

بازسازی تغییرات محیطی ششصد سال اخیر در جنوب شرق ایران

منطقه مطالعاتی: دریاچه سردریا، کوه تفتان

داریوش نورالهی؛ دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی دیرینه، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

قاسم عزیزی*؛ دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۱۶

چکیده

به منظور بازسازی آب‌وهوای منطقه جنوب شرق ایران، مغزه‌ای به طول ۵/۵ متر از رسوبات کف دریاچه سردریا، در دامنه کوه تفتان، برداشت شد. روی مغزه مورد نظر آنالیزهای زیست‌شیمی، شامل سنجش سیلیکات‌های زیست‌زا و مقدار کل مواد آلی و غیرآلی، به انجام رسید. نتایج سن سنجی نشان داد مغزه مورد نظر ۵۷۸ سال اخیر را پوشش می‌دهد. شواهد نشان می‌دهد تغییرات سیلیکات‌های زیست‌زا روند کاهشی دارند که می‌تواند حاکی از افزایش تدریجی دمای تابستانه در منطقه باشد. تغییرات مقدار کل کربن آلی و غیرآلی، که روندی مشابه را نشان می‌دهند، بین سال‌های ۱۴۶۰ و ۱۶۵۰، پیک‌های افزایشی مشخصی دارند که هم‌زمان است با عصر یخبندان کوچک در دیگر نقاط دنیا. به طور کلی، شواهد نشان می‌دهد در عصر یخبندان کوچک دوره‌های متناوب خشکی‌های شدید در منطقه رخ داده که با خشک‌شدگی کامل سطح دریاچه همراه بوده است. این در حالی است که تحقیقات نشان می‌دهند عصر یخبندان کوچک شرایط مرطوب‌تری را در نواحی غربی و شمال غربی به وجود آورده است. این نتایج تأییدکننده واکنش‌های متضاد آب‌وهوایی منطقه جنوب شرق نسب به نیمه غربی کشور طی هولوسن است.

کلیدواژه‌ها: بازسازی آب‌وهوا، دریاچه سردریا، عصر یخبندان کوچک.

مقدمه

درک گذشته محیطی و آب‌وهوایی هر منطقه می‌تواند در شناخت سازوکارهای محلی آب‌وهوا و پایه‌گذاری سناریوهای آب‌وهوایی به منظور دستیابی به تأثیر بالقوه تغییرات بزرگ‌مقیاس آب‌وهوایی بر جوامع انسانی بسیار حیاتی باشد. این تغییرات که به شکل تغییرات منابع آب شیرین نمود نمایان‌تری خواهد داشت آثار اقتصادی و جامعه‌شناختی مهمی به بار خواهد آورد (García-Ruiz et al 2011). این موضوع، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، که همواره با چالش کمبود منابع آب سطحی و زیرسطحی مواجه‌اند، اهمیت بالایی دارد. بر همین اساس، بازسازی‌های محیطی - آب‌وهوایی، که با استفاده از شواهد موجود در نهشته‌های رسوبی دریاچه‌ای تاریخچه طولانی از شرایط محیطی هر منطقه ارائه می‌دهند، جایگاهی ویژه می‌یابند. بدین صورت، با فراهم کردن یک شبکه اطلاعاتی از داده‌های دیرینه آب‌وهوا می‌توان

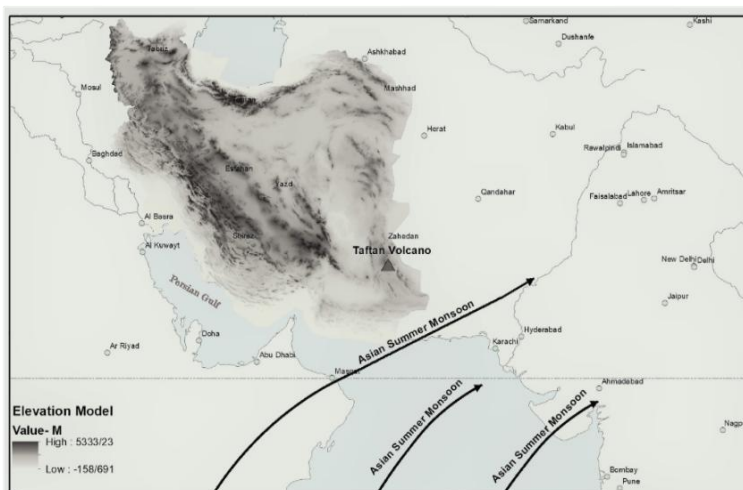
مکانیزم تغییرات و واکنش‌های بومی به تغییرات را تحلیل کرد. همچنین، با مقایسه و تحلیل داده‌های بومی می‌توان به سوی درک سیستم‌های آب‌وهوایی بزرگ‌مقیاس‌تر گام برداشت و الگوهای آب‌وهوایی منطقه‌ای را بازسازی کرد. با وجود این، به دلیل جابه‌جایی احتمالی مرزهای آب‌وهوایی در گذشته، مطالعات دیرینه آب‌وهواشناسی در قالب موقعیت جغرافیایی می‌تواند شناختی جامع‌تر ارائه دهد. بر همین اساس، به منظور درک الگوهای گردشی حاکم بر منطقه و همچنین پی بردن به سیستم‌های آب‌وهوایی تأثیرگذار بر پهنه ایران، نیاز است در مناطقی که هم‌اکنون تحت تأثیر سیستم‌های ویژه است نمونه‌برداری انجام شود تا تاریخچه تغییرات آب‌وهوایی منطقه و همچنین کیفیت تأثیرپذیری از الگوهای آب‌وهوایی خاص قابل بررسی باشد. از آنجا که در مقیاس علم دیرینه آب‌وهواشناسی اصولاً تغییرات بزرگ‌مقیاس و جهانی بهتر قابل ردیابی هستند و این تغییرات بزرگ‌مقیاس می‌توانسته بر مناطقی که از سیستم‌های سینوپتیکی مختلف تأثیر می‌پذیرند اثر متفاوت داشته باشد، بررسی داده‌های دیرینه در سطح کشور و در ارتباط با هم می‌تواند درکی روشن‌تر از کیفیت تغییرات ارائه دهد. چون گاه ارتباطی مستقیم بین شدت یا ضعف فعالیت‌های سیستم‌های سینوپتیک و در نتیجه مرطوب یا خشک بودن مناطق وجود دارد. در حال حاضر مطالعات دیرینه آب‌وهواشناسی و دیرینه محیط‌شناسی در کشور توانسته‌اند تغییرات محیطی دوره هولوسن را، به‌ویژه در منطقه نوار غربی، در رشته‌کوه زاگرس، آشکار سازند (Stevens et al 2006; Djamali et al 2009; Griffiths et al 2001; van Zeis et al 1967). بیشتر این مطالعات بازسازی‌های آب‌وهوایی را در منطقه‌ای به انجام رسانده‌اند که از بادهای غربی و سیستم‌های سینوپتیک مدیترانه‌ای تأثیرپذیری اساسی دارند. این اسناد آشکار ساخته‌اند زاگرس طی دوره هولوسن تغییرات محیطی و آب‌وهوایی شدیدی پشت سر گذاشته و کیفیت تغییرات در هولوسن پیشین تفاوتی اساسی با دوره‌های پسین داشته است. اما تعداد این اسناد به اندازه کافی نیست و تغییرات ناحیه‌ای آب‌وهوا طی این دوره آشکار نشده است و همچنین هنوز به طور دقیق الگوهای آب‌وهوایی (بارشی و دمایی) که این تغییرات را شکل داده به طور کامل شناسایی نشده است و در نتیجه ماهیت تغییرات درون‌سالی و برون‌سالی به طور کامل شناسایی نشده است. از طرف دیگر این اسناد بیشتر مربوط به نوار غربی‌اند که سیستم آب‌وهوایی مشابه دارند و سند مهم دیرینه محیط‌شناسی مربوط به مناطق جنوبی، به‌ویژه جنوب شرقی، وجود ندارد تا بدین صورت تاریخچه محیطی این منطقه جغرافیایی طی دوره‌های مختلف هولوسن مشخص شود. در همین زمینه، در این مقاله داده بازسازی آب‌وهوایی جدیدی با وضوح بالا در جنوب شرق ارائه می‌شود. این بازسازی بر اساس داده‌های زیست‌شیمی مغزه‌ای، که از رسوبات دریاچه سردریا، کوه تفتان، گرفته شده به انجام رسیده است. در این پژوهش برای نخستین بار آب‌وهوای جنوب شرق ایران با وضوح بالا بازسازی شد و تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بزرگ‌مقیاس رخ داده طی این دوره بر آب‌وهوای جنوب شرق کاوش شد.

منطقه مطالعاتی

دریاچه سردریا، با مختصات $۰^{\circ} ۶۱' ۳۸''$ و $۲۸^{\circ} ۳۸' ۲۶$ متر ارتفاع از سطح دریا، در دامنه شرقی کوه تفتان، در جنوب شرق ایران، واقع شده است (شکل ۱). این دریاچه کوچک و کم‌عمق است و در دوران پرآبی $۱/۲$ هکتار مساحت دارد. زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی دریاچه تا کنون به طور کامل بررسی نشده است. با وجود این، به نظر می‌رسد لغزش دامنه

سنگی مشرف به این دریاچه در مسدود شدن مسیر زهکشی آب‌های سطحی منطقه و تشکیل دریاچه نقش اساسی داشته است (شکل ۲). شکل‌گیری میکروتراس‌های متناوب در اطراف دریاچه (شکل ۲) و همچنین اطلاعات مردم محلی نشان می‌دهد دریاچه حساسیت زیادی به تغییرات بارش نشان می‌دهد؛ طوری که در سال‌های پرآبی عمق دریاچه تا ۱۰ متر افزایش می‌یابد و در سال‌های کم‌بارش به طور کامل خشک می‌شود. بر این اساس می‌توان بارش را منشأ اصلی آب دریاچه دانست. این حساسیت بالا، که بیشتر از مساحت کم دریاچه و موقعیت آن نسبت به ارتفاعات تفتان نشئت می‌گیرد، فرصت مناسبی برای تحلیل‌های دیرینه آب‌وهوایی فراهم آورده است. کوه تفتان در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرقی زاهدان و ۴۵ کیلومتری شمال خاش قرار دارد. این کوه فعال‌ترین آتشفشان ایران است که در فاز دودزایی خود قرار دارد (Gansser 1971). در نتیجه، بررسی رسوبات این دریاچه، علاوه بر بازسازی‌های آب‌وهواشناسی و محیطی، می‌تواند در بازسازی تاریخچه فعالیت‌های آتشفشان تفتان نیز مفید باشد.

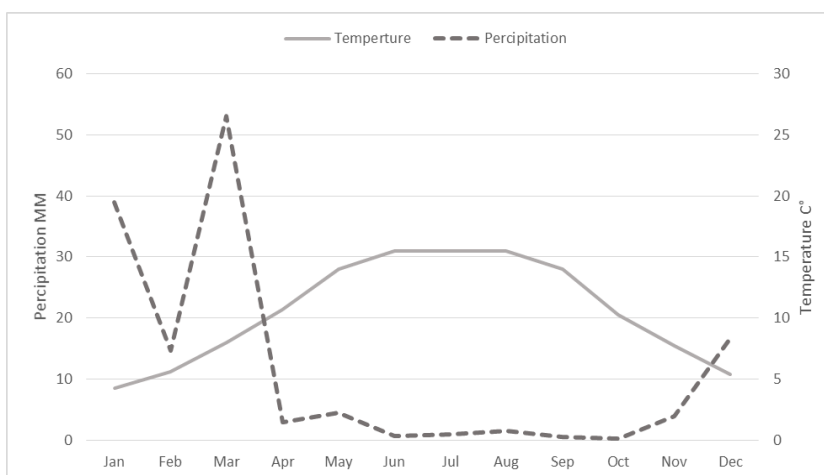
شکل ۳ نمودار آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک خاش، نزدیک‌ترین ایستگاه به دریاچه، را نشان می‌دهد. با وجود اینکه دریاچه ۱۲۰۰ متر مرتفع‌تر از ایستگاه خاش است، به نظر می‌رسد روند تغییرات سالیانه آن مشابه ایستگاه‌های اطراف است. بر اساس نمودار، عمده بارش‌های منطقه در فصل سرد سال رخ می‌دهد و با میزان بارش سالیانه کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر بیشتر ماه‌های سال شرایط خشک دارند. با وجود این، شواهد میدانی و پوشش گیاهی منطقه تفتان شرایط اکولوژیکی کاملاً متفاوت و مستثنا از محیط‌های اطراف را نشان می‌دهد. ارتفاع بالای دامنه‌های تفتان خرد اقلیمی متفاوت شکل داده است که با بارش برف و پایین بودن میانگین دمای سالیانه مشخص می‌شود. شواهد محلی نشان می‌دهد میزان بارش برف در این منطقه کاملاً متفاوت و حجم بارش برف بسیار بیشتر از ایستگاه‌های اطراف است. با وجود این، اطلاعات دقیق از این بارش‌ها در دسترس نیست.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دریاچه سردریا در دامنه شرقی کوه تفتان



شکل ۲. ریزش قله مشرف به دریاچه که نقش اساسی در شکل‌گیری دریاچه داشته است. همچنین فلش‌ها تراس‌های کوچک شکل‌گرفته در دوران پربابی را نشان می‌دهند (بهمن ۱۳۹۶).



شکل ۳. نمودار آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک خاش (دوره آماری ۱۹۸۶ - ۲۰۱۰)

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

مغزه‌ای به طول ۵/۵ متر در بهمن‌ماه ۱۳۹۶ با استفاده از مغزه‌گیر مدل لیوینگ استون (Livingstone 1955) از مرکز دریاچه برداشت شد. سطح آب دریاچه در زمان نمونه‌برداری ۱ متر بود. عملیات مغزه‌گیری با استفاده از یک شناور چوبی مسطح به انجام رسید. مغزه‌ها، پس از برداشت، در لوله‌های پلاستیکی گذاشته و با روکش پلاستیکی پوشانده شدند. در نهایت، مغزه‌های برداشت‌شده به دانشگاه برمن آلمان برای آنالیزهای نهایی فرستاده شدند. سنجش کربن آلی^۱ (TOC) و غیرآلی^۱ (TIC)، نیتروژن و سیلیکات‌های زیستی؛ تعداد ۲۸ نمونه جهت سنجش مقدار

1. Total Organic Carbon

کل کربن آلی و غیرآلی خشک و هاون شدند و سنجش با دستگاه Euro-EA Elemental Analyser انجام گرفت. محاسبه TIC با فرمول TIC=TC-TOC انجام گرفت. مقدار گزارش شده از ۰ تا ۱۰۰ درصد است. در مرحله بعدی، به منظور افزایش وضوح آنالیزها و همچنین برآورد مقدار سیلیکات‌های زیست‌زای^۲ موجود در نمونه‌ها تعداد ۷۸ نمونه جهت آنالیز تبدیل فوره به مادون قرمز (FTIRS) انجام گرفت. اساس این روش آن است که اشعه‌های مادون قرمز در نتیجه یک رفتار مکانیک کوانتومی می‌توانند ذرات را تحریک کنند؛ در نتیجه ذرات توسط انرژی‌های مختلف جذب می‌شوند. این وضعیت به مواد آزمایش شده وابسته است. از آنجا که بیشتر ترکیبات رفتارهایی ویژه در برابر اشعه‌های مادون قرمز نشان می‌دهند، تغییرات مواد ارگانیکی را می‌توان تعیین کرد. همچنین اسیدهای چرب و سیلیکات‌ها و کربنات‌ها نیز قابل ردیابی و تعیین‌اند (Rosen et al 2011). با این روش، جهت انجام دادن این آنالیز در حالت انتشاردهنده انعکاسی، یک طیف‌سنج ویژه VERTEX 70 FTIRS مدل BrukerOptik GmbH, Germany، که با یک انتشاردهنده انعکاسی مجزا ("Praying Mantis" Harrick Inc., USA) تجهیز شده است، مورد استفاده قرار گرفت. آماده‌سازی نمونه‌ها و شرایط و فرایند اندازه‌گیری IR در سیف‌های خام انعکاسی را وگل و همکارانش تشریح کرده‌اند (Vogel et al 2016).

نتایج

سن سنجی

به منظور برآورد سن نمونه‌ها، پنج نمونه از مواد آلی برای سن سنجی در مغزه‌ای به طول ۵۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مشخصات نمونه‌های ارسالی در جدول ۱ آمده است. سن سنجی‌ها در مؤسسه پژوهشی اقیانوس و جو دانشگاه توکیو ژاپن به انجام رسید. نتایج سن سنجی نشان داد مغزه مورد نظر ۵۷۸ سال گذشته را پوشش می‌دهد. این موضوع حاکی از نرخ رسوب‌گذاری بسیار زیاد حوضه دریاچه مورد نظر است. این نرخ رسوب‌گذاری امکان بازسازی با وضوح بیشتر را فراهم آورد.

جدول ۱. سن سنجی نمونه‌های دریاچه سردریا. سن‌ها در نرم‌افزار Clam با روش کالیبره Intcal13 کالیبره شده است.

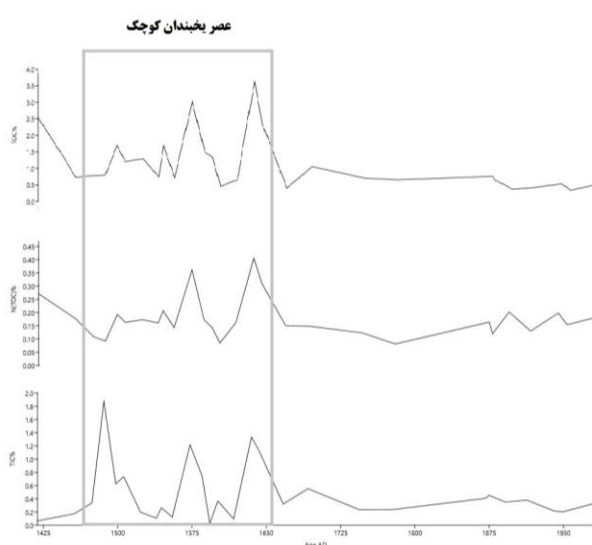
سن کالیبره شده (به سال)	سن رادیوکربن (به سال)	عمق نمونه‌ها CM	نوع مواد ارسالی	کد آزمایشگاه	نام نمونه
۰	نمونه عصر جدید	20	مواد آلی	YAUT-033202	SDL 1
146	150 ± 25	183	مواد آلی	YAUT-034832	SDL 2
344	297 ± 49	237	مواد آلی	YAUT-033203	SDL 3
418	342 ± 28	384	مواد آلی	YAUT-034833	SDL 4
578	551 ± 49	544	مواد آلی	YAUT-033204	SDL 5

1. Total Inorganic Carbon

2. Biogenic Silica

کربن آلی و غیرآلی

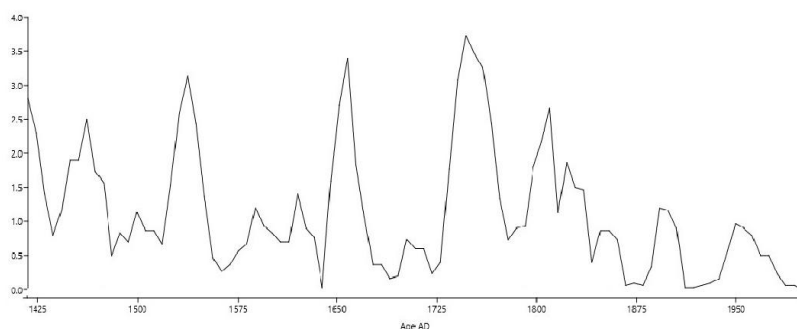
میانگین مقادیر کربن آلی و غیرآلی در زون مشخص شده در شکل ۴ آمده است که مقارن است با دوره تاریخی ۱۴۶۰ تا ۱۶۵۰ میلادی، مقارن با عصر یخبندان کوچک. همچنین، بالاترین مقادیر نیز به ترتیب ۸/۲ و ۸/۴ برای کربن آلی و غیرآلی در این زون مشاهده می شود. هر دوی مقادیر کربن آلی و غیرآلی در بخش پایین مغزه در کمترین سطح خود قرار دارد. به طور کلی، تغییرات کربن آلی و غیرآلی در مغزه مورد نظر روندی مشابه را دنبال می کنند و پس از سال ۱۷۰۰ میلادی تغییرات شدید قابل ملاحظه ای مشاهده نمی شود.



شکل ۴. تغییرات میزان کربن آلی TOC و کربن غیرآلی TIC در مغزه سردریا

سیلیکات های زیستزا

میزان نسبی سیلیکات های زیستزا، که عمدتاً دایاتومها هستند، به روش FTIRS برآورد شد. محدوده عددی این میزان از ۰ تا ۴/۸ متغیر است. این در حالی است که میزان این مواد در بخش پایینی مغزه بالاتر است (شکل ۵). به طور کلی، یک روند کاهشی از پایین مغزه به طرف بالای مغزه در عصر حاضر مشاهده می شود. با این حال، دوره های مشخص و مجزایی قابل تفکیک نیست. حداکثر تراکم سیلیکات های زیستزا در سه دوره به ترتیب در سال های ۱۹۸۵ و ۱۷۶۰ و ۱۶۷۰ مشاهده می شود.

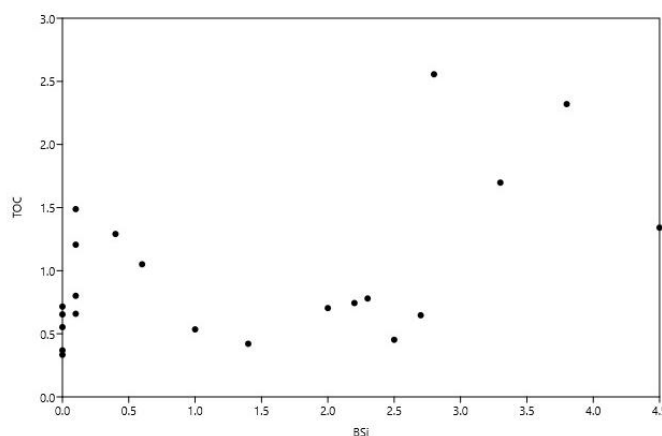


شکل ۵. میزان سیلیکات‌های زیست‌زا در مغزه دریاچه سردریا

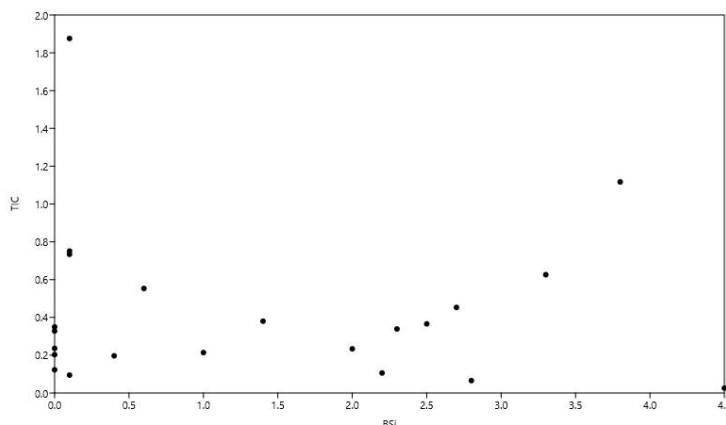
بحث و نتیجه‌گیری

سیلیکات‌های زیست‌زا شکل آمورفی از سیلیکون هستند که توسط ارگانسیم‌های سیلیکونی، مانند دیاتمه‌ها و ادیولاریاها و اسفنج‌ها، شکل می‌گیرند. ثابت شده است سیلیکات‌های زیست‌زا شاهد مهمی برای نشان دادن میزان تولید و بارآوری محیط‌های دریاچه‌ای در مقیاس‌های زمانی طولانی هستند (Williams et al 1997; Colman et al 1999; Rosén et al 2010). با وجود این، در مقیاس زمانی کوتاه، انباشت این مواد بیشتر در رابطه با تغییرات دمای تابستانه تفسیر می‌شود (Blass et al 2007; McKay et al 2008). دیاتمه‌ها از سیلیکات‌های مهم زیست‌زا هستند که نخست واکنش فراوانی در برابر دمای تابستانه بالا در محیط‌های دریاچه‌ای نشان می‌دهند. در شرایط دمای تابستانه بالاتر شرایط رشد بیشتر فراهم می‌آید و در نتیجه شرایط انباشتگی این ارگانسیم‌ها آماده می‌شود. با وجود این، با استفاده از روش نوین تبدیل فوریه به مادون قرمز، امکان سنجش مقدار این مواد در رسوبات با وضوح بسیار بالاتر فراهم آمده است که دقت تحلیل‌ها واکنش‌ها را در برابر تغییرات محیطی آشکارتر می‌سازد (Vogel et al 2008; Rosén et al 2010). به طور کلی، استفاده از این پروکسی در مطالعات محیطی محدودیت‌های زیادی دارد. عوامل محیطی متنوعی می‌تواند منجر به تجزیه مواد سیلیکاتی در رسوبات شود. در مغزه سردریا نیز این پیچیدگی قابل مشاهده است. به طور کلی، به‌سختی می‌توان فاز مشخصی از انباشتگی این مواد در مغزه مشخص کرد. با وجود این، شدت حضور این مواد در بخش پایینی مغزه بیشتر است و روند کاهشی به سمت بالای مغزه مشاهده می‌شود. شکل ۵ و شکل ۶ نشان‌دهنده ارتباط ضعیف مقادیر سیلیکات‌های زیست‌زا با مقدار کل کربن آلی ($R=24/0$) و غیرآلی ($R=006/0$) است؛ که تأثیر عوامل محیطی متفاوت و متنوع را در کنترل این ارگانسیم‌ها در مغزه ثابت می‌کند. در زمینه مقدار کل کربن غیرآلی در رسوبات دریاچه‌ای نخستین پیش‌فرض آن است که سطح پایین دریاچه محتویات کربناتی رسوبات را افزایش می‌دهد؛ البته این عامل می‌تواند تحت تأثیر دیگر عوامل محیطی، مانند فرسایش، قرار گیرد (Habertztl et al 2005). افزون بر این، اگرچه مقدار کل کربن آلی و غیرآلی بیشتر برای ردیابی منشأ مواد ارگانیکی در محیط‌های دریاچه استفاده شده‌اند، این مواد پتانسیل بالایی برای بررسی تغییرات ناگهانی سطح دریاچه‌ها دارند (Yuan et al 2006; Heinecke et al 2016). در مغزه سردریا، مقادیر بالای کربن آلی و غیرآلی با مقادیر Fe و Ca هماهنگ‌اند که این می‌تواند نشان‌دهنده اثر تغییرات

E/P در محیط دریاچه سردریا باشد؛ که گویای مقدار بالای کربن آلی و غیرآلی یک آب‌وهوای خشک و گرم است (Haberzettl et al 2005). در نتیجه همین موضوع به نظر می‌رسد محتویات ارگانیکی دریاچه توسط تغییرات سطح دریاچه کنترل شده است. به طور کلی، مقادیر کربناتی موجود در مغزه در زون مشخص شده هم‌زمان با عصر یخبندان کوچک (LIA) در اروپا تغییرات زیادی داشته است. در این دوره مقادیر بالای کربن غیرآلی نشان‌دهنده سطح پایین دریاچه و دوره کاهش ورود جریان‌های سطحی به دریاچه است. این دوره‌های اوج کربناتی، که با حداکثر Ca در گزارش XRF هم‌زمان است، با لایه‌های رسوبی زردرنگ کریستالی در مغزه مشخص شده است. در گزارش XRD این لایه‌ها حاوی بیش از ۷۰ درصد ژپس تبخیری هستند (شکل ۷). اگرچه مقدار کم کربن غیرآلی در بخش پایینی مغزه پیش از ۱۴۶۰ میلادی ممکن است نتیجه دوره گرم میانی (MCA) باشد که به افزایش ورود مواد آواری به دریاچه منجر شده است، طی این دوره مقادیر کم کربن غیرآلی می‌تواند با مقدار زیاد کربن غیرآلی مشاهده شده ارتباط پیدا کند که این می‌توانسته در اثر تخلیه بیشتر آب شیرین به دریاچه باشد. حضور رسوبات سیلتی در این دوره نیز حاکی از اثر بارش بر محیط رسوب‌گذاری در این دوره است. در این رابطه همبستگی کربن آلی و غیرآلی نیز می‌تواند اطلاعات مهمی ارائه دهد. بالاترین همبستگی بین این دو مقدار طی عصر یخبندان کوچک ($R^2=0.7$) رخ داده است که این می‌تواند تحت تأثیر جذب مواد ارگانیکی محلول به کربنات کلسیم (عنصر غالب موجود در عصر یخبندان کوچک) موجود در محیط باشد (Uhlmann & Horn 2001). همبستگی مثبت و بالای مقادیر کربن آلی و غیرآلی با عنصر Ca (غالباً به شکل ژپس) طی این دوره نیز حاکی از همین موضوع است.



شکل ۶. نمودار ارتباط مقادیر کربن آلی یا سیلیکات‌های زیست‌زا در مغزه سردریا



شکل ۷. نمودار ارتباط مقادیر کربن غیر آلی یا سیلیکات‌های زیست‌زا در مغزه سردریا



شکل ۸. تناوب لایه‌های رسوبی در مغزه سردریا. لایه مورد نظر با حداکثر مقدار کربن غیر آلی و همچنین حداکثر Ca در مغزه مشخص شده است.

نتیجه

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد منطقه جنوب شرق طی ششصد سال اخیر با تغییرات عمده آب‌وهوایی مواجه شده است. مهم‌ترین تغییر اثر عصر یخبندان کوچک بر آب‌وهوای منطقه است. شواهد نشان می‌دهد طی این دوره بین سال‌های ۱۴۶۰ تا ۱۶۵۰ میلادی خشک‌سالی‌های شدیدی در منطقه رخ داده است. در واقع، این دوره را می‌توان با دوره تناوب خشک‌سالی‌های شدید در منطقه مشخص کرد. این نتایج با یافته‌های دیگر نقاط کشور در زمینه شرایط آب‌وهوایی عصر یخبندان کوچک در تضاد است و همچنین با نتایج میلر و همکاران (۲۰۱۶) در زمینه شرایط آب‌وهوایی عصر یخبندان کوچک در ساحل عمان نیز هم‌سو نیست. با وجود این، واکنش متضاد منطقه جنوب شرق به تغییرات آب‌وهوایی دوره هولوسن در دیگر دوره‌ها قابل مشاهده است. در دوره هولوسن پیشین، که شرایط آب‌وهوایی خشک با سطح پایین

دریاچه‌ها در نیمه غربی کشور مشخص می‌شود (Griffiths et al 2001; Stevens et al 2006; Stevens 2001; Djamali et al 2008)، هم‌زمان است با یک دوره مرطوب در جنوب شرق کشور، منطقه هامون (Hamze et al 2016). این نکته شاید کلیدی مهم در پاسخگویی به علت حضور تمدن‌های بزرگ در منطقه جنوب شرق در دوره‌های گذشته باشد. برخی مطالعات نیز آنومالی مثبت بارش‌های نیمه شرقی کشور را در دهه‌های اخیر تحت تأثیر پدیده گرمایش جهانی نشان می‌دهند (Soltani et al 2016). در حال حاضر در کشور ناهمگونی واکنش‌های ناحیه‌ای به تغییرات آب‌وهوایی تحت سناریوهای مختلف مشاهده می‌شود. با وجود این، از میان فاکتورهای آب‌وهوایی به نظر می‌رسد بارش ناهمگونی مکانی بالاتری را در واکنش به تغییرات آب‌وهوایی نشان دهد. تحقیقات نشان می‌دهد واکنش منطقه جنوب شرق به تغییرات بزرگ مقیاس آب‌وهوایی متفاوت است و کمترین میزان افزایش دما در اثر تغییرات گرمایش جهانی در منطقه جنوب شرق برآورد شده است (Dastorani & poormohamadi 2016). تحلیل روند تغییرات بارش در چند دهه اخیر نشان می‌دهد مناطق غربی و جنوب غربی کشور روند کاهشی معناداری را نشان می‌دهد. این در حالی است که جنوب شرق هیچ‌گونه روند معناداری را نشان نمی‌دهد (خلیلی و همکاران ۱۳۹۳). در نتیجه ناهمگونی واکنش منطقه جنوب شرق به تغییرات آب‌وهوایی بزرگ مقیاس نه‌تنها در دوره‌های تاریخی بلکه طی دهه‌های اخیر قابل مشاهده است.

منابع

خلیلی، کیوان و محمد ناظری تهرودی، علی‌رضا مقدم‌نیا، مجتبی مروج، مرضیه عباس‌زاده افشار (۱۳۹۵). «بررسی شاخص خشک‌سالی PCI و روند تغییرات آن در ایران طی نیم قرن اخیر»، *علوم و مهندسی آبیاری*، د ۳۹، ش ۳، صص ۱۹۶ - ۲۰۳.

- Blass, A., Bigler, C., Grosjean, M., & Sturm, M. (2007). Decadal-scale autumn temperature reconstruction back to AD 1580 inferred from the varved sediments of Lake Silvaplana (southeastern Swiss Alps). *Quaternary Research* 68, pp. 184-195.
- Charlotte, S., Miller, Suzanne, A., G., Leroy, Philip, E. F., Collins, Hamid, & A. K., Lahijani (2016). Late Holocene vegetation and ocean variability in the Gulf of Oman, *Quaternary Science Reviews*, Vol. 143, pp. 120-132.
- Colman, S., Peck, J., Hatton, J., Karabanov, E., & King, J. (1999). Biogenic silica records from the BDP93 drill site and adjacent areas of the Selenga Delta, Lake Baikal, Siberia. *J Paleolimnol* 21, pp. 9-17.
- Dastorani, M. T. & Poormohammadi, S. (2016). Mapping of climatic parameters under climate change impacts in Iran, *Hydrological Sciences Journal*, 61:14, 2552-2566, DOI: 10.1080/02626667.2015.1131898.
- Djamali, M., de Beaulieu, J-L., Andrieu-Ponel, V., Berberian, M., Miller, NF., & Gandouin E et al. (2009). A late Holocene pollen record from Lake Almalou in NW Iran: Evidence for changing land-use in relation to some historical events during the last 3700 years. *Journal of Archaeological Science* 36 (7): pp. 1364-1375.
- Fasong Yuan, Braddock, K., Linsley, Stephen S. Howe, Steve P. Lund, John P. McGeehin (2006). Late Holocene lake-level fluctuations in Walker Lake, Nevada, USA, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 240, Issues 3-4, pp. 497-507.

- Gansser, A. (1971). The Taftan Volcano (SE Iran) [J]. *Eclogae, Geol, Helve.* 64, pp. 319–334.
- Griffiths, Huw I., Antje Schwalb, Lora R. Stevens (2001). Environmental change in southwestern Iran: The Holocene ostracod fauna of Lake Mirabad, *The Holocene* 11 (6), pp. 757-764.
- Haberzettl, Torsten; Fey, Michael; Lücke, Andreas; Maidana, Nora; Mayr, Christoph; Ohlendorf, Christian; Schäbitz, Frank; Schleser, Gerhard Hans; Wille, Michael; Zolitschka, Bernd (2005): Age determination of sediment core PTA02-04 from Laguna Potrok Aike, Patagonia (Table 1). PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.672035>, Supplement to: Haberzettl, T et al. (2005): Climatically induced lake level changes during the last two millennia as reflected in sediments of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia (Santa Cruz, Argentina). *Journal of Paleolimnology*, 33 (3), pp. 283-302, <https://doi.org/10.1007/s10933-004-5331-z>
- Heinecke, L., A1 - Mischke, S., A1 - Adler, K., A1 - Barth, A., A1 - Biskaborn, B. K., A1 - Plessen, B., A1 - Nitze, I., A1 - Kuhn, G., A1 - Rajabov, I., & A1 - Herzschuh, U. T1. (2016). Late Pleistocene to Holocene climate and limnological changes at Lake Karakul (Pamir Mountains, Tajikistan) JO - *Clim. Past Discuss.* J1 - CPD VL - 2016 SP - 1 EP - 30 Y1 - Copernicus Publications SN - 1814-9359 UR.
- Hlmann, D. & Horn, W. (2001). *Hydrobiologie der Binnengewässer.* Ulmer, Stuttgart.
- José, M., García-Ruiz, J., Ignacio López-Moreno, Sergio, M., Vicente-Serrano, Teodoro Lasanta-Martínez, Santiago Beguería (2011). Mediterranean water resources in a global change scenario, *Earth-Science Reviews*, Volume 105, Issues 3-4, pp. 121-139.
- Livingstone, D. A. (1955). A Lightweight Piston Sampler for Lake Deposits. *Ecology*, 36: pp. 137-139.
- Lora, R., Stevens, Emi Ito, Antje Schwalb, Herbert, E. Wright (2006). Timing of atmospheric precipitation in the Zagros Mountains inferred from a multi-proxy record from Lake Mirabad, Iran, *Quaternary Research*, Volume 66, Issue 3, pp. 494-500.
- McKay, N., Kaufman, D., & Michelutti, N. (2008). Biogenic silica concentration as a high-resolution, quantitative temperature proxy at Hallet Lake, south-central Alaska. *Geophysical Research Letters* 35.
- Mohammad Ali Hamzeh, Mohammad Hosein Mahmudy Gharaie, Hamid Alizadeh Ketek Lahijani, Morteza Djamali, Reza Moussavi Harami, Abdolmajid Naderi Beni (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*, Vol. 408, Part A, pp. 25-39.
- Rosén, P., Vogel, H., Cunningham, L., Reuss, N., Conley, D., & Persson, P. (2010). Fourier transform infrared spectroscopy, a new method for rapid determination of total organic and inorganic carbon and biogenic silica concentration in lake sediments. *J Paleolimnol* 43, pp. 247-259.
- Soltani, Mohsen, Laux, Patrick, Kunstmann, Harald, Stan, Kayla, Sohrabi, Mohammad, M., Molanejad, Mahmoud, Sabziparvar, Ali-Akbar, Ranjbar Saadatabadi, A., Ranjbar, F., Roustaa, Iman, Zawar-Reza, Peyman, Khoshakhlagh, F., Soltanzadeh, I., Babu, C. A., Azizi, Ghasem, Mathew, Martin (2015). Assessment of climate variations in temperature and precipitation extreme events over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 1-21. [10.1007/s00704-015-1609-5](https://doi.org/10.1007/s00704-015-1609-5).
- Stevens, L. R., Wright, H. E., Ito, Jr, E. (2001). Proposed changes in seasonality of climate during the Lateglacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran, *The Holocene*, pp. 747-755.
- van Zeist, W. (1967). Late Quaternary Vegetation History of Western Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology* 2, 301- 311.
- Vogel, H., Meyer- Jacob, C., Thöle, L., Lippold, J. A., & Jaccard, S. L.: Quantification of biogenic silica by means of Fourier transform infrared spectroscopy (FTIRS) in marine sediments, *Limnology and Oceanography: Methods*, 14, 828-838, 2016.
- Williams, D., Peck, J., Karabanov, E., Prokopenko, A., Kravchinsky, V., King, J., & Kuzmin, M. (1997). Lake Baikal Record of Continental Climate Response to Orbital Insolation during the Past 5 Million Years. *Science* 278, 1114-1117.