

## **Brains evolution and evaporate minerals formation in Saghand playa in central Iran, and compare with some saline lake in the world**

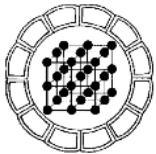
**H. Torshizian**

*Department of Geology, Islamic Azad University- Mashhad Branch, Iran  
Email: h.torshizian@yahoo.com*

(Received: 11/4/2008, in revised form: 8/9/2008)

**Abstract:** Saghand playa is located about 150 km northeast of Yazd in central Iran. In order to study brine evolution and effect of brine origin on mineralogical distribution and hydrochemical characteristics of evaporate minerals for exploration, 21 samples were collected from different parts of this playa. The samples were analyzed using the XRD to determine mineralogical characteristics of the brine. Normalized XRF results were led to establish elemental analysis of the samples. Results were compared with data of Great Saline Lake, the Death Valley and the Great Salt pan in North the America. Cation and anion variations in the Saghand playa brine, hydrochemically and physicochemically are similar to the Great Saline Lake the brine type is Na-K-Mg-Cl-SO<sub>4</sub> as alkaline meteoric brine. Mineralogically, halite, gypsum and bazanite are the most frequent evaporite minerals in this playa which suggest higher Concentration in of Saghand playa brine in comparison with the other mentioned playa.

**Keywords:** *Playa – Brine – Saghand – Central Iran*



## تکامل شورابه‌ها و تشکیل کانی‌های تبخیری در پلایای ساغند ایران مرکزی، و مقایسه آن با دریاچه بزرگ نمک و حوضه دره مرگ در ایالات متحده

حبیب اله ترشیزیان

دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی

پست الکترونیکی: [h.torshizian@yahoo.com](mailto:h.torshizian@yahoo.com)

(دریافت مقاله: ۸۷/۱/۲۳، نسخه نهایی: ۸۷/۶/۱۸)

**چکیده:** پلایای ساغند ایران مرکزی، در ۱۵۰ کیلومتری شمال خاوری شهرستان یزد واقع شده است. به منظور بررسی روند تکاملی شورابه‌ها و تاثیر خاستگاه آنها بر تغییرات کانی‌شناسی و هیدروژئوشیمی پلایا، کانی‌های تبخیری با ارزش، ۲۱ نمونه شورابه به صورت سیستماتیک از بخش‌های مختلف پلایا برداشت شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده برای تعیین غلظت یون‌ها به روش فلئورسانسی پرتو ایکس (XRF) و تعیین ویژگی‌های کانی‌شناسی با استفاده از پراش پرتو ایکس (XRD) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این دستاوردها، با داده‌های مشابه آن از چند دریاچه نمکی بزرگ دنیا از جمله دریاچه نمکی بزرگ و حوضه‌های دره مرگ ایالات متحده و نیز پهنه نمکی بزرگ آمریکای شمالی، مقایسه شدند. نتایج تغییرات کاتیونی و آنیونی در شورابه‌های پلایای ساغند نسبت به دریاچه‌های دیگر نشان داد که این شورابه‌ها از نظر ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و فیزیکوشیمیایی به ویژه اسیدیته، مشابه دریاچه نمکی بزرگ ایالات متحده بوده، و نوع شورابه آن از نوع  $\text{Na-K-Mg-Cl-SO}_4$  یا شورابه‌های جوی قلیائی است، به طوریکه بیشینه غلظت یون‌های مربوط به کلر با ۴۱۸۲۸، سدیم ۲۵۵۳۸، و سولفات ۲۱۴۸۲ میلی گرم در لیتر است. از دیدگاه کانی‌شناسی نیز هالیت، ژپس، و باسانیت فراوانترین کانی تبخیری در این پلایا هستند که نشان‌دهنده تکامل بالاتر شورابه‌های پلایای ساغند در مقایسه با پلایای دیگر است.

**واژه‌های کلیدی:** پلایا، شورابه، ساغند، ایران مرکزی.

### مقدمه

دریاچه‌های نمکی در سرتاسر جهان، و با توجه به شرایط مختلف آب و هوایی، تشکیل می‌شوند. چنین محیط‌هایی می‌توانند در پیرامون بالا آمدگی قاره‌ای، بین کشیدگی حوضه‌ها در حوضه‌های درون قاره‌ای، و در پهنه‌های یخچالی شکل گیرند [۱]. عوامل زمین‌شناسی، آب‌شناسی، و چگونگی آب و هوا، فاکتورهای اصلی کنترل‌کننده در ایجاد چنین محیط‌هایی هستند، ولی از آنجاکه تبخیر (عامل آب و هوا) نقش مهمی در گسترش دریاچه‌های نمکی دارد، محیط‌های خشک و نیمه خشک بهترین مناطق در این زمینه محسوب می‌شوند [۷].

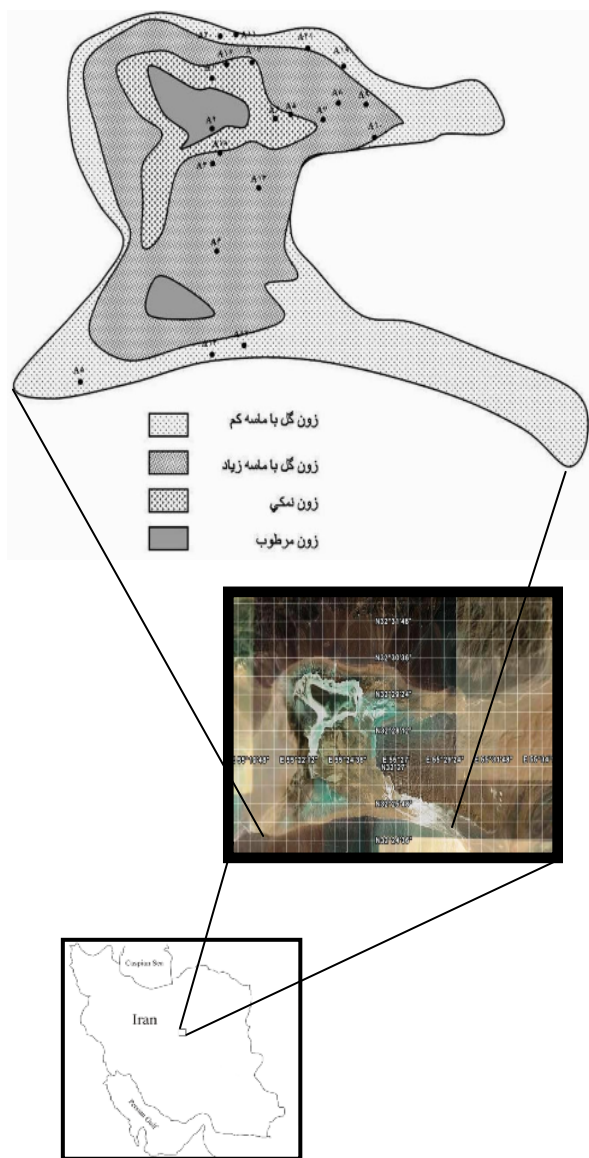
سه شرط اصلی برای تشکیل و باقی ماندن دریاچه نمکی وجود دارند که عبارتند از: عدم وجود یا محدود بودن جریان خروجی آب از دریاچه، بالا بودن میزان تبخیر، و نزدیک بودن

از دیدگاه زمین‌شناسی آب پن (Pans)، پلایا، سالینا، و دریاچه نمکی (Salt flat) مشابه‌اند و تفاوتشان در نوع مرزبندی آنهاست. این مناطق به علت تاثیر بر بوم‌شناسی، آب‌های زیرزمینی و فعالیت‌های اقتصادی در سراسر دنیا، محیط‌های مهمی محسوب می‌شوند [۱]. ژئوشیمی آب دریاچه نمکی تحت تاثیر یک سیستم پیچیده شامل تهنشستی به وسیله آب‌های جوی، هوازگی، آب‌های زیرزمینی، تبخیر، واکنش‌های انحلال-ته‌نشستی و فعالیت‌های زیستی قرار می‌گیرد. بررسی پلایاها شامل علوم مختلفی مانند آب‌شناسی [۲] کانی‌شناسی [۳] رسوب‌شناسی [۴]، [۵] و ژئوشیمی آب شورابه [۶] است.

باختر، و از طریق مسیر ساغند - یزد، و از جنوب مسیر ساغند - معدن چادرملوست. این گستره از نظر رده‌بندی آب و هوایی، از اقلیم صحرایی و گرم و خشک برخوردار است، به طوریکه بیشینه دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در ماه‌های تیر و مرداد و کمینه دمای در حدود ۱۷ درجه سانتیگراد در ماه‌های دی و بهمن اندازه‌گیری شده است. میانگین بارندگی سالانه نیز در حدود ۴۰ میلیمتر و درجه رطوبت نسبی بین ۲۰ تا ۲۵ درصد و میزان تبخیر سالانه بیش از میزان بارندگی است و تا حدود ۷۰ میلیمتر در سال نیز می‌رسد [۹]. منابع آبی این منطقه را آب‌های سطحی رودخانه‌ای و آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهند، ولی در مجموع، این گستره فاقد جریان‌های دائمی است و رودخانه‌ها از نوع فصلی هستند.

دریاچه به جریان ورودی آب [۶]. با توجه به شرایط اقلیمی و چگونگی توپوگرافی در ایران، چنین محیط‌هایی به صورت گسترده در مرکز و خاور آن یافت می‌شوند [۸].

پلایای ساغند در ایران مرکزی، استان یزد، یکی از این پلایاهاست که ترکیب شورابه به منظور بررسی روند تکاملی و تاثیر خاستگاه بر نوع کانی‌های تبخیری حاصل، مورد بررسی قرار گرفته است. این پلایا در ۱۵۰ کیلومتری خاور یزد قرار دارد. نام این پلایا از روستایی به همین نام در منطقه اقتباس شده است. دریاچه نمکی ساغند در گستره طول‌های جغرافیایی  $32^{\circ} 20'$  تا  $31^{\circ} 31'$  شمالی، مساحتی در حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد (شکل-۱). راه‌های دسترسی به این منطقه از



شکل ۱ موقعیت جغرافیائی و راه دسترسی به پلایای ساغند.

## روش پژوهش

به منظور بررسی شورابه‌های پلایای ساغند، نخست کلیه اطلاعات وابسته به موضوع پژوهش شامل مقالات، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ اردکان، عکس‌های هوایی ساغند در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات رقومی خام مربوط به ماهواره پژوهشی ASTER، جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفتند. در نتیجه با بررسی اطلاعات رقومی و دورسنجی، نقشه ریخت‌شناسی پلایا تهیه شد. با توجه به گسترش و وسعت زون نمکی پلایا، شبکه بندی مناسب به منظور نمونه‌برداری از شورابه‌های پلایا طراحی شد.

با اینکه کاملترین توالی شورابه‌ها در پلایا در اواخر تابستان تشکیل می‌شود، نمونه‌برداری در اواخر شهریور ۱۳۸۴ انجام شد. تعداد ۲۱ نمونه از شورابه‌های پلایا و ۳ نمونه از نهشته‌های نمکی آن از عمق بین ۵۰ تا ۲۰۰ سانتیمتر برداشت و موقعیت نمونه‌ها با استفاده از GPS ثبت شد.

نمونه‌های جمع‌آوری شده از درون گمانه‌ها در بطری‌های پلی اتیلن جمع‌آوری و به منظور آزمایش‌های مورد نیاز به آزمایشگاه‌های مربوطه ارسال شدند. در آزمایشگاه سازمان انرژی اتمی ایران نمونه‌ها به روش فلورئوسانی پرتو ایکس (XRF) بررسی، و مقدار اکسیدهای عناصر اصلی و کمیاب موجود در آنها اندازه‌گیری شدند. همچنین کانی‌های موجود در شورابه‌ها پس از تبخیر آن به روش پراش پرتو ایکس (XRD) با دستگاه (Simense D500 X-Ray Diffractometer) تعیین، و ویژگی‌های مهم فیزیک و شیمیایی شورابه‌ها مانند اسیدیت (Ph)، باقیمانده تبخیر (T.D.S) و سختی کل (T.H) نیز اندازه‌گیری شدند. اطلاعات به دست آمده با استفاده از نرم افزارهای مختلف مانند Excel, Surfer, Spss و... مورد بررسی قرار گرفتند.

## زمین‌شناسی گستره پلایای ساغند

پلایای ساغند در پهنه ساختاری ایران مرکزی تشکیل شده است [۱۰، ۱۱]. در اثر حرکت‌های زمین‌ساختی در پلیوکواترن مرکز ایران، حوضه‌های بسته‌ای به صورت پلایا شکل گرفته‌اند [۱۲]. پلایای ساغند که در مرکز ایران به عنوان یک حوضه درون قاره‌ای محسوب می‌شود، تحت تاثیر گسل پشت بادام در

یک فروافتادگی ساختاری [۱۳] تشکیل شده است. پیرامون این پلایا، سنگ‌هایی از پرکامبرین تا کواترنر مشاهده می‌شدند. پلایای ساغند از شمال به کمپلکس بنه شور و سازند تاشک به سن پرکامبرین، از جنوب، علاوه بر این سنگ‌ها، به گرانیته زریگان، از باختر به نهشته‌های نئوژن و شیل و سنگ آهک بیابانک و از خاور به دون‌های ماسه‌ای کواترنر محدود می‌شود.

## بحث و بررسی

نمک‌های تبخیری از مهمترین کانسارهای تهنشستی شیمیایی هستند که در صنعت کاربرد فراوانی دارند. از آنجا که تشکیل این نمک‌ها به خاستگاه شورابه‌های سازنده آن بستگی دارد، شناخت هیدروژئوشیمی شورابه‌ها به عنوان کلیدی در پی‌جویی نمک‌های تبخیری حائز اهمیت است [۱۴]. عناصر اصلی موجود در دریاچه‌های نمکی شامل  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$  و به مقدار کمتر  $\text{SiO}_2$  است. با توجه به خاستگاه شورابه‌ها، فراوانی کاتیون‌ها و آنیون‌ها در شورابه تغییر می‌کنند، لذا هر دریاچه نمکی سیستم ویژه خود را دارد. در بررسی‌های انجام گرفته معلوم شد که حداقل دارای شش خاستگاه اصلی شورابه‌ها [۱۵-۱۹] هستند (جدول-۱). از نظر اسیدیت نیز بررسی‌های گسترده‌ای روی شورابه‌ها صورت گرفته است، به طوریکه شورابه‌های با اسیدیت بین ۶ تا ۸.۵ را قلیایی متوسط و اسیدیت ۱۲ به بالا را قلیایی و اسیدیت ۲-۳ را اسیدی در نظر می‌گیرند. در شورابه‌های با اسیدیت اسیدی، کربنات‌ها حل می‌شوند و مقدار سیلیس در شورابه افزایش می‌یابد [۱] و از این نظر شورابه‌های متئوریک به دو گروه قلیایی و خنثی تقسیم می‌شوند. شورابه‌های نوع اول که شورابه‌های قلیایی فقیر از کلسیم و منیزیم نامیده می‌شوند، حاوی یونهای  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{CO}_3^{2-}$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$  و شورابه‌های نوع دوم که شورابه‌های خنثای فقیر از کربنات و بیکربنات هستند، حاوی یون‌های  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{Mg}^{+2}$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Ca}^{+2}$  هستند.

تکامل شورابه با انحلال و هوازدگی شیمیایی آغاز می‌شود. سیر تکامل شورابه با جنس برونزدهای سنگی پیرامون، واکنش با آب‌های موجود، و ویژگی‌های آنها ارتباط دارد [۱]. جنس برونزدهای سنگی می‌تواند نوع تکامل شورابه و میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آن را تحت تاثیر قرار دهد. قابلیت انحلال در سنگ‌های مختلف متفاوت است. تبخیری‌ها بیشترین

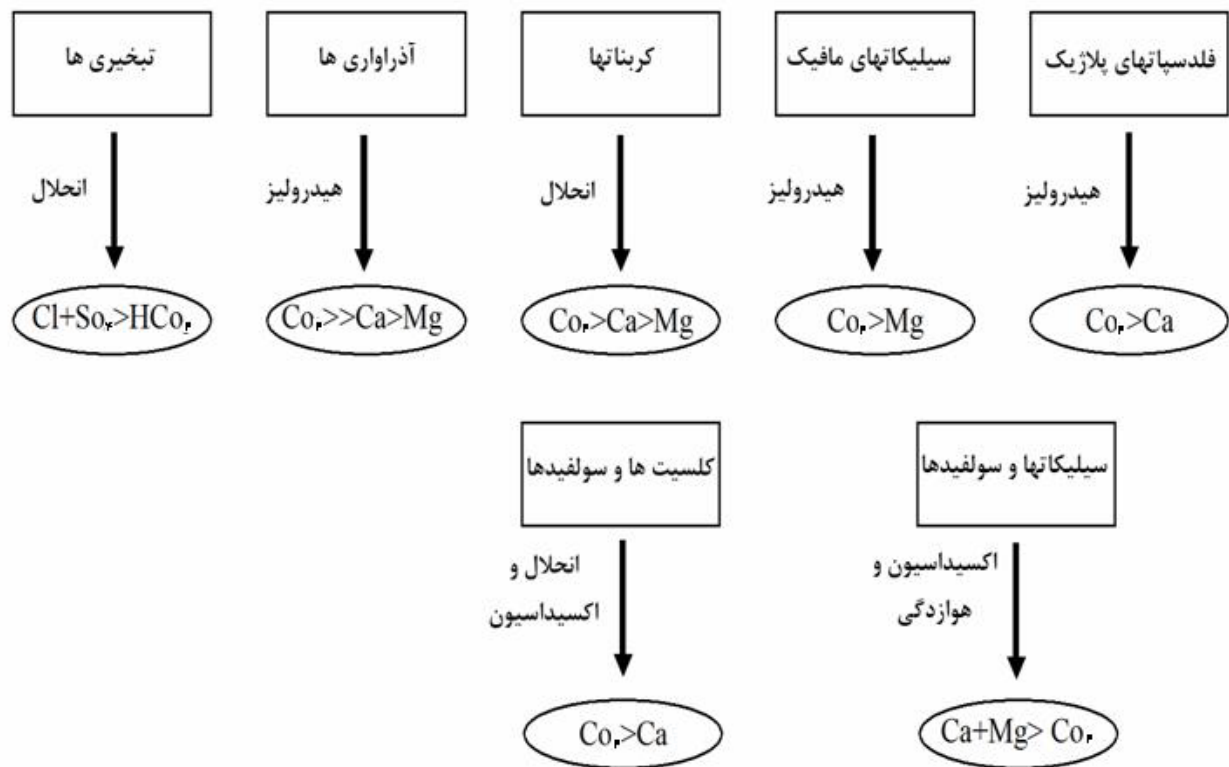
هوازگی، سولفیدهای موجود در خاستگاه نیز به صورت محلول در آیند، نسبت بالا معکوس شده و چنانکه در شکل ۲- دیده می‌شود، در بخش بالا  $Ca^{+2}+Mg^{+2} > Co_3^{-2}$  و در اثر انحلال سولفیدها  $Ca^{+2}+Mg^{+2} > Co_3^{-2}$  خواهد شد که عامل تعیین کننده مهمی در تکامل شورابه‌هاست [۱].

بنابراین چنانکه در همه نمودارها دیده می‌شود، در اثر تکامل شورابه، نخست کانی‌های گروه کربناتی ( $HCO_3^- + Co_3^{2-}$ )، و سپس سولفات‌ها ( $SO_4^{2-}$ )، و در پایان کلریدها ( $Cl^-$ ) نهشته می‌شوند. لذا در توالی تکاملی کانی‌شناسی، کانی‌های تبخیری را نیز می‌توان بر حسب فراوانی کانی‌ها، میزان تکامل شورابه اولیه تفسیر کرد.

میزان و سنگ‌های آذرین اسیدی کمترین مقدار را در شرایط یکسان نشان می‌دهند (شکل ۲-). در اثر هوازگی شیمیایی تبخیری‌ها، میزان  $Cl+SO_4^{-2}$  بیشتر از  $HCO_3^-$  خواهد بود، به عبارتی کلرید و سولفات بیشتری از کربنات در محلول وجود خواهد داشت. در صورتیکه اگر سنگ‌های مافیک هیدرولیز شوند، فاز کربناتی بیشتری از  $Mg^{+2}$  خواهیم داشت ( $Co_3^{+2} > Mg^{+2}$ ) (شکل ۲-). لذا با تفاوت جنس پروندهای سنگی، نوع نمک‌های موجود در شورابه متفاوت خواهد بود که موجب اختلاف در نسبت  $\frac{Hco3}{Ca + Mg}$  اولیه در محلول می‌شود که عامل مهمی در مسیر تکامل شورابه محسوب می‌شود [۱]. حتی در صورتیکه در مراحل بعدی در اثر انحلال، اکسایش و

جدول ۱ ترکیب شیمیایی و نوع شورابه‌ها اقتباس از اگستر و هاردی (۱۹۷۸).

انواع شورابه‌های مشتق شده	ترکیب شیمیایی اصلی	انواع آبهای درونی	حوضه تبخیری
شورابه‌های دریایی $Na-K-Mg-Cl-SO_4$	$Na-K-Mg-Ca-Cl-SO_4$	آب دریا	دریایی
الف) شورابه‌های قلیایی $Na-K-CO_3-Cl-SO_4$ ب) شورابه‌های خنثی $Na-K-Mg-Cl-SO_4$	$Na-K-Mg-Ca-HCO_3-Cl-SO_4$	جوی	غیردریایی
شورابه‌های کلسیم-کلر $Na-K-Mg-Ca-Cl$	$Na-K-Mg-Ca-Cl-SO_4$	گرمابی	
(؟) شبیه به گرمابی	(؟)	دیاژنتیک	
الف) آبهای سولفات اسیدی ب) آبهای سولفات - کلر اسیدی $SiO_2-Al-Fe-NH_4-Na-K-Mg-Ca-SO_4-Cl$	$Na-K-Mg-Ca-HCO_3-Cl-SO_4$ $+SiO_2-Al-Fe-NH_4-H$	ولکانوژنیک	
	مخلوط هر یک از انواع بالا	مخلوط	



شکل ۲ رابطه بین خاستگاه و ترکیب شورابه اکتباس از جونز و دکامپو (۲۰۰۳).

نتایج تجزیه شورابه‌ها در نمودار اسپنسر [۳] نیز وارد شدند (شکل-۳ب)، و نشان می‌دهد که مکان نمونه‌ها روی نمودار اسپنسر بیشتر در محدوده  $Cl^-$  قرار گرفته است. به عبارتی پس از ته‌نشست کلسیت و تشکیل و تخلیه آن، محلول از یون‌های کربنات  $CO_3^{2-}$  به سمت ته‌نشست، سولفات‌ها روند تکاملی خود را طی کرده‌اند، چنین حالتی در دره مرگ Tlue spring آمریکا نیز گزارش شده است [۱،۳]. در بررسی کانی‌شناسی شورابه‌ها نیز وجود هالیت به همراه باسانیت، ژپس و انهیدریت حاکی از چنین شرایطی است. از این نظر، پلازای ساغند جزء شورابه‌های کلریدی  $Cl^-$  محسوب می‌شود که می‌توان چنین حالتی را در دریاچه نمکی بزرگ آمریکا [۱] نیز مشاهده کرد البته دریاچه‌های نمکی دیگر با شورابه‌های متفاوت نیز در این شکل نشان داده شده‌اند.

در نمودار  $So_4^{2-} - HCo_3^- + Co_3^{2-} - Mg^{+2}$  نیز داده‌ها وارد شده‌اند (شکل-۳ج). به عقیده اسپنسر و همکاران [۳] در نخست کلسیت نهشته می‌شود، و در صورتیکه نسبت  $Mg^{+2}/Ca^{+2}$  در شورابه زیاد باشد کربنات منیزیم آبدار به وجود

#### بررسی ژئوشیمی آب و تکامل شورابه‌های پلازای ساغند

نتایج به دست آمده از نمونه‌های برداشت شده در جدول ۲ ارائه شده‌اند. بنابراین نتایج، بیشترین فراوانی یون‌های موجود در شورابه‌ها به آنیون کلر ( $Cl^-$ ) با بیشینه  $41828 \text{ me/L}$  وابسته به نمونه  $A_{21}$  و کمینه  $4982 \text{ me/L}$  وابسته به نمونه  $A_{10}$  مربوط است. پس از کلر کاتیون سدیم ( $Na^+$ )  $25538 \text{ me/L}$  و آنیون سولفات ( $So_4^{2-}$ ) با بیشینه  $21482 \text{ me/L}$  در نمونه  $A_{21}$  فراوانترین یون‌ها به حساب می‌آیند، و سختی کل  $53829 \text{ me/L}$  است.

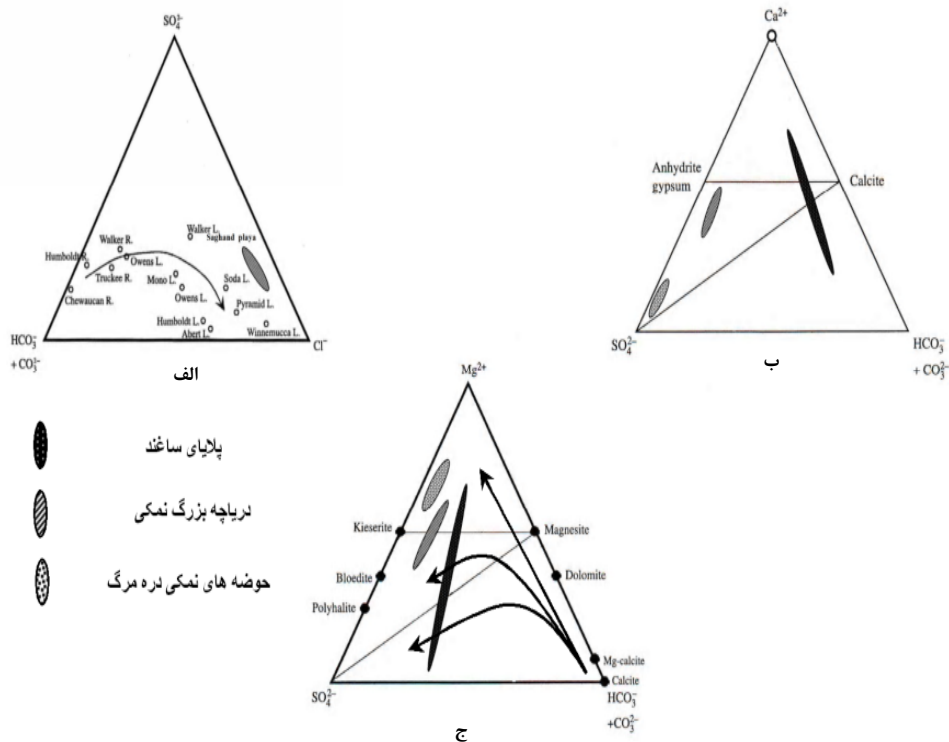
به منظور بررسی ژئوشیمی آب شورابه‌های پلازای ساغند، نتایج به دست آمده به صورت نمودار  $So_4^{2-} - HCo_3^- + Co_3^{2-} - Mg^{+2}$  با چند دریاچه نمکی مهم مقایسه شده‌اند. چنانکه دیده می‌شود مکان نمونه‌ها در نمودار بیشتر نزدیک به رأس  $Cl^-$  واقع شده است. این امر نشان دهنده تکامل بالای شورابه‌های پلازای ساغند است (شکل-۳الف). چنانکه در این نمودار دیده می‌شود، پلازای ساغند دارای روند تکاملی مشابه دریاچه‌های نمکی پیرامید و سودا از دریاچه‌های نمکی مهم آمریکاست [۱].

نمودار شورابه از  $Ca^{+2}$  نسبتاً بالایی برخوردار بوده، و در اثر تکامل به سمت رأس  $SO_4^{-2}$  حرکت می‌کند و کانی‌های سولفات‌ها نظیر ژپس و سولفات‌های منیزیم‌دار نهشته می‌شوند. چنین شرایطی در دریاچه نمکی بزرگ آمریکا نیز مشاهده می‌شود. لذا می‌توان گفت که پلایای ساغند جزء دریاچه‌های نمکی با شورابه‌های تکامل یافته و از نوع کلریدی Cl محسوب می‌شود.

می‌آید، و در اثر ادامه روند تکاملی دولومیت و سپس مگنیزیت و هونتیت نهشته می‌شوند. بسته به میزان  $Ca^{+2}$  اولیه محلول، روند تکاملی شورابه متفاوت خواهد بود، به طوریکه با توجه به میزان  $Ca^{+2}$ ،  $Mg^{+2}$  و  $SO_4^{-2}$  تکامل شورابه به سمت هر یک از رئوس حرکت کرده و کانی‌های مشخصی نهشته می‌شوند. با توجه به موقعیت نشان داده شده برای پلایای ساغند، در این

جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیایی شورابه‌های پلایای ساغند به روش فلورسانسی پرتو ایکس (XRF).

SO <sub>4</sub> (me/l)	Mg(me/l)	Ca(me/l)	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> (me/l)	Cl(me/l)	Na(me/l)	نمونه
۶۹۹,۴۴	۱۴۰۲,۸۹	۱۰۳۶,۷۴	۲۸	۱۹,۲۵۶	۱۱,۷۶۰	۱A
۶۹۹,۴۴	۱۹۱۱,۳۶	۱۲۵۵	۳۴	۲۳,۳۲۶	۱۴,۲۴۶	۲A
۷۹۹,۳۶	۱۵۸۹,۴۱	۱۰۱۴,۲۷	۲۷	۱۸,۸۴۲	۱۱,۵۱۰	۳A
۱۰۹۹,۱۲	۹۰۳,۳۴۷	۴۳۷,۹۴۸	۱۲	۸,۱۲۲	۴,۹۶۰	۴A
۱۰۹۹,۱۲	۱۱۰۳,۲۶	۴۴۶,۵۰۷	۱۲	۸,۲۹۱	۵,۰۶۲	۵A
۸۴۹,۳۲	۱۳۴۰,۳۹	۵۰۰,۷۱۶	۱۴	۹,۲۹۵	۵,۶۷۵	۶A
۱۲۹۸,۹۶	۲۶۹۳,۱۷	۶۳۳,۳۸۴	۱۷	۱۱,۷۶۷	۷,۱۸۵	۷A
۲۲۷۳,۱۸	۱۵۴۵,۷۶	۴۳۹,۳۷۵	۱۲	۸,۱۶۱	۴,۹۸۳	۸A
۵۲۹۵,۷۶	۲۰۰۳,۳۷	۷۷۹,۹۶۱	۲۱	۱۴,۴۸۲	۸,۸۴۲	۹A
۳۳۹۷,۲۸	۱۸۲۵,۵۴	۲۶۸,۵۴۶	۷	۴,۹۸۲	۳,۰۴۲	۱۰A
۵۷۴۵,۴	۹۸۸,۵۹۲	۱۸۷۹,۸۲	۵۱	۳۴,۹۳۱	۲۱,۳۲۷	۱۱A
۲۱۴۸۲,۸	۱۱۳۷,۹۹	۲۱۰,۷	۵۷	۳۹,۱۶۹	۲۳,۹۱۴	۱۲A
۱۴۱۳۸,۷	۱۱۰۲,۷۷	۱۰۷۹,۸۹	۲۹	۲۰,۰۵۹	۱۲,۲۴۷	۱۳A
۹۱۶۷,۶۶	۱۸۷۳,۶۶	۸۵۳,۷۸۵	۲۳	۱۵,۸۵۷	۹,۶۸۲	۱۴A
۲۶۹۷,۸۴	۳۳۲۹,۶۳	۶۰۳,۰۷	۱۶	۱۱,۲۱۰	۶,۸۴۴	۱۵A
۶۹۹,۴۴	۱۰۴۷,۷	۱۰۱۰,۷	۲۷	۱۸,۷۷۶	۱۱,۴۶۴	۱۶A
۱۴۴۸,۸۴	۸۲۷,۹۴۴	۸۲۱,۶۸۸	۲۲	۱۵,۲۶۲	۹,۳۱۸	۱۷A
۶۷۴,۴۶	۱۲۱۳,۳۹	۱۱۰۵,۲۱	۳۰	۲۰,۵۴۲	۱۲,۵۴۲	۱۸A
۱۱۴۱۵,۹	۹۴۷,۹۹۳	۲۱۶۶,۵۶	۵۸	۴۰,۲۶۶	۲۴,۵۸۴	۱۹A
۹۴۱۷,۴۶	۹۸۴,۷۰۲	۲۱۱۴,۱۳	۵۷	۳۹,۲۹۹	۲۳,۹۹۴	۲۰A
۱۳۹۱۳,۹	۱۱۴۵,۹۳	۲۲۵۰,۳۷	۶۱	۴۱,۸۲۸	۲۵,۵۳۸	۲۱A



شکل ۳ الف) روند تکاملی شورابه که با پیکان نشان داده شده و موقعیت پلایای ساغند. ب) مثلث اسپنسر و همکاران (۱۹۹۰) و موقعیت پلایای ساغند در مقایسه با دریاچه بزرگ نمکی و حوضه های موجود در دره مرگ. ج) روند نهشته شدن کانی های تبخیری و مقایسه آن با دریاچه بزرگ نمکی و حوضه های موجود در دره مرگ. اقتباس از جونز و دکامپو (۲۰۰۳) و اسپنسر و همکاران (۱۹۹۰) با اندکی تغییرات.

هالیت، تاکی هیدریت، بازانیت، دولومیت: A<sub>3</sub>

هالیت، تاکی هیدریت: A<sub>4</sub>

این تغییرات نشان می دهد که شورابه به سمت مرکز پلایا سیر تکاملی داشته است. از طرفی با توجه به جنس برونزدهای سنگی پیرامون پلایا، نوع کانی های تبخیری نهشته شده نیز متفاوت است، به طوریکه در باختر دریاچه که بیشتر نهشته های نسوژن حاوی ژینس برنزد دارد، به علت وجود رابطه  $CO_3^{2-} > Cl^- + SO_4^{2-}$  در نمونه، A<sub>15</sub> بیشتر نهشته های کلریدی و سولفاتی است. این املاح شامل هالیت، باسانیت، بیچوفیت، و سیلویت است، ولی در حاشیه شمالی پلایا که بیشتر سنگ های آذرین مافیک برونزد دارند، کانی های کربناتی شامل کلسیت، دولومیت، مگنزیت و ناترون در ترکیب شورابه تشخیص داده شده اند.

به منظور بررسی روند تکاملی شورابه و سیر احتمالی آن با استفاده از نموداری که توسط اگستر و هاردی [۶] ارائه شد (شکل ۵-د)، و شکل گیری احتمالی هر کانی با توجه به شرایط موجود مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بررسی های انجام شده، پس از نهشته شدن کانی های کربناتی، به علت تخلیه محلول از  $CO_3^{2-}$  در صورت وجود  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$  به اندازه

نمونه ها برای تعیین ویژگی های کانی شناسی به روش پراش پرتو ایکس (XRD) مورد بررسی قرار گرفته اند. چنانکه در شکل ۴ دیده می شود، کانی های کلریدی نظیر هالیت (NaCl) و تاکی هیدریت ( $CaMg_2Cl_6 \cdot 12H_2O$ ) فراوانترین کانی های تبخیری در شورابه های پلایای ساغندند که با توجه به کلریدی بودن شورابه، چنین ترکیب کانی شناسی نیز عادی است. علاوه بر هالیت می توان به کانی های سولفاتی مانند باسانیت ( $CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$ )، میرابیلیت ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ )، انیدریت ( $CaSO_4$ ) و ژینس ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) و کانی های کربناتی مانند کلسیت ( $CaCO_3$ )، دولومیت ( $CaMg(CO_3)_2$ ) و مگنزیت ( $MgCO_3$ ) اشاره کرد.

در بررسی های انجام گرفته مشخص شد که از حاشیه به مرکز پلایا، از میزان کانی های کربناتی و سولفاتی کاسته شده و بر میزان کانی های کلریدی افزوده می شود، به طوریکه در مقطع طولی برداشت شده از حاشیه به مرکز پلایا که شامل نمونه های A<sub>1</sub> تا A<sub>4</sub> است، روند تغییرات ترکیب کانی شناسی به صورت زیر است:

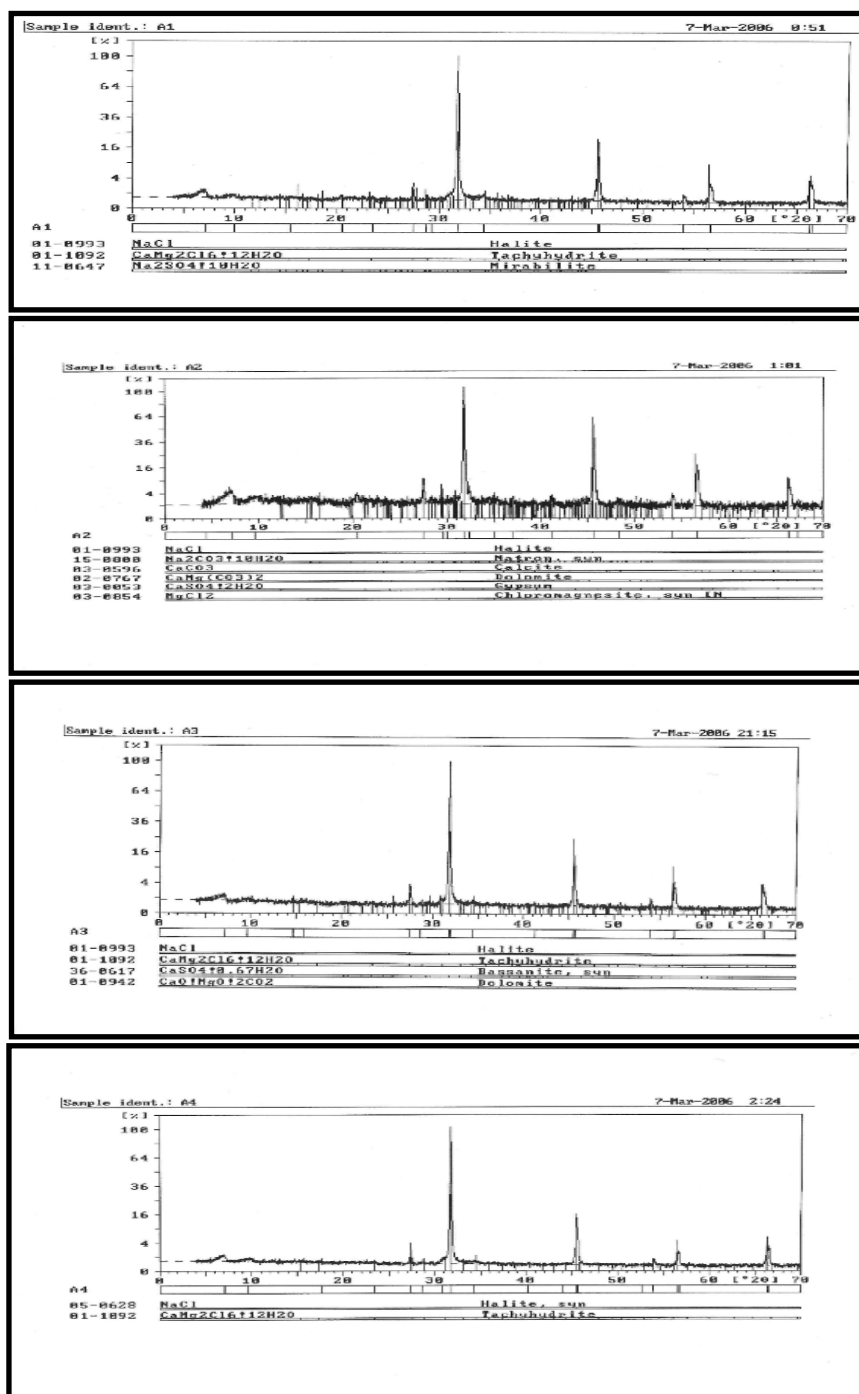
هالیت، تاکی هیدریت، میرابیلیت: A<sub>1</sub>

هالیت، ناترون، کلسیت، دولومیت، ژینس، کلرومگنزیت: A<sub>2</sub>

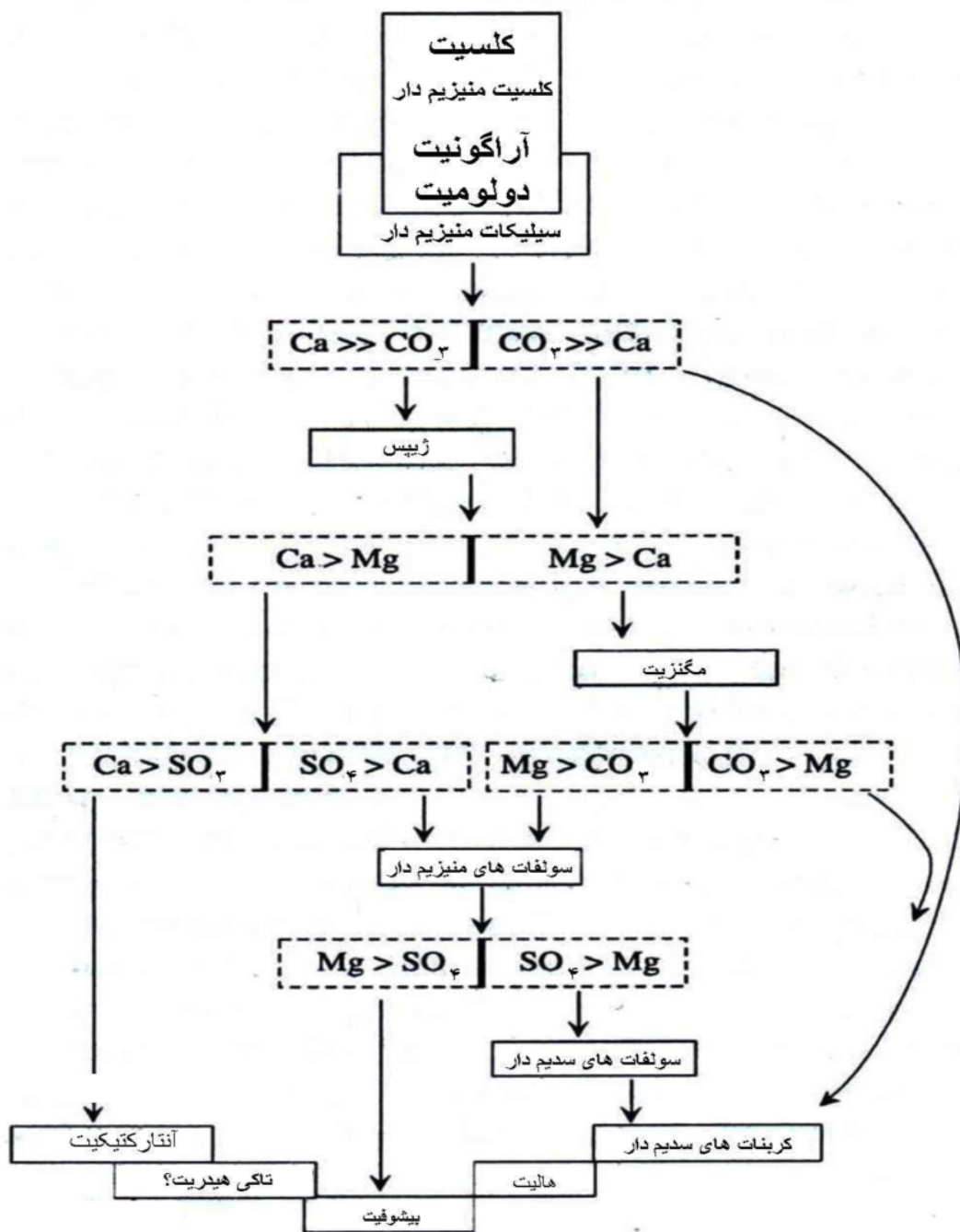


در شورابه، ناپایداری این کانی در دمای بالاتر از ۴-۶ درجه سانتیگراد است [۲۰] به طوری که میرابیلیت در حوضه‌های بسته معمولاً دیده نمی‌شود زیرا دوباره حل شده و به شکل کلوریت و هالیت دیده می‌شود [۲۱]. در پایان نیز با افزایش میزان Cl در محلول، کانی‌های کلریدی نظیر هالیت ته‌نشست شده‌اند.

کافی، ژیبس و سولفاتهای منیزیم‌دار برجای گذاشته شده‌اند. افزایش دما و از دست دادن مقداری آب، موجب تبدیل ژیبس به باسانیت، و در ادامه این روند انهدریت تشکیل شده است. در اثر کمبود این عناصر و بالا رفتن میزان سدیم در شورابه کانی میرابیلیت بر جای گذاشته می‌شود که علت عدم وجود آن



شکل ۴ تعدادی از نمودارهای پراش پرتو ایکس (XRD) شورابه‌های پلایای ساغند که کانی‌های غیر رسی با استفاده از قله‌های استاندارد شناسایی و کانی‌های رسی کربنات‌ها، مواد آلی و ... که در شناسایی آنها ایجاد مشکل می‌کنند با شستشو با اسید استیک ۵٪ نرمال به مدت ۱۲ ساعت و آب اکسیژنه ۳۰٪، تیمار شدند.



شکل ۵ روند نهشته شدن کانی‌های تبخیری در پلایا، اقتباس از جونز و دکامپو (۲۰۰۳).

**برداشت**

پلایای ساغند در ایران مرکزی و در یک فروافتادگی زمین-ساختی تشکیل شده است. بررسی‌های ژئوشیمی آب و کانی-شناسی شورابه‌های پلایا نشان داد که بیشترین تمرکز یون‌های موجود در شورابه مربوط به یون‌های کلر، سولفات، سدیم،

پتاسیم و منیزیم است. از این نظر شورابه در گروه شورابه‌های Na-K-Mg-Cl-So4 یا شورابه‌های جوی قلیایی رده‌بندی می‌شود. فراوانترین کانی‌های موجود در شورابه‌ها شامل کانی-های هالیت، ژیپس و باسانیت است. بررسی تکامل شورابه‌های پلایای ساغند نشان داد که پیرامون پلایا نخست کانی‌های گروه

[4] HARDIE, L. A., SMOOT, J. P & EUGSTER, H. P. "Saline lakes and their deposits", a sedimentological approach. In Modern and Ancient Lake Sediments (eds. A. Matter and M. E. Tucker). International association of sedimentologists, Oxford (1978) 7-41

[5] SMOOT, J. & LOWENSTEIN, T. "Depositional environments of non marine evaporate", In Evaporates, Petroleum, and Mineral Resources: Developments in sedimentology (ed. J. Melvin). Elsevier, New York, Vol. 50 (1991) 189-384.

[6] EUGESTER, H.P. & HARDIH, L.A. "Saline Lakes", In: Lerman (ed), Lakes; Chemistry, Geology, Physics. - Springer- Verlag, New York (1978) 237-293.

[7] COOKE, R.U., BRUSDEN, D., DOORNKAMP, J.C., AND JONES, D.K.C, "Desert Geomorphology", Ucl Press, (1993) 526.

[8] TORSHIZIAN, H., MOUSSAVI-HARAMI, R. AND MOLLAI, H. "The surrounding lithology on the concentration of Lithium in the brine of Bajestan Playa South of Khorassan province, East of Iran", (abstract). - Proceeding of 32<sup>nd</sup> International Geological Congress, Florence- Italy (2004) 40.

[۹] سالنامه آماری کشوری، مرکز آماری ایران، (۱۳۷۳) ۷۰۵ص.

[۱۰] احمدی، ح، "ژئومورفولوژی کاربردی"، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۶۵) ۵۷۵ ص.

[۱۱] درویش زاده، ع، "زمین شناسی ایران"، انتشارات امیر کبیر تهران، (۱۳۷۰) ۹۰۰ ص.

[۱۲] اشتوکلین، جی و ستوده نیا، ع، "فرهنگ چینه شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی ایران، تهران، (۱۳۷۰) ۴۱۰ ص.

[۱۳] نوگل سادات، م.ع.ا و هو شمنندزاده، ع.ر، "تقشه سائز موتکتونیک ایران مقیاس ۱:۱۰۰۰/۰۰۰"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور. (۱۳۷۲).

[۱۴] ترشیزیان، ح.ا و موسوی حرمی، ر "رسوب شناسی، ژئوشیمی و هیدروشیمی پلایای زرین در ایران مرکزی"، مجله علوم زمین، شماره ۳۰-۲۹، (۱۳۷۷) ۱۶-۲ ص.

کربناتی و به سمت مرکز پلایا کانی‌های گروه سولفات‌ی و در پایان کلریدها ته‌نشین شده‌اند که از این نظر پلایای ساغند در رده دریاچه‌های نمکی با شورابه تکامل یافته قرار می‌گیرد. از طرفی با توجه به محل نهشته شدن کانی‌های تبخیری در پلایا مشخص شد که نوع کانی‌ها تحت تاثیر جنس برونزدهای سنگی پیرامون پلایا هستند. مقایسه روند تکاملی شورابه‌های پلایای ساغند با تعدادی از دریاچه‌های نمکی بزرگ ایالات متحده نشان می‌دهد که این روند در پلایای ساغند مشابه دریاچه نمکی بزرگ در حوضه دره مرگ ایالت متحده است. امید است اطلاعات ارائه شده بتواند به عنوان ابزاری در پی‌جویی‌های کانی‌های تبخیری و عناصر کمیاب مورد استفاده قرار گیرند.

#### تشکر و قدردانی

بدینوسیله بر خود لازم می‌دانم از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد که امکان انجام این پروژه تحقیقاتی را با عنوان طرح پژوهشی فراهم نمود تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از همکاران محترم آقایان دکتر ملایی، مهندس جوانبخت، و مهندس کتابداری به خاطر مشاوره علمی و همکاری صمیمانه‌شان سپاسگزارم.

#### مراجع

[1] JONES, B.F. AND DEOCAMPO, D.M.: "Geochemistry of Saline Lakes", In Treatise on Geochemistry vol. 5 (Ed, Drever, J.I.). Surface and Ground Water Weathering, and Soils. - Elsevier (2003) 393-424.

[2] ROSEN, M. R. "the importance of ground water in playas", a review of playa classifications and the sedimentology and hydrology of playas. In Paleoclimate and Basin Evolution of Playa Systems. Special paper 289 (ed. M. R. Rosen). Geological society of America, Boulder (1994) 1-18.

[3] SPENCER R. J., LOWENSTEIN T. K., CASAS E., AND PENGXI Z. "Origin of potash salts and bring in the Qaidam Basin, China", In Fluid-Mineral Interaction: A Tribute to H. P. Eugster (eds R. J. Spencer and L-M. Chou). Geochemical Society, San Antonio, (1990) 395-408.

*evolution of closed-basin brines*", Spec. Publ. Min. Soc. Am 3, (1970) 173-290.

[19] WHITE, D.E., "*Diverse origin of hydrothermal fluids*", Econ. Geology, V.69, (1974) 954-973.

[20] TEKIN, E., AYYILDIZ, T., GUNDOGAN, I., AND ORTI, F., "*Modern halolites (halit oolites) in the Tuz Golu, Turley*", Sedimentary Geology, Volume 195, (2007) 101-112.

[21] INGEBRITSEN, S, E., AND SANFORD, W, E., "*Groundwater 'in Geologic Processes*", Cambridge University Press, England, (1998) 341.

[15] BRATISH, O., "*Salt Deposits, Their Origin and Composition*", New Yourk, Sriner-Verlag, (1971) 297.

[16] RILEY, J. P., AND CHSTER, R., "*Introduction to Marine Chemistry*", New York, Academic Press. (1971) 465.

[17] HOLLAND, H.D., "*The geologic history of sea water-an attempt to solve the problem*", Geochemical et Cosmoechim. Acta, V.36, (1972) 639-651.

[18] HARDIE L.A. AND EUGSTER H.P. "*The*