

تحولات محیط‌های دیرینه در رسوبات پلایای کجی نمکزار، شمال نهبندان

حسن شهزادی؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

صمد فتوحی*؛ دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

جواد درویشی خاتونی؛ دکتری ژئومورفولوژی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

سحر ملکی؛ دکتری آب و هواشناسی دیرینه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

چکیده

پلایای کجی نمکزار در شمال نهبندان و در مسیر جاده‌ی بیرجند-نهبندان واقع شده و دارای ساختار زمین‌شناسی پیچیده‌ای ناشی از عملکرد گسل‌های فعال نهبندان و سهل‌آباد است. این حوضه‌ی کشتی رومبوندنر با نهشته‌های کواترنری از نوع رسوبات مخروط‌افکنه، گفه‌ی نمکی و آبرفتی پوشیده شده است. هدف پژوهش حاضر، بازسازی اقلیم دیرینه‌ی هولوسن پسین با تحلیل داده‌های سه مغزه‌ی رسوبی به ژرفای میانگین ۸۱۰ سانتی‌متر بوده است. رخساره‌های شناسایی شده شامل هفت نوع، متعلق به محیط‌های مخروط‌افکنه‌ای، تالابی و پلایایی هستند. بر اساس داده‌های سن‌سنجی منطقه و تطبیق با پلایای هامون و جازموریان، نرخ متوسط رسوب‌گذاری حدود ۰/۶۴ میلی‌متر در سال تخمین زده شد. در طول ۲۲ هزار سال گذشته، سه دوره‌ی مرطوب، یک دوره‌ی سرد، دو دوره‌ی خشک و گرم و دو دوره‌ی خشک و سرد ثبت گردیده است. الگوی تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که دوره‌های خشک به‌صورت ناگهانی آغاز شده و به‌صورت تدریجی پایان یافته‌اند. در حالی که دوره‌های مرطوب روندی معکوس داشته‌اند. شدت و کوتاهی دوره‌های خشک نسبت به مرطوب و سرد، از ویژگی‌های بارز اقلیم منطقه در بازه‌ی مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: اقلیم دیرینه، پلایای سهل‌آباد، پلایای کجی نمکزار، جغرافیای دیرینه، مغزه‌ی رسوبی، هولوسن.

مقدمه

پلایاها به‌عنوان مهم‌ترین واحدهای ژئومورفولوژیکی مناطق خشک قلمداد می‌شوند که سرگذشت اقلیمی و محیطی مختلفی را در دوره‌ی کواترنری پشت‌سر گذاشته‌اند (شیبانی، ۱۳۹۸). به‌دلیل کاهش سرعت عملیات شکل‌زایی در چین قلمروهایی، ثبات اشکال دیرینه‌ی کواترنری از شرایط مطلوبی برخوردار است. پلایاها، سطوحی بسیار هموار و کم‌شیب‌اند که معمولاً محل تجمع آب‌های سطحی بوده و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین واحدهای ژئومورفولوژیکی مناطق خشک، اطلاعات ارزشمندی را بایگانی کرده‌اند (رضایی‌مقدم و تقفی، ۱۳۸۵). تغییرات آب‌وهوایی در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات بازتاب پیدا می‌کند که از آن می‌توان برای پی‌بردن به فرآیندهای رسوبی و محیط‌های رسوبی دیرینه استفاده نمود (کریلین و شاتول^۱، ۲۰۱۶). بنابراین درک ویژگی‌های محیطی زمان گذشته جهت شناخت تغییرات آب-وهوایی اهمیت زیادی دارد (حمزه و فراهی قصرابونصر^۲، ۲۰۲۰). در سطح جهانی، حلقه‌های درخت، گرده‌های گیاهی، مرجان‌ها، مغزه‌های یخی، رسوبات دریایی و دریاچه‌ای، بایگانی‌های مهمی برای مطالعات محیط‌های دیرینه‌اند و کیفیت مطالعات انجام‌شده نیز به کیفیت این بایگانی‌ها بستگی دارد (مارتینز^۳ و همکاران، ۲۰۱۵؛ دامناتی^۴ و همکاران، ۲۰۱۶؛ بریست^۵ و همکاران، ۲۰۱۸). در این میان رسوبات بستر دریاچه‌ای شاخص‌های حساسی از اقلیم‌های محلی هستند (سولچینا^۶ و همکاران، ۲۰۱۶؛ روپ^۷ و همکاران، ۲۰۱۴) و به‌دلیل ورود حجم بالای رسوبات و وجود نرخ بالای رسوب-گذاری امکان ثبت تغییرات اقلیمی و محیطی با قدرت تفکیک بالا فراهم می‌شود (حمزه و فراهی قصرابونصر، ۲۰۲۰). حاکمیت و استمرار هر اقلیم، سبب عملکرد یک سیستم شکل‌زایی در آن منطقه می‌شود، لذا آنچه از پدیده‌های ژئومورفولوژی در سطح خارجی پوسته باقی می‌ماند، تحت عنوان میراث اقلیمی گذشته می‌تواند به‌صورت کلیدی در حل مسائل مربوط به تحولات و تغییرات آن محیط بکار گرفته شود.

مطالعات مختلفی بر روی پلایاهای ایران و جهان صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. محمدی قیومی (۱۳۹۰) بررسی فرآیندهای ریخت‌زای پدیدآورنده‌ی تحولات مدنی و طبیعی زاینده‌رود در دوره‌ی کواترنری، کیانی و همکاران (۱۳۹۴) بررسی آثار تغییرات آب‌وهوایی فاز پایانی کواترنر بر سیر تکامل حوضه‌ی آبریز گاوخونی، درویشی‌خاتونی (۱۳۹۹) بازسازی شرایط مورفوکلیماتیک زاگرس جنوب‌غربی در طول هولوسن (مطالعه‌ی موردی: دریاچه‌ی آب‌الو)، رحیم‌پور بناب و عبدی (۲۰۱۴) بررسی رسوب‌شناسی و کانی‌های رسی پلایای میقان در راستای شناسایی آب‌وهوای گذشته‌ی این منطقه، شریفی (۲۰۱۵) بازسازی شرایط اقلیمی پلیستوسن پسین و هولوسن در دریاچه‌ی نئور با مطالعه‌ی آنومالی عناصر، قهرودی و خدری غریبوند (۱۳۹۵) مطالعاتی در زمینه‌ی رویکرد فرم-شناسی در استراتژی مدیریت تالاب گاوخونی، بوگمانز^۸ و همکاران در سال‌های (۲۰۱۶) و (۲۰۱۷) مطالعه در زمینه‌ی بازسازی محیط‌های رسوبی و تحول آن‌ها در طول کواترنری در جنوب خوزستان با برداشت ۶۶ مغزه‌ی رسوبی براساس

1 Kirllin and Shatwell

2 Hamzeh and Farahi Ghasr-Aboonasar

3 Martinez

4 Damnati

5 Brisset

6 Solotchina

7 Roop

8 Bogmans

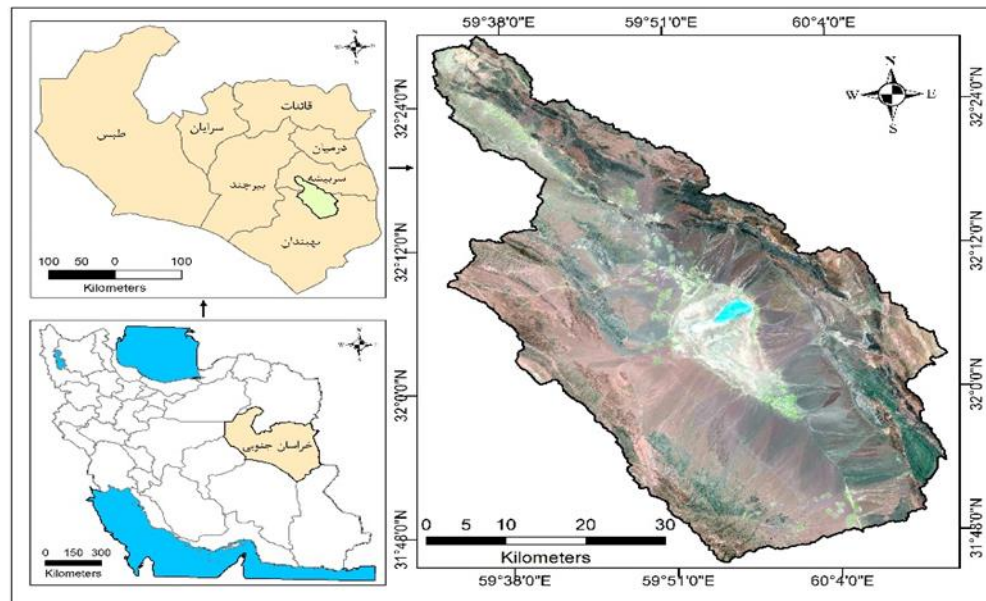
رسوب‌شناسی و آنالیزهای تعیین سن به روش ایزوتوپ کربن ۱۴، اکبری و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه محیط رسوبی گذشته با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمی و پالینولوژی در دریاچه‌ی گهر با استفاده از مغزه‌ی رسوبی، بریست^۱ و همکاران (۲۰۱۸) بررسی عوامل تاثیرگذار بر تغییرات هیدرولوژیکی دریاچه‌ی مهارلو در طول هولوسن پسین با استفاده از شواهد رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی، جلیلیان و همکاران (۲۰۲۱) مطالعه‌ی جغرافیا و ژئومورفولوژی دیرینه در پلایای گاوخونی با برداشت ۱۶ مغزه رسوبی، فتوحی و همکاران (۲۰۲۱) بررسی نهشته‌های بادی دریاچه-ی هامون در دوره‌ی هولوسن با برداشت مغزه‌های رسوبی.

با وجود پژوهش‌های انجام‌شده در ایران، که تغییرات آب‌وهوایی و وضعیت محیط و ژئومورفولوژی گذشته را نشان می‌دهد، اما برای بدست آوردن تصویری شفاف در شرق و سایر نقاط کشور نیاز به انجام پژوهش‌های متعددی است. به همین دلیل، انجام پژوهش‌های اقلیم و ژئومورفولوژی دیرینه ضروری است. از سوی دیگر، داده‌های حاصل از این پژوهش‌ها یکی از اساسی‌ترین ورودی‌ها در مدل‌سازی اقلیم دیرینه هستند و به بازسازی و کشف علت تغییرات اقلیمی کمک شایانی می‌کنند. درک تغییرات آب‌وهوایی در طول دوره کواترنری، برای فهم ویژگی‌های محیط طبیعی و آب‌وهوای کنونی ضروری است. انجام مطالعات پالئوژئومورفولوژی و تاریخچه‌ی تغییرات دیرینه در این پلایا می‌تواند به درک بهتر عوامل موثر بر تغییرات اقلیمی و سطح تراز آب در دوره‌های گذشته‌ی آن کمک نماید، تا با استفاده از روندیابی این تغییرات بتوان نسبت به تحلیل شرایط کنونی و تحولات آینده‌ی آن اقدام کرد و آن را به‌عنوان شاخصی برای بسط این مطالعات در سایر مناطق کشور ارائه داد. در این پژوهش سعی شده است با بررسی مطالعات ژئومورفولوژی، رسوب‌شناسی، شناسایی رخساره‌های رسوبی، شناسایی و تغییرات محیط‌های رسوبی در طول هولوسن به بازسازی شرایط محیطی و رسوب‌گذاری پلایای کجی نمکزار پرداخته شود.

منطقه مورد مطالعه

پلایای کجی نمکزار در استان خراسان جنوبی و در حوضه‌ی آبخیز سهل‌آباد بین طول ۵۹ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۱۴ دقیقه‌ی شرقی و ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه‌ی عرض‌های شمالی قرار گرفته است (صیادی و همکاران، ۱۳۹۹). منطقه‌ی مورد مطالعه در ۷۰ کیلومتری شمال نهبندان و حدود ۱۲۰ کیلومتری جنوب بیرجند در مسیر جاده بیرجند-نهبندان، در ارتفاع ۱۳۱۰ متری از سطح دریا قرار دارد (شیبانی، ۱۳۹۸). مساحت کلی حوضه‌ی آبخیز سهل‌آباد ۲۲۷۶۵ کیلومترمربع است که پلایای کجی نمکزار حدود ۷ کیلومترمربع از این مساحت را به خود اختصاص داده است (صیادی و همکاران، ۱۳۹۹). از نظر توپوگرافی، منطقه عمدتاً هموار بوده و در منتهی‌الیه شمال و تا حدودی شمال‌غرب آن رشته‌کوهی به‌نام باران و بهاران کشیده شده است که جزء محدوده‌ی اصلی پلایا نیست ولی باعث تنوع اکوسیستمی منطقه گردیده است (داودیان و همکاران، ۱۳۹۳). نهشته‌های کواترنری آن شامل رسوبات مخروط‌افکنه، تراس‌های آبرفتی، تپه‌های ماسه‌ای، رسوبات کف‌های نمکی و آبرفت‌های رودخانه‌ای است. این منطقه از نظر زمین‌ساختی گسله، خردشده و چین‌خورده است که در پهنه‌ای همگرا ایجاد شده است. مطالعات اولیه‌ی زمین‌شناسی ساختمانی نشان می‌دهد که این کف‌های نمکی (پلایای کجی نمکزار) یک حوضه‌ی فروافتاده‌ی رومبوندشکل و تا حدودی متقارن بوده که بر اثر عملکرد دو سری از گسل‌های راست‌الغز راست‌بر به‌وجود آمده‌اند. پلایای کجی نمکزار حوضه‌ای کششی است

که در اثر خمیدگی گسل راست‌الغز سهل‌آباد شکل گرفته است. محاسبه‌ی انحراف/جابجایی راست‌بر کانال رودها در گستره‌ی منتهی به پلایای کجی نمکزار نشانگر زمین‌ساخت پویا و گسترش آن در این ناحیه است (شیبانی، ۱۳۹۸) (شکل ۱).



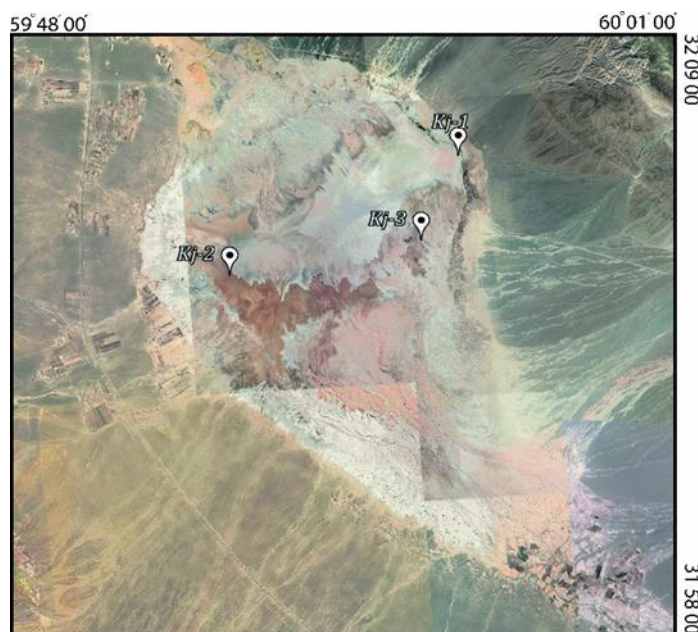
شکل ۱: موقعیت پلایای کجی نمکزار

مواد و روش کار

طی مطالعات میدانی صورت‌گرفته، ۳ مغزه‌ی رسوبی دست‌نخورده از رسوبات بستر پلایای کجی نمکزار برداشت شد (شکل ۲). مغزه‌های برداشت‌شده دارای عمق متوسط ۸ متر و بیشینه عمق ۸/۸ متر می‌باشند (جدول ۱). مغزه‌ها توسط یک عدد مغزه‌گیر دستی از نوع «Handy Auger» تهیه و مکان دقیق مغزه‌ها توسط GPS ثبت گردید. توصیف مغزه‌ها براساس بافت، ویژگی‌های لایه‌بندی، رنگ، وجود بقایای جانوری و گیاهی، نوع بلورهای تبخیری و درجه نسبی سخت‌شدگی رسوبات و نوع بلورهای تبخیری انجام شد (شکل ۳). از مغزه‌های برداشت‌شده عکس تهیه و ستون چینه‌شناسی آن‌ها رسم گردید (شکل ۴).

جدول ۱: موقعیت و برخی مشخصات مغزه‌های برداشت‌شده

نام مغزه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عمق مغزه (سانتی‌متر)	تعداد نمونه
KJ-1	32°06' 9.40"N	59°57' 31.50"E	۱۳۰۹	۸۶۰	۸۸
KJ-2	32°04' 6.60"N	59°53'25.30"E	۱۳۳۸	۸۸۰	۴۵
KJ-3	32°05' 25.50"N	59°56'38.20"E	۱۳۲۷	۶۹۱	۳۵



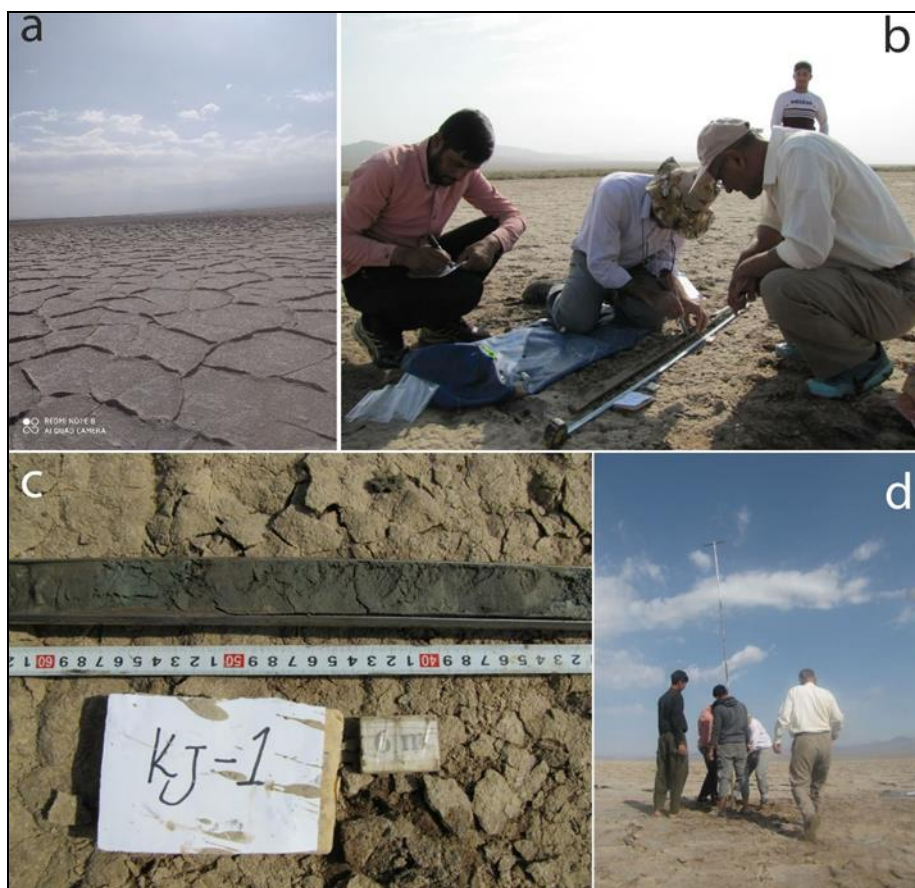
شکل ۲: موقعیت مغزه‌های برداشت‌شده از رسوبات بستر پلایای کچی نمکزار

در این پژوهش سعی شد موقعیت برداشت مغزه به‌گونه‌ای باشد که امکان برداشت بیشترین ضخامت از رسوبات بستر پلایا میسر و در هر واحد همگن دست‌کم یک نمونه برداشت شود. از مغزه‌های برداشت‌شده با دوربین عکاسی دیجیتالی عکس تهیه و توصیف مغزه 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 ۳).

نمونه‌برداری از مغزه‌ها با تغییرات رخساره‌ای و وجود فاصله‌ی منطقی از نمونه قبلی انجام گرفت. نمونه‌های برداشت‌شده جهت آماده‌سازی و انجام آنالیز دانه‌بندی بر اساس دستورالعمل‌های لوئیس^۱ و مک‌کونچی 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. به‌منظور تعیین اندازه‌ی ذرات رسوبی، نمونه‌ها داخل الک شیکر مرطوب مدل «Analysette 3» ساخت شرکت «Fritsch» آلمان قرار گرفت و به‌روش تر به‌مدت متوسط ۳۰ دقیقه اندازه‌های مختلف دانه‌ها از هم

1. Lewis

جدا شدند. این نمونه‌ها، پس از خشک‌شدن، وزن شدند (تاکر ۱۹۸۸) و درصد ذرات تشکیل‌دهنده‌ی رسوبات مشخص شد. دانه‌بندی ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون (سیرو و همکاران ۲۰۰۵؛ محمدی ۱۳۸۹) به کمک دستگاه دانه‌بندی لیزری^۱ آنالیز شد.



شکل ۳: (a) نمایی از رسوبات بستر پلایای کجی نمکزار؛ (b) نمونه‌برداری و توصیف مغزه‌های برداشت‌شده؛ (c) نمونه‌ای از مغزه رسوبی دست‌نخورده‌ی برداشت‌شده توسط مغزه‌گیر اوگر؛ (d) عملیات مغزه‌گیری به صورت دستی از بخش شرقی پلایا

یافته‌های پژوهش

رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی

در سه مغزه‌ی مورد مطالعه هفت رخساره‌ی رسوبی اصلی شناسایی شد. رخساره‌ها غالباً رسوبات رس، سیلت، ماسه و رسوبات بینابینی همراه بقایای گیاهی و رسوبات تبخیری بوده که در بیشتر موارد تناوب و تداخل در رسوبات یادشده به‌کرات دیده می‌شود (شکل ۴). تغییرات در اندازه‌ی ذرات بین رس تا ماسه با توجه به انرژی محیط، تغییر فرآیندها، میزان ورودی رودخانه‌ها، حضور مواد آلی، رنگ رسوبات، میزان pH، تغییرات شوری و دما، و وقوع خشک‌سالی‌ها در طول مغزه‌ها بوده است (لک و همکاران ۱۳۹۰). در مغزه‌های مورد مطالعه، رخساره‌ها نشان می‌دهند که این محیط رسوبی تحت‌تاثیر رسوبات تالابی، پلایایی و مخروط‌افکنه‌ای هستند. رخساره‌های مخروط‌افکنه‌ای رسوبات دانه‌ریز گلی، فاقد ماده‌ی آلی، سفت و قرمز رنگ همراه رسوبات دانه‌درشت در حد ماسه‌ی دانه‌درشت و بزرگ‌تر دارند که از دامنه‌ی کوه‌های اطراف وارد حوضه‌ی پلایایی شده‌اند. رخساره‌ی تالابی با رسوبات خاکستری تا سبز روشن (مشخصه‌ی محیط‌های احیایی)، گلی و دانه‌ریز همراه با ماده‌ی آلی، بقایای گیاهی، دارای رطوبت بالا همراه لامینه‌های نازک، با میان‌لایه‌های رسوبات دانه‌درشت‌تر (سیلتی) مشخص شد. مشخصه‌ی محیط‌های پلایا وجود بسیار زیاد کانی‌های تبخیری از جمله نمک و ژپس اولیه و ثانویه، رسوبات به‌رنگ قهوه‌ای تیره می‌باشد. لازم به‌ذکر است که شرایط امروزی پلایای کجی نمکزار، محیط پلایایی می‌باشد. رخساره‌های موجود در مغزه‌ها، به اختصار در ادامه می‌آید.

– **رخساره‌ی رس (CI):** این رخساره با رنگ‌های متنوع در ستون چینه‌ای مغزه‌های ۱ و ۲ قابل مشاهده است و به‌رنگ‌های خاکستری تیره و روشن، قهوه‌ای روشن و تیره نمود دارد. لکه‌های اکسیدان، ماده‌ی آلی لکه‌ای سیاه‌رنگ و بقایای صدفی خردشده و سالم، بقایای گیاهی، و ریشه‌ی گیاهان در برخی موارد مشاهده می‌شود. رنگ تیره شرایط احیایی محیط و حضور قابل‌ملاحظه‌ای ماده‌ی آلی را نشان می‌دهد که بیانگر محیط دریاچه‌ای است (ریدینق، ۱۹۹۶). این رخساره، به‌همراه ماده‌ی آلی، بقایای گیاهی به‌رنگ‌های طوسی و خاکستری دیده می‌شود. رخساره‌ی رس با ضخامت قابل‌توجه ۲۵ تا ۶۸۰ سانتی‌متری در مغزه‌ی شماره‌ی ۲ با رنگ قهوه‌ای تیره و روشن دیده می‌شود. در مغزه‌ی شماره‌ی ۱ رخساره‌ی رس در عمق ۴۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری با رنگ قهوه‌ای متمایل به خاکستری قابل مشاهده است. تناوب متوالی این رخساره با رخساره‌های تبخیری، نشان‌دهنده‌ی تغییر فرآیند غالب و انرژی آب‌های ورودی به تالاب است که به‌کرات در مغزه‌ها مشاهده می‌شود. هم‌چنین، رنگ قهوه‌ای این رخساره در مغزه‌ی شماره‌ی ۲ در اثر هوازدگی و وجود اکسید آهن بوده و معرف رسوبات دوره‌ی خشک با مقدار بارندگی ناچیز یا خروج رسوبات از آب (لای و همکاران ۱۹۹۶) می‌باشد. این رخساره غالباً مربوط به محیط رسوبی تالابی است و رس‌های قرمز رنگ آن، محیط مخروط‌افکنه و دشت سیلابی رودخانه‌های فصلی را نشان می‌دهد (شکل ۴).

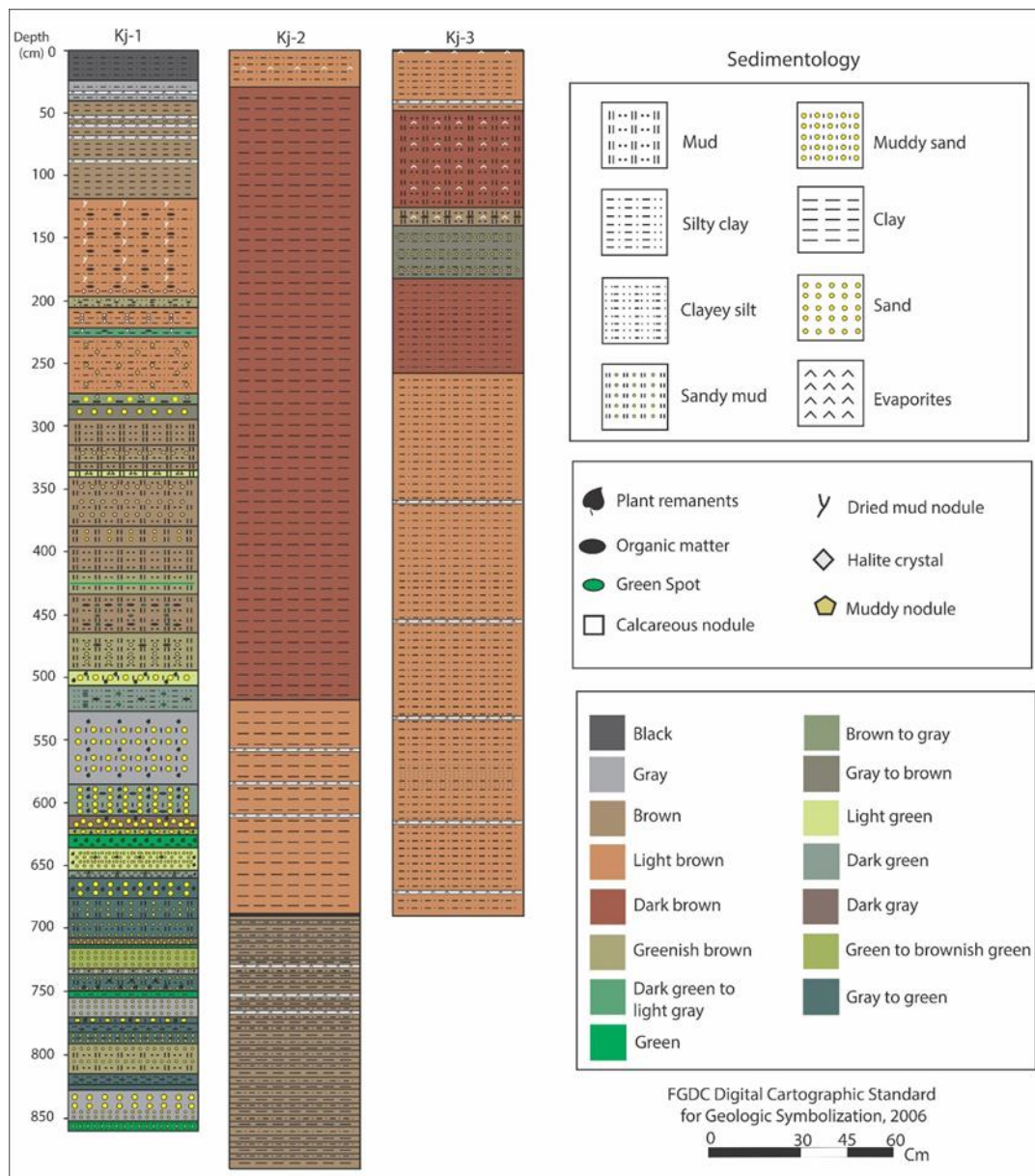
– **رخساره‌ی رس سیلتی (CIS):** این رخساره با ضخامتی قابل‌توجه در مغزه‌های برداشت‌شده به‌خصوص در مغزه‌ی شماره‌ی ۳ وجود دارد. این رخساره با رنگ‌ها و خصوصیات متفاوت در عمق‌های مختلف (در مغزه‌ی شماره‌ی ۱: ۰ تا ۲۵ و ۱۲۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متری، در مغزه‌ی شماره‌ی ۲: ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری، در مغزه‌ی شماره‌ی ۳: ۰ تا ۵۰ سانتی‌متری و ۱۵۰ سانتی‌متری تا انتهای مغزه) قابل مشاهده است. رنگ‌های خاکستری تیره، خاکستری روشن، طوسی، سبز تیره تا روشن، قهوه‌ای روشن تا تیره، و رنگ‌های بینابین نیز دیده می‌شود. این رخساره دارای لکه‌های قرمز رنگ اکسیدان، لامینه و لکه‌های سیاه‌رنگ ماده‌ی آلی و بقایای گیاهان است. محیط رسوبی این رخساره نشان‌دهنده‌ی تناوب محیط‌های مخروط‌افکنه‌ای و دریاچه‌ای در این پلایا است (شکل ۴).

- **رخساره‌ی گل (MU):** رخساره‌ی گل با ضخامت تقریباً کم و لامینه‌بندی ظریف در ستون مغزه‌ها وجود دارد. این رخساره با رنگ‌های طوسی تا طوسی متمایل به سبز در عمق ۵۰ سانتی‌متری تا ۱۲۰ سانتی‌متری مغزه‌ی شماره‌ی ۳ و عمق ۳ تا ۵ متر در مغزه‌ی شماره‌ی ۱ به صورت میان‌لایه‌هایی در بین رس سیلتی قابل مشاهده است. این رخساره اولین رخساره‌ی دریاچه‌ای بعد از رسوبات مخروط‌افکنه‌ای یا به عبارت دیگر در انتهای رسوبات دریاچه‌ای برداشت‌شده از بستر پلایای کجی نمکزار است و پایین‌تر از این رخساره دانه‌های درشت مشهود است. محتوای این رخساره شامل لکه‌های ماده‌ی آلی و بقایای گیاهی است. رسوبات این رخساره تا حدودی چسبنده و متراکم است و در مغزه‌ی برداشت‌شده از حاشیه‌ی شمالی پلایا گسترشی قابل‌ملاحظه دارد. این رخساره نشان‌دهنده‌ی رسوبات محیط تالابی احتمالاً با عمق کمتر و آورد رسوبی بالا از طریق آبراهه‌های سطحی به تالاب است. در مجموع محیط رسوبی رخساره‌ی گلی با توجه به خصوصیات مختلف جانبی مربوط به محیط تالابی کم‌عمق یا محیط حاشیه‌ی تالاب است (شکل ۴).

- **رخساره‌ی سیلت رسی (SiC):** این رخساره غالباً به رنگ خاکستری تیره تا قهوه‌ای روشن تا ضخامت حدود ۵۰ سانتی‌متر نیز قابل مشاهده است. رسوبات این رخساره لکه‌های ماده‌ی آلی و بقایای گیاهی دارد. این رخساره غالباً در عمق‌های حدود ۲ تا ۳ متر بستر فعلی پلایا 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 ۴). در مغزه‌ی شماره‌ی ۱ به صورت تناوبی و لامینه‌ای با رخساره‌ی رس و رس سیلتی، به رنگ 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، نشان‌دهنده‌ی محیط حاشیه‌ی تالابی و دهانه‌ی آبراهه‌هاست.

- **رخساره‌ی ماسه (Sa):** این رخساره به رنگ خاکستری روشن تا قهوه‌ای روشن شامل ماسه‌ی دانه‌ریز تا دانه‌ی متوسط از جنس ذرات تخریبی است. در برخی عمق‌ها تناوبی از رخساره‌ی ماسه‌ای و گلی با ضخامت خیلی کم قابل مشاهده است. در برخی موارد نیز رخساره گلی به صورت عدسی‌هایی کوچک در بین رخساره ماسه‌ای دیده می‌شود. این رخساره غالباً در دلتاهای واردشده به دریاچه تشکیل و در حاشیه‌ی دریاچه یا تالاب نهشته شده است، لذا بیانگر محیط دریاچه‌ای یا تالابی است (لک و همکاران، ۲۰۰۴). در مغزه‌ی شماره‌ی ۱، حضور رخساره‌های ماسه‌ای قهوه‌ای روشن و رخساره‌های گلی قهوه‌ای رنگ دلیلی بر حضور محیط‌های آبی کم‌عمق به همراه دوره‌های خشکی و بادخیزی متناوب است (موسوی حرمی، ۱۳۶۷) (شکل ۴).

- **رخساره‌ی ماسه‌ی گلی و گل ماسه‌ای (MS):** رخساره‌ی گل ماسه‌ای و ماسه‌ی گلی در عمق‌های مختلف با ضخامت محدود با رنگ‌ها و خصوصیات متفاوت قابل مشاهده است. غالباً به رنگ‌های طوسی تا خاکستری و سبز تیره تا روشن و قهوه‌ای روشن دیده می‌شود که وابسته به نوع محیط رسوبی دارای لکه‌های اکسیدان، لکه‌های ماده‌ی آلی و کریستال‌های تبخیری می‌باشد. محیط رسوبی این رخساره با توجه به خصوصیات مختلف جانبی متفاوت می‌باشد، ولی غالباً نشان‌دهنده محیط‌های دشت سیلابی رودخانه و پلایا می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴: ستون چینه‌ای مغزه‌های برداشت‌شده از پلایای کجی نمکزار

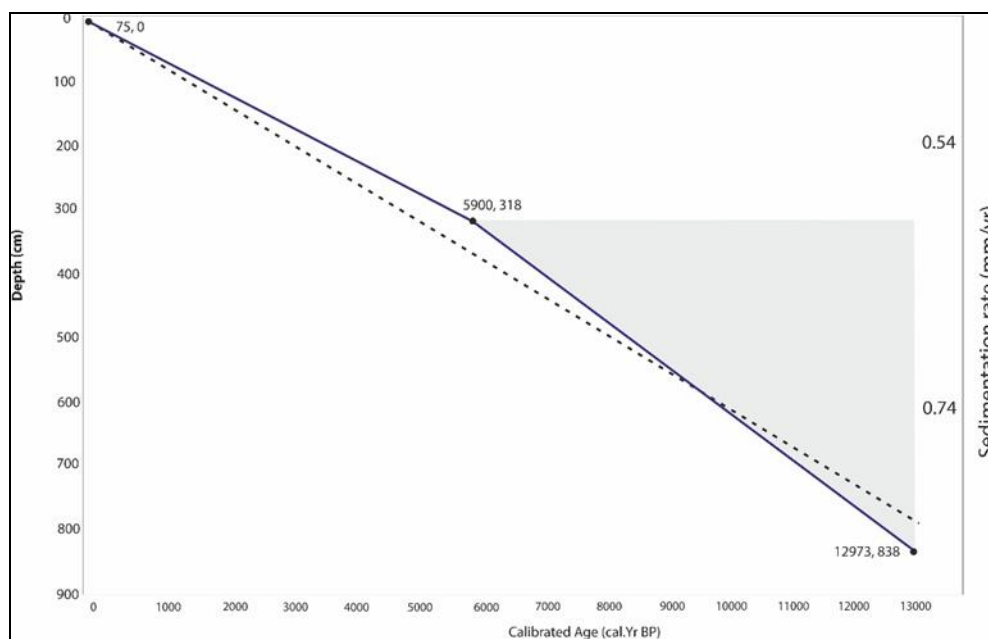
میزان رسوب‌گذاری در پلایای کجی نمکزار

با توجه به نتایج سن‌سنجی واعظی و همکاران (۲۰۱۹) و حمزه و همکاران (۲۰۱۶) نرخ متوسط رسوب‌گذاری در پلایای جازموریان و هامون حدود ۰/۴ میلی‌متر در سال است. این میزان در قسمت‌های مختلف، متفاوت بوده و در عمق‌های مختلف ۰/۱ تا ۰/۹۲ میلی‌متر در سال می‌باشد. در دوره‌ی هولوسن نرخ رسوب‌گذاری در مرکز پلایای جازموریان حدود ۰/۱ میلی‌متر در سال می‌باشد که این میزان برای پلیستوسن پایانی چیزی حدود ۲/۵ میلی‌متر در سال است. نرخ

رسوب‌گذاری در پلایای کجی نمکزار (جدول ۲، شکل ۵) در طول هولوسن با توجه به دیگر مطالعات انجام‌شده در ایران، قابل‌مقایسه با پلایای میقان (یوسفی‌راد و همکاران، ۱۳۸۹) با نرخ ۰/۲۵ میلی‌متر در سال، پلایای گاوخونی با نرخ ۰/۴ میلی‌متر در سال (جلیلیان و همکاران، ۲۰۲۱)، تالاب هشیلان (صفایی‌راد و همکاران، ۱۳۹۳) با نرخ ۰/۳ میلی‌متر در سال، دریاچه‌ی مهارلو (لک، ۱۳۸۶) با نرخ ۰/۲۲ میلی‌متر در سال و دریاچه‌ی ارومیه (کلتس و شهرابی، ۱۹۸۶) با نرخ ۰/۱۷۵ تا ۰/۳ میلی‌متر در سال می‌باشد. با توجه به عمق مغزه‌های برداشت‌شده از پلایای کجی نمکزار با نرخ متوسط رسوب‌گذاری ۰/۶۴ میلی‌متر در سال می‌توان تغییرات اقلیمی و محیطی حداقل ۱۳ هزار سال گذشته در شرق ایران را بازسازی کرد.

جدول ۲: داده‌های سن رادیوکربن و سن کالیبره شده در مغزه شماره‌ی ۱ پلایای کجی نمکزار

Depth (cm)	Lab. no	Measured 14C age (years BP)	Mean calibrated 14C age (years BP)
318	YAUT-094333	5132±29	5900
838	YAUT-095904	11041±50	12973



شکل ۵: مدل سن - عمق و نرخ رسوب‌گذاری برای رسوبات بستر پلایای کجی نمکزار

یافته‌ها و بحث

تفسیر مغزه‌های رسوبی جهت تعیین جغرافیا و اقلیم گذشته

با بررسی ستون‌های چینه‌ای مغزه‌های برداشت‌شده از بستر پلایای کجی نمکزار، به فعالیت فرآیندهای مختلف آبی در محیط‌های مختلف رسوبی هولوسن می‌توان پی‌برد. با توجه به شکل و شیب حوضه، این فرآیندها از حاشیه‌ی جنوبی به-

سمت مرکز پلایا دچار تحولات و تغییرات جانبی می‌شود؛ به‌گونه‌ای که از جنوب به شمال و از غرب به شرق شرایط رسوب‌گذاری متفاوت است.

با توجه به نتایج سن‌سنجی در پلایای کجی نمکزار، مغزه‌های برداشت‌شده با بیشینه‌ی عمق ۸۵۰ سانتی‌متر حدود ۱۳۰۰۰ سال را پوشش می‌دهند. بنابراین، بررسی شرایط اقلیمی پلایای کجی نمکزار در هولوسن و پلیستوسن پایانی مقدر می‌شود که شرح آن در ادامه می‌آید.

در خصوص نوسانات سطح تراز دریاچه‌های داخلی ایران در طول هولوسن می‌توان گفت که این نوسانات تا حدود زیادی با یکدیگر هم‌خوانی دارند. در دریاچه‌ی مهارلو، یک فاز مهم دوره‌ی خشک در رسوبات دریاچه‌ای از ۴۳۰۰ تا ۵۲۵۰ سال پیش به مدت حدود ۹۵۰ سال اتفاق افتاده است. دو فاز دوره‌ی خشک دیگر مربوط به حدود ۱۸۰۰ و ۲۰۰۰ سال پیش بوده که دنبال کردن آن در تمام گستره‌ی دریاچه مشکل است. در این دریاچه بخش‌های مختلف، شرایط یکسان نداشته‌اند و در حواشی دریاچه طول مدت دوره‌ی خشک در برخی موارد تا ۶۰۰ سال بیشتر از بخش‌های مرکزی بوده است (لک، ۱۳۸۶). در دریاچه‌ی زریبار تغییر در ارگانوسم‌ها، بیانگر افزایش دما در بازه‌های زمانی ۲۱۰۰۰، بین 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 دوره‌ی ۷۵۰۰ تا ۷۸۰۰ و ۳۸۰۰ تا ۴۵۰۰ سال پیش با شواهدی جزئی‌تر گزارش شده است (واسیلیکوا و همکاران ۲۰۰۶). اقلیم هولوسن بر اساس تغییرات ایزوتوپ اکسیژن، گرده‌های گیاهی، و نسبت استرانسیم بر کلسیم در دریاچه‌ی میرآباد نیز حاکی از وجود یک دوره‌ی خشک در ۵۴۰۰ سال پیش و دوره‌ی خشک دیگری در ۱۵۰۰ سال پیش است (استیونس ۲۰۰۶). در دریاچه‌ی ارومیه در ۱۳۰۰۰ سال قبل دوره‌ی خشکی گزارش شده که با رسوبات قرمز رنگ در مغزه‌های برداشت‌شده آشکار شده است (درویشی خاتونی، ۱۳۹۰). زمان ظهور دوره‌های خشک و مرطوب در دریاچه‌های هشیلان (صفایی‌راد و همکاران، ۱۳۹۳)، زریبار (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۳)، گهر (اکبری و همکاران، ۱۳۹۵)، آب‌الو (درویشی خاتونی و همکاران، ۱۳۹۸) و مهارلو (لک، ۱۳۸۶) با کمی تاخیر یا تعجیل رخ داده است.

با توجه به ستون چینه‌ای مغزه‌ها، وجود نهشته‌های تالابی در مغزه‌ی شماره‌ی ۱ به‌خوبی قابل مشاهده است. تنوع رخساره‌های رسوبی در مغزه‌ی شماره‌ی ۱، بیشتر از مغزه‌های دیگر است. در این نقطه از پلایا با کوچک‌ترین تغییر در میزان بارش و پوشش گیاهی رسوبات تحت‌تاثیر قرار گرفته‌اند، درحالی که در مغزه‌های ۲ و ۳ به‌دلیل دوری از منطقه‌ی موثر اقلیمی غالباً شرایط پلایایی برقرار بوده است. در مغزه‌ی شماره‌ی ۱ رسوبات غالب سیلتی و ماسه‌ای به‌همراه مواد آلی و بقایای گیاهی وجود دارد. از عمق ۸۶۰ سانتی‌متری تا عمق ۶۰۰ سانتی‌متری رسوبات سبز و سبز متمایل به خاکستری دیده می‌شود. در این محدوده‌ی عمقی که سنی حدود ۱۵ تا ۲۲ هزار سال پیش را شامل می‌شود، شرایط بهینه‌ی اقلیمی متصور است. این شرایط اقلیمی به دیرینه‌اندازهای «Older Dryas» ۱۴۵۰۰ تا ۱۶۵۰۰ سال پیش منتهی می‌شود (راب، ۲۰۰۹) که در این دوره‌ها آب‌وهوای نیم‌کره‌ی شمالی سردتر شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲). در این بازه‌ی زمانی در مغزه‌های ۲ و ۳ با توجه به تغییر در نرخ رسوب‌گذاری شرایط متفاوت است. در مغزه‌ی شماره‌ی ۲ در بخش غربی پلایا شرایط دشت سیلابی و در برخی قسمت‌ها رسوبات دارای لایه‌بندی و لامینه‌بندی به‌رنگ قهوه‌ای متمایل به خاکستری به‌وجود آمده است. در بخش‌های شرقی در مغزه‌ی شماره‌ی ۳ رسوبات یک‌دست قهوه‌ای رنگ به‌همراه کانی‌های ژئوپس ثانویه حاصل از محلول‌های سولفات قابل مشاهده است. در این بخش از پلایا به‌دلیل بالابودن سطح زمین نرخ رسوب‌گذاری اندک و شرایط بخش پایین‌دست مخروط‌افکنه را تداعی می‌کند. از عمق

۴۶۰ تا ۶۰۰ سانتی‌متری، بازه‌ی زمانی ۱۱/۵ تا ۱۵ هزار سال در مغزه‌ی شمالی رخساره‌های دریاچه‌ای و دانه‌درشت حاصل از حمل رسوبات از خارج یا حاشیه‌ی حوضه به سمت مرکز حوضه تبدیل به رخساره‌های پلایایی و دانه‌ریزتر می‌شود. وجود رنگ قهوه‌ای روشن حکایت از خروج این رسوبات از آب و ایجاد شرایط اکسیدی دارد. به نظر می‌رسد به صورت تدریجی از شرایط دریاچه‌ای به سمت شرایط حاشیه‌ی دریاچه‌ای یا پلایایی با سطح آب پایین تغییر یافته است. در این بازه‌ی زمانی شرایط در مغزه‌های ۲ و ۳ نیز نشان‌دهنده‌ی شرایط خشک‌تر می‌باشد. با شروع هولوسن، افزایش دما تا ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد (کوفی و کلاو، ۱۹۹۷)، منجر به نهشته‌شدن رسوبات پلایایی، دلتایی و آبرفتی شده است و پیشروی خشکی به سمت مرکز دریاچه اتفاق افتاده است. این وضعیت تا مناطق مرکزی پلایای کجی نمکزار نیز ادامه داشته است. نکته‌ی قابل توجه، اینکه بعد از یانگردریاس (۱۱۶۰۰ تا ۱۲۸۰۰ سال پیش) ابتدا نهشته‌های پلایایی از بخش ساحلی به سمت دریاچه گسترش پیدا کرده‌اند و سپس نهشته‌های آبرفتی از غرب پلایا وارد حوضه شده و بخشی از نهشته‌های پلایایی قبلی را از طریق فرسایش آبی به بخش جنوبی حوضه منتقل نموده است که در نتیجه‌ی آن ندول‌های گلی قهوه‌ای‌رنگ در عمق ۴۵۰-۵۰۰ سانتی‌متری قابل مشاهده است.

در عمق ۲۹۵ تا ۴۶۰ سانتی‌متری در مغزه‌ی شماره‌ی ۱ با توجه به وجود رخساره‌های گلی قهوه‌ای‌رنگ به همراه ندول‌های گلی متمایل به رنگ زرد که از عمق بیشتر به عمق کم به صورت تدریجی نمایان می‌شود، نشان‌دهنده‌ی یک دوره‌ی سرد و خشک در این پلایا می‌باشد. این دوره‌ی خشک احتمالاً در بازه‌ی زمانی بین ۱۰-۷/۵ هزار سال پیش رخ داده است. این دوره‌ی خشک که به نظر می‌رسد با دوره‌ی خشک ۸۲۰۰ سال پیش در تغییرات دمایی کره‌ی زمین در طول هولوسن مصادف باشد (راپ، ۲۰۰۹)، در منطقه‌ی بین‌النهرین به صورت سرد و خشک عمل کرده و هم‌زمان با رخداد‌های یخرفتی در منطقه‌ی اطلس شمالی، ضعیف‌شدن جریان‌های موسمی در حدود ۹۰۰۰ سال پیش به همراه رخداد‌های خشکی شدید در جنوب غرب آسیا (خاورمیانه) شده است (پارکر و همکاران، ۲۰۰۶). در ایران در بسیاری از سایت‌های مطالعه‌شده دوره‌ی خشک ۸۲۰۰ سال پیش با ظهور ماسه‌های بادی زردرنگ در مغزه‌های پلایای جازموریان (واعظی و همکاران، ۲۰۱۹؛ بیات، ۱۴۰۱)، مطالعات حمزه و همکاران (۱۳۹۵) در رسوبات بستر هامون و مطالعات جلیلیان و همکاران (۲۰۲۱) در پلایای گاوخونی نیز گزارش شده است. جاکس و کمپ (۱۹۸۳) عقیده دارند عملکرد بادهای شدید در اواسط هولوسن موجب حفر کانالی با طول ۲۰۰ کیلومتر و پهنا‌ی ۲۰ کیلومتر در جهت شمال غربی - جنوب شرقی بین مخروط‌افکنه‌ی رودخانه‌های شمال حوضه‌ی هامون و گوشه‌ی جنوب شرقی حوضه‌ی هامون گردیده است.

بعد از دوره‌ی خشک احتمالی ۸۲۰۰ سال پیش در منطقه یک دوره‌ی کوتاه‌مدت بهینه‌ی اقلیمی در عمق حدود ۲۹۵-۱۹۵ سانتی‌متری با میانگین سنی حدود ۷-۵ هزار سال پیش در مغزه‌های برداشت‌شده قابل مشاهده است. این دوره‌ی مرطوب به صورت تدریجی در توالی رسوبات ظهور می‌کند. با ادامه به سمت توالی‌های سطحی دچار نوسانات اقلیمی اندکی می‌شود و به صورت ناگهانی با شروع رخساره‌های گلی قهوه‌ای‌رنگ دیگر خاتمه پیدا می‌کند.

از عمق حدود ۱۲۰ تا ۱۹۵ سانتی‌متری در مغزه‌ی شمالی پلایای کجی نمکزار شرایط خشک با ظهور رخساره‌ی رس سیلتی قهوه‌ای‌رنگ با حضور ندول‌های گلی خشک و کانی‌های تبخیری مانند هالیت قابل مشاهده است. این دوره‌ی خشک با توجه به سن میانگین استخراج‌شده از حدود ۴۸۰۰ سال پیش شروع شده و ۳۵۰۰ سال پیش ادامه داشته است. این دوره‌ی زمانی با دوره‌ی خشک حدود ۴۲۰۰ سال پیش هم‌خوانی دارد. این دوره‌ی خشک در سایت‌های شرق ایران با ظهور رخساره‌ی ماسه بادی به رنگ قهوه‌ای روشن و پیشروی رخساره‌های پلایایی در حاشیه‌ی تالاب‌ها و دریاچه‌ها همراه است. وجود ماسه‌های بادی با ضخامت کم در این دوره نشان‌دهنده‌ی عدم فعالیت شدید بادها در مقایسه با خشکی

۸۲۰۰ سال پیش می‌باشد. این دوره‌ی خشک، انطباق مناسبی با واقعه‌ی خشکی ۴۲۰۰ سال گذشته در نیمکره‌ی شمالی نشان می‌دهد (استابواسر و همکاران، ۲۰۰۳) که در بخش‌های درون‌قاره‌ای آمریکای شمالی، در خاورمیانه، بخش‌هایی از آفریقا و آسیا با وسعت بالای خشکی گزارش شده است (بوث و همکاران، ۲۰۰۵؛ پارکر و همکاران، ۲۰۰۶؛ کوهن، ۲۰۰۳). این تغییرات اقلیمی گسترده در حدود ۴۲۰۰ سال پیش با ضعف و شدت متفاوت در قسمت‌های مختلف ایران گزارش شده است. در رسوبات بستر دریای عمان در محدوده‌ی سنی 4025 ± 125 سال (کولن و همکاران ۲۰۰۰)، در دریاچه‌ی مهارلو بین ۴۳۰۰ تا ۵۲۵۰ سال پیش (لک، ۱۳۸۶)، در دریاچه‌ی زریوار بین ۳۸۰۰ تا ۴۵۰۰ سال پیش (واسیلیکوا و همکاران ۲۰۰۶)، در دریاچه‌ی میرآباد در ۵۴۰۰ پیش و خشکی‌های کوتاه‌مدت با تغییراتی در فصل بارش در ۳۵۰۰ تا ۴۰۰۰ 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 در بین‌النهرین (محمدی، ۱۳۹۰) و افول تمدن در شهر سوخته در حدود ۴۵۰۰ سال پیش (واثق‌عباسی و همکاران ۱۳۹۵) رخ داده است.

به‌طور کلی می‌توان چنین بیان کرد که در پلایای کجی نمکزار ورود رسوبات آواری دشت سیلابی و مخروط‌افکنه‌ای از غرب (رس قهوه‌ای‌رنگ) و شرق (گل قهوه‌ای‌رنگ) اتفاق افتاده است. رسوبات قهوه‌ای‌رنگ در مغزه‌های ۲ و ۳ ضخامت قابل توجهی را به خود اختصاص داده است. این دوره‌ی خشک با کاهش میزان ورود مواد آواری به تالاب و بالارفتن میزان رسوب‌گذاری و نبود بقایای گیاهی و صدفی در بخش چیره توالی مشهود است. این دوره‌ی خشک به‌صورت تدریجی در منطقه شروع شده و از طرفی با روند سریع‌تری هم به‌پایان رسیده است. در واقع باید ویژگی آخرین چرخه‌ی یخچالی در مقیاس جهانی را ظهور نسبتاً آبی دوره‌های گرم و سپس، سردشدن تدریجی دانست. چرخه‌ای که در دوره‌ی پلیستوسن جدید چندین بار تکرار شد. همین موضوع دلیل ایجاد الگویی موسوم به دندان‌اره در نمودارهای دیرین اقلیم-شناختی است (Bradley, 2015; Lowe and Walker, 2015).

از عمق ۴۰ تا ۱۲۰ با سنی حدود ۳-۱ هزار سال پیش، شرایط باثبات و آرام پلایایی حاکم بوده است. این دوره، با نیمه‌ی خشک و سرد در منطقه همراه بوده است. این دوره‌ی نسبتاً مرطوب با مدل کوهن (۲۰۰۳) در رابطه با تغییرات سطح تراز دریاچه‌های شمال آفریقا و جنوب آسیا در طول هولوسن نیز هم‌خوانی دارد. از عمق ۴۰ سانتی‌متر تا سطح، با سنی حدود ۱۰۰۰ سال پیش تا به امروز، رخساره‌های رسوبی به‌صورت تدریجی تغییر می‌کنند. مطالعه‌ی رخساره‌های رسوبات بستر پلایای کجی نمکزار نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی در حدود ۱۰۰۰ سال پیش به‌صورت تدریجی اتفاق افتاده است. در این بخش از توالی رسوبات بستر پلایای کجی نمکزار، رسوبات رس سیلتی به‌همراه لکه‌های مواد آلی و بقایای گیاهی مشاهده می‌شود. وجود رسوبات طوسی‌رنگ حاکی از محیط کم پلایایی کم‌عمق است (لای و همکاران ۱۹۹۶).

نتیجه‌گیری

جمع‌بندی بررسی‌های رسوب‌شناسی، اقلیم دیرینه، و جغرافیای دیرینه‌ی پلایای کجی نمکزار به‌طور خلاصه به‌شرح زیر است. در مغزه‌های مورد مطالعه، هفت رخساره‌ی رسوبی اصلی شناسایی شد. رخساره‌ها غالباً دارای رسوبات رس، سیلت، ماسه و رسوبات بینابینی همراه بقایای گیاهی و ماده‌ی آلی است که در بیشتر موارد تناوب و تداخل در رسوبات یادشده به‌کرات دیده می‌شود. در رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه در مجموع، رخساره‌ها نشان‌دهنده‌ی سه محیط رسوبی تالابی، پلایایی و مخروط‌افکنه است. با توجه به نتایج بررسی‌های رسوب‌شناسی انجام‌شده در منطقه‌ی شرق کشور، در طول پلئستوسن پایانی و هولوسن دست‌کم سه دوره‌ی مرطوب قابل شناسایی است. دست‌کم سه دوره‌ی مرطوب و یک دوره‌ی سرد و دو دوره‌ی گرم و خشک و دو دوره‌ی خشک و سرد در طول ۲۲ هزار سال گذشته شناسایی شد. دوره‌های مرطوب از ۱۵ تا ۲۲ هزار سال پیش و از ۵ تا ۷ سال پیش و یک دوره‌ی نسبتاً مرطوب در حدود ۱۰۰۰ سال پیش بوده است. دوره‌ی سرد و نیمه‌خشک از ۱۱/۵ تا ۱۵ هزار سال پیش و ۱ تا ۳ هزار سال پیش و دو دوره‌ی خشک از ۷ تا ۱۱/۵ هزار سال پیش و ۳ تا ۵ هزار سال پیش امتداد داشته است. در پلایای کجی نمکزار با توجه به پوشش ۱۳۰۰۰ ساله‌ی مغزه‌های برداشت‌شده، دوره‌های خشک به‌صورت ناگهانی با شدت بیشتر و مدت کمتر نسبت به دوره‌های مرطوب در منطقه ظاهر می‌شوند و به‌صورت تدریجی از دوره‌های خیلی خشک به دوره‌های نیمه‌خشک یا سرد، نیمه‌مرطوب و مرطوب منتهی می‌شوند.

منابع

- اکبری، طیبه، لک، راضیه، شهبازی، رضا، قدیمی، مهرنوش، اسدی، اشرف، کرمی، فریبا، ویگانده، پیترو، علیزاده، کمال‌الدین، بهلینگ، هرمان. (۱۳۹۵). تحلیل ژئوشیمی و پالینولوژیکی رسوبات دریاچه‌ی گهر و شناسایی آب‌وهوای دیرین زاگرس مرتفع، فصلنامه‌ی کواترنری ایران، ۲ (۱): ۲۷-۴۰.
- داودی، محمود، عزیزی، قاسم، مقصودی، مهران. (۱۳۹۳). بازسازی تغییرات آب‌وهوایی هولوسن در زاگرس جنوبی: شواهد گرده‌شناسی و زغال در رسوبات دریاچه‌ی پریشان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳ (۱): ۶۵-۷۹.
- داودیان، جواد، احمدی‌زاده، سیدسعید، رضایی، محمدرضا. (۱۳۹۳). بررسی تنوع پرندگان زمستان گذر تالاب کچی در خراسان جنوبی در یک دوره‌ی ۵ ساله (۱۳۸۹-۱۳۸۵)، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۶ (۳): ۹۹-۹۱.
- درویشی‌خاتونی، جواد. (۱۳۹۵). تغییرات فراوانی پلت‌آرتمیا اورمیانا در رسوبات بستر دریاچه ارومیه با نگرشی بر اقلیم دیرینه، مجله اکوبیولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اهواز، ۸ (۲): ۴۷-۶۲.
- درویشی‌خاتونی، جواد، فتوحی، صمد، نگارش، حسین، محمدی، علی. (۱۳۹۸). اقلیم و محیط دیرینه‌ی تالاب آب‌الو در استان خوزستان با استفاده از مغزه‌های رسوبی در هولوسن پسین. فصلنامه کواترنری ایران، ۵ (۳): ۳۲۳-۳۴۷.
- سادات‌حسینی، زهرا، خالدی، شهریار، نادری‌بنی، عبدالمجید. (۱۳۹۵). بازسازی دیرینه‌ی اقلیمی و پوشش گیاهی در حوضه‌ی دشت ارژن فارس در پلیستوسن پایانی و هولوسن بر اساس مطالعه‌ی گرده‌های گیاهی، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۷ (۲۷-۲۸): ۱۳-۱.
- شهبازی، رضا. (۱۳۹۴). مطالعه‌ی تحولات رسوبی دوره‌ی کواترنری به‌منظور تعیین الگوی طبیعی بیابان‌زایی در پلایا-تالاب شادگان، رساله دکتري، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۰۷ ص.
- شیبانی، لیلا. (۱۳۹۸). تحلیل ژئومورفولوژیکی پلایای سهل‌آباد در کواترنر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته ژئومورفولوژی (هیدرو ژئومورفولوژی)، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۵۷ ص.
- صفایی‌راد، رضا، عزیزی، قاسم، محمدی، حسین، علیزاده لاهیجانی، حمید. (۱۳۹۳). بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن و پلیستوسن منطقه‌ی زاگرس میانی با استفاده از شواهد گرده‌شناسی تالاب هشیلان، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳ (۱۱): ۲۰-۱.
- صیادی، محمدحسین، یوسفی، الهام، چمانه‌پور، الهام، (۱۳۹۹). برآورد سناریو محور نیاز آبی اکوهیدرولوژی تالاب‌ها در جهت توسعه‌ی پایدار منابع آبی (مطالعه‌ی موردی تالاب کچی نمکزار نهبندان)، محیط‌شناسی، ۴۶ (۱): ۱۹۴-۱۷۷.
- عزیزی، قاسم، اکبری، طیبه، هاشمی، حسین. (۱۳۹۲). تغییرات پوشش گیاهی و آب‌وهوای دیرین در طی گذار آخرین دوره‌ی یخبندان-هولوسن (مطالعه‌ی موردی: دریاچه‌ی نئور در شمال غرب ایران)، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۴ (۷): ۳-۱۲.
- عزیزی، قاسم، ملکی، سحر، کریمی، مصطفی، شهبازی، رضا، رستمی، هما. (۱۳۹۶). تغییرات اقلیم و پوشش گیاهی هولوسن در ایران، فصلنامه‌ی کواترنری ایران، ۳ (۳): ۲۰۵-۲۲۹.
- لک، راضیه. (۱۳۸۶). گزارش بررسی زمین‌شناسی دریاچه‌ی مهارلو، فاز I: هیدروژئوشیمی و هیدروژئوشیمی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰ ص.
- لک، راضیه، درویشی‌خاتونی، جواد، محمدی، علی. (۱۳۹۰). مطالعات پالتولیمینولوژی و علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه ارومیه، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد زاهدان، ۷ (۴): ۳۷۲-۳۵۷.
- مقصودی، مهران، جعفری‌گلو، منصور، رحیمی، امید. (۱۳۹۳). شواهد رسوبی تغییرات اقلیمی در دریاچه‌ی زیربار طی دوره‌ی هولوسن، ۴۶ (۱): ۴۳-۵۸.

- Asikainen CA Francus P and Brigham-Grette J. (2006). Sedimentology, clay mineralogy and grain-size as indicators of 65 ka of climate change from El'gygytyn Crater Lake, Northeastern Siberia. *J Paleolimnol*, DOI 10.1007/s10933-006-9026-5
- 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): 321-328
- Bradley, R. S. (2015). *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*, 3 rd ed. Elsevier.
- Brisset, E., Djamali, M., Bard, E., Borschneck, D., Gandouin, E., Garcia, M., Stevens, L., Tachikawa, K. (2018). Late Holocene hydrology of Lake Maharlou, southwest Iran, inferred from high-resolution sedimentological and geochemical analyses. *J Paleolimnology*. 61(1):111-128. [س](#)
- Bronk Ramesy, C., Lee, S. (2013). Recent and planned developments of the program OxCal, *Radiocarbon*, 55: 720-730.
- Calanchin, N., Dinelli, E., Lucchini, D., Mordenti, A. (1996). Chemostratigraphy of late Quaternary sediments from Lake Albano and central Adriatic Sea cores (PALICLAS Project), *Palaeoenvironmental Analysis of Italian*.
- Calvert, S. E., Pedersen, T. F. (2007). Elemental proxies for palaeoclimatic and palaeoceanographic variability in marine sediments: interpretation and application. In: Hillaire-Marcel, C., Vernal, A.D. (Eds.), *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography*, Elsevier, Amsterdam.
- Chang, A.S., Pedersen, T.F., Hendy, I.L. (2014). Effects of productivity, glaciation, and ventilation on Late Quaternary sedimentary redox and trace element accumulation on the Vancouver Island margin, western Canada. *Paleoceanography* 29, 2013PA002581.
- Chen, F., Liu, J., Xu, Q., Li, Y., Chen, J., Wei, H. (2013). Environmental magnetic studies of sediment cores from Gonghai Lake: implications for monsoon evolution in North China during the late glacial and Holocene. *J. Paleolimnol.* 49: 447-464. doi: 10.1007/s10933-012-9677-3
- Cullers, R.L., V.N. (2002). The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group, southeastern Russia, *Precambrian Research*, 117(3): 157-183.
- Damnati B, Etebaai I, Benjilani H, El Khoudri K, Reddad H, Taieb M (2016). Sedimentology and geochemistry of lacustrine terraces of three Middle Atlas lakes: Paleohydrological changes for the last 2300 cal BP in Morocco (western Mediterranean region). *Quaternary International*. 404: 163-173. doi:10.1016/j.quaint.2015.10.038
- Daniel R., Muhsa. E., Arthur B. G., Skipp, L. (2018). Geochemistry and mineralogy of late Quaternary loess in the upper Mississippi River valley, USA: Provenance and correlation with Laurentide Ice Sheet history, *Quaternary Science Reviews*, 187: 235-269.
- DeGelleke, L., Hill, P. S., Kienast, M., Piper, D. J. W., Sediment dynamics during Heinrich event H1 inferred from grain size, *Mar. Geol*, Vol. 336, pp. 160-169, 2013.
- Djamali, M. (2008). Palaeoenvironmental changes in Iran during the last two climatic cycles (vegetationclimate-anthropisation), PHD thesis, Sciences and Techniques faculty, university of Paulsezanne (AIXMARSEILLE III), 194 p.
- Du, S. H., Yongqiu, W. U., Lihua, T. (2018). Geochemical evidence for the provenance of aeolian deposits in the Qaidam Basin, Tibetan Plateau, *Aeolian Research*, 32: 60-70.

- Erbs-Hansen, D.R., Knudsen, K.L., Olsen, J., Lykke-Andersen, H., Underbjerg, J.A., Sha, L. (2013). Paleooceanographical development of Sisimiut, West Greenland, during the mid- and late Holocene: A multiproxy study. *Mar. Micropaleontol*, 102: 79-97.
- Eglinton, T.I., Eglinton, G. (2008). Molecular proxies for paleoclimatology. *Earth Planet.Sci. Lett.* 275: 1–16
- Evans, D., Müller, W., 2013. LA-ICPMS elemental imaging of complex discontinuous carbonates: An example using large benthic foraminifera. *J. Anal. At. Spectrom.* 28: 1039-1044
- Fernandes, V. A., Fritz, J., Weiss, B. P., Garrick-Bethell, I., Shuster, D. L. (2013). The bombardment history of the Moon as recorded by ⁴⁰Ar-³⁹Ar chronology, *Meteoritics & Planetary Science*, 48 (2): 241–269
- Gallala, W., Gaied, M.E. and Montacer, M. (2009). Detrital mode, mineralogy and geochemistry of the Sidi Aich Formation (Early Cretaceous) in central and southwestern Tunisia, implications for provenance, tectonic setting and paleoenvironment, *Journal African Earth Science*, 53: 159-170.
- Garzanti, E., Andro, S., Vezzoli, G. (2009). Grain-size dependence of sediment composition and environmental bias in provenance studies, *Earth Planet. Sci. Lett.* 277: 422-432
- Garçon, M., Chauvel, C., France-Lanord, C., Limonta, M., Garzanti, E. (2014). Which minerals control the Nd-Hf-Sr-Pb isotopic compositions of river sediments? *Chem. Geol.* 364: 42–55.
- Gayantha, K., Routh, J., Chandrajith, R. (2017). A multi-proxy reconstruction of the late Holocene climate evolution in Lake Bolgoda, Sri Lanka. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 473: 16–25.
- Govin, A., Holzwarth, U., Heslop, D., Ford Keeling, L., Zabel, M., Mulitza, S., Collins, J.A., Chiessi, C.M. (2012). Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36 N 49 S): Imprint of terrigenous input and continental weathering. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13(1).
- Haberyan, K., Hecky, R. (1987). The Late Pleistocene and Holocene stratigraphy and paleolimnology of Lakes Kivu and Tanganyika, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 61(3-4):169-197
- Hamzeh, M.A., Gharaie, M.H.M, Lahijani, H.A.K, Moussavi-Harami, R, Djamali, M, Naderi-Beni, M. (2016). Paleolimnology of Lake Hamoun (E IRAN): implication for past climate changes and possible impacts on Human settlements. *J Palaios.* 31(12): 616–629.
- Hamzeh, A.M., Farahi Ghasr-Aboonars, S.F. (2020). Palaeoenvironmental changes in the Khuran Estuary of SE coastal Iran during the last two millennia, based on the analysis of a sediment core. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* 542: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109563>
- Henkes, G.A., Passey, B.H., Grossmann, E.L., Shenton, B.J., Pérez-Huerta, A., Yancey, T.E., (2014). Temperature limits for preservation of primary calcite clumped isotope paleotemperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta* 139: 362–382. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.04.040>
- Kim, J.H., van der Meer, J., Schouten, S., Helmke, P., Willmott, V., Sangiorgi, F., Koç, N., Hopmans, E.C., Sinninghe Damst' e, J.S. (2010). New indices and calibrations derived from the distribution of crenarchaeal isoprenoid tetraether lipids: Implications for past sea surface temperature reconstructions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 74: 4639–4654.
- Kirillin, G., Shatwell, T. (2016). Generalized scaling of seasonal thermal stratification in lakes, *J Earth Science Reviews*, 161: 179–190.

- 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, *J Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 123: 179-203
- Lowe, J.J., Walker, M.J.C. (2015). *Reconstructing Quaternary Environments*, 3rd ed., Routledge.
- Mashkour, M., Tengberg, M., Shirazi, Z., Madjidzadeh, Y. (2013). Bio-archaeological studies at Konar Sandal, Halil Rud basin, southeastern Iran. *Environ. Archaeol.* 18: 222–246.
- Martinez-Ruiz, F., Kastner, M., Gallego-Torres, D., Rodrigo-Gamiz, M., Nieto-Moreno, V., Ortega-Huertas, M. (2015). Paleoclimate and paleoceanography over the past 20,000 yr in the Mediterranean Sea Basins as indicated by sediment elemental proxies. *Quaternary Science Reviews* 107: 25-46.
- McCave, I. N., Hall, I.R. (2006). Size sorting in marine muds: processes, pitfalls, and prospects for paleoflow-speed proxies, *Geochem. Geophys. Geosyst.* 7 (10): 5
- Minniti, C., Seyed Sajjadi, M.S. (2019). New data on non-human primates from the ancient Near East: The recent discovery of a rhesus macaque burial at Shahr-i Sokhta (Iran). *International J Osteoarchaeology*, 29: 538-548.
- 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: 31-55.
- Moosavian, S.M., Karbassi, A.R., Sabzalipour, S., Amirnezhad, R., Daneshian, J. (2019). Determination of sedimentation rate of Hoor-Al-Azim wetland by carbon-14 method and analysis of its past climate using element geochemistry, *Environmental Earth Sciences*, 78: 658. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8666-5>
- 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: 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: 83-103.
- Pearson, P., 2012. Oxygen isotopes in foraminifera: Overview and historical review. *Paleontol. Soc. Pap.* 18: 1–38.
- Petrie, C.A., Weeks, L. (2018). The Iranian Plateau and the Indus River Basin”, in: Chiotis, E. (ed.), *Climate Changes in the Holocene: Impacts and Human Adaptation*. CRC Press, Taylor and Francis Group, 293-325.
- Potts, P. J. (1987). A Handbook of Silicate Rock Analysis, *Mineralogical Magazine*, 51: 753
- Polyak, L., Bischof, J., Ortiz, J.D., Darby, D.A., Channell, J.E., Xuan, C., Kaufman, D.S., Løvlie, R., Schneider, D.A., Eberl, D.D. (2009). Late Quaternary stratigraphy and sedimentation patterns in the western Arctic Ocean. *Glob. Planet. Chang.* 68: 5–17.
- Quellet-Bernier, M., deVernal, A. (2018). Proxy Indicators of Climate in the Past”, *Climate Changes in the Holocene: Impacts and Human Adaptation*, 41-76.
- Rampen, S.W., Willmott, V., Kim, J.H., Uliana, E., Mollenhauer, G., Schefuß, E., Sinninghe Damsté, J.S., Schouten, S. (2012). Long chain 1, 13 and 1, 15 diols as a potential proxy for palaeotemperature reconstruction. *Geochim. Cosmochim. Acta* 84: 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.01.024>
- Riquier L., Tribouillard, N., Averbuch, O., Devleeschouwer, X. and Riboulleau, A. (2006). The Late Frasnian

- Kellwasser horizons of the Harz Mountains (Germany): Two oxygen-deficient periods resulting from different mechanisms, *Chemical Geology* 233: 137-155.
- 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: 826 - 844.
- Rontani, J.F., Bonin, P., Vaultier, F., Guasco, S., Volkman, J.K. (2013). Anaerobic bacterial degradation of pristenes and phytene in marine sediments does not lead to pristane and phytane during early diagenesis. *Organic Geochemistry* 58: 43-55.
- Roy, P.D., Caballero, M., Lozano, R. and Smykatz-Kloss, W. (2008). Geochemistry of late Quaternary sediments from Tecocomulco lake, central Mexico: Implication to chemical weathering and provenance, *Chem Erde Geochem*, 68: 388-393.
- Saha, S., Banerjee, S., Burley, S.D., Ghosh, A. and Saraswati, P.K. (2010). The influence of flood basaltic source terrains on the efficiency of tectonic setting discrimination diagrams: an example from the Gulf of Khambhat, western India, *Sedimentary Geology*, 228: 1 -13.
- Sai, K. 2004. Geochemistry of Lake Sediments as a Record of Environmental Change in a High Arctic Watershed, *Chemie der Erde*, 64: 257-275.
- Schröder, T., Hoff, J.V., López-Sáez, J.A., Melles, M., Viehberg, F., Reicherter, K. (2018). Multi-proxy climate and environment reconstruction of the Holocene based on Lake Medina, southern Spain, *Geophys Res Abs*, 20(15): 207 p.
- Schroll, E. (1975). Analytische geochemie, Band I, Grundlagen and anwendungen, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart. Crater Lake and Adriatic Sediments Mem. Ist. ital. Idrobiol., 55: 247-263.
- Schouten, S., Hopmans, E.C., Sinninghe Damst' e, J.S. (2013). The organic geochemistry of glycerol dialkyl glycerol tetraether lipids: A review. *Org Geochem*. 54: 19-61.
- 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: 215-230.
- 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, That Desert margin, India. *J Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 233:252-270.
- 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: 472-482.
- Spofforth, D.J.A., Pälike, H., Green, D. (2008). Paleogene record of elemental concentrations in sediments from the Arctic Ocean obtained by XRF analyses. *Paleoceanography*, 3, PA1S09.
- 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: 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: 494-500.

- 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: 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: 566-577
- Tribouillard, N., Algeo, T.J., Lyons, T., Riboulleau, A. (2006). Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update, *Chem. Geol.*, 232: 12-32.
- 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: 754-767.
- Vincent, L.A., Coauthors, G. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *J. Climate*, 18: 5011-5023.
- Wang, G.P., Zhai, Z.L. (2007). Geochemical data as indicators of environmental change and human impact in sediments derived from downstream marshes of an ephemeral river, Northeast China, *Environ Geol*, 53: 1261-1270. doi: 10.1007/s00254-007-0714-x.
- Walker, M. (2019). Formal subdivision of the Holocene series/epoch: a summary. *J. Geol. Soc. India* 93: 135 –141. <https://doi.org/10.1007/s12594-019-1141-9>.
- Walker, M. (2018). Formal ratification of the subdivision of the Holocene series/ epoch (quaternary system/period): two new global boundary stratotype sections and points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes* 41: 213 –223.