

بررسی روند رسوب‌گذاری و تغییرات اقلیم در توالی کوتاه‌تر پلاهای میقان

لیلا عبدی، کارشناس ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه تهران*

حسین رحیم‌پور بناب، استاد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

مصطفی یوسفی‌راد، استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، اراک

محسن میرمحمد مکی، استادیار، دانشکده جغرافیا، جغرافیای خاک، دانشگاه همبولت، برلین، آلمان

چکیده

در این مطالعه ۳۰ نمونه رسوب از ۷ گمانه با حداکثر عمق ۵۲۰ سانتیمتر از بستر پلاهای میقان، واقع در ۱۵ کیلومتری شهر اراک برداشت گردید. این رسوبات مورد مطالعات کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و رسوب‌شناسی شامل دانه‌بندی، کلسیمتری، تعیین درصد مواد آلی، EC، pH و خصوصیات فیزیکی قرار گرفتند؛ رسوبات پلاهای میقان بیشتر از نوع شیمیایی (تبخیری) و آواری هستند. درصد کانی‌های تبخیری در رسوبات سطحی نسبت به کانی‌های آواری بیشتر است. مطالعه حاضر نشان می‌دهد که گسترش رسوبات شیمیایی به طور عمده در دوره‌های تراز پایین آب و شرایطی که دریاچه به‌ندرت از خشکی تغذیه می‌شده، صورت گرفته است در حالی که رسوبات آواری حوضه در دوره‌های با تراز بالای آب، توسط رودخانه‌های تغذیه‌کننده دریاچه و سیلاب‌ها به‌صورت بار بستر و بار معلق به محل رسوب‌گذاری حمل شده و نهشته شده است. بررسی پارامترهای رسوب‌شناسی و کانی‌شناسی بر روی نمونه‌های اخذ شده از گمانه‌ها، علی‌رغم تغییرات مشاهده شده به‌دلیل تغییرات اقلیمی (وجود فصل‌های خشک و مرطوب)، بیانگر روند تقریباً منظم این پارامترها در طول گمانه‌ها است به‌طوری‌که با ژرفا، درصد کانی‌های آواری، کربنات کلسیم و اندازه ذرات افزایش و میزان مواد آلی و جورشدگی ذرات کاهش می‌یابند. این تغییرات همراه با کاهش درصد کانی‌های تبخیری بخصوص ژپس و هالیت با عمق، خود بیانگر بالا بودن سطح آب پلایا و اقلیم سرد و مرطوب‌تر گذشته (پلستوسن انتهایی) است و یا شاید وجود دریاچه‌ای با آب شیرین یا شوری کمتر در گذشته که طی زمان و تغییرات آب و هوایی ضمن کاهش تراز آب، شوری آن افزایش یافته است.

کلید واژه‌ها: پلاهای میقان، روند رسوب‌گذاری، تغییرات اقلیم، کوتاه‌تری.

مقدمه

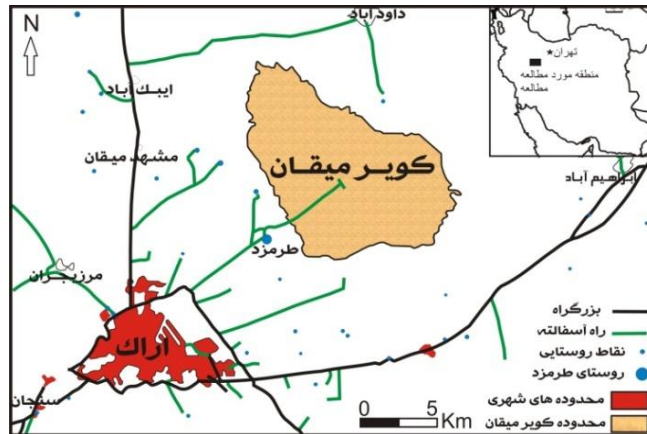
دریاچه‌ها اسناد و مدارکی با حساسیت و وضوح بالا فراهم می‌آورند که برای مطالعه تغییرات اقلیمی و محیط‌های رسوبی در سطح جهانی مورد نیاز است. مطالعه رسوب‌شناسی و ژئوشیمی دریاچه به دلیل منافع اقتصادی، منابع معدنی و بررسی محیط‌های رسوبی دیرینه که در ته‌نشست‌های دریاچه ثبت شده است، در دهه‌های اخیر به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفته است (Schutt 2004; Sinha et al. 2006; Roy et al. 2006; 2010; Li et al. 2010; Smykatz-Kloss and Roy 2010; Kilic and Kilic 2010; Legler et al. 2011; Solotchina et al. 2014; Roop et al. 2014; 2012). پلایای میقان نیز به عنوان یک حوضه رسوبی درون قاره‌ای با شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی، زیست‌شناسی و زیست محیطی خاص خود و به دلیل وجود بزرگترین معدن سولفات سدیم خاورمیانه در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران علوم مختلف بوده و از جنبه‌های مختلف مورد پژوهش و بررسی قرار گرفته است.

شورابه‌های پلایای میقان دارای غنی‌شدگی نسبت به یون‌های Na^+ ، Cl^- ، SO_4^{2-} است و مهم‌ترین منبع تأمین این یون‌ها، سازندهای تبخیری میوسن و سنگ‌های آذرآواری همراه با گدازه‌های آندزی-بازالتی واقع در شمال تا شمال شرقی حوضه هستند (مهاجرانی ۱۳۷۷؛ عبدی و رحیم‌پور بنباب ۱۳۸۹). رسوبات پلایای میقان همانند سایر پلایاها از دو نوع آواری و غیرآواری (تبخیری) تشکیل شده‌اند (Cooke and Warren 1973)، به طوری که مقدار زیادی از رسوبات دریاچه را رسوبات غیرآواری (تبخیری) به خود اختصاص داده‌اند. نسبت رسوبات آواری به تبخیری در حاشیه پلایا بیشتر و در نزدیک بخش‌های مرکزی پلایا کمتر است (Rahimpour- Bonab and Abdi 2012). بیشتر این رسوبات در اندازه سیلت و رس، همراه با طبقه‌بندی افقی و لامیناسیون هستند که نشانگر ته‌نشینی رسوبات در یک محیط آرام است. رسوبات تبخیری نیز به صورت مخلوط با گل و ماسه و یا به صورت لایه کریستالین در پلایای میقان دیده می‌شوند. مهم‌ترین کانی‌های تبخیری موجود در رسوبات سطحی (>۱ متر) شامل کلسیت، ژیپس، هالیت، گلوبریت، تناردیت، پلی‌هالیت و ناترون هستند. بررسی نمونه‌های سطحی، بیانگر ته‌نشست کانی‌های

کربناته در حاشیه حوضه سپس زون سولفات‌ها است که در مرکز زون کلروره تشکیل می‌گردد (عبدی و رحیم‌پور بنباب ۱۳۹۳). ایلیت و کلریت از جمله مهم‌ترین کانی‌های رسی موجود در رسوبات سطحی و عمقی پلایای میقان هستند. این کانی‌ها عموماً دارای منشأ آواری بوده و از طریق فرایند فرسایش مکانیکی ایجاد شده‌اند (عبدی و رحیم‌پور بنباب ۱۳۹۳b). نهشته‌های کواترنر سطح حوضه میقان را پوشانده است. ضخامت این رسوبات ۵۲۰ متر تخمین زده شده است. متوسط نرخ رسوب‌گذاری در کل حوضه رسوبی میقان حدود ۲/۴۳ متر در هر ده هزار سال تعیین شده است (یوسفی‌راد و همکاران ۱۳۸۹). آب و هوا از جمله مهم‌ترین عواملی است که بر روی رسوبات موجود در محیط‌های دریاچه‌ای اثر می‌گذارد؛ به طوری که میزان رسوب‌گذاری، نوع و میزان هوازدگی، تبخیر، نوع گیاهان و همچنین میزان رسوباتی که توسط جریان‌های فصلی و سیلاب‌ها وارد حوضه رسوبی می‌شوند، توسط این عامل کنترل می‌شود. وجود گمانه‌های حفر شده در پلایا، فرصت مناسبی ایجاد کرد تا با مطالعه رسوبات به لحاظ ویژگی‌های رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی و تلفیق این اطلاعات با یکدیگر، بتوان اهداف این مطالعه را که بررسی نحوه رسوب‌گذاری، تحولات محیط رسوبی و تغییرات اقلیم در دوره کواترنری در حوضه میقان است مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

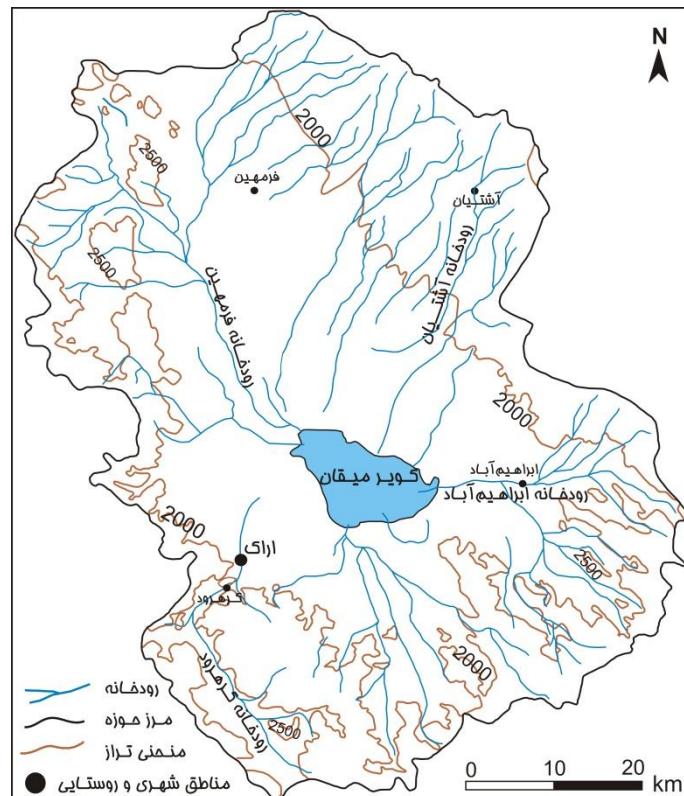
پلایا/ دریاچه فصلی میقان یکی از مرتفع‌ترین شوره‌زارهای ایران است که ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۶۷۵ متر است. این دریاچه فصلی به وسعت تقریبی ۱۱۰ کیلومتر مربع و با مختصات جغرافیایی ۴۶° ۴۹' الی ۵۵° ۴۹' طول شرقی و ۳۴° ۱۶' عرض شمالی در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان اراک واقع شده است و از مهم‌ترین راه‌های دسترسی به آن جاده‌های آسفالت‌های روستاهای طرمزد و داودآباد است. (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت پلایای میقان و راه‌های دسترسی به آن.

است. این دشت از دهانه رودهای فصلی کرهرود، امان‌آباد، آشتیان، فرمهین، ابراهیم‌آباد و غیره تا ناحیه باتلاقی مرکز دشت با شیب نسبتاً زیاد گسترده شده است (شکل ۲).

منطقه تبخیری و پست پلایا/دریاچه فصلی میقان، به‌صورت یک گود افتادگی در مرکز حوضه آبریز بسته دشت اراک که یکی از حوضه‌های مرکزی ایران است، قرار گرفته

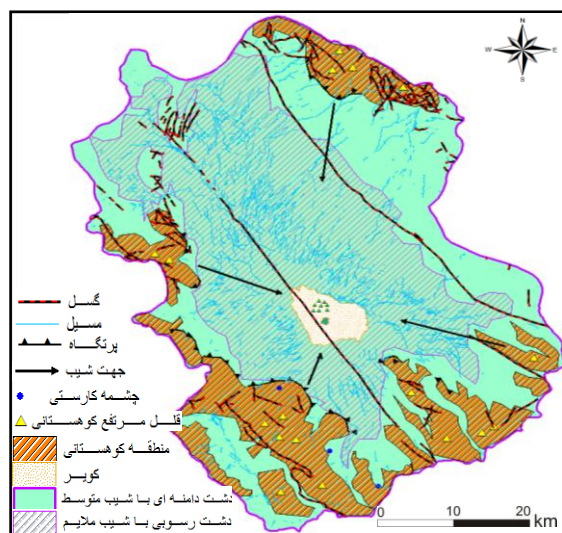


شکل ۲- نقشه حوضه آبریز پلایای میقان که در آن موقعیت رودخانه‌های فصلی و خطوط تراز مشخص شده است.

تا حدود ۴۴+ در تابستان متغیر است. متوسط بارندگی سالیانه منطقه حدود ۳۱۴/۷ میلیمتر در سال و تبخیر سالیانه ۲۰۷۲ میلیمتر است. جهت غالب باد در منطقه غربی و جنوب غربی است و سرعت آن حدود ۳۵ کیلومتر در ساعت است (سازمان هواشناسی کشور ۱۳۸۷).

حوضه رسوبی میقان متشکل از دریاچه فصلی و شور توزلوگل، دشت‌های آبرفتی، مخروط افکنه‌ها و کوه پایه‌هاست (شکل ۳). دشت اراک توسط ارتفاعاتی به بلندی ۳۰۰۰-۲۰۰۰ متر محدود شده است که به‌طور متوسط حدود ۱۰۰۰ متر با پلایا اختلاف ارتفاع دارد. این ارتفاعات شامل صخره‌های بلند و تیغه‌ای و پرتگاه‌هایی با شیب تند است. تپه ماهورهای پای ارتفاعات نسبتاً کم ارتفاع و دارای شیب کمی هستند که در مقابل فرسایش مکانیکی و هوازدگی مقاومت کمتری دارند. مخروط افکنه‌ها بیشتر در قسمت‌های جنوب غربی، شمال و شرق حوضه در دامنه ارتفاعات گسترش داشته‌اند و به‌دلیل داشتن شیب ملایم، پستی و بلندی کم و نفوذپذیری خوب، سفره‌های آبی خوبی را ایجاد نموده، اراضی آن به کشت آبی اختصاص دارند (شکل ۳).

دریاچه فصلی میقان تقریباً از تمام جهات تغذیه می‌شود ولی با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در اقلیم نیمه خشک واقع شده است و بارندگی در این اقلیم به‌صورت فصلی اتفاق می‌افتد، فاقد رودخانه دائمی است. این دریاچه در فصولی که میزان بارندگی بالا است به‌صورت دریاچه موقتی با عمق حداکثر ۱/۵ متر تبدیل می‌شود و در فصول خشک به‌صورت باتلاق و نم‌زار در می‌آید و از این رو به آن کویر میقان نیز گفته می‌شود. اقلیم منطقه براساس نقشه بیوکلیماتیک ایران طبق روش آمبرژه، نیمه‌خشک و سرد و بر اساس روش دومارتن، نیمه‌خشک است. در مطالعه‌ای که براساس خشک‌سالی هواشناسی منطقه اراک از طریق تحلیل بارندگی‌های ۵۲ ساله (از سال ۱۳۳۵-۱۳۸۷) انجام گردید، مشخص شد، منطقه مورد مطالعه فاقد دوره‌های مشخص خشک و تر بوده و دارای سال‌های خشک و تر است. این وضعیت نشان از بی‌نظمی سالانه بارندگی دارد که از ویژگی‌های اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک است (مرادی‌نژاد و همکاران ۱۳۸۷). متوسط دمای سالیانه منطقه ۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد است. درجه حرارت آن از حدود ۳۰/۵- در زمستان



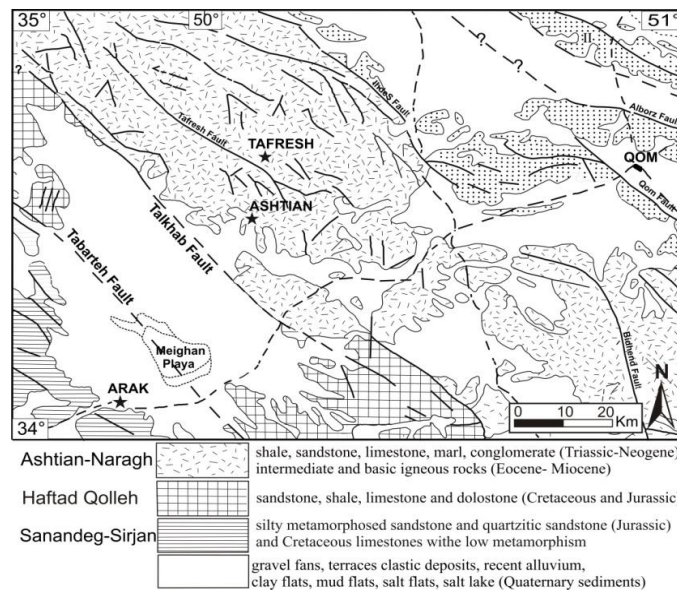
شکل ۳- نقشه ژئومورفولوژی حوضه آبریز میقان.

سیرجان در جنوب، زون هفتاد قله در وسط و زون آشتیان-نراق در شمال تقسیم شده است. بلوک سنندج-سیرجان،

حوضه آبریز کویر میقان اراک توسط دو گسل اصلی تلخاب در شمال و تبرته در جنوب به سه زون سنندج-

چین خورده، دارای طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های متوالی است و نظیر بلوک سنندج-سیرجان فاقد فعالیت آتشفشانی است. بلوک آشتیان-خرق، جوان‌ترین بلوک در حوضه آبخیز دشت اراک است که دارای فعالیت شدید آتشفشانی است و با توجه به سنگ‌های موجود، فعالیت شدیدی از زمان بعد از کرتاسه داشته است (امامی ۱۳۷۰) (شکل ۴).

قدیمی‌ترین بلوک در حوضه را تشکیل می‌دهد که شامل آهک متبلور، اسلیت آهکی و آهک دولومیتی از زمان ژوراسیک تا پایان کرتاسه است که متحمل گسل خوردگی و دگرگونی شده و فاقد فعالیت‌های آذرین و آتشفشانی است. بلوک هفتاد قله شامل سنگ‌های شیلی، ماسه‌سنگ تیره ژوراسیک و آهک کرتاسه است و پدیده دگرگونی ندارد. این واحد به شدت

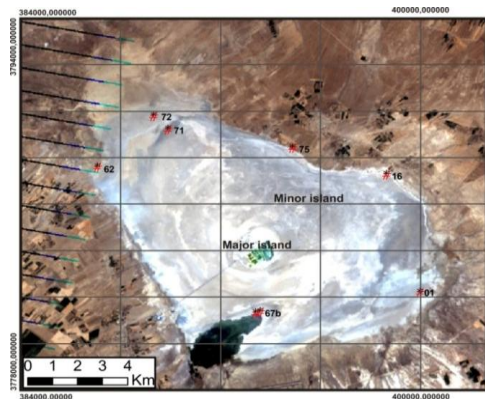


شکل ۴- نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز میقان (اقتباس از امامی ۱۳۷۰)

کمک اوگر (auger)، از ۷ گمانه با حداکثر عمق ۵۲۰ سانتی‌متر از بستر پلایا برداشت گردید (شکل ۵).

روش مطالعه

برای مطالعه شاخص‌ها، وضعیت رسوب‌شناسی و بررسی نحوه رسوب‌گذاری پلایای میقان، تعداد ۳۰ نمونه رسوب با



شکل ۵- تصویر ماهواره‌ای پلایای میقان که در آن موقعیت گمانه‌های حفر شده در پلایا مشخص شده است.

رسوبات به سه حالت دست نخورده، اشباع شده با اتیلین گلیکول و حرارت دادن (۵۵۰ درجه سانتیگراد) توسط دستگاه Siemens Diffractometer D5000 در کشور آلمان مورد تجزیه قرار گرفتند. مقدار کمی کانی‌ها با استفاده از برنامه Auto Quan، محصول کشور آلمان محاسبه گردید. این مقادیر مطلق نبوده اما می‌توانند به صورت نسبی مورد استفاده قرار گیرند. داده‌های عناصر اصلی موجود از همین گمانه‌ها نیز که به روش فلورسان اشعه ایکس (XRF) در کشور آلمان مورد تجزیه قرار گرفتند (یوسفی‌راد و همکاران ۱۳۸۹) نیز مورد استفاده قرار گرفت.

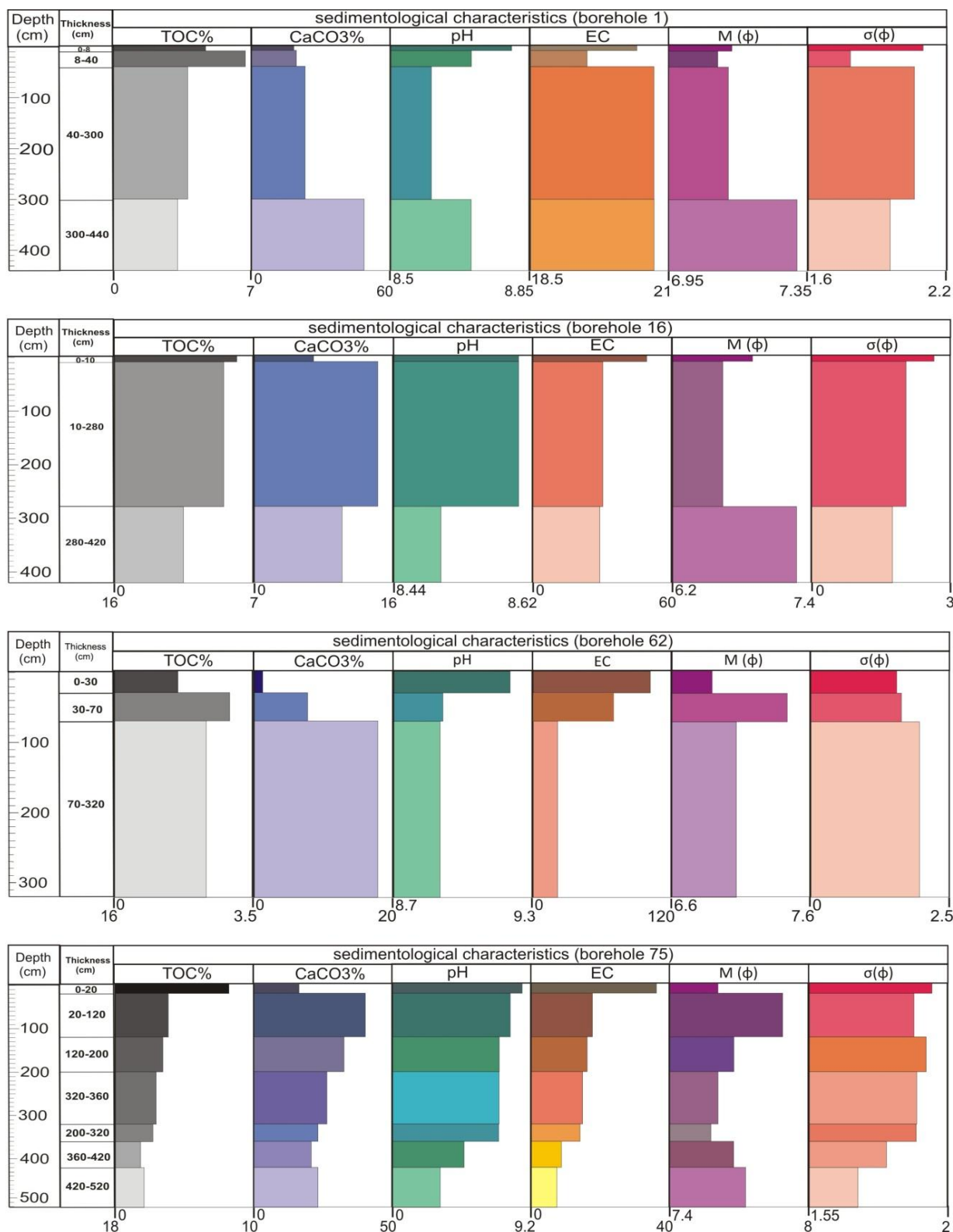
بررسی خصوصیات رسوب‌شناسی گمانه‌ها

رسوبات آواری پلایای میقان عمدتاً از رخنمون‌های اطراف حوضه، توسط رودخانه‌ها و سیلاب به داخل پلایا حمل می‌شوند (شکل ۲ و ۳). به دلیل مکانیسم‌های رسوب‌گذاری (مانند سیلاب و باد) و همچنین وجود مخروط افکنه‌های اطراف پلایاها که به عنوان تله عمل می‌کنند و رسوبات دانه درشت را به دام می‌اندازند، در این مناطق عموماً رسوبات دانه ریز رسوب می‌کنند (Shaw and Thomas 1989; Last 1984). در پلایای میقان نیز به دلیل وجود مخروط افکنه‌هایی که در دامنه ارتفاعات گسترش داشته، فاصله طولانی حمل رسوبات از مناطق کوهستانی تا پلایا و شیب کم پلایا، رسوبات دانه ریز ته‌نشست یافته‌اند. ذرات آواری پلایای میقان اغلب دانه ریز در حد سیلت و رس با متوسط اندازه ۷/۲ فی و جورشدگی بد تا خیلی بد (۱/۵۴ تا ۲/۶۹ فی) است (جدول ۱). جورشدگی بد تا خیلی بد و ریز بودن رسوبات پلایا میقان همانند سایر پلایاها حاکی از شرایط بسیار آرام و کم انرژی در محیط رسوبگذاری است، زیرا پلایاها آخرین نقطه زهکشی منطقه هستند. بررسی آنالیزهای دانه‌سنجی در طول گمانه‌ها، علی‌رغم تغییرات متناوب، نشانگر افزایش متوسط اندازه ذرات و کاهش جورشدگی رسوبات با ژرفا (به سمت عمق) است (جدول ۱، شکل ۶ و ۷).

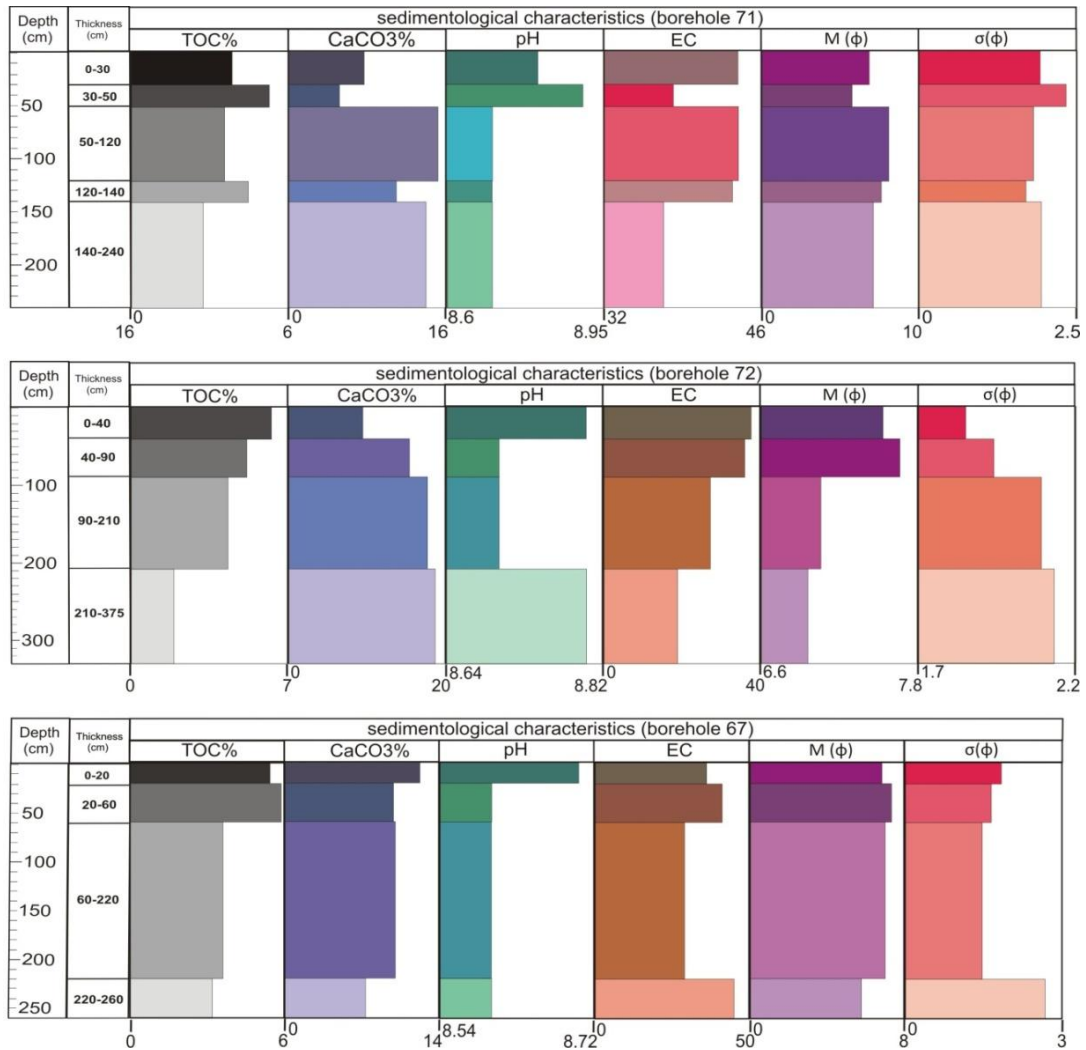
به منظور مطالعه جامع و دقیق رسوبات، در هنگام نمونه‌برداری به ساختار رسوبات و ویژگی‌های آنها، از نظر رنگ، دانه‌بندی و کانی‌شناسی ظاهری، توجه گردید و تغییرات رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی رسوبات در سطح و عمق مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شد. در بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناسی گمانه‌ها، پارامترهایی چون دانه‌بندی، درصد کربنات کلسیم، تعیین درصد مواد آلی، EC، pH و خصوصیات فیزیکی رسوبات، مورد مطالعه قرار گرفتند. برای بررسی‌های دانه‌سنجی به دلیل ریز دانه بودن رسوبات از روش هیدرومتری و استفاده از تغییرات چگالی آب استفاده گردید. به دلیل میزان زیاد کانی‌های تبخیری در رسوبات مورد مطالعه، رسوبات به مدت ۴۸ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند سپس چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند تا تمام نمک‌های قابل حل آن جدا گردد (ارزانی ۱۳۹۱). به منظور از بین بردن مواد آلی، نمونه‌ها با آب اکسیژنه رقیق شستشو داده شدند، سپس به روش هیدرومتری مورد آنالیز دانه‌بندی قرار گرفته و درصد ماسه، سیلت و رس در آنها محاسبه گردید. در انتها دیاگرام‌ها و منحنی‌های دانه‌بندی برای آنها ترسیم گردید و به کمک این منحنی‌ها، پارامترهای آماری رسوبات محاسبه شد. برای تعیین میزان کربنات کلسیم موجود در رسوبات از روش کلسیمتری به روش بارنارد که براساس اندازه‌گیری گاز CO₂ خارج شده از رسوب استوار است، استفاده شد (Hulseman 1966; Muller and Gatsner 1971; Lamas et al. 2005). میزان مواد آلی موجود در رسوبات با نیز روش حرارت دادن (در دمای ۴۲۰ درجه و به مدت ۲ ساعت) در آون تعیین شد. خصوصیات دیگر رسوبات شامل، pH به روش پتانسیومتری، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به روش هدایت‌سنجی و همچنین، سایر خصوصیات فیزیکی رسوبات شامل رنگ، اندازه ظاهری و کانی‌های موجود در داخل رسوبات بعد از خشک شدن آنها، بررسی گردید. در مطالعه ترکیب کانی‌شناسی، نمونه‌ها از روش پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده شد؛ به این منظور

جدول ۱- اختصاصات و پارامترهای مهم آماری رسوبات اعماق مختلف حاصل از گمانه‌های حفر شده در پلایای میقان.

No.	Depth (cm)	Coordinates wgs84	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Color	Organic Carbon %	CaCO3 %	pH CaCl2 t=1hour	EC (ms)	Grain Size Parameters				
											Mz (φ)	Md (φ)	σ(φ)	Ski	KG
1	0-8	N34 10.523	18.9	75.2	5.9	Light olive brown	4.6	18.2	8.8	20.4	7.13	7.31	2.09	0.06	0.79
	8-40	E49 54.874	14.3	84.5	1.3	brown	6.6	18.7	8.7	19.5	7.09	6.84	1.78	-0.20	1.06
	40-300		20.0	75.9	4.1	brown	3.7	22.6	8.6	20.7	7.12	7.00	2.05	-0.10	1.13
	300-440		20.4	76.6	3.0	Light brown	3.2	47.8	8.7	20.7	7.32	7.38	1.95	0.01	0.86
16	0-10	N34 13.267	19.0	64.5	16.5	Olive green	6.1	6.7	8.6	48.4	6.88	7.62	2.62	0.40	1.06
	10-240	E49 53.971	14.0	80.4	5.6	Olive green	5.4	14.1	8.6	29.8	6.62	6.27	1.99	-0.27	0.82
	240-280		16.3	83.2	0.5	Brown & green melange	3.4	10.0	8.5	28.4	7.26	7.06	1.72	-0.16	0.89
62	0-30	N34 13.367	8.2	90.9	0.8	Grayish brown. white	1.6	1.3	9.2	101.5	6.89	6.83	1.54	-0.08	0.98
	30-70	E49 46.446	15.0	84.8	0.2	Black. greenish black	2.9	8.2	8.9	70.2	7.44	7.31	1.62	-0.11	0.93
	70-320		17.9	80.6	1.5	brown	2.3	18.8	8.9	21.1	7.07	6.97	1.94	-0.10	0.79
67	0-20	N34 10.005	13.2	81.6	5.3	Grayish brown	5.3	11.9	8.7	35.1	6.74	7.76	1.81	-0.19	1.23
	20-60	E49 50.605	15.7	84.3	0.0	Dirty green	5.7	9.5	8.6	39.9	7.18	6.76	1.63	-0.34	1.21
	60-220		12.8	84.6	2.6	Greenish gray	3.5	9.7	8.6	28.1	7.06	6.97	1.54	-0.13	1.23
	220-260		10.0	71.3	18.7	Dirty brown	3.1	7.1	8.6	43.7	5.67	6.16	2.69	0.22	1.43
71	0-30	N34 14.267	11.6	82.9	5.5	Black. organic?	3.8	7.6	8.8	43.8	6.75	6.64	1.90	-0.14	0.94
	30-50	E49 48.265	9.7	64.5	25.7	Dark gray. greenish	5.2	5.1	8.9	38.1	5.69	5.06	2.31	-0.36	1.16
	50-120		25.3	74.0	0.7	(dirty)grayish brown	3.5	15.0	8.7	43.7	7.78	7.97	1.80	0.13	0.96
	120-140		19.4	79.7	0.9	Gray brownish green	4.4	10.8	8.7	43.4	7.52	7.38	1.68	-0.12	0.86
	140-240		21.0	76.5	2.5	brown	2.7	13.8	8.7	37.2	7.44	7.51	1.93	0.06	0.84
72	0-40	N34 14.575	21.6	77.6	0.8	Grayish Green. dirty	6.2	9.4	8.8	37.3	7.54	7.64	1.85	0.07	0.85
	40-90	E49 47.893	26.8	72.3	0.9	Light brown	5.1	15.3	8.7	37.0	7.70	7.97	1.94	0.17	0.84
	90-210		17.8	76.1	6.1	Dark brown	4.3	17.8	8.7	27.5	7.03	6.97	2.09	-0.07	0.79
	210-375		17.6	74.0	8.4	Dark brown	1.9	18.4	8.8	19.1	6.99	6.97	2.13	-0.03	0.82
75	0-20	N34 13.864	23.9	70.5	5.5	Greenish gray	8.1	16.3	9.1	35.8	7.61	7.59	1.95	0.04	0.91
	20-120	E49 51.513	28.5	70.8	0.6	Light brown	3.8	40.2	9.0	16.1	7.89	8.04	1.88	0.15	0.95
	120-200		24.5	73.2	2.3	Dirty (greenish) brown	3.4	32.2	8.9	15.7	7.68	7.70	1.93	0.02	0.86
	200-320		24.5	74.9	0.6	Dark brown	2.9	25.8	8.9	15.0	7.61	7.59	1.90	-0.03	0.88
	320-360		22.6	75.8	1.6	Dark brown + reddish marks of Fe3O4	2.7	23.0	8.9	15.1	7.58	7.64	1.90	0.07	0.84
	360-420		23.2	76.2	0.5	Dirty brown. greenish. grayish marks of Fe3O4	1.8	21.0	8.6	8.6	7.68	7.64	1.80	0.00	0.89
420-520		24.3	75.3	0.4	Bluish gray	2.1	23.1	8.4	7.3	7.73	7.83	1.71	0.06	0.92	



شکل ۶- نمودارهای ستونی برخی از پارامترهای رسوب‌شناسی حاصل از رسوبات گمانه‌های پلایای میقان



شکل ۷- نمودارهای ستونی برخی از پارامترهای رسوب‌شناسی حاصل از رسوبات گمانه‌های پلاای میقان.

آنالیزهای کلسیمتری نیز بیانگر وجود مقادیر متفاوت از کربنات کلسیم در رسوبات است. درصد کربنات کلسیم در رسوبات عمقی بیشتر است، به طوری که در طول گمانه‌ها (به‌رغم تغییراتی که در طی زمان در طول گمانه دیده می‌شود)، میزان کربنات کلسیم از سطح به عمق، افزایش نشان می‌دهد (شکل ۶ و ۷). به‌طورکلی محتوای کربن آلی در رسوبات پلاای میقان مانند دریاچه اینگریت شمالی (Shang 2000) بسیار پایین است (به طور متوسط ۰.۴٪) و این مواد توسط حمل و نقل وارد این حوضه شده‌اند (Rahimpour-

به‌دلیل شوری بالای این پلایا موجود زنده‌ای در آن یافت نمی‌شود بنابراین مواد آلی بیشتر منشأ گیاهی دارند و توسط رودخانه‌ها، سیلاب و باد وارد حوضه شده‌اند. میزان مواد آلی، در بخش‌های بالایی گمانه‌های پلاای میقان، بیشتر است که بیانگر شرایط احیایی این بخش است. حفظ مواد آلی در شرایطی که میزان اکسیژن و انرژی محیط کم باشد، صورت می‌گیرد یعنی شرایط احیایی که از اکسیده شدن مواد جلوگیری می‌کند (Talbot and Allen 1996). درصد مواد آلی رسوبات در طول گمانه‌ها، به‌دلیل نوسانات آب و هوایی

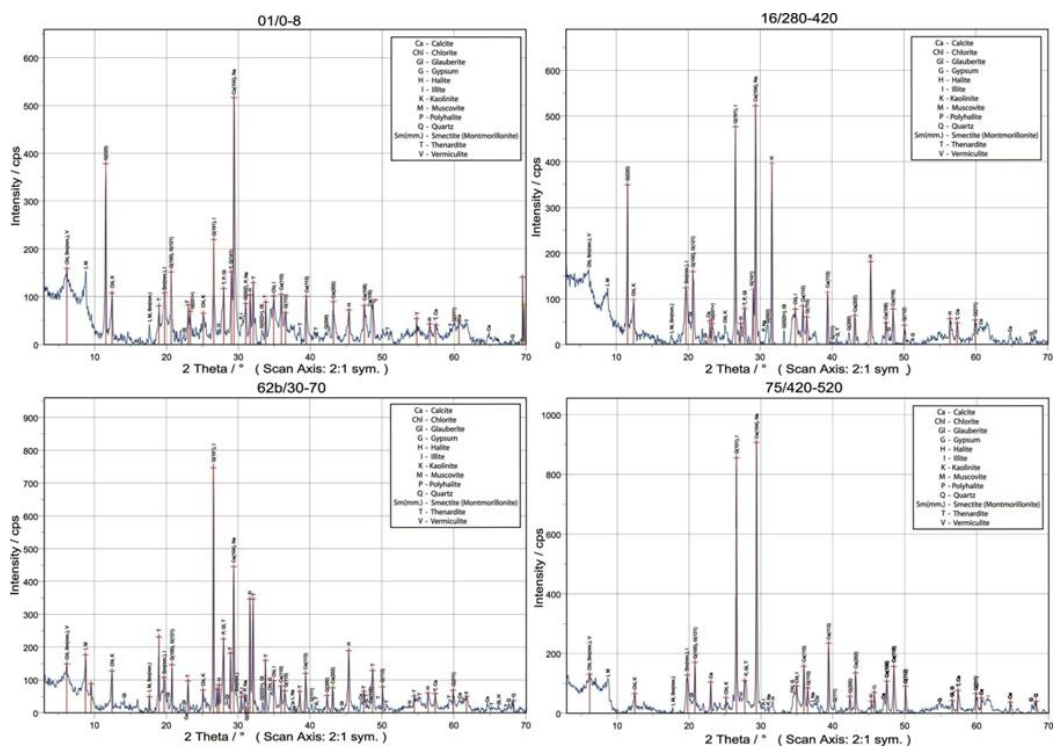
در طول زمان، متغیر است و دارای روند منظمی نیست. اما به طور کلی، می‌توان گفت درصد مواد آلی در طول گمانه‌ها از سطح به عمق کاهش نشان می‌دهد (اشکال ۶ و ۷).

بررسی رسوبات از نظر رنگ نیز نشان می‌دهد که در رسوبات سطحی رنگ رسوبات بیشتر سیاه است و هرچه قدر به سمت عمق پیش می‌رویم، رنگ رسوبات به سمت قهوه‌ای، خاکستری و سبز گرایش پیدا می‌کند؛ به خصوص در گمانه شماره ۷۵ که رسوبات آن حاوی مارل‌های مگنیزیت‌دار است (جدول ۱). این مطلب نیز بیانگر محیط اکسیدان در رسوبات عمیق‌تر و محیط احیایی در بخش‌های سطحی است. به عبارت دیگر رنگ سیاه رسوبات سطحی به دلیل وجود مواد آلی در آنها است، که با افزایش عمق میزان آن کاهش می‌یابد. میزان EC یا قابلیت هدایت الکتریکی محلول، در نمونه‌ها، دارای دامنه گسترده‌ای (۱۰۱/۵-۷/۳) است و در اکثر گمانه‌ها از سطح به عمق کاهش نشان می‌دهد. میزان pH این رسوبات در محدوده قلیایی قرار داشته و دارای دامنه محدودی از ۸/۵ تا ۹/۲ است؛ این پارامتر نیز با ژرفا کاهش نشان می‌دهد (جدول ۱ و شکل ۶ و ۷). میزان EC یا قابلیت هدایت الکتریکی محلول که نشان‌دهنده میزان املاح محلول و غلظت یون‌ها در محلول است، دارای رابطه عکس با مقاومت محلول است. تغییرات pH در خاک‌های شور تحت تاثیر قلیائیت و فشار گاز CO₂ است.

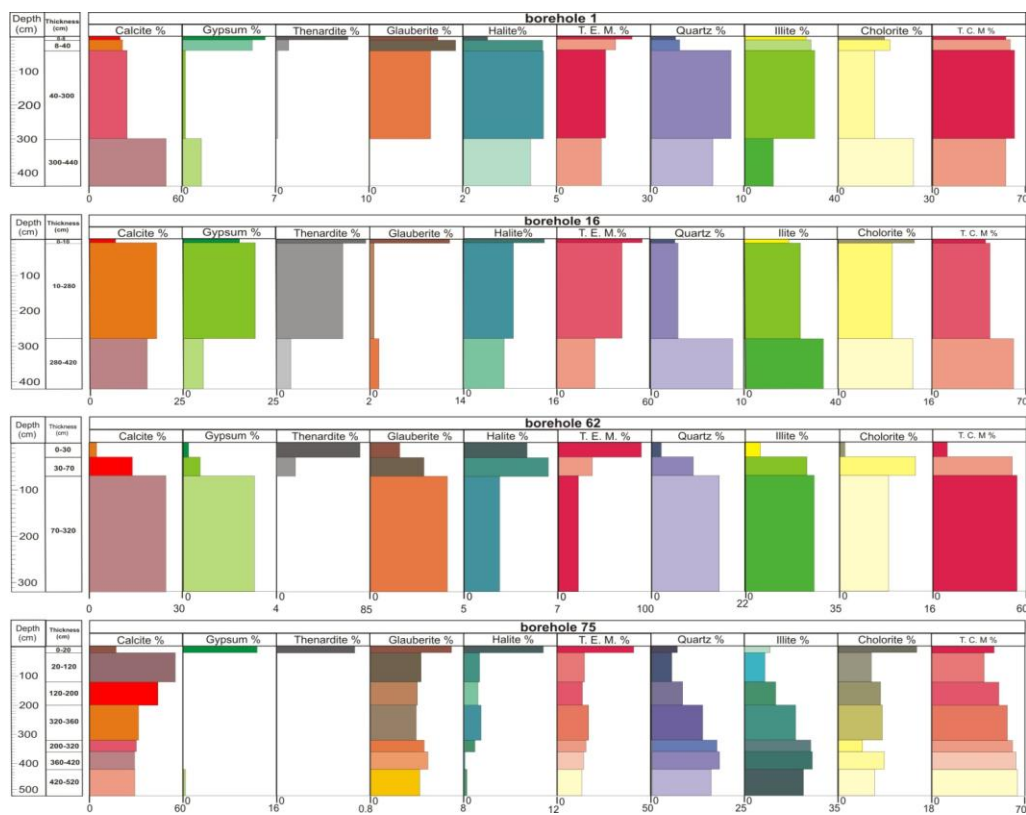
پراکندگی رسوبات آواری در گمانه‌ها

کانی‌های آواری موجود در رسوبات عمقی در پلایای میقان

شامل کوارتز، مسکویت و کانی‌های رسی هستند که در این میان، کانی‌های رسی دارای فراوانی نسبی زیادتری هستند. بررسی کانی‌های رسی نیز نشان می‌دهد که کانی ایلیت با داشتن متوسط حدود ۲۵/۵٪ از کل کانی‌های موجود در رسوبات، فراوان‌ترین کانی رسی موجود در گمانه‌ها است. کانی کلریت با متوسط حدود ۹/۷٪ در رتبه دوم قرار دارد، کانی‌های کائولینیت (۳/۶٪) و ورمیکولیت (۱/۴٪) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. آنالیزهای اشعه ایکس میزان بسیار ناچیز کانی مونت‌موریلونیت را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۸). کانی‌های رسی موجود در پلایای میقان آواری است و اغلب به صورت معلق توسط رودخانه‌های فصلی وارد پلایا می‌گردند و به دلیل اندازه کوچک و ساختمان بلوری ورقه‌ای می‌توانند توسط جریان‌های دریاچه‌ای تا بخش‌های مرکزی حوضه حمل شده و رسوب کنند (عبدی و رحیم‌پور بناب، ۱۳۹۳). بررسی تغییرات فراوانی کانی‌های رسی با عمق روند ثابت و مشخصی را در طول گمانه‌ها نشان نمی‌دهد ولی به‌طور کلی، میزان کانی‌های رسی (به‌ویژه ایلیت و کلریت) از سطح به عمق افزایش نشان می‌دهد (جدول ۲، شکل ۹ و ۱۰). پس از کانی‌های رسی، کوارتز (حدود ۸/۸٪) فراوان‌ترین کانی آواری است که در اندازه‌های ماسه خیلی ریز تا سیلت بسیار ریز در رسوبات مشاهده می‌گردد. دلیل فراوانی نسبی این کانی در رسوبات ثبات شیمیایی و فیزیکی بالای آن می‌باشد، کوارتز نیز همانند کانی‌های رسی در طول گمانه‌ها به سمت عمق روند افزایشی نشان می‌دهد (جدول ۲، شکل ۸ و ۹).



شکل ۸- چند نمونه از دفراکتوگرام‌های کانی‌های موجود در رسوبات گمانه‌های پلایای میقان



شکل ۹- روند تغییرات کانی‌شناسی (تبخیری‌ها و آواری‌ها)، در طول گمانه‌های حاصل از پلایای میقان.

جدول ۲- درصد فراوانی نسبی کانی‌های آواری و تبخیری موجود در رسوبات گمانه‌های پلاپای میقان.

Drill No.	Thickness (cm)	Calcite %	Gypsum %	Halite %	Thenardite %	Glauberite %	T. E. M %*	Quarts %	Chlorite %	Illite %	T. C. M %*
1	0-8	20.42	6.18	1.27	7.63	1.46	23.96	2.66	17.29	28.60	55.61
	8-40	21.68	5.20	4.16	1.29	1.84	18.71	2.83	19.44	30.67	59.6
	40-300	24.14	0.12	4.20	0.17	1.31	15.55	8.57	13.46	31.10	60.29
	300-440	49.27	1.39	3.54	0.00	0.00	20.59	6.65	8.24	13.10	21.91
16	0-10	7.01	18.74	13.74	1.87	11.82	53.99	2.60	12.90	18.60	39.04
	10-280	18.41	24.22	8.46	1.39	0.65	41.23	2.96	9.12	23.60	40.39
	280-420	15.81	6.71	6.87	0.30	1.38	23.87	8.81	12.67	33.27	60.32
62	0-30	2.29	0.22	4.61	75.95	1.56	88.54	2.23	0.78	5.36	9.19
	30-70	13.95	0.72	6.21	17.02	2.86	35.70	9.90	12.72	22.80	50.32
	70-320	24.70	3.02	2.59	0.00	4.11	21.62	15.90	8.16	25.31	53.68
67	0-20	15.86	12.37	10.92	3.25	5.45	39.34	6.03	9.70	25.70	44.87
	20-60	12.21	8.89	10.56	3.30	6.31	36.66	6.19	12.88	27.50	51.12
	60-220	16.46	18.94	8.82	0.00	2.78	39.26	6.36	7.50	26.10	44.22
	220-260	14.09	23.81	12.70	0.77	6.01	49.26	7.09	7.53	19.90	36.61
71	0-30	13.37	13.73	10.73	1.26	8.32	39.42	9.30	6.40	27.90	47.18
	30-50	8.06	31.57	10.96	2.12	10.56	63.77	3.13	4.78	18.40	28.09
	50-120	18.79	0.44	7.39	0.45	3.86	20.12	10.28	11.57	32.40	61.09
	120-140	16.33	1.46	9.15	1.79	5.05	25.56	10.13	12.26	30.10	45.86
	140-240	20.50	2.69	6.23	0.00	4.61	22.58	12.29	10.04	28.30	56.97
72	0-40	13.49	5.80	9.64	1.19	5.25	26.10	8.70	13.89	32.80	60.36
	40-90	17.91	0.87	7.20	0.30	4.44	20.94	11.41	9.75	33.83	51.4
	90-210	22.46	3.36	3.49	0.00	4.34	20.05	13.95	10.21	27.61	57.49
	210-375	16.64	32.55	2.64	0.62	4.64	47.75	12.18	3.18	15.90	35.6
75	0-20	14.47	12.69	9.98	0.66	6.91	39.87	6.73	14.88	20.00	45.63
	20-120	47.68	0.00	1.79	0.00	4.32	14.14	5.31	6.19	19.30	38.2
	120-200	37.91	0.00	1.76	0.00	3.98	13.13	8.09	7.98	25.41	48.98
	200-320	27.21	0.00	2.14	0.00	3.90	16.47	13.29	8.36	27.30	55.31
	320-360	26.00	0.00	1.38	0.00	4.59	15.08	17.19	4.56	32.15	58.92
	360-420	24.98	0.00	0.10	0.00	4.91	13.59	17.73	8.70	30.62	61.44
	4200-520	25.15	0.26	0.32	0.00	4.20	12.78	15.57	6.88	32.10	62.13

*T.C.M: Total Clastic Mineral

*T.E.M: Total Evaporite Mineral

پراکندگی رسوبات شیمیایی در گمانه‌ها

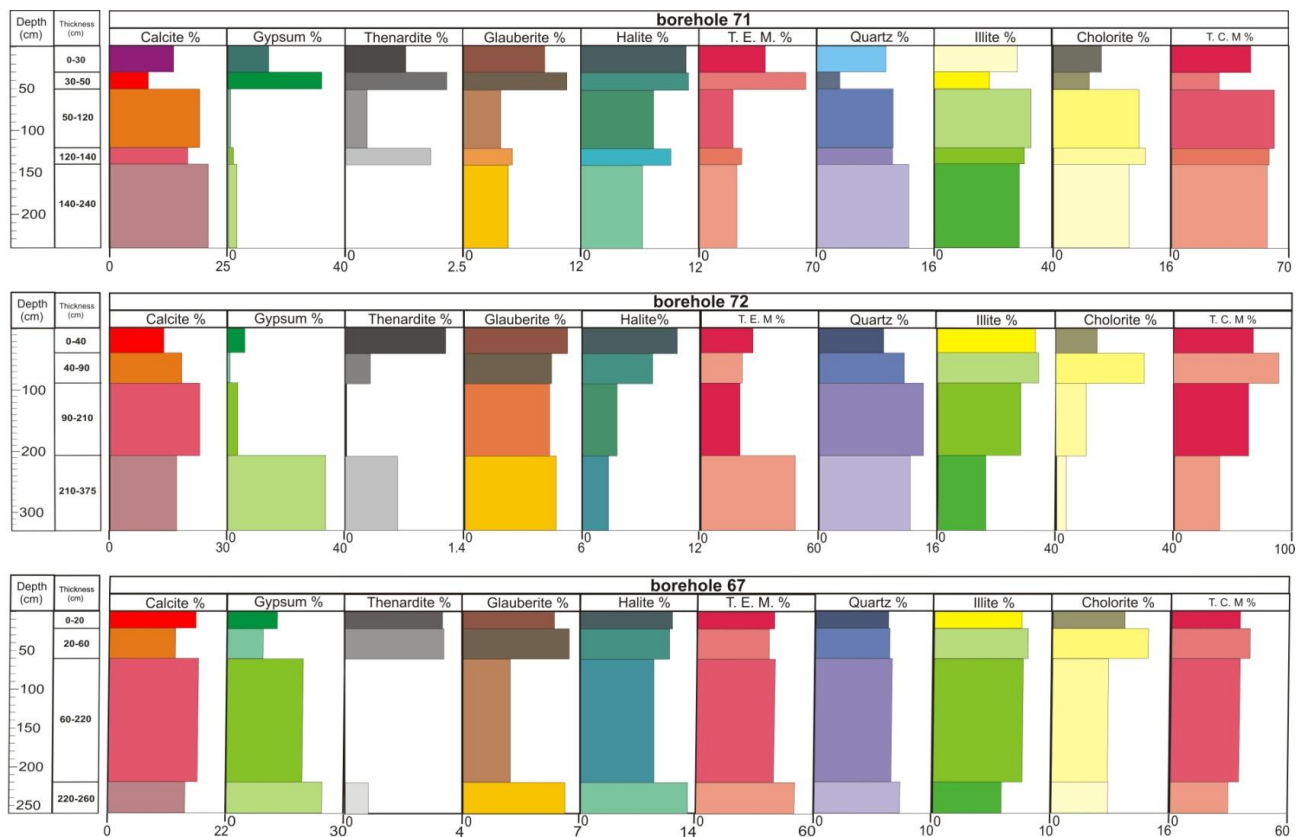
برجا نهشته شده‌اند (عبدی و رحیم‌پور بناب ۱۳۹۳). کانی‌های تبخیری دیگر موجود در گمانه‌ها شامل ژپس، هالیت، تناردیت، گلوبریت، پلی‌هالیت، ناترون و به‌میزان کمی سیلویت و باسانیت هستند (شکل ۸). ژپس فراوان‌ترین کانی سولفات موجود در رسوبات پلاپای میقان است. با توجه به میزان بالای یون سولفات در شورابه‌های پلاپای میقان (عبدی و رحیم‌پور بناب ۱۳۸۹)، به‌نظر می‌رسد میزان تناردیت و میرابلیت در این حوضه باید مقادیر بالاتری را نشان دهد. به‌دلیل قابلیت انحلال بالای نمک‌های سولفات به‌خصوص تناردیت و میرابلیت، این نمک‌های سطحی به‌هنگام پرشدن مجدد حوضه سریعاً حل شده و به‌صورت محلول در شورابه باقی می‌ماند و در طی پرشدگی و خشک شدگی‌های متوالی دریاچه،

تبخیری‌ها عمده‌ترین رسوبات شیمیایی هستند که پس از تغلیظ نمک‌های محلول در آب (بر اثر تبخیر) رسوب می‌کنند. رسوبات شیمیایی پلاپای میقان شامل کانی‌های کربناته و تبخیری است. کلسیت، کانی کربناته غالب در رسوبات پلاپای میقان است و در سرتاسر رسوبات موجود در پلاپای و در همه افق‌ها مشاهده می‌شود. این کانی فراوانی زیادی نسبت به سایر کانی‌ها نیز دارد. کانی کلسیت در این منطقه دو منشأ تبخیری و آواری دارد به‌دلیل وجود سازندهای آهکی فراوان در اطراف حوضه، بخشی از کانی‌های کلسیت موجود در پلاپای به‌صورت آواری و توسط حمل و نقل وارد حوضه شده است و بخشی دیگر به‌حالت محلول وارد حوضه شده و به‌صورت

کربناته (کلسیت) در اعماق بیشتر است در حالی که کانی‌های سولفات (ژیپس و گلوبریت) و کلریدها (هالیت) در رسوبات سطحی افزایش بسیار بیشتری نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییر شیمیایی خاصی باید در رسوبات پلایای میقان، در طی زمان رخ داده باشد. به‌طور کلی، بررسی درصد املاح مختلف از جمله نمک‌های قابل حل، از سطح به عمق دارای روند منظمی نیست و در بعضی از اعماق روند تغییرات زیگزاگی است که دلیل آن، وجود دوره‌های تر و خشک و سرعت رسوب‌گذاری متفاوت در زمان‌های مختلف در طول گمانه است. به‌دلیل سرعت متفاوت رسوب‌گذاری در بخش‌های مختلف پلایا (خداکرمی فرد ۱۳۸۹)، روند تغییرات کانی‌شناسی و رسوب‌شناسی در طول گمانه‌ها در اعماق یکسان نیز به‌خوبی، قابل انطباق نیست (اشکال ۶، ۷، ۹ و ۱۰).

ضخامت قابل توجهی از این نمک‌ها در پلایای میقان مشاهده نمی‌شود. هالیت نیز یکی از مهم‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات پلایای میقان است که به‌صورت کریستال‌های بلوری و پوسته‌های شور زده، در بین رسوبات دیده می‌شوند. در فصول خشک، قسمت وسیعی از سطح پلایای میقان را پوسته‌های شور زده دربر می‌گیرد که عمدتاً از هالیت تشکیل شده‌اند.

به‌طور کلی بررسی کانی‌های تبخیری به‌صورت عمقی بیانگر افزایش میزان کلسیت از سطح به عمق است، در حالی که کانی‌های سولفات به‌خصوص ژیپس دارای تغییراتی درست برعکس کلسیت هستند؛ یعنی از سطح به سمت عمق کاهش نشان می‌دهند (جدول ۲، شکل ۹ و ۱۰). همچنین مقایسه میانگین درصد کانی‌های تبخیری در رسوبات سطحی نسبت به رسوبات عمقی، نشان دهنده افزایش چشمگیر کانی‌های



شکل ۱۰- روند تغییرات کانی‌شناسی (تبخیری‌ها و آواری‌ها)، در طول گمانه‌های حاصل از پلایای میقان.

سطح به عمق تقریباً روندکاهشی و کانی‌های تبخیری روندی افزایشی نشان می‌دهند (شکل ۹).

بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی رسوبات در طول گمانه‌ها
به منظور بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی رسوبات از داده‌های XRF، ۲۲ نمونه رسوب که از ۵ گمانه (۱، ۶۲، ۶۷، ۷۲ و ۷۵) در پلایای میقان توسط یوسفی‌راد (یوسفی‌راد و همکاران ۱۳۸۹) به دست آمده است، استفاده شد و با محاسبه نسبت‌های عناصر اصلی، روند تغییرات ژئوشیمیایی رسوبات در طول گمانه‌ها بررسی گردید. مطالعه عناصر اصلی اغلب به ۱۰ عنصری که به طور مرسوم در تجزیه شیمیایی به صورت اکسید بیان می‌شوند، محدود می‌شود (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) (Rollinson 1993). در میان اکسیدها، CaO ، Na_2O ، MgO و K_2O متحرک و اکسیدهای Al_2O_3 و TiO_2 غیر متحرک می‌باشند (Bauluz et al. 2000). رفتار عناصر با حلالیت بالا مانند Na^+ ، Mg^{2+} و K^+ برعکس عناصر هیدراته مانند Ti^{4+} ، Al^{3+} ، Fe^{3+} می‌باشد (Mason and Moore 1982) که در برابر محلول‌های هوازده نرمال مقاوم هستند (Smykatz- Kloss and Roy 2010). عناصر محلول در تماس با آب حل شده، حمل و نقل می‌شوند درحالی‌که عناصر هیدراته (در اثر فعل و انفعال با محلول) به طور چشمگیری در رسوبات غنی می‌شوند. رفتار کاتیون محلول K^+ ، با توجه به شعاع یونی نسبتاً بزرگ‌تر و عدم تحرک نسبی، متفاوت است، به طوری‌که در آب حل می‌شود (مانند Na^+) اما به سرعت جذب شده و ترکیبات جدیدی (مانند ایلیت) را تشکیل می‌دهد (Reheis 1990; Pandarinath et al. 1999). بنابراین نسبت Na/K به طور مداوم با گذشت زمان کاهش می‌یابد. همچنین، نسبت Na/Ti ، Na/Al ، Na/Fe ، Mg/Al ، Mg/Ti و Mg/Ti (سه مورد آخر، فقط در محیط‌های کربناته آزاد) با افزایش فعالیت آب، به شدت کاهش می‌یابند (و بالعکس). به دلیل ثبات نسبتاً زیاد Al_2O_3 در برابر هوازده‌گی، دیاژنز و متامورفیزم، عموماً میزان این اکسید به عنوان فاکتوری جهت مقایسه بین لیتولوژی‌های مختلف به کار می‌رود (Cardenas et al. 1996). نحوه توزیع

روند کاهشی کربنات کلسیم و کانی کلسیت در گمانه شماره ۷۵ و تشکیل اندک کانی‌های تبخیری در این گمانه (شکل ۶، ۷، ۹ و ۱۰) نسبت به سایر گمانه‌ها با مورفولوژی خاص این منطقه در ارتباط است. با وجود اینکه منشأ عمده شوری پلایای میقان، سازندهای اطراف حوضه به‌ویژه سازندهای ناحیه شمال و شمال‌شرقی حوضه (سازندهای تبخیری دوران چهارم) و آب‌های زیرزمینی (چاه‌ها) حوالی رودخانه فصلی آشتیان است (عبدی و رحیم‌پور بناب ۱۳۸۹) اما همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود میزان تشکیل کانی‌های تبخیری در این ناحیه نسبت به سایر مناطق کاهش نشان می‌دهد. از جمله دلایل آن می‌توان به ورود آب‌های سطحی بیشتر، وجود لایه‌های نفوذناپذیر در اعماق کمتر و ضخامت کمتر آبخوان در این محدوده از پلایا اشاره کرد (عبدی ۱۳۸۹)، به طوری‌که سطح آب زیرزمینی در این بخش از پلایا بالا بوده و حتی در فصل تابستان نیز بین رسوبات را شورابه فرا گرفته است. طبق مطالعات انجام شده و با توجه به سازندهای اطراف این منطقه میزان یون‌های کربنات و بیکربنات وارده به این منطقه بسیار ناچیز است (عبدی و رحیم‌پور بناب ۱۳۸۹) و برای تشکیل کانی کلسیت کافی نیست. با توجه به وجود یون‌های سولفات فراوان در این محدوده از پلایا، یون کلسیم موجود نیز، صرف تشکیل کانی‌های سولفات خواهد شد. وجود لایه‌ای کریستالین از سولفات سدیم در منطقه شمال تا شمال شرقی حوضه که دارای عمق ۸ متر است، می‌تواند بیانگر به‌کارگیری یون‌های کربنات و بیکربنات در تشکیل این لایه سولفات و بنابراین کاهش تشکیل کربنات کلسیم در طول گمانه باشد. علت تغییرات نسبتاً معکوس پارامترهای کانی‌شناسی و رسوب‌شناسی گمانه شماره ۶۷ نسبت به سایر گمانه‌ها نیز محل قرارگیری آن است که نسبتاً به مرکز پلایا نزدیک‌تر بوده و همچنین در محل ورود فاضل‌آب‌های شهر اراک نیز واقع شده است (شکل ۵). این امر سبب تغییر روند کانی‌های آواری و تبخیری در طول گمانه شده است، به طوری‌که برخلاف سایر گمانه‌ها، درصد کانی‌های آواری از

ورودی و خروجی (تبخیر) از حوضه صورت می‌گیرد (Spencer et al. 1984). در زمان بالا بودن سطح تراز آب (High stand)، رسوبات کربناته (کلسیت و دولومیت) ایجاد می‌شوند و با کاهش تراز آب (Low stand)، رسوبات سولفات‌ها از جمله ژپس و سپس سولفات‌های منیزیم نهشته می‌شوند (Jones and Deocampo 2003). طی یک سیکل کامل رسوبی در محیط‌های دریاچه‌ای و پلایاها، از پایین به سمت بالا شاهد رسوبات آواری، کربناته، سولفات‌ها و کلروره خواهیم بود. در این صورت تغییرات میزان کانی‌ها، از آواری به کلروره در طول مغزه، باید به صورت منظم کاهش نشان دهد ولی به علت تغییرات اقلیمی و نوسانات تراز آب این روند در پلایای میقان دیده نمی‌شود. نوسانات سطح آب را به کمک کانی‌های موجود در پلایا می‌توان بررسی کرد. غالباً نوسانات تراز آب با تبدیل فاز سولفات‌ها به کربناته (افزایش تراز آب) و تبدیل فاز کربناته به سولفات‌ها (کاهش تراز آب) دیده می‌شود (Kendall 1984). تناوب کانی‌های تبخیری-آواری (کلاستیک)، در پلایاها، نیز مدرک بسیار عالی برای تعیین اقلیم دیرینه است (Sinha et al. 2006)؛ به طوری که در دوره‌های آب و هوایی مرطوب‌تر، به دلیل افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها، ورود بیشتر کانی‌های آواری به حوضه اتفاق می‌افتد و در دوره‌های با آب و هوای گرم‌تر میزان رسوبات تبخیری افزایش می‌یابند.

مطالعه و بررسی رسوب‌شناسی و کانی‌شناسی گمانه‌های حفر شده در پلایای میقان، نشان می‌دهد که از سطح به عمق روند تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در طول گمانه‌ها، روند مشخصی ندارد و در حال تغییر است که این خود بیانگر تغییرات اقلیمی (وجود فصل‌های خشک و مرطوب) در طی زمان است با این حال می‌توان روند تقریباً منظمی را در اکثر نمودارها مشاهده کرد. نمودار تغییرات فراوانی کانی‌های آواری (کانی‌های رسی و کوارتز) در مقابل نمودارهای تغییرات فراوانی کانی‌های تبخیری (بخصوص ژپس و هالیت) و ماده آلی با افزایش عمق روندی معکوس دارد. بررسی کربنات کلسیم نیز در طول گمانه‌ها با عمق افزایش نشان می‌دهد که

عناصر اصلی، منعکس کننده کانی‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه است. به دلیل بالا بودن نسبت کانی‌های رسی نسبت به سایر کانی‌های آواری در پلایای میقان (به‌طور متوسط ۸۵٪ کانی رسی و ۱۵ درصد کوارتز)، روند تغییرات نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ دارای نوسان زیادی است و نظم خاصی ندارد. نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ رسوبات از سطح به عمق (شکل ۱۱) افزایش تقریبی نشان می‌دهد و در قسمت‌های عمیق‌تر گمانه شاهد مقدار کم نسبت‌های $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ، $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ و $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ هستیم.

بحث و بررسی

به منظور بررسی نحوه رسوب‌گذاری و تغییرات اقلیم در یک حوضه نیاز به داده‌های فراوانی از قبیل مغزه‌های متعدد از نقاط مختلف حوضه و نیز داده‌های رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیکی، تکتونیکی و غیره است. با استفاده از داده‌های ایزوتوپ‌های پایدار، ژئوشیمی و کانی‌شناسی رسوبات موجود در پلایاها و دریاچه‌ها، می‌توان اقلیم دیرینه و تغییرات سطح دریاچه در گذشته را بازسازی کرد (Sinha et al. 2006). ردو و همکاران و ارزانی (Rodo et al. 2002; Arzani 2007) با کمک داده‌های کانی‌شناسی، پیوانا و همکاران (Piovano et al. 2002) براساس درصد کربنات کلسیم و داده‌های کانی‌شناسی و اورتی و همکاران (Orti et al. 2003) با کمک بلورهای ژپس موجود در رسوبات دریاچه‌ها، تغییرات سطح آب و شرایط آب و هوایی دیرینه را بازسازی کرده‌اند. نزیبت و یانگ (Nesbitt and Young 1982) از پیشگامان استفاده از ژئوشیمی رسوبی برای تعیین آب و هوای دیرینه بودند؛ نویسندگان دیگری نیز با استفاده از روابط ژئوشیمیایی رسوبات، خصوصیات محیط‌های اقلیمی دیرینه را مورد بررسی قرار دادند (Sirocko 1995; Gallet et al. 1996; Smykatz-Kloss et al. 1998; 2004; Rogner et al. 2004; Schutt 2004; Roy et al. 2006; 2008; 2009; Sinha et al. 2006).

تغییرات تراز آب، در نتیجه نوسانات میزان آب‌های

ظرفیتی مانند Mg^{2+} و Ca^{2+} شده و از افزایش pH جلوگیری می‌کنند؛ به طوری که شاهد کاهش میزان pH رسوبات با افزایش عمق هستیم. درحالی که یک ظرفیت‌هایی مانند Ka^+ و Na^+ ، pH را افزایش می‌دهند، بنابراین هرچه یون‌های کربنات بیشتر باشند، pH بیشتر خواهد بود. به دلیل میزان شوری کمتر آب دریاچه در گذشته، احتمالاً میزان اکسیژن محلول در آب بیشتر بوده که این خود سبب اکسید شدن مواد آلی و کاهش میزان این مواد در رسوبات عمقی شده است. بررسی رسوبات از نظر رنگ نیز بیانگر محیط اکسیدان در رسوبات عمیق‌تر و عدم وجود محیط اکسیدان در محیط‌های سطحی است، به طوری که رنگ رسوبات سطحی نسبت به رسوبات عمقی تیره‌تر است.

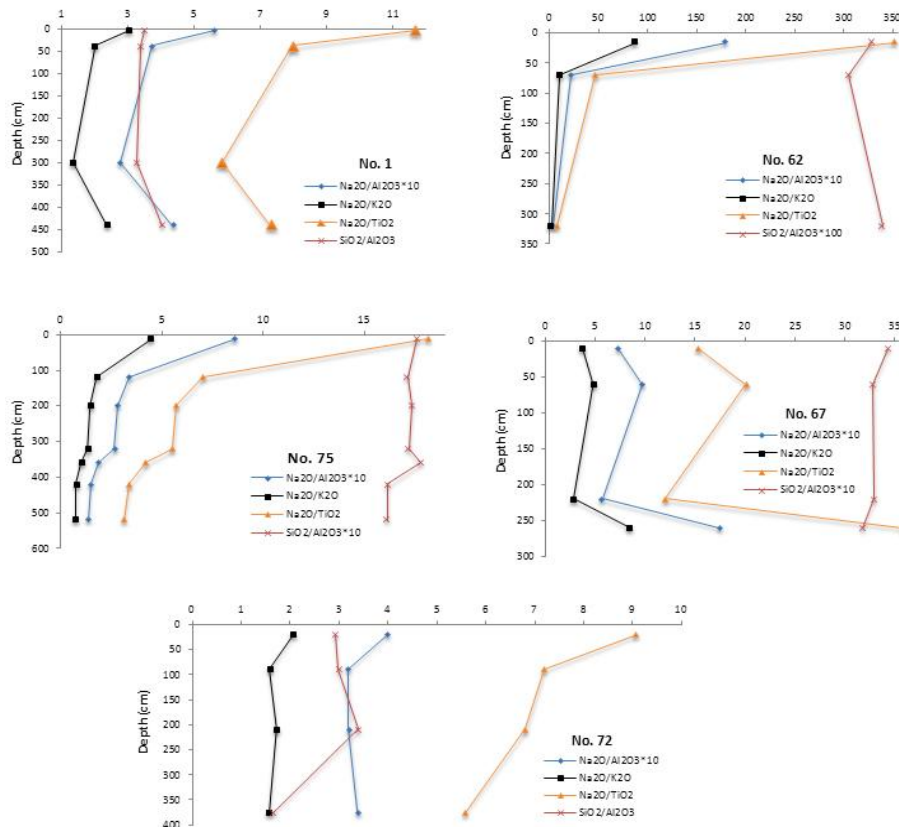
کانی‌های رسی از جمله ابراهای مهم تعیین اقلیم دیرینه هستند. ایلیت و کلریت با منشأ آواری در شرایط هیدرولیز و هوازدگی در آب و هوای سرد و معتدل و یا/ خشک تشکیل می‌شوند (Khormali et al. 2005; Jeong et al. 2004; Stuben et al. 2002; Net et al. 2002; Adatte et al. 2002). دکونینک و همکارانش (Deconinck et al. 2005) نیز افزایش میزان ایلیت را به سرد شدن کلی آب و هوا نسبت می‌دهند. از آنجایی که کانی‌های رسی موجود در پلایای میقان آواری می‌باشند، بنابراین افزایش آن‌ها در طول گمانه‌ها از سطح به عمق، خود حکایت از اقلیم سرد و مرطوب در گذشته و به تبع آن گسترش دریاچه فصلی میقان و تراز بالاتر سطح آب دارد. نسبت Na_2O/Al_2O_3 و Na_2O/TiO_2 نشان دهنده نسبت اکسیدهای محلول به ترکیبات هیدراته بوده و نشانگر میزان هوازدگی شیمیایی از اجزای آواری است. نسبت K_2O/Na_2O نیز به دلیل انحلال متفاوت و جذب مواد قلیایی (به‌عنوان مثال K^+ است که به‌طور عمده توسط مواد دانه‌ریز جذب می‌شود) رفتار مشابهی دارد. نسبت Zr/Al_2O_3 و SiO_2/Al_2O_3 میزان مواد آواری ورودی در رسوبات را نشان می‌دهد (Roy et al. 2010; Smykatz-Kloss1 and Roy 2006). بنابراین مقدار کم نسبت‌های Na_2O/Al_2O_3 ، Na_2O/TiO_2 و Na_2O/K_2O در

تمام این موارد دلالت بر تغییرات مهمی در اقلیم و محیط رسوبی دیرینه دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که طی دوره کواترنری، ضمن نوسانات آب و هوایی و اقلیمی که توسط تغییرات کانی‌شناسی و رسوب‌شناسی در پلایا قابل مشاهده است، آب و هوای منطقه در گذشته سرد و مرطوب‌تر بوده است؛ به طوری که تحت تأثیر این اقلیم و بر اثر بارندگی بیشتر در منطقه، رودخانه‌های و رواناب‌های بیشتری در منطقه جریان داشته که ضمن افزایش تراز آب، باعث ورود رسوبات آواری بیشتر به منطقه شده است. افزایش اندازه ذرات و کاهش جورشدگی رسوبات در طول گمانه‌ها نیز این مطلب را تأیید می‌کند. افزایش متوسط اندازه ذرات با عمق نشان‌دهنده افزایش انرژی محیط و نهشت ذرات دانه درشت‌تر است (Lindholm 1987; Dious and Kasinathan 1994). شرایط آب و هوایی گذشته و میزان بارندگی بیشتر در منطقه، باعث سیلاب‌های شدید و شاید وجود رودخانه‌های دائمی در منطقه بوده است. این امر باعث افزایش انرژی محیط در حوضه میقان و حمل ذرات درشت‌تر به پلایا گردیده و این خود باعث کاهش جورشدگی رسوبات در ژرفا می‌شود.

همچنین افزایش تراز آب سبب غلظت کمتر شورابه‌ها و در نتیجه محیط مناسب برای ته‌نشست کلسیت و کاهش تشکیل کانی‌های تبخیری در گذشته است. درحالی که کاهش تراز آب دریاچه در دوره‌های اخیر، به دلیل تغییر آب و هوا و افزایش تبخیر در منطقه به تشکیل کانی‌های تبخیری در رسوبات سطحی در پلایا منجر شده است. رخساره‌های سرشار از کربنات (عمدتاً کلسیت) مشخص کننده محیط با شوری کم و سطح اساس بالاتر دریاچه است، درحالی که رخساره‌های حاوی سولفات (عمدتاً ژیپس) نشان‌دهنده افزایش میزان شوری و کاهش سطح دریاچه است (Sinha et al. 2006). کاهش هدایت الکتریکی (EC) رسوبات با افزایش عمق نیز نشان‌دهنده کاهش غلظت کانی‌های تبخیری و شوری کمتر آب در گذشته است. افزایش میزان کربنات کلسیم در رسوبات با ژرفا در پلایای میقان، سبب کاهش یون‌های دو

بر روی فلات ایران و مطالعات پیدرامی (۱۳۷۲) که معتقد است قبل از آخرین عصر یخ (حدود ۱۰ هزار سال پیش) به دلیل هوای بسیار خنک‌تر و بارش بسیار فراوان‌تر کویر میقان دارای دریاچه دائمی بوده است، مطابقت دارد. کرینسلی (Krinley 1970) نیز، چهره عمومی تقسیمات جوی در سطح ایران در دوره پلئستوسن را شبیه به حال دانسته و بیان داشته است که بطور کلی شرایط جوی دوره پلئستوسن را در فلات ایران می‌توان سردتر و قدری مرطوب‌تر از زمان حال دانست که مرطوب بودن آب و هوا در این دوره را به علت هرزآب‌های سطحی بیشتر و تبخیر کمتر در فلات ایران مرتبط دانسته است.

قسمت‌های عمیق‌تر گمانه و افزایش تقریبی نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در رسوبات گمانه‌ها با ژرفا (شکل ۱۱) نشان‌دهنده افزایش ورود مواد آواری به پلایا و در نتیجه مبین آب و هوایی مرطوب در گذشته است. بنابراین با توجه به سرعت رسوب‌گذاری در پلایای میقان (بطور متوسط حدود $2/43$ متر در هر ۱۰ هزار سال) و با توجه به حداکثر عمق نمونه‌برداری در گمانه‌های مختلف ($2/4$ تا $5/2$ متر) می‌توان نتیجه گرفت در حدود ۱۰ تا ۲۰ هزار سال پیش (پلئستوسن انتهایی) ضمن نوسانات اقلیمی، شرایط آب و هوایی سرد و مرطوب‌تری بر منطقه حاکم بوده است و سطح آب در این پلایا نیز همانند سایر پلایاهای موجود در کشور نسبت به زمان حال بالاتر بوده است. این مطلب با مطالعات اقلیم دیرینه



شکل ۱۱- تغییرات نسبت درصد عناصر اصلی ($\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ and $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) در طول گمانه‌های حاصل از پلایای میقان.

نتیجه

مطالعه و بررسی رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات اخذ شده از گمانه‌های حفر شده در پلایای میقان نشانگر موارد ذیل است:

- تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در طول گمانه‌ها از سطح به عمق، روند مشخصی ندارد و در حال نوسان است که این خود بیانگر تغییرات اقلیمی (وجود فصل‌های خشک و مرطوب) در طی زمان است.

- میزان رسوبات و کانی‌های آواری (کانی‌های رسی و کوارتز) و کربنات کلسیم با ژرفا افزایش و میزان مواد آلی کاهش نشان می‌دهد.

- نمودار تغییرات فراوانی کانی‌های تبخیری (بخصوص ژپس و هالیت) با افزایش عمق کاهش نشان می‌دهد.

- پارامترهای رسوب‌شناسی ذرات نیز نشانگر افزایش اندازه ذرات و کاهش جورشدگی رسوبات با افزایش عمق است.

- میزان هدایت الکتریکی (EC) و pH رسوبات با افزایش عمق کاهش یافته و رنگ رسوبات سطحی نسبت به رسوبات عمقی تیره‌تر است.

- بررسی ویژگی‌های شیمیایی رسوبات بیانگر کاهش نسبت‌های Na_2O/K_2O و Na_2O/TiO_2 ، Na_2O/Al_2O_3 در قسمت‌های عمیق‌تر گمانه و افزایش تقریبی نسبت SiO_2/Al_2O_3 در گمانه‌ها از سطح به عمق است.

این تغییرات بیانگر بالا بودن سطح آب پلایای میقان و اقلیم سرد و مرطوب‌تر منطقه در گذشته (پلئستوسن انتهایی) است. به طوری که تحت تأثیر این اقلیم و بر اثر بارندگی بیشتر در منطقه، رودخانه‌های و روان‌آب‌های بیشتری در منطقه جریان داشته که ضمن افزایش تراز آب، موجب ورود رسوبات آواری بیشتر به منطقه شده است. افزایش تراز آب خود سبب غلظت کمتر شورابه‌ها و در نتیجه محیط مناسب برای ته‌نشست کلسیت شده است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بخشی از طرح پژوهشی مشترک بین دانشگاه همبولت آلمان و دانشگاه آزاد واحد اراک بر روی پلایای میقان است و نگارندگان از حمایت‌های مالی و تجهیزاتی دانشگاه همبولت آلمان برخوردار بوده‌اند. بنابراین شایسته است نهایت سپاس و قدردانی خود را از مسؤولان و کارشناسان این دانشگاه به‌ویژه جناب پرفسور شرودر و آقای یوهان پروبست ابراز دارند.

منابع

- ارزانی، ن.، ۱۳۹۱، آزمایشگاه رسوب‌شناسی: انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ دوم، ۱۷۰ ص.
- امامی، م.ه.، ۱۳۷۰، شرح نقشه زمین‌شناسی چهار گوشه قم به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۷۹ ص.
- پدرامی، م.، ۱۳۷۲، گزارش زمین‌شناسی کواترنر و پارینه اقلیم منطقه اراک-کویر میقان: سازمان زمین‌شناسی کشور، ۳۱ ص.
- خداکرمی فرد، ز.، ۱۳۸۹، چینه‌نگاری رسوبی، شیمیایی و ایزوتوپی رسوبات تبخیری کواترنر کویر میقان در شمال شرق اراک: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد.
- رادفر، ج.، ر. کهنسال و ص. ذوالفقاری، ۱۳۸۳، سازمان زمین‌شناسی کشور: نقشه زمین‌شناسی اراک، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۷، آمار و اطلاعات، به نشانی: <http://www.irimo.ir/farsi/amar>
- عبدی، ل.، ۱۳۸۹، ژئوشیمی رسوبات تبخیری پلایای میقان اراک: پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، ۱۶۶ ص.
- عبدی، ل.، و ح. رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹، منشأ، هیدروژئوشیمی و نحوه تکامل شورابه در پلایای میقان اراک: مجله چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی دانشگاه اصفهان، ش.

- Cardenas, A., G.H. Girty, A.D. Hanson, and M.M. Lahren, 1996, Assessing differences in composition between low metamorphic grade mudstones and high-grade schists using logratio techniques: *J. Geology*, v. 104, p. 279-293.
- Cooke, R.U., and A. Warren, 1973, *Geomorphology in deserts*: University of California Press, Berkeley, 374 p.
- Deconinck, J.F., F. Amedro, F. Baudin, A. Godet, P. Pellenard, F. Robaszynski, and I. Zimmerlin, 2005, Late Cretaceous palaeoenvironments expressed by the clay mineralogy of Cenomanian – Campanian chalks from the east of the Paris Basin: *Cretaceous Research*, v. 26, p. 171-179.
- Dious, S.R.J., and R. Kasinathan, 1994, Tolerance limits of two pulmonate snails *Cassidula nucleus* and *Melampus ceylonicus* from Pichavaram mangrove: *Environmental Ecology*, v. 12, p. 845-849.
- Gallet, S., B.M. Jahn, and M. Torii, 1996, Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications: *Chemical Geology*, v. 133, p. 67-88.
- Hulsemann, J., 1966, An inventory of marine carbonate materials: *J Sediment Petrol ASCE*, v. 36, p. 622-625.
- Jeong, G.Y., H.I. Yoon, and S.Y. Lee, 2004, Chemistry and microstructures of clay particles in smectite-rich shelf sediments, South Shetlands, Antarctica: *Marine Geology*, v. 209, p. 19-30.
- Jones, B.F., and D.M. Deocampo, 2003, Geochemistry of saline lakes, In *Treatise on Geochemistry*: Elsevier, v. 5, p. 393-424.
- Kendall, A.C., 1984, Evaporites. In: R.G. Walker (Ed.), *Facies models* (2nd edition): *Geoscience Canada Reprint Series*, v. 1, p. 259-296.
- Khormali, F., A. Abtahi, and H.R. Owliaie, 2005, Late Mesozoic-Cenozoic clay mineral successions of Southern Iran and its palaeoclimatic implications: *Clay Minerals*, v. 40, p. 191-203.
- Kilic, O., and A.M. Kilic, 2010, Salt crust mineralogy and geochemical evolution of the Salt Lake (Tuz Gölü), Turkey: *Scientific Research and Essays*, v. 5, p. 1317-1324.
- Lamas, F., C. Irigaray, C. Oteo and J. Chacon, 2005, Carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls: *Eng. Geol.*, v. 81, p. 32-41.
- Last, W.M., 1984, Sedimentology of playa lakes of the northern Great Plains: *Can. J. Earth Sci.*, v. 21, p. 25-42.
- عبدی، ل.، ح. رحیم‌پور بناب، ۱۳۹۳. کانی‌شناسی تبخیری‌های توالی کواترنری و بررسی تحولات شیمیایی شورابه در پلایای میقان اراک: *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، ش. ۱، ص ۶۲-۴۹.
- عبدی، ل.، و ح. رحیم‌پور بناب، ۱۳۹۳. بررسی کانی‌های رسی، منشأ و نحوه پراکنش آن‌ها در پلایای میقان اراک: *مجله علوم زمین*، ش. ۹۴، ۱۰ ص.
- مرادی‌نژاد، ا.، ا. آخوندی و ر. تاج‌آبادی، ۱۳۸۷، ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسبترین شاخص در اراک: *مجموعه مقالات چهارمین همایش خشکی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی*، اراک، ص ۳۶-۲۱.
- مهاجرانی، ش.، ۱۳۷۸، رسوب‌شناسی کویر میقان با نگرشی ویژه بر منشأ و نحوه گسترش نهشته‌های تبخیری: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۱۴ ص.
- یوسفی‌راد، م.، م. میرمحمدکی، ز. خداکرمی‌فرد و ا. عبدالنیا، ۱۳۸۹، چینه‌نگاری شیمیایی و ایزوتوپی توالی پلستوسن انتهایی-هلوسن، کویر میقان اراک: *چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران*.
- Adatte, T., G. Keller, and W. Stinnesbeck, 2002, Late Cretaceous to early Paleocene climate and sea level fluctuations: the Tunisian record: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 178, p. 165-196.
- Arzani, N., 2007, Playa-Lake Level Fluctuation and Recent Sediments of a Terminal Fan-Playa Fringe, Abarkoh Basin, Central Iran: *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, v. 18, p. 19-33.
- Bauluz, B., M.J. Mayayo, C. Fernandez-Nieto, and J.M.G. Lopez, 2000, Geochemistry of Precambrian Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance and tectonic setting: *Chemical Geology*, v. 168, p. 135-150.

- Rodo, X., S. Giralt, F. Burijachs, F.A. Comin, R. Tenorio, and R. Julia, 2002, High-Resolution saline lake sediments as enhanced tools for relating proxy paleolake records to recent climatic data series: *Sedimentary Geology*, v. 148, p. 203-220.
- Rogner, K., K. Knabe, B. Roscher, W. Smykatz-Kloss, and L. Zöller, 2004, Alluvial loess in the Central Sinai: Occurrence, origin, and palaeoclimatological consideration, in Smykatz-Kloss, W., Felix-Henningsen, P. (Eds.), *Palaeoecology of Quaternary Drylands, Lecture Notes on Earth Sciences*: Berlin, Springer, p. 79-99.
- Rollinson, H.R., 1993, *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman, 352 p.
- Roop, H.A., G.B. Dunbar, M.J. Vandergoes, A.L. Forrest, Sh.L. Walker, J. Purdie ph. Upton, and J. Whinney, 2014, Seasonal controls on sediment transport and deposition in Lake Ohau, South Island, New Zealand: Implications for a high-resolution Holocene paleoclimate reconstruction: *Sedimentology Journal*. v. 62, p. 826 - 844.
- Roy, P.D., M. Caballero, R. Lozano, B. Ortega, S.I. Lozano, T. Pi. Israde, and O. Morton, 2010, Geochemical record of Late Quaternary paleoclimate from lacustrine sediments of paleo-lake San Felipe, western Sonora Desert, Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 29, p. 586-596.
- Roy, P.D., W. Smykatz-Kloss, and O. Morton, 2008, Geochemical zones and reconstruction of late Holocene environments from shallow core sediments of the Pachapadra paleo-lake, Thar Desert, India: *Chemie der Erde - Geochemistry*, v. 68, p. 313-322.
- Roy, P.D., W. Smykatz-Kloss, and R. Sinha, 2006, Late Holocene geochemical history inferred from Sambhar and Didwana playa sediments, Thar Desert, India: Comparison and synthesis: *Quaternary International*, v. 144, p. 84-98.
- Roy, P.D., Y.C. Nagar, N. Juyal, W. Smykatz-Kloss, and A.K. Singhvi, 2009, 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*, v. 34, p. 275-286.
- Schutt, B., 2004, The chemistry of playa-lake sediments as a tool for the reconstruction of Holocene environmental conditions - a case study from the central Ebro basin, in 21, p. 107-125
- Legler, B., J.W. Schneider, U. Gebhardt, D. Merten, and R. Gaupp, 2011, Lake deposits of moderate salinity as sensitive indicators of lake level fluctuations: Example from the Upper Rotliegend saline lake (Middle-Late Permian, Northeast Germany): *Sedimentary Geology*, v. 234, p. 56-69.
- Li, M., X. Fang, C. Yi, S. Gao, W. Zhang, and A. Galy, 2010, Evaporite minerals and geochemistry of the upper 400 m sediments in a core from the Western Qaidam Basin, Tibet: *Journal Quaternary International*, v. 218, p. 176-189.
- Lindholm, R., 1987, *A Practical Approach to Sedimentology*: Allen and Unwin, London, 278 p.
- Mason, B., and C.B. Moore, 1982, *Principles of Geochemistry*: New York, Wiley, 344 p.
- Muller, G., and M. Gatsner, 1971, Chemical analysis: *Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte*, v. 10, p. 466-469.
- Nesbitt, H.W., and G.M. Young, 1982, Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites: *Nature*, v. 299, p. 715-717.
- Net, I.L., M.S. Alonso, and C.O. Limarino, 2002, Source rock and environmental control on clay mineral associations, Lower Section of Paganzo Group (Carboniferous), Northwest Argentina: *Sedimentary Geology*, v. 152, p. 183-199.
- Orti, F., L. Rosell, and P. Anadon, 2003, Deep to Shallow Lacustrine evaporates in the Libros Gypsum (southern Teruel Basin, Miocene, NE Spain): an occurrence of pelletal gypsum rhythmites: *Sedimentology*, v. 50, p. 361-386.
- Pandarinath, K., S. Prasad, and S.K. Gupta, 1999, A 75 ka record of Palaeoclimatic changes inferred from crystallinity of illite from Nal Sarovar, western India: *Journal of the Geological Society of India*, v. 54, p. 515-522.
- Piovano, E.L., D. Ariztegui, and S.D. Moreiras, 2002, Recent changes in Laguna Mar Chiquita (central Argentina): a sedimentary model for a highly variable saline lake: *Sedimentology*, v. 49, p. 1371-1384.
- Rahimpour-Bonab, H., and L. Abdi, 2012, *Sedimentology and origin of Meyghan lake/playa deposits in Sanandaj-Sirjan zone, Iran: Carbonates and Evaporites*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, v. 27, P.375-393
- Reheis, M.C., 1990, In fluence of climate and eolian dust on the major element chemistry and clay minerals of soils in the Northern Bighorn basin, USA: *Catena*, v. 17, p. 219-248.

- Rettig, 1984, *Geochemistry of Great Salt Lake, Utah I: Hydrochemistry since 1850*. U.S.: Geol.Surv, v. 49, p. 727-737.
- Stuben, D., U. Kramar, Z. Berner, W. Stinnesbeck, G. Keller, and T. Adate, 2002, Trace elements, stable isotopes, and mineralogy the Elles K-T boundary section in Tunisia: indications sea level fluctuations and primary productivity: *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 178, p. 321-345.
- Talbot, M.R. and P.A. Allen, 1996, *Lakes*. In: Reading, H. G. (Ed.): *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science, Oxford, p.83-124.
- Smykatz-Kloss, W., Felix-Henningsen, P. (Eds.), *Palaeoecology of Quaternary Drylands, Lecture Notes on Earth Sciences: Berlin, Springer*, p. 5-30.
- Shang, Y., 2000, *Mineralogy, Lithostratigraphy and Geochemistry of North Ingebright Lake, Saskatchewan, Canada: PhD. Thesis, University of Manitoba, Canada*, 389 p.
- Shaw, P., and D.S.G. Thomas, 1989, Playas, pans and salt lakes: *Journal of Arid environments*, p. 184-205.
- Sinha, R., W. Smykatz-Kloss, D. Stuben, S.P. Harrison, Z. Berner, and U. Kramar, 2006, Late Quaternary palaeoclimatic reconstruction from the lacustrine sediments of the Sambhar playa core, Thar Desert margin, India: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 233, p. 252-270.
- Sirocko, F., 1995, *Abrupt change in monsoonal climate: evidence from the geochemical composition of Arabian Sea sediments: Kiel, University of Kiel, Habilitation thesis*.
- Smykatz-Kloss, W., and P.D. Roy, 2010, Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for palaeoclimatic investigations in arid regions, A synthesis: *Boletín Socied geologica Mexicana*, v. 63, p. 375-390.
- Smykatz-Kloss, W., B. Smykatz-Kloss, N. Naguib, and L. Zöller, 2004, The reconstruction of palaeoclimatological changes from mineralogical and geochemical compositions of loess and alluvial loess profiles, in Smykatz-Kloss, W., Felix-Henningsen, P. (Eds.), *Palaeoecology of Quaternary Drylands, Lecture Notes on Earth Sciences: Berlin, Springer*, p. 101-118.
- Smykatz-Kloss, W., K. Knabe, L. Zöller, K. Rögner, and C. Hüttl, 1998, Paleoclimatic changes in Central Sinai, Egypt: *Paleoecology of Africa*, v. 25, p. 143-155.
- Solotchina, E.P., E.V. Sklyarov, P.A. Solotchin, E.G. Vologina, and O.A. Sklyarova, 2014, Mineralogy and crystal chemistry of carbonates from the Holocene sediments of Lake Kiran (western Transbaikalia): connection with paleoclimate: *Russian Geology and Geophysics*, v. 55, p. 472-482.
- Solotchina, E.P., E.V. Sklyarov, P.A. Solotchin, E.G. Vologina, V.N. Stolpovskaya, O.A. Sklyarova, and N.N. Ukhova, 2012, Reconstruction of the Holocene climate based on a carbonate sedimentary record from shallow saline Lake Verkhnee Beloe (western Transbaikalia): *Russian Geology and Geophysics*, v. 53, p. 1351-1365.
- Spencer, R.J., H.P. Eugster, B.F. Jones, and S.L.

