

بازسازی اقلیم و محیط دیرینه پلایای کجی نمکزار در دوره هولوسن با استفاده از شواهد ژئوشیمیایی

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، تهران، ایران
سحر ملکی؛ دکتری اقلیم‌شناسی دیرینه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴

چکیده

این پژوهش با هدف بازسازی تحولات اقلیمی و محیطی هولوسن در پلایای کجی نمکزار واقع در شمال نهبندان (شرق ایران) انجام شد. برای دستیابی به این هدف، سه مغزه‌ی رسوبی از بستر پلایا برداشت و با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی (در این مقاله ICP-OES) و مطالعات رسوب‌شناسی مورد تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، هفت رخساره‌ی رسوبی اصلی شناسایی و دو محیط رسوبی غالب (پلایایی و مخروط‌افکنه‌ای) تشخیص داده شد. داده‌های ژئوشیمیایی و نسبت‌های عنصری (مانند Ti/Al ، Mn/Ca ، V/Cr) نشانگر نوسانات قابل توجه اقلیمی در طول هولوسن هستند، به گونه‌ای که دوره‌های مرطوب با افزایش ورود رسوبات آواری و هوازدگی شیمیایی و دوره‌های خشک با تشکیل رسوبات تبخیری و کربناتی مشخص می‌شوند. همچنین، تغییرات در میزان عناصری مانند استرانسیوم و کلسیم، وقوع رویدادهای تبخیری شدید را در گذشته تأیید می‌کند. به‌طور کلی یافته‌ها حاکی از تاریخچه‌ی پیچیده و متغیر محیطی و اقلیمی در این منطقه‌ی خشک از ایران است که درک بهتری از پاسخ محیط‌های حساس به تغییرات اقلیمی در مقیاس هزاران سال ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی دیرینه، پلایای کجی نمکزار، ژئوشیمی رسوبات، مغزه‌های رسوبی، هولوسن، شرق ایران.

مقدمه

اصطلاح اقلیم با عنوان میانگین دما یا بارش در دوره‌ی زمانی بسیار طولانی شناخته می‌شود که پیوسته در نوسان است و ارتباط جدایی‌ناپذیری میان اقلیم و واکنش‌های فرهنگی و زیستی می‌باشد. ظهور و سقوط برخی تمدن‌های دیرینه مستقیماً در ارتباط تحولات آب‌وهوایی بوده است. به بیان ساده‌تر می‌توان گفت که آب‌وهوا و تحولات آن در شکل‌گیری و گسترش اولین تمدن‌های انسانی و انتخاب سبک‌های متفاوت زندگی مانند شکار، غارنشینی، یکجانشینی، جمع‌آوری دانه‌های خوراکی، کشاورزی، دامپروری و ... نقش به‌سزایی ایفاء کرده (کالن^۱ و همکاران، ۲۰۰۰) و بسیاری از قوما (به دلیل شرایط نامناسب اقلیمی)، به مکان‌هایی مناسب‌تر مهاجرت کرده‌اند. جوامع پیش از تاریخ ایران، به‌ویژه منطقه‌ی ایران مرکزی از آغاز هولوسن تا امروز به‌دفعات تحت‌تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است (کوهن^۲ و همکاران، ۲۰۰۸). از مهم‌ترین مکان‌هایی که می‌توان با مطالعه‌ی آن به نوسانات اقلیم دیرینه پی‌برد، حوضه‌های بسته می‌باشد، زیرا حساسیت بسیار بالایی به میزان برهم‌خوردگی توازن تبخیر و بارش از خود نشان می‌دهند (درویشی‌خاتونی و همکاران، ۱۴۰۱). تغییرات آب‌وهوایی در ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی رسوبات بازتاب پیدا می‌کند که می‌توان از آن برای پی‌بردن به فرآیندها و محیط‌های رسوبی استفاده نمود (کرلین و شاتول^۳، ۲۰۱۶). رسوبات در محیط‌های رسوبی مختلف بر اساس فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی ته‌نشین می‌شوند (والکر^۴، ۲۰۰۶). تحولات دیرینه‌ی پلایاها، تغییرات چشمگیری در نوع رسوبات ایجاد می‌کند که از آن برای تشخیص فرآیندهای رسوبی و آب‌وهوای دیرینه استفاده می‌گردد. درواقع رسوبات دریاچه‌ای امکان ثبت و ذخیره‌ی داده‌های دیرینه‌ی اقلیمی طولانی‌مدت را به‌همراه تفکیک زمانی فراهم آورده است (سای^۵، ۲۰۰۴). برای آشکارسازی خصوصیات ثبت‌شده در رسوبات دریاچه‌ای در طول دوره‌ی هولوسن از مولفه‌های متعددی از قبیل رسوب‌شناسی، چینه‌شناسی، ژئوشیمی، کانی‌شناسی، گرده‌های گیاهی، تغییرات نرخ رسوبگذاری و ... استفاده می‌شود (والکر، ۲۰۱۸). استفاده از ژئوشیمی عناصر، منجر به ارائه‌ی نتایج ارزنده‌ای شده و می‌تواند بازتاب‌دهنده‌ی شرایط دما و بارش باشد (موسویان^۶ و همکاران، ۲۰۱۹). هم‌چنین ژئوشیمی عناصر (اصلی و فرعی) برای تعیین شرایط دیاژنری حاکم بر محیط، تعیین شرایط تشکیل رسوب و ... مفید است (گالالا^۷ و همکاران، ۲۰۰۹). جنوب‌شرق ایران به دلیل دریافت بارش‌های حاصل از مونسون تابستانه‌ی اقیانوس هند و بادهای غربی عرض‌های میانی، تاریخچه‌ی پیچیده‌ای از شرایط ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی و اقلیمی را طی اواخر کواترنری تجربه نموده است (حمزه، ۱۳۹۵).

تاکنون مطالعات زیادی با روش‌های مختلف ژئوشیمیایی در راستای مطالعات محیط و اقلیم دیرینه انجام شده است که می‌توان به‌موارد زیر اشاره نمود. لوو^۸ و همکاران (۲۰۱۵) رسوبات هولوسن میانی بخش جنوبی دریای زرد را با روش ژئوشیمی مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه از عناصر اصلی و عناصر کمیاب خاکی، برای بازسازی تغییرات اقلیمی و فرسایش این بخش استفاده کردند. ایشان با مقایسه‌ی نسبت آلومینیوم به کلسیم، آلومینیوم به سدیم، پتاسیم به کلسیم، پتاسیم به سدیم، رادیوم به استرانسیوم و لیتیوم به باریوم، تغییرات اقلیمی را نشان دادند. حمزه^۹ و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با استفاده از تحلیل دانه‌بندی و ژئوشیمی رسوبات به بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و اقلیمی دریاچه‌ی هامون در طول هولوسن پرداختند. نتایج نشان داد که

¹ Cullen

² Kohen

³ Kirllin and Shatwell

⁴ Walker

⁵ Sai

⁶ Moosavian

⁷ Gallala

⁸ Lowe

⁹ Hamzeh

این دریاچه شرایط هیدرولوژیکی پیچیده‌ای را به دلیل تغییرات اقلیمی، تجربه کرده است؛ در اوایل هولوسن، بارندگی منطقه بیشتر بوده و در اواخر هولوسن سطح دریاچه نوسان بیشتری را ثبت کرده است. شرودر^۱ و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه‌ای را در دریاچه‌ی مادینا^۲ (جنوب اسپانیا) در زمینه‌ی بازسازی شرایط محیطی و اقلیمی هولوسن انجام دادند. این مطالعه دربرگیرنده‌ی روش‌های رسوب‌شناسی، ژئوشیمی رسوبی و شناخت مواد معدنی و بیولوژیکی بود. آنالیزها نشان‌دهنده‌ی چندین دوره از تغییرات سریع اقلیمی (شامل دوره‌های اقلیمی گرم و خشک) و کاهش شدید دما در این دریاچه می‌باشد. محمدی (۱۳۸۹) از نهشته‌های پلایای جازموریان ۲۶ نمونه رسوب سطحی برداشت و آن‌ها را مورد بررسی روش‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمی قرار داد. او در پایان به این نتیجه رسید که سنگ‌های آذرین، آمیزه‌های رنگین و رسوبات تبخیری منشاء اصلی رسوبات این پلایا را تشکیل داده است. طیبی (۱۳۹۰) با استفاده از آنالیزهای عنصری و شاخص‌های اقلیمی رسوبات تالاب گاوخونی را مورد مطالعه قرار داد؛ او توانست وجود دوره‌های خشک و تر را در این تالاب اثبات کند. تقوی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور بازسازی اقلیم دیرینه‌ی شمال تالاب گاوخونی از روش ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی بر مغزه‌های رسوبی برداشت‌شده استفاده نمودند. نتایج نشان داد که دوره‌های خشک در مقاطع ۱۰۰ و ۱۴۰ سانتی‌متری، دوره‌های مرطوب در مقاطع ۶۰ و ۲۰۰ سانتی‌متری و شرایط بینابین یا نیمه‌خشک در ۲۰ سانتی‌متر اول مغزه‌ها قرار گرفته است. شهنازی (۱۳۹۴) در رساله‌ی دکتری با استفاده از رخساره‌های رسوبی و ژئوشیمی عنصری شرایط محیطی بخش جنوبی دشت خوزستان و تغییرات خطوط ساحلی در طول هولوسن را بررسی نمود. سبک‌خیز و همکاران (۱۳۹۸) تغییرات اقلیمی دریاچه‌ی مهارلو را از هولوسن تا زمان حال با استفاده از داده‌های حاصل از مغزه‌های برداشت‌شده‌ی رسوبی و آنالیزهای ژئوشیمیایی بازسازی کردند. شعبانی عراقی (۱۳۹۹) با استفاده از تحلیل‌های ژئوشیمیایی، ایزوتوپی و رسوبی به بازسازی محدوده‌ی دریاچه‌های بارانی یا پلوویال (پادگانه‌های آبرفتی) ایران در پلایاهای جازموریان و دامغان طی هولوسن پرداختند.

با وجود اینکه پژوهش‌های انجام‌شده در ایران، تغییرات آب‌وهوایی، ژئومورفولوژی و محیط قدیمی (دیرینه) را تا حدودی آشکار ساخته است، اما برای به‌دست‌آوردن تصویری شفاف از موارد گفته‌شده در شرق و سایر نقاط ایران نیازمند پژوهش‌های متعددی است. از طرفی، داده‌های حاصل از این پژوهش‌ها به بازسازی و علت تغییرات اقلیمی کمک شایانی می‌کنند. درک تغییرات آب‌وهوا در دوره کواترنری، نه تنها برای درک اهمیت ویژگی‌های محیط طبیعی، بلکه برای درک بهتر آب‌وهوای کنونی هم حیاتی می‌باشد. انجام مطالعات پالئوژئومورفولوژی و تعیین تاریخچه‌ی تغییرات دیرینه در این پلایا می‌تواند به درک بهتر عوامل موثر بر تغییرات اقلیمی و سطح تراز آب در دوره‌های گذشته آن کمک نماید. با توجه به اینکه آنالیزهای ژئوشیمی رسوبات پلایای کجی نمکزار تاکنون انجام نگرفته است، با اطلاع از ویژگی‌های ژئوشیمیایی می‌توان شرایط اقلیمی و جغرافیایی گذشته را بازسازی نمود. در این پژوهش سعی شده با بررسی‌های ژئوشیمی و نسبت‌های مختلف عنصری به شناسایی محیط‌های رسوبی، بازسازی شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژی در دوره‌ی هولوسن پرداخته شود.

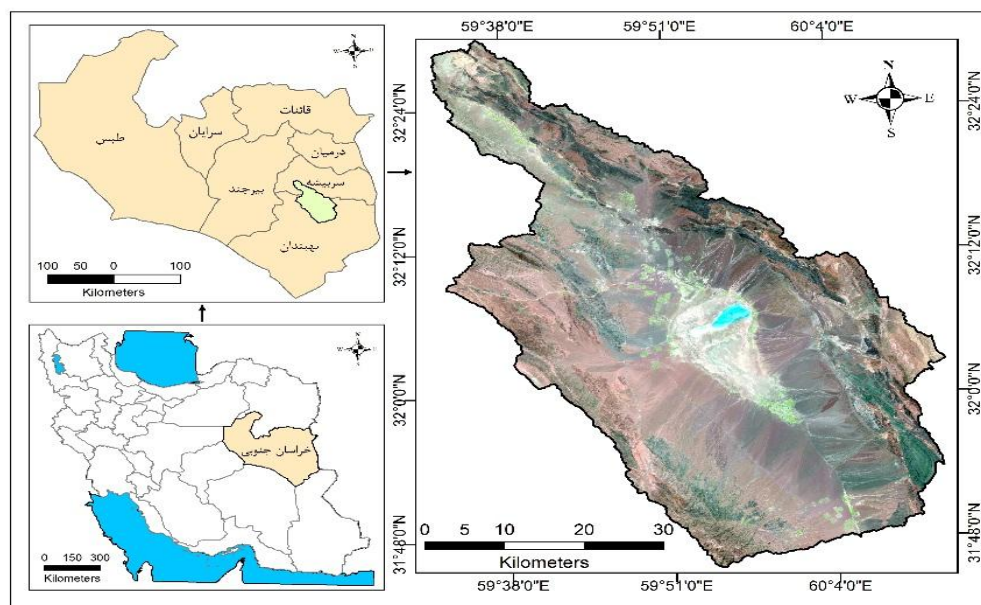
منطقه‌ی مورد مطالعه

پلایای کجی نمکزار در استان خراسان جنوبی (۷۰ کیلومتری شمال نهبندان و حدود ۱۲۰ کیلومتری جنوب بیرجند در مسیر جاده‌ی بیرجند-نهبندان) بین $31^{\circ} 45' 33''$ تا $32^{\circ} 29' 56''$ عرض شمالی و $59^{\circ} 32' 37''$ تا $60^{\circ} 12' 52''$ طول شرقی قرار دارد (شعبانی، ۱۳۹۸) (شکل ۱). از نظر شکل سطحی از حاشیه به مرکز از مخروط‌افکنه‌های حاشیه، پهنه‌های رسی، منطقه‌ی مرطوب، پوسته‌ی نمکی و دریاچه‌های فصلی تشکیل شده است (سامانی، ۱۳۵۲). واحدهای سنگی که در منطقه‌ی حوضه‌ی

¹ Schroder

² Maddina

آبریز پلایا گسترش دارند عبارتند از نهشته‌های فلیشی (که در ناحیه‌ی وسیعی از شمال دشت سهل‌آباد توسعه پیدا کرده‌اند) و یک مجموعه‌ی آمیزه‌ی افیولیتی. مجموعه‌ی آمیزه‌ی افیولیتی ذکرشده شامل سنگ‌های پری‌دوتیتی، گابروبی، دایک‌های دیابازی، بازالت‌های بالشی و سنگ‌های رسوبی از جمله آهک‌های پلاژیک، رادیولاریت و شیل است که مربوط به اواخر کرتاسه می‌باشند. همچنین رسوبات فلیش شامل نهشته‌های اواخر کرتاسه و اوایل سنوزوئیک می‌باشد و شامل شیل، ماسه‌سنگ، آهک، مارن و تداخل‌هایی از دیاباز و توف می‌باشد که در شرق منطقه گسترش دارند (زرین‌کوب، ۱۳۷۲). بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی، منطقه دارای سازندهای زمین‌شناسی جوان بوده و متعلق به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی (مزوزوئیک و سنوزوئیک) و دوره‌های تریاس، ژوراسیک، کرتاسه، پالئوسن، ائوسن، الیگوسن، میوسن، پلیوسن و کواترنری، به‌ترتیب از قدیم به جدید می‌باشند. توده‌های آذرین درونی و بیرونی، سنگ‌های دگرگونی و رسوبی و ترکیبی از آن‌ها در منطقه وجود داشته و پس از فرسایش، رسوبات کواترنری کف پلایا را به‌وجود آورده‌اند. منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر ساختاری گسل‌خورده، خردشده و چین‌خورده می‌باشد که در یک پهنه‌ی همگرا پدید آمده است. ارتباط بیشتر واحدهای سنگی منطقه عمدتاً گسلی است و گسل‌ها از نوع تراستی و برشی راست‌الغزند. روند غالب گسل‌ها و محور چین‌ها (که بیانگر اثر تنش فشارشی با روند شمال‌شرق-جنوب‌غرب می‌باشد)، شمال‌غرب-جنوب‌شرق است که باعث ایجاد یک حوضه‌ی pull-aparat (پول‌آپارات، توصیف‌کننده‌ی انواع حوضه‌های امتدادلغز) در منطقه شده است (رئیس‌السادات و همکاران، ۱۳۹۱). رسوبات کواترنری پلایای کجی نمکزار شامل تراس‌های آبرفتی، رسوبات مخروط‌افکنه، آبرفت‌های رودخانه‌ای، تپه‌های ماسه‌ای و رسوبات کف‌های نمکی می‌باشد. رسوبات مخروط‌افکنه (که در دامنه‌ی ارتفاعات گسترش دارند) دارای اجزایی است که نشانگر سنگ‌شناسی ارتفاعات مشرف به دامنه‌هاست. آبرفت‌های رودخانه‌ای (جدیدترین رسوبات حاصل از فرسایش) در مسیر رودخانه‌های فصلی برجای گذاشته می‌شوند، بیشتر در شرق این کف‌های نمکی گسترش دارند (شیبانی، ۱۳۹۸).



شکل ۱: موقعیت پلایای کجی نمکزار

مواد و روش کار

به منظور آگاهی و بازسازی از شرایط محیطی و اقلیمی پلایای کجی نمکزار با استفاده از مولفه‌ی ژئوشیمی رسوبات، ۳ مغزه‌ی رسوبی سالم (دست‌نخورده) از رسوبات بستر این پلایا برداشت شد (شکل ۲). مغزه‌های برداشت‌شده دارای عمق کمینه‌ی ۶۹۱ سانتی‌متر و عمق بیشینه‌ی ۸۸۰ سانتی‌متر می‌باشند که موقعیت و برخی از مشخصات آن‌ها آورده شده است (جدول ۱). مغزه‌ها توسط مغزه‌گیر دستی اوگر تهیه و مکان دقیق مغزه‌ها توسط GPS ثبت گردید. توصیف مغزه‌ها براساس ساختمان رسوبی، ویژگی‌های لایه‌بندی، رنگ، بافت، نوع بلورهای تبخیری و درجه‌ی نسبی سخت‌شدگی رسوبات و وجود بقایای گیاهی و جانوری، انجام شد. از مغزه‌های برداشت‌شده عکس تهیه گردید و در نهایت ستون چینه‌شناسی آن‌ها رسم گردید.

جدول ۱: موقعیت و برخی از مشخصات مغزه‌های برداشت‌شده

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



شکل ۲: موقعیت مغزه‌های برداشت‌شده از رسوبات بستر پلایا

در مجموع تعداد ۱۶۸ نمونه رسوبی از سه مغزه‌ی برداشت‌شده جهت آنالیز تجزیه‌ی شیمیایی به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال شد. جهت آنالیز عنصری از دستگاه ICP-OES مدل Varian 735-ES و دستگاه XRF مدل MAGIC-PRO استفاده شد. نتایج عناصر اصلی با استفاده از دستگاه XRF به صورت اکسید و با واحد درصد و نتایج میزان

انحراف از شرایط معمول عناصر باقیمانده توسط دستگاه ICP بر حسب ppm مورد شناسایی قرار گرفت. در روش ICP به غیر از گازها، تمامی عناصر پایدار جدول تناوبی قابل شناسایی است. برای بررسی دقت آنالیزها نمونه‌های تکراری (حدود ۱۰ درصد کل نمونه‌ها) به صورت کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. جهت پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، ابتدا جدولی متشکل از شماره نمونه، عمق نمونه، مقدار عناصر و نسبت‌های شیمیایی و برخی فاکتورهای رسوب‌شناسی (مانند ماکزیمم، مینیوم و میانگین) در رسوبات تهیه گردید. با توجه به اینکه عناصر نسبت به برخی عوامل محیطی واکنش‌های کم‌وبیش مشابهی نشان می‌دهند، شناخت ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل میان عناصر، به شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی کمک شایانی می‌نماید (آلاگارسامی و ژانگ^۱، ۲۰۱۰).

یافته‌های پژوهش

- ستون‌های چینه‌شناسی

ستون چینه‌شناسی KJ-1: بخش فوقانی (۲۰۰-۰ سانتی‌متر) این ستون عمدتاً از گل و رس سیلتی با لایه‌های متناوب گل ماسه‌ای و ماسه تشکیل شده است. وجود بقایای گیاهی و ماده‌ای آلی در بخش فوقانی، نشان‌دهنده‌ی یک محیط کم‌انرژی با تولید زیستی بالا است. بخش میانی (۲۰۰-۶۰۰ سانتی‌متر) ترکیبی از ماسه، رس سیلتی و ماسه‌ی رسی را نشان می‌دهد. حضور بلورهای هالیت نشانگر محیط دیرینه‌ی خشک و شور است که می‌تواند با دوره‌های تبخیری در یک حوضه‌ی دریاچه‌ای یا ساحلی مرتبط باشد. بخش تحتانی (۶۰۰-۸۵۰ سانتی‌متر) عمدتاً از لایه‌های ضخیم تبخیری‌ها و گل تشکیل شده است؛ حضور تبخیری‌ها در این بخش می‌تواند نشان‌دهنده‌ی رخداد مهم در تاریخ رسوب‌گذاری این منطقه باشد. تنوع رنگی بالا، از قهوه‌ای روشن تا سبز تیره، نشان‌دهنده‌ی تغییرات در شرایط اکسایش-کاهش در محیط رسوب‌گذاری است.

ستون چینه‌شناسی KJ-2: این ستون عمدتاً از گل و ماسه‌ی رسی تشکیل شده است و نسبت به ستون KJ-1 تنوع کمتری دارد. توالی در این ستون به‌طور قابل توجهی یکنواخت‌تر است و عمدتاً شامل لایه‌های متناوب قهوه‌ای تا خاکستری است. این یکنواختی ممکن است نشان‌دهنده‌ی یک محیط رسوب‌گذاری پایدارتر با تغییرات کمتر در انرژی محیط نسبت به ستون KJ-1 است.

ستون چینه‌شناسی KJ-3: این ستون با عمق تقریبی ۷۰۰ سانتی‌متر، توالی شبیه KJ-2 دارد اما در بخش فوقانی آن تفاوت‌های کلیدی مشاهده می‌شود. بخش فوقانی ستون (۰-۱۵۰ سانتی‌متر) با گل ماسه‌ای، ماسه و رس شروع می‌شود که تنوع بیشتری نسبت به لایه‌های سطحی ستون‌های دیگر دارد. وجود ندول گلی و نقطه‌ی سبز نیز در این نقطه قابل مشاهده است. بخش فوقانی (۱۵۰-۷۰۰ سانتی‌متر) مشابه ستون KJ-2 است و عمدتاً از لایه‌ای ضخیم و یکنواخت گل تشکیل شده است. این ستون در مقایسه با ستون‌های دیگر شرایط پایدار حوضه را نشان می‌دهد با این تفاوت که بخش سطحی آن نشان‌دهنده‌ی افزایش انرژی رسوب‌گذاری است که ممکن است به دلیل تغییرات محلی در نزدیکی محل نمونه‌برداری باشد.

رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی

در سه مغزه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، تعداد ۷ رخساره‌ی رسوبی شناسایی گردید. رخساره‌ها اغلب مربوط به رسوبات رس، سیلت، ماسه، رسوبات بینابینی همراه با بقایای گیاهی و رسوبات تبخیری بودند. رخساره‌ها نشان می‌دهد که این محیط رسوبی، تحت تاثیر رسوبات تالابی، پلایایی و مخروط‌افکنه‌ای هستند. رخساره‌های مخروط‌افکنه‌ای شامل رسوبات دانه‌ریز قرمز رنگ

¹ Alagarsamy and Zhang

همراه رسوبات دانه درشت هستند که از ارتفاعات اطراف وارد پلایا شده‌اند. رخساره‌ی تالابی شامل رسوبات خاکستری تا سبز روشن، گلی و دانه‌ریز همراه با مواد آلی، بقایای گیاهی و میان‌لایه‌های سیلتی و رخساره‌های پلایایی نیز دربرگیرنده‌ی مقادیر زیادی کانی‌های تبخیری و رسوبات قهوه‌ای می‌باشد. رخساره‌های موجود در ستون‌های چینه‌شناسی (شکل ۳) به اختصار آورده شده است:

– **رخساره‌ی رس (CI):** این رخساره با رنگ‌های متنوع در ستون چینه‌ای مغزه‌های ۱ و ۲ قابل مشاهده است (خاکستری تیره و روشن، قهوه‌ای تیره و روشن). رنگ تیره، شرایط احیایی و مواد آلی بیانگر محیط دریاچه‌ای است. تناوب متوالی رخساره‌های تبخیری نشان‌دهنده‌ی تغییر فرآیند غالب و انرژی آب‌های ورودی به تالاب است. رخساره‌ی رس در مغزه‌ی شماره‌ی ۲ با ضخامتی قابل توجه به رنگ قهوه‌ای تیره و روشن دیده می‌شود. هم‌چنین، وجود رنگ قهوه‌ای این رخساره در سطح رسوبات مغزه‌ی شماره ۲ معرف رسوبات دوره‌ی خشک با مقدار بارندگی ناچیز می‌باشد که در اثر هوازدگی و اکسید آهن ایجاد گشته‌اند.

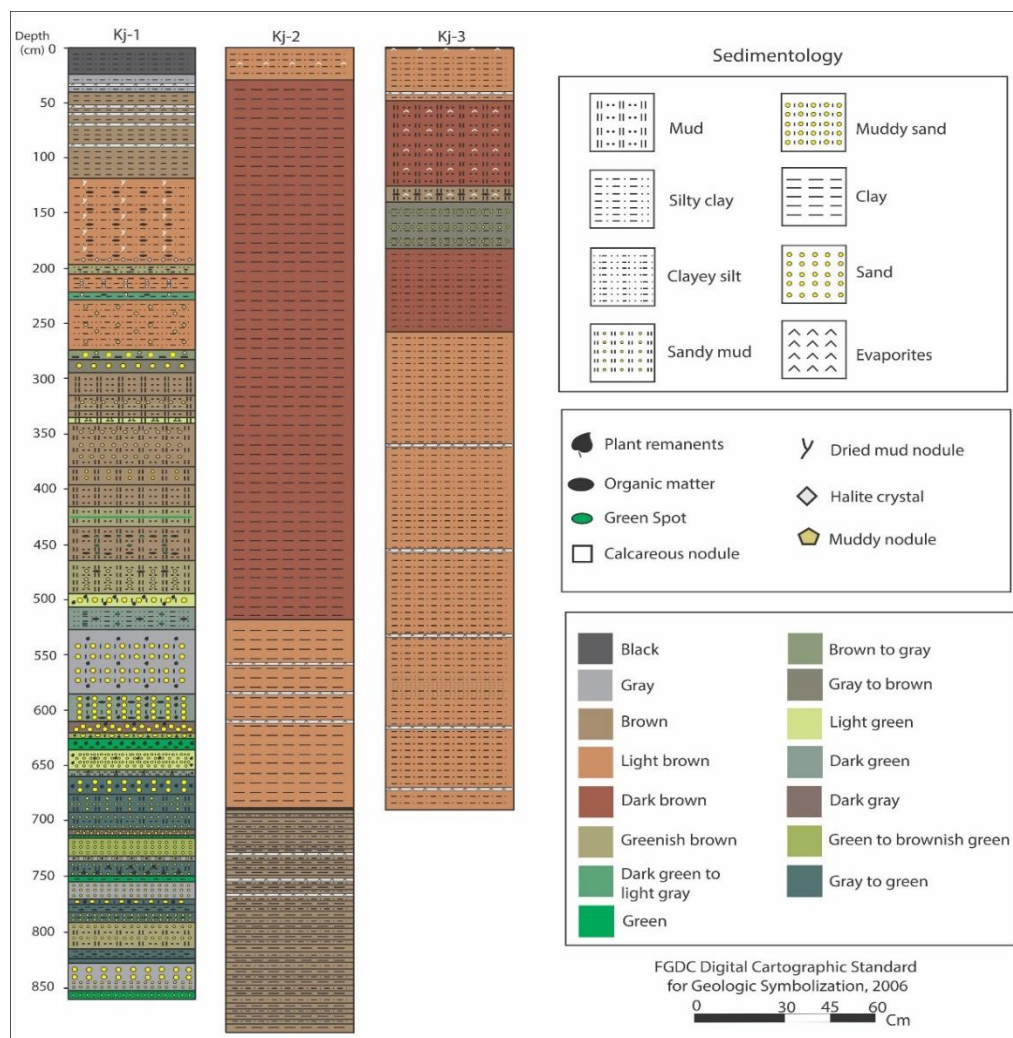
– **رخساره‌ی رس سیلتی (CIS):** این رخساره با ضخامتی زیاد در مغزه‌ی شماره‌ی ۳ وجود دارد. این رخساره به رنگ‌های خاکستری تیره، خاکستری روشن، طوسی، سبز روشن تا تیره و قهوه‌ای روشن تا تیره دیده می‌شود و دارای لکه‌های قرمز رنگ، لکه‌های سیاه رنگ و آثار گیاهی است.

– **رخساره‌ی گل (MU):** این رخساره در مغزه‌ی شماره ۱ و ۳ به صورت میان‌لایه در بین رس سیلتی به رنگ‌های طوسی تا طوسی متمایل به سبز قابل مشاهده بوده و شامل آثار مواد آلی و بقایای گیاهی است. رسوبات رخساره‌ی گل نشان‌دهنده‌ی محیط تالابی با عمق کم و آورد رسوبی بالا از طریق آبراهه‌های سطحی به تالاب است.

– **رخساره‌ی سیلت رسی (SiC):** این رخساره در مغزه‌های برداشت شده غالباً با ضخامت کم (حدود ۵۰ سانتی‌متر) و به رنگ خاکستری تیره تا قهوه‌ای روشن دیده می‌شود. این رخساره غالباً در عمق‌های حدود ۲ تا ۳ متر وجود دارد و در آن مواد آلی و بقایای گیاهی دیده می‌شود.

– **رخساره‌ی ماسه (Sa):** این رخساره به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای روشن و شامل ماسه‌های دانه‌ریز و دانه متوسط است. رخساره‌ی ماسه‌ای قهوه‌ای روشن و رخساره‌ی گلی قهوه‌ای رنگ دلیلی بر حضور محیط‌های آبی کم‌عمق به همراه دوره‌های متناوب خشکی و بادی است.

– **رخساره‌ی ماسه‌ی گلی (MS):** این رخساره‌ها اکثراً به رنگ‌های طوسی، خاکستری، سبز (تیره تا روشن) و قهوه‌ای روشن مشاهده می‌شود. این رخساره غالباً نشان‌دهنده محیط‌های دشت سیلابی و پلایا می‌باشد.



شکل ۳: ستون‌های چینه‌ای مغزه‌های برداشت‌شده از پلایای کچی نمکزار

مواد و روش‌ها

روش این پژوهش شامل روش میدانی، آزمایشگاهی و تحلیلی است که به ترتیب شامل جمع‌آوری داده‌ها (مغزه‌های رسوبی)، انجام آنالیزهای موردنظر در محیط آزمایشگاهی و تحلیل داده‌ها (بررسی عوامل تاثیرگذار با ادغام نتایج) می‌باشد. داده‌های (مواد) دربرگیرنده پژوهش عبارت‌اند از داده‌های کتابخانه‌ای (منابع نوشتاری)، میدانی و آزمایشگاهی.

- روش «طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی»^۱

در روش ICP، تمامی عناصر پایدار جدول تناوبی (به جز گازها) قابل شناسایی است (پوتس، ۱۹۸۷). در این روش مقداری از نمونه‌های موردنظر، به صورت پودر شده درون یک پلاسمای آرگونی القایی با فرکانس بالا و درجه حرارت ۱۰ هزار کلوین قرار

¹ Inductively Coupled Plasma (ICP)

می‌گیرد؛ نمونه‌ها تحریک شده و نور ساطع شده از آن‌ها، با میزان عناصر موجود در نمونه متناسب است. اهمیت استفاده از ژئوشیمی عنصری جایی برجسته می‌گردد که مبحث تعیین شرایط محیط دیرینه مطرح باشد. هدف از آنالیزهای ژئوشیمی به دست آوردن روابط عددی عناصر جهت تفکیک و شناخت محیط و رخساره‌های وابسته به آن عناصر می‌باشد. عناصر اندازه-گیری شده شامل عناصر اصلی و فرعی می‌باشد که خود به عناصر حدواسط، قلیایی، قلیایی خاکی، اسیدی و عناصر نادر خاکی تقسیم می‌شوند. توزیع عناصر فرعی و اصلی در رسوبات به دما، ترکیب سیالات، شرایط اکسیداسیون-احیاء و ... بستگی دارد (آدابی، ۱۳۸۳). ژئوشیمی، به دلیل آنکه برخی از عناصر موجود در خاک به شرایط محیطی و اقلیمی حساس هستند، می‌تواند به عنوان راهنمای مناسبی برای درک تغییرات اقلیمی استفاده گردد. تحلیل عناصری از جمله آهن (Fe)، منگنز (Mn) و استرانسیوم (Sr) راه را برای درک شرایط محیطی رسوبگذاری باز می‌کند (نکوخوا، ۱۳۸۲)، مثلاً بالا بودن میزان عنصر منگنز (مانند منیزیم) نشان دهنده شرایط اقلیمی (در دریاچه‌های عمیق)، بارش و رواناب بیشتر، تبخیر کمتر و در مجموع بیانگر شرایط دریاچه‌ای است (پورمعافی، ۱۳۸۷). عناصر مختلف با هوازگی پوسته‌ی قاره‌ها و فرسایش، به صورت کربنات‌های مختلف در دریاچه‌ها و دریاها رسوب می‌کنند؛ در راستای این مورد باید گفت که افزایش استرانسیوم را ناشی از مواد هوازده از خشکی به محیط‌های دریایی و دریاچه‌ای در نظر می‌گیرند. استرانسیوم ارتباط مستقیمی با دمای آب داشته و با افزایش بارش افزایش می‌یابد (فیض‌نیا، ۱۳۷۷). عنصر آلومینیوم شاخصی برای بازسازی تغییرات دیرینه‌ی محیطی است و افزایش مقادیر آن نشانگر افزایش ورود مواد آواری به محیط رسوبی است (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲). در این پژوهش از عناصر کلسیم^۱، آلومینیوم^۲، کروم^۳، آهن^۴، پتاسیم^۵، لیتیم^۶، منگنز^۷، استرانسیوم^۸، تیتانیوم^۹ و وانادیوم^{۱۰} و شاخص‌های (نسبت‌های) اقلیمی Mn/Al, K/Al, V/Cr, Ti/K, Fe/Ca, Fe/Al, Ti/Al, Mn/Ca, استفاده شده است که شرح آن به قرار زیر است:

- نسبت V/Cr به عنوان شاخصی برای بررسی شرایط رطوبتی رسوبات دریاچه‌ای گذشته کارایی داشته و امکان تفکیک تغییرات محیطی دریاچه‌ی کم عمق یا فصلی (تحت تاثیر اکسایش) را با دریاچه‌ی عمیق (شرایط احیا) فراهم می‌سازد. از طرفی، کاهش این نسبت احتمال ورود ماسه‌های بادی به حوضه را تقویت می‌کند،

- نسبت برخی عناصر مانند Ti/Al در دوره‌های گرم و مرطوب افزایش می‌یابد (Chen et al., 2013). در دوره‌های گرم و مرطوب، بارندگی‌های مناسب با هوازگی شیمیایی و میزان فرسایش بالا همراه می‌گردد و ورود مواد آواری از حوضه آبریز به پلایا افزایش می‌یابد. از طرفی کاهش این نسبت حاکی از شرایط نامناسب برای هوازگی و فرسایش، کاهش میزان بارندگی و ایجاد شرایط خشک می‌باشد (Gayantha et al. 2017). همچنین از این نسبت برای بازسازی میزان رسوبات بادی استفاده می‌شود (Govin et al, 2012)،

- عناصر آهن و منگنز نسبت به شرایط اکسیدی در محیط‌های دریاچه‌ای و دریایی حساس هستند (Haberyan and Hecky, 1987). در دوره‌هایی که سطح آب دریاچه (به دلیل کاهش ورودی آب یا افزایش تبخیر) کاهش می‌یابد، رسوبات بستر دریاچه اکسیژن بالایی دریافت می‌کنند و از این رو نسبت Mn/Al و Fe/Al افزایش نشان می‌دهند،

¹ Calcium (Ca)

² Aluminium (Al)

³ Chromium (Cr)

⁴ Iron (Fe)

⁵ Potassium (K)

⁶ Lithium (Li)

⁷ Manganese (Mn)

⁸ Strontium (Sr)

⁹ Titanium (Ti)

¹⁰ Vanadium (V)

- نسبت Ti/K برای تعیین تغییرات در رژیم‌های هوازدگی استفاده می‌شود؛ کاهش آن نشان‌دهنده‌ی دوره خشک و افزایش آن نشان‌دهنده‌ی ورود حجم بالای مواد آواری به دریاچه در نتیجه‌ی بارش‌های مناسب منطقه است،
- از نسبت Fe/Ca (و نسبت‌های Ti/K ، Ti/Al) برای برآورد تغییرات مواد آواری حوضه‌ی رسوبی استفاده می‌شود. این نسبت همچنین نشان‌دهنده‌ی تغییرات دما و رطوبت نیز می‌باشد،
- نسبت‌های عنصری Mn/Al و K/Al نشانگر تغییرات هوازدگی شیمیایی در حوضه‌ی آبریز است؛ افزایش آن‌ها حاکی از شرایط مساعد افزایش هوازدگی شیمیایی در حوضه‌ی آبریز و کاهش آن نشان‌دهنده‌ی وجود شرایط خشک در حوضه می‌باشد،
- نسبت Mn/Ca با افزایش بارش و رطوبت افزایش می‌یابد و تغییر شرایط دریاچه را در طول زمان نشان می‌دهد (Moosavian et al., 2019).

عناصر مغزه‌ی یک

براساس مقادیر حاصل از آنالیز عنصری در هر عمق، مقدار حداکثر ۲۱ نمونه‌ی این مغزه را عناصر تیتانیوم (۱۷ نمونه) و استرانسیوم (۴ نمونه) و مقدار حداقل را عنصر پتاسیم (۲۱ نمونه) دربرمی‌گیرد. افزایش غلظت بالای عناصر اصلی (پتاسیم، آهن، آلومینیوم) در اعماق اولیه (۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) و نمونه‌های عمیق‌تر (برای مثال ۸۴۰ تا ۸۵۰ سانتی‌متر) می‌تواند ناشی از ورود مواد آواری از حوضه‌ی آبریز باشد. غلظت پتاسیم در عمق ۸۴۰ تا ۸۵۰ سانتی‌متر به حداکثر مقدار خود (۲/۰۸ درصد) می‌رسد و غلظت کلسیم از عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر (۳/۸۱ درصد) تا عمق ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متر (۹/۳۴ درصد) افزایش می‌یابد. این روندهای افزایشی نشان‌دهنده‌ی افزایش تبخیر و تبلور کربنات‌ها در یک دوره‌ی آب‌وهوایی خشک‌تر باشد. در محیط پلایا، افزایش کلسیم مرتبط با تشکیل لایه‌های تبخیری یا نمک‌های سطحی باشد در دوره‌های خشک است؛ حداکثر غلظت کلسیم (۹/۳۴ درصد) نشان‌دهنده‌ی اوج فرآیند تبخیر است. از طرفی کاهش کلسیم در عمق‌های پایین‌تر نشان‌دهنده‌ی تغییر شرایط به سمت محیط‌های پرآب‌تر یا تغییر در منشاء رسوبات است. غلظت استرانسیوم می‌تواند به کانی‌های کربناته و نمک‌های تبخیری مرتبط باشد. افزایش بسیار زیاد استرانسیوم در اعماق ۲۲۰ تا ۲۲۹ سانتی‌متر (۶۸۷۸ پی‌پی‌ام) و ۲۷۰ تا ۲۷۹ سانتی‌متر (۳۱۸۹ پی‌پی‌ام) می‌تواند بازتاب یک رویداد خاص در تاریخچه‌ی پلایا باشد. کروم، وانادیوم و تیتانیوم معمولاً به کانی‌های مقاوم مانند اکسیدها و کانی‌های سنگین مرتبط هستند. مقادیر بالای آن‌ها (به‌ویژه کروم و تیتانیوم) می‌تواند نشان‌دهنده‌ی افزایش ورود رسوبات از سنگ‌های مافیک و اولترامافیک در حوضه‌ی آبریز باشد. حداکثر غلظت کروم (۳۸۸ پی‌پی‌ام) در عمق ۶۲۵ تا ۶۳۴ سانتی‌متر و تیتانیوم (۳۰۴۲ پی‌پی‌ام) در عمق ۸۴۰ تا ۸۵۰ سانتی‌متر نشانگر دوره‌هایی با رسوبات سنگ‌های خاص (مانند سنگ‌های آذرین) در محیط رسوبی است. حداکثر غلظت لیتیوم (۵۲ پی‌پی‌ام) در عمق ۸۴۰ تا ۸۵۰ سانتی‌متر نشان‌دهنده‌ی هوازدگی شدید و ورود مواد رسی غنی از لیتیوم باشد. کاهش لیتیوم در برخی عمق‌ها مثلاً در عمق ۷۸۲ تا ۷۹۱ سانتی‌متر (که با افزایش کروم و وانادیوم همراه است) نشان‌دهنده‌ی مواد آواری حاصل از سنگ‌های غنی از کروم و وانادیوم باشد.

جدول ۲: عناصر مغزه‌ی ۱ پلایای کجی نمکزار

شماره نمونه	عمق نمونه (سانتی‌متر)	Al(%)	Ca(%)	Cr(ppm)	Fe(%)	K(%)	Li(ppm)	Mn(ppm)	Sr(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)
1	10-20	5.13	3.81	142	3.29	1.49	42	654	533	2316	77
2	20-30	5.41	5.40	154	3.39	1.52	41	684	1215	2544	83
3	30-40	3.56	7.79	91	2.21	1.01	33	384	1317	1635	57
4	40-50	3.40	9.34	71	2.09	0.92	32	355	1444	1589	53
5	60-70	3.19	7.76	106	2.16	0.79	28	463	1131	1480	48
6	70-80	3.83	6.78	165	2.64	0.95	32	824	1402	2089	64
7	205-210	4.34	7.10	154	3.09	1.16	38	662	2527	2119	62
8	220-229	4.33	7.49	101	2.72	1.15	40	684	6878	2124	69
9	240-250	4.46	7.92	82	2.59	1.20	40	659	2754	2161	64
10	270-275	4.05	8.04	174	2.42	1.00	31	688	3189	2002	56
11	335-340	5.34	3.47	100	3.42	1.54	43	595	676	2525	84
12	472-479	4.76	3.29	189	3.21	1.19	39	548	1772	2408	67
13	521-526	3.92	6.12	158	2.30	1.01	33	864	1281	2013	63
14	537-551	3.65	6.33	169	2.26	0.90	22	582	1383	1758	53
15	551-555	3.74	6.19	162	2.30	0.91	24	554	1442	1792	53
16	625-634	3.66	4.57	388	3.45	0.87	26	867	962	2081	69
17	643-652	3.98	5.93	249	2.82	0.96	23	914	409	2360	65
18	702-708	3.77	5.57	281	2.74	0.87	22	702	1277	2033	59
19	782-791	3.72	6.46	355	2.95	0.82	19	630	509	1875	65
20	825-830	5.73	5.54	173	3.80	1.49	39	681	1281	2671	83
21	840-850	6.66	8.67	180	3.72	2.08	52	695	2942	3042	84
Average		4.32	6.36	173.52	2.84	1.13	33.29	651.86	1729.71	2124.62	65.62
Max		6.66	9.34	388	3.8	2.08	52	914	6878	3042	84
Min		3.19	3.29	71	2.09	0.79	19	355	409	1480	48

نسبت‌های مغزه شماره ۱

براساس مقادیر حاصل از آنالیز عنصری در هر عمق، مقدار حداکثر در ۲۱ نمونه‌ی مغزه‌ی یک را نسبت Ti/K (۲۱ نمونه) و مقدار حداقل را نسبت‌های K/Al (۱۷ نمونه)، V/Cr (۳ نمونه) و Fe/Ca (۱ نمونه) دربرمی‌گیرند. همان‌طور که قبلاً بیان شد افزایش نسبت Ti/K نشان‌دهنده‌ی ورود حجم بالایی از مواد آواری به دریاچه در نتیجه‌ی بارش‌های مناسب در منطقه بوده است. همچنین فراوانی نسبت عنصری K/Al در بخش مقادیر حداقل با ۱۷ نمونه، نشان‌دهنده‌ی شرایط خشک (مانند کاهش بارندگی و افزایش دما) حوضه می‌باشد. نسبت‌های Mn/Al و Fe/Al در اعماق ۵۰۰ تا ۶۰۰ سانتی‌متر به‌دلیل نوسان آب‌های زیرزمینی یا تغییر در ترکیب شیمیایی آب پلایا می‌تواند افزایش یابند. نسبت Ti/Al معمولاً به‌عنوان شاخصی برای منشأ مواد آواری استفاده می‌شود، زیرا تیتانیوم عمدتاً در کانی‌های مقاوم متمرکز است و از هوازدگی شدید سنگ‌های منشأ به‌دست می‌آیند؛ تغییرات کم در این نسبت نشان‌دهنده‌ی ثبات نسبی منشأ مواد آواری در طول دوره‌ی رسوب‌گذاری باشد. نسبت V/Cr به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان شاخصی از شرایط اکسیداسیون-احیاء در محیط‌های رسوبی به‌کار می‌رود. در شرایط احیایی

وانادیوم به حالت محلول درمی آید و نسبت V/Cr افزایش می یابد. مقادیر V/Cr بین ۰/۱۸ تا ۰/۸۴ در نوسان است که نشان دهنده دوره های متناوب اکسیداسیون و احیاء در پلایا می باشد. مقادیر نسبت V/Cr در عمق های ۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتی متر افزایش می یابد که می تواند با افزایش عمق آب یا افزایش ورود مواد از حوضه ی آبریز در ارتباط باشد. نسبت های Ca/Sr و Fe/Ca می توانند اطلاعاتی در مورد فرآیندهای شیمیایی و منشاء کلسیم ارائه دهند. مقادیر پایین Ca/Sr در عمق های مختلف ممکن است به دلیل رسوب گذاری کانی های کربناتی با محتوای استرانسیوم کم باشد. نسبت های Mn/Al و Ti/Al در عمق ۰ تا ۱۰۰ سانتی متر نوسانات قابل توجهی را نشان می دهند؛ این نوسانات منعکس کننده ی تغییرات در شرایط آب و هوایی مانند دوره های مرطوب تر (افزایش مواد آواری) و دوره های خشک تر (افزایش تبخیر و رسوب کانی های تبخیری) باشد.

جدول ۳: نسبت های عنصری مغزه ی ۱ پلایای کجی نمکزار

شماره نمونه	عمق نمونه (سانتی متر)	Mn/Al	K/Al	V/Cr	Ti/K	Fe/Ca	Fe/Al	Ti/Al	Mn/Ca	Ca/Mn	Ca/Sr
1	10-20	127.49	0.29	0.54	1554.36	0.86	0.64	451.46	171.65	0.0058	0.0071
2	20-30	133.07	0.28	0.54	1673.68	0.63	0.63	470.24	26.67	0.0079	0.0044
3	30-40	107.87	0.28	0.63	1618.81	0.28	0.62	459.27	49.29	0.0203	0.0059
4	40-50	104.41	0.27	0.75	1727.17	0.22	0.61	467.35	38	0.0263	0.0065
5	60-70	145.14	0.25	0.45	1873.42	0.28	0.68	463.95	59.67	0.0168	0.0069
6	70-80	215.14	0.25	0.39	2198.95	0.39	0.69	545.43	121.53	0.0082	0.0048
7	205-210	152.54	0.27	0.40	1826.72	0.43	0.71	488.25	93.24	0.0107	0.0028
8	220-229	157.97	0.27	0.68	1846.96	0.36	0.63	490.53	91.32	0.0110	0.0011
9	240-250	147.76	0.27	0.78	1800	0.33	0.58	484.53	83.21	0.0120	0.0029
10	270-275	169.88	0.25	0.32	2002	0.30	0.60	494.32	85.57	0.0117	0.0025
11	335-340	111.42	0.29	0.84	1639.61	0.99	0.64	472.85	159.09	0.0058	0.0051
12	472-479	115.13	0.25	0.35	2023.53	0.98	0.67	505.88	166.57	0.0060	0.0019
13	521-526	220.41	0.26	0.40	1993.07	0.38	0.59	513.52	141.18	0.0071	0.0048
14	537-551	159.45	0.25	0.31	1953.33	0.36	0.62	481.64	91.94	0.0109	0.0046
15	551-555	148.13	0.24	0.33	1969.23	0.37	0.61	479.14	89.50	0.0112	0.0043
16	625-634	236.89	0.24	0.18	2391.95	0.75	0.94	568.58	189.72	0.0053	0.0048
17	643-652	229.65	0.24	0.26	2458.33	0.48	0.71	592.97	154.13	0.0065	0.0145
18	702-708	186.21	0.23	0.21	2336.78	0.49	0.73	539.26	126.03	0.0079	0.0044
19	782-791	169.36	0.22	0.18	2286.59	0.46	0.79	504.03	97.52	0.0103	0.0127
20	825-830	118.85	0.26	0.48	1792.62	0.69	0.66	466.14	122.92	0.0081	0.0043
21	840-850	104.35	0.31	0.47	1462.5	0.43	0.56	456.76	80.16	0.0125	0.0029
	Average	155.29	0.26	0.45	1925.22	0.50	0.66	495.05	106.61	0.011	0.005
	Max	236.89	0.31	0.84	2458.33	0.99	0.94	592.97	189.72	0.026	0.014
	Min	104.35	0.22	0.18	1462.5	0.22	0.56	451.46	26.67	0.005	0.001

عناصر مغزه شماره ۲

براساس مقادیر حاصل از آنالیز عنصری در هر عمق، مقدار حداکثر در بین ۱۶ عنصر مغزه‌ی دو را عناصر تیتانیوم (۱۵ نمونه) و استرانسیوم (۱ نمونه) و مقدار حداقل را عنصر پتاسیم (۱۶ نمونه) دربرمی‌گیرد. میانگین غلظت آلومینیوم ۶/۴۰ درصد بوده و بیشترین مقدار آن در عمق ۷۱۰ تا ۷۲۰ سانتی‌متر (A) دیده می‌شود؛ این افزایش معمولاً با هوازگی شدید شیمیایی ایجاد می‌گردد. عناصر کمیاب مانند وانادیوم، کروم و لیتیوم همبستگی‌هایی با سایر عناصر نشان می‌دهند. برای مثال لیتیوم در عمق ۸۲۰ سانتی‌متر و کروم در عمق ۷۱۰ تا ۷۲۰ سانتی‌متر (A) به حداکثر خود می‌رسند. جهش در غلظت کلسیم و استرانسیوم (۷۵۰ تا ۷۶۰ سانتی‌متر) ناهنجاری آشکاری است که در آن غلظت کلسیم (۹/۵۱ درصد) و استرانسیوم (۵۲۲۷ پی‌پی‌ام) به اوج خود می‌رسند، درحالی‌که سایر عناصر اصلی مانند آهن، آلومینیوم و پتاسیم در حداقل مقادیر خود قرار دارند. این ناهنجاری احتمالاً به دلیل تغییر یا تغییرات محیطی ناگهانی رسوب‌گذاری و نشانگر تغییراتی مهم در شرایط آب‌وهوایی، محیط رسوب‌گذاری یا منبع رسوبات در گذشته باشد. نمونه‌هایی که در عمق ۱۳۵ تا ۱۷۰ سانتی‌متر و ۷۱۰ تا ۷۲۰ سانتی‌متر قرار دارند دارای غلظت بالایی از تیتانیوم، آهن، پتاسیم و آلومینیوم هستند. این ترکیب می‌تواند نشان‌دهنده‌ی محتوای بالای کانی‌های رسی مانند ایلیت (غنی از پتاسیم و آلومینیوم) باشد.

جدول ۴: عناصر مغزه‌ی ۲ پلایای کجی نمکزار

شماره نمونه	عمق نمونه (سانتی‌متر)	Al(%)	Ca(%)	Cr(ppm)	Fe(%)	K(%)	Li(ppm)	Mn(ppm)	Sr(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)
1	85-90	5.75	2.86	92	3.72	1.69	36	572	250	2766	92
2	135-145	7.00	4.15	112	4.57	1.98	45	743	516	3480	112
3	150-160	7.29	3.94	132	4.65	2.05	46	837	363	3565	115
4	160-170	6.88	4.26	114	4.34	1.87	43	791	824	3567	107
5	180-190	5.80	2.80	108	3.58	1.63	37	562	219	2783	89
6	200-210	5.95	3.09	112	4.08	1.72	38	588	313	2852	92
7	240-250	6.60	3.40	124	4.27	1.87	44	610	391	3022	104
8	570-580	6.02	3.52	87	3.73	1.76	39	582	309	2845	93
9	590-600	6.69	3.03	120	3.78	1.65	40	578	315	2936	92
10	710-720 B	6.01	3.62	105	3.69	1.74	43	538	596	2839	92
11	710-720 A	8.05	3.87	173	4.65	2.71	55	691	656	3552	118
12	750-760	4.84	9.51	142	2.96	1.30	43	638	5227	2408	66
13	760-770	6.11	3.72	130	3.80	1.72	44	593	536	2924	95
14	790-800	6.02	4.25	141	3.71	1.63	43	580	656	2922	93
15	810-820	5.58	3.96	127	3.54	1.57	38	574	973	2703	87
16	820- ***	7.79	6.18	128	4.33	2.56	55	678	2893	3440	108
	Average	6.40	4.14	121.69	3.96	1.84	43.06	634.69	939.81	3037.75	97.19
	Max	8.05	9.51	173	4.65	2.71	55	837	5227	3567	118
	Min	4.84	2.8	87	2.96	1.3	36	538	219	2408	66

نسبت‌های مغزه شماره ۲

براساس مقادیر حاصل از آنالیز عنصری در هر عمق، مقدار حداکثر در بین ۱۶ نمونه‌ی مغزه‌ی دو را نسبت Ti/K (۱۶ نمونه) و مقدار حداقل را نسبت K/Al (۱۶ نمونه) در برمی‌گیرد. با توجه به اینکه مقدار K/Al در کل مغزه نسبتاً ثابت و در حدود ۰/۲۵ تا ۰/۳۴ است، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب کانی‌های رسی در طول ستون نمونه‌گیری تقریباً یکنواخت بوده است؛ این یکنواختی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی فرسایش پایدار یا عدم‌تغییرات بزرگ باشد. آلومینیوم معمولاً به‌عنوان یک عنصر پایدار در کانی‌های رسی (مانند ایلیت و کائولینیت) حضور دارد. همچنین منگنز شرایط اکسیدی پایدار را نشان می‌دهد، از این‌رو نسبت Mn/Al می‌تواند نشانگر شرایط اکسیداسیون در محیط رسوبی باشد. مقادیر بالای Mn/Al مانند نمونه‌های ۱ تا ۴ ممکن است به رسوب‌گذاری در شرایط اکسیدی قوی یا وجود کانی‌های غنی از منگنز اشاره داشته باشد. کاهش ناگهانی این نسبت به‌سمت عمق‌های بیشتر مانند نمونه‌های ۹، ۱۱ و ۱۶ ممکن است نشان‌دهنده‌ی تغییر در ترکیب منبع رسوبات و تغییر به شرایط احیایی باشد.

جدول ۵: نسبت‌های عنصری مغزه‌ی ۱ پلایای کجی نمکزار

شماره نمونه	عمق نمونه (سانتی‌متر)	Mn/Al	K/Al	V/Cr	Ti/K	Fe/Ca	Fe/Al	Ti/Al	Mn/Ca
1	85-90	99.478	0.29	1	1636.7	1.30	0.65	481.04	200
2	135-145	106.143	0.28	1	1757.6	1.10	0.65	497.14	179.04
3	150-160	114.815	0.28	0.87	1739	1.18	0.64	489.03	212.44
4	160-170	114.971	0.27	0.94	1907.5	1.02	0.63	518.46	185.68
5	180-190	96.897	0.28	0.82	1707.4	1.28	0.62	479.83	200
6	200-210	98.824	0.28	0.82	1658.1	1.32	0.69	479.33	190.29
7	240-250	92.424	0.28	0.84	1616	1.26	0.65	457.88	179.42
8	570-580	96.678	0.29	1.07	1616.5	1.06	0.62	472.59	165.34
9	590-600	86.398	0.25	0.77	1779.4	1.25	0.57	438.86	190.76
10	710-720 B	89.517	0.29	0.88	1631.6	1.01	0.61	472.38	148.62
11	710-720 A	85.839	0.34	0.68	1310.7	1.20	0.58	441.24	178.55
12	750-760	131.818	0.27	0.46	1852.3	0.31	0.61	537.5	67.09
13	760-770	97.054	0.28	0.73	1700	1.02	0.62	478.56	159.41
14	790-800	96.346	0.27	0.66	1792.6	0.87	0.62	485.38	136.47
15	810-820	102.867	0.28	0.69	1721.6	0.89	0.63	484.41	144.95
16	820- ***	87.035	0.33	0.84	1343.8	0.70	0.56	441.59	109.71
Average		99.82	0.29	0.82	1673.18	1.05	0.62	478.45	165.49
Max		131.82	0.34	1.07	1907	1.32	0.69	537.5	212.44
Min		85.84	0.25	0.46	1310.7	0.31	0.56	438.86	67.09

عناصر مغزه شماره ۳

براساس مقادیر حاصل از آنالیز عنصری در هر عمق، مقدار حداکثر در بین ۱۲ نمونه‌ی مغزه‌ی سه را عنصر تیتانیوم (۱۲ نمونه) و مقدار حداقل را عنصر پتاسیم (۱۲ نمونه) دربرمی‌گیرد. مقدار آلومینیوم در نمونه‌ها بین ۴/۹۹ تا ۸/۱۳ درصد متغیر است که نشان‌دهنده‌ی تغییرات در ترکیب کانی‌شناسی به‌ویژه میزان رس‌ها و فلدسپارها است. مقادیر تیتانیوم بین ۲۲۵۹ تا ۳۳۹۱ پی‌پی‌ام است؛ غلظت بالای این عناصر ممکن است به‌وجود کانی‌های سنگینی (مانند روتیل) اشاره داشته باشد. میزان آهن بین ۳/۱۱ تا ۵/۹۹ درصد در نوسان است. افزایش آهن (عمق ۲۴۰ تا ۲۵۰ سانتی‌متری) می‌تواند نشان‌دهنده‌ی شرایط احیایی یا وجود کانی‌های غنی از آهن باشد. غلظت منگنز بین ۴۳۱ تا ۶۱۵ پی‌پی‌ام متغیر است. همبستگی احتمالی بین آهن و منگنز می‌تواند به یک منشاء ژئوشیمیایی مشترک اشاره کند. عناصر کلسیم و استرانسیوم اغلب در کانی‌های کربناتی (مانند کلسیت و دولومیت) و گاهی اوقات در فلدسپارها دیده می‌شوند. افزایش استرانسیوم می‌تواند با کانی‌های کربناتی غنی از استرانسیوم یا رسوبات تبخیری مرتبط باشد. مقدار استثنایی نمونه‌ی ۵ با مقدار ۱۴۳۵ پی‌پی‌ام (در عمق ۱۸۵ تا ۱۹۵ سانتی‌متر) نشان‌دهنده‌ی یک تغییر لیتولوژیکی یا فرآیند دیاژنزی باشد. مقادیر کروم و وانادیوم به‌ترتیب بین ۱۰۰ تا ۱۷۳ و ۷۴ تا ۱۱۰ پی‌پی‌ام متغیر است. مقادیر لیتیوم بین ۳۳ تا ۵۱ پی‌پی‌ام است. لیتیوم اغلب در کانی‌های رسی یا رسوبات تبخیری یافت می‌شود. تغییرات چشم‌گیر در غلظت عناصر مختلف در عمق‌های متفاوت نشان‌دهنده‌ی تغییر در محیط رسوبی یا تنوع سنگ‌شناسی است.

جدول ۶: عناصر نمونه‌های مغزه‌ی ۱ پلایای کجی نمکزار

شماره نمونه	عمق نمونه (سانتی‌متر)	Al(%)	Ca(%)	Cr(ppm)	Fe(%)	K(%)	Li(ppm)	Mn(ppm)	Sr(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)
1	0-10	5.89	3.29	164	3.71	1.70	42	572	552	2749	92
2	20-30	5.09	5.36	121	3.11	1.42	36	501	587	2320	75
3	110-120	4.99	4.89	100	3.13	1.39	37	431	599	2259	76
4	170-180	6.14	3.53	120	3.75	1.71	44	536	384	2883	96
5	185-195	5.22	4.83	166	3.24	1.28	37	562	1435	2414	74
6	240-250	5.51	3.54	141	5.99	1.55	37	483	381	2482	84
7	265-275	5.94	3.38	168	3.56	1.66	40	534	304	2883	88
8	360-370	5.95	2.70	122	3.75	1.73	40	556	236	2756	93
9	380-390	6.15	3.48	173	3.76	1.68	39	549	317	2690	88
10	655-665	5.63	2.96	127	3.32	1.52	33	503	222	2583	77
11	680-690	7.30	3.66	170	4.30	2.45	48	615	253	3100	97
12	**	8.13	3.65	172	4.78	2.68	51	597	313	3391	110
	Average	5.10	3.77	145.33	3.87	1.73	40.33	536.58	465.25	2709.17	87.5
	Max	8.13	5.36	173	5.99	2.68	51	615	1435	3391	110
	Min	4.99	2.7	100	3.11	1.28	33	431	222	2259	74

براساس مقادیر حاصل از آنالیز عنصری در هر عمق، مقدار حداکثر در بین ۱۲ نمونه‌ی مغزه‌ی سه را نسبت Ti/K (۱۲ نمونه) و مقدار حداقل را نسبت K/Al (۱۲ نمونه) دربرمی‌گیرد. مقادیر بالای نسبت Mn/Al نشان‌دهنده‌ی شرایط اکسیدکننده است زیرا منگنز در این شرایط به‌صورت اکسیدهای نامحلول رسوب می‌کند، درحالی‌که آلومینیوم (که عمدتاً در فاز رسی است) کمتر تحت‌تأثیر این تغییرات قرار می‌گیرد. مقدار این نسبت بین $۷۳/۴۳$ تا $۱۰۷/۶۶$ متغیر است و در عمق ۶۰ تا ۷۰ سانتی‌متر، بالاترین مقدار را دارد (۱۰۷/۶۶ درصد) که احتمالاً نشان‌دهنده‌ی شرایط اکسیدی قوی در این دوره‌ی زمانی است. مقادیر بالای نسبت Mn/Ca می‌تواند به اکسیداسیون منگنز و ته‌نشینی آن در محیط‌های غنی از کلسیم اشاره کند. وانادیوم در شرایط احیایی (فاقد اکسیژن) نسبت به کروم حلالیت بیشتری دارد. بنابراین مقادیر بالای V/Cr نشان‌دهنده‌ی شرایط احیایی است. با توجه به مقادیر این نسبت در جدول که بین $۰/۸$ تا $۰/۴۵$ متغیر است می‌توان گفت نوساناتی در شرایط (احیایی) در طول زمان رخ داده است. نسبت Fe/Ca ارتباط بین آهن و کلسیم را نشان می‌دهد که می‌تواند به منابع مختلف مواد آهنی در محیط‌های کربناتی اشاره داشته باشد. نسبت‌های Ti/Al و Ti/K معمولاً به‌عنوان شاخص‌هایی برای منشاء مواد رسوبی استفاده می‌شوند. تیتانیوم و آلومینیوم هر دو عنصری هستند که با مواد رسی و آواری مرتبط‌اند و معمولاً در برابر هوازدهی مقاوم هستند. نسبت‌های پایدار Ti/Al در طول مغزه، نشان‌دهنده‌ی ثبات نسبی در منشاء مواد آواری در طول زمان رسوب‌گذاری است. نوسانات جزئی ممکن است نشان‌دهنده‌ی تغییرات در منابع سنگی هوازده در حوضه‌ی آبریز باشد. نسبت‌های عنصری Mn/Al و K/Al نشانگر تغییرات هوازدهی شیمیایی در حوضه‌ی آبریز است. افزایش در این نسبت‌ها حاکی از شرایط مساعد هوازدهی شیمیایی در حوضه آبریز و به نسبت آن افزایش رطوبت و دما است؛ کاهش این نسبت‌ها، نشانه‌ی وجود شرایط خشک در حوضه می‌باشد. افزایش نسبت Ti/K نشان‌دهنده‌ی ورود حجم بالایی از مواد آواری به دریاچه به‌واسطه فرسایش بالا در نتیجه‌ی بارش‌های مناسب در منطقه و کاهش آن نشان‌دهنده‌ی دوره خشک (کاهش ورود مواد آواری) است.

جدول ۷: نسبت‌های عنصری نمونه‌های مغزه‌ی ۱ پلایای کجی نمکزار

شماره نمونه	عمق نمونه (سانتی‌متر)	Mn/Al	K/Al	V/Cr	Ti/K	Fe/Ca	Fe/Al	Ti/Al	Mn/Ca
1	10-20	97.11	0.29	0.56	1617.1	1.13	0.63	466.72	173.86
2	20-30	98.43	0.28	0.62	1633.8	0.58	0.61	455.80	93.47
3	30-40	86.37	0.28	0.76	1625.2	0.64	0.63	452.71	88.14
4	40-50	87.30	0.28	0.8	1686	1.06	0.61	469.54	151.84
5	60-70	107.66	0.25	0.45	1886	0.67	0.62	462.45	116.36
6	70-80	87.66	0.28	0.60	1601.3	1.69	1.09	450.45	136.44
7	205-210	89.90	0.28	0.52	1736.7	1.05	0.60	485.35	157.99
8	220-229	93.46	0.29	0.76	1593.1	1.39	0.63	463.19	205.93
9	240-250	89.27	0.27	0.51	1601.2	1.08	0.61	437.40	157.76
10	270-275	89.32	0.27	0.61	1699.3	1.12	0.59	458.79	169.93
11	335-340	84.25	0.34	0.57	1265.3	1.17	0.59	424.66	168.03
12	472-479	73.43	0.33	0.64	1265.3	1.31	0.59	417.10	163.56
Average		90.35	0.29	0.62	1600.86	1.07	0.65	453.68	148.61
Max		107.66	0.34	0.8	1886	1.69	1.09	485.35	205.93
Min		73.43	0.25	0.45	1265.3	0.58	0.59	417.1	88.14

بحث

عناصر مغزه‌های رسوبی: روند تغییرات عناصر مغزه‌های رسوبی، نشان می‌دهد که دوره‌های مرطوب و دوره‌های خشک با نوسان همراه بوده است. در همین راستا، فازهای مرطوب (که با مقادیر بالای آهن، آلومینیوم، وانادیوم، تیتانیوم، پتاسیم و کروم مشخص می‌شوند) سبب فرسایش بستر در حوضه‌ی آبریز شده‌اند. افزایش کلسیم و استرانسیوم نشانه‌ی دو رخداد تبخیری جداگانه در تاریخچه‌ی این حوضه می‌باشد که به دلیل تغییرات ناگهانی در محیط و منبع رسوبات گذشته باشد. مقادیر بالای آلومینیوم و تیتانیوم ممکن است به وجود کانی‌های سنگین اشاره داشته باشد. مقدار زیاد کلسیم در مغزه‌های رسوبی می‌تواند با افزایش کربنات‌ها و استرانسیوم و رسوبات تبخیری مرتبط باشد. افزایش غلظت بالای پتاسیم در برخی نمونه‌ها با افزایش عمق به افزایش سهم کانی‌های رسی و تغییرات هیدروترمالی اشاره داشته باشد.

نسبت‌های عنصری مغزه‌های رسوبی: افزایش نسبت عنصری Ti/K گویای فراوانی بارش‌ها و حجم بالای مواد آواری می‌باشد. فراوانی نسبت K/Al شرایطی مانند کاهش بارندگی و افزایش دما را بازگو می‌نماید. مقدار تقریباً ثابت نسبت K/Al در برخی مغزه‌ها نشان می‌دهد که ترکیب کانی‌های رسی در طول آن مغزه تقریباً یکنواخت بوده و این یکنواختی نشان‌دهنده‌ی منبع فرسایش پایدار یا عدم تغییرات بزرگ توسط فرآیندهای دیاژنز است. افزایش نسبت‌های Mn/Al و Fe/Al نشان می‌دهد که تغییراتی در میزان اکسیژن محیط رخ داده و می‌تواند به دلیل تغییر در ترکیب شیمیایی پلایا و نوسان در سطح آب‌های زیرزمینی باشد. تغییرات کم در نسبت Ti/Al نشان‌دهنده‌ی این است که منشاء مواد آواری در دوره‌های رسوب‌گذاری دارای ثبات نسبی می‌باشد. افزایش مقادیر نسبت V/Cr با افزایش عمق آب یا افزایش ورود مواد از حوضه‌ی آبریز مرتبط است. نسبت Mn/Al اغلب به عنوان شاخصی برای شرایط اکسیداسیون-کاهش به کار می‌رود و مقادیر بالای آن نشان‌دهنده‌ی شرایط اکسیدکننده است زیرا منگنز در شرایط اکسیدی به صورت اکسیدهای نامحلول رسوب می‌کند، درحالی‌که آلومینیوم که عمدتاً در فاز رسی است کمتر تحت تاثیر این تغییرات قرار می‌گیرد. مقادیر بالای نسبت Mn/Ca می‌تواند به اکسیداسیون منگنز و ته‌نشینی آن در محیط‌های غنی از کلسیم اشاره کند. نسبت‌های عنصری Mn/Al و K/Al نشانگر تغییرات هوازدگی شیمیایی در حوضه‌ی آبریز است. افزایش در این نسبت‌ها حاکی از وجود شرایط مساعد برای افزایش میزان هوازدگی شیمیایی در حوضه آبریز و به نسبت آن افزایش رطوبت و دما است و کاهش آن نشان دهنده وجود شرایط خشک در حوضه می‌باشد.

ژئومورفولوژی و جغرافیای دیرینه‌ی مغزه‌های رسوبی: وجود بالای عنصر تیتانیوم در اکثر لایه‌ها نشان می‌دهد که بخش‌های ارتفاعی به طور مداوم منبع فرسایش بوده‌اند و ورودی رسوبات سنگی را تقویت می‌کردند. با افزایش Ti/K و Ti/Al متناسب با افزایش عمق، این فرض تقویت می‌شود که حوضه به طور پیوسته تجربه سیلاب‌ها و فرسایش شدید را در دوره‌های مختلف داشته است. مقادیر بالای Mn/Al و Mn/Ca و Ca/Sr در برخی لایه‌ها نشان می‌دهد که مغزه در دوره‌های مختلف، دارای محیط‌های آبی با سطح نسبتاً پایدار یا کاهشی وجود داشته است.

نرخ رسوبگذاری: با توجه به میزان نرخ رسوب‌گذاری در پلایای کجی نمکزار به نظر می‌رسد در گذشته (تا ۵۹۰۰ هزار سال گذشته) این نرخ بالا بوده و به مرور زمان کاهش یافته است. با توجه به تغییر و تنوع رخساره‌های رسوبی و نرخ رسوبگذاری در مغزه‌ی Kaj-1 نرخ رسوبگذاری ارتباط بسیار نزدیکی با نوع رخساره‌ها نشان می‌دهد. با حضور و افزایش رخساره‌های تالابی میزان نرخ رسوبگذاری افزایش نشان می‌دهد. در این دوره‌ی زمانی نرخ رسوبگذاری نسبت به دوره‌ی قبل کاهش نشان می‌دهد.

از دیگر عوامل تاثیرگذار در تغییرات (کاهش) نرخ رسوبگذاری می‌توان به تغییرات شیب در منطقه، تغییرات انرژی آب و تغییرات اقلیمی اشاره کرد.

ستون‌های چینه‌شناسی مغزه‌های رسوبی: توالی ستون‌های چینه‌شناسی نشان‌دهنده‌ی یک حوضه‌ی رسوب‌گذاری دریاچه‌ای یا داخلی است که در طول زمان دست‌خوش تغییرات اقلیمی و محیطی شده است. ستون Kz-1 به عنوان شاخصی برای تغییرات قابل توجه در سطح آب و شوری عمل می‌کند، در حالی که ستون‌های Kz-2 و Kz-3 به احتمال زیاد در مناطق عمیق‌تر و پایدارتر حوضه قرار گرفته‌اند که کمتر تحت تاثیر نوسانات محیطی قرار داشته‌اند. تفاوت در توالی‌ها و محتویات بر ناهمگنی جانبی در محیط رسوب‌گذاری تاکید دارد. تغییر از لایه‌های دانه‌درشت و سبزرنگ در اعماق به لایه‌های دانه‌ریز گلی و در نهایت لایه‌های حاوی نمک و تبخیری در سطح، نشان‌دهنده‌ی روند کلی خشک‌تر شدن محیط و تبدیل شدن یک دریاچه‌ی احتمالی پایدار به یک پالایای فصلی با شوری بالاست.

بررسی ستون‌های چینه‌شناسی از لحاظ بافت نشان می‌دهد که رسوبات این منطقه عمدتاً از مواد ریز تشکیل شده‌اند که ویژگی‌های محیط پالایای است. گل و رس بیشترین حجم رسوبات را در هر سه ستون تشکیل می‌دهند که نشان‌دهنده‌ی ته‌نشینی در آب‌های آرام و محیط‌های دور از مرکز است. لایه‌های ماسه و ماسه‌ی گلی به‌ویژه در بخش‌های عمیق‌تر ستون یک (بین ۵۰۰ تا ۸۵۰ سانتی‌متر) نشان‌دهنده‌ی دوره‌های با انرژی بالا یا فاصله‌ی کم با مخروط‌افکنه‌ها هستند. تبخیری‌ها در بخش‌های بالایی هر سه ستون فراوان هستند و شامل کانی‌هایی چون گچ یا انیدریت است که در اثر تبخیر شدید آب و فوق‌اشباع شدن محلول تشکیل می‌شوند. این لایه‌ها بیانگر دوره‌های خشک‌شدگی و تبخیر شدید بوده و ویژگی بارز محیط پالایای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد.

بررسی ستون‌های چینه‌شناسی از لحاظ برخی ویژگی‌های فیزیکی نشان می‌دهد که ستون‌ها حاوی شواهد محیطی مهمی هستند که در راهنمای تصویر (Legend) به آن‌ها اشاره شده است. نودول‌های گلی خشک‌شده، شاهده‌ی بر ترک‌های گل و خشک‌شدگی متناوب رسوبات است که در معرض اتمسفر و نور خورشید قرار گرفته‌اند. نودول‌های آهکی، نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌های شیمیایی ثانویه و ترسیب کربنات کلسیم در ستون‌های رسوبی است. بلورهای هالیت به‌صورت لوزی‌های کوچک در رسوبات گلی دیده می‌شوند. مواد آلی و بقایای گیاهی، نشان‌دهنده‌ی دوره‌های کوتاه و مرطوب است که اجازه‌ی رشد گیاهان یا تجمع مواد آلی را در حوضه داده است. حضور بلورهای هالیت، نشانه‌ی شوری بسیار بالا و خشک‌شدگی کامل یا دوره‌ای سطح پالایا است.

بررسی ستون‌های چینه‌شناسی از لحاظ تغییرات رنگ در محیط نشان می‌دهد که تنوع رنگی در این ستون‌ها بسیار بالا می‌باشد، از سیاه و خاکستری تا قهوه‌ای و سبز. رنگ‌های تیره معمولاً در بخش‌های بالایی و عمیق دیده می‌شوند و نشان‌دهنده‌ی محیط‌های احیایی و غنی از مواد آلی هستند. رنگ‌های قهوه‌ای و قرمز نشان‌دهنده‌ی شرایط اکسیداسیون و حضور اکسیدهای آهن است که در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک فراوان هستند. رنگ‌های سبز و زیتونی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی حضور کانی‌های خاص رسی یا شرایط نیمه‌احیایی در حضور آب باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، تاریخچه‌ی پیچیده‌ای از تغییرات محیطی و اقلیمی را در پالایای کجی نم‌کار طی دوره‌ی هولوسن آشکار می‌سازد. در سه مغزه‌ی برداشت‌شده، تجزیه و تحلیل‌های ژئوشیمیایی و مطالعه‌ی رخساره‌های رسوبی، نوسانات عمده بین دوره‌های مرطوب و خشک را تایید می‌کنند. شواهد نشان می‌دهد که در دوره‌های مرطوب با افزایش بارندگی و

جریان‌های آب سطحی (رواناب‌ها) به حوضه افزایش یافته که با مقادیر بالاتر نسبت‌های عنصری مانند K/Al ، Ti/Al ، Ti/K همراه بوده است. در مقابل، دوره‌های خشک با کاهش ورود رسوبات آواری و تسلط فرآیندهای تبخیری مشخص می‌شوند. داده‌های ژئوشیمی مغزه‌ی یک نشان می‌دهد که نوسان در نسبت‌های عنصری مانند Mn/Al و V/Cr نشان‌دهنده‌ی تغییرات مکرر در شرایط آب‌وهوایی و هیدروژئوشیمیایی است. مقادیر نسبتاً ثابت Ti/Al به پایداری منابع مواد آواری، و نوسان در نسبت‌هایی چون Fe/Ca و Ca/Sr به فرآیندهای دیاژنزی و شیمیایی حوضه‌ی رسوبی اشاره می‌کند. وجود لایه‌های با ترکیب شیمیایی متفاوت به‌ویژه جهش‌های ناگهانی در غلظت کلسیم و استرانسیوم می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تغییرات مهمی در شرایط آب‌وهوایی، محیط رسوب‌گذاری یا منبع رسوبات در گذشته باشد. مغزه‌ی یک نشان می‌دهد که منطقه در طول تاریخ رسوبی با دوره‌های متناوب از فرسایش بالا و ورودی رسوبات فرعی همراه با دوره‌های با کربنات بیشتر و تغییرات اکسیژن‌دهی محیط روبه‌رو بوده است. ستون‌های چینه‌شناسی نشان‌دهنده‌ی حوضه‌ی رسوب‌گذاری که در طول زمان، دست‌خوش تغییرات اقلیمی و محیطی شده است؛ در این زمینه مغزه‌ی یک نشان می‌دهد که تاریخچه‌ی رسوب‌گذاری این منطقه یکنواخت نبوده است. مغزه‌ی دو و سه نشان می‌دهند که منطقه در طول تاریخ رسوبی خود با دوره‌های متناوبی از فرسایش، ورود رسوبات فرعی همراه با دوره‌های با کربنات بیشتر و تغییرات اکسیژن‌دهی محیط روبه‌رو بوده است. این الگو احتمالاً با نوسانات اقلیمی منطقه مانند تغییرات بارش، دما و سطح آب حوضه همسو است. حضور محدودتر بقایای آلی و عدم وجود بلورهای هالیت نشان می‌دهد که این محل احتمالاً در منطقه‌ای عمیق‌تر از حوضه‌ی رسوب‌گذاری قرار داشته و کمتر تحت‌تأثیر شرایط تبخیری و تغییرات سطح آب قرار گرفته است. ستون‌های چینه‌شناسی $Kj-2$ و $Kj-3$ در مناطق عمیق‌تر و پایدارتر حوضه واقع شده و کمتر تحت‌تأثیر نوسانات محیطی قرار داشته‌اند. این موضوع نشانگر انرژی کم و شرایط رسوب‌گذاری آرام در این حوضه است. مطالعه‌ی حاضر نه تنها درک ما را از پاسخ محیط‌های خشک و نیمه‌خشک حساس مانند شرق ایران به تغییرات اقلیمی گذشته عمق می‌بخشد، بلکه با ارائه‌ی یک آرشیو رسوبی با وضوح نسبی بالا می‌تواند به‌عنوان مدلی برای پیش‌بینی واکنش این اکوسیستم‌های شکننده به تغییرات آب‌وهوایی آینده مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- آدابی، محمدحسین، ۱۳۸۳، ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آراین زمین، تهران.
- اکبری، طیبه؛ لک، راضیه؛ شهبازی، رضا؛ قدیمی، مهرنوش؛ اسدی، اشرف؛ کرمی، فریبا؛ ویگاند، پیترا؛ علیزاده، کمال‌الدین؛ بهلینگ، هرمان، ۱۳۹۵، تحلیل ژئوشیمی و پالینولوژیکی رسوبات دریاچه‌ی گهر و شناسایی آب‌وهوای دیرین زاگرس مرتفع، فصلنامه‌ی کواترنری ایران، سال دوم، شماره ۱، صص ۴۰-۲۷.
- امینی عبدالحسین ۱۳۹۷، محیط‌های رسوبی از مدل رسوبی تا بازسازی شرایط محیطی، انتشارات دانشگاه تهران.
- امینی، عبدالحسین؛ شاه‌حسینی، مجید؛ محمدی، علی؛ شهرابی، مصطفی، ۱۳۸۸، ویژگی‌های رسوب‌شناسی و منشاء نهشته‌های دریاچه‌ی ارومیه در حاشیه‌ی بزرگراه شهید کلانتری، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی علوم زمین، شماره ۷۴، صص ۶۸-۵۷.
- امینی، عبدالحسین؛ اخروی، رسول، ۱۳۸۱، محیط‌های رسوبی دیرینه و تشخیص آن‌ها در مطالعات زیرسطحی، انتشارات دانشگاه تهران.
- پورعلی، ملیحه؛ سپهر، عادل؛ محمودی‌قرائی، محمدحسین، ۱۳۹۸، کانی‌شناسی رسوبات سطوح مختلف ژئومورفیک پلایای سبزواری با توجه به تغییر و تحولات اواخر هولوسن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۲، صص ۱۰۲-۸۶.
- تقوی، لعبت؛ طیبی، صفیه؛ طیبی، سبحان؛ کریمیان، بهرام؛ ۱۳۹۲، تحلیل اقلیم دیرینه‌ی بخش شمالی تالاب گاوخونی با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی، فصلنامه‌ی تالاب اکوبیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال پنجم، شماره ۱۶، صص ۶۲-۵۳.
- جلیلیان، طاهره؛ تقیان، علیرضا؛ لک، راضیه؛ درویشی‌خاتونی، جواد، ۱۴۰۰، بررسی تغییرات اقلیمی و محیطی کواترنری پایانی با استفاده از کانی‌شناسی رس‌ها در پلایای گاوخونی، مجله‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال نهم، شماره ۴، صص ۴۱-۲۵.
- حمزه، محمدعلی، ۱۳۹۵، بازسازی شرایط محیطی و اقلیمی دیرینه‌ی جنوب‌شرقی ایران با استفاده از رسوب‌شناسی هولوسن دریاچه‌ی هامون، رساله‌ی دکتری دانشکده‌ی علوم دانشگاه فردوسی مشهد.
- داوودی، محمود؛ عزیزی، قاسم؛ مقصودی، مهران، ۱۳۹۳، بازسازی تغییرات آب‌وهوایی هولوسن در زاگرس جنوبی: شواهد گرده‌شناسی و زغال در رسوبات دریاچه‌ی پریشان، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۱، صص ۷۹-۶۵.
- درویشی‌خاتونی، جواد؛ فتوحی، صمد؛ نگارش، حسین؛ محمدی، علی، ۱۴۰۱، بررسی ژئوشیمی توالی رسوبات بستر دریاچه‌ی آب‌الو در راستای بازسازی شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی هولوسن پسین، دوفصلنامه‌ی کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۱ و ۲، صص ۱۰۶-۸۳.
- داوودیان، جواد؛ احمدی‌زاده، سیدسعید؛ رضایی، محمدرضا؛ ۱۳۹۳، بررسی تنوع زیستی پرندگان زمستان گذر تالاب کچی در خراسان جنوبی در یک دوره‌ی ۵ ساله (۱۳۸۹-۱۳۸۵)، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، سال ششم، شماره ۳، صص ۹۹-۹۱.
- درویش زاده، علی ۱۳۸۰، زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، تهران.
- 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، فصلنامه‌ی کواترنری ایران، دوره‌ی ۵، شماره ۳، صص ۳۴۷-۳۲۳.

- رضائیان لنگرودی، سعید، لک، راضیه، فیاضی، فرج الله. ۱۳۹۰، تفسیر محیط رسوبی دریاچه حوض سلطان در هولوسن با استفاده از مغزه های رسوبی، یافته های نوین زمین شناسی کاربردی، شماره ۱۰، صص ۲۹-۴۰.
- رضایی مقدم، محمدحسین و ثقفی، مهدی، ۱۳۸۵، بررسی تحولات ژئومورفولوژیک پلایای کهک، استان خراسان جنوبی بر اساس روش های استفاده از تصاویر ماهواره ای و منطق فازی، مجله ی جغرافیا و توسعه، دوره ۴، شماره ۸، صص ۴۰-۶۰.
- رئیس السادات، سیدناصر؛ زرین کوب، محمدحسین؛ بارده، مهناز، ۱۳۷۴، کانی شناسی رسوبات کفهی نمکی سهل آباد، خلاصه مقالات چهارمین سمینار بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه بیرجند.
- رئیس السادات، سیدناصر؛ زرین کوب، محمدحسین؛ خطیب، محمد مهدی، ۱۳۹۱، زمین ریخت شناسی و نحوه ی پیدایش پلایای سهل آباد-خاور ایران، جغرافیا و توسعه، سال دهم، شماره ۲۸، صص ۱۱۵-۱۳۲.
- زرین کوب، محمدحسین، ۱۳۷۲، بررسی مواد معدنی با تاکید بر واکنش های آبزا و پدیده ی لیستونیتی شدن در منطقه ی سهل آباد-بیرجند، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشگاه کرمان.
- سامانی، بهرام، ۱۳۵۲، پلایا و مراحل دینامیکی شکل گیری قشرهای نمکین در دشت کویر، سازمان جغرافیایی کشور.
- سبک خیز، فاطمه؛ سیف، عبدالله؛ رامشت، محمدحسین؛ جمالی، مرتضی، ۱۳۹۸، بازسازی تغییرات اقلیمی دریاچه ی مهارلو از هولوسن تا عهد حاضر با تاکید بر ردیابی دوره های گرم و سرد، مجله ی کواترنری ایران، دوره ی پنجم، شماره ۲، صص ۱۶۱-۱۴۳.
- شعبانی عراقی، عارفه، ۱۳۹۹، بازیابی قلمرو دریاچه های پلوویال ایران طی هولوسن و پتانسیل آن در تولید گردوغبار (مطالعه ی موردی: پلایای جازموریان و دامغان)، رساله ی دکتری به راهنمایی مجتبی یمانی و راضیه لک، دانشکده ی جغرافیا، دانشگاه تهران.
- شهبازی، رضا، ۱۳۹۴، مطالعه ی تحولات رسوبی دوره ی کواترنری به منظور تعیین الگوی طبیعی بیابانزایی در پلایا-تالاب شادگان، رساله ی دکتری، دانشکده ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۰۷ ص.
- شیبانی، لیلا، ۱۳۹۸، تحلیل ژئومورفولوژیکی پلایای سهل آباد در کواترنری، پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته ی ژئومورفولوژی (هیدروژئومورفولوژی)، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۵۷ ص.
- صیادی، محمدحسین؛ یوسفی، الهام؛ چمانه پور، الهام، ۱۳۹۹، برآورد سناریو محور نیاز آبی اکوهیدرولوژی تالاب ها در جهت توسعه ی پایدار منابع آبی (مطالعه ی موردی تالاب کجی نمکزار نهبندان)، محیط شناسی، ۴۶ (۱): ۱۹۴-۱۷۷.
- طیعی، صفیه، ۱۳۹۰، استفاده از شاخص های رسوب شناسی برای توصیف شرایط اقلیمی دیرینه در بخش شمالی تالاب گاوخونی، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، گرایش اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.
- طلوعی، جواد، ۱۳۷۵، مطالعه و بررسی ژئوشیمیایی و هیدروشمیایی و شناخت فازهای رسوبات شیمیایی حوضه رسوبی تبخیری دریاچه ارومیه، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.
- فیض نیا، سادات، ۱۳۷۷، سنگ های رسوبی کربناته، انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.
- عبدی، لیلا، ۱۳۸۹، ژئوشیمی رسوبات تبخیری پلایای میقان اراک، پایان نامه ی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- علائی طالقانی، محمود، ۱۳۸۴، ژئومورفولوژی ایران. انتشارات قومس.
- محمدی، علی، ۱۳۸۴، بررسی تاریخیچه ی رسوبگذاری هولوسن در دریاچه ی ارومیه بر اساس مطالعه مغزه های تهیه شده در مسیر بزرگراه شهید کلانتری، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.
- محمدی، علی، ۱۳۸۹، رسوب شناسی و ژئوشیمی نهشته های پلایای جازموریان، فصلنامه ی علمی-پژوهشی خشک بوم، سال اول، شماره ۱، صص ۶۸-۷۸.

- نکوخو، مژگان. ۱۳۸۲، ژئوشیمی و محیط رسوبی نهشته‌های کربناته‌ی پرمین در جنوب‌شرق شهرضا، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی دانشکده‌ی علوم‌زمین دانشگاه شهید بهشتی.
- یمانی، مجتبی، ۱۳۹۹، روش‌ها و تکنیک‌های پژوهش در ژئومورفولوژی، انتشارات دانشگاه تهران.

- Alagarsamy, R., Zhang, J. (2010). Geochemical characterisation of major and trace elements in the coastal sediments of India, *Environmental Monitoring and Assessment*, 161: 161-176
- 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.
- Cohen, A. S. 2003., *Paleolimnology: The history and evolution of lake systems*, Oxford University press, 500 p.
- Cullen HM, Hemming S, Hemming G, Brown F, Guilderson T, Sirocko F, 2000., Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea. *Geology* 28: 379-382
- 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.
- 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., Gharai, 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 Palaio.* 31(12): 616-629.
- Kirillin, G., Shatwell, T. (2016). Generalized scaling of seasonal thermal stratification in lakes, *J Earth Science Reviews*, 161: 179-190.
- Lowe, J.J. and Walker, M.J., 2015., *Reconstructing quaternary environments*. Published October 24, 2014 by Routledge.
- 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.
- Potts, P. J. (1987). *A Handbook of Silicate Rock Analysis*, Mineralogical Magazine, 51: 753
- 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.
- Walker, M. (2006). Formal subdivision of the Holocene series/epoch: a summary. *J. Geol. Soc. India* 93: 135 -141.

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.