

شواهد رسوبی تغییرات اقلیمی در دریاچه زریبار طی دوره هولوسن

مهران مقصودی* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
منصور جعفریگلو - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
امید رحیمی - دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۲۳ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

مغزه ۶۸۸ سانتی‌متری به دست آمده از طریق چاه پیمایی و استفاده از مغزه‌گیر پیت‌کورر روسیه از دریاچه زریبار، واقع در استان کردستان، مورد تجزیه و تحلیل‌های رسوب‌شناسی، شامل دانه‌بندی قرار گرفت. تعداد سه نمونه در مؤسسه تحلیل شتابنده ال. تی. دی (IAA) ژاپن، به روش رادیوکربن ۱۴ (AMS) تعیین سن شد. نتایج به دست آمده از مطالعات و تحلیل داده‌ها، شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب، افزایش بارش‌های بهاری و میزان رطوبت قابل دسترس، افزایش سطح و عمق آب دریاچه، همراه با شرایط آب کاملاً شیرین را در ۶۸۷۰ تا ۸۹۵۰ و ۳۱۷۰ تا ۵۵۰۰ سال قبل نشان داد. همچنین حاکمیت آب‌وهوایی گرم و خشک، کاهش در میزان بارش و رطوبت قابل دسترس، وقوع خشکسالی، پایین رفتگی سطح آب دریاچه و کاهش عمق آن طی ۵۵۰۰ تا ۶۸۷۰ و ۱۳۰۰ تا ۳۱۷۰ سال قبل و وجود تغییرات نامنظم در سطح آب دریاچه در اواخر هولوسن در ۱۳۰۰ تا ۳۱۷۰ سال قبل، در نتیجه تغییرات بارشی، سرریزهای اتفاقی دریاچه و فعالیت‌های انسانی است. همچنین میزان نرخ متوسط رسوب‌گذاری در دریاچه، طی دوره هولوسن برابر با ۰/۹۵ میلی‌متر در سال محاسبه شد و حاکی از نرخ رسوب‌گذاری ملایم در طول دوره هولوسن است.

کلیدواژه‌ها: تغییرات اقلیمی، دریاچه زریبار، رسوب‌های دریاچه‌ای، ژئومورفولوژی دیرینه.

مقدمه

دریاچه‌ها، محیط‌های رسوبی بسیار جالبی برای بررسی آب‌وهوای دیرینه هستند. بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناسی، برای شناخت و تکامل ویژگی‌های رسوبی اواخر کواترنر، بسیار مفید است. حوضه‌های بسته، به دلیل حساسیت بسیار زیاد نسبت به بالانس تبخیر و بارش، مناسب‌ترین سیستم برای بررسی‌های دریاچه‌شناسی و آب‌وهوای دیرینه به شمار می‌روند (لک، درویشی خاتونی، محمدی و رضاییان لنگرودی، ۱۳۹۱). دریاچه زریبار و کوه‌های زاگرس، به هلال حاصلخیز غرب آسیا

تعلق دارند؛ یعنی جایی که گذر از اقتصاد مبتنی بر شکار و جمع‌آوری میوه، به مرحله تولید غذا در مرحله کاهش، اواخر دوره یخچالی^۱ رخ داد. آغاز و تولید کشاورزی که بعدها در سرتاسر اروپا گسترش یافت، مربوط به این منطقه است. به‌منظور فهم بهتر وابستگی متقابل عمومی رفتار مردم و محیط طبیعی، شرایط آب‌وهوایی در زمان‌های توسعه و گسترش کشاورزی، بیشتر مورد بحث قرار خواهد گرفت. براساس مطالعات وان‌زیست و رایت (۱۹۶۳) در مورد تعیین سن رسوب‌های دریاچه، رسوب‌های دریاچه زریبار تغییرات آب‌وهوایی بیش از چهل هزار سال را در خود ثبت کرده است (کریستینا واسیلیکوا، ۲۰۰۶) که موضوع بررسی‌های علوم مختلف بوده و در چندین نشریه گزارش شده است که از آن دسته می‌توان به مواردی چون، تحلیل گرده‌های گیاهی (وان‌زیست و رایت، ۱۹۶۳؛ وان‌زیست و بوتیما، ۱۹۷۷ و ۱۹۹۱)، شیمی رسوبات (هوت‌چینسون و کوگ‌ویل، ۱۹۶۳)، ماکرو فسیل گیاهی (واسیلیکوا، ۱۹۶۷ و ۲۰۰۵؛ واسیلیکوا و والانوس، ۲۰۰۴)، دیاتومه‌ها (اسنایدر و همکاران، ۲۰۰۱)، ایزوتوپ‌های پایدار (استیونس، رایت و ایتو، ۲۰۰۱)، دریاچه‌شناسی دیرینه (واسیلیکوا، ویتکوسکی، والانوس و هاتورویسیز، ۲۰۰۶) اشاره کرد.

حوضه‌های دریاچه‌ای از نظر مکانی و زمانی الگوهای شاخصی دارند. رسوب‌های دریاچه‌ای، نگاشت‌های ارزشمندی از تاریخچه فیزیکی و شیمیایی یک دریاچه و الگوهای رخساره‌ای آن در اختیار می‌گذارند. بنابراین رسوب‌های دریاچه‌ای را می‌توان مناطقی برای تشخیص محیط‌های دیرینه در نظر گرفت (پایک و کیم، ۲۰۰۶). این تاریخچه تحت تأثیر عوامل خارجی (مانند تغییرات آب‌وهوایی، تغییرات حوضه زهکش و نئوتکتونیک حوضه) و عوامل داخلی (همچون فرایندهای زیستی، باد، موج و تجمع رسوب) قرار دارد. تغییرات در تاریخچه فیزیکی و شیمیایی یک دریاچه، اغلب تغییرات چشمگیری در رسوب‌گذاری ایجاد می‌کند که می‌توان از آن، برای پی‌بردن به فرایندهای رسوبی و محیط‌های رسوبی قدیم استفاده کرد. ارتباط بین نوع رسوب‌های دریاچه‌ای و محیط رسوبی، به‌منظور تعیین تغییرات اقلیم گذشته در یک محدوده وسیع مقیاس زمانی را وان‌هوتون (۱۹۶۴) و اولسن (۱۹۸۶) مورد بررسی قرار داده‌اند. تا کنون مطالعه‌ای در مورد دانه‌بندی رسوب‌ها و ارتباط بین شاخص‌های مذکور با تغییرات آب‌وهوایی و تغییرات سطح دریاچه زریبار انجام نشده است. از این رو هدف این پژوهش، ترکیب اطلاعات ناشی از این شاخص‌ها برای آشکارسازی تعدادی از تغییرات آب‌وهوایی و تغییرات محیطی گذشته در دریاچه زریبار است.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

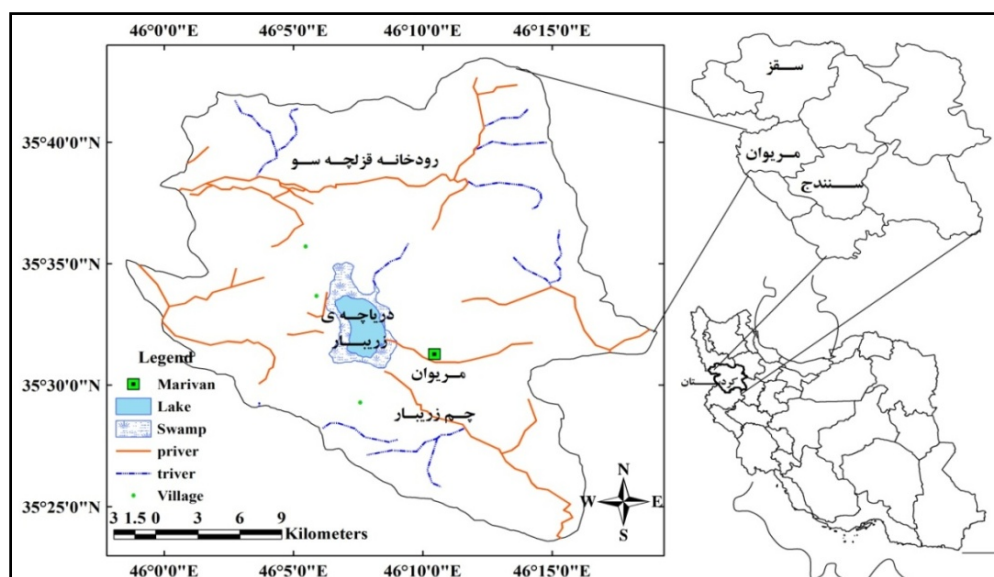
دریاچه آب شیرین زریبار^۲ در فاصله سه کیلومتری شمال غربی شهر مریوان، در کوه‌های زاگرس در استان کردستان قرار دارد که از طرف غرب به کشور عراق منتهی شده و به‌وسیله مخروط‌افکنه‌های^۳ اطراف مسدود شده است. براساس مطالعاتی که لوفلر (۱۹۶۱) روی ترکیبات شیمیایی دریاچه انجام داد، سطح الکترولیت پایین دریاچه، موجب می‌شود آب دریاچه شیرین باقی بماند. اطراف دریاچه را (به‌استثنای قسمتی از شرق آن) کمربندی از پوشش گیاهی باتلاقی، از جمله

1. Last Glacial

۲. به کردی: Zrêbar , Zrêwar

3. Alluvial Fans

نی و لوئی در بر گرفته است که وسعت این پوشش‌ها حدود هزار و دویست هکتار برآورد شده است (مهندسان مشاور آسار، ۱۳۷۲). آب دریاچه از تعدادی چشمه کفجوش و چشمه‌های بخش غربی دریاچه و بارش تأمین می‌شود. دریاچه زریبار در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲۸۵ متری بالاتر از سطح دریا واقع شده است. حداکثر طول دریاچه زریبار (یا زریوار) حدود ۴/۸ کیلومتر است که با احتساب رویش‌های مرتبط، به ۸/۷ کیلومتر هم می‌رسد و عرض آن حدود ۲/۱ کیلومتر (با پوشش گیاهی ۴/۴ کیلومتر) برآورد شده است. وسعت دریاچه به دلیل تغییرات حجم آب در فصول مختلف، متغیر بوده و سطح آن در شرایط طبیعی حدود ۸۳۰ هکتار و حداکثر ژرفای امروزی دریاچه، حدود پنج تا شش متر است. وان‌زیست و راییت (۱۹۶۳) رسوبات زریوار را بیش از ۴۰ متر گزارش کرده‌اند. بررسی‌های سن‌سنجی (بوتیما و وان‌زیست، ۱۹۷۷) به‌روش کربن ۱۴ و مطالعه روی ماکروفسیل‌هایی مانند دیاتومه‌ها (اسنایدر و همکاران، ۲۰۰۱) و نرم‌تنان (کریستینا واسیلیکوا، ۱۹۶۷ و ۲۰۰۵؛ کریستینا واسیلیکوا و آدام والانوس، ۲۰۰۴) نشان داده است که این دریاچه حدود چهل و دو هزار سال قبل در شرایط آب‌وهوایی سرد به‌وجود آمده است. از نظر ویژگی‌های آب‌وهوایی، تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سردی دارد. میانگین سالانه دما برابر با ۸/۱۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۸۸۷/۴ میلی‌متر با تعداد ۹۹ روز یخبندان سالانه برآورد شده است. از نظر زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی، دریاچه زریبار در بخش مرکزی یک فروافتادگی جای‌گرفته که این فروافتادگی را می‌توان به‌طور قطعی یک فروزمین^۱ نامید. در یک فرونشست محلی نسبتاً باریک در زون سنندج - سیرجان تشکیل شده که دو سوی غربی و شرقی آن به گسل طولی شمال غربی - جنوب شرقی محدود است. احتمال می‌رود که دو گسل یادشده در تشکیل و تکوین این دریاچه که در پایان کواترنر شکل گرفته است و به فرازمین گسل شمالی - جنوبی محدود می‌شود، نقش داشته باشند (شکل ۱).

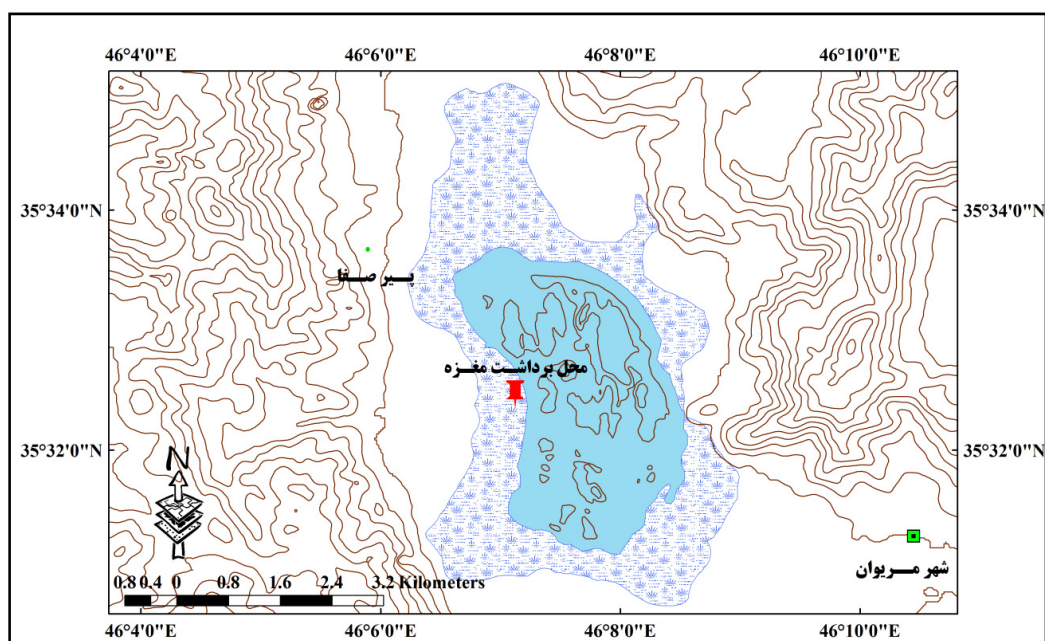


شکل ۱. نقشه محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

کارهای میدانی و نمونه‌برداری

پس از بررسی‌های صحرائی از بخش غربی دریاچه (شکل ۲)، مغزه‌ای به طول ۶۸۸ سانتی‌متر هم از طریق حفر چاه و هم با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار دستی پیت‌کورر با طول ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متری (شکل ۳) برداشت و سپس تعداد ۴۳ نمونه انتخاب شد.

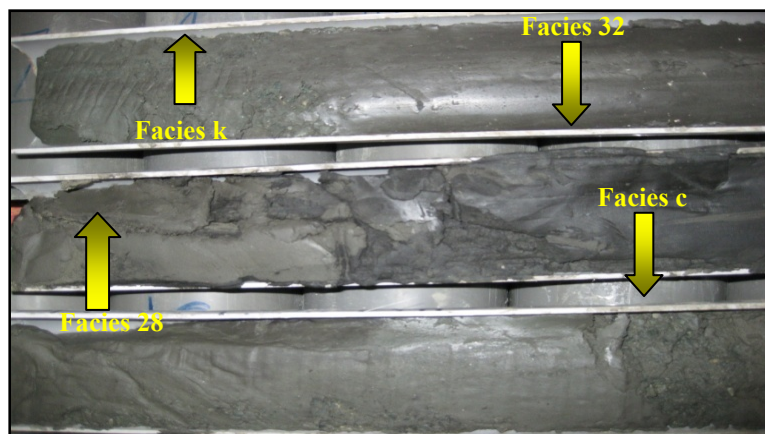


شکل ۲. نقشه محل و موقعیت برداشت مغزه رسوبی



شکل ۳. برداشت نمونه‌ها از دیواره عمودی چاه به همراه مغزه ۵۰ سانتی‌متری از داخل چاه با استفاده از نمونه‌بردار پیت‌کورر روسی

روش تهیه نمونه‌ها به گونه‌ای بود که در طول مغزه‌ها با توجه به تغییرات رنگ، اندازه ذرات و رخساره‌ها، یک نمونه انتخاب شد (شکل ۴) و روی آنها آزمایش‌های رسوب‌شناسی انجام گرفت.



شکل ۴. نمونه‌ای از تفکیک رخساره‌ای و آماده‌سازی به منظور نمونه‌برداری برای دانه‌بندی و تعیین سن رسوب‌های مغزه دریاچه زریبار

گرانولومتری دانه‌ها

ابتدا برای برداشت مواد آلی از نمونه‌ها از ۳۰ درصد آب اکسیژنه استفاده شد. به منظور جداسازی کامل نمونه‌ها از یکدیگر، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در داخل حمام التراسونیک قرار گرفتند. عملیات دانه‌بندی به روش فولک و وارد (۱۹۵۷) و تاکر (۱۹۸۸) انجام گرفت؛ بدین گونه که نمونه‌های بالای ۶۳ میکرون با استفاده از الک شیکر، به روش مرطوب (مدل Analysette22- Fritsch 3 pro) دارای سری الک‌های استاندارد ASTM، به مدت میانگین ۳۰ دقیقه در شش بخش دو میلی‌متر، یک میلی‌متر، ۵۰۰ میکرون، ۲۵۰ میکرون، ۱۲۵ میکرون و ۶۳ میکرون، قرار گرفتند. نمونه‌های زیر ۶۳ میکرون با استفاده از دستگاه لیزر دانه‌بندی ذرات مدل میکرو تک^۱ A-22 در آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی دانه‌بندی شدند. برای تعیین دانه‌بندی، مقیاس فولک و وارد (۱۹۵۷) به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت.

گرانول: بیشتر از ۲ میلی‌متر؛

ماسه: ۶۳ - ۲۰۰۰ میکرون (۱- تا ۴ فی)؛

سیلت: ۶۳ - ۳/۹ میکرون (۴ تا ۸ فی)؛

رس: ۳/۹ - ۰/۱ میکرون (۸ تا ۱۰ فی).

جورشدگی، میزان پراکنندگی اندازه ذرات در اطراف میانگین، کج‌شدگی، میزان تقارن در پراکنندگی اندازه ذرات و کشیدگی ذرات با استفاده از روابط آماری فولک و وارد (۱۹۵۷) به دست آمد (جدول ۱).

جدول ۱. روابط مورد استفاده در محاسبه معیارهای تغییرات دانه‌های رسوبی براساس فرمول فولک و وارد (۱۹۵۷)

پارامترها	رابطه فولک و وارد (۱۹۵۷)
میانگین	$Mz = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3$
چورشدگی	$\sigma = (\phi_{84} - \phi_{16}) / 4 + (\phi_{95} - \phi_{5}) / 6/6$
کج‌شدگی	$SK_1 = (\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}) / 2(\phi_{84} - \phi_{16}) + (\phi_{5} + \phi_{95} - 2\phi_{50}) / 2(\phi_{95} - \phi_{5})$
کشیدگی	$KG = (\phi_{95} - \phi_{5}) / 2/44(\phi_{75} - \phi_{25})$

تعیین سن رادیوکربن

تعداد سه نمونه از رسوبات دریاچه‌ای، شامل یک نمونه باقی‌مانده بزرگ گیاهی^۱ (مربوط به عمق ۴۱۶ سانتی‌متری) و دو توده رسوبی^۲، پس از آسیاب کردن (اعماق ۳۷۳ و ۴۶۸ سانتی‌متری)، در مؤسسه تحلیل شتاب‌دهنده ال. تی. دی.^۳ واقع در شیراکاوا^۴ ژاپن، به روش رادیوکربن ۱۴ و طیف‌سنج جرمی شتابنده (AMS) تعیین سن شدند. تمام سن کربن ۱۴ به دست آمده با اصطلاح یک انحراف معیار خطا (احتمال ۶۸/۲ درصد) یا دو انحراف معیار خطا (احتمال ۹۵/۴ درصد) با استفاده از برنامه OxCal v.4.1 (برونک رمزی، ۲۰۰۹) و بر اساس پایگاه داده‌های IntCal09 (ریمر، ۲۰۰۹) واسنجی شدند.

یافته‌های پژوهش

لیتولوژی و کرونولوژی مغزه

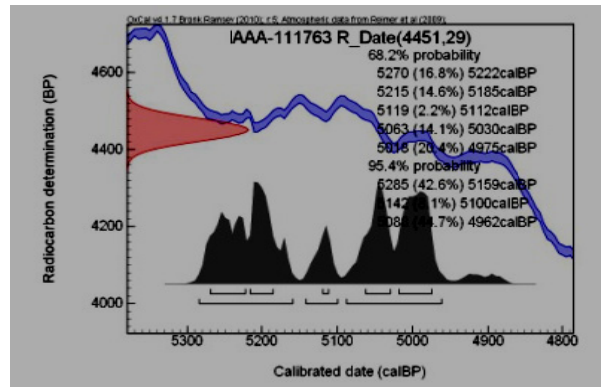
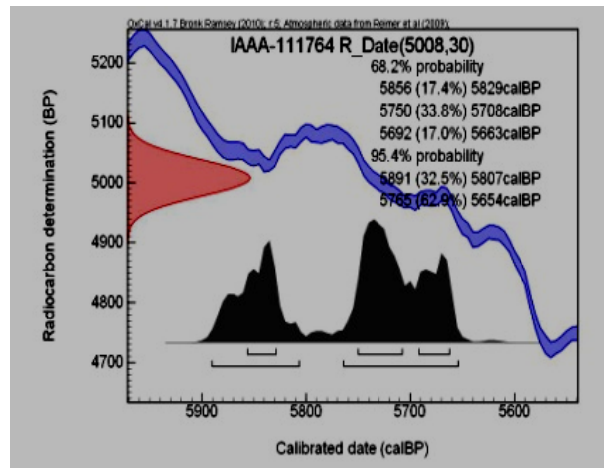
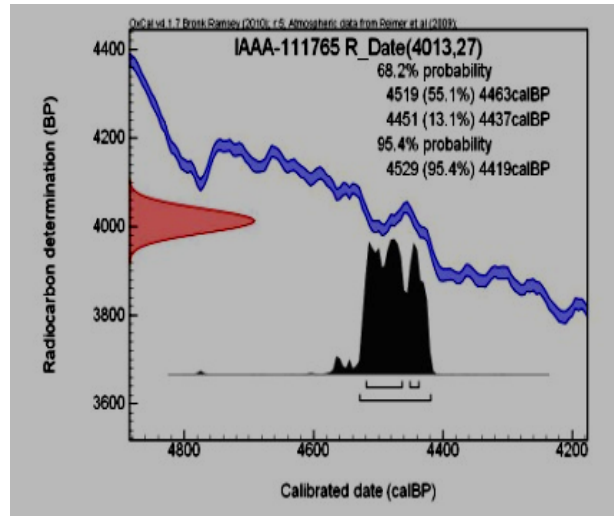
سن کربن ۱۴ مربوط به سه نمونه در اعماق ۳۷۳- سانتی‌متری، ۴۱۶- سانتی‌متری و ۴۶۸- سانتی‌متری مغزه، به ترتیب برابر با 4010 ± 30 سال، 4450 ± 30 سال و 5010 ± 30 سال پیش از زمان حال حاضر است. سن واسنجی شده برای سه نمونه در جدول ۲ و شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج سن کربن ۱۴ و سن واسنجی شده مربوط به نمونه‌های مغزه دریاچه زریبار

Lab number	Depth in core (cm)	Libby Age (yrBP)	Calibrated age (۱σ).	Calibrated age (۲σ).
IAAA-۱۱۱۷۶۵	-۳۷۳	4010 ± 30	۴۵۱۹calBP - ۴۴۶۳calBP	۴۵۲۹calBP - ۴۴۱۹calBP
IAAA-۱۱۱۷۶۳	-۴۱۶	4450 ± 30	۵۰۱۸calBP - ۴۹۷۵calBP	۵۰۸۸calBP - ۴۹۶۲calBP
IAAA-۱۱۱۷۶۴	-۴۶۸	5010 ± 30	۵۷۵۰calBP - ۵۷۰۸calBP	۵۷۶۵calBP - ۵۶۵۴calBP

نیمه عمر^۵ لیبی، ۵۵۶۸ سال برای محاسبه سن کربن ۱۴ مورد استفاده قرار گرفته شده است.

1. Plant macroremains
2. Bulk sediment
3. Institute of Accelerator Analysis Ltd
4. Shirakawa
5. Half-life



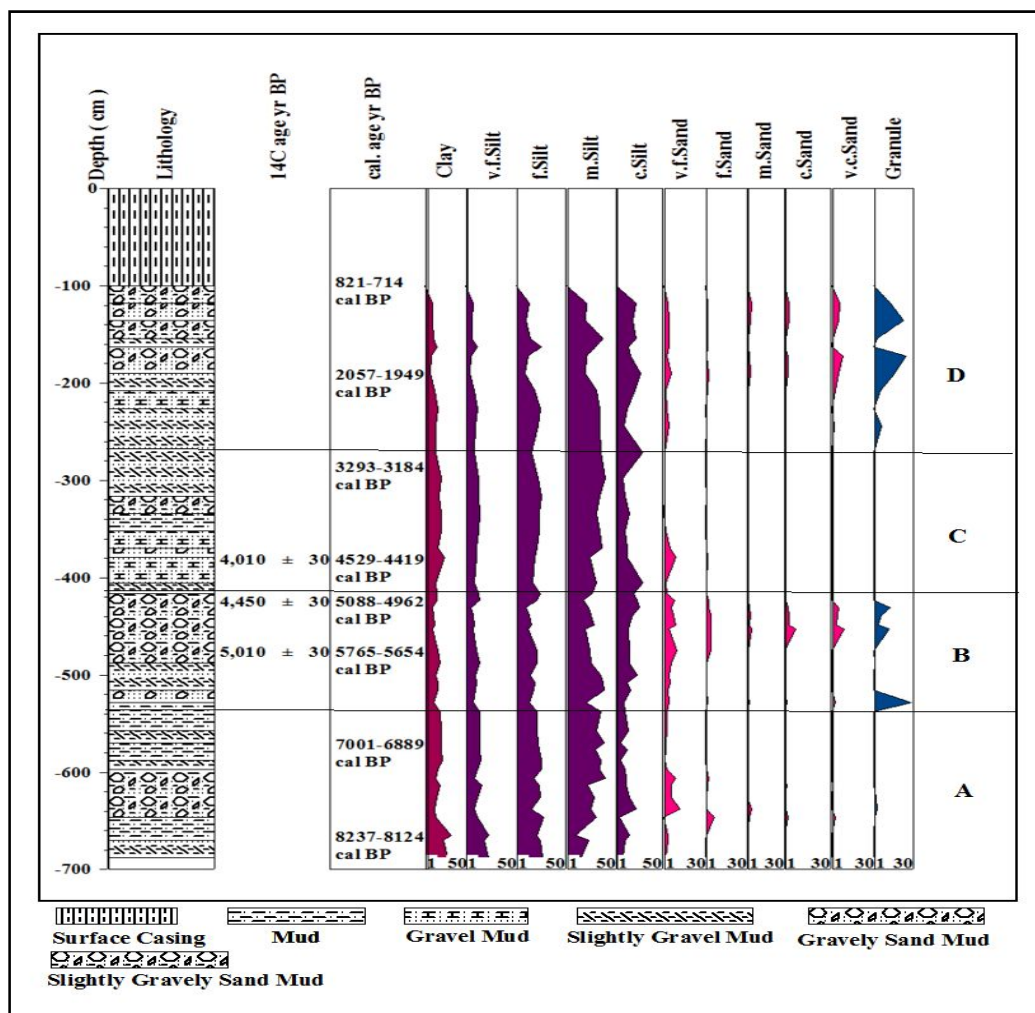
شکل ۵. نمودارهای مربوط به سن و اسنجی شده نمونه‌های مغزه دریاچه زریبار طی دوره هولوسن

پس از به دست آوردن نتایج تعیین سن و نتایج دانه‌بندی، اعداد به دست آمده وارد نرم‌افزار لاگ‌پلات^۱ هفت شد. بدین ترتیب ستون چینه‌شناسی لایه‌ها، به همراه سن کربن ۱۴ و سن و اسنجی شده با توجه به عمق لایه‌ها، ترسیم شد (شکل ۶).

میزان نرخ متوسط رسوب‌گذاری در دریاچه زریبار با توجه به نتایج ناشی از تعیین سن لایه‌ها، برابر با ۰/۹۵ میلی‌متر در هر سال، یعنی ۹۵ سانتی‌متر در هر یک هزار سال بوده است که نرخ رسوب‌گذاری ملایم در طول دوره هولوسن را نشان می‌دهد.

$$\text{میزان نرخ متوسط رسوب‌گذاری} = \frac{mm}{yr} = 0.95 \div 1000 = 0.00095$$

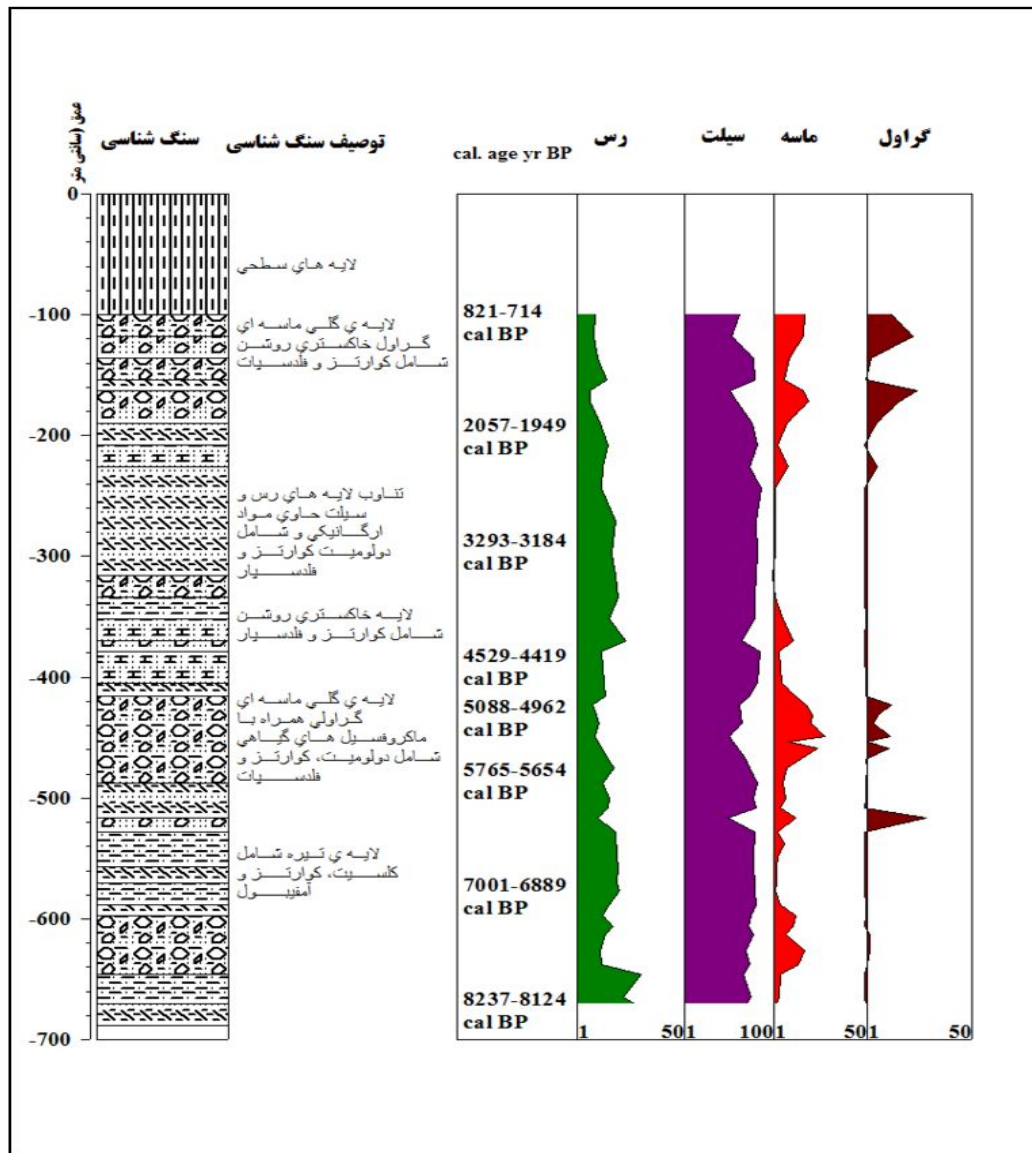
با توجه به دیگرام مثلثی^۱ و ارتباط بین سه ترکیب اصلی رسوب، چه از نظر اندازه و چه از نظر جنس و نسبت درصد هر یک از عناصر اصلی، رسوبات مربوط به هر لایه بر اساس روش فولک (۱۹۷۴) نام‌گذاری شد. مغزه به‌دست‌آمده از دریاچه، شامل پنج نوع رسوب گل، گل گراولی، گل با کمی گراول، گل ماسه گراولی و گل ماسه‌ای با کمی گراول است (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۶. ستون چینه‌شناسی لایه‌ها و درصد دانه‌های رسوبی به همراه سن کربن ۱۴ و سن واسنجی شده در مغزه گرفته شده

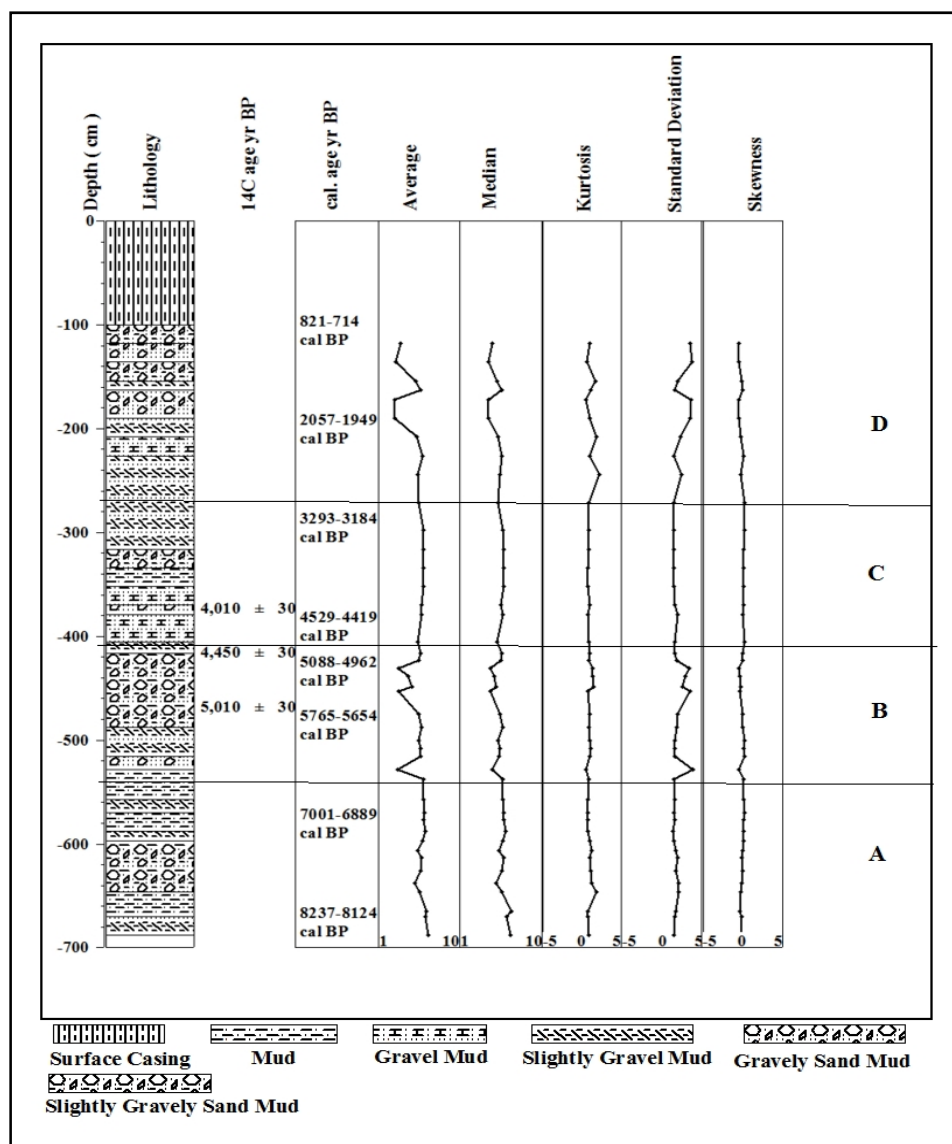
تجزیه و تحلیل‌های آماری پراکندگی ذرات

اندازه میانگین: میانگین ذرات در رسوب‌ها، به نوع منبع رسوب، نوع عامل حمل و شرایط رسوب‌گذاری بستگی دارد. میانگین ذرات، متوسط دانه‌های رسوبی و شاخص شرایط انرژی را نشان می‌دهد. حداکثر میزان میانگین اندازه ذرات در مغزه‌های مورد بررسی در دریاچه زریبار برابر با ۲/۸۱۷ فی، مربوط به عمق ۱۶۳ تا ۱۷۲ سانتی‌متری و کمترین میزان میانگین اندازه ذرات برابر با ۶/۴۵۸ فی، مربوط به عمق ۶۷۰ تا ۶۸۸ سانتی‌متری است. شکل ۸ تغییرات میزان میانگین در رسوبات دریاچه زریبار را نشان می‌دهد.



شکل ۷. ستون چینه شناسی لایه‌ها و درصد دانه‌های رسوبی به همراه سن کربن ۱۴ و سن کالیبره شده در مغزه گرفته شده

انحراف معیار: انحراف معیار میزان جورشدگی رسوب‌ها، نوسان‌های انرژی جنبشی یا شرایط سرعت عامل‌های رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد (ساهو، ۱۹۶۴). میزان جورشدگی رابطه معکوسی با انحراف معیار دارد. در منطقه مورد مطالعه، حداقل و حداکثر میزان انحراف معیار، به ترتیب برابر با $3/743$ فی و $1/313$ فی محاسبه شد. این مقدار جورشدگی وقتی با درجه‌های گوناگون جورشدگی پیشنهادشده فولک و وارد (۱۹۵۷)، کادگین (۱۹۶۱) و فریدمن (۱۹۶۱) مقایسه شود، نشان می‌دهد که این رسوب‌ها دارای درجه جورشدگی بد^۱ و جورشدگی خیلی بد^۲ هستند (شکل ۸).



شکل ۸. تغییرات پارامترهای آماری (میانگین، میانه، کشیدگی، انحراف معیار و کج‌شدگی) در مغزه به‌دست آمده از دریاچه زیربار

1. Bad Sorting
2. Very Bad Sorting

کشیدگی عدم تقارن توزیع فراوانی را اندازه‌گیری می‌کند و موقعیت میانگین را نسبت به میانه نشان می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه حداقل و حداکثر میزان کج‌شدگی، به ترتیب برابر با ۰/۳۲ فی و ۰/۴۱۱- فی به دست آمد که نشان‌دهنده غالب بودن کج‌شدگی مثبت تا منفی در منطقه است. این مقدار کج‌شدگی وقتی با درجه‌های گوناگون کج‌شدگی پیشنهادشده فولک و وارد (۱۹۵۷) و کادیگن (۱۹۶۱) مقایسه شود، نشان می‌دهد که در این رسوب‌ها کج‌شدگی منفی^۱ تا کج‌شدگی مثبت^۲ غالب است. نمونه‌هایی که کج‌شدگی منفی دارند، غلبه بر شرایط پُرانرژی را نشان می‌دهند. افزایش رسوب‌های درشت‌دانه (توزیع کج‌شدگی منفی) تهی‌سازی^۳ و تخلیه دانه‌های ریز و غلبه فرایندهای فرسایشی را نشان می‌دهند. توزیع کج‌شدگی مثبت (کمیت بیشتر رسوب‌های ریزدانه)، نشان‌دهنده تمایل رسوب‌گذاری هستند (شکل ۸).

میزان کشیدگی بیان‌کننده میزان غیر عادی بودن منحنی توزیع ذرات خواهد بود. حداکثر میزان کشیدگی^۴ برابر با ۲/۲۰۱ فی و حداقل میزان کشیدگی برابر با ۰/۵۵۷ فی است که به ترتیب، گویای منحنی بسیار کشیده و بسیار پهن هستند. مقدارهای بسیار پایین کشیدگی اشاره بر این دارد که قسمتی از رسوب‌ها در جای دیگر و در محیط‌های پُرانرژی جور شده‌اند (فولک و وارد، ۱۹۵۷). میزان کشیدگی همچنین پارامتر حساس محیطی است و فقدان مقدار زیاد در واحدهای مورد بررسی، به احتمال عدم عامل‌های جورشدگی‌های قبلی را نشان می‌دهد (شکل ۸).

تغییرات آب‌وهوایی و تغییرات سطح دریاچه زریبار، استنباط‌شده از نتایج دانه‌بندی رسوب‌ها

همه رسوبات به دست آمده و ثبت شده از مغزه ۶۸۸ سانتی‌متری دریاچه زریبار، از نظر تغییرات در میانگین اندازه ذرات، جورشدگی، میزان کج‌شدگی و کشیدگی، به چهار زیرگروه از نظر زمانی و عمق تقسیم شده‌اند که در واحدهای یک تا چهار، به‌طور جداگانه توضیح داده شده است (شکل‌های ۶ و ۸).

واحد A: ۸۹۵۰ تا ۶۸۷۰ سال قبل (اوایل دوره هولوسن)

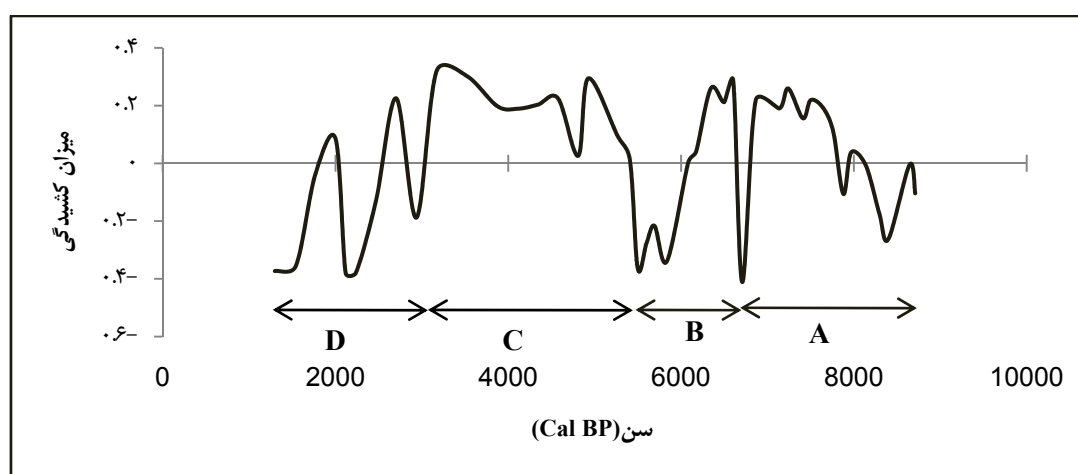
رسوب‌های بین ۶۸۸ و ۵۲۸ سانتی‌متری، عمدتاً گل، گلی ماسه همراه با کمی گراول و گلی کمی گراول را شامل می‌شود. میانگین ذرات سیلت متوسط تا سیلت ریز (۵ - ۶/۴ فی) است. در این واحد، بیشتر ذرات سیلت ریز غلبه دارند. میزان رس در این واحد برابر با ۱۸/۴۴ درصد، سیلت ۷۴/۸ درصد، ماسه ۶/۳۳ درصد و گراول ۰/۴۲ درصد است. میزان انحراف استاندارد ذرات ۱/۳ فی تا ۲/۱ فی است که از جورشدگی بد ذرات در اوایل دوره هولوسن حکایت دارد. همان‌گونه که نمودار شکل ۹ نشان می‌دهد، در این دوره ذرات دارای کج‌شدگی منفی هستند (۰/۳۸ - فی تا ۰/۲۶۳ - فی).

واحد B: ۶۸۷۰ تا ۵۵۰۰ سال قبل

رسوب‌های بین ۵۲۸ و ۴۲۳ سانتی‌متری را شامل می‌شود که عمدتاً گلی ماسه‌ای با کمی گراول و گلی با کمی گراول

1. Negative Skewness
2. Positive Skewness
3. Depletion
4. Kurtosis

هستند. میانگین ذرات ماسه خیلی ریز، سیلت متوسط ($۳/۱ - ۵/۷$ فی) است. در این واحد ذرات ماسه خیلی ریز غلبه بیشتری دارند. میزان رس در این واحد برابر با $۱۲/۴۴$ درصد، سیلت $۶۷/۱۸$ درصد، ماسه ۱۴ درصد و گراول $۶/۴$ درصد است. این دوره دریاچه زریبار کمترین میزان رس و سیلت و بیشترین میزان ماسه و گراول را در بین واحدهای دیگر تجربه کرده است. میزان انحراف استاندارد ذرات، $۱/۵$ فی تا $۳/۷$ فی به دست آمد و از جورشدگی خیلی بد ذرات در این دوره زمانی از هولوسن خبر می‌دهد. در این دوره ذرات دارای کج‌شدگی منفی ($-۰/۲۲$ فی تا $-۰/۳۶$ فی) هستند (شکل ۹).



شکل ۹. نمودار تغییرات میزان کثیدگی و چهار مرحله تغییر آب‌وهوایی در دریاچه زریبار طی دوره هولوسن

واحد C: ۵۵۰۰ تا ۳۱۷۰ سال قبل

رسوب‌های بین ۴۲۳ و ۲۴۴ سانتی‌متری، عمدتاً گل همراه با کمی گراول، گل ماسه‌ای همراه با کمی گراول و گل گراولی را شامل می‌شود. میانگین ذرات، سیلت متوسط ($۵/۵$ فی) است. در این واحد ذرات سیلت متوسط غلبه بیشتری دارند. میزان رس برابر با $۱۵/۶۴$ درصد، سیلت $۷۷/۴$ درصد، ماسه $۵/۷$ درصد و گراول $۱/۲$ درصد است. میزان انحراف استاندارد ذرات $۱/۳۸$ فی تا $۱/۸۸$ فی به دست آمد که جورشدگی بد ذرات در این دوره زمانی از هولوسن را گزارش می‌دهد. با توجه به نمودار شکل ۹، در این دوره ذرات دارای کج‌شدگی مثبت هستند ($۰/۱۲$ فی تا $۰/۳۲$ فی).

واحد D: ۱۳۰۰ تا ۳۱۷۰ سال قبل (اواخر هولوسن)

رسوب‌های $۱۰۰ - ۲۴۴$ سانتی‌متری را شامل می‌شود. در این دوره زمانی، افزایش در ذرات درشت‌دانه ماسه به میزان $۱۰/۵$ درصد و گراول به میزان $۸/۹$ درصد و کاهش در ذرات ریزدانه رس به میزان $۱۰/۷$ درصد و سیلت به میزان $۶۹/۸۶$ درصد بوده است. همچنین میزان کج‌شدگی در این محدوده زمانی برابر با $-۰/۳۷$ فی بوده است؛ یعنی کج‌شدگی به شدت درشت‌دانه است (شکل ۹). میزان انحراف استاندارد در این دوره زمانی بین $۱/۴ - ۳/۵$ فی بوده که حاکی از جورشدگی خیلی بد رسوبات است.

نتایج به دست آمده از مطالعه دریاچه زریبار نشان می‌دهد که در واحد B (۶۸۷۰ سال تا ۵۵۰۰ سال قبل) و واحد D (۱۳۰۰ - ۳۱۷۰ سال قبل)، ذرات درشت‌دانه (توزیع کشیدگی منفی)، از جمله ذرات ماسه و گرانول افزایش و میزان سیلت و ذرات ریزدانه کاهش داشته است (شکل ۹). همچنین حاکمیت شرایط انرژی زیاد تولید رسوب یا حمل رسوبات و غلبه فرایندهای فرسایشی بالا را نشان می‌دهد. ویژگی کج‌شدگی در رابطه با عملکرد سرعت زیاد عامل‌های رسوب‌گذاری است. به‌طور کلی در این محدوده زمانی، شرایط نسبتاً بالای تغییرات جزرومدی، عرضه و ورود مواد تخریبی، افزایش قدرت جریان‌های ورودی، شرایط انرژی زیاد تولید رسوب یا حمل رسوبات و غلبه فرایندهای فرسایشی بالا حاکم بوده است. دلیل این ویژگی‌ها را می‌توان مربوط به کاهش بارش‌های بهاری و رطوبت قابل دسترس و وجود شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک ناشی از پسروی و عقب‌نشینی یخچال‌ها در دوره هولوسن دانست که منجر به کاهش سطح آب و کاهش عمق دریاچه زریبار شده است.

واحد A (۸۹۵۰ سال تا ۶۸۷۰ سال قبل) و واحد C (۵۵۰۰ سال تا ۳۱۷۰ سال قبل)، در میزان سیلت و ذرات ریزدانه (توزیع کشیدگی مثبت) افزایش و در ذرات درشت‌دانه‌ای چون ماسه و گرانول (تا یک درصد) کاهش داشته است. این دوره‌های زمانی، حاکمیت شرایط انرژی کم تولید رسوب یا حمل رسوبات و غلبه اندک فرایندهای فرسایشی را نشان می‌دهد. همچنین ویژگی کج‌شدگی در این دوره‌های زمانی، در رابطه با عملکرد سرعت بسیار کم عامل‌های رسوب‌گذاری است. به‌طور کلی در این محدوده‌های زمانی، شرایط عرضه نسبتاً کم مواد تخریبی وجود دارد که ناشی از شرایط آب‌وهوایی نسبتاً گرم و مرطوب در آغاز دوره هولوسن و افزایش در میزان بارش‌های بهاری، رطوبت قابل دسترس و شروع فراوانی نوسان‌های سطح آب دریاچه زریبار، همراه با افزایش میزان رطوبت، افزایش سطح دریاچه زریبار و بالا آمدن سطح آب و افزایش عمق آن است. وجود شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب و افزایش سطح آب دریاچه زریبار در واحد C با مطالعه استیونس (۲۰۰۱) که با استفاده از ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ انجام گرفته، مطالعه وان‌زیست و بوتیما (۱۹۷۷) که با استفاده از اجتماع منحنی گرده‌های گیاهی کورسوس^۱ و کاهش نهایی فراوانی چنوپودم روبروم^۲ در بین ماکروفسیل‌ها انجام شد و مطالعه کریستینا واسیلیکوا (۲۰۰۶) مبنی بر ناپدیدشدن کامل دیاتومه‌های آبه‌های شور در دریاچه زریبار، کاملاً همخوانی دارد.

همچنین نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج یافته‌های سیمون ریهل، پاستوویتو، هاتچ کیس و بریسون (۲۰۰۸) مبنی بر افزایش رطوبت قابل دسترس و درجه حرارت‌های نسبتاً بالا در بین‌النهرین بالایی با استفاده از شواهد کربنات‌های پدوژنیک^۳، داده‌های دیرینه گیاه‌شناسی^۴، مدل‌های آب‌وهواشناسی دیرینه^۵ در منطقه بین‌النهرین فوقانی در اواسط هولوسن (بین ۵۰۰۰ تا ۴۰۰۰ سال قبل) و نتایج جی. لمک و ام. ستورم (۱۹۹۷) در دریاچه وان در شرق ترکیه، مبنی بر رسیدن درجه شوری دریاچه وان به کمترین میزان و بالا آمدن سطح آن در هولوسن میانی (۷۰۰۰-۴۰۰۰ سال

1. Quercus
2. Chenopodium Rubrum
3. Pedogenic Carbonate
4. Archaeobotanical data
5. Archaeoclimatological models

قبل) با استفاده از اندازه‌گیری عناصر کمیاب^۱ و ایزوتوپ $\delta^{18}O$ کاملاً منطبق است. نتیجه دیگر این پژوهش، مبنی بر افزایش خشکی و کاهش سطح آب دریاچه در واحد B نیز، با مطالعات وانزیست و بوتیما (۱۹۷۷) مبنی بر گسترش گرده‌های گیاهی سالیکس و فراکسینوس^۲ در زریبار مطابقت دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعات، به‌ویژه رسوب‌شناسی و دانه‌بندی رسوبات، نشان می‌دهد که رسوب‌های دریاچه زریبار از پنج نوع رسوب گل، گل گراولی، گل با کمی گراول، گل ماسه گراولی و گل ماسه‌ای با کمی گراول تشکیل شده‌اند. میزان نرخ متوسط رسوب‌گذاری در دریاچه زریبار برابر با $0/95$ میلی‌متر در هر سال، یعنی 95 سانتی‌متر در هر یک هزار سال بوده است که نرخ رسوب‌گذاری ملایم در طول دوره هولوسن را نشان می‌دهد. کاهش سطح آب دریاچه طی $7878 - 8944$ ، $5500 - 6100$ و $2100 - 2500$ سال قبل، با شرایط آب‌وهوایی گرم‌وخشک، فرسایش سطحی زیاد، کاهش در بارش‌های بهاری و رطوبت قابل دسترس، افزایش قدرت جریان‌های ورودی، حاکمیت شرایط انرژی زیاد تولید و حمل رسوبات، غلبه فرایندهای فرسایشی بالا و کاهش میزان هوازدگی شیمیایی همراه بوده است که این نتایج با مطالعات انجام‌شده وانزیست و بوتیما (۱۹۷۷) مبنی بر گسترش گرده‌های گیاهی سالیکس و فراکسینوس در این دوره‌های زمانی در دریاچه زریبار و نتایج مطالعات لک (۱۳۸۶)، مبنی بر وقوع خشکسالی در دریاچه مهارلو (5250 ، 1800 و 2000 سال قبل) کمابیش همخوانی دارد.

همچنین از دیگر نتایج این پژوهش، افزایش سطح آب دریاچه طی $6100 - 7878$ و $3150 - 5500$ سال قبل و وجود شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب، افزایش بارش، افزایش در رطوبت قابل دسترس، حاکمیت شرایط انرژی کم تولید و حمل رسوبات، غلبه اندک فرایندهای فرسایشی، عرضه نسبتاً کم مواد تخریبی و غلبه هوازدگی شیمیایی بوده است که با مطالعات استیونس (۲۰۰۱) با استفاده از ایزوتوپ اکسیژن ۱۸، مطالعات وانزیست و بوتیما (۱۹۷۷) با استفاده از اجتماع منحنی گرده‌های گیاهی کورسوس و کاهش نهایی فراوانی چنوپودم روبروم در بین ماکروفسیل‌ها و مطالعات کریستینا واسیلیکوا (۲۰۰۶) مبنی بر ناپدیدشدن کامل دیاتومه‌های آب‌های شور در دریاچه زریبار، کاملاً همخوانی دارد. وجود تغییرات نامنظم در سطح آب دریاچه در اواخر هولوسن ($1300 - 3150$ سال قبل) در نتیجه تغییرات بارشی، سرریزهای اتفاقی دریاچه و فعالیت‌های انسانی است.

تشکر و قدردانی

از سازمان زمین‌شناسی کشور برای همکاری‌های لازم در انجام پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Brooks, Ian, A.; 1982. **Geomorphological Evidence for Climatic Change in Iran During the Last 20,000 Years, Paleoclimates, Paleoenvironments and Human Communities in Eastern Mediterranean Region in Later Prehistory, Last Part**, Translated by Ali Khorshid Dost, Roshd-e- Geography Quarterly, No.48, PP. 8-12.
- El-Moslimany, A., 1986, **Ecology and Late Quaternary History of the Kurdo-Zagrosian Oak Forest Near Lake Zeribar, Kurdistan (Western Iran)**, Vegetatio, No. 68, PP. 55-63.
- El-Moslimany, A.P., 1987, **The Late Pleistocene Climates of the Lake Zeribar Region (Kurdistan, Western Iran) Deduced from the Ecology and Pollen Production of Non-arboreal Vegetation**, Vegetatio, No. 72, PP. 131-139.
- Folk R. L., Ward, M.C., 1957, **Brazos River Bar (Texas): A Study in the Significance of Grain Size Parameters**, Journal of Sedimentary Research, Vol. 27, No. 1, PP. 3-27.
- Folk, R. L., 1980, **Petrology of Sedimentary Rocks**, Austin, Hemphill, Texas.
- Friedman, G.M., 1961, **Distinction between Dune, Beach and River Sands from Their Textural Characteristics**, Journal of Sedimentary Research, Vol. 31, No. 4, PP. 514-529.
- Hooke, J.M., 1988, **Geomorphology in Environmental Planning**, John Wiley & Sons, Ltd, UK.
- Hutchinson, G.E. and Cowgill, U.M., 1963, **Chemical Examination of a Core from Lake Zeribar, Iran**, Science Vol. 140, No. 3562, PP. 67-69.
- Jowsey, P.C., 1966, **An Improved Peat Sampler**, New Phytologist, Vol. 65, No. 2, PP. 245-248.
- Löffler, H., 1961, **Beitrag zur Kenntnis der Iranischen Binnengewässer II**, International Review of Hydrobiology, Vol. 46, No. 3, PP. 309-406.
- McManus, J., Duck, R. W., 1993, **Geomorphology and Sedimentology of Lake and Reservoirs**, John Wiley & Sons Ltd, UK.
- Megard, R.O., 1967, **Late-Quaternary Cladocera of Lake Zeribar Western Iran**, Ecology, Vol. 48, No. 2, PP.179-189.
- Neil, R., 1998, **The Holocene: an Environmental History**, 2nd ed Blackwell, Malden.
- Ramsey, C.B., 2009, **Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates**, Radiocarbon, Vol. 51, No. 1, PP. 337-360.
- Reading, H. G., 1996, **Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy**, Wiley-Blackwell, UK.
- Reimer, P.J., 2009, **IntCal09 and Marine 09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0-50,000 Years Cal BP**, Radiocarbon, Vol. 51, No. 4, PP. 1111-1150.
- Reinhardt, C., Wunnemann, B., Krivonogov, S. K., 2008, **Geomorphological Evidence for the Late Holocene Evolution and the Holocene Lake-level Maximum of the Aral Sea**, Geomorphology, Vol. 93, No. 3-4, PP.302-315.
- Riehl, S., Pustovoytov, K.E., Hotchkiss, S., Bryson, R.A., 2009, **Local Holocene Environmental Indicators in Upper Mesopotamia: Pedogenic Carbonate Record vs. Archaeobotanical Data and Archaeoclimatological Models**, Quaternary International, Vol. 209, No.1-2, PP. 154-162.
- Sahu, B. K., 1964, **Depositional Mechanism from the Size Analysis of Clastic Sediments**, Journal of Sedimentary Research, Vol. 34, No. 1, PP. 73-83.
- Snyder, J.A., Wasylik, K., Fritz, S.C., Wright Jr, H.E., 2001, **Diatom-based Conductivity Reconstruction and Palaeoclimatic Interpretation of a 40-ka Record from Lake Zeribar, Iran**, The Holocene, Vol. 11, No.6, PP. 737-745.
- 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, Vol. 11, No. 6, PP. 747-755.
- Stevens, L.R., Ito, E., Schwab, A., Wright, H. E., 2006, **Timing of Atmospheric Precipitation in the Zagros Mountains Inferred from a Multi-proxy Record from Lake Mirabad, Iran**, Quaternary Research, Vol. 66, No. 3, PP. 494-500.

- Stuiver, M. and Polach, H.A., 1977, **Discussion: Reporting of ^{14}C Data**, Radiocarbon, Vol. 19, No. 13, PP. 355-363.
- Stuiver, M., 1969, **Yale Radiocarbon Measurements IX**, Radiocarbon, Vol. 4, PP. 545-658.
- Tucker, M. E., 1988, **Techniques in Sedimentology**, Blackwells, Oxford.
- Van Zeist, W. and Bottema, S., 1977, **Palynological Investigations in Western Iran**, Palaeohistoria, Vol. 19, PP. 19-85.
- Van Zeist, W., 1967, **Late Quaternary Vegetation History of Western Iran**, Review of Palaeobotany and Palynology, Vol. 2, No. 1-4, PP. 301-311.
- Van Zeist, W., Wright Jr., H.E., 1963, **Preliminary Pollen Studies at Lake Zeribar, Zagros Mountains, Southwestern Iran**, Science, Vol. 140, No. 3562, PP. 65-67.
- Wasylikowa, K., 1967, **Late Quaternary Plant Macrofossils from Lake Zeribar, Western Iran**, Review of Palaeobotany and Palynology, Vol. 2, No. 1-4, PP. 313-18.
- Wasylikowa, K., 2005, **Paleoecology of Lake Zeribar, Iran, in the Pleniglacial, Lateglacial and Holocene, Reconstructed from Plant Macrofossils**, The Holocene, Vol. 15, No. 5, PP. 720-735.
- Wasylikowa, K., Walanus, A., 2004, **Timing of Aquatic and Marsh-plant Successions in different parts of Lake Zzeribar, Iran, during the Late Glacial and Holocene**, Acta Palaeobotanica, Vol. 44, No. 2, PP. 129-140.
- Wasylikowa, K., Witkowski, A., Walanus, A., Hutorowicz, A., 2006, **Palaeolimnology of Lake Zeribar, Iran, and its Climatic Implications**, Quaternary Research, Vol. 66, No.3, PP. 477-493.
- Wright Jr, H.E., 1963, **Pleistocene Glaciations in Kurdistan**, Eiszeitalter und Gegenwart, Vol. 12, No. 1, PP. 131-164.