

## بررسی نهشته‌های بادی بستر پلایای گاوخونی در طول پلیستوسن پایانی و هولوسن

طاهره جلیلیان؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان

علی‌رضا تقیان\*؛ استادیار دانشکده علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان

راضیه لک؛ دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

جواد درویشی خاتونی؛ دفتر بررسی‌های زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۳

### چکیده

در این پژوهش، ضمن جمع‌آوری اطلاعات قبلی در ارتباط با مطالعات اقلیم دیرینه و رسوب‌شناسی، اقدام به برداشت ۱۶ مغزه رسوبی با بیشینه ژرفای ۱۱/۵ متر به صورت دست‌نخورده از رسوبات بستر پلایای گاوخونی توسط مغزه‌گیر اوگر شد. رخساره‌های رسوبی بر اساس رنگ، اندازه دانه، ساخت رسوبی، شکل دانه، و نوع کانی‌های تبخیری تفکیک شدند. نمونه‌برداری بر اساس تغییر در نوع رسوبات و رخساره‌های رسوبی انجام گرفت. تعداد ۸۰ عدد نمونه رسوبی جهت آنالیز دانه‌بندی تفکیک شد. دانه‌بندی نمونه‌ها به دو روش الک مرطوب و ذرات ریزتر از ماسه (سیلت و رس) توسط دستگاه لیزر انجام گرفت و با استفاده از نرم‌افزار سدی لایزر پارامترهای آماری رسوب‌شناسی محاسبه شد و در نرم‌افزار SPSS مورد تحلیل قرار گرفت. تیپ غالب رسوبات بستر پلایا گل و محیط‌های رسوبی بادی، رودخانه، دلتا، دریاچه، و پلایا است. با توجه به آنالیز سن‌سنجی به روش ایزوتوپی  $C_{14}$ -AMS، میزان رسوب‌گذاری در بخش‌های غربی حدود ۰/۴ میلی‌متر و بخش‌های شرقی ۰/۲۵ میلی‌متر در سال بوده است. در این مطالعه دو دوره مهم خشک (۸۲۰۰ و ۴۵۰۰ سال پیش) در رسوبات هولوسن بستر پلایای گاوخونی شناسایی شد که حاکی از خشک شدن و گسترش رسوبات بادی در بستر پلایاست.

کلیدواژه‌گان: پلایای گاوخونی، رسوب‌شناسی، مغزه رسوبی، نهشته‌های بادی، هولوسن.

### مقدمه

حوضه‌های بسته، به دلیل حساسیت بسیار زیاد به بیلان تبخیر و بارش، مناسب‌ترین سیستم جهت بررسی‌های آب‌وهوایی دیرینه هستند. دریاچه‌ها اسناد و مدارکی با حساسیت و وضوح بالا فراهم می‌آورند که برای مطالعه تغییرات اقلیمی و محیط‌های رسوبی در سطح جهانی مورد نیاز است. مطالعه رسوب دریاچه‌ها، به دلیل منافع اقتصادی و منابع معدنی و بررسی محیط‌های رسوبی دیرینه، که در تهنشست‌های دریاچه ثبت شده است، در دهه‌های اخیر به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است (کلیک<sup>۱</sup> و کلیک ۲۰۱۰؛ لگler<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۱۱؛ سولوچینا<sup>۳</sup> و همکاران ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴؛ روپ<sup>۴</sup> و همکاران ۲۰۱۴). حوضه‌های دریاچه‌ای الگوهای شاخصی از نظر مکانی و زمانی دارند (گیرلوسکی- کوردیچ<sup>۵</sup> و کلتس ۱۹۹۴ و ۲۰۰۰) و نگاهت‌های ارزشمندی از

a.taghian@geo.ui.ac.ir

\* رایانامه نویسنده مسئول:

1. Kilic
2. Legler
3. Solotchina
4. Roop
5. Gierlowski-Kordesch

تاریخچه فیزیکی و شیمیایی ارائه می‌دهند (হারدی<sup>۱</sup> و همکاران ۱۹۷۸؛ اسموت<sup>۲</sup> و لونشتین<sup>۳</sup> ۱۹۹۱؛ لاست<sup>۴</sup> و وانس ۱۹۹۷؛ لونشتین<sup>۴</sup> و همکاران ۱۹۹۹؛ انزل<sup>۵</sup> و همکاران ۲۰۰۳). بنابراین، رسوبات دریاچه‌ای را می‌توان مناطقی برای تشخیص محیط‌های دیرینه در نظر گرفت (پیک<sup>۶</sup> و کیم ۲۰۰۶). نهشته‌های بادی موجود در محیط‌های دریاچه‌ای، به دلیل ثبت دوره‌های خشک‌سالی و طوفان‌های گرد و غبار، بایگانی‌های ارزشمندی از شرایط محیطی دیرینه‌اند (آن<sup>۷</sup> و همکاران ۲۰۱۲). بررسی این رسوبات اطلاعات بالارزشی در خصوص ماهیت، شدت، فراوانی، عوامل تغییرات، و ایجاد بلایای طبیعی در طول دوره‌های گذشته در اختیار قرار می‌دهد (پاریس<sup>۸</sup> و همکاران ۲۰۱۰). اکثر محیط‌های رسوبی تولیدکننده گرد و غبار و رسوبات بادی عهد حاضر و قدیمی در محیط‌هایی با اقلیم خشک واقع شده‌اند (پروسیرو<sup>۹</sup> و همکاران ۲۰۰۲؛ واشینگتون<sup>۱۰</sup> و همکاران ۲۰۰۶). فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار در فازهای خشک و سرد و یخچالی پلیستوسن بسیار شدیدتر از حال بوده است؛ به گونه‌ای که شواهد آن از رسوبات اقیانوسی، دریاچه‌ای، پیت‌ها، و نیز مغزه‌های یخی قابل مشاهده است (گوید<sup>۱۱</sup> ۲۰۰۸). در طول آخرین دوره یخچالی (۱۸۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ سال قبل) جهان محل ایجاد طوفان‌های گرد و غبار شدید (ماهوالد<sup>۱۲</sup> و همکاران ۱۹۹۹)، خشک‌سالی‌های متوالی، و وقوع دوره‌های بادخیز بوده است (دیین<sup>۱۳</sup> ۱۹۹۷؛ پاریس و همکاران ۲۰۱۰، ماهس<sup>۱۴</sup> و بتیس ۲۰۰۳؛ میویسکی<sup>۱۵</sup> و همکاران ۲۰۰۴؛ مک گووان<sup>۱۶</sup> و همکاران ۱۹۹۶؛ ماهوالد و همکاران ۱۹۹۹؛ جیانو<sup>۱۷</sup> و همکاران ۱۹۹۷). طی این دوره، میزان رسوب‌گذاری لس‌های بادی بین ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌متر در هر هزار سال بوده است (پیه<sup>۱۸</sup> ۱۹۸۷). علت این امر می‌تواند وجود منابع عظیم رسوبات به منزله منشأ گرد و غبارها و نیز تغییر در ماهیت بادهای به دلیل وجود صفحات یخی عظیم باشد (رودیمان<sup>۱۹</sup> ۱۹۹۷). طی آخرین دوره یخچالی، که خلیج فارس و فلات قاره دریای عمان خشک بوده است، این منطقه منشأ بسیار مهم رسوبات دانه‌ریز و طوفان‌های گرد و غبار بوده است (پروسر<sup>۲۰</sup> و همکاران ۲۰۰۲). تاریخچه تغییرات اقلیم در هولوسن توسط کلتس در سال ۱۹۷۸ بر اساس رسوب‌شناسی رسوبات دریاچه‌ای، سای<sup>۲۱</sup> (۲۰۰۴) با طبقه‌بندی رسوبات یک دریاچه در کانادا با استفاده از تحلیل‌های آماری، مارکس<sup>۲۲</sup> و مک‌گوان (۲۰۰۵) بر اساس رسوبات گرد و غباری موجود در مغزه‌های تهیه‌شده از پیت‌های استرالیا بررسی شده است. شواهد تغییرات

1. Hardie
2. Smoot
3. Last
4. Lowenstein
5. Enzel
6. Paik
7. An
8. Parris
9. Prospero
10. Washington
11. Goudie
12. Mahowald
13. Dean
14. Muhs
15. Mayewski
16. McGowan
17. Xiao
18. Pye
19. Ruddiman
20. Preusser
21. Sai
22. Marx

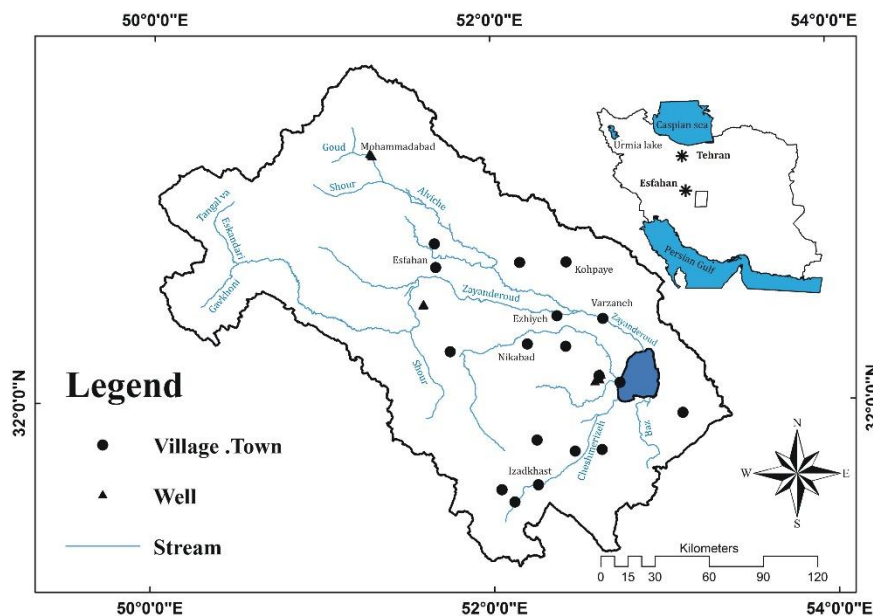
آب‌وهوایی کوتاه‌تر ایران شاید نخستین بار توسط بلانفورد، زمین‌شناس انگلیسی، در قرن ۱۹ میلادی، در سال ۱۸۳۷، مورد توجه قرار گرفته باشد. او با تأکید بر پراکندگی وسیع رسوباتی که به نظر او منشأ دریایی و دریاچه‌ای داشتند اعلام کرد طی پلیستوسن نواحی مرکزی فلات ایران عرصهٔ پهنه‌های آبی بوده و به‌تدریج رو به خشک شدن رفته است. غالب مطالعات انجام‌شده در ایران روی رسوبات بادی دیرینه در محیط‌های دریایی، دریاچه‌ای، پلایای، و بیابانی انجام شده است که از آن‌ها می‌توان به مطالعات انجام‌گرفته روی رسوبات سواحل و بستر دریای عمان و خلیج فارس (کولن<sup>۱</sup> و همکاران ۲۰۰۰؛ پرینس<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۰۰؛ سیسل<sup>۳</sup> ۲۰۰۴؛ هیوارت<sup>۴</sup> و بیتن<sup>۵</sup> ۲۰۰۷؛ بوگمانز<sup>۵</sup> و همکاران ۲۰۱۷)، بخش‌های جنوبی دریای خزر (رضانی<sup>۶</sup> و همکاران ۲۰۰۸؛ فرچن و همکاران ۲۰۰۹)، رسوبات لسی شمال و شمال شرقی ایران (لاتیف ۱۹۸۸؛ اخروی و امینی ۲۰۰۱؛ فرچن<sup>۷</sup> و همکاران ۲۰۰۹؛ کریمی<sup>۸</sup> و همکاران ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳)، و پلایاهای بخش شمالی مرکز ایران (کرینسلی<sup>۹</sup> ۱۹۷۰؛ خادمی<sup>۱۰</sup> و همکاران ۱۹۹۷؛ جمالی<sup>۱۱</sup> و همکاران ۲۰۰۶) اشاره کرد.

پلایای گاوخونی و مناطق اطراف آن یکی از نواحی خشک ایران مرکزی با اقلیم گرم و خشک شناخته می‌شود. وجود منابع آبی محدود و اکوسیستم ناپایدار اطراف پلایا حساسیت بالا به تغییرات اقلیمی را نشان می‌دهد (راشکی و کاسکاویتیس ۲۰۱۲). پلایای گاوخونی محیط رسوبی بسیار مناسبی برای مطالعات اقلیم دیرینه در ایران مرکزی است. در سال‌های اخیر رامشت (۱۳۷۱) در مورد ارتباط تطابقی بین زبانه‌های یخچالی شیرکوه و سطوح آبی دریاچهٔ گاوخونی مطالعه کرده است. سیف (۱۳۸۴) به تحلیل پالتوژئومورفولوژی و بازسازی قلمروهای گذشتهٔ پلایای گاوخونی با استناد بر تکنیک سنجش از دور و GIS با استفاده از نقشه‌ها و عکس‌های هوایی پرداخته است، محمدی قیومی (۱۳۹۰) فرایندهای ریختزای پدیدآورندهٔ تحولات طبیعی و مدنی زاینده‌رود در کوتاه‌تر را بررسی کرده است، پاک‌زاد و همکاران (۱۳۹۳ و ۱۳۹۱) روی ترکیب و منشأ ماسه‌های آبرفتی و بادی پلایای گاوخونی کار کرده‌اند، تقوی و همکارانش (۱۳۹۲) به بررسی تغییرات اقلیمی بخش شمالی پلایای گاوخونی بر اساس رسوب‌شناسی شیمیایی (عناصر اصلی و فرعی) پرداخته‌اند، کیانی و همکاران (۱۳۹۴) آثار تغییرات آب‌وهوایی فاز پایانی کوتاه‌تر بر سیر تکامل دریاچه و حوضهٔ آبریز گاوخونی را بررسی کرده‌اند، قهرودی و خدری غریب‌وند (۱۳۹۵) در زمینهٔ رویکرد فرم‌شناسی در استراتژی مدیریت تالاب گاوخونی مطالعاتی انجام داده‌اند. با این حال مطالعات دقیق رسوب‌شناسی بر نهشته‌های بادی دیرینه در منطقهٔ گاوخونی انجام نشده است و بسیاری از جنبه‌های شرایط اقلیمی دیرینهٔ منطقهٔ ایران مرکزی همچنان ناشناخته مانده است. در این مطالعه سعی شده است با استفاده از مغزه‌های رسوبی برداشت‌شده از پلایای گاوخونی به بررسی نهشته‌های بادی موجود در توالی رسوبات با توجه به خصوصیات رسوب‌شناسی و مورفوسکوپی پرداخته شود.

1. Cullen
2. Prins
3. Cecil
4. Heyvaert
5. Bogemans
6. Ramezani
7. Frechen
8. Karimi
9. Krinsley
10. Khademi
11. Djamali

## منطقه مورد مطالعه

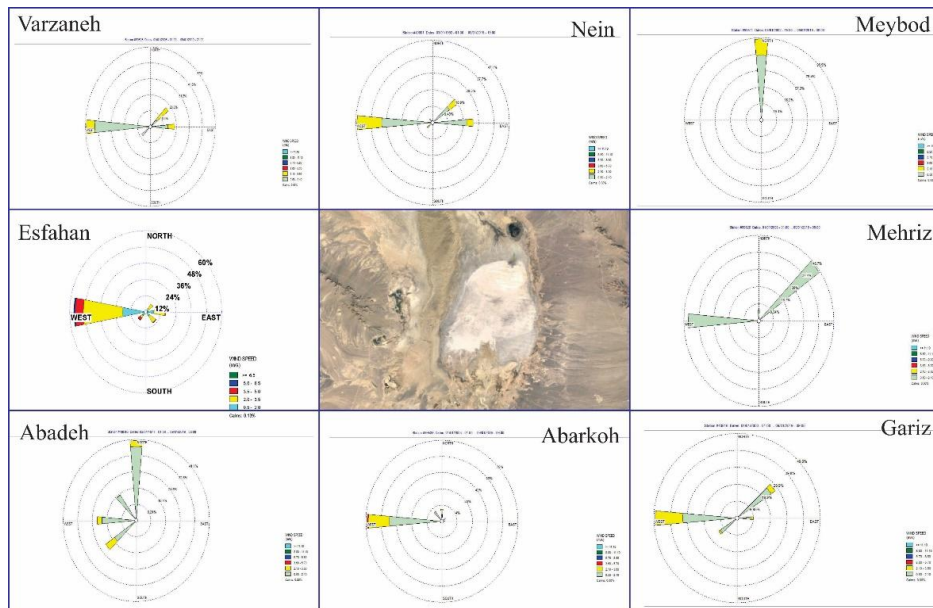
پلایای گاوخونی با وسعتی حدود ۵۵۰ کیلومتر مربع در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شرقی اصفهان، بین عرض جغرافیایی ۰۰' -۳۲° و ۳۲° -۲۳' شمالی و طول جغرافیایی ۴۳' -۵۲° و ۴۹' -۵۲° شرقی، قرار دارد. این پلایا در یک حوزه بین کوهستانی در ایران مرکزی واقع شده است و ارتفاع آن حدود ۱۴۷۴ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد است. پلایای گاوخونی از گودال‌های جداکننده زون زمین‌ساختی ارومیه- دختر از ایران مرکزی است که به موازات روراندگی زاگرس قرار دارد. سیستم ساختاری آن گرابن تا نیمه‌گرابن است که از کوه‌زایی و فوران‌های آتشفشانی در پایان کرتاسه و آغاز ائوسن حاصل شده است. منبع اصلی تغذیه‌کننده آن رودخانه زاینده‌رود است که پس از طی مسافتی در حدود ۴۴۰ کیلومتر در حاشیه شرقی ماسه‌های بادی به پلایای گاوخونی می‌ریزد. علاوه بر آن تعدادی از روخانه‌های فصلی و آبراهه‌ها نیز مستقیم به آن منتهی می‌شوند (پاک‌زاد<sup>۱</sup> و فیاضی ۲۰۰۷) (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت پلایای گاوخونی، حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود

شرایط اقلیمی در ایران بیشتر توسط موج‌های بادهای غربی عرض‌های میانی، پرفشار سبیری (شمال شرقی)، و مونسون جنوب غربی (منتهی‌الیه جنوب شرقی) کنترل می‌شود. طی کواترنری احتمالاً موقعیت و شدت این سامانه‌ها با شرایط کنونی متفاوت بوده و از این جهت تأثیر آن‌ها بر اقلیم منطقه دچار دگرگونی شده است (حمزه و همکاران ۱۳۹۶). در شکل ۲ جهت بادهای غالب در اطراف پلایای گاوخونی حاکی از وجود باد غالب شرقی- غربی است. وجود جهت دیگر در برخی ایستگاه‌ها حاکی از شرایط ژئومورفولوژیکی محلی است.

1. Pakzad



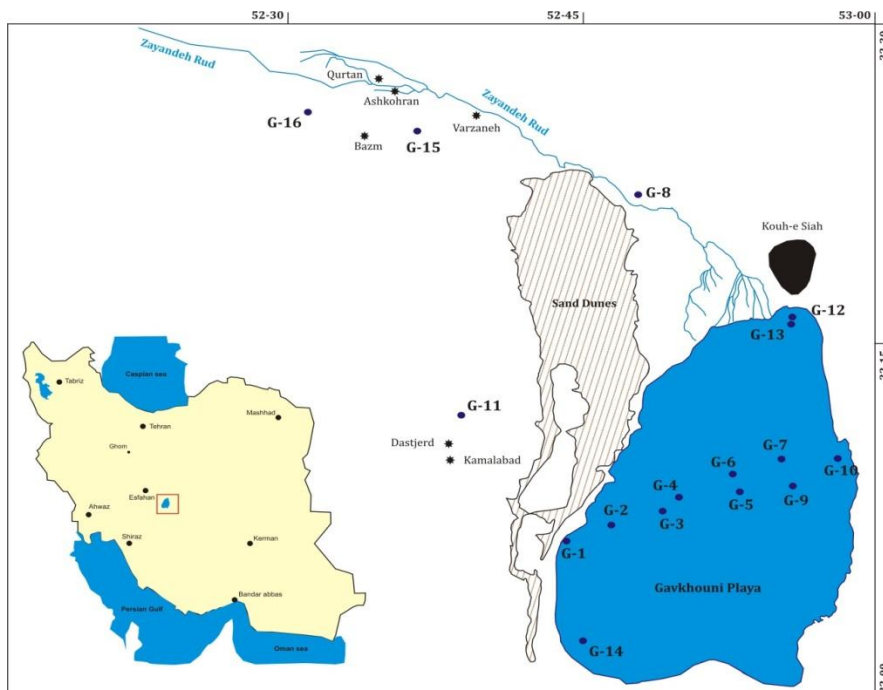
شکل ۲. گلباد سالیانه در ایستگاه‌های اطراف پلایای گاوخونی (۱۹۹۸ - ۲۰۱۸) (سازمان هواشناسی کشور ۱۳۹۸)

## داده‌ها و روش کار

مراحل این پژوهش شامل جمع‌آوری اطلاعات، آمار منتشرشده، داده‌های اقلیمی، بررسی‌های دورسنجی، عملیات صحرائی و مغزه‌گیری، عملیات آزمایشگاهی، پردازش داده‌های صحرائی و آزمایشگاهی و دفتری، و سپس تعبیر و تفسیر و نتیجه‌گیری بود. به منظور بررسی‌های رسوب‌شناسی و مورفوسکوپی نمونه‌های رسوبی اقدام به برداشت ۱۶ مغزه رسوبی از مرکز پلایای گاوخونی و زمین‌های اطراف شد (جدول ۱، شکل ۳).

جدول ۱. موقعیت و برخی مشخصات مغزه‌های برداشت‌شده

نام مغزه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عمق (سانتی‌متر)	تعداد نمونه
G-1	664192	3552448	1475	530	13
G-2	667592	3553190	1468	602	21
G-3	671254	3555191	1468	150	6
G-4	672480	3556275	1466	820	21
G-5	675824	355741	1469	190	4
G-6	675827	3557584	1469	1058	20
G-7	679643	3558978	1473	170	8
G-8	667911	3581780	1475	478	2
G-9	679776	3555799	1466	1006	14
G-10	684368	3559091	1465	362	0
G-11	655008	3563795	1480	1022	17
G-12	679815	3572926	1468	80	4
G-13	679804	3572839	1467	1130	35
G-14	664895	3544801	1472	550	16
G-15	645532	3581518	1490	490	8
G-16	613850	3578103	1565	20	1



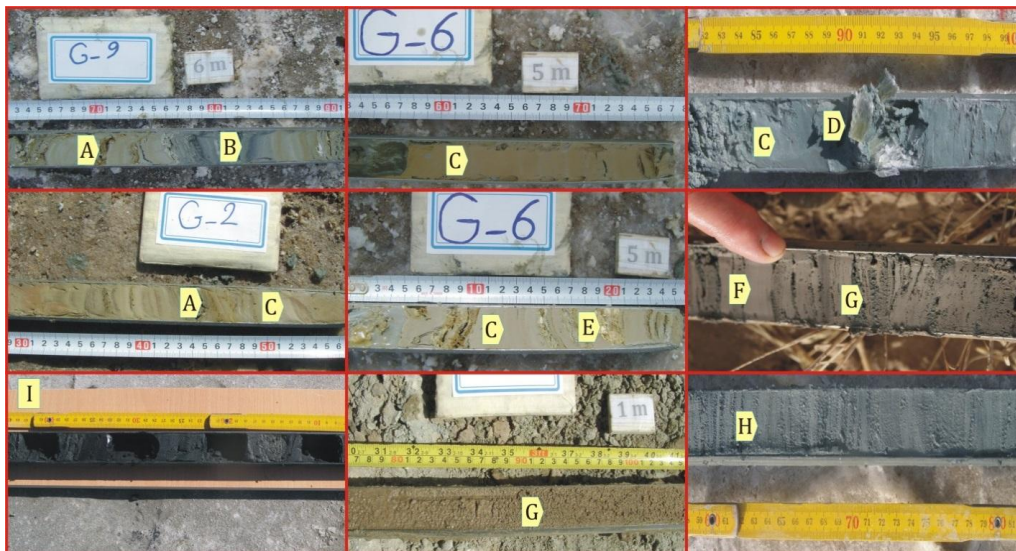
شکل ۳. موقعیت پلایای گاوخونی و مغزه‌های برداشت‌شده از رسوبات بستر پلایا و زمین‌های اطراف

مغزه‌ها توسط مغزه‌گیر دستی از نوع اوگر<sup>۱</sup> تهیه شد (پیوانو<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۰۲) (شکل ۴). از مغزه‌های برداشت‌شده با دوربین عکاسی دیجیتالی عکس تهیه شد (شکل ۵). توصیف مغزه‌ها با دقت نوشته شد و سپس نمونه‌برداری با توجه به تغییر رخساره صورت گرفت. روش آماده‌سازی نمونه‌ها و نحوه آزمایش‌ها بر اساس دستورالعمل‌های لوئیس<sup>۳</sup> و مک‌کونچی (۱۹۹۴) انجام گرفت. نیمی از نمونه‌ها جهت آزمایش دانه‌بندی و نیمی دیگر جهت بایگانی استفاده شد. بر اساس مشاهدات صحرایی و توصیف مغزه‌ها و نتایج آزمایشگاهی، مغزه‌ها به واحدهای رسوبی تفکیک و ستون چینه‌شناسی آن‌ها رسم و زیرمحیط رسوبی<sup>۴</sup> هر واحد تعیین شد (بنیسون<sup>۵</sup> و گلدشتاین ۲۰۰۱؛ لای<sup>۶</sup> و همکاران ۱۹۹۶؛ والرو- گارسس<sup>۷</sup> و همکاران ۱۹۹۸).

1. handy auger
2. Piovano
3. Lewis
4. sub environment
5. Benison
6. Li
7. Valero-Garces



شکل ۴. (a) حفاری در رسوبات بستر پلایای گاوخونی؛ (b) نمایی از پهنه‌های نمکی و پلی‌گون‌های نمکی بستر پلایای گاوخونی در بخش شمال شرقی



شکل ۵. رخساره‌های موجود در مغزه‌های پلایای گاوخونی: (A) رس قهوه‌ای رنگ لامینه‌ای؛ (B) مواد آلی خاکستری تا سیاه رنگ مربوط به محیط دلتایی یا دریاچه‌ای؛ (C) رخساره گل نرم به رنگ‌های کرم و گاه قهوه‌ای مربوط به محیط پلایایی؛ (D) زپیس 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 سیلتی یا گلی مربوط به محیط‌های دریاچه‌ای؛ (I) برداشت نمونه از مغزه تهیه‌شده

به منظور تعیین اندازه ذرات رسوبی، نمونه‌ها داخل الک شیکر مرطوب مدل آنالی‌ست ۳، ساخت شرکت Fritsch آلمان، قرار گرفت و به روش تر و به مدت متوسط ۳۰ دقیقه اندازه‌های مختلف دانه‌ها از هم جدا شدند. این نمونه‌ها پس

از خشک شدن وزن شدند (تا کر ۱ ۱۹۸۸) و ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون توسط دستگاه دانه‌بندی لیزری<sup>۲</sup> آنالیز شد (سیرو<sup>۳</sup> و همکاران ۲۰۰۵). همچنین پارامترهای آماری از قبیل میانگین، کشیدگی، انحراف معیار ترسیمی جامع، و کج‌شدگی ترسیمی جامع رسوبات با استفاده از نرم‌افزار سدی لایزر محاسبه شد (محمدی ۱۳۸۹). به منظور بررسی دقیق‌تر، رسوبات توسط میکروسکوپ بیناکولار ساخت کمپانی نیکون<sup>۴</sup> مدل SMZ 1500 مورد مطالعه مورفوسکوپی قرار گرفت و از فراکسیون‌های مورد مطالعه عکس تهیه شد.

در این مطالعه سن‌سنجی به روش رادیوکربن ( $C_{14}$ -AMS) انجام گرفت و از مواد آلی و از نمونه‌های بالک (جدول ۲) استفاده شد. کالیبره کردن سن نمونه‌ها با نرم‌افزار کالیبره OxCal (بونک رامسی<sup>۵</sup> و لی ۲۰۱۳) با محدوده خطای ۲ سیگما و با ضریب اطمینان بالای ۹۵ درصد انجام گرفت. این نمونه‌ها شامل مواد آلی عمدتاً در زمینه سیلتی و رسی بود. با توجه به زمینه آهکی مربوط به دوران سنوزوئیک در غرب پلایا، احتمال ایجاد خطا در نمونه‌های بالک وجود دارد (هیوارت<sup>۶</sup> و بیتن ۲۰۰۷). اما به دلیل شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک و رشد محدود پوشش گیاهی و شرایط نامناسب حفظ و نگهداری از مواد آلی به نتایج سن‌سنجی ۳ نمونه رسوبی از مواد آلی بالک اکتفا شد. آنالیز سن‌سنجی در مؤسسه مطالعات علوم زمین و دریا (مرکز تحقیقات مرمره) کشور ترکیه انجام گرفت.

## یافته‌ها

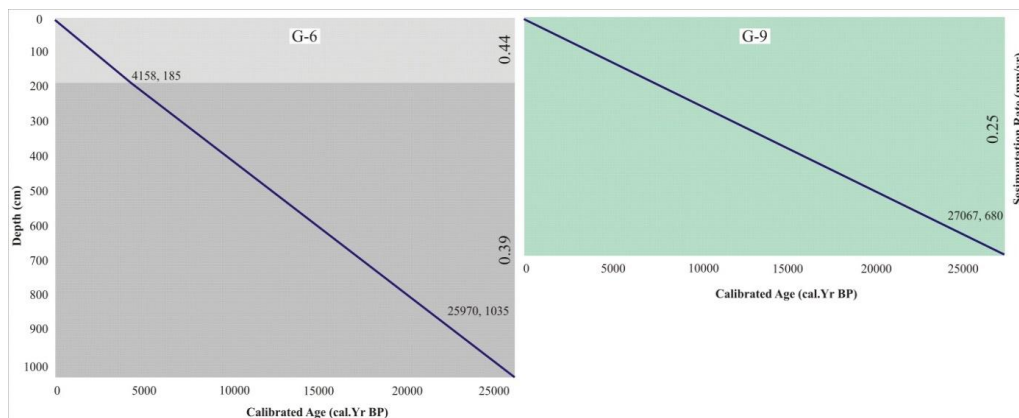
### میزان رسوب‌گذاری در پلایای گاوخونی

متوسط میزان رسوب‌گذاری در پلایای گاوخونی در بخش‌های مختلف پلایا متفاوت است. در سه نمونه از مغزه‌ای که سن‌سنجی انجام شد میزان متوسط به عدد ۰/۳۵ میلی‌متر در سال نزدیک است. در مغزه G-9 میزان متوسط حدود ۰/۲۵ میلی‌متر در سال است. اما، با توجه به اینکه مغزه G-6 در بخش غربی‌تر پلایا واقع شده است و حجم رسوبات واردشده به حوضه از غرب بیشتر بوده است، میزان متوسط رسوب‌گذاری بالاست. در مغزه G-6 میانگین میزان رسوب‌گذاری در بخش‌های عمیق ۰/۳۹ میلی‌متر در سال و در بخش‌های کم‌عمق ۰/۴۴ میلی‌متر در سال است (شکل ۶). این افزایش میزان در توالی‌های بالایی احتمالاً مربوط به عملکرد رسوبات بادی با میزان بالا بوده است. میزان متوسط رسوب‌گذاری در پلایای گاوخونی تا حدودی با دریاچه‌های فلات مرکزی ایران برابری می‌کند و از دریاچه‌های زون زاگرس غالباً کمتر است. با توجه به نتایج سن‌سنجی، رسوبات مغزه‌های برداشت‌شده به طور متوسط برای بخش غربی پلایا حدود ۲۷۰۰۰ سال و برای بخش مرکزی ۴۰۰۰۰ سال را می‌تواند پوشش دهد.

1. Toker
2. laser particle sizer analysette 22
3. Siiro
4. Nikon
5. Bronk Ramesy and Lee
6. Heyvaert and Baeteman

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	185	TÜBİTAK-0733	3764±27	4080	4158	4236	Organic material	0.44
G-9	680	TÜBİTAK-0734	22737±83	26757	27067	27377	Organic material	0.25
G-6	1035	TÜBİTAK-0735	21727±78	25815	25970	26124	Organic material	0.39

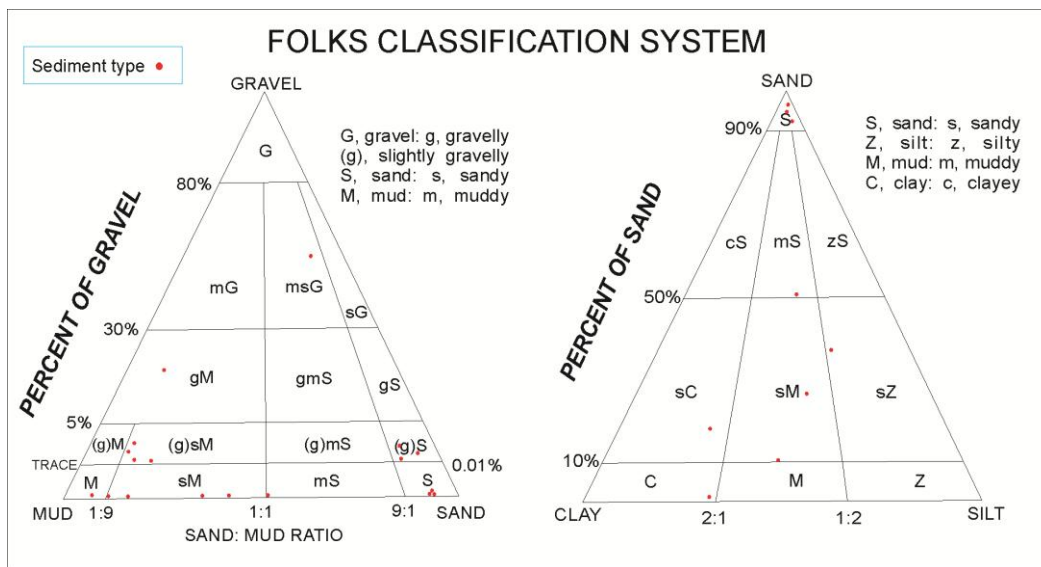


شکل ۶. مدل سن- عمق برای رسوبات مغزه‌های G-6 و G-9

### رسوب‌شناسی

شناسایی و تشخیص نوع محیط‌های رسوبی و رخساره‌های مختلف با آنالیز اندازه دانه‌ها میسر می‌شود که اطلاعات ارزشمندی در خصوص فرایندهای حمل‌ونقل، رسوب‌گذاری، انرژی محیط رسوبی، اختصاصات سنگ منشأ، و فرایندهای هوازدگی و نوع جریان در اختیار ما قرار می‌دهد (فولک<sup>۱</sup> ۱۹۷۴؛ اسنلدر<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۱۱). بر اساس نتایج آنالیز دانه‌بندی، نوع رسوبات بر مبنای مثلث‌های نام‌گذاری استاندارد فولک ۱۹۷۴ مشخص شد (شکل ۷). تعیین اندازه ذرات رسوبی از شاخص‌هایی است که شرایط محیط رسوب‌گذاری و انرژی جریان را نشان می‌دهد. پارامترهای آماری- از جمله جورشدگی، کج‌شدگی (نامتقارن بودن منحنی توزیع ذرات)، کشیدگی (نوکتیزی منحنی توزیع ذرات)، میانگین اندازه ذرات- به تغییرات انرژی جریان حساس‌اند و تحت تأثیر فاکتورهای فرسایش و حمل‌ونقل و سرعت ته‌نشست کنترل می‌شوند. 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 شدند (شکل ۷).

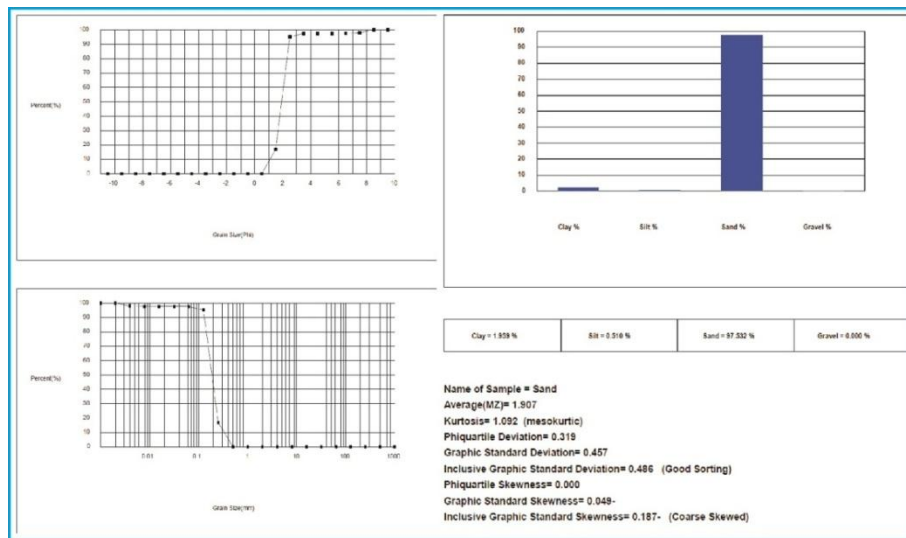
1. Folk  
2. Snelder



شکل ۷. تیپ رسوبات بستر پلایای گاوخونی در مثلث‌های نام‌گذاری فولک (۱۹۷۴)

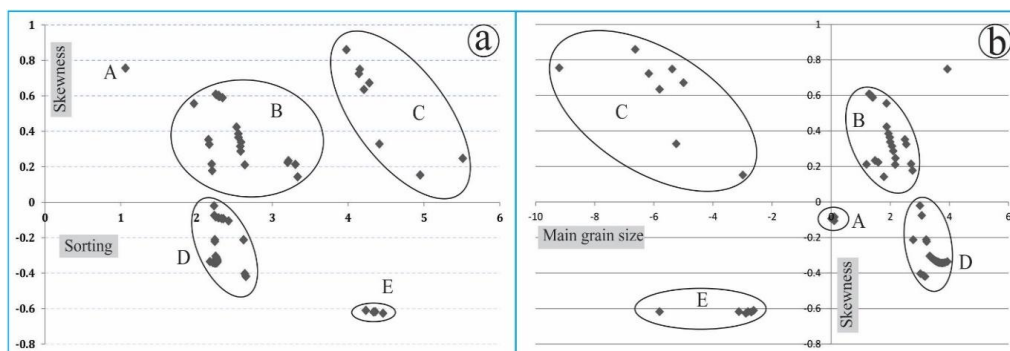
با توجه به بررسی پارامترهای آماری (شکل ۸) جورشدگی نمونه‌های رسوبی فاکتوری است که نشان می‌دهد اندازه ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات چه مقدار به یک‌دیگر نزدیک است. جورشدگی رسوبات بستر پلایای گاوخونی به روش انحراف معیار ترسیمی جامع با متوسط ۲/۶، بیشینه ۵/۵، و کمینه ۱ است که در محدوده جورشدگی متوسط تا به شدت بد قرار می‌گیرد. از روی شاخص چولگی می‌توان انرژی محیط رسوبی و نیز فرایندهای حمل‌کننده رسوبات را مشخص کرد. مثلاً، رسوبات با چولگی منفی نشان‌دهنده محیطی پراانرژی همراه ذرات دانه‌درشت است. میانگین میزان کج‌شدگی در مغزه‌های برداشت‌شده ۰/۰۲-، بیشینه ۰/۸۶، و کمینه ۰/۶۲- است که غالباً کج‌شدگی به سمت ذرات خیلی ریزدانه تا خیلی درشت‌دانه پراکندگی دارد. میانگین کشیدگی برای نمونه برداشت‌شده از مغزه‌ها ۰/۹۹ (کشیده) است و در محدوده بسیار پهن تا بسیار کشیده پراکنده است. وجود تغییرات بسیار زیاد در میزان پارامترهای آماری رسوب‌شناسی به دلیل ترکیب عملکرد فرایندهای مختلف در محیط‌های رسوب‌گذاری مختلف است (درویشی خاتونی و همکاران ۱۳۹۸؛ الغدبان<sup>۱</sup> و السماک ۲۰۰۵). این وضعیت در رسوبات بستر پلایای گاوخونی به دلیل فعالیت فرایندهای آبی و بادی در محیط‌های ماسه بادی، رودخانه، دلتا، و دریاچه است. عوامل متعددی بر میزان جورشدگی رسوبات تأثیرگذار است؛ از جمله اندازه ذرات، مکانسیم رسوب‌گذاری، ویژگی‌های جریان. فقدان جریان‌های رودخانه‌ای با رژیم ثابت باعث نهشته شدن رسوبات با جورشدگی بد می‌شود. در پلایای گاوخونی جریان‌های رودخانه‌ای با شدت و مدت متفاوت از ارتفاعات زاگرس وارد حوضه مرکزی می‌شود. در قسمت‌های شرقی پلایا، به دلیل فاصله زیاد از مصب رودخانه، با افزایش ذرات دانه‌ریز، میزان جورشدگی رو به بهبود می‌رود و میزان کج‌شدگی مثبت می‌شود. وجود تپه‌های ماسه‌ای در بخش غربی پلایای گاوخونی در میزان پارامترهای رسوبی بسیار تأثیرگذار بوده است.

1. AlGhadban



شکل ۸. نمونه‌ای از پارامترهای آماری ارائه‌شده توسط نرم‌افزار Sediment Size

همبستگی بین میزان جورشدگی و کج‌شدگی کاربرد زیادی برای بررسی ژنز و منشأ رسوبات (فولک ۱۹۷۴) و استنباط تغییرات انرژی محیط و منشأ ذرات در محیط‌های دریاچه‌ای دارد (جیانگ<sup>۱</sup> و دینگ ۲۰۱۰). اندازه ذرات نیز نشان‌دهنده شدت باد در زمان رسوب‌گذاری است. میزان جورشدگی کمتر از ۱ برای رسوبات بادی و کج‌شدگی مثبت حکایت از رسوب‌گذاری در یک محیط بادی نسبتاً آرام دارد. با کاهش کج‌شدگی و متناسب با آن افزایش اندازه ذرات، انتظار افزایش انرژی محیط می‌رود. به نظر می‌رسد، با افزایش عمق، نهشته‌های بادی کج‌شدگی کم یا گاه منفی دارند که حاکی از شدت بالای بادها در گذشته است. همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، حدود ۸۰ نمونه دانه‌بندی‌شده در ۵ محدوده نمودار قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده نوع مکانسیم رسوب‌گذاری و فرایند و منشأ رسوبات است. نمونه قرارگرفته در محدوده A با توجه به جورشدگی خوب و میزان کج‌شدگی مثبت (ذرات دانه‌ریز) مربوط به رسوبات بادی حاشیه غرب پلایای گاوخونی در عمق‌های حدود ۱ و ۳ متری است. همچنین بخشی از نمونه‌های محدوده B نیز می‌تواند از دو منشأ بادی و دریاچه‌ای باشد که حاکی از فعال بودن هر دو فرایند بادی و آبی در این محدوده است. ولی به نظر می‌رسد این محدوده غالباً تحت تأثیر محیط‌های دریاچه‌ای بوده است. محدوده C با جورشدگی بسیار ضعیف و کج‌شدگی به سمت رسوبات دانه‌ریز احتمالاً مربوط به محیط‌های دریاچه‌ای یا دلتایی در مغزه‌های G-12 و G-13 است. رسوبات با جورشدگی بد تا به‌شدت بد و کج‌شدگی به سمت ذرات دانه‌درشت مربوط به محیط‌های رودخانه‌ای بالادستی (محدوده مغزه‌های G-15، G-16، G-8) است که در محدوده D و E قابل مشاهده است (شکل ۹).



شکل ۹. (a) همبستگی بین میزان انحراف معیار ترسیمی جامع و میزان کج شدگی؛ (b) نمودار همبستگی میانگین اندازه ذرات با میزان کج شدگی

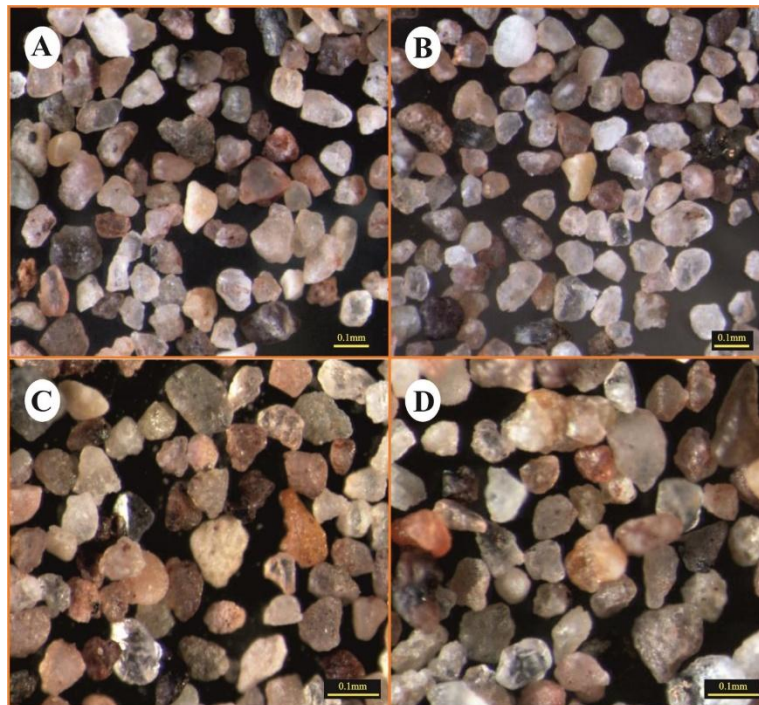
به عبارت دیگر واحد A معرف دوره‌های خشک است که با توجه به عمق مغزه‌ها مدت زمانی کوتاه در منطقه حاکم شده‌اند و واحدهای B و C معرف دوره‌های مرطوب و شرایط دریاچه‌ای است که غالباً بیشتر از دوره‌های خشک در منطقه حاکم بوده است. واحدهای D و E معرف دوره‌های مختلف اقلیمی در محیط‌های رودخانه‌ای است که با توجه به رژیم رودخانه متغیر بوده است. به طور کلی می‌توان ویژگی آخرین چرخه یخچالی در مقیاس جهانی را ظهور نسبت آبی دوره‌های گرم و سپس سرد شدن تدریجی دانست؛ چرخه‌ای که در دوره پلیستوسن جدید چندین بار تکرار شد. همین موضوع دلیل ایجاد الگویی موسوم به دندانه‌اره در نمودارهای دیرین اقلیم‌شناختی است (برادلی<sup>۱</sup> ۲۰۱۵؛ لوو<sup>۲</sup> و والکر<sup>۳</sup> ۲۰۱۵).

### مورفوسکوپی

هر محیط رسوبی با فرایندهای انتقال و ته‌نشست خاص خود آثار منحصربه‌فرد ریخت‌شناسی بر سطح دانه‌های رسوبی تخریبی انباشته‌شده در آن محیط می‌گذارد (حمزه و همکاران ۲۰۱۶). مطالعات مورفوسکوپی و به عبارت دیگر بررسی شکل دانه‌ها ارتباط مستقیم با ترکیب و اندازه دانه و نوع حرکت و مسافت حمل‌شده دارد (کویکا<sup>۴</sup> ۲۰۱۱). مطالعه رسوبات بادی به شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات، سنگ منشأ رسوبات آواری، محیط تشکیل رسوبات، و آب‌وهوای ناحیه منشأ منجر می‌شود. بنابراین ذرات بادی هر چه باشند ماهیت معدنی و خرده‌سنگی دارند و طبیعی است که از نظر ژنتیکی با مواد مادری‌شان (سنگ‌های آذرین و دگرگونی و رسوبی) ارتباط داشته باشند. رسوبات نهشته‌شده در محیط‌های آبی به طور معمول بیشتر گرد شده‌اند و دارای سطح صاف و صیقلی و در برخی مواقع همراه با گودی‌های V شکل بر سطح خود هستند. این در حالی است که رسوبات موجود در محیط‌های بادی گردش‌دهی خوبی دارند و گودی‌های بشقاب‌مانند بر سطح خود نشان می‌دهند. در برخی موارد این رسوبات اشکال نیمه‌گردشده بر روی سطح خود دارند (فیتز‌امونز<sup>۴</sup> و همکاران

1. Bradley
2. Lowe
3. Koykka
4. Fitzsimmons

۲۰۰۹). نهشته بادی بستر پلایای گاوخونی به دلیل ریزدانه بودن (ماسه دانه‌ریز و بسیار دانه‌ریز) غالباً (بیش از ۹۵٪) در فراکسیون‌های ۱۲۵ و ۶۳ میکرون متمرکز هستند. در نهشته‌های بادی کوارتز، خرده‌سنگ‌های آذرین و فلدسپار در فراکسیون ۱۲۵ میکرون و کوارتز، کربنات تخریبی، فلدسپار، و به صورت محدود ژئیس در فراکسیون ۶۳ میکرون قابل مشاهده است. میزان جورشدگی و گردشدگی در فراکسیون ۱۲۵ میکرون به مراتب بهتر است و به دلیل عدم حضور رس از نظر بافتی در محدوده رسیده یا مچور تا سوپرمچور قرار می‌گیرد. فراکسیون ۶۳ میکرون میزان گردشدگی نسبت به فراکسیون ۱۲۵ میکرون کمتر است. از نظر مچوریتی کانی‌شناسی، به دلیل وجود فلدسپات و خرده‌سنگ، که هر دو جزء خرده‌هایی هستند که خیلی زود متلاشی می‌شوند، می‌توان گفت رسوب دارای مچوریتی پایین است که از رسوبات نزدیک به منشأ حکایت می‌کند. کدر و مات بودن ذرات کوارتز شاهدهی بر حمل تحت تأثیر باد است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. تصویر میکروسکوپی دانه‌های رسوبی رسوبات بادی مغزه‌های رسوبی: (A) خرده‌سنگ‌های آذرین و کوارتز تقریباً گردشده (فراکسیون ۱۲۵ میکرون) (مغزه G-1 نمونه ۹۰ - ۱۰۰); (B) خرده‌سنگ‌های آذرین، کوارتز، و فلدسپار تقریباً نیمه‌گردشده تا نیمه‌زاویه‌دار (فراکسیون ۱۲۵ میکرون) (مغزه G-2 نمونه ۲۴۰ - ۲۴۵); (C) کوارتز، خرده‌سنگی تخریبی، فلدسپار، خرده‌سنگ، میکا، و ژئیس نیمه‌زاویه‌دار (فراکسیون ۶۳ میکرون) (مغزه G-1 نمونه ۹۰ - ۱۰۰); (D) خرده‌سنگی تخریبی، کوارتز، فلدسپار، و خرده‌سنگ نیمه‌گردشده (فراکسیون ۶۳ میکرون) (مغزه G-2 نمونه ۲۴۰ - ۲۴۵)

بررسی‌های مورفوسکوپی نشان داد ماسه‌های پلایای گاوخونی دارای منشأ بادی هستند. این ماسه‌ها به شکل مدور و با سطحی مات‌اند. علت این موضوع برخورد دانه‌های رسوبی به یک‌دیگر حین حمل و جابه‌جایی است. بررسی‌های مورفوسکوپی رسوبات ماسه بادی موجود در مغزه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده وجود ذرات ماسه بادی همراه رسوبات گل

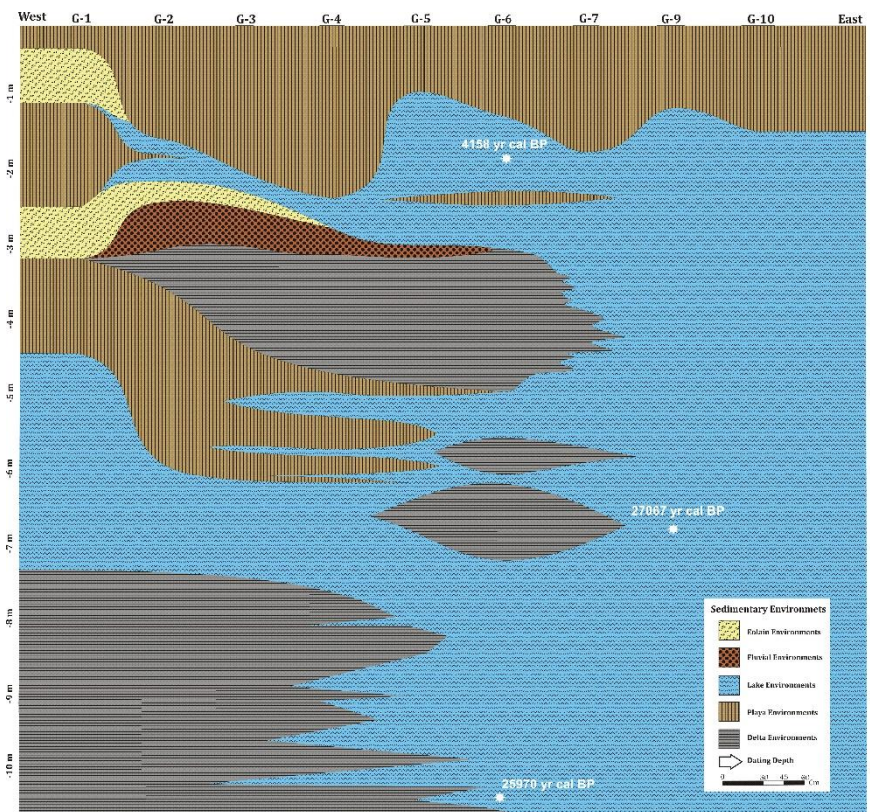
قرمز رنگ بود که حاکی از عملکرد هم‌زمان فرایندهای بادی در مناطق حاشیۀ غربی با محیط پلایایی در بخش‌های داخلی‌تر پلایاست. به عبارت دیگر زمانی که در گاوخونی شرایط پلایایی برقرار بوده است، فرایندهای بادی نیز در بخش‌های غربی فعال بوده است. بنابراین، توالی رسوبات در دوره‌های یادشده به صورت ترکیبی از رسوبات بادی و پلایایی بوده است. فراوانی رسوبات ماسه بادی و رسوبات گل پلایایی در دوره‌های مختلف متفاوت است. وجود هم‌زمان ذرات با گردشگی‌های متفاوت و ذرات کدر و شفاف همچنین وجود رسوبات با رسیدگی (مچورتی) کانی‌شناسی پایین در نمونه‌های برداشت‌شده از ماسه‌های بادی در مغزه‌ها از تأمین رسوب از چند منشأ، با فواصل و فرایندهای مختلف در زمان‌های گذشته، حکایت دارد. منشأ رسوبات بادی در منطقه گاوخونی رسوبات مخروط‌افکنه‌ای شمالی و شمال شرقی با جنس ذرات آذرین، رسوبات مخروط‌افکنه‌ای غرب و جنوب غرب با جنس ذرات رسوبی (اکثراً خرده‌سنگ‌های آهکی)، و رسوبات زاینده‌رود با جنس ذرات آذرین و دگرگونی و رسوبی است. همچنین درصد فراوانی نوع خرده‌سنگ‌ها و کانی‌ها در ماسه‌های بادی از شمال به جنوب تغییر می‌کند؛ طوری که از شمال تپه‌های ماسه‌ای به طرف جنوب میانگین فراوانی ذرات آذرین و دگرگونی و کانی‌های سنگین کاهش می‌یابد و بالعکس ذرات رسوبی افزایش نسبی دارند. نقش لیتولوژی حوزه آبریز و رودخانه دائمی زاینده‌رود در بلوغ ترکیبی و درصد فراوانی و جنس ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات ماسه‌ای این منطقه مؤثرتر است و سایر عوامل، مانند آب‌وهوای دیرینه و تکنونیک، اهمیت کمتری دارند (پاک‌زاد ۲۰۰۳).

### پالئوژئوگرافی

اقلیم فلات ایران عمدتاً مدیترانه‌ای و تحت تأثیر سیستم‌های پرفشار سیبری، چرخندهای مدیترانه‌ای (سیستم کم‌فشار)، و جریان‌های موسمی جنوب شرقی است (علی‌جانی ۱۳۹۲). در گذشته، با تغییر در موقعیت و شدت این سیستم‌ها، تغییرات اقلیمی در فلات ایران رخ داده است. تغییرات در این سیستم‌ها و آثار آن بر زیست‌بوم‌های متنوع ایران احتمالاً موجب پاسخ‌های گوناگون هر زیست‌بوم شده است. تاکنون، عمده اطلاعات از اقلیم دیرینه ایران از راه مطالعه زمین‌ریخت‌شناسی حاصل شده است. به نظر می‌رسد، الگوی کلی تغییرات اقلیمی پلیستوسن در غرب و شمال ایران به صورت دوره‌های سرد و خشک (مجموعه سرد) و دوره‌های گرم و مرطوب (مجموعه گرم) بوده است (کهل<sup>۱</sup> ۲۰۰۹). در طول دوره پلیستوسن، به احتمال فراوان، بادهای با جهت شمالی-جنوبی در فلات ایران مرکزی رایج بوده است. کلوتهای غول‌پیکر بیابان لوت احتمالاً شاهدی بر این بادهاست. همچنین، شواهد ژئومورفولوژیکی برای بادهای با شدت بیشتر از امروز در ایران مرکزی در آخرین بیشینه یخچالی نیز وجود دارد. احتمالاً جریان موسمی زمستانه در طول دوره‌های سرد تا خلیج فارس نیز می‌رسیده‌اند (گلنی<sup>۲</sup> و سینقوی ۲۰۰۲). با شناسایی محیط‌ها و زیرمحیط‌های موجود ثبت‌شده در رسوبات بستر و زیر بستر پلایای گاوخونی و زمین‌های اطراف می‌توان به فعالیت فرایندهای مختلف آبی و بادی در محیط‌های مختلف رسوبی در طول پلیستوسن پایانی و هولوسن پی برد. با سه نمونه سن‌سنجی شده موجود، هر تلاشی برای شرح تکامل دیرینه جغرافیایی پلایای گاوخونی بر فرضیه‌هایی محدود می‌شود. کمبود داده کار را برای

1. Kehl  
2. Glennie

تعیین میزان گسترش محیطها، حتی به صورت کلی، دچار مشکل می‌کند. علاوه بر این، تحولات یک حوضه آبی تابع عوامل مختلفی از قبیل تغییرات سطح تراز آب، ژئومورفولوژی منطقه تحت تأثیر، میزان رسوب‌گذاری، و انطباق فضایی است. شناخت موقعیت و مورفولوژی دره‌های رودخانه‌ها و الگوی زهکشی آنها ضروری است (هیوارت<sup>۱</sup> و بیتمن<sup>۲۰۰۷</sup>). از طریق همین دره‌ها، دریاچه در زمان بالا آمدن سطح تراز شروع به پیش‌روی کرده است. پیش‌نیاز دیگر برای بازسازی جغرافیای گذشته وجود اطلاعات کافی در خصوص زمان تغییرات محیطی و تغییرات سطح تراز است. تخمین زمان از چند سطح سن‌سنجی شده استنباط می‌شود. تحکیم و تراکم رسوبات در تحلیل‌ها در نظر گرفته نشده است. فرایندهای موجود با تغییر و تحول در مسیر حرکت باعث ایجاد فرم‌های مختلف در رسوبات شده است. تبدیل این فرم‌ها به یک‌دیگر به صورت تدریجی انجام گرفته است. به طور کلی از حاشیه به سمت مرکز حوضه به ترتیب نهشته‌های آبرفتی و دلتایی، بادی، پلایایی، و دریاچه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. پروفیل محیط‌های بازسازی شده با استفاده از مغزه‌های رسوبی در بستر پلایای گاوخونی

در شرایط کنونی با توجه به مشاهدات میدانی وجود دشت سیلابی گسترده در حاشیه رودخانه زاینده‌رود و دلتای نه‌چندان وسیع قابل مشاهده است. بخش غربی پلایا را تپه‌های ماسه‌ای مرتفع و وسیع تشکیل می‌دهد. جز بخش کوچکی از پلایا، که محیط دریاچه موقت را تشکیل می‌دهد، بقیه قسمت‌ها، که منطقه بزرگی از حوضه گاوخونی را شامل

1. Heyvaert

می‌شود، محیط پلایایی پوشیده از رسوبات دانه‌ریز همراه حجم قابل ملاحظه‌ای از کانی‌های تبخیری است. با توجه به تغییرات توالی رسوبات در مغزه‌های برداشت‌شده (شکل ۱۱) در حدود ۳۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ سال پیش احتمالاً منطقه گاوخونی تحت تأثیر بارش‌های فراوان بوده است. در نتیجه میزان بار رسوبی واردشده از غرب (رودخانه زاینده‌رود) 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 و در حال حاضر به عنوان معدن شن و ماسه در حال بهره‌برداری است. انرژی و حجم بالای آب‌های واردشده به پلایای گاوخونی باعث شده در موقعیت فعلی مغزه G-5 رخساره‌های مربوط به دلتا و در موقعیت فعلی مغزه G-1 و G-2 رخساره‌های آبرفتی مشاهده شود. نتایج سن‌سنجی در مغزه G-6 و G-9 میزان بالای رسوب‌گذاری در مغزه‌های غربی‌تر را نشان می‌دهد و فرضیه پر شدن حوضه گاوخونی از غرب به شرق را قوت می‌بخشد. به احتمال زیاد این وضعیت تا حدود ۱۸۰۰۰ سال قبل ادامه داشته است. در این دوره بخش‌های شرقی حوضه دارای رسوبات دریاچه‌ای بوده است (شکل ۱۱). از ۱۸۰۰۰ تا حدود ۱۱۶۰۰ سال پیش پس‌روی خطوط ساحلی و حرکت دلتای بزرگ زاینده‌رود به سمت شمال حوضه اتفاق افتاده است. انتهای دلتا تا نزدیکی‌های مرکز پلایا (G-7) کشیده شده و تپه‌های ماسه‌ای در غرب حوضه تشکیل شده است.

شواهد همبسته با رویدادهای بیان‌شده در بسیاری از بخش‌های آسیا مانند فلات لس چین (لیو<sup>۱</sup> و دینگ ۱۹۹۸)، شرق آسیای مرکزی (لی<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۱۸)، دریای عربی (شولز<sup>۳</sup> و همکاران ۱۹۹۸)، دریاچه وان در آناتولی (لیت<sup>۴</sup> و همکاران ۲۰۱۴؛ پیکارسکی<sup>۵</sup> و همکاران ۲۰۱۵)، توالی‌های لس شمال البرز (ولامینک<sup>۶</sup> ۲۰۱۸)، غرب فلات مرکزی ایران (مهمترین<sup>۷</sup> و همکاران ۲۰۱۷) شناسایی شده است. این همبستگی میان مناطق گوناگون آسیا با گرینلند دورپیوندی و ارتباط بین تحولات آب‌وهوایی در بخش‌های مختلف جهان را نشان می‌دهد. بنابراین رویدادهای اقلیمی ناگهانی و شدید عملکرد مشابهی در پهنه‌های مختلف دارد. در نبود پژوهش‌های میدانی در مقیاس محلی، شاید بتوان وضعیت کلی دیرین اقلیم را با استفاده از اطلاعات سایر نواحی تا حدودی بازسازی کرد. به طور کلی، گسترش خشکی عمومی و پیش‌رونده در بخش‌های گوناگون آسیا در آخرین چرخه یخچالی (دئل<sup>۸</sup> ۲۰۱۷) و نیز شواهد به‌دست‌آمده از دریاچه ارومیه (جمالی<sup>۹</sup> و همکاران ۲۰۰۸)، فلات لس ایران (لاور<sup>۱۰</sup> و همکاران ۲۰۱۷)، توالی‌های لس دیرین شمال البرز (ولامینک ۲۰۱۸)، و نیز نتایج بررسی‌های غار قلعه‌گرد در آوج از استان قزوین (مهمترین و همکاران ۲۰۱۷) شواهدی از رویدادهای همبسته در آخرین چرخه یخچالی است. شروع هولوسن و افزایش دما تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد (کوفی<sup>۱۱</sup> و کلاو ۱۹۹۷) منجر به افزایش وسعت نهشته‌های ماسه بادی و گسترش محیط پلایایی در حاشیه دریاچه شده است. وجود ماسه‌های بادی زردرنگ در عمق حدود ۳۳۰

1. Liu
2. Li
3. Schulz
4. Litt
5. Pickarski
6. Vlaminc
7. Mehterian
8. Dennell
9. Djamali
10. Lauer
11. Cuffey

سانتی‌متری در مغزه‌های بخش غربی پلایای گاوخونی (G-1, G-2, G-3, G-4) حاکی از فعالیت فرایند بادی حدود ۸۲۰۰ سال پیش است. 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 (راب<sup>۱</sup> ۲۰۱۹). اوج این شرایط خشک در منطقه گاوخونی در حدود ۸۵۰۰ تا ۸۲۰۰ سال قبل اتفاق افتاده است که با فعالیت شدید فرایند بادی و گسترش ماسه‌های بادی در بخش غرب تا مرکزی بستر پلایای گاوخونی همراه بوده است. عملکرد بادهای شدید در اواسط هولوسن موجب حفر کانالی طویل و عریض در جهت شمال غربی- جنوب شرقی بین مخروط افکنه رودخانه‌های شمال حوضه هامون شده که هم اکنون با عنوان «دشت جهنم» شناخته می‌شود (جاکس<sup>۲</sup> و کمپ ۱۹۸۳). از ارتفاع ماسه‌های بادی در این دوره اطلاعاتی در دست نیست. ولی قطعاً گسترش توده‌های ماسه‌ای غرب پلایا بیشتر از شرایط فعلی بوده است. با توجه به همبستگی رویدادهای اقلیمی، فعالیت ماسه‌های بادی در ۸۲۰۰ سال قبل در رسوبات بستر هامون توسط حمزه و همکاران (۱۳۹۶) و در پلایای جازموریان توسط واعظی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۹) و در دریاچه نئور توسط شریفی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شده است. این موضوع می‌تواند به دلیل ضعیف شدن مانسون‌های تابستانه اقیانوس هند و ایجاد شرایط خشک باشد (گوپتا<sup>۵</sup> و همکاران ۲۰۰۳). دیکسیت<sup>۶</sup> و همکارانش (۲۰۱۴) دوره خشک کوتاه در جنوب شرقی آسیا را با ارتباطات قوی بین آب‌وهوای آتلانتیک شمالی و مانسون‌های تابستانه اقیانوس هند مرتبط دانستند. گسترش رخساره‌های پلایایی در عمق متوسط حدود ۱ تا ۲ متر در مغزه‌های حاشیه غربی و مرکزی حاکی از وجود شرایط خشک دیگر در منطقه است؛ با سنی حدود ۴۲۰۰ سال قبل و مدت زمان حدود ۲۰۰ سال. این دوره خشک انطباق تقریبی مناسبی در نیم‌کره شمالی نشان می‌دهد (استابواسر<sup>۷</sup> و همکاران ۲۰۰۳) که در بخش‌های درون‌قاره‌ای امریکای شمالی، خاورمیانه، بخش‌هایی از آفریقا و آسیا با وسعت بالا گزارش شده است (بوث<sup>۸</sup> و همکاران ۲۰۰۵؛ پارکر<sup>۹</sup> و همکاران ۲۰۰۶). این دوره خشک در هامون با پیش‌روی ماسه‌های بادی درون دریاچه توسط حمزه<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است. همچنین، در جازموریان نیز با افزایش شوری و ورود رسوبات بادی همراه بوده است (واعظی<sup>۱۱</sup> و همکاران ۲۰۱۸). این دوره احتمالاً با افول تمدن شهر سوخته در حدود ۴۵۰۰ سال پیش (مینیتی<sup>۱۲</sup> و سیدسجاد ۲۰۱۹) و افول تمدن جیرفت در حدود ۴۳۰۰ سال پیش هم‌زمان بوده است (مشکور<sup>۱۳</sup> و همکاران ۲۰۱۳؛ مجیدزاده و پیتمان<sup>۱۴</sup> ۲۰۰۸). حضور رخساره‌های دریاچه‌ای در عمق کمتر از ۲ متر با دوره زمانی حدود ۳۵۰۰ سال پیش

1. Rapp
2. Jux
3. Vaezi
4. Sharifi
5. Gupta
6. Dixit
7. Staubwasser
8. Booth
9. Parker
10. Hamzeh
11. Vaezi
12. Minniti
13. Mashkour
14. Majidzadeh

همخوانی خوبی با پیش‌روی دریاچه مونولیک کالیفرنیا نشان می‌دهد (نیوتن<sup>۱</sup> ۱۹۹۴) (شکل ۱۱). همچنین جمالی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۹) یک لایه زغال نارس بر اثر فعالیت زیاد انسانی در دریاچه آلمالو در یال جنوبی سه‌د شناسایی کردند که نشان‌دهنده شرایط رطوبتی مناسب در منطقه بوده است. وجود رخساره‌های پلایایی و ماسه‌های بادی زردرنگ در توالی‌های با عمق کمتر از ۱ متر در مغزه‌های حاشیه غربی (G-1) پلایای گاوخونی به دلیل فقدان آثار و بقایای گیاهی و جانوری و وجود افق‌های قرمز رنگ بیانگر وجود شرایط خشک در منطقه است (لی<sup>۳</sup> و همکاران ۱۹۹۶). این دوره خشک احتمالاً مرتبط با دوره خشک حدود ۱۰۰۰ سال پیش است (حمزه و همکاران ۲۰۱۶) (شکل ۱۱) که با فاجعه قحطی ۱۰۴۵ سال قبل، که در کتاب تاریخ سیستان بدان اشاره شده، هم‌ارز (نه به قطع) دانسته شده است. در شرایط فعلی به وجود آمدن شرایط پلایایی در منطقه گاوخونی باعث از بین رفتن عمق و تبدیل تالاب به کفه نمکی شده است.

### نتیجه

نتایج بررسی‌های رسوب‌شناسی و رخساره‌های رسوبی در پلایای گاوخونی چنین است: تیپ رسوبات بستر غالباً 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 است. با توجه به بررسی پارامترهای آماری رسوب‌شناسی و رخساره‌های رسوبی پنج محیط رسوبی وجود دارد: شامل رسوبات بادی، رودخانه‌ای، دلتایی، دریاچه‌ای، پلایایی. رخساره‌های محیط بادی غالباً ماسه‌ای بادی قهوه‌ای رنگ و خشک با جورشدگی خوب و میزان کج‌شدگی مثبت (ذرات دانه‌ریز) و دانه متوسط است. محیط رودخانه‌ای (دشت سیلابی) با رسوبات گلی و گل سیلتی معمولاً سفت و فاقد ماده آلی و دارای ژپیس و رنگ قهوه‌ای است و به دلیل تغییرات انرژی حمل با جورشدگی بد تا به شدت بد و کج‌شدگی به سمت ذرات دانه‌درشت است. رخساره دریاچه‌ای با رسوبات خاکستری تا سبز روشن (مشخصه محیط‌های احیایی) گلی و دانه‌ریز همراه ماده آلی، نرم و آبدار همراه لامینه‌های نازک، با میان‌لایه‌های رسوبات دانه‌درشت‌تر (سیلتی) و جورشدگی بسیار ضعیف و کج‌شدگی به سمت رسوبات دانه‌ریز مشخص شد. محیط‌های دلتایی با تناوب زیاد رسوبات دانه‌ریز و دانه‌درشت به دلیل تغییر در انرژی رودخانه‌های منتهی به حوضه آبی به رنگ خاکستری تیره تا قهوه‌ای و جورشدگی بسیار ضعیف و کج‌شدگی به سمت رسوبات دانه‌ریز مشاهده می‌شود. مشخصه محیط‌های پلایا وجود بسیار زیاد کانی‌های تبخیری، از جمله نمک و ژپیس، رسوبات به رنگ قهوه‌ای تیره، و رسوبات با جورشدگی بد تا به شدت بد و کج‌شدگی به سمت ذرات دانه‌ریز است. با توجه به نتایج سن‌سنجی میزان رسوب‌گذاری در پلایای گاوخونی در بخش‌های مختلف متفاوت است. این میزان در بخش‌های ساحلی غربی ۰/۴۴ میلی‌متر در سال، در بخش‌های میانی ۰/۳۹ میلی‌متر در سال، و در بخش‌های شرقی ۰/۲۵ میلی‌متر در سال است. با توجه به شیب ملایم بستر پلایا در بخش غربی، تغییرات محیط‌های رسوبی در این بخش بیشتر بوده است و بخش شرقی پلایا حداقل در ۱۰۰۰ سال گذشته شرایط مشابه امروزی (ولی فاقد رسوبات تبخیری ضخیم‌لایه) را داشته است. به طور کلی، نه به قطع، در حدود ۳۰۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰ سال قبل منطقه گاوخونی تحت تأثیر بارش‌های فراوان

1. Newton
2. Djamali
3. Li

بوده است. در نتیجه میزان بار رسوبی واردشده از غرب (رودخانه 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 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. با توجه به بازسازی محیط‌های رسوبی، با شروع هولوسن و افزایش دما، افزایش وسعت نهشته‌های ماسه بادی و گسترش محیط پلایایی تا حدود ۸۲۰۰ سال قبل در حاشیه دریاچه اتفاق افتاده است. مدت زمان ۸۲۰۰ تا ۴۲۰۰ سال قبل با پیش‌روی موقت خطوط ساحلی به سمت خشکی همراه بوده است و در ۴۲۰۰ سال قبل مجدداً با خشکی حدود ۲۰۰ سال پس‌روی اتفاق افتاده است. پیش‌روی رخساره‌های دریاچه‌ای در حدود ۳۵۰۰ سال پیش انجام گرفته است و بعد از آن مجدداً پس‌روی اتفاق افتاده و رخساره‌های پلایایی و بادی جایگزین رخساره‌های دریاچه‌ای شده است. با توجه به نوع رسوبات بستر گاوخونی شرایط بخش شمالی و شرقی گاوخونی حداقل در ۳۰۰۰ سال گذشته و شرایط بخش غربی حداقل در ۱۰۰۰ سال گذشته مشابه شرایط فعلی بوده است.

## منابع

- پاک‌زاد، ح.؛ مکی‌زاده، م.؛ مهران‌پسندی، ز.؛ نیایی، ع. (۱۳۹۱). «ترکیب و منشأ ماسه‌های آبرفتی و بادی پلایای گاوخونی (جنوب شرق اصفهان)»، *پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی*، د ۲۸، ش ۳، صص ۶۵ - ۸۲.
- پاک‌زاد، ح.؛ مهران‌پسندی، ز.؛ نیایی، ع. (۱۳۹۳). «بررسی تمرکز عناصر سنگین Mn, Pb, Cu, Ag, Zn, Sr, Co, Cd و Ni در پهنه‌های ماسه‌ای پلایای گاوخونی (جنوب شرق اصفهان)»، *پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی*، ش ۳، صص ۳۵ - ۴۶.
- تقوی، ل.؛ طیبی، ص.؛ طیبی، س.؛ کریمیان، ب. (۱۳۹۲). «تحلیل اقلیم دیرینه بخش شمالی تالاب گاوخونی با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی»، *تالاب اکویولوژی*، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، س ۵، ش ۱۶، صص ۵۳ - ۶۲.
- حمزه، م.ع.؛ محمودی قرایی، م.ح.؛ علی‌زاده لاهیجانی، ح.؛ موسوی حرمی، ر.؛ جمالی، م. (۱۳۹۶). «رسوبات بادی نهشته‌شده در دریاچه هامون؛ نشانگر فراوانی و شدت طوفان‌های گردوغبار سیستان از انتهای آخرین یخبندان تاکنون»، *پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی*، س ۳۳، شماره پیاپی ۶۶، ش ۱، صص ۱ - ۲۴.
- درویشی خاتونی، ج.؛ فتوحی، ص.؛ نگارش، ح.؛ محمدی، ع. (۱۳۹۸). «اقلیم و محیط دیرینه تالاب آب‌زالو در استان خوزستان با استفاده از مغزه‌های رسوبی در هولوسن پسین»، *کواترنری ایران*، ۵ (۳)، صص ۳۲۳ - ۳۴۷.
- رامشت، م.ح. (۱۳۷۱). «زاینده‌رود و تأثیر آن در سیمای فضایی اصفهان»، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- سیف، ع. (۱۳۸۴). «بررسی و تحلیل پالئوژئومورفولوژی پلایای گاوخونی با تکنیک سنجش از دور و GIS»، پایان‌نامه دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان.
- علی‌جانی، ب. (۱۳۹۲). *آب‌وهوای ایران*، چ ۲، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- قهرودی تالی، م.؛ خدری غریب‌وند، ل. (۱۳۹۵). «رویکرد فرم‌شناسی در استراتژی مدیریت تالاب‌ها و پلایاها (بررسی

- موردی: پلایای گاوخونی)، علوم محیطی، د ۱۴، ش ۲، صص ۱۰۹ - ۱۱۸.
- کیانی، ط.؛ رامشت، م.ح.؛ ملکی، ا.؛ صفاکیش، ف. (۱۳۹۵). «بررسی تغییر اقلیم حوضه گاوخونی در فاز پایانی کواترنر»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ش ۲، صص ۲۱۳ - ۲۲۹.
- محمدی قیومی، ح. (۱۳۹۰). «بررسی فرایندهای ریخت‌زا و خاک‌ساز پدیدآورنده تحولات طبیعی و مدنی زاینده‌رود در کواترنر»، رساله دکتری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه اصفهان. محمدی، ع. (۱۳۸۹). «رسوب‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های پلایای جازموریان»، خشک‌بوم، ش ۱، س ۱، صص ۱ - ۱۲.
- AlGhadban, A. N. & El-Sammak, A. (2005). "Sources, distribution and composition of the suspended sediments, Kuwait Bay, Northern Arabian Gulf", *J Arid Environments*, Vol. 60, pp. 647-661.
- Alijani, B. (2013). "Iran Climate", Chapter 2, *Payame Noor University Press*. (in Persian).
- An, F., Ma, H., Wei, H., & Lai, Z. (2012). "Distinguishing aeolian signature from lacustrine sediments of the Qaidam Basin in northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and its palaeoclimatic implications", *Aeolian Research*, 4, pp. 17-30.
- Benison, K. C. & Goldstein, R. H. (2001). "Evaporites and siliciclastics of the Permian Nippewalla group of Kansas, USA: a case for non-marine deposition in saline lakes and saline pans", *Sedimentology*, Vol. 48, pp. 165-188.
- Blanford, W.T. (1873). "On the nature and probable origin of the superficial deposits in the valleys and deserts of central Persia", *Geological Society of London Quarterly Journal*, 29, pp. 493-503.
- 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, pp. 154-165.
- Booth, R. K., Jackson, S. T., Forman, S. T., Kutzbach, J. E., Bettis, E. A., Kreig, J., & Wright, D.K. (2005). "A severe centennial- scale drought in mid-continental North America 4200 years ago and apparent global linkages", *The Holocene*, 15, 3, pp. 321-328.
- Bradley, R.S. (2015). "Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary", 3<sup>rd</sup> ed, Elsevier.
- Bronk Ramesy, C. & Lee, S. (2013). "Recent and planned developments of the program OxCal", *J. Radiocarbon* 55 (2-3), pp. 308-318. [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.55.16215](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16215).
- Cecil, C.B. (2004). "Eolian dust and the origin of sedimentary chert", Open-file report 2004-1098, USGS.
- Cuffey, KM. & Clow, GD. (1997). "Temperature, accumulation, and ice sheet elevation in central Greenland through the last deglacial transition", *J. Geophysical Research*, 102 (C12), pp. 26383-26396. <https://doi.org/10.1029/96JC03981>
- Cullen, H.M., DeMenocal, P.B., Hemming, S., Hemming, G., Brown, F.H., Guilderson, T., & Sirocko, F. (2000). "Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea", *Geology*, Vol. 28, Issue 4, pp. 379-382.
- Darvishi Khatooni, J., Fotohi, P., Negarash, H., & Mohammadi, A. (2019). "Climate and ancient environment of Abzalu wetland in Khuzestan province using sedimentary cores in the Late Holocene", *Quaternary of Iran*, 5 (3), pp. 323-347. (in Persian)
- Dean, W.E. (1997). "Rates, timing, and cyclicity of Holocene eolian activity in north-central

- United States: evidence from varved lake sediments”, *Geology*, 25, pp. 331-334.
- Dennell, R. (2017). “Human Colonization of Asia in the Late Pleistocene: The History of an Invasive Species”, *J. Current Anthropology*, 58 (S17), pp. S383-S396. <https://doi.org/10.1086/694174>
- Dixit, Y., Hodell, DA., Sinha, R., & Petrie, CA. (2014). “Abrupt weakening of the Indian summer monsoon at 8.2 kyr B.P”, *J. Earth Planet. Sci. Lett*, 391, pp. 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.01.026>
- Djamali, M., Beaulieu, J. L., Miller, N. F., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Lak, R., Sadeddin, N., Akhani, H., & Fazeli, H. (2009). “Vegetation history of the SE section of the Zagros Mountains during the last five millennia; a pollen record from the Maharlou Lake, Fars Province, Iran”, *Vegetation History and Archaeobotany*, 18, pp.123–136.
- Djamali, M., Kürschner, H., Akhani, H., de Beaulieu, JL., Amini, A., Andrieu-Ponel, V., Ponel, Ph., & Stevens, L. (2008). “Palaeoecological significance of the spores of the liverwort *Riella* (Riellaceae) in a Late Pleistocene long pollen record from the hypersaline Lake Urmia, NW Iran”, *J. Review of Palaeobotany and Palynology*, 152 (1-2), pp. 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2008.04.004>
- Djamali, M., Soulié-Märsche, I., Esu, D., Gliozzi, E., & Okhravi, R. (2006). “Palaeoenvironment of a Late Quaternary lacustrine–palustrine carbonate complex: Zarand Basin, Saveh, central Iran”, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, Vol. 237, pp. 315-334
- Eijkelkamp (2008). Operating instructions (04.01/04.02 Gouge augers).
- Enzel, Y., Wells, S.G., & Lancaster, N. (2003). “Late Pleistocene lakes along the Mojave River, southeast California”, In: Enzel, Y., Wells, S.G., & Lancaster, N. (eds.), *Paleoenvironments and Paleohydrology of the Mojave and Southern Great Basin Deserts*, Boulder, CO: *Geological Society of America Special Paper*, 368, pp. 61–77.
- Fitzsimmons, K.E., Magee, J.W., & Amos, K.J. (2009). “Characterisation of aeolian sediments from the Strzelecki and Tirari Deserts, Australia: implications for reconstructing palaeoenvironmental conditions”, *Sedimentary Geology*, 218, pp. 61-73.
- Fleitmann, D., Burns, S. J., Mudelsee, M., Neff, U., Kramer, J., Mangini, A., & Matter, A. (2003). “Annual to millennial Indian Ocean monsoon variability recorded in Holocene and Pleistocene stalagmites from Oman”, In: *Science* 300, pp. 1737–1739. Doi:10.1126/science.1083130
- Folk, R. L. (1974). “Petrology of Sedimentary Rocks”, *Hemphill Publ, Co, Austin, TX*, 182 p.
- Frechen, M., Kehl, M., Rolf, C., Sarvati, R., & Skowronek, A. (2009). “Loess chronology of the Caspian lowland in northern Iran”, *Quaternary International*, 198, pp. 220-233.
- Gahroudi Tali, M. & Khedri Gharibvand, L. (2016). “Formological approach in the management strategy of wetlands and beaches (Case study: Gavkhoni playa)”, *Environmental Sciences*, Vol. 14, No. 2, pp. 109-118. (in Persian)
- Gierlowski-Kordesch, E. & Kelts, K. (1994). “Global Geological Record of Lake Basins”, *Cambridge University Press*.
- Gierlowski-Kordesch, E. & Kelts, K. (2000). “Lake Basins through Space and Time”, *AAPG Studies in Geology*, 46, 648 p.
- Glennie, KW. & Singhvi, AK. (2002). “Event Stratigraphy, Paleoenvironment and Chronology of SE Arabian deserts”, *J. Quaternary Science Reviews*, 21 (7), pp. 853-869.

- [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(01\)00133-0](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(01)00133-0)
- Goudie, A.S. (2008). "The history and nature of wind erosion in deserts", *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 36, pp. 97-119.
- Gupta, A.K., Anderson, DM., & Overpeck, JT. (2003). "Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean", *J. Natur*, 357, pp. 354-421. <https://doi.org/10.1038/nature01340>
- Hamzeh, M. A., Gharaiie, M.H.M., Lahijani, H.A.K., Djamali, M., Harami, R.M., & Naderi-Beni, M. (2016). "Holocene hydrological changes in SE Iran, a key region between Indian Summer Monsoon and Mediterranean winter precipitation zones, as revealed from a lacustrine sequence from Lake Hamoun", *Quaternary International*, 408, pp. 25-39.
- Hamzeh, M.A., Mahmoudi Gharayi, M.H., Alizadeh Lahijani, H., Mousavi Harami, R., & Jamali, M. (2017). "Wind sediments deposited in Lake Hamoon; Indicating the frequency and intensity of dust storms in Sistan since the end of the last glaciation until now", *Stratigraphic and Sedimentological Research*, Vol. 33, Serial No. 66, Vol. 1, pp. 1-24. (in Persian)
- Hardie, L.A. & Eugster, H.P. (1978). "Saline Lakes, In: A. Lerman(ed.), *Lakes Chemistry, geology, physics*, Newyourk", NY, Springer-Verlag., 230 p.
- Heyvaert, V. M. & Baeteman, C. (2007). "Holocene sedimentary evolution and palaeocoastlines of the Lower Khuzestan plain (southwest Iran)", *Marine Geology*, 242, pp. 83-108.
- 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, pp. 843-854.
- Jux, U. & Kempf, K. (1983). "Regional Geology of Sistan (Southwest Afghanistan)", In Tosi M. *Prehistoric Sistan*, 560 p.
- Karimi, A., Frechen, M., Khademi, H., Kehl, M., & Jalalian, A. (2011). "Chronostratigraphy of loess deposits in northeast Iran", *Quaternary International*, 234, pp. 124-132.
- Karimi, A., Khademi, H., & Ayoubi, S. (2013). "Magnetic susceptibility and morphological characteristics of a loess-paleosol sequence in northeastern Iran", *Catena*, 101, pp. 56-60.
- Kehl, M. (2009). "Quaternary climate change in Iran, the state of knowledge", *J. Erdkunde*, 63 (1), pp. 1-17. <https://doi.10.3112/erdkunde.2009.01.01>
- Kelts, K. & Hsi, K.J. (1978). Freshwater carbonate sedimentation, In: Lerman, A. (ed.), *Lakes-Chemistry, Geology, Physics*, Springer-Verlag, New York, pp. 295-323.
- Khademi, H., Mermut, A., & Krouse, H. (1997). "Isotopic composition of gypsum hydration water in selected landforms from central Iran", *Chemical geology*, 138, pp. 245-255.
- Kiani, T., Ramesht, M.H., Maleki, A., & Safakish, F. (2016). "Study of Climate Change in Gavkhoni Basin in the Quaternary Final Phase", *Natural Geography Research*, Vol. 2, pp. 213-229. (in Persian)
- Kilic, O. & Kilic, A.M. (2010). "Salt crust mineralogy and geochemical evolution of the Salt Lake (Tuz Gölü), Turkey", *Scientific Research and Essays*, Vol. 5, pp. 1317-1324.
- Koykka, J. (2011). "The Sedimentation and Paleohydrology of the Mesoprotozoic Stream Deposits in a Strike-slip Basin (Svinsaga Formation) Telemark, Southern Norway", *J. Sedimentary Geology*, 236, pp. 239-255. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2011.01.010>
- Krinsley, D.B. (1970). A Geomorphological and Paleoclimatological Study of the Playas of Iran, Part I, DTIC Document, 370 p.

- Last, W.M. & Vance, R.E. (1997). "Bedding characteristics of Holocene sediments from salt lakes of the northern Great Plains, Western Canada", *Journal of Paleolimnology*, 17, pp. 297–310.
- Lateef, A. (1988). "Distribution, provenance, age and paleoclimatic record of the loess in Central North Iran. Loess-Its Distribution", *Geology and Soil Rotterdam, Balkema*, pp. 93-101.
- Lauer, T., Vlaminc, S., Frechen, M., Rolf, C., Kehl, M., Sharifi, A., Lehndorff, E., & Khormali, F. (2017). "The Agh Band loess-palaeosol sequence: A terrestrial archive for climatic shifts during the last and penultimate glacial-interglacial cycles in a semiarid region in northern Iran", *J. Quaternary International* 429, pp. 13-30. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.062>
- Legler, B., Schneider, J.W., Gebhardt, U., Merten, D., Gaupp, R. (2011). "Lake deposits of moderate salinity as sensitive indicators of lake level fluctuations: Example from the Upper Rotliegend saline lake (Middle–Late Permian, Northeast Germany)": *Sedimentary Geology*, v. 234, p. 56-69.
- Lewis, D. W. and McConchie, D. (1994). "Analytical Sedimentology, Chapman & Hall", New York, London, 197 pages.
- Li, J., Lowenstein, T.K., Brown, C.B., Ku T. L., & Luo, S. (1996). "A 100 ka record of water tables and paleoclimates from salt cores, Death Valley", *California, Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology Journal*, Vol. 123, pp. 179-203.
- Li, Y., Song, Y., Fitzsimmons, KE., Fitzsimmons, KE., Chang, H., Orozbaev, R., & Li, X. (2018). "Aeolian dust dispersal patterns since the last glacial period in eastern Central Asia: insights from a loess-paleosol sequence in the Ili Basin", *J. Climate of the Past*, 14, pp. 271-286. <https://doi.org/10.5194/cp-14-271-2018>
- Litt, T., Pickarski, N., Heumann, G., Stockheck, M., & Tzadakis, PC. (2014). "A 600.000 year long continental pollen record from Lake Van, eastern Anatoli (Turkey)", *J. Quaternary Science Reviews*, 104, pp. 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.03.017>
- Liu, TS. & Ding, ZL. (1998). "Chinese loess and the paleomonsoon", *J. Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 26, pp. 111-145. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.26.1.111>
- Lowe, JJ. & Walker, M.J.C. (2015). "Reconstructing Quaternary Environments", 3rd ed., Routledge.
- Lowenstein, T.K., Li, J., Brown, C., Roberts, S.M., Ku, T.L., Luo, S., & Yang, W. (1999). "200 k.y. paleoclimate record from Death Valley salt core", *Journal of Geology*, 27, pp. 3–6.
- Mahowald, N., Kohfeld, K., Hansson, M., Balkanski, Y., & Harrison, SP. (1999). "Dust sources and deposition during the last glacial maximum and current climate: a comparison of model results with paleodata from ice cores and marine sediments", *J. Geophys. Res*, 104 (D), pp. 895-916.
- Majidzadeh, Y. & Pittman, H. (2008). "Excavations at Konar Sandal in the region of Jiroft in the Halil Basin: first preliminary report (2002–2008) Iran", *J the British Institute of Persian Studies*, 46, pp. 69–103. <https://doi.org/10.1080/05786967.2008.11864738>
- Marx, S. K. & McGowan, H. A. (2005). "Dust transportation and deposition in a super humid environment, west coast, south Island, New Zealand", *Catena*, 59, pp.147-171.
- Mashkour, M., Tengberg, M., Shirazi, Z., & Madjidzadeh, Y. (2013). "Bio-archaeological studies at Konar Sandal, Halil Rud basin, southeastern Iran, *J. Environ Archaeology*, 18 (3), pp. 222–246.

- Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlén, W., Maasch, K.A., Meeker, L.D., Meyerson, E.A., Gasse, F., van Kreveld, S., & Holmgren, K. (2004). "Holocene climate variability", *Quaternary research*, 62, pp. 243-255.
- McGowan, H.A., Sturman, A.P., & Owens, I.F. (1996). "Aeolian dust transport and deposition by foehn winds in an alpine environment, Lake Tekapo, New Zealand", *Geomorphology*, 15, pp. 135-146.
- Mehterian, S., Pourmand, A., Sharifi, A., Lahijani, H., Naderi, M., & Swart, P. (2017). "Speleothem records of glacial/interglacial climate from Iran forewarn of future Water Availability in the interior of the Middle East", *Quaternary Science Reviews*, 164, pp. 187-198.
- Minniti, C. & Seyed Sajjadi, MS. (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, pp. 538-548. <https://doi.org/10.1002/oa.2750>
- Mohammadi Qayyumi, H. (2011). "Study of morphological and soil-forming processes causing natural and civil changes in Zayandehrood in Quaternary", PhD thesis, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Isfahan. (in Persian)
- Mohammadi, A. (2010). "Sedimentology and geochemistry of Jazmourian Playa deposits", *Khoshkboom*, Vol. 1, p. 1, pp. 1-12. (in Persian)
- Muhs, D.R. & Bettis, E. (2003). "Quaternary loess-paleosol sequences as examples of climate-driven sedimentary extremes", *Special Papers-Geological Society of America*, pp. 53-74.
- Newton, MS. (1994). "Holocene fluctuations of Mono Lake, California: the sedimentary record", *J. Society for Sedimentary Geology Special Publication*, 50, pp. 143-157. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.03.028>
- Okhravi, R. & Amini, A. (2001). "Characteristics and provenance of the loess deposits of the Gharatikan watershed in Northeast Iran", *Global and Planetary Change*, 28, pp. 11-22.
- Paik, I.S. & Kim, H.J. (2006). "Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrences and palaeoenvironments", *Journal of Sedimentary Geology*, 187, pp. 83-103.
- Pakzad, H., Makizadeh, M., Mehrad Pasandi, Z., & Niaei, A. (2012). "Composition and origin of alluvial and windy sands of Gavkhooni Playa (southeast of Isfahan)", *Stratigraphic and Sedimentological Research*, Vol. 28, No. 3, pp. 65-82. (in Persian)
- Pakzad, H., Mehrad Pasandi, Z., & Niaei, A. (2014). "Study of the concentration of heavy elements Mn, Pb, Cu, Ag, Zn, Sr, Co, Cd and Ni in the sandy areas of Gavkhoni Playa (southeast of Isfahan)", *Stratigraphic and Sedimentological Research*, Vol. 3, pp. 35-46. (in Persian)
- Pakzad, HR. & Fayazi, F. (2007) "Sedimentology and stratigraphic sequence of the Gavkooni playa lake, SE Isfahan, Iran", *J. Carbonates and Evaporites*, 22, pp. 93-100. <https://doi.org/10.1007/BF03176239>.
- Pakzad, HR. (2003). "Sedimentary facies association of the lower reaches of the Zayandeh River and the Gavkhoni playa lake basin, Isfahan province, Iran", Doctoral dissertation, Clausthal University, 273 p.
- Parker, A.G., Goudie, A.S., Stokes, S., White, K., Hodson, M.J., Manning, M., & Kennet, D. (2006), "A record of Holocene climate change from lake geochemical analyses in southeastern Arabia", *Quaternary Research*, 66, 3, pp. 465-476.
- Parris, A.S., Bierman, P.R., Noren, A.J., Prins, M.A., & Lini, A. (2010). "Holocene paleostorms

- identified by particle size signatures in lake sediments from the northeastern United States”, *Journal of Paleolimnology*, 43, pp. 29-49.
- Pickarski, N., Kwiecien, O., Langgut, D., & Litt, T. (2015). “Abrupt climate and vegetation variability of eastern Anatolia during the last glacial”, *J. Climate of the Past*, 11, pp. 1491-1505. <https://doi.org/10.5194/cp-11-1491>
- Piovano, E. L., Ariztegui, D., & Moreiras, S. D. (2002). “Recent changes in Laguna Mar Chiquita (central Argentina): a sedimentary model for a highly variable saline lake”, *Sedimentology journal*, Vol. 49, pp. 1371-1384.
- Preusser, F., Radies, D., & Matter, A. (2002). “A 160,000- year record of dune development and atmospheric circulation in Southern Arabia”, In: *Science* 296, pp. 2018–2020.
- Prins, M.A., Postma, G., & Weltje, G.J. (2000). “Controls on terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the late Quaternary: the Makran continental slope”, *Marine geology*, Vol. 169, pp. 351-371.
- Prospero, J., Paul Ginoux, Omar Torres, & Sharon, E. Nicholson (2002). “Environmental Characterization of Global sources of atmospheric soil dust derived from the NIMBUS-7 TOMS absorbing aerosol product”, *Reviews of Geophysics*, 40 (1), 1002.
- Pye, K. (1987). “Aeolian dust and dust deposits”, London, Academic.
- Ramesht, M.H. (1994). “Zayandehrood and its effect on Isfahan space image”, PhD thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian)
- Ramezani, E., Mohadjer, M.R.M., Knapp, H.D., Ahmadi, H., & Joosten, H. (2008). “The late-Holocene vegetation history of the Central Caspian (Hyrcanian) forests of northern Iran”, *The Holocene*, 18, pp. 307-321.
- Rapp, D. (2019). “Ice Ages and Interglacials Measurements, Interpretation, and Models (3<sup>rd</sup> Edition)”, Springer International Publishing, *Published in Springer Nature Switzerland*, 346 p.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Rautenbach, C., Eriksson, P.G., Qiang, M., & Gupta, P. (2012). “Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran”, *Aeolian Research*, 5, pp. 51-62.
- Roop, H.A., Dunbar, G.B., Vandergoes, M.J., Forrest, A.L., Walker, Sh.L, Purdie, J., Upton, Ph., & Whinney, J. (2014). “Seasonal controls on sediment transport and deposition in Lake Ohau, South Island, New Zealand: Implications for a high-resolution Holocene paleoclimate reconstruction”, *Sedimentology Journal*, Vol. 62, pp. 826-844.
- Ruddiman, W.F. (1997). “Tropical Atlantic terrigenous fluxes since 25,000 yrs B.P”, *Mar.Geol*, 136, pp. 189-207.
- Sai, K. (2004). “Geochemistry of Lake Sediments as a Record of Environmental Change in a High Arctic Watershed”, *Chemie der Erde*, 64, pp. 257–275.
- Schulz, H., Von Rad, U., & Erlenkeuser, H. (1998). “Correlation between Arabian Sea and Greenland climate oscillations for the past 110000 years”, *J. Nature*, 393, pp. 54-57.
- Seif, A. (2005). “Study and analysis of paleogeomorphology of Gavkhoni Playa with remote sensing and GIS techniques”, PhD Thesis, Department of Geography, University of Isfahan. (in Persian)
- Sharifi, A., Pourmand, A., Canuel, E. A., Ferer-Tyler, E., Peterson, L. C., Aichner, B., Feakins, S. J., Daryae, T., Djamali, M., & Naderi-Beni, A. (2015). “Abrupt climate variability since the last deglaciation based on a high-resolution, multi-proxy peat record from NW Iran: The hand that rocked the Cradle of Civilization?” *Quaternary Science Reviews*, Vol. 123, pp. 215-230.

- Siirio, P., Rasanen, M., Gingras, M., Harris, C., Irion, G., Pemberton, G., & Ranzi, A. (2005). "Application of laser diffraction grain-size analysis to reveal depositional processes in tidally influenced systems", *Fluvial Sedimentology VII, Special Publication of the International Association of Sedimentologists*, 35, pp. 159-180.
- Smoot, J.P. & Lowenstein, T.K. (1991). "Depositional environments of non-marine evaporates", in: Melvin, J.L. (ed.), *Evaporites, Petroleum and Mineral Resources*, in Elsevier Science Publishing Company Inc., Amsterdam, the Netherlands, pp. 189-309.
- Snelder, TH., Lamouroux, N., & Pellam, H. (2011). "Empirical modelling of large scale patterns in river bed surface grain size", *J. Geomorphology*, 127, pp. 189-197.
- 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*, Vol. 55, pp. 472-482.
- Solotchina, E.P., Sklyarov, E.V., Solotchin, P.A., Vologina, E.G., Stolpovskaya, V.N., Sklyarova, O.A., & Ukhova, N.N. (2012). "Reconstruction of the Holocene climate based on a carbonate sedimentary record from shallow saline Lake Verkhnee Beloe (western Transbaikalia)", *Russian Geology and Geophysics*, Vol. 53, pp. 1351-1365.
- Staubwasser, M., Sirocko, F., Grootes, P., & Segl, M. (2003). "Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability", *Geophysical Research Letters*, 30, pp. 372-387.
- Taqavi, L., Tayyabi, P., Tayyabi, S., & Karimian, B. (2013). "Analysis of the ancient climate of the northern part of Gavkhoni wetland using geochemistry of main and secondary elements", *Ecobiology Wetland*, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Vol. 5, No. 16, pp. 53-62. (in Persian)
- Tuker, M. E. (1988). "Techniques in sedimentology", Blackwells, Oxford, 394.
- Vaezi, AL., Ghazban, F., Tavakoli, V., Routh, J., Naderi Beni, AM., Bianchi, TS., Curtis, JS., & Kylin, H. (2019). "A Late Pleistocene-Holocene multi-proxy record of climate variability in the Jazmurian playa, southeastern Iran", *J. Palaeogeography, Palaeoclimatology, alaeoecology*, 514, pp. 754-767.
- Valero-Garces, BL., Grosjean, M., Kelts, K., Schreier, H., & Messerli, B. (1998). "Holocene lacustrine deposition in the Atacama Altiplano: facies models, climate and tectonic forcing", *J. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoeology*, 151, pp. 101-125.
- Vlaminck, S. (2018). "Northeastern Iranian loess and its palaeoclimatic implications. PhD dissertation, Faculty of Mathematics and Natural Sciences", University of Cologne (Unpublished).
- Washington, R., Todd, M.C., Lizcano, G., Tegen, I., Flamant, C., Koren, I., Ginoux, P., Engelstaeder, S., Bristow, C.S., Zender, C.S., Goudie, A.S., Warren, A., & Prospero, J.M. (2006). "Links between topography, wind, deflation, lakes, and dust: The case of the Bodélé Depression, Chad", *Geophysical Research Letters*, 33, L09401.
- Xiao, J., Inouchi, Y., Kumai, H., Yoshikawa, S., Kondo, Y., Liu, T., & An, Z. (1997). "Eolian quartz flux to Lake Biwa, central Japan, over the past 145,000 years", *Quaternary Research*, 48, pp. 48-57.