

سال بیست و دوم، شمارهٔ ۱، بهار ۹۳، از صفحهٔ ۴۹ تا ۶۲

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

ليلا عبدى*، حسين رحيم پوربناب

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 حوضهی 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، ژیپس، 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. بهعبارت دیگر نوعی منطقهبندی کانیشناسی در این پلایا قابل تشخیص بوده و کانیهای تبخیری موجود در آن براساس قوانین ترمودینامیکی بهترتیب از حاشیهی حوضه به مرکز آن نظام یافتهاند و تقریباً از طرح چشمگاوی 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 تهنشست کانیهای تبخیری، بیانگر تکامل بالای شورابههای پلایای میقان تا حد تشکیل کانیهای کلریدی، نمکهای تلخ و شورابه نوع ماه است. ایه مرکز آن نظام یافتهاند و تقریباً از طرح چشمگاوی پیروی میکنند. بررسی چگونگی تحولات شیمیایی شورابه در رابطه با Na-CI-SO4 است.

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

مقدمه

کانیهای تبخیری از جمله خصوصیات و عوارض شاخص در مناطق بیابانی بوده و نشاندهنده ی شرایط هیدروژئوشیمیایی در زمان نهشت و رسوبگذاری خودند. انباشت کانیهای تبخیری مختلف میتواند، منعکس کننده ی 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

اصلی مواد معدنی صنعتی از جمله ژیپس، سولفاتهای سدیم و منیزیم، کربناتهای سدیم، بر، لیتیم و مواد معدنی دیگر را تشکیل میدهند [۷]. بنابراین بهدلیل اهمیت علمی و اقتصادی این کانیها، کانیشناسی تبخیریها و فرایندهای هیدروشیمیایی وابسته به شکل گیری 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

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۸۴۹۶۷۷۲، نمابر: ۶۶۴۹۱۶۲۳ (۰۸۶)، پست الکترونیکی: le_abdi@khayam.ut.ac.ir

کویری است، که در کویر سیاه کوه 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 شدهاست. 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 نمکزار در میآید. ارتفاع متوسط کویر مورد نظر از سطح دریا ۱۶۷۵ متر است. دشت اراک با بلندیهایی به ارتفاع ۳۰۰۰–۲۰۰۰ متر محدود

شده است، این دشت از دهانهی رودهای فصلی کرهرود، امان آباد، آشتیان، فرمهین، ابراهیم آباد 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 منطقهاست. تیرماه با میانگین دمای بیشینهی ۳۵٫۷ درجهی سانتیگراد، گرمترین ماه و دیماه با دمای میانگین دمای کمینه
ی $-\Delta_I \beta$ - درجهی سانتیگراد، سردترین ماه سال است [۱۵].



شکل۱ نقشه زمین شناسی حوضهی رسوبی میقان و تصویر ماهوارهای که مسیرهای نمونهبرداری در آن مشخص شده است.

از نظر تقسیم بندی ساختارهای ایران، منطقه ی مورد بررسی در مرز بین دو زون ایران مرکزی و سنندج سیرجان جای دارد، گسل تبرته مرز این دو پهنهی ساختاری است (شکل ۱) [۱۶]. این موقعیت خاص باعث شده است تا منطقه ی مورد بررسی به عنوان یک فرو افتادگی میان مجموعه ی متنوعی از سنگهای رسوبی و دگرگونی وابسته به زون سنندج-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 کانی شناسی رسوبهای منطقه ی مورد بررسی دارند [۱۷].

روش بررسی

بهمنظور بررسی کانی شناسی و رسوب شناسی محیط پلایای میقان، ۸۰ نمونه رسوب جمع آوری شدند. برای نمونهبرداری از رسوبها از دو نوع آگر (Auger) یا مته دستی استفاده شد؛ بدین ترتیب که نخست از مرکز پلایا به سمت حاشیه آن، در سه روند مشخص بهوسیلهی آگر نوع Eijkelkamp (lm>عمق) نمونهبرداری به صورت 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 ۵٫۲ 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 آگر دستی نوع Purchauer (۱۳ حمق) برداشت گردید (شکل ۱). بطور کلی تعداد ۵۳ نمونه از رسوبهای سرتاسر پلایا، مورد آنالیز یرتو ایکس (XRD) قرار گرفتند.

برای بررسی کانیشناسی رسوبهای، نمونههای مورد نظر با استفاده از آسیاب، به ذرات در حدود کوچکتر از ۳۲ میکرون، پودر شدند، سپس به وسیلهی پراشسنج نوع SEIFERT SEIFERT با تابش مس و فیلتر نیکل که زاویهی سنج آن با سرعت ۲۰٬۰۴ درجه در سه ثانیه و از 20=30تا $20=70^\circ$ تنظیم شده بود، در دانشگاه همبولت آلمان مورد بررسی قرار گرفتند. پس از بررسی پراش نگاشتها و قلههای بررسی قرار گرفتند. پس از بررسی پراش نگاشتها و قلههای حاصل، با محاسبهی زاویه θ و استفاده از قانون براگ حاصل، با محاسبهی زاویه θ و استفاده از قانون براگ شبکهای کانیها (b) معلوم و سپس با استفاده از کارتهای

استاندارد، نام کانیها مشخص شد. به منظور بررسی کمی کانیها از برنامهی Auto Quan، محصول کشور آلمان استفاده شد. این مقادیر مطلق نبودند، ولی میتوانند به صورت نسبی مورد استفاده قرار گیرند. دانه بندی رسوب ها به روش چگال سنجی آبگون ها، میزان کربنات کلسیم به روش برنارد و میزان کربن آلی به روش گرما دادن در آون با دمای ۲۰[°] محاسبه شد. ویژگی های دیگر رسوب ها شامل، PH به روش پتانسیل سنج، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به روش رسانا سنجی و سایر ویژگی های دیگر فیزیکی رسوب ها، شامل رسانا سنجی و سایر ویژگی های دیگر فیزیکی رسوب ها، شامل رنگ، اندازهی ظاهری و کانی های موجود در رسوب ها پس از خشک شدن آنها، بررسی شدند.

بهمنظور بررسی چگونگی تکامل شیمیایی و تهنشست کانیها، ۱۹ نمونه شورابه از محل برداشت رسوبها جمع آوری 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)؛ کلر، به روش نیترات نقره؛ بی کربنات، به روش قلیاییسنجی و سولفات، بهروش سنجش میزان کدر بودن (روش وزنی) تعیین شدند. برای تعیین EC و PH از یک دستگاه رساناسنج خودکار برای تعیین EC و PH از یک دستگاه رساناسنج خودکار

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، گلوبریت، تناردیت، عبارتند از: ژیپس، هالیت، کلسیت، گلوبریت، تناردیت، 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 میماند.





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

فرمول شيميايى	
	كربناتها
CaCO ₃	كلسيت
CaMg(CO ₃) ₂	دولوميت
MgCO ₃	منيزيت
Na ₂ CO ₃ ,10H ₂ O	ناترون
	سولفاتها
CaCO ₃ .2H ₂ O	ژيپس
Na_2SO_4	تنارديت
Na ₂ Ca(SO ₄) ₂	گلوبريت
CaSO4.0.5H ₂ O	باسانيت
2CaSO ₄ ,MgSO ₄ ,K ₂ SO ₄ ,2H ₂ O	پلىھالىت
	كلريدها
NaCl	هاليت
KCl	سيلويت

ميقان.	پلاياى	وبهای	در رس	موجود	تبخيرى	کانیھای	جدول۱

کانیشناسی تبخیریهای پلایای میقان

کربناتها: بهطورکلی در حوضههای بسته از جمله پلایاها و دریاچههای شور از حاشیهی حوضه به سمت مرکز، ابتدا زون کربناتی، سیس زون سولفاتی و در بخشهای مرکزی و عميقتر، زون كلروره ايجاد مي شود [١٩، ١٩]. كربناتها به علت قابلیت انحلال کمتر نسبت به کانیهای تبخیری دیگر، معمولاً در مراحل اولیه تکامل شورابه تهنشست می یابند. 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 [۲۱، ۲۰]. در دریاچههای ابر شورابهای (hypersaline) مانند پلایای میقان، غالباً کانی های کربناتی به صورت نهشت غیر آلی ایجاد می شوند، زیرا این آبها نسبت به میکروارگانیسمها 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 می شود. این کانی نسبت به بقیه کانیها نیز فراوانتر است بهطوری که در رسوبات سطحی و هم در بخشهای مختلف گمانهها، به فراوانی قابل مشاهدهاست. 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 آوارای بوده و بهصورت محلول نیز وارد حوضه شده و به صورت برجا نهشته شده باشند.

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

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 ppt۷۰ متبلور می شود [۲۴]. حضور NaCl و Na₂CO₃ 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 می شود. نتایج حاصل از آنالیزهای XRD روی ۳ نمونه رسوب از یوستههای 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 (شکل۳). کانی تناردیت در فصل زمستان درصورتی که شورابه غنی از یونهای سولفاتی و سدیم باشد میتواند بهصورت ميرابليت يا سولفات سديم آبدار ديده شود؛ عدم وجود اين 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]، بهطوری که دوباره حل شده و به گلوبریت و هالیت تبديل مىشود [٢٧]. البته وجود اين كانى بهميزان بسيار ناچيز در رسوبهای این منطقه توسط زمانی فراهانی [۲۸]، گزارش شده است.

گلوبریت از جمله کانیهای اصلی تشکیل دهندهی رسوب-های 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، به خصوص در سبخاها، انیدریت آب جذب کرده و تبدیل به باسانیت میشود [۲۹]. گاهی نیز در محیطهای با بارش اندک و خشک، ژیپس بخشی از آب خود را از دست داده و به باسانیت تبدیل میشود از ۳۰]. آنالیزهای پرتو ایکس نشان دهندهی میزان جزئی این کانی در پلایای میقانند، که به دلیل عدم وجود انیدریت در محیط و فصل برداشت نمونهها (تابستان)، بنظر می سد این کانی در اثر تغییر ژیپس و در شرایط خشک ایجاد شده است.



شکل ۳ چند نمونه از پراشنگارهای کانیهای موجود در پوستههای سطحی پلایای میقان.



شکل۴ نقشههای چگونگی پراکندگی کانیهای تبخیری موجود در رسوبهای سطحی (۱ متر≥) پلایای میقان، همراه با موقعیت نمونهبرداری (مقادیر برحسب درصدند).

کلریدها: کانیهایی هستند که در حوضههای بسته در آخرین مرحله و پس از کربناتها و سولفاتها تهنشست میشوند. هالیت جزء مهمی از تبخیری های پرکننده ی حوضه های بزرگ و کانی تبخیری اصلی در دریاچههای نمکی و حوضچههای شور عهد حاضر است. تنوع زیادی از خصوصیات بافتی و لایهبندی در هالیتها مشاهده می گردد که غالباً تحت تأثیر محیط رسوبگذاری ایجاد می شوند [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 می کند. حوضچه هایی که این بلورها در آنها تشکیل می شوند، كم عمق هستند و حداكثر چند ده سانتيمتر عمق دارند. هاليت یکی از مهمترین کانیهای تشکیلدهنده رسوبها در پلایای میقان است که بهصورت بلورها و پوستههای شورهزده (شکل ۵)، بین رسوبها دیده می شوند. در فصول خشک، قسمت وسیعی از سطح پلایای میقان را پوستههای شوره زده در بر می گیرد که بیشتر از هالیت تشکیل شدهاند، این پوستهها در اثر تبخير سطحي ايجاد مي شوند. تبخير سطحي آب را با كمك نیروی مویینه به سمت بالا می کشد و جامدات حل شده به صورت یک پوسته روی سطح رسوب میکنند. این پوستهها بسرعت در آب حل می شوند.

تهنشست هالیت نوبت به نمکهای تلخ میرسد که در غلظت ۶۰ برابر آب معمولی دریا تهنشین میشوند [۲۹]. بهدلیل 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 بهصورت ثانویه در اثر تغییر و تبدیل ژیپس و یا انیدریت تشکیل میشود؛ بنابر $CaSO_42H_2O$ + K^+ + Mg^{2+} \leftrightarrow] واكنش [.[۳۴،۳۳] [Ca₂K₂Mg(SO₄)₄2HO + 2Ca²⁺ يلى هاليت به هزينه گلوبريت، مطابق واكنش مقابل: $Na_2Ca(SO_4)_2H_2O + CaSO_4 + 2K^+ + Mg^{2+} + SO_4 +]$ ايجاد $[2H_2O \leftrightarrow Ca_2K_2Mg(SO_4)_42H_2O + 2Na^+]$ می شود. از آنجاکه ژیپس و گلوبریت از مهمترین کانی های موجود در پلایا هستند، پلیهالیت در پلایای میقان، میتواند در اثر هر دو واکنش بالا ایجاد شده باشد. سیلویت و کارنالیت، كانى هايى هستند كه درآخرين مراحل تبخير ايجاد مى شوند. نتایج حاصل از بررسیهای با استفاده از پرتو ایکس دلالت بر وجود مقدار بسیار ناچیزی سیلویت در پلایای میقان دارد، ولی کانی کارنالیت گزارش نشدهاست.

نمکهای تلخ (نمکهای پتاسیم و منیزیم): پس از



شکل ۵ شکلهای بالا، پوشش نمک که سطح پلایای میقان را پوشاندهاست. شکل پایین، بلورهای خودریخت (Euhedral) هالیت در رسوبات موجود در پلایای میقان که بهصورت نهشتههای درون رسوبی، ایجاد شدهاند.

تحولات شیمیایی و تکامل شورابه در ارتباط به کانیهای تبخیری

نتایج تجزیهی شیمیایی شورابههای پلایا و آبهای شیرین چاههای اطراف کویر میقان که مهمترین تأمین کنندهی شورابههای پلایا هستند در جدول (۲) ارائه شدهاند. ترکیب شیمیایی شورابههای پلایای میقان در حد خنثی تا خیلی کم قلیایی و در گسترهای حدود ۶٬۹۹ الی ۷٬۷۷ و میزان هدایت الکتریکی (EC) شورابه از ۱۱۵۳۰ تا ۱۵۹۹۰ میکروزیمنس بر سانتيمتر است. روند فراواني كاتيونها Na>Mg>K>Ca و روند فراوانی آنیونها Cl>SO₄>HCO₃>CO₃ است. فراوانترین کاتیونهای موجود در آبهای شیرین چاههای اطراف کویر، که توسط فراهانی [۳۵] مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتهاند، بهترتیب شامل سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم و فراوانترين آنيونها بهترتيب شامل سولفات، كلر، بيكربنات و کربنات می باشند. غلظت کل مواد جامد محلول (TDS) در شورابه، ۳۲۴۵۰۰ میلیگرم در لیتر و در آبهای زیرزمینی بطور متوسط ۱۹۸۰ میلی گرم در لیتر میباشد. این امر نشان میدهد که آبهای ورودی (سطحی و زیرزمینی) درحین 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-SO₄ تبدیل می شود [۳۶].

در مقیاس جهانی، ترکیب شیمیایی یونهای عمده در رودخانههای دنیا (HCO و Cl, SO₄, K, Mg, Ca, Na) و HCO و (HCO ت 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 رسوب گذاری کربنات کلسیم و شورابهای با مقدار Ca کم میشود، زیرا غلظت HCO اولیه در آب رودخانه بیشتر از Ca است، این مطلب به سادگی در فاز دیاگرام SO₄, SO₄ SO₄ میشتر از Ca است، این مطلب به سادگی در فاز دیاگرام SO₄, SO₄ SO₄ و CO که در گوشههای این دیاگرام واقع میشوند با ca و CO که در گوشههای این دیاگرام واقع میشوند با یکدیگر در حال تعادل میباشند و بیانگر تکامل ترکیب شورابه پس از تهنشست کلسیت و ژیپس میباشند [۳۸، ۳۸، ۳۹]. سه گروه اصلی شامل آبهای ورودی و تامین کننده شورابهها، به سه گروه اصلی شامل آبهای نوع Cl-Ca و نوع SO-Cl و نوع Na-HCO3-SO4، تقسیم میشوند [۳۸]. میانگین ترکیب

شیمیایی رودخانههای دنیا در گسترهی شورابههای نوع -Na محسوب می شوند و این در حالی است که $\mathrm{HCO}_3 ext{-}\mathrm{SO}_4$ چشمههای گرمایی جزء شورابهای نوع Ca-Cl و آب دریا در رديف شورابهاى نوع Cl-SO₄ قرار مى گيرند. همزمان با تەنشست كانىھا، شورابەھا در مسير تقسيمات مشخص شدە، حرکت میکنند. ترسیم نمونهها روی این نمودار، نشان میدهد که شورابههای پلایای میقان، بهشدت به سمت قطب SO₄ سوق مىيابند. بنابراين مىتوان گفت كه پس از تەنشست کربناتها (کلسیت)، شورابه نسبت به یونهای Ca و HCO3 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 [۴۰، ۴۰]. کانی شناسی خاص منطقه نیز که نشانگر وجود هالیت، ژییس، تناردیت و گلوبریت در رسوبهاست، این شرایط را تأیید می کند. از این نظر، پلایای میقان همانند دریاچهی نمکی بزرگ آمریکا [۴۰] جزء شورابههای Cl-SO₄ محسوب می شود. با ترسیم نمونهها در دیاگرام $-SO_4^{2^-}$ -Mg²⁺ – HCO₃ +CO₃²⁻ -SO₄² ، شاهد تجمع آنها در نزدیکی قطب سولفات هستیم (شکل۷ الف). بنابر، این نمودار طى تكامل شورابه، ۴ روند تكاملى مختلف با توجه به میزان Ca^{2^+} اولیه محلول، نسبت Mg/Ca و درصد هر یک از یونهای ⁺²،Ca²⁺ و SO4²⁻ میتوان در نظر گرفت، به طوری که طی این مراحل تکاملی، در نهایت کانی های 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 تەنشست كانى كلسيت بەدلىل مىزان بسيار ناچیز منیزیم، کانیهای منیزیمدار ایجاد نمی شوند. کانی شناسی رسوبهای منطقه نیز این ادعا را تأیید میکند، بهطوریکه آنالیزهای پرتو ایکس، وجود بسیار ناچیز دولومیت و مگنزیت را در پلایای میقان نشان میدهد. بنابراین با توجه به میزان کم یونهای منیزیم و میزان زیاد یونهای سولفاتی، پس از تەنشست كانى كلسيت شورابە بە سمت رأس سولفاتى حركت مى كند. در نمودار سەتايى -SO₄²⁻ مى كند. در نمودار سەتايى نمونهها در نزدیکی رأس ⁻Cl قرار می گیرند (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]

8	معلول المعايسة في ميران اليون ها والتون هاي الصلي الجلفاي ورواي اوليه والمورابة هاي پاري في ميغان، بر حسب الا								
	CL-	SO 2 -4	HCO ⁻ 3	CO^{2-3}	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K^+	Na ⁺	مىانگىن عناص
	(gr/lit)	(gr/lit)	(gr/lit)	(gr/lit)	(gr/lit)	(gr/lit)	(gr/lit)	(gr/lit)) 0
	•,۲9۴	۰,۷۷۵	• ۲۷۱	•,••٢	۰,۰۶ ۸	•,1٣•	•,••٣	• ۲۸۱	آبهای ورودی اولیه
	۱۲۸,۵۵	41,44	•,۴١	•,••	٩,۵۶	·/1Y	٠,١٩	۱۰۲/۰۷	شورابهها

جدول۲ مقایسهی میزان آنیونها و کاتیونهای اصلی آبهای ورودی اولیه و شورابههای پلایای میقان، بر حسب gr/lit.



شکل۶ نمودار مثلثی اسپنسر که در آن یونهای⁻²،SO₄، ⁻SO₄ و Ca²⁺ با هم در حال تعادل هستند[۴۰، ۴۰]. (الف) مسیرهای تکاملی شـورابه و موقعیت پلایای میقان روی این نمودار. ب) موقعیت انواع شورابهها و موقعیت شورابههای مهم دنیا.



شکل۷ نمودارهای مثلثی اسپنسر [۳۹، ۴۰]. الف) مسیرهای تکاملی شورابه و موقعیت پلایای میقان روی نمودار ⁻²، SO₄²⁻ McO3. ب)روند. تکاملی شورابهها، موقعیت انواع شورابههای مهم دنیا و پلایای میقان بر روی نمودار سه تایی ⁻²، SO₄²⁻ Cl-، HCO3.

توالی رسوبگذاری کانیها طی تبخیر پیش رونده در دریاچههای شور، با جدایش شیمیایی دنبال می شود [۸۸، ۴۰]. طی تبخیر، اشباع شدگی نسبت به کربناتهای قلیایی خاکی به سرعت حاصل می شود. از اینرو در مراحل اولیه، افزایش نمک، کلسیت و کلسیت پرمنیزیم نهشته می شوند. کانیهای بعدی در توالی رسوبگذاری شامل سولفاتها، سیلیکاتها و کلریدها Mg، Ca و Cl کنترل می شود (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 می شود. در دریاچههای شور و پلایاها پس Mg/Ca

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 NaHCO₃, Na₂CO₃ (, در اثر تبخیر و بهصورت محلی صورت گرفته است. فقدان ترونا (, Ra₂CO₃ , Na₂CO محلی صورت گرفته است. فقدان ترونا (, 2O₃ , Na₂CO بمحلی صورت گرفته است. فقدان ترونا (, به میزان سولفات و PH محلی نیز در این پلایا به دلیل بالا بودن میزان سولفات و خنثی آن است. زیرا این کانی در محیطهایی با میزان سولفات پایین، غلظت بالای Na ، Na و CO و محلولهایی با میزان شرایط در پلایای میقان وجود ندارد.

توجه به میزان بالای یون سولفات در شورابههای پلایای میقان (جدول ۲)، و افزایش بسیار بالای نسبت Na><Ca بهنظر میرسد میزان تناردیت و میرابلیت در این حوضه باید مقادیر بالاتری را نشان دهد. بهدلیل قابلیت انحلال بالای نمکهای سولفاتی به خصوص تناردیت و میرابلیت، این نمکهای سطحی بههنگام پرشدن دوبارهی حوضه، به سرعت حل شده و بهصورت محلول در شورابه باقی میمانند و در طول پرشدگی و خشک شدگیهای ییدریی دریاچه، ضخامت قابل توجهی از این نمکها در پلایای میقان مشاهده نمی شود. در محیطهای بسته یس از تشکیل کانیهای حاوی سولفاتهای سدیم (تناردیت و میرابلیت) میزان سدیم در محیط کاهش می یابد؛ در این هنگام اگر محلول حاوی یون Ca باشد، کانی گلوبریت ایجاد می شود؛ بدین معنی که در حوضههای بسته طی تبخیر شورابه، با تغليظ شورابه كمى قبل از حد اشباع براى تشكيل نمك طعام، انيدريت جانشين ژيپس مي شود، با ادامه تبخير، گلوبريت بهطور بخشی جانشین انیدریت می شود، 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 نمی سد [۲۹].

با تهنشست کلسیت و تخلیهی Ca از شورابه، میزان SO₄ افزایش و نسبت Ca/Na کاهش می یابد و کانی های سولفاتی شروع به نهشته شدن مىكند. كانى سولفات كلسيم بهصورت گستردهای در رسوبهای سطحی و عمقی (گمانهها) منطقه موجود است. رسوبگذاری این کانی به خاطر غلظت نسبتاً بالای Na, Ca و SO₄، کنترل می شود. در پلایای میقان به دلیل نسبت مناسب این املاح (جدول ۲) پس از تەنشست کلسیت بنابر نمودار (۸) ژییس رسوب میکند، طی رسوبگذاری و تهنشست ژیپس، مقداری از Ca و SO₄از شورابه حذف شده و همانند درهی سالین (Saline Valley) و درهی مرگ (Saline Valley Valley) شورابه نوع Na-SO₄-Cl [۱۸] تشکیل می شود. بهدلیل وجود مقدار اندک Mg در شورابههای پلایای میقان کانیهای سولفات منیزیم تشکیل نمی شود. افزایش دما و از دست دادن مقداری آب، موجب تبدیل ژییس به باسانیت شده و در ادامه این روند، انیدریت نهشته می شود. باسانیت به مقدار اندک در رسوبهای منطقه یافت شده است، ولی بهدلیل 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 می شود. با



شکل۸ روند نهشته شدن کانیهای تبخیری در پلایای میقان، اقتباس از [۱۸، ۴۰].

بنابر نمودار (۸) پس از تشکیل کانی های سولفات سدیم، کانی های کربنات سدیم تشکیل خواهند شد. تنها کانی کربناتی موجود در رسوبهای پلایای میقان ناترون است. این کانی در آب محلول است و اغلب به صورت محلول در آب دریاچه های حاوی سدیم (مانند دریاچههای سدیمدار مصر و غرب آمریکا) وجود دارد؛ همچنین به صورت بلور در نهشتههای نمکدار یافت می شود. این کانی جزء کربنات های آبدار محسوب می شود، بهطور کلی کانی های کربناتی آبدار کمیاب هستند. ناترون فقط از شورابههایی با نوع Na-CO₃-Cl حاصل می شود [۲۹]. در پایان نیز با افزایش میزان کلر در محلول، کانی های کلریدی نظير هاليت تەنشست مىشوند. ترتيب فراوانى كاتيون هاى موجود در شورابههای نهایی پلایای میقان Na>>Mg>K>Ca و آنیـون.هـای CO_SO_SO_SO_SO_SO_S اسـت (جـدول ۲). سدیم و کلر بیشتر از ۵۰٪ وزن نمونه ها را تـ شکیل مـیدهند، این حالت تا زمانی یا برجاست که هالیت در حال تهنشست است و منیزیم به کاتیون غالب تبدیل شود. هالیت مهم ترین 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 Na-SO4-Cl است (شکل ۸) که هالیت محصول نهایی تبخیر آن است. در پلایای میقان شاهد حضور کانی های تلخ نیز هستیم. تشکیل پلیهالیت دلالت بر غنیشـدگی نـسبی شورابهها نسبت به K و Mg دارد و تعادل جدید فاز جامد-شورابه در اثر واکنش برگشتگی با سولفاتهای نهشته شده اوليه ايجاد مي شود [۴۲]. حضور دو كاني حاوى K يعنى کارنالیت و سیلویت نشان میدهد که شورابهی تبخیری از مرحلهی اشباع هالیت فراتر میرود. فرواوانی 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 نمی شود. 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 ازجمله تغییر در شیمی شورابه در ارتباط با خاستگاه و/ یا آب و هوا،

لایهبندی شیمیایی دریاچه و بازگشت نمکها در اثر انحلال پوستههای شورهزده 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]، سراسر جهان مشاهده شدهاند، برای مثال دریاچه ایگنبریت بحرالمیت[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 نسبتا سادهای دارد و غالباً در ارتباط با مراحل تکامل شیمیایی شورابه است، این تکامل متأثر از ترکیب کلی آبهای وارده به قابلیت انحلال در حاشیهی حوضه و نمکهایی با حداقل قابلیت انحلال در حاشیهی حوضه و نمکهایی با حلالیت بالا در مرکز آن تهنشست یابند، رسوبگذاری کانیها از مدل چشم گاوی پیروی میکند. این مدل بیشتر در حوضههای کاملاً بسته ایجاد میشود، درحالی که 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، پاراژنزهای کانیهای تبخیری در مناطق مختلف، در حال تغییرند؛ بهطوری که 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 (شکل۴)، 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، نیشان میدهد که کانی ژیپس برخلاف کانی کلسیت دارای روند



شکل۹ الگوهای کلی از رخسارههای تبخیری، (الف) چشم گاوی و(ب) قطره اشکی.

سولفاتی کاسته شده و کانی هالیت افزایش می یابد. این امر دلیلی بر صحت قانون ترتیب رسوبگذاری کانیها از محلولهای شورابهای است. بنابر توضیحات بالا و ترسیم نقشهی پراکندگی کانی شناسی نمونه های سطحی سرتاسر پلایا (حداکثر تا عمق ۱ متر)، میتوان نتیجه گرفت که منطقهبندی کانی شناسی در حوضهی رسوبی پلایای میقان همانند بسیاری از دریاچههای دیگر از جمله دریاچهی مهارلو [۴۸] و پلایای ساغند [۵۰] بهتدریج و براساس تغییرات تراکم شورابه، صورت پذیرفته است و براساس توضيحات بالا و بررسی نقشههای پراکندگی کانی های تبخیری (شکل۴)، مشاهده می شود 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 شرقى حوضه با بقيه قسمتها متفاوتاند و منطقهبندی کانی شناسی و تغییرات منظم فاکتورهای دیگر از حاشیه به مرکز، در این منطقه دیده نمی شود [۵۱]. از جمله دلايل آن ورود آبهاي سطحي بيشتر، وجود لايههاي نفوذناپذیر در اعماق کمتر و ضخامت کمتر آبخوان در این محدوده از حوضه است؛ علاوه براین وجود جزیرهی اصلی در مرکز پلایا و جزیرهی فرعی در حاشیهی شمال-شمال شرقی حوضه، موجب ریختشناسی خاصی در این منطقه از پلایا شدەاست.

برداشت

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

شناسی و شیمیایی میشوند. ورود رودخانههای فصلی و آبهای زیرزمینی که حاوی مواد معلق و محلول اند 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 شورهزده 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؛ بهطوریکه شاهد منطقهبندی کانیهای تبخیری در سطح پلایا هستیم. کانیهای کربناتی قلیایی خاکی در حاشیه-ی حوضه تهنشست میکنند، سپس زون سولفاتی و در مرکز منطقهی کلروره تشکیل میشود؛ بهطوریکه 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-SO4 هستند و در ردهی دریاچههای نمکی با شورابههای تکامل یافته قرار میگیرند که نوع یونها و در نتیجه کانیهای تبخیری تحت رمهیگیرند که نوع یونها و در نتیجه کانیهای تبخیری 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 [12] Warren J. K., "Evaporites, Their Evolution and Economics", Blackwell Science (1999) 438p.
[17] انصاری ع.ح.، کوهساری ا.ح.، "شناسایی انواع کانیهای تبخیری زیرپهنههای کویر سیاهکوه استان یزد"، مجله بلورشناسی و کانیشناسی ایران، شماره ۱۵ (۱۳۸۶) ص ۴۳۸.

[۱۴] مرادینژاد ۱.، آخوندی ۱.، تاج آبادی 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) ص۳۶–۲۱.

[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. (۱۲] امامی م.م.*، "شرح نقشه زمینشناسی چهار گوشه قم به مقیاس میار ایت ایترات مینشناسی کشور، وزارت مقیاس کشور، وزارت مقیاس کشور، وزارت م*

معادن و فلزات، (۱۳۷۰) ۱۷۹صفحه.

[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 paleochernistry of Lake Beeac, 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 (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 cf 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.

مسئولان و کارشناسان دانشگاه همبولت بهویژه جناب آقای دکتر محسن میرمحمد مکی و آقای یوهان پروبست ابراز می دارند.

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] ChaoL., 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 paleoclmatic reconstruction from the lacustrine sediments of the Sambhar playa core, That Desert margin, India", Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 233 (2006) 252-270.

[6] Zheng M., "*Resources and eco-environmental protection of salt lakes in China*", Environal 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", Boletin la Socied geologica 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 coproducts 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. Frape) (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., "Économic 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] Schrreiber 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 NorthernGreat Plains, Canada", Sedimentology 36 (1989) 109–123.

[46] Last W. M., "Paleochemistry and paleohydrology of CeylonLake, 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، هیدروشیمی 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 Clifs", Prentice-Hall, (1989) 285 p.
[40] ترشیزیان ح.. "تکامل شورابهها و تشکیل کانی های تبخیری در پلایای 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) ص۵۴–۴۳.
[40] عبدی ل.، "رئوشیمی رسوبات تبخیری پلایای میقان ارک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، (۱۳۸۹) ۲۶۶ [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., "Grondwater in Gelogical Processes", Cambridge University Press (1998) 246-254.

[۲۸] زمانی فراهانی ف.، "رسوب شناسی حوضه تبخیری دریاچه میقان اراک با نگرشی ویژه بر تأثیر این حوضه بر آبهای منطقه"، پایاننامه کارشناسی دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۷۸) ۱۹۶صفحه.

[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 شورایه در پلایای میقان اراک ، مج*له چینهنگاری و

رسوب شناسی دانشگاه اصفهان، شماره ۱ (۱۳۸۹) ص ۲۲–۲۵. [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.