱-۵. نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت عنصر باریم ۱۱۱
- شکل ۲۲-۵. تغییرات میانگین فراوانی عنصر باریم در بلوک شرقی و غربی ۱۱۲
- شکل ۲۳-۵. نمودار عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت ۱۱۳
- شکل ۲۴-۵. دیاگرام سه تایی Al_2O_3 ، $CaO+Na_2O$ و K_2O ۱۱۴

- شکل ۵-۲۵. نمودار هیستوگرامی مقایسه عناصر پلایای میقان با حاج‌علی‌قلی ۱۱۶
- شکل ۵-۲۶. نمودار هیستوگرامی مقایسه عناصر پلایای خور با حاج‌علی‌قلی ۱۱۹
- شکل ۵-۲۷. a- تغییرات عیار عنصر کلسیم در پلایای حاج‌علی‌قلی ۱۲۱
- شکل ۵-۲۸. b- تغییرات عیار عنصر پتاسیم در پلایای حاج‌علی‌قلی ۱۲۲
- شکل ۵-۲۹. c- تغییرات عیار آنیون کلر در پلایای حاج‌علی‌قلی ۱۲۲
- شکل ۵-۳۰. d- تغییرات عیار سولفیت در پلایای حاج‌علی‌قلی ۱۲۳
- شکل ۵-۳۱. e- تغییرات عیار لیتیم در پلایای حاج‌علی‌قلی ۱۲۳
- شکل ۵-۳۲. f- تغییرات عیار عنصر سدیم در پلایای حاج‌علی‌قلی ۱۲۴

فهرست جداول

- جدول ۳-۱. برگرفته از (Hardie and Eugster, 1976) ۴۸
- جدول ۵-۱. مختصات نقاط نمونه برداری ۸۴
- جدول ۵-۲. غلظت عناصر اصلی حاصل از آنالیز تیتراسیون و ICP-MS ۸۵
- جدول ۵-۳. همبستگی پیرسون بین ۷ عنصر اصلی ۹۵
- جدول ۵-۴. داده‌های عناصر جزئی رسوبات پلایای ۱۰۴
- جدول ۵-۵. همبستگی پیرسون بین عناصر جزئی در رسوبات پلایای حاج‌علی‌قلی ۱۰۵
- جدول ۵-۶. نام و فرمول شیمیایی کانی‌های پتاس (Warren, 1999) ۱۱۷
- جدول ۵-۷. تقسیم بندی مساحت عیار عناصر اصلی ۱۲۱

فصل ۱

کلیات

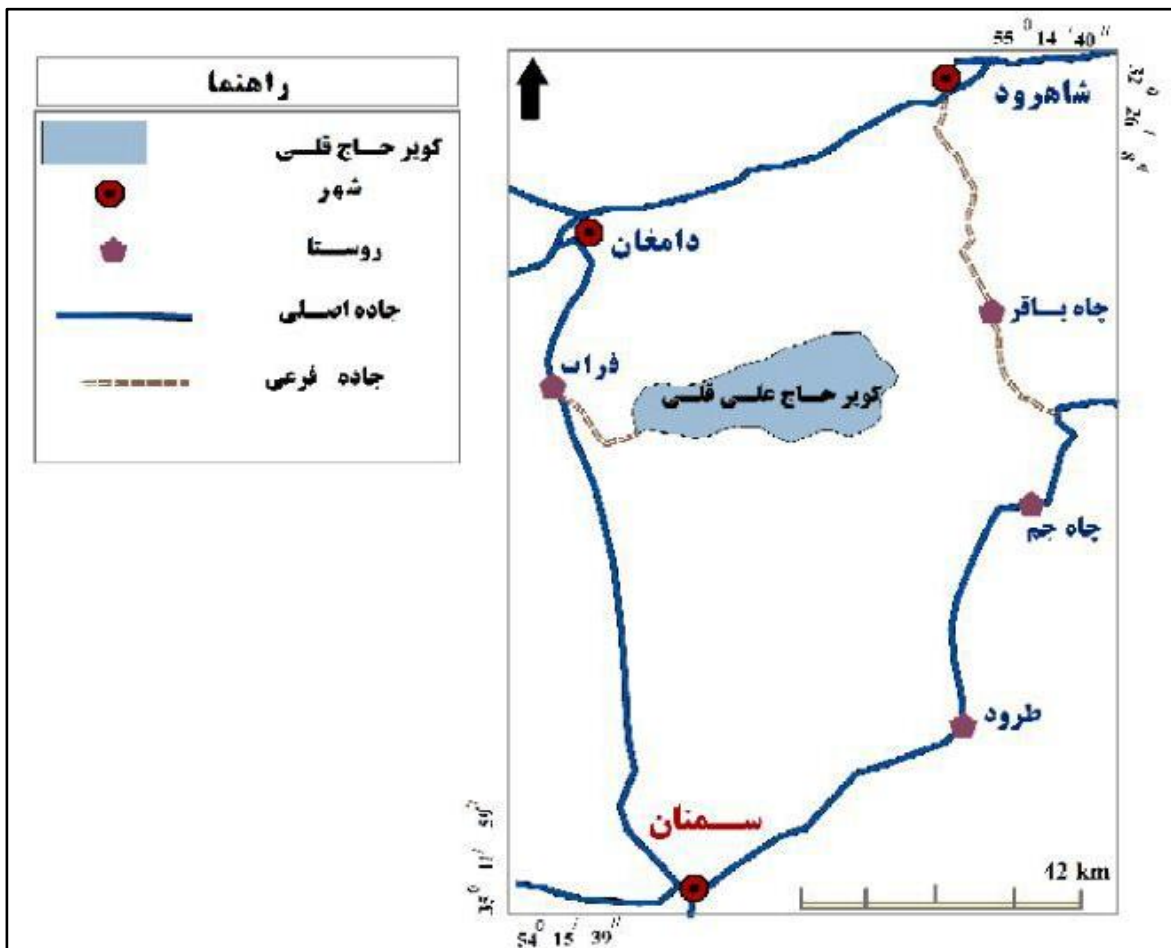
۱- مقدمه

نهشته‌های تبخیری گروهی از نهشته‌های شیمیایی هستند که پیدایش آن‌ها را می‌توان به فرآیند رسوبگذاری و تبلور محلول اشباع نسبت داد. این نهشته‌ها در سطح زمین، دریاچه‌ها، پلایاها، مناطق خشک و در آب اقیانوس‌ها، آب‌های سطحی، آب‌های شور و در حوضچه‌های درون قاره‌ای که دارای میزان تبخیر زیاد هستند، تشکیل می‌شوند. یکی از مهمترین مناطق تشکیل نهشته‌های تبخیری، محیط‌های پلایا هستند که بیش از ۸۰ درصد نهشته‌های تبخیری جهان را به خود اختصاص داده‌اند (Arzani, 2007). براساس علم ژئومورفولوژی واژه پلایا عموماً برای فروافتادگی‌های بین مخروط افکنه‌ای دارای سطوح نمکی استفاده می‌شود (Rosen, 1994; Goudie and Wells, 1995). از دیدگاه هیدروژئولوژیکی پلایا برای معرفی یک سیستم بسته، فاقد جریان خروجی آب واقع در پایین‌ترین (به لحاظ توپوگرافی) مناطق حوضه آبریز گفته می‌شود (Nichols, 2009). حوضه‌های پلایای متعددی در جهان و ایران وجود دارند که با بررسی تاریخچه و نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و هیدروشیمی رسوبات و شورابه‌های موجود بیانگر این نکته می‌باشد که این محیط‌ها مرتبط با دوران سوم زمین‌شناسی هستند. مطالعات جدید در این زمینه بخصوص از اوایل دهه هشتاد میلادی و همزمان با پیشرفت روش‌ها و تجهیزات مرتبط (افزایش دقت و صحت) گامی نو در جهت شناخت هر چه بیشتر این محیط‌ها بوده است. مطالعه پلایاها به لحاظ اقتصادی از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد، زیرا بسیاری از منابع معدنی ارزشمند از جمله سولفات و کربنات سدیم و پتاسیم، گچ، نمک طعام، نترات‌ها، بورات‌ها، بوراکس، ید، برم و همچنین تعدادی از فلزات کمیاب و ارزشمند مانند لیتیم، روبیدیم، سزیم و حتی اورانیم در این محیط‌ها تشکیل و یا انباشته می‌گردند. کشور ایران دارای حوضه‌های پلایایی متعددی است از جمله مهمترین این حوضه‌های پلایایی می‌توان به پلایای حاج‌علی‌قلی اشاره کرد که در استان سمنان، ۳۵ کیلومتری جنوب دامغان و جنوب‌غرب شاهرود قرار دارد. در این تحقیق سعی می‌گردد با تکیه بر داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات پلایای حاج‌علی‌قلی، به ارزیابی پراکندگی عناصر اصلی و فرعی در این

پلایا و بررسی اهمیت اقتصادی این نهشته‌ها پرداخت.

۲-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

پلایای حاج‌علی‌قلی در ۳۵ کیلومتری جنوب دامغان و جنوب‌غرب شاهرود در مختصات جغرافیایی $54^{\circ} 26'$ تا $54^{\circ} 54'$ طول شرقی و $35^{\circ} 50'$ تا $36^{\circ} 00'$ عرض شمالی واقع شده است. راه‌های دسترسی به این منطقه شامل مسیر اول، از جاده شاهرود به طرود، انحراف به راست به منطقه چاه جام و کوه خرس و مسیر دوم، جاده دامغان به معلمان، انحراف به چپ از طریق جاده فرات می‌باشد (شکل ۱-۱).



شکل (۱-۱). موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

۱-۳ شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی

آب و هوا نقش اساسی در تنظیم آب همه پلایاها، بویژه حوضه‌های بسته ایجاد می‌کند. ضمن آنکه بارش و آب‌های وارده به حوضه به‌طور فصلی در شیمی آب پلایا بسیار اهمیت دارد. در بررسی پلایاهای شور، شناخت وضعیت آب و هوایی منطقه مورد مطالعه در تفسیر هیدروشیمی، هیدروژئوشیمی و رسوب‌شناسی کمک شایانی می‌نماید. ترکیب و نوع رسوبات تبخیری به فاکتورهای محیطی و اقلیمی، ژئوشیمیایی و مورفولوژیکی وابسته است (Crowford and Padovani, 1989). تأثیر اقلیم بر روی ترکیب شیمیایی حوضه‌های بسته بسیار زیاد است. باوجود آنکه منشأ رسوبات درون حوضه ثابت باقی می‌ماند، اما پلایاها در طی زمان و در نتیجه تغییرات هیدرولوژیکی حوضه تغییر می‌کنند. آب و هوای خشک و نیمه خشک یکی از فاکتورهای کلیدی در تشکیل ته‌نشست‌های تبخیری است. آب و هوای پلایای حاج‌علی‌قلی در کل مانند پهنه ایران مرکزی است، و به‌عنوان محیط قاره‌ای، نیمه خشک تا خشک معرفی می‌شود. وضعیت آب و هوایی منطقه تابع سیستم کلی شرایط اقلیمی و فلات مرکزی ایران است. این محدوده براساس نقشه اقلیمی استان سمنان در اقلیمی خشک قرار گرفته که همین امر سبب ایجاد تفاوت زیاد در دمای روز و شب در این محدوده شده است (شکل ۱-۲) این ناحیه دارای زمستان‌های سرد و خشک و بقیه سال خصوصاً از اواخر اردیبهشت تا اواخر شهریور بسیار گرم است به‌طوری که اختلاف درجه حرارت بین شب و روز در تابستان تا حدود ۲۵ درجه می‌رسد. میانگین درجه حرارت سالانه در منطقه ۱۴/۴ درجه سانتیگراد است و میزان بارندگی ۱۴۷/۷ میلی‌متر و میانگین کمترین دما ۶- و بیشترین دما ۴۸ درجه سانتیگراد می‌باشد (آمار ایستگاه هواشناسی دامغان، ۱۳۸۸). استقرار پوشش گیاهی در هر منطقه تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله اقلیم، توپوگرافی قرار دارد. پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه مشابه مناطق پلایای است. بطور کلی پلایاها به علت شرایط خاص آب و هوایی که دارند، از نظر پوشش گیاهی ضعیف می‌باشند. در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالاست و شوری آن تا اندازه معینی است، گیاهان خاصی قادر به سازش در چنین محیط‌هایی بوده و رشد می‌کنند.



شکل (۱-۳). نمایی از پوشش گیاهی اطراف پلاپای حاج‌علی‌قلی

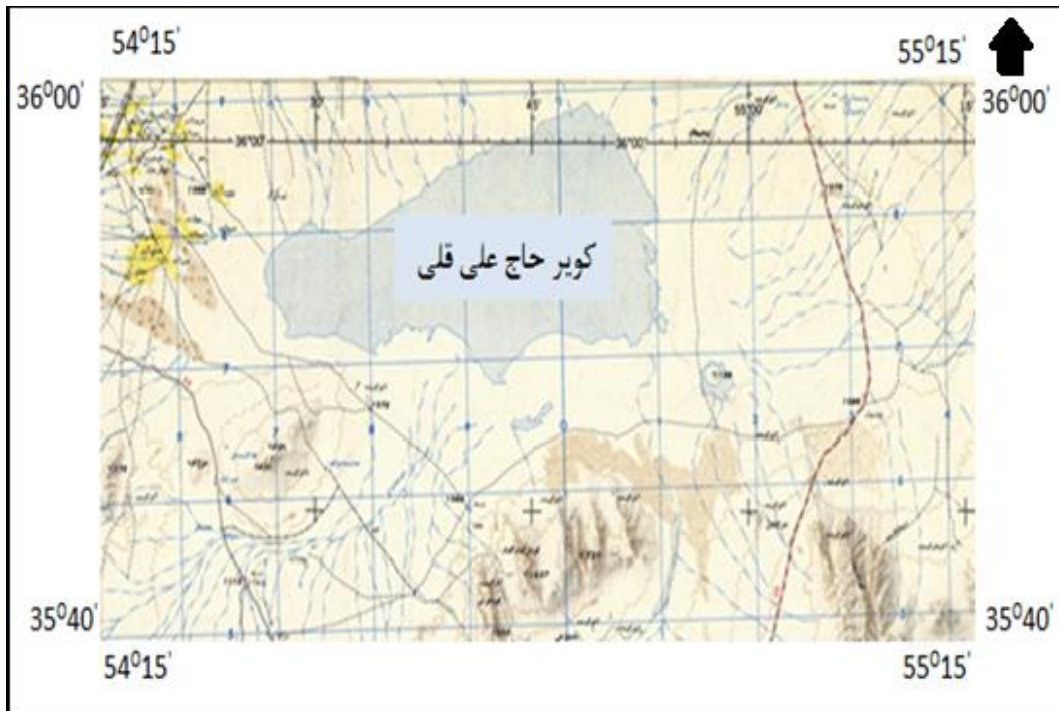
۴-۱ وضعیت معیشتی و اجتماعی

شغل بیشتر مردم منطقه دامداری (گوسفند، بز و شتر) و کشاورزی می‌باشد، اما تعداد کمی از مردم منطقه مشغول به فعالیت در پروژه‌های معدنی هستند. این منطقه به لحاظ داشتن پتانسیل بالای معدنی مستعد تعریف پروژه‌های معدنی می‌باشد که این مهم می‌تواند نقش مهمی در اشتغال‌زایی در منطقه داشته باشد. کاهش میزان بارش و قرار گرفتن منطقه در حاشیه پلایا، باعث ایجاد شرایط نامناسب برای کشاورزی و کاهش سطح زیر کشت در زمین‌های کشاورزی شده است. آب مورد نیاز روستائیان از چند چشمه نسبتاً کم‌آب در داخل دره‌های منطقه، چندین رشته قنات و مقداری از چاه‌های حفر شده داخل سفره‌های زیرزمینی تأمین می‌شود.

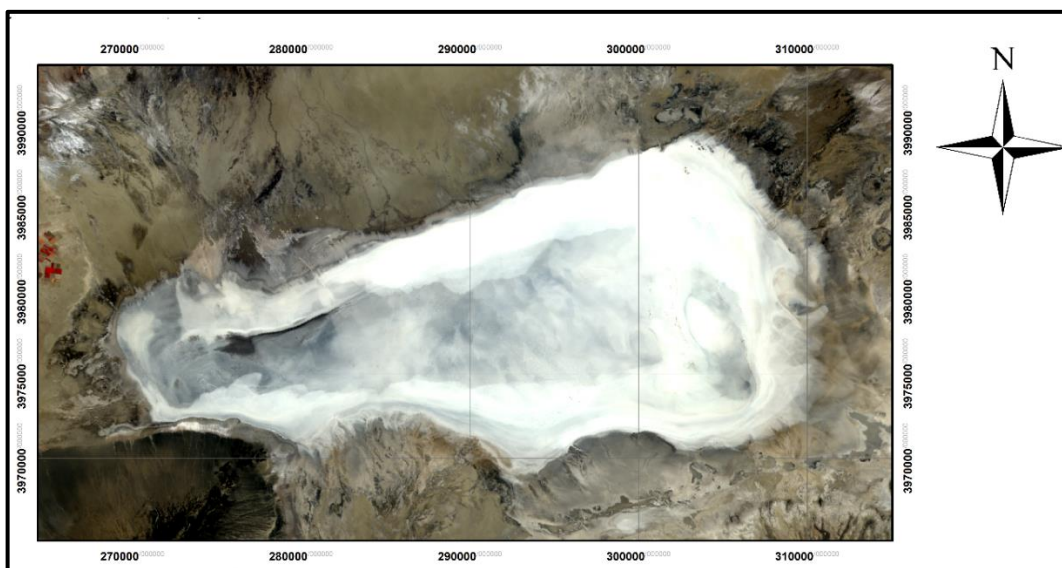
۱-۵ ژئومورفولوژی

منطقه مورد مطالعه در شمال نقشه زمین‌شناسی چهار گوش طرود با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ قرار دارد (علوی و هوشمندزاده، ۱۳۵۵). ناحیه طرود در شرق سمنان، جنوب دامغان و جنوب غربی شاهرود واقع شده است و بیشتر مساحت آن را پلایا و زمین‌های پست و هموار تشکیل می‌دهد. تنها ارتفاعات مهم آن رشته کوه‌های چاه‌شیرین، طرود و سهل است که با روند تقریباً شرقی - غربی این ناحیه را به دو قسمت تبدیل می‌کند و پلایای حاج‌علی‌قلی را در شمال از دشت پلایا در جنوب جدا می‌سازد. ارتفاع این پلایا از سطح دریا تقریباً ۱۱۲۰ متر می‌باشد. پلایای حاج‌علی‌قلی در واقع ناحیه‌ای است به مساحت حدود ۵۰۰ کیلومتر مربع که البته این مساحت در حقیقت وسعت پهنه نمکی واقع در مرکز پلایا دامغان می‌باشد. طول این پهنه‌ی نمکی ۴۰ کیلومتر و عرض آن در عریض‌ترین نقطه ۱۷ کیلومتر و در کم عرض‌ترین ناحیه ۸ کیلومتر می‌باشد (حسنی، ۱۳۸۲). این پلایا درست در شمال دشت پلایا واقع شده است و توسط ارتفاعات کوه قلعه دختر، کوه چاه شیرین، کوه ترکمن‌گدار و کوه دوله‌دیار احاطه می‌گردد. شاخص‌ترین حوضه آبریز منتهی به پلایا حاج‌علی‌قلی، حوضه آبریز رودخانه چشمه‌علی بوده که خود مشتمل بر دو زیر حوضه به‌نام‌های حوضه آبریز دامغان‌رود و حوضه آبریز شورتنکه می‌باشد که از حاشیه شمالی و شمال‌غربی وارد پلایا می‌شوند. رودهای کوچکتری از جنوب غرب و بخش شرقی وارد پلایا می‌گردند. این رودها دبی کمتری از رودهای اصلی دارند و عموماً در ابتدای تابستان خشک می‌شوند. واحدهای سنگی که در پیرامون حوضه حاج‌علی‌قلی گسترده شده‌اند، از نظر زمانی و ترکیب سنگ-شناسی از تنوع خاصی برخوردار هستند. از سمت جنوب به کوه‌های دم‌خرگوشی و چاه فراخ، از سمت جنوب شرق به کوه‌های هشتگاه و چاه‌نو، از سمت جنوب‌غربی کوه‌های پنج کوه و کوه‌سرخ گسترش دارند که تمامی این مورفولوژی‌ها و شیب بستر رودخانه، نقش عمده و مؤثری در انتقال و تسریع رسوبگذاری در منطقه ایفا می‌نماید. محدوده حاج‌علی‌قلی براساس مدل ارتفاعی-رقومی استان سمنان در دشتی با توپوگرافی پست نسبت به سایر مناطق با ارتفاع متوسط ۷۵۰ متر، واقع در فرورفتگی بین

ارتفاعات البرز با ارتفاع ۳۷۵۰ متر در شمال و هورست ترود- چاه شیرین با ارتفاع ۲۳۱۹ قرار گرفته که شامل دشت‌های پست (پلایا)، پوسته‌های نمکی پلایا و سطوح نمکی رسی می‌باشد. شکل ۴-۱ و ۵-۱ به ترتیب نقشه توپوگرافی و ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱). نقشه توپوگرافی منطقه و موقعیت پلایا حاج علی قلی (سازمان جغرافیایی کشور، ۱۳۵۴).



شکل (۵-۱). تصویر ماهواره‌ای پلایای حاج علی قلی

۱-۶ پیشینه تحقیق

تا کنون مطالعات زیادی بر روی پلایاهای شور و پلایا در دنیا انجام شده است، اما بررسی‌های اخیر دیدگاه‌های متفاوتی را در بر گرفته و همه سو نگر می‌باشد. آنچه که بیش از هر چیز توجه زمین‌شناسان را بخود معطوف نموده است، بررسی اقلیم گذشته می‌باشد. در این بررسی‌ها روش‌های مختلفی بکار گرفته می‌شود که معمولاً نتایج یکسانی را در بردارد. از آن جمله می‌توان به مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمی اشاره نمود (Domagalski et al., 1990; Li et al., 1995). پلایاها نقش اساسی در تعادل آب و هوایی و تغییرات اکولوژیکی در کواترنری، در مناطق اطراف خود داشته‌اند، به همین علت مطالعه آنها برای تعیین اقلیم گذشته همواره مورد توجه است، به‌عنوان مثال می‌توان به بررسی محتوای فسیلی، مطالعه اذخال سیال (Lowenstein et al., 1990; Ayora et al., 2001) و خصوصیات بیولوژیکی (Wasylikowa et al., 2006)، برای تعیین اقلیم گذشته اشاره کرد. در ایران نیز توجه خاصی به پلایاها و پلایاهای شور شده است که در ذیل به بررسی آن پرداخته شده است.

۱-۶-۱ مطالعه پلایاها در ایران

محمدی (۱۳۸۹)، رسوب‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های پلایای جازموریان را مورد بررسی قرار داده است. نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی نشان داد که توزیع کانی‌ها در این پلایا دارای الگوی منظمی است. کلریت، ایلیت و مونتموریلونیت کانی‌های اصلی رسی و کائولینیت به‌عنوان کانی فرعی و به شکل درجا در پلایا وجود دارد.

ترشیزیان (۱۳۸۹)، به بررسی رسوب‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی پلایای ساغند واقع در استان یزد پرداخت و نقشه زمین‌ریخت‌شناسی حوضه پلایا را تهیه کرد. براساس نمونه‌برداری سطحی و تحت الارضی ۴ مجموعه رخساره‌ای که شامل رخساره‌های جریان خرده‌دار، رودخانه‌ای، بادی و پلایای است را شناسایی کرد.

- رئیس السادات و همکاران (۱۳۹۱)، به نحوه پیدایش پلایای سهل‌آباد در شرق ایران پرداخته‌اند. مطالعات اولیه نشان داد که کفه نمکی سهل‌آباد یک حوضه فروافتاده تقریباً متقارن بوده که بر اثر عملکرد دوسری از گسل‌های امتداد لغز راستگرد بوجود آمده‌اند. محاسبه پیچش کانال رودخانه‌ها در گستره منتهی به کفه نیز نشان دهنده زمین‌ساخت فعال در این ناحیه است. براساس نتایج حاصل، کفه نمکی سهل‌آباد در حال گسترش می‌باشد.

۲-۶-۱ مطالعه پلایای حاج‌علی‌قلی

هاشمی و همکاران (۱۳۸۱)، به مطالعه و بررسی نهشته‌های کواترنری شمال حوضه آبریز پلایا حاج علی‌قلی جهت تعیین مکان‌های مناسب احداث سدهای آب زیرزمینی پرداخته‌اند و از طریق عکسهای هوایی و بازدیدهای میدانی مناطق مناسب را برای احداث سد الویت بندی کردند.

حسنی (۱۳۸۲)، نحوه تکامل شورابه‌ها و رسوب‌گذاری کانی‌های تبخیری پلایای حاج‌علی‌قلی را بررسی نموده است و مدل چشم‌گاو را برای این پلایا پیشنهاد داده است.

شهبازی و فیض‌نیا (۱۳۹۰)، تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی یکی از حوزه‌های پلایا حاج‌علی‌قلی را مورد بررسی و پژوهش قرار داده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که گسترش سنگ کف مارنی در پلایا عامل اصلی تخریب کیفیت آب زیرزمینی است.

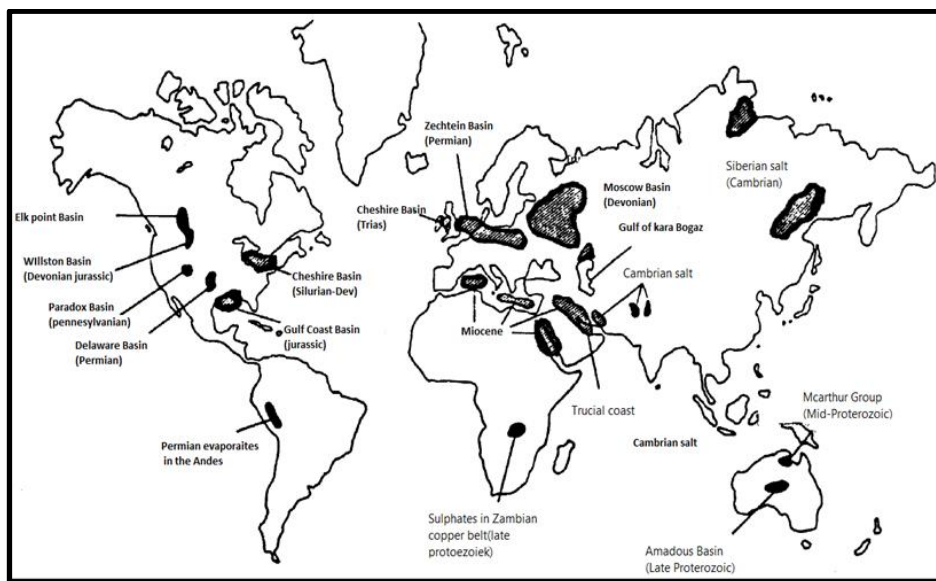
موسوی (۱۳۹۳)، به بررسی مدل‌سازی و پهنه‌بندی رفتار بیابان بر اساس پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه پلایای حاج‌علی‌قلی پرداخته است. وی به این نتیجه رسید که این حوضه بر مبنای پارامترهای ژئومورفولوژی یک اکوسیستم ناسالم بشمار می‌آید که تنش‌های ناشی از افزایش رخداد بیابان زایی عامل اصلی ناسالمی سیستم و ناهنجاری رفتار آن می‌باشد.

عزیزی (۱۳۹۳)، به بررسی و مطالعه ژئوشیمی عناصر کمیاب نهشته‌های تبخیری پلایای حاج‌علی‌قلی و میامی از دیدگاه اقتصادی ذخیره لیتیم، بور و پتاسیم پرداخته است. طی نتایج حاصل از این تحقیق مشخص شد که استخراج عنصر لیتیم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد.

پریمی (۱۳۹۴)، به بررسی و مطالعه رسوب‌شناسی و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای حاشیه پلایا حاج علی‌قلی پرداخته‌اند. نتایج حاصل نشان داد که مولفه دامنه قله و پشت به باد، بهترین ضریب همبستگی را نشان می‌دهد و برای بدست آوردن ارتفاع می‌توان از آنها استفاده کرد.

۱-۷ شرح مختصری از نهشته‌های تبخیری در جهان و ایران

بطور کلی رسوبات تبخیری، رسوبات شیمیایی هستند که در سطح زمین یا نزدیک به آن از شورابه‌های تغلیظ شده توسط تبخیر خورشید در حوضه‌های محدود رسوب می‌کنند و پس از تغلیظ، نمک‌های محلول در آب رسوب کرده‌اند (Warren, 1999). امروزه اکثر نواحی با تبخیر مناسب که باعث تشکیل نهشته‌های تبخیری می‌شوند، بین عرض‌های جغرافیایی ۱۰ تا ۴۰ درجه شمالی و جنوبی (مناطق نیمه استوایی) قرار دارند. این مناطق در گذشته به خصوص در طول دوره‌هایی که سطح آب پایین بوده است، وسیع‌تر بوده‌اند (Kendall, 1984). در ادامه به بررسی چند نمونه از پلایاهای موجود در جهان و ایران با ذکر ویژگی آن پرداخته می‌شود. در شکل (۱-۶) موقعیت و سن نهشته‌های تبخیری مهم دنیا نشان داده شده است.



شکل (۱-۶). موقعیت و سن نهشته‌های تبخیری مهم در جهان (Tucker, 1991)

۱-۷-۱ پلایای Racetrack

راکتراک Racetrack یک پلایای با مساحت $4 \times 2/5$ کیلومتر مربع است، که در پارک ملی دره مرگ در آمریکا واقع شده است و شاید تنها برای چند روز از سال پوشیده شود (Lorenz et al., 2010). رسوبات این پلایا مخلوطی از ذرات ماسه، سیلت و رس است که معمولاً دارای ترک‌های چند ضلعی نامنظم فاصله‌دار کوچک و برجسته با رنگ یکنواخت زرد نخودی است. این پلایا به علت حضور قله‌سنگ و تخته‌سنگ‌های کوچک از دیگر پلایاها متمایز شده است که این سنگ‌ها بر روی سطح یکنواخت پلایا مشخص و اغلب در انتهای دنباله‌ها یا شیارهایی در سطح پلایا مشخص هستند (شکل ۱-۷). این دنباله‌ها اشاره به این دارند که سنگ‌ها در سطح پلایا وقتی مرطوب بوده است حرکت داشته اند و برای تأیید آن از تعبیر علمی و غیر علمی مختلفی استفاده می‌کنند (Lorenz et al., 2011).



شکل (۱-۷). Sliding Rock بر روی سطح پلایای Racetrack. سنگی با ارتفاع حدود 15 cm دارای یک دنباله که ظاهراً در زمانی که سطح پلایا مرطوب بوده، توسط باد حرکت کرده است (Lorenz et al., 2011).

۱-۷-۲ پلایای Black Rock

این پلایا که در شمال غربی نوادا در آمریکا قرار گرفته است، یکی از بزرگترین و مسطح‌ترین سطوح بر روی زمین است. ویژگی منحصر به فرد این پلایا احتمالاً بواسطه‌ی ترکیب فاکتورهایی از قبیل آب و هوا، هیدرولوژی، جایگاه تکتونیکی و تاریخچه‌ی زمین‌شناسی گذشته کنترل شده است. خاک این پلایا بطور عمده از رس تشکیل شده است. متوسط نرخ تبخیر پلایا حدود ۱۲۷ سانتیمتر در سال است. پلایا در طول تابستان خشک است (شکل ۱-۸) و تنها وقتی که بارش‌های زمستانی و بهاری رخ می‌دهد و از سرزمین‌های اطراف نیز آب به اندازه‌ی کافی تأمین می‌شود، از آب پوشیده می‌باشد. این پلایا بطور متناوب بوسیله‌ی مخروط افکنه‌ها و دیگر اشکال بادی احاطه شده است. از لحاظ کانی

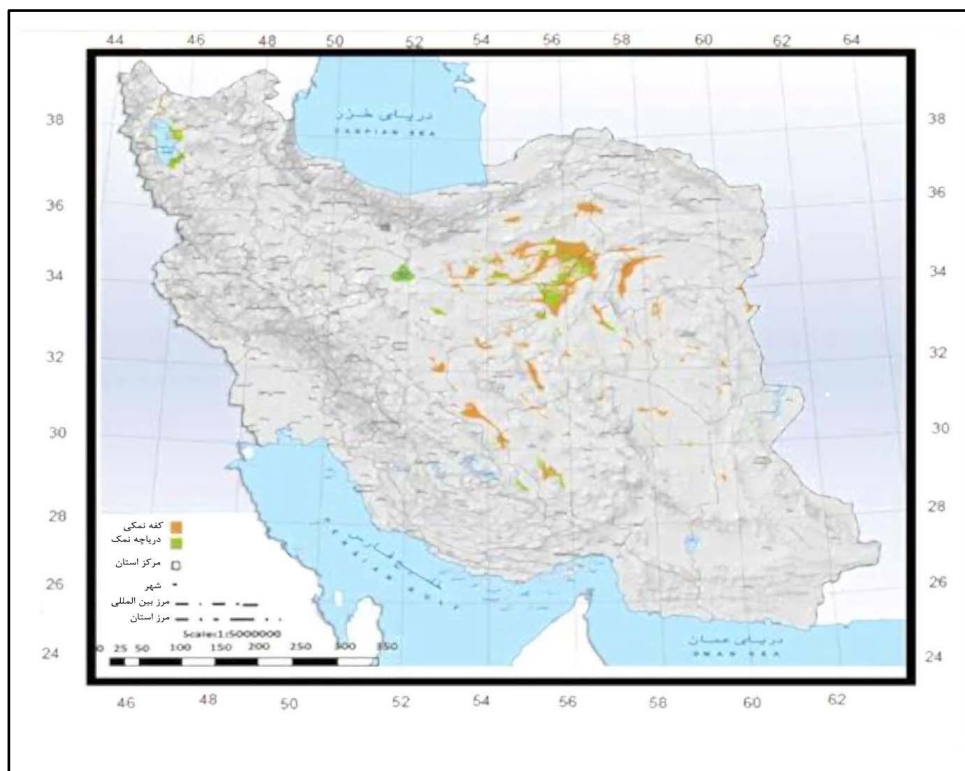
شناسی، در داخل رسوبات پلایا کانی‌های کوارتز، میکاها، کلسیت، فلدسپار و انواع مختلف رس‌ها معمول هستند (Adams and Sada, 2010).



شکل (۱-۸). پلایای Black Rock در تابستان (Adams and Sada, 2010)

۸-۱ پراکندگی تبخیرها در ایران

نهشته‌های تبخیری ۲۵٪ نواحی قاره‌ای را تشکیل می‌دهند (فیض‌نیا، ۱۳۷۱). کشور ایران با داشتن محیط‌های بسیار متنوع زمین‌شناسی، دارای منابع و ذخایر عظیمی از تبخیری‌ها است. وجود پلایاهای نمکی در استان‌های مختلف کشور و وجود محیط‌های پلایای و پلایا در محیط‌های فرونشینی خود گواه دیگری بر این مدعاست (حلمی، ۱۳۸۴). نقشه پراکندگی نهشته‌های تبخیری در ایران در شکل (۱-۹) ارائه شده است.



شکل (۱-۹). نقشه پراکندگی نهشته‌های تبخیری در مناطق مختلف ایران (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۸۳)

۱-۸-۱ پلایای ابرکوه

پلایای ابرکوه در مرکز ایران، بخشی از زون سنندج سیرجان می‌باشد که در لبه شمال شرقی این زون قرار گرفته است. از خصوصیات زمین‌شناسی این منطقه، تنوع واحدهای لیتولوژی در اطراف این حوضه می‌باشد که از سنگ‌های التراب‌زیک تا سنگ آتشفشانی اسیدی و حدواسط در شرق و سنگ‌های رسوبی کربناته و آواری در غرب و شمال تغییر می‌کند، که همین موضوع باعث تنوع رسوبات تبخیری در این حوضه شده است. پلایای ابرکوه با وسعت بیش از ۲۵۰۰ کیلومترمربع، به دلیل پوشیده بودن از کانی‌های تبخیری و در بعضی مواقع پوشیده شدن توسط شورابه‌های فصلی، از نظر اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد. از مطالعه کانی‌شناسی نمونه‌های پلایای ابرکوه با روش XRD، وجود کانی‌های هالیت، کلسیت، ژیپس، دولومیت، تناردیت و مونت‌موریلونیت مسجل شده است که سه کانی تناردیت، اولکسیت و هالیت از نظر اقتصادی دارای اهمیت هستند. با آنالیز شیمیایی نمونه تبخیری جامد و همچنین شورابه‌های پلایای

ابركوه، ارتباط ژنتيكي رسوبات تبخيري با سنگ‌هاي اطراف حوضه تا حدي مشخص شده است به طوري كه بخش‌هاي شرقي حوضه كه در مجاورت واحدهاي افوليتي هستند، داراي منيزيم و آهن بيشترى نسبت به بخش‌هاي مركزي حوضه مي‌باشند. با توجه به وسعت قابل توجه پلاياي ابركوه و تجديدپذير بودن منابع نمك‌آبي، مي‌توان با ارائه طرح‌هاي صنعتي و اقتصادي كاني‌هاي اولكسيت، تنارديت و هاليت را استخراج نمود. نمك‌هاي آبي در پلاياي ابركوه به دليل قراردادشتن در سطح زمين، تجديدپذير بودن مي‌تواند به مدت طولاني با صرفه اقتصادي بهره‌برداري شوند (رضائيان، ۱۳۹۱).

۱-۸-۲ پلاياي ميقان اراك

پلاياي ميقان به فرم حوضه درون قاره‌اي بسته‌اي مي‌باشد كه در ۱۵ كيلومتری شمال شرقي شهر اراك واقع شده است. با انجام آزمايشات شيمي بر روي شورابه‌ها، تركيبات يوني آن مشخص گرديد. تركيب شيميائي شورابه‌هاي پلاياي ميقان عمدتاً، خنثي بوده و كاتيون‌هاي موجود در شورابه به ترتيب فراواني شامل: سديم، منيزيم، كلسيم و پتاسيم و آنيون‌ها شامل: كلر، سولفات و بيكربنات بودند. بررسي تجزيه شيميائي آبهاي ورودی به اين حوضه بيانگر اين واقعيست كه اين آب‌ها داراي نسبت مولي $HCO_3 \ll Ca+Mg$ بوده و داراي تيپ $Na-(Ca)-(Mg) SO_4-Cl-(CO_3)$ مي‌باشند كه در طی تكامل ژئوشيميائي و ته‌نشست كاني‌هاي تبخيري به شورابه‌اي با تيپ $Na-Cl-SO_4$ تبديل شده‌اند. براي بررسي تحولات شيميائي شورابه‌هاي پلايا، آب زیرزميني موجود در اطراف پلايا كه تنها آب‌هاي تأمين كننده يون‌هاي مورد نظر در اين منطقه هستند، مورد بررسي قرار گرفتند و رابطه آن با شورابه‌هاي منطقه بررسي گرديد (عبدی، ۱۳۹۱).

۱-۸-۳ پلایای گاوخونی

پلایای گاوخونی واقع در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شرق اصفهان و در یک حوضه بین کوهستانی در ایران مرکزی واقع شده است. فرورفتگی گاوخونی از جمله گودال‌های جداکننده زون زمین‌ساختی سنندج-سیرجان از ایران مرکزی است که به موازات رورانگی زاگرس قرار دارد. این پلایا شامل دو محیط رسوبی دلتایی و پلایای غیر دائمی است. علی‌نیایی در سال ۱۳۹۱ به بررسی ترکیب و منشأ ماسه‌های آبرفتی و بادی این منطقه پرداخت. اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات ماسه‌ای بادی و آبی را خرده‌سنگ‌های آندزیت، داسیت، شیست، ماسه‌سنگ و کانی‌های کوارتز و فلدسپات تشکیل می‌دهند. کانی‌های سنگین این منطقه شامل هورنبلند، پیروکسن، هماتیت، گوتیت، ولاستونیت و پیریت می‌شود. نتایج مؤید این است که اسکارن‌های فشارک واقع در شمال شرق منطقه منشأ کانی‌های اسپینل و ولاستونیت هستند. کانی‌های سنگین هورنبلند، پیروکسن، زیرکن، تورمالین، بیوتیت و مگنتیت غالباً از نوار آتشفشانی ارومیه-دختر واقع در شمال شرق منطقه و پیریت، هماتیت و لیمونیت از انواع سنگ‌های آهن‌دار منطقه منشأ گرفته‌اند. مطالعات بیانگر این است که لیتولوژی و توزیع آن در حوزه آبریز پلایا و حمل ذرات توسط رودخانه دائمی زاینده‌رود در نوع جنس و توزیع ذرات ماسه‌های آبی و بادی منطقه نقش زیادی داشته است (علی‌نیایی، ۱۳۹۱).

۱-۹ طرح مسئله و هدف از مطالعه

نهشته‌های تبخیری شامل کلریدها و سولفات‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم، گروهی از رسوبات شیمیایی هستند که ضمن تبخیر و اشباع شدن آب از املاح و ته‌نشست نمک‌ها و سایر ترکیبات آن تشکیل می‌شوند. علاوه بر این از کانی‌های اصلی تبخیری‌ها می‌توان به ژیپس، انیدریت و هالیت اشاره کرد. نهشته‌های تبخیری را می‌توان از لحاظ محیط تشکیل به دو دسته دریایی و غیردریایی تقسیم‌بندی نمود (Warren, 2006). تبخیری‌های دریایی (گچ و نمک) به واسطه قرارگیری در توالی چینه‌شناسی

حوضه‌های نفتی، نقش بسزایی به عنوان سنگ پوشش مخازن نفتی و گازی دارند (موسوی حرمی و محبوبی، ۱۳۷۳). این نهشته‌ها بیش از ۸۰ درصد نهشته‌های تبخیری جهان را تشکیل می‌دهند. نهشته‌های خشکی (غیردریایی) که در محیط‌های پلایایی تشکیل می‌شوند، از نظر منابع معدنی متعددی از جمله سولفات و کربنات سدیم و پتاسیم، گچ، نمک طعام، نترات‌ها، بورات‌ها، براکس، ید، برم و همچنین تعدادی از نهشته‌های کمیاب و ارزشمند مانند کربنات لیتیم، کربنات روبیدیم، کربنات سزیم و حتی اورانیم و همچنین برای اهداف اقتصادی از قبیل توسعه لیتیم، ترونا و تبخیری‌ها حائز اهمیت می‌باشند (Mcglue et al., 2012). ژئوشیمی رسوبات تبخیری در حوضه‌های پلایایی به بررسی فاکتورهای مختلفی از جمله pH، شوری و درجه حرارت یون‌های اصلی موجود در پلایا، عناصر کمیاب و ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و سولفور در آب‌های درون این حوضه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت شناخت هر چه بیشتر از شورابه‌های تشکیل دهنده رسوبات تبخیری و کانی‌های تشکیل دهنده پلایاها قسمت‌های مختلف مرکزی تا حاشیه حوضه پلایایی مورد بررسی قرار می‌گیرد (Warren, 2006). در کشور ایران حوضه‌های پلایایی متعددی وجود دارد از جمله این حوضه‌های پلایایی می‌توان به حوضه حاج‌علی‌قلی واقع در جنوب‌غرب شاهرود، اشاره کرد. این منطقه از لحاظ زمان زمین‌شناسی واحدهای ائوسن الیگوسن-کواترنری را در برمی‌گیرد. ژئوشیمی نهشته‌های تبخیری پلایا از جهت تعیین ویژگی‌های شورابه‌های تشکیل دهنده این نهشته‌ها و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل حوضه و همچنین به جهت حضور مواد معدنی مختلفی از جمله نمک، گچ، پتاس و غیره بسیار حائز اهمیت است. از آنجا که حوضه پلایای حاج‌علی‌قلی از جنبه‌های ژئوشیمیایی و اهمیت اقتصادی مورد مطالعه زیادی قرار نگرفته است، لذا در این تحقیق علاوه بر بررسی ویژگی ژئوشیمیایی و رسوب‌شناختی به ارزیابی اقتصادی، آنها نیز پرداخته شده است.

این تحقیق دارای اهدافی مشخص بود که در زیر به طور خلاصه بیان می‌شود:

۱- تعیین کانی‌های تشکیل‌دهنده حوضه پلایای حاج‌علی‌قلی

۲- بررسی پراکندگی عناصر اصلی و فرعی در نهشته‌های تبخیری پلایای حاج‌علی‌قلی

۳- بررسی اهمیت اقتصادی نهشته‌های پلایای حاج‌علی‌قلی

۱-۱۰ ضرورت انجام تحقیق

مطالعات متعددی در مورد تبخیری‌ها و انواع آن‌ها و همچنین در مورد منطقه پلایای حاج‌علی‌قلی صورت گرفته که به برخی از مهمترین آنها در قسمت سوابق اشاره شد. با این حال ژئوشیمی نهشته‌های این پلایا هنوز بطور جامع در کل حوضه صورت نگرفته است، لذا در این تحقیق علاوه بر بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی نهشته‌های تبخیری، به ارزیابی غلظت عناصری مثل Ca، Li، K، Mg، Cl، Na و SO₄ در این حوضه پرداخته و از جهت اقتصادی مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.

۱-۱۱ روش مطالعه

مراحل انجام این تحقیق و مجموعه مطالعات صورت گرفته به شرح زیر است:

۱-۱۱-۱ گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع

در این مرحله اطلاعات مورد نیاز با مطالعات کتب، مقالات، نقشه‌ها، گزارش‌ها و کارهای پژوهشی در ارتباط با موضوع پژوهش و با استفاده از سایت‌های اینترنتی و مراجع دانشگاهی تهیه شد.

۱-۱۱-۲ مطالعات صحرائی

یکی از مراحل مهم در انجام تحقیقات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، عملیات صحرائی و نمونه‌برداری مستقیم از واحدهای سنگی و رسوبات مرتبط با آنها در منطقه می‌باشد. جهت نمونه برداری از محدوده، عزیزت به منطقه طی چند مرحله انجام پذیرفت. در مجموع تعداد ۸ نمونه از سمت غرب منطقه از

عمق نیم متر با مختصات جغرافیایی معین برداشت شد. به دلیل محدودیت در نمونه برداری از این پلایا و مشکلات ایجاد شده در بررسیهای صحرایی، امکان برداشت نمونه از منطقه شرق این پلایا حاصل نشد. لذا جهت مقایسه، داده‌های مربوط به ۱۷ نمونه از منطقه شرق پلایا برای بررسی عناصر اصلی و ۳۵ نمونه برای عناصر کمیاب، از داده‌های موجود شرکت مشاور کان ایران در این مطالعه استفاده گردیده است.

۱-۱۱-۳ مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی

- الف- تهیه و مطالعه ۴ مقطع صیقلی نازک از نمونه‌ها در دانشگاه فردوسی مشهد
- ب- انجام آنالیزهای پراش اشعه ایکس (XRD) توسط آزمایشگاه زرازا بر روی تعداد ۵ نمونه
- ج- آنالیز (ICP-MS) توسط آزمایشگاه کانساران بینالود بر روی تعداد ۸ نمونه
- د- انجام آنالیز تیتراسیون بر روی تعداد ۸ نمونه برای اندازه‌گیری آنیون کلر و سولفات در پارک علم و فناوری شاهرود

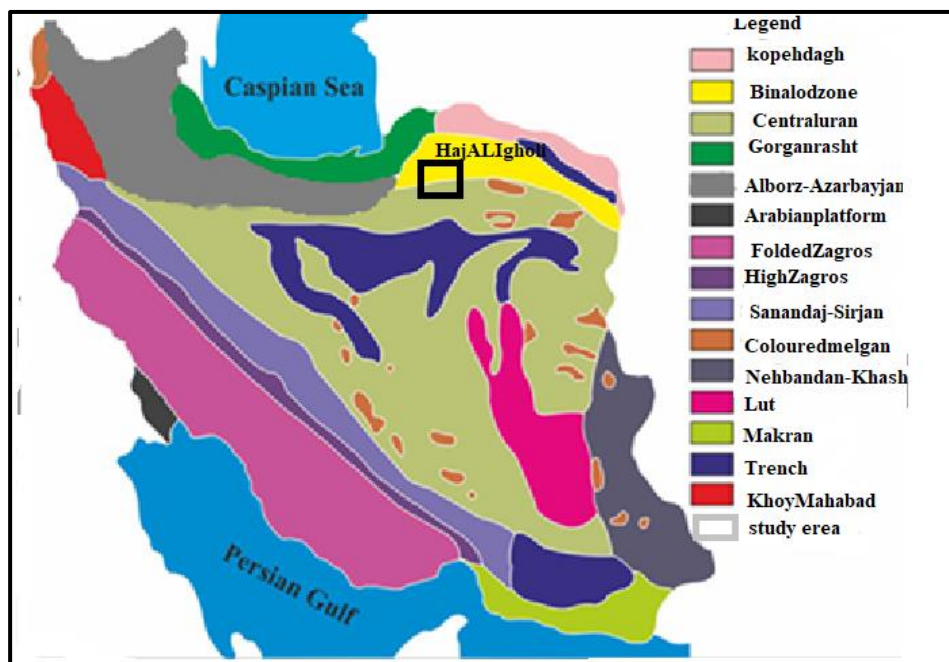
۱-۱۱-۴ تدوین پایان نامه

در این مرحله نتایج بدست آمده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و تدوین پایان نامه صورت گرفته است.

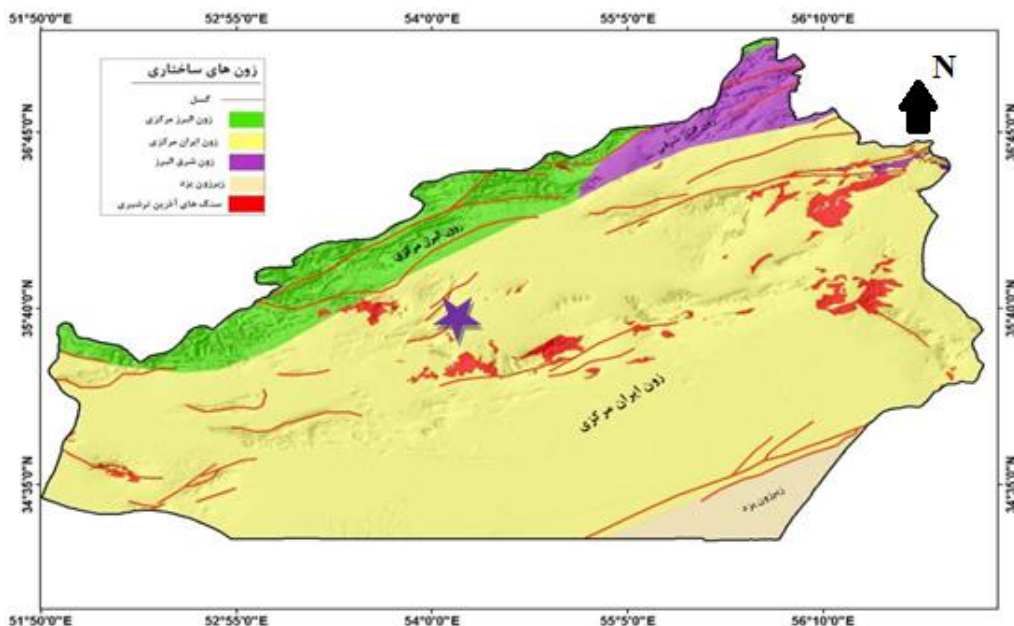
فصل ۲ زمین‌شناسی

۲-۱ مقدمه

از نظر موقعیت زمین‌شناسی، پلایای حاج‌علی‌قلی در شمالی‌ترین بخش پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی و ما بین ارتفاعات البرز شرقی در شمال و نوار آتشفشانی-رسوبی طرود-چاه شیرین در جنوب قرار گرفته است (شکل ۲-۱). منطقه مورد مطالعه در حد فاصل دو زون ساختاری ایران مرکزی (ایران مرکزی، زیر زون طرود-چاه شیرین) و البرز(شرقی و مرکزی) می‌باشد (شکل ۲-۲). بر اساس داده‌های ارائه شده در نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ طرود و گرگان، ۱:۱۰۰۰۰۰۰ معلمان، رزوه و دامغان منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای چینه‌شناسی از قبیل سازند پادها، دولومیت سبزار و آهکی بهرام می‌شود که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.



شکل (۲-۱). پهنه‌بندی رسوبی ساختاری ایران (با تغییرات از نبوی، ۱۳۵۵)



شکل (۲-۲). پهنه ساختاری استان سمنان برگرفته از گزارش نقشه راه‌های استان سمنان. موقعیت منطقه مورد مطالعه با علامت ستاره مشخص شده است (برگرفته از گزارش نقشه راه استان سمنان، ۱۳۹۴)

۲-۲ ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی و البرز (شرقی)

(ومرکزی)

۱-۲-۲ ویژگی عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی

پهنه ایران مرکزی یکی از بزرگترین و پیچیده‌ترین پهنه ساختاری-رسوبی ایران می‌باشد که در آن تمام دوره‌های زمین‌شناسی با فرایندهای مختلف کوهزایی، دگرگونی و ماگماتیسم رخ داده است. بیشتر مؤلفین معتقد هستند که بزرگترین فعالیت ماگمایی در ایران مرکزی در زمان ائوسن اتفاق افتاده است (Stocklin, 1974; Forster and Farhoodi, 1974; Shahabpoor, 2005) این پهنه همانند مثلی است که براساس نظر اشتوکلین (Stocklin, 1968) از شمال به رشته کوه‌های البرز و از جنوب و جنوب غرب به پهنه ساختاری سنندج-سیرجان و برطبق نظر نبوی (۱۳۵۵) از شرق به بلوک لوت منتهی می‌شود. آقاناتی (۱۳۸۳)، بر این عقیده است که پهنه ایران مرکزی و پهنه ساختاری سنندج-سیرجان

بخشی از حوضه مرکزی ایران هستند. به نظر اشتوکلین چین خوردگی اصلی ایران مرکزی با فاز کوهزایی آلپی در ارتباط است، به طوری که پنج فاز اصلی چین خوردگی در تریاس - لیاس، اوایل کرتاسه، اواسط و اواخر دوران سنوزوئیک در این منطقه مشاهده شده است. روند عمومی چین خوردگی‌ها یکنواخت نیست، بلکه در شمال روند شرقی- غربی، در شرق به موازات بلوک لوت (شمالی - جنوبی) و در جنوب غرب به موازات منطقه سنندج - سیرجان (شمال غربی - جنوب شرقی) است. بخش میانی ایران مرکزی را شکستگی‌های متعدد با جهات مختلف بصورت مشبک در آورده و قطعات شکسته نسبت به هم حرکاتی داشته و در نتیجه بالآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها، حوضه‌های متفاوتی بوجود آمده است. در طول دوران پالئوزوئیک این منطقه وضعی مشابه با سایر قسمت‌های ایران داشته است، بطوری که یک حالت پلاتفرمی در آن حکمفرما بوده و کویر بزرگ و فرورفتگی ایران مرکزی، احتمالاً حوضه‌ی وسیع و کم‌عمقی را تشکیل داده است. پس از رسوبگذاری نهشته‌های پرمین میانی، یک دوره فرسایش طولانی بر ایران چیره گشته که حاصل آن نهشت رسوبات آواری و قرمز رنگ در زمان تریاس زیرین (سازند سرخ شیل) بوده است. در دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک، ایران مرکزی از نظر زمین‌ساختی منطقه پرتحرکی بوده است، چنانکه علاوه بر چندین دگرشیبی کاملاً مشخص، فعالیت ماگمایی به‌صورت سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های گرانیتی نفوذی نیز در آن دیده می‌شود (قربانی، ۱۳۸۹). فلات ایران از نظر تکتونیکی منطقه فعالی هست که در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا قرار گرفته است. ظاهراً فعالیت ماگمایی در فلات ایران در همه زمان‌های وجود داشته است، اما اوج این فعالیت‌ها در ائوسن بوده است. ژئوشیمی سنگ‌های ماگمایی کرتاسه‌ی پسین و سنوزوئیک (ائوسن) نشان می‌دهد که آن‌ها غالباً در حاشیه قاره‌ای فعال تشکیل شده‌اند (Berberian and King, 1981). با دور شدن از محل فرورانش در قسمت جنوبی ایران مرکزی، ماهیت ماگماها تغییر می‌کند. کمربند ماگمایی سنوزوئیک ایران مرکزی، شامل سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی ائوسن تا کواترنری است. از نقطه نظر ترکیب سنگ‌شناسی سنگ‌های ماگمایی ائوسن، دارای تنوع رخساره‌ای بوده و با توجه

به فعال بودن ایران مرکزی از نظر زمین‌ساختی، تنوع بسیاری در سنگ‌های ماگمایی ائوسن وجود دارد. ردیف‌های سنگی منسوب به ائوسن را می‌توان به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

(۱) **سنگ‌های آتشفشانی:** شامل انواع سنگ‌های اسیدی تا بازیک می‌باشند. سنگ‌های حدواسط نیز فراوانی قابل توجهی دارند. این سنگ‌ها شامل اولیوین بازالت، بازالت، آندزی بازالت، تراکی آندزیت، آندزیت، تراکیت، داسیت تا ریولیت و عمدتاً با ماهیت کالکوالکالن می‌باشند.

(۲) **سنگ‌های آذرآواری:** که معمولاً شامل انواع نهشته‌های آذرآواری (آگلومرا، لاپیلی توف، توف و برش) با ترکیب اسیدی تا بازیک هستند.

(۳) **سنگ‌های منحصراً آذرآواری و آتشفشانی - رسوبی:** شامل واحدهای ضخیم آتشفشانی - رسوبی ائوسن که در محیط‌های دریائی غالباً کم عمق نهشته شده‌اند و سنگ‌های برشی، آگلومرائی و توفی که مربوط به رخساره‌های قاره‌ای هستند.

(۴) **سنگ‌های نفوذی:** اهمیت برونزدهای مربوط به این توده‌های نفوذی در برابر واحدهای ولکانیکی به مراتب کمتر است و عمدتاً متعلق به ائوسن فوقانی تا الیگوسن هستند.

۲-۲-۱ ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری البرز

پهنه رسوبی - ساختاری البرز شامل بلندی‌های شمال صفحه ایران است که به شکل تاق‌دیس‌ی مرکب، در راستای عمومی شرقی - غربی، از آذربایجان تا خراسان امتداد دارد. از نگاه زمین‌ریخت‌شناسی، مرز شمالی البرز منطبق بر تپه ماهورهای متشکل از نهشته‌های ترشیری و دشت ساحلی خزر است. از نگاه زمین‌شناختی، مرز شمالی البرز محدود به زمین‌درز تتیس کهن است که از برخورد سنگ‌کره قاره‌ای البرز با سنگ‌کره توران، در تریاس پسین به‌وجود آمده است. ولی در بیشتر نقاط، محل زمین‌درز با ورق‌های رانده شده از شمال به جنوب پوشیده شده است. گسل تبریز (Alavi, 1991)، آنتی البرز (Riviere, 1933)، گسل گرمسار (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱)، گسل سمنان (نبوی، ۱۳۵۵) و گسل

عطاری (Alavi, 1972)، مرز جنوبی البرز دانسته شده‌اند. ولی چنین به نظر می‌رسد که مرز شاخصی در مرز جنوبی البرز وجود نداشته باشد و گذر از پهنه ایران مرکزی به پهنه البرز تدریجی باشد. به علت پیچیدگی‌های زمین‌شناسی و تفاوت‌های ساختاری و تاریخچه رسوبگذاری، زمین‌شناسان پهنه ساختاری البرز را به بخش‌های متعددی از جمله البرز شرقی (زون بینالود)، زون گرگان-رشت، البرز غربی و آذربایجان، البرز جنوبی و البرز مرکزی تقسیم می‌کنند (نبوی، ۱۳۵۵). اشتوکلین (Stocklin, 1974) با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و فعالیت‌های ماگمایی، پهنه زمین‌شناسی البرز را در شش پهنه زمین‌ساختاری تقسیم کرده است (شکل ۲-۳).

۱. زون برآمده گرگان: منطقه با پی سنگ بلورین که توسط نهشته‌های کم ضخامت دوران مزوزوئیک به طور دگرشیب پوشیده شده است. نهشته‌های ژوراسیک و کرتاسه با ضخامت ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر به همراه سنگ‌های نفوذی در این بخش دارای رخنمون هستند.

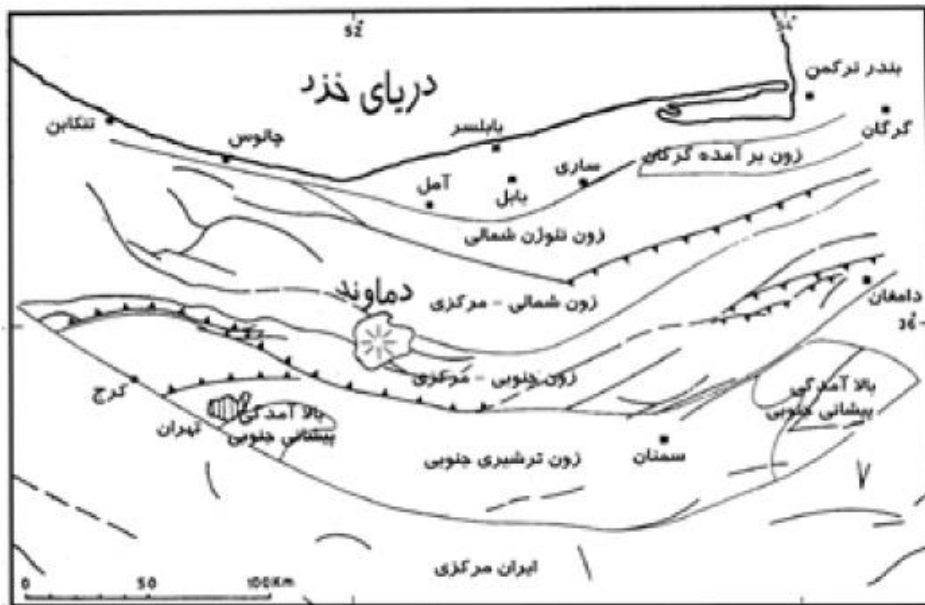
۲. زون نئوژن شمالی: منطقه‌ای چین‌خورده که سنگ‌های رسوبی حجم زیادی را در این زون تشکیل می‌دهند. قدیمی‌ترین واحد رسوبی در این پهنه سن ژوراسیک پسین داشته و جوان‌ترین واحد رسوبی نیز مربوط به سازند آکچاگیل با سن پلیوسن است.

۳. زون شمالی - مرکزی: رخنمون سنگ‌ها در این بخش شامل نهشته‌های رسوبی و سنگ‌های آتشفشانی است. سنگ‌های رسوبی که حجم قابل توجهی را تشکیل می‌دهند در فاصله زمانی پرکامبرین تا کرتاسه تشکیل شده‌اند. علاوه بر این کنگلومرای با سن میوسن پسین-پلیوسن از این بخش نیز گزارش شده است.

۴. زون جنوبی - مرکزی: این پهنه با فراوانی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن مشخص می‌گردد. سنگ‌های رسوبی در این پهنه سن قبل از ترشیری دارند. مرز جنوبی این زون با راندگی در کنار زون ترشیری جنوبی قرار می‌گیرد.

۵. **زون ترشیری-جنوبی:** سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بیهشتترین حجم سنگ‌ها را در این بخش تشکیل می‌دهند.

۶. **زون بالا آمده پیه‌شانی جنوبی:** سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی در این بخش گسترش دارد. گسلش و چین‌خوردگی واحدهای سنگی در این بخش متداول است.

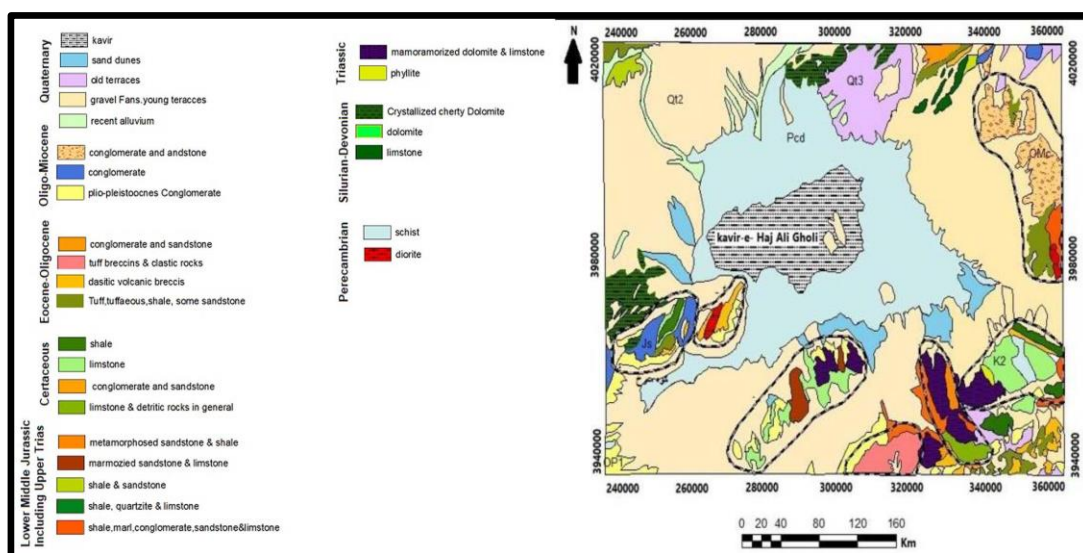


شکل (۲-۳). تقسیمات پهنه زمین‌شناسی البرز (Stocklin, 1974)

۲-۳ زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در شمال مرکزی نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طرود و قسمت کوچکی از این محدوده در جنوب و مرکز نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ گرگان و در بخش میانی دو زون ساختاری ایران مرکزی و البرز قرار دارد. ناحیه طرود در شرق سمنان، جنوب دامغان و جنوب غربی شاهرود و در نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان، طرود، رزوه و دامغان قرار گرفته است. بیشتر مساحت این ناحیه را زمین‌های پلایای و گسسته و زمین‌های پست و هموار تشکیل می‌دهد. تنها ارتفاعات مهم آن رشته کوه‌های طرود-چاه

شیرین و سهل با روند شرقی- غربی می‌باشند که این ناحیه را به دو قسمت تبدیل می‌کنند و پلایا حاج علی‌قلی را از دشت پلایا جدا می‌سازند. قدیمی‌ترین سنگ‌های ناحیه را سنگ‌های مربوط به پرکامبرین تشکیل می‌دهند که در شرق ناحیه در کوه شتری رخنمون دارند (شکل ۲-۴). پس از پرکامبرین تا عهد حاضر تمام تحولات زمین‌شناسی ناحیه تحت تأثیر یک دسته گسل‌هایی قرار گرفته‌اند که روند شمال- شرقی-جنوب‌غربی دارند و ناحیه را به نوارهایی در همین امتداد تقسیم می‌کنند به طوری که نمی‌توان ستون چینه‌شناسی واحدی را ارائه داد. از طرف دیگر کرتاسه در تمام ناحیه وضع ثابتی به خود می‌گیرد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).



شکل (۲-۴). نقشه زمین‌شناسی محدود مورد مطالعه با اندکی تغییرات (علوی و هوشمندزاده، ۱۳۵۵)

۲-۴ چینه‌شناسی و شرح سازندهای منطقه مورد مطالعه

بررسی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ طرود و گرگان، نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان و طرود، رزوه و دامغان همراه با مطالعات صحرائی انجام شده در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد، که ناحیه مورد مطالعه از واحدهای سنگی گوناگون با سن‌های مختلف تشکیل شده‌اند. در مناطق شمال دامغان دونین زیرین از دو قسمت ماسه‌ای در پایین (سازند پادها) و دولومیتی در بالا (سازند سیب زار) با ضخامتی حدود ۶۵۰ متر تشکیل می‌شود. دونین میانی و بالایی در این ناحیه بیشتر آهکی است ولی در فواصل

کوتاه دستخوش تغییر می‌گردد. گاه طبقات گچ و دولومیت در آن ظاهر می‌شود. ضخامت آن روی هم رفته در حدود ۲۰۰ متر است. کربونيفر در منطقه شامل سازند مبارک است و سنگ‌های پرمین با تناوبی از ماسه‌سنگ، کنگلومرا، شیل و کواتزیت روی سازندهای قدیمی‌تر را می‌پوشاند و در قسمت بالا از تناوب طبقات دولومیت و آهک تشکیل شده‌اند، و کل ضخامت آن متجاوز از ۴۰۰ متر است. دوران دوم در زون البرز با سازند الیکا آغاز می‌شود که سن آن تریاس زیرین تا میانی است و از آهک دولومیتی که در بعضی حالات متبلور است، تشکیل شده است. روی آن سازند شمشک با لیتولوژی ماسه سنگ و شیل نهشته شده است که سن ژوراسیک دارد. سازند دلیچای (آهک مارنی نازک لایه با سن دوگر) در این منطقه دارای رخنمون است که بر روی بخش بالایی سازند شمشک قرار گرفته است. سازند لار (ژوراسیک بالایی) در این منطقه متشکل از آهک ماسه‌ای تا لایه‌دار سفید تا خاکستری متبلور می‌باشد. کرتاسه زیرین فقط در جنوب‌غرب دامغان رخنمون دارد و در سایر مناطق اثری از آن دیده نمی‌شود و شامل طبقات آهکی می‌باشد. در ابتدای ائوسن وجود رسوبات کنگلومرایی که با دگرشیبی روی طبقات قدیمی قرار گرفته‌اند مؤید حرکات کوهزایی است که می‌تواند مربوط به فاز کوهزایی لارامین باشد. براساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰/۱ رزوه که بخش‌های غربی محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهد، آشکارترین پدیده حاکم در این رزوه فرآیند دگرگونی است که به شکل دگرگونی ناحیه‌ای، مجاورتی و دگرگونی دینامیک (کاتاکلاستیک و میلونیت) نمایان شده است. توالی چینه‌ای سنگ‌های موجود از پائین به بالا شامل سنگهای دگرگونه پیش از پرمین، توالی‌های رسوبی مربوط به پرمین، تریاس، ژوراسیک، کرتاسه هستند که بر اثر دگرگونی دینامیک (کاتاکلاستیک و میلونیت) دچار تغییر و تحولی آشکار شده است ورقه معلمان از نگاه زمین‌شناسی ساختاری ایران در پهنه ایران مرکزی و در بخش شمالی آن قرار گرفته است. طبق تقسیم بندی نوگل سادات و الماسیان (Nogol-Sadat and Almasian, 1993)، این ناحیه در واحد تکتونیکی-رسوبی ایران مرکزی، در نیمه شمالی آن و در زیر پهنه بخش مرکزی ماگمائی جای دارد. هوشمند زاده و همکاران (۱۳۵۷) نیمه شمالی ورقه را بنام باریک رشته طرود - چاه شیرین

نامیده‌اند که میان دو گسل اصلی طرود و انجیلو قرار گرفته است و در کناره شمالی فروافتادگی کویر بزرگ جای دارد. گستره ورقه را می‌توان در دو زیر پهنه ساختاری زیر تفکیک نمود:

الف - زیر پهنه طرود - چاه شیرین

زیر پهنه طرود- چاه شیرین که رخنمون‌های آنرا سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک و مزوزوئیک و نیز نهشته‌های آتشفشانی - رسوبی ترشیری (پالئوزن) تشکیل داده است، تماماً در نیمه شمالی ورقه و دارای ساختمان‌های زمین‌شناسی و روند کلی لایه‌ها نزدیک به شرقی - غرب (N-70-90-E) است و همچنین نواحی میان گسل انجیلو در شمال (خارج از محدوده ورقه) و گسل طرود را دربر می‌گیرد، که همسویی نسبی با امتداد پهنه گسله طرود در منطقه دارند. تعداد زیادی از دره‌ها و آبراهه‌ها در زیر پهنه طرود - چاه شیرین منطبق بر شکستگی‌ها و گسل‌های فرعی منطقه است که در آن‌ها نفوذ دایک‌های مختلف نیز انجام گرفته است. واحدهای سنگی دوران پالئوزوئیک که کهن‌ترین نهشته‌های ورقه را ساخته است، بیشتر با همبری تکتونیکی و بصورت سفره‌های رورانده ظاهر شده‌اند. فعالیت‌های ماگمایی دوران پالئوزوئیک که در زیر پهنه طرود - چاه شیرین با شدت بسیار کمتر از سنوزوئیک انجام گرفته است، در ورقه معلمان رخنمون شایان توجهی ندارد. واحدهای سنگی پالئوزوئیک در منطقه گسترش کمی داشته و شامل سنگ آهک، آهک دولومیتی شده، دولومیت و شیست است که دگرگونی فشار - حرارتی با درجه پائین (در حد رخساره شیست سبز) را نیز پذیرا شده‌اند. این سنگ‌ها تبلور دوباره یافته‌اند و در آنها حداقل یک فولیاسیون دگرگونی تأثیر کرده است.

ب - زیر پهنه حوضه رسوبی کم ژرف نئوزن

این گستره بخشی از حوضه رسوبی جندق را دربر می‌گیرد که در جنوب ورقه واقع شده است. در این حوضه، نهشته‌های دریای بسیار کم ژرف و تبخیری دوره میوسن - پلیوسن را برجای گذاشته شده است. پهنه آبرفتی معلمان - طرود شیب توپوگرافی میانه تا کم به سوی جنوب دارد و شواهد کمی از فعالیت‌های تکتونیکی جوان در رسوبات آبرفتی آن دیده می‌شود. در شمال ورقه به علت عملکرد گسل

باغو در مرز بین کوه و دشت کاهش ارتفاع دیده میشود و بالاآمدگی تکتونیکی کوههای چاهموسی - رشم را در ذهن تداعی می کنند. از آنجائیکه گستره معلمان در شمالی ترین قسمت کویر جندق و در ابتدای راه کویری جندق واقع شده است، بنام منطقه سرکویر معروف شده است. براساس تمام داده های ارائه شده در گزارش نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ طرود و گرگان ، نقشه های ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان و طرود، رزوه و دامغان و مطالعه واحدهای سنگی و واحدهای چینه شناسی در ورقه ها مورد بررسی، می توان واحدهای چینه شناسی در پلایای حاج علی قلی را به طور خلاصه به صورت زیر معرفی کرد:

۲-۴-۱ واحدهای پرکامبرین

واحدهای پرکامبرین بیشتر از آمفیبولیت، شیست و گنیس تشکیل شده که در این قسمت ذوب انتخابی انجام شده است. محصول این عمل رگه های پگاتیت ماندی است که در میان فضاها جای گرفته و باقیمانده ی غنی از کانی های مایک در اطراف خود به جای گذاشته است.

۲-۴-۲ پالئوزوئیک

پالئوزوئیک در منطقه مورد مطالعه شامل سازندهای پادها، دولومیت سیبزار، آهکی بهرام و نهشته های پرمین است.

۲-۴-۲-۱ سازند پادها

به عنوان دومین سازند از گروه گوشکمر (سرخ - صورتی) و بیشتر شامل ماسه سنگ های کوارتزی است (جدا از تغییر رخساره های ناچیز محلی)، که میان لایه هایی از ماسه سنگ سرخ، شیل سرخ و یا گچ دارد. ساخت های رسوبی ماسه سنگ ها بیشتر از نوع لایه بندی مورب جناغی و لایه بندی مسطح هستند. در

غرب پلایای حاج‌علی‌قلی این سازند از ماسه‌سنگ و دولومیت تشکیل شده است. مطالعات پالینولوژی نشان می‌دهد که گل سنگ‌های تخریبی که در تناوب با رخساره‌های ماسه‌سنگی هستند، در محیط‌های آرام کشندی و یا بخش‌های ژرف‌تر سکو نهشته شده‌اند، ولی رخساره‌های تخریبی هنگامی که سطح آب دریا پایین بوده است، در محیط‌های ساحلی نهشته شده‌اند (عزیزی، ۱۳۹۳). گفتنی است که اگرچه در بعضی نواحی، از جمله ناحیه شیرگشت، گذر سیلورین (سازند نیور) به دونین پایین (سازند پادها) بدون دگرشیبی و تدریجی دانسته شده، ولی تغییرات رخساره ناگهانی از سیلورین به دونین نشان از یک توقف رسوبی احتمالی در مرز سیلورین به دونین دارد که می‌تواند در همه جای ایران سراسری باشد. نداشتن سنگواره شاخص (به جز کوه سه‌گوش در ناحیه اسفوردی) سبب شده تا در همه جا، با تکیه بر جایگاه چینه‌شناسی، سازند پادها به سن دونین پیشین دانسته شود.

۲-۴-۲ سازند دولومیتی سیب‌زار

این سازند توسط روتنر و همکاران (Ruttner et al., 1968) که در ازبک‌کوه مطالعه شده، به عنوان نخستین واحد سنگی دونین میانی و پایین‌ترین سازند از گروه ازبک‌کوه، شامل توالی همگنی از دولومیت‌های خاکستری تیره قهوه‌ای است که با ردیف‌های زیرین خود (سازند پادها) ارتباط ناپیوسته، ولی با ردیف‌های کربناتی آهکی روی خود (سازند بهرام) گذر تدریجی دارد. در این دولومیت‌ها، به جز مرجان و بازوپایان نامشخص، سنگواره‌ی بارزی وجود ندارد و لذا سن دونین میانی بیشتر بر مبنای جایگاه چینه‌شناسی است (آقابات‌ی، ۱۳۸۳).

۲-۴-۳ سازند آهکی بهرام

این سازند نام خود را از کوه‌های ازبک‌کوه و منطقه‌ای به نام سرتخت اخذ کرده است. بر طبق نظر (Ruttner et al., 1968)، جنس این سازند آهکی و دارای ضخامت بالغ بر ۳۰۰ متر، دارای رنگ آبی مایل به خاکستری و سیاه و میان‌لایه‌هایی از شیل‌های مارنی تیره رنگ دارد. مرز زیرین سازند بهرام، با

دولومیت‌های سبیزار، تدریجی است. به جز مناطقی که سازند بهرام در توالی چینه‌شناسی عادی و در زیر سازند شیشتو قرار دارد، در دیگر نواحی مرز بالایی این سازند ناپیوسته و فرسایشی بوده است. در کوه‌های چاه‌شیرین طرود و در نواحی اقلید و نیریز، ردیف‌های کربناتی سازند بهرام به لحاظ عملکرد رخداد سیمین پیشین، دگرگونه هستند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). سن این سازند دونین میانی و فوقانی بوده و در شمال غرب پلایای حاج‌علی‌قلی متشکل از سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی با لایه‌بندی است.

۲-۴-۲-۴ نهشته‌های پرمین

در ناحیه طرود و شمال گسل انجیلو پرمین با یکسری رسوبات آواری قرمز رنگ شروع می‌شود که آن را معادل سازند درود البرز دانسته‌اند. در جنوب گسل انجیلو رسوبات از تناوب کالک شیست، کوارتزیت و آهک نازک لایه تشکیل می‌شود که رنگ سبز تیره یا خاکستری مایل به سبز دارد و ضخامتش حدود ۱۵۰ متر است.

۲-۴-۳ مزوزوئیک

واحدهای مزوزوئیک شامل واحدهای تریاس، واحدهای ژوارسیک و واحدهای کرتاسه است.

۲-۴-۳-۱ واحدهای تریاس

در بیشتر قسمت‌های ایران مرکزی تریاس تناوبی از شیل سبز، ماسه‌سنگ و آهک ماسه‌ای است که حاوی فسیل‌های آمونیت است مربوط به سازند نایبند است که در بیشتر قسمت‌ها به علت فراوانی رسوبات آهکی، از سازند شمشک متمایز است. در کوه دولتیار رسوبات مربوط به تریاس زیرین و میانی وجود دارد که در نوع خود کاملترین و ضخیم‌ترین رسوبات است. از نظر چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی کوه دولتیار قابل مقایسه با سازند سرخ شیل و شتری است. در پلایای حاج‌علی‌قلی رسوبات تریاس بالایی

بدون انقطاع به رسوبات لیاس می پیوندند و به این جهت است که سازند شمشک به مجموعه رسوبات تریاس بالایی لیاس اطلاق می شود.

۲-۴-۳ واحدهای ژوارسیک

واحدهای سنگی کنگلومرای و آهک های ماسه ای قابل مقایسه با سازند بادامو و قسمت های شیلی می تواند معادل سازند بغمشاه در ناحیه طبس باشد. همچنین واحدهای شیل، مارن، دولومیت، سنگ آهک های دولومیتی است که بخشی از سازند بغمشاه را تشکیل می دهد.

۲-۴-۳ واحدهای کرتاسه

از نظر چینه شناسی کرتاسه در سراسر ناحیه وضعیت نسبتاً یکسانی دارد و تمام سازندهای قبل از خود را با یک دگرشیبی زاویه ای ۸۰ درجه می پوشاند. نمونه بارز آن را می توان کوه خرگوشی که در قسمت جنوب پلایا حاج علی قلی است را مشاهده نمود. کرتاسه زیرین در ناحیه طرود گسترش فراوانی دارد و همه جا با یک سری رسوب آواری قرمز شروع می شود که ضخامتش از یک متر تا حدود ۲۰۰ متر در تغییر است در کوه دولتیار در دامنه شرقی کوه خرگوشی این سری با تناوبی در حدود ۸۰ متر از ماسه سنگ و کنگلومرا روی سازند لیاس را با دگر شیبی تندی (حدود ۸۰ درجه) می پوشاند. قطعات کنگلومرا بیشتر از شیست ها و آهک های دگرگونی تشکیل می شود که دارای سیمانی از ماسه سنگ قرمز است.

۲-۴-۴ سنوزوئیک

سنوزوئیک در منطقه دربرگیرنده واحدهای ائوسن - الیگوسن و نهشته های کواترنر است.

۲-۴-۴-۱ واحدهای ائوسن - الیگومیوسن

این واحدها با تناوبی از کنگلومرا و ماسه سنگ های آهکی شروع می شوند که می تواند معادل سازند فجن کوه های البرز باشد. در غرب پلایای حاج علی قلی و در دامنه جنوبی رشته کوه های رشم، تناوبی از

کنگومرا، ماسه سنگ و مارن وجود دارد که حد فاصل بین تناوب رسوبی آتشفشانی ائوسن - الیگوسن (سازند قم) را تشکیل می‌دهد. ضخامت این تناوب از ۲۰ متر در جنوب سوسنوار تا ۵۶۰ متر در ۱۰ کیلومتری شمال غربی کلارشم در تغییر است. سازند قم در فاصله بین گسل‌های طرود وانجیلو وجود ندارد و در جنوب گسل طرود، بویژه در غرب ناحیه با ضخامتی حدود ۴۱۰ متر ظاهر می‌شود. در جنوب چاه شیرین، سازند قم با ضخامت حدود ۴۱۰ متر از مارن‌های دریائی لایه‌های صدف‌دار و آهک رخنمون دارد.

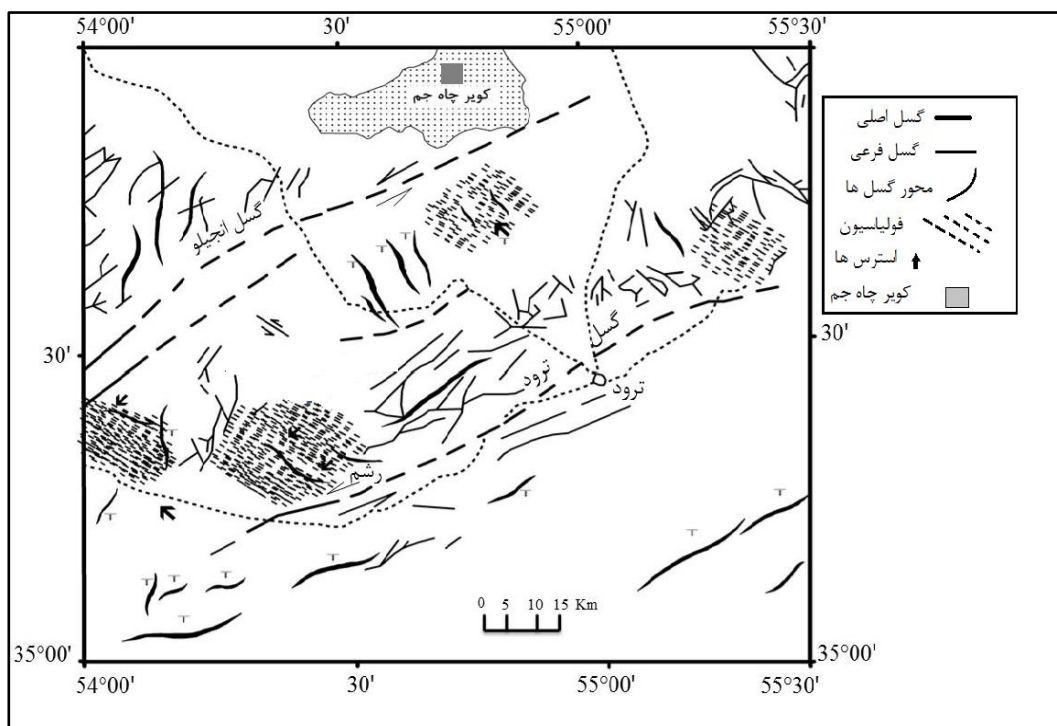
۲-۴-۴-۲ نهشته‌های کواترنری - عهد حاضر

نهشته‌های کواترنری در ناحیه مورد مطالعه در ارتفاعات بخش جنوبی و بخش شمالی به اشکال مختلف دیده می‌شوند، که حاصل فرسایش می‌باشند. رسوبات کواترنری در حاشیه‌های دشت دامغان با چند واحد شامل رسوبات رس و رس ماسه‌ای و آهک‌های آب شیرین در اطراف ده آستانه، تراس‌های قدیمی، آبرفت‌های عهد حاضر و دشت معرفی می‌شوند. جوان‌ترین رسوبات کواترنری، پهنه‌های نمکی (پلایا) و مخروط‌افکنه در پای کوه‌ها می‌باشند. نهشته‌های عهد حاضر در بخش‌های مختلفی از ناحیه دامغان به ویژه در جنوب آن در محیط‌های رسوبی تشکیل شده‌اند یا در حال تشکیل می‌باشند، که می‌توان با بادبزن‌های پای دامنه کوه، رودخانه‌های دائمی تا فصلی بریده بریده و مئاندر، تپه‌های ماسه‌ای و پلایایی جنوب دامغان اشاره نمود. تپه‌های ماسه‌ای از پدیده‌ها و شاخص‌های مناطق بیابانی هستند، و در بخش‌های مختلف جنوب دامغان دیده می‌شوند. تپه‌های ماسه‌ای ناحیه مورد مطالعه به اشکال متنوع و ارتفاع متفاوت دیده می‌شوند. حداکثر ارتفاع مشاهده شده در جنوب دامغان در حدود ۲ متری می‌باشد. این در حالی است که ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای اطراف پلایا کمتر از آن و در حدود ۰/۵ تا ۱ متر می‌باشد. از مهمترین اشکال تجمع ماسه‌ها در کناره‌های پلایا می‌توان به برخان‌های کوچک، طولی و تلماسه‌های پراکنده اشاره کرد. آزمایش XRD چند نمونه از تپه‌های ماسه‌ای نشان می‌دهد که دانه‌های ژئوپس و

هالیت در آن‌ها وجود دارد، که این امر به دلیل انتقال دانه‌های یاد شده از پلایای حاج علی‌قلی توسط باد است.

۵-۲ نقش زمین‌ساخت در تشکیل پلایای حاج علی‌قلی

همانگونه قبلاً بیان شد، گستره مورد مطالعه در تقسیم بندی پهنه‌های ساختاری ایران در پهنه ایران مرکزی جای می‌گیرد. پهنه ایران مرکزی دارای یک پی سنگ دگرگونی است که شکل‌پذیری قوی دارد و پدیده‌های گوناگون آتشفشانی، توده‌های نفوذی کم ژرف و دگرگونی و رسوبی در آن دیده شده است. با نگرش به رخساره‌های سنگ‌شناختی، واحدهای سنگی، سن و تاریخچه تکوین زمین‌ساختی، آشکارا همه تحولات و رخداد‌های زمین‌شناختی این ناحیه تحت تأثیر مستقیم گسله‌های موجود در منطقه است (شکل ۲-۵). تکاپو و فعالیت میان گسل‌ها و دیگر تکاپوهای تکتونیکی حاکم بر این ناحیه آتشفشان‌رسوبی تا عهد حاضر، باعث ایجاد تکاپوهای پرشمار و گهگاه با مکانیزم‌های گوناگون در منطقه شده است که از آن جمله می‌توان به سنگ‌های دگرگونه، سنگ‌های با دگرگونی دینامیک (سنگ‌های میلیونیتی و کاتاکلاستیکی با گسترش و تنوع قابل توجه) و ماگماتیسم درگستره ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ رزوه و همچنین اثرات فعالیت‌های تکتونیکی در ایجاد زیر پهنه‌ها و در گستره ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (زیر پهنه طرود - چاه شیرین و حوضه رسوبی نئوژن) و همچنین محیط زمین‌ساختی (هورست و گرابن) در پلایای حاج علی‌قلی اشاره کرد. گسل‌های اصلی موجود در ناحیه مورد مطالعه در ادامه بیان می‌شوند.



شکل (۲-۵). موقعیت تکتونیکی ناحیه مورد مطالعه و خطوط اصلی گسل های منطقه (Hoshmandzadeh et al., 1964).

۲-۵-۱ گسل دامغان

این گسل نقش بسیار عمده‌ای در ایجاد فروافتادگی پلایای حاج‌علی‌قلی داشته و در جنوب گسل انجیلو قرار گرفته است. این گسل با روند نزدیک به شرقی- جنوب‌غربی از ده کیلومتری شمال شهر دامغان می‌گذرد. راستای این گسل شمال‌شرقی- جنوب‌غربی است و در غرب به سامانه گسل آستانه می‌پیوندد. بخش شرقی این گسل به یک سامانه نردبانی (en-echelon) تبدیل می‌شود که ساختار هورست و گرابن که به وسیله گسل‌های نرمال محدود شده‌اند، را به وجود آورده است. رخنمون بخش شرقی گسل دامغان به‌طور عمده در نهشته‌های آبرفتی کواترنری قرار گرفته است، اما در بخش غرب، گسل در ناحیه سیاه کوه، سنگ بستر را که از سنگهای کربناته دونین شکل گرفته را جابه‌جا کرده است.

۲-۵-۲ گسل آستانه

در غرب روستای آستانه و در دره رودخانه آستانه در شمال دامغان و در دره رودخانه آستانه ، دو گسله موازی و کنار هم با راستای شمال شرق- جنوب غرب دیده می‌شوند که در نزدیکی ۱۰ کیلومتری جنوب غرب آستانه رسوبات آبرفتی کواترنر را جدا کرده و آبراهه‌ها را به صورت چپ بر جابه جا نموده‌اند. گسل آستانه یکی از گسل‌های راستالغز چپگرد داخل کوهستان البرز است. افزون بر این، رویه‌های تخت سه‌گوش زیبایی نیز در رسوبات کواترنر این پهنه بوجود آورده است. در جنوب غرب چشمه علی نیز به روشنی دیده می‌شود که رسوبات کواترنر بوسیله گسل آستانه بریده شده است. گسل آستانه یکی از گسل‌های نادر البرز کوه است که به سبب نزدیکی با مرز جنوبی البرز و وجود رسوبات آبرفتی کواترنر در کنار آن، به روشنی جنبش جوان کواترنر را نشان می‌دهد (بربریان و قریشی، ۱۳۶۷). درازای شناخته شده گسله آستانه بیش از ۷۵ کیلومتر بوده و سازوکار آن راندگی با مؤلفه راست‌الغز است (بربریان، ۱۳۶۳).

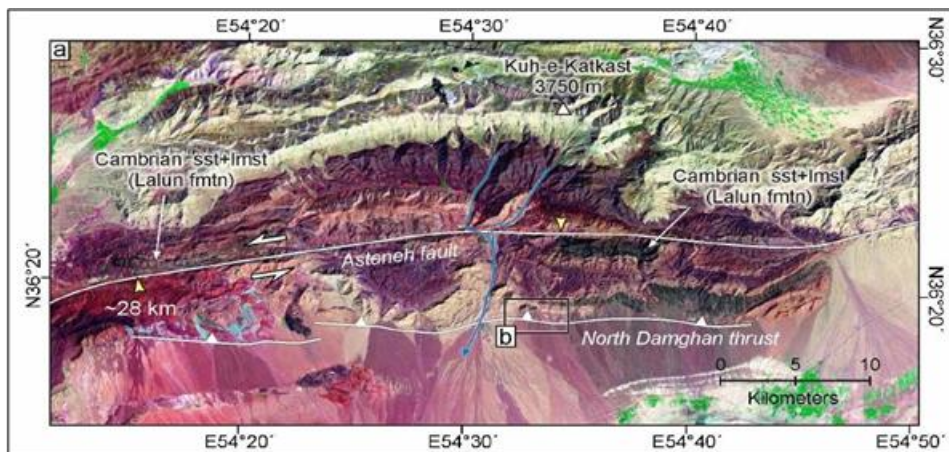
۲-۵-۳ گسل عطاری

راندگی عطاری دارای راستای شمال غربی- جنوب شرقی (در بخش شرقی گسل) و راستای شمال شرقی- جنوب غربی (در بخش غربی گسل) و درازای ۳۲/۵ کیلومتر است. این گسل با روند تقریباً شرقی-غربی حد جداکننده بینالود (البرز شرقی) از منطقه ایران مرکزی است. این گسل قبل از ورود به حوضه آبخیز دامغان به دو شاخه تقسیم شده که شاخه اول در ناحیه شمال پلایای دامغان تا جنوب دهکده نعیم آباد در سطح زمین قابل مشاهده است و سپس در زیر رسوبات پلایای دامغان قرار می‌گیرد. راندگی عطاری در بخش شرقی دارای شیب به سوی غرب- جنوب غرب بوده و سنگ‌های گوناگون آتشفشانی سازند کرج را قطع کرده است. این گسل در بخش غربی دارای شیب به سوی جنوب- جنوب شرق بوده و

افزون بر قطع سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، سبب راندگی سنگ‌های سازند کرج (از سوی جنوب) بر روی کنگلومرا، ماسه‌سنگ، مارن‌های ژئوسپس‌دار میوسن گشته است.

۲-۵-۴ گسل میامی (شاهرود)

یکی از گسل‌های طولی و عمده ایران مرکزی است که از شرق شاهرود تا مرز افغانستان ادامه دارد و این گسل از جغتای در شرق تا شمال پلایا حاج‌علی‌قلی (پلایا چاه جم) در غرب ادامه دارد. راستای عمومی گسل میامی شرق تا شمال شرق است. این گسل مرز جداکننده پهنه بینالود (البرز شرقی) از ایران مرکزی است. گسل میامی، سنگ‌های مجموعه افیولیتی سبزوار (کرتاسه) و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را در مجاورت سنگ‌های نئوژن و کواترنری قرار داده است. از این رو این گسل می‌تواند مرز شمالی کافت سبزوار - شاهرود باشد (نبوی، ۱۳۵۵). عکس هوایی ۱/۵۰۰۰۰ نشان می‌دهد (شکل ۲-۶)، ادامه غربی گسل میامی، کفه‌های گلی شمال پلایا حاج‌علی‌قلی (پلایا چاه جم) را جابه‌جا کرده است



شکل (۲-۶). گسل شمال دامغان در مرز کوه و دشت موجب راندگی سازندهای پالئوزوییک بر روی دشت دامغان شده است (Hollingsworth et al., 2008)

۲-۵-۵- گسل طرود- انجیلو

در شمال طرود یک دسته گسل اصلی بر ناحیه طرود- چاه شیرین اثر گذاشته‌اند که عمده‌ترین این گسل‌ها، گسل طرود و دیگری گسل انجیلو است که در شمال طرود قرار دارد. به عقیده هوشمند زاده و همکاران (۱۳۵۵)، کلیه تحولات زمین‌شناسی ناحیه طرود نتیجه حرکت و جابه‌جایی این گسل‌ها می‌باشد. حرکات چپگرد گسل‌های طرود و انجیلو باعث چین خوردگی شدید رسوبات پیش از کرتاسه در حد بین دو گسل مزبور گشته و منجر به یک دگرگونی ناحیه‌ای شده است. این گسل‌ها از بدو ایجاد تاکنون، با حرکات و جابه‌جایی زیادشان موجب اختلاف ضخامت رسوبات دوران پالئوزوئیک و مزوزوئیک در طرفین آن شده و توپوگرافی فعلی دشت پلایا در جنوب نیز معلول حرکت آن‌ها است (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۷). عملکرد چپ‌گرد دو گسل طرود و انجیلو سبب ایجاد برآمدگی نوار طرود-چاه‌شیرین و تشکیل فروافتادگی پلایا حاج‌علی‌قلی در شمال خود و دشت پلایا طرود-معلمان در جنوب خود شده است.

فصل ۳

کافی شناسی

۳-۱ مقدمه

رسوبات پلایاهای شور یکی از مهم‌ترین حوضه‌هایی هستند که تکتونیک و آب و هوای گذشته را ثبت می‌نمایند. این رسوبات شاخص تغییرات هیدرولوژیکی می‌باشند. تغییر سیستم‌های هیدرولوژیکی بر روی این پلایاها تأثیر مستقیم دارد. نوسانات آب و هوایی منجر به تغییر سیستم هیدرولوژیکی خواهد شد (Bradley, 1999). ژئوشیمی پلایاهای شور حاصل سیستم پیچیده‌ای از بارش، هوازدگی، آب‌های زیرزمینی، تبخیر، ته‌نشست انحلال و فعالیت‌های حیاتی است (Jones and Decampo, 2004). بررسی ته‌نشین شدن کانی‌های تبخیری در سطح وسیعی به‌منظور ردیابی و کشف فازهای نمکی خشک، در بازسازی محیط‌های قدیمی و تعیین آب و هوای گذشته، مورد استفاده قرار گرفته است. کانی‌های تبخیری منابع اصلی مواد معدنی صنعتی، از جمله ژئوپس، سولفات سدیم و منیزیم، کربنات‌های منیزیم، کربنات‌های سدیم، بر، لیتیم و مواد معدنی دیگر را تشکیل می‌دهند (Symaktz-Kloss and Roy, 2010). به دلیل اهمیت علمی و اقتصادی این کانی‌ها، کانی‌های تبخیری و فرآیندهای هیدروژیومی وابسته مورد توجه بسیاری از زمین‌شناسان قرار گرفته است. برای تشکیل کانی‌های تبخیری محیط رسوبی باید از یون‌های تشکیل‌دهنده این کانی‌ها به حالت اشباع برسد (فیض نیا، ۱۳۸۷). قبلاً تصور می‌شد که اشباع محیط همیشه در نتیجه تبخیر و کاهش آب در نتیجه وجود آب و هوای گرم و خشک در این محیط‌ها بوده است. اکنون مشخص گردیده است که تبخیر یکی از راه‌های اشباع محیط است و محیط ممکن است در نتیجه ورود یون‌ها از فعالیت‌های آتشفشانی نیز به حالت اشباع برسد. در این فصل به مطالعات کانی‌شناسی میکروسکوپی و کانی‌شناسی پراش پرتو ایکس جهت تعیین کانی‌های موجود در منطقه پرداخته می‌شود.

۲-۳ محیط تشکیل کانی‌های تبخیری

متداول‌ترین تقسیم‌بندی در مورد رسوبات تبخیری بر اساس محیط تشکیل آن‌ها صورت گرفته است (موسوی حرمی، ۱۳۸۰) که به شرح زیر بیان می‌گردد:

۱-۲-۳ محیط دریایی

محیط دریایی شامل زیر محیط‌های متعددی است:

- الف- منطقه Lower Supratidal (قسمت زیرین سوپراتایدال) که از ویژگی‌های مهم این تبخیری‌ها، گسترش ژپیس همراه با توده‌های سیانوباکتری‌ها می‌باشند
- ب- منطقه Middle Supratidal (قسمت میانی سوپراتایدال)، که در این منطقه ژپیس همراه با انیدریت وجود دارد و چون تبخیر شدید است گاهی ژپیس به انیدریت تبدیل می‌شود و در آن بافت Chicken Wire (لانه مرغی) دیده می‌شود. وقتی تبخیر شدید است کلسیت نهشته شده، غلظت Mg بالا رفته و شرایط برای تشکیل دولومیت ایجاد می‌شود لذا تشکیل دولومیت مشخصه دیگری از این محیط‌هاست.
- ج- منطقه Upper Supratidal (قسمت بالایی سوپراتایدال)، که در این منطقه انیدریت فراوان تر و ژپیس کمتر است.
- د- از دیگر مناطق تشکیل تبخیری‌ها منطقه شیب (Slope) است. از مشخصه‌های بارز این تبخیری‌ها حالت Slumping و اینتراکلست تبخیری هاست.

۲-۲-۳ محیط‌های غیر دریایی

این محیط‌ها شامل چند زیر محیط می‌شود. (۱) پلایاهای شور دائمی مانند پلایا ارومیه، نمک یوتا و بحرالمیت. (۲) پلایاهای موقت یا پلایا مانند پلایا حوض سلطان، قم و مهارلو که عموماً از دو زیر منطقه تشکیل می‌شوند: الف) دشت‌های گلی: این محیط‌ها تحت تأثیر آب‌های شیرین است. نوع کانی‌هایی که

در زمین‌های گلی (Mud flat) شکل می‌گیرد، بسته به نوع آب موجود در محیط بوده که بیشترین کانی در این قبیل محیط‌ها ژئوپس است. ب) پلایا: در این منطقه انواع تبخیری‌ها با همان توالی مشاهده می‌شوند.

در محیط‌های پلایای ترکیب کانی‌شناسی در مقایسه با محیط‌های دریائی بیشتر تحت تأثیر زمین‌شناسی حوضه آبریز منطقه و ترکیب خاک می‌باشد (Last and Teller, 2002). بطور کلی رسوبات پلایای از نوع شیمیایی و تخریبی است. رسوبات بخش مرکزی پلایاها تقریباً شیمیایی (تبخیری و کربناته) و رسوبات حاشیه پلایا، تخریبی-شیمیایی می‌باشند. ویژگی هر یک از انواع رسوبات به شرح زیر می‌باشد:

۲-۲-۳-۱ رسوبات تخریبی

این رسوبات متشکل از کوارتز، فلدسپات، میکا، منیتیت، هماتیت، آمفیبول، آاناتاز، زئولیت، پیروکسن و محصولات هوازدگی آن‌ها از قبیل کائولینیت می‌باشند. بیشتر کانی‌های رسی موجود در پلایاهای شور و پلایاها تخریبی هستند و از سازندهای قدیمی به داخل حوضه حمل می‌شوند. کانی‌های رسی درون حوضه‌های شور در اثر واکنش شورابه غنی از منیزیم یا سدیم با ذرات تخریبی سیلیسی ایجاد می‌شوند و رایج‌ترین آنها پالی‌گورسکیت و سپیولیت می‌باشد که در حاشیه پلایاهای شور تشکیل می‌شوند (Warren, 2006).

۲-۲-۳-۲ رسوبات شیمیایی

رسوبات شیمیایی، مستقیماً از تبخیر شورابه درون حوضه رسوبی و به صورت برجا به وجود می‌آیند. ته‌نشست کانی‌های تبخیری از آب پلایا، و عمدتاً تابعی از رطوبت نسبی و تبخیر می‌باشد (Sinha et al., 2006). کانی‌های کربناته در ابتدای تبخیر شورابه در زون کربناته ته‌نشست می‌یابند و شامل کلسیت و به‌ندرت آراگونیت می‌باشد. هالیت، کانی کلرید غالب است و در همه اعماق وجود دارد. کانی‌های

تبخیری شامل ژپس، هالیت، باسانیت، پلی‌هالیت، کارنالیت، تناردیت و هگزاهیدریت می‌باشد. این کانی‌ها در شرایط مختلف زیر تشکیل می‌شوند:

۱- پوسته‌های نمکی سطحی

۲- رشد درون رسوبات زیرسطحی از شورابه به داخل شکاف‌ها و درزه‌ها

۳- بلورهای ته‌نشست یافته در کف حوضه که حاصل تجمع بلورهای ریز و مسطح تشکیل یافته در سطح شورابه‌ای هستند، با افزایش اندازه و سنگین شدن به کف حوضه می‌ریزند.

۳-۳ کانی‌های تبخیری

رسوبات تبخیری از دیگر اجزای رسوبات شیمیایی هستند، که پس از تغلیظ نمک‌های محلول در آب رسوب کرده‌اند. مهم‌ترین کانی‌های تبخیری رسوبات پلایای، شامل ژپس، انیدریت و به مقدار کمتری کانی‌های دیگر مثل پلی‌هالیت، هگزاهیدریت، بیسوفیت و کارنالیت است که این کانی‌ها در زمان خشکسالی در اثر افزایش شوری به وجود می‌آیند (طلوعی، ۱۳۷۵). در پلایاهای شور مناطق مختلف، این کانی‌ها فراوانی متفاوتی دارند، زیرا ژئوشیمی آب پلایاهای مختلف که تحت تأثیر این کانی‌ها رسوب می‌کنند، بسیار متغیر و به زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد.

کانی‌های تبخیری از قبیل ژپس، انیدریت، در اثر بالا رفتن درجه شوری آب، که یک فرآیند شیمیایی غیرآلی است، تشکیل می‌شوند. این کانی‌ها هنگامی تشکیل می‌شوند، که میزان تبخیر برابر یا بیشتر از حجم آب ورودی به حوضه‌ی رسوبگذاری باشد (موسوی حرمی، ۱۳۸۶).

شرایط لازم برای تشکیل کانی‌های تبخیری عبارتند از:

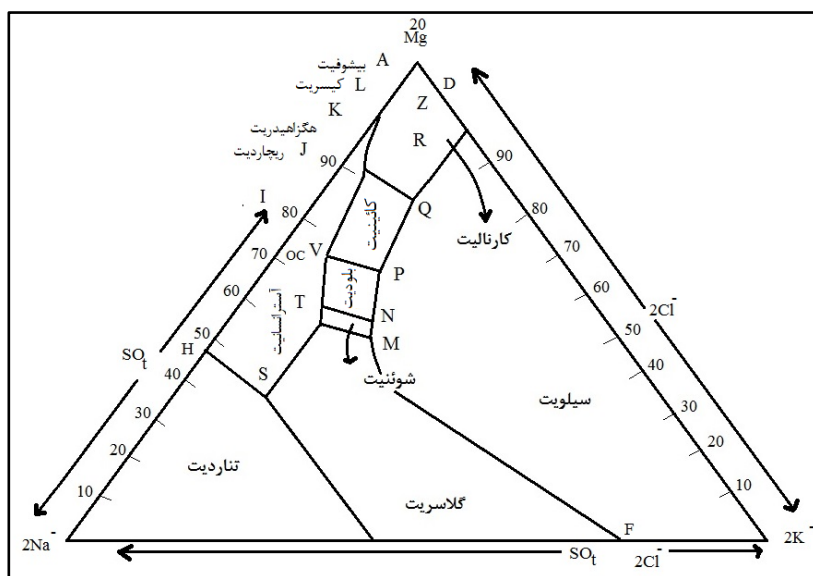
(۱) وجود آب و هوای گرم و خشک با میزان تبخیر زیاد

(۲) ورود مستمر آب شور به داخل حوضه

(۳) وجود حوضه‌های بسته تا نیمه بسته جهت تمرکز آب شور

درحوضه‌های تبخیری کانی‌های مختلفی تشکیل می‌شود. برای تشکیل کانسارهای تبخیری به حجم زیادی آب نیاز است. به‌عنوان مثال اگر حوضه‌ای حاوی آب دریا به عمق ۱۰۰۰ متر به‌طور کامل تبخیر شود، فقط ۱۴ متر رسوبات تبخیری تشکیل می‌شوند که از این مقدار، ۱۲/۱ متر NaCl، ۱/۵ متر $MgCl_2$ ، ۱ متر $MgSO_4$ ، ۰/۷ متر مجموع $CaCO_3$ ، $CaMg(CO_3)_2$ ، $CaSO_4$ و ۰/۴ متر KCl خواهد بود (Evans, 1997).

ترتیب تبلور کانی‌های تبخیری توسط (Usiglio, 1849) بر روی آب دریای مدیترانه با غلظت ۱/۰۳، شوری ۳۸/۴۵ درصد و درجه حرارت ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد بررسی شده است. مطالعات حاصل از این تحقیق نشان داده است که با افزایش تبخیر و کاهش حجم آب، غلظت و شوری آب افزایش یافته و کانی‌ها، از کم محلول‌ترین تا محلول‌ترین، ته‌نشین می‌شوند (Hardie, 1991; Waren, 2006) به این ترتیب که نخست کلسیت و هماتیت، در شرایطی که حجم آب دریا به حدود ۰/۵ برابر حجم اولیه برسد (غلظت آب ۱/۰۵) راسب می‌شود و چنان که حجم آن به ۰/۲ برابر حجم اولیه آب (غلظت ۱/۱۳) برسد ژپس و در نهایت اگر حجم آب دریا به حدود ۰/۱ برابر حجم اولیه آن برسد (غلظت آب ۱/۳) هالیت متبلور خواهد شد. بررسی‌های آزمایشگاهی وانت (Vant Hoff (1905, 1909, 1912 نیز نشان داده است که ترکیب بنیادی نمک‌هایی که در نتیجه تبخیر آب دریا تشکیل می‌شوند به تعادل محلول‌های آبی در سیستم پنجگانه کلر، منیزیم، سدیم، پتاسیم و SO_4 بستگی دارد (Hardie, 1991). بررسی این سیستم در دمای تبخیر ایزوترم (۲۵ و ۸۳ درجه سانتی‌گراد) نشان داده شده است که نمک‌ها به ترتیب زیر از آب دریا رسوب می‌کنند (شکل ۱-۳).



شکل (۱-۳). حوزه پایداری کانی‌های تبخیری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (vant Hoff (1905,1909,1912)

کربنات کلسیم نخستین ترکیب جامدی است که در شرایط طبیعی از تبخیر آب دریا به دست می‌آید. ته نشینی کربنات کلسیم ممکن است ته‌نشست دولومیت را به دنبال داشته باشد، اما هیچ شاهدهی مبنی بر این که رسوبات گسترده‌ی دولومیتی از این راه تشکیل شده باشند، وجود ندارد. در واقع تبخیر آب دریا در یک حوضه بسته منجر به تشکیل رسوبات ضخیم کربناتی نمی‌گردد. آب دریا به عمق ۱۰۰۰ متر، فقط می‌تواند باعث تشکیل چند سانتی‌متر سنگ‌آهک شود. با ادامه تبخیر، سولفات کلسیم نیز رسوب می‌کند، بسته به درجه حرارت و میزان شوری، ژپس یا انیدریت ممکن است تشکیل گردد. در محلول‌های شوری که ترکیبی تقریباً مشابه آب دریا دارند در ۳۰ درجه سانتی‌گراد هنگامی که مقدار شوری به ۳/۳۵ مقدار طبیعی آن افزایش می‌یابد، ژپس شروع به جدا شدن از محلول کرده و پس از اینکه تقریباً ۱/۲ از کل مقدار سولفات کلسیم رسوب کرد، کانی انیدریت فاز پایدار می‌شود. هنگامی که حجم محلول یک دهم حجم اولیه‌ی خود می‌رسد، هالیت به تدریج جدا می‌شود. سپس انیدریت و هالیت شروع به ته‌نشین شدن می‌کنند و این فرآیند ته‌نشینی تا زمانی که پلی هالیت متبلور شد، ادامه می‌یابد. هنگامی که حجم آب در حال تبخیر به ۱/۵۴٪ حجم اولیه خود می‌رسد، نمک‌های پتاسیم و منیزیم شروع به تبلور و ته‌نشین شدن می‌کنند. استمرار تبخیر و بالا رفتن دمای آب دریا، منجر به تبلور

اپسومیت و کائیت می‌گردد. توالی تبلور به صورت هگزا هیدریت - کائینیت کی سریت - کارنالیت، کی سریت - کائیت و نهایتاً جدا شدن سه نمک کی سریت، کارنالیت و بی شوفیت خواهد بود. در این مدت، هالیت و مقادیر کمی از نمک‌های کلسیم نیز رسوب می‌کنند. تبلور پلی هالیت که تقریباً هم‌زمان با هالیت است، در ضمن جدا شدن کائیت، متوقف می‌گردد. (Eugster et al., 1980) دو نوع متوالی تشکیل در دو شرایط مختلف برای کانی‌های تبخیری ارائه نموده‌اند. در شرایطی که آب شور باقی مانده با کانی‌های تشکیل شده در تماس باشد، توالی به صورت زیر مشاهده می‌شود: ژپیس، هالیت، گلابریت و پلی هالیت. اگر کانی‌های تشکیل شده از سیستم خارج شوند (املاح کلسیم پوشیده شوند)، در این صورت ژپیس، هالیت، پلی هالیت، بلودیت، کارنالیت خواهد بود که از کلسیم فقیر هستند. اسامی کانی‌های تبخیری با علامت اختصاری آن در جدول (۱-۳) آمده است.

جدول ۱-۳. برگرفته از (Hardie and Eugster, 1976)

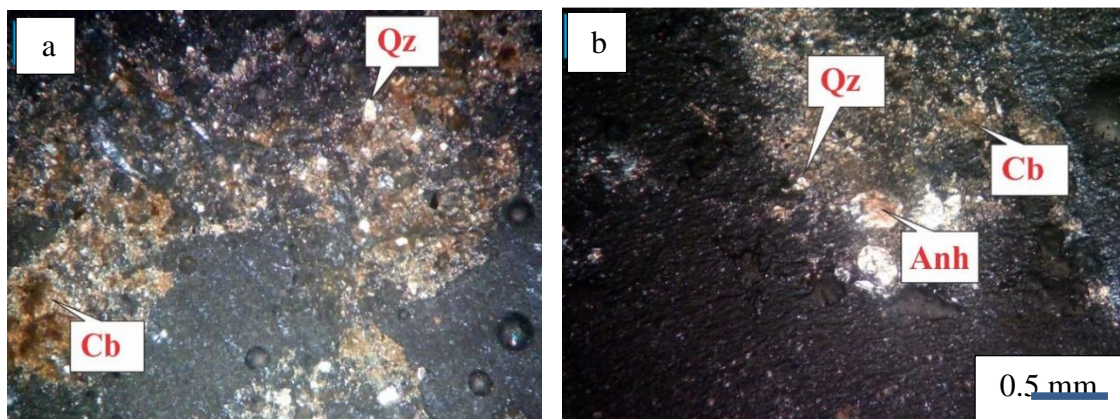
| EVAPORATE | MINERAL | CHEMICAL COMPOSITION |
|-----------|--------------|---|
| A | Anhydrite | CaSO ₄ |
| AP | Aphthitalite | NaK ₃ (SO ₄) ₂ |
| Ant | Antarcticite | CaCl ₂ .6H ₂ O |
| Bi | Bischofite | MgCl ₂ .6H ₂ O |
| Bl | Bloedite | Na ₂ Mg(SO ₄) ₂ .4H ₂ O |
| Car | Carnallite | KMgCl ₃ .6H ₂ O |
| Ep | Epsomite | MgSO ₄ .7H ₂ O |
| G | Gypsum | CaSO ₄ .2H ₂ O |
| Gl | Glauberite | Na ₂ Ca(SO ₄) ₂ |
| H | Halite | NaCl |
| Hx | Hexahydrate | MgSO ₄ .6H ₂ O |
| Ka | Kainite | kMgClSO ₄ .3H ₂ O |
| Ki | Kieserite | MgSO ₄ .H ₂ O |
| Le | Leonite | K ₂ Mg(SO ₄) ₂ .4H ₂ O |
| Pic | Picromerite | K ₂ Mg(SO ₄) ₂ .6H ₂ O |
| Po | Polyhalite | K ₂ MgCa ₂ (SO ₄) ₄ .2H ₂ O |
| Syl | Sylvite | KCl |
| Syn | Syngenite | K ₂ Ca(SO ₄) ₂ .6H ₂ O |
| Tc | Tachyhydrate | Mg ₂ CaCl ₆ .12H ₂ O |
| Th | Thenardite | Na ₂ SO ₄ |

۳-۴ کانی‌شناسی رسوبات پلایای حاج‌علی‌قلی

به منظور بررسی کانی‌شناسی پلایای حاج‌علی‌قلی تعداد ۵ نمونه در بخش غربی برداشته شده و جهت آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) به آزمایشگاه زراژما مشهد فرستاده شد. همچنین تعداد ۴ مقطع نازک برای مطالعات پتروگرافی تهیه گردید. بررسی آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRD) حاکی از وجود تنوع زیادی از کانی‌های آواری و شیمیایی در رسوبات پلایای حاج‌علی‌قلی است که مهم‌ترین کانی‌های موجود عبارتند از هالیت، کلسیت و کانی‌های تخریبی شامل کوارتز، آلبیت و کانی‌های رسی است. در ادامه به تفسیر نتایج XRD و بررسی کانی‌شناسی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

۳-۴-۱ کوارتز

این کانی در مقاطع میکروسکوپی با مشخصه خاموشی موجی و عدم حضور رخ از کانی‌های دیگر تشخیص داده می‌شود. در نتایج XRD کوارتز به صورت کانی اصلی حضور دارد و در اثر هوازدگی و حمل و نقل گرانیتهای اطراف حوضه به این منطقه وارد شده است. کوارتز جز کانی‌های مقاوم بوده که در رسوبات در اشکال مختلفی مانند سیلیس، چرت، اوپال مشاهده می‌شود. در مقطع میکروسکوپی (شکل ۳-۲-۳ و b) کانی کوارتز مشاهده می‌شود. همانطور که دیده می‌شود، کوارتز با فراوانی ۲ تا ۳ درصد و اندازه کوچکتر از ۰/۱ میلی‌متر در یک متن کربناته قرار دارد.

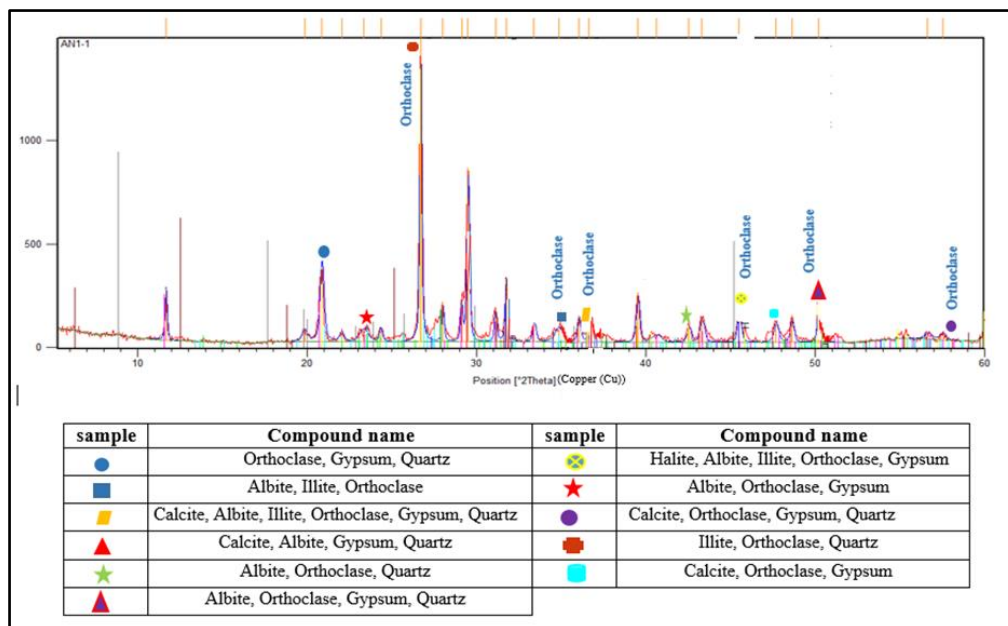


شکل (۳-۲). a - تصویری از بلورهای کوارتز که در متن کربناته قرار دارد. b - تصویری از بلور کوارتز و انیدریت که در متن کربناته قرار دارد.

۳-۴-۲ فلدسپات

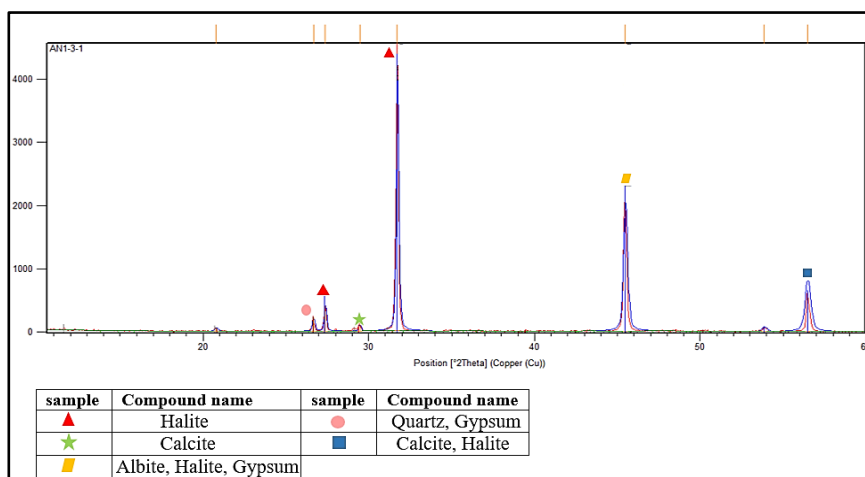
در نتایج حاصل از آنالیز XRD از گروه فلدسپارها، کانی‌های آل‌بیت و اورتوکلاز شناسایی شده است (شکل ۳-۳).

ارتوکلاز: به فرمول شیمیایی $KAlSi_3O_8$ و دارای سیستم تبلور مونوکلینیک می‌باشد. نام آدولاریا اغلب در مورد ارتوکلازهای پر کننده رگه‌ها در درجه حرارت کم به کار برده می‌شود. هر دو آن‌ها از نظر خصوصیات یکسان و ممکن است واجد ترکیب یکسان $NaAlSi_3O_8$ باشند. در نتایج آنالیز XRD، این کانی جز کانی فرعی مشاهده شده در منطقه است.



شکل (۳-۳). گراف XRD از نمونه مقطع AN1-1

آلبیت: آلبیت یک نوع پلاژیوکلاز دارای فرمول شیمیایی $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ است که در رسوبات حاج‌علی‌قلی به‌عنوان کانی فرعی تشخیص داده شده است (شکل ۳-۴). با وجود فراوانی فلدسپات‌ها در سازندهای اطراف پلایا، که در نتیجه هوازدگی گرانیت‌های این منطقه است، این اجزا آواری به دلیل عدم پایداری در برابر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی کمتر در رسوبات حفظ شد است. به‌نظر می‌رسد که تجزیه فلدسپات‌ها در تأمین یون‌هایی از قبیل Na^+ ، K^+ ، Ca^{+2} نقش قابل ملاحظه‌ای داشته است (مهاجر باوقار، ۱۳۷۶).



شکل (۳-۴). گراف XRD از نمونه مقطع AN1-3-1

۳-۴-۳ کانی‌های رسی و میکا

به طور کلی رسوبات پلایای از نوع شیمیایی، بیوشیمیایی و آواری هستند. رسوبات بخش مرکزی پلایا تقریباً شیمیایی (تبخیری) و رسوبات حاشیه پلایا، آواری-شیمیایی می‌باشند. کانی‌های رسی در مقاطع میکروسکوپی در زمینه به صورت کانی‌های ریز مشاهده می‌شوند. کانی‌های رسی حاصل از بیوتیت یا پلاژیوکلازها، در اثر هوازدگی در رنگ‌های مختلف دیده می‌شوند. این کانی‌ها، سیلیکات‌های آبدار آلومینیوم هستند. در برخی از آن‌ها Fe و Mg تا حدی جانشین آلومینیوم شده اما به طور معمول تعدادی از آن‌ها با کانی‌هایی مانند فلدسپار، کوارتز، کربنات‌ها و میکاها مخلوط می‌شوند. کانی‌های رسی این منطقه شامل کلریت، موسکویت، ایلیت است که می‌تواند ناشی از سازندهای شیلی در منطقه و هوازدگی سنگ‌ها با ترکیب اسیدی تا حد واسط باشد. سه منشأ برای کانی‌های رسی در پلایاها در نظر گرفته شده است (Chamley, 1989):

(۱) رس‌های آواری: پس از تشکیل در مناطق دیگر توسط رودخانه‌ها، باد یا دیگر عوامل حمل به محل کنونی خود منتقل و ثابت شده‌اند. رس‌های آواری نشانگر شرایط اقلیمی گذشته و منشأ رسوبات هستند.

(۲) رس‌های اتوژن: بر اثر ته‌نشینی از محلول تشکیل شده‌اند، که گاهی این رس‌ها از مواد سیلیکاته بی‌شکل به وجود می‌آیند. رس‌های نوظهور، درجه حرارت تشکیل کانی، میزان آبشویی و شیمی سیالات بین منفذی را نشان می‌دهند.

(۳) رس‌های تبدیلی: این رس‌ها حاصل تبادل یونی و نظم مجدد کاتیون‌ها در رس‌های موروثی هستند. رس‌های تبدیلی اطلاعاتی در مورد منشأ و محیط شیمیایی که کانی را تحت تأثیر قرار داده است، ارائه می‌کند. رس‌های موجود در پلایای حاج‌علی‌قلی به نظر می‌رسد آواری بوده و در اثر هوازدگی و فرسایش سنگ‌های آذرین تشکیل شده‌اند. اندازه ذرات از خارج به داخل حوضه ریزتر شده که می‌تواند موید آواری بودن ذرات رس موجود در منطقه باشد.

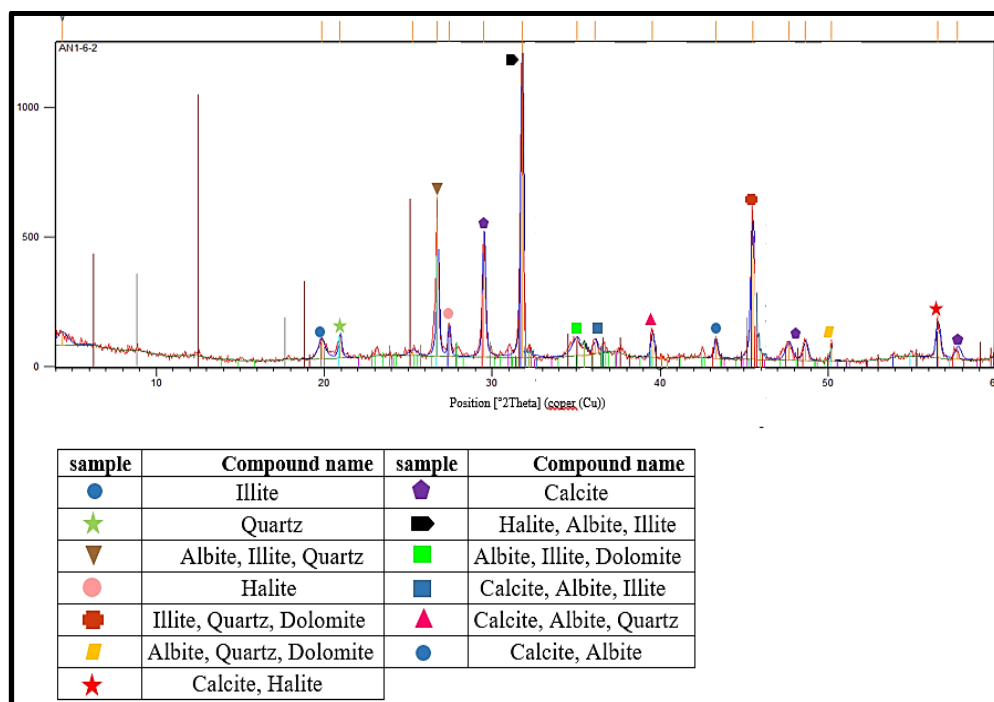
۳-۴-۳-۱ موسکویت

این کانی در نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) رسوبات پلایای حاج‌علی‌قلی به صورت کانی فرعی حضور دارد (شکل ۳-۵). موسکویت کانی رایج در گرانیته‌ها و پگماتیت‌های گرانیته است و وجود آن نشان غنی بودن سنگ‌ها از آلومینیم است. موسکویت در پگماتیت‌ها با کوارتز و فلدسپار همراه بوده است و به صورت ایلیت در خاک‌ها و رسوبات عهد حاضر دیده می‌شود. حضور کانی موسکویت در پلایای حاج‌علی‌قلی احتمالاً در اثر هوازدگی فیزیکی گرانیته‌های موجود در منطقه، حمل و نقل از طریق رودخانه‌ها، باد و سایر عوامل فیزیکی به این بخش از رسوبات منطقه است.

۳-۴-۳-۲ ایلیت

کانی ایلیت بخشی از رس‌های لایه‌ای نوع ۲:۱ از گروه میکاها می‌باشد (Moore and Reynold, 1989) که دارای سیلیس، منیزیم و آب بیشتر و پتاسیم کمتری نسبت به کانی مسکوویت است (Chamley, 1989). ایلیت در نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) به صورت کانی فرعی مشخص گردیده است (شکل ۳-۵). این کانی در اثر هوازدگی سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی بویژه سنگ‌های غنی از فلدسپار

و مسکوویت است (Nelson, 2006; Stanley et al., 1998 Tanner, 1994). سنگ‌های رسوبی و دگرگونی حاوی میکا نیز منشأ مهمی برای آن می‌باشد (Oliveira et al., 2002). ایلیت در محیط‌هایی با میزان بارندگی متوسط، تناوب دوره‌های خشک و تر، میزان بیشتر تبخیر نسبت به بارندگی، معمولاً تشکیل می‌شود (Hillock, 1965).



شکل (۳-۵). گراف XRD از نمونه مقطع AN1-6-2

۳-۴-۳-۳ کلریت

کلریت از نظر ساختاری از مونت‌موریلونیت و قرار گرفتن لایه‌ای از $(Mg,Al)(OH)$ بین هریک از لایه‌های این کانی به وجود می‌آید. به علت فراوانی منیزیم در آب پلایاها، لایه‌هایی از $(Mg,Al)(OH)$ تشکیل و مونت‌موریلونیت به کلریت و موسکوویت (ایلیت) تبدیل می‌شود. فرآیند دیاژنز باعث تشکیل ایلیت و کلریت و ناپدید شدن کائولینیت و مونت‌موریلونیت می‌گردد (Mason and Moor, 2007). کلریت بخش مهمی از مواد رسی را تشکیل می‌دهد اما تشخیص مقادیر جزئی کلریت مخلوط شده با سایر کانی‌های رسی امری بسیار دشوار است. کلریت از جمله کانی فرعی مشاهده شده در نتایج پراش اشعه

ایکس (XRD) پلایای حاج‌علی‌قلی می‌باشد (شکل ۳-۴) که منشأ آن آواری بوده است (Martinez-). Ruiz et al., 1999 این کانی عمدتاً از تغییر سنگ‌های آتشفشانی، هوازگی سنگ‌های آذرین و دگرگونی منشأ می‌گیرد (Chamley, 1989). کلریت در عرض‌های جغرافیایی بالا ایجاد شده و در آب و هوای گرم و مرطوب، دستخوش هوازگی شیمیایی قرار می‌گیرد (Oliveira et al., 2002).

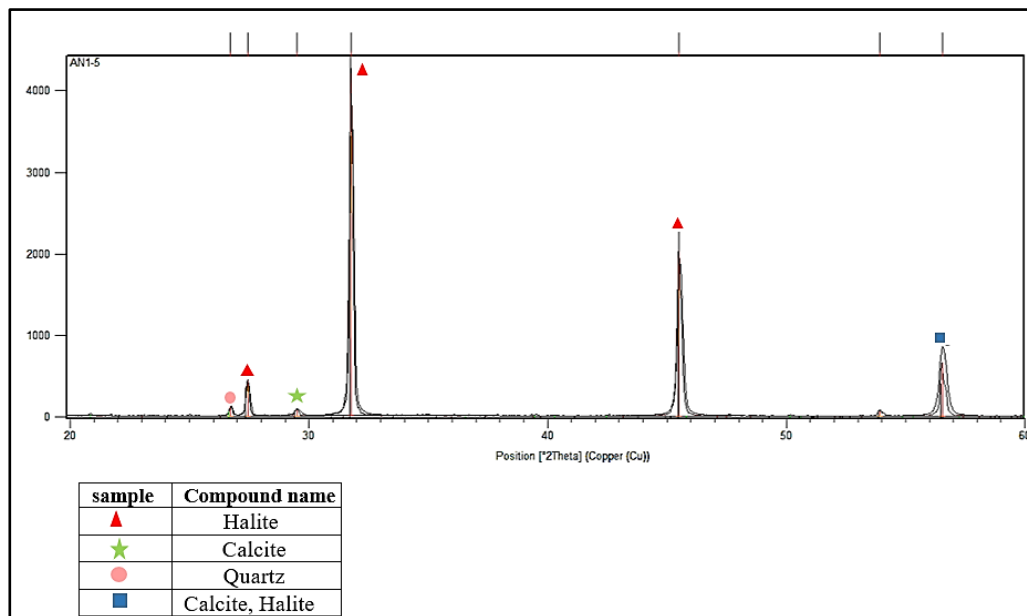
۳-۴-۴ کربنات‌ها

بطور کلی در حوضه‌های بسته از جمله پلایاها و پلایاهای شور از حاشیه حوضه به سمت مرکز، ابتدا زون کربناته، سپس زون سولفات‌ها و در بخش‌های مرکزی و عمیق‌تر، زون کلروره ایجاد می‌شود (Hardie and Eugster., 1976). کربنات‌ها به علت قابلیت انحلال کمتر نسبت به کانی‌های تبخیری دیگر، در مرحله اولیه تکامل شوره‌ها ته‌نشست می‌یابند. خاستگاه کربنات‌ها در رسوبات پلایای ممکن است آواری و یا اتوژنیک باشد (Last and Decker, 1992). در پلایاهای شوره‌ای مانند پلایای حاج‌علی‌قلی، غالباً کانی‌های کربناته به صورت نهشت غیرآلی تشکیل می‌شوند.

۳-۴-۴-۱ کلسیت

کلسیت در نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) جزء کانی‌های اصلی در منطقه می‌باشد (شکل ۳-۶). این کانی در نزدیکی مدخل ورودی رودخانه‌ها به علت ورود آواری‌های بیشتر، فراوان‌تر است. کانی کلسیت در پلایا ممکن است دو منشأ داشته باشد. این کانی می‌تواند از فرسایش سازنده‌های آهکی اطراف پلایا که توسط رودخانه‌ها فرسایش یافته وارد حوضه شود. هم‌چنین می‌تواند بصورت بیوژنیک باشد که در آب شیرین رودخانه یا تالاب‌ها تشکیل و سپس فرسایش یافته و حمل گردیده است (شهرابی، ۱۳۷۲). در پلایای حاج‌علی‌قلی این کانی بصورت تخریبی و سیمان بین ذرات وجود دارد. به خصوص که در شمال، جنوب، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی سازنده‌های آهکی پادها و آهکی بهرام وجود دارد. نتایج

مطالعات نشان می‌دهد که در مدخل ورودی آب‌های سطحی حوضه، ابتدا کربنات‌ها رسوب کرده‌اند. این کانی می‌تواند بیانگر مراحل اولیه تکامل شورابه‌های پلایا حاج‌علی‌قلی باشد (محمدی، ۱۳۸۹).



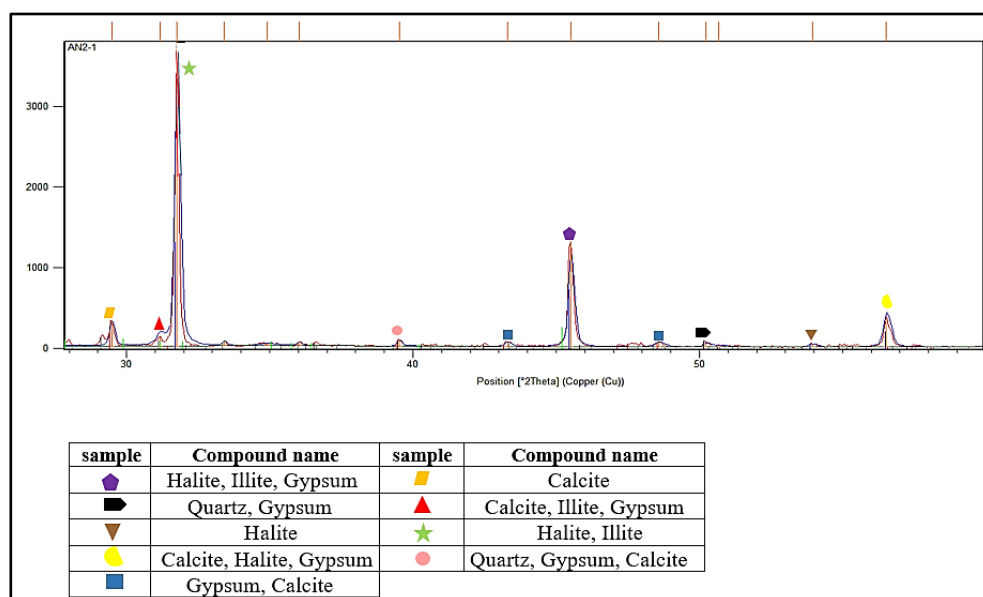
شکل (۳-۶). گراف XRD از نمونه مقطع AN1-5

۲-۴-۴-۳ دولومیت

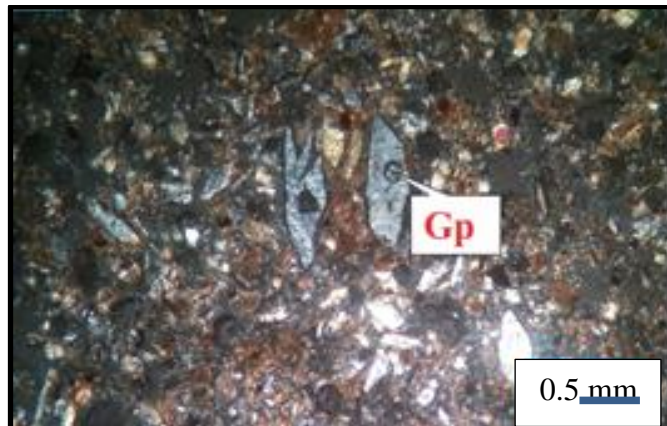
در نتایج آنالیز XRD دولومیت به صورت کانی فرعی در منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۳-۷). بخشی از دولومیت رسوبات پلایا ممکن است بر اثر دولومیتی شدن کربنات کلسیم تحت تأثیر فرآیندهای شیمیایی و بیوشیمیایی تشکیل شده باشد، اما با توجه به آواری بودن کلسیت می‌توان برای دولومیت نیز منشأ آواری در نظر گرفت و چنین بیان نمود که بخش عمده این کانی‌ها توسط باد و از رودخانه‌های حاشیه پلایا تأمین شده باشند. کانی دولومیت در سنگ‌های قدیمی بسیار شایع است، ولی در رسوبات امروزی بسیار نادر و به عنوان کانی اولیه از آب با شوری نرمال به وجود نمی‌آید (Last, 2002)، بنابراین انتقال و حمل شدن آن‌ها به صورت آواری محتمل ترمی باشد.

۳-۴-۵ سولفات‌ها

در حوضه‌های بسته بعد از ته‌نشینی کانی‌های کربناته، به دلیل کاهش Ca/Mg سولفات‌ها ته‌نشست می‌شوند. بین کانی‌های سولفات، کانی‌های سولفات کلسیم از جمله ژپس و انیدریت معمولترین فازهای موجود در طبیعت هستند که بر اساس گرما، فشار و شوری آب در حوضه‌رسوبی، می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند (Holser, 1972). ژپس معمولاً در دما و فشار پایین و شوری نسبتاً پایین آب شکل می‌گیرد، اما انیدریت در دما و فشار بالا و شوری زیاد آب تشکیل می‌شوند. نتایج حاصل از آنالیز اشعه ایکس (XRD) روی رسوبات حاج‌علی‌قلی نشان دهنده درصدی از کانی‌های سولفات از نوع ژپس هستند (شکل ۳-۷)، در عین حال در مقاطع میکروسکوپی مورد مطالعه کانی انیدریت (شکل ۳-۱) و ژپس (شکل ۳-۸) نیز مشخص گردیده است. وجود بلورهای درشت ژپس را می‌توان به رشد آرام در اطراف هسته‌های موجود نسبت داد که در این حالت بلورهای ژپس در جهت لایه‌بندی رشد می‌کنند (Jones and Deocampo, 2004). در نمونه مورد مطالعه کانی ژپس با فراوانی ۲۰ درصد اکثراً به صورت بلورهای شکل‌دار با رنگ بیرفرژانس خاکستری دیده می‌شود. اندازه این کانی بین ۰/۱ تا ۱ میلی‌متر تغییر می‌کند (شکل ۳-۹).



شکل (۳-۷). گراف XRD از نمونه مقطع AN 2-1



شکل (۳-۸). نمایی از کانی لوزی شکل ژیپس که در متن کربناته قرار دارد.

۳-۴-۶ کلریدها

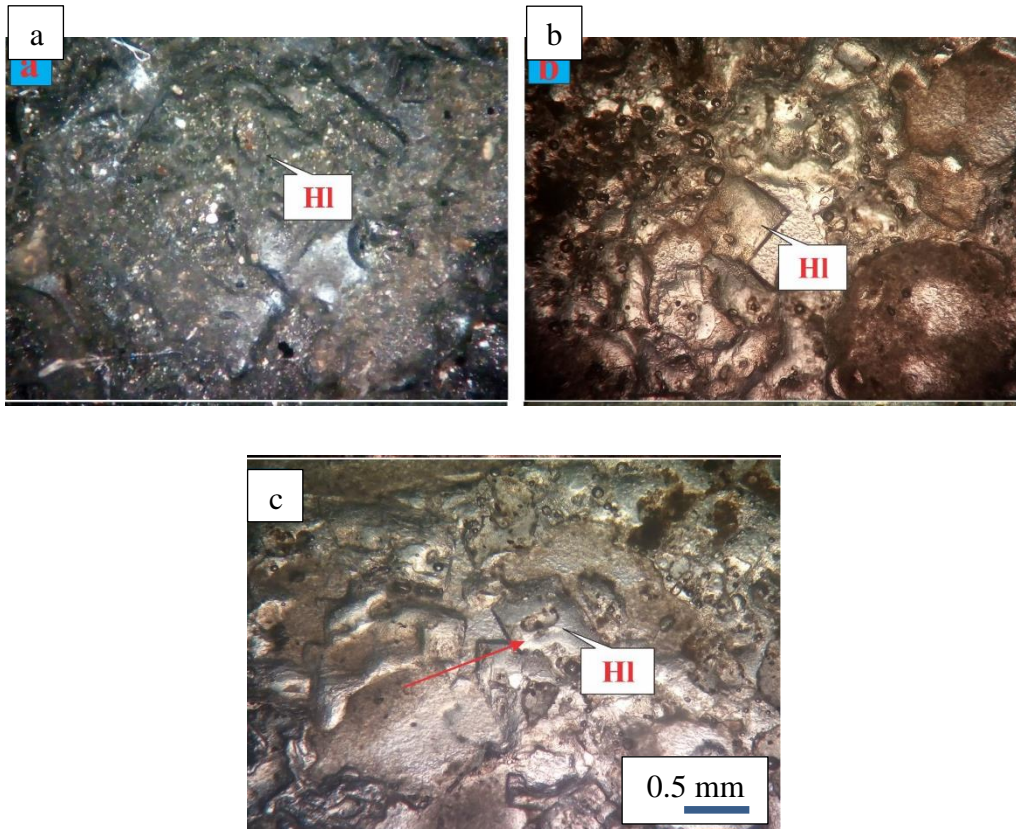
کلریدها کانی‌هایی هستند که در حوضه‌های بسته در آخرین مرحله ته نشست می‌شوند. هالیت جز مهمی از کانی‌های تبخیری در پلایاهای نمکی و حوضچه‌های شور عهد حاضر است (عبدی، ۱۳۹۱). تنوع زیادی از خصوصیات بافتی و لایه‌بندی در هالیت مشاهده شده که غالباً تحت تأثیر محیط رسوبگذاری ایجاد می‌شوند (Smoot and Lowenstein, 1991; Warren, 2006). این کانی در قسمت‌های مختلف حوضچه‌های تبخیری، اعم از سطح تماس شورابه با هوا، کف حوضچه‌ها و در بین ذرات سایر املاح تبخیری رسوب می‌کند. هالیت یکی از مهم‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات در پلایای حاج‌علی‌قلی است که به صورت بلور در بین رسوبات دیده می‌شود (شکل ۳-۹).



شکل (۳-۹). نمایی از هالیت در گل‌های بین‌لایه‌ای

باتوجه به مشاهدات صحرایی و پراش اشعه ایکس (XRD)، هالیت فراوان‌ترین کانی موجود در منطقه است. بدین جهت در اینجا به شرایط تشکیل این کانی در محیط پلایاها پرداخته می‌شود. هالیت (NaCl) یکی از کانی‌های است که حاصل اشباع آب‌های شور در یک حوضه رسوبی تبخیری است که با خروج مولکول‌های آب (که در واقع حلال هستند) رسوب می‌کند. برای ایجاد نهشته‌های تبخیری در محیط دریایی و یا غیردریایی همانطور که قبلاً ذکر شد علاوه بر شرایط مساعد آب و هوایی، حوضه مناسب رسوبگذاری نیز ضروری است. از آنجایی که ذخایر تبخیری را تنها در مناطقی که میزان تبخیر بیش از بارندگی باشد می‌توان مشاهده نمود، این قبیل ذخایر در مناطق قاره‌ای، مناطق کم‌عمق حاشیه دریاها و در آب‌های محدود بزرگ یا کوچک می‌تواند بوجود آید. هالیت برخلاف دیگر کلروها (کلرور منیزیم، پتاسیم، کلسیم) نسبت به تغییر دما واکنش نشان نمی‌دهد. رسوبگذاری نمک از آب‌های شور ارتباط مستقیمی با نسبت یونی (Mg, K, Na, Cl) دارد. در آب‌ها به‌طور معمول، سدیم ۲۷/۷ برابر پتاسیم است. در محیط‌های بسیار کم ژرفا که کف غیرقابل نفوذ دارند، امکان رشد سریع و تولید بلورهای درشت وجود دارد و نشان‌دهنده آرامش در حوضه رسوبی است. هالیت در قسمت‌های مختلف حوضچه‌های تبخیری، اعم از سطح تماس شورابه‌ها با هوا، کف حوضچه‌ها و در بین ذرات سایر املاح تبخیری رسوب می‌کند. حوضچه‌هایی که این بلورها در آنها تشکیل می‌شوند، معمولاً کم عمق بوده است (عبدی، ۱۳۹۱). در مقطع میکروسکوپی (شکل ۳-۱۱) بلورهای هالیت دیده می‌شود. در این مقطع فراوانی هالیت‌ها بین ۸ تا ۱۲ درصد متغیر بوده و اندازه بلورهای کوبیک آن از ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌متر تغییر می‌کند. مقطع نشان داده شده در (شکل ۳-۱۱-a) تماماً از کانی هالیت تشکیل شده است بطوری‌که فراوانی هالیت‌ها تقریباً ۸۰ درصد بوده و اندازه بلورهای آن بین ۰/۲ تا ۱/۵ میلی‌متر تغییر می‌کند. این بلورها شکل مشخص مربعی (کوبیک) را نشان می‌دهند (شکل ۳-۱۰-b) و در نور xpl حالت ایزوتروپ یا

همسانگرد دارند در حالی که در نور ppl بی‌رنگ هستند (شکل ۳-۱۰-۳). نمونه دستی بلور هایت در پلایای حاج‌علی‌قلی نیز نشان داده شده است (شکل ۳-۱۱).



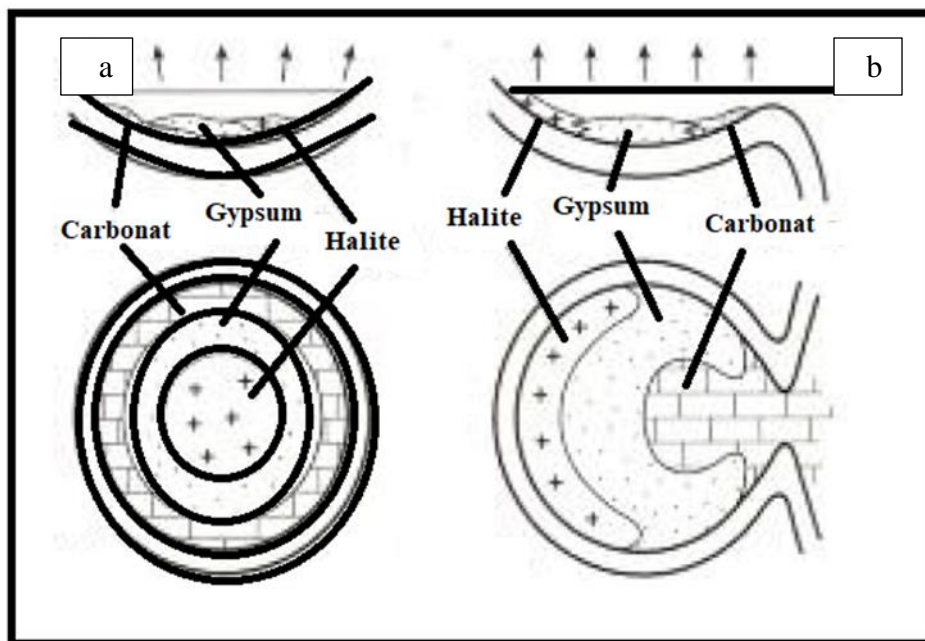
شکل (۳-۱۰). a- نمایی از ایزوتوپ بودن هایت. b- تصویری از شکل هایت در سیستم تبلور کوبیک. c- نمایی از کانی هایت در نور ppl



شکل (۳-۱۱). نمونه دستی از بلورهای هایت در پلایای حاج‌علی‌قلی

۳-۵ روند نهشت کانی‌های تبخیری و مدل حوضه پلایای حاج‌علی‌قلی

ترکیب شیمیایی آب‌های ورودی یکی از مهم‌ترین عوامل تشکیل کانی‌های تبخیری است. ترتیب رسوبگذاری کانی‌های تبخیری شامل کربنات‌ها، سولفات‌ها و سرانجام کلریدها می‌باشد (Warren, 1989). نهشته شدن کانی‌ها در پلایاها طرح نسبتاً ساده‌ای دارد و غالباً در ارتباط با مراحل تکامل شیمیایی شورابه است. این تکامل تحت تأثیر ترکیب کلی آب‌های وارده به حوضه و میزان تبخیر می‌باشد. به این ترتیب که نمک‌های با حداقل قابلیت انحلال از قبیل کانی‌های کربناته در حاشیه‌های حوضه و سپس ژپس در وسط حوضه و نمک‌هایی با حلالیت بالا مثل هالیت در مرکز آن ته نشست می‌یابند. ترتیب کانی‌های پلایای حاج‌علی‌قلی نیز از طرح چشم گاوی پیروی می‌کند (حسینی، ۱۳۸۲)، (شکل ۳-۱۲a) که با توجه به تغییرات کانی‌شناسی در نمونه‌های مربوط به حاشیه به سمت مرکز در این مطالعه نیز تا حدودی تأیید می‌گردد. طرح دیگر برای رسوبگذاری رسوبات تبخیری، طرح قطره اشکی که در آن نمک‌های با حلالیت بیشتر در دورترین فاصله از ورودی حوضه و نمک‌های با حلالیت کمتر در مرکز حوضه یافت می‌شوند (شکل ۳-۱۲b) (Tucker, 2001).



شکل (۳-۱۲) a - ساختار چشم‌گاو b - ساختار قطره اشکی (Tucker, 2001)

فصل ۲

محیط رسوبی و ساختمان های رسوبی

۴-۱ مقدمه

نوع، اندازه، موقعیت مورفولوژیکی و هیدرولوژی پلایا ویژگی رسوبات سطحی، تعیین کننده نوع، مقدار تولید و پخش رسوبات بادی و گرد و غبار از این محیطها می باشند (Reynold et al., 2009). خصوصیات متفاوت زمین شناسی، محیطی و هیدرولوژیکی در قسمت های متفاوت پلایای حاج علی قلی موجب ایجاد ساخت های رسوبی متنوعی در بخش های مختلف شده است. عوامل مهمی که در ایجاد این ساخت ها تأثیر دارند شامل وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی و موجودات، مواد آلی، میزان شوری، وزش باد، بارندگی و سطح آب زیرزمینی می باشد. در این فصل ابتدا یک تقسیم بندی ساده از زیر محیط های تشکیل تبخیری ها در پلایای حاج علی قلی ارائه می شود و سپس به بررسی ساخت های موجود در منطقه و ذکر خصوصیات آن ها پرداخته می شود.

۴-۲ زیر محیط های رسوب گذاری پلایای حاج علی قلی

در محیط پلایا، می توان زیر محیط های گوناگونی را تشخیص داد. به طور کلی تعداد این زیر محیط ها و نیز تنوع کانی های موجود در آنها ممکن است از یک پلایا به پلایای دیگر فرق کند ولی با این حال تشابهات زیادی بین آن ها دیده می شود. بر اساس تقسیم بندی متداول پلایاها، می توان آن ها را در ۵ زیر محیط اصلی شناسایی نمود (Hardie et al., 1978; Kendall, 1992).

این پنج زیر محیط که در پلایای حاج علی قلی نیز قابل شناسایی هستند به شرح زیر است:

۱- زیر محیط رودخانه فصلی (Ephemeral stream)

۲- زیر محیط مخروط افکنه ها (Alluvial fans sub environment)

۳- زیر محیط پهنه گلی-خشک (Dry mud flat sub environment)

۴- زیر محیط پهنه گلی-نمکی (Saline mud flat sub environment)

۵- زیر محیط پهنه نمکی (Saline pan sub environment)

در ادامه ویژگی هریک از زیر محیط‌های یادشده در پلایای حاج علی قلی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۲-۴- زیر محیط رودخانه فصلی (Ephemeral stream)

رودخانه‌های فصلی سیستم‌های خشکی هستند که در آن‌ها آب بطور متناوب، و در برخی از فصول سال جریان دارد. این سیستم‌های رودخانه‌ای در بالا دست به تدریج به مخروط افکنه‌های ماسه‌ای کم شیب و در پایین دست به دشت سیلابی و پلایاهای فصلی منتهی می‌شود. رودخانه‌های زیادی از جنوب و جنوب شرق وارد پلایای حاج‌علی‌قلی شده و نقش اساسی در تأمین رسوبات این پلایا دارند. اما شاخص‌ترین حوضه آبریز که رسوبات خود را وارد منطقه مورد مطالعه می‌کند، رودخانه چشمه علی است، که از دو حوضه آبریز دامغان رود و حوضه آبریز شور تنگه تشکیل شده است. اغلب رودخانه‌های فصلی، شامل کانال‌هایی با بستر پهن و پشته بریده بریده هستند (Melvin, 1991). معیاری که بتوان نهشته‌های رودخانه‌ای فصلی را از نهشته‌های رودخانه دائمی متمایز کرد، وجود ندارد. البته از روی فراوانی اشکال رسوبی مشخص کننده شرایط خشک می‌توان بین این دو تمایز قائل شد. بعضی از این اشکال رسوبی شامل ترک‌های گلی، جورشدگی ضعیف و طبقات ماسه‌ای بادی می‌باشد. هالیت، کانی تبخیری اصلی نهشته‌شده در این رودخانه‌های شور است. در برخی موارد همراه با هالیت، تبلور کانی ژیپس و یا کانی‌های دیگر نیز دیده می‌شود. شیب رودخانه و اندازه دانه‌ها به سمت پلایا کاهش پیدا می‌کند. در اثر کاهش شیب و جریان آب، اندازه دانه‌ها از سیلت تا رس تغییر می‌کند.

۴-۲-۴- زیر محیط مخروط افکنه‌ها

مخروط افکنه‌ها به علت موقعیت تکتونیکی که از نظر هیدرولوژی حوضه بسته‌ای را ایجاد می‌کنند، همراه با محیط‌های غیردریایی تشکیل تبخیری‌ها هستند. مخروط‌افکنه‌ها دارای رسوبات دانه درشت،

مخروطی شکل هستند که از حوضه‌های زهکش و دره‌های کوچک به سمت پائین دست گسترش یافته‌اند. مخروط‌افکنه‌ها به سه قسمت تقسیم می‌شوند:

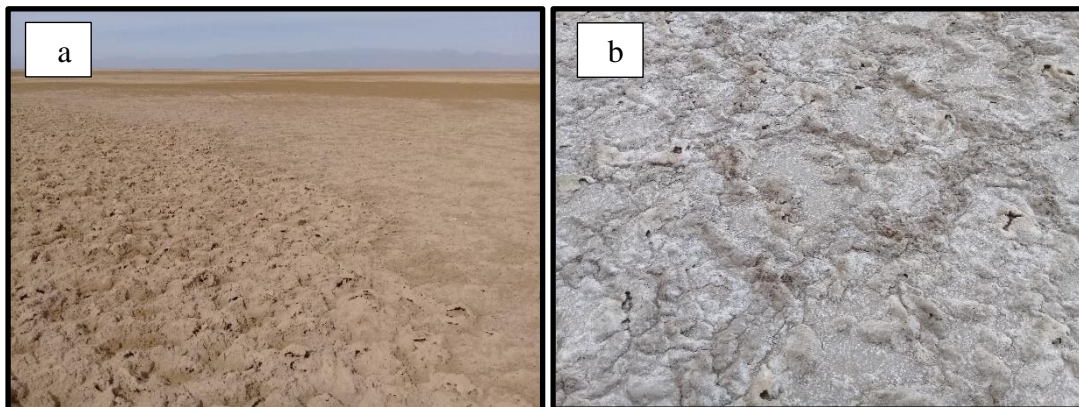
- ۱- بخش بالادست که در مصب دره ایجاد شده و با رسوبات دانه درشت و کانال‌های عمیق همراه است.
- ۲- بخش میانی مخروط افکنه، جایی است که جریان از کانال‌های حفرشده بیرون می‌زند و در سطح مخروط‌افکنه پخش می‌شود. رسوبات این بخش دانه متوسط هستند.
- ۳- بخش پایانی یا دور از منشأ که در آن کانال‌های انشعابی به صورت یک سطح ماسه‌ای نسبتاً یکنواخت است. شیب مخروط افکنه در این بخش‌ها کاهش می‌یابد (Hardie et al., 1978).

مشخصات نهشته‌های رودخانه‌ای روی مخروط افکنه‌ها بستگی به شیب مخروط افکنه دارد. کانال‌های روی شیب مخروط‌افکنه‌ها اغلب فرسایشی هستند. اندازه و شیب مخروط‌افکنه‌ها به اندازه منطقه زهکش، نوع رسوبات در منطقه، منشأ و فعالیت تکتونیکی بستگی دارد. فعالیت تکتونیکی همزمان با رسوب‌گذاری این محیط‌ها باعث ایجاد نهشته‌های خیلی ضخیم و تغییر شیب کانال در طی رسوب‌گذاری شده است. بطور کلی رسوب‌گذاری تبخیری‌ها بر روی مخروط‌افکنه‌ها محدود به پهنه ماسه‌ای و مخروط‌افکنه است (Melvin, 1991). تبخیری‌هایی که در قسمت دور از منشأ مخروط افکنه نهشته شده‌اند عموماً پوسته‌های شورزده نازکی از کانی‌های میکروکریستالین هستند. رشد پوسته‌های شورزده ساخت‌های رسوبی را از حالت اولیه خارج می‌کند.

۴-۲-۳ زیر محیط پهنه گلی خشک (Dry mudflat sub environment)

پهنه‌های گلی خشک، مناطقی هستند که در معرض هوا قرار داشته و دربرگیرنده رسوبات ریز در اندازه سیلت و رس هستند. این پهنه‌ها در مرز پهنه‌های گلی و نمکی و گاهی در حاشیه پلایا نمکی دائمی تشکیل می‌شود. در پلایای حاج‌علی‌قلی، پهنه گلی خشک (شکل ۴-۱-۱) را با توجه به فراوانی اشکال حاصل از خشک‌شدگی مثل ترک‌های گلی می‌توان از پهنه گلی مرطوب جدا کرد. سطح آب زیرزمینی

به قدری در این پهنه‌ها عمیق است که در ایجاد کانی‌های تبخیری نقش مهمی را ایفا نمی‌کند و در نتیجه کانی‌های تبخیری کمی در سطح رشد می‌کند. این پهنه‌ها وسیع‌ترین زیرمحیط در منطقه مورد مطالعه است. بیشترین اشکال رسوبی ساختمان‌های پف کرده هستند (شکل ۴-۱-۴). بالآآمدگی سطح ایستابی در عمق حدود ۴/۵ متر قرار دارد (شرکت آب منطقه‌ای سمنان، ۱۳۸۶). هرچه به سمت پهنه گلی نمکی، نزدیک می‌شویم تنوع گیاهی کم شده و با افزایش مقدار سدیم خاک حالت چرب پیدا می‌کند. در نتیجه تکرار متناوب مرطوب شدن و خشک شدن، پلیگون‌هایی در حد سانتیمتر تا ده‌ها متر ایجاد می‌کنند. پلی‌گون‌های بزرگتر توسط فرونشینی سطح در پاسخ به پائین افتادن سطح آب ایجاد می‌شوند. ترک‌های گلی عموماً پیچیده‌اند و حالت دندانه‌دار تا سینوسی دارند. در پلایای حاج علی قلی این پهنه‌ها شامل کانی‌های کوارتز، آلبیت، دولومیت و ایلیت است (پریمی، ۱۳۹۴).

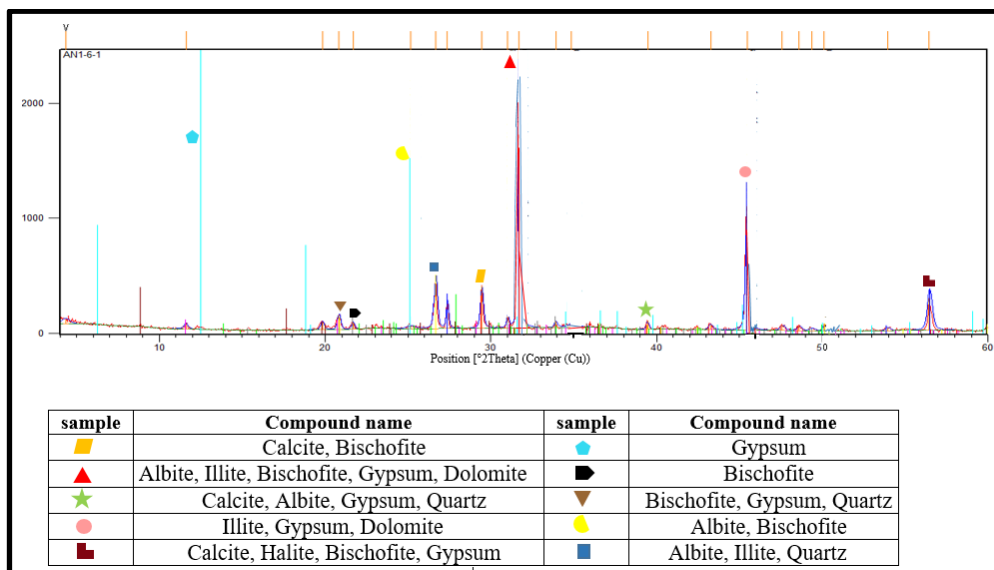


شکل (۴-۱). (a) نمایی از پهنه گلی خشک دید به سمت شمال، (b) ساخت زمین پف کرده در پهنه گلی خشک

۴-۲-۴ زیر محیط پهنه‌گلی نمکی (Saline mud flat sub environment)

پهنه‌های گلی نمکی متشکل از رسوبات رسی دانه‌ریزی هستند که دارای خاصیت پلاستیکی هستند و سبب اتصال و استحکام ماسه‌های گلی موجود در محل می‌شوند. این پهنه‌ها همچنین دارای کانی‌های

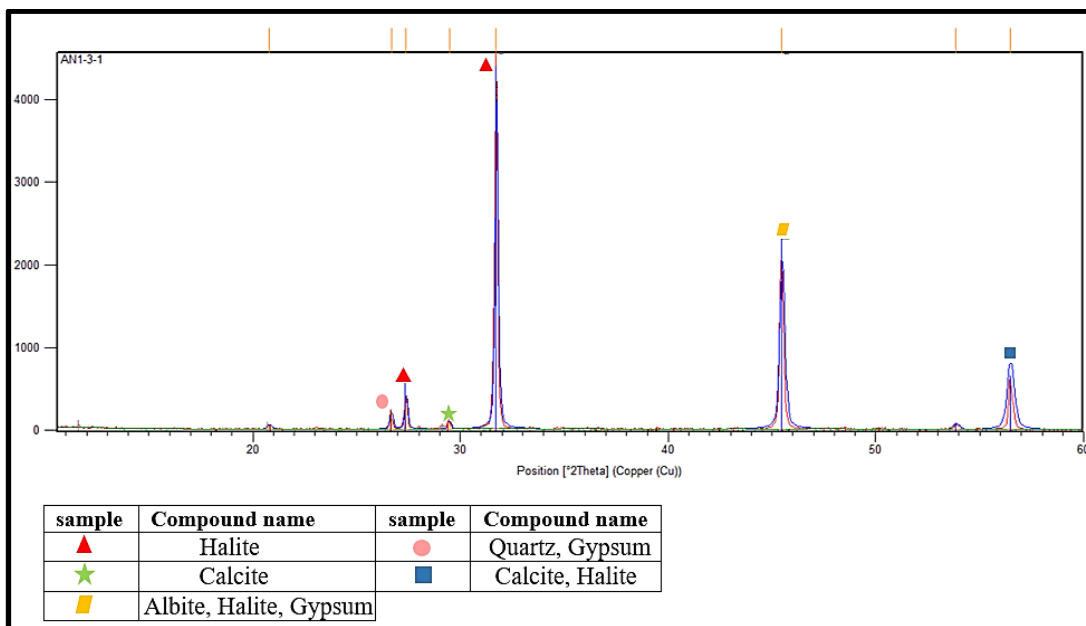
تبخیری درون رسوبی و پوسته‌های نمکی شورزده سطحی بوده که بیشتر از آب‌های شور زیرزمینی به وجود آمده اند. در پلایای حاج‌علی‌قلی این پهنه به شکل حلقه‌ای اطراف پهنه‌نمکی را در بر گرفته به طوری که در جنوب غرب باریک شده، و در شمال و شرق پهنه نمکی بسیار وسیع شده است. از عوامل کنترل‌کننده رسوبگذاری در پهنه‌های گلی نمکی، فرآیندهای رودخانه‌ای و باد می‌باشد. نوع کانی‌های تبخیری که در پهنه‌ی گلی نمکی تشکیل می‌شود به عواملی چون مراحل تحول شیمیایی شورابه آب زیرزمینی، میزان نفوذ آب‌های سطحی شور در رسوبات، مخلوط شدن آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی بستگی دارد. عمقی که کانی‌های تبخیری می‌تواند توسط شورابه زیرزمینی تشکیل شوند مشخص نیست، اما به پارامترهایی از قبیل تخلخل رسوب، شدت و میزان تبخیر و شوری آب زیرزمینی بستگی دارد. کانی‌های تبخیری در رسوبات پهنه گلی نمکی به صورت لایه‌ها یا بلورهای مجزا و تجمعات بلوری تشکیل می‌شوند. در نقاط خیلی خشک پهنه‌های گلی نمکی، نفوذ آب باران به داخل پوسته‌های شورزده و خشک شدگی بعدی ممکن است، پوسته‌های نازکی از کانی‌های نمکی ایجاد کند، که مشابه خاک‌های نمکی هستند (Wadge and Archer, 2003). بیشتر سطح پهنه گلی نمکی پوسته‌های شورزده را ذرات دانه ریز می‌پوشانند. این پوسته‌ها توسط تبخیر کامل شورابه زیرزمینی نزدیک به سطح تشکیل می‌شوند و ترکیب کانی‌شناسی این پوسته‌ها منعکس کننده ترکیب شیمیایی شورابه زیرسطحی است. در جاهایی که آب زیرزمینی نزدیک به سطح باشد ضخامت پوسته شورزده بیشتر است. این پوسته‌ها بر اساس مطالعات پراش اشعه ایکس (XRD) عموماً از هالیت و ژیپس تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۲).



شکل (۴-۲). نمودار گراف مربوط به مقطع AN1-6-1 زیر محیط پهنه گلی نمکی

۴-۲-۵ زیر محیط پهنه نمکی (Saline pan sub environment)

به طور معمول پهنه نمکی، در محیط دریایی و غیردریایی تشکیل می شود، ولی عمدتاً در محیط های غیردریایی پهنه های نمکی، پائین ترین بخش حوضه رسوب، با سیستم زهکش بسته را اشغال می کند. پهنه نمکی پلایای حاج علی قلی به عنوان پست ترین بخش این حوضه رسوبی، منطقه ای است، که در فصول خشک با لایه هایی از نهشته های تبخیری پوشیده می شود و در فصل مرطوب به صورت پلایای فصلی و شور در می آید. این پهنه نامتقارن در پلایای حاج علی قلی مساحتی در حدود ۴۶۵ کیلومتر مربع را اشغال می کند. پوسته های نمکی بطور عمده از حالت تشکیل شده اند، اما در نمونه های نزدیکتر به حاشیه پهنه نمکی، کانی های ژئوپس، کلسیت و کانی کوارتز به صورت تخریبی دیده می شود (شکل ۴-۳).



شکل (۳-۴). نمودار گراف مربوط به نمونه AN1-3-1 زیر محیط پهنه‌نمکی

نهشته‌های این پهنه شامل پوسته‌های تبخیری هستند که بوسیله سطوح انحلالی یا لایه‌های گلی از یکدیگر جدا می‌شوند. حفظ شدن نهشته‌های تبخیری به بلوغ شیمیایی پهنه و ثبات آب زیرزمینی بستگی دارد. پوسته‌های نمکی نابالغ (Immature) در طول هر مرحله سیلاب حل می‌شوند. هرچه غلظت مواد محلول در آب زیرزمینی بیشتر شود، پوسته‌های شورزده ضخیم‌تری را در یک منطقه بزرگ‌تر ایجاد می‌کند. این مکانیسم همچنین باعث می‌شود، منطقه اختلاط بین شورابه پهنه نمکی در آب زیرزمینی موازی پهنه نمکی به سمت بیرون حرکت کند و ممکن است سرانجام شورابه‌ای مستعد رسوبگذاری نمک‌های با قابلیت انحلال بسیار بالا از قبیل پتاس را ایجاد کند. رسوب‌گذاری آغازین پتاس به صورت سیمان‌های پرکننده فضای خالی در زیر سطح پهنه‌نمکی در مرحله خشک‌شدگی رخ می‌دهد. (شکل ۴-۴) تصویر صحرایی از پهنه نمکی که در آن بلورهای نمک در حال تبلور می‌باشند را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴). نمونه صحرایی نشان دهنده مراحل مختلف تبلور در پهنه نمکی

تشکیل پوسته‌های نمکی لایه‌ای هالیت و گل بین لایه‌ای در یک سیکل پهنه نمکی توسط لاونستین و هاردی (Lowenstein and Hardie, 1985) توضیح داده شده است. این توالی شامل:

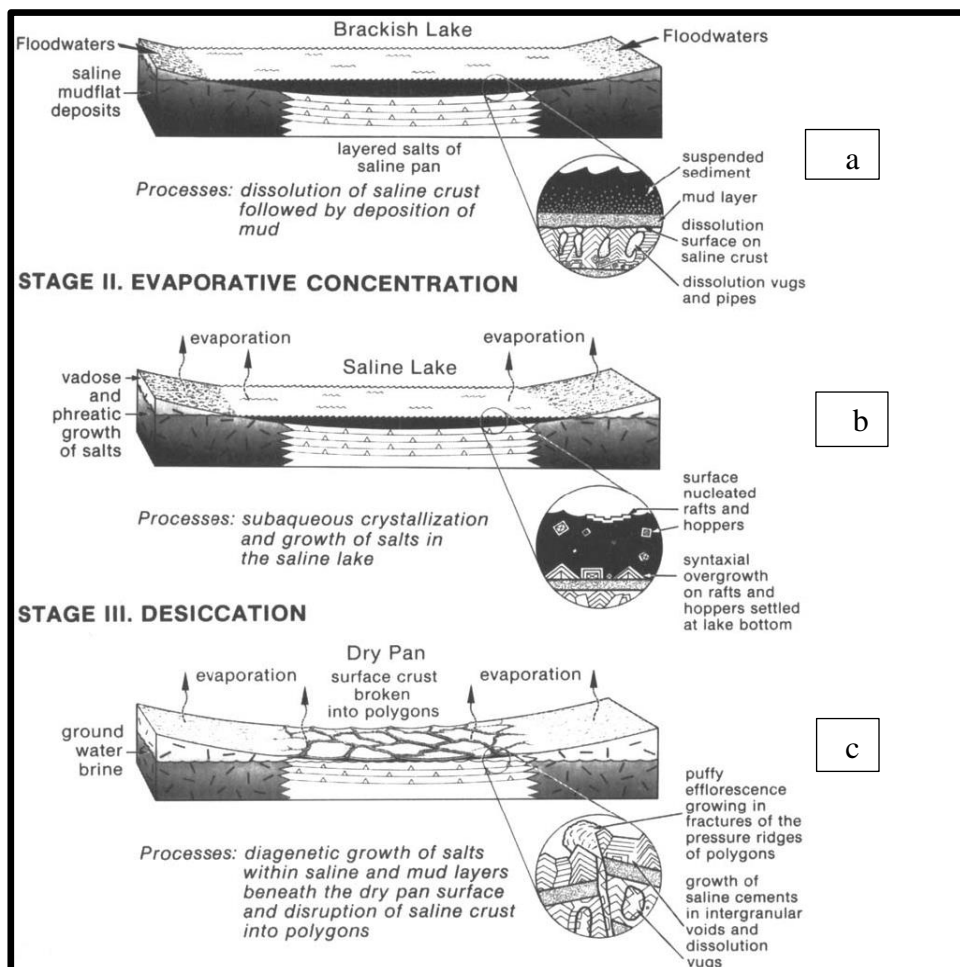
۱- مرحله سیلابی (Flooding stage)

۲- مرحله پلایانمکی و تبخیر و تغلیظ یونی (Saline lake stage)

۳- مرحله خشک‌شدگی (Desiccation stage)

در مرحله سیلابی، آب‌های سیلابی که پهنه نمکی را می‌پوشانند یک پلایا لب شور موقتی را تشکیل می‌دهند که منطقه سیلابی عموماً بزرگتر از پهنه نمکی می‌باشد (شکل ۴-۵-۴) رسوب دانه ریزی که بوسیله سیلاب نهشته می‌شود بصورت لایه‌های نازکی هستند و نزدیک به منشأ سیلاب ضخیم‌ترند. مواد محلول (Solute) در پهنه نمکی پلایای فصلی، در اثر انحلال نمک‌های محلول‌تر پوسته شورزده، رواناب سطحی و یا انحلال بخشی تا کامل نهشته‌های قدیمی پهنه نمکی حاصل می‌شوند. بعد از سیلاب، آب

پلایا پهنه‌نمکی بوسیله تبخیر، تغلیط می‌شود. اولین رسوباتی که از شورابه، ته‌نشین می‌شوند، بلورهای کوچکی هستند که در سطح آب-هوا ایجاد می‌شوند. این بلورها ممکن است بلورهای منظم و پهن‌هالیت، اشکال میله‌ای یا تخته‌ای شکل ژپیس و یا بلورهای شعاعی ناترون ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) باشند (شکل ۴-۵-b). اگر آب پلایا پهنه‌نمکی، مواد محلولی را که از پوسته شورزده در خود حل کرده و رسوب دهد، ممکن است پوسته‌های نمکی تک‌مینرالی ایجاد شوند. همچنین ممکن است کانی‌های مختلف بصورت پوسته‌هایی که در آخرین مرحله تبخیر شورابه سطحی باقیمانده رسوب می‌کنند، معمولاً بر روی یک لایه تجمعی از نمک‌های با حلالیت کمتر قرار گیرند. مرحله نهایی سیکل پهنه‌نمکی، خشک‌شدگی کامل پلایا نمکی فصلی است. در طی این مرحله شورابه‌های سطحی به زیر پوسته نمکی سطحی نفوذ کرده و تغلیط آنها توسط تبخیر از طریق موئین ادامه پیدا می‌کند (شکل ۴-۵-c). شورابه تغلیط یافته چگال که زیر سطح پوسته نفوذ کرده‌است در صورتیکه تغلیط آن توسط تبخیر ادامه یابد، ممکن است باعث ته‌نشست کانی‌هایی با قابلیت انحلال بالا در فضا‌های خالی رسوب شوند (Strakhov, 1970). بلورهای هالیت در لایه‌های گلی بین پوسته‌های نمکی در طول مرحله خشک‌شدگی بصورت تجمع بلوری منظم یا بلورهای با جهت یافتگی تصادفی، رسوب می‌کنند. شورابه سطحی پهنه‌نمکی ممکن است به عمق نفوذ کرده و با آب زیرزمینی مخلوط شود و یک شورابه هیبرید ایجاد کند که محلول حاصل از نظر ترکیب با شورابه‌ای که توسط تبخیر مداوم آب بوجود می‌آید متفاوت است (Hardie, 1968). تداوم تبخیر ممکن است باعث تشکیل کانی‌های تبخیری جدید و یا باعث تبلور مجدد کانی‌های تبخیری قدیمی‌تر گردد. نمونه‌ای از بلورهای هالیت بین‌لایه‌ای در پلایای حاج‌علی‌قلی در (شکل ۴-۶) نشان داده شده است.



شکل (۴-۵). مراحل تشکیل پوسته‌های هالیت و گل‌های بین لایه‌ای در پهنه نمکی (Lowenstein and Hardie, 1985)



شکل (۴-۶). نمونه هالیت در گل‌های بین لایه‌ای

۴-۳ ساختمان‌های رسوبی

خصوصیات متفاوت زمین‌شناسی، محیطی و هیدرولوژیکی در بخش‌های مختلف پلایای حاج‌علی‌قلی موجب ایجاد ساخت‌های رسوبی متنوعی شده است. ساختمان‌های رسوبی ایجاد شده در منطقه مورد مطالعه، به علت میزان شوری بالا، محدود به ساخت‌های شیمیایی است و ساخت‌های بیولوژیکی-بیوشیمیایی گسترش چندانی ندارند. بطور کلی عواملی از جمله وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی و موجودات، مواد آلی، میزان شوری، بارندگی و سطح آب زیرزمینی در ایجاد ساخت‌ها نقش بسزایی دارد. از مهمترین ساخت‌های رسوبی که در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود، می‌توان به پوسته‌های شورزده، تی‌پی‌ها، ترک‌های گلی، اشاره کرد که به توضیح مختصری در این باره می‌پردازیم.

۴-۳-۱ پوسته‌های شورزده نمکی

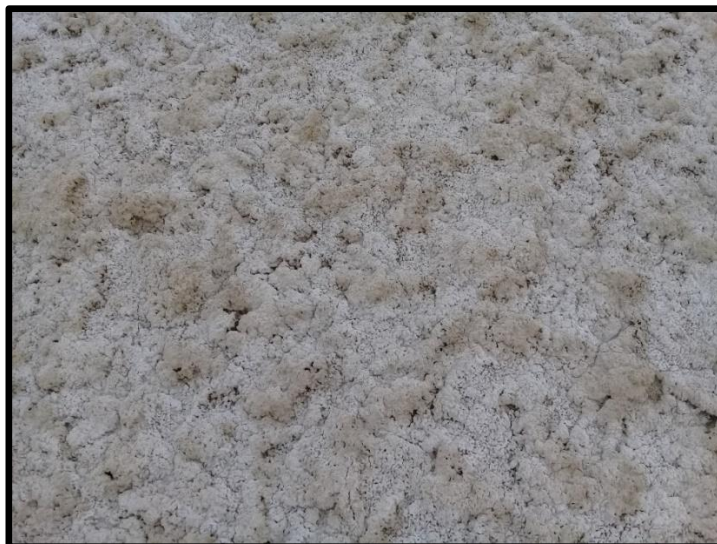
پوسته‌های نمکی شورزده یکی از ویژگی‌های مهم خاک‌های نمکی هستند. این پوسته‌ها به عنوان یک ساخت همیشه حاضر در پهنه‌های گلی-شور پلایای عهدحاضر و سبخاهای سوپراتایدال شناخته شده-اند (Clements et al., 2003). این ساخت بوسیله تبخیر کامل آب منفذی ایجاد می‌شوند. کانی‌های نمکی از خاک‌ها در حوضه زهکش شسته می‌شوند. غلظت‌های بالای سیال درون منفذی، ممکن است حاصل انحلال کانی‌هایی از قبیل ژیپس باشد، که در هنگام انتقال در رسوبات دفن شده اند. جامدات حل شده توسط نیروی موئینه به سمت بالا حرکت کرده و بصورت یک پوسته بر روی سطح رسوب می‌کنند. با ادامه فرآیند رسوب‌گذاری، پوسته وسیع‌تر می‌شود. اولین سیمای کششی حاصله، کمی گنبدی شکل است و با ادامه انبساط، پوسته تحلیل رفته و به سمت بالا در طول شکستگی‌ها خمش می‌یابد. کانی‌شناسی پوسته‌ها منعکس‌کننده تجمع کل مواد محلول در آب منفذی بوده، و این پوسته‌ها عموماً، دربرگیرنده تنوعی از کانی‌های بسیار محلول هستند (Hardie and Eugster, 1976). پوسته‌های شورزده عموماً از هالیت تشکیل شده‌اند، اما پوسته‌هایی که در آنها ژیپس غالب است نیز وجود دارند.

پوسته‌های شورزده ممکن است شامل کانی‌های دیگر از قبیل ترونا، تناردیت، کانی‌های برات و نمک‌های نیترات نیز باشند. پوسته‌های نمکی شورزده خیلی محلول، در زیر سطح به‌ندرت حفظ می‌شوند. به این دلیل، پوسته شورزده توجه کمی را در مطالعات محیط‌های نمکی در حال حاضر به خود جلب کرده‌اند. پوسته‌های نمکی شورزده تحت دو فرآیند هیدرولوژیکی متفاوت تشکیل می‌شوند. ابتدا تبخیر آب زیرزمینی سطح در اثر نیروی موئینه است. دومین حالت زمانی است که بارش باران باعث انحلال گرد و خاک موجود در پلایا شده و پس از تبخیر، مواد به صورت پوسته‌های شورزده رسوب می‌کنند. هر دو فرآیند در موقعیت‌های مشابه ایجاد می‌شوند و در شرایط خاص همپوشانی دارند. بطور کلی در محیط‌های رسوبی پهنه‌های گلی‌نمکی که در آن رسوبات از شورابه‌ها اشباع هستند، در سطح و یا نزدیک به سطح مورفولوژی قرار دارند. منشأ این شورابه‌ها آب‌زیرزمینی است که از حاشیه حوضه جریان می‌یابد. با ادامه فرآیند تبخیر، شورابه‌ای که در سطح قرار دارد تبخیر، و مازاد آن به سمت بالا حرکت می‌کند. تبخیر و اختلاط این آب‌ها منجر به ایجاد یک توزیع جانبی از کریستال‌های تبخیری درون رسوبی می‌شود که بصورت زون‌بندی درون حوضه‌های بسته دیده می‌شود (Paik and Kim, 2006). تبخیر کامل شورابه در سطح رسوب، منجر به ایجاد پوسته‌های شورزده می‌شود. این پوسته‌ها در حال تعادل با آب زیرزمینی نبوده و لذا وقتی تماس خود را با آب سطحی از دست می‌دهند، حل می‌شوند. ضخامت پوسته‌های شورزده به میزان اشباع رسوب (نرخ تجمع رسوب) و فراوانی طغیان بستگی دارد. در پلایای حاج‌علی‌قلی این پوسته‌ها بیشتر از هالیت تشکیل شده‌اند. بلورهای هالیت در پوسته‌های شورزده لایه‌های هیدروسکوپی نازکی از آب بر روی سطحشان دارند. گرد و غبار حاصل از وزش باد به این لایه‌ها می‌چسبد و باعث ایجاد رنگ قهوه‌ای می‌شوند. پوسته‌های شورزده هالیت پهنه گلی نمکی، گرد و غبار حاصل از وزش باد را به تله انداخته و باعث ایجاد گل با جورشدگی ضعیف می‌شود. در پلایای حاج‌علی‌قلی، پوسته‌های شورزده عمدتاً، از هالیت تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۷). تجمعات کریستالی سطوح پف کرده نودولی را تشکیل می‌دهند. مطابق (شکل ۴-۸) هنگامی که سطح زمین در معرض هوا قرار می‌گیرد،

آب‌های قسمت زیرین به زیر سطحی که در مقابل تابش قرار گرفته، فشار وارد کرده و سبب ایجاد تاول‌هایی در قسمت سطحی شده است که به علت وجود مواد آلی سفت هستند. در پهنه‌های گلی خشک پلایای حاج‌علی‌قلی، این ساخت به فراوانی دیده می‌شود. سطح آب‌زیرزمینی در این پهنه به قدری، پایین است که کانی‌های تبخیری تشکیل نمی‌شوند که در نزدیکی یا روی سطح رشد می‌کنند، بافت سطحی مذکور زمین پف کرده نامیده می‌شود (Howari et al., 2010).



شکل (۴-۷). پوسته‌های شورزده در پلایای حاج‌علی‌قلی



شکل (۴-۸). نمایی از زمین پف کرده در پلایای حاج‌علی‌قلی

۴-۳-۲ تی پی ها

تی پی ها به شکل حاشیه های پیچ و تاب خورده و مگا پلی گون های نعلبکی شکل در سنگ آهک یا پوسته های تبخیری هستند. ویژگی محیط های تبخیری شامل شوری بالا، تغییرات رایج بین مرطوب شدگی و بیرون زدگی سطوح رسوبی باعث توسعه یافتگی این ساختها در سطح می شود (Kendall and Warren, 1987). تی پی ها در محیط های ساحلی و قاره ای شناخته شده اند که در مناطق قاره ای، آنها با خاک های کالیچی در ارتباط هستند (Reeves, 1970). در نواحی ساحلی این ساختها در سنگ های ساحلی ایجاد می شود. در پلایای حاج علی قلی در کفه گلی مرطوب، ساختمان های گنبدی شکل همراه با چین و حالت های خمشی گسترش دارند (شکل ۴-۹). در این ساختمان ها ستیغ ها (Crests) به صورت بسته و گرد شده بوده و به علت دارا بودن پوشش میکروبی حالت چسبنده دارند. در برخی موارد که فشار گاز از لایه زیرین خاک چنان زیاد است که باعث بیرون زدگی لایه زیرین خاک شده است. این گسستگی ها همچنین ممکن است توسط سیلاب های در حال حرکت و امواج سطحی ناشی از باد که در داخل شورابه جریان می یابد نیز ایجاد شده باشند.



شکل (۴-۹). نمایی از تی پی ها در پلایای حاج علی قلی

۴-۳-۳ ترک‌های گلی

ذرات دانه‌ریزی پس از رسوبگذاری دارای مقدار زیادی آب در خل و فرج خود هستند این رسوبات زمانی که در معرض هوا قرار می‌گیرند، آب خود را از دست می‌دهند. در این حالت بر اثر انقباض و کشش در سطح این رسوبات ترک‌هایی ایجاد می‌شود. عمق ترک خوردگی در این ساخت‌ها به طول ترک‌ها بستگی دارد و ممکن است حداکثر به پنج سانتی‌متر برسد. ممکن است ترک‌هایی در سطح رسوبات گلی موجود در زیر توده‌های آبی تشکیل شود، این ترک‌ها بر اساس ازدست دادن آب موجود در رسوبات به دلیل اتصال ذرات رسی به یکدیگر و با تغییرات درجه شوری آب بوجود می‌آیند که به نام ترک‌های سین آرسیس (Syneresis) گفته می‌شود. تفاوت این‌ها با ترک‌های گلی در شکل و اندازه آن‌ها می‌باشد. در پلایای حاج علی قلی، قطر پلی گون‌های نمکی حداکثر به یک تا دو متر و گاهی سه متر می‌رسد (شکل ۴-۱۰). پوسته‌های نمکی در اثر تبخیر به شکل افقی و عمودی گسترش یافته و ضخامت آن‌ها زیاد می‌شود که این می‌تواند به علت رشد مداوم بلورهای مستعد نمک باشد. در اثر تبلور بلور نمک، حجم زیاد شده و باعث انبساط قشر نمکی می‌شود. ادامه این فرآیند باعث شکسته شدن حاشیه پلی‌گون‌ها شده و لبه یک پلی‌گون روی لبه دیگر قرار می‌گیرد. ترک‌های گلی ناودانی یا لوله‌ای شکل مشاهده شده در پلایای حاج‌علی‌قلی نشان‌دهنده این است، که رس حاوی مقداری نمک می‌باشد.



شکل (۴-۱۰). پلی‌گون‌های نمکی در پلایای حاج‌علی‌قلی

۴-۳-۴ اشکال گل کلمی

پس از تبخیر آب شور حاصل از پدیده اسمز چشمه‌ها و رودخانه‌ها، لایه‌ای از نمک به شکل برف بر روی بستر رودخانه‌ها و پلایاها برجا می‌ماند. در بسترهای نمکی این رودخانه‌ها مثل رودخانه‌های یخ زده، لایه‌های نمکی با تبلور مجدد، بر روی آب جاری زیرین قرار می‌گیرند که معمولاً بافت گل کلمی دارند و بیشتر در قست‌های کم عمق حوضه شکل می‌گیرند (شکل ۴-۱۱). در پلایای حاج‌علی‌قلی این ساخت نیز مشاهده شده است.



شکل (۴-۱۱). اشکال گل کلمی در پلایای حاج‌علی‌قلی

فصل ۵

ژنوسمی

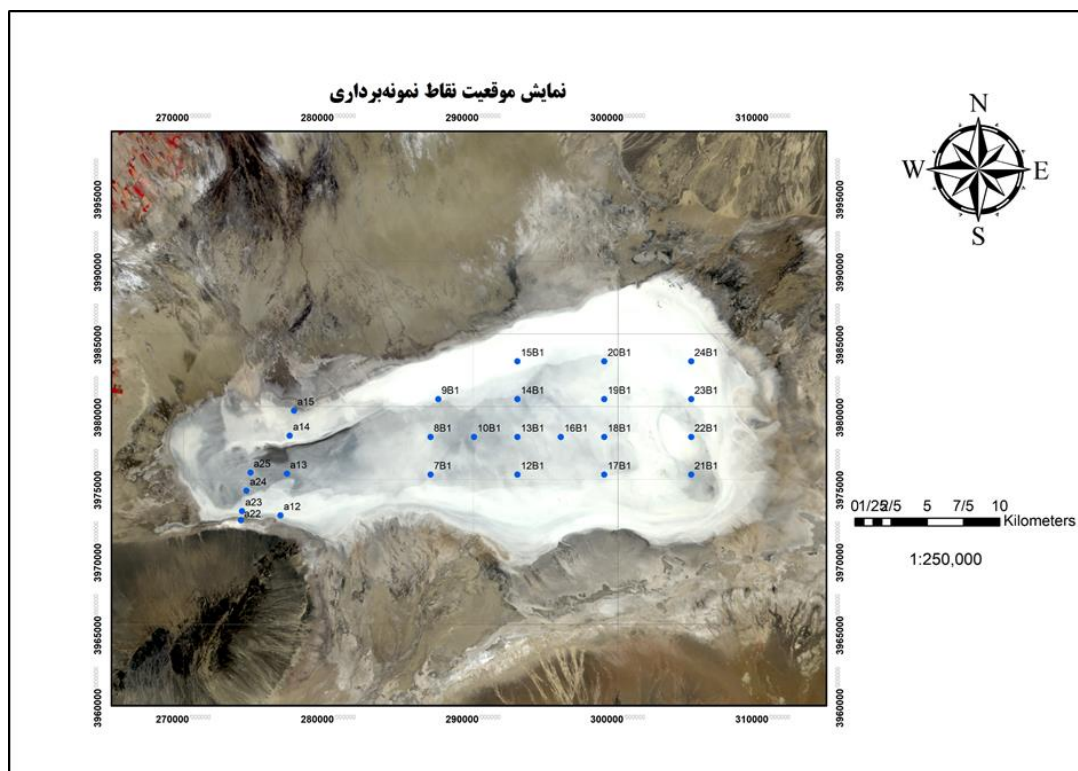
۵-۱ مقدمه

پلایاهای نمکی (Saline Lakes) در اثر افزایش تبخیر جریان ورودی یا شور شدن جریان ورودی، ایجاد می‌شوند. این پلایاها در مناطق خاصی از زمین مرسوم هستند، که بعنوان شاخص تکتونیک و شرایط آب و هوایی دارای اهمیت می‌باشند. مطالعات ژئوشیمیایی بر روی رسوبات و سنگ‌های رسوبی پلایای، همواره برای شناسایی سیر تکاملی پوسته زمین مورد توجه قرار گرفته‌اند (Nesbitt and Young., 1982; Taylor and McLennan, 1985; Kronberg et al., 1986). استفاده از ژئوشیمی عنصری برای تعیین شرایط محیط دیرینه است و اهمیت ویژه‌ای دارد. توزیع عناصر اصلی و فرعی در رسوبات به ترکیب کانی‌شناسی، دما، شرایط اکسایش و احیا بستگی دارد (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲). پلایاهای نمکی یکی از محیط‌های دارای اهمیت از لحاظ بررسی و ارزیابی پراکندگی عناصر در مطالعات ژئوشیمیایی است. پراکندگی اولیه عناصر متأثر از خصوصیات شیمیایی هر عنصر، مانند رفتار عنصر طی اکسیداسیون، حلالیت آنها در pH های مختلف، واکنش آنها با مواد ارگانیکی و اکسید فلزات، می‌باشد. در صورتی که پراکندگی ثانویه عناصر، تحت تأثیر ماهیت محیطی است (Cameron, 1994). در حالت کلی ترکیب شیمیایی رسوبات به ترکیب شیمیایی منشأ (آواری و غیر آواری) که خود تابعی از شرایط تکتونیک، هوازدگی، ته‌نشست و سایر عوامل موجود بستگی دارد (Rollinson, 2002). با توجه به اهمیت مطالعه پلایاهای شور در ژئوشیمی، در این پژوهش به بررسی و ارزیابی پراکندگی عناصر و میزان غلظت آنها با استفاده از داده‌های ژئوشیمی پرداخته شده است.

۵-۲ روش آنالیز

به منظور مطالعات ژئوشیمیایی و بررسی رفتار عناصر اصلی و فرعی در پلایای حاج‌علی‌قلی تعداد ۲۵ نمونه به شکل سیستماتیک از عمق نیم متری برداشته شدند. جدول (۵-۱)، مختصات نقاط نمونه

برداری و شکل (۵-۱)، موقعیت نقاط را بر روی تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهند. نمونه‌ها پس از برداشت در کیسه‌های پلی‌اتیلن قرار داده و شماره‌گذاری و به آزمایشگاه رسوب‌شناسی دانشکده علوم زمین منتقل شدند. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی در ظرف بوتله‌چینی در دستگاه آون (با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت چهار روز خشک شد و در ادامه جهت آنالیز ICP-MS و تیتراسیون به آزمایشگاه کانساران بینالود و پارک علم و فناوری شاهرود ارسال گردید. آنیون‌های کلر و سولفات به روش تیتراسیون و عناصر لیتیم، منیزیم، کلسیم، پتاسیم، سدیم به روش ICP-MS انجام شد. نتایج حاصله در جدول (۲-۵)، نشان داده شده است. پس از پردازش داده‌های خام اولیه با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS نقشه‌های ژئوشیمیایی برای عناصر مختلف (Cl^- ، SO_4^{2-} ، Na, Ca, K, Li, Mg) ترسیم شدند.



شکل (۵-۱). موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده به همراه نام پروفیل آن‌ها

| جدول ۵- ۱. مختصات نقاط نمونه برداری | | |
|-------------------------------------|--------|---------|
| sample number | X | Y |
| 7B1 | 287061 | 3975314 |
| 8B1 | 287061 | 3977914 |
| 9B1 | 287601 | 3980514 |
| 10B1 | 290061 | 3977914 |
| 12B1 | 293061 | 3975314 |
| 13B1 | 293061 | 3977914 |
| 14B1 | 293061 | 3980514 |
| 15B1 | 293061 | 3983114 |
| 16B1 | 296061 | 3977914 |
| 17B1 | 299061 | 3975314 |
| 18B1 | 299061 | 3977914 |
| 19B1 | 299061 | 3980514 |
| 20B1 | 299061 | 3983114 |
| 21B1 | 305061 | 3975314 |
| 22B1 | 305061 | 3977914 |
| 23B1 | 305061 | 3980514 |
| 24B1 | 305061 | 3983114 |
| a12 | 276701 | 3972513 |
| a13 | 277145 | 3975379 |
| a14 | 277340 | 3977998 |
| a15 | 277640 | 3979728 |
| a22 | 273970 | 3972185 |
| a23 | 274045 | 3972801 |
| a24 | 274354 | 3974212 |
| a25 | 274630 | 3975463 |

۵-۳ ژئوشیمی عناصر اصلی

ترکیب شیمیایی رسوبات حوضه‌های بسته‌ای همچون پلایا، توسط دو عامل اصلی کنترل می‌شود. یک عامل هوازدگی سنگ‌های منشأ که توسط آب‌های سطحی وارد حوضه می‌شوند و عامل دوم میزان تبخیر و غلظت یون‌ها در کانی‌های رسوب‌گذاری شده که بر روی ترکیب شیمیایی محلول باقی مانده تأثیر می‌گذارد (Eugster and Hardie, 1978). مهمترین یون‌هایی که در تبخیری‌ها حضور دارند کاتیون

هایی از جمله سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و آنیون‌هایی همچون کلر، سولفات و بی‌کربنات می‌باشند. تعادل بین غلظت یون‌های مختلف با تشکیل کانی‌های گوناگون تعیین می‌شود. ترکیبات فیزیکوشیمیایی شورابه‌ها روند تکامل آن‌ها را کنترل و نوع کانی‌های تبخیری ته‌نشین شده را تعیین می‌کند. مطالعه عناصر اصلی پلايای حاج‌علی‌قلی شامل ۷ عنصر پتاسیم، کلسیم، کلر، سولفات، منیزیم و لیتیم است. اندازه‌گیری‌های ژئوشیمی نشان می‌دهد که میانگین یون‌های اصلی در نمونه‌های جامد مورد بررسی در پلايای حاج‌علی‌قلی به ترتیب فراوانی بر حسب ppm به صورت کلر (۳۷۰۵۷۵/۴۶)، سدیم (۳۰۵۱۳۶/۸۵)، سولفات (۱۹۲۴۴/۴۱)، کلسیم (۱۰۷۲۹/۹۷) منیزیم (۳۲۷۴/۳۶)، پتاسیم (۱۳۷۶/۹۰)، لیتیم (۳۰/۲۷) است. نتایج حاصل از این مطالعات نشان دهنده تنوع کانی‌شناسی در منطقه است.

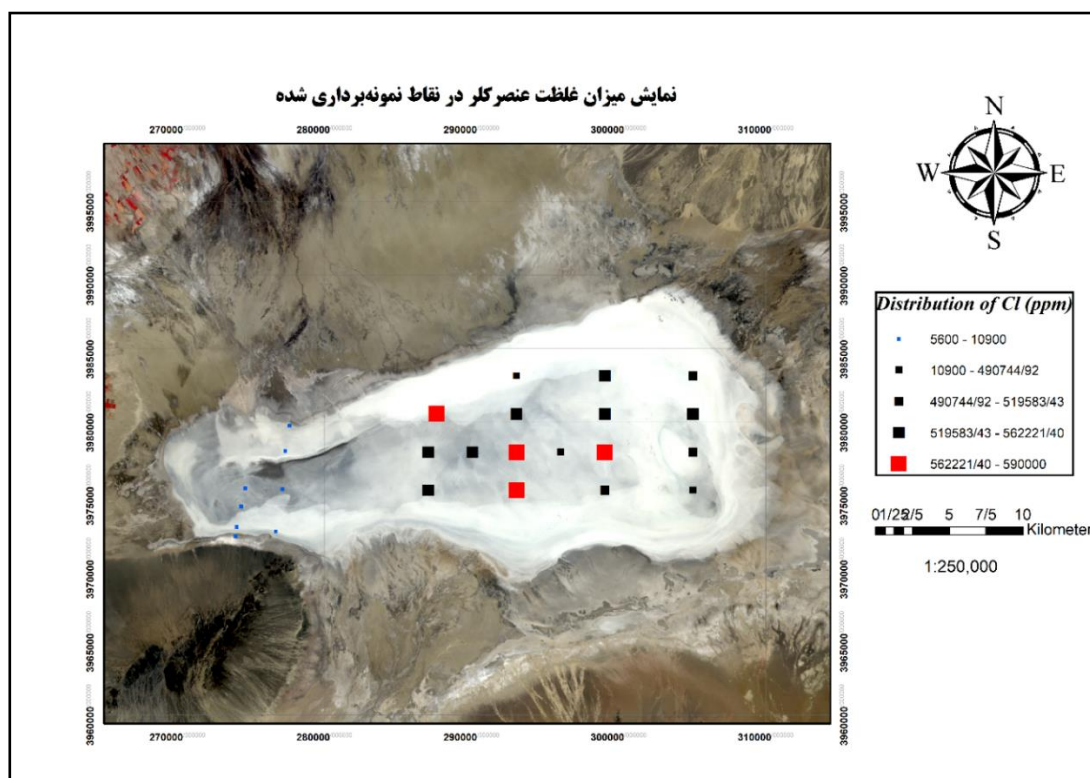
جدول (۲-۵). غلظت عناصر اصلی حاصل از آنالیز تیتراسیون و ICP-MS مربوط به ۲۵ نمونه از پلايای حاج‌علی‌قلی

| sample number | Ca(ppm) | Na(ppm) | K(ppm) | Mg(ppm) | Li(ppm) | Cl ⁻ (ppm) | So ₄ ²⁻ (ppm) |
|---------------|----------|-----------|---------|---------|---------|-----------------------|-------------------------------------|
| 7B1 | 8372.06 | 3554.78 | 1106.82 | 1572.45 | 41.43 | 551774.1 | 15338.76 |
| 8B1 | 11427.84 | 356739.02 | 1426.98 | 4614.02 | 48.45 | 562221.4 | 15068.75 |
| 9B1 | 6704.09 | 366086.44 | 972.60 | 2777.87 | 45.69 | 575382.6 | 9049.78 |
| 10B1 | 6700 | 359095.47 | 958.73 | 2106.36 | 44.76 | 554651.5 | 10492.83 |
| 12B1 | 8237.55 | 355300 | 818.45 | 2345.01 | 45.05 | 572700 | 11834.41 |
| 13B1 | 6218.69 | 384600 | 655.58 | 1945.37 | 40.52 | 590000 | 7464.55 |
| 14B1 | 7785.59 | 357960.59 | 683.27 | 1586.26 | 40.41 | 550877 | 11484.43 |
| 15B1 | 14201.17 | 320300 | 843.21 | 1920.87 | 40.87 | 490744.9 | 27838.92 |
| 16B1 | 23384.18 | 3180000 | 1030.60 | 3304.09 | 48.13 | 489101.6 | 47921.14 |
| 17B1 | 12070.19 | 343204.95 | 776.34 | 2517.54 | 42.55 | 519583.4 | 21932.94 |
| 18B1 | 5835.05 | 375200 | 722.28 | 2509.54 | 41.26 | 575400 | 7214.34 |
| 19B1 | 7630.16 | 3657200 | 775.08 | 2222.83 | 41.73 | 556200 | 11124.60 |
| 20B1 | 6551.39 | 361250 | 704.99 | 2105.89 | 40.76 | 560600 | 9602.79 |
| 21B1 | 17535.67 | 317602.65 | 669.52 | 2184.14 | 44.09 | 489700 | 36987.30 |
| 22B1 | 13232.38 | 324202 | 902.85 | 2692.85 | 42.70 | 503300 | 24716 |
| 23B1 | 12496.34 | 351473.77 | 930.12 | 3371.42 | 43.35 | 546200 | 211146.92 |
| 24B1 | 14568.79 | 334004.38 | 639.05 | 2112.52 | 44.03 | 514700 | 30291.86 |
| a12 | 4321 | 221587 | 602 | 2691 | 1.54 | 10900 | 18000 |
| a13 | 8891 | 219741 | 1790 | 3716 | 0.46 | 9200 | 88300 |
| a14 | 3983 | 214181 | 872 | 3389 | 1.08 | 8400 | 9900 |
| a15 | 17420 | 196041 | 6078 | 6323 | 4.79 | 6800 | 11800 |
| a22 | 36597 | 167312 | 8508 | 10051 | 8.45 | 6200 | 4600 |
| a23 | 4435 | 218955 | 2154 | 3303 | 0.96 | 9000 | 10900 |
| a24 | 4825 | 245471 | 1311 | 3537 | 1.34 | 9700 | 11900 |

| | | | | | | | |
|-----|-------|--------|------|------|------|------|------|
| a25 | 18134 | 198935 | 3952 | 6960 | 2.07 | 5600 | 6200 |
|-----|-------|--------|------|------|------|------|------|

۵-۳-۱ توزیع آنیون کلر

غلظت آنیون کلر در پلایای حاج‌علی‌قلی در حدود (۵۶۰۰۰-۵۹۰۰۰ ppm) اندازه‌گیری شده است. در الگوی پراکندگی آنیون کلر (شکل ۵-۲) مشاهده می‌شود، بیشترین فراوانی کلر در بخش مرکزی و کمترین مقدار آن در بخش غربی می‌باشد. منشأ آنیون کلر را می‌توان به مارن‌های میوسن، شیل‌های سازند قرمز بالایی و سنگ‌های آذرین نوار آتشفشانی- رسوبی طرود-چاه‌شیرین نسبت داد.

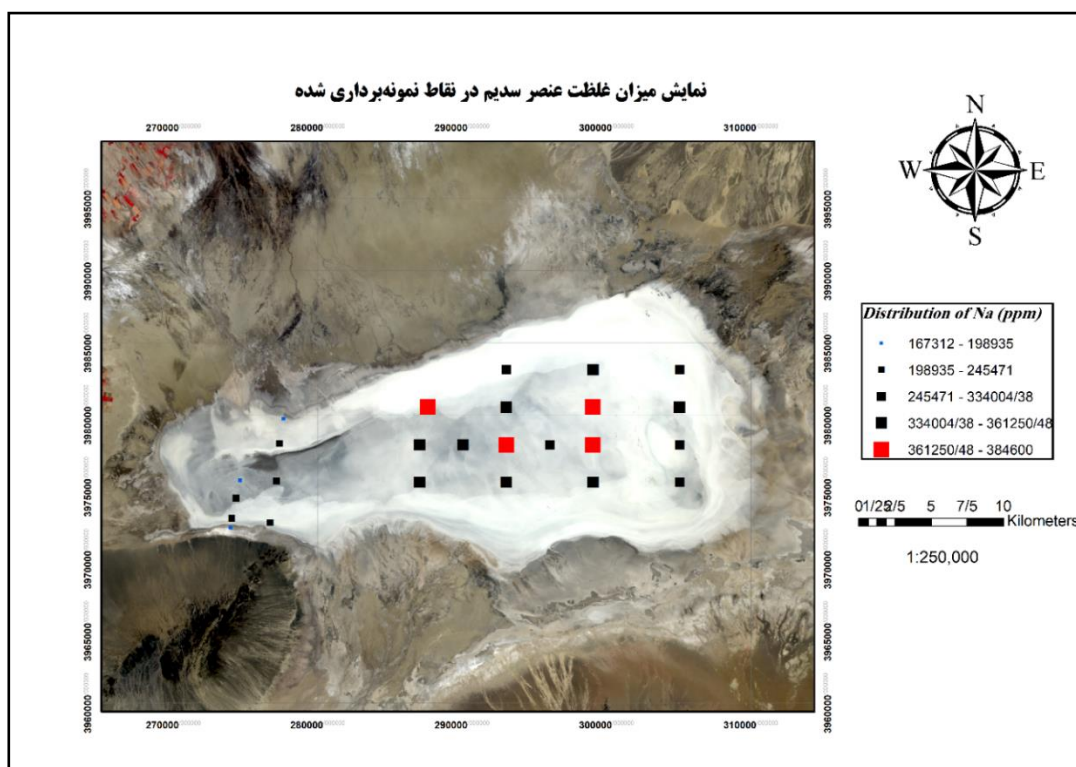


شکل (۵-۲). نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت آنیون کلر در پلایای حاج‌علی‌قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای

۵-۳-۲ توزیع سدیم

بر اساس الگوی پراکندگی عنصر سدیم شکل (۵-۳) ملاحظه می‌شود که فراوانی این عنصر نسبت به سایر عناصر تشکیل دهنده رسوبات بسیار قابل توجه می‌باشد به طوری که این عنصر مساحت بسیار

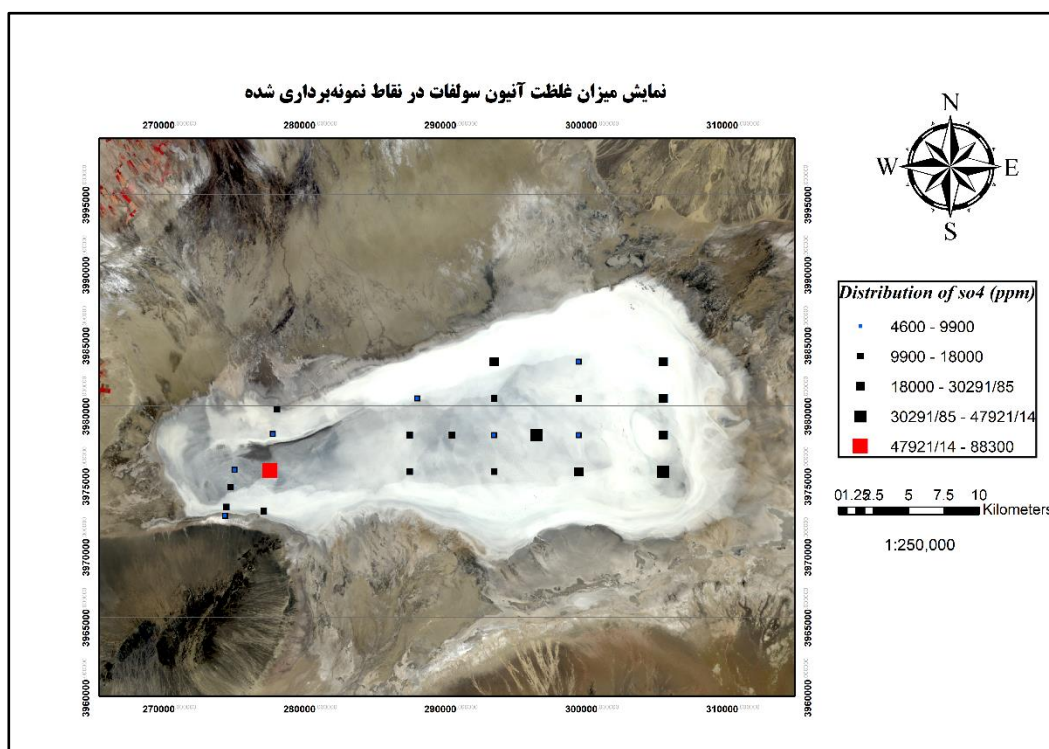
زیادی را با غلظت قابل ملاحظه پوشش می‌دهد. تغییرات عنصر سدیم در بازه (۳۸۴۶۰۰ ppm - ۱۶۷۳۱۲) است. به نظر می‌رسد شیل و ماسه سنگ شمشک به همراه مارن‌های ائوسن-الیگوسن و همچنین سنگ‌های آذرین بخش جنوبی حوضه از جمله (داسیت، آندزیت، تراکی داسیت، تراکی آندزیت) می‌توانند تأمین‌کننده یون سدیم در حوضه مورد مطالعه باشد. با توجه به گسترش برش‌های ولکانیکی داسیتی و گدازه‌های آندزیتی در جنوب پلایا می‌توان این طبقات را به‌عنوان یکی از مهمترین عامل در تأمین یون سدیم دانست (حسنی، ۱۳۸۲). سدیم کاتیون اصلی بوده و به‌صورت کانی هالیت در پلایای حاج‌علی‌قلی ظهور پیدا می‌کند، به‌طوری که نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس (XRD) مقادیر زیادی کانی هالیت را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۳). نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون سدیم در پلایای حاج‌علی‌قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای

۵-۳-۳ توزیع آنیون سولفات

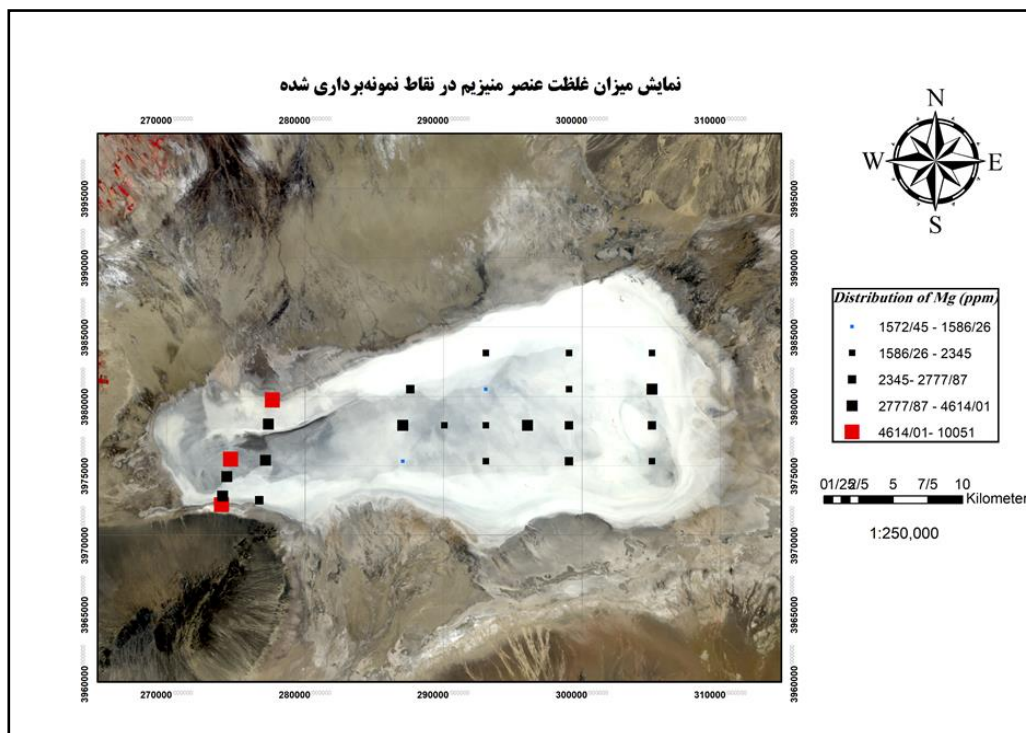
سومین آنیون مورد بررسی در پلایای حاج‌علی‌قلی از نظر فراوانی سولفات (SO_4^{2-}) می‌باشد که در ساختمان کانی‌هائی نظیر انیدریت و ژپس حضور دارد. تغییرات غلظت این آنیون از (۸۸۳۰۰۰ ppm - ۴۶۰۰) بوده است (شکل ۵-۴). منشأ یون سولفات را می‌توان به شیل‌های سازند شمشک، مارن‌های قرمز بالایی و انحلال ژپس و اکسیداسیون سولفیدها نسبت داد. سازند شمشک دارای کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت و مارکاسیت است، که در شرایط اکسیدان آهن موجود در این کانی‌ها آزاد و به لیمونیت و گوتیت تبدیل شده و سولفید حاصله به محیط تبخیری انتقال یافته و در تشکیل کانی ژپس و انیدریت شرکت می‌کند.



شکل (۵-۴). نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت آنیون سولفات در پلایای حاج‌علی‌قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای

۵-۳-۴ توزیع منیزیم در منطقه

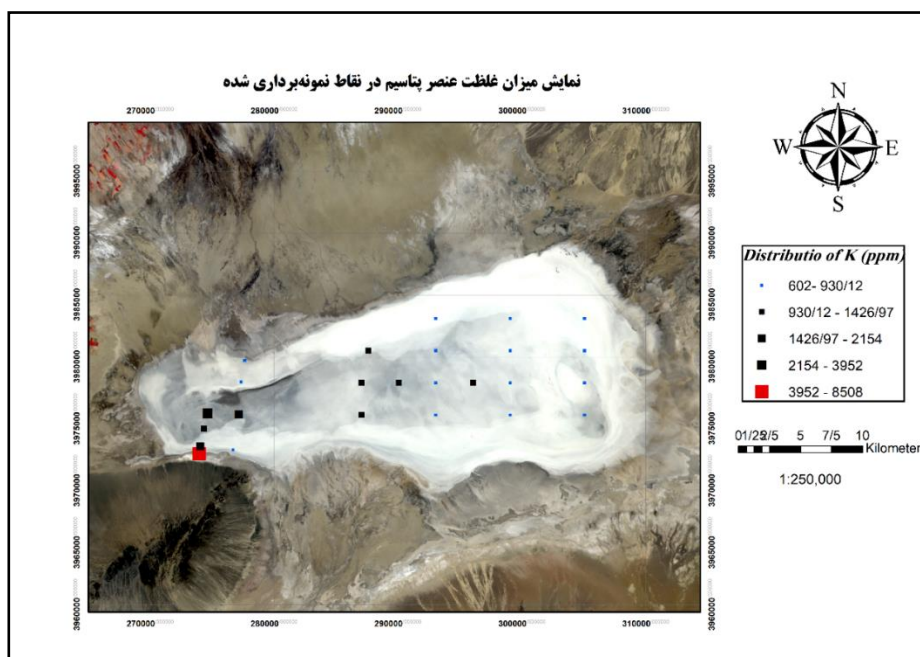
غلظت کاتیون منیزیم در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۱۵۷۲ تا ۱۰۰۵۱ پی‌پی‌ام متغیر است (شکل ۵-۵). با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه ملاحظه می‌شود که پلایای حاج‌علی‌قلی در تمام جهات توسط واحدهای سنگی مختلفی احاطه می‌شود که در نتیجه هوازدگی، فرسایش و حمل و نقل بار حاصله بیشتر به صورت ذرات رس و مواد محلول وارد پلایا می‌شود. در این میان دو رود اصلی چشمه‌علی و حسن‌آباد که از بخش شمالی حوضه وارد محیط پلایا می‌شوند، منبع اصلی تأمین‌کننده بار رسوبات حوضه می‌باشد. سازند میلا با ترکیب دولومیت، شیل‌های سبزرنگ و ماسه‌سنگ که در تأمین یون منیزیم و همچنین کلسیم و سولفات نقش اساسی دارند. یکی از منابع تأمین‌کننده منیزیم در رسوبات داخل حوضه پلایای حاج‌علی‌قلی، دگرسانی، هوازدگی و فرسایش سنگ‌های آذرین موجود در منطقه است که حاوی مقدار زیادی کانی‌های فرومنیزیم از جمله الیوین پیروکسن‌ها، آمفیبول‌ها می‌باشند. اگر مقدار آنیون کربنات و بیکربنات در محیط تبخیری بالا باشد، منیزیم در طی تکامل به حد اشباع رسیده و این عنصر می‌تواند به صورت کانی‌های کربناته منیزیم‌دار در حوضه رسوب کند (جوادی نوش‌آبادی، ۱۳۸۹). نتایج حاصل از مطالعات پراش اشعه ایکس (XRD) در نمونه‌های مورد مطالعه، بیشوفیت و کلریت را اثبات می‌کند که مهمترین تمرکز دهنده‌های محلول در منیزیم آب دریا می‌باشد.



شکل (۵-۵). نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون منیزیم در پلایای حاج علی قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای

۵-۳-۵ توزیع پتاسیم در منطقه

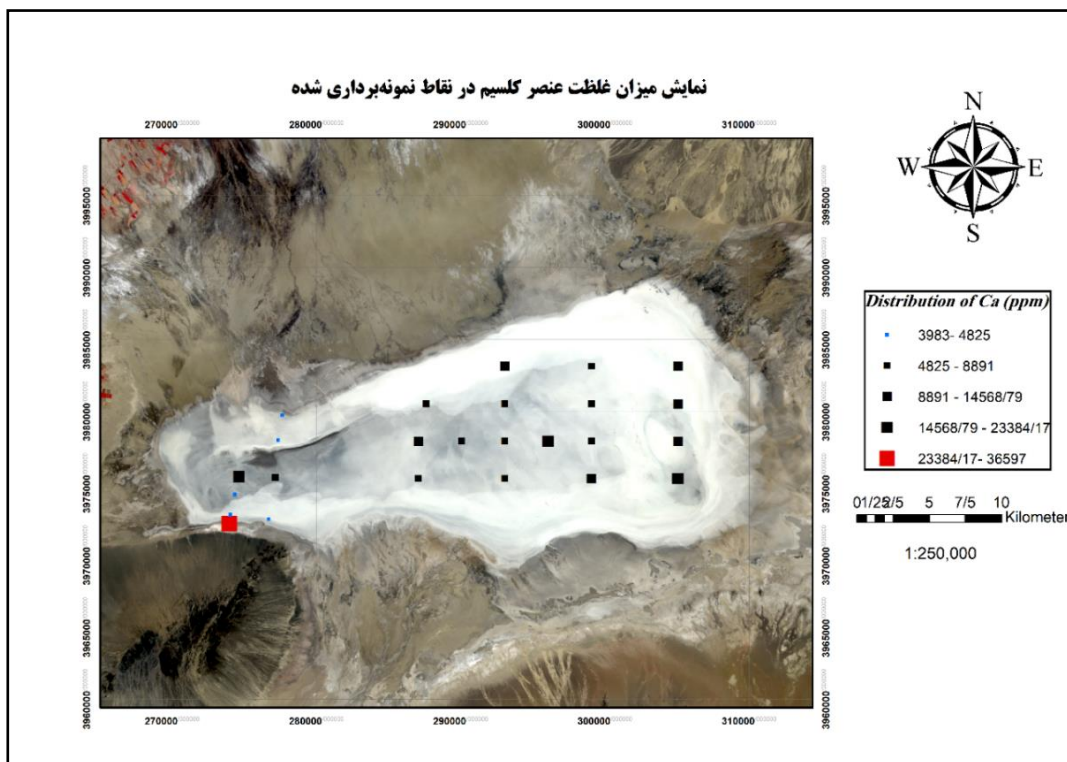
بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی تغییرات پراکندگی پتاسیم در پلایای حاج علی قلی بین (۵۸۰۸ ppm) - (۶۰۲)، متغیر است. همانطور که در شکل (۵-۶) ملاحظه می‌شود، میزان پتاسیم در بخش غربی فراوان تر از بخش شرقی منطقه است. به عبارت دیگر در راستای شرق به سمت غرب فراوانی پتاسیم سیر صعودی را نشان می‌دهد. واحدهای سنگی پتاسیم داخل حوضه متفاوت بوده است. می‌توان منشأ یون پتاسیم را به شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک که حاوی کانی‌های رسی پتاسیم دار مثل کائولینیت، مونتورونیت، موسکویت و فلدسپارهای آلکان در ماسه‌سنگ است، نسبت داد. بخشی از پتاسیم نیز از سازندهای مرتبط به پلایاهای قدیمی منطقه (شامل سازند قرمزبالایی و مارن‌های میوسن) که ممکن است حاوی کانی سیلویت باشد، نیز تأمین می‌شود. به مرور زمان و تکامل فرآیند تبخیر پتاسیم از شورابه جدا شده و در رسوبات انباشته می‌شود.



شکل (۵-۶). نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون پتاسیم در پلایای حاج علی قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای

۵-۳-۶ توزیع کلسیم در منطقه

کلسیم به عنوان چهارمین عنصر فراوان حوضه بعد از پتاسیم قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی تغییرات پراکندگی غلظت این عنصر در پلایای حاج علی قلی (۳۶۵۹۷-۳۹۸۳ ppm) است. کلسیم می‌تواند منشأهای گوناگونی، از جمله سنگ‌های رسوبی کربناتی منطقه در بخش شمال حوضه شامل سازند جمال و سازند الیکا و همچنین سنگ‌های آذرین از جمله بازالت‌ها، آندزیت‌ها در بخش جنوبی حوضه داشته باشد. پلاژیوکلازهای کلسیم دار کانی‌های نسبتاً ناپایداری در محیط‌های سطحی هستند، لذا هم در مرحله دگرسانی و هم در مناطق هوازدگی به سرعت تجزیه شده و کلسیم موجود در شبکه آن‌ها آزاد می‌شود که از طریق آب‌های سطحی به داخل پلایا انتقال پیدا می‌کند. الگوی پراکندگی کلسیم در شکل (۵-۷) نشان داده شده است.

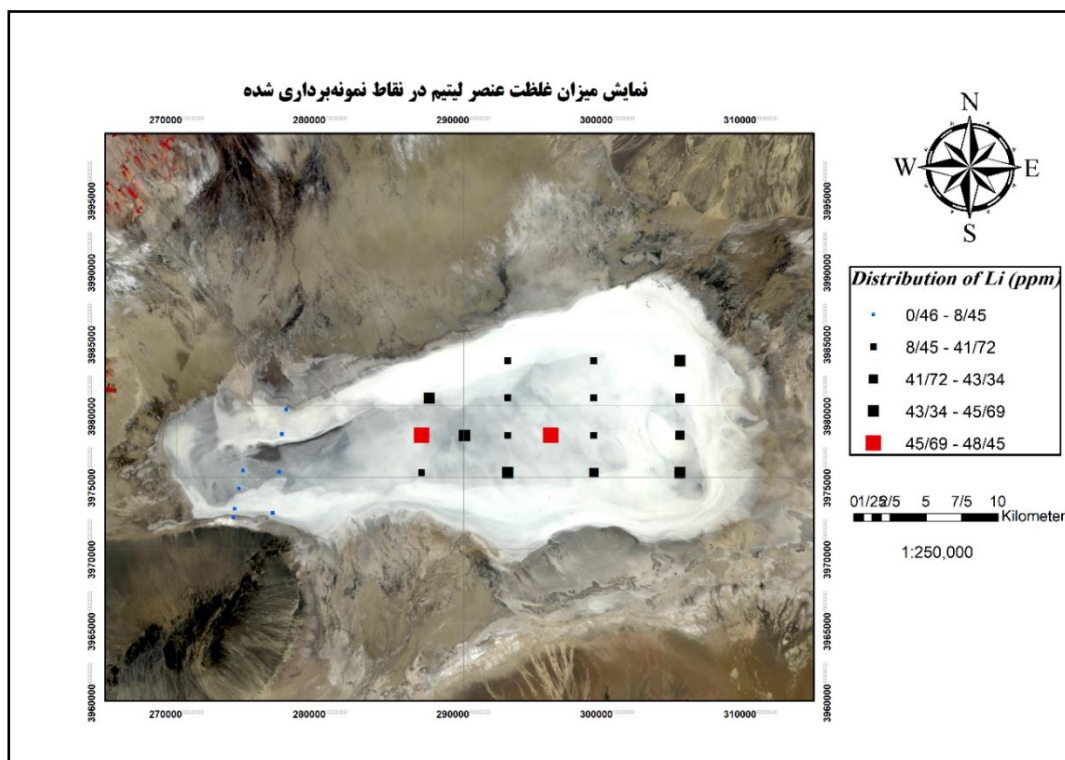


شکل (۵-۷). نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون کلسیم در حوضه پلایای حاج علی قلی بر روی تصویر ماهواره

۵-۳-۷ توزیع لیتیم در منطقه

لیتیم با فراوانی ۰/۰۰۴٪ در پوسته زمین بیست و هفتمین عنصر است. این عنصر همانند تمامی فلزات قلیایی، به آسانی با آب واکنش می‌دهد و به علت واکنش پذیری بالا به صورت آزاد در طبیعت یافت نمی‌شود. واکنش پذیری بالای لیتیم، از نظر شیمیایی مشابه سدیم است (Andrew, 2006). تغییرات لیتیم در پلایای حاج علی قلی، بین (۴۸/۴۵ ppm - ۰/۴۶) است. براساس شکل (۵-۸) غلظت لیتیم در پلایای حاج علی قلی افزایش قابل توجهی را در سمت شرق منطقه نشان می‌دهد. این عنصر بیشترین تمرکز را میان سنگ‌های آذرین، پگماتیت‌ها و گرانیت‌ها دارد. لیتیم در سنگ‌های آذرین، پیروکسن‌ها، آمفیبول‌ها به خصوص میکاها به صورت جانشینی با منیزیم تشکیل می‌شود. این عنصر ضمن تبلور ماگما در مراحل پایانی باقی مانده و در پگماتیت بدون حضور منیزیم تشکیل کانی مستقلی مثل لپیدولیت (Lepidolite)، اسپودومن (Spodumene)، آمبلیگونیت (Amblygonite) را می‌سازد (مر و شرفی،

۱۳۷۱). وجود عنصر لیتیم در رسوبات و شورابه‌های حوضه‌های پلایایی همواره مورد توجه برنامه‌های اکتشافی بوده که دلیل آن مصارف عمده این عنصر ارزشمند در موارد صنعتی و مباحث اقتصادی بوده است. بطور کلی منابع این عنصر را میتوان از لحاظ محیط تشکیل به شورابه‌ها، بنتونیت، گچ، مارن و پگماتیت‌ها تقسیم کرد (عزمی، ۱۳۹۰).



شکل (۵-۸). نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت کاتیون لیتیم در پلایای حاج‌علی‌قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای

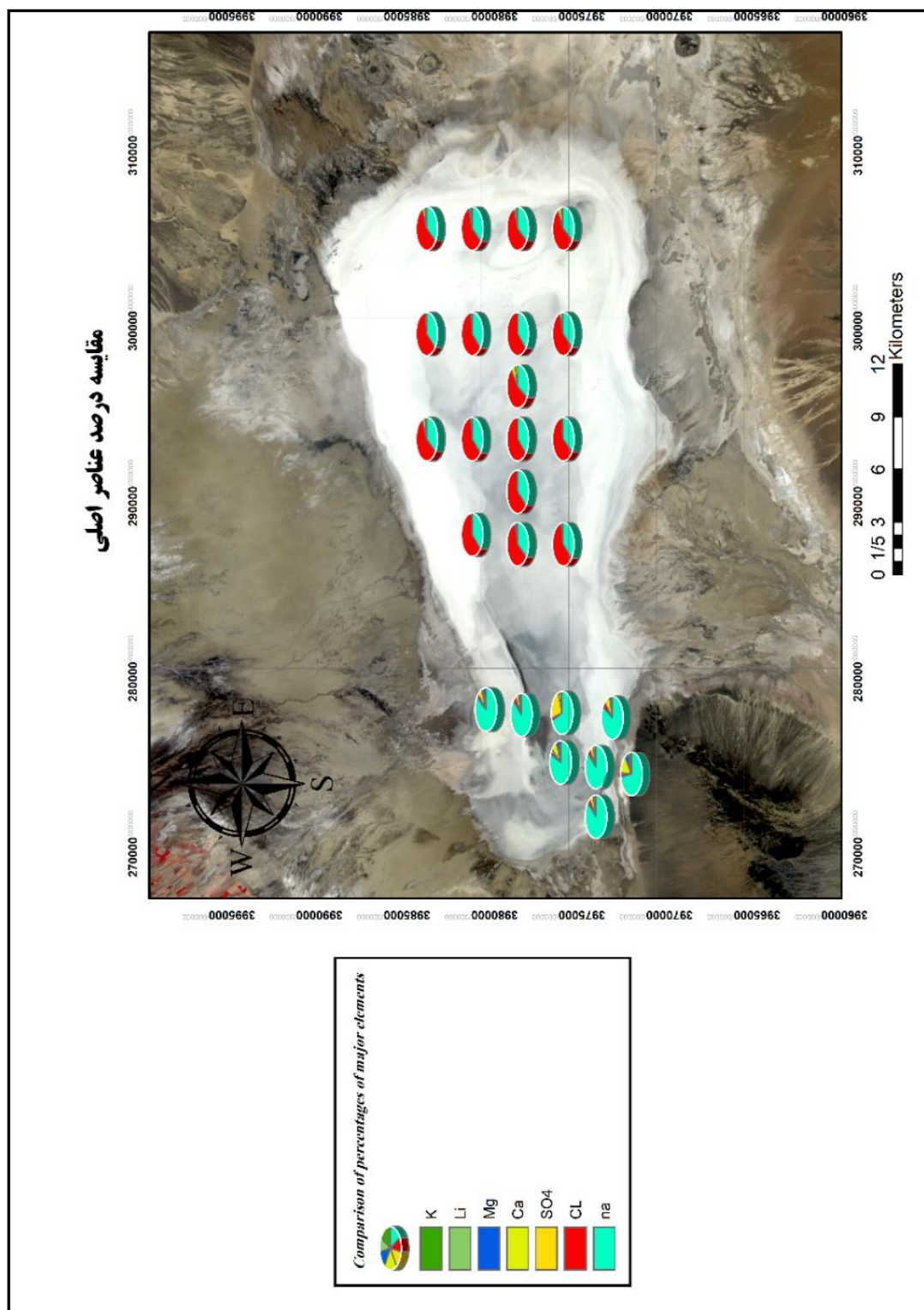
۵-۴ مقایسه درصد عناصر اصلی با یکدیگر

عناصر اصلی در بستر رسوبات پلایای حاج‌علی‌قلی مقادیر بسیار متفاوتی را نشان می‌دهند. مقدار عناصر اصلی (سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سولفات و کلر) در طی مسیر نمونه‌برداری با استفاده از نمودار دایره‌ای مورد مقایسه قرار داده شده است. همانطور که در شکل (۵-۹) مشاهده می‌شود عنصر سدیم در

بخش غرب منطقه و آنیون کلر در بخش شرق نسبت به عناصر دیگر غنی‌شدگی واضحی را نشان می‌دهند که احتمالاً در ارتباط با ترکیب شیمیایی واحدهای سنگی تأمین‌کننده رسوبات می‌باشد.

۵-۵ همبستگی بین عناصر اصلی

برای تعیین شدت و میزان ارتباط بین متغیرهای مختلف از همبستگی بین متغیرها استفاده می‌گردد. ضریب همبستگی برای اندازه‌گیری قدرت رابطه خطی بین متغیرها، تعیین روابط بین عناصر مختلف، تشخیص منشأ و چگونگی انتقال آن‌ها در محیط تحت شرایط مشابه می‌باشد. مقادیر همبستگی بین $+1$ و -1 متغیر است. مقادیر نزدیک $+1$ بیانگر همبستگی مستقیم و خطی بین دو متغیر می‌باشد که با افزایش یکی، دیگری نیز افزایش می‌یابد. مقادیر نزدیک -1 بیانگر همبستگی معکوس و خطی بین دو متغیر است که با افزایش یکی، دیگری نیز کاهش می‌یابد. مقادیر صفر نیز بیانگر عدم ارتباط بین متغیرها، عدم همبستگی و مستقل بودن آن‌ها نسبت به سایر متغیرها را بیان می‌کند (Hauke and Kossowski, 2011). برای محاسبه ضریب همبستگی از نرم افزار SPSS 25 در این پژوهش استفاده شد. همانطور که در جدول (۳-۵) مشاهده می‌کنید، همبستگی معنادار مثبت بین دو گروه سدیم با لیتیم و کلر، منیزیم با پتاسیم، دیده می‌شود. با افزایش غلظت سدیم، لیتیم و کلر در حداکثر غلظت است و با افزایش غلظت منیزیم در نمونه جامد، غلظت پتاسیم نیز افزایش می‌یابد. همبستگی معنادار منفی بین کلر با منیزیم است.



شکل ۹-۵. نمایش توزیع عناصر اصلی (سدیم، پتاسیم، کلسیم، کربن، سولفات و منیزیم) در پلایای حاج علی قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای

جدول (۳-۵). همبستگی پیرسون بین ۷ عنصر اصلی (سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات و لیتیم) در پلایای حاج علی قلی

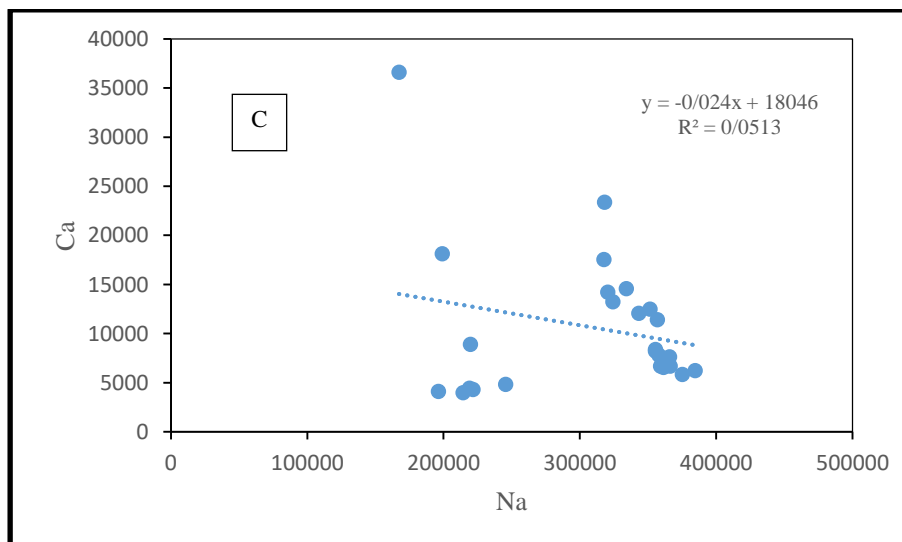
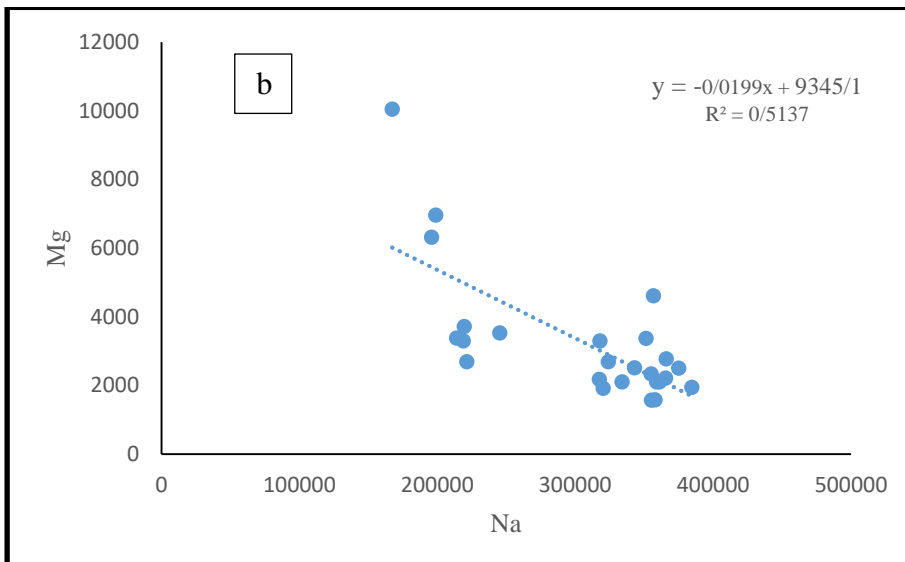
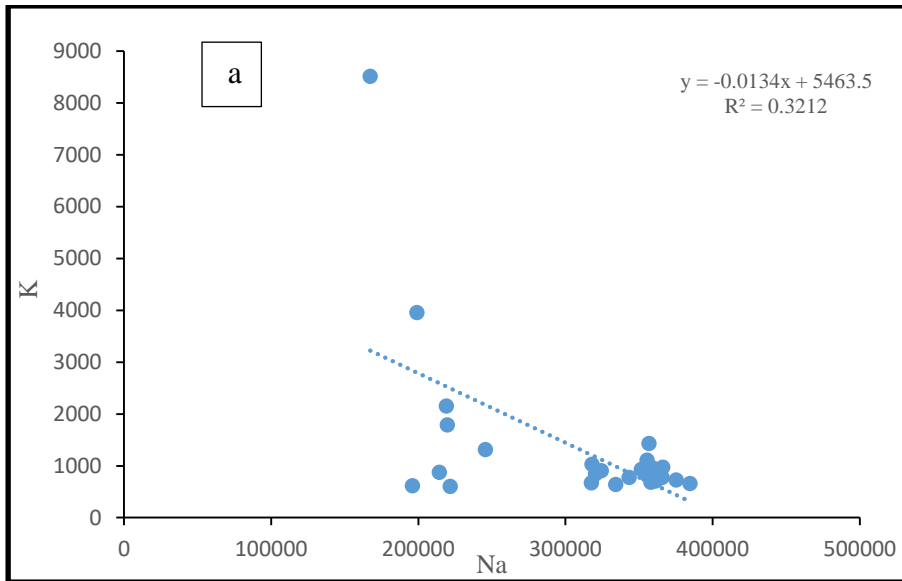
| | K | LI | Mg | Ca | SO ₄ ⁻² | Cl ⁻ | Na |
|-------------------------------|---------|---------|---------|-------|-------------------------------|-----------------|----|
| K | 1 | | | | | | |
| LI | -.407* | 1 | | | | | |
| Mg | .851** | -.546** | 1 | | | | |
| Ca | .735** | .083 | .589** | 1 | | | |
| SO ₄ ⁻² | -.141 | -.040 | -.132 | .157 | 1 | | |
| Cl ⁻ | -.467* | .984** | -.623** | -.045 | -.088 | 1 | |
| Na | -.567** | .928** | -.717** | -.227 | -.112 | .974** | 1 |

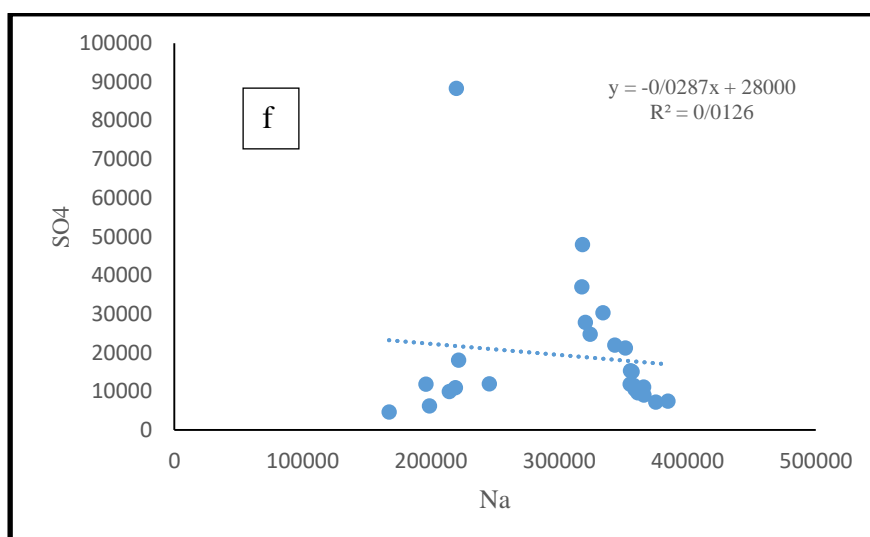
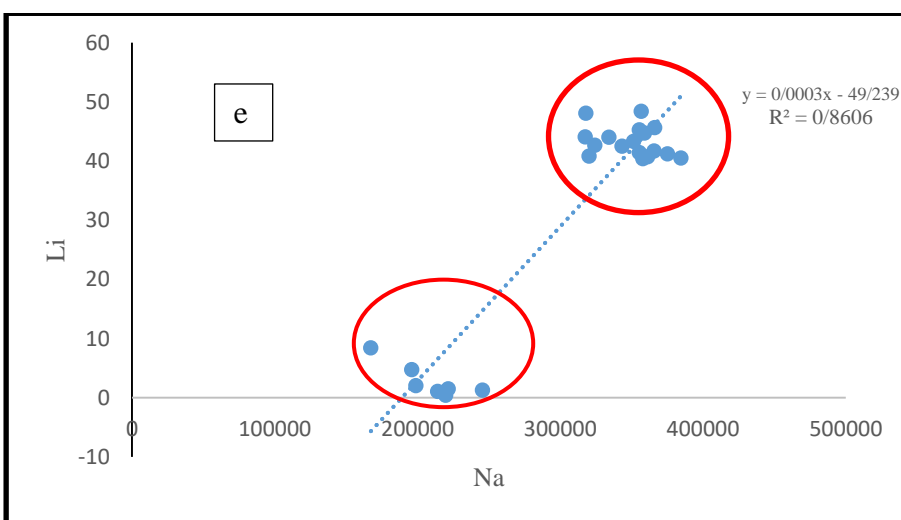
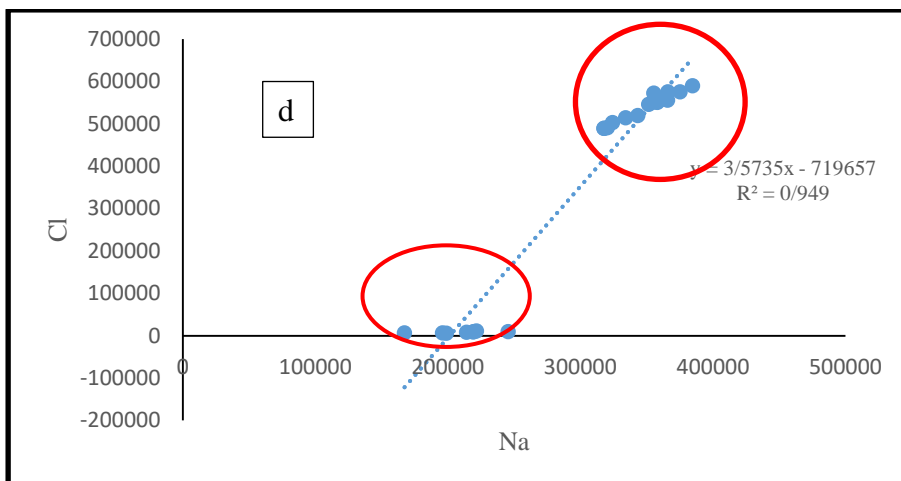
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

۵-۵-۱ تغییرات عناصر اصلی با سدیم

با توجه به نتایج ضریب همبستگی می توان دریافت که همبستگی بین عنصر سدیم نسبت به کلر وجود دارد در حالیکه برای بقیه عناصر این همبستگی وجود ندارد. در شکل (۵-۱۰-f-a)، نمودار تغییرات نشی عنصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم، لیتیم، کلر و سولفات در مقابل عنصر سدیم نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود دو عنصر کلر و لیتیم همبستگی مثبت و منیزیم همبستگی منفی نشان می دهند. در نمودار تغییرات عناصر حالت دوقطبی مشاهده می شود شکل (۵d,e-۱۰) که بیانگر چند علت می تواند باشد. (۱) تفاوت در عمق نمونه برداری (۲) روش نمونه برداری (۳) تغییر فاحش ترکیب شیمیایی از غرب به شرق

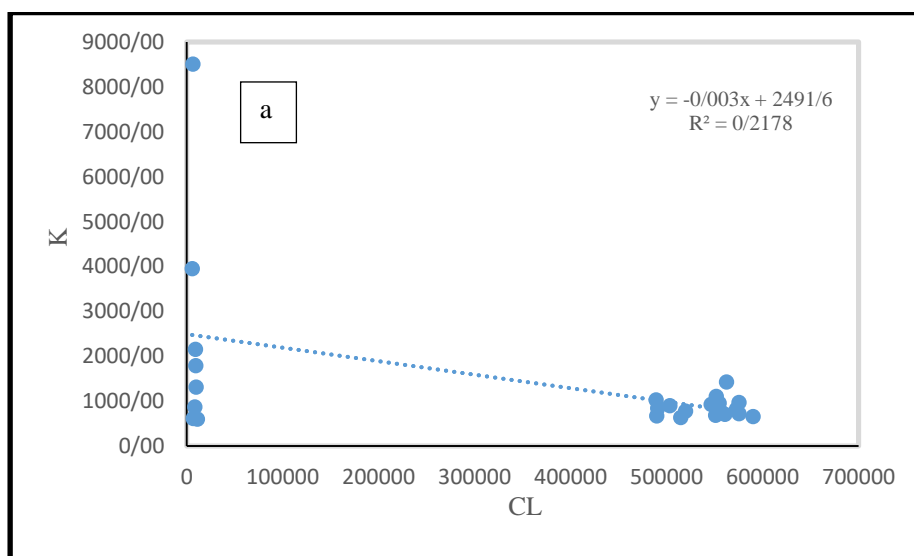


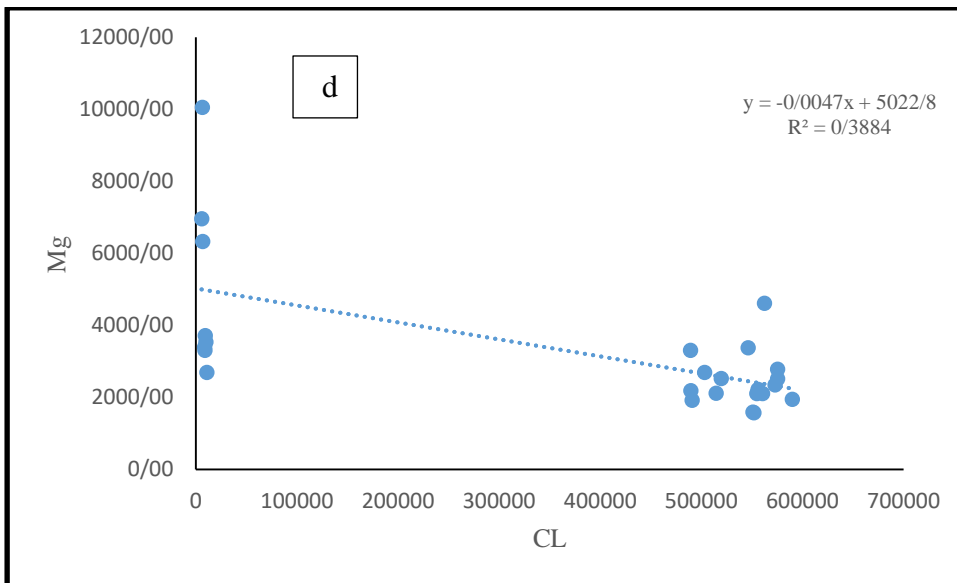
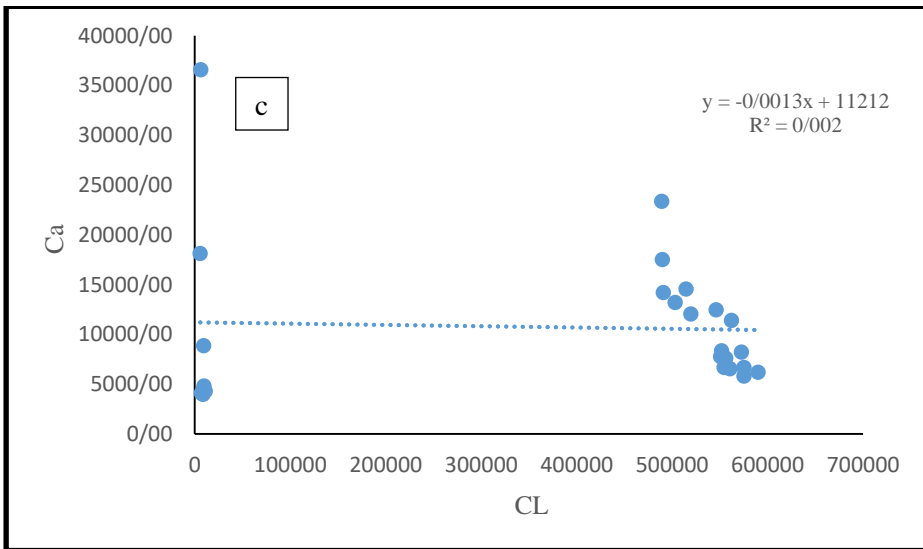
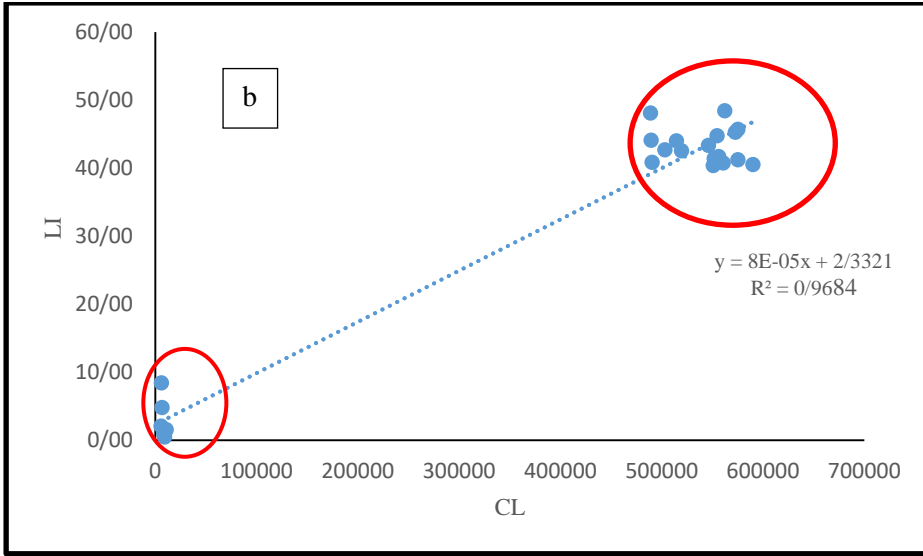


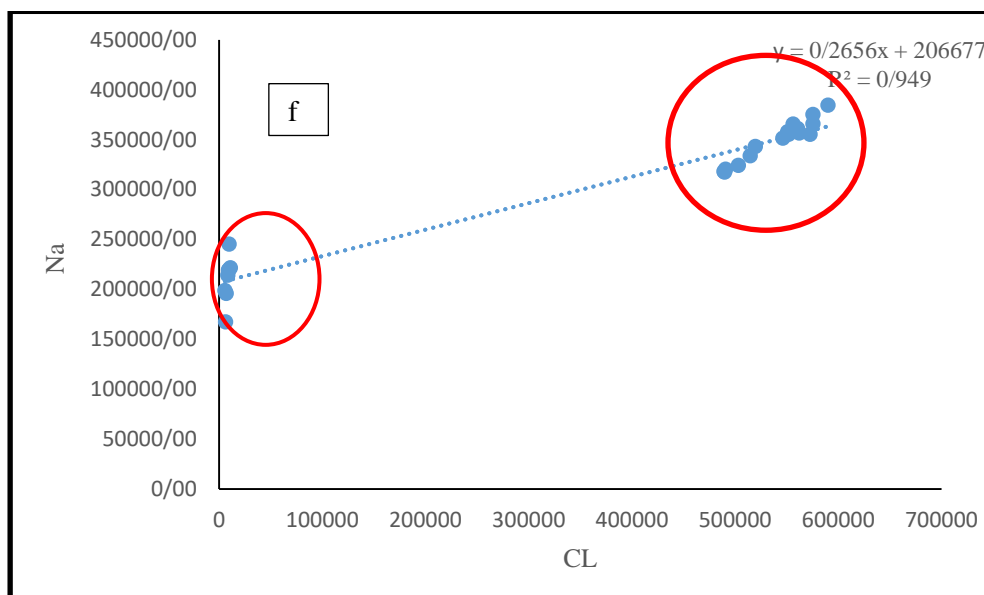
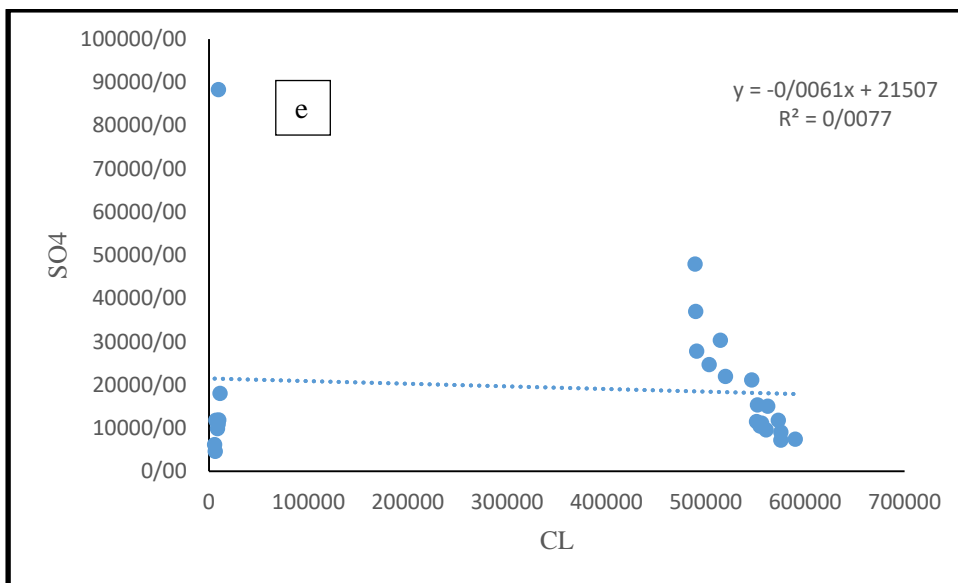
شکل (۵-۱۰). نمودار تغییرات سدیم در مقابل عناصر پتاسیم، منیزیم، کلر، لیتیم و کلسیم (همبستگی مثبت) و منیزیم (همبستگی منفی)

۵-۵-۲ تغییرات عناصر اصلی با کلر

با ایجاد کانی‌های تبخیری در کف حوضه، تغلیظ شورا به و در نتیجه، تفریق ژئوشیمیایی عناصر صورت گرفته است. علت بررسی ضرایب همبستگی کاتیون‌ها نسبت به کلر این است که در بیشتر حوضه‌ها کلر به‌عنوان عنصر شاخص شناخته شده و می‌تواند برای مطالعه فرآیند تبخیر مورد استفاده قرار گیرد. این بدان دلیل است که سولفات و کربنات همزمان با ته‌نشست کانیها از سیستم خارج می‌گردند، اما کلر در غلظت‌های بالاتر از سیستم خارج می‌شود (Eugster and Jones, 1979). با توجه به نمودارهای ذیل (شکل ۵-۱۱) می‌توان دریافت که همبستگی لیتیم و سدیم نسبت به کلر مثبت است. بطوریکه با افزایش کلر در محیط این دو عنصر نیز افزایش می‌یابد. همبستگی کلر نسبت به سولفات صفر و خنثی می‌باشد. همبستگی پتاسیم و کلسیم نسبت به کلر منفی است و با افزایش کلر در محیط، کلسیم و سدیم کاهش می‌یابد





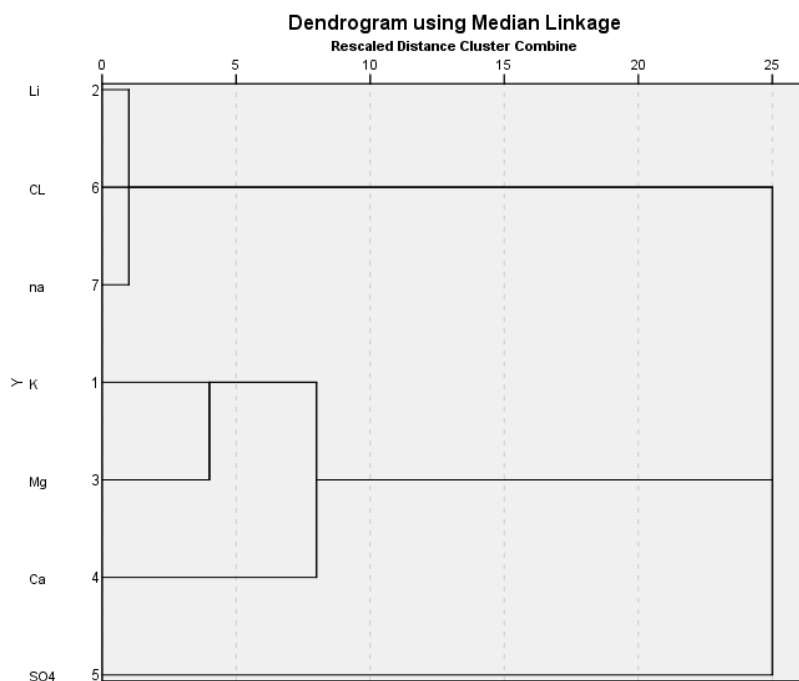


شکل (۵-۱۱). نمودار تغییرات کلر در مقابل عناصر سدیم، لیتیم (همبستگی مثبت) و پتاسیم، منیزیم و سولفات (همبستگی منفی)

۵-۶ نمودار خوشه‌ای عناصر اصلی پلایای حاج‌علی‌قلی

تحلیل خوشه‌ای یک روش آماری برای رده‌بندی متغیرهای آماری است و بر مبنای اندازه‌گیری شباهت بین متغیرها استوار می‌باشد، به عبارتی متغیرهایی که دارای رفتار و یا ویژگی‌های مشابهی هستند در یک خوشه قرار می‌گیرند به طوری که داخل هر خوشه حداکثر شباهت و در بین خوشه‌ها حداکثر تفاوت وجود داشته باشد (Praveena et al., 2007). در این روش آماری، فاصله محورها نشان‌دهنده درجه

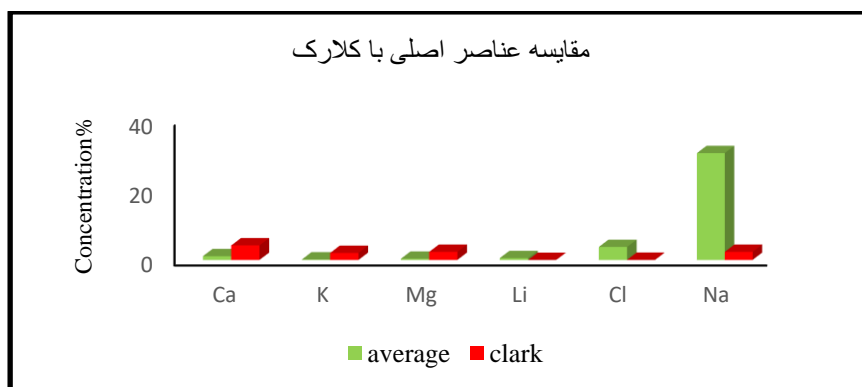
ارتباط میان گروه متغیرها است. فواصل کمتر نشانگر ارتباط معنی دارتر است (veerasingam et al., 2014). بر اساس آنالیز خوشه‌ای عناصر در سه گروه قرار می‌گیرند. دسته اول شامل لیتیم، کلر، سدیم، دسته دوم شامل پتاسیم، منیزیم، کلسیم و دسته سوم شامل سولفات است. نمودار خوشه‌ای عناصر اصلی در پلاپای حاج‌علی‌قلی شکل (۵-۱۲) نشان می‌دهد گروه اول و دوم رابطه نزدیکتری دارند. که می‌توان چنین استنباط کرد عناصر قرار گرفته در یک دسته دارای منشأ یکسان می‌باشند.



شکل (۵-۱۲). دندوگرام خوشه‌ای عناصر اصلی

۵-۷ بررسی غلظت عناصر و مقایسه آن با حد کلارک

به میزان فراوانی عنصر یا عناصر در پوسته زمین حد کلارک می‌گویند (بهرامی، ۱۳۷۸). با توجه به نتایج آنالیزها و مقایسه آن‌ها با حد کلارک، می‌توان دریافت که مقادیر برخی از عناصر، بالاتر از حد کلارک است. نتایج بدست آمده از غلظت عناصر در پلاپای حاج‌علی‌قلی نشان می‌دهد که میانگین غلظت عناصر کلر و سدیم از حد کلارک بیشتر است شکل (۵-۱۳).



شکل (۵-۱۳). نمودار هیستوگرامی عناصر اصلی با حد کلارک

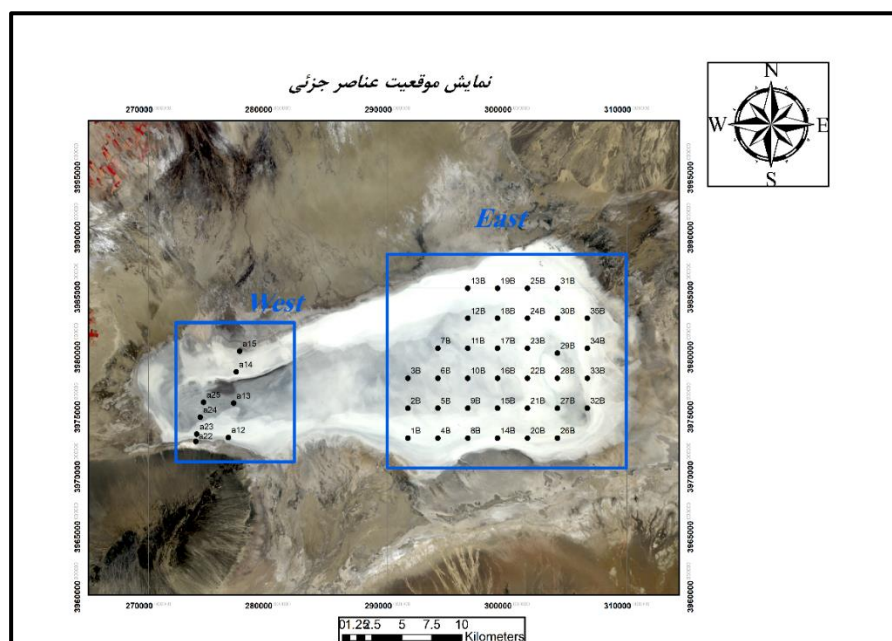
۵-۸ ژئوشیمی عناصر جزئی

عنصر کمیاب عنصری است که غلظت آن در پوسته زمین کمتر از ۰/۱٪ و یا کمتر از ۱۰۰۰ ppm باشد که این عناصر کمیاب گاهی کانی مخصوص به خود را می‌سازند ولی در اغلب موارد جایگزین عناصر اصلی در ساختار کانی‌ها می‌شوند (Rollinson, 2002). رفتار عناصر جزئی در طول فرآیندهای رسوب-گذاری متأثر از عواملی مانند هوازدگی، جورشدگی فیزیکی، منشأ رسوبات دیاژنز و دگرگونی است (Nesbitt and Yong, 1989). این عناصر اغلب بر اثر جذب سطحی بر روی ذرات بسیار ریز رسوبی و یا بعلت تشکیل کمپلکس با مواد آلی در رسوبات تجمع می‌یابند (Davis and Leckie, 1978) فعل و انفعالات بین عناصر جزئی و رسوبات، بطور وسیع به فرآیند جذب سطحی سریع مربوط است که طی مدت زمان کوتاهی پس از توزیع مجدد، بین مکان‌های مختلف اتصال روی می‌دهد تا زمانیکه موازنه بوجود بیاید (Standing et al., 2002).

۵-۸-۱ مقایسه میانگین عناصر جزئی رسوبات بلوک شرق و غرب پلایا با

استاندارد جهانی (UCC, PAAS)

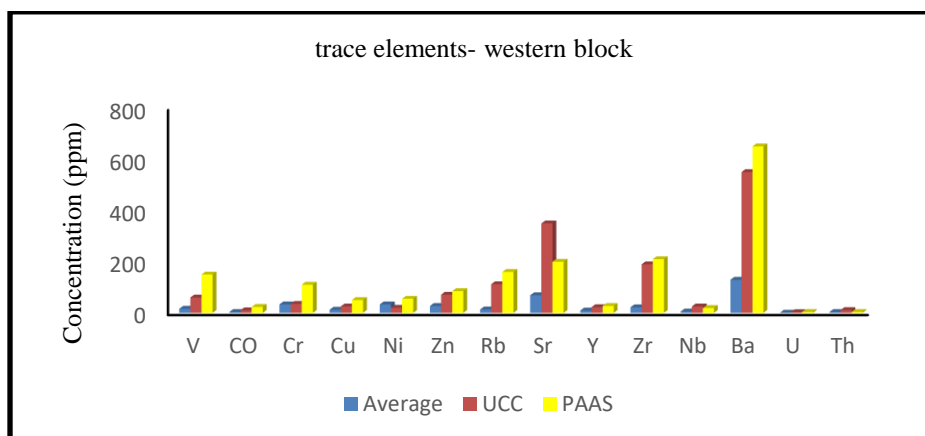
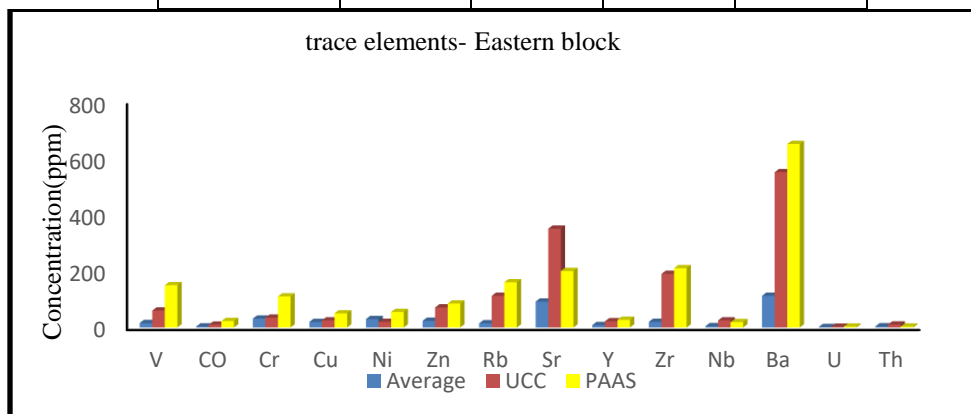
به منظور مقایسه عناصر جزئی و کمیاب، منطقه مورد مطالعه را به دو بلوک شرقی و غربی تقسیم و سپس مقایسه بین عناصر انجام گرفت شکل (۵-۱۴). مقایسه میانگین عناصر جزئی جدول (۵-۴)، در رسوبات بلوک غربی و شرقی منطقه با مقادیر این عناصر در استانداردهای جهانی (UCC, PAAS)، نشان می‌دهد که متوسط مقادیر عناصر جزئی در رسوبات بستر پلایا حاج‌علی‌قلی در تمامی موارد نسبت به استانداردهای جهانی تهی‌شدگی واضحی را نشان می‌دهند. در این میان عنصر نیکل در بلوک شرقی و غربی نسبت به استاندارد UCC غنی‌شدگی واضحی را نشان می‌دهد (شکل ۵-۱۵).



شکل (۵-۱۴). نمایش محدوده حوضه حاج‌علی‌قلی و تقسیم آن به دو بلوک شرقی و غربی به منظور مقایسه فراوانی عناصر جزیی با استانداردهای جهانی

جدول (۴-۵). داده‌های عناصر جزئی (ppm) رسوبات پلایای حاج‌علی‌قلی در مقایسه با UCC, PAAS

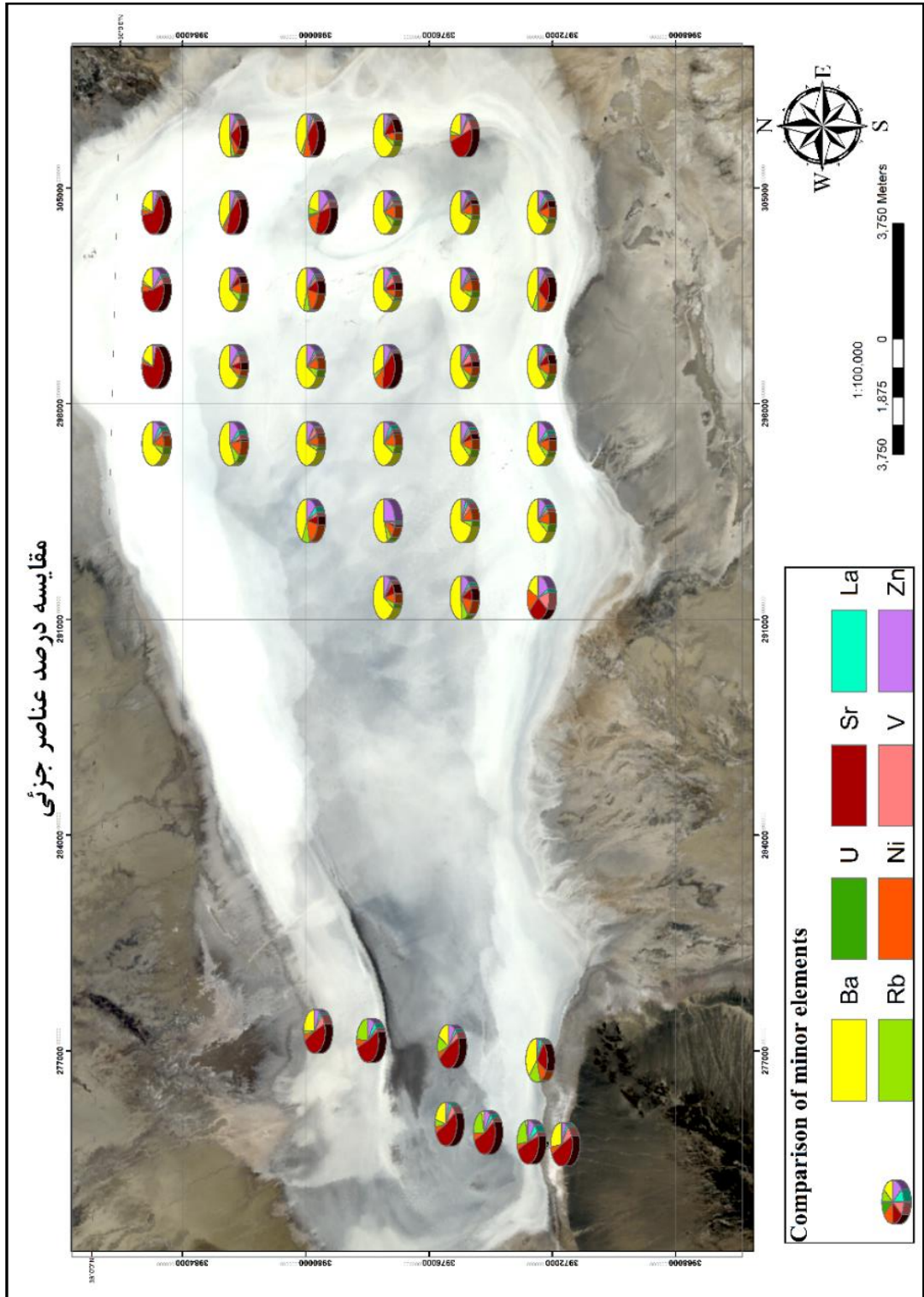
| Element | West | UCC | PAAS | East |
|---------|-------|------|------|--------|
| V | 15.97 | 60 | 150 | 15.74 |
| CO | 3.11 | 10 | 23 | 3.59 |
| Cr | 32.94 | 35 | 110 | 31.5 |
| Cu | 12.31 | 25 | 50 | 19.7 |
| Ni | 32.91 | 20 | 55 | 29.82 |
| Zn | 26.86 | 71 | 85 | 23.63 |
| Rb | 13 | 112 | 160 | 14.83 |
| Sr | 68.74 | 350 | 200 | 91.82 |
| Y | 9.06 | 22 | 27 | 8.41 |
| Zr | 21.77 | 190 | 210 | 20.1 |
| Nb | 5.23 | 25 | 19 | 4.61 |
| Ba | 129.4 | 550 | 650 | 112.31 |
| U | 0.28 | 2.8 | 3.1 | 1.74 |
| Th | 3.34 | 10.7 | 3.1 | 3.94 |



شکل (۵-۱۵). نمودار هیستوگرام مقایسه غلظت عناصر جزئی در دو بلوک شرقی و غربی حوضه حاج‌علی‌قلی با استانداردهای (UCC, PAAS)

۵-۸-۳ بررسی تغییرات عناصر جزئی در ایستگاه‌های نمونه برداری

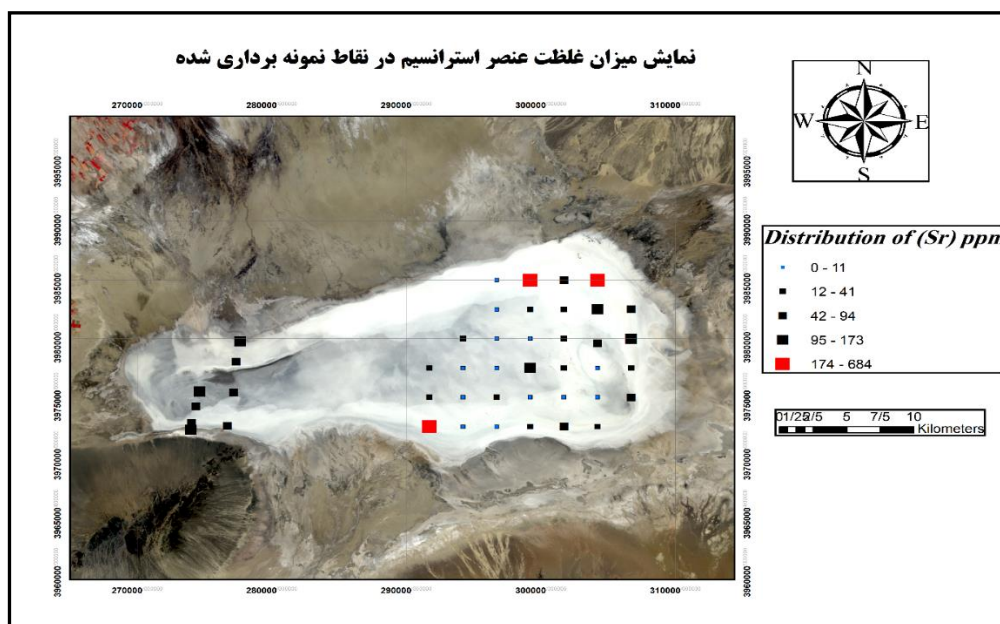
بر اساس نقشه ژئوشیمی عناصر جزئی (شکل ۵-۱۶)، عناصر استرانسیم و باریوم در منطقه غنی شدگی واضحی را نشان می‌دهند که در ادامه به بررسی هریک از آنها پرداخته می‌شود.



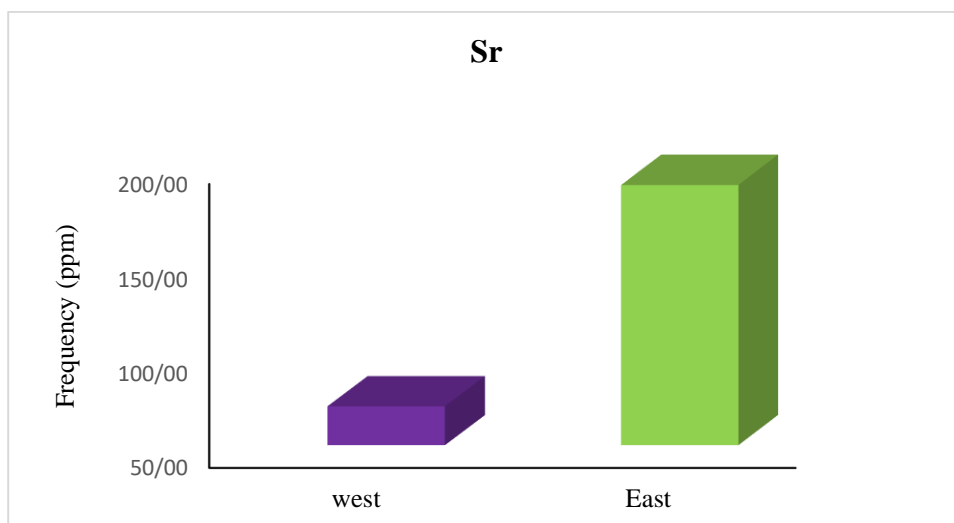
شکل ۱-۰۰. نمایش نحوه توزیع عناصر جزئی (باریم، روییدیم، استرانسیم، نیکل، وانادیم، روی و لانتانیم) در پلاهای حاج علی قلی

۵-۸-۳-۱ بررسی تغییرات آنومالی استرانسیم

استرانسیم با فراوانی ۳۷۵ ppm، فراوانترین عنصر کمیاب در پوسته زمین است. در شکل (۵-۱۷)، تغییرات Sr در طی مسیر نمونه برداری نشان داده شده است. تغییرات غلظت عنصر استرانسیم در پلایای حاج علی قلی بین (۰-۶۸۴ ppm) و میانگین غلظت آن ۸۲/۱۴ ppm است. استرانسیم به علت تشابه شعاع یونی با کلسیم در محیط‌های آذرین می‌تواند جایگزین آن در کانی‌های کلسیم‌دار از قبیل پلاژیوکلازها، کلسیت و ژیپس شود. منشأ یون استرانسیم را می‌توان به سنگ‌های آهکی و سازندهای رسوبی اطراف منطقه مورد مطالعه نسبت داد. نمودار هیستوگرام عنصر استرانسیم در شکل (۵-۱۸) نشان می‌دهد که مقدار این عنصر در بلوک غربی بیشتر از بلوک شرقی است.



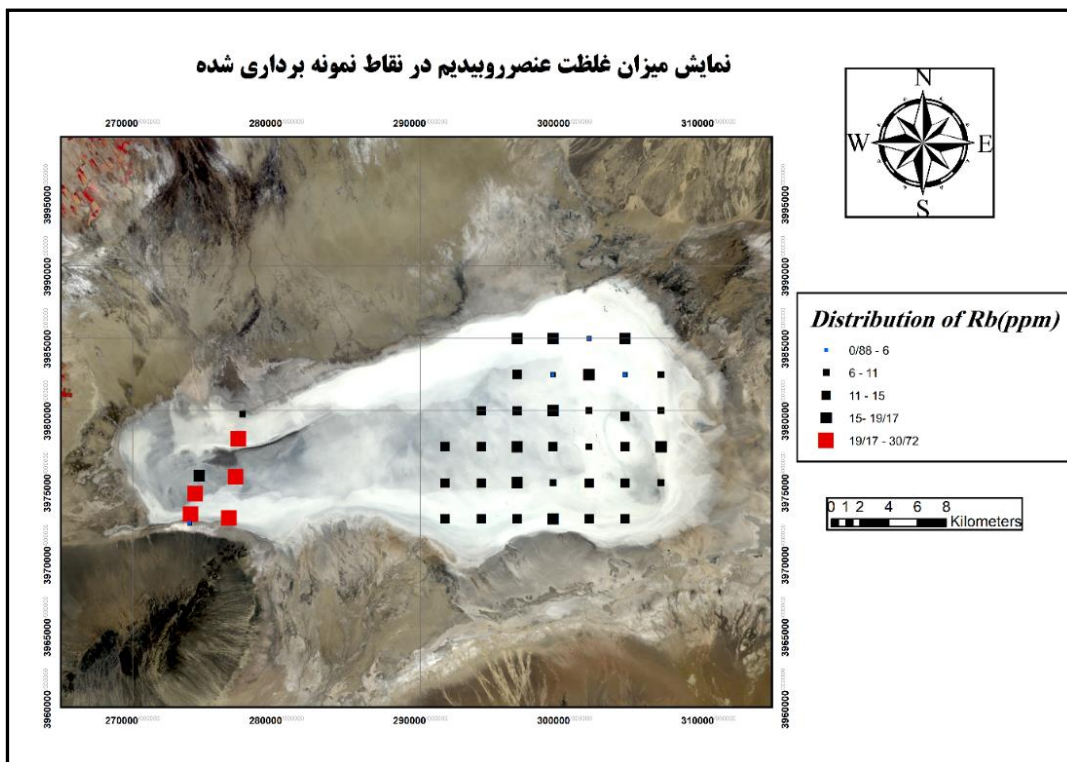
شکل (۵-۱۷). تغییرات و پراکندگی غلظت عنصر استرانسیم در حوضه پلایای حاج علی قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای



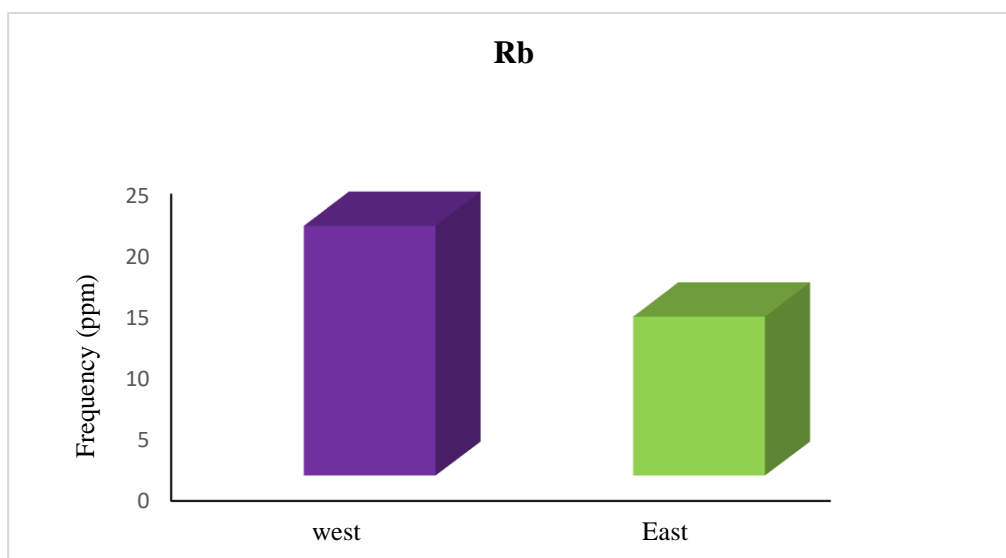
شکل (۵-۱۸). نمودار هیستوگرامی مقایسه تغییرات میانگین فراوانی عنصر استرانسیم در بلوک شرق و غرب

۵-۸-۳-۲ بررسی تغییرات آنومالی روبیدیم

براساس نتایج آنالیزهای شیمیایی تغییرات پراکندگی روبیدیم در پلایای حاج علی قلی بین (۳۰/۷۲ ppm) - (۰/۸۸) متغیر است. همانطور که در شکل (۵-۱۹) ملاحظه می شود این عنصر فراوانی قابل توجهی را در منطقه به خود اختصاص می دهد. تغییرات میانگین فراوانی عنصر روبیدیم در دو بلوک شرقی و غربی در شکل (۵-۲۰)، با یکدیگر مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می شود فراوانی عنصر روبیدیم در بلوک غربی منطقه افزایش نشان می دهد.



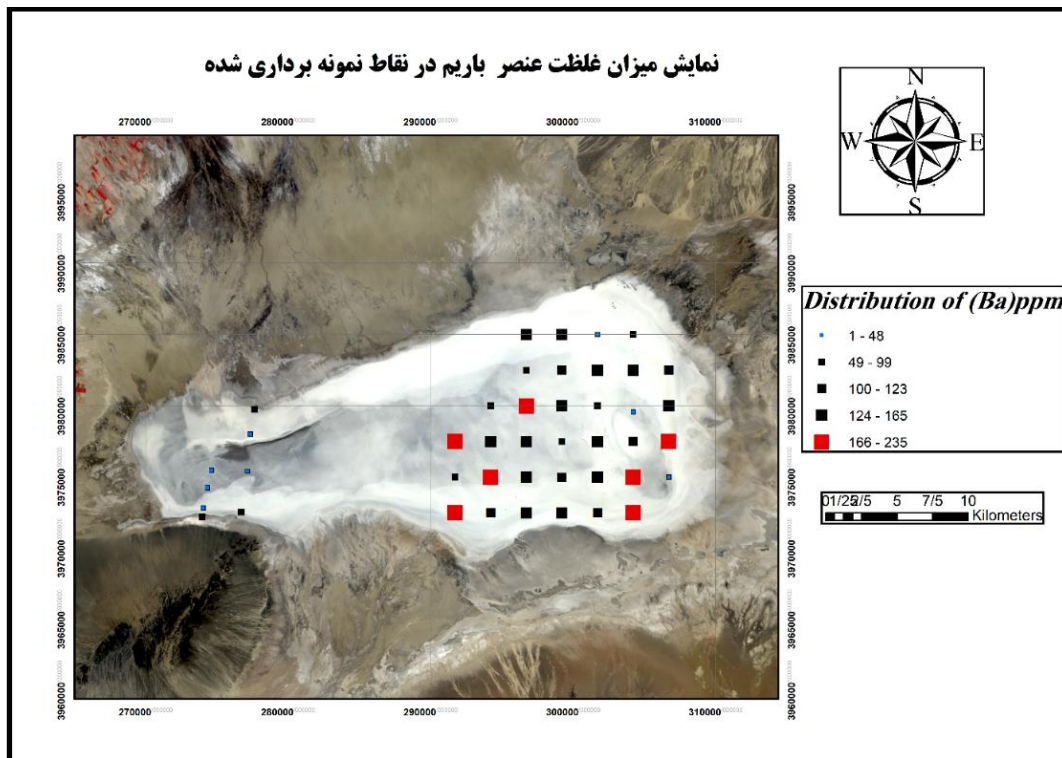
شکل (۵-۱۹). تغییرات و پراکندگی غلظت عنصر استرانسیم در حوضه پلایای حاجعلی قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای



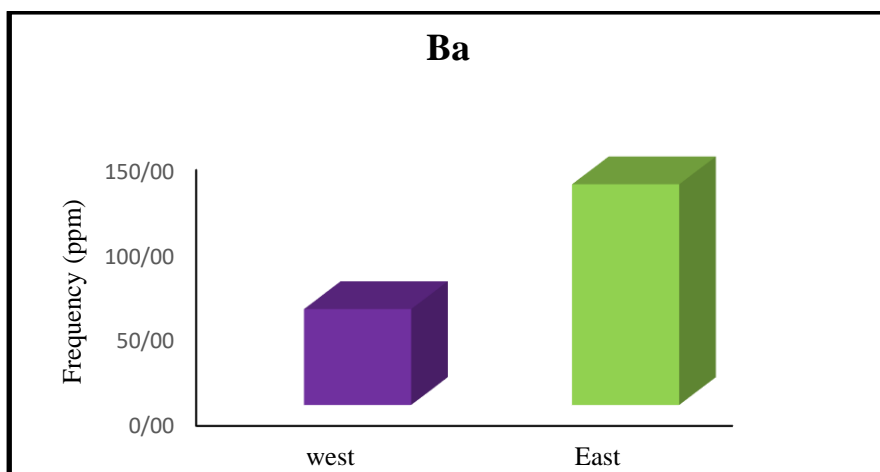
شکل (۵-۲۰). تغییرات میانگین فراوانی عنصر روبیدیم در بلوک شرقی و غربی

۵-۸-۳ بررسی تغییرات آنومالی باریم

فراوانی متوسط باریم در پوسته زمین ۴۲۵ ppm است. پتاسیم تنها عنصر دارای شعاع یونی قابل مقایسه با باریم می‌باشد، از این رو باریم بیشتر در بیوتیت و فلدسپار پتاسیک یافت می‌شود. بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی فراوانی عنصر باریم بین (۱-۲۳۵) متغیر است شکل (۵-۲۱). با مقایسه نمودار هیستوگرامی عنصر باریم می‌توان به این نتیجه دست یافت که این عنصر در بخش شرقی افزایش قابل ملاحظه‌ای را نسبت به بخش غربی نشان می‌دهد شکل (۵-۲۲). منشأ باریم را می‌توان در داخل مارن‌های میوسن و ورگه‌های باریت موجود در کمر بند رسوبی-طرود-چاه شیرین نسبت داد.



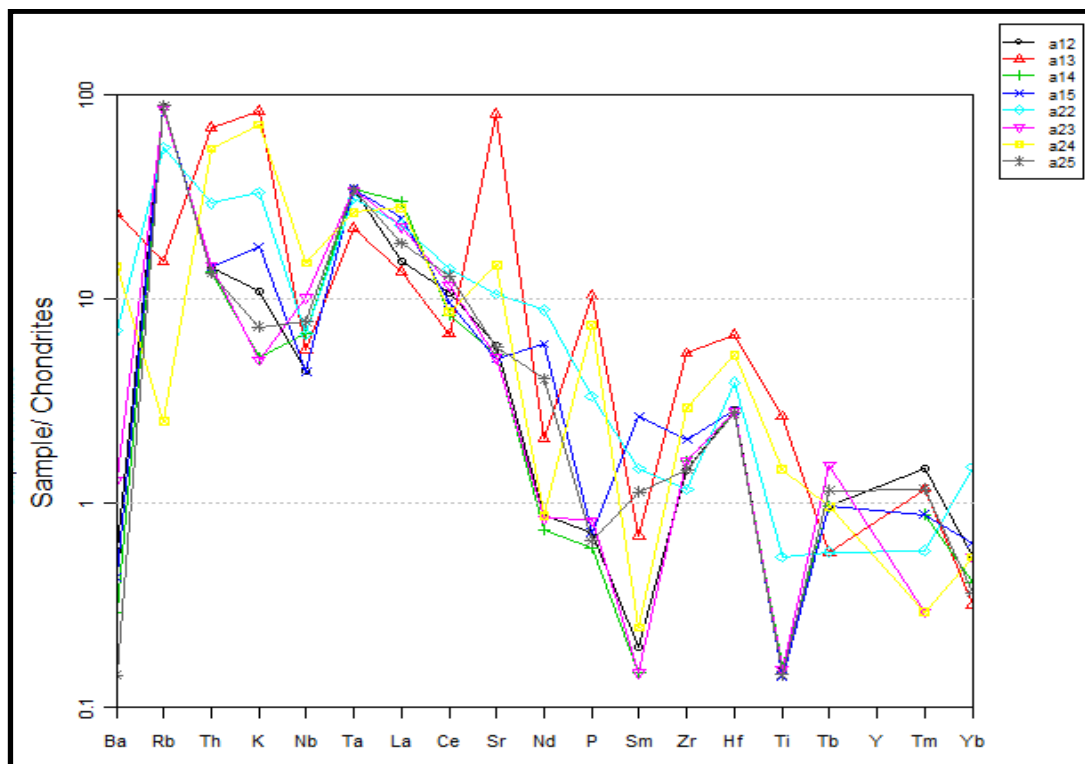
شکل (۵-۲۱). نمایش تغییرات و پراکندگی غلظت عنصر باریم در حوضه پلاپای حاج‌علی‌قلی بر روی تصویر ماهواره‌ای



شکل (۵-۲۲). تغییرات میانگین فراوانی عنصر باریم در بلوک شرقی و غربی

۵-۹ بررسی عناصر کمیاب در بلوک غربی رسوبات پلایای حاج علی قلی

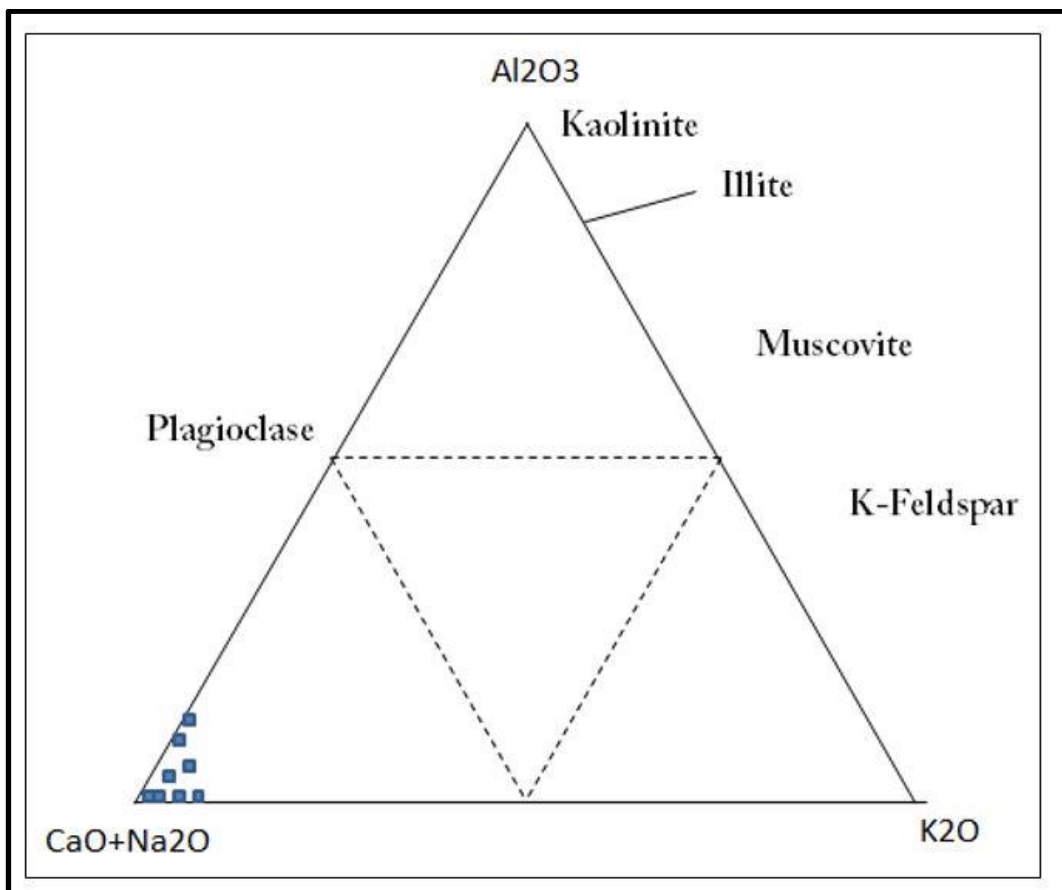
با توجه به آب‌های سطحی و حمل املاح معدنی توسط آن‌ها به داخل پلایا، و شرایط تبخیری شدید حاکم بر آن‌ها، وجود عناصر کمیاب در بین رسوبات قابل انتظار است. عناصر نادر خاکی شامل ۱۷ عنصر با اعداد اتمی ۵۷ تا ۷۱ می‌باشند. این عناصر را برحسب شباهت‌های فیزیکی و شیمیایی می‌توان به سه گروه خاک‌های نادر سبک (LREE)، شامل (La, Ce, Sm, Nd) و خاک‌های نادر سنگین (HREE) شامل (Y, Dy, Ho, Tm, Er, Gd, Eu) و عناصر نادر خاکی متوسط (MREE) تقسیم نمود. میزان این عناصر در سنگ‌های رسوبی بیان‌کننده فرآیندهایی است که در طی آن این عناصر نهشته شده‌اند (Cullers and Graf, 1983). شکل (۵-۲۳) نمودار عنکبوتی مقادیر بهنجار شده عناصر کمیاب و کمیاب‌خاکی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه را نسبت به مقادیر کندریت نشان می‌دهد. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود عناصر Sm, Ti تهی‌شدگی و عناصر Sr, Ba غنی‌شدگی نشان می‌دهند.



شکل (۵-۲۳). نمودار عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت (Thompson, 1982)

۵-۱۰ نمودارهای مثلثی عناصر بخش غرب منطقه

با توجه به پلات نمونه‌ها بر روی دیاگرام سه‌تایی Al_2O_3 ، $CaO+Na_2O$ و K_2O (after Nesbitt and Young, 1982, 1984, 1989, 1996; Nesbitt et al.)، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده نزدیک به قطب $CaO+Na_2O$ قرار دارند که طبق نمودار شکل (۵-۲۴) به دلیل حمل مسافت کمتر در محدوده پلاژیوکلاز قرار می‌گیرند. این ذرات ناشی از گرانیت‌های اطراف پلایا است که هوازدگی ناشی از این گرانیت‌ها، ذرات را توسط آب و باد و سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی به این بخش از پلایا انتقال داده‌اند.



شکل (۵-۲۴). دیاگرام سه تایی Al_2O_3 ، $CaO+Na_2O$ و K_2O . نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کلسیم و سدیم بالا یعنی محدوده پلاژیوکلاز قرار می‌گیرند.

۵-۱۱ کانسارهای تبخیری

اکثر کشورهای دنیا حداقل یک منبع شورابه‌ای حاوی مواد معدنی سودمند دارند. عناصر اصلی در تبخیری‌های کل دنیا عبارت است از سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم، لیتیم، کلر و آنیون‌های سولفات، کربنات، بیکربنات و در بعضی از آن‌ها نیترات است. امروزه با پیشرفت فناوری مانند افزایش کارایی آلیاژ منیزیمی به آلیاژ آلومینیمی، توسعه کشاورزی، تولید باتری‌های لیتیمی، نیاز بشر در اکتشاف و استخراج این گونه عناصر بیشتر احساس می‌شود. برای مثال کشور آمریکا با بهره‌برداری از ذخایر تبخیری پلایا گریت سالت‌لیک تولید ۱۴٪ فلز منیزیم دنیا را برعهده دارد و سالانه درآمد

خالصی بالغ بر ۱/۱ میلیارد دلار از فروش فرآورده‌های تبخیری به دست می‌آورد (Bioeconomics, 2012). در ادامه به بررسی و تشریح برخی از کانسارهای مهم تبخیری پرداخته شده است.

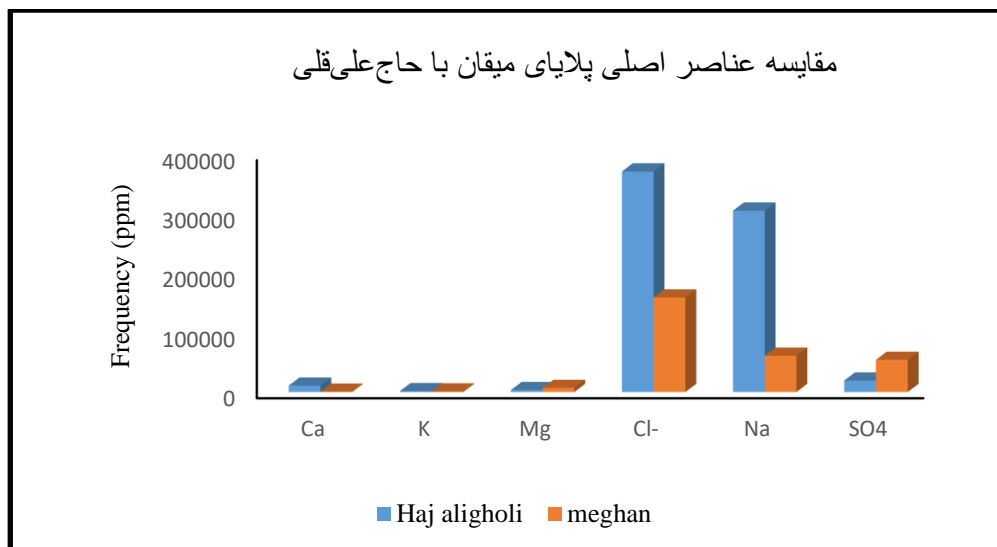
۵-۱۱-۱ کانی‌های سولفات

مقدار این کانی‌ها در طبیعت بیشتر بوده و شناخته شده‌ترین آنها سولفات کلسیم (بصورت ژیپس و انیدریت) می‌باشد. در ارتباط با درجه حرارت و شوری آب در یک محیط رسوبی ممکن است ژیپس یا انیدریت تشکیل شود (Hardie, 1967). این دو نوع کانی در انواع محیط‌های رسوبی نظیر پلایا، سبخای ساحلی و حتی در تبخیرهای عمیق دریایی ممکن است دیده شوند. در بین کانی‌های سولفات دو کانی سولفات سدیم دار یعنی میرابلیت ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) و تناردیت (Na_2SO_4) استفاده‌ی بسیار بالایی دارند. رسوبات سولفات سدیم از ترکیبات شیمیایی صنعتی بسیار مهمی هستند که در ایالت متحده آمریکا با توجه به موارد استفاده‌ی زیادشان در حدود ۱ میلیون تن در سال استخراج می‌شود. این ترکیب در بسیاری از رخنمون‌های تخریبی وجود داشته و از سازنده‌های اصلی بسیاری از آب‌های کانی‌زا و آب دریا است (Davies, 1966). این ترکیب در بسیاری از پلایا‌های نمکی نیز قابل مشاهده است چرا که سدیم یکی از کاتیون‌های غالب در این پلایاها است. این ترکیب بیشتر به صورت کانی میرابلیت یافت می‌شود. یکی از معادن مهم سولفات سدیم در ایران پلایای میقان است که بررسی ویژگی آن و مقایسه با پلایای حاج‌علی‌قلی می‌پردازیم.

۵-۱۱-۱-۱ پلایای میقان و مقایسه آن با پلایای حاج‌علی‌قلی

پلایای میقان در ناحیه شمال شرقی شهرستان اراک، و در مرز بین زون ایران مرکزی و زون سنندج-سیرجان واقع شده است. با توجه به اینکه این پلایا محل ذخیره سولفات سدیم است لذا از نظر اقتصادی حائز اهمیت است. مقادیر عناصر برحسب ppm به صورت: کلر (۱۵۹۳۷۰)، سولفات (۵۴۲۲۰)، سدیم

(۶۱۲۵۰)، منیزیم (۶۹۲۰)، کلسیم (۵۶۰)، پتاسیم (۹۲۰) است. آنیون کلر و عنصر سدیم موجود در این پلایا این در مقادیر کمتری نسبت به پلایای حاج‌علی‌قلی است. در صورتیکه سولفات موجود در میقان نسبت به پلایای حاج‌علی‌قلی مقادیر بیشتری دارد (شکل ۵-۲۵).



شکل (۵-۲۵). نمودار هیستوگرامی مقایسه عناصر پلایای میقان با حاج‌علی‌قلی

در مورد منشاء سولفات سدیم باید گفت که تبخیر آبهای سطحی یکی از عوامل اصلی در تشکیل سولفات سدیم است. جونز (Jones, 1965) بدین نتیجه رسیده است که هوازدگی شیمیایی و لیتولوژی سازندهای اطراف پلایا تاثیر زیادی بر نوع آنیونهای غالب در پلایا های ایالت متحده دارد. موارد مصرفی سولفات سدیم عبارتند از: تولید مواد پاک‌کننده، صنایع شیشه‌سازی، داروسازی، کنسروسازی، تهیه انواع مخمرها

۵-۱۱-۲ کانسارهای پتاس

واژه پتاس که امروزه به K_2O اطلاق و با این ترکیب مترادف شده است در واقع نه در طبیعت بدین صورت دیده می‌شود و نه به طور مصنوعی تهیه می‌گردد بلکه از آن به عنوان یک عامل تعیین عیار یا مقایسه پتاس‌های تجارتي استفاده می‌شود (Bate, 1969). پتاس نشان دهنده تولید و استخراج انواع

نمک است که همه آنها شامل عنصر پتاسیم به فرم محلول در آب‌اند (Jasinski, 2011). این اصطلاح در صنعت برای اشاره به کلرید پتاسیم، سولفات پتاسیم، نیترات و اکسید استفاده می‌شود (Neuendorf et al, 2005). کانیهای پتاس فراوان بوده که از میان آنها تنها چهار کانی سیلویت، کارنالیت، کائینیت و لانگبینیت اهمیت اقتصادی دارند (Adams and Hite, 1983). اسامی کانی‌های پتاسیم‌دار در جدول (۵-۶) آورده شده است. کانی‌های پتاس‌دار به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول غنی از $MgSO_4$ و حاوی کانی‌های ژپس، انیدریت، پلی‌هالیت، کایزیریت، کارنالیت و بیشوفیت هستند. نوع دوم که عمدتاً غنی از کانی‌های سیلویت و کارنالیت به سن کامبرین، ژوراسیک و پالئوژن می‌باشند (Hardi, 1991). یکی از معادن مهم پتاس در ایران پلایای خور است که در ادامه به مقایسه آن با منطقه مورد مطالعه در این پژوهش پرداخته می‌شود.

جدول (۵-۶). نام و فرمول شیمیایی کانی‌های پتاس (Warren, 1999)

| Mineral | Formula |
|---------------------|--|
| Sylvite | KCl |
| Carnallite | $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ |
| Kainite | $4MgSO_4 \cdot 4KCl \cdot 11H_2O$ |
| Polyhalite | $2CaSO_4 \cdot MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 2H_2O$ |
| Langbeinite | $2MgSO_4 \cdot K_2SO_4$ |
| Leonite | $MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 4H_2O$ |
| Schoenite | $MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 6H_2O$ |
| Glaserite | $K_2SO_4 \cdot (Na, K)SO_4$ |
| Syngenite | $CaSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot H_2O$ |
| Associated minerals | |
| Halite | NaCl |
| Anhydrite | CaSO ₄ |
| Bischofite | $2MgCl_2 \cdot 12H_2O$ |
| Bloedite | $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2H_2O$ |
| Loewite | $2MgSO_4 \cdot 2Na_2SO_4 \cdot 5H_2O$ |
| Vanhtoffite | $MgSO_4 \cdot 3Na_2SO_4$ |
| Kiesrite | $MgSO_4 \cdot H_2O$ |
| Hexahydrate | $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ |
| Epsomite | $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ |
| Ores | |
| Sylvinitite | KCl+NaCl |
| Hartsalz | $KCl+NaCl+CaSO_4+(MgSO_4 \cdot H_2O)$ |
| Carnallitite | $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O+NaCl$ |
| Langbeinitite | $2MgSO_4 \cdot K_2SO_4+NaCl$ |
| Mischsalz | Hartsalz+Carnallite |
| Kainitite | $4MgSO_4 \cdot 4KCl \cdot 11H_2O+NaCl$ |

۵-۱۱-۲-۱ سیلویت

سیلویت می‌تواند به رنگهای سفید، آجری، نارنجی و خاکستری دیده شود. این کانی به صورت توده‌ای و بلورین مشاهده می‌شود. سیلویت نسبت به هالیت دارای مزه تلخ است و به این جهت به نمک تلخ معروف است. سیلویت از نظر منشأ و نحوه تشکیل شبیه به هالیت است ولی از آن کمیاب‌تر است. سیلویت نسبت به نمک طعام و سایر کانی‌های تبخیری دیرتر رسوب می‌کند و به صورت محلول باقی می‌ماند. حوضه‌های تبخیری که سیلویت در آن نهشته می‌شود، به صورت حوضه‌های درون قارهای نوع خشکی‌زایی می‌باشد (حاج‌علیلو، ۱۳۸۵). در نمک‌های تبخیری کانی اصلی پتاسیم از نظر حجمی سیلویت است. این به صورت خالص وجود دارد، به نحوی که در اکثر ذخایر پتاس، نمک طعام کانی باطله است (Stewart, 1963).

۵-۱۱-۲-۲ کارنالیت

کارنالیت از نظر شیمیایی کلروهیدرات پتاسیم و منیزیم با مقادیر آب (۳۸/۹٪)، کلر (۳/۳۸٪)، پتاسیم (۱۴/۱٪)، منیزیم (۸/۷٪) است. علاوه بر این ذرات ناچیزی از ایزومورف‌های لیتیم و تالیم در ترکیب آن وجود دارد. کارنالیت خالص دارای ۱۷٪ K₂O است. ولی معمولاً ناخالصی‌های از کلرید سدیم، کلرید پتاسیم، سولفات کلسیم، اکسید آهن، موادرسی، قطرک‌های شورابه و حبابهای گازی مخلوطی از نیتروژن، هیدروژن و متان در آن وجود دارد. کارنالیت کانی شکننده و رطوبت پذیری است که به سادگی در آب ملکولی خود حل می‌شود (حلمی، ۱۳۷۹).

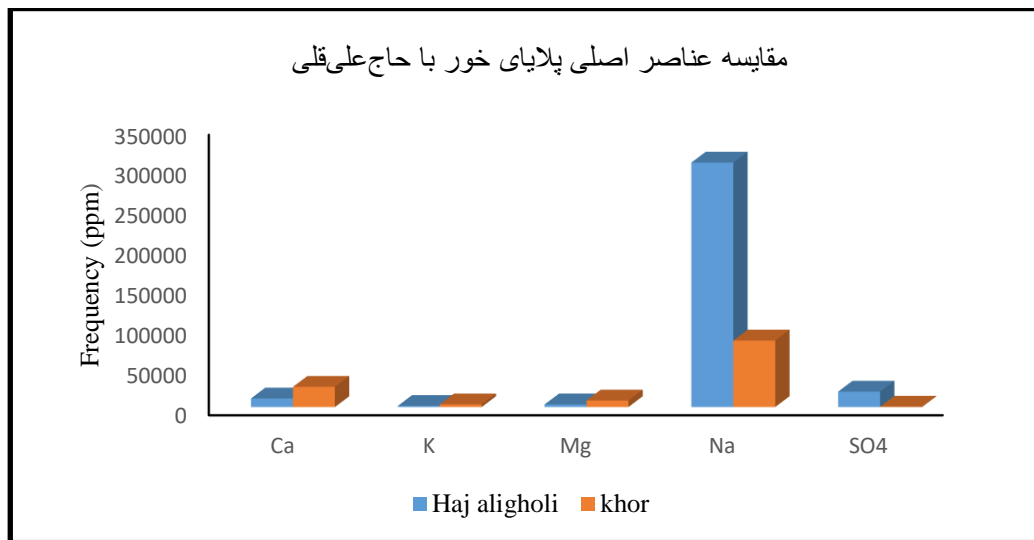
۵-۱۱-۲-۳ کائینیت و شوئینیت

کائینیت در سیستم منوکلینیک متبلور می‌شود. رنگ آن سفید تا قرمز تیره است. کانی رطوبت پذیری نیست ولی به سهولت در آب حل می‌شود. مقدار K₂O آن در صورت خلوص ۱۸/۹٪ می‌باشد (حلمی، ۱۳۷۹). این کانی به صورت ثانویه در نهشته‌های پتاس دریایی وجود دارد. معمولاً به همراه کانیهای

سیلویت، هالیت، کارنالیت، شوئیت دیده می‌شود. معمولاً در کانسنگ‌های پتاسیم و منیزیم وجود دارد (Plalache et al., 1951 and Robinson et al., 1972). موارد مصرفی کانی‌های پتاس دار شامل: کودهای کشاورزی، سرامیک‌سازی، صنایع غذایی و تولید شیشه است.

۴-۲-۱۱-۵ پلایای خور و مقایسه آن با پلایای حاج‌علی‌قلی

پلایای خور بیابانک در ۴۰ کیلومتری شرق و شمال شرق خور در زون ایران مرکزی واقع شده است. بررسی‌های ژئوشیمی پلایای خور نشان می‌دهد که بیشترین عنصر موجود در این پلایا هالیت است. میانگین کل یونهای مربوط در پلایا برحسب PPM بدین صورت است. سدیم (۸۳۱۶۲)، کلسیم (۲۵۲۵۰)، منیزیم (۸۱۷۵)، سولفات (۴۲۶) است که در مقایسه با عناصر پلایای حاج‌علی‌قلی، عنصر سدیم آن کمتر و مقادیر عناصر سولفات، کلسیم، منیزیم بیشتری دارد (شکل ۵-۲۶).



شکل (۵-۲۶). نمودار هیستوگرامی مقایسه عناصر پلایای خور با حاج‌علی‌قلی

۵-۱۲ کانسارهای سلستین (سولفات استرانسیم)

سلستین یک کانی دیاژنتیک در سبخاهای ساحلی و در نواحی دولومیتی شده فراوان دیده می‌شود، که در نتیجه آزاد شدن استرانسیم در حین جانشینی آراگونیت به وسیله دولومیت تشکیل می‌شود. منشأ استرانسیم سنگ‌های میزبان هستند. سلستین با ترکیب شیمیایی SrSO_4 همراه کانسارهای تبخیری یافت می‌شود. کانی استرانسیم از جمله کانی‌هایی است که گسترش آن در سطح جهان به صورت معادن قابل استخراج محدود است (فیض‌نیا، ۱۳۷۱). از استرانسیم جهت جانشینی باریت در گل حفاری، ته‌نشینی سیلسس، تولید لامپ فلوروسانس استفاده می‌گردد.

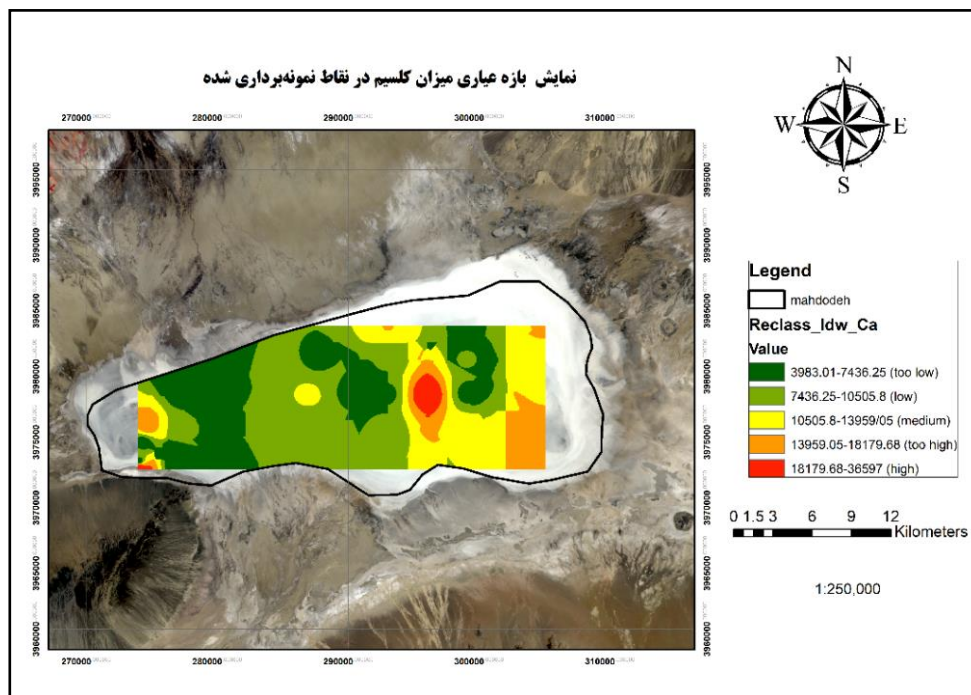
۵-۱۳ پهنه‌بندی عناصر اصلی پلایای حاج‌علی‌قلی

پس از بررسی توزیع عیاری عناصر اصلی در محدوده مورد مطالعه، امکان سنجش استخراج آنها که دارای توجیه اقتصادی باشد، دارای اهمیت قابل توجه می‌باشد. اظهار نظر در خصوص توجیه‌پذیری استخراج این عناصر مستلزم بررسی موارد متعددی می‌باشد که به چند مورد به‌طور اختصار اشاره می‌گردد. الف) ابتدا باید حداقل عیاری که از علمی استخراج عنصر مورد نظر امکان پذیر باشد، مشخص گردد. ب) هزینه استخراج در شرایط محلی برآورد گردد. ب) محدوده‌های دارای عیار مناسب مشخص و میزان عنصر قابل استخراج برآورد گردد. پ) ارزش ریالی کانی‌های قابل استخراج برآورد گردد. در صورتی که هزینه استخراج و ارزش ریالی مواد استخراجی با در نظر گرفتن یک ضریب اطمینان دارای تفاوت قابل توجهی باشد که عملیات استخراج و فرآوری را به‌صرفه نشان دهد، می‌توان بر روی پروژه استخراج، سرمایه‌گذاری نمود. در این پایان‌نامه تلاش گردیده است که براساس یک مدل ساده و براساس اعداد و ارقام فرضی عناصر، ارزیابی اقتصادی ارائه شود. در نمایش پهنه‌بندی عیار هر عنصر به پنج قسمت مساوی تقسیم شده که بر هر قسمت به ترتیب برچسب‌های عیار خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نسبت داده شده است. محدوده‌های دارای عیار بالا و خیلی بالا، جهت استخراج در نظر گرفته

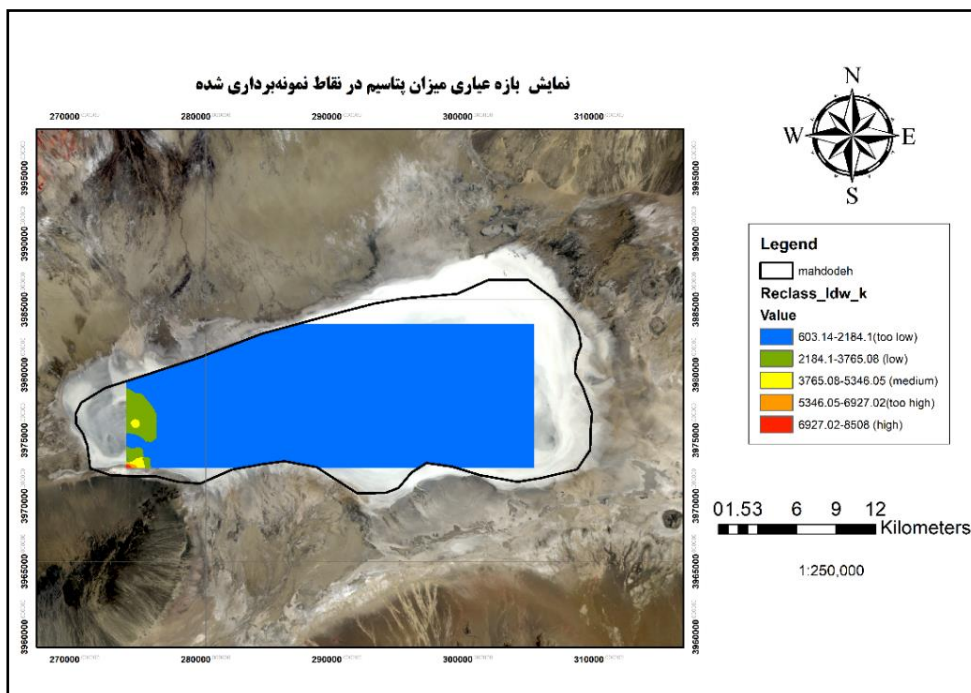
شده است. سپس مساحت محدوده‌ها محاسبه و بر اساس متوسط وزنی عنصر قابل استخراج از واحد سطح تعیین گردیده است جدول (۷-۵). نقشه بازه عیار عناصر اصلی در شکل (۶-۲۷-f-a) برای هفت عنصر اصلی نشان داده شده است.

جدول (۷-۵). تقسیم بندی مساحت عیار عناصر اصلی در پلايای حاج‌علی‌قلی بر حسب هکتار

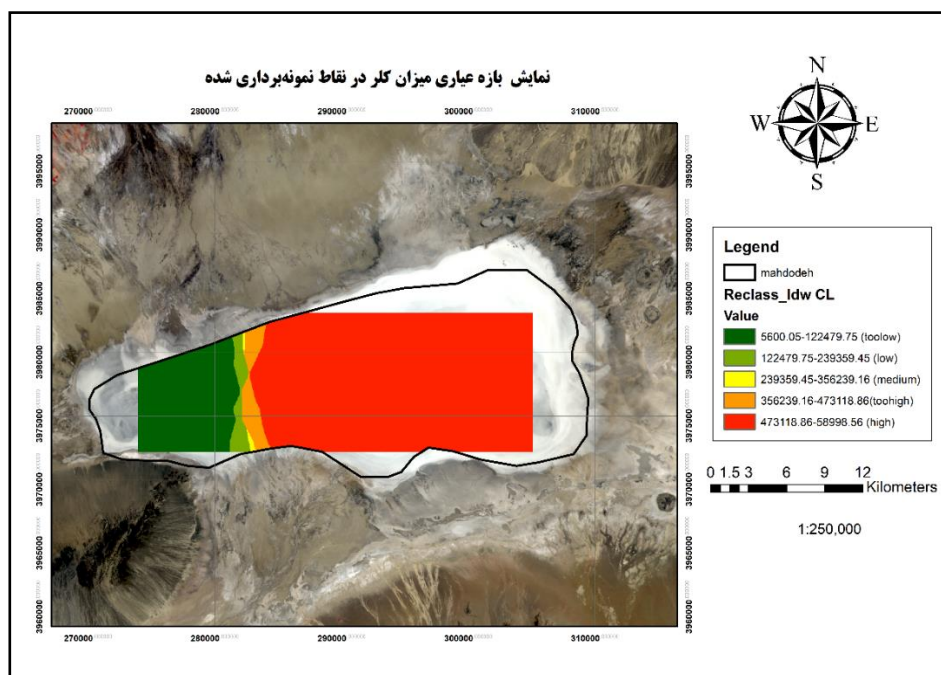
| element | Too low | Low | medium | Too high | High |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ca | 9156.95 | 12067.12 | 6498.78 | 2842.91 | 552.53 |
| K | 30166.66 | 837.40 | 93.42 | 13.75 | 7.06 |
| Na | 2204.98 | 4079.43 | 518.14 | 5500.13 | 18815.62 |
| Cl | 5972.62 | 760.78 | 76.23 | 1031.70 | 53276.98 |
| SO ₄ | 36213.3 | 149284.8 | 37146.06 | 7245.54 | 4099.29 |
| Li | 5922 | 822 | 42 | 1086 | 23.246 |



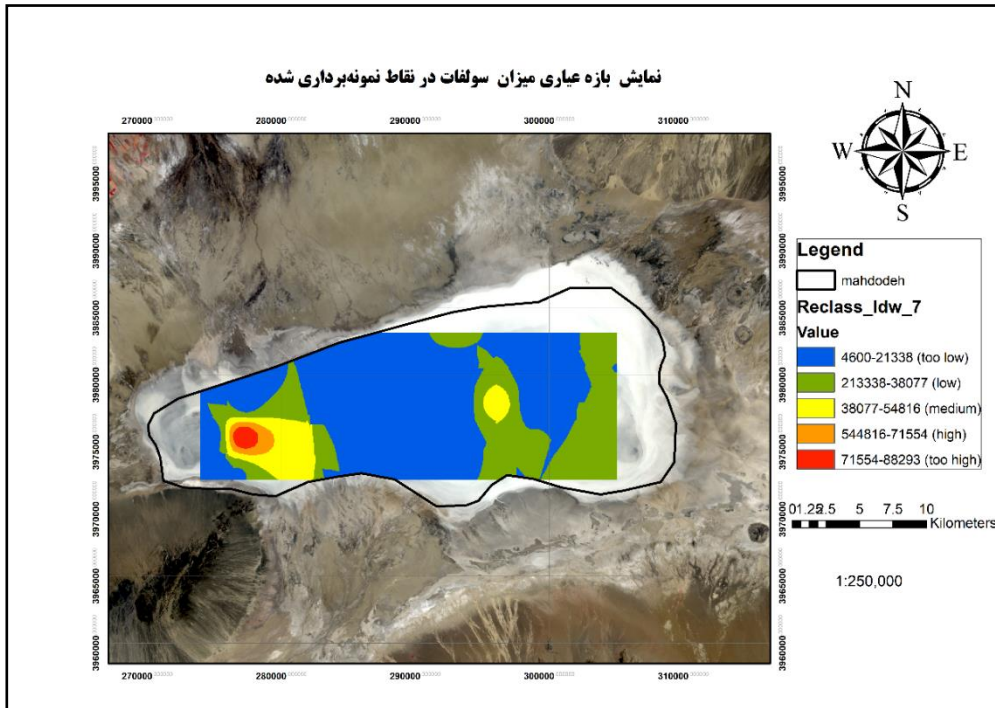
شکل (۲۷-۵). a- تغییرات عیار عنصر کلسیم در پلايای حاج‌علی‌قلی



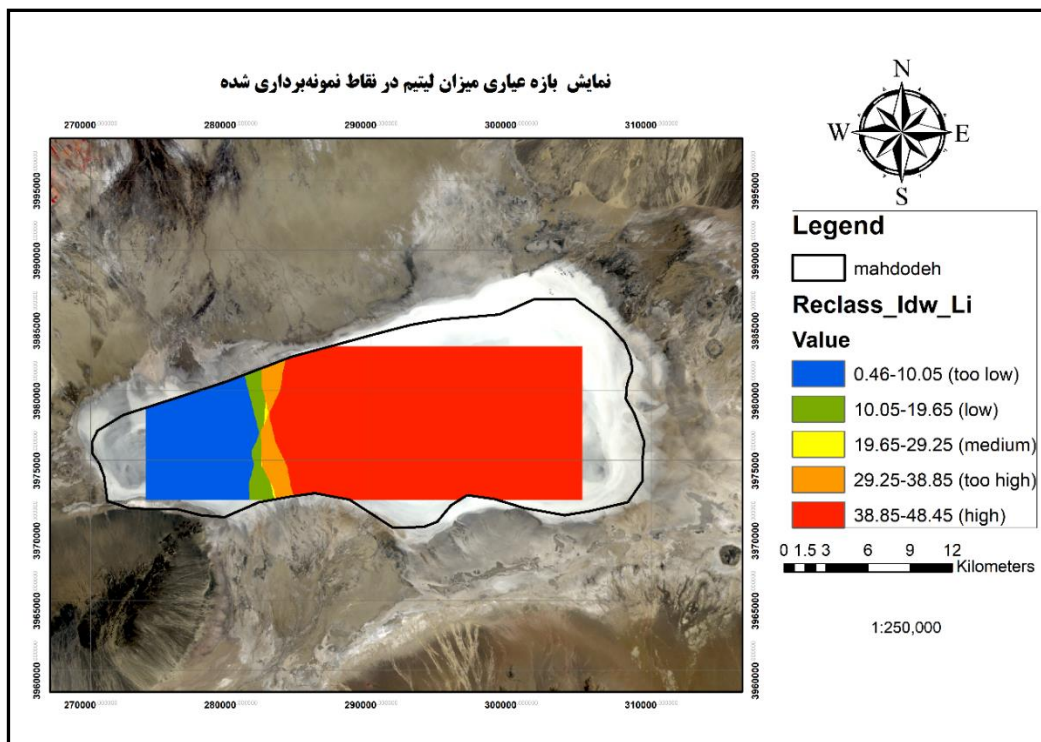
شکل (۵-۲۸). b- تغییرات عیار عنصر پتاسیم در پلایای حاح علی قلی



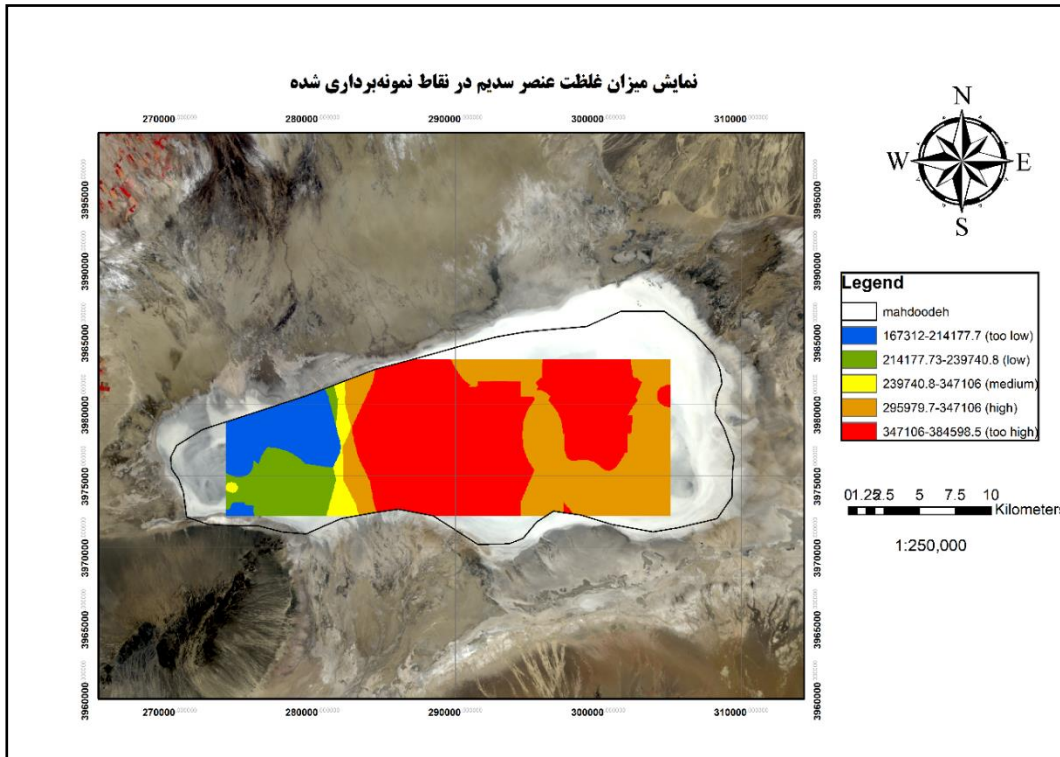
شکل (۵-۲۹). c- تغییرات عیار آنیون کالر در پلایای حاح علی قلی



شکل (۵-۳۰). d- تغییرات عیار سولفات در پلایای حاح علی قلی



شکل (۵-۳۱). e- تغییرات عیار لیتیم در پلایای حاح علی قلی



شکل (۵-۳۲). f-تغییرات عیار عنصر سدیم در پلایای حاج علی قلی

فصل ۶

پیچہ گیری

۱-۶ نتایج

۱- پلایای حاج‌علی‌قلی در نتیجه شکستگی‌های اصلی (گسل شاهرود در شمال و گسل انجیلو در جنوب)، به‌صورت یک فرو افتادگی در بین دو زون البرز و ایران مرکزی تشکیل شده است. بخش البرز عمدتاً از سنگ‌های رسوبی از جمله آهک، دولومیت، شیل و ماسه‌سنگ تشکیل شده است که در تأمین عناصری مثل کلسیم، منیزیم، سولفور و استرانسیم و ذرات آوارای مثل کوارتز، کانی‌های رسی، میکا و فلدسپات نقش داشته‌اند.

۲- در بخش جنوبی پلایا سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی و توده‌های آذرین- نقوذی و سنگ دگرگونی از قبیل شیست، دولومیت گسترش دارند که در تأمین عناصری مثل کلسیم، سدیم، منیزیم و ذرات آواری مثل فلدسپات، کلریت و کانی‌های رسی نقش داشته‌اند.

۳- در بخش شرقی و غربی وجود مارن‌های قرمز خاکستری حاوی ژئوپیس در بعضی نقاط رگه‌های باریت که در تأمین کانی‌های رسی، کلسیم، سولفور، سدیم و کلر به داخل حوضه نقش داشته‌اند.

۴- مهمترین ساخت‌های رسوبی مشاهده شده در منطقه شامل ترک‌های گلی، پلیگون‌های نمکی و زمین‌پف کرده می‌باشد.

۵- مهمترین کانی‌های تبخیری که داخل حوضه با استفاده از روش XRD و پتروگرافی شناسایی شده است شامل کانی‌های ژئوپیس و کلسیت می‌باشند، که هالیت فراوانترین آنها می‌باشد.

۶- بر اساس جدول همبستگی عناصر اصلی می‌توان دریافت که کلر و سدیم با لیتیم، همبستگی مثبت و منیزیم با سدیم همبستگی منفی دارند.

۷- بر اساس جدول همبستگی بین عناصر جزئی کروم و وانادیم رابطه معناداری دارند.

۸- نمودار عنکبوتی بلوک غرب بیانگر غنی‌شدگی عناصر استرانسیم و روبیدیم می‌باشد

۹- بر اساس آنالیز خوشه‌ای عناصر در سه گروه قرار می‌گیرند، که می‌توان چنین استنباط کرد عناصر قرار گرفته در هر دسته دارای منشأ یکسان می‌باشند.

۶-۲ پیشنهادها

۱. نمونه برداری کامل تر از بخش های مختلف سطحی و عمقی جهت ارائه الگوی تغییرات رخساره‌ای
۲. انجام آنالیزهای بیشتر و جامع تر به منظور تعیین الگوی ژئوشیمیایی در گسترش جانبی و عمقی
۳. حفر گمانه های اکتشافی عمیق به منظور ارزیابی اقتصادی طبقات زیرین
۴. مطالعات ایزوتوپی اکسیژن ، هیدروژن سنگین ، گوگرد و کربن به منظور بررسی منشأ رسوبات و عناصر داخل حوضه.

منابع فارسی

- آقاناتی، ع. (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- بربریان، م.، قرشی، م.، ارزنگروش، ب. و مهاجر اشجعی، ا. (۱۳۷۱)، پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره قزوین بزرگ و پیرامون، گزارش ۶۱، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بربریان، همکاران. (۱۳۷۱). پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره تهران و پیرامون.
- پریمی، م. (۱۳۹۴)، رسوب شناسی و ژئومورفولوژی پلایا حاج علی قلی جنوب دامغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۲۱ صفحه.
- ترشیزیان، ح. (۱۳۸۹)، رسوب شناسی و زمین ریخت شناسی پلایای ساغند ایران مرکزی"، مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، ۲۷(۲)، ۱۶۲-۱۳۷.
- تقوی، ل.، طبیبی، س. و کریمیان، ب. (۱۳۹۲)، تحلیل اقلیمی دیرینه بخش شمالی تالاب گاوخونی با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و رعی. فصلنامه علمی-پژوهشی اکویولوژیکی تالاب، ۵(۱۶): ۶۲-۵۳.
- حاج علیلو، ب. (۱۳۸۵)، کانی ها و سنگ های صنعتی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۱۳۲.
- حسینی، و. (۱۳۸۲)، بررسی منشأ و نحوه تکامل شورابه و رسوب گذاری کانی های تبخیری در پلایای چاه جم دامغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- حلمی، ف. (۱۳۸۴)، شرحی بر نمک طعام-پتاس و پراکندگی آن ها در ایران، انتشاران سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۶۶ ص.

رضائیان، ع. (۱۳۹۱)، ارزیابی پتانسیل اقتصادی شورابه پلایای ابرکوه، اولین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک، ۸ ص.

رئیس السادات، ن.، زرین کوب م. ح.، خطیب م. م. (۱۳۹۱)، زمین ریخت شناسی و نحوه پیدایش پلایای سهل آباد-شرق ایران، ۱۰ (۲۸)، ۱۳۲-۱۱۵.

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۹۴، نقشه راه استان سمنان.

شهبازی، ر. و فیض نیا س. (۱۳۹۰). تأثیر سازندهای زمین شناسی بر کاهش کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی در حوضه آبخیز پلایا مرکزی ایران (مطالعات موردی: حوضه آبخیز چشمه علی دامغان). پژوهش های فرسایش محیطی، جلد ۱، سال ۱، صفحه ۹۳-۱۰۴.

شهرابی، م. (۱۳۷۲). بررسی جنبه های اقتصادی و زیست محیطی ریلچه ارومیه. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز.

طلوعی، ج. (۱۳۷۵)، مطالعه و بررسی ژئوشیمی و هیدروژیومی شناخت فازهای رسوبات شیمیایی حوضه رسوبی تبخیری پلایا ارومیه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

عبدی، ل. (۱۳۹۱)، بررسی کانی های رسی، منشأ و نحوه پراکنش آن ها در پلایای میقان اراک پژوهش های چینه شناسی و رسوب شناسی، ۹۴ (۲۴)، ۱۹۳-۲۰۲.

عزیمی، ح. (۱۳۹۰)، معرفی پتانسیل های جدید لیتیم در سازندهای تبخیری در استان خراسان رضوی، سیهمین گردهمایی علوم زمین، ۷ ص.

عزیزی، م. (۱۳۹۳)، ژئوشیمی عناصر کمیاب نهشته های تبخیری پلایای حاج علی قلی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد شاهرود، ۱۲۷ ص.

علوی، م. هوشمندزاده، (۱۳۵۵)، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه طرود، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

علی‌نیاپی، ز. (۱۳۹۱)، ترکیب و منشأ ماسه‌های آبرفتی و بادی پلایای گاوخونی (جنوب‌شرق اصفهان)، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۲۸(۴۸)، ۶۵-۸۲.

فیض‌نیا، س. (۱۳۸۷)، سنگ‌های رسوبی غیرآواری، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۰۵ ص.

فیض‌نیا، س. (۱۳۷۱)، سنگ‌های رسوبی غیرآواری (بجز کربنات‌ها)، انتشارات دانشگاه تهران ۲۶۲ ص.

قربانی، م. (۱۳۸۹)، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پایگاه ملی و داده‌های علوم زمین، ۶۵۹ ص.

محمدی، ع. (۱۳۸۹)، رسوب‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های پلایای جازموریان، فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه یزد، ۱ (۱)، صفحه ۱۲-۱.

موسوی حرمی، ر. (۱۳۸۶)، رسوب‌شناسی انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۷۶ ص.

موسوی، ح. (۱۳۹۳)، مدل‌سازی و پهنه‌بندی رفتار بیابان بر اساس پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه پلایا حاج‌علی‌قلی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، صفحه ۵۲-۳۸.

موسوی حرمی، ر.، محبوبی، ا. (۱۳۷۳)، سنگ‌شناسی رسوبی، انتشارات دانشگاهی مشهد، ۴۸۰ ص.

مهاجر باوقار، ن. (۱۳۷۶)، بررسی رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی پلایا ارومیه در ارتباط با منشأ نمک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

نبوی، م. (۱۳۵۵)، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۶۰ ص.

نقشه توپوگرافی منطقه و موقعیت پلایا حاج‌علی‌قلی (سازمان جغرافیایی کشور، ۱۳۵۴).

هاشمی، ز. (۱۳۸۱)، بررسی نهشته‌های کواترنزی شمال حوضه آبریز پلایا حاج‌علیقلی به منظور تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال.

هوشمندزاده، علوی نائینی، حقی پور. (۱۳۵۷)، تحول پدیده‌های زمین شناسی تروود (پرکامبرین تا عهد حاضر). انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.

منابع لاتین

- Adams, K.D., Sada, D.W., (2010). Black Rock Playa, Northwestern Nevada: Physical processes and aquatic life, Desert Research Institute Report, 19 p. 752–768.
- Adams, S. S., and Hite, R. J., (1983). Industrial Minerals and Rocks/Potash. Edited by Lefond, S. J., New York, 5 Th Edition, 1, 1049-1077.
- Admas, S. S. (1975). “Potash, in Lenfond (ed).” Industrial Minerals and Rocks, 4th Ed, AIME. pp. 963 – 999.
- Smykatz-Kloss, W., Roy, P. D. (2010). Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for palaeoclimatic investigations in arid regions A: synthesis.” Boletin la Socied geologica Mexicana, 63,. 375-390.
- Alavi, M., (1972). Etude geologique he la D’ jam. Geo. Sur. Iran, Rep. N. 23, 288 P
- Alavi, M., (1991). Sedimentary and Structural Characteristics of the Paleo-Tethys Remnants in Northeastern Iran” GSA Bulletin, 103, pp 983- 992.
- Androw, G. Ede., (2006), The chemical elements: A historical perspective greenwood guides to green ideas in science; greenwood press.
- Aral, H., Vecchio-Sadus, A., (2011), Lithium: Environmental Pollution and Health
- Ayora, C., Cendron, D.L., Taberner, C.Y., and Pueyo, J.J., 2001. Brine-mineral reactions in evaporate basin, Journal of Sedimentary Geology, 29, 251-254pp.
- Bate, R, E., (1969). Geology of the industrial minerals and rock. Dover Publication IncS. New York. 459 P.
- Berberian, M., & King, G. C. P. (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian journal of earth sciences, 18(2), 210-265.

- Bioeconomics, Inc., (2012). Economic significance of the Great Salt Lake to the S for the state of Utah, prepared for the State of Utah Great Salt Lake Advisory Council, Salt Lake City, Utah .pp.50.
- Bradley, R.S., (1999). Paleoclimatology: Reconstructing climate of the Quaternary, 2 ed. International Geophysics Series 68. Academic Press, San Diego, 610 pp.
- Brookins, D.G., (1988). Eh-pH Diagrams for Geochemistry. Springer, Berlin, 176 pp.
- Cameron, E., (1994). Drainage geochemistry. Handbook of exploration geochemistry, 6 (G.J.S. Govett, Editor), 570 pp.
- Chamley, H., (1989). Clay Sedimentology. Springer – Verlag, Berlin, 623 pp.
- Clements, C.B., Whiteman, C.D., Hotel, J.D., (2003). Cold-air-pool structure and evolution Coastal Research, 13, 506-533 pp.
- Crawford, M.L., and Padovani, E., (1989). Brines and Evaporites, Short course series editors (eds. M.L., Crawford and E., Padovani), American Geophysical Union, Printed in United State of America, 126.
- Cullers, R.L. and Graf, J., (1983). Rare-earth elements in igneous rocks of the continental crust: intermediate and silicic rocks--ore petrogenesis. In: P.Henderson (Editor) Rare-earth Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 275-316 pp.
- Davis, J.A., Leckie, J.O., (1978). Effect of adsorbed complexing ligands on trace metal uptake by hydrous oxides. Environ. Sciences Technology 12, pp: 1309-1315.
- Domaglaski J. L., Eugster H. P., and Jons, B.F., (1990). Trace metal geochemistry of Walker, Mono, and Great Salt Lakes. In R.J. Spencer and I.M. Chou (eds), Fluid-Mineral Interactions: A Tribute to H.P. Eugster. Special Publication 2, Geochemical Society, San Antonio, 315-354
- Eugster, H.P., (1980). Geochemistry of evaporitic lacustrine deposits. " Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 8, 35-63.
- Eugster, H.P. and Jones, B.F., (1979). Behavior of major solutes during closed basin brine evolution. American Journal of science, 279, 609-631.
- Evans, A. M. (1997). An Introduction to Economic Geology and Its Environmental Impacts. Blackwell Science, 364 pp.

- Farhoudi, G., (1978). A comparison of Zagros geology to island arcs” J of Geology., 86, 323-334.
- Forster H. (1978) “Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran”, J of the geological society, 135, 443-445.
- Goudie, A. S., & Wells, G. L. (1995). The nature, distribution and formation of pans in arid zones. *Earth-Science Reviews*, 38(1), 1-69.
- Goudie, A.S., (1991). Pans. *Progress in Physical Geography*, 15, 221–237
- Hardie, L. A., (1968). The origin of the recent non marine evaporate deposit of Saline Valley, California, *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 32, 1279-1301.
- Hardie, L. A., Smoot, J.P., Eugster, H. P., (1978). Saline lakes and their deposits: a sedimentological approach, *Evaporite, Petroleum and mineral resources*, Elsevier Amsterdam, 189-347 pp.
- Hardie, L.A., (1991). On the significance of evaporates. *Annual Review Earth Planetary Science*. 19, 131-168.
- Hardie, L.A., Eugster, H.P. (1976). The Evolution of Closed Basin Brines, 273-296 pp.
- Hardie. A., and Eugester H.P. (1971), “The depositional environment of marine evaporites: A case for shallow, elastic accumulation.” *Sedimentology* 16, 187-220p.
- Hauke, J., Kossowski, T., (2011). Comparison of values of Pearson’s and Spearman’s correlation coefficient on the same sets of data. *Quaestiones Geographicae*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 30(2): 87–93.
- Hillock, R., (1965). Notes on a Playa Lake Core, Bushland, Texas. *The Compass of Sigma Gamma Epsilon*, 431, 46-50.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., & Nazari, H., (2008). Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma. *Geology*, 36(10), 763-766.
- Holser, W. T., (1972). Mineralogy of evaporates, in R.G. Burns, ed, *Marine minerals*. Mineralogical Society America, *Reviews in Mineralogy*, 211-294 pp.
- Howari, F.M., Banat, K.M., Abu-Salla, Y.A., (2010). Depositional and diagenetic processes of Qa Khanna playa, North Jordan basaltic plateau, Jordan, *journal of Asian Sciences*, 39, 275-284.

- in a mountain basin: Peter Sinks, Utah. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 42, pp. 122-123.
- Jasinski, S. M., (2011). Potash, in *Mineral commodity summaries*, U.S. Geological-Survey, 122-123.
- Jones, B. F. and Decampo D.M., (2004). Geochemistry of saline lakes, In *Treatise o Geochemistry*. US Geological Survey, 393-424.
- Jones, B. F., and Vandeburgh, A. S., (1966). Geochemical influences on the chemical character of closed basins. *IAHS Symp. Garda, Hydrol. Lakes Reservoirs*, 435-446.
- Jones, B., Deocampo, D., 2004. *Geochemistry of Saline Lakes*. US Geological Survey, Reston, VA, USA 13,393-420.
- Kendall, A. C., (1984). Evaporites. In: R.G. Walker (editor), *Facies models (2nd edition)*", *Geoscience Canada Reprint Series*, 1, 259-296
- Kronberg, B.I., Nesbitt, H.W., Lam, W.W., (1986). Upper Pleistocene Amazon deep-sea fan muds reflect intense chemical weathering of their mountainous source lands. *Chemical Geology* 54, pp: 283-294.
- Last, W. M., Decker P. D. (1992). Paleohydrology and paleochemistry of Lake Beac, a saline palya in southern Australia. *Aquatic ecosystem in semiarid regions: implication for resource anagement*. R.D. Robarts M.L. Bothwell (Eds.). N.H.R.I. Symposium series 7, Environment Canada, Saskatoon, 61-73.
- Last, W., (2002). Geolimnology of salt lakes. *Geosciences Journal* 6(4), 347-369.
- Last, w., and Teller, J. (2002). Paleolimnology of Lake Manitoba: Lithostratigraphic Evidence ". *Gegraphine physique et Quatermarine*, 56(2-3), 135-154.
- Last, W.M., and Teller, J.T., (2004). Paleolimnology of Lake Manitoba, Canada: the lithostratigraphic evidence. *Geographie physique et Quaternaire*, 56, 135-154.
- Li, J. and Lowenstein, T.K., (1995). Death Valley salt core evaporate minerals as climate indicator., *Geology Society of America Annual Meeting, Abstract With Programs*.
- Li, J., Lowenstein, T.K., Brown, C.B., Ku, T.L., and Luo, S., (1996). A100 Ka record of water tables and paleoclimates from salt cores, Death Valley, California, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 123, 179-203.

- Lorenz, R.D., Jackson, B., Hayes, A., (2010). Racetrack and Bonnie Claire: southwestern US playa lakes as analogs for Ontario Lacuc, Titan, Planetary and Space Science, 58, 724-731.
- Lorenz, R.D., Jackson, B.K., Barnes, J.W., Spitale, J.N., Radebauh, J., Baines, K.H., (2011). Meteorological conditions at racetrack Playa, Death Valley National park: Implications for Rock Production and Transport, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 50, 2361-2375.
- Lowenstein, T. K., & Hardie, L. A. (1985). Criteria for the recognition of salt-pan evaporites. Sedimentology, 32(5), 627-644.
- Martinez-Ruiz, F., Comas, M. C. & Alonso, B. (1999). Mineral Associations and geochemical indicators in Upper Miocene to Pleistocene sediments in the Alboran Basin. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Reports, 161, 21-37.
- Mason, B., Moore, C.B., (2007). Principles of geochemistry, 7th ed., Wiley, New York, 566 pp.
- McGlue, M.M., Ellis, G.S., Cohen, A.S., Swarzenski, P.W., (2012). Playa-lake sedimentation and organic matter accumulation in a Andean piggyback basin: the recent record from the Cuenca de Pozuelos, North-west Argentina, Sedimentology 51, 1232-1251
- Melvin, J.L., (1991). Evaporites, Petroleum and mineral resource, Elsevier Amsterdam, 189-347.
- Moore, D. M. & Reynolds, R. C., (1989). X-Ray diffraction and the identification and analysis of Clay minerals. New York, Oxford university press, 332 pp.
- Nelson, S. A., (2006). Clayminerals: Earth Materials, 211pp.
- Nesbitt, H. W., & Young, G. M., (1989). Formation and diagenesis of weathering profiles. The Journal of Geology, 97(2), 129-147.
- Nesbitt, H.W., Young, GM., (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature, 299, 715-711.
- Neuendorf, K. K. E., Mehl, Jr., J. P., and Jackson, J. A., (2005). Glossary of geology (5 th ed): Alexandria, Virginia, American Geological Institute, 799.
- Nichols, G., 2009. Sedimentology and stratigraphy. Wiley- Blackwell, 433p.
- Nogol-Sadat, M.A.A. and Almasian, M., (1993). Tectonic Map of Iran, Geological

Survey of Iran.

- Oliveira, A., Vitorino, J., Rodrigues, A., Jouanneau, J. M., Dias, J. M. A. & Weber, A. (2002). Nepheloid layer dynamics of the northern Portuguese shelf: Progress in Oceanography, 52, 195–213.
- Paik, I.S., Kim, H.J., 2006, Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrences and palaeoenvironments, Sedimentary Geology, Vol. 187, 83-103.
- Palache, C. H., Berman, and C. frondel (1951). Dana's system of mineralogy. (7th edition), 2, 594-596.
- Pearson, K., (1920). Notes on the History of Correlation. Biometrika, 13: 25-45.
- Praveena, S. M. Ahmad, A. Radojcevic, M. Abdullah, M. H. Aris, A. Z., (2007). FactorCluster Analysis and enrichment study of mangrove sediment exam [le from MANGROVE SABAH", Malaysia Journal of Analytical Science, 11, 421-430.
- Reeves Jr, C. C. (1970). Origin, classification, and geologic history of caliche on the southern High Plains, Texas and eastern New Mexico. *The Journal of Geology*, 78(3), 352-362.
- Reynolds, R.L. Bogle, R. Vogel, J. Goldstein, H. and Yount, J. (2009). Dust Emission at Franklin Lake Playa, Mojave Desert (USA): Response to Meteorological and Hydrologic Changes 2005–2008.
- Riviere, A., (1933). Contribution an L'etude du Jurassique dans l'Elbourz central. G.R.Acd Sei., Paris, 195, 550-542.
- Robinson, P. D., Fang, H. H. and Ohya, Y., (1972). The crystal structure of kainite. Amer. Mineral., 57, 1325-1332.
- Rollinson, H.R, (2002). Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. United Kingdom, Longman, 557 pp.
- Rosen, M.R., (1994). The Importance of Groundwater in Playas: A Review of Playa Classifications and the Sedimentology and Hydrology of Playas. Palaeoclimate and Basin Evolution of Playa Systems, Geological Society of America, Special Paper, 289, 1–18pp.
- Ruttner, A., Nabavi, M., Hajian, J., (1968). Geology of the Shirgesht area (Tabas area, East Iran). Reports of the Geological Survey of Iran 4, 1–133.

- Shahabpour J. (2005). Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz. *J of Asian Earth Science*, 24, 405-417.
- Sinha, R., Smykatz-kloos, W, Stuben, Harrison, S.P., Berner, Z. and Kramar, U., (2006). Late Quaternary paleoclimatic reconstruction from the lacustrine sediments of the Sambhar playa core That Desert margin, India ,*Paleoecology*. 233, 252-270
- Smooth, J.P. and Lowenstein, T.K., (1991). Depositinal environments of nonmarine evaporates, in; J.L.Melvin (Editoral, evaporates, petroleum and mineral resources), *Sedimentology*, 50, 189-347.
- Stranding, W.J.F., Oughton, D.H., Salbu, B., (2002). Remobilization of ¹⁰⁹Cd, ⁶⁵Zn and ⁵⁴Mn from freshwater-labelled river sediments when mixed with freshwater. *Environ. Inter.* 28, 185-195.
- Stanley, D. J., Nir, Y., & Galili, E. (1998). Clay mineral distributions to interpret Nile cell provenance and dispersal: III. Offshore margin between Nile delta and northern Israel. *Journal of Coastal Research*, 196-217.
- Stewart, F. H., (1963). Marine Evaporites Data of chemistry, Professional Paper 440-Yus Geological survey, 52.
- Stocklin, J. (1968). Structural history and tectonic of Iran, *Petroleum Geologists Bull.*, 52, 1229-1258.
- Stocklin, J., (1974). Possible ancient continental margins in Iran. In: *The geology of continental margins*. Edited by: Burk and Clark. Springer. 873-887.
- Tanner, L. H., (1994). Distribution and origin of clay minerals in the Lower Jurassic McCoy Brook Formation, Minas Basin, Nova Scotia. *Sedimentary Geology*, 92, 229-239
- Taylor, S.R, McLennan, S.M., (1985). *The Continental Crust: Its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312pp.
- Tucker, M. E. (1991). Sequence stratigraphy of carbonate-evaporite basins: models and application to the Upper Permian (Zechstein) of northeast England and adjoining North Sea. *Journal of the Geological Society*, 148(6), 1019-1036.
- Tucker, M. E. (2001). *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. Blackwell: Scientific Publication. London 260p.
- Tucker, M. E., (1991) *Sedimentary Petrology*, Blackwell, 260 P.

- Usiglio, J. (1849). The data of geochemistry. U.S. Geol. Survey Bull, 219-770 p.
- Vant Hoff, J. H., (1905). Zur Bildung ozeanischer Salzablagerungen. Erstes Heft. Vieweg. 85 pp.
- Vant Hoff, J. H., (1909). Zur Bildung ozeanischer Salzablagerungen. Zweites Heft. Vieweg. 90 pp.
- Vant Hoff, J. H., (1912). Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen. (eds precht and cohen), Akad. Verlage ges., Leipzig. 374 pp.
- Veerasingam, S., Vencatachalapathy, R. and Ramkumer, T., (2014). Historical environmental pollution trend and ecological risk assessment of trace element in marine sediments off Adyar estuary, Bay of Bengal, India. *Environment Earth Sciences*, 71, 393-3975.
- Wadge, G., Archer, D., (2003). Evaporation of groundwater from arid plays measured by C-band SAR, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 1641-1650.
- Warren, J. K. (2006). *Evaporites, Sediments, Resources and Hydrocarbons*, Springer, 1041p.
- Warren, J. K., (1989). *Evaporite sedimentology: Importance in hydrocarbon accumulation*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 285p.
- Warren, J. K., (1999). *Evaporites. Their evolution and economics* BlackWell Science, 438 pp.
- Wasylikowa, k., Witkowski, A., Walanus, A., Hutorowicz, A., Alexandrowicz, S.W. and Langer, J. L., (2006). Paleolimnology of Lake Zeribar, Iran, and its climatic implications, *Quaternary Research*, 66, 477-493.

Abstract

One of the most important evaporite deposits is the playa environment, which accounts for more than 80% of the world's evaporite deposits. Haji Ali Ghali Playa is located in the northernmost part of the Central Structural-Sedimentary Zone of Central Iran and in the middle of the eastern Alborz Mountains to the north of the Taroud-Chah Shirin volcanic-sedimentary strip. The most important geological units surrounding this playa are in the northern part of sedimentary rock units such as limestone, dolomite, shale and sandstone and in the southern part of the igneous rocks including basalt, andesite-basalt, andesite, trachy andesite, trachyte and pyroclastic rocks include tuff and agglomerate. In addition, intrusive bodies such as granodiorite, dacite, basaltic masses and playa units such as gypsum marls are in the eastern part of the region. During field visits, 68 samples were taken, of which 25 samples were analyzed for principal elements using ICP-MS and titration, and 43 samples were analyzed for sub-elements. The major elements of Haji Ali Ghali playa are based on abundance of chlorine, sodium, sulfate, calcium, magnesium, potassium and lithium and minor elements include strontium, barium and rubidium. Studies show that the highest abundance of Cl anion is in the eastern part of the region and the highest amount of potassium in the western part of the region. Based on the results of the analysis, it was found that all major elements except magnesium and sodium have a positive correlation with each other. Mineralogical studies of the studied samples were performed using petrography and X-ray diffraction (XRD) methods. According to the measured grade, the elements under study are currently not economical or economically feasible.

Keyword: Evaporite deposits, Economic evaluation, Playa, Geochemistry, Playa Haji Ali Ghol



Faculty of Earth Sciences
M.Sc. Thesis in Geochemistry

**Geochemical study of deposits of Haj Ali Gholi playa and its
economic evaluation**

By: Atieh najib

Supervisor:
Dr.Faraj Allah Fardost
Dr.Mahdi Jafarzadeh

September 2019