



کانی‌شناسی تبخیری‌های توالی کواترنری و بررسی تحولات شیمیایی شورابه در پلایای میقان اراک

لیلا عبدی*، حسین رحیم‌پوربناب

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۰/۱۲/۶، نسخه نهایی: ۹۱/۷/۳۰)

چکیده: در این مقاله رسوب‌ها و شورابه‌های برداشت شده از حوضه رسوبی پلایای میقان واقع در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهر اراک مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های تهیه شده از گمانه‌ها و رسوب‌های سطحی از بستر پلایا، مورد بررسی‌های کانی‌شناسی با پرتو ایکس (XRD) و رسوب‌شناسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که رسوب‌های بستر دریاچه از نوع شیمیایی (تبخیری) و آواری (کوارتز، مسکویت و کانی‌های رسی) تشکیل شده‌اند. کانی‌های تبخیری شامل کلسیت، ژپس، هالیت، گلوبریت، تناردیت، پلی‌هالیت و ناترون و به میزان بسیار اندک دولومیت، منیزیت، باسانیت و سیلویت هستند. بررسی نمونه‌های سطحی، بیانگر ته‌نشست کانی‌های کربناتی و سولفاتی در حاشیه‌ی حوضه و کانی‌هایی با قابلیت انحلال بالا نظیر هالیت در مرکز پلایا است. به عبارت دیگر نوعی منطقه‌بندی کانی‌شناسی در این پلایا قابل تشخیص بوده و کانی‌های تبخیری موجود در آن براساس قوانین ترمودینامیکی به ترتیب از حاشیه‌ی حوضه به مرکز آن نظام یافته‌اند و تقریباً از طرح چشم‌گاو پیروی می‌کنند. بررسی چگونگی تحولات شیمیایی شورابه در رابطه با ته‌نشست کانی‌های تبخیری، بیانگر تکامل بالای شورابه‌های پلایای میقان تا حد تشکیل کانی‌های کلریدی، نمک‌های تلخ و شورابه نوع Na-Cl-SO_4 است.

واژه‌های کلیدی: کانی تبخیری؛ تجزیه پراش پرتو ایکس (XRD)؛ سولفات سدیم؛ پلایای میقان؛ اراک.

مقدمه

اصلی مواد معدنی صنعتی از جمله ژپس، سولفات‌های سدیم و منیزیم، کربنات‌های سدیم، بر، لیتیم و مواد معدنی دیگر را تشکیل می‌دهند [۷]. بنابراین به دلیل اهمیت علمی و اقتصادی این کانی‌ها، کانی‌شناسی تبخیری‌ها و فرایندهای هیدروشیمیایی وابسته به شکل‌گیری آنها مورد توجه بسیاری از زمین‌شناسان قرار گرفته است [۸-۱۲].

در پلایای میقان میزان کانی‌های تبخیری نسبت به آواری دارای فراوانی بیشتری بوده و این کانی‌ها از نظر اقتصادی، تعیین آب و هوای گذشته و محیط رسوبی منطقه اهمیت زیادی دارند. سولفات سدیم یکی از ترکیبات شیمیایی با ارزش اقتصادی فراوان است که یکی از محل‌های تشکیل آن مناطق

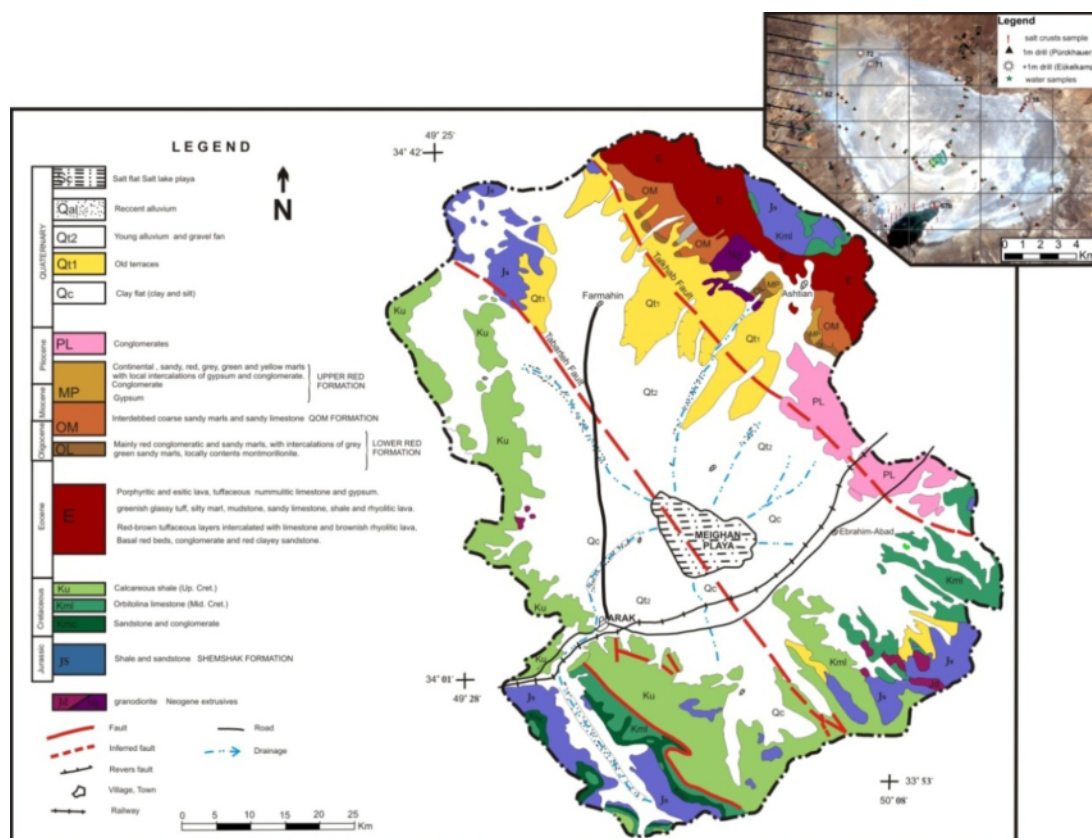
کانی‌های تبخیری از جمله خصوصیات و عوارض شاخص در مناطق بیابانی بوده و نشان‌دهنده‌ی شرایط هیدروژئوشیمیایی در زمان نهشت و رسوبگذاری خودند. انباشت کانی‌های تبخیری مختلف می‌تواند، منعکس کننده‌ی فرسایش و هوازدگی شیمیایی سنگ‌های با لیتولوژی‌های مختلف، ترکیب و اختلاط آب‌های جاری از منابع متعدد و فرایندهای فیزیکی و هیدروشیمیایی باشد [۱]. بررسی انباشت کانی‌های تبخیری در سطح وسیعی به منظور ردیابی و کشف فازهای نمکی خشک در بازسازی محیط‌های قدیمی و تعیین آب و هوای گذشته [۲-۶] در حال استفاده است. کانی‌های تبخیری، و نیز منابع

شده است، این دشت از دهانه‌ی رودهای فصلی کهرود، امان‌آباد، آشتیان، فرمهین، ابراهیم‌آباد و غیره تا ناحیه باتلاقی مرکز دشت با شیب نسبتاً زیاد گسترده شده است (شکل ۱). آب موجود در این دریاچه‌ی تبخیری بیشتر از طریق آب‌های زیرزمینی و مقداری نیز حاصل سیلاب‌های ناگهانی است که با خود مقادیر زیادی مواد تخریبی وارد دریاچه کرده و باعث تغییر ترکیب شیمیایی شورابه‌ها شده است. اقلیم منطقه‌ی مورد بررسی براساس نقشه‌ی بیوکلیماتیک ایران بنابر روش آمبرژه، نیمه‌خشک و سرد و براساس روش دومارتن، نیمه‌خشک است [۱۴]. میانگین بیشینه دمای سالیانه منطقه، ۲۰/۷۵ درجه‌ی سانتیگراد و میانگین بارندگی سالیانه ۳۴۱/۷ میلیمتر و بیشترین آن در ماه‌های اسفند و فروردین است. میانگین دمای سالانه ایستگاه اراک ۱۳/۹ درجه‌ی سانتیگراد و اختلاف دمای ۶۹ درجه‌ی سانتیگراد از ویژگی‌های این منطقه است. تیرماه با میانگین دمای بیشینه‌ی ۳۵/۷ درجه‌ی سانتیگراد، گرمترین ماه و دی‌ماه با دمای میانگین دمای کمینه‌ی ۵/۶- درجه‌ی سانتیگراد، سردترین ماه سال است [۱۵].

کویری است، که در کویر سیاه‌کوه یزد مورد بررسی قرار گرفته است [۱۳]. کویر میقان یکی از مهمترین معادن سولفات سدیم جهان را در اختیار دارد که ذخایر آن بیش از ۳۰ میلیون تن برآورده شده است. با توجه به این نکته و عدم بررسی کانی‌شناسی جامع و دقیق در منطقه، در این پژوهش، سعی شد تا نمونه‌های اخذ شده از رسوب‌های سطحی و عمقی از جنبه‌های مختلف، بخصوص کانی‌شناسی تبخیری‌ها مورد بررسی قرار گیرند. از آنجاکه، بخش قابل توجهی از ذخیره‌ی سولفات سدیم در شورابه‌های پلایا ذخیره شده است، تکامل شورابه‌ها در رابطه با کانی‌شناسی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

پلایای میقان در دشت اراک و در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی این شهر قرار دارد. دریاچه‌ی فصلی میقان، به‌وسعت ۱۰۸ کیلومتر مربع در بخش مرکزی این دشت و در گودترین ناحیه آن واقع شده است. این دریاچه تنها در فصول بارندگی پرآب است و در فصول خشک به‌صورت باتلاق و نم‌زار در می‌آید. ارتفاع متوسط کویر مورد نظر از سطح دریا ۱۶۷۵ متر است. دشت اراک با بلندی‌هایی به ارتفاع ۲۰۰۰-۳۰۰۰ متر محدود



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی حوضه رسوبی میقان و تصویر ماهواره‌ای که مسیرهای نمونه‌برداری در آن مشخص شده است.

استاندارد، نام کانی‌ها مشخص شد. به‌منظور بررسی کمی کانی‌ها از برنامه‌ی Auto Quan، محصول کشور آلمان استفاده شد. این مقادیر مطلق نبودند، ولی می‌توانند به‌صورت نسبی مورد استفاده قرار گیرند. دانه‌بندی رسوب‌ها به روش چگال سنجی آبگون‌ها، میزان کربنات کلسیم به روش برنارد و میزان کربن آلی به روش گرما دادن در آون با دمای 420°C محاسبه شد. ویژگی‌های دیگر رسوب‌ها شامل، pH به روش پتانسیل سنج، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به روش رسانا سنجی و سایر ویژگی‌های دیگر فیزیکی رسوب‌ها، شامل رنگ، اندازه‌ی ظاهری و کانی‌های موجود در رسوب‌ها پس از خشک شدن آنها، بررسی شدند.

به‌منظور بررسی چگونگی تکامل شیمیایی و ته‌نشست کانی‌ها، ۱۹ نمونه شورابه از محل برداشت رسوب‌ها جمع‌آوری شدند (شکل ۱). نمونه‌های شورابه پس از عبور از صافی، به‌منظور تعیین مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف، مورد آنالیزهای ژئوشیمیایی قرار گرفتند. مقادیر سدیم و پتاسیم، به روش نورسنجی شعله (Flame Photometry)؛ کلسیم و منیزیم، به روش جذب اتمی (Atomic Absorption)؛ کربن، به روش نیترات نقره؛ بی‌کربنات، به روش کلیایی سنجی و سولفات، به روش سنجش میزان کدر بودن (روش وزنی) تعیین شدند. برای تعیین EC و pH از یک دستگاه رساناسنج خودکار (Conductometer) و pH سنج استفاده شد.

بحث و برداشت

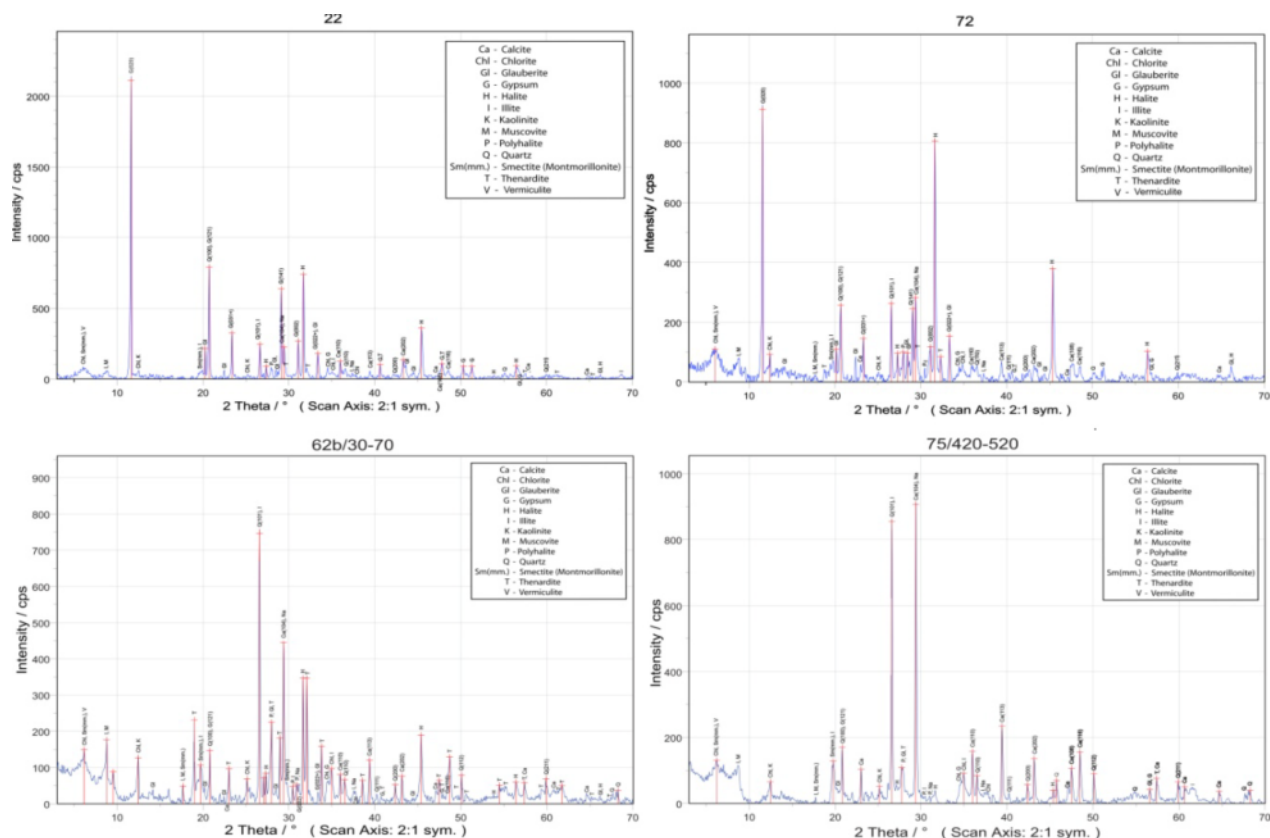
بررسی آنالیزهای پرتو ایکس حاکی از وجود تنوع زیادی از کانی‌های آواری و شیمیایی (تبخیری) در رسوب‌های پلایای میقان است، به‌طوری‌که از حاشیه حوضه به سمت مرکز، از میزان کانی‌های آواری کاسته شده و بر میزان کانی‌های تبخیری افزوده می‌شود. مهم‌ترین کانی‌های موجود در آنها عبارتند از: ژیپس، هالیت، کلسیت، گلوپریت، تناردیت، پلی‌هالیت، ناترون و به‌میزان بسیار ناچیزی کانی‌های دولومیت، منیزیت، سیلویت، باسانیت و کانی‌های تخریبی شامل کوارتز و کانی‌های رسی (شکل ۲، جدول ۱). سنگ‌ها و رسوب‌های تبخیری از نظر کانی‌شناسی بسیار متنوع‌اند. انواع مهم کانی‌های تبخیری را می‌توان در سه گروه مهم کربنات‌ها، سولفات‌ها و کلرورها بررسی کرد. اغلب این کانی‌ها به‌علت محلول بودن شدید آنها در آب و تأثیر هوازدگی، به‌ندرت در رخنمون‌های سطحی باقی می‌مانند.

از نظر تقسیم‌بندی ساختارهای ایران، منطقه‌ی مورد بررسی در مرز بین دو زون ایران مرکزی و سهند-سیرجان جای دارد، گسل تبرته مرز این دو پهنه‌ی ساختاری است (شکل ۱) [۱۶]. این موقعیت خاص باعث شده است تا منطقه‌ی مورد بررسی به‌عنوان یک فرو افتادگی میان مجموعه‌ی متنوعی از سنگ‌های رسوبی و دگرگونی وابسته به زون سهند-سیرجان در غرب و جنوب غربی، مجموعه سنگ‌های رسوبی و آذرین وابسته به زون ایران مرکزی در شمال، شمال-شرقی و شرق قرار گیرد. سنگ‌های یاد شده نقش اساسی در ترکیب کانی‌شناسی رسوب‌های منطقه‌ی مورد بررسی دارند [۱۷].

روش بررسی

به‌منظور بررسی کانی‌شناسی و رسوب‌شناسی محیط پلایای میقان، ۸۰ نمونه رسوب جمع‌آوری شدند. برای نمونه‌برداری از رسوب‌ها از دو نوع اگر (Auger) یا مته دستی استفاده شد؛ بدین ترتیب که نخست از مرکز پلایا به سمت حاشیه آن، در سه روند مشخص به‌وسیله‌ی اگر نوع Eijkelkamp (1m عمق) نمونه‌برداری به‌صورت سیستماتیک انجام شد (شکل ۱). هنگام نمونه‌برداری از رسوب‌هایی که دارای تغییر خواص ظاهری بودند نیز نمونه گرفته شد. تعداد ۷ گمانه به عمق حداکثر $5/2$ متر، در پلایا حفر شدند؛ به‌طوری‌که ۶ گمانه در حواشی پلایا و یک گمانه در داخل آن (در محل ورود پساب‌های شهر اراک) قرار داشتند. با توجه به ساختار رسوب‌ها و ویژگی‌های آنها، از نظر رنگ، دانه‌بندی و کانی‌شناسی ظاهری، از گمانه‌های حفر شده حدود ۳۱ نمونه رسوب، با اگر دستی نوع Purchauer (1m عمق) برداشت گردید (شکل ۱). بطور کلی تعداد ۵۳ نمونه از رسوب‌های سرتاسر پلایا، مورد آنالیز پرتو ایکس (XRD) قرار گرفتند.

برای بررسی کانی‌شناسی رسوب‌های، نمونه‌های مورد نظر با استفاده از آسیاب، به ذرات در حدود کوچکتر از 32 میکرون، پودر شدند، سپس به وسیله‌ی پراش‌سنج نوع SEIFERT XRD 3003 Theta/Theta با تابش مس و فیلتر نیکل که زاویه‌ی سنج آن با سرعت $0/4$ درجه در سه ثانیه و از $2\theta=3^{\circ}$ تا $2\theta=70^{\circ}$ تنظیم شده بود، در دانشگاه همبولت آلمان مورد بررسی قرار گرفتند. پس از بررسی پراش نگاشت‌ها و قله‌های حاصل، با محاسبه‌ی زاویه θ و استفاده از قانون براگ $d=\lambda/2\sin\theta$ ، با توجه به طول موج (λ) آنتی‌کاتد مس، فاصله شبکه‌ای کانی‌ها (d) معلوم و سپس با استفاده از کارت‌های



شکل ۲ چند نمونه از پراش نگارهای کانی‌های موجود در رسوب‌های سطحی (۱ متر) و عمقی پلایای میقان (۱ متر).

جدول ۱ کانی‌های تبخیری موجود در رسوب‌های پلایای میقان.

فرمول شیمیایی	کرینات‌ها
CaCO_3	کلسیت
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	دولومیت
MgCO_3	منیزیت
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	ناترون
$\text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	سولفات‌ها
Na_2SO_4	ژیپس
$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$	تناردیت
$\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	گلوبریت
$2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	باسانیت
NaCl	پلی‌هالیت
KCl	کلریدها
	هالیت
	سیلویت

کانی‌شناسی تبخیری‌های پلایای میقان

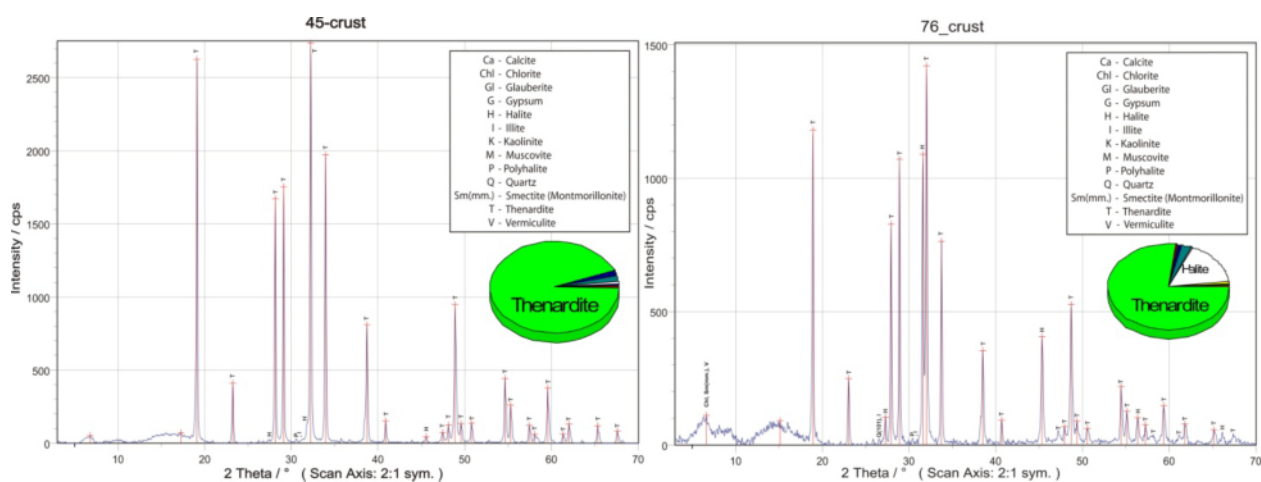
کربنات‌ها: به‌طور کلی در حوضه‌های بسته از جمله پلایاها و دریاچه‌های شور از حاشیه‌ی حوضه به سمت مرکز، ابتدا زون کربناتی، سپس زون سولفاتی و در بخش‌های مرکزی و عمیق‌تر، زون کلروره ایجاد می‌شود [۱۸، ۱۹]. کربنات‌ها به‌علت قابلیت انحلال کمتر نسبت به کانی‌های تبخیری دیگر، معمولاً در مراحل اولیه تکامل شورابه ته‌نشست می‌یابند. خاستگاه کربنات‌ها در رسوب‌های دریاچه‌ای و پلایاها ممکن است آواری، آندوژنیک و یا اتوژنیک باشد. کانی‌های کربناتی می‌توانند به‌صورت نهشت غیرآلی، غیرآلی بیولوژیکی و یا کاملاً به‌صورت نهشت آلی ایجاد شوند [۲۰، ۲۱]. در دریاچه‌های ابر شورابه‌ای (hypersaline) مانند پلایای میقان، غالباً کانی‌های کربناتی به‌صورت نهشت غیرآلی ایجاد می‌شوند، زیرا این آب‌ها نسبت به میکروارگانسیم‌ها فقیرند. بررسی کانی‌شناسی پراش‌های پرتو ایکس در رسوب‌های پلایای میقان نشان می‌دهد که کلسیت، کانی کربناته غالب در رسوب‌های این منطقه است و در سرتاسر رسوب‌های موجود در پلایا و در همه افق‌ها مشاهده می‌شود. این کانی نسبت به بقیه کانی‌ها نیز فراوانتر است به‌طوری‌که در رسوبات سطحی و هم در بخش‌های مختلف گمانه‌ها، به فراوانی قابل مشاهده است. کانی کلسیت در این منطقه به احتمال زیاد دارای دو خاستگاه تبخیری و آواری است. به‌دلیل وجود سازندهای آهکی فراوان در اطراف حوضه، کانی کلسیت موجود در پلایای ممکن است دارای خاستگاه آواری بوده و به‌صورت محلول نیز وارد حوضه شده و به صورت برجا نهشته شده باشند.

سولفات‌ها: در حوضه‌های بسته بعد از ته‌نشست کانی‌های کربناتی، به‌دلیل کاهش نسبت Ca/Na ، سولفات‌ها ته‌نشست می‌شوند. نتایج حاصل از آنالیزهای XRD روی رسوب‌ها حاکی از وجود درصد بالایی از کانی‌های سولفاتی در پلایای میقان است، این کانی‌ها شامل ژپس، تناردیت، گلوپریت و به میزان کم بلودیت و باسانیت است. بین کانی‌های سولفاتی، کانی‌های سولفات کلسیم ازجمله ژپس و انیدریت معمول‌ترین فازهای موجود در طبیعت هستند که براساس گرما، فشار و شوری آب در حوضه‌های رسوبی، می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند [۲۲، ۲۳]. ژپس معمولاً در دما و فشار پایین و شوری نسبتاً پایین آب، ولی انیدریت در دما و فشار بالا و شوری زیاد آب تشکیل می‌شوند. بنابراین در شرایط سطح زمین، ژپس از معمولی کانی‌های سولفات کلسیم است. ژپس فراوان‌ترین کانی سولفاتی موجود در رسوب‌های پلایای میقان است. با

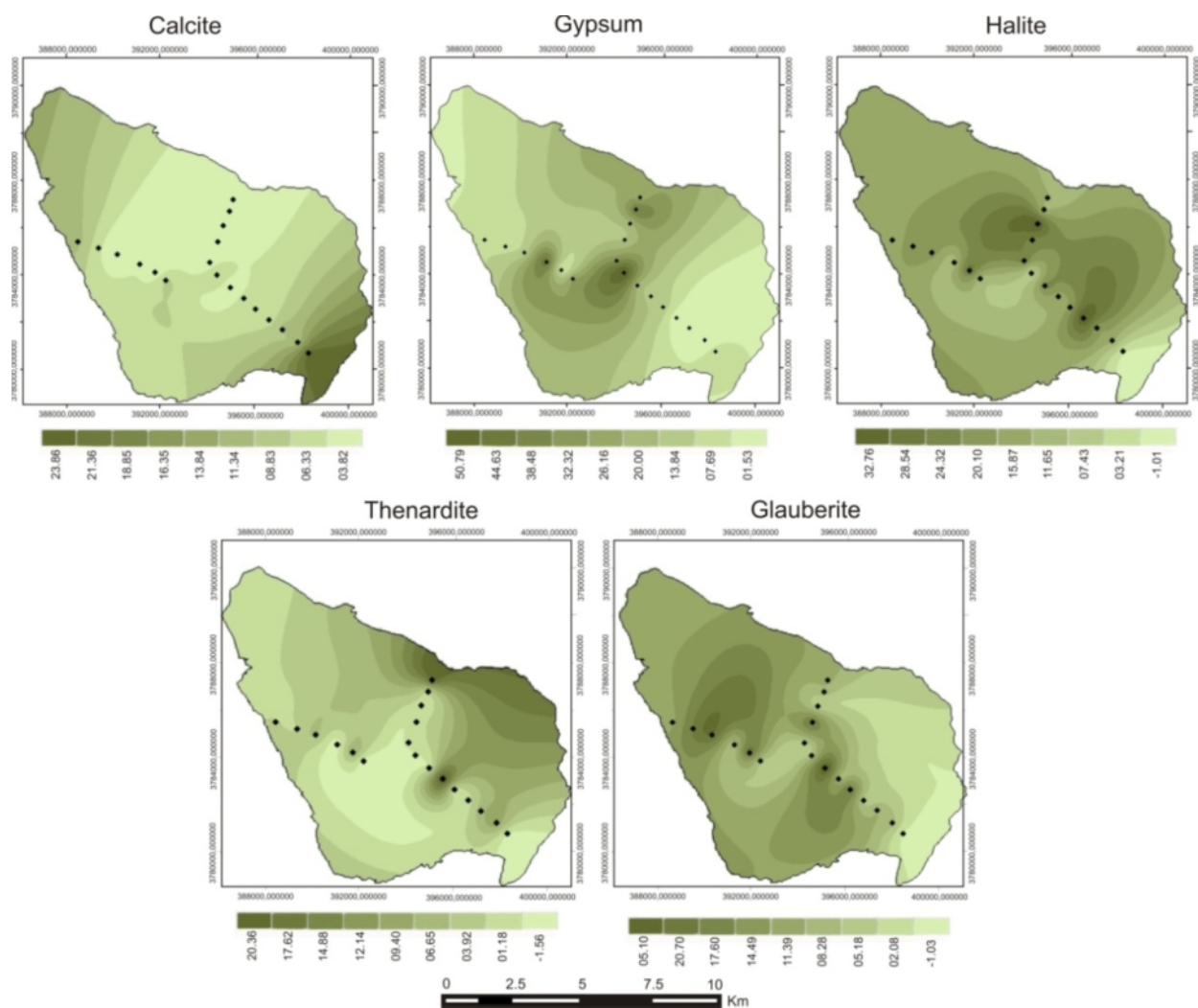
توجه به موارد ذکر شده و بالا بودن سطح آب زیرزمینی در منطقه، تشکیل کانی انیدریت بعید به‌نظر می‌رسد و بررسی‌های پرتو ایکس نیز این ادعا را ثابت می‌کند.

میرابلیت و تناردیت از یک ماده تشکیل شده‌اند که به ترکیب شورابه، دما و فعالیت آب وابسته‌اند، تشکیل شده‌اند. میرابلیت در دمای حدود صفر درجه‌ی سانتیگراد از شورابه‌های با شوری کل بین ۳۰ تا 70 ppt متبلور می‌شود [۲۴]. حضور $NaCl$ و Na_2CO_3 محلول در شورابه، دمای تبدیل میرابلیت به تناردیت را کاهش می‌دهد [۲۵]. بررسی کانی‌شناسی آنالیزهای پرتو ایکس در رسوب‌های پلایای میقان حاکی از وجود تناردیت در رسوب‌های سطحی و گمانه‌هاست. تناردیت اکثراً به‌صورت قشرهای سطحی به‌ویژه در فصل تابستان تشکیل می‌شود. نتایج حاصل از آنالیزهای XRD روی ۳ نمونه رسوب از پوسته‌های سطحی پلایا (که نماینده‌ی کل رسوب‌های سطحی پلایا هستند)، نشان می‌دهد که مهم‌ترین کانی موجود در این رسوب‌ها، تناردیت با فراوانی حدود ۸۰٪ است. حدود ۱۳٪ این رسوب‌ها را هالیت و ۷٪ را سایر کانی‌ها تشکیل می‌دهند (شکل ۳). کانی تناردیت در فصل زمستان در صورتی‌که شورابه غنی از یون‌های سولفاتی و سدیم باشد می‌تواند به‌صورت میرابلیت یا سولفات سدیم آب‌دار دیده شود؛ عدم وجود این کانی در رسوب‌های پلایای میقان، می‌تواند به‌دلیل فصل نمونه‌برداری (تابستان) و ناپایداری این کانی در برابر دما باشد. کانی میرابلیت در دمای بالاتر از ۴-۶ درجه‌ی سانتیگراد ناپایدار است [۲۶]، به‌طوری‌که دوباره حل شده و به گلوپریت و هالیت تبدیل می‌شود [۲۷]. البته وجود این کانی به‌میزان بسیار ناچیز در رسوب‌های این منطقه توسط زمانی فراهانی [۲۸]، گزارش شده است.

گلوپریت از جمله کانی‌های اصلی تشکیل دهنده‌ی رسوب‌های کرانه‌های تبخیری پلایای میقان است. گسترش این کانی در پلایا تقریباً همانند هالیت، بیشتر در قسمت‌های مرکزی حوضه است (شکل ۴). بعد از بارش‌های سنگین، به‌خصوص در سبخاها، انیدریت آب جذب کرده و تبدیل به باسانیت می‌شود [۲۹]. گاهی نیز در محیط‌های با بارش اندک و خشک، ژپس بخشی از آب خود را از دست داده و به باسانیت تبدیل می‌شود [۳۰]. آنالیزهای پرتو ایکس نشان دهنده‌ی میزان جزئی این کانی در پلایای میقانند، که به‌دلیل عدم وجود انیدریت در محیط و فصل برداشت نمونه‌ها (تابستان)، بنظر می‌رسد این کانی در اثر تغییر ژپس و در شرایط خشک ایجاد شده است.



شکل ۳ چند نمونه از پراش نگارهای کانی‌های موجود در پوسته‌های سطحی پلاپای میقان.

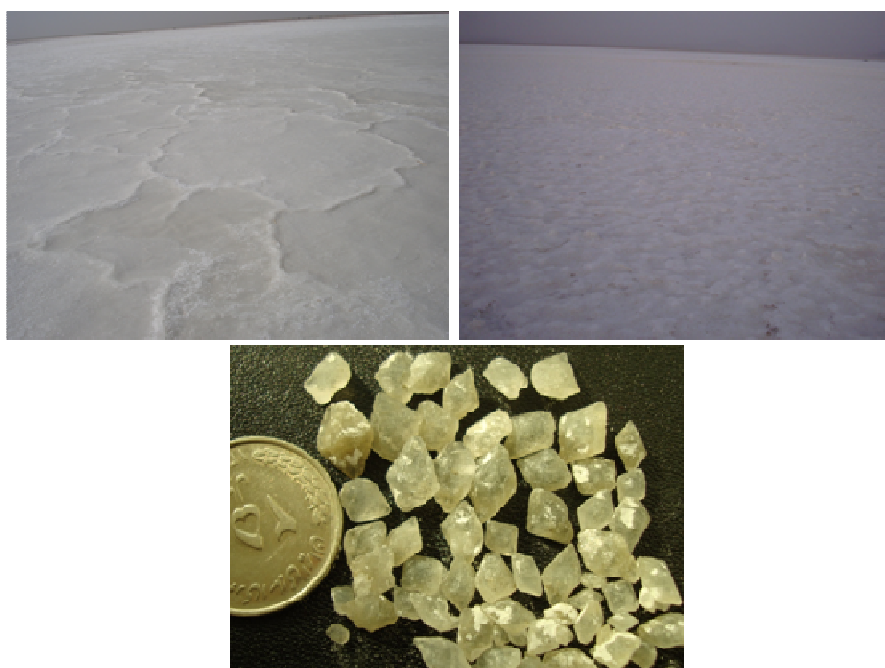


شکل ۴ نقشه‌های چگونگی پراکندگی کانی‌های تبخیری موجود در رسوب‌های سطحی (۱ متر) پلاپای میقان، همراه با موقعیت نمونه‌برداری (مقادیر بر حسب درصدند).

ته‌نشست‌های نوبت به نمک‌های تلخ می‌رسد که در غلظت ۶۰ برابر آب معمولی دریا ته‌نشین می‌شوند [۲۹]. به دلیل حلالیت بالای این کانی‌ها، تغییرات دیاژنتیکی آنها اجتناب ناپذیرند؛ احتمال دارد که مجموعه‌هایی از کانی، در ته‌نشست‌های نهایی به صورت اولیه نباشند و ممکن است برخی از کانی‌ها به طور کامل دارای خاستگاه ثانویه باشند [۳۲]. در محیط‌های دریاچه‌ای، پلی‌هالیت بیشتر به صورت ثانویه در اثر تغییر و تبدیل ژپس و یا انیدریت تشکیل می‌شود؛ بنابراین واکنش $CaSO_4 \cdot 2H_2O + K^+ + Mg^{2+} \leftrightarrow [Ca_2K_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O + 2Ca^{2+}]$ [۳۴، ۳۳]. گاهی پلی‌هالیت به هزینه گلوبریت، مطابق واکنش مقابل: $Na_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O + CaSO_4 + 2K^+ + Mg^{2+} + SO_4^{2-} \leftrightarrow [Ca_2K_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O + 2Na^+]$ ایجاد می‌شود. از آنجاکه ژپس و گلوبریت از مهم‌ترین کانی‌های موجود در پلاهای هستند، پلی‌هالیت در پلاهای میقان، می‌تواند در اثر هر دو واکنش بالا ایجاد شده باشد. سیلویت و کارنالیت، کانی‌هایی هستند که در آخرین مراحل تبخیر ایجاد می‌شوند. نتایج حاصل از بررسی‌های با استفاده از پرتو ایکس دلالت بر وجود مقدار بسیار ناچیزی سیلویت در پلاهای میقان دارد، ولی کانی کارنالیت گزارش نشده است.

کلریدها: کانی‌هایی هستند که در حوضه‌های بسته در آخرین مرحله و پس از کربنات‌ها و سولفات‌ها ته‌نشست می‌شوند. هالیت جزء مهمی از تبخیری‌های پرکننده حوضه‌های بزرگ و کانی تبخیری اصلی در دریاچه‌های نمکی و حوضچه‌های شور عهد حاضر است. تنوع زیادی از خصوصیات بافتی و لایه‌بندی در هالیت‌ها مشاهده می‌گردد که غالباً تحت تأثیر محیط رسوبگذاری ایجاد می‌شوند [۳۱، ۲۹]. هالیت در قسمت‌های مختلف حوضچه‌های تبخیری، اعم از سطح تماس شورابه با هوا، کف حوضچه‌ها و در بین ذرات سایر املاح تبخیری رسوب می‌کند. حوضچه‌هایی که این بلورها در آنها تشکیل می‌شوند، کم عمق هستند و حداکثر چند ده سانتیمتر عمق دارند. هالیت یکی از مهم‌ترین کانی‌های تشکیل‌دهنده رسوب‌ها در پلاهای میقان است که به صورت بلورها و پوسته‌های شوره‌زده (شکل ۵)، بین رسوب‌ها دیده می‌شوند. در فصول خشک، قسمت وسیعی از سطح پلاهای میقان را پوسته‌های شوره زده در بر می‌گیرد که بیشتر از هالیت تشکیل شده‌اند، این پوسته‌ها در اثر تبخیر سطحی ایجاد می‌شوند. تبخیر سطحی آب را با کمک نیروی مویینه به سمت بالا می‌کشد و جامدات حل شده به صورت یک پوسته روی سطح رسوب می‌کنند. این پوسته‌ها سرعت در آب حل می‌شوند.

نمک‌های تلخ (نمک‌های پتاسیم و منیزیم): پس از



شکل ۵ شکل‌های بالا، پوشش نمک که سطح پلاهای میقان را پوشانده است. شکل پایین، بلورهای خودریخت (Euhedral) هالیت در رسوبات موجود در پلاهای میقان که به صورت نهشته‌های درون رسوبی، ایجاد شده‌اند.

تحولات شیمیایی و تکامل شورابه در ارتباط به کانی‌های تبخیری

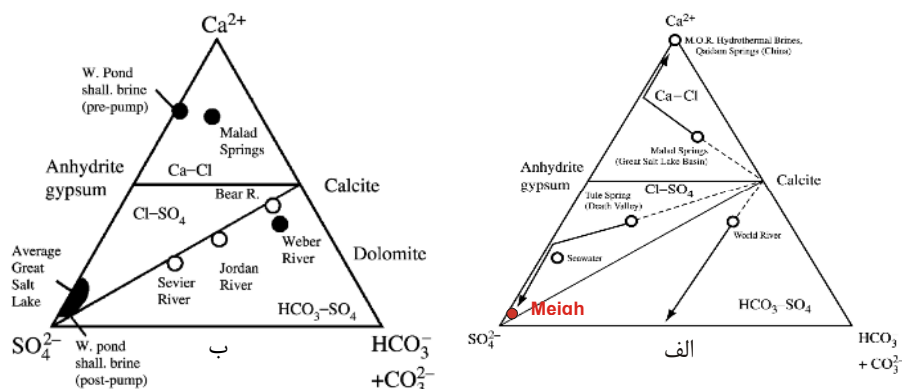
نتایج تجزیه شیمیایی شورابه‌های پلایا و آب‌های شیرین چاه‌های اطراف کویر میقان که مهمترین تأمین کننده شورابه‌های پلایا هستند در جدول (۲) ارائه شده‌اند. ترکیب شیمیایی شورابه‌های پلایای میقان در حد خنثی تا خیلی کم قلیایی و در گستره‌ای حدود ۶۹۹ الی ۷۷۷، و میزان هدایت الکتریکی (EC) شورابه از ۱۱۵۳۰ تا ۱۵۹۹۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر است. روند فراوانی کاتیون‌ها $Na > Mg > K > Ca$ و روند فراوانی آنیون‌ها $Cl > SO_4 > HCO_3 > CO_3$ است. فراوانترین کاتیون‌های موجود در آب‌های شیرین چاه‌های اطراف کویر، که توسط فراهانی [۳۵] مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته‌اند، به ترتیب شامل سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم و فراوانترین آنیون‌ها به ترتیب شامل سولفات، کلر، بیکربنات و کربنات می‌باشند. غلظت کل مواد جامد محلول (TDS) در شورابه، ۳۲۴۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در آب‌های زیرزمینی بطور متوسط ۱۹۸۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که آب‌های ورودی (سطحی و زیرزمینی) در حین عبور از زیر محیط‌های مختلف منطقه ضمن واکنش با رخساره‌های سنگی موجود در این زیرمحیط‌ها و عمل تبخیر، تغلیظ می‌یابد و در طی تحول شیمیایی، تبخیر و ته نشست کانی‌ها، ترکیب شیمیایی آب‌های ورودی به شورابه نهایی از نوع $Na-Cl-SO_4$ تبدیل می‌شود [۳۶].

در مقیاس جهانی، ترکیب شیمیایی یون‌های عمده در رودخانه‌های دنیا (HCO_3 , Cl , SO_4 , K , Mg , Ca , Na) نشان دهنده فرایند هوازدگی شیمیایی، یعنی واکنش بین آب‌های جوی (Meteoric) و سنگ بستر است که در سطح زمین اتفاق می‌افتد [۳۷]. تمرکز تبخیر آب در رودخانه‌های دنیا منجر به رسوب‌گذاری کربنات کلسیم و شورابه‌ای با مقدار Ca کم می‌شود، زیرا غلظت HCO_3 اولیه در آب رودخانه بیشتر از Ca است، این مطلب به سادگی در فاز دیاگرام SO_4 - $Ca-HCO_3+CO_3$ قابل مشاهده است (شکل ۶). یون‌های SO_4 ، Ca و CO_3 که در گوشه‌های این دیاگرام واقع می‌شوند با یکدیگر در حال تعادل می‌باشند و بیانگر تکامل ترکیب شورابه پس از ته‌نشست کلسیت و ژپس می‌باشند [۳۱، ۳۸، ۳۹]. طبق این دیاگرام، آب‌های ورودی و تأمین کننده شورابه‌ها، به سه گروه اصلی شامل آب‌های نوع $Ca-Cl$ و نوع $Cl-SO_4$ و نوع $Na-HCO_3-SO_4$ تقسیم می‌شوند [۳۸]. میانگین ترکیب

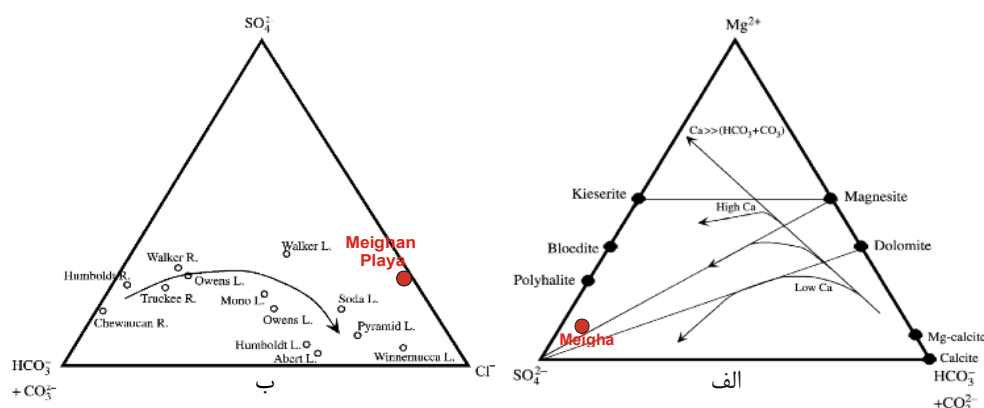
شیمیایی رودخانه‌های دنیا در گستره‌ی شورابه‌های نوع $Na-HCO_3-SO_4$ محسوب می‌شوند و این در حالی است که چشمه‌های گرمایی جزء شورابه‌های نوع $Ca-Cl$ و آب دریا در ردیف شورابه‌های نوع $Cl-SO_4$ قرار می‌گیرند. همزمان با ته‌نشست کانی‌ها، شورابه‌ها در مسیر تقسیمات مشخص شده، حرکت می‌کنند. ترسیم نمونه‌ها روی این نمودار، نشان می‌دهد که شورابه‌های پلایای میقان، به شدت به سمت قطب SO_4 سوق می‌یابند. بنابراین می‌توان گفت که پس از ته‌نشست کربنات‌ها (کلسیت)، شورابه نسبت به یون‌های Ca و HCO_3 تخلیه شده و روند تکاملی خود را به سمت ته‌نشست سولفات‌ها طی می‌کند. چنین حالتی در دره‌ی مرگ (Dead Valley) واقع در آمریکا نیز گزارش شده‌است [۳۸، ۴۰]. کانی‌شناسی خاص منطقه نیز که نشانگر وجود هالیت، ژپس، تاردریت و گلوبریت در رسوب‌هاست، این شرایط را تأیید می‌کند. از این نظر، پلایای میقان همانند دریاچه‌ی نمکی بزرگ آمریکا [۴۰] جزء شورابه‌های $Cl-SO_4$ محسوب می‌شود. با ترسیم نمونه‌ها در دیاگرام $SO_4^{2-}-HCO_3^-+CO_3^{2-}-Mg^{2+}$ شاهد تجمع آنها در نزدیکی قطب سولفات هستیم (شکل ۷ الف). بنابر این نمودار طی تکامل شورابه، ۴ روند تکاملی مختلف با توجه به میزان Ca^{2+} اولیه محلول، نسبت Mg/Ca و درصد هر یک از یون‌های Ca^{2+} ، Mg^{2+} و SO_4^{2-} می‌توان در نظر گرفت، به‌طوری‌که طی این مراحل تکاملی، در نهایت کانی‌های مشخصی نهشته شده و نوع شورابه نهایی مشخص خواهد شد. در پلایای میقان با توجه به میزان کم یون منیزیم در شورابه، (جدول ۲)، پس از ته‌نشست کانی کلسیت به دلیل میزان بسیار ناچیز منیزیم، کانی‌های منیزیم‌دار ایجاد نمی‌شوند. کانی‌شناسی رسوب‌های منطقه نیز این ادعا را تأیید می‌کند، به‌طوری‌که آنالیزهای پرتو ایکس، وجود بسیار ناچیز دولومیت و مگنیزیت را در پلایای میقان نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به میزان کم یون‌های منیزیم و میزان زیاد یون‌های سولفاتی، پس از ته‌نشست کانی کلسیت شورابه به سمت رأس سولفاتی حرکت می‌کند. در نمودار سه‌تایی $SO_4^{2-}-HCO_3^-+CO_3^{2-}-Cl^-$ نمونه‌ها در نزدیکی رأس Cl^- قرار می‌گیرند (شکل ۷ ب) که این پدیده تکامل بالای شورابه‌های پلایای میقان تا مرحله‌ی نهشت کانی‌های کلریدی را همانند دریاچه‌های نمکی سودا (Soda) و پیرامید (Pyramid) واقع در آمریکا، نشان می‌دهد [۴۰].

جدول ۲ مقایسه‌ی میزان آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب‌های ورودی اولیه و شورابه‌های پلایای میقان، بر حسب gr/lit.

CL ⁻ (gr./lit)	SO ₄ ²⁻ (gr./lit)	HCO ₃ ⁻ (gr./lit)	CO ₃ ²⁻ (gr./lit)	Mg ²⁺ (gr./lit)	Ca ²⁺ (gr./lit)	K ⁺ (gr./lit)	Na ⁺ (gr./lit)	میانگین عناصر
۰٫۲۹۴	۰٫۷۷۵	۰٫۲۷۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۶۸	۰٫۱۳۰	۰٫۰۰۳	۰٫۳۸۱	آب‌های ورودی اولیه
۱۲۸٫۵۵	۴۷٫۷۱	۰٫۴۱	۰٫۰۰	۹٫۵۶	۰٫۱۷	۰٫۱۹	۱۰۲٫۰۷	شورابه‌ها



شکل ۶ نمودار مثلی اسپنسر که در آن یون‌های SO_4^{2-} ، HCO_3^- و Ca^{2+} با هم در حال تعادل هستند [۳۹، ۴۰]. (الف) مسیرهای تکاملی شورابه و موقعیت پلایای میقان روی این نمودار. (ب) موقعیت انواع شورابه‌ها و موقعیت شورابه‌های مهم دنیا.



شکل ۷ نمودارهای مثلی اسپنسر [۳۹، ۴۰]. (الف) مسیرهای تکاملی شورابه و موقعیت پلایای میقان روی نمودار SO_4^{2-} ، HCO_3^- ، Mg^{2+} (ب) روند تکاملی شورابه‌ها، موقعیت انواع شورابه‌های مهم دنیا و پلایای میقان بر روی نمودار سه تایی SO_4^{2-} ، HCO_3^- ، Cl^- .

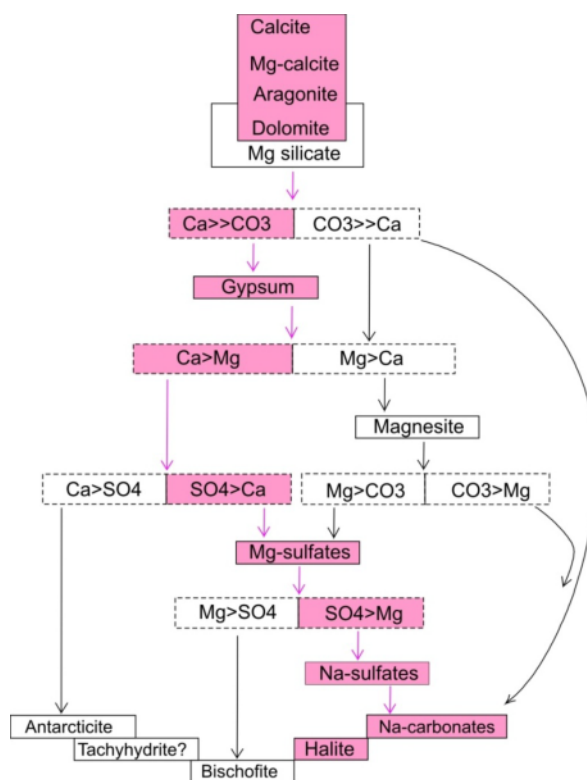
افزایش چشمگیری یابد، می‌تواند دولومیت تشکیل شود. بنابراین حضور بسیار اندک این کانی در پلایای میقان به‌دلیل پایین بودن این نسبت است. به علت ریخت‌شناسی خاص پلایای میقان به احتمال زیاد تشکیل این کانی در اثر تغییرات مختصر در ترکیب شیمیایی شورابه در اثر تبخیر و به‌صورت محلی صورت گرفته است. فقدان ترونا (NaHCO_3 ، Na_2CO_3)، H_2O نیز در این پلایا به‌دلیل بالا بودن میزان سولفات و pH خنثی آن است. زیرا این کانی در محیط‌هایی با میزان سولفات پایین، غلظت بالای Na ، HCO_3^- و CO_3^{2-} و محلول‌هایی با pH بزرگ‌تر از ۹ تشکیل می‌شود [۴۱]، هیچیک از این شرایط در پلایای میقان وجود ندارد.

توالی رسوبگذاری کانی‌ها طی تبخیر پیش رونده در دریاچه‌های شور، با جدایش شیمیایی دنبال می‌شود [۱۸، ۴۰]. طی تبخیر، اشباع شدگی نسبت به کربنات‌های قلیایی خاکی به سرعت حاصل می‌شود. از اینرو در مراحل اولیه، افزایش نمک، کلسیت و کلسیت پرمینیم نهشته می‌شوند. کانی‌های بعدی در توالی رسوبگذاری شامل سولفات‌ها، سیلیکات‌ها و کلریدها هستند که رسوبگذاری آنها به‌وسیله‌ی غلظت نسبی Ca ، Mg ، HCO_3^- و SO_4^{2-} کنترل می‌شود (شکل ۸). با توجه به این نمودار روند تکامل شورابه و تشکیل کانی‌های تبخیری در پلایای میقان با رسوبگذاری کلسیت که در مهمترین کانی کربناتی است، آغاز می‌شود. در دریاچه‌های شور و پلایاها پس از تشکیل کلسیت و آراگونیت در صورتیکه نسبت Mg/Ca

توجه به میزان بالای یون سولفات در شورابه‌های پلائی میقان (جدول ۲)، و افزایش بسیار بالای نسبت $Na \gg Ca$ به نظر می‌رسد میزان تناردیت و میرابلیت در این حوضه باید مقادیر بالاتری را نشان دهد. به دلیل قابلیت انحلال بالای نمک‌های سولفاتی به خصوص تناردیت و میرابلیت، این نمک‌های سطحی به هنگام پرشدن دوباره‌ی حوضه، به سرعت حل شده و به صورت محلول در شورابه باقی می‌مانند و در طول پرشدگی و خشک شدگی‌های پی‌درپی دریاچه، ضخامت قابل‌توجهی از این نمک‌ها در پلائی میقان مشاهده نمی‌شود. در محیط‌های بسته پس از تشکیل کانی‌های حاوی سولفات‌های سدیم (تناردیت و میرابلیت) میزان سدیم در محیط کاهش می‌یابد؛ در این هنگام اگر محلول حاوی یون Ca باشد، کانی گلوبریت ایجاد می‌شود؛ بدین معنی که در حوضه‌های بسته طی تبخیر شورابه، با تغلیظ شورابه کمی قبل از حد اشباع برای تشکیل نمک طعام، انیدریت جانشین ژپس می‌شود، با ادامه تبخیر، گلوبریت به طور بخشی جانشین انیدریت می‌شود، این کانی نیز، به وسیله‌ی پلی‌هالیت جانشین شده و تشکیل انیدریت را کاهش می‌دهد. این جانشینی‌ها به گونه‌ای ترکیب شورابه را تغییر می‌دهند که کائینیت در شورابه به حد اشباع نمی‌رسد [۲۹].

با ته‌نشست کلسیت و تخلیه‌ی Ca از شورابه، میزان SO_4 افزایش و نسبت Ca/Na کاهش می‌یابد و کانی‌های سولفاتی شروع به نهشته شدن می‌کند. کانی سولفات کلسیم به صورت گسترده‌ای در رسوب‌های سطحی و عمقی (گمانه‌ها) منطقه موجود است. رسوبگذاری این کانی به خاطر غلظت نسبتاً بالای Na , Ca و SO_4 کنترل می‌شود. در پلائی میقان به دلیل نسبت مناسب این املاح (جدول ۲) پس از ته‌نشست کلسیت بنابر نمودار (۸) ژپس رسوب می‌کند، طی رسوبگذاری و ته‌نشست ژپس، مقداری از Ca و SO_4 از شورابه حذف شده و همانند دره‌ی سالین (Saline Valley) و دره‌ی مرگ (Death Valley) شورابه نوع $Na-SO_4-Cl$ [۱۸] تشکیل می‌شود. به دلیل وجود مقدار اندک Mg در شورابه‌های پلائی میقان کانی‌های سولفات منیزیم تشکیل نمی‌شود. افزایش دما و از دست دادن مقداری آب، موجب تبدیل ژپس به باسانیت شده و در ادامه این روند، انیدریت نهشته می‌شود. باسانیت به مقدار اندک در رسوب‌های منطقه یافت شده است، ولی به دلیل ناپایدار بودن انیدریت و بالا بودن سطح آب زیرزمینی در این منطقه کانی انیدریت مشاهده نشد.

در اثر کاهش یون‌های کلسیم و منیزیم و افزایش یون سدیم در شورابه‌ها، کانی میرابلیت بر جای گذاشته می‌شود. با



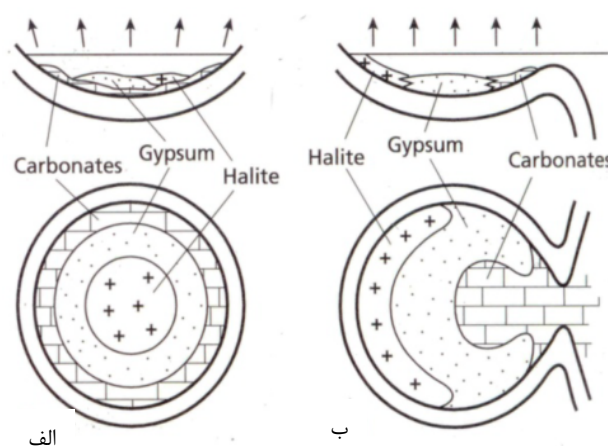
شکل ۸ روند نهشته شدن کانی‌های تبخیری در پلائی میقان، اقتباس از [۱۸، ۴۰].

لایه‌بندی شیمیایی دریاچه و بازگشت نمک‌ها در اثر انحلال پوسته‌های شور زده باعث تغییر و تبدیل در انباشت کانی‌های تبخیری در طول گمانه‌ها و در مناطق مختلف پلایا می‌شود. این تغییرات شیمیایی در طول زمان در دریاچه‌های نمکی سراسر جهان مشاهده شده‌اند، برای مثال دریاچه سیرلز [۲۵]، بحرالمت [۴۴]، دریاچه‌ی سیلون [۴۵، ۴۶]، دریاچه ایگنبریت شمالی، دریاچه‌ی نمکی سامبهار [۴۷] و دریاچه‌ی مهارلو [۴۸].

روند نهشت کانی‌های تبخیری و مدل حوضه در پلایای میقان
ترکیب شیمیایی آب‌های ورودی مهمترین عامل تشکیل کانی‌های تبخیری است. بطور کلی، جدا از نوع آب، ترتیب رسوبگذاری کانی‌های تبخیری شامل کربنات‌ها، سولفات‌ها و سرانجام کلریدهاست [۴۹]. نهشت کانی‌ها در پلایاها طرح نسبتاً ساده‌ای دارد و غالباً در ارتباط با مراحل تکامل شیمیایی شورابه است، این تکامل متأثر از ترکیب کلی آب‌های وارده به حوضه و میزان تبخیر است. در صورتی که نمک‌های با حداقل قابلیت انحلال در حاشیه‌ی حوضه و نمک‌هایی با حلالیت بالا در مرکز آن ته‌نشست یابند، رسوبگذاری کانی‌ها از مدل چشم‌گاو پیروی می‌کند. این مدل بیشتر در حوضه‌های کاملاً بسته ایجاد می‌شود، درحالی‌که طرح قطره اشکی ویژه‌ی حوضه‌های محدود با ارتباط تقریباً موقت با اقیانوس باز است و در آن نمک‌های با حلالیت بیشتر در دورترین فاصله از ورودی حوضه یافت می‌شوند [۳۲] (شکل ۹).

همچنین این مدل در محیط‌های دریاچه‌ای دقیقاً در محل ورود آب شیرین رودخانه به دریاچه‌ی شور، تشکیل می‌شود. به‌علت تغییرات اقلیمی و آب و هوایی که منجر به تغییرات سطح آب در پلایا می‌شود، پارائزهای کانی‌های تبخیری در مناطق مختلف، در حال تغییرند؛ به‌طوری‌که منطقه‌بندی حاصل از ته‌نشست کانی‌ها و نیز مرز زون‌ها در طی زمان، در حال تغییراند [۳۲]. با توجه به موقعیت نمونه‌های برداشت شده در مسیرهای مورد بررسی (شکل ۴)، مشاهده می‌شود که مقدار کانی‌های کربناتی از حاشیه‌های پلایا به سمت مرکز، دارای روند کاهشی است، یعنی از محل ورود آب‌های رقیق به سمت مرکز حوضه کاهش نشان می‌دهد. بررسی کانی‌های سولفاتی (به‌خصوص ژیپس)، از حاشیه پلایا به سمت مرکز آن، نشان می‌دهد که کانی ژیپس برخلاف کانی کلسیت دارای روند افزایشی است (شکل ۴)؛ در مرکز پلایا از میزان کانی‌های

بنابر نمودار (۸) پس از تشکیل کانی‌های سولفات سدیم، کانی‌های کربنات سدیم تشکیل خواهند شد. تنها کانی کربناتی موجود در رسوب‌های پلایای میقان ناترون است. این کانی در آب محلول است و اغلب به‌صورت محلول در آب دریاچه‌های حاوی سدیم (مانند دریاچه‌های سدیم‌دار مصر و غرب آمریکا) وجود دارد؛ همچنین به‌صورت بلور در نهشته‌های نمک‌دار یافت می‌شود. این کانی جزء کربنات‌های آبدار محسوب می‌شود، به‌طور کلی کانی‌های کربناتی آبدار کمیاب هستند. ناترون فقط از شورابه‌هایی با نوع $\text{Na-CO}_3\text{-Cl}$ حاصل می‌شود [۲۹]. در پایان نیز با افزایش میزان کلر در محلول، کانی‌های کلریدی نظیر هالیت ته‌نشست می‌شوند. ترتیب فراوانی کاتیون‌های موجود در شورابه‌های نهایی پلایای میقان $\text{Na} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Ca}$ و آنیون‌های $\text{CO}_3 > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ است (جدول ۲). سدیم و کلر بیشتر از ۵۰٪ وزن نمونه‌ها را تشکیل می‌دهند، این حالت تا زمانی پا برجاست که هالیت در حال ته‌نشست است و منیزیم به کاتیون غالب تبدیل شود. هالیت مهم‌ترین کانی کلریدی ته‌نشست یافته در رسوب‌های پلایای میقان است، که به‌طور گسترده‌ای در رسوب‌ها یافت می‌شود. این کانی در رسوب‌های سطحی افزایش چشمگیری نشان می‌دهد و بیانگر شورابه‌های $\text{Na-SO}_4\text{-Cl}$ است (شکل ۸) که هالیت محصول نهایی تبخیر آن است. در پلایای میقان شاهد حضور کانی‌های تلخ نیز هستیم. تشکیل پلی‌هالیت دلالت بر غنی‌شدگی نسبی شورابه‌ها نسبت به K و Mg دارد و تعادل جدید فاز جامد-شورابه در اثر واکنش برگشتگی با سولفات‌های نهشته شده اولیه ایجاد می‌شود [۴۲]. حضور دو کانی حاوی K و CL یعنی کارنالیت و سیلویت نشان می‌دهد که شورابه‌ی تبخیری از مرحله‌ی اشباع هالیت فراتر می‌رود. فراوانی نسبی Mg در شورابه، باعث رسوب کارنالیت و شورابه فقیر از Mg باعث ایجاد سیلویت خواهد شد [۲۷]. بنابر نتایج حاصل از پرتو ایکس، در پلایای میقان کانی کارنالیت تشکیل نمی‌شود. که این خود حاکی از وجود میزان بسیار کم پتاسیم و منیزیم در پلایای میقان و نیز تشکیل پلی‌هالیت است که دارای پایداری بیشتری نسبت به سیلویت و کارنالیت است [۴۳]. بنابراین حضور کانی‌های تلخ از جمله پلی‌هالیت و سیلویت در پلایای میقان نشان می‌دهد که شورابه تبخیری از مرحله اشباع هالیت فرا رفته و بیانگر تکامل آن تا این مرحله است. عواملی از جمله تغییر در شیمی شورابه در ارتباط با خاستگاه و/یا آب و هوا،



شکل ۹ الگوهای کلی از رخساره‌های تبخیری، (الف) چشم گاوی و (ب) قطره اشکی.

شناسی و شیمیایی می‌شوند. ورود رودخانه‌های فصلی و آب‌های زیرزمینی که حاوی مواد معلق و محلول‌اند و فرآیندهای تبخیر و تغلیظ شورابه، باعث تشکیل رسوب‌های شیمیایی (تبخیری) و آواری در بستر پلایا شده است. نهشته‌های تبخیری موجود در منطقه که به صورت رسوب‌های شورزده سطحی، لایه بلورین و نهشته‌های درون رسوبی هستند، شامل کانی‌های کلسیت، ژیپس، هالیت، تناردیت، گلوبریت، پلی‌هالیت، ناترون و به میزان بسیار ناچیز سیلویت، باسانیت، بلودیت، منیزیت و دولومیت هستند.

بررسی‌های انجام شده روی رسوب‌های گستره پلایا نشان می‌دهد که از حاشیه‌ی حوضه به سمت مرکز، از میزان کانی‌های آواری کاسته و بر میزان کانی‌های تبخیری افزوده می‌شود؛ به طوری که شاهد منطقه‌بندی کانی‌های تبخیری در سطح پلایا هستیم. کانی‌های کربناتی قلیایی خاکی در حاشیه‌ی حوضه ته‌نشست می‌کنند، سپس زون سولفاتی و در مرکز منطقه‌ی کلروره تشکیل می‌شود؛ به طوری که ترتیب ته‌نشست کانی‌ها در منطقه تقریباً (وجود ناهنجاری در بخش شمال-شمال شرقی حوضه) از طرح چشم گاوی پیروی می‌کند. شورابه‌های پلایای میقان از نوع Na-Cl-SO_4 هستند و در رده‌ی دریاچه‌های نمکی با شورابه‌های تکامل یافته قرار می‌گیرند که نوع یون‌ها و در نتیجه کانی‌های تبخیری تحت تاثیر جنس سازنده‌های اطراف حوضه، میزان هوازدگی و واکنش با آب‌های جوی هستند.

قدردانی

این پژوهش بخشی از طرح پژوهشی مشترک بین دانشگاه همبولت آلمان و دانشگاه آزاد واحد اراک روی پلایای میقان است، بدین جهت نگارندگان کمال قدردانی و سپاس خود را از

سولفاتی کاسته شده و کانی‌هالیت افزایش می‌یابد. این امر دلیلی بر صحت قانون ترتیب رسوبگذاری کانی‌ها از محلول‌های شورابه‌ای است. بنابر توضیحات بالا و ترسیم نقشه‌ی پراکندگی کانی‌شناسی نمونه‌های سطحی سرتاسر پلایا (حداکثر تا عمق ۱ متر)، می‌توان نتیجه گرفت که منطقه‌بندی کانی‌شناسی در حوضه‌ی رسوبی پلایای میقان همانند بسیاری از دریاچه‌های دیگر از جمله دریاچه‌ی مهارلو [۴۸] و پلایای ساغند [۵۰] به تدریج و براساس تغییرات تراکم شورابه، صورت پذیرفته است و براساس توضیحات بالا و بررسی نقشه‌های پراکندگی کانی‌های تبخیری (شکل ۴)، مشاهده می‌شود که نهشت رسوب‌های تبخیری در پلایای میقان تقریباً (وجود ناهنجاری در بخش شمال-شمال شرقی)، طرح چشم گاوی بخود گرفته است. طی بررسی‌های انجام شده روی رسوب‌ها و شورابه‌های پلایا، مشخص شد که تمام فاکتورهای بررسی شده در ناحیه‌ی شمال-شمال شرقی حوضه با بقیه قسمت‌ها متفاوت‌اند و منطقه‌بندی کانی‌شناسی و تغییرات منظم فاکتورهای دیگر از حاشیه به مرکز، در این منطقه دیده نمی‌شود [۵۱]. از جمله دلایل آن ورود آب‌های سطحی بیشتر، وجود لایه‌های نفوذناپذیر در اعماق کمتر و ضخامت کمتر آبخوان در این محدوده از حوضه است؛ علاوه بر این وجود جزیره‌ی اصلی در مرکز پلایا و جزیره‌ی فرعی در حاشیه‌ی شمال-شمال شرقی حوضه، موجب ریخت‌شناسی خاصی در این منطقه از پلایا شده است.

برداشت

حوضه‌ی رسوبی پلایای میقان، به عنوان یک حوضه‌ی تبخیری در یک سیستم هیدرولوژیک بسته قرار دارد. فرآیندهایی که در این پلایا در حال عملکردند، شامل فرآیندهای رسوبی، آب-

[12] Warren J. K., "Evaporites, Their Evolution and Economics", Blackwell Science (1999) 438p.

[۱۳] انصاری ع.ح، کوهساری ا.ج، "شناسایی انواع کانی‌های تبخیری زیرپهنه‌های کویر سیاه‌کوه استان یزد"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱۵ (۱۳۸۶) ص ۴۳۸-۴۲۳.

[۱۴] مرادی‌نژاد ا، آخوندی ا، تاج‌آبادی ر، ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسبترین شاخص در اراک، مجموعه مقالات چهارمین همایش خشکی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی، اراک، (۱۳۸۷) ص ۳۶-۲۱.

[۱۵] سازمان هواشناسی کشور، آمار و اطلاعات، به نشانی: <http://www.irimo.ir/farsi/amar>.

[۱۶] پدرامی م، "گزارش زمین‌شناسی کواترنر و پارینه اقلیم منطقه اراک-کویر میقان"، (۱۳۷۲) ۳۱ صفحه.

[۱۷] امامی م.ه، "شرح نقشه زمین‌شناسی چهار گوشه قم به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی کشور، وزارت معادن و فلزات، (۱۳۷۰) ۱۷۹ صفحه.

[18] Eugster H. P., Hardie L. A., "Saline lakes, In Lerman A. (ed), Lakes", Chemistry, Geology and Physics. Springer Verlag (1978) 237-293.

[19] Hardie L.A., "On the significance of evaporates", Annual Review of Earth and Planetary Sciences 19 (1991) 131-168.

[20] Last W. M., Decker P. D., "Paleohydrology and paleochemistry of Lake Beeac, a saline palya in southern Australia", Aquatic ecosystem in semi-arid regions: implication for resource anagement. R.D. Robarts M.L. Bothwell (Eds.). N.H.R.I. Symposium series 7, Environment Canada, Saskatoon (1992) 63-73.

[21] Last W. M., Teller J. T., Forester R. M., "Paleohydrology and paleochemistry of Lake Manitoba, Canada: the isotope and ostracode records", Journal Paleolimnology 72 (1994) 269-282.

[22] Holser W. T., "Mineralogy of evaporates, in R. G. Burns, ed., Marine minerals". Mineralogical Society America, Reviews in Mineralogy 6 (1979) 211-294.

[23] Kinsman D. J. J., "Calcium sulfate minerals of evaporite deposits: Their primary mineralogy. In: A. J. Coogan (Editor)", Fourth Symposium on Salt, Northern Ohio Geological. Society., Cleveland 1 (1974) 343-348.

[24] Smith G.I., "Subsurface stratigraphy and geochemistry of Late Quaternary evaporites, Searles Lake, California", United States Geological Survey Professional Paper 1043 (1979) 1-130.

مستولان و کارشناسان دانشگاه همبولت به‌ویژه جناب آقای دکتر محسن میرمحمد مکی و آقای یوهان پروبست ابراز می‌دارند.

مراجع

[1] Li M., Fang X., Yi C., Gao S., Zhang W., Galy A., "Evaporite minerals and geochemistry of the upper 400 m sediments in a core from the Western Qaidam Basin, Tibet", Journal Quaternary International 218 (2010) 176-189.

[2] Achyuthan H., Kar A., Eastoe C., "Late Quaternary-Holocene lake-level changes in the eastern margin of the Thar Desert, India", Journal of Paleolimnology 38 (2007) 493-507.

[3] Chao L., Zicheng P., Dong Y., Weiguo L., Zhaofeng Z., Jianfeng H., Chenlin C., "A lacustrine record from Lop Nur, Xinjiang, China: Implications for paleoclimate change during Late Pleistocene", Journal of Asian Earth Sciences 34 (2009) 38-45.

[4] Roy P. D., Nagar Y. C., Juyal N., Smykatz-Kloss W., Singhvi A. K., "Geochemical signatures of Late Holocene paleo-hydrological changes from Phulera and Pokharan saline playas near the eastern and western margins of the Thar Desert, India", Journal of Asian Earth Sciences 34 (2009) 275-286.

[5] Sinha R., Smykatz-Kloss W., Stuben D., Harrison S. P., Berner Z., Kramar U., "Late Quaternary paleoclimatic reconstruction from the lacustrine sediments of the Sambhar playa core, Thar Desert margin, India", Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 233 (2006) 252-270.

[6] Zheng M., "Resources and eco-environmental protection of salt lakes in China", Environ Earth Science (2010) 10p.

[7] Smykatz-Kloss W., Roy P. D., "Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for palaeoclimatic investigations in arid regions: A synthesis", Boletín la Sociedad geológica Mexicana 63 (2010) 375-390.

[8] Harben P. W., Bates R. L., "Industrial Minerals Division", Metal Bulletin Plc, London, UK (1990) 312p.

[9] Harben P. W., Kuzvart M., "Industrial Minerals, Information Ltd", Metal Bulletin Plc, London, UK (1996) 462p.

[10] Kilic O., Kilic A. M., "Recovery of salt co-products during the salt production from brine", Desalination 186 (2005) 11-19.

[11] Lefond S. J., "Industrial Mineral and Rocks, New York", Society of Mining Engineers of AIME (1983).

- [39] Jones B. F., Bodine M. W., Jr. "Normative salt characterization of natural waters. In *Saline Water and Gases in Crystalline Rocks*", Geol. Ass.Can. Spec. Pap. 33 (eds. P. Fritz and S. K. Frapre) (1987) 5-18.
- [40] Jones B. F., Deocampo D. M., "Geochemistry of saline lakes, In *Treatise on Geochemistry*", US Geological Survey (2003) 393-424.
- [41] Reeves C.C.J., "Economic significance of playa lake deposits. *Modern and Ancient Lake Sediments: Special Publication of the International Association of Sedimentologists*", no. 2. A. Matter and M. E. Tucker. London, Blackwell Scientific Publications (1978) 279-290.
- [42] Shang Y., "Mineralogy, Lithostratigraphy and Geochemistry of North Ingebright Lake, Saskatchewan, Canada", PhD. Thesis, University of Manitoba, Canada (2000) 389p.
- [43] Schreiber B.C., Tabakh M.E., "Deposition and early alteration of evaporates", *Sedimentology* 47 (2000) 215-238.
- [44] Neev D., Emery K. O., "The Dead sea: depositional processes and environments of evaporites", *Bulletin* 41, Geological Survey of Israel, Jerusalem, (1967) 147 pp.
- [45] Last W. M., "Sedimentology of a saline playa in the Northern Great Plains, Canada", *Sedimentology* 36 (1989) 109-123.
- [46] Last W. M., "Paleochemistry and paleohydrology of Ceylon Lake, a salt-dominated playa basin in the Northern Great Plains, Canada", *J. Paleolimnol* 4 (1990) 219-238.
- [47] Raymahashay B. C., Sinha R., "Evaporite mineralogy and geochemical evolution of the Sambhar Salt Lake, Rajasthan, India", *Sedimentary Geology* 166 (2004) 59-71.
- [۴۸] لک، ر.، "بررسی رسوب‌شناسی، هیدروژیسمی و روند تکاملی شورابه دریاچه مهارلو، شیراز"، رساله دکتری، دانشگاه تربیت معلم تهران، (۱۳۸۶) ۱۸۸ صفحه.
- [49] Warren J. K., "Evaporite sedimentology: Importance in hydrocarbon accumulation, *Englewood Cliffs*", Prentice-Hall, (1989) 285 p.
- [۵۰] ترشیزیان ح.، "تکامل شورابه‌ها و تشکیل کانی‌های تبخیری در پلاهای ساغند ایران مرکزی، و مقایسه آن با دریاچه بزرگ نمک و حوضه دره مرگ در ایالات متحده"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱ (۱۳۸۸) ص ۵۴-۴۳.
- [۵۱] عبدی ل.، "ژئوشیمی رسوبات تبخیری پلاهای میقان اراک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، (۱۳۸۹) ۱۶۶ صفحه.
- [25] Eugster H. P., Smith G. I., "Mineral equilibria in the Searles lake evaporites, California", *Journal of Petrology* 6 (1965) 473-522.
- [26] Tekin E., Ayyildiz T., Gündoğan I., Orti F., "Modern halolites (halite oolites) in the Tuz Gölü, Turkey", *Sedimentary Geology* 195 (2007) 101-112.
- [27] Ingebritsen S. E., Sanford, W. E., "Groundwater in Geological Processes", Cambridge University Press (1998) 246-254.
- [۲۸] زمانی فراهانی ف.، "رسوب‌شناسی حوضه تبخیری دریاچه میقان اراک با نگرشی ویژه بر تأثیر این حوضه بر آب‌های منطقه"، پایان‌نامه کارشناسی دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۷۸) ۱۹۶ صفحه.
- [29] Warren, J., "Evaporates: Sediment, Resources and Hydrocarbon", Springer (2006) 1035p.
- [30] Kendall A. C., "Evaporites. In: R.G. Walker (editor), *Facies models (2nd edition)*", Geoscience Canada Reprint Series 1 (1984) 259-296.
- [31] Smoot J. P., Lowenstein T.K., "Depositional environments of non-marine evaporites. In: Melvin, J.L. (ed.), *Evaporites, Petroleum and Mineral Resources, Elsevier*", New York (1991) 189-348.
- [32] Tucker M. E., "Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks", Blackwell, Scientific Publication, London (2001) 260p.
- [33] Hite R. J., "The sulfate problem in marine evaporites", *Sixth International Symposium on Salt* 1 (1983) 217-230.
- [34] Sonnenfeld P., "Brines and Evaporates", Academic Press, New York, N.Y. (1984) 613p.
- [۳۵] مهاجرانی ش.، "رسوب‌شناسی کویر میقان با نگرشی ویژه بر منشأ و نحوه گسترش نهشته‌های تبخیری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، (۱۳۷۸) ۱۱۴ صفحه.
- [۳۶] عبدی ل.، رحیم‌پور بناب ح.، "منشأ، هیدروژئوشیمی و نحوه تکامل شورابه در پلاهای میقان اراک"، مجله چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی دانشگاه اصفهان، شماره ۱ (۱۳۸۹) ص ۴۲-۲۵.
- [37] Lowenstein T.K., Risacher F., "Closed Basin Brine Evolution and the Influence of Ca-Cl Inflow Waters: Death Valley and Bristol Dry Lake California, Qaidam Basin, China, and Salar de Atacama, Chile", *Aquat Geochem* 15 (2009) 71-94.
- [38] Spencer R.J., Lowenstein T.K., Casas E., Penxci Z., "Origin of potash salts and brines in the Qaidam Basin, China", *Geochem. Soc. Spec. Publ, Bold* 2 (1990) 395-402.