

مقاله علمی

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره دوازدهم، شماره چهل و هفتم، بهار ۱۴۰۱

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱

صص ۹۳-۱۱۴

## رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی توالی کواترنری پایانی

### رسوبات بستر پلایای گاوخونی با نگاهی بر اقلیم دیرینه

طاهره جلیلیان، دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

علیرضا تقیان\*، استادیار دانشکده‌ی علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

راضیه لک، دانشیار پژوهشکده‌ی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

جواد درویشی خاتونی، دکتری مدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی

کشور، تهران، ایران

#### چکیده

پلایای گاوخونی به‌عنوان بخش انتهایی حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود، در ایران مرکزی واقع شده است. این منطقه از جمله گودال‌های جداکننده‌ی زون زمین‌ساختی سندج-سیرجان از ایران مرکزی است که به موازات روراندگی زاگرس قرار دارد. بررسی تاریخچه‌ی تکاملی کواترنری پایانی با استفاده از رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی در پلایای گاوخونی موضوع پژوهش حاضر است. در این مطالعه ۱۶ مغزه‌ی رسوبی با استفاده از مغزه‌گیر دستی از رسوبات بستر پلایای گاوخونی و زمین‌های اطراف برداشت شد. تعداد ۹۰ نمونه از ۹ مغزه‌ی رسوبی جهت انجام آنالیزهای دانه‌بندی به دو روش الک مرطوب و دستگاه لیزر، کانی‌شناسی به روش پراش اشعه‌ی ایکس و آنالیز عنصری با دستگاه ICP-OES و دستگاه XRF (X-Ray fluorescence) انتخاب و به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی ارسال شد. برای به دست آوردن زمان تغییرات محیطی در پلایا نیز سه نمونه از دو مغزه‌ی رسوبی مورد آنالیز سن‌سنجی به روش ایزوتوپی  $C_{14}$ -AMS قرار گرفت. تحلیل‌های آماری در نرم‌افزارهای سدی‌لایزر (Sedilizer) و SPSS انجام گرفت. با توجه به نرخ رسوب‌گذاری و عمق مغزه‌های برداشت‌شده، تغییرات اقلیمی حداکثر در ۴۰ هزار سال گذشته بازسازی شد. هشت نوع مختلف رخساره‌ی رسوبی و پنج نوع محیط رسوبی (بادی، رودخانه، دلتا، دریاچه و پلایا) در توالی‌های رسوبی بستر پلایای گاوخونی مورد شناسایی قرار گرفت. با توجه به نتایج، منطقه‌ی گاوخونی در گذر پلیستوسن پسین اقلیمی مرطوب‌تر داشته است. در اوایل هولوسن با کاهش شرایط رطوبتی، گستره‌ی پهنه‌ی آبی گاوخونی کاهش یافته و به تدریج دوره‌ی خشک‌تر آغاز شده که در اوایل هولوسن میانی به اوج خود رسیده است. در هولوسن میانی، مجدداً شرایط رطوبتی به صورت تدریجی مساعد شده و تا حدود هزار سال پیش ادامه داشته است. از حدود هزار سال پیش تاکنون اقلیم نیمه‌خشک حاکم شده که با افزایش در میزان نهشته‌های تبخیری همراه بوده است.

**واژگان کلیدی:** رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی رسوبی، مغزه‌های رسوبی، کواترنری، پلایای گاوخونی.

## ۱- مقدمه

درک ویژگی‌های محیطی زمان گذشته جهت شناخت تغییرات آب و هوایی اهمیت دارد (Hamzeh and Farahi, 2020: 2). تغییرات آب و هوایی در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات بازتاب پیدا می‌کند که می‌توان از آن برای پی بردن به فرآیندهای رسوبی و محیط‌های رسوبی قدیمی استفاده نمود (Kirillin and Shatwell, 2016: 180). سازگاری با تغییرات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای غالباً به درک ماهیت پاسخ‌های ژئومورفولوژیکی به این تغییرات بستگی دارد (Harrison et al, 2019: 809). یکی از روش‌های مطالعه‌ی تغییرات اقلیمی در طول کواترنری و غالباً هولوسن، مطالعه‌ی رسوبات بستر حوضه‌های بسته‌ی درون‌قاره‌ای مانند پلایهاست. رسوبات بستر این محیط‌ها شاخص‌های حساسی از اقلیم‌های محلی هستند (Solotchina et al, 2014: 475; Roop et al, 2014: 8; Abdi et al, 2018: 4). و به دلیل ورود حجم بالای رسوبات و در نتیجه وجود نرخ بالای رسوب‌گذاری، امکان ثبت تغییرات اقلیمی و محیطی با رزولوشن بالا فراهم می‌شود (Hamzeh and Farahi Ghasr- Aboonasr, 2020: 7). به منظور آشکار کردن خصوصیات ثبت‌شده در رسوبات دریاچه‌ای از مؤلفه‌های متعددی از قبیل رسوب‌شناسی، چینه‌شناسی، ژئوشیمی رسوبی، کانی‌شناسی، گرده‌های گیاهی، داده‌های باستان‌شناسی و تغییرات نرخ رسوب‌گذاری استفاده می‌شود (Paik and Kim, 2006: 88).

از مطالعاتی که در حوزه‌ی بازسازی محیط‌های رسوبی و اقلیم گذشته انجام شده است می‌توان به مطالعات هیوارت<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) در زمینه‌ی تأثیر دخالت انسان بر تغییر چشم‌اندازهای طبیعی دشت خوزستان مطالعاتی همچون نقش انسان در تغییر مسیر رودخانه‌ی کرخه و کارون (Walstra et al, 2010: 267-285) اشاره کرد. بوگمانز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی جامع تحولات رسوبی کواترنری تالاب شادگان (جنوب دشت خوزستان) را با استفاده از مغزه‌های رسوبی مطالعه کردند. حمزه و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تحلیل دانه‌بندی و ژئوشیمی رسوبات و ژئومورفولوژی دریاچه‌ی هامون نشان داد که در اوایل هولوسن بارندگی بیشتر بوده و در اواخر هولوسن سطح دریاچه نوسانات بیشتری را تجربه کرده است. شریفی و همکاران (۲۰۱۸) مطالعاتی بر روی شواهد تغییر منشأ غبارهای کمر بند افریقا-آسیا با استفاده از مغزه‌های برداشت‌شده از دریاچه‌ی نئور در شمال غرب ایران داشتند. واعظی و همکاران (۲۰۱۹) مطالعاتی در پلایای جازموریان با استفاده از مغزه‌های رسوبی انجام داده‌اند که در این مطالعات با استفاده از رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی و آلی اقدام به بازسازی شرایط اقلیمی و محیطی در ۲۰ هزار سال گذشته کردند. تبابی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تغییرات محیطی در هولوسن پیشین در زمین‌های شمال گاوخونی و جنوب اصفهان با استفاده از پالینولوژی پرداختند.

درک تغییرات آب و هوایی در طول دوره‌ی کواترنری، نه تنها برای درک اهمیت ویژگی‌های محیط طبیعی، بلکه برای درک بهتر آب‌وهوای کنونی ما ضروری است (Abbas et al, 2016: 6). با وجود اینکه پژوهش‌های انجام‌شده در ایران به‌طور کلی پرده از تغییرات آب و هوایی و وضعیت محیط و ژئومورفولوژی گذشته برداشته است، اما برای به دست آوردن تصویری شفاف از این وضعیت در ایران مرکزی نیاز به انجام پژوهش‌های متعددی است. داده‌های حاصل از ابزارهای هواشناسی با آنکه دقیق‌ترین داده‌ها برای این نوع مطالعات می‌باشند، اما از حیث زمانی حداکثر قادر به شناسایی وضعیت آب‌وهوایی حدود ۶۰ سال گذشته است؛ از این رو انجام پژوهش‌های اقلیم و ژئومورفولوژی دیرینه که منجر به تولید داده‌های طولانی‌مدت می‌شوند، ضروری است. با توجه به اینکه تاکنون مطالعات جامع پایه در زمینه‌ی اقلیم و محیط‌های رسوبی زمان گذشته (حداقل در طول هولوسن) با بررسی توالی‌های رسوبی بستر پلایای گاوخونی انجام نشده است. لذا بررسی رسوبات بایگانی بستر پلایا با استفاده از شاخص‌های رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی می‌تواند به درک بهتر عوامل مؤثر بر روند تغییرات سطح آب در دوره‌های گذشته آن کمک نماید تا با

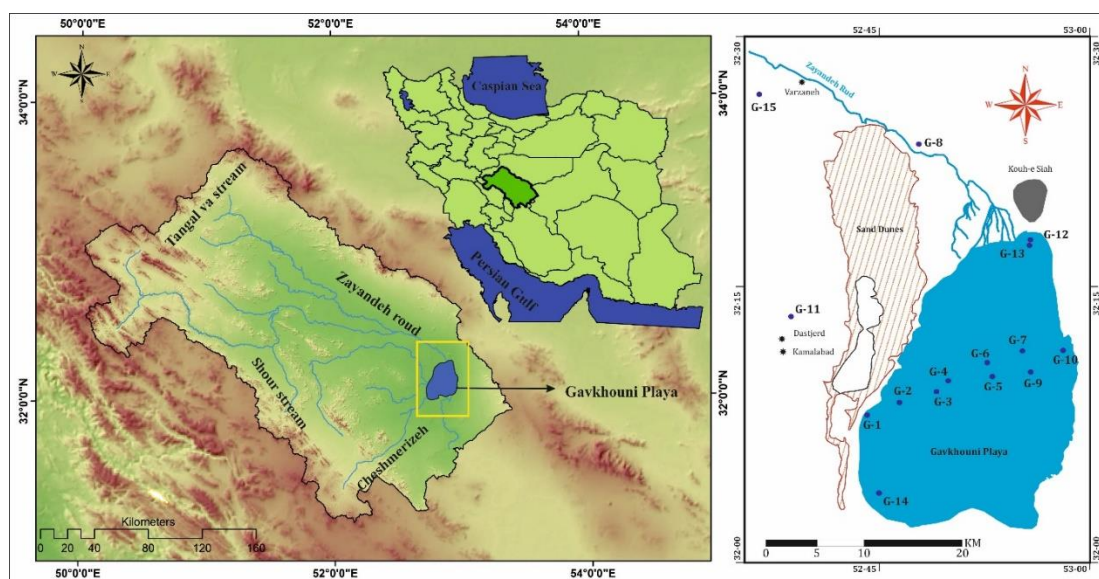
1- Heyvaert

2- Bogemans

استفاده از روندیابی این تغییرات بتوان نسبت به تحلیل شرایط کنونی و تحولات آینده‌ی آن اقدام کرد و آن را به‌عنوان شاخص و الگویی برای بسط این مطالعات در سایر مناطق کشور ارائه داد.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

پلایای گاوخونی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک و وسعتی حدود ۵۵۰ کیلومترمربع، در فلات مرکزی بین عرض جغرافیایی '۰۰-۳۲ تا '۲۳-۳۲ شمالی و طول جغرافیایی '۴۳-۵۲ تا '۴۹-۵۲ شرقی واقع شده است. پلایای گاوخونی در یک حوضه بین کوهستانی در ایران مرکزی واقع شده است. این فرورفتگی از جمله گودال‌های جداکننده‌ی زون زمین‌ساختی ارومیه - دختر از ایران مرکزی است که به موازات روراندگی زاگرس قرار دارد. سیستم ساختاری آن گرابن تا نیمه گرابن است که از کوهزایی و فوران‌های آتشفشانی در پایان کرتاسه و آغاز ائوسن حاصل گردیده است. پلایای گاوخونی توسط رسوبات مخروط افکنه‌ای در شمال، جنوب، شرق و همچنین ماسه‌های بادی در غرب احاطه‌گشته است، دارای دو محیط غالب رسوبی دلتایی و دریاچه‌ی غیردائمی است. محدوده‌ی پلایا نیز از رسوبات ماسه‌ای، گلی و نمکی تشکیل گردیده است (Pakzad and Fayazi, 2007: 98). مهم‌ترین رودخانه‌ی حوضه‌ی آبریز گاوخونی، رودخانه‌ی زاینده‌رود در امتداد تقریبی غرب به شرق است که از کوه‌های زاگرس در غرب استان اصفهان سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسافتی در حدود ۴۴۰ کیلومتر در حاشیه شرقی ماسه‌های بادی به پلایای گاوخونی می‌ریزد. علاوه بر آن، تعدادی از رودخانه‌های فصلی و آبراهه‌ها نیز مستقیماً به آن منتهی می‌شوند (Pakzad and Fayazi, 2007: 94) (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی آبریز پلایای گاوخونی و مغزه‌های برداشت‌شده

## ۳- مواد و روش تحقیق

مراحل انجام این پژوهش شامل جمع‌آوری اطلاعات قبلی و آمار اقلیمی، عملیات صحرایی و مغزه‌گیری، عملیات آزمایشگاهی، پردازش داده‌های صحرایی و آزمایشگاهی، تحلیل داده‌ها و نتیجه‌گیری است. به منظور نیل به اهداف تحقیق اقدام به برداشت ۱۶ مغزه‌ی رسوبی از بخش مرکزی و زمین‌های اطراف پلایای گاوخونی شد (جدول ۱ و شکل

۱). مغزه‌ها توسط مغزه‌گیر دستی<sup>۱</sup> از نوع Handy auger تهیه گردید. از مغزه‌های برداشت‌شده، با دوربین عکاسی، عکس‌برداری شد. توصیف مغزه‌ها به دقت یادداشت گردید و سپس ۹۰ عدد نمونه رسوبی با توجه به تغییر رخساره‌های رسوبی و نوع رسوب در ۹ مغزه منتخب برداشت شد.

جدول ۱: موقعیت و برخی مشخصات مغزه‌های برداشت شده (میزان خطای ارتفاع از سطح دریا  $\pm 3$  متر)

نام مغزه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عمق (سانتی‌متر)	تعداد نمونه
G-1	۶۶۴۱۹۲	۳۵۵۲۴۴۸	۱۴۷۵	۵۳۰	۱۳
G-2	۶۶۷۵۹۲	۳۵۵۳۱۹۰	۱۴۶۸	۶۰۲	۲۱
G-3	۶۷۱۲۵۴	۳۵۵۵۱۹۱	۱۴۶۸	۱۵۰	۶
G-4	۶۷۲۴۸۰	۳۵۵۶۲۷۵	۱۴۶۶	۸۲۰	۲۱
G-5	۶۷۵۸۲۴	۳۵۵۷۴۱۰	۱۴۶۹	۱۹۰	۴
G-6	۶۷۵۴۲۷	۳۵۵۷۵۸۴	۱۴۶۹	۱۰۵۸	۲۰
G-7	۶۷۹۶۴۳	۳۵۵۸۹۷۸	۱۴۷۳	۱۷۰	۸
G-8	۶۶۷۹۱۱	۳۵۸۱۷۸۰	۱۴۷۵	۴۷۸	۲
G-9	۶۷۹۷۷۶	۳۵۵۵۷۹۹	۱۴۶۶	۱۰۰۶	۱۴
G-10	۶۸۴۳۶۸	۳۵۵۹۰۹۱	۱۴۶۵	۳۶۲	۰
G-11	۶۵۵۰۰۸	۳۵۶۳۷۹۵	۱۴۸۰	۱۰۲۲	۱۷
G-12	۶۷۹۸۱۵	۳۵۷۲۹۲۶	۱۴۶۸	۸۰	۴
G-13	۶۷۹۸۰۴	۳۵۷۲۸۳۹	۱۴۶۷	۱۱۳۰	۳۵
G-14	۶۶۴۸۹۵	۳۵۴۴۸۰۱	۱۴۷۲	۵۵۰	۱۶
G-15	۶۴۵۵۳۲	۳۵۸۱۵۱۸	۱۴۹۰	۴۹۰	۸
G-16	۶۱۳۸۵۰	۳۵۷۸۱۰۳	۱۵۶۵	۲۰	۱

نیمی از نمونه‌های رسوبی برداشت‌شده جهت آماده‌سازی و انجام آنالیزهای مختلف و نیمی دیگر جهت بایگانی در دمای ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور منتقل شد. به منظور تعیین اندازه‌ی ذرات رسوبی، نمونه‌ها در داخل الک شیکر مرطوب مدل Analysette 3 ساخت شرکت Fritsch آلمان قرار گرفت. اندازه‌های مختلف دانه‌ها در گذر حدود ۳۰ دقیقه از هم جدا گردیدند. این نمونه‌ها پس از خشک شدن، وزن شده (Tuker, 1988: 124) و سپس ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون توسط دستگاه دانه‌بندی لیزری<sup>۲</sup> مورد آنالیز قرار گرفت. همچنین پارامترهای آماری از قبیل میانگین، کشیدگی، انحراف معیار ترسیمی جامع و کج شدگی ترسیمی جامع رسوبات با استفاده از نرم‌افزار سدی‌لازر محاسبه شد. آنالیز کانی‌شناسی به روش پراش اشعه‌ی ایکس<sup>۳</sup> بعد از حذف اجزاء تبخیری و کربناته و نیز اکسیدهای آهن و مواد آلی از طریق چهار تیمار اشباع با پتاسیم، اشباع پتاسیم بعد از حرارت تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، اشباع منیزیم و اشباع منیزیم پس از تیمار اتیلن گلیکول به روش هاردی و تاکر<sup>۴</sup> (۱۹۸۸) با دستگاه Siemens XRD diffraktometer D5000 (ولتاژ ۴۰ کیلوولت، شدت جریان ۴۰ میلی‌آمپر و

1- Handy Auger

2- Laser particle Sizer Analysette 22

3- XRD

4- Hardiy and Tulker

لامپ مس) انجام شد. جهت آنالیز عنصری از دستگاه ICP-OES (ICP Optical Emission Spectroscopy) مدل Varian 735-ES و دستگاه XRF مدل Magix-PRO استفاده شد. نتایج عناصر اصلی با استفاده از دستگاه XRF (X-Ray fluorescence) به صورت اکسید و با واحد درصد دریافت شد و نتایج میزان انحراف از شرایط معمول<sup>۱</sup> ۵۴ عنصر دیگر بر حسب ppm توسط دستگاه ICP مورد شناسایی قرار گرفت. برای بررسی دقت آنالیزها ۱۰ نمونه‌ی تکراری (حدود ۱۰ درصد کل نمونه‌ها) به صورت کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به حد تشخیص دستگاهی، غالب عناصر دارای خطای آزمایشگاهی زیر ۱۰ درصد و عناصر Sn, Bi, Y, U, Mo, Sb و Be زیر ۱۵ درصد است. با توجه به پراکندگی غیرنرمال عناصر در نمونه‌های رسوبی، ضرایب همبستگی این عناصر با روش مرتبه‌ای اسپیرمن که مستقل از نوع تابع توزیع متغیر است، در نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. در تحلیل خوشه‌ای نیز به منظور تعیین پاراژنرها و نحوه‌ی ارتباط عناصر با یکدیگر از روش Between Groups استفاده شد. در این پژوهش آنالیز سن‌سنجی به روش رادیوکربن (C<sub>14</sub>-AMS) انجام گرفت. کالیبره کردن سن نمونه‌ها با نرم‌افزار کالیبره OxCal (Bronk Ramesy and Lee, 2013: 2) با محدوده‌ی خطای ۲ سیگما و با ضریب اطمینان بالای ۹۵ درصد انجام گرفت. این نمونه‌ها شامل مواد آلی عمدتاً در زمینه‌ی سیلتی و رسی بود. به دلیل شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک، رشد محدود پوشش گیاهی و شرایط نامناسب حفظ و نگهداری از مواد آلی، به نتایج سن‌سنجی ۳ نمونه‌ی رسوبی از مواد آلی بالک اکتفا شد. آنالیز سن‌سنجی در مؤسسه‌ی مطالعات علوم زمین و دریا (مرکز تحقیقات مرمره) کشور ترکیه انجام گرفت.

#### ۴- بحث و نتایج

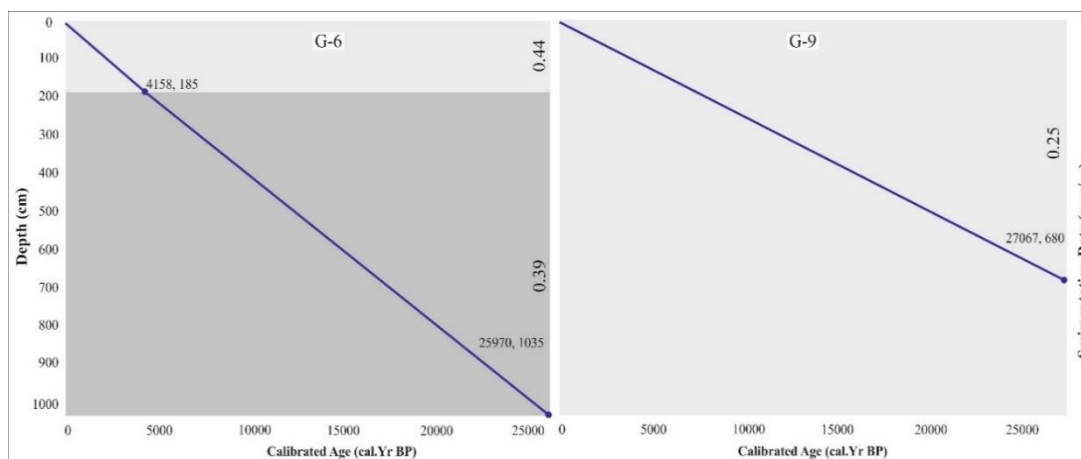
##### ۴-۱- سن‌سنجی

با توجه به نتایج سن‌سنجی (جدول ۲)، نرخ متوسط رسوب‌گذاری در تالاب گاوخونی در قسمت‌های مختلف متفاوت است؛ به گونه‌ای که این میزان برای مغزه‌های مرکزی ۰/۴ میلی‌متر در سال و در مغزه‌های شرقی‌تر (G-9) ۰/۲۵ میلی‌متر در سال است. نرخ رسوب‌گذاری برای مغزه‌ی G-6 از سطح تا عمق ۱۸۵ سانتی‌متری حدود ۰/۴۴ میلی‌متر که از نرخ میانگین بالاتر است و برای عمق ۱۸۵ تا ۱۰۳۵ سانتی‌متری حدود ۰/۳۹ میلی‌متر در سال است (شکل ۲). نرخ رسوب‌گذاری در مغزه‌های حاشیه‌ای نسبت به مغزه‌های مرکزی و شرقی بیشتر است که احتمالاً به دلیل تأثیر نرخ بالای ماسه‌های بادی غرب پلایای گاوخونی بوده است.

جدول ۲: داده‌های سن رادیوکربن و سن کالیبره شده

Core	Sample depth (cm)	Laboratory code	Age <sup>14</sup> C (yr BP)	Calibrated age (yr cal BP)			Date material	Sedimentation Rate(mm/yr)
				Min age	Mean age	Max age		
G-6	۱۸۵	TÜBİTAK-0733	±۲۷ ۳۷۶۴	۴۰۸۰	۴۱۵۸	۴۲۳۶	Organic material	۰/۴۴
G-6	۱۰۳۵	TÜBİTAK-0735	±۷۸ ۲۱۷۲۷	۲۵۸۱۵	۲۵۹۷۰	۲۶۱۲۴	Organic material	۰/۳۹
G-9	۶۸۰	TÜBİTAK-0734	±۸۳ ۲۲۷۳۷	۲۶۷۵۷	۲۷۰۶۷	۲۷۳۷۷	Organic material	۰/۲۵

1- Anomaly



شکل ۲: مدل سن - عمق برای مغزه‌های G-6، G-9 و نرخ رسوب‌گذاری برای رسوبات بستر پلایای گاوخونی

#### ۴-۲- رسوب‌شناسی

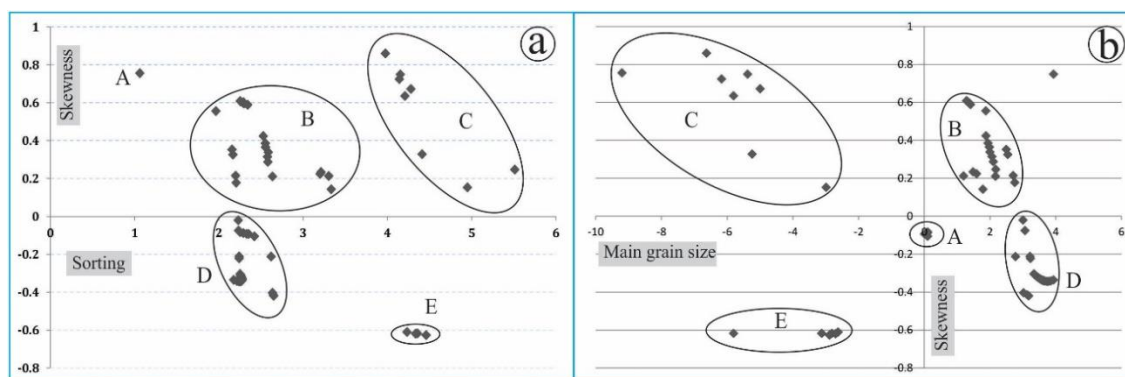
تعیین اندازه‌ی ذرات رسوبی از جمله شاخص‌هایی است که شرایط محیط رسوب‌گذاری و انرژی جریان را نشان می‌دهد. پارامترهای آماری از جمله جورشدگی، کج‌شدگی، کشیدگی و میانگین اندازه‌ی ذرات نسبت به تغییرات انرژی جریان حساس و تحت تأثیر فاکتورهای فرسایش، حمل‌ونقل و سرعت ته‌نشست کنترل می‌شود (Jalilian et al, 2021). با توجه به درصد ذرات موجود در رسوبات بستر گاوخونی (تا عمق حدود ۱۱/۵ متر)، تیپ‌های رسوبی به ترتیب فراوانی، گل، سیلت، رس، ماسه سیلتی، گراول ماسه‌ای گلی، گل ماسه‌ای با کمی گراول، گل با کمی گراول، گل گراولی، ماسه گلی با کمی گراول و گراول ماسه‌ای تعیین گردیدند. جورشدگی رسوبات بستر پلایای گاوخونی به روش انحراف معیار ترسیمی جامع، در محدوده‌ی جورشدگی متوسط تا به شدت بد قرار می‌گیرد. کج‌شدگی به سمت ذرات خیلی ریز تا خیلی درشت‌دانه پراکندگی دارد. میزان کشیدگی در محدوده‌ی بسیار پهن تا بسیار کشیده پراکنده است (جدول ۳). وجود تغییرات بسیار زیاد در میزان پارامترهای آماری رسوب‌شناسی به دلیل ترکیب عملکرد فرآیندهای مختلف آبی و بادی در محیط‌های رسوب‌گذاری مختلف باشد (AIGHadban and ElSammak, 2005: 655). این وضعیت در رسوبات بستر پلایای گاوخونی به دلیل فعالیت فرآیندهای آبی و بادی در محیط‌های ماسه‌بادی، رودخانه، دلتا و دریاچه است. تغییر در اندازه و منشأ رسوبات، عدم وجود جریان‌های رودخانه‌ای با رژیم ثابت، ورود جریان‌های رودخانه‌ای با شدت و مدت متفاوت و حجم و انرژی بالا از ارتفاعات در محیط‌های رودخانه‌ای و دلتایی از عوامل تأثیرگذار در تغییرات پارامترهای آماری رسوبات بستر پلایای گاوخونی است. در قسمت‌های شرقی پلایا به دلیل فاصله‌ی زیاد از مصب رودخانه، با افزایش ذرات دانه‌ریز میزان جورشدگی رو به بهبود و میزان کج‌شدگی مثبت می‌شود. وجود تپه‌های ماسه‌ای در بخش غربی پلایای گاوخونی در میزان پارامترهای رسوبی بسیار تأثیرگذار بوده است.

جدول ۳: میانگین پارامترهای آماری رسوبات در هر مغزه‌ی رسوبی پلایای گاوخونی

شماره مغزه	رس	سیلت	ماسه	گراول	میانگین	جورشدگی	کج‌شدگی	کشیدگی	نوع رسوب
G-1	۵۰/۶۷	۴۰/۹۱	۸/۴۱	۰/۰۰	۲/۱۷	۲/۵۲	۰/۰۱	۰/۸۷	گل
G-2	۳۵/۸۱	۵۷/۰۰	۷/۰۳	۰/۱۷	۱/۶۶	۲/۶۶	۰/۱۲	۱/۰۲	گل
G-4	۴۳/۴۶	۵۰/۱۲	۵/۸۴	۰/۵۸	۱/۹۱	۲/۵۱	-۰/۰۱	۰/۹۹	گل
G-6	۳۹/۰۴	۵۲/۱۳	۶/۵۴	۲/۲۹	۱/۲۷	۳/۱۴	-۰/۰۱	۰/۷۱	گل
G-9	۶۳/۰۰	۳۷/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۵۱	۲/۳۶	-۰/۳۶	۰/۷۳	گل

نوع رسوب	کشیدگی	کج شدگی	جورشدگی	میانگین	گراول	ماسه	سیلت	رس	شماره مغزه
گل	۰/۷۶	۰/۱۳	۲/۶۲	۱/۷۹	۰/۰۰	۷/۶۴	۵۰/۰۸	۴۲/۳۲	G-11
گل	۰/۹۶	-۰/۱۵	۲/۶۷	۱/۶۴	۲/۲۹	۶/۴۱	۴۵/۰۷	۴۶/۲۲	G-13
گل	۱/۶۶	-۰/۲۱	۲/۵۷	۱/۶۶	۰/۴۱	۵/۶۷	۴۵/۹۴	۴۷/۹۸	G-14
گل گراولی	۱/۵۷	۰/۲۵	۲/۸۶	-۲/۱۲	۱۲/۴۰	۲۳/۰۱	۴۶/۱۴	۱۸/۴۵	G-15

همبستگی بین میزان جورشدگی و کج شدگی، کاربرد زیادی برای بررسی ژنز و منشأ رسوبات (Folk, 1974: 134) و استنباط تغییرات انرژی محیط و منشأ ذرات در محیط‌های دریاچه‌ای دارد (Jiang and Ding, 2010: 847). همان‌گونه که در شکل (۳) قابل‌مشاهده است تعداد حدود ۹۰ نمونه دانه‌بندی شده در ۵ محدوده‌ی نمودار قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده‌ی نوع مکانیسم رسوب‌گذاری، فرآیند و منشأ رسوبات است. نمونه‌ی قرارگرفته در محدوده‌ی A با توجه به جورشدگی خوب و میزان کج شدگی مثبت (ذرات دانه‌ریز) مربوط به رسوبات بادی حاشیه غرب پلایای گاوخونی است در عمق‌های حدود ۱ و ۳ متری است. همچنین بخشی از نمونه‌های محدوده‌ی B نیز می‌تواند از دو منشأ بادی و دریاچه‌ای باشد که حاکی از فعال بودن هر دو فرآیند بادی و آبی در این محدوده است، ولی به نظر می‌رسد این محدوده‌ی غالباً تحت تأثیر محیط‌های دریاچه‌ای بوده است، محدوده‌ی C با جورشدگی بسیار ضعیف و کج شدگی به سمت رسوبات دانه‌ریز احتمالاً مربوط به محیط‌های دریاچه‌ای یا دلتایی در مغزه‌های G-12 و G-13 است. رسوبات با جورشدگی بد تا بشدت بد و کج شدگی به سمت ذرات دانه‌درشت مربوط به محیط‌های رودخانه‌ای بالادستی (محدوده‌ی مغزه‌های G-15, G-16 و G-8) است که در محدوده‌ی D و E قابل‌مشاهده است (شکل ۳).



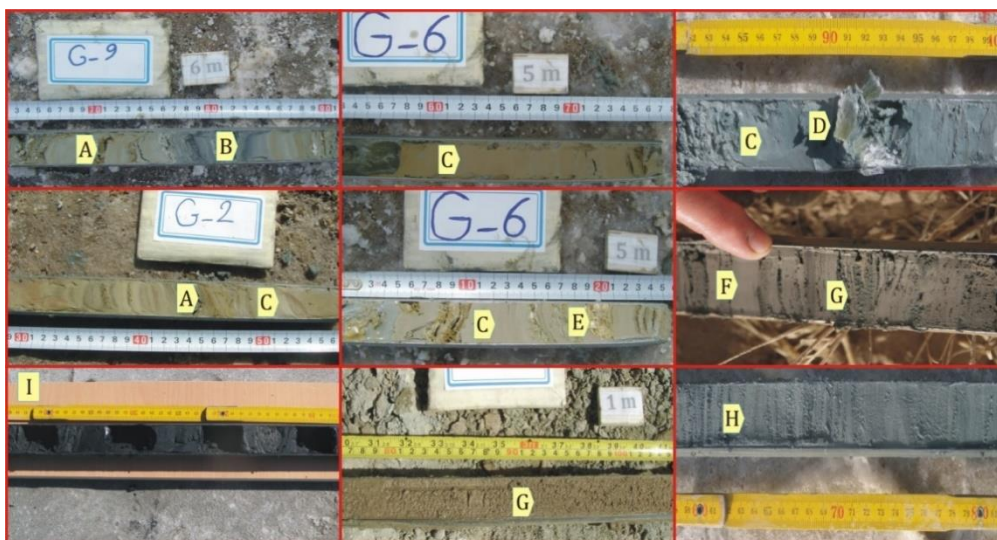
شکل ۳: a- همبستگی بین میزان انحراف معیار ترسیمی جامع و میزان کج شدگی، b- نمودار همبستگی میانگین اندازه‌ی ذرات با میزان کج شدگی

به‌عبارتی‌دیگر، واحد A معرف دوره‌های خشک است که با توجه به عمق مغزه‌ها مدت‌زمان کوتاهی در منطقه حاکم شده‌اند و واحدهای B و C معرف دوره‌های ترسالی و شرایط دریاچه‌ای است که غالباً بیشتر از دوره‌های خشک در منطقه حاکم بوده است. واحدهای D و E معرف دوره‌های مختلف اقلیمی در محیط‌های رودخانه‌ای است که با توجه به رژیم رودخانه متغیر بوده است. به‌طورکلی ویژگی آخرین چرخه‌ی یخچالی در مقیاس جهانی را ظهور نسبت آنی دوره‌های گرم و سپس سرد شدن تدریجی دانست؛ چرخه‌ای که در دوره‌ی پلیستوسن جدید چندین بار تکرار شد. همین موضوع دلیل ایجاد الگوی موسوم به دندان‌اره در نمودارهای دیرین اقلیم‌شناختی است (Bradley, 2015: 396; Lowe and Walker, 2015: 247).



## ۳-۴- رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی

رخساره‌های رسوبی منعکس‌کننده‌ی شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط‌های رسوبی است. در مغزه‌های مورد مطالعه ۸ رخساره‌ی رسوبی شناسایی گردید. رخساره‌های شناسایی‌شده در رسوبات بستر پلایای گاوخونی غالباً دارای رس، گل، ماسه، بقایای گیاهی و رسوبات تبخیری (ژپیس و نمک) است که با توجه به تغییرات محیط رسوبی در توالی رسوبات تغییر داشته‌اند. تغییرات در اندازه‌ی ذرات بین رس تا گراول با توجه به تغییرات فرآیند، انرژی محیط و میزان ورودی رودخانه‌ها و تغییرات رنگ رسوبات با توجه به شرایط رسوب‌گذاری، حضور ماده‌ی آلی، میزان pH، تغییرات شوری و دما و وقوع خشک‌سالی‌ها، در طول مغزه‌ها بوده است. با توجه به بررسی‌های میدانی و رخساره‌های رسوبی، پنج محیط رسوبی شامل محیط‌های بادی، رودخانه‌ای، دلتایی، دریاچه‌ای و پلایایی شناسایی شد.

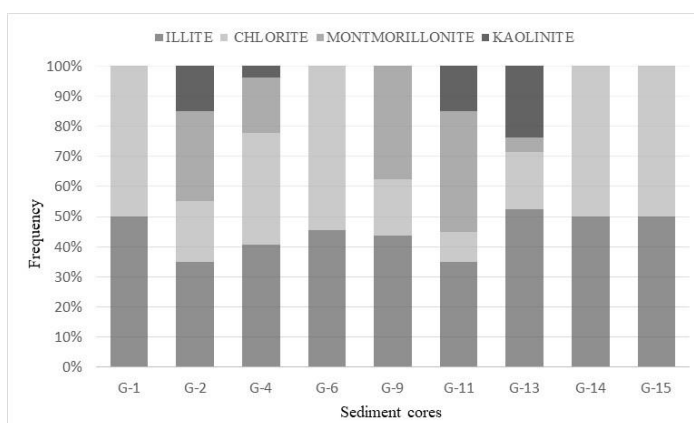


شکل ۴: رخساره‌های موجود در مغزه‌های پلایای گاوخونی: A: رس قهوه‌ای رنگ لامینه‌ای، B: مواد آلی خاکستری تا سیاه‌رنگ مربوط به محیط دلتایی یا دریاچه‌ای، C: رخساره گل نرم به رنگ‌های کرم و گاه قهوه‌ای مربوط به محیط پلایایی، D: ژپیس درشت بلور ثانویه تحت تأثیر محلول‌های غنی از سولفات، E: لامینه‌های نمک در عمق‌های مختلف، F: رس به رنگ‌های مختلف در عمق‌های مختلف در تناوب یا رسوبات دانه‌درشت مربوط به محیط رودخانه‌ای، G: رخساره ماسه قهوه‌ای رنگ خشک (ماسه‌های بادی)، H: تناوب لامینه‌های ماسه‌ای و سیلنتی یا گلی مربوط به محیط‌های دریاچه‌ای، I: برداشت نمونه از مغزه‌ی تهیه‌شده

## ۴-۴- کانی‌شناسی

نتایج آنالیز پراش اشعه‌ی ایکس نشان‌دهنده‌ی حضور کانی‌های کلسیت، کوارتز، هالیت، ژپیس، فلدسپار، دولومیت و کانی‌های رسی کلریت، ایلیت، کائولینیت، مونت‌موریلونیت است که در مغزه‌های مختلف قابل‌شناسایی است. کانی‌های ایلیت و کلریت در مغزه‌های حاشیه‌ای و خارج از محدوده‌ی فعلی پلایا و کانی‌های ایلیت، کلریت، کائولینیت و مونت‌موریلونیت در مغزه‌های داخل حوضه‌ی پلایای گاوخونی شناسایی شد (شکل ۵ و ۶).

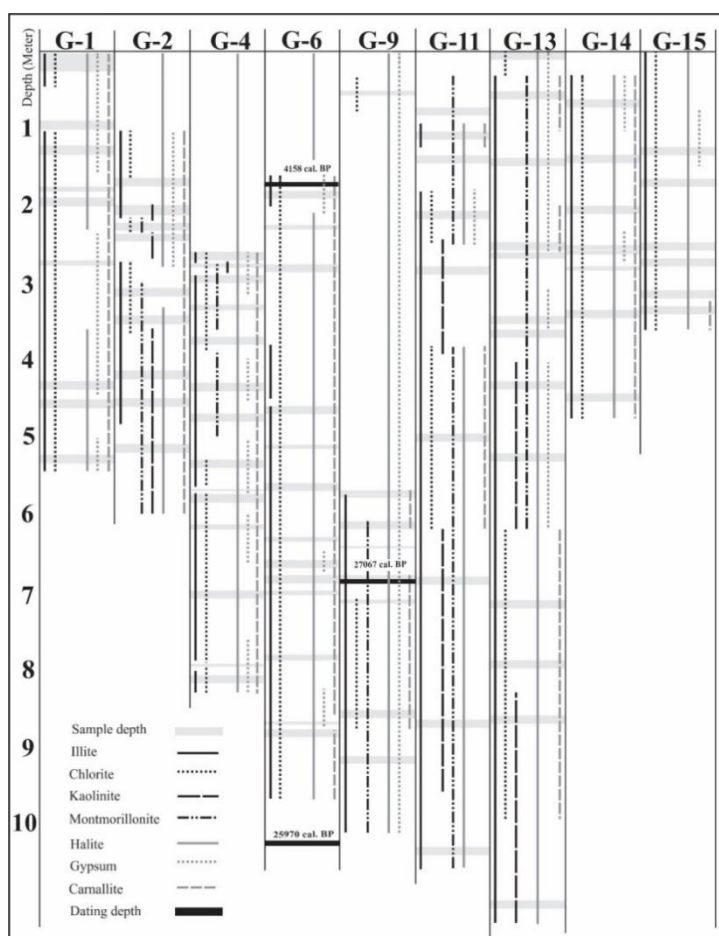




شکل ۵: فراوانی نسبی کانی‌های رسی در مغزه‌های آنالیز شده

عدم وجود کانی‌های رسی خاص محیط‌های دیاژنزی مانند سپیولیت، پالیگورسکیت و کورنزیت (Chamley, 1989: 288) نشان‌دهنده‌ی عدم تأثیر یا تأثیر ناچیز دیاژنوز نوع تبدیلی در رسوبات پلایای گاوخونی است. لذا با توجه به حصول اطمینان از عدم تأثیر دیاژنوز تبدیلی بر روی کانی‌شناسی می‌توان به اقلیم دیرینه در زمان‌های مختلف دست یافت. کلریت موجود در مغزه‌ها ممکن است از شیل‌های با شدت دیاژنوز بالا، ماسه‌سنگ‌های متخلخل، سنگ‌های کربنات و یا در اثر فرآیندهای دیاژنتیکی از ایلیت حاصل شده باشد. کانی‌های ایلیت و کلریت در مغزه‌های حاشیه‌ای در هم‌هی اعماق موجود می‌باشند که به نظر می‌رسد تحت تأثیر ثابت بودن منشأ ذرات و وجود محیط‌های معتدل تا خشک و کم باران و احتمالاً سرد شدن هواست (Anaya-Gregorio et al, 2018: 12; Hernández-Hinojosa et al, 2018: 169). در بخش شمالی پلایا کانی ایلیت و کلریت در هم‌هی عمق‌ها مشاهده می‌شود که با توجه به آنالیز کانی‌شناسی، عمدتاً ناشی از هوازدگی توده‌های بازیک شمال پلایا (کوه سیاه) است. کانی کلریت در عمق‌های حدود ۷ متر و بیشتر مشاهده می‌شود که احتمال تبدیل ایلیت به کلریت در بخش‌های عمیق را تقویت می‌کند (شکل ۶). وجود کانی رسی کائولینیت وابسته به کانی‌های همراه قابل تفسیر و تحلیل است. افزایش فراوانی کانی‌های آواری به‌ویژه کوارتز که حاکی از ورود جریان‌های رودخانه‌ای با حجم بالا در منطقه است، می‌تواند به همراه وجود کانی رسی کائولینیت نشان‌دهنده‌ی دوره‌های اقلیمی مرطوب و گرم باشد. در دوره‌هایی با بارندگی بیشتر کانی‌های رسی کلریت-کائولینیت غالب می‌باشند (Abdi et al, 2018: 15). به‌طورمعمول در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب حاره‌ای با حداکثر هوازدگی اکسیدهای آهن و کائولینیت غالب هستند. کانی کائولینیت در دو مغزه‌ی G-11 و G-13 در عمق‌های بیش از ۳ متر مشاهده می‌شود. مغزه‌های مذکور در مصب رودخانه‌ی زاینده‌رود و بخش غربی پلایا قرار دارد. این مناطق در دوره‌های مختلف مرطوب و خشک به دلیل نزدیکی به مصب رودخانه‌ی زاینده‌رود غالباً شرایط مرطوب داشته‌اند. مونت‌موریلونیت تقریباً در هم‌هی طول مغزه قابل مشاهده است. نوع رخساره‌های رسوبی، نوع کانی‌های رسی موجود و نتایج سن‌سنجی، حضور مونت‌موریلونیت در مغزه‌های مرکزی پلایا با سنی بیش از ۲۵ هزار سال، شرایط معتدل در اواخر پلستوسن را در منطقه تداعی می‌کند. با توجه به نرخ رسوب‌گذاری و بیشترین عمق برداشت‌شده در مغزه‌های اقلیمی را می‌توان تا حداکثر ۴۰ هزار سال گذشته بازسازی کرد. بررسی ستون چینه‌شناسی مغزه‌های برداشت‌شده از بستر پلایا نشان‌دهنده‌ی تغییرات فراوان اقلیمی در این حوضه است. وجود رخساره‌های تبخیری و آواری، وجود رخساره‌های دارای ماده‌ی آلی و بقایای گیاهی، تغییرات فراوان رسوب‌شناسی و پارامترهای آماری رسوبی و وجود رخساره‌های ماسه‌بادی نشان‌دهنده‌ی نوسانات اقلیمی و تغییرات تراز آب دریاچه به صورت تناوبی و متوالی در گذشته است. حساسیت بالای محیط‌های کم‌عمق و بسته به تغییرات اقلیمی باعث ثبت دقیق این نوسانات در بخش‌های حاشیه‌ای می‌شود. در مغزه‌های حاشیه‌ای مانند G-1 و G-2 تغییر در رخساره‌های رسوبی و نوع کانی‌های

رسی به واسطه‌ی تغییرات اقلیمی فراوان است (شکل ۶). همچنین در بخش‌های شمالی و مرکزی پلایا به واسطه‌ی تأمین رسوبات از رودخانه‌ی زاینده‌رود تنوع کانی‌های رسی نسبت به سایر بخش‌ها زیاد است. از طرفی کانی‌های تبخیری در مغزه‌های داخل پلایا نسبت به مغزه‌های حاشیه‌ای و خارج از حوضه بیشتر است. همچنین از عمق به سطح حجم کانی‌های تبخیری افزایش می‌یابد. قدیمی‌ترین رسوبات برداشت‌شده در این پژوهش در مغزه‌ی G-9 است که سنی حدود ۴۰ هزار سال دارد. این رسوبات دارای کانی‌های رسی مونت‌موریلونیت و ایلیت در بخش مرکزی پلایای گاوخونی است. کانی‌های مونت‌موریلونیت و ایلیت با منشأ آواری اقلیم سرد و معتدل را در منطقه تداعی می‌کند. این شرایط اقلیمی تا حداقل ۲۵ هزار سال پیش ادامه داشته است، ولی در این بین، کانی رسی کلریت در حدود ۳۴ هزار سال پیش در رسوبات مشاهده می‌شود که ممکن است در اثر فرآیندهای دیاژنتیکی از ایلیت حاصل شده باشد. همچنین کلریت‌ها عمدتاً از هوازگی سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های دگرگونی درجه پایین حاصل می‌شوند (Chamley, 1989: 421). این فرض تأمین رسوب از سازندهای بالادستی زون ارومیه - دختر را که غالباً دارای سنگ‌ها دگرگونی است، قوت می‌بخشد. وجود شرایط سرد و مرطوب در اواخر پلیستوسن توسط عبدی و همکاران (۲۰۱۸) برای فلات ایران مرکزی و دریاچه‌ی حوض سلطان نیز گزارش شده است. فراوانی کانی کائولینیت به‌عنوان شاخصی برای دوره‌های پرآبی در بخش شمالی (مغزه‌ی G-11) در عمق‌های بیش از ۴ متر مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی دوره‌های پرآبی در اواخر پلیستوسن (حدود ۱۸ هزار سال قبل) و پیشروی خطوط ساحلی به سمت خشکی (G-11) است (Cohen, 2003: 241). از حدود ۱۸ تا ۱۲ هزار سال گذشته شرایط مرطوب تدریجی کاهش پیدا کرده است، در این دوره‌ی کائولینیت جای خود را به مونت‌موریلونیت داده است که حاکی از کاهش میزان بارندگی نسبت به دوره‌ی قبل که کانی کائولینیت قابل‌مشاهده است. با شروع هولوسن در پلایای گاوخونی شرایط اقلیمی تا حدودی تغییر کرده؛ به‌گونه‌ای که در غالب مغزه‌های رسوبی کائولینیت مشاهده نمی‌شود و کانی‌های غالب ایلیت، کلریت و مونت‌موریلونیت است. کانی مونت‌موریلونیت در مغزه‌های G-2، G-4، G-11 و G-13 دیده می‌شود که با رخساره‌های دلتایی در عمق ۳-۴ متر در مغزه‌های G-2 و G-4 همخوانی خوبی نشان می‌دهد. همچنین وجود مونت‌موریلونیت در مغزه‌های برداشت‌شده شمالی (G-13) حاکی از تغذیه دلتای زاینده‌رود در شمال گاوخونی است. وجود مونت‌موریلونیت در مغزه‌ی G-11 در بخش غربی پلایا و تپه‌های ماسه‌ای می‌تواند به دلیل حضور شیل‌های آلتره شده در بخش غربی حسن‌آباد باشد. افزایش کانی‌های تبخیری و عدم حضور کائولینیت و مونت‌موریلونیت در عمق حدود ۳ متری مغزه‌های برداشت‌شده از بستر پلایای گاوخونی در بخش مرکزی نشان‌دهنده‌ی وجود یک دوره‌ی خشک در حدود ۸ هزار سال پیش است (شکل ۶).



شکل ۶: نوع کانی‌های رسی و تبخیری در مغزه‌های برداشت‌شده از پلایای گاوخونی

این دوره که با گسترش ماسه‌های بادی در بستر حاشیه غربی پلایای گاوخونی همراه است، احتمالاً مصادف با رخداد ۸۲۰۰ سال پیش (هولوسن پیشین-میانی) در تغییرات دمایی کره زمین در طول هولوسن است (Rapp, 2019: 251). از عمق حدود یک تا دو متری مغزه‌های برداشت‌شده از بخش مرکزی (ترانسکت عمود بر ساحل) نهشته‌های تبخیری غالب شده و کانی‌های ایلیت و کلریت قابل مشاهده است. در همین دوره‌ی زمانی در مغزه‌های شمالی (مصوب زاینده‌رود) کانی مونت‌موریلونیت به همراه ایلیت و کلریت وجود دارد. با توجه به اینکه زاینده‌رود یک رودخانه‌ی دائمی است، لذا وجود شرایط مرطوب در مصوب رودخانه در طول ۴۰۰۰ سال گذشته منطقی به نظر می‌رسد. این شرایط ممکن است در هزار سال گذشته کمی خشک‌تر از قبل بوده باشد که با عدم حضور این کانی همراه است. به‌طور کلی دوره‌های کم‌آبی نسبی با افزایش در میزان رسوبات شیمیایی خصوصاً تبخیری‌ها و دوره‌های پرآبی در حوضه با افزایش میزان ماسه‌های آواری و همچنین کانی‌های رسی کائولینیت و مونت‌موریلونیت قابل شناسایی است (شکل ۶).

#### ۴-۵- ژئوشیمی رسوبی

هدف از آنالیزهای ژئوشیمیایی در این تحقیق به دست آوردن روابط عددی جهت تفکیک محیط‌ها و یا رخساره‌های وابسته به آن‌هاست. عناصر اندازه‌گیری‌شده شامل عناصر اصلی (اکسیدهای اصلی) با غلظت بیش از یک درصد و عناصر فرعی با غلظتی کمتر از یک درصد بودند که خود به زیرمجموعه‌های عناصر حد واسط، فلزات قلیایی، قلیایی خاکی، اسیدی و عناصر نادر خاکی تقسیم‌بندی می‌شوند. نتایج آنالیز شیمیایی ۹۰ عدد نمونه از ۱۰ مغزه‌ی رسوبی نشان

می‌دهد بیشترین درصد عناصر موجود در رسوبات بستر پلایای گاوخونی و زمین‌های اطراف مربوط به گروه سیلیس و کلسیت است. در این پژوهش با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفته از نسبت‌های عنصری  $Rb/Al$ ,  $K/Al$ ,  $Mn/Al$ ,  $V/Cr$ ,  $Ti/K$ ,  $Si/Fe$  جهت بازسازی وضعیت اقلیمی و محیطی، میزان مواد آواری (معلق و رسوبات رسی) ورودی به حوضه، شدت هوازدگی و فرسایش در حوضه‌ی آبریز و نوسانات سطح آب دریاچه استفاده شده است.

نسبت‌های  $Co/Ni$  و  $V/Cr$  شاخص مناسبی برای بررسی شرایط رطوبتی موجود در رسوبات دریاچه‌ای در زمان گذشته کارایی دارد. نسبت‌های مذکور تفکیک تغییرات محیطی از دریاچه‌ی کم‌عمق (تحت تأثیر اکسایش) یا فصلی با دریاچه‌ای عمیق (شرایط احیا) را فراهم می‌کند (Calanchin, 1996: 251; Wang and Zhai, 2007: 1265). در این مطالعه منحنی نسبت  $V/Cr$  به دلیل داشتن تغییرات متمایز نسبت به سایر نسبت‌های وانادیوم برای تفسیر محیط رسوبی مناسب‌تر به نظر می‌رسد. در دوره‌های گرم و مرطوب نسبت‌های عناصر معدنی مانند  $Mn/Al$ ,  $K/Al$ ,  $Si/Fe$ ,  $Mn/Ca$ ,  $Rb/Al$ ,  $Ti/Al$  به سرعت افزایش می‌یابند. این شرایط با مطالعات انجام‌شده حاصل از نسبت‌های عنصری در سایر حوضه‌های رسوبی دریاچه‌ای نیز صادق است (Chen et al, 2013: 24). افزایش نسبت  $Si/Fe$  شرایط گرم‌تر را نشان می‌دهد و این نسبت در اقیانوس اطلس شمالی به‌عنوان نماینده‌ی ذوب یخبندان مورد تحلیل قرار گرفته است (Erbs- Hansen et al, 2013: 94). دوره‌های گرم و مرطوب با میزان فرسایش و هوازدگی شیمیایی بالا در اثر بارندگی‌های مناسب همراه است (Gayantha et al, 2017: 21). در این دوره‌ها ورود مواد آواری از حوضه‌ی آبریز به پلایا افزایش می‌یابد. همچنین روند کاهش این نسبت‌ها حاکی از وجود شرایط نسبتاً نامناسب برای هوازدگی و فرسایش با کاهش میزان بارندگی و ایجاد شرایط خشک است که این دوره‌ی زمانی با کاهش عمق آب در دریاچه و افزایش اکسیداسیون در رسوبات بستر همراه است (Gayantha et al, 2017: 22). آهن و منگنز نسبت به ایجاد شرایط اکسیدان در محیط‌های دریاچه‌ای و دریایی حساس هستند (Haberyan and Hecky, 1987: 175). در دوره‌هایی که سطح آب دریاچه به دلیل کاهش ورودی یا افزایش تبخیر کاهش می‌یابد، رسوبات بستر دریاچه اکسیژن بالایی دریافت می‌کنند؛ از این رو نسبت  $Mn/Al$  و  $Fe/Al$  افزایش نشان می‌دهند. از نسبت‌های  $Zr/Al$ ,  $Ti/K$ ,  $Ti/Al$ ,  $Fe/Ca$ ,  $Al/Si$  برای برآورد تغییرات مواد رسوبی واردشده به حوضه در طول کواترنری پایانی در منطقه‌ی قطب شمال استفاده شده است (Spofforth et al, 2008: 8; Polyak et al, 2009: 11). با توجه به رفتار ژئوشیمیایی متفاوت عناصر مختلف، از نسبت  $Ti/K$  به‌طور گسترده برای ترسیم تغییرات در رژیم‌های هوازدگی استفاده شده است (Fernandez et al, 2013: 259). افزایش این نسبت‌ها نشان‌دهنده‌ی ورود حجم بالایی از مواد آواری به دریاچه است (Govin et al, 2012: 4). نسبت  $Sr/Ca$  شاخص مهمی برای بازسازی شرایط آب و هوایی است. تمرکز عنصر استرانسیم نیز ارتباط مستقیمی با دمای آب دارد (Vincent et al, 2005: 5014).

در مغزه‌های مورد مطالعه تغییرات نسبی عناصر در دوره‌های زمانی مختلف بسیار زیاد است، این وضعیت حاکی از وجود تغییرات شدید در توالی رسوبات بستر دریاچه گاوخونی است. این مطالعه تفکیک تغییرات محیطی و اقلیمی را در منطقه‌ی مرکزی ایران در طول حداقل ۴۰ هزار سال گذشته را فراهم می‌آورد. در این پژوهش رویدادهای اقلیمی و محیطی در توالی رسوبی برداشت‌شده از پلایای گاوخونی با توجه به آنومالی عناصر و ۶ نسبت عنصری شناسایی شده است (شکل ۷). نسبت‌های عنصری  $Mn/Al$  و  $K/Al$  به‌عنوان نشانگر تغییرات هوازدگی شیمیایی در حوضه‌ی آبریز در بازه‌ی زمانی ۴۰ هزارساله به ترتیب بین ۰/۱۶ تا ۰/۳۷ و ۰/۲۴ تا ۰/۶۲ در تغییر است. افزایش در این نسبت‌ها حاکی از وجود شرایط مساعد برای افزایش میزان هوازدگی شیمیایی در حوضه‌ی آبریز و به نسبت آن افزایش رطوبت و دما است و کاهش آن نشان‌دهنده‌ی وجود شرایط خشک در حوضه است. این نسبت‌ها همبستگی بالایی با یکدیگر و میزان  $Rb/Al$  که نشانگر تغییرات رطوبت و سطح تراز آب دریاچه است، نشان می‌دهد (شکل ۷). میانگین نسبت‌های عنصری  $Mn/Al$  و  $K/Al$  از حاشیه‌ی پلایا به سمت بخش‌های مرکزی کاهش محسوس نشان می‌دهد. همچنین بالا بودن نسبت  $Mn/Al$  در محیط‌های دلتایی بسیار مشهود است. این مسئله نشان‌دهنده‌ی فعال بودن هوازدگی

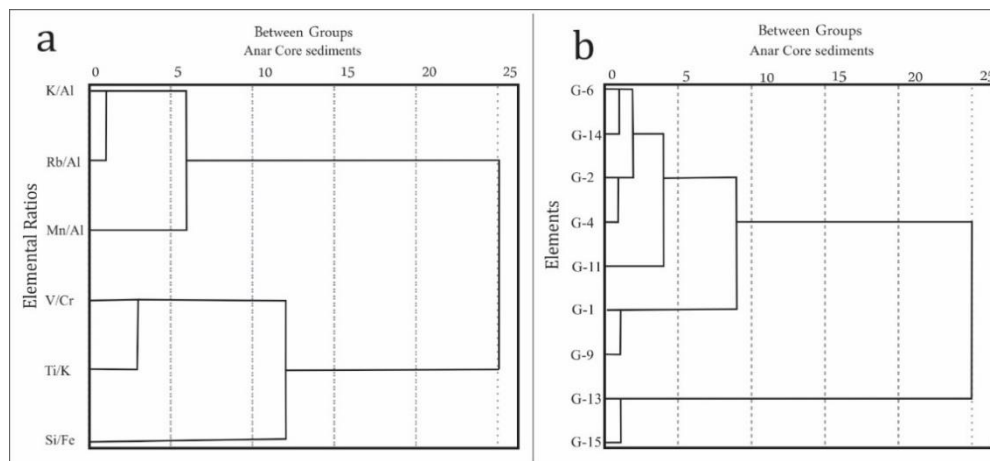
شیمیایی و فرسایش در حوضه‌ی آبریز و حمل رسوبات به سمت پلایا است. بیشترین میزان نسبت عنصری K/Al نیز در مغزه‌ی G-14 در جنوب پلایای گاوخونی است که از نظر رسوب‌شناسی در محیط دلتایی رودخانه ایزدخواست در عمق حدود ۱ تا ۱/۵ متر ثبت شده است. تغییرات نسبت Rb/Al و V/Cr به ترتیب با میانگین ۰/۱۸ و ۶۸/۵ تغییر در سطح تراز آب دریاچه و میزان بارش در منطقه را نشان می‌دهد. تغییر در مقدار و اختلاف بین بیشینه و کمینه‌ی این نسبت‌ها در مغزه‌های مرکزی کمتر و مغزه‌های حاشیه‌ای بیشتر است. این بدان معنی است که در مغزه‌های مرکزی، شرایط پایدار رطوبتی وجود داشته است و احتمالاً نوسانات سطح تراز آب در بخش مرکزی پلایا کمتر بوده است؛ حال آنکه در حاشیه‌ی پلایا نوسانات تراز آب شدید و زیاد بوده است. جالب آنکه نسبت Rb/Al و V/Cr اتفاقات اقلیمی مانند دوره‌ی خشک ۴۲۰۰ و ۸۲۰۰ را به خوبی نشان می‌دهد. این نسبت‌ها در این دوره‌های خشک کاهش نشان می‌دهد که این کاهش در مغزه‌های G-1 و G-2 بسیار مشهود است. افزایش در نسبت Ti/K حاکی از افزایش ورود رسوبات آواری به دریاچه به واسطه فرسایش بالا در حوضه‌ی آبریز در نتیجه بارش‌های مناسب در منطقه و کاهش آن نشان‌دهنده‌ی دوره‌ی خشک یا کاهش ورود مواد آواری است. این نسبت در عمق‌های بیشتر میزان بالایی را نشان می‌دهد که در قسمت‌های کم‌عمق این میزان کاهش می‌یابد. این مسئله نشان‌دهنده‌ی وجود بارش‌های مساعد در اواخر پلئستوسن نسبت به هولوسن است. میزان این نسبت عنصری در مغزه‌های حاشیه‌ای با ورود ماسه‌های بادی و در بخش‌های مرکزی با رخساره‌های دلتایی افزایش نشان می‌دهد. این نسبت در مغزه‌های مورد مطالعه بین ۰/۳ تا ۱ نوسان دارد. کمترین میزان این نسبت عنصری مربوط به مغزه‌ی مرکزی است که به دلیل دور بودن از حاشیه‌ی پلایا کمترین میزان ورود مواد آواری به این نقطه بوده است. بیشترین میزان نیز به منطقه‌ی شمال پلایا و مغزه‌ی G-13 است که در دلتای فعلی زاینده‌رود برداشت شده است که به نظر منطقی می‌رسد. نسبت‌های Si/Fe نشان‌دهنده‌ی تغییرات دما و رطوبت است. این نسبت همبستگی بالایی با میزان ورود مواد آواری به دریاچه نشان می‌دهد (شکل ۷). بیشترین میزان این نسبت با عدد ۱۳/۲۴ مربوط به بخش آبدار دلتای فعلی زاینده‌رود در بخش شمالی پلایای گاوخونی در سطح مغزه‌ی G-13 و کم‌ترین میزان در مغزه‌های حاشیه‌ی غربی پلایا با عدد حدود ۴ است. همچنین در دوره‌های خشک ۸۲۰۰ و ۴۲۰۰ سال پیش میزان نسبت‌های Si/Fe و Ti/K افزایش نشان می‌دهد، اما با توجه به کاهش در میزان نسبت‌های Rb/Al و V/Cr احتمال ورود ماسه‌های بادی به حوضه‌ی رسوبی را در آن دوره‌ی زمانی تقویت می‌کند.



شکل ۷: تغییرات نسبت‌های عنصری در مغزه‌های برداشت‌شده از بستر پلایای گاوخونی

همان‌گونه که در نمودار خوشه‌ای (شکل ۸ a) قابل مشاهده است، نسبت عنصری  $K/Al$  همبستگی بسیار بالایی با  $Rb/Al$  نشان می‌دهد این مسئله نشان‌دهنده‌ی افزایش میزان فرسایش و هوازدگی شیمیایی در حوضه‌ی آبریز این دریاچه با تغییرات سطح تراز آب دریاچه است. افزایش در میزان هوازدگی و فرسایش که تحت تأثیر افزایش رطوبت و دما تشدید می‌شود به‌طور مستقیم و در بسیاری از زمان‌ها به سرعت سطح تراز دریاچه را متأثر ساخته است. نسبت  $K/Al$  با  $Mn/Al$  که هر دو به‌عنوان شاخص تغییرات هوازدگی شیمیایی در این مطالعه استفاده شده است، همبستگی بالایی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه نسبت‌های  $V/Cr$ ،  $Ti/K$  و  $Si/Fe$  در یک شاخه قرار گرفته‌اند (شکل ۸ a)، این مسئله حاکی از ارتباط مستقیم رطوبت (بارش) و دما با ورود مواد آواری به دریاچه است. یا افزایش دما میزان هوازدگی در حوضه افزایش یافته و در نتیجه ورود مواد آواری افزایش می‌یابد. با توجه به تحلیل‌های انجام‌گرفته به نظر می‌رسد در حوضه‌ی گاوخونی نقش بارش یا رطوبت بیش از دما در هوازدگی شیمیایی مؤثر است. همچنین در شکل (۸ b) تغییرات نسبت‌های عنصری در مغزه‌های  $G-13$  و  $G-15$  همبستگی بالایی نسبت به سایر مغزه‌ها نشان می‌دهد که

حاکي از وجود شرایط محیطی یکسان (آبرفتی و دلتایی) است. بقیه مغزه‌ها نیز با توجه به تغییرات نسبت‌های عنصری شرایط یکسانی (دریاچه‌ای و پلایایی) را نشان می‌دهند.



شکل ۸: a- نمودار خوشه‌ای نسبت‌های عنصری و همبستگی آن‌ها، b- نمودار خوشه‌ای مغزه‌ها و ارتباط ژنتیکی در پلایای گاوخونی

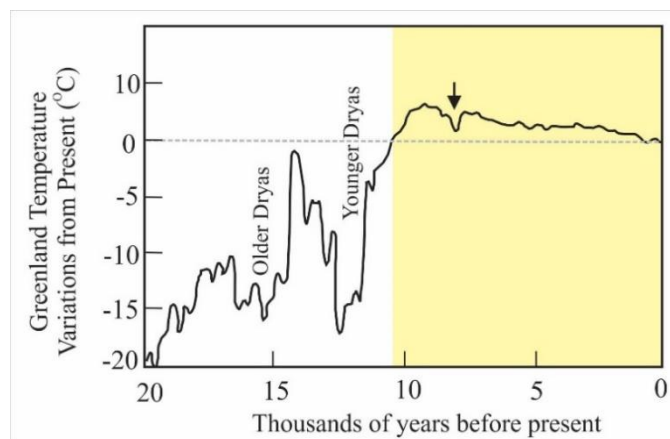
حدود ۴۰ تا ۱۸ هزار سال پیش، منطقه‌ی گاوخونی تحت تأثیر منابع رطوبتی مناسب بوده است، در نتیجه میزان بار رسوبی واردشده به پلایای گاوخونی بالا بوده است. تشکیل دلتای بزرگ زاینده‌رود در موقعیت فعلی G-15 و G-16 انجام شده است که ذرات دانه‌درشت در اندازه‌های گراول و ماسه نهشته شده است که در حال حاضر به‌عنوان معدن شن و ماسه در حال بهره‌برداری است. در این دوره بخش‌های شرقی پلایا دارای رسوبات دریاچه‌ای بوده است. از ۱۸ هزار سال پیش با کاهش منابع رطوبتی در منطقه نسبت‌های Rb/Al و V/Cr کاهش محسوسی نشان می‌دهد که حکایت از کاهش بارش و کاهش سطح تراز دریاچه‌ی گاوخونی دارد. با پس‌روی تدریجی خطوط ساحلی، حرکت دلتای بزرگ زاینده‌رود به از حدود مرکز به سمت شمال پلایا اتفاق افتاده است. با شروع هولوسن، هجوم نهشته‌های ماسه‌بادی و گسترش محیط پلایایی در حاشیه‌ی دریاچه اتفاق افتاده است. با توجه به تغییرات نسبت‌های عنصری و وجود ماسه‌های بادی زردرنگ در عمق حدود ۳۳۰ سانتی‌متری در مغزه‌های بخش غربی پلایای گاوخونی (G-1, G-2, G-3 و G-4) حاکي از فعالیت فرآیند بادی حدود ۸۲۰۰ سال پیش است. این دوره که با گسترش ماسه‌های بادی در بستر حاشیه‌ی غربی پلایای گاوخونی همراه است، احتمالاً مصادف با رخداد ۸۲۰۰ سال پیش (هولوسن پیشین- میانی) در تغییرات دمایی کره زمین در طول هولوسن است (Rapp, 2019: 268). شرایط مشابه دیگری در عمق متوسط حدود ۱-۲ متر در مغزه‌های حاشیه‌ی غربی و مرکزی حاکي از وجود شرایط خشک دیگر با سنی حدود ۴۲۰۰ سال قبل در منطقه است. دوره‌های خشک ۸۲۰۰ و ۴۲۰۰ سال پیش در مطالعات دیگر نیز با شدت و مدت متفاوت گزارش شده است (Hamzeh et al, 2016: 618; Vaezi et al, 2019: 562; Minniti and Seyed sajadi, 2019: 545). با توجه به میزان نسبت‌های عنصری در دو دوره‌ی خشک به نظر می‌رسد شدت و مدت دوره‌ی خشک ۸۲۰۰ سال پیش به مراتب بیشتر از دوره‌ی خشک ۴۲۰۰ سال پیش بوده است.

#### ۴-۶- تحلیل و تفسیر مغزه‌ها جهت تعیین جغرافیا و اقلیم گذشته

با بررسی ستون چینه‌ای مغزه‌های برداشت‌شده از رسوبات بستر پلایای گاوخونی، به فعالیت فرآیندهای مختلف آبی و بادی در محیط‌های مختلف رسوبی در طول پلیستوسن پایانی و هولوسن می‌توان پی برد. این فرآیندها از حاشیه‌ی



دریاچه به سمت مرکز دچار تحولات و تغییرات جانبی (بین‌انگشتی) می‌شود. به‌گونه‌ای که از غرب به شرق نهشته‌های آبرفتی و دلتایی جایگزین، نهشته‌های بادی، پلایایی و رسوبات دریاچه‌ای جایگزین نهشته‌های آبرفتی و رسوبات دلتایی می‌شود. با توجه به نتایج سن‌سنجی، نوع رخساره‌های موجود در مغزه‌های رسوبی و محیط‌های رسوبی شناسایی شده، حدود ۳۰ هزار سال پیش، منطقه‌ی گاوخونی تحت تأثیر بارش‌های فراوان بوده است، در نتیجه‌ی آورد رسوبی از غرب تالاب بالا بوده و در حاشیه‌ی غربی پرشدگی پلایای فعلی با رسوبات آبرفتی و دلتایی اتفاق افتاده است. انرژی و حجم بالای آب‌های واردشده و در نتیجه میزان بالای بار رسوبی حمل شده به پلایای گاوخونی، باعث شده که در موقعیت فعلی مغزه‌ی G-5، رخساره‌های مربوط به دلتا و در موقعیت فعلی مغزه‌ی G-1 و G-2، رخساره‌های آبرفتی مشاهده شود. با توجه به نتایج سن‌سنجی در مغزه‌ی G-6 و G-9 به نظر می‌رسد شیب حوضه‌ی گاوخونی از غرب به شرق بوده و پر شدن در جهت شیب با ورود رسوبات انجام گرفته است. این وضعیت تا حدود ۱۸ هزار سال قبل ادامه داشته است. در این دوره بخش‌های شرقی حوضه دارای رسوبات دریاچه‌ای بوده است. از ۱۸ هزار سال تا حدود ۱۱۶۰۰ سال پیش، با پیشروی خطوط ساحلی به سمت خشکی همراه بوده است. در این دوره ۶۴۰۰ ساله دیر یخبندان‌های Older Dryas از حدود ۱۶۵۰۰ تا ۱۴۵۰۰ سال پیش و Younger Dryas پیش از شروع هولوسن از ۱۲۸۰۰ تا ۱۱۶۰۰ سال پیش رخ داده (Rapp, 2019: 124) که در این دوره‌ها آب‌وهوای نیمکره‌ی شمالی سردتر شده است. با شروع هولوسن، افزایش دما تا ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد (Cuffey and Clow, 1997: 26389) منجر به نهشته‌شدن رسوبات پلایایی، دلتایی و آبرفتی شده است و پیشروی خشکی به سمت دریاچه اتفاق افتاده است (شکل ۹). این وضعیت تا مناطق مرکزی گاوخونی نیز ادامه داشته است. نکته‌ی قابل توجه اینک، بعد از Younger Dryas ابتدا نهشته‌های پلایایی از ساحل غربی به سمت دریاچه گسترش پیدا کرده‌اند و سپس نهشته‌های دلتایی از شمال گاوخونی وارد حوضه شده و بخشی از نهشته‌های پلایایی را از طریق فرسایش آبی به بخش جنوبی حوضه منتقل نموده است.

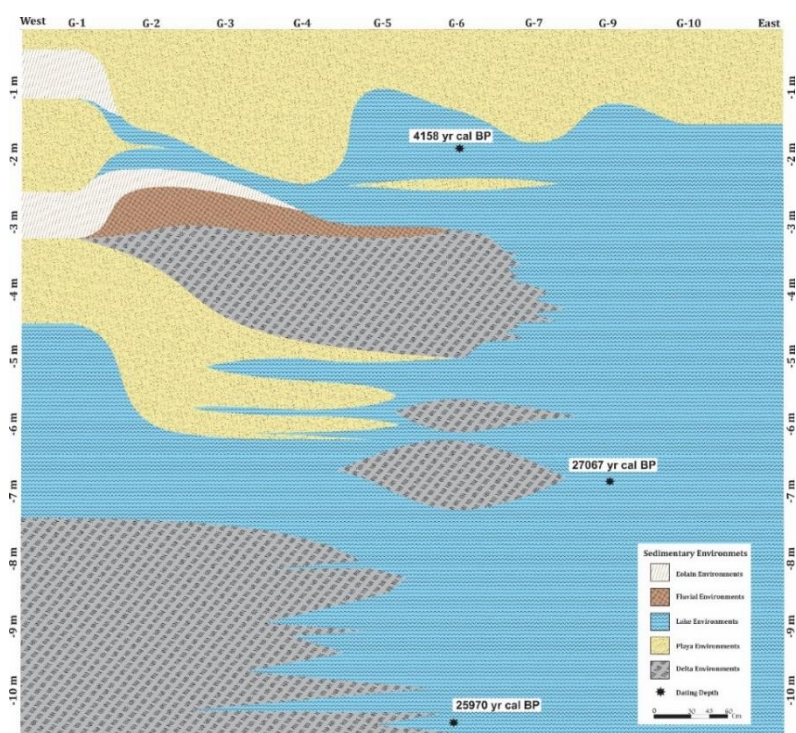


شکل ۹: تغییرات دمای کره‌ی زمین در ۲۰ هزار سال گذشته (مقادیر دما از مغزه‌های یخی گرینلند بازسازی شده است (Rapp, 2019: 285)

این شرایط حدود ۸۵۰۰ سال پیش رخ داده است که بعد از آن نیز نهشته‌های آبرفتی از شمال منطقه تا بخش مرکزی منتقل شده‌اند که نشان از وجود حجم و انرژی بالای زاینده‌رود در طول دوره ۸۵۰۰ تا حدود ۸۲۰۰ سال پیش دارد. وجود ماسه‌های بادی زردرنگ در عمق حدود ۳۳۰ سانتی‌متری در مغزه‌های بخش غربی پلایای گاوخونی (G-1، G-2، G-3 و G-4) حاکی از فعالیت فرآیند بادی حدود ۸۲۰۰ سال پیش است. این دوره که با گسترش ماسه‌های بادی در بستر حاشیه‌ی غربی پلایای گاوخونی همراه است، احتمالاً مصادف با رخداد ۸۲۰۰ سال پیش (هولوسن پیشین-میانی) در تغییرات دمایی کره‌ی زمین در طول هولوسن است (Rapp, 2019: 290) (شکل ۹).

این رخداد که بیش از ۳۰۰ سال در منطقه طول کشیده است، در منطقه‌ی بین‌النهرین به صورت سرد و خشک عمل کرده و هم‌زمان با رخداد‌های یخ‌رفتی در منطقه‌ی اطلس شمالی، ضعیف شدن جریان‌های موسمی در حدود ۹۰۰۰ سال پیش به همراه رخداد‌های خشکی شدید در جنوب غرب آسیا (خاورمیانه) شده است (Parker et al, 2006: 472). با توجه به اینکه رخساره‌های رسوبات بادی تا مرکز پلایای گاوخونی گسترش داشته است، نشان‌دهنده‌ی افزایش بسیار زیاد شدت و فراوانی وزش باد نسبت سایر توالی‌های ماسه‌بادی ثبت‌شده در رسوبات بستر گاوخونی 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 حوضه گردیده که هم‌اکنون به‌عنوان "دشت جهنم" شناخته می‌شود. رخداد ۸۲۰۰ سال پیش در مطالعاتی که حمزه و همکاران (۱۳۹۶) در رسوبات بستر هامون انجام داده‌اند، نیز با ظهور ماسه‌های بادی گزارش شده است. وجود گل به رنگ قهوه‌ای روشن با سنی حدود ۴۲۰۰ سال پیش نشان‌دهنده‌ی یک دوره‌ی خشک کوتاه‌مدت (حدود ۲۰۰ سال) دیگر است. این دوره با پیشروی رخساره‌های پلایایی در حاشیه‌ی غربی منطقه‌ی گاوخونی ظاهر می‌شود. عدم وجود ماسه‌های بادی در این دوره نشان‌دهنده‌ی عدم فعالیت شدید بادهای غرب به شرق در مقایسه با خشکی ۸۲۰۰ سال پیش است. این دوره‌ی خشک، انطباق تقریبی مناسبی با واقعه‌ی خشکی ۴۲۰۰ سال گذشته در نیمکره‌ی شمالی نشان می‌دهد که در بخش‌های درون‌قاره‌ای امریکای شمالی، در خاورمیانه، بخش‌هایی از آفریقا و آسیا با وسعت بالای خشکی گزارش شده است (Parker et al, 2006: 470; Cohen, 2003: 326). پیشروی رخساره‌های دریاچه‌ای در عمق کمتر از ۲ متر، احتمالاً مربوط به پیشروی دریاچه‌ها در حدود ۳۵۰۰ سال پیش بوده است که در دریاچه‌ی مونولیک کالیفرنیا نیز ثبت شده است (Newton, 1994: 152) (شکل ۱۰).

در توالی رسوبی مغزه‌های حاشیه‌ی غربی مانند G-1 نهشته‌های بادی که تحت تأثیر تپه‌های ماسه‌بادی غرب پلایای گاوخونی بوده است، به چشم می‌خورد. در این دوره‌ی زمانی توالی ماسه‌های بادی زردرنگ به همراه رسوبات پلایایی نظیر لامینه‌های ماسه‌ای، رسوبات ماسه‌ای سیلتی، ماسه‌ای گلی قرمزرنج، به همراه کانی‌های تبخیری (Mess, 1999: 75) در عمق کمتر از ۱ متر، به صورت تناوبی قابل‌مشاهده است. عدم وجود آثار و بقایای گیاهی و جانوری و وجود افق‌های قرمزرنج در اثر پس‌روی دریا، بیانگر وجود شرایط خشک و مقدار بارندگی ناچیز در منطقه است (Li et al, 1996: 190) که احتمالاً مرتبط با دوره‌ی خشک حدود ۱۰۰۰ سال پیش است (شکل ۱۰). این دوره توسط حمزه (۲۰۱۶) نیز در رسوبات بستر هامون در غرب کوه خواجه در عمق حدود ۷۰ سانتی‌متری گزارش شده است که آن را هم‌ارز (نه به قطع) فاجعه‌ی قحطی ۱۰۴۵ سال قبل که در کتاب **تاریخ سیستان** بدان اشاره شده، دانسته است. به نظر می‌رسد این دوره‌ی خشک در منطقه‌ی گاوخونی زودتر از شرق ایران شروع و دیرتر به پایان رسیده و حداقل ۳۰۰ سال طول کشیده است. گسترش ناچیز این رخساره در بخش غربی پلایای گاوخونی در عمق کمتر از ۱ متر حاکی از ضعیف بودن فرآیند بادی نسبت به رخداد ۸۲۰۰ سال پیش است. باید در نظر داشت نوع رفتار رسوبی رخساره‌های رسوبی و شیمیایی در منطقه بسیار متفاوت است. رسوبات شیمیایی (نمک) موجود در بستر پلایا قابل‌بررسی با میزان متوسط نرخ رسوب‌گذاری در پلایای گاوخونی نیست. رسوبات تبخیری در بستر پلایاها گاه تا ۵۰ سانتی‌متر در سال نیز نهشته می‌شوند (درویشی خاتونی، ۱۳۹۰: ۶۸). صرفه نظر از حجم نمک بستر پلایا که دارای تغییرات فراوان در مدت‌زمان کوتاه است، با توجه به رسوبات آواری بستر پلایای گاوخونی به نظر می‌رسد شرایط بخش شمالی و شرقی گاوخونی حداقل از حدود ۳ هزار سال پیش مشابه شرایط فعلی (برخی زمان‌ها کمی خشک‌تر) بوده است. به وجود آمدن شرایط پلایایی در منطقه‌ی گاوخونی باعث از بین رفتن عمق و تبدیل تالاب به کفه‌ی نمکی شده است. وجود رسوبات پلایایی ضخیم لایه در مغزه‌های ساحل غربی نشان‌دهنده‌ی حساسیت بالای دریاچه به تغییرات اقلیمی بوده است؛ درحالی‌که در زمان مشابه شرق گاوخونی به دلیل عمق زیادتر دارای شرایط دریاچه‌ای بوده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: پروفیل انطباق تقریبی محیط‌های رسوبی مغزه‌های برداشت‌شده از پلایای گاوخونی

## ۵- نتیجه‌گیری

بررسی شاخص‌های مختلف اقلیمی و محیطی در پلایای گاوخونی نتایج ذیل را به همراه دارد: در رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه پنج محیط رسوبی شامل رسوبات بادی، رودخانه‌ای، دلتایی، دریاچه‌ای و پلایایی وجود دارد. بررسی توالی‌های رسوبی در مغزه‌های برداشت‌شده نشان‌دهنده افزایش رسوبات دانه‌ریز از حاشیه‌ی پلایا به سمت بخش‌های مرکزی است. این مسئله به دلیل اختلاف چگالی آب دریاچه با آب شیرین رودخانه‌ها و فعالیت فرآیندهای بادی در حاشیه تالاب است. از حاشیه‌ی پلایا به سمت بخش مرکزی و شرقی، کانی‌های تبخیری روند افزایشی پیدا می‌کنند و همچنین این افزایش از عمق به سطح در مغزه‌های برداشت‌شده از بستر پلایا مشهود است. با توجه به شیب کم بخش غربی پلایای گاوخونی تغییرات محیط‌های رسوبی در غرب بیش‌تر بوده است و بخش شرقی حداقل در ۳ هزار سال گذشته شرایط مشابه فعلی (ولی فاقد رسوبات تبخیری ضخیم لایه) را داشته است. شرایط اقلیمی منطقه‌ی تناوبی از دوره‌های خشک و مرطوب بوده است. حداقل ۴ دوره‌ی خشک در اوایل هولوسن (۱۲ هزار سال قبل)، هشت، چهار و یک هزار سال قبل در رسوبات بستر پلایای گاوخونی ثبت شده است. رسوبات پلیستوسن غالباً نشان‌دهنده‌ی شرایط مرطوب نسبت به هولوسن است. با توجه به تغییرات کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی در طول مغزه‌های مورد مطالعه، از ۴۰ تا ۱۸ هزار سال قبل منطقه‌ی گاوخونی تحت تأثیر دوره‌های مرطوب بوده است، لذا با توجه به میزان هوازدگی شیمیایی، بار رسوبی واردشده از غرب (رودخانه‌ی زاینده‌رود) بالا بوده است. دلتای بزرگ زاینده‌رود تشکیل شده و ذرات دانه‌درشت در اندازه‌های گراول و ماسه نهشته شده است. از ۱۸۰۰۰ تا ۱۱۶۰۰ سال قبل با پس‌روی خطوط ساحلی و حرکت دلتای بزرگ زاینده‌رود به سمت شمال حوضه اتفاق افتاده است. انتهای دلتا تا نزدیکی‌های مرکز پلایا کشیده شده و تپه‌های ماسه‌ای در غرب حوضه تشکیل شده است. شروع هولوسن با افزایش دما، کاهش تدریجی رطوبت و سطح آب و استقرار اقلیم نسبتاً خشک‌تر همراه بوده است. این شرایط اقلیمی منجر به افزایش وسعت نهشته‌های ماسه‌بادی و گسترش محیط پلایایی تا حدود ۸۲۰۰ سال قبل در حاشیه پلایا شده است. این دوره با

افزایش کانی‌های تبخیری و عدم حضور کانی‌های کائولینیت و مونت‌موریلونیت در مغزه‌های برداشت‌شده از بستر پلایای گاوخونی در بخش مرکزی نشان‌دهنده وجود یک دوره خشک است. بعدازاین دوره خشک از حدود ۸ هزار تا ۴ هزار سال قبل پیشروی موقت دریاچه‌ی گاوخونی اتفاق افتاده است. سپس دوره خشک کوتاه‌مدت دیگری در حدود ۴ هزار سال پیش منجر به خشکی در منطقه شده است. شدت و مدت دوره خشک ۸ هزار سال نسبت به دوره خشک ۴ هزار سال قبل بیشتر بوده است. دوره‌های خشک اشاره شده با حضور ماسه‌های بادی در بخش غربی پلایا نمایان شده است. در هولوسن پسین در حدود ۳۵۰۰ سال قبل یک دوره کوتاه مرطوب در رسوبات به ثبت رسیده است. بعدازآن مجدداً پسروی اتفاق افتاده و رخساره‌های پلایای و بادی جایگزین رخساره‌های دریاچه‌ای شده است. با توجه به نوع رسوبات بستر گاوخونی شرایط بخش شمالی و شرقی گاوخونی حداقل در سه هزار سال گذشته و شرایط بخش غربی حداقل در هزار سال گذشته مشابه شرایط فعلی بوده است. در هولوسن میانی و پسین شرایط رطوبتی به صورت تدریجی مساعدتر از هولوسن پیشین بوده است. بخش شمالی پلایا به واسطه‌ی ورود رودخانه‌ی زاینده‌رود پرآب و مرطوب بوده است. به نظر می‌رسد در حدود هزار سال پیش اقلیم کمی خشک‌تر و با افزایش در میزان نهشته‌های تبخیری همراه است.

## منابع

- ۱- درویشی خاتونی، جواد (۱۳۹۰). گزارش لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچه‌ی ارومیه، فاز IV: هیدرژئوشیمی دریاچه‌ی ارومیه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۸۰ ص.
- 2- Abbas, M. Al-Saqarat B, Al-Shdaifat A. (2016). Paleoclimate reconstruction of the quaternary sediments near the Gulf of Aqaba (Southern Jordan). *Arab J Geoscience*, 9 (361), 1-13.
- 3- Abdi, L. Rahimpour-Bonab, H. Mirmohammad-Makki, M. Probst, J. Langeroudi, S. R. (2018). Sedimentology, mineralogy, and geochemistry of the Late Quaternary Meyghan Playa sediments, NE Arak, Iran: palaeoclimate implications. *Arab J Geosciences*, 11(19), 588, 1-18.
- 4- Anaya-Gregorio, A. Armstrong-Altrin, J. S. Machain-Castillo, M. L. Montiel-García, P. C. Ramos-Vázquez, M.A. (2018). Textural and geochemical characteristics of late Pleistocene to Holocene fine-grained deep-sea sediment cores (GM6 and GM7), recovered from southwestern Gulf of Mexico. *Journal of Palaeogeography*, 7, 1-19.
- 5- AlGhadban, A. N. El-Sammak, A. (2005). Sources, distribution and composition of the suspended sediments, Kuwait Bay, Northern Arabian Gulf, *J Arid Environments*, 60, 647-661.
- 6- Bogemans, F. Janssens, R. Baeteman, C. (2017). Depositional evolution of the Lower Khuzestan plain (SW Iran) since the end of the Late Pleistocene. *Quaternary Science Reviews*, 171, 154-165.
- 7- Bradley, RS. (2015). *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. 3rd ed. Elsevier
- 8- Bronk Ramesy, C. Lee, S. (2013). Recent and planned developments of the program OxCal. *J. Radiocarbon*, 55 (2-3), 308-318.
- 9- 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*, 55, 247-264.
- 10- Chamley, H. (1989). *Clay Sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin, 623 pp.
- 11- Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: The history and evolution of lake systems*. Oxford University press, New York. 500 pp.

- 12- Cuffey, K. M. and Clow, G. D. (1997). Temperature, accumulation, and ice sheet elevation in central Greenland through the last deglacial transition. *Journal of Geophysical Research* 102, 26383-26396.
- 13- 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.
- 14- Fernandes, V. A. Fritz, J. Weiss, B. P. Garrick-Bethell, I. Shuster, D. L. (2013). The bombardment history of the Moon as recorded by <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar chronology, *Meteoritics and Planetary Science*, 48 (2), 241-269.
- 15- Folk, R. L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publ, Co, Austin, TX. 175 p.
- 16- 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.
- 17- 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), 1-23.
- 18- 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.
- 19- Hamzeh, M.A. Gharaie, M.H.M. Lahijani, H.A.K. Djamali, M. Moussavi-Harami, R. 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.
- 20- Hamzeh, A.M. Farahi Ghasr-Aboonahr, 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.
- 21- Harrison, S. P. Gaillard, M. J. Stocker, B. D. Vander, L. M. Klein, G. K. Boles, O. Braconnot, P. Dawson, A. Fluet-Chouinard, E. Kaplan, J. O. Kastner, T. Pausata, F. S. R. Robinson, E. Whitehouse, N. J. Madella, M. Morrison, K. D. (2019). Development and testing of scenarios for implementing Holocene LULC in earth system model experiments, *Geoscientific Model Development*, 13 (2), 805-824.
- 22- Hernández-Hinojosa, V. Montiel-García, P. C. Armstrong-Altrin, J. S. Nagarajan, R. Kasper-Zubillaga, J. J. (2018). Textural and geochemical characteristics of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico. *Carpathian J Earth Environ Sci*, 13, 161-174.
- 23- Heyvaert, V.M. Walstra, J. Verkinderen, P. Weerts, J.T. Ooghe, J.T. (2012). The role of human interference on the channel shifting of the Karkheh River in the Lower Khuzestan plain (Mesopotamia, SW Iran). *J. Quaternary International*, 251, 52-63.
- 24- Jalilian, T. Lak, R. Taghian, A. Darvishi khatooni, J. (2021). Evolution of sedimentary environments and geography of the Gavkhouni Playa during the Late Quaternary. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 78, 1-19.
- 25- Jiang, H. Ding Z. (2010). Eolian grain-size signature of the Sikouzi lacustrine sediments (Chinese Loess Plateau): Implications for Neogene evolution of the East Asian winter monsoon. *Geological Society of America Bulletin*, 122, 843-854.
- 26- Kirillin, G. Shatwell, T. (2016). Generalized scaling of seasonal thermal stratification in lakes. *J Earth Science Reviews*, 161, 179-190.
- 27- Li, J. Lowenstein, T.K. Brown, C.B. Ku T. L. and Luo, S. (1996). A 100 ka record of water tables and paleoclimates from salt cores, Death Valley, California, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology Journal*, 123, 179-203.
- 28- Lowe, J.J. Walker, M.J.C. (2015). *Reconstructing Quaternary Environments*. 3 rd ed. Routledge. 675 p.
- 29- Mees, F. 1999, "Textural features of Holocene perennial saline lake deposits of the Taoudenni-Agorgott basin, northern Mali", *Sedimentary Geology journal*, 127, 65-84.

- 30- 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.
- 31- Newton, M.S. (1994). Holocene fluctuations of Mono Lake, California: the sedimentary record: Society for Sedimentary Geology Special Publication, 50, 143-157.
- 32- 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.
- 33- Pakzad, H.R. Fayazi F. (2007). Sedimentology and stratigraphic sequence of the Gavkooni playa lake, SE Isfahan, Iran. *J. Carbonates and Evaporites*, 22, 93-100.
- 34- Parker, A.G. Goudie A.S. Stokes S. White K. Hodson M.J. Manning M. Kennet D. (2006). A record of Holocene climate change from lake geochemical analyses in southeastern Arabia, *Quaternary Research*, 66 (3), 465-476.
- 35- 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.
- 36- Rapp, D. (2019). *Ice Ages and Interglacials Measurements, Interpretation, and Models* (3rd Edition), Springer International Publishing, Published in Springer Nature Switzerland, 346.
- 37- Roop, H.A. Dunbar, G.B. Vandergoes, M.J. Forrest, A.L. Walker, S.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.
- 38- Sharifi, A. Murphy, L.N. Pourmand, A. Clement, A.C. Canuel, E.A. Naderi Beni, A.M. Lahijani, H.A. Delanghe, D. Ahmady-Birgani, H. (2018). Early Holocene greening of the AfroAsian dust belt changed sources of mineral dust in West Asia. *J. Earth Planet. Sci. Lett*, 481, 30-40.
- 39- 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.
- 40- Spofforth, D.J.A. Pälke, H. Green, D. (2008). Paleogene record of elemental concentrations in sediments from the Arctic Ocean obtained by XRF analyses. *Paleoceanography*, 23(1), PA1S09, 1-20.
- 41- Tabaei, M. Ayoubi, Sh. Aghaei, A. (2019). Early Holocene Paleoenvironmental changes in North of Gavkhouni Swamp- East of Isfahan-Iran: a review of evidence from palynology. *J. Geopersia*, 9 (1), 81-87.
- 42- Tucker, M. E. (1988). *Techniques in sedimentology*. Blackwells, Oxford, 394 p.
- 43- 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, alaeoecology*, 514, 754-767.
- 44- Vincent, L. A. Coauthors, G. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *J. Climate*, 18, 5011-5023.
- 45- Walstra. J. Heyvaert. V.M.A. Verkinderen. P. (2010). Assessing human impact on alluvial fan development: a multidisciplinary case-study from Lower Khuzestan (SW Iran); *Geodynamica Acta*, 23 (5-6), 267-285.
- 46- 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.

**Sedimentology, mineralogy and sedimentary geochemistry of the Late Quaternary sedimentary sequence of Gavkhoni Playa by looking at the paleoclimate**

**Tahereh Jalilian**

Ph.D. of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**Alireza Taghian\***

Assistant Professor Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**Razyeh Lak**

Associate Professor Research Institute for Earth Sciences (RIES), Geological Survey and Mineral Exploration Organization, Tehran, Iran

**Javad Darvishi Khatooni**

Ph.D in Marine Geology Management, Geological Survey and Mineral Exploration Organization, Tehran, Iran

**Abstract**

The sediments of the Playa Lake are sensitive indicators of local climates that any change in climate, hydrology, and sedimentary environment will cause changes in the physical and chemical properties of the sediments. These sediments create a valuable and important archive with high resolution to examine these changes in the past. One method of studying climate change during quaternary and often Holocene is the study of Sedimentology, mineralogy and sedimentary geochemistry in sedimentary cores harvested from wetlands and lakes. These studies can help to more accurately identify and re-read their past history and be used to investigate possible climate change. The Gavkhouni Playa is one of the pluvial lakes of the Plio-Quaternary depositional basins in Iran that is located in the lowlands of the Esfahan Plain, Central Iranian Plateau. Various sediments in and around Gavkhouni palya indicate the frequent alternation of formative systems during the Quaternary hot and cold phases. The history of late Pleistocene to Holocene sedimentary evolution, and paleo-geomorphology and paleogeography of the Playa were investigated in this study.

**Keywords:** Sedimentology, Mineralogy, Sedimentary geochemistry, Sedimentary core, Quaternary, Gavkhoni playa.

---

\* Email: a.taghian@geo.ui.ac.ir