

اقلیم و محیط دیرینه تالاب آبزالو در استان خوزستان با استفاده از مغزه‌های رسوبی

در هولوسن پسین

جواد درویشی خاتونی؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

صمد فتوحی*؛ دانشیار، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

حسین نگارش؛ استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

علی محمدی؛ استادیار، پژوهشگاه علوم زمین اوراسیا، دانشگاه صنعتی استانبول، مسلک، استانبول، ترکیه

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۸

چکیده

بررسی تاریخچه تغییرات اقلیمی و محیطی تالاب آبزالو در طول دوره هولوسن پسین با استفاده از مغزه‌های رسوبی موضوع پژوهش حاضر است. تعداد ۸ رخساره رسوبی بر اساس خصوصیات رسوب، میزان مواد آلی، رنگ، وجود بقایای گیاهی و صدفی، و سایر مؤلفه‌های ماکروسکوپی و ۳ محیط مخروط‌افکنه‌ای و رودخانه‌ای و تالابی در ۸ مغزه برداشت شده شناسایی و تفکیک شدند. نتایج سن‌سنجی ۳ نمونه از پوسته‌های صدفی به روش ایزوتوپ کربن ۱۴ میزان متوسط رسوب‌گذاری در تالاب آبزالو را ۱/۲۲ میلی‌متر در سال نشان داد. حداقل دو دوره پرابی و دو دوره خشک در طول هولوسن پسین (۵۰۰۰ سال گذشته) شناسایی شد. دوره‌های مرطوب از ۱۸۰۰ تا ۵۰۰ سال پیش در یک دوره ۱۳۰۰ ساله و از ۴۴۰۰ تا ۲۵۰۰ سال پیش در یک دوره ۱۹۰۰ ساله طول کشیده است. دوره‌های خشک، با مدت زمان کوتاه‌تر از دوره‌های مرطوب، از ۲۵۰۰ تا ۱۸۰۰ سال پیش در یک دوره ۷۰۰ ساله و از ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال پیش در یک دوره ۳۰۰ ساله امتداد داشته است. دوره‌های خشک با شدت بیشتر و مدت زمان کمتر به صورت ناگهانی در منطقه ظاهر شده و به صورت تدریجی به پایان رسیده‌اند و دوره‌های مرطوب به تدریج شروع شده و ناگهان پایان پذیرفته‌اند. کلیدواژگان: اقلیم دیرینه، تالاب آبزالو، جغرافیای دیرینه، مغزه رسوبی، هولوسن.

مقدمه

مطالعه رسوبات دریاچه‌ها به دلیل منافع اقتصادی، منابع معدنی، و بررسی محیط‌های رسوبی دیرینه که در رسوبات بستر ثبت شده است، در دهه‌های اخیر، به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است (کلیک و کلیک ۲۰۱۰؛ لگنر و همکاران ۲۰۱۱؛ سولوچینا و همکاران ۲۰۱۲؛ روپ و همکاران ۲۰۱۴). حوضه‌های دریاچه‌ای الگوهای شاخصی از نظر مکانی و زمانی دارند (گیرلوسکی و کلتس ۱۹۹۴: ۲۰۰۰) و نگاشت‌های ارزشمندی از تاریخچه فیزیکی و شیمیایی ارائه می‌دهند (هاردی و همکاران ۱۹۷۸؛ اسموت و لوونشتین ۱۹۹۱؛ لاست و وانسه ۱۹۹۷؛ لوونشتین و همکاران ۱۹۹۸؛ انزل و همکاران ۲۰۰۳). با توجه به این نکته که بررسی مستقیم تغییرات اقلیمی به صورت دستگاهی فقط طی چند دهه گذشته

امکان‌پذیر شده است، نشانگرهای تغییرات اقلیم گذشته (داده‌های ژئوشیمیایی آبی و معدنی، داده‌های گرده‌های گیاهی، دیرینه‌شناسی، روش‌های رسوب‌شناسی و ایزوتوپی) می‌توانند درک بهتری از تغییرات اقلیمی در دوران گذشته و دلایل آن در اختیار ما قرار دهند. نشانگرهای حساس به تغییرات اقلیمی و محیطی می‌توانند در محیط‌های طبیعی متنوع-مانند یخچال‌ها، حلقه‌های تنه درختان، مرجان‌ها، رسوبات غارها، تورب‌زارها، و رسوبات دریایی و دریاچه‌ها-بایگانی شوند. از این میان، رسوبات دریاچه‌ای توان فوق‌العاده‌ای در ثبت وقایع اقلیمی و محیطی با حساسیت و وضوح بالا و میزان تفکیک‌پذیری بسیار زیاد دارند. بنابراین، رسوبات دریاچه‌ای را می‌توان مناطقی برای تشخیص محیط‌های دیرینه در نظر گرفت (پیک و کیم ۲۰۰۶). تغییرات رسوب‌گذاری در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات بازتاب پیدا می‌کند که می‌توان از آن برای پی بردن به فرایندهای رسوبی و محیط‌های رسوبی قدیمی نیز استفاده کرد (کوهن ۲۰۰۳؛ کرپلین و شاتوول ۲۰۱۶؛ سین‌ها و همکاران ۲۰۰۶). تاکنون مطالعات زیادی-از جمله رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی عنصری و ایزوتوپی (لوونشتین و همکاران ۱۹۹۸)، محتوای فسیلی و ویژگی‌های بیولوژیکی، و مطالعات گرده‌شناسی (استیونس و همکاران ۲۰۰۶)- با هدف مطالعه دیرینه اقلیم انجام شده است. ابزاری که در همه مطالعات مشترک و ضروری است مغزه‌های سالم و دست‌نخورده است. در ادامه به چند مطالعه مهم در خصوص بازسازی جغرافیا و اقلیم و شرایط رسوبی گذشته اشاره می‌شود.

کیرستن (۱۹۹۷) با بررسی اندازه متوسط ذرات در رسوبات دریاچه اوزن در جنوب شرق کالیفرنیا نشان داد تغییرات اندازه ذرات رسوبی در داخل مغزه بازتابی از شرایط اقلیمی است. رسوب‌های نسبتاً درشت (متوسط قطر ذرات ۱۵ میکرومتر) در مغزه نشان‌دهنده زمانی است که سطح اساس دریاچه پایین است و در مقابل رسوب‌های ریزدانه (متوسط قطر ذرات ۵ میکرومتر) نشان‌دهنده زمانی است که سطح آب دریاچه بالاست. سای (۲۰۰۴)، با استفاده از تحلیل‌های آماری و تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، به طبقه‌بندی اقلیمی دیرینه در رسوبات یک دریاچه در کانادا اقدام کرد. داده‌های مورد استفاده او میزان عناصر اصلی و فرعی رسوبات با آزمایش‌های ژئوشیمیایی بود. فیلیپلی و همکارانش (۲۰۰۶) با بررسی رسوبات دریاچه‌ای به شناخت تأثیر تغییرات اقلیمی و اکولوژیکی بر مواد موجود در خاک پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تأثیر دوره‌های یخبندان بر تغییرات اکولوژیکی منطقه عامل مهمی در تغییر ساختار خاک است. باوم‌هاور و رانگ (۲۰۰۹) در تحقیقات خود، که آن را تحت عنوان «تاریخچه محیط‌های دیرینه هولوسن صحرای مرکزی افریقا» انتشار دادند، سه دوره مرطوب (۶۵۰۰ - ۱۰۰۰۰ سال قبل)، دوره گذار (۵۵۰۰ - ۶۵۰۰ سال قبل)، و شرایط پایدار فراخشک (۵۰۰۰ سال قبل تاکنون) را بر اساس مطالعه مغزه‌ها و رسوبات سطحی در شمال شرق نیجر و غرب چاد و جنوب لیبی و الجزایر شناسایی کردند. پیکارسکی و همکارانش (۲۰۱۵)، با مطالعه یک مغزه عمیق، بازسازی پانزده‌هزار سال گذشته در فلات آناتولی و وجود شرایط سرد و خشک با پوشش گیاهی استپی را در این منطقه نشان دادند. بلانفورد، زمین‌شناس انگلیسی، نخستین کسی بود که در قرن ۱۹ میلادی به شواهد تغییرات آب‌وهوایی کواترنری ایران توجه کرد. او با تأکید بر پراکندگی وسیع رسوباتی که به نظر او منشأ دریایی و دریاچه‌ای داشتند، طی پلیستوسن، نواحی مرکزی فلات ایران را عرصه پهنه‌های آبی تعیین کرد که به تدریج رو به خشک شدن رفته است. بوبک (۱۹۵۹) با بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژیک نقاط مختلف ایران به شناسایی مراکز یخچالی و تغییرات خط مرز برف دائمی طی

پلیستوسن پرداخت. او، با مطالعه رشته کوه‌های البرز، مهم‌ترین مراکز یخچالی را در البرز غربی معرفی کرد. کرینسلی (۱۹۷۰) نیز، بر اساس مطالعه پلایاهای ایران، تغییر اقلیم مناطق مختلف ایران، از جمله دامنه‌های البرز، را طی دوره کواترنری شناسایی کرد. در سال‌های ۱۹۶۳ و ۱۹۷۷ ون‌زئیست و همکارانش در دریاچه زریوار و میرآباد تحقیقاتی در زمینه پولن‌ها (گرده‌های گیاهی) انجام دادند و نتیجه این تحقیقات چهل و دو هزار سال اقلیم منطقه زریوار و میرآباد را آشکار کرد. کلتس و شهرابی (۱۹۸۶) بر اساس مغزه‌گیری از رسوبات بستر و مطالعات ژئوفیزیکی به تحلیل رسوبی دریاچه ارومیه، میزان رسوب‌گذاری، وضعیت دریاچه در دوره‌های یخچالی و بین یخچالی، زمان و نحوه تشکیل دریاچه پرداختند. هیووارت و بیتمن (۲۰۰۷) به بررسی تحولات رسوبی هولوسن و خط ساحلی قدیمی در پایین دشت خوزستان (جنوب عراق) پرداختند. نتیجه مطالعات آن‌ها نشان داد در هولوسن فوقانی، به دلیل بالا آمدن سطح آب‌های آزاد، خط ساحلی تا فلات قاره گسترش یافته است؛ اما، با کاهش سطح آب، در حدود ۵۵۰۰ سال قبل، و با وجود شرایط خشکی، فعالیت‌های رودخانه‌ای دلتای کارون توسعه یافته و جابه‌جایی‌هایی در بستر رودخانه کرخه و جراحی پدیدار شده است. لک (۱۳۸۶) مطالعات جامعی در دریاچه مهارلو با استفاده از مغزه‌های رسوبی انجام داد. نتیجه مطالعات وی حاکی از دو فاز خشک‌سالی در رسوبات دریاچه مهارلو در طول پنج‌هزار سال گذشته بود. در بقیه زمان‌ها شرایط اقلیمی مرطوب بر منطقه حاکم بوده است و نقش رسوبات تبخیری به‌مراتب بیشتر از رسوبات تخریبی بوده است. جمالی و همکارانش (۲۰۰۹) تاریخچه پوشش گیاهی دریاچه مهارلو در منطقه زاگرس را طی پنج‌هزار سال گذشته و با استفاده از روش گرده‌شناسی رسوبات بررسی کردند. درویشی خاتونی و همکارانش (۱۳۹۰) با برداشت بیست و هشت مغزه رسوبی از رسوبات بستر دریاچه ارومیه نشان دادند فاز عمده خشکی دریاچه ارومیه از حدود ۱۳۰۰۰ سال قبل آغاز شده است که آن را می‌توان با خشک‌سالی عمده آخرین عصر یخچالی، که با کاهش رطوبت و پایین رفتن تراز آب دریاچه‌های شمال افریقا و جنوب آسیا هم‌زمان بوده است، ارتباط داد. درویشی خاتونی، همچنین، مطالعه‌ای در خصوص تغییرات فراوانی پلت آرتیمیا اورمیانا در رسوبات بستر دریاچه ارومیه با نگرشی بر اقلیم دیرینه انجام داد و ضمن شناسایی دوره‌های فعالیت این موجود، که نشان‌دهنده شرایط اکولوژیکی خاص در دریاچه است، به بازسازی دوره‌های خشک و ترسالی در طول هولوسن پرداخت (درویشی خاتونی ۱۳۹۵). صفایی راد و همکارانش (۱۳۹۳) با بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن و پلیستوسن منطقه زاگرس میانی با استفاده از شواهد گرده‌شناسی تالاب هشیلان نتیجه گرفتند که پلیستوسن پسین نشان‌دهنده آب‌وهوایی سرد و خشک است و شروع هولوسن همراه افزایش نسبی دما و بارش است و ساختار آب‌وهوایی کنونی منطقه زاگرس میانی از هولوسن میانی شکل گرفته است. حمزه و همکارانش (۲۰۱۶)، با بررسی دانه‌بندی رسوبات و میزان مواد آلی و کربنات کلسیم و همچنین ریخت‌شناسی سطح دانه‌های رسوبی، تغییرات آب‌شناسی و اقلیمی دریاچه هامون را طی هولوسن نشان دادند و مشخص کردند که سامانه‌های اقلیمی تأمین‌کننده رطوبت دریاچه هامون طی هولوسن تغییر کرده است. شریفی و همکارانش (۲۰۱۵) به بازسازی اقلیمی پلیستوسن پسین در منطقه نئور پرداختند و نتیجه گرفتند که شرایط اقلیمی گرم و خشک با گرد و غبار در منطقه حاکم بوده است. اکبری اریزانی و همکارانش (۲۰۱۷) با بررسی و مطالعه مغزه رسوبی سه‌متری از دریاچه گهر، واقع در زاگرس مرتفع، محیط رسوبی گذشته دریاچه گهر را با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمی و پالینولوژی بررسی کردند و با تفسیر تغییرات پوشش گیاهی به‌دست‌آمده از

نمودار گرده دریاچه گهر تغییرات آب‌وهوایی گذشته را بازسازی کردند. واعظی و همکارانش (۲۰۱۹) با بررسی اقلیم گذشته پلایای جازموریان با استفاده از یک مغزه رسوبی پنج‌متری و بررسی پارامترهای مختلف تا بیست‌هزار سال گذشته را بازسازی کردند.

تالاب آب‌الو در جنوب شهر قلعه‌خواجه، مرکز شهرستان اندیکا، در شمال شرق استان خوزستان، در دامنه ارتفاعات زاگرس چین‌خورده، زیر واحد ایذه، در تقسیم‌بندی ژئومورفولوژیکی واقع شده است (شکل ۱). این تالاب به دلیل وجود سازندهای تبخیری و کربناته میوسن (گچساران و میشان) در یک فروچاله تشکیل شده است. در جدول ۱ خصوصیات مورفومتری تالاب آب‌الو آمده است. وجود لایه تورب در بخش‌های عمیق و همچنین هاموک‌ها در سطح تالاب نشان‌دهنده الگویافتگی تورب‌زار یکپارچه‌ای است که در اثر عوامل محیطی، به‌ویژه فرسایش ناشی از حرکت آب‌های سطحی، تکوین یافته است. تاکنون در تالاب آب‌الو مطالعاتی در زمینه اقلیم دیرینه، ژئومورفولوژی، رسوب‌شناسی، و محیط‌های رسوبی حال و زمان گذشته و موضوعاتی از این دست، که با بررسی توالی‌های رسوبی بستر تالاب با استفاده از مغزه‌های رسوبی عمیق میسر می‌شود، انجام نشده است. پژوهشگران در این پژوهش بر آن بودند که با بررسی رسوب‌شناسی، شناسایی رخساره‌های رسوبی، شناسایی محیط‌های رسوبی، و تغییرات این محیط‌ها در هولوسن پایانی به بازسازی شرایط اقلیمی و محیطی تالاب آب‌الو بپردازند. مطالعات پالئوکلیماتولوژی و تعیین تاریخچه تغییرات دیرینه در این تالاب می‌تواند به درک بهتر عوامل مؤثر بر خشک شدن تالاب‌های مشابه در زاگرس و روند تغییرات سطح آب در دوره‌های گذشته آن کمک کند تا با استفاده از رونمایی این تغییرات بتوان شرایط کنونی و تحولات آینده آن را تحلیل کرد و آن را به منزله شاخص و الگویی برای بسط این مطالعات در سایر مناطق کشور ارائه داد.

جدول ۱. خصوصیات مورفومتری تالاب آب‌الو (منبع: نگارندگان)

طول جغرافیایی	۳۲-۱۱-۴۵ شمالی	طول تالاب (متر)	کمینه ۴۸۰
عرض جغرافیایی	۴۹-۲۷-۳۷ شرقی	عرض تالاب (متر)	متوسط ۷۵۰
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۶۹۸	عمق تالاب (متر)	بیشینه ۹۵۰
مساحت حوضه آبخیز (مترمربع)	۶۵۰۰۰۰	مساحت تالاب (مترمربع)	کمینه ۳۵
مساحت دشت حاشیه‌ای (مترمربع)	۵۰۰۰۰	عمق تالاب (متر)	متوسط ۲۰۰
اختلاف ارتفاع با زمین‌های اطراف (متر)	۵۲	عمق تالاب (متر)	بیشینه ۳۵۰
فاصله از شهر قلعه‌خواجه (متر)	۱۶۰۰	مساحت تالاب (مترمربع)	کمینه ۲
فاصله از دشت خوزستان (کیلومتر)	۶۰۰۰	عمق تالاب (متر)	متوسط ۶
سازندهای دربرگیرنده	میشان و گچساران	عمق تالاب (متر)	بیشینه ۱۰
منبع تغذیه	بارش‌های فصلی و چشمه‌ها	مساحت تالاب (مترمربع)	کمینه ۱۲۰۰۰۰
تهدیدات	شکار- انتقال آب- ورود فاضلاب	مساحت تالاب (مترمربع)	متوسط ۱۵۰۰۰۰
ژنر	کارستی	مساحت تالاب (مترمربع)	بیشینه ۲۰۰۰۰۰



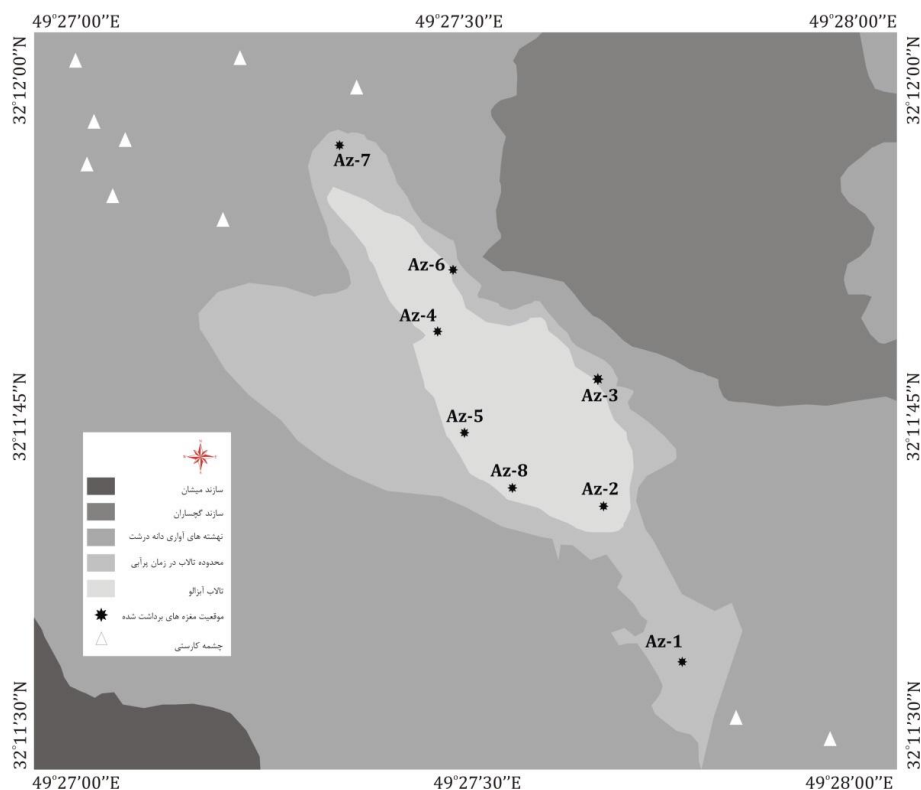
شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای تالاب آبزالو (گوگل ارث)

مواد و روش کار

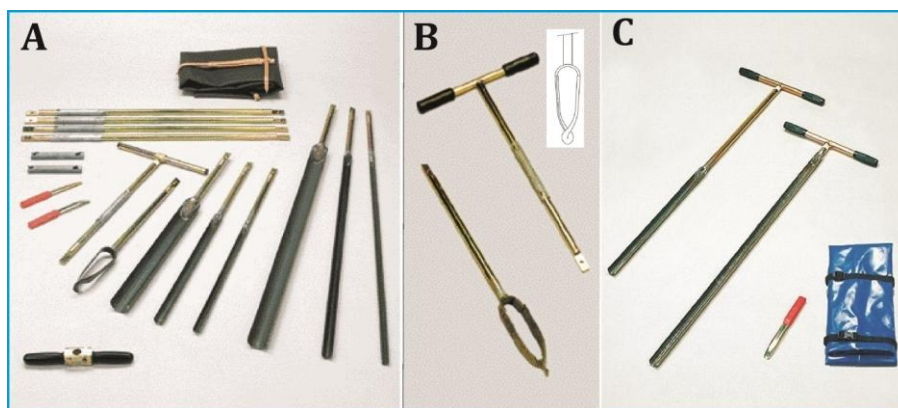
مراحل انجام دادن این پژوهش شامل جمع‌آوری اطلاعات، آمار منتشرشده، داده‌های اقلیمی، بررسی‌های دورسنجی، عملیات صحرایی و مغزه‌گیری، عملیات آزمایشگاهی، پردازش داده‌ها، و سپس تفسیر و نتیجه‌گیری بود. به منظور بررسی‌های اقلیم دیرینه، تغییرات رخساره‌های رسوبی مغزه‌ها بر اساس شواهد ماکروسکوپی (نوع سطوح لایه‌بندی، فرم هندسی رسوبات، ساخت‌های رسوبی، آثار و محتویات فسیلی، بقایای گیاهی، رنگ، و تغییرات آن)، و نیز شرایط محیط رسوب‌گذاری تعداد هشت مغزه رسوبی دست‌نخورده با بیشینه عمق ۷/۵ متر برداشت شد (جدول ۲ و شکل ۲). مغزه‌ها به کمک مغزه‌گیر دستی از نوع Handy auger تهیه شدند (پیووانو و همکاران ۲۰۰۲) (شکل ۳ و ۴).

جدول ۲. موقعیت و برخی مشخصات مغزه‌های برداشت‌شده

نام مغزه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عمق مغزه (سانتی‌متر)	تعداد نمونه
Az-1	32°11'32.70"N	49°27'45.60"E	۷۰۰	۳۰۴	۵
Az -2	32°11'39.70"N	49°27'41.60"E	۷۰۱	۳۵۲	۴
Az -3	32°11'45.40"N	49°27'41.40"E	۷۰۳	۶۰۰	۱۳
Az -4	32°11'47.60"N	49°27'32.80"E	۶۹۸	۴۰۵	۱۳
Az -5	32°11'43.10"N	49°27'34.40"E	۷۰۳	۷۵۰	۳۱
Az -6	32°11'50.30"N	49°27'33.90"E	۷۰۳	۱۱۲	۲
Az -7	32°11'56.50"N	49°27'27.90"E	۷۰۲	۳۱۸	۶
Az -8	32°11'43.50"N	49°27'34.70"E	۷۰۱	۷۲۰	۲۵



شکل ۲. موقعیت تالاب آبزالو و مغزه‌های برداشت‌شده



شکل ۳. (A) مغزه‌گیر Handy Auger برای حفاری در رسوبات مختلف. حفاری به صورت Pushing انجام می‌شود؛ (B) Edelman Auger برای حفاری در رسوبات سفت‌دانه ریز تالاب آبزالو؛ (C) Gouge Auger برای حفاری در رسوبات نرم و باتلاقی دانه‌ریز تالاب آبزالو (ایگلکامپ ۲۰۰۸)

پس از تعیین وضعیت رسوب‌گذاری و نوع رسوبات، بررسی تغییرات اقلیمی و سطح آب تالاب در طول زمان، پیش‌روی و پس‌روی خطوط ساحلی، و تأثیر این تغییرات بر نوع رسوبات و محتوای گیاهی و صدفی تالاب سعی شد موقعیت برداشت مغزه‌ها به گونه‌ای باشد که امکان برداشت بیشترین ضخامت از رسوبات بستر تالاب میسر شود، محیط‌های رسوبی تالابی

پوشش حداکثری داده شود، و در هر واحد همگن حداقل یک نمونه برداشت شود. (شکل ۲). از مغزه‌های برداشت‌شده با دوربین عکاسی دیجیتالی عکس تهیه شد. توصیف مغزه‌ها و رخساره‌های رسوبی با دقت نوشته شد و سپس نمونه‌برداری از داخل مغزه‌گیر برای آنالیزهای مربوطه با توجه به تغییر رخساره و نوع رسوبات صورت گرفت (شکل ۴).



شکل ۴. نحوه مغزه‌گیری: (a) حفاری در رسوبات بستر تالاب آبزالو؛ (b) نمونه‌برداری و توصیف مغزه‌های برداشت‌شده؛ (c) شست‌وشوی وسیله مغزه‌گیری بعد از هر بار مغزه‌گیری جهت جلوگیری از آلودگی رسوبات با رسوبات بخش دیگر؛ (d) نمایی از تالاب آبزالو و زمین‌های اطراف

آماده‌سازی نمونه‌ها و آزمایش آن‌ها بر اساس دستورالعمل‌های لوئیس^۱ و مک‌کونچی (۱۹۹۴) انجام گرفت. نیمی از نمونه‌ها جهت آزمایش دانه‌بندی در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شدند و نیم دیگر جهت بایگانی بسته‌بندی شدند. بر اساس مشاهدات صحرایی، توصیف مغزه‌ها، و نتایج آزمایشگاهی مغزه‌ها به واحدهای رسوبی تفکیک و ستون چینه‌شناسی آن‌ها رسم شد و زیرمحیط رسوبی^۲ هر واحد تعیین شد (بنیسون و گلدشتاین ۲۰۰۱؛ لای و همکاران ۱۹۹۶؛ والر-گراسس و همکاران ۱۹۹۸) (شکل ۵). به منظور تعیین اندازه ذرات رسوبی، نمونه‌ها داخل الک شیکر مرطوب مدل Analysette 3 ساخت شرکت Fritsch آلمان قرار گرفت و به روش تر به مدت متوسط ۳۰ دقیقه اندازه‌های مختلف دانه‌ها از هم جدا شدند. این نمونه‌ها، پس از خشک شدن، وزن شدند (تاکر ۱۹۸۸) و درصد ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات مشخص شد. دانه‌بندی ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون (سیرو و همکاران ۲۰۰۵؛ محمدی ۱۳۸۹) به کمک دستگاه دانه‌بندی لیزری^۳ آنالیز شد.

در این مطالعه سن‌سنجی به روش رادیوکربن (کربن ۱۴) از مواد آلی (جدول ۲) انجام گرفت و داده‌های زمانی با

1. Lewis
2. Sub environment
3. Laser particle Sizer Analysette 22

محدوده خطای ۲ سیگما کالیبره شد. جهت کالیبره کردن سن نمونه‌ها از نرم‌افزار کالیبره OxCal (برونک رامسی و لی ۲۰۱۳) با ضریب اطمینان بالای ۹۵ درصد استفاده شد. این نمونه‌ها شامل مواد آلی عمدتاً در زمینه سیلتی و رسی بودند. آماده‌سازی نمونه‌ها و جدا کردن بقایای گیاهی از رسوبات انجام گرفت و سپس بقایای پوسته‌های صدفی جدا شده برای آنالیز ایزوتوپ کربن و سن‌سنجی به روش کربن ۱۴ به انستیتو زمین‌شناسی ETH Zürich کشور سوئیس ارسال شد.

یافته‌های پژوهش

رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی

در هشت مغزه مورد مطالعه (شکل ۵)، هشت رخساره رسوبی اصلی شناسایی شد. رخساره‌ها غالباً رسوبات رس، سیلت، ماسه، گراول، و رسوبات بینابینی همراه بقایای گیاهی و صدفی دارند که در بیشتر موارد تناوب و تداخل در رسوبات یاد شده به‌کرات دیده می‌شود (شکل ۶). تغییرات در اندازه ذرات بین رس تا گراول با توجه به تغییرات فرایند، انرژی محیط، میزان ورودی رودخانه‌ها، و تغییر رنگ رسوبات با توجه به شرایط رسوب‌گذاری، حضور ماده آلی، میزان pH، تغییرات شوری و دما، و وقوع خشک‌سالی‌ها در طول مغزه‌ها بوده است (لک و همکاران ۱۳۹۰). در رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه در مجموع رخساره‌ها نشان‌دهنده سه محیط رسوبی، تحت تأثیر رسوبات تالابی و رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه‌ای، هستند (شکل ۷). رخساره‌های محیط رودخانه‌ای با رسوبات گلی و گل سیلتی معمولاً سفت، فاقد ماده آلی و رنگ قهوه‌ای، رخساره تالابی با رسوبات خاکستری تا سبز روشن (مشخصه محیط‌های احيایی) گلی و دانه‌ریز همراه با ماده آلی، پوسته‌های نرم‌تنان، دارای رطوبت بالا همراه لامینه‌های نازک، با میان‌لایه‌های رسوبات دانه‌درشت‌تر (سیلتی) مشخص شد. محیط‌های مخروط‌افکنه‌ای رسوبات دانه‌ریز گلی و سفت و قرمز رنگ همراه رسوبات دانه‌درشت در حد گراول و بزرگ‌تر آهکی دارند که از دامنه کوه‌های اطراف وارد حوضه تالابی شده‌اند. گفتنی است شرایط امروزی آب‌زالو محیط تالابی است.

رخساره‌های موجود در مغزه‌های مورد بحث به اختصار در ادامه می‌آید.

● **رخساره رس سیلتی (CIS):** رخساره رس سیلتی با ضخامت قابل توجه در ستون مغزه‌های برداشت‌شده در تالاب آب‌زالو وجود دارد. این رخساره با رنگ‌ها و خصوصیات متفاوت در عمق‌های مختلف قابل مشاهده است. رنگ‌های سیاه، خاکستری تیره، خاکستری روشن، طوسی، سبز تیره تا روشن، قهوه‌ای روشن تا تیره، و رنگ‌های بینابین یاد شده دیده می‌شود. این رخساره، وابسته به نوع محیط رسوبی، دارای لکه‌های قرمز رنگ اکسیدان، لامینه و لکه‌های سیاه‌رنگ ماده آلی، بقایای ریشه، برگ و ساقه گیاهان، و پوسته صدفی است. محیط رسوبی این رخساره با توجه به خصوصیات مختلف جانبی متفاوت و نشان‌دهنده محیط‌های رودخانه‌ای و دریاچه‌ای در این تالاب است (شکل ۶).

● **رخساره رس (CI):** این رخساره با رنگ‌های متنوع در ستون چینه‌ای مغزه‌ها قابل مشاهده است و به رنگ‌های سیاه، خاکستری تیره و روشن، قهوه‌ای روشن، قهوه‌ای تیره، و سیاه نمود دارد. لکه‌های اکسیدان، ماده آلی لکه‌ای سیاه‌رنگ و بقایای صدفی خرد شده و سالم، بقایای گیاهی، و ریشه گیاهان در این رخساره در برخی موارد

مشاهده می‌شود. رنگ تیره شرایط احیایی محیط و حضور مقدار قابل ملاحظه ماده آلی را نشان می‌دهد که بیانگر محیط دریاچه‌ای است (ریدینق ۱۹۹۶). وجود این رخساره، به‌خصوص در مغزه‌های حاشیه‌ای تالاب، حاکی از بالا بودن تراز آب است. تناوب متوالی این رخساره با رخساره‌های ماسه‌ای نشان‌دهنده تغییر فرایند غالب و رژیم و انرژی آب‌های ورودی به تالاب است که به‌کرات در مغزه‌های حاشیه غربی (AZ-4 و AZ-3) مشاهده می‌شود. همچنین، وجود رنگ قهوه‌ای این رخساره در اثر هوازدگی و وجود اکسید آهن است (شکل ۶) و معرف رسوبات دوره خشک با مقدار بارندگی ناچیز (لای و همکاران ۱۹۹۶)؛ که اغلب در مغزه‌های حاشیه شرقی تالاب (AZ-3) مشاهده می‌شود. این رخساره غالباً مربوط به محیط رسوبی تالابی است و رس‌های قرمز رنگ آن به صورت محدود تبدیل به محیط دیستال مخروطافکنه را نشان می‌دهد (شکل ۶).

● **رخساره گل (Mu):** رخساره گل با ضخامت تقریباً زیاد و فاقد لامینه‌بندی ظریف در ستون مغزه‌های حاشیه‌ای (AZ-5) وجود دارد. این رخساره با رنگ‌های طوسی تا طوسی متمایل به سبز در عمق‌های ۵ تا ۷ متر قابل مشاهده است. این رخساره اولین رخساره دریاچه‌ای بعد از رسوبات مخروطافکنه‌ای یا واریزه‌های اطراف دریاچه و به عبارت دیگر در انتهای رسوبات دریاچه‌ای برداشت‌شده از بستر تالاب آب‌الوست و پایین‌تر از این رخساره دانه‌های گراولی مشهود است که معمولاً مانع ادامه مغزه‌گیری می‌شود. محتوای این رخساره شامل لکه‌های ماده آلی و ریشه و بقایای گیاهی و صدفی است. رسوبات این رخساره تا حدودی چسبنده و متراکم است و در مغزه‌های برداشت‌شده از حاشیه غربی تالاب گسترشی قابل ملاحظه دارد و به دلیل کم‌آب بودن، فشردگی، چسبندگی، و تراکم بالا حفاری در آن بسیار سخت است. این رخساره نشان‌دهنده رسوبات محیط تالابی احتمالاً با عمق کمتر و آورد رسوبی بالا از طریق آبراهه‌های سطحی به تالاب است. در مجموع محیط رسوبی رخساره گلی با توجه به خصوصیات مختلف جانبی مربوط به محیط تالابی کم‌عمق یا محیط حاشیه تالاب است (شکل ۶).

● **رخساره سیلت رسی (SiC):** این رخساره غالباً در مغزه‌های برداشت‌شده بخش غربی تالاب با ضخامت قابل توجه مشاهده می‌شود. رنگ خاکستری تیره تا روشن، سبز، طوسی، و قهوه‌ای در این رخساره دیده می‌شود و ضخامت آن تا حدود ۲۰۰ سانتی‌متر، با رنگ‌های مختلف، نیز می‌رسد. رسوبات این رخساره لکه‌های اکسیدان، لکه‌های ماده آلی، ریشه و بقایای گیاهی و صدفی دارد. این رخساره غالباً در عمق‌های سطحی و سطح بستر فعلی تالاب وجود دارد و وابسته به اینکه خارج از آب قرار گرفته یا داخل آب به رنگ‌های مختلف دیده می‌شود. این رخساره نیز بیانگر محیط تالابی است (شکل ۶) و در مغزه AZ-4 به صورت تناوبی و لامینه‌ای با رخساره رس طوسی و طوسی متمایل به سبز قابل مشاهده است. همچنین در برخی قسمت‌ها فاقد بقایای گیاهی و صدفی است و با کاهش میزان رس و افزایش سیلت تقریباً به صورت سیلت خالص، همراه لامینه‌های رسی و رس سیلتی، نشان‌دهنده محیط حاشیه تالابی و دهانه آبراهه‌هاست.

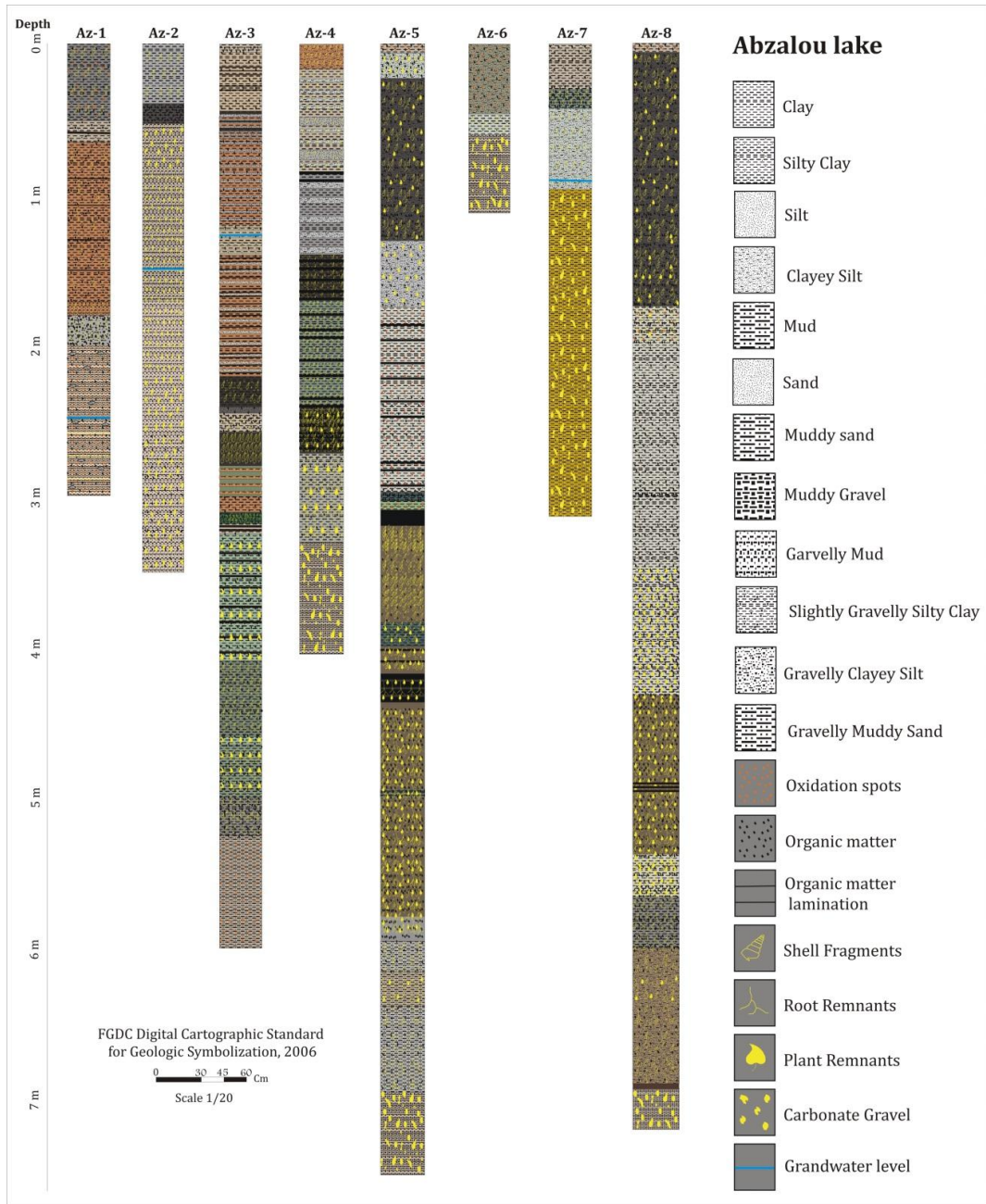
● **رخساره ماسه (Sa):** این رخساره شامل ماسه دانه‌ریز تا دانه‌متوسط، از جنس ذرات تخریبی، به رنگ خاکستری روشن، و در برخی نقاط واجد ماده آلی است. در برخی مناطق و عمق‌ها، تناوبی از رخساره ماسه‌ای و رس قرمز رنگ و رس طوسی متمایل به سبز با ضخامت خیلی کم قابل مشاهده است. همچنین در مواردی رخساره گلی به صورت عدسی‌هایی کوچک بین رخساره ماسه‌ای دیده می‌شود. این رخساره غالباً در مغزه‌های حاشیه‌ای (AZ-4 و AZ-3)

تشکیل و نهشته شده است و محیط تالابی را نشان می‌دهد (لک و همکاران ۲۰۰۴). وجود متناوب ماسه دانه‌ریز در رسوبات منطقه بازتاب‌دهنده شرایط اقلیمی گذشته است. با توجه به ستون چینه‌شناسی مغزه‌های برداشت‌شده از تالاب آزالو، لامینه‌های ماسه‌ای در عمق‌های کمتر از ۲۵۰ سانتی‌متر مشاهده می‌شود. وجود لامینه‌های ماسه‌ای بین رخساره رس قرمز رنگ در مغزه AZ-3 تغییر انرژی آب‌های وارد شده به تالاب از یال شرقی تالاب را نشان می‌دهد که احتمالاً تحت تأثیر تغییر کانال جریانی روی مخروط‌افکنه شمال شرقی مشرف بر تالاب است که به صورت فصلی ذرات دانه‌درشت را به درون تالاب هدایت می‌کرده است. حضور رخساره‌های ماسه و رخساره‌های گلی قهوه‌ای رنگ دلیلی بر حضور محیط‌های آبی کم‌عمق همراه دوره‌های خشک متناوب است (موسوی حرمی ۱۳۸۱) (شکل ۶).

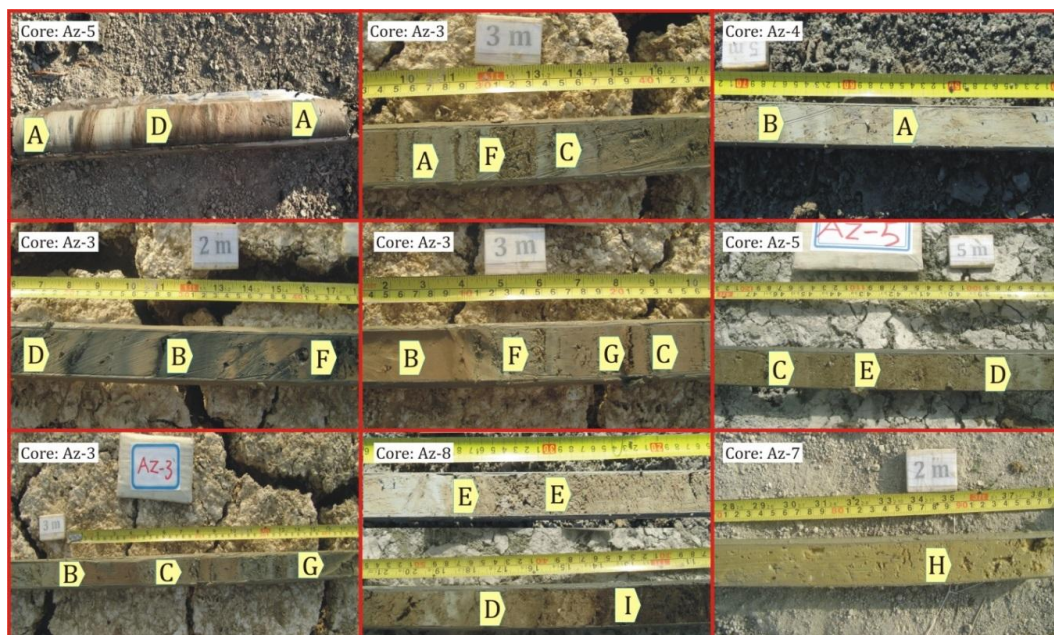
رخساره ماسه گلی (MS): رخساره ماسه گلی با ضخامت محدود در ستون مغزه‌های برداشت‌شده از یال شمال شرقی دیده می‌شود. این رخساره با رنگ طوسی و لکه‌های اکسیدان در عمق ۵ تا ۶ متر مغزه AZ-3 قابل مشاهده است. محیط رسوبی این رخساره با توجه به نزدیکی به رسوبات مخروط‌افکنه‌ای زیر رسوبات تالابی نشان‌دهنده تغییر آهسته از محیط رسوبی بخش دیستال مخروط‌افکنه شمال شرقی تالاب به محیط حاشیه تالابی و در ادامه به محیط عمیق تالابی است (شکل ۶).

رخساره سیلت (Si): رخساره سیلت با رنگ طوسی، در عمق ۲ تا ۳ متری مغزه‌های جنوب شرقی تالاب (AZ-1)، به صورت لنزهای رسوبی مشاهده می‌شود. این رخساره فاقد هر گونه محتوای گیاهی و صدفی است و احتمالاً در مواقع سرریز دریاچه یا سیلابی در بخش جنوب شرقی تحت تأثیر جریان‌های خروجی ایجاد شده است. زمینه این رسوبات گراولی گلی است که نشان‌دهنده انرژی است؛ به عبارت دیگر تحت تأثیر سیلاب ایجاد شده است که با آرام شدن شرایط لنزهای سیلتی بر این رسوبات تشکیل شده است. این رخساره از محیط رودخانه‌ای حکایت می‌کند.

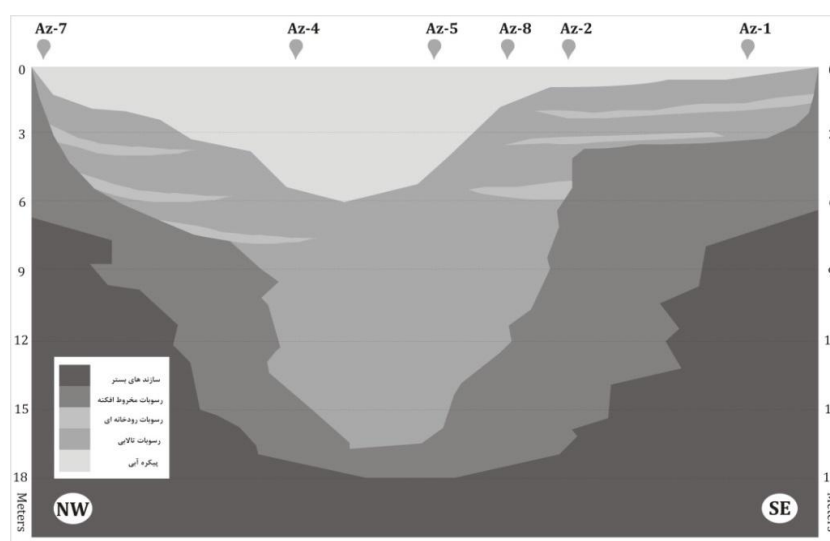
رخساره‌های گراولی و گراول‌دار (G): این رخساره غالباً در دهانه رودخانه‌های ورودی به صورت خالص یا مخلوط با رسوبات دیگر قابل مشاهده است که در نتیجه حمل رسوبات دانه‌درشت توسط جریان‌های رودخانه‌های فصلی و ورود آن‌ها به محیط تالاب تشکیل شده است. رسوبات این رخساره لکه‌های اکسیدان و ریشه و بقایای گیاهی دارد و در موارد محدود خرده‌های پوسته‌های صدفی در زمینه‌ای از رسوبات گراول‌دار قهوه‌ای رنگ یا متمایل به قهوه‌ای دیده می‌شود. این رخساره‌ها از محیط رودخانه‌ای یا سیلابی حکایت می‌کند و در مغزه‌های جنوب شرقی تالاب قابل مشاهده است (شکل ۶).



شکل ۵. ستون چینه‌ای مغزه‌های برداشت‌شده از تالاب آبزالو



شکل ۶. A) رخساره رس سیلتی در رنگ‌های مختلف دارای محتوای گیاهی و صدفی؛ B) رخساره رس در رنگ‌های مختلف؛ C) رخساره گل نرم به رنگ‌های طوسی و طوسی متمایل به سبز و قهوه‌ای؛ D) رخساره سیلت رسی؛ E) رخساره ماسه دانه‌ریز تا دانه متوسط از جنس ذرات تخریبی، در برخی نقاط واجد ماده آلی؛ F) رخساره گل ماسه‌ای با ضخامت محدود در ستون مغزه‌های برداشت‌شده با رنگ طوسی و دارای لکه‌های اکسیدان، G) رخساره سیلت با رنگ طوسی، در عمق ۲ تا ۳ متر مغزه‌های جنوب شرقی تالاب به صورت لنزهای رسوبی و فاقد هر گونه محتوای گیاهی و صدفی؛ H) رخساره‌های گراولی و گراول‌دار، دارای لکه‌های اکسیدان و ریشه و بقایای گیاهی و در موارد محدود خرده‌های پوسته‌های صدفی در زمینه‌ای از رسوبات گراول‌دار قهوه‌ای رنگ یا متمایل به قهوه‌ای؛ I) میزان بالای بقایای گیاهی سیاه‌رنگ



شکل ۷. پروفیل رسوبات تالابی و مخروط‌افکنه در مقطع طولی با استفاده از مغزه‌های برداشت‌شده

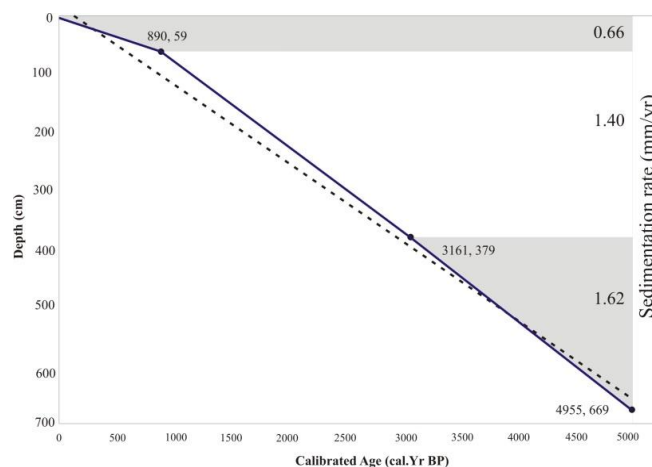
میزان رسوب گذاری در تالاب آبزالو

با توجه به اینکه سن های اندازه گیری شده به روش رادیوکربن از نمونه های مواد آلی موجود در رسوبات ممکن است پتانسیل ایجاد خطا را در نتیجه اشتباه در سن های پیر و جوان داشته باشد (موک و استیومن ۱۹۸۳؛ تارنکوپیست و همکاران ۱۹۹۲)، برای افزایش دقت، یک نمونه تکراری بین نمونه ها قرار داده شد. همچنین، به دلیل شرایط آب و هوایی نیمه خشک و رشد محدود پوشش گیاهی و شرایط نامناسب حفظ و نگهداری مواد آلی در برخی از عمق های مغزه های برداشت شده، به ۳ نمونه آنالیز از مغزه AZ-5 اکتفا شد (جدول ۳).

جدول ۳. داده های سن رادیوکربن و سن کالیبره شده

مغزه	عمق نمونه	کد آزمایشگاه	سن کربن ۱۴ (سال)		سن کالیبره (سال قبل از حال)			میزان رسوب گذاری (میلی متر در سال)
			قبل از حال	سن کمینه	سن میانگین	سن بیشینه	مواد آنالیز شده	
AZ-5	۵۸-۶۰	۱۰۱۱۶۰/۱/۱	۹۹۹±۶۴	۷۶۷	۸۹۰	۱۰۱۳	اجزای صدف	۰/۶۶
	۳۷۸-۳۸۰	۹۵۹۱۱/۱/۱	۲۹۸۶±۷۳	۲۹۶۲	۳۱۶۱	۳۳۶۱	اجزای صدف	۱/۴۰
	۶۶۸-۶۷۰	۱۰۱۱۳۸/۱/۱	۴۳۶۵±۷۱	۴۸۳۱	۴۹۵۵	۵۰۸۰	اجزای صدف	۱/۶۲

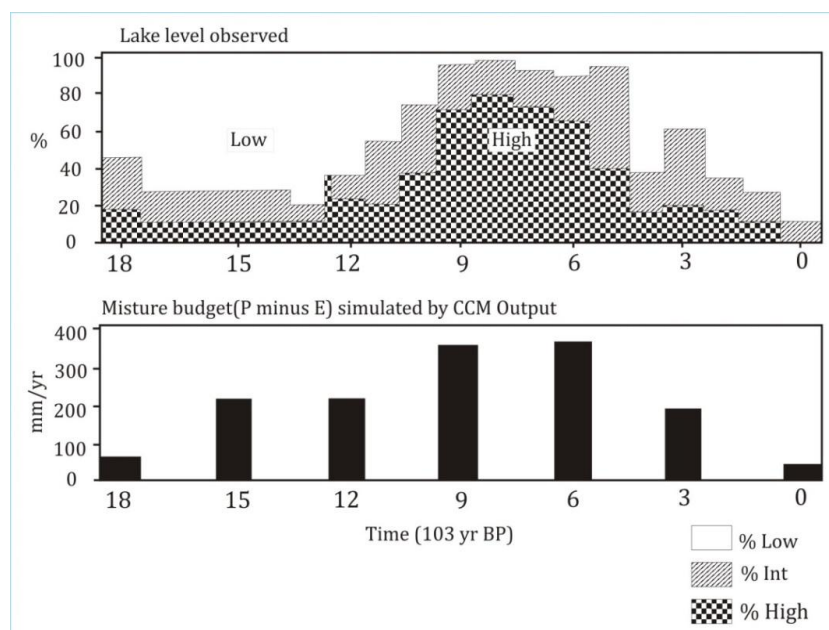
با توجه به نتایج سن سنجی، میزان متوسط رسوب گذاری در تالاب آبزالو ۱/۲۲ میلی متر در سال است. این میزان برای عمق ۶۶۹ سانتی متر تا ۳۷۹ سانتی متر ۱/۶۲ میلی متر در سال است که از میزان میانگین بالاتر است. میزان رسوب گذاری برای عمق های ۳۷۹ سانتی متر تا ۵۹ سانتی متر ۱/۴۰ میلی متر در سال است. از عمق ۵۹ سانتی متر تا سطح میزان رسوب گذاری کاهش یافته و حدود ۰/۶۶ میلی متر در سال است که حدوداً نصف میزان متوسط رسوب گذاری در تالاب آبزالوست (شکل ۸). میزان رسوب گذاری در تالاب آبزالو، با توجه به دیگر مطالعات انجام شده در ایران، با تالاب زیربار (استیونس و همکاران ۲۰۰۱؛ واسیلیکوا و همکاران ۲۰۰۶) با میزان ۱/۵ میلی متر تا ۱/۷ میلی متر در سال و کلاردشت (رمضانی ۱۳۹۲) با میزان ۱/۳ میلی متر در سال و تالاب شادگان (شهبازی و همکاران ۱۳۹۴) با میزان متوسط ۱ میلی متر در سال قابل مقایسه است.



شکل ۸. مدل سن- عمق و میزان رسوب گذاری برای رسوبات بستر تالاب آبزالو

بحث و نتیجه

حساسیت دریاچه‌ها و حوضه‌های بسته به تغییرات آب‌وهوایی سبب شده این وضعیت بهترین شاخص برای ثبت تغییرات اقلیمی گذشته باشد. تغییرات تراز آب در نتیجه نوسانات آب‌های ورودی و آب‌های خروجی از حوضه (تبخیر) حاصل می‌شود (اسپنسر و همکاران ۱۹۸۵؛ لک و همکاران ۱۳۹۰). بنابراین، نوسانات تراز آب به طور مستقیم با شرایط اقلیمی مرتبط است. با توجه به اینکه مناطق مختلف به صورت متفاوت تحت تأثیر اقلیم قرار گرفته‌اند، دریاچه‌های مناطق مختلف تغییرات آب‌وهوایی را به صورت‌های متفاوت ثبت کرده‌اند. بین مناطق مختلف، افریقا و جنوب آسیا از الگوی آب‌وهوایی مرتبطی برخوردارند (کوهن ۲۰۰۳). در حدود ۱۰۰۰۰ تا ۹۰۰۰ سال پیش، به دلیل تمایل محور زمین در نیم‌کره شمالی خورتابی افزایش یافته است. موسمی‌ها در آن محدوده همیشه وجود داشته‌اند؛ اما در آن مقطع زمانی قوی‌تر بوده‌اند. بارش‌های موسمی سبب رویش گیاه در مناطق خشک شمال افریقا شده است (استریت-پروت و همکاران ۱۹۹۰). رکوردهای آب‌وهوایی قدیمی ثبت‌شده از دریاچه‌های افریقا و جنوب آسیا و میزان رطوبت در همان زمان در کمربندی با عرض جغرافیایی حدود ۹ تا ۳۰ درجه شمالی بین ۱۸۰۰۰ سال پیش تاکنون حاکی از بالاترین سطح آب دریاچه‌ها مربوط به ۹۰۰۰ سال پیش و پایین‌ترین سطح آب دریاچه‌ها مربوط به حدود ۱۳۰۰۰ سال پیش است (کوهن ۲۰۰۳) (شکل ۹). از ۱۸۰۰۰ سال پیش تا پایان پلیستوسن، بیشتر دریاچه‌های این منطقه خشک و کم‌آب شده‌اند. درحالی‌که این شرایط با حداکثر بالا آمدن سطح آب دریاچه‌ها در شمال امریکا هم‌زمان است (لک ۱۳۸۶). کاهش سطح آب دریاچه‌ها در منطقه افریقا و آسیا در ۱۲۵۰۰ سال پیش معکوس شده و در ۱۰۰۰۰ تا ۹۰۰۰ سال پیش سطح آب دریاچه‌ها به اوج خود رسیده است (لک و همکاران ۱۳۹۰) (شکل ۹).



شکل ۹. تغییرات سطح تراز دریاچه‌های شمال افریقا و جنوب آسیا در کمربند عرض جغرافیایی ۹ تا ۳۰ درجه شمالی در طول ۱۸۰۰۰ سال گذشته (کوهن ۲۰۰۳)

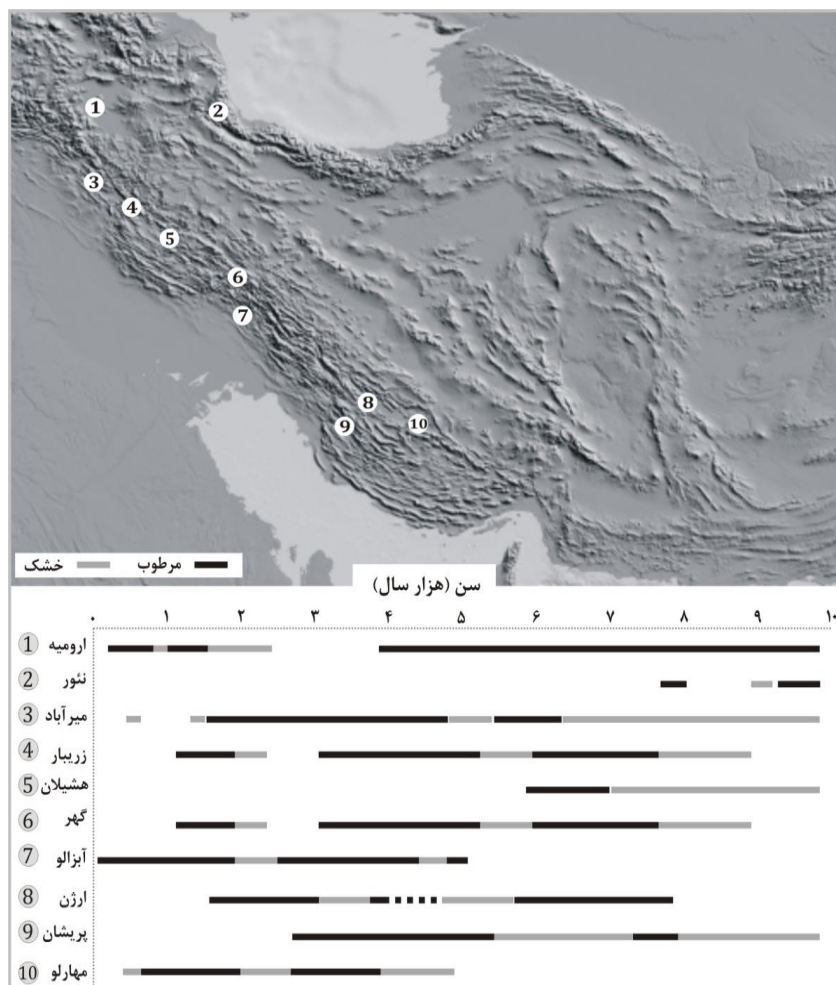
این افزایش در سطح آب دریاچه‌ها در مناطق جنوبی سریع‌تر رخ داده و سپس تا هولوسن میانی به سمت شمال حرکت کرده است. سطح دریاچه‌ها مجدداً در مقیاس منطقه‌ای در طول هولوسن میانی (حدود ۵۰۰۰ سال پیش) کاهش یافته است (گاس ۲۰۰۱) که بر خشک‌سالی مهم و عظیم بخش‌های درون‌قاره‌ای امریکای شمالی منطبق است که بین سال‌های ۴۳۰۰ تا ۴۱۰۰ اتفاق افتاده است. نیوتن^۱ (۱۹۹۴) در بررسی‌های نوسانات تراز آب دریاچه مونولیک در کالیفرنیا در هولوسن به بالا آمدن مجدد سطح آب در ۳۵۰۰ سال پیش اشاره کرده است.

گزارش‌ها در خصوص نوسانات سطح تراز دریاچه‌های داخلی ایران در طول هولوسن نیز تا حدود زیادی با نوسانات دریاچه‌های جنوب آسیا و افریقا همخوانی دارد. در دریاچه مهارلو، یک فاز مهم دوره خشک در رسوبات دریاچه‌ای از ۵۲۵۰ تا ۴۳۰۰ سال پیش به مدت حدود ۹۵۰ سال اتفاق افتاده است. دو فاز دوره خشک دیگر مربوط به حدود ۲۰۰۰ و ۱۸۰۰ سال پیش بوده که اهمیت کمتری دارد و دنبال کردن آن در سراسر گستره دریاچه مشکل است. در این دریاچه بخش‌های مختلف از نظر مدت زمان شرایط یکسان نداشته‌اند و در حواشی دریاچه طول مدت دوره خشک در برخی موارد تا ۶۰۰ سال بیشتر از بخش‌های مرکزی بوده است (لک ۱۳۸۶). در دریاچه زریبار تغییر در ارگانسیم‌ها بیانگر افزایش دما در بازه‌های زمانی ۲۱۰۰۰ تا ۱۲۶۰۰ تا ۱۵۴۰۰، حدود ۱۲۰۰۰ و حدود ۱۱۷۰۰ سال پیش است. همچنین، مجموعه دیاتوم‌های موجود بیانگر افزایش شوری آب دریاچه بین سال‌های ۱۵۷۰۰ تا ۱۷۷۰۰، ۱۲۰۰۰ تا ۱۲۶۰۰، ۵۹۰۰ تا ۶۴۰۰ و ۲۵۰۰ سال پیش است. کاهش سطح آب دریاچه در دو دوره ۷۵۰۰ تا ۷۸۰۰ و ۳۸۰۰ تا ۴۵۰۰ سال پیش و با شواهد جزئی‌تر در بعضی زمان‌ها تاکنون گزارش شده است (واسیلیوکا و همکاران ۲۰۰۶). اقلیم هولوسن بر اساس تغییرات ایزوتوپ اکسیژن، گرده‌های گیاهی، و نسبت استرانسیم بر کلسیم در دریاچه میرآباد نیز حاکی از وجود یک دوره خشک در ۵۴۰۰ سال پیش و دوره خشک دیگری در ۱۵۰۰ سال پیش است (استیونس ۲۰۰۶). در دریاچه ارومیه در ۱۳۰۰۰ سال قبل دوره خشک گزارش شده است که با وجود رسوبات قرمز رنگ در مغزه‌های برداشت‌شده نمایان شده است (درویشی خاتونی ۱۳۹۰) (شکل ۱۰).

تحلیل و تفسیر مغزه‌ها جهت تعیین جغرافیا و اقلیم گذشته

با بررسی ستون چینه‌ای مغزه‌های برداشت‌شده از رسوبات بستر تالاب آبزالو، به فعالیت فرایندهای مختلف آبی در محیط‌های مختلف رسوبی در طول حداقل هولوسن میانی به بعد می‌توان پی برد. این فرایندها از حاشیه دریاچه به سمت مرکز دچار تحولات و تغییرات جانبی (بین‌انگشتی) می‌شود؛ به گونه‌ای که از شمال به جنوب و از غرب به شرق شرایط رسوب‌گذاری متفاوت می‌شود. با توجه به نتایج سن‌سنجی، مغزه‌های برداشت‌شده از تالاب آبزالو با بیشینه عمق ۷۵۰ سانتی‌متر حدود ۵۰۰۰ سال را پوشش می‌دهد. بنابراین، بررسی شرایط اقلیمی تالاب آبزالو در هولوسن پسین (از ۵۰۰۰ سال قبل تا حال حاضر) مقدور می‌شود که شرح آن در ادامه می‌آید. با توجه به اینکه عمیق‌ترین مغزه برداشت‌شده مغزه AZ-5 است و همچنین نمونه‌های سن‌سنجی شده از این مغزه برداشت شده‌اند، با تکیه بر این مغزه، بررسی‌های لازم انجام گرفت و مغزه‌های دیگر به منزله مغزه‌های کمکی در بررسی رخساره‌ها و انطباق رخساره‌های مختلف و تغییرات جانبی محیط‌های رسوبی مورد استفاده قرار گرفت.

1. Newton



شکل ۱۰. دوره‌های خشک و مرطوب گزارش شده در دریاچه‌های محدوده زاگرس و شمال غرب کشور در طول هولوسن: ارومیه (لک و همکاران ۱۳۹۰؛ درویشی خاتونی ۱۳۹۵؛ طالبی و همکاران ۲۰۱۵)، نئور (عزیزی و همکاران ۱۳۹۲؛ شریفی و همکاران ۲۰۱۵)، میرآباد (استیونس و همکاران ۲۰۰۶)، زریبار (مقصودی و همکاران ۱۳۹۳)، هشیلان (عزیزی و همکاران ۱۳۹۶؛ صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳)، گهر (اکبری و همکاران ۱۳۹۵)، ارزن (سادات حسینی و همکاران ۱۳۹۵)، پریشان (داوودی و همکاران ۱۳۹۳)، مهارلو (جمالی و همکاران ۲۰۰۹؛ لک ۱۳۸۶)

با توجه به ستون چینه‌ای مغزه‌های برداشت شده، وجود نهشته‌های تالابی در مغزه‌های جنوب شرقی تالاب (AZ-1) و (AZ-2) تا عمق حدود ۴۰ سانتی‌متری نشان‌دهنده باز بودن انتهای دریاچه جهت خروج آب است که این شرایط در ۴۰ سانتی‌متر بالایی (سطحی) با ساخته شدن سد دستی (انسان‌ساز) به دریاچه بسته تبدیل شده است. زمان ساخته شدن این سد با توجه به پرسش‌های محلی حدود ۶۰۰ تا ۵۰۰ سال پیش بوده است که با احتساب میزان رسوب‌گذاری حدود ۰/۶ تا ۰/۷ میلی‌متر در سال برای عمق ۴۰ سانتی‌متر به بالا هم‌خوانی خوبی نشان می‌دهد. در شرایط پرآبی بعد از پر شدن تالاب، بخشی از آب به صورت سرریز خارج می‌شده است. به نظر می‌رسد محیط تالاب از حدود ۶۰۰ تا ۵۰۰ سال پیش

دستخوش تغییرات انسانی شده است. در مغزه‌های بخش غربی، به‌ویژه مغزه AZ-5، حدود ۲۲ سانتی‌متر ابتدایی (سطحی) رس سیلتی قهوه‌ای متمایل به سبز در اثر تغییرات و نوسانات فصلی سطح تراز تالاب تشکیل شده است. همچنین، در بخش جنوب‌شرقی تالاب از عمق ۵۰ سانتی‌متری تا حدود ۲۰۰ سانتی‌متری وجود رخساره رس سیلتی قهوه‌ای‌رنگ همراه ریشه گیاهان حاکی از وجود شرایط حاشیه تالابی همراه پوشش گیاهی نسبتاً کم است. در مغزه‌های شمالی تالاب (AZ-2، AZ-3، AZ-6، AZ-7)، به دلیل نزدیکی یال شمالی تالاب به بخش فعال مخروط‌افکنه‌های مرتبط با سازند آسماری، شیب حوضه زیادتر و تلفیق رخساره‌های دانه‌درشت مخروط‌افکنه با رخساره‌های دریاچه اتفاق افتاده است.

از عمق حدود ۲۲ سانتی‌متر تا نزدیک به ۱۳۰ سانتی‌متر در مغزه‌های مرکزی (AZ-5) وجود رخساره‌های گلی خاکستری تا سیاه‌رنگ همراه بقایای فراوان گیاهی و مواد آلی و پوسته‌های صدفی سالم نشان‌دهنده بالا بودن سطح آب تالاب است. بعد از رسوبات عمق ۱۳۰ سانتی‌متری، به سمت پایین، تا حدود ۱۷۵ سانتی‌متری، رسوبات سیلت رسی طوسی همراه بقایای گیاهی و مواد آلی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده حجم بیشتر ورود مواد آواری به تالاب نسبت به دوره قبلی است. اما، کماکان دوره پرآبی تالاب آبزالو بین ۱۸۰۰ تا ۵۰۰ سال پیش برقرار بوده است. مطالعه رخساره‌های رسوبات بستر تالاب آبزالو نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی در حدود ۱۸۰۰ سال پیش به صورت تدریجی (نه ناگهانی) اتفاق افتاده و این روند حداقل ۲۰۰ سال به طول انجامیده است.

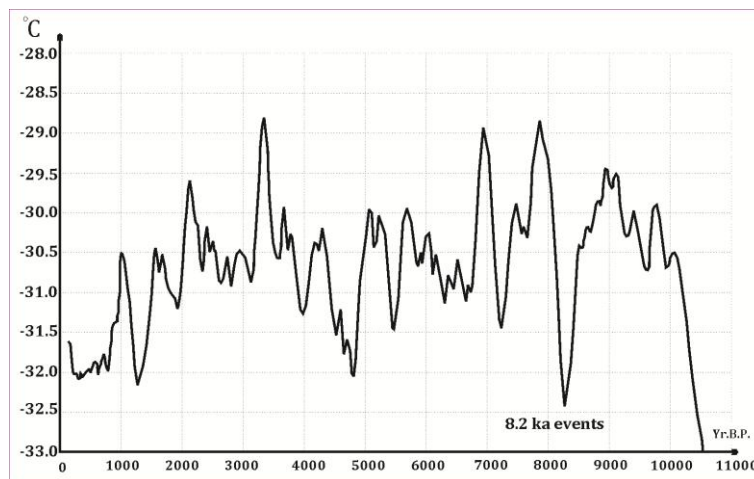
بین عمق ۱۷۵ سانتی‌متری تا ۲۹۸ سانتی‌متر رخساره رس سیلتی دارای لکه‌های مواد آلی و لکه‌های اکسیدی بسیار فراوان است. وجود رسوبات قهوه‌ای‌رنگ حاکی از خارج شدن رسوبات از آب است (لای و همکاران ۱۹۹۶). این دوره نسبتاً خشک، از ۲۵۰۰ تا ۱۸۰۰ سال پیش، حدود ۷۰۰ سال ادامه داشته است و با دوره خشک گزارش شده در دریاچه مهارلو در حدود ۱۸۰۰ سال پیش (لک ۱۳۸۶)، در دریاچه میرآباد در حدود ۱۵۰۰ سال پیش (استونس ۲۰۰۶)، و دوره خشک گزارش شده در دریاچه ارومیه (طالبی و همکاران ۲۰۱۵) بین ۲۵۰۰ تا ۱۵۰۰ سال پیش مطابقت دارد. این دوره خشک با ورود میزان بالای مواد آواری به تالاب و بالا رفتن میزان رسوب‌گذاری و نبود بقایای گیاهی و صدفی در رسوبات نهشته شده در بستر دریاچه حاکی از خشکی اقلیم و وجود بارش‌های سیلابی در منطقه است. در این دوره تغییرات دما (پارکر و همکاران ۲۰۰۶) با افزایش همراه بوده است (شکل ۱۱).

از ۴۴۰۰ تا حدود ۲۵۰۰ سال پیش (رسوبات عمق ۲۹۸ سانتی‌متر تا ۵۹۵ سانتی‌متر) شرایط باثبات و آرام تالابی حاکم بوده است. نیز شرایط ایجاد محیط تورب‌زار در تالاب فراهم شده و با افزایش میزان ماده آلی و بقایای گیاهی و صدفی و در نتیجه افزایش میزان رسوب‌گذاری همراه بوده است. این دوره، که حداکثر حدود ۱۹۰۰ سال طول کشیده، با شرایط بسیار مرطوب و بالا بودن سطح آب زیرزمینی و فعالیت چشمه‌های تغذیه‌کننده در منطقه همراه بوده است. هم‌زمان با این دوره مرطوب در زاگرس چین‌خورده، پیشروی حوضه‌های آبی در حدود ۳۵۰۰ سال پیش در دریاچه مونولیک کالیفرنیا نیز ثبت شده است (نیوتن ۱۹۹۴). این شرایط برای مغزه‌های حاشیه‌ای تالاب نیز در مقیاس کوچک‌تر و ضخامت کمتر ثبت شده است. این دوره پرآبی با مدل کوهن (۲۰۰۳) در رابطه با تغییرات سطح تراز دریاچه‌های شمال آفریقا و جنوب آسیا (شکل ۹) در طول هولوسن هم‌خوانی دارد.

از عمق ۵۹۵ سانتی‌متری تا حدود ۶۴۰ سانتی‌متری در مغزه AZ-5، وجود گل به رنگ قهوه‌ای روشن، که سنی حدود

۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال دارد، نشان‌دهنده یک دوره (سیصدساله) نه چندان مرطوب است. این دوره خشک انطباق تقریبی مناسبی با واقعه خشکی ۴۲۰۰ سال گذشته در نیم‌کره شمالی نشان می‌دهد (استابواسر و همکاران ۲۰۰۳) که در بخش‌های درون‌قاره‌ای امریکای شمالی، در خاورمیانه، بخش‌هایی از آفریقا، و آسیا با وسعت بالای خشکی گزارش شده است (بوث و همکاران ۲۰۰۵).

این تغییرات اقلیمی گسترده در حدود ۴۲۰۰ (± 300) با توجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیمی) سال پیش با ضعف و شدت متفاوت در قسمت‌های مختلف ایران گزارش شده است؛ در رسوبات بستر دریای عمان در محدوده سنی 4025 ± 125 سال (کولن و همکاران ۲۰۰۰)، در دریاچه مهارلو بین ۵۲۵۰ تا ۴۳۰۰ سال پیش (لک ۱۳۸۶)، در دریاچه زریوار بین ۴۵۰۰ تا ۳۸۰۰ سال پیش (واسیلیکوا و همکاران ۲۰۰۶)، در دریاچه میرآباد در ۵۴۰۰ پیش و خشکی‌های کوتاه‌مدت با تغییراتی در فصل بارش در ۴۰۰۰ تا ۳۵۰۰ سال پیش (استیونس ۲۰۰۶)، در هامون با پیشروی رخساره‌های رسوبات بادی در حدود ۴۵۰۰ سال پیش (حمزه و همکاران ۱۳۹۵)، همچنین مقارن با افول و انقراض تمدن اکد در بین‌النهرین (محمدی ۱۳۹۰) و افول تمدن شرق در شهر سوخته سیستان در حدود ۴۵۰۰ سال پیش (واثق عباسی و همکاران ۱۳۹۵) رخ داده است. با توجه به اقلیم منطقه و ارتفاع از سطح دریا، این دوره در منطقه مورد مطالعه با تأخیر زمانی حداقل دوپست‌ساله ظاهر شده است. بعد از رسوبات قهوه‌ای‌رنگ، مجدداً شاهد توالی طوسی‌رنگ همراه بقایای گیاهی و صدفی هستیم که تا عمق ۷ متری ادامه دارد و بعد از آن وجود رسوبات گلی قهوه‌ای‌رنگ همراه رسوبات دانه‌درشت در اندازه گراول و قلوه‌سنگ احتمال وقوع یک سیلاب بسیار قوی در منطقه، که رسوبات دانه‌درشت سازندهای اطراف را به بستر تالاب روانه ساخته یا احتمالاً به محدوده بستر رسوبات تالابی در منطقه برخورد کرده است، را تقویت می‌کند.



شکل ۱۱. تغییرات دمای کره زمین در طول هولوسن (مقادیر دما از مغزه‌های یخی گرینلند بازسازی شده است) (پارکر و همکاران ۲۰۰۶)

جمع‌بندی بررسی‌های رسوب‌شناسی، دیرینه اقلیم، و دیرینه جغرافیایی تالاب آب‌آلو به طور خلاصه در ادامه می‌آید. در هشت مغزه مورد مطالعه، هشت رخساره رسوبی اصلی شناسایی شد. رخساره‌ها غالباً دارای رسوبات رس، سیلت، ماسه،

گراول، و رسوبات بینابینی همراه بقایای گیاهی و صدفی است که در بیشتر موارد تناوب و تداخل در رسوبات یادشده به کرات دیده می‌شود. در رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه در مجموع رخساره‌ها نشان‌دهنده سه محیط رسوبی تالاب و رودخانه و مخروطافکنه است. با توجه به نتایج سن‌سنجی، میزان رسوب‌گذاری برای عمق‌های مختلف بین ۰/۶۶ تا ۱/۶ میلی‌متر در سال متغیر بوده است و متوسط میزان رسوب‌گذاری در تالاب آبزالو ۱/۲۲ میلی‌متر در سال و قابل مقایسه با تالاب زیربار و میرآباد است. با توجه به نتایج بررسی‌های رسوب‌شناسی انجام‌شده در منطقه، در طول هولوسن پسین حداقل دو دوره پربابی با اقلیم مرطوب قابل شناسایی است. این دوره‌ها بین ۱۸۰۰ تا ۵۰۰ سال قبل در یک بازه ۱۳۰۰ ساله و از ۴۴۰۰ تا ۲۵۰۰ سال قبل در یک بازه ۱۹۰۰ ساله قابل شناسایی است. همچنین، حداقل دو دوره خشک در هولوسن پسین در منطقه ظاهر شده است که مدت زمان آن‌ها کوتاه‌تر از دوره‌های مرطوب بوده است. یکی از این دوره‌ها بین ۲۵۰۰ تا ۱۸۰۰ سال پیش حدود ۷۰۰ سال ادامه داشته است و دیگری سنی حدود ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال دارد که نشان‌دهنده یک دوره (سیصدساله) خشک است. به نظر می‌رسد شدت و مدت دوره خشک ۱۸۰۰ تا ۵۰۰ سال پیش نسبت به دوره ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال پیش بیشتر بوده است. در منطقه تالاب آبزالو و زاگرس چین‌خورده در بخش خوزستان (پهنه ایزه) دوره‌های خشک به صورت ناگهانی با شدت بیشتر و مدت کمتر نسبت به دوره‌های مرطوب در منطقه ظاهر می‌شوند و به صورت تدریجی از دوره‌های خیلی خشک به دوره‌های نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب، و در نهایت مرطوب منتهی می‌شوند. این شرایط ممکن است به دلیل ماهیت تغییر اقلیم در منطقه باشد یا سطوح زیرین دوره‌های خشک به صورت مرزهای فرسایشی عمل کرده و حفظ شده باشند.

منابع

- واتق عباسی، ز.، عباس‌نژاد سرستی، ر.، قربانی، ح.، ر.، روستایی، م.، ص. (۱۳۹۵). «برآورد جمعیت در سیستان بر پایه مطالعات باستان‌قوم‌شناسی»، *مطالعات باستان‌شناسی*، د ۸، ش ۲، صص ۲۲۹-۲۴۳.
- اکبری، ط.، لک، ر.، شهبازی، ر.، قدیمی، م.، اسدی، ا.، کرمی، ف.، ویگاند، پ.، علی‌زاده، ک.، بهلینگ، ه. (۱۳۹۵). «تحلیل ژئوشیمی و پالینولوژیکی رسوبات دریاچه گهر و شناسایی آب‌وهوای دیرین زاگرس مرتفع»، *کواترنری ایران*، د ۲، ش ۱، صص ۲۷-۴۰.
- حمزه، م.، ع. (۱۳۹۵). «بازسازی شرایط محیطی و اقلیمی دیرینه جنوب‌شرقی ایران با استفاده از رسوب‌شناسی هولوسن دریاچه هامون»، پایان‌نامه دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه فردوسی مشهد، استاد راهنما: محمدحسین محمودی قرائی و حمید علی‌زاده کتک لاهیجانی، ۲۱۷ ص.
- داوودی، م.، عزیزی، ق.، مقصودی، م. (۱۳۹۳). «بازسازی تغییرات آب‌وهوایی هولوسن در زاگرس جنوبی: شواهد گرده‌شناسی و زغال در رسوبات دریاچه پریشان»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، س ۳، ش ۱، صص ۶۵-۷۹.
- درویشی خاتونی، ج. (۱۳۹۵). «تغییرات فراوانی پلت آرتمیا اورمیانا در رسوبات بستر دریاچه ارومیه با نگرشی بر اقلیم دیرینه»، *اکویولوژی تالاب*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، س ۸، ش ۸، صص ۲۸-۷۴.
- درویشی خاتونی، ج.، محمدی، ع. (۱۳۹۰). «گزارش لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچه ارومیه، فاز III:

- پالئوکلیماتولوژی، پالئوآکولوژی و پالئوژئوگرافی»، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۲۰ ص.
- رضانی، ا. (۱۳۹۲). «بازسازی پالینولوژیک (گرده‌شناختی) تاریخچه پوشش گیاهی، تغییرات آب‌وهوایی، و فعالیت‌های انسان در اواخر هولوسن در منطقه کلاردشت»، تحقیقات جنگل و صنوبر/ایران، ج ۲۱، ش ۱، صص ۴۸-۶۲.
- سادات‌حسینی، ز، خالدی، ش، نادری‌بنی، ع. م. (۱۳۹۵). «بازسازی دیرینه اقلیمی و پوشش گیاهی در حوضه دشت ارژن فارس در پلیستوسن پایانی و هولوسن بر اساس مطالعه گرده‌های گیاهی»، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، س ۷، ش ۲۷ و ۲۸، صص ۱-۱۳.
- شهبازی، ر. (۱۳۹۴). «مطالعه تحولات رسوبی دوره کواترنری به منظور تعیین الگوی طبیعی بیابان‌زایی در پلایا-تالاب شادگان»، رساله دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، استاد راهنما: سادات فیض‌نیا، ۲۰۷ ص.
- صفایی‌راد، ر، عزیزی، ق، محمدی، ح، علی‌زاده لاهیجانی، ح. (۱۳۹۳). «بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن و پلیستوسن منطقه زاگرس میانی با استفاده از شواهد گرده‌شناسی تالاب هشیلان»، جغرافیا و مخاطرات محیطی، س ۳، ش ۱۱، صص ۱-۲۰.
- عزیزی، ق، ملکی، س، کریمی، م، شهبازی، ر، رستمی، ه. (۱۳۹۶). «تغییرات اقلیم و پوشش گیاهی هولوسن در ایران»، کواترنری/ایران، د ۳، ش ۳، صص ۲۰۵-۲۲۹.
- عزیزی، ق، اکبری، ط، هاشمی، ح. (۱۳۹۲). «تغییرات پوشش گیاهی و آب‌وهوای دیرین در طی گذار آخرین دوره یخبندان- هولوسن (مطالعه موردی: دریاچه نئور در شمال غرب ایران)»، پژوهش‌های محیط زیست، س ۴، ش ۷، صص ۳-۱۲.
- لک، ر. (۱۳۸۶). «بررسی رسوب‌شناسی، هیدروشیمی، و روند تکاملی شورابه دریاچه مهارلو شیراز»، رساله دکتری، دانشگاه تربیت معلم، استاد راهنما: فرج‌الله فیاضی، ۱۸۸ ص.
- لک، ر، درویشی خاتونی، ج، محمدی، ع. (۱۳۹۰). «مطالعات پالئولیمنولوژی و علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه ارومیه»، زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد زاهدان، س ۷، ش ۴، صص ۳۵۷-۳۷۲.
- محمدی، ع. (۱۳۸۹). «رسوب‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های پلایای جازموریان»، خشک‌بوم، ش ۱، س ۱، صص ۱-۱۲.
- محمدی، ع. (۱۳۹۰). «رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی فلات قاره دریای عمان»، گزارش داخلی سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۵۰ ص.

موسوی حرمی، ر. (۱۳۸۱). رسوب‌شناسی، ج ۸، استان قدس رضوی، ۴۷۴ ص.

- Akbari, T., Lak, R., Shahbazi, R., Ghadimi, M., Asadi, A., Karami, F., Wigand, P., Alizadeh, K., & Behling, H. (2016). "Geochemical and palynological analysis of Gahar Lake sediments and identification of the ancient high Zagros climate", *Quaternary of Iran*, Vol. 2, No. 1, pp. 27-40. (In Persian)
- Azizi, Q., Akbari, T., & Hashemi, H. (2014). "Changes in vegetation and long-term climate during the transition of the last Holocene glacial period (Case study: Lake Neor in northwestern Iran)", *Environmental Research*, Vol. 4, No. 7, pp. 3-12. (In Persian)
- Baumhauer, R. & Runge, J. (2009). "Holocene Paleo-environmental history of the central

- Sahara", *Paleoecology of Africa*, 29: pp. 39-62.
- Benison, K. C. & Goldstein, R. H. (2001). "Evaporites and siliciclastics of the Permian Nippewalla group of Kansas, USA: a case for non-marine deposition in saline lakes and saline pans", *Sedimentology*, 48: pp. 165-188.
- Blanford, W. T. (1873). On the nature and probable origin of the superficial deposits in the valleys and deserts of central Persia: Geological Society of London Quarterly Journal, 29: pp. 493-503.
- Bobek, H. (1959). Features and formation of the great Kawir and Masileh, Tehran. University of Tehran Press.
- Booth, R. K., Jackson, S. T., Forman, S. T., Kutzbach, J. E., Bettis, E. A., Kreig, J., & Wright, D. K. (2005). "A severe centennial- scale drought in mid-continental North America 4200 years ago and apparent global linkages", *The Holocene*, 15, 3: pp. 321-328.
- Bronk Ramesy, C. & Lee, S. (2013). "Recent and planned developments of the program OxCal", *Radiocarbon*, 55: pp. 720-730.
- Cohen, A. S. (2003). Paleolimnology: The history and evolution of lake systems, Oxford University press, 500 p.
- Cullen, H. M., DeMenocal, S., Hemming, G., Hemming, F. H., Brown, T., Guilderson, & Sirocko, F. (2000). "Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea", *Geology*, 28, 4: pp. 379-382.
- Darvishi Khatooni, J. & Mohammadi, A. (2011). "Limnology and Paleolimnology Report of Lake Urmia, Phase III: Paleoclimatology, Paleoaccology and Paleogeography", Geological Survey of Iran, 120 p. (In Persian)
- Darvishi Khatooni, J. (2016). "Frequency changes of Artemia ormiana pellets in the sediments of Lake Urmia with a view to the Paleoclimate", Wetland Ecobiology, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Vol. 8, No. 82, pp. 28-74. (In Persian)
- Davoodi, M., Azizi, Q., & Maghsoudi, M. (2014). "Reconstruction of Holocene Climate Change in the South Zagros: Pollenic Evidence and Coal in Distressed Lake Sediments", Quantitative Geomorphological Research, Vol. 3, No. 1, pp. 65-79. (In Persian)
- Djamali, M., Beaulieu, J. L., Miller, N. F., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Lak, R., Sadeddin, N., Akhiani, H., & Fazeli, H. (2009). 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. *Vegetation History and Archaeobotany* 18: pp. 123-136.
- Eijkelkamp (2008). Operating instructions (04.01/04.02 Gouge augers), 14 p.
- Filippelli, S. M., Slater, A., & Jull, S. (2006). "Alpine lake sediment records of the impact of locations and climate change on the biogeochemical cycling of soil nutrients", *Quaternary Research*, 66: pp. 158-166.
- Gasse, F. (2001). "Hydrological changes in Africa", *Science*, 292: pp. 2259-2260.
- Gierlowski-Kordesch, E. & Kelts, K. (2000). Lake Basins through Space and Time, AAPG Studies in Geology, 46: 648 p.
- Gierlowski-Kordesch, E. & Kelts, K. (1994). Global Geological Record of Lake Basins, Cambridge University Press, 427 p.
- Hamza, M. A. (2016). "Reconstruction of ancient environmental and climatic conditions of southeastern Iran using Holocene sedimentology of Hamoon Lake", PhD Thesis, Faculty of

- Earth Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Supervisor: Mohammad Hossein Mahmoudi Qaraei and Hamid Alizadeh Katak Lahijani, 217 p. (In Persian)
- Hamzeh, M. A., Gharai M. H. M., Lahijani, H. A. K., Djamali, M., Harami, R. M., & Naderi-Beni, M. (2016). "Holocene hydrological changes in SE Iran, a key region between Indian Summer Monsoon and Mediterranean winter precipitation zones, as revealed from a lacustrine sequence from Lake Hamoun", *Quaternary International*, 408: pp. 25-39.
- Hardie L. A., Smoot J. P., & Eugster H. P. (1978). Saline lakes and their deposits: a sedimentological approach. In *Modern and Ancient Lake Sediments* (eds. A. Matter and M. E. Tucker), International Association of Sedimentologists, Oxford, pp. 7-41.
- Heyvaert, V. M. & Baeteman, C. (2007). "Holocene sedimentary evolution and palaeocoastlines of the Lower Khuzestan plain (southwest Iran)", *Marine Geology*, 242: pp. 83-108.
- Kelts, K. & Shahrabi, M. (1986). "Holocene sedimentology of hyper saline Lake Urmia, North western Iran", *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 54: pp. 105-130.
- Kilic, O. & Kilic, A. M. (2010). Salt crust mineralogy and geochemical evolution of the Salt Lake (Tuz Gölü), Turkey: Scientific Research and Essays, 5: pp. 1317-1324.
- Kirillin, G. & Shatwell, T. (2016). "Generalized scaling of seasonal thermal stratification in lakes", *J Earth Science Reviews*, 161: pp. 179-190.
- Kirsten, M. Menking (1997). Climatic signals in clay mineralogy and grain-size variations in Owens Lake core OL-92, southeast California, Geological Society of America, Special Paper, 317 p.
- Krinsley, D. B. (1970). A Geomorphological and Paleoclimatological Study of the Playas of Iran, Part I, DTIC Document, 370 p.
- Lak, R. & Gharib, F. (2004). Investigation of coastal zone and near shore of south east of Caspian Sea by satellite data, 32th international geological congress, Abstracts, 566 p.
- Lak, R. (2007). "Study of Sedimentology, Hydrochemistry, and Evolution of brine of Lake Maharloo in Shiraz", PhD Thesis, Tarbiat Moallem University, Supervisor: Farjollah Fayazi, 188 p. (In Persian)
- Lak, R., Darvishi Khatooni, J., & Mohammadi, A. (2012). "Paleolimnological studies and the causes of sudden decrease in water level of Lake Urmia", *Applied Geology of Zahedan Azad University*, Vol. 7, No. 4, pp. 357-372 (In Persian).
- Legler, B., Schneider, J. W., Gebhardt, U., Merten, D., & Gaupp, R. (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*, 234: pp. 56-69.
- Lewis, D. W. & McConchie, D. (1994). *Analytical Sedimentology*, Chapman and Hall, New York. London, 197 p.
- 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", *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology Journal*, 123: pp. 179-203.
- Lowenstein, T. K., Li, J., Brown, C., Roberts, S. M., Ku, T. L., Luo, S., & Yang, W. (1998). "200 k.y. paleoclimate record from Death Valley salt core", *Journal of Geology*, 27: pp. 3-6.
- Maleki, S., Azizi, Q., Karimi, M., Shahbazi, R., & Rostami, H. (2017). "Climate Change and Holocene Vegetation in Iran", *Quaternary of Iran*, Vol. 3, No. 3, pp. 22-205. 205-229. (In

- Persian)
- Mohammadi, A. (2010). "Sedimentology and Geochemistry of Jazmourian Playa Deposits", *Khoshkboom*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-12. (In Persian)
- Mohammadi, A. (2011). "Sedimentology and Sedimentary Geochemistry of the Oman Sea Plateau", Internal Report of the Geological Survey of Iran, 150 p (In Persian).
- Mook, W. G. & Steurman, H. J. (1983). "Physical and chemical aspects of radiocarbon dating", Proceedings of the First International Symposium 14C and Archeology, Groningen, 1981, PACT, 8: pp. 31-55.
- Mousavi Harami, R. (2002). Sedimentology, vol. 8, Astan Quds Razavi publication, 474 p. (In Persian)
- Newton, M. S. (1994). Holocene fluctuations of Mono Lake, California: the sedimentary record, Society for Economic Paleontologists and Mineralogists, Society for Sedimentary Geology Special Publication 50, pp. 143-157.
- Paik, I. S. & Kim, H. J. (2006). "Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrences and palaeoenvironments", *Journal of Sedimentary Geology*, 187: pp. 83-103.
- Parker, A. G., Goudie, A. S., Stokes, S., White, K., Hodson, M. J., Manning, M., & Kennet, D. (2006). "A record of Holocene climate change from lake geochemical analyses in southeastern Arabia", *Quaternary Research*, 66(3): pp. 465-476.
- Pickarski, N., Kwiecien, O., Djamali, M., & Litt, T. (2015). "Vegetation and environmental changes during the last interglacial in eastern Anatolia (Turkey): a new high-resolution pollen record from Lake Van", *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 435: pp. 145-158.
- Piovano, E. L., Ariztegui, D., & Moreiras, S. D. (2002). "Recent changes in Laguna Mar Chiquita (central Argentina): a sedimentary model for a highly variable saline lake", *Sedimentology journal*, 49: pp. 1371-1384.
- Ramezani, E. (2013) "Palynological Reconstruction of the History of Vegetation, Climate Change, and Human Activities in the Late Holocene in the Kelardasht Region", *Iranian Forest and Poplar Research*, Vol. 21, No. 1, pp. 48-62. (In Persian)
- Reading, H. G. (1996). Sedimentary environments, processes, facies and stratigraphy, 3rd edition, Blackwell Science, Oxford, 688 p.
- Roop, H. A., Dunbar, G. B., Vandergoes, M. J., Forrest, A. L., Walker, Sh. L., Purdie, J., Upton, ph., & Whinney, J. (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*, 62: pp. 826-844.
- Sadat Hosseini, Z., Khaledi, Sh., & Naderibani, A. M. (2016). "Ancient Climatic Reconstruction and Vegetation in Arjan Fars Plain Basin in Late Pleistocene and Holocene Based on Plant Pollen Study", *Climatological Research*, Vol. 7, No. 27 and 28, pp. 1-13 (In Persian).
- Safaei Rad, R., Azizi, Q., Mohammadi, H., & Alizadeh Lahijani, H. (2014). "Reconstruction of Holocene and Pleistocene Climate Change in the Middle Zagros Region Using Pollen Evidence from Heshilan Wetland", *Geography and Environmental Hazards*, Vol. 3, No. 11, pp. 1-20. (In Persian)
- Sai, K. (2004). "Geochemistry of Lake Sediments as a Record of Environmental Change in a

- High Arctic Watershed", *Chemie der Erde*, 64: pp. 257–275.
- Shahbazi, R. (2015). "Study of Quaternary sedimentary changes in order to determine the natural pattern of desertification in Playa-Shadegan Wetland", PhD thesis, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, Supervisor: Sadat Feyznia, 207 p. (In Persian)
- Sharifi, A., Pourmand, A., Canuel, E. A., Ferer-Tyler, E., Peterson, L. C., Aichner, B., Feakins, S. J., Daryaee, T., Djamali, M., & Naderi-Beni, A. (2015). Abrupt climate variability since the last deglaciation based on a high-resolution, multi-proxy peat record from NW Iran: The hand that rocked the Cradle of Civilization? *Quaternary Science Reviews*, 123: pp. 215-230.
- Siirio, P., Rasanen, M., Gingras, M., Harris, C., Irion, G., Pemberton, G., & Ranzi, A. (2005). Application of laser diffraction grain-size analysis to reveal depositional processes in tidally influenced systems, *Fluvial Sedimentology VII*, Special Publication of the International Association of Sedimentologists, 35: pp. 159-180.
- Sinha, R., Smykatz-Kloss, W., Stuben, 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", *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology Journal*, 233: pp. 252-270.
- Smoot J. & Lowenstein T. (1991) Depositional environments of non-marine evaporites. In *Evaporites, Petroleum, and Mineral Resources: Developments in Sedimentology* (ed. J. Melvin), *Elsevier*, New York, Vol. 50, pp. 189–384.
- Solotchina, E. P., Sklyarov, E. V., Solotchin, P. A., Vologina, E. G., & Sklyarova, O. A. (2014). Mineralogy and crystal chemistry of carbonates from the Holocene sediments of Lake Kiran (western Transbaikalia): connection with paleoclimate: *Russian Geology and Geophysics*, 55: pp. 472-482.
- Solotchina, E. P., Sklyarov, E. V., Solotchin, P. A., Vologina, E. G., Stolpovskaya, V. N., Sklyarova, O. A., & Ukhova, N. N. (2012). Reconstruction of the Holocene climate based on a carbonate sedimentary record from shallow saline Lake Verkhnee Beloe (western Transbaikalia): *Russian Geology and Geophysics*, 53: pp. 1351-1365.
- Spencer, R. J., Eugster, H. P., Jones, B. F., & Rettig S. L. (1985). "Geochemistry of Great Salt Lake, Utah: Hydrochemistry since 1850", *Geochimica Cosmochimica Acta*, 49: pp. 727-737.
- Staubwasser, M., Sirocko, F., Grootes, P., & Segl, M. (2003). "Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability", *Geophysical Research Letters*, 30: pp. 372-387.
- Stevens, L. R., Ito, E., Schwalb, A., Wright, Jr., H. E. (2006). Timing of atmospheric precipitation in the Zagros Mountains inferred from a multi-proxy record from Lake Mirabad, Iran, *Quaternary Research*, 66: pp. 494-500.
- Stevens, L. R., Wright, H. E. J., & Ito, E. (2001). "Proposed changes in seasonality of climate during the Late-glacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran", *The Holocene*, 11: pp. 747–756.
- Street-Perrot, F. A., Mitchell, J. B. F., Marchand, D. S., & Brunner, J. S. (1990). Milankovitch, and albedo forcing of the tropical monsoon: a comparison of geological evidence and numerical simulations for 9000 Ybp. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 81: pp. 407-427.
- Talebi, T., Ramezani, E., Djamali, M., Alizadeh Ketek Lahijani, H., Naqinezhad, A., Alizadeh, K., & Ponel, V. (2015). The Late-Holocene climate change, vegetation dynamics, lake-level

- changes and anthropogenic impacts in the Lake Urmia region, NW Iran, *Quaternary International*: 408: pp. 40-51.
- Törnqvist, T. E., De Jong, A. F. M., Oosterbaan, W. A., & Van der Borg, K. (1992). "Accurate dating of organic deposits by AMS 14C measurement of macrofossils", *Radiocarbon*, 34: pp. 566-577.
- Tuker, M. E. (1988). *Techniques in sedimentology*, Blackwells, Oxford, p. 394.
- Vaezi, A. L., Ghazban, F., Tavakoli, V., Routh, J., Naderi Beni, A. M., Bianchi, T. S., Curtis, J. S., & Kylin, H. (2019). A Late Pleistocene-Holocene multi-proxy record of climate variability in the Jazmurian playa, southeastern Iran, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 514: pp. 754-767.
- Valero- Garces, B. L., Grosjean, M., Kelts, K., Schreier, H., & Messerli, B. (1998). "Holocene lacustrine deposition in the Atacama Altiplano: facies models, climate and tectonic forcing", *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 151: pp. 101-125.
- VanZeist, W. & Bottema, S. (1977). "Palynological Investigations in Western Iran", *Paleohistoria*, 19: pp. 19-85.
- VanZeist, W. & Wright, J. R. (1963). "Preliminary Pollen Studies at Lake Zeribar, Zagros Mountains, Southwestern Iran", *Science*, 140(3562): pp. 65-67.
- Vasegh Abbasi, Z., Abbasnejad Sarsti, R., Ghorbani, H. R., Rustaei, M., p. (2016). "Estimation of population in Sistan based on archeological studies", *Archaeological Studies*, Vol. 8, No. 2, pp. 229-243. (In Persian)
- Wasylikowa, K., Witkowski, A., Walanus, A., Hutorowicz, A., Alexandrowicz, S. W., & Langer, J. L. (2006). "Paleolimnology of Lake Zeribar, Iran, and its climatic implications", *Quaternary Research*, 66: pp. 477-493.