

بررسی ژئوشیمی توالی رسوبات بستر دریاچه آبزالو در راستای بازسازی شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی هولوسن پسین

جواد درویشی خاتونی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه

سیستان و بلوچستان

صمد فتوحی*: دانشیار، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

حسین نگارش: استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

علی محمدی: استادیار، پژوهشگاه علوم زمین اوراسیا، دانشگاه صنعتی استانبول، مسلک، ترکیه

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۹

چکیده

دریاچه آبزالو در تقسیم بندی ژئومورفولوژیکی، در جنوب شهر قلعه‌خواجه، مرکز شهرستان اندیکا، شمال‌شرق استان خوزستان، دامنه ارتفاعات زاگرس چین‌خورده و زیر واحد ایذه، واقع شده است. برای تعیین محیط‌های رسوبی متعلق به هولوسن پسین دریاچه آبزالو، تعداد ۸ مغزه رسوبی از بخش داخلی دریاچه برداشت شد. رخساره‌های رسوبی براساس بافت رسوب، نوع کانی‌های تبخیری، وجود مواد آلی، تغییرات رنگ و سایر مولفه‌های ماکروسکوپی، شناسایی و تفکیک شدند و نمونه‌برداری براساس تغییر در نوع رسوبات و رخساره‌های رسوبی انجام گرفت. تعداد ۳۶ نمونه رسوبی از دو مغزه جهت آنالیز عنصری با دستگاه ICP-OES و دستگاه XRF انتخاب شد و نیز تعداد سه نمونه مورد آنالیز سن‌سنجی به روش ایزوتوپی C_{14} -AMS قرار گرفت. دوره‌های مرطوب از ۱۸۰۰ تا ۵۰۰ سال پیش در یک دوره ۱۳۰۰ ساله و از ۴۴۰۰ تا ۲۵۰۰ سال پیش در یک دوره ۱۹۰۰ ساله طول کشیده است. دوره‌های خشک، با مدت زمان کوتاه‌تر از دوره‌های مرطوب، از ۲۵۰۰ تا ۱۸۰۰ سال پیش در یک دوره ۷۰۰ ساله و از ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال پیش در یک دوره ۳۰۰ ساله امتداد داشته است. دوره‌های خشک در منطقه با ورود رسوبات گرد و غبار همراه بوده است. مشخصه دوره‌های مرطوب نیز افزایش در میزان فرسایش و هوازدگی در حوضه آبریز می باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیم دیرینه، ژئوشیمی رسوبی، مغزه‌رسوبی، هولوسن پسین، دریاچه آبزالو.

مقدمه

اقلیم به عنوان میانگین دما یا بارش در یک دوره طولانی مدت به طور مداوم در حال نوسان و تغییر بوده است و ارتباط ساده ای بین تغییر اقلیم و واکنش‌های زیستی و فرهنگی انسان وجود ندارد (پتری و ویکس^۱، ۲۰۱۸؛ کولت برنیر و وارنال^۲، ۲۰۱۸). درک ویژگی‌های محیطی زمان گذشته جهت شناخت تغییرات آب و هوایی اهمیت دارد (حمزه و فراهی قصرابونصر^۳، ۲۰۲۰). 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 دیرینه استفاده نمود (کریلین و شاتول^۴، ۲۰۱۶). در سطح جهانی، حلقه‌های درختی، گرده‌های گیاهی، مرجان‌ها، مغزه‌های یخی، رسوبات دریایی و دریاچه‌ای از مهمترین بایگانی‌ها برای مطالعات محیط‌های دیرینه هستند و کیفیت مطالعات انجام شده نیز به کیفیت این بایگانی‌ها بستگی دارد (مارتینز^۵ و همکاران، ۲۰۱۵؛ دامناتی^۶ و همکاران، ۲۰۱۶؛ بریست^۷ و همکاران، ۲۰۱۸). در این میان رسوبات بستر دریاچه‌ای شاخص‌های حساسی از اقلیم‌های محلی هستند (سولچینا^۸ و همکاران، ۲۰۱۶؛ روپ^۹ و همکاران، ۲۰۱۴) و به دلیل ورود حجم بالای رسوبات و در نتیجه وجود نرخ بالای رسوبگذاری امکان ثبت تغییرات اقلیمی و محیطی با قدرت تفکیک بالا فراهم می‌شود (حمزه و فراهی قصرابونصر، ۲۰۲۰). در طول دور هولوسن (از حدود ۱۱۷۰۰ سال پیش) (والکر^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۸؛ ۲۰۱۹) به منظور آشکار کردن خصوصیات ثبت شده در رسوبات دریاچه‌ای از مولفه‌های متعددی از قبیل رسوب‌شناسی، چینه‌شناسی، ژئوشیمی رسوبی، کانی‌شناسی، گرده‌های گیاهی، داده‌های باستان‌شناسی و تغییرات نرخ رسوبگذاری استفاده می‌شود (پیک و کیم^{۱۱}، ۲۰۰۶؛ آسیکیانن^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۶). به تازگی استفاده از این پروکسی‌ها به دلیل پیشرفت‌های فنی مانند اسکنرهای اصلی اشعه ایکس فلورسانس^{۱۳} افزایش یافته است. توجه به اینکه ترکیب و میزان عناصر به شرایط محیطی حساسند (سای^{۱۴}، ۲۰۰۴) تا حدی که برخی از عناصر، شرایط محیطی خاصی را گزارش می‌کنند. به دلیل تغییر در شرایط رسوبگذاری در طی زمان و تاثیر عوامل مختلف از قبیل اقلیم، زمین‌شناسی بالادست، ترکیب شیمیایی محیط رسوبگذاری و عوامل دیگر؛ پراکندگی عناصر مختلف در طی زمان تغییر پیدا خواهد کرد. استفاده از ژئوشیمی عناصر برای تعیین اقلیم محیط رسوبی موجب ارائه نتایج ارزنده‌ای شده است. ژئوشیمی عناصر به خوبی می‌تواند نشان دهنده شرایط دما و بارش باشد. عناصری چون منیزیم، استرانسیم و منگنز تحت شرایط خاص اقلیمی در شبکه کریستالی جانشین عناصری چون کلسیم می‌شوند (موسویان^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۹).

1 Petrie and Weeks

2 Quillet Bernier and deVernal

3 Hamzeh and Farahi Ghasr-Aboonasar

4 Kirllin and Shatwell

5 Martinez-Ruiz

6 Damnati

7 Brisset

8 Solotchina

9 Roo

10 Walker

11 Paik and Kim

12 Asikainen

13 XRF

14 Sai

15 Moosavian

همچنین ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی برای تعیین میزان دگرسانی، تعیین رخدادها و شرایط دیاژنزی حاکم بر محیط و شرایط تشکیل رسوب مفید است (کولر و پودکویروو^{۱۶}، ۲۰۰۲؛ سینها^{۱۷} و همکاران، ۲۰۰۶؛ روی^{۱۸} و همکاران، ۲۰۰۸؛ گالالا^{۱۹} و همکاران، ۲۰۰۹؛ ساها^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۰). منشأ فرایندهای رسوبگذاری و بعد از رسوبگذاری با استفاده از مولفه های عناصر اصلی و ردیاب قابل بازسازی می باشد (چانگ^{۲۱} و همکاران، ۲۰۱۴). تغییرات در نسبت های کلسیم بر منگنز، کلسیم بر استرانسیم، کلسیم و منیزیم در طول مغزه ها تغییرات شرایط دریاچه را در طول زمان نشان می دهد (موسویان و همکاران، ۲۰۱۹). از نسبت های عنصری مانند پتاسیم بر آلومینیوم، منیزیم بر آلومینیوم و روبیدیم بر آلومینیوم معمولاً برای بازسازی بار رسوبی رودخانه و از نسبت سیلیسیم بر آلومینیوم، تیتانیم بر آلومینیوم و زیرکن بر آلومینیوم برای بازسازی میزان ورودی ذرات رسوبی بادی استفاده می شود (گووین^{۲۲} و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین آگاهی از پراکنش هر عنصر در رسوبات می تواند به درک بهتر شرایط ژئوشیمیایی محیط رسوبگذاری و تفسیر صحیح تر از عوامل مؤثر کمک نماید. نسبت های وانادیم بر کروم و کبالت بر نیکل شاخص های مناسبی برای بررسی شرایط رطوبتی رسوبات دریاچه ای بوده و در بررسی های دیرینه اقلیم کارایی دارد (شرول^{۲۳}، ۱۹۷۵). نسبت های مذکور تفکیک تغییرات محیطی از دریاچه کم عمق (تحت تاثیر اکسایش) یا فصلی با دریاچه ای عمیق (شرایط احیا) را فراهم می کند (کالانچین^{۲۴}، ۱۹۹۶؛ ریکوور^{۲۵}، ۲۰۰۶؛ وانگ و ژای^{۲۶}، ۲۰۰۷). در این مطالعه منحنی نسبت وانادیم بر کروم به دلیل داشتن تغییرات متمایز نسبت به سایر نسبت های وانادیوم برای تفسیر محیط رسوبی مناسب تر بنظر می رسد. در دوره های گرم و مرطوب نسبت های عناصر معدنی مانند پتاسیم بر آلومینیوم، سیلیسیم بر آهن، منگنز بر کلسیم، تیتانیم بر آلومینیوم و روبیدیم بر آلومینیوم به سرعت افزایش می یابند. این شرایط با مطالعات انجام شده حاصل از نسبت های عنصری در سایر حوضه های رسوبی دریاچه ای نیز صادق است (چن^{۲۷} و همکاران، ۲۰۱۳؛ سان^{۲۸} و همکاران، ۲۰۰۸). افزایش نسبت سیلیسیم بر آهن شرایط گرم تر را نشان می دهد و این نسبت در اقیانوس اطلس شمالی به عنوان نماینده ی ذوب یخبندان مورد تحلیل قرار گرفته است (ایربس-هانسن^{۲۹} و همکاران، ۲۰۱۳). دوره های گرم و مرطوب با میزان فرسایش و هوازدگی شیمیایی بالا در اثر بارندگی های مناسب همراه است (گایانتا^{۳۰} و همکاران، ۲۰۱۷). در این دوره ها ورود مواد آواری به حوضه افزایش می یابد. همچنین روند کاهش این نسبت ها حاکی از وجود شرایط نسبتاً نامناسب برای هوازدگی و فرسایش با کاهش میزان بارندگی و ایجاد شرایط خشک می باشد، که این دوره زمانی با کاهش عمق آب در دریاچه و افزایش اکسیداسیون در رسوبات بستر همراه است (گایانتا و همکاران، ۲۰۱۷). آهن و منگنز نسبت به ایجاد شرایط اکسیدان در محیط های دریاچه ای و دریایی حساس هستند (هابریان و هاکی^{۳۱}، ۱۹۸۷).

16 Cullers and Podkovyrov

17 Sinha

18 Roy

19 Gallala

20 Saha

21 Chang

22 Govin

23 Schroll

24 Calanchin

25 Riquier

26 Wang and Zhai

27 Chen

28 Sun

29 Erbs-Hansen

30 Gayantha

31 Haberyan and Hecky

در دوره‌هایی که سطح آب دریاچه به دلیل کاهش ورودی یا افزایش تیخیر کاهش می‌یابد، رسوبات بستر دریاچه اکسیژن بالایی دریافت می‌کنند و از این رو نسبت‌های منگنز به آلومینیوم و آهن به آلومینیوم افزایش نشان می‌دهند (سان و همکاران، ۲۰۰۸). از نسبت‌های آلومینیوم بر سیلسیم، آهن بر کلسیم، تیتانیم بر آلومینیوم، تیتانیم بر پتاسیم و زیرکن بر آلومینیوم برای برآورد تغییرات مواد رسوبی وارد شده به حوضه در طول کواترنری پایانی در منطقه قطب شمال استفاده شده است (اسپوفورس^{۳۲} و همکاران، ۲۰۰۸؛ پولیاک^{۳۳} و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به رفتار ژئوشیمیایی متفاوت عناصر مختلف، از نسبت تیتانیم بر پتاسیم به طور گسترده برای ترسیم تغییرات در رژیم‌های هوازدگی استفاده شده است (فرناندز^{۳۴} و همکاران، ۲۰۱۳). افزایش این نسبت‌ها نشان دهنده ورود حجم بالایی از مواد آواری به دریاچه می‌باشد (گووین و همکاران، ۲۰۱۲). نسبت استرانسیم و کلسیم شاخص مهمی برای بازسازی شرایط آب و هوایی است. تمرکز عنصر استرانسیم نیز ارتباط مستقیمی با دمای آب دارد (وینسنت^{۳۵} و همکاران، ۲۰۰۵) (جدول ۱).

تاکنون مطالعات زیادی با روش‌های مختلف ژئوشیمیایی در راستای مطالعات محیط و اقلیم دیرینه انجام شده است که از آن جمله می‌توان به نشانگرهای زیستی (اگلینتون و اگلینتون^{۳۶}، ۲۰۰۸؛ کیم^{۳۷} و همکاران، ۲۰۱۰؛ رامپن^{۳۸} و همکاران، ۲۰۱۲؛ ۲۰۱۴؛ رونتانی^{۳۹} و همکاران، ۲۰۱۳؛ اسپچوتن^{۴۰} و همکاران، ۲۰۱۳؛ ویجرس^{۴۱} و همکاران، ۲۰۱۴)، ایزوتوپ پایدار (پیرسون^{۴۲}، ۲۰۱۲؛ ویت^{۴۳} و همکاران، ۲۰۱۳)، ایزوتوپ‌های پرتوزا (گارچون^{۴۴} و همکاران، ۲۰۱۴)، مجموعه‌های میکروفسیل (اوانس^{۴۵} و همکاران، ۲۰۱۳)، اندازه ذرات رسوبی (مک‌کاون و هال، ۲۰۰۶؛ گارازانتی و همکاران، ۲۰۰۹؛ دگلکه و همکاران، ۲۰۱۳)، نسبت‌های عنصری (تریوویلارد^{۴۶} و همکاران، ۲۰۰۶؛ کالورت و پدرسن^{۴۷}، ۲۰۰۷) اشاره کرد. برخی از مطالعات انجام گرفته با شاخص ژئوشیمی رسوبی و نسبت‌های عنصری در جدول ۱ ارائه شده است. زاویسکا^{۴۸} و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از نتایج چندین نوع آنالیز شامل رسوب‌گذاری و ترکیبات شیمیایی اظهار داشتند که اقلیم عامل اصلی خشک‌سالی‌ها، تغییر اکوسیستم‌های آبی و فرایندهای ژئومورفولوژیکی در شرق لهستان است. دو^{۴۹} و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی شواهد ژئوشیمیایی فلات تبت را بررسی نمودند و کانی‌های اصلی آن را مشخص کردند و برخی عناصر را با منشأ داخلی و برخی را نیز با منشأ خارجی دانستند. ایشان انجام روش‌های ژئوشیمیایی را بسیار دقیق دانسته و در منشأیابی بسیار مفید و موثر معرفی نمودند.

-
- 32 Spofforth
 - 33 Polyak
 - 34 Fernandez
 - 35 Vincent
 - 36 Eglinton and Eglinton
 - 37 Kim
 - 38 Rampen
 - 39 Rontani
 - 40 Schouten
 - 41 Weijers
 - 42 Pearson
 - 43 Wit
 - 44 Garçon
 - 45 Evans
 - 46 Tribovillard
 - 47 Calvert and Pedersen
 - 48 Zawiska
 - 49 Du

شرودر^{۵۰} و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه‌ای را در زمینه بازسازی شرایط محیطی و اقلیمی هولوسن در دریاچه مادینا در جنوب اسپانیا انجام دادند. دنیل^{۵۱} و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی رسوبات کواترنری دره می‌سی‌سی‌پی را بررسی و منشأیابی نمودند. آن‌ها برای این کار از روش آنالیز ژئوشیمیایی XRD و XRF استفاده نموده و ماهیت رسوبات این منطقه را تحلیل نمودند و آنالیز ژئوشیمیایی را در این زمینه بسیار موثر دانستند. اکبری و همکاران در سال ۱۳۹۶ در راستای شناسایی اقلیم گذشته در دریاچه گهر با توجه به نسبت های عنصری مطالعاتی انجام دادند. شهپازی (۱۳۹۴) در رساله دکتری با استفاده از رخساره های رسوبی و ژئوشیمی عنصری به بررسی شرایط محیطی جنوب دشت خوزستان و تغییرات خطوط ساحلی در طول هولوسن پرداخت.

جدول ۱: نسبت های عنصری و شاخص اقلیمی و ژئومورفولوژیکی

مرجع	شاخص	نسبت عنصری
Schroll, 1975	شرایط رطوبتی	V/Cr, Co/Ni
Calanchin, 1996; Riquier, 2006; Wang and Zhai, 2007	عمق آب	
Chen et al., 2013; Sun et al., 2010	دوره‌های گرم و مرطوب	Rb/Al
Govin et al., 2012	تغییرات مواد آواری حمل شده به حوضه رسوبی	
Govin et al., 2012; Govin et al., 2012; Spofforth et al. 2008; Polyak et al. 2009	تغییرات مواد آواری (بادی و آبی) وارد شده به حوضه رسوبی	Zr/Al, Si/Al, Mg/Al
Chen et al., 2013; Sun et al., 2010	دوره‌های دمایی و رطوبتی	Ti/Al
Sun et al., 2010	تغییرات سطح تراز آب	
Chen et al., 2013; Sun et al., 2010; Erbs-Hansen et al. 2013	شرایط دمایی	Fe/Al, Mn/Al, Si/Fe
Spofforth et al. 2008; Polyak et al. 2009	تغییرات مواد آواری حمل شده به حوضه رسوبی	Al/Si, Fe/Ca
Fernandez et al., 2013	رژیم های هوازدگی	
Govin et al., 2012; Spofforth et al. 2008; Polyak et al. 2009	تغییرات مواد آواری حمل شده به حوضه رسوبی	Ti/K
Vincent et al., 2005	تغییرات دمای آب	Sr/Ca

با وجود این که پژوهش‌های انجام شده در ایران به طور کلی پرده از تغییرات آب و هوایی و وضعیت محیطی و ژئومورفولوژی گذشته برداشته است، اما برای به دست آوردن تصویری شفاف از این وضعیت در زاگرس جنوبی و سایر نقاط کشور نیاز به انجام پژوهش‌های متعددی است. داده‌های حاصل از ابزار هواشناسی با آن که دقیق ترین داده‌ها برای این نوع مطالعات می‌باشند؛ از حیث زمانی حداکثر قادر به شناسایی وضعیت آب و هوایی حدود ۶۰ سال گذشته می‌باشد (صفایی راد و همکاران، ۱۳۹۳). از این رو انجام پژوهش‌های اقلیمی و ژئومورفولوژی دیرینه که منجر به تولید داده‌های طولانی مدت می‌شوند ضروری است. از سوی دیگر داده‌های حاصل از چنین پژوهش‌هایی یکی از اساسی ترین ورودی‌ها در مدل سازی اقلیم دیرینه هستند و به بازسازی و کشف علت تغییرات اقلیمی کمک شایانی می‌کنند. زون ساختاری زاگرس به دلیل موقعیت و روند جغرافیایی تاثیر به سزایی در اقلیم کشورمان دارد.

لذا شناسایی ویژگی های اقلیمی و محیطی این زون در گذشته، به نگاه ما برای آینده عمق بیشتری خواهد داد. با توجه به اینکه تاکنون مطالعات دقیق و جدی بر روی ژئوشیمی رسوبی رسوبات زیر بستر دریاچه آبزالو در زون زاگرس چین خورده پهنه ایزه انجام نشده است و از آن جا که برای آنومالی عناصر مختلف به شرایط اقلیمی و فیزیکی-شیمیایی ویژه‌ای نیاز است، با اطلاع از ویژگی های ژئوشیمیایی می توان شرایط اقلیمی و جغرافیایی گذشته را بازسازی نمود. در این پژوهش سعی شده است با بررسی های رسوب‌شناسی، ژئوشیمی رسوبی و نسبت های مختلف عنصری در توالی رسوبات به شناسایی محیط های رسوبی و تغییرات این محیطها، بازسازی شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژی دریاچه آبزالو در طول هولوسن پسین پرداخته شود.

منطقه مورد مطالعه

در تقسیم‌بندی ژئومورفولوژیکی دریاچه آبزالو در جنوب شهر قلعه‌خواجه، مرکز شهرستان اندیکا، در شمال شرق استان خوزستان، در دامنه ارتفاعات زاگرس چین‌خورده، زیر واحد ایزه، واقع شده است. این تالاب به دلیل وجود سازندهای تبخیری و کربناته میوسن (گچساران و میشان) در یک فروچاله تشکیل شده است (شکل ۱). در جدول ۲ خصوصیات مورفومتری دریاچه آبزالو ارائه شده است. وجود لایه تورب در بخش‌های عمیق و همچنین هاموک‌ها در سطح تالاب نشان‌دهنده الگویافتگی تورب‌زار یکپارچه‌ای است که در اثر عوامل محیطی، به‌ویژه فرسایش ناشی از حرکت آب‌های سطحی، تکوین یافته است (درویشی خاتونی و همکاران، ۱۳۹۸).

مواد و روش کار

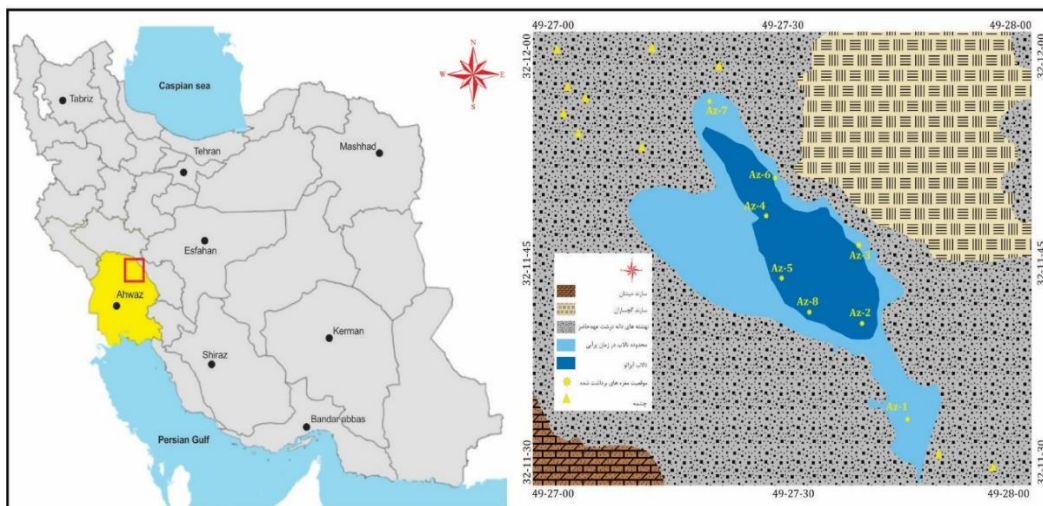
به منظور بازسازی شرایط محیطی و اقلیمی دریاچه آبزالو با استفاده از آنالیز ژئوشیمی رسوبات بستر، تعداد ۸ مغزه رسوبی از بخش داخلی دریاچه برداشت شد (جدول ۳). مغزه‌گیری توسط اوگر دستی با عمق متوسط حدود ۵ متر انجام گرفت (شکل ۱). در برداشت مغزه‌ها تغییرات رخساره-های رسوبی براساس شواهد ماکروسکوپی مانند نوع سطوح لایه‌بندی، فرم هندسی رسوبات، ساخت‌های رسوبی، آثار و محتویات جانوری، بقایای گیاهی، حضور کانی‌های تبخیری، درجه نسبی سخت‌شدگی، رنگ و تغییرات آن ثبت گردید. بازسازی توزیع فضایی محیط‌های مختلف رسوبی و جابجایی و تبدیل آنها به یکدیگر، براساس داده‌های مغزه‌های رسوبی در مناطق مختلف انجام گرفت و در نهایت ستون چینه‌شناسی آنها رسم شد.

جدول ۲: خصوصیات مورفومتری دریاچه آبزالو (منبع: نگارندگان)

۴۸۰	کمینه	طول تالاب (متر)	۳۲-۱۱-۴۵ شمالی	عرض جغرافیایی
۷۵۰	متوسط		۳۷-۲۷-۴۹ شرقی	طول جغرافیایی
۹۵۰	بیشینه		۶۹۸	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۳۵	کمینه	عرض تالاب (متر)	۶۵۰۰۰	مساحت حوضه آبخیز (مترمربع)
۲۰۰	متوسط		۵۰۰۰۰	مساحت دشت حاشیه‌ای (مترمربع)
۳۵۰	بیشینه		۵۲	اختلاف ارتفاع با زمین‌های اطراف (متر)
۲	کمینه	عمق تالاب (متر)	۱۶۰۰	فاصله از شهر قلعه‌خواجه (متر)
۶	متوسط		۶۰	فاصله از دشت خوزستان (کیلومتر)
۱۰	بیشینه		میشان و گچساران	سازندهای دربرگیرنده
۱۲۰۰۰۰	کمینه	مساحت (مترمربع)	بارش‌های فصلی و چشمه‌ها	منبع تغذیه
۱۵۰۰۰۰	متوسط		شکار- انتقال آب- ورود فاضلاب	تهدیدات
۲۰۰۰۰۰	بیشینه		کارستی	ژئو

جدول ۳: موقعیت و برخی مشخصات مغزه‌های برداشت شده (میزان خطای ارتفاع از سطح دریا ± 3 متر)

نام مغزه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عمق مغزه (سانتی‌متر)	تعداد نمونه
Az-1	32°11'32.70"N	49°27'45.60"E	۷۰۰	۳۰۴	۵
Az-2	32°11'39.70"N	49°27'41.60"E	۷۰۱	۳۵۲	۴
Az-3	32°11'45.40"N	49°27'41.40"E	۷۰۳	۶۰۰	۱۳
Az-4	32°11'47.60"N	49°27'32.80"E	۶۹۸	۴۰۵	۱۳
Az-5	32°11'43.10"N	49°27'34.40"E	۷۰۳	۷۵۰	۳۱
Az-6	32°11'50.30"N	49°27'33.90"E	۷۰۳	۱۱۲	۲
Az-7	32°11'56.50"N	49°27'27.90"E	۷۰۲	۳۱۸	۶
Az-8	32°11'43.50"N	49°27'34.70"E	۷۰۱	۷۲۰	۲۵



شکل ۱: موقعیت دریاچه آبزالو و مغزه‌های برداشت‌شده

نیمی از نمونه‌های برداشت‌شده جهت آماده‌سازی و انجام آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد و نیمی دیگر در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بایگانی گردید. تعداد ۳۶ نمونه رسوبی از دو مغزه برداشت‌شده جهت آنالیز تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال شد. جهت آنالیز عنصری از دستگاه ICP-OES^{۵۲} مدل Varian 735-ES و دستگاه XRF مدل MAGIX-PRO استفاده شد. نتایج عناصر اصلی با استفاده از دستگاه XRF^{۵۳} به صورت اکسید و با واحد درصد دریافت شد و نتایج میزان انحراف از شرایط معمول^{۵۴} ۵۴ عنصر دیگر بر حسب ppm توسط دستگاه ICP مورد شناسایی قرار گرفت. در روش ICP به غیر از گازها، تمامی عناصر پایدار جدول تناوبی قابل شناسایی است (پوتس، ۱۹۸۷). برای بررسی دقت آنالیزها ۱۰ نمونه 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 Sb، Mo، U، Y، Bi و Sn زیر ۱۵ درصد می‌باشد. جهت پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، ابتدا جدولی متشکل از نام نمونه، طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه برداری و مقدار فراوانی عناصر شیمیایی در رسوبات تهیه گردید. پس از مرتب شدن جدول داده‌ها و نرمالیزه شدن داده‌ها، مراحل پردازشی ذیل در نرم افزار SPSS صورت گرفت. با توجه به اینکه عناصر نسبت به برخی عوامل محیطی واکنش‌های کم و بیش مشابهی نشان می‌دهند بنابراین، شناخت ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل میان عناصر، به شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی کمک شایانی می‌نماید. در این روش با استفاده از رگرسیون و سایر پارامترهای آماری می‌توان عوامل و فرآیندهای کنترل‌کننده رسوبگذاری را شناسایی نموده و منشأ تأمین رسوبات را تعیین نمود (آلاگارسامی و ژانگ^{۵۵}، ۲۰۱۰).

52 ICP Optical Emission Spectroscopy
 53 X-Ray fluorescence
 54 Anomaly
 55 Alagarsamy and Zhang

با توجه به پراکندگی غیرنرمال عناصر در نمونه رسوبات، ضرایب همبستگی این عناصر با روش مرتبه ای اسپیرمن که مستقل از نوع تابع توزیع متغیر است، مورد بررسی قرار گرفت. در تحلیل خوشه‌ای، هدف طبقه بندی متغیرها براساس تشابه هرچه بیش تر درون گروهی و اختلاف هرچه بیشتر بین گروهی است. به منظور تعیین پارازنها و نحوه ارتباط عناصر با یکدیگر کلاستر آنالیز انجام پذیرفت. روش به کار گرفته شده در این آنالیز بین گروهی^۶ می‌باشد. در این مطالعه ۳ نمونه از مواد آلی و از نمونه های بالک جهت سن سنجی به روش رادیوکربن (C₁₄-AMS) از مغزه رسوبی Az-5 برداشت و در انستیتو زمین شناسی ETH Zürich کشور سوئیس آنالیز شد. با توجه به نتایج سن سنجی توالی های رسوبی برداشت شده تا حدود ۵ هزار سال گذشته را پوشش می دهد. در نهایت الگوی اقلیمی و محیطی دریاچه آبزالو در طول ۵ هزار سال گذشته با استفاده از داده های ژئوشیمی عنصری ارائه گردید.

یافته‌های تحقیق

سن سنجی

تعداد سه نمونه از اجزای صدف جهت استخراج سن توالی های رسوبی بستر دریاچه آبزالو از عمق های مختلف یک مغزه مرکزی انتخاب شد. بعد از انجام آنالیز، سن نمونه ها با نرم افزار OxCal (برونک رامسی و لی^۷، ۲۰۱۳) با محدوده خطای ۲ سیگما و با ضریب اطمینان بالای ۹۵ درصد کالیبره شد (جدول ۴).

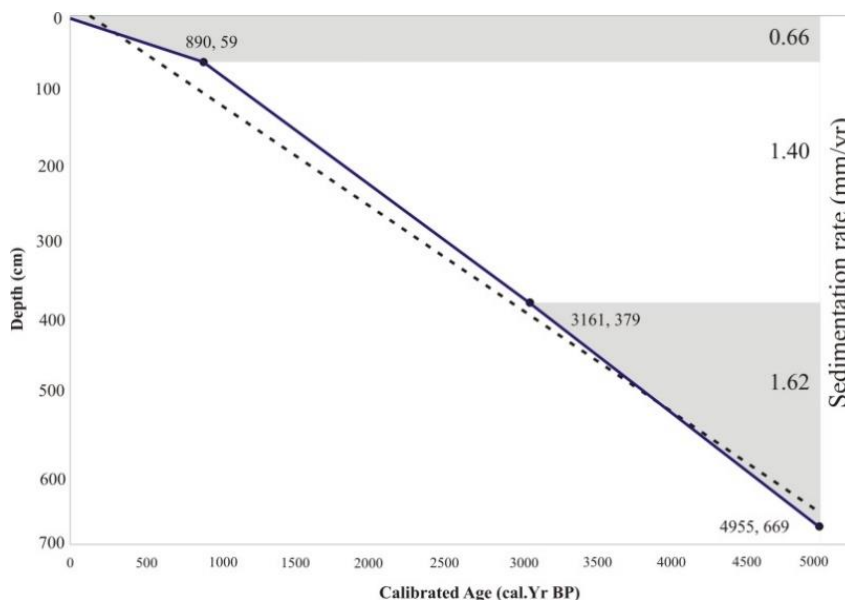
جدول ۴: داده‌های سن رادیوکربن و سن کالیبره شده

مغزه	عمق نمونه	کد آزمایشگاه	سن کربن ۱۴	سن کالیبره (BP)			میزان رسوب گذاری (میلی متر در سال)	
				سن کمینه	سن میانگین	سن بیشینه		
	۵۸-۶۰	۱۰۱۱۶۰/۱/۱	۹۹۹±۶۴	۷۶۷	۸۹۰	۱۰۱۳	صف گاستروپود	۰/۶۶
AZ-5	۳۸۰-۳۷۸	۹۵۹۱۱/۱/۱	۲۹۸۶±۷۳	۲۹۶۲	۳۱۶۱	۳۳۶۱	صف گاستروپود	۱/۴۰
	۶۷۰-۶۶۸	۱۰۱۱۳۸/۱/۱	۴۳۶۵±۷۱	۴۸۳۱	۴۹۵۵	۵۰۸۰	صف گاستروپود	۱/۶۲

با توجه به وجود سازندهای آهکی مربوط به رسوبات نئوژن در منطقه، نمونه های بالک که عمدتاً سیلتی و رسی دارای مواد آلی می باشد، ممکن است پتانسیل ایجاد خطا را در سن های اندازه گیری شده به روش رادیوکربن از نمونه های بالک داشته باشد (موک و استورمن^۸، ۱۹۸۳؛ تورنکوویست^۹ و همکاران، ۱۹۹۲). بنابراین آماده سازی اولیه برای تعداد ۳ نمونه رسوبی انجام گرفت.

56 Between Groups
57 Bronk Ramesy and Lee
58 Mook and Steurman
59 Törnqvist

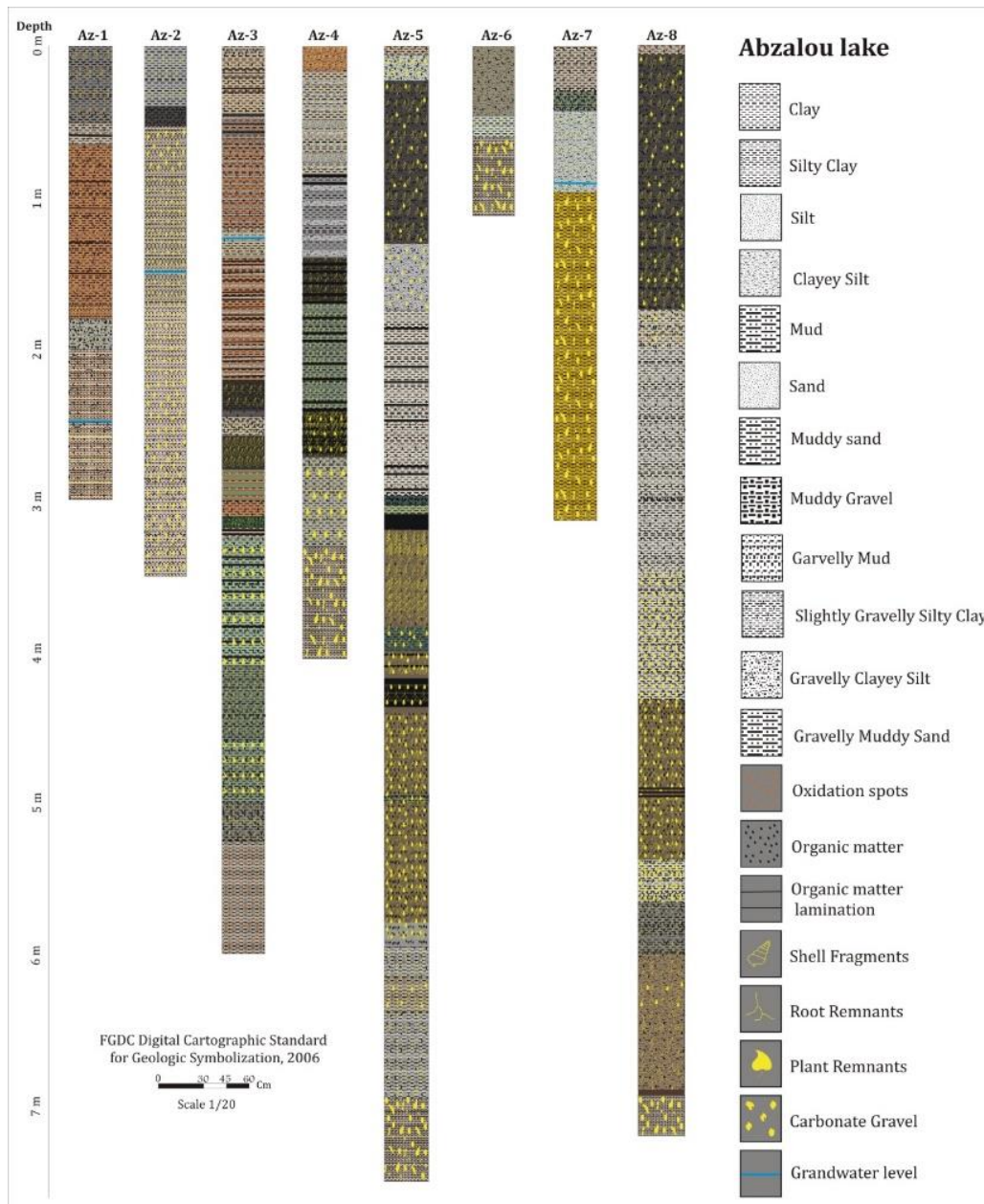
تفکیک اولیه بقایای گیاهی از رسوبات انجام گرفت و سپس بقایای پوسته‌های صدفی جدا شده برای آنالیز ایزوتوپ کربن و سن‌سنجی به روش کربن ۱۴ ارسال شد. با توجه به نتایج آنالیزهای انجام شده مغزه ۷/۵ متری (Az-5) تا ۵ هزار سال گذشته (ابتدای هولوسن پسین) را پوشش می‌دهد. مدل سن و عمق با توجه به عمق مغزه و داده‌های سن‌سنجی ترسیم و نرخ متوسط رسوبگذاری محاسبه شد (شکل ۲).



شکل ۲: مدل سن-عمق و میزان رسوب‌گذاری برای رسوبات بستر تالاب آبزالو

رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی

در هشت مغزه مورد مطالعه هشت رخساره رسوبی اصلی شناسایی شد. رخساره‌ها غالباً رسوبات رس، سیلت، ماسه، گراول، و رسوبات بینابینی همراه بقایای گیاهی و صدفی می‌باشند که در بیشتر موارد تناوب و تداخل در رسوبات یادشده به‌کرات دیده می‌شود (شکل ۳). تغییرات در اندازه ذرات بین رس تا گراول با توجه به تغییرات فرایند، انرژی محیط، میزان ورودی رودخانه‌ها، و تغییر رنگ رسوبات با توجه به شرایط رسوب‌گذاری، حضور ماده آلی، میزان pH، تغییرات شوری و دما، و وقوع خشک‌سالی‌ها در طول مغزه‌ها بوده است (لک و همکاران ۱۳۹۰). در مجموع در رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه رخساره‌ها نشان‌دهنده سه محیط رسوبی، تحت تأثیر رسوبات تالابی و رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه‌ای هستند. رخساره‌های محیط رودخانه‌ای با رسوبات گلی و گل سیلتی معمولاً سفت، فاقد ماده آلی و رنگ قهوه‌ای، رخساره تالابی با رسوبات خاکستری تا سبز روشن (مشخصه محیط‌های احیایی) گلی و دانه‌ریز همراه با ماده آلی، پوسته‌های نرم‌تنان، دارای رطوبت بالا همراه لامینه‌های نازک، با میان‌لایه‌های رسوبات دانه درشت‌تر (سیلتی) مشخص شد. محیط‌های مخروط‌افکنه‌ای رسوبات دانه‌ریز گلی و سفت و قرمز رنگ همراه رسوبات دانه درشت در حد گراول و بزرگ‌تر آهکی دارند که از دامنه کوه‌های اطراف وارد حوضه تالابی شده‌اند. گفتمنی است شرایط امروزی آبزالو محیط تالابی است. 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 می‌باشد.



شکل ۳: تیپ رسوبات مغزه‌های برداشت شده از دریاچه آبزالو

ژئوشیمی رسوبی

هدف از آنالیزهای ژئوشیمیایی در این تحقیق به دست آوردن روابط عددی جهت تفکیک محیطها و یا رخساره های وابسته به آنها است. عناصر اندازه گیری شده شامل عناصر اصلی (اکسیدهای اصلی) با غلظت بیش از یک درصد و عناصر فرعی با غلظتی کمتر از یک درصد بودند که خود به زیر مجموعه‌های عناصر حدواسط، فلزات قلیایی، قلیایی خاکی، اسیدی و عناصر نادر خاکی تقسیم بندی می‌شوند. نتایج آنالیز شیمیایی ۹۰ عدد نمونه از ۱۰ مغزه رسوبی نشان می‌دهد بیشترین درصد عناصر موجود در رسوبات بستر دریاچه آبزالو مربوط به گروه سیلیس و کلسیت است.

در این پژوهش با توجه به بررسی‌های انجام گرفته از نسبت‌های عنصری تیتانیم بر پتاسیم، سیلیسیم بر آهن، روبیدیم بر آلومینیوم، پتاسیم بر آلومینیوم، منگنز بر آلومینیوم، وانادیم بر کروم جهت بازسازی وضعیت اقلیمی و محیطی، میزان مواد آواری (معلق و رسوبات رسی) ورودی به حوضه، شدت هوازدگی و فرسایش در حوضه آبریز و نوسانات سطح آب دریاچه استفاده شده است (جدول ۵) (شکل ۴).

جدول ۵: میزان کمینه، بیشینه و میانگین نسبت های عنصری در مغزه های برداشت شده

مغزه ها	وانادیم به کروم	تیتانیم به پتاسیم	سیلیسیم به آهن	روبییدیم به آلومینیوم	پتاسیم به آلومینیوم	منگنز به آلومینیوم
	۰/۸۵	۳۰۸۱/۵۰	۶/۲۰	۲۱/۹۳	۰/۲۴	۱۵۱/۷۷
AZ-3	۰/۹۲	۳۹۴۹/۳۰	۸/۳۴	۲۵/۶۶	۰/۲۹	۱۹۰/۲۵
	۱/۰۶	۴۸۱۰/۲۰	۱۰/۴۰	۳۲/۲۸	۰/۳۹	۲۵۵/۴۷
	۰/۸۲	۴۳۳۷/۱۰	۴/۵۲	۱۶/۹۸	۰/۱۹	۱۱۴/۸۸
AZ-5	۰/۹۶	۵۳۶۹/۴۰	۷/۵۳	۲۴/۴۰	۰/۲۲	۳۱۱/۲۵
	۱/۳۳	۶۴۳۰/۴۰	۱۰/۲۳	۳۲/۴۸	۰/۲۶	۶۷۵/۶۸
	۰/۸۴	۴۲۲۸/۱۵	۶/۲۰	۲۰/۰۴	۰/۲۱	۲۳۰/۸۶
رسوبات سطحی	۰/۸۹	۴۸۰۹/۸۴	۶/۹۶	۲۴/۷۸	۰/۲۵	۲۷۳/۴۰
	۰/۹۷	۶۰۳۳/۷۱	۸/۵۳	۳۲/۲۹	۰/۲۹	۳۶۲/۱۸

بحث

در مغزه‌های مورد مطالعه تغییرات نسبی عناصر در دوره‌های زمانی مختلف بسیار زیاد است، این وضعیت حاکی از وجود تغییرات زیاد در توالی رسوبات بستر دریاچه آبزالو است. با بررسی ستون چینه‌ای مغزه‌های برداشت‌شده از رسوبات بستر دریاچه آبزالو، به فعالیت فرایندهای مختلف آبی در محیط‌های مختلف رسوبی در طول حداقل هولوسن پسین می‌توان پی برد. با توجه به نتایج سن‌سنجی، بررسی شرایط اقلیمی دریاچه آبزالو در هولوسن پسین (از ۵۰۰۰ سال قبل تا حال حاضر) مقدور می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از شاخص ژئوشیمی رسوبی و نسبت های عنصری به بررسی شرایط اقلیمی و محیطی دریاچه آبزالو در زون زاگرس چین خورده و زیر واحد ایذه پرداخته شده است و رویدادهای اقلیمی و محیطی شناسایی شده در توالی رسوبی برداشت شده از دریاچه آبزالو با توجه به آنومالی عناصر و نسبت های عنصری تقسیم بندی می‌شود (شکل ۴). نسبت‌های عنصری منگنز به آلومینیوم و پتاسیم به آلومینیوم ه عنوان نشانگر تغییرات هوازدگی شیمیایی در حوضه آبریز در بازه زمانی ۵ هزار ساله به ترتیب بین ۱۱۴/۸۸ تا ۶۷۵/۶۸ و ۰/۱۹ تا ۰/۳۹ در تغییر است. افزایش در این نسبت ها حاکی از وجود شرایط مساعد برای افزایش میزان هوازدگی شیمیایی در حوضه آبریز و به نسبت آن افزایش رطوبت و دما است و کاهش آن نشان دهنده وجود شرایط خشک در حوضه می‌باشد. این نسبت ها همبستگی بالایی با یکدیگر و میزان روبیدیم به آلومینیوم که نشانگر تغییرات رطوبت و سطح تراز آب دریاچه است نشان می‌دهد (شکل ۴).

میانگین نسبت‌های عنصری منگنز به آلومینیوم و پتاسیم به آلومینیوم از حاشیه دریاچه به سمت بخش‌های نسبتاً نزدیک مرکز کاهش محسوس نشان می‌دهد. همچنین بالا بودن نسبت منگنز به آلومینیوم در محیط‌های آبرفتی بسیار مشهود است. این مسئله نشان‌دهنده فعال بودن هوازدگی شیمیایی و فرسایش در حوضه آبریز و حمل رسوبات به سمت حوضه می‌باشد. بیشترین میزان نسبت عنصری پتاسیم به آلومینیوم نیز در مغزه Az-3 در در بخش جنوبی دریاچه آبزالو است که از نظر رسوب شناسی در محیط حاشیه دریاچه عمق حدود ۲۵ تا ۴۰ و ۳۴۰ تا ۳۴۵ سانتی‌متری ثبت شده است. تغییرات نسبت روبیدیم به آلومینیوم و وانادیم به کرومبه ترتیب با میانگین ۲۵ و ۰/۹ تغییر در سطح تراز آب دریاچه و میزان بارش در منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۴). تغییر در مقدار و اختلاف بین بیشینه و کمینه این نسبت‌ها در مغزه‌های مرکزی کمتر و مغزه‌های حاشیه‌ای بیشتر است. این بدان معنی است که در مغزه‌های مرکزی شرایط پایدار اقلیمی وجود داشته است و احتمالاً نوسانات سطح تراز آب در بخش مرکزی حوضه کمتر بوده است. حال آن که در حاشیه دریاچه نوسانات تراز آب شدید و زیاد بوده است. تغییرات نسبت‌های عنصری با تغییرات محیط رسوبی در طول مغزه‌های برداشت شده تطابق خوبی نشان می‌دهد. جالب آن که نسبت‌های روبیدیم به آلومینیوم و وانادیم به کروم اتفاقات اقلیمی مانند دوره خشک ۴۲۰۰ سال قبل را بخوبی نشان می‌دهد. این دوره خشک که در بسیاری از دریاچه‌ها ثبت شده در دریاچه آبزالو در ۴۴۰۰ سال پیش شروع شده است. این نسبت‌ها در این دوره‌های خشک کاهش نشان می‌دهد که این کاهش در مغزه‌های Az-3 و Az-5 بسیار مشهود است. افزایش در نسبت تیتانیم به پتاسیم حاکی از افزایش ورود رسوبات آواری به دریاچه به واسطه فرسایش بالا در حوضه آبریز در نتیجه بارش‌های مناسب در منطقه و کاهش آن نشان‌دهنده دوره خشک یا کاهش ورود مواد آواری است (شکل ۴). نسبت عنصری تیتانیم به پتاسیم در دوره خشک ۴۴۰۰ سال پیش با افزایش مواجه شده است که احتمالاً تحت تأثیر ورود رسوبات بادی و غبار به منطقه افزایش یافته است. این نسبت در عمق‌های بیشتر، میزان بالایی را نشان می‌دهد که در قسمت‌های کم عمق این میزان کاهش می‌یابد. این مسئله نشان‌دهنده وجود بارش‌های مساعد در اوایل هولوسن پسین می‌باشد. میزان این نسبت عنصری در مغزه‌های حاشیه‌ای با ورود رخساره‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ای افزایش نشان می‌دهد. این نسبت در مغزه‌های مورد مطالعه بین ۰/۳ تا ۰/۶۴ نوسان دارد. کمترین میزان این نسبت عنصری مربوط به عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری است و بیشترین میزان نیز در عمق ۳۳۰ تا ۳۴۰ در مغزه Az-5 در جنوب دریاچه آبزالو است. نسبت‌های سیلیم به آهن نشان‌دهنده تغییرات دما و رطوبت می‌باشد. این نسبت همبستگی بالایی با میزان ورود مواد آواری به دریاچه نشان می‌دهد. بیشترین میزان این نسبت با عدد ۱۰/۴ مربوط به عمق ۵۶۰ تا ۵۷۰ در مغزه Az-3 و کم‌ترین میزان در مغزه Az-5 در عمق حدود ۳ متری با عدد حدود ۴/۵۲ می‌باشد (جدول ۵). همچنین در دوره خشک حدود ۴۴۰۰ سال پیش میزان نسبت‌های سیلیم به آهن و تیتانیم به پتاسیم کاهش نشان می‌دهد (جدول ۵) (شکل ۴). عمق ۰ تا ۱۷۵ سانتی‌متر: این بخش از توالی سنی حدود ۱۸۰۰ سال قبل را پوشش می‌دهد که شامل رخساره‌های گلی خاکستری تا سیاه‌رنگ همراه بقایای فراوان گیاهی و مواد آلی و پوسته‌های سالم گاستروپود می‌باشد. در این دوره زمانی رسوبات آواری قابل توجهی وارد حوضه آبزالو شده است که با افزایش کانی‌های کوارتز، کلسیت و فلدسپار همراه بوده است. همچنین در بخشی از این دوره، کانی‌های تبخیری سازند میشان وارد حوضه دریاچه آبزالو شده است.

نسبت های عنصری وانادیم به کروم، روبیدیم به آلومینیوم، سیلیم به آهن، تیتانیم به پتاسیم افزایش نشان می دهد که حاکی از ورود مواد آواری در اثر افزایش در میزان رطوبت و هوازدگی و فرسایش در حوضه آبریز می باشد. این بخش توالی نشان دهنده یک دوره مرطوب می باشد (جدول ۵) (شکل ۴).

عمق ۱۷۵ سانتی متر تا ۲۹۸ سانتی متر: این دوره از ۲۵۰۰ تا ۱۸۰۰ سال پیش، حدود ۷۰۰ سال ادامه داشته است. شامل رخساره رس سیلتی دارای لکه های مواد آلی و لکه های اکسیدی بسیار فراوان است که حاکی از وجود شرایط نسبتاً خشک است (لی^{۶۰} و همکاران، ۱۹۹۶). در این دوره زمانی تغییراتی در ترکیب کانی شناسی مشاهده نمی شود ولی تغییرات آنومالی عناصر و نسبت های عنصری نشان دهنده کاهش در میانگین کلی در میزان وانادیم به کروم، منگنز به آلومینیوم، پتاسیم به آلومینیوم، سیلیم به آهن می باشد. تغییرات نسبت های عنصری کاهش در میزان بارش، میزان هوازدگی شیمیایی و فرسایش، دما و رطوبت را نمایان می سازد ولی نسبت روبیدیم به آلومینیوم، تیتانیم به پتاسیم همچنان افزایشی است که نشان دهنده ورود مواد آواری به حوضه می باشد. با توجه به کاهش میزان بارش و هوازدگی شیمیایی در منطقه افزایش رسوبات بادی و گرد و غبار در منطقه قوت می گیرد (شکل ۴). این دوره با دوره خشک گزارش شده در دریاچه مهارلو در حدود ۱۸۰۰ سال پیش (لک، ۱۳۸۶)، در دریاچه میرآباد در حدود ۱۵۰۰ سال پیش (استیونس^{۶۱}، ۲۰۰۶) و دوره خشک گزارش شده در دریاچه ارومیه (طالبی و همکاران ۲۰۱۵) بین ۲۵۰۰ تا ۱۵۰۰ سال پیش مطابقت دارد. این دوره خشک با ورود میزان بالای مواد آواری به دریاچه و بالا رفتن میزان رسوب گذاری و نبود بقایای گیاهی و صدفی در رسوبات نهشته شده در بستر دریاچه حاکی از خشکی اقلیم و وجود بارش های سیلابی در منطقه است. این دوره خشک به صورت تدریجی در منطقه شروع شده و با روند سریع تری به پایان رسیده است. به طور کلی ویژگی آخرین چرخه یخچالی در مقیاس جهانی را ظهور نسبت آبی دوره های گرم و سپس، سرد شدن تدریجی دانست. چرخه ای که در دوره پلیستوسن جدید چندین بار تکرار شد. همین موضوع دلیل ایجاد الگویی موسوم به دندان اره در نمودارهای دیرین اقلیم شناختی است (برادلی^{۶۲}، ۲۰۱۵؛ لو و والکر^{۶۳}، ۲۰۱۵).

عمق ۲۹۸ سانتی متر تا ۵۹۵ سانتی متر: با افزایش میزان ماده آلی و بقایای گیاهی و صدفی و در نتیجه افزایش میزان رسوب گذاری همراه بوده است. از ۴۴۰۰ تا حدود ۲۵۰۰ سال پیش که حداکثر حدود ۱۹۰۰ سال طول کشیده است نسبت های عنصری افزایشی شده و میانگین بالایی را برای این محدوده توالی نشان می دهد. با بهبود شرایط رطوبتی منطقه، افزایش در میزان وانادیم به کروم اتفاق افتاده است (جدول ۵)، میزان رطوبت موجود در منطقه شرایط را برای هوازدگی شیمیایی و فرسایش در منطقه فراهم آورده و در نتیجه حجم مواد آواری حمل شده به حوضه مرتبط با نسبت عنصری پتاسیم به آلومینیوم، سیلیم به آهن افزایشی شده است. در این بخش از توالی، شرایط باثبات و آرام دریاچه ای حاکم بوده و نیز شرایط ایجاد محیط توربازار در دریاچه فراهم شده است.

60 Li

61 Stevens

62 Bradley

63 Lowe and Walker

هم‌زمان با این دوره مرطوب در زاگرس چین خورده، پیشروی حوضه‌های آبی در حدود ۳۵۰۰ سال پیش در دریاچه مونولیک کالیفرنیا نیز ثبت شده است (نیوتن^{۶۴}، ۱۹۹۴). این شرایط برای مغزه‌های حاشیه‌ای دریاچه نیز در مقیاس کوچک‌تر و ضخامت کمتر ثبت شده است. این دوره پرآبی با مدل کوهن (۲۰۰۳) در رابطه با تغییرات سطح تراز دریاچه‌های شمال آفریقا و جنوب آسیا در طول هولوسن هم‌خوانی دارد. عمق ۵۹۵ سانتی‌متر تا ۶۴۰ سانتی‌متر: سنی حدود ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال دارد. رخساره گل به رنگ قهوه‌ای روشن نشان‌دهنده یک دوره (۳۰۰ ساله) نه چندان مرطوب است. با کاهش در نسبت‌های عنصری وانادیم به کروم، منگنز به آلومینیوم، سیلیم به آهن، روبیدیم به آلومینیوم افزایش در نسبت تیتانیوم به پتاسیم همراه است. افزایش میزان تیتانیوم به پتاسیم نشان از فعالیت فرایندهای بادی در منطقه دارد که موجب افزایش رسوبات آواری در منطقه بوده و این نسبت در خلاف جهت سایر نسبت‌ها افزایشی شده است (شکل ۴) (جدول ۵). این دوره خشک انطباق تقریبی مناسبی با واقعه خشکی ۴۲۰۰ سال گذشته در نیمکره شمالی نشان می‌دهد (استابوسر^{۶۵} و همکاران، ۲۰۰۳) که در بخش‌های درون‌قاره‌ای امریکای شمالی، در خاورمیانه، بخش‌هایی از آفریقا، و آسیا با وسعت بالای خشکی گزارش شده است (بوث^{۶۶} و همکاران، ۲۰۰۵). دوره خشک ۴۲۰۰ سال پیش در مطالعات دیگر نیز با شدت و مدت متفاوت گزارش شده است (مشکور^{۶۷} و همکاران، ۲۰۱۳؛ حمزه^{۶۸} و همکاران، ۲۰۱۶؛ واعظی^{۶۹} و همکاران، ۲۰۱۸؛ مینتی و سیدسجادی^{۷۰}، ۲۰۱۹). یکی از مهمترین تفاوت‌ها مدت زمان دوره‌ها است که دوره خشک، جوانتر طولانی‌تر و با شدت کمتر بوده است در حالی که دوره خشک ۴۷۰۰-۴۴۰۰ سال قبل در این منطقه با شدت بیشتر و کوتاه‌تر می‌باشد. به نظر می‌رسد حجم رسوبات بادی (گرد و غبار) وارد شده به دریاچه در دوره خشک قدیمی‌تر (۴۷۰۰-۴۴۰۰ سال قبل) بیشتر از دوره خشک جوانتر بوده است. این دوره به صورت ناگهانی در منطقه ایجاد شده و به صورت تدریجی پایان یافته است حال آن که دوره خشک (۲۵۰۰-۱۸۰۰ سال گذشته) به صورت تدریجی شروع شده و به صورت ناگهانی خاتمه یافته است. احتمالاً دوره خشک قدیمی با رطوبت بسیار پایین و دمای بالا ظاهر شده است و دوره خشک جوان با دمای پایین‌تر و رطوبت نسبی بالاتر اتفاق افتاده است. بعد از رسوبات قهوه‌ای‌رنگ، مجدداً شاهد توالی رسوبات طوسی‌رنگ همراه بقایای گیاهی و صدفی هستیم که تا عمق ۷ متر ادامه دارد و بعد از آن وجود رسوبات گلی قهوه‌ای‌رنگ همراه رسوبات دانه‌درشت در اندازه گراول و قلوه‌سنگ، به دلیل گرایدان شیب از اطراف به سمت مرکز احتمال نزدیک شدن به سنگ بستر را تقویت می‌کند. از شواهد این موضوع می‌توان به وجود کانی‌های تبخیری نظیر هالیت، بقایای صدفی بسیار خرد شده و میزان بالای نسبت‌های عنصری تیتانیوم به پتاسیم، سیلیم به آهن اشاره کرد (شکل ۴) (جدول ۵). با توجه به شکل ۴ همبستگی ژئوشیمیایی نمونه‌های برداشت شده بخوبی دوره‌های اقلیمی را نشان می‌دهد. در این شکل چهار دوره اقلیمی تفکیک شده است که مشخصات ژئوشیمیایی آنها مشابه یکدیگر می‌باشد.

64 Newton

65 Staubwasser

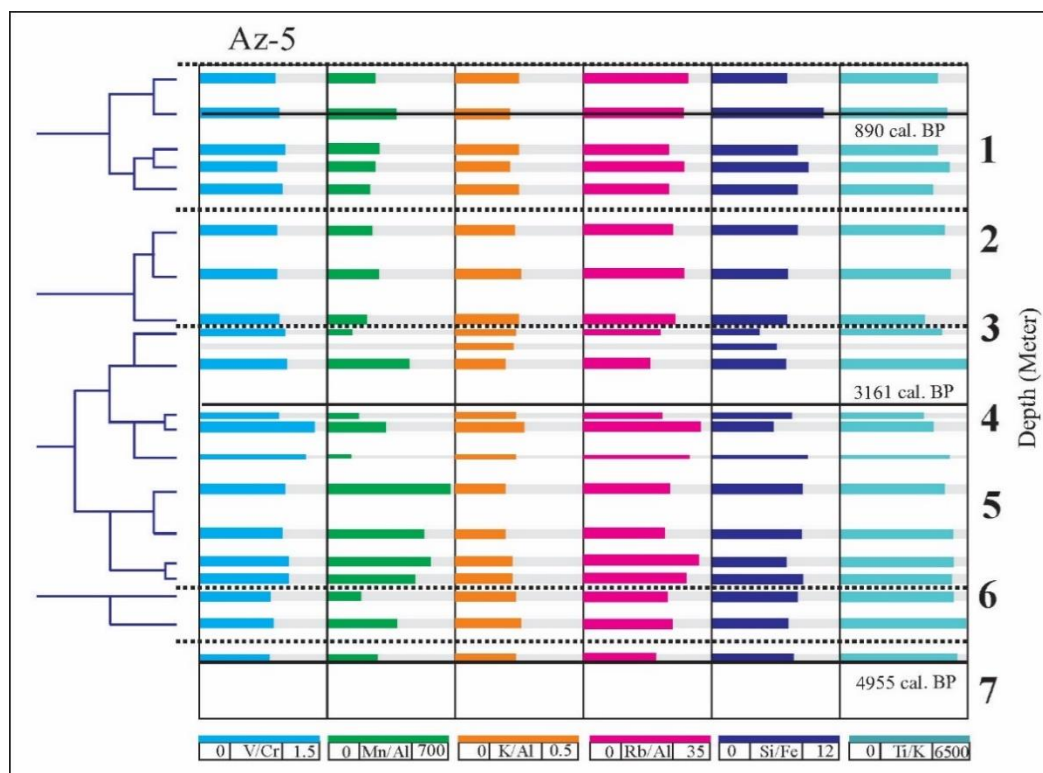
66 Booth

67 Mashkour

68 Hamzeh

69 Vaezi

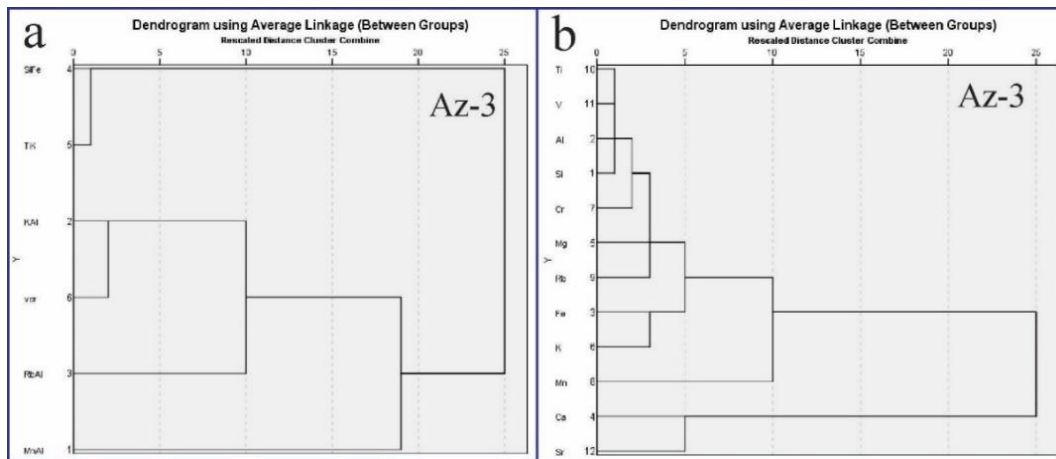
70 Minniti and Seyed sajadi



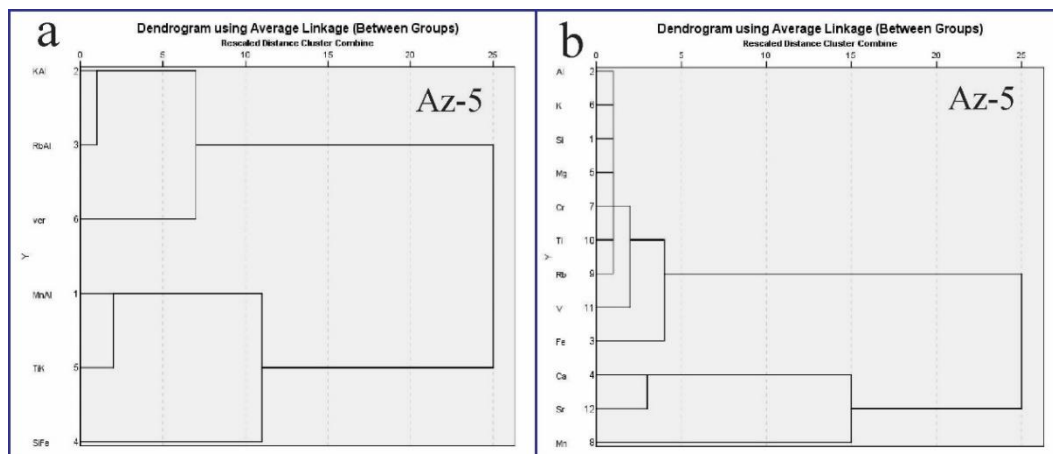
شکل ۴: آنالیز خوشه‌ای و ارتباط ژنتیکی نمونه های برداشت شده

همان‌گونه که در نمودار خوشه ای (شکل ۵ a) قابل مشاهده است در مغزه Az-3 نسبت عنصری پتاسیم به آلومینیوم همبستگی بسیار بالایی با وانادیم به کروم نشان می‌دهد و همبستگی خوب ولی کمی ضعیف‌تر با روبیدیم به آلومینیوم دارد و در مغزه Az-5 نسبت عنصری پتاسیم به آلومینیوم همبستگی بالایی با روبیدیم به آلومینیوم نشان می‌دهد و همبستگی مناسبی با وانادیم به کروم دارد. این مسئله نشان‌دهنده افزایش میزان فرسایش و هوازدگی شیمیایی در حوضه آبریز این دریاچه با افزایش میزان بارش و افزایش سطح تراز آب دریاچه است. افزایش در میزان هوازدگی و فرسایش که تحت تأثیر افزایش رطوبت و دما تشدید می‌شود به طور مستقیم و در بسیاری از دوره ها به سرعت سطح تراز دریاچه را متأثر ساخته است. همچنین نسبت های منگنز به آلومینیوم با پتاسیم به آلومینیوم که هر دو به عنوان شاخص تغییرات هوازدگی شیمیایی در این مطالعه استفاده شده است در یک خوشه قرار گرفته و همبستگی مثبت نشان می‌دهند. ولی میزان همبستگی آنها به اندازه نسبت پتاسیم به آلومینیوم با وانادیم به کروم نمی‌باشد. با توجه به این که نسبت‌های تیتانیم به پتاسیم و سیلیس به آهن در یک شاخه قرار گرفته اند (شکل ۵ a) این مسئله حاکی از ارتباط مستقیم رطوبت (بارش) و دما با ورود مواد آواری به دریاچه است. با افزایش دما میزان هوازدگی در حوضه افزایش یافته و در نتیجه ورود مواد آواری افزایش می‌یابد. با توجه به تحلیل های انجام گرفته به نظر می‌رسد در حوضه آبزالو نقش بارش یا رطوبت بیش از دما در هوازدگی شیمیایی موثر است.

در مغزه Az-5 نیز نسبت منگنز به آلومینیوم با نسبت‌های تیتانیوم به پتاسیم و سیلیسیم به آهن همبستگی نشان می‌دهد که این مسئله ارتباط افزایش میزان ورود مواد آواری به دریاچه با افزایش میزان هوازدگی شیمیایی در حوضه آبریز را بیان می‌کند (شکل ۶a). همچنین در شکل (۵b) و شکل (۶b) همبستگی عناصر در نمونه‌های برداشت شده از مغزه Az-3 و Az-5 قابل مشاهده است. در این شکل عناصر کلسیم و استرانسیم در یک شاخه و بقیه عناصر در شاخه ای مجزا قرار گرفته اند. طبق تحلیل خوشه ای انجام گرفته عناصر کلسیم و استرانسیم معرف دوره خشک می باشند و در دوره های خشک افزایش نشان می داده و همبستگی بالایی دارند و عناصر دیگر که نشان دهنده دوره های مرطوب بوده و افزایش این عناصر در حوضه حاکی از ورود عناصر در اثر هوازدگی، فرسایش و بارش‌های مناسب است. در این شکل، عنصر منگنز با همبستگی پایین در گروه عناصر شاخص دوره‌های مرطوب قرار گرفته است. در آنالیز خوشه‌ای مغزه Az-5 منگنز با همبستگی بسیار ضعیف در گروه کلسیم و استرانسیم قرار گرفته است که حکایت از رفتار دوگانه در مغزه ها دارد. این مسئله ممکن است به دلیل همبستگی ضعیف با هر دو گروه عنصری باشد.



شکل ۵: آنالیز خوشه‌ای مغزه Az-3: a: همبستگی نسبت‌های عنصری، b: ارتباط ژنتیکی عناصر شاخص



شکل ۶: آنالیز خوشه‌ای مغزه Az-5: a: همبستگی نسبت‌های عنصری، b: ارتباط ژنتیکی عناصر شاخص

طبق مطالعات انجام شده در دریاچه‌های داخلی ایران در طول هولوسن تغییرات اقلیمی با کمی تأخر و تقدم ثبت شده است که ارتباط مستقیمی با موقعیت جغرافیایی و ساختاری هر منطقه دارد. در دریاچه مهارلو، یک فاز مهم دوره خشک در رسوبات دریاچه‌ای از ۵۲۵۰ تا ۴۳۰۰ سال پیش به مدت حدود ۹۵۰ سال اتفاق افتاده است. دو فاز دوره خشک دیگر مربوط به حدود ۲۰۰۰ و ۱۸۰۰ سال پیش بوده که اهمیت کمتری دارد و دنبال کردن آن در سراسر گستره دریاچه مشکل است. در این دریاچه بخش‌های مختلف از نظر مدت زمان شرایط یکسان نداشته‌اند و در حواشی دریاچه طول مدت دوره خشک در برخی موارد تا ۶۰۰ سال بیشتر از بخش‌های مرکزی بوده است (لک ۱۳۸۶). در دریاچه زریبار تغییر در ارگانسیم‌ها بیانگر افزایش دما در بازه‌های زمانی ۲۱۰۰۰، بین ۱۲۶۰۰ تا ۱۵۴۰۰، حدود ۱۲۰۰۰، و حدود ۱۱۷۰۰ سال پیش است. همچنین، مجموعه دیاتوم‌های موجود بیانگر افزایش شوری آب دریاچه بین سال‌های ۱۵۷۰۰ تا ۱۷۷۰۰، ۱۲۰۰۰ تا ۱۲۶۰۰، ۵۹۰۰ تا ۶۴۰۰ و ۲۵۰۰ سال پیش است. کاهش سطح آب دریاچه در دو دوره ۷۵۰۰ تا ۷۸۰۰ و ۳۸۰۰ تا ۴۵۰۰ سال پیش و با شواهد جزئی‌تر در بعضی زمان‌ها تاکنون گزارش شده است (واسیلیکوا و همکاران ۲۰۰۶). اقلیم هولوسن بر اساس تغییرات ایزوتوپ اکسیژن، گرده‌های گیاهی، و نسبت استرانسیم بر کلسیم در دریاچه میرآباد نیز حاکی از وجود یک دوره خشک در ۵۴۰۰ سال پیش و دوره خشک دیگری در ۱۵۰۰ سال پیش است (استیونس ۲۰۰۶). در دریاچه ارومیه در ۱۳۰۰۰ سال قبل دوره خشک گزارش شده است که با وجود رسوبات قرمز رنگ در مغزه‌های برداشت شده نمایان شده است (درویشی خاتونی ۱۳۹۰) (شکل ۷).



شکل ۷: دوره‌های خشک و مرطوب گزارش شده در دریاچه‌های محدوده زاگرس و شمال غرب کشور در طول هولوسن: ارومیه (لک و همکاران ۱۳۹۰؛ درویشی خاتونی ۱۳۹۵؛ طالبی و همکاران ۲۰۱۵)، نئور (عزیزی و همکاران ۱۳۹۲؛ شریفی و همکاران ۲۰۱۵)، میرآباد (استیونس و همکاران ۲۰۰۶)، زریبار (مقصودی و همکاران ۱۳۹۳)، هشیلان (عزیزی و همکاران ۱۳۹۶؛ صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳)، گهر (اکبری و همکاران ۱۳۹۵)، ارژن (سادات حسینی و همکاران ۱۳۹۵)، پریشان (داوودی و همکاران ۱۳۹۳)، مهارلو (جمالی و همکاران ۲۰۰۹؛ لک ۱۳۸۶).

نتیجه گیری

جمع‌بندی بررسی‌های رسوب‌شناسی، رخساره‌های رسوبی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی رسوبی، دیرینه اقلیم و دیرینه جغرافیایی دریاچه آبزالو در منطقه زاگرس چین‌خورده در بخش خوزستان (پهنه ایزه) به طور خلاصه در ادامه ارائه می‌گردد. در هشت مغزه مورد مطالعه، هشت رخساره رسوبی اصلی شناسایی شد. رخساره‌ها غالباً دارای رسوبات رس، سیلت، ماسه، گراول و رسوبات بینابینی همراه بقایای گیاهی و صدفی است که در بیشتر موارد تناوب و تداخل در رسوبات یادشده به کرات دیده می‌شود. در رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه در مجموع رخساره‌ها نشان‌دهنده سه محیط رسوبی تالاب و رودخانه و مخروط‌افکنه است. با توجه به نتایج سن‌سنجی، میزان رسوب‌گذاری برای عمق‌های مختلف بین ۰/۶۶ تا ۱/۶ میلی‌متر در سال متغیر بوده است. تیپ غالب توالی رسوبات بستر دریاچه آبزالو گلی می‌باشد. با توجه به نتایج بررسی‌های انجام‌شده در منطقه، در طول هولوسن پسین حداقل دو دوره پرابی با اقلیم مرطوب قابل شناسایی است. این دوره‌ها بین ۱۸۰۰ تا ۵۰۰ سال قبل در یک بازه ۱۳۰۰ ساله و از ۴۴۰۰ تا ۲۵۰۰ سال قبل در یک بازه ۱۹۰۰ ساله قابل شناسایی است. همچنین، حداقل دو دوره خشک در هولوسن پسین در منطقه ظاهر شده است که مدت زمان آن‌ها کوتاه‌تر از دوره‌های مرطوب بوده است. یکی از این دوره‌ها بین ۲۵۰۰ تا ۱۸۰۰ سال پیش حدود ۷۰۰ سال ادامه داشته است و دیگری سنی حدود ۴۷۰۰ تا ۴۴۰۰ سال دارد که نشان‌دهنده یک دوره (۳۰۰ سال) خشک است. به نظر می‌رسد شدت و مدت دوره خشک قدیمی تر نسبت به دوره جوان‌تر بیشتر بوده است.

منابع

- اکبری، ط.، لک، ر.، شهبازی، ر.، قدیمی، م.، اسدی، ا.، کرمی، ف.، ویگاند، پ.، علیزاده، ک.، بهلینگ، ه. (۱۳۹۵). تحلیل ژئوشیمی و پالینولوژیکی رسوبات دریاچه گهر و شناسایی آب و هوای دیرین زاگرس مرتفع، فصلنامه کواترنری ایران، ۲ (۱): ۲۷-۴۰.
- داودی، م.، عزیزی، ق.، مقصودی، م. (۱۳۹۳). بازسازی تغییرات آب‌وهوایی هولوسن در زاگرس جنوبی: شواهد کرده‌شناسی و زغال در رسوبات دریاچه پریشان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳ (۱): ۶۵-۷۹.
- درویشی‌خاتونی، ج. (۱۳۹۵). تغییرات فراوانی پلت آرتیمیا اورمیانا در رسوبات بستر دریاچه ارومیه با نگرشی بر اقلیم دیرینه، مجله اکوبیولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اهواز، ۸ (۲): ۴۷-۶۲.
- درویشی‌خاتونی، ج.، فتوحی، ص.، نگارش، ح.، محمدی، ع. (۱۳۹۸). اقلیم و محیط دیرینه تالاب آبزالو در استان خوزستان با استفاده از مغزه های رسوبی در هولوسن پسین. فصلنامه کواترنری ایران، ۵ (۳): ۳۳۳-۳۴۷.
- سادات‌حسینی، ز.، خالدی، ش.، نادری‌بنی‌ع. م. (۱۳۹۵). بازسازی دیرینه اقلیمی و پوشش گیاهی در حوضه دشت ارژن فارس در پلیستوسن پایانی و هولوسن بر اساس مطالعه کرده‌های گیاهی، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۷ (۲۸-۲۷): ۱-۱۳.
- شهبازی، ر. (۱۳۹۴). مطالعه تحولات رسوبی دوره کواترنری به منظور تعیین الگوی طبیعی بیابانزایی در پلایا-تالاب شادگان، رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۰۷ ص.
- صفایی‌راد، ر.، عزیزی، ق.، محمدی، ح.، علیزاده لاهیجانی، ح. (۱۳۹۳). بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن و پلیستوسن منطقه زاگرس میانی با استفاده از شواهد کرده شناسی تالاب هشیلان، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳ (۱۱): ۲۰-۱.
- عزیزی، ق.، اکبری، ط.، هاشمی، ح. (۱۳۹۲). تغییرات پوشش گیاهی و آب‌وهوای دیرین در طی گذار آخرین دوره یخبندان-هولوسن (مطالعه موردی: دریاچه نئور در شمال غرب ایران)، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۴ (۷): ۳-۱۲.
- عزیزی، ق.، ملکی، س.، کریمی، م.، شهبازی، ر.، رستمی، ه. (۱۳۹۶). تغییرات اقلیم و پوشش گیاهی هولوسن در ایران، فصلنامه کواترنری ایران، ۳ (۳): ۲۰۵-۲۲۹.
- لک، ر. (۱۳۸۶). گزارش بررسی زمین‌شناسی دریاچه مهارلو، فاز ۱: هیدروشییمی و هیدروژئوشیمی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰ ص.
- لک، ر.، درویشی‌خاتونی، ج.، محمدی، ع. (۱۳۹۰). مطالعات پالئولیمنولوژی و علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه ارومیه، فصلنامه زمین شناسی کاربردی دانشگاه آزاد زاهدان، ۷ (۴): ۳۷۲-۳۵۷.
- مقصودی، م.، جعفری‌گللو، م.، رحیمی، ا. (۱۳۹۳). شواهد رسوبی تغییرات اقلیمی در دریاچه زریبار طی دوره هولوسن، ۴۶ (۱): ۴۳-۵۸.
- Alagarsamy, R., Zhang, J. (2010). Geochemical characterisation of major and trace elements in the coastal sediments of India, *Environmental Monitoring and Assessment*, 161: 161-176
- Asikainen CA Francus P and Brigham-Grette J. (2006). Sedimentology, clay mineralogy and grain-size as indicators of 65 ka of climate change from El'gygytgyn Crater Lake, Northeastern Siberia. *J Paleolimnol*, DOI 10.1007/s10933-006-9026-5
- Booth, R. K., Jackson, S. T., Forman, S. T., Kutzbach, J. E., Bettis, E. A., Kreig, J., Wright, D. K. (2005). A severe centennial- scale drought in mid-continental North America 4200 years ago and apparent global linkages, *The Holocene*, 15 (3): 321-328
- Bradley, R. S. (2015). *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*, 3 rd ed. Elsevier.
- Brisset, E., Djamali, M., Bard, E., Borschneck, D., Gandouin, E., Garcia, M., Stevens, L., Tachikawa, K. (2018). Late Holocene hydrology of Lake Maharlou, southwest Iran, inferred from high-resolution sedimentological and geochemical analyses. *J Paleolimnology*. 61(1):111-128. <https://doi.org/10.1007/s10933-018-0048>
- Bronk Ramesy, C., Lee, S. (2013). Recent and planned developments of the program OxCal, *Radiocarbon*, 55: 720-730.
- Calanchin, N., Dinelli, E., Lucchini, D., Mordenti, A. (1996). Chemostratigraphy of late Quaternary sediments

- from Lake Albano and central Adriatic Sea cores (PALICLAS Project), Palaeoenvironmental Analysis of Italian.
- Calvert, S. E., Pedersen, T. F. (2007). Elemental proxies for palaeoclimatic and palaeoceanographic variability in marine sediments: interpretation and application. In: Hillaire-Marcel, C., Vernal, A.D. (Eds.), *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography*, Elsevier, Amsterdam.
- Chang, A.S., Pedersen, T.F., Hendy, I.L. (2014). Effects of productivity, glaciation, and ventilation on Late Quaternary sedimentary redox and trace element accumulation on the Vancouver Island margin, western Canada. *Paleoceanography* 29, 2013PA002581.
- Chen, F., Liu, J., Xu, Q., Li, Y., Chen, J., Wei, H. (2013). Environmental magnetic studies of sediment cores from Gonghai Lake: implications for monsoon evolution in North China during the late glacial and Holocene. *J. Paleolimnol.* 49: 447–464. doi: 10.1007/s10933-012-9677-3
- Cullers, R.L., V.N. (2002). The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Ui group, southeastern Russia, *Precambrian Research*, 117(3): 157-183.
- Damnati B, Etebaai I, Benjilani H, El Khoudri K, Reddad H, Taieb M (2016). Sedimentology and geochemistry of lacustrine terraces of three Middle Atlas lakes: Paleohydrological changes for the last 2300 cal BP in Morocco (western Mediterranean region). *Quaternary International*. 404: 163-173. doi:10.1016/j.quaint.2015.10.038
- Daniel R., Muhsa. E., Arthur B. G., Skipp, L. (2018). Geochemistry and mineralogy of late Quaternary loess in the upper Mississippi River valley, USA: Provenance and correlation with Laurentide Ice Sheet history, *Quaternary Science Reviews*, 187: 235-269.
- DeGelleke, L., Hill, P. S., Kienast, M., Piper, D. J. W., Sediment dynamics during Heinrich event H1 inferred from grain size, *Mar. Geol*, Vol. 336, pp. 160-169, 2013.
- Djamali, M. (2008). Palaeoenvironmental changes in Iran during the last two climatic cycles (vegetationclimate-anthropisation), PHD thesis, Sciences and Techniques faculty, university of Paulsezanne (AIXMARSEILLE III), 194 p.
- Du, S. H., Yongqiu, W. U., Lihua, T. (2018). Geochemical evidence for the provenance of aeolian deposits in the Qaidam Basin, Tibetan Plateau, *Aeolian Research*, 32: 60-70.
- Erbs-Hansen, D.R., Knudsen, K.L., Olsen, J., Lykke-Andersen, H., Underbjerg, J.A., Sha, L. (2013). Paleoceanographic development of Sisimiut, West Greenland, during the mid- and late Holocene: A multiproxy study. *Mar. Micropaleontol*, 102: 79-97.
- Eglinton, T.I., Eglinton, G. (2008). Molecular proxies for paleoclimatology. *Earth Planet.Sci. Lett.* 275: 1–16
- Evans, D., Müller, W., 2013. LA-ICPMS elemental imaging of complex discontinuous carbonates: An example using large benthic foraminifera. *J. Anal. At. Spectrom.* 28: 1039-1044
- Fernandes, V. A., Fritz, J., Weiss, B. P., Garrick-Bethell, I., Shuster, D. L. (2013). The bombardment history of the Moon as recorded by ^{40}Ar - ^{39}Ar chronology, *Meteoritics & Planetary Science*, 48 (2): 241–269
- Gallala, W., Gaied, M.E. and Montacer, M. (2009). Detrital mode, mineralogy and geochemistry of the Sidi Aich Formation (Early Cretaceous) in central and southwestern Tunisia, implications for provenance, tectonic setting and paleoenvironment, *Journal African Earth Science*, 53: 159-170.
- Garzanti, E., Andro, S., Vezzoli, G. (2009). Grain-size dependence of sediment composition and environmental bias in provenance studies, *Earth Planet. Sci. Lett*, 277: 422-432
- Garcon, M., Chauvel, C., France-Lanord, C., Limonta, M., Garzanti, E. (2014). Which minerals control the Nd-Hf-Sr-Pb isotopic compositions of river sediments? *Chem. Geol.* 364: 42– 55.

- Gayantha, K., Routh, J., Chandrajith, R. (2017). A multi-proxy reconstruction of the late Holocene climate evolution in Lake Bolgoda, Sri Lanka. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 473: 16–25.
- Govin, A., Holzwarth, U., Heslop, D., Ford Keeling, L., Zabel, M., Mulitza, S., Collins, J.A., Chiessi, C.M. (2012). Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36 N 49 S): Imprint of terrigenous input and continental weathering. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13(1).
- Haberyan, K., Hecky, R. (1987). The Late Pleistocene and Holocene stratigraphy and paleolimnology of Lakes Kivu and Tanganyika, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 61(3-4):169-197
- Hamzeh, M.A., Gharai, M.H.M, Lahijani, H.A.K, Moussavi-Harami, R, Djamali, M, Naderi-Beni, M. (2016). Paleolimnology of Lake Hamoun (E IRAN): implication for past climate changes and possible impacts on Human settlements. *J Palaios*. 31(12): 616–629.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109563>
- Henkes, G.A., Passey, B.H., Grossmann, E.L., Shenton, B.J., Pérez-Huerta, A., Yancey, T.E., (2014). Temperature limits for preservation of primary calcite clumped isotope paleotemperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta* 139: 362–382. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.04.040>
- Kim, J.H., van der Meer, J., Schouten, S., Helmke, P., Willmott, V., Sangiorgi, F., Koç, N., Hopmans, E.C., Sinninghe Damsté, J.S. (2010). New indices and calibrations derived from the distribution of crenarchaeal isoprenoid tetraether lipids: Implications for past sea surface temperature reconstructions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 74: 4639–4654.
- Kirillin, G., Shatwell, T. (2016). Generalized scaling of seasonal thermal stratification in lakes, *J Earth Science Reviews*, 161: 179–190.
- Li, J., Lowenstein, T. K., Brown, C. B., Ku, T. L., Luo, S. (1996). A 100 ka record of water tables and paleoclimates from salt cores, Death Valley, California, *J Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 123: 179-203
- Lowe, J.J., Walker, M.J.C. (2015). *Reconstructing Quaternary Environments*, 3rd ed., Routledge.
- Mashkour, M., Tengberg, M., Shirazi, Z., Madjidzadeh, Y. (2013). Bio-archaeological studies at Konar Sandal, Halil Rud basin, southeastern Iran. *Environ. Archaeol.* 18: 222–246.
- Martinez-Ruiz, F., Kastner, M., Gallego-Torres, D., Rodrigo-Gamiz, M., Nieto-Moreno, V., Ortega-Huertas, M. (2015). Paleoclimate and paleoceanography over the past 20,000 yr in the Mediterranean Sea Basins as indicated by sediment elemental proxies. *Quaternary Science Reviews* 107: 25-46.
- McCave, I. N., Hall, I.R. (2006). Size sorting in marine muds: processes, pitfalls, and prospects for paleoflow-speed proxies, *Geochem. Geophys. Geosyst*, 7 (10): 5
- Minniti, C., Seyed Sajjadi, M.S. (2019). New data on non-human primates from the ancient Near East: The recent discovery of a rhesus macaque burial at Shahr-i Sokhta (Iran). *International J Osteoarchaeology*, 29: 538-548.
- Mook, W.G., Steurman, H.J. (1983). Physical and chemical aspects of radiocarbon dating”, *Proceedings of the First International Symposium 14C and Archeology, Groningen, 1981, PACT*, 8: 31-55.
- Moosavian, S.M., Karbassi, A.R., Sabzalipour, S., Amirnezhad, R., Daneshian, J. (2019). Determination of sedimentation rate of Hoor-Al-Azim wetland by carbon-14 method and analysis of its past climate using element geochemistry, *Environmental Earth Sciences*, 78: 658. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8666-5>
- Newton, M.S. (1994). Holocene fluctuations of Mono Lake, California: the sedimentary record, *Society for Economic Paleontologists and Mineralogists, Society for Sedimentary Geology Special Publication*, 50: 143-157

- Paik, I.S., Kim, H.J. (2006). Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrences and palaeoenvironments. *Journal of Sedimentary Geology*, 187: 83-103.
- Pearson, P., 2012. Oxygen isotopes in foraminifera: Overview and historical review. *Paleontol. Soc. Pap.* 18: 1–38.
- Petrie, C.A., Weeks, L. (2018). The Iranian Plateau and the Indus River Basin”, in: Chiotis, E. (ed.), *Climate Changes in the Holocene: Impacts and Human Adaptation*. CRC Press, Taylor and Francis Group, 293-325.
- Potts, P. J. (1987). A Handbook of Silicate Rock Analysis, *Mineralogical Magazine*, 51: 753
- Polyak, L., Bischof, J., Ortiz, J.D., Darby, D.A., Channell, J.E., Xuan, C., Kaufman, D.S., Løvlie, R., Schneider, D.A., Eberl, D.D. (2009). Late Quaternary stratigraphy and sedimentation patterns in the western Arctic Ocean. *Glob. Planet. Chang.* 68: 5–17.
- Quellet-Bernier, M., deVernal, A. (2018). Proxy Indicators of Climate in the Past”, *Climate Changes in the Holocene: Impacts and Human Adaptation*, 41-76.
- Rampen, S.W., Willmott, V., Kim, J.H., Uliana, E., Mollenhauer, G., Schefuß, E., Sinninghe Damst’ e, J.S., Schouten, S. (2012). Long chain 1, 13 and 1, 15 diols as a potential proxy for palaeotemperature reconstruction. *Geochim. Cosmochim. Acta* 84: 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.01.024>
- Riquier L., Tribovillard, N., Averbuch, O., Devleeschouwer, X. and Riboulleau, A. (2006). The Late Frasnian Kellwasser horizons of the Harz Mountains (Germany): Two oxygen-deficient periods resulting from different mechanisms, *Chemical Geology* 233: 137-155.
- Roop, H. A., Dunbar, G. B., Vandergoes, M. J., Forrest, A. L., Walker, Sh. L., Purdie, J., Upton, ph., Whinney, J. (2014). Seasonal controls on sediment transport and deposition in Lake Ohau, South Island, New Zealand: Implications for a high-resolution Holocene paleoclimate reconstruction: *Sedimentology Journal*, 62: 826 - 844.
- Rontani, J.F., Bonin, P., Vaultier, F., Guasco, S., Volkman, J.K. (2013). Anaerobic bacterial degradation of pristenes and phytene in marine sediments does not lead to pristane and phytane during early diagenesis. *Organic Geochemistry* 58: 43–55.
- Roy, P.D., Caballero, M., Lozano, R. and Smykatz-Kloss, W. (2008). Geochemistry of late Quaternary sediments from Tecocomulco lake, central Mexico: Implication to chemical weathering and provenance, *Chem Erde Geochem*, 68: 388-393.
- Saha, S., Banerjee, S., Burley, S.D., Ghosh, A. and Saraswati, P.K. (2010). The influence of flood basaltic source terrains on the efficiency of tectonic setting discrimination diagrams: an example from the Gulf of Khambhat, western India, *Sedimentary Geology*, 228: 1 -13.
- Sai, K. 2004. Geochemistry of Lake Sediments as a Record of Environmental Change in a High Arctic Watershed, *Chemie der Erde*, 64: 257–275.
- Schröder, T., Hoff, J.V., López-Sáez, J.A., Melles, M., Viehberg, F., Reicherter, K. (2018). Multi-proxy climate and environment reconstruction of the Holocene based on Lake Medina, southern Spain, *Geophys Res Abs*, 20(15): 207 p.
- Schroll, E. (1975). *Analytische geochemie, Band I, Grundlagen und anwendungen*, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart. Crater Lake and Adriatic Sediments *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 55: 247-263.
- Schouten, S., Hopmans, E.C., Sinninghe Damst’ e, J.S. (2013). The organic geochemistry of glycerol dialkyl glycerol tetraether lipids: A review. *Org Geochem.* 54: 19–61.
- Sharifi, A., Pourmand, A., Canuel, E. A., Ferer-Tyler, E., Peterson, L. C., Aichner, B., Feakins, S. J., Daryaee, T., Djamali, M., Naderi-Beni, A. (2015). Abrupt climate variability since the last deglaciation based on a high-resolution, multi-proxy peat record from NW Iran: The hand that rocked the Cradle of Civilization? *Quaternary Science Reviews*, 123: 215-230.

- Sinha, R., Smykatz-Kloss, W., Stuben Harrison, S.P., Berner, Z. Kramar, U. (2006). Late Quaternary paleoclimatic reconstruction from the lacustrine sediments of the Sambhar playa core, That Desert margin, India. *J Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 233:252-270.
- Solotchina, E. P., Sklyarov, E. V., Solotchin, P. A., Vologina, E. G., Sklyarova, O. A. (2014). Mineralogy and crystal chemistry of carbonates from the Holocene sediments of Lake Kiran (western Transbaikalia): connection with paleoclimate: *Russian Geology and Geophysics*, 55: 472-482.
- Spofforth, D.J.A., Pälike, H., Green, D. (2008). Paleogene record of elemental concentrations in sediments from the Arctic Ocean obtained by XRF analyses. *Paleoceanography*, 3, PA1S09.
- Staubwasser, M., Sirocko, F., Grootes, P., Segl, M. (2003). Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene South Asian monsoon variability, *Geophysical Research Letters*, 30: 372-387
- Stevens, L.R., Ito, E., Schwalb, A., Wright Jr, H.E. (2006). Timing of atmospheric precipitation in the Zagros Mountains inferred from a multi-proxy record from Lake Mirabad, Iran, *Quaternary Research*, 66: 494-500.
- Talebi, T., Ramezani, E., Djamali, M., Alizadeh Ketek Lahijani, H., Naqinezhad, A., Alizadeh, K., Ponel, V. (2015). The Late-Holocene climate change, vegetation dynamics, lake-level changes and anthropogenic impacts in the Lake Urmia region, NW Iran, *Quaternary International*, 408: 40-51.
- Törnqvist, T. E., De Jong, A. F. M., Oosterbaan, W. A., Van der Borg, K. (1992). Accurate dating of organic deposits by AMS 14C measurement of macrofossils, *Radiocarbon*, 34: 566-577
- Tribouvillard, N., Algeo, T.J., Lyons, T., Riboulleau, A. (2006). Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update, *Chem. Geol*, 232: 12-32.
- Vaezi, A.L., Ghazban, F., Tavakoli, V., Routh, J., Naderi Beni, A.M., Bianchi, T.S., Curtis, J.S., Kylin, H. (2019). A Late Pleistocene-Holocene multi-proxy record of climate variability in the Jazmurian playa, southeastern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 514: 754-767.
- Vincent, L.A., Coauthors, G. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *J. Climate*, 18: 5011-5023.
- Wang, G.P., Zhai, Z.L. (2007). Geochemical data as indicators of environmental change and human impact in sediments derived from downstream marshes of an ephemeral river, Northeast China, *Environ Geol*, 53: 1261-1270. doi: 10.1007/s00254-007-0714-x.
- Walker, M. (2019). Formal subdivision of the Holocene series/epoch: a summary. *J. Geol. Soc. India* 93: 135 –141. <https://doi.org/10.1007/s12594-019-1141-9>.
- Walker, M. (2018). Formal ratification of the subdivision of the Holocene series/ epoch (quaternary system/period): two new global boundary stratotype sections and points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes* 41: 213 –223. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2018/018016>.
- Weijers, J.W., Schefuß, E., Kim, J.H., Sinninghe Damsté, J.S., Schouten, S. (2014). Constraints on the sources of branched tetraether membrane lipids in distal marine sediments. *Organic Geochemistry* 72: 14–22
- Wit, J., Reichert, G.J., Jung, S., Kroon, D. (2010). Approaches to unravel seasonality in sea surface temperatures using paired single-specimen foraminiferal $\delta^{18}O$ and Mg/Ca analyses. *Paleoceanography* 25. PA4220.
- Zawiska, I., Słowiński, M., Correa -Metrio, A., Obremaska, M., Luoto, T., Nevalainen, L., Milecka, K. (2015). The response of a shallow lake and its catchment to Late Glacial climate changes - A case study from eastern Poland, *CATENA*, 126: 1-10.