

بازسازی تغییرات اقلیمی دریاچه مهارلو از هولوسن تا عهد حاضر با تأکید بر ردیابی دوره‌های گرم و سرد

فاطمه سبک‌خیز*؛ دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان

عبدالله سیف؛ دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان

محمدحسین رامشت؛ دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان

مرتضی جمالی؛ فوق‌دکترای زمین‌شناسی، پالینولوژی دانشگاه ماری فرانسه، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

چکیده

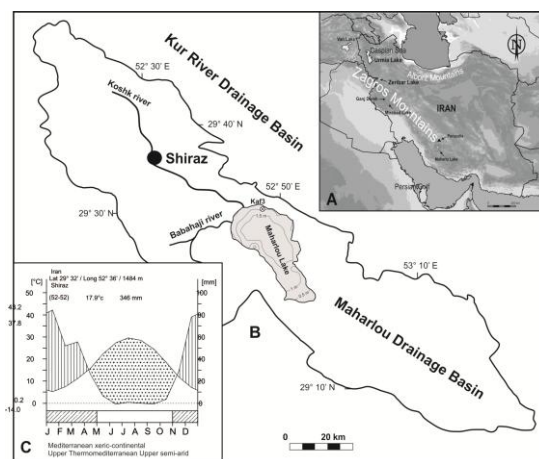
دریاچه‌ها بایگانی تغییرات محیطی قاره‌ای در آخرین دوران زمین‌شناسی به حساب می‌آیند. در این پژوهش، پس از مطالعات میدانی، یک مغزه رسوبی از شمال غرب دریاچه مهارلو برداشت و حساسیت مغناطیسی آن اندازه‌گیری شد. سپس به روش تلفیقی تعداد ۱۵۰ نمونه انتخاب و تحت مطالعات ژئوشیمی (LOI)، PH متر، مطالعات میکروسکوپی ذرات رسوبی و بقایای گیاهی (SEM)، بقایای جانوری، و آنالیز دانه‌بندی قرار گرفت و با استفاده از سن‌سنجی ایزوتوپی $\delta^{14}C$ سن مغزه رسوبی تعیین شد. شواهد نشان داد سن کف مغزه رسوبی 10813 ± 60 BP است. وجود لس‌های یخبندان و نبود بقایای زیستی گیاهی و جانوری نشان‌دهنده حاکمیت شرایط سرد و خشک در فاز پایانی یانگر دریاس (اواخر دیر یخبندان) در دریاچه مهارلو است. دوران هولوسن تحتانی، 10200 ± 60 BP سال پیش، ابتدا سرد و خشک بوده و سپس حاکمیت محیط فلوویال و دوران گرم و خشک نمایان شده است. هولوسن میانی از 4000 ± 60 BP سال پیش با شروع فعالیت چشمه‌ها ظاهر شده و دوره بهینه اقلیم گرم و مرطوب همراه تناوب‌های کوتاه مدت خشک‌شدگی بر دریاچه تسلط یافته است. هولوسن فوقانی در 2000 ± 45 BP سال پیش روند رو به خشکی حوضه (پلایا) را نشان می‌دهد. تغییرات محیطی دریاچه مهارلو در این دوران مشابه آخرین دوره یخبندان دریاچه‌های پریشان، هسیلان، و نئور و هولوسن پیشین دریاچه ارومیه و منطقه اطلس شمالی است. کلیدواژگان: تغییرات محیطی، دریاچه مهارلو، هولوسن، یانگر دریاس.

مقدمه

وقوع تغییرات آب‌وهوایی حتی به صورت جزئی بر همه ارکان زندگی بشر و حیات طبیعی آثار فاحش و قابل توجهی دارد (عزیزی و همکاران ۱۳۸۷). ازین‌رو، همواره آگاهی از تغییرات اقلیم به منظور برنامه‌ریزی برای آینده مورد توجه تصمیم‌گیران بوده است (داوودی و همکاران ۱۳۹۳). با توجه به دوره‌ای بودن تغییرات اقلیمی در کواترنر و افزایش دما در سال‌های اخیر و خطر دگرگونی‌های بیشتر آن در آینده، شناخت چگونگی دگرگونی‌ها در گذشته به منظور برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و زیست‌محیطی برای آینده از اهمیت فراوانی برخوردار است (ایوبی و همکاران ۱۳۸۲). مطالعات استیونس^۱ (۲۰۰۶) روی دریاچه میرآباد در کوه‌های زاگرس و در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرق دریاچه زریبار اقلیم هولوسن منطقه را بر اساس تغییرات بیان $Ca\ Sr/Ca$ و نسبت پولن ایزوتوپ اکسیژن گرده‌های گیاهی ردیابی می‌کند. وی دریافت یک دوره

خشک‌سالی در ۵۴۰۰ سال پیش رخ داده است و اعلام کرد رخداد ۴۵۰۰ سال پیش، که با کاهش سطح آب دریاچه زریبار تا ۳۸۰۰ سال قبل رخ داده، فقط بخش‌های کرانه‌ای آن را متأثر کرده است (لک و همکاران ۲۰۰۴). وایسیلیکوا^۱ و همکارانش (۲۰۰۶) در مطالعات خود روی دریاچه زریبار نشان دادند تغییر در آرگانیسم‌های دریاچه زریبار بیانگر کاهش سطح آب در ۲۱۰۰۰ و ۱۵۴۰۰ سال پیش همچنین بازه‌های زمانی ۲۱۰۰۰ سال پیش و بین ۱۲۶۰۰ تا ۱۱۷۰۰ (در ۱۲۰۰۰ سال پیش) سال پیش رخ داده است. همچنین مجموعه دیاتومه‌ای موجود بیانگر افزایش شوری آب دریاچه، بین ۵۹۰۰ تا ۶۴۰۰ و ۲۵۰۰ سال پیش، همچنین در بازه زمانی ۱۲۶۰۰ تا ۱۲۰۰۰، ۱۷۷۰۰ تا ۱۵۷۰۰، و همچنین ۷۸۰۰ سال پیش اتفاق افتاده است. آنان کاهش سطح آب دریاچه را در دو دوره ۷۵۰۰ و ۴۵۰۰ سال پیش و با شواهد جزئی‌تر در بعضی زمان‌ها تا کنون -۳۸۰۰ گزارش کرده‌اند. همچنین مطالعات استیونس و جمالی (۲۰۱۲) روی دریاچه میرآباد در کوه‌های زاگرس و در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرق دریاچه زریبار اقلیم هولوسن منطقه را بر اساس تغییرات $Ca\ Sr/Ca$ و نسبت پولن ایزوتوپ اکسیژن، گرده‌های گیاهی، و یک دوره خشک‌سالی در ۵۴۰۰ سال پیش معرفی کرده است.

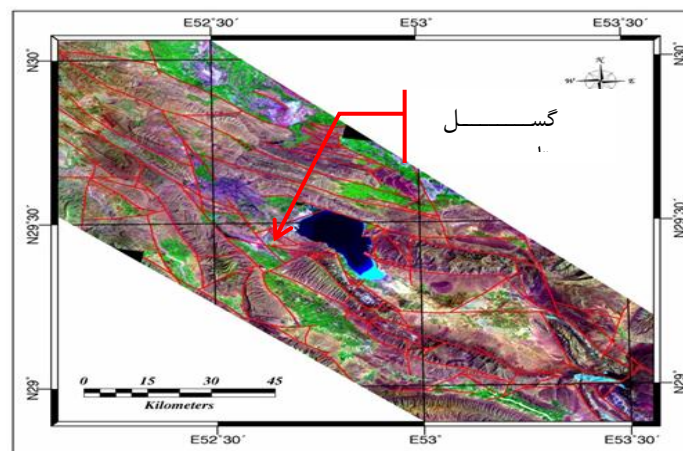
دریاچه مهارلو یک دریاچه فوق‌شور است که در فصل زمستان و بهار پرآب و در فصل تابستان و پاییز کم‌آب و گاهی خشک می‌شود. بدین سبب دریاچه مهارلو یک حوضه درون‌قاره‌ای بسته به شمار می‌رود. این پلایا از زیرحوضه‌های حوضه آبریز مرکزی است و در بخش جنوب غربی آن قرار دارد. حوضه آبریز مهارلو در جنوب ایران و در استان فارس قرار گرفته است (وزارت نیرو ۱۳۹۴). این حوضه بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹° ، $۰۱'$ و ۳۰° ، $۰۶'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $۱۲'$ ، ۵۲° و $۲۸'$ ، ۵۳° شرقی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱.۱ (A) موقعیت دریاچه مهارلو در جنوب شرقی ایران با موقعیت برخی از سایت‌های دیگر که در متن ذکر شده است؛ (ب) محدوده حوضه زهکشی آن و تراز عمقی دریاچه؛ (C) نمودار آب‌وهوای شیراز (فرم اصلاح‌شده جمالی و همکاران ۲۰۰۸)

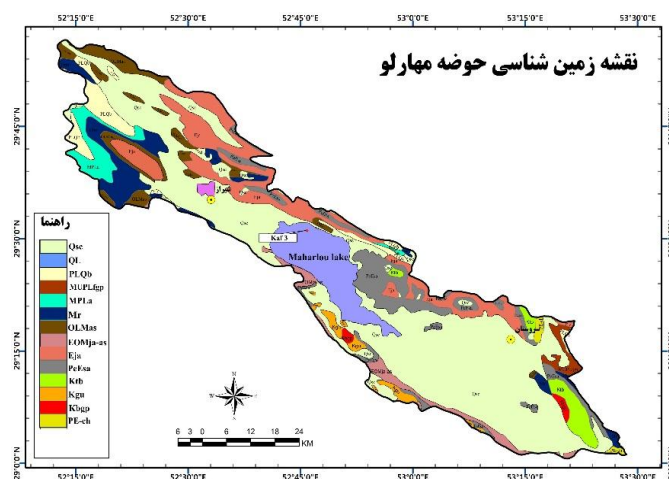
این دریاچه شرقی‌ترین بخش جلگه شیراز است. مهم‌ترین راه ارتباطی این حوضه جاده آسفالت‌شده شیراز- فسا است که از حاشیه جنوبی دریاچه عبور می‌کند و پس از گذر از شهر سروستان از حوضه خارج می‌شود. در زمان پراچی، طول دریاچه در

حدود ۲۸ کیلومتر و پهنای آن در حدود ۱۵ کیلومتر است. مساحت این دریاچه در فصول مختلف متفاوت و تابع بارش‌های جوی است و حداکثر به ۲۸۰ کیلومتر مربع می‌رسد. ارتفاع این دریاچه ۱۴۶۰ متر از سطح دریا و بیشینه ژرفای آن در دوره پربابی ۲ متر است. امروزه ضخامت نمک در این دریاچه حداکثر به ۴۰ سانتی‌متر می‌رسد. این دریاچه با سه رودخانه فصلی خشک و حمزه و سروستان و همچنین روان‌آب‌های کوه‌های مجاور تغذیه می‌شود (سایت ژئوکلیما ۱۳۸۷). دریاچه مهارلو یک دریاچه شور موقتی است. در فصول زمستان و بهار دریاچه پرآب و در فصول تابستان و پاییز کم‌آب و گاه خشک می‌شود. در حوضه آبریز مهارلو رودخانه دائمی وجود ندارد. مسیل‌های نهر اعظم رودخانه خشک و باباجی شبکه اصلی آب‌نگاری منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. سطح آب دریاچه متأثر از حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی وارده به آن، بارندگی در سطح دریاچه، و میزان تبخیر است. تیپ آب‌های وارده به دریاچه به طور عمده سولفاتی و بی‌کربناتی و متأثر از سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبریز است. میانگین بیشینه دمای سالیانه حوضه مهارلو ۲۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۳۴۱ میلی‌متر و بیشترین آن مربوط به ماه‌های بهمن و اسفند است. میانگین تبخیر در حوضه مهارلو ۲۳۹۱ میلی‌متر در سال است (Forghani et al 2009). تیپ آب‌های وارده به دریاچه به طور عمده سولفاتی و بی‌کربناتی و متأثر از سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبریز است (فیاضی و همکاران ۱۳۸۶). این دریاچه حوضه آبریز خود به مساحت حدود ۴۲۶۶ کیلومتر مربع را زهکشی می‌کند و در حال حاضر دارای اقلیمی خشک با تبخیر بیش از بارش است. شرایط اقلیمی و همچنین شرایط زمین‌شناسی آن سبب شده این دریاچه به شکل پلایا تحول یابد؛ درحالی‌که بسترهای سیلابی و تراس‌های کم‌ارتفاع اطراف دریاچه از اقلیم با بارش بیشتر در این حوضه حکایت دارد (قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۰). بر اساس تقسیمات حوضه‌های ساختاری رسوبی، حوضه مهارلو در زون زاگرس چین‌خورده قرار گرفته و از طاق‌دیس‌های بهم‌فشرده‌ای با امتداد محوری شمال باختر- جنوب خاور تشکیل شده است (سایت سازمان زمین‌شناسی ۱۳۹۲). با توجه به نقشه گسل‌های به‌دست‌آمده از حوضه آبریز، این حوضه به‌شدت تکتونیک شده و روند کلی شکل دریاچه با روند شکستگی‌ها و همچنین روند چین‌خوردگی زاگرس مطابقت دارد (شکل ۲). در نقشه لرزه‌زمین‌ساخت (بربریان ۱۹۸۳) گسل چپ‌گرد سروستان از حاشیه شمال شرقی دریاچه می‌گذرد.



شکل ۲. نقشه گسل‌ها و شکستگی‌های حوضه آبریز مهارلو همراه محل عبور گسل سروستان نسبت به موقعیت دریاچه مهارلو (صفایی ۱۳۹۰ گزارش منتشر نشده)

با توجه به گزارش مرکز ملی مطالعات و پژوهش‌های کارست (۱۳۷۳)، منطقه مورد مطالعه طی دوران‌های زمین‌شناسی دستخوش تحولات فراوان شده است و قدیمی‌ترین سنگ‌های آن را آهک‌های سازند بنگستان (سنومانین) و جدیدترین آن را آبرفت‌های (شن، ماسه، سیلت، رس، رسوبات دریاچه‌ای) کواترنر تشکیل می‌دهد. آهک‌های آسماری - جهرم نیز که همه طاق‌دیس‌ها را در بر گرفته بیشترین رخنمون سنگ‌های منطقه را شامل می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه پراکنش سازندها در حوضه آبریز مهارلو (منبع نگارنده)

دریاچه مهارلو تا ژرفای ۴۶۰ متر از سازند رازک تشکیل شده است (سازمان آب منطقه‌ای فارس ۱۳۷۴). جنس مواد تشکیل‌دهنده سطح زمین، شیب حوضه، و شدت باران سه عامل اصلی فرسایش‌اند. به دلیل آهکی بودن بخش‌های شمالی و شمال شرقی حوضه و بارش برف زمستانی میزان رسوبات ایجادشده و حمل‌شده خیلی کمتر از بخش غربی و جنوبی و جنوب شرقی حوضه است (مرکز ملی مطالعات و پژوهش‌های کارست ۱۳۷۴).

تحقیقات نشان داده است در دریاچه‌هایی که در نواحی معتدله قرار دارند رسوبات کربناته تشکیل می‌شود. دریاچه‌هایی که در نواحی خشک قرار دارند از حاشیه به مرکز با افزایش درجه حرارت و شوری به ترتیب کربنات‌ها، سولفات‌ها (ژپیس و انیدریت)، و سنگ نمک (هالیت) تشکیل می‌شود (موسوی حرمی ۱۳۸۹). رنگ رسوبات در نهشته‌های دریاچه‌ای بسیار مهم است. تیرگی رسوبات شرایط احيای و سرد و رنگ قرمز رسوبات شرایط اکسیداسیون گرمایی را نشان می‌دهد. از طرفی وقتی از نظر اقلیمی منطقه‌ای در فاز گرم و مرطوب قرار می‌گیرد حجم بالایی از گیاهان شروع به رشد می‌کند و به دنبال آن بقایای گیاهی به حوضه رسوبی حمل می‌شود. این وضعیت هم‌زمان با تشکیل افق‌های گیاهی در لایه‌های رسوبی قابل مشاهده و پیگیری است. چندین مدل کلی برای نهشته‌های دریاچه‌ای وجود دارد که ممکن است نواحی وسیعی را بیوشاند و گاهی توالی‌های ضخیمی را بر جای گذارد (ریوز ۱۹۶۸؛ پیکارد و های ۱۹۷۲؛ مآتر و تاکر ۱۹۷۸، نقل از لوویس و مک کونچی ۱۹۹۴).

رشته‌کوه‌های زاگرس، که گسترش از شمال غربی به جنوب شرقی دارد، در حال حاضر در ایران پتانسیل منحصر به فرد برای مطالعات محیط دیرینه جهت بازسازی تاریخچه پوشش گیاهی و آب‌وهوای خاورمیانه در اواخر

پلیستوسن و هولوسن دارد (جمالی ۲۰۰۸). با توجه به اینکه محققان زیادی در حوضه‌های ایران مرکزی به شواهد متعددی از تغییرات اقلیمی در گذشته پی برده‌اند و دریاچه‌ها از پتانسیل ثبت تغییرات اقلیمی محلی و جهانی در گذشته برخوردارند، چنین مطالعاتی جهت دستیابی به تغییرات اقلیمی گذشته ضروری به نظر می‌رسد. تغییرات اقلیمی دوران چهارم در ایران و آسیای غربی در مقایسه با سایر نقاط کره زمین به طور پراکنده بررسی شده است. روش‌هایی همچون مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار در شمال غرب کشور و نمونه‌های رسوبی موجود در دریاچه زریبار توسط استیونس و همکارانش (۲۰۰۱) و در دریاچه پریشان توسط نوراللهی و همکارانش (۱۳۹۱) و دریاچه‌های زریوار و میرآباد بختگان توسط پریشان عزیزی و همکارانش (۱۳۹۲ و ۱۳۸۷) و شرفی و همکارانش (۱۳۹۳) منتشر شده است. در این پژوهش‌ها تاریخچه پوشش گیاهی مناطق شمال و شمال غرب ایران بررسی شده است. استرالز (۲۰۰۶) بر آن است که در طول فاز سرد پاره‌ای از مناطق اقلیمی به مراتب سردتر و مرطوب‌تر از عهد حاضر بوده است. به باور او کویرهای فعلی یادگاری از تغییرات اقلیمی و گرایش به سمت فاز سرد در این گونه مناطق است. قهرودی تالی و همکارانش (۱۳۹۰) اعلام کرده‌اند دریاچه مهارلو در آخرین دوره سرد باران بیشتری دریافت کرده است و با توجه به تغییر اقلیم (کاهش بارش و افزایش تبخیر) دریاچه کوچک‌تر شده است. همچنین سبک‌خیز و همکارانش (۱۳۹۳) در مطالعه ارتباط توالی‌های رسوبی با پذیرفتاری مغناطیسی دریاچه مهارلو به رخداد‌های سرد و گرم در گذشته پی بردند.

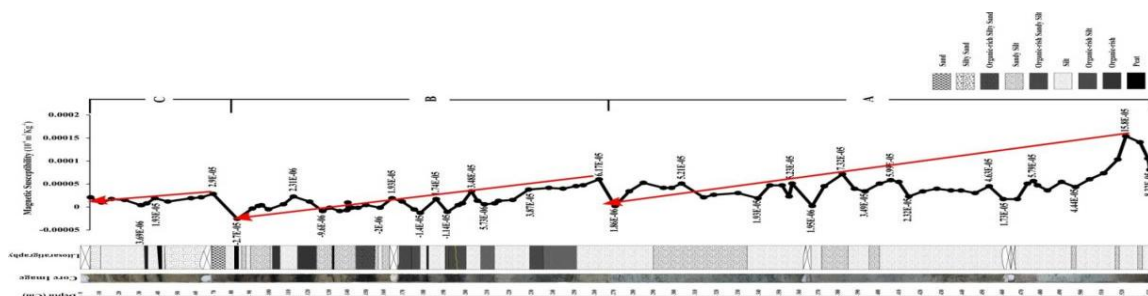
مواد و روش‌ها

در این مطالعه پس از بررسی‌های میدانی و تعیین محل نمونه‌برداری، با استفاده از دستگاه Vibracorer، از ساحل شمال غربی دریاچه در محل روستای کفترک مغزه رسوبی به عمق ۵۳۲ سانتی‌متری برداشت شد. در ادامه ۱۵۰ نمونه به روش تلفیقی از مغزه رسوبی استخراج شد و ابتدا با استفاده از دستگاه Laser particle size analyzers تحت آنالیز دانه‌سنجی قرار گرفت. اسیدیته رسوبات با PH متر آنالوگ در آزمایشگاه آب و خاک دانشکده جغرافیایی و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان اندازه‌گیری شد. سپس، با استفاده از مطالعات میکروسکوپی ذرات رسوبی، بقایای بیولوژیکی جداسازی و مطالعه شد. شناسایی و برداشت دانه‌های جلبک کاروفیت بخش مهمی از این پژوهش بوده است و نمونه‌ها پس از جداسازی و تهیه تصویر میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) توسط اطلس در حد جنس شناسایی شدند. بقایای جانوری استراکدها نیز با استفاده از میکروسکوپ الکترونیکی روبشی (SEM) تصویربرداری و با استفاده از اطلس و مقالات و متخصصان شناسایی شدند. در پایان سه نمونه از ساقه‌های گیاهی از اعماق ۴۲/۵ و ۱۹۸ و ۴۷۷ سانتی‌متری برداشت و جهت تعیین سن رادیو کربن ۱۴ به آزمایشگاه یوزنانس فرانسه ارسال و تعیین سن شد.

یافته‌های پژوهش

سبک‌خیز و همکارانش (۱۳۹۳)، با مقایسه حساسیت مغناطیسی و تغییرات رسوبی در مغزه رسوبی، بر این باورند که تغییرات عمده حساسیت مغناطیسی در سه زون اصلی قابل مشاهده است. یک پیک حداکثری حساسیت مغناطیسی در یک سکانس پیش‌رونده ریزدانه صورت گرفته است. ریزشوندگی ذرات این فاز سرد همراه افزایش بارش و عمیق‌شوندگی

دریاچه با روند رو به کاهش در حساسیت مغناطیسی تا عمق ۲۷۰ سانتی متری ادامه می‌یابد و پس از آن یک افزایش ناگهانی در حساسیت مغناطیسی دیده می‌شود. این فاز نیز با فرکانس‌های متغیر روندی رو به کاهش را تا عمق ۸۴ سانتی متری دارد و در عمق ۸۰ سانتی متری نیز با یک جهش افزایشی با فرکانسی شدیدتر رو به سطح مغزه ادامه می‌یابد. این تغییرات نیز با یک شیب بسیار ملایم روند کاهش را نشان می‌دهد (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه روند تغییرات حساسیت مغناطیسی با تغییرات لیتولوژیکی مغزه رسوبی دریاچه مهارلو (سبک‌خیز و همکاران ۱۳۹۳)

در مطالعات تکمیلی سن‌سنجی و رسوب‌شناسی همچنین مطالعات بیولوژیکی انجام گرفت و با نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمی مقایسه و ارزیابی شد.

سن‌سنجی

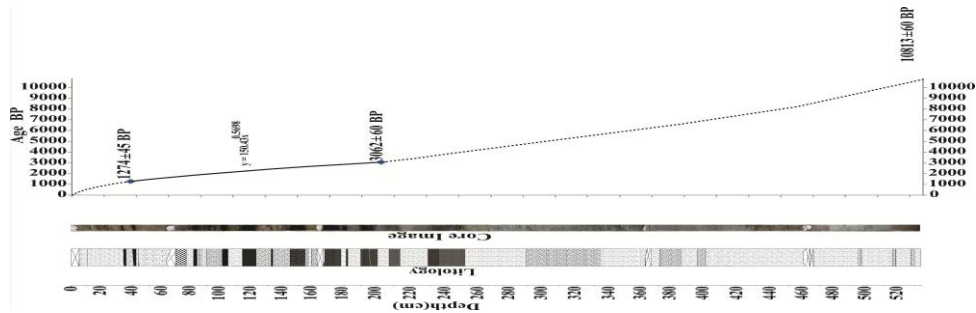
تعداد سه نمونه گیاهی برجا جهت سن‌سنجی در اعماق ۴۲/۵ و ۱۹۸ و ۴۷۷ سانتی متری انتخاب و به روش رادیو کربن ۱۴ در آزمایشگاه رادیو کربن پوزنان فرانسه سن‌سنجی شد (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج سن‌سنجی کربن ۱۴ مغزه رسوبی دریاچه مهارلو

نام نمونه	کد آزمایشگاهی	عمق (cm)	سن کربن ۱۴
Kaf 3-1-13	Poz-73973	۴۲,۵	BP ۱۲۷۴ ± ۴۵
Kaf 3-3-12	Poz-73971	۱۹۸	BP ۳۰۶۲ ± ۶۰

از ۳ نمونه برداشت‌شده، یک نمونه مربوط به عمق ۴۷۷ سانتی متری به دلیل کریستالیزه شدن بقایای گیاهی از داده‌ها حذف شد. نتایج حاصل از سن‌سنجی مغزه رسوبی مهارلو نشان داد در عمق ۴۲/۵ سانتی متری سن رسوبات BP ۱۲۷۴ ± ۴۵ و در عمق ۱۹۸ سانتی متری سن مغزه رسوبی BP ۳۰۶۲ ± ۶۰ سال است. بنابراین، سن رسوبات کف مغزه با استفاده از روش میان‌یابی سن مغزه از رابطه رگرسیونی در محیط اکسل حدود ۱۱ هزار سال به دست آمد. سپس با استفاده از سن رادیو کربن در دو عمق ۴۲/۵ و ۱۹۸ میزان رسوب‌گذاری ۰/۳ میلی‌متر در سال برآورد شد که میزانی نسبتاً آرام است و رخساره‌های حاوی ماده آلی کم است. از عمق ۴۲/۵ تا ۱۹۸ سانتی متر میزان رسوب‌گذاری دو برابر

می‌شود و به ۰/۶ میلی‌متر در سال می‌رسد. این دسته رخساره، که تناوبی از لایه‌های رسوبی آواری، شیمیایی، بیوشیمیایی، و لایه‌های زغالی است میزان رسوب‌گذاری بالاتری دارد (نشان‌دهنده آب‌وهوای گرم و مرطوب است). این لیتولوژی تا عمق ۲۵۰ سانتی‌متری ادامه دارد و با همین میزان رسوب‌گذاری صورت گرفته است. از این عمق به بعد، تا کف مغزه رسوبی، با توجه به لیتولوژی مشابه، با عمق مغزه از سطح تا ۴۲/۵ سانتی‌متر میزان رسوب‌گذاری ۰/۳ میلی‌متر در سال تخمین زده و سن کف مغزه ۱۰۸۳ برآورد شد. برابر بوده (شکل ۵).

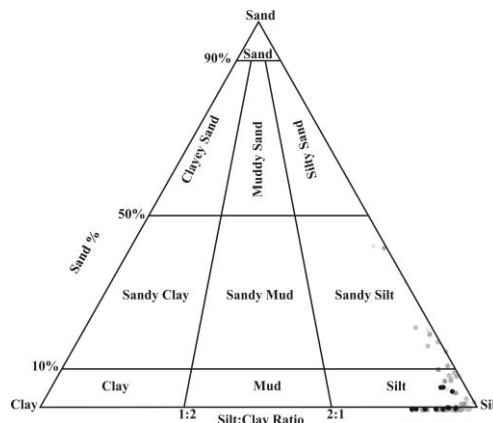


شکل ۵. مقایسه عمق همراه ستون سنگ‌شناسی و سن مغزه رسوبی (منبع نگارنده)

رسوب‌شناسی

آنالیز دانه‌بندی رسوبات

نتایج حاصل از دانه‌بندی نشان داد رسوبات عموماً حاوی بیشترین درصد سیلت‌اند و کمتر از ۳۰ درصد رس و درصد ناچیزی ماسه‌دانه متوسط دارند. دامنه تغییرات نوع رسوب بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۵) از سیلت تا سیلت ماسه‌ای در نوسان است (شکل ۶).



شکل ۶. رسوبات دانه‌بندی شده مغزه رسوبی دریاچه مهارلو بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) (منبع نگارنده)

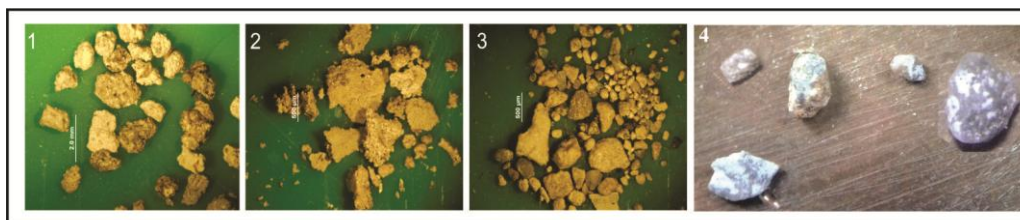
بررسی نتایج دانه‌بندی رسوبات آواری با استفاده از پارامترهای آماری به روش ترسیمی (کرومبین^۱ و پتی جان ۱۹۳۸؛

1. Krumbien

نرمافزار بلوت و پی (۲۰۰۱) انجام شد. نتایج حاصل از آنالیز دانه‌بندی و مطالعه آماری نشان داد با توجه به دانه‌ریز بودن و پایین بودن میزان ماسه در اکثر رسوبات مغزه مورد مطالعه دارای جورشدگی بین ۱ تا ۲ است و جورشدگی بدی دارند و در اعماق ۹۶ سانتی‌متری و ۳۳۲ سانتی‌متری جورشدگی بسیار بد است.

شناسایی جنس رسوبات در مغزه رسوبی دریاچه مهارلو

مطالعه میکروسکوپی ذرات رسوبی در توالی‌های مورد مطالعه نشان داد، سه دسته از ذرات رسوبی در توالی رسوبی مورد مطالعه وجود دارد که شامل: ۱. ذرات آواری حمل شده به حوضه دارای جورشدگی‌های بد تا خیلی بد با ذرات ماسه‌ای زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار و گردشده. ۲. ذرات کلوخه‌ای رسوبات درجا که به صورت شیمیایی در اشکال نامنظم گاه گردشده و حمل شده است و ۳. پوسته‌های تبخیری و بلورهای شکل‌دار منظم (شکل ۷) به صورت شیمیایی در دریاچه تشکیل شده‌اند و تصاویر میکروسکوپی آن قبلاً در کانی‌شناسی آمده است (سبک‌خیز ۱۳۹۴).

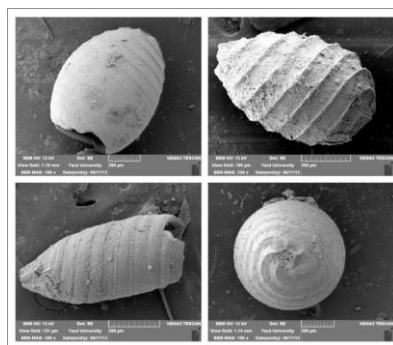


شکل ۷. ۱. کلوخه‌های شیمیایی؛ ۲. پوسته‌های تبخیری؛ ۳ و ۴. ذرات آواری مشاهده‌شده در رخساره‌های رسوبی مورد مطالعه

مطالعات بیولوژیکی

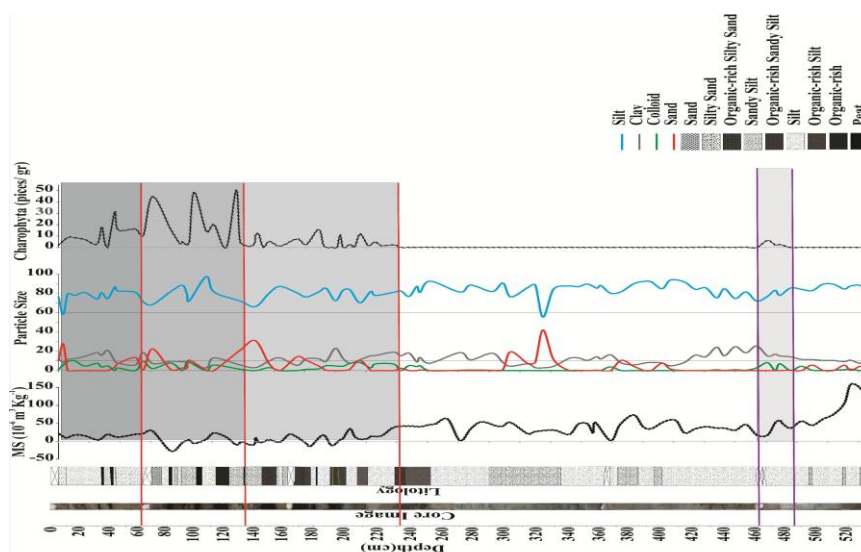
بررسی تغییرات کاروفیت‌ها

بخشی از جمعیت بیولوژیکی موجود در رخساره‌های رسوبی مورد مطالعه جلبک‌های سبز آهکی یا کاروفیت‌ها بودند که در محیط‌های لب‌شور با تحمل شوری حداکثر ۵ درصد نمک می‌توانند به‌خوبی رشد کنند. این گیاهان ابتدایی در آب‌های کم‌عمق و گرم رویش می‌کنند. در این بخش از پژوهش، به مطالعه و شناسایی کاروفیت‌ها پرداخته شد و فراوانی آن‌ها از عمق به سطح مغزه رسوبی مورد ارزیابی قرار گرفت. مطالعه تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) توسط اطلس منجر به شناسایی سه جنس کاروفیت شد که از عمق به سطح تغییرات فراوانی نشان دادند. سه گونه از جلبک‌های سبز جنس *Cara sp* دارند. نتایج حاصل از این بخش از مطالعات به ارائه بیوزون‌های کاروفیت انجامید (شکل ۸).



شکل ۸. انواع کاروفیت‌های مشاهده‌شده در مغزه رسوبی؛ سه گونه از جنس *Chara. Sp*

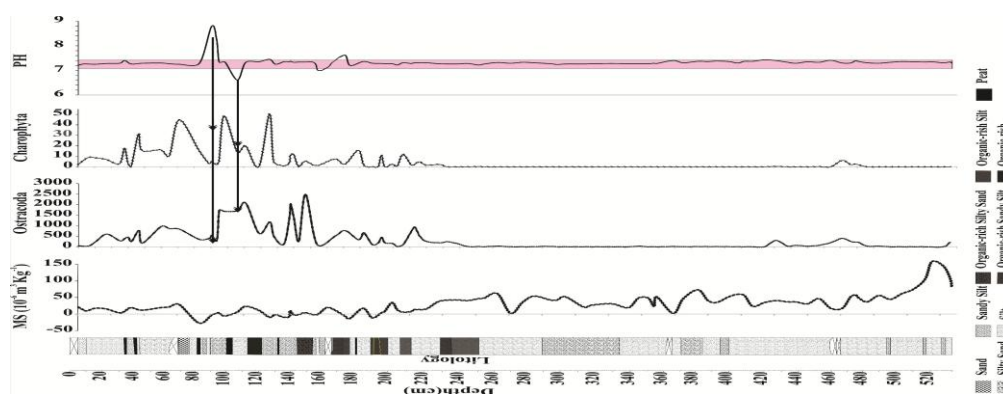
در رخساره‌های رسوبی، چهار فرکانس تغییرات در فراوانی کاروفیت‌ها دیده شد (شکل ۹). این تغییرات در ۴ زون مجزا به شرح ذیل است: زون ۱ از سطح تا عمق ۶۲ سانتی‌متری با حداکثر فراوانی ۳۰ در یک گرم، رسوب در دو افق ۳۵ و ۴۲ سانتی‌متری با پیک فراوانی ۱۸ و ۳۰ در یک گرم در رخساره سیلتی ظهور می‌یابد؛ از عمق ۶۲ تا ۱۳۳ سانتی‌متری، این افق حداکثر فراوانی همراه با نوسانات شدید در تغییرات فراوانی کاروفیت‌ها دیده می‌شود. حداکثر فراوانی ۵۰ است. اولین پیک حداکثری در افق ماسه‌ای با فراوانی ۴۵ در گرم در ۶۸ سانتی‌متری از سطح، رخساره ماسه سیلتی در ۹۸ سانتی‌متری از سطح، و پیک فراوانی ۵۰ در رخساره سیلت ماسه‌ای ۱۲۷ سانتی‌متری از سطح مغزه دیده می‌شود؛ زون ۳ از عمق ۱۳۳ تا ۲۴۳ سانتی‌متری از سطح دیده می‌شود. این زون بزرگ‌ترین ضخامت فراوانی‌های کاروفیت‌هاست که در آن تنوع رخساره‌های رسوبی بالا و ضخامت رخساره‌ها کم توأم با تغییرات شدید محیط دریاچه است. دامنه تغییرات فراوانی کاروفیت‌ها تا ۱۵ عدد در گرم می‌رسد. تعداد ۳ پیک ۱۲ در گرم در اعماق، ۱۴۲ و ۱۹۷ و ۲۰۸ سانتی‌متری از سطح، و یک پیک ۱۵ در عمق ۱۸۳ سانتی‌متر وجود دارد و چند نوسان ۱۰ و پایین‌تر از ۱۰ بین این نقاط مشاهده می‌شود. فرکانس ظهور و افول در این زون تا عمق ۲۳۳ سانتی‌متری از سطح دیده می‌شود و از این عمق تا زون بعدی یعنی عمق ۴۶۲ سانتی‌متری اثری از کاروفیت‌ها دیده نمی‌شود یا تعداد کمتر از ۱ در گرم است. سبب این عدم ظهور کاروفیت‌ها در این مغزه رسوبی حدود ۲۲۹ سانتی‌متر است. پیک‌های رسوبی به ترتیب فراوانی در رخساره‌های سیلتی، سیلت ماسه‌ای، و سیلت‌های غنی از مواد ارگانیکی است و فراوانی‌های کمتر در این زون مربوط به رخساره‌های ماسه‌های سیلتی، سیلت ماسه‌ای، و سیلت‌کاری از ماده ارگانیکی است؛ زون ۴ در عمق ۴۶۲ تا ۴۸۵ سانتی‌متری است. این رخساره سیلتی و حاوی ۲ فرکانس فراوانی کمتر از ۱۰ است. از این عمق به پایین، کاروفیت‌ها ناپدید شده‌اند. کاراسه آن نوعی جلبک است که در محیط آب شیرین تا لب‌شور زیست می‌کند. جلبک‌های قهوه‌ای کاروفیتا، علاوه بر آب‌های شیرین ساکن، کنار آب‌های جاری کم‌عمق (۱ تا ۱۰ متر)، با جریان آرام نیز مشاهده می‌شود. دما به طور قابل توجهی هم در جوانه‌زنی هم توسعه کاروفیتا تأثیر می‌گذارد و به طور کلی در مناطق معتدل در آب حدود ۱۲ درجه سانتی‌گراد تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد زیست می‌کنند. اما در مناطق گرمسیری آن‌ها ممکن است در آب گرم ۳۰ درجه سانتی‌گراد زنده بمانند (فیست و گالراسکوئین ۲۰۰۹).



شکل ۹. مقایسه تغییرات فراوانی کاروفیت‌ها با تغییرات رسوب‌شناسی در مغزه رسوبی ۵۳۲ سانتی‌متری دریاچه مهارلو

مقایسه متغیرهای مورد مطالعه (ارتباط فراوانی بیولوژیکی با اسیدیته)

در طول کل مغزه از سطح به عمق ۵۳۳ سانتی متری، میزان اسیدیته بین ۶/۹۰ تا ۷/۲۰ در نوسان و اسیدیته تقریباً خنثی در محیط حاکم است. اما در عمق ۹۲ سانتی متری، که رخساره رسوبی سیلت ماسه‌ای است، اسیدیته ۸/۸ و شرایط محیط قلیایی شده است. در این افق رسوبی به شدت فراوانی کاروفیت‌ها و استراکدها کاهش یافته است. فراوانی استراکدها حدود ۵۰۰ عدد در گرم و کاروفیت‌ها ۵ عدد در گرم است. همچنین در عمق ۱۰۸ سانتی متری پس از یک دوره کوتاه خنثی به ۶/۶ یعنی محیط اسیدی مبدل می‌شود. این رخداد در افق سیلتی دیده می‌شود. در حالت اسیدی شدن محیط، فراوانی استراکدها ۱۵۰۰ و کاروفیت‌ها ۱۵ است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. ارتباط بین تغییرات اسیدیته و فراوانی استراکدها و کاروفیت‌ها

مروری بر مطالعه ژئوشیمی و مقایسه آن با مطالعات بیولوژیکی و رسوب‌شناسی مغزه رسوبی

نتایج حاصل از حساسیت مغناطیسی، آنالیز LOI، درصد کربنات‌های ارگانیکی (OC)، کربنات‌های غیرارگانیکی (IC)، و ژیس (SO₄) همچنین میزان هالیت رسوبات فوق در طول مغزه مورد مطالعه تغییرات چشمگیری نشان داد (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری نهشته‌های تبخیری (NaCl, CaSO₄, CaCO₃)، بیوشیمی (OC)، و اسیدیته در مغزه ۵۳۳

سانتی متری دریاچه مهارلو (سیف و همکاران ۲۰۱۶)

Name		A Zone (533-270 Cm)	B Zone (270- 80 Cm)	C Zone (80- 0 Cm)
NaCl (%) Density)	Maximum	42.70	42.70	24.77
	Minimum	3.94	5.04	2.96
	Average	11.93	15.14	7
SO ₄ (%) (LOI)	Maximum	2.89	1.09	2.89
	Minimum	0.04	0	0.001
	Average	1.12	0.11	0.49
IC (%) (LOI)	Maximum	9.049	12.22	8.52
	Minimum	0.19	0.14	1.31
	Average	2.19	5.60	4
OC (%) (LOI)	Maximum	43.29	44.78	23.85
	Minimum	0	0.51	1.29
	Average	8.01	4.26	4.89

با توجه به تغییرات در ظهور و فراوانی کربنات کلسیم و ژپس و هالیت و مقایسه آن با تغییرات فیزیکوشیمیایی اعم از حساسیت مغناطیسی، تغییرات بیولوژیکی، PH، و رسوب‌شناسی مغزه رسوبی مورد مطالعه به سه زون اصلی A, B, C تقسیم و این زون‌ها به ساب زون‌های کوچک‌تر تقسیم شدند. از میان زون‌بندی‌های مذکور، بخش A با بزرگ‌ترین محدوده به سه زیربخش ۱ و ۲ و ۳ و بخش B به دو زیربخش ۱ و ۲ تقسیم شدند.

زون A

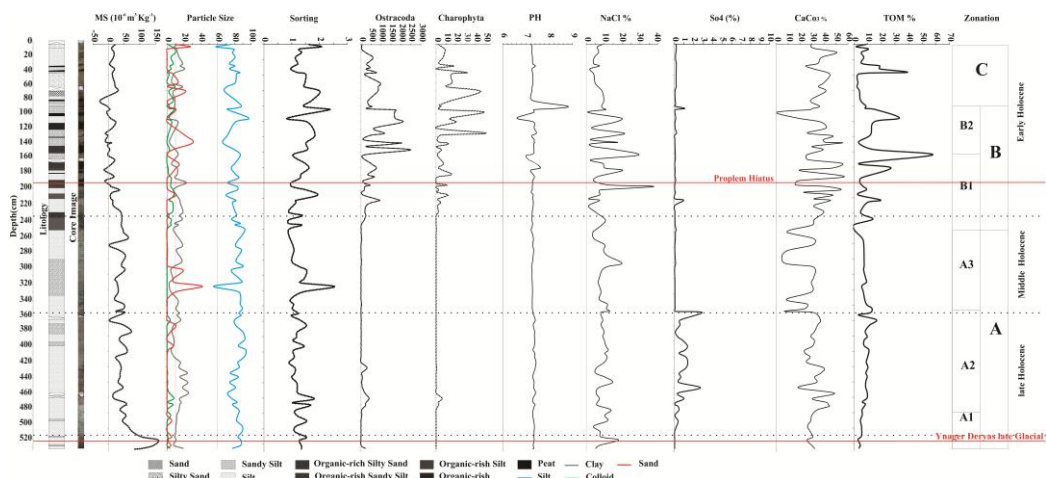
خصوصیات فیزیکی زون A به طور کلی توسط مقادیر نسبتاً بالایی از حساسیت مغناطیسی و ویژگی‌های بیوشیمیایی نسبتاً پایین و مقادیر ثابت مجموع آلی و مقادیر نسبتاً پایین و تغییرناپذیر شیمیایی مانند نمک طعام موجب جدایش این بخش از بخش‌های B و C می‌شود. به‌استثنای چند ظهور در زیربخش A1 و A2 و A3، همه این خصوصیات بیولوژیکی و شیمیایی و فیزیکی نسبت به دو منطقه B و C در تضادند.

زون B

در زون B به طور کلی مقادیر حساسیت مغناطیسی به حداقل (به طور متوسط: $110/14 \text{ M}^3 \text{ K}^{-1} \text{ E}^{-05}$) رسیده است و در مقادیر NaCl, CaCO₃ و OC نوسانات تغییرات فراوانی بالا بوده است. در زون B تغییرات قابل توجهی از مقادیر NaCl و CaCO₃ مشاهده شد. تغییرات CaSO₄ به جز در آغاز (B1) و در پایان (B2) کاهش نشان داد (شکل ۱۱).

زون C

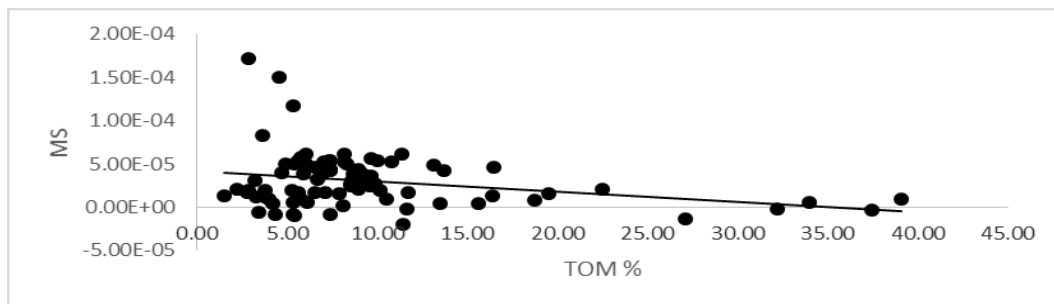
این زون کوچک است و با توجه به ضخامت کم تغییرات فیزیکوشیمیایی قابل توجهی دارد. برجسته‌ترین تغییر ژپس (CaSO₄) ۴ درصد در دو پیک افزایشی دیگر در این بخش بین ۰/۱ درصد تا ۰/۴۰ درصد است. برخی نوسانات CaCO₃ و بین ۱۰ درصد تا ۰/۱ درصد است. میزان OC در این منطقه ۳ درصد است. به طور کلی سه تغییر عمده در زون C به شرح ذیل است: ۱. در ابتدای شروع زون C مقدار ۲/۹۶ درصد NaCl و کربنات کلسیم ۱/۳۱ درصد کم است و میزان OC بالای ۴۳/۳ درصد است؛ ۲. در بخش وسط زون محتوای نمک طعام و کربنات کلسیم بالا رفته به میزان ۱۰ درصد رسیده و TOC کاهش یافته و به حدود ۵ درصد رسیده است؛ ۳. در بخش انتهایی، محتوای نمک طعام حدود ۱۰ درصد، کربنات کلسیم نوسانات بین ۴۵ تا ۳۰ درصد داشته، و محتوای TOM به زیر ۱۰ درصد رسیده است (شکل ۱۱).
بر اساس تحقیقات دیگر محققان، مثل بگین^۱ و همکارانش (۱۹۷۴)، در خصوص شرایط دریاچه در زمان تشکیل سولفات کلسیم به طور کلی ژپس در دریاچه‌های نمک دائمی دیده می‌شود. بنابراین در افق‌های ظهور ژپس دریاچه دائمی و شور بوده است و با توجه به اینکه هیچ‌گاه عمق دریاچه خیلی زیاد نبوده است، به نظر نمی‌رسد مقدار قابل توجهی از ژپس‌های تشکیل شده توسط باکتری‌های احیاکننده سولفات از بین رفته باشد. لذا این فاز یک فاز مهم از لحاظ تشکیل ژپس و خشک‌شدگی دریاچه است.



شکل ۱۱. مقایسه تغییرات فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی در عمق مغزه رسوبی (سیف و همکاران ۲۰۱۶) تغییر یافته.

ردیابی دوره‌های گرم و سرد در مغزه رسوبی

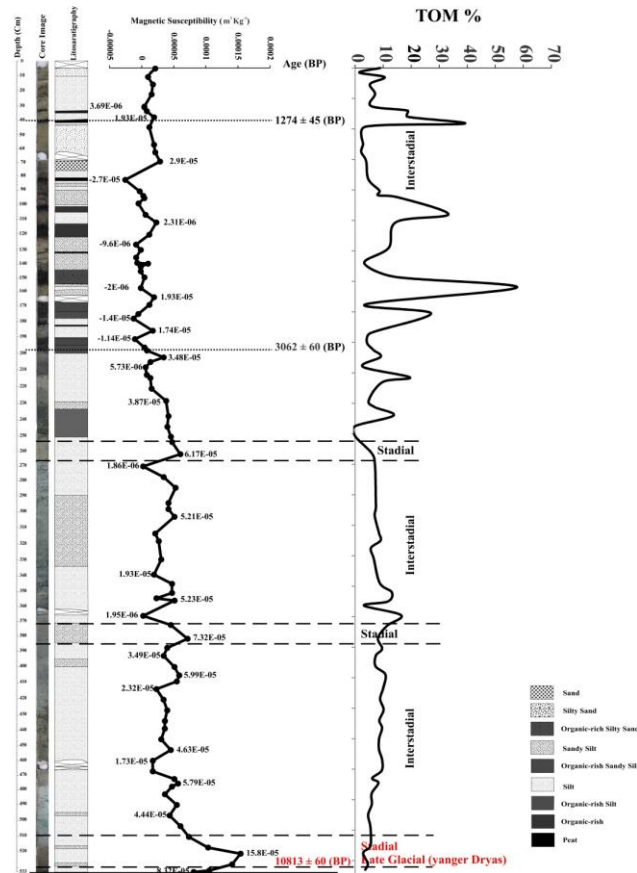
نتایج مقایسه مواد ارگانیکی و حساسیت مغناطیسی نشان داد تغییرات فراوانی TOM کاهش نشان داده و با تغییرات حساسیت مغناطیسی روند معکوس دارد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. تصویر ارتباط حساسیت مغناطیسی و TOM %

با توجه به تغییرات مورد مطالعه و تعیین مرز آخرین دوره سرد یا نگردریاس در انتهای مغزه رسوبی، سه دوره سرد کوچک مقیاس ۱ و سه دوره بین دوره‌ای سرد ۲ در مغزه رسوبی مشخص شد. تغییرات TOM% در این بررسی نیز علاوه بر کاهش از عمق به سطح، در مقایسه با حساسیت مغناطیسی، روند معکوس نشان داد (شکل ۱۳).

1. Stadial
2. interStadial



شکل ۱۳. مقایسه ارتباط حساسیت مغناطیسی با تغییرات فراوانی مواد ارگانیکی (TOM%) و ستون لیتولوژیکی در مغزه رسوبی

بحث و نتیجه

نتایج نشان داد سن کف مغزه رسوبی 10813 ± 60 BP سال است که زمان پیش از هولوسن (کوآترنر پایانی) را نشان می‌دهد. وجود لس‌های یخبندان و نبود بقایای زیستی گیاهی و جانوری همراه افق رسوبات آواری ریزدانه نشان‌دهنده حاکمیت قسمت پایانی یانگر دریاس است که از حاکمیت شرایط سرد و خشک حکایت می‌کند. دوران هولوسن تحتانی در 10200 ± 60 BP سال پیش از عهد حاضر ابتدا سرد و خشک بوده و ذرات تبخیری همراه ذرات آواری و فاقد بقایای زیستی است. سپس افزایش تبخیری‌ها، کاهش کربنات کلسیم، و افزایش مواد آواری حاکمیت محیط فلوویال و دوران گرم و خشک نمایان می‌شود. هولوسن میانی از 4000 ± 60 BP با شروع فعالیت چشمه‌ها ظاهر می‌شود و دوره بهینه اقلیم گرم و مرطوب بر دریاچه تسلط می‌یابد. این شرایط یکنواخت نیست و تا شروع هولوسن پایانی دارای نوسان با دوره‌های کوتاه خشک‌شدگی است. در این دوره یک هیاتوس و سطح ناپیوستگی در 3062 ± 60 BP پدیدار است که نشان‌دهنده خروج کامل دریاچه از آب همراه با فرسایش سطح آن است. هولوسن فوقانی از 2000 ± 45 BP شروع می‌شود و در ابتدا نوسانات ناشی از خشک‌شدگی و سپس در سطح مغزه روند رو به خشکی حوضه (پالایا) را نشان می‌دهد. با مقایسه

تغییرات اقلیمی دریاچه مهارلو با نتایج سایر محققان می‌توان گفت به دلیل اینکه حوضه آبریز مهارلو علاوه بر کمربند موسمی تحت تأثیر کمربندهای مدیترانه‌ای و سیبری بوده و عملکرد آن در دیر یخبندان^۱ و یانگر دریاس همانند نتایج دیگر محققان تحت تأثیر کمربند موسمی بوده است و در نتیجه دوره‌های سرد با خشکی همراه است و این نتایج توسط مطالعات کیمیاوی و میلر (۲۰۰۶) برای بخش شمال غربی رشته کوه‌های زاگرس در طول آخرین دوره یخبندان پیشنهاد شده است؛ به طوری که اقلیم حوضه مهارلو طی هولوسن پیشین از ۱۰۲۰۰ تا ۴۰۰۰ سال پیش اقلیمی خشک داشته که در ابتدا با سردی و در انتها با گرمی همراه بوده است. نتایج این بخش مشابه نتایج وینکو (۱۹۹۴) در مناطق دریای سیاه و غرب کوه‌های قفقاز، همچنین مطالعه پارکر و همکارانش (۲۰۰۷) که رخدادهای ۸۲۰۰ سال پیش در مطالعه مغزه‌های یخی گرینلند در حدود ۹۰۰۰ سال پیش در منطقه اطلس شمالی را به دلیل ضعیف شدن جریان‌های موسمی به همراه رخدادهای خشکی شدید در جنوب غرب آسیا (خاورمیانه) می‌دانند. در این خصوص استیونس و جمالی (۲۰۱۲) نیز در مطالعه مغزه رسوبی دریاچه ارومیه ایران این دوره را به پایان یخبندان آخر و پدیده یخ‌زدایی و آب شدن یخ مشخص کرده‌اند که توسط رویداد یانگر دریاس (اقلیم خشک جوان‌تر) قطع شده و منجر به تجدید دوره خشکی می‌دانند. در حالی که دیگر محققان، مانند داوودی (۱۳۹۳) در خصوص دریاچه نئور، پریشان و تالاب هشیلان، شروع دوره هولوسن آب‌وهوا گرم و مرطوب گزارش کرده‌اند. همچنین تحقیقات اخیر در دریاچه وان ترکیه تغییر اقلیم از دوره دیر یخبندان به هولوسن پیشین را از سرد به گرم و مرطوب پیشنهاد می‌کنند.

در نتیجه تغییرات اقلیم مشاهده شده در دریاچه مهارلو مشابه شرایط به دست آمده در سایر مطالعات در دریاچه‌های شمال غربی رشته کوه‌های زاگرس، پریشان، تالاب هشیلان، و نئور در البرز در طول آخرین دوره یخبندان است. همچنین تحقیقات اخیر در خصوص زمان هولوسن پیشین روی دریاچه ارومیه و منطقه اطلس شمالی حاکی از ضعیف شدن جریان‌های موسمی به همراه رخدادهای خشکی شدید در جنوب غرب آسیا (خاورمیانه) است؛ در حالی که نتایج مطالعات مذکور در شروع هولوسن با شرایط اقلیمی گرم و مرطوب معرفی شده است که به نظر می‌رسد قرارگیری مناطق مذکور در موقعیت جغرافیایی متفاوت (ارتفاع، عرض جغرافیایی، قرارگیری در مسیر جریان‌های مختلف) عملکرد محلی متفاوت را باعث شده است. بنابراین، دوره‌های سرد و گرم در مناطق مختلف دنیا نیز عملکرد متفاوتی داشته‌اند.

سپاسگزاری

با سپاس فراوان از جناب آقای دکتر جمالی که هزینه سن‌سنجی را از طرح ANR/DFG فرانسه - آلمان تأمین کرد و زحمت ارسال نمونه‌ها را نیز متقبل شد؛ همچنین کادر محترم پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی که امکانات انجام دادن آزمایش‌های حساسیت مغناطیسی و دانه‌بندی و عملیات مغزبرداری را در اختیار قرار دادند.

منابع

- ایوبی، شمس‌الله و احمد جلالیان، احمد کریمیان اقبال (۱۳۸۲). «آثاری از تغییر آب‌وهوای دیرینه کواترنر موجود در برخی پارینه‌خاک‌های دو منطقه اصفهان و امام قیس چهارمحال و بختیاری»، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ش ۳، صص ۵۱-۶۸.
- بربریان، مانوئل (۱۳۶۲). «گزارش دگرریختی قاره‌ای در فلات ایران زمین منضم به نقشه‌ی سائزموکتونیک ایران»، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- تاکر، موریس ای (۱۳۸۳). *سنگ‌شناسی رسوبی: مقدمه‌ای بر منشأ سنگ‌های رسوبی*، ترجمه‌ی رضا موسوی حرمی و اسدالله محبوبی، ویراست ۲، مشهد، انتشارات جهاد دانشگاهی.
- داودی، محمود و قاسم عزیزی، مهران مقصودی (۱۳۹۳). «بازسازی تغییرات آب‌وهوایی هولوسن در زاگرس جنوبی: شواهد گرده‌شناسی و زغال در رسوبات دریاچه‌ی پریشان»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، س ۳، ش ۱، صص ۶۵-۷۹.
- درویش‌زاده، علی (۱۳۷۰). *زمین‌شناسی ایران*، ج ۲، تهران، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- سازمان آب منطقه‌ای فارس (۱۳۷۴). «گزارش مطالعات ژئوفیزیک در محل سد علاالدوله».
- سبک‌خیز، فاطمه و عبدالله سیف، محمدحسین رامشت، بنی‌عبدالمجید نادری، سینا صلحی (۱۳۹۳). «مطالعه‌ی ارتباط توالی‌های رسوبی با پذیرفتاری مغناطیسی در دریاچه‌ی مهارلو»، *همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در علوم شیمی، زیست‌شناسی، و زمین‌شناسی*، دانشگاه تهران.
- سبک‌خیز، فاطمه و عبدالله سیف، محمدحسین رامشت، مرتضی جمالی، بنی‌عبدالمجید نادری (۱۳۹۴). «بررسی تغییرات اقلیمی هولوسن در دریاچه‌ی مهارلو، جنوب شرقی شیراز»، *دومین همایش ملی انجمن کواترنری ایران*، دانشگاه اصفهان.
- شرفی سیامک، داریوش نوراللهی، قاسم عزیزی (۱۳۹۳). «ارتباط اسناد ایزوتوپ اکسیژن دریاچه‌های زیروار، میرآباد، بختگان، و پریشان با بارش‌های منطقه در عصر یخبندان کوچک (LIA)»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، د ۲۵، ش ۳ (پیاپی ۵۵)، صص ۷۵-۸۸.
- شهرابی، مصطفی (۱۳۷۳). *دریاها و دریاچه‌های ایران*، تهران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- عزیزی، قاسم (۱۳۸۳). *تغییر اقلیم*، تهران، قومس.
- عزیزی، قاسم و طیبه اکبری، سید حسین هاشمی (۱۳۹۲). «تغییرات پوشش گیاهی و آب‌وهوای دیرین در طی گذار آخرین دوره‌ی یخبندان- هولوسن (مطالعه‌ی موردی: دریاچه‌ی نئور در شمال غرب ایران)»، *پژوهش‌های محیط زیست*، ش ۴، ۷، بهار و تابستان ۱۳۹۲، صص ۳-۱۲.
- عزیزی، قاسم و علی‌اکبر شمسی‌پور، داریوش یاراحمدی (۱۳۸۷). «بازیابی تغییر اقلیم در نیمه‌ی غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چندمتغیره»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ش ۶۶، صص ۳۵-۱۹.
- عساکره، حسین (۱۳۸۶). *تغییر اقلیم*، انتشارات دانشگاه زنجان.
- فیاضی، فرج‌الله و محمد نخعی، راضیه لک (۱۳۸۶). «پیشنهاد تغییرات جزئی در نمودار تکامل شورابه»، ارائه از اگوستر و هاردی با بررسی شورابه‌ی دریاچه‌ی مهارلو، علوم زمین، س ۱۶، ش ۶۳، صص ۱۳۰-۱۳۹.

- قهرودی تالی، منیژه و حسن لشکری، زهرا سادات حسینی (۱۳۹۰). «شناسایی پهنه‌های رسوبی ناشی از تحولات اقلیمی در پلایای مهارلو با به‌کارگیری تکنیک PCA و شاخص OIF»، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ش ۳، صص ۲۱-۳۶.
- لک، راضیه (۱۳۸۳). «بررسی رسوبات دریاچه مهارلو»، گزارش سازمان زمین‌شناسی استان فارس.
- مرکز ملی پژوهش‌ها و مطالعات کارست (۱۳۷۴). «هیدروژئولوژی حوضه مهارلو»، گزارش نهایی مطالعات جامع حوضه کارست مهارلو.
- موسوی حرمی، رضا (۱۳۸۹). *رسوب‌شناسی*، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی، چ ۱۲.
- نوراللهی، داریوش و حسن لشکری، ماریا امیرزاده (۱۳۹۱). «مدل‌سازی دیرینه هیدرولوژی بر اساس مقایسه اسنادی $\delta^{18}O$ Carbonate و $\delta^{14}C$ arbonate دریاچه پریشان (استان فارس)»، *جغرافیا و توسعه*، ش ۲۹، صص ۹۱-۱۰۶.
- Asakere, H. (2017). "Climate Change", Zanzan of University Press, p. 236
- Ayoobi, .S. A., Jalalian, M., Karimian Eghbal, Evidences of Climate Change Recorded in Quaternary Paleosols from Isfahan and Emam-Gheis (Chaharmahal & Bakhtiary). *JWSS*. 2003; 7 (3): pp. 51-69.
- Azizi, Gh., Akbari, T., & Hashemi, H. (2013). "Vegetation and Climate Change During The Late- Glacial- Holocene in Iran A Case Study from Lake Neor in NW Iran", *Environmental Reserchis*. NO 7, pp. 3-12.
- Azizi, Gh., Sharafi, S. D., Noorollahi, D., & Azizi, Gh. (2014). "An investigation in Iran climatic conditions in little ice age (LIA) using a comparison on oxygen isotope records in Lakes Zeribar, Mirabad, Bakhtegan, and Parishan". *Geography and Environmental Planning*, No 55, p. 75-88.
- Azizi, Gh., Shamsipour, A. A., & Yarahmadi, D. (2008). "Detection Climate Change using Multivariable Statistical Analysis in west of Iran", *Physical Geography Research Quatererly*, No. 66, pp. 19-35.
- Battarbee, R. W. (1999). "Palaeolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record". *Quatern Sci Rev* 19: pp. 107–124.
- Begin, Z. B., Ehrlich, A., & Nathan, Y. (1974). "Lake Lisan: the Pleistocene precursor of the Dead Sea. Geol". *Surv. Isr. Bull*. No 63, pp. 1–30.
- Berberian, M. (1983). "Report of restricted continental deformation in the Iranian Plateau in addition to the Iranian seismotectonic map", Geological survey for mineral exploration in Iran.
- Blott, S. & Pye, K. (2001). "Gradistat: A Grain size distribution and statistic spackage for the analysis of unconsolidated sediments, Earth Surface Processes and Landforms" *Earth Surf Process,La, dforms*, No, 26, pp. 1237–1248.
- Bowler, J. M. (1986). "Spatial variability and hydrologic evolution of Australian lakes basins". *Paleogeogr Paleoclimatol Paleoecol* 54: pp. 21–41.
- Cohen, K. F. B. & Gibbard, P. (2011). "The successive roles of proglacial drainage normal ice-age rivers an marine processes in eroding the strait of dover and North Sea in the last 500 Ka. *Charts / Subcommission on Quaternary Stratigraphy* ".
- Crowley, J. K. & Hook, S. J. (1996). "Mapping playa evaporite minerals and associated sediments in Death Valley, California, with multispectral thermal infrared images". *J Geophys Res* 101: pp. 643–660.

- Darvishzadeh, A. (1991). "Geology of Iran", Vol. 2, *Tehran, Amirkabir University Press*.
- Davoodi, M. & Qasim, A., & Mehran, M. (2014). "Reconstruction of Holocene Climate Change in South Zagros: Pollen and Coal Evidence in Parish Lake Sediments", *Quantitative Geomorphological Research*, Q3, S1, pp. 65-79.
- Djamali M, de Beaulieu J-L, Shah-hosseini M et al (2008). "A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran". *Quat Res* 69: 413–420. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.03.004>
- Djamali, M., Ponel, P., Delille, T. et al (2010). "A 200,000-year record of the brine shrimp *Artemia* (Crustacea: Anostraca) remains in Lake Urmia, NW Iran". *Int J Aquat Sci* 1: pp. 14–18 10.
- Djamali, M., De Beaulieu, J-L., Miller, N. F., Andrieu-Ponel V'rie, P., Lak, R., Sadeddin, N., Akhiani, H., & Fazeli, H. (2008). "Vegetation history of the SE section of the Zagros Mountains during the last five millennia; a pollen record from the Maharlou Lake, Fars Province, Iran", *Veget Hist Archaeobot* NO 18, pp. 123–136.
- Dumas, D., Mietton, M., & Humbert, J. (2003). "Le fonctionnement hydroclimatique de la cuvette lacustre de Maharlou (Iran)". *Se'cheresse* 14: pp. 219–226.
- Enzel, Y. & Wells, S. G. (1997). "Extracting Holocene paleohydrology and paleoclimatology information from modern extreme flood events. An example from southern California". *Geomorphology* 19: pp. 203–226.
- Farpoor, M. H. & Krouse, H. R. (2008). "Stable isotope geochemistry of sulfur bearing minerals and clay mineralogy of some soils and sediments in Loot Desert, central Iran". *Geoderma* 146: pp. 283–290.
- Farpoor, M. H., Neyestani, M., Eghbal, M. K., & Esfandiarpour-Borujeni, I. (2012). "Soil–geomorphology relationships in Sirjan playa, south central Iran". *Geomorphology* 138: pp. 223–230.
- Fayazi, F., Lak, R., & Nakhaei, M. (2007). "Hydrogeochemistry and brine evolution of Maharlou saline Lake, Southwest of Iran", *Carbonates and Evaporites*, v. 22, n. 1: pp. 34-42.
- Folk, R. L. (1974). "*Petrology of sedimentary rocks*", *Hemphill Pup. Co.* 182 P.
- Forghani, G., Moore, F., Lee, S., & Qishlaqi, A. (2009). "Geochemistry and speciation of metals in Sediments of the Maharlu Saline Lake, Shiraz, SW Iran". *Environ. Earth Sci.* 59, pp. 173–184.
- Forghani, G., Moore, F., Lee, S., and Qishlaqi, A. 2009. Geochemistry and speciation of metals in Forghani, G., Moore, F., Lee, S., and Qishlaqi, A. 2009. Geochemistry and speciation of metals in Holliday, V. T., Hovorka, S. D., & Gustavson, T. C. (1996). "Lithostratigraphy and geochronology of fills in small playa basins on the Southern High Plains". vol 108. *Geological Society of America Bulletin*, USA, pp. 953–965.
- [http:// www.gsi.ir/](http://www.gsi.ir/)
- [http://www.geo-clima.blogfa.com/ 1387/3/21](http://www.geo-clima.blogfa.com/1387/3/21)
- Krinsley, D. B. (1972). "Dynamic processes in the morphogenesis of salt crusts within the Great Kavir, north- central Iran. In": *Proceedings of 24th International Geological Congress, Montreal*, pp. 167–174.
- Krinsley, D. B. (1970). "Geomorphological and paleoclimatological Studies of the Playa of Iran", *US Government Printing Office Washington D.C.*, 20,402p.

- Lak, R. (2007). "Sedimentology, hydrochemistry and brine evolution of Maharlou Lake (in Persian)". PhD thesis, Teacher Training University, Tehran.
- Lewis, D. W. & McConchie, D. (1994). "Practical sedimentology". *New York: Chapman Parker*, D., C. Folland, A. Scaife, J. Knight, A. Colman, P. Baines, and B. Dong (2007), Decadal to multidecadal variability and the climate change background, " *J. Geophys. Res.*, 112, D18115, doi:10.1029/2007JD008411.
- Li, J., Lowenstein, T. K., Brown, C. B., Ku, T. L., & Luo, S. (1996). "A 100 ka record of water tables and paleoclimates from salt cores, Death Valley, California". *Palaeogeogr Palaeoclimatol alaeoecol* 123: pp. 179–203.
- Lowenstein, T. K., Li, J., Brown, C. B., Roberts, S. M., Ku, T. L., Luo, S., & Yang, W. (1999). "200 k.y. Paleoclimate record from Death Valley salt core". *Geology* 27: pp. 3–6.
- Menking, K. M., Bischoff, J. L., Fitzpatrick, J. A., Burdette, J. W., Rye, R. O. (1997). Climatic/hydrologic oscillations since 155,000 yr. B.P. at Owens Lake, California, reflected in abundance and stable isotope composition of sediment carbonate". *Quart Res* 48: pp. 58–68."
- Ministry of Energy (2015). "National Statistical Yearbook of Water, Macro Water Planning Bureau and ABFA".
- Moussavi Harami, R. (2010). "Sedimentology", *Astan Quds Razavi publication*, p. 475.
- National Center for Karst Research and Studies (1995), "Hydrogeology of Maharloo Basin, Final report of comprehensive studies of karst basin of Maharloo".
- Noorollahi, D., Lashkari, H., & Amirzade, M. (2012). "Ancient Modeling of Hydrology Based on Comparison of δ^{18} Carbonate and the δ^{13} Carbonate Parishan Lake (Fars Province)" , *Geography and Development*, No. 29, pp. 91-106.
- Organization Fars Regional Water (1995). Report of Geophysical Studies at Aladolle Dam.
- Rahimpour-Bonab, H. & Abdi, L. (2012). "Sedimentology and origin of Meyghan lake/playa deposits in Sanandaj–Sirjan zone, Iran", *Carbonates Evaporites* No 27, pp. 375–393.
- Rahimpour-Bonab, H. & Kalantarzadeh, Z. (2005). "Origin of secondary potash deposits; a case from Miocene evaporites of NW Central Iran". *J Asian Earth Sci* 25: pp. 157–166.
- Rahimpour-Bonab, H., Shariatinia, Z., & Siemann, M. G. (2007a) "Origin and geochemistry of Miocene marine evaporites associated with red beds, Great Kavir Basin, Central Iran". *Geol J* 42: pp. 37–54.
- Rahimpour-Bonab, H., Shariatinia, Z., & Siemann, M. G. (2007b). "Role of rifting in evaporite deposition in the great Kavir Basin, Central Iran, special publication of geological society of London: geological Society of London". *Sp. Pub.* 285: pp. 263–279.
- Rosen, M. R. (1991). "Sedimentologic and geochemical constrains on them evolution of Bristol Dry Lake Basin, California, USA". *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 84: pp. 309–332.
- Sabokkhiz, F., Safe, A., Ramesht, M. H., & Djamali, M. (2016). "Holocene climate change in Maharloo Lake, southeast of Shiraz", The Second National Congress Quaternary Association, University of Esfahan, 13-14 January 2016.
- Sabokkhiz, F., Safe, A., Ramesht, M. H., Djamali, M., & Naderi Beni, A. (2015). Study of the relationship of sedimentary sequences with magnetic susceptibility in Maharloo Lake, 1th National Conference on Applied Research in Chemistry, Biology, and Geology. University of Tehran.
- Safe, A., Sabokkhiz, F., Ramesht, M. H., Djamali, M., & Naderi Beni, A. (2016). Study Clastic

- Sediments and Evaporite Deposits' Changes in the Sedimentary Core Lake Maharlou, Iran. *Modern Applied Science*; Vol. 10, No. 4, pp. 1-11.
- Sediments of the Maharlou Saline Lake, Shiraz, SW Iran. *Environ. Earth Sci.* 59, 173–184.
- Sediments of the Maharlou Saline Lake, Shiraz, SW Iran. *Environ. Earth Sci.* 59, 173–184.
- Shahrabi, M. (1994). "Seas and lakes of Iran", Geological Survey of Iran, Treatise on Geology of Iran, Book No. 10, Tehran.
- Sinha, R., Smykatz-Kloss, W., Stuben, D., Harrison, S. P., Berner, Z., & Kramar, U. (2006). Late Quaternary paleoclimatic reconstruction from the lacustrine sediments of the Sambhar playa core, Thar Desert margin, India. *Paleogeogr Paleoclimatol Paleoecol* 233: pp. 252–270.
- Software: Calib Radiocarbon Calibration Program Copyright 1986-2014 M Stuiver and Reimer PJ, to be used in conjunction with: Stuiver, M. & Reimer, P. J. (1993). *Radiocarbon*, 35, pp. 215-230.
- Spencer, R. J., Baedeker, M. J., Eugster, H. P., Forester, R. M., Goldhaber, M. B., Jones, B. F., Kelts, K., McKenzie, J., Madsen, D. B., Rettig, S. L., Rubin, M., & Bowser, C. J. (1984). Great Salt Lake, and precursors, Utah: the last 30,000 years. *Contrib Miner Petrol* 86: pp. 321–334.
- Stevens, L. R. & Djamali, M. (2012). Hydroclimatic variations over the last two glacial/interglacial cycles at Lake Urmia, Iran, *Springer Science+Business, J Paleolimnol*, DOI 10.1007/s10933-012-9588-3.
- Stevens, L. R., Wright Jr, H. E., & Ito, E. (2001). Proposed Changes in seasonality of climate during the Late-glacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran, *The Holocene*, 11, pp. 747-755.
- Tucker, Morris E. (2004). *Sedimentary Lithology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Stones*, Translated by Reza Mousavi Harami and Asadollah Mahboubi, Editing 2, Mashhad, Academic Jihad Publications.
- Yazvenko, S. B. (1994). Holocene pollen record from a peatland in the West Caucasus, Abkhasia, Black Sea region. *Journal of Paleolimnology*, 12, pp. 65-74.