J. Oceanography (JOC). Volume14 (54):76-86, summer2023

Journal of Oceanography
Homepage: joc.inio.ac.ir

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Geochemical and sedimentary evidences of a cold and dry climate occurred in around 4000 BP in the Southern Caspian Sea

Hadi Gerivani [*1]

1. Assistant professor, Department of Ocean Sciences, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Sciences (INIOAS), Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 2022/10/9
Revised: 2023/11/9
Accepted: 2023/09/6

Keywords:
Caspian Sea
Sediment Core
4.2 event
Paleoclimate

*Corresponding author:
✉ *Gerivani@inio.ac.ir*
✆ (+98) 9124544538

0000-0002-3565-0201

orcid: 0000-0002-3565-0201

doi: **10.52547/joc.14.54.6**

dor:20,1001,1,15621057.1402,14,54,6,2

ABSTRACT

Background and Objectives: Studying the past climate changes of the earth can have an important role in understanding how similar changes will likely occur and which parameters control them. In addition, based on this data, we will be able to predict more accurately the environmental changes of the earth in the future. After the Last Glacial Maximum (LGM) that ended around 15000 BP, a shorter period of cold climate has been reported in the Pleistocene between ~13000 to 11700 BP (Yanger Darias). Some other short periods of cold climate have been reported during the Holocene like that occurred around 8000 BP. Another main climate changes that occurred in the Holocene is a period of cold and dry climate that is called 4.2 climate event. This event that was reported around the world was associated with many civilization collapses. Some studies showed the effect of this event in the Middle East which for example claimed that the Akkadian Empire in Mesopotamia collapsed under the effect of this climate change. In spite of the past studies, more knowledge of the 4.2 event and its effect on the sedimentary basins will be very useful to understand the similar changes in the future of this region of the earth.

Methods: In the current study, two sediment cores retrieved from the water depths of 400 and 600-metermeters of the eastern part of the south Caspian Sea, near the coastline of Babolsar, were used to assess the 4.2 events. Different geochemical and sedimentological laboratory tests were implemented to assess every change that may represent the effects of the mentioned climate event. The tests, including magnetic susceptibility (MS) with 1 cm increment, continuous XRF measurements and also sedimentary tests to measure the grain size, calcium carbonate, and organic matter (OM) contents for every 2 cm, were performed in INIOAS laboratory (Iran) and CEREGE laboratory of Aix-Marseille University (France). In addition, two bulk samples taken from different horizons of the cores were dated in the Poznan Radiocarbon Laboratory by 14C method.

Findings: Based on the observation in the studied cores, sedimentological and geochemical anomalies likely affected by the 4.2 event were observed in 3900 to 4400 BP and 4400 to 4700 BP in cores taken from water depths 600 and 400 meters, respectively. The concentrations of Li and Zr and their ratio showed an increased anomaly during these periods. The increase was probably caused by relative upraise of physical weathering of the igneous rocks in the Alborz Mountains which itself occurred because of lower vegetation coverage as a result of the cold and dry weather. The concentrations of Ca and Sr also decreased which probably represents lower bioproductivity during the discussed periods. The fall in bioproductivity probably occured by the biological activities deceased under the lower temperature of the water and also lower nutrients resulted from less vegetation coverage. In addition, the relative increase of magnetic susceptibility and grain size shows a higher volume of detrital sediments that confirms the predominance of physical erosion in the surrounding areas.

Conclusion: Considering the accuracy of the chronological tests and also the previous experiences around the world, it seems that the event, so called 4.2, occurred around 4000 BP in the Caspian region and associated with significant environmental effects. Some studies showed that the migration of Indo-European people coincided with this climatic event. Therefore, it seems that the cold climate that was more powerful in the northern attitudes forced Indo-European peoples to migrate to the southern attitudes with warmer climate.

NUMBER OF TABLES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF REFERENCES
2	4	24

مقالهٔ پژوهشی

شواهد رسوب‌شناختی و ژئوشمیایی از یک رخداد آب‌وهوایی سرد و خشک در حدود چهارهزار سال پیش، در دریای خزر جنوبی

هادی گریوانی [1*]

۱. عضو هیئت‌علمی، پژوهشکدهٔ علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوّی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۷
تاریخ بازبینی: ۱۴۰۲/۸/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۵

واژگان کلیدی:
دیرینه اقلیم
رخداد ۴/۲
دریای خزر
مغزه رسوبی

*نویسنده مسئول
Gerivani@inio.ac.ir
orcid: 0000-0002-3565-0201
doi: 10.52547/joc.14.54.6
dor:20,1001,1,15621057.1402,14,54,6,2

چکیده

پیشینه و اهداف: مطالعهٔ تغییرات آب‌وهوایی گذشتهٔ زمین نقشی مهم در درک ما از نحوهٔ تغییرات مشابه و نیز یافتن عوامل مؤثر بر آن داشته و ما را قادر می‌سازد تا پیش‌بینی‌های درست‌تری از شرایط محیطی در آیندهٔ زمین داشته باشیم. پس از آخرین دورهٔ یخبندان کرهٔ زمین که در حدود ۱۵ هزار سال پیش خاتمه یافت، یک دورهٔ سرد در پایان پلیستوسن و در بازهٔ زمانی ۱۳۰۰۰ تا ۱۱۷۰۰ سال پیش به وقوع پیوست که به داریاس نو (Yanger Darias) مشهور است. پس از آن نیز، در هولوسن، دوره‌هایی نسبتاً سرد، مانند دورهٔ سرد حدود ۸۰۰۰ سال پیش، شناسایی شده است. از دیگر تغییرات آب‌وهوایی مهم در هولوسن دوره‌ای نسبتاً سرد و خشک در حدود چهار هزار سال پیش است که به رخداد آب‌وهوایی ۴/۲ مشهور است. این رخداد در گستره‌ای وسیع در سرتاسر جهان گزارش شده که با فروپاشی تمدن‌های باستانی و مهاجرت‌های گستردهٔ انسانی همراه بوده است. مطالعات چندی نیز تأثیرات این رخداد را در خاورمیانه نشان داده و فروپاشی تمدن آکادی‌ها را در بین‌النحرین تحت تأثیر این تغییرات آب‌وهوایی دانسته‌اند. با وجود مطالعات یادشده، شناخت بیشتر این رخداد و تأثیرات آن بر حوضه‌های رسوبی برای درک بیشتر ما از تغییرات مشابه در حال و آیندهٔ این منطقه از کرهٔ زمین بسیار سودمند خواهد بود. مطالعهٔ حاضر با هدف شناخت تأثیرات احتمالی این تغییر آب‌وهوایی در رسوبات دریای خزر انجام شده است.

روش‌ها: برای مطالعهٔ حاضر، دو مغزهٔ گرفته‌شده از اعماق ۴۰۰ و ۶۰۰ متری آب دریا در بخش شرقی دریایی خزر در مناطق نزدیک به بابلسر بررسی شده است. برای بررسی تغییرات جزئی رسوبات که ممکن است نشان‌دهندهٔ تأثیرات رخداد آب‌وهوایی مورد نظر باشد، مجموعه‌ای متنوع از آزمایش‌های رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی روی رسوبات انجام شده است که عبارت‌اند از: تعیین دانه‌بندی ذرات رسوبی به‌روش لیزری، تعیین میزان مواد آلی رسوبات، تعیین میزان کربنات کلسیم، میزان مغناطیس‌پذیری، اندازه‌گیری غلظت عناصر گوناگون با روش اسکن اشعهٔ ایکس (XRF Scan) و تعیین سن رسوبات با استفاده از روش کربن ۱۴. برای انجام سه آزمایش نخست، در طول مغزهٔ رسوبی، از هر ۲ سانتی‌متر نمونه‌برداری و حساسیت مغناطیسی در هر ۱ سانتی‌متر و غلظت عناصر به‌روش XRF در هر ۰/۵ سانتی‌متر انجام شده است. در هریک از مغزه‌های اخذشده در اعماق ۴۰۰ و ۶۰۰ متری آب دریا، یک نمونه، به‌ترتیب، در فواصل ۹۷ و ۸۶ سانتی‌متری از بالای مغزه‌ها تهیه و سن‌سنجی شده است.

یافته‌ها: بر اساس بررسی دو مغزهٔ مورد مطالعه، آنومالی‌های رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی متأثر از رخداد آب‌وهوایی ۴/۲ در بازه‌های زمانی ۳۹۰۰ تا ۴۴۰۰ و ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال پیش، به‌ترتیب، در مغزه‌های اخذشده از اعماق ۶۰۰ و ۴۰۰ متری آب دریا مشاهده شد. بر این اساس، غلظت عناصر تیتانیوم و زیرکونیوم و نسبت آنها در طول این رخداد آب‌وهوایی در حوضهٔ رسوبی مورد بحث افزایش یافته است. دلیل این امر احتمالاً افزایش هوازدگی فیزیکی سنگ‌های آذرین در کوه‌های البرز، به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی ناشی از هوای سرد و خشک، باشد. همچنین کاهش غلظت عناصر کلسیم و استرانسیم و افزایش نسبت این دو در این بازهٔ زمانی احتمالاً شاهدی بر کاهش تولیدات زیستی در دریای آن زمان است. این کاهش در تولیدات زیستی را، از یک سو، به افت دمای آب و کاهش فعالیت موجودات دریازی و، از سوی دیگر، به کاهش میزان مواد مغذی وارده به حوضه، به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی در خشکی و طبیعتاً کاهش امکان رشد و تکثیر موجودات دریایی، مرتبط است. علاوه‌براین، افزایش نسبی اندازهٔ ذرات رسوبی و افزایش نسبی میزان مغناطیس‌پذیری رسوبات نشان‌دهندهٔ افزایش نسبی ورود مواد آواری به حوضه است و، درنتیجه، تأییدی بر غلبهٔ نسبی فرسایش فیزیکی در ارتفاعات به‌شمار می‌آید.

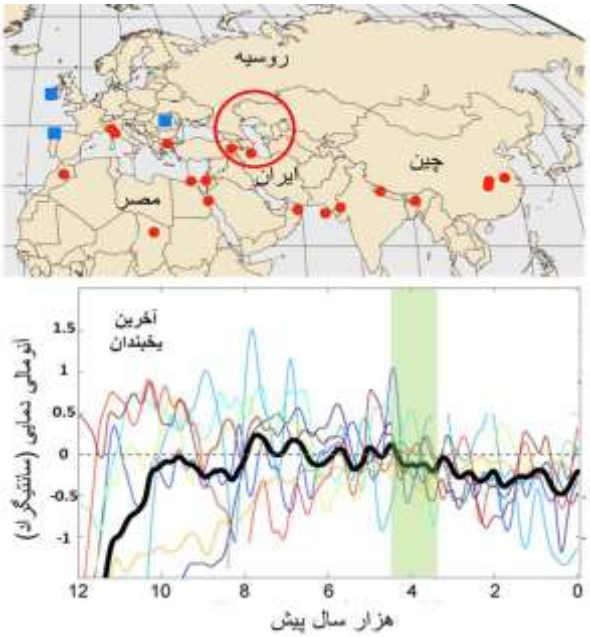
نتیجه‌گیری: با لحاظ دقت آزمایش‌های سن‌سنجی و بررسی سایر تجربیات جهانی، به نظر می‌رسد این رخداد در منطقهٔ خزر نیز در محدودهٔ زمانی حدود ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد رخ داده و با تأثیرات زیست‌محیطی درخور توجهی همراه بوده است. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که مهاجرت اقوام هندواروپایی با این رخداد آب‌وهوایی هم‌زمان بوده است. بنابراین، به نظر می‌رسد احتمالاً سرد شدن هوا باعث مهاجرت اقوام هندواروپایی از عرض‌های جغرافیایی شمالی‌تر به سمت عرض‌های جنوبی در این حدود زمانی شده که، به‌نوبهٔ خود، تأثیراتی عمیق بر گسترش تمدن بشری داشته است.

مقدمه

مطالعهٔ تغییرات آب‌وهوایی گذشته تأثیری بسزا بر درک ما از آنچه اکنون در حال وقوع است و نیز روند تغییرات آب‌وهوایی در آینده خواهد داشت. از این منظر، مطالعهٔ تغییرات آب‌وهوایی در دورهٔ هولوسن که حدود ۱۲ هزار سال اخیر را شامل می‌شود بدین‌سبب‌که، نخست، گونهٔ انسان در این دوره تکامل یافته است و تمدن‌های بشری شکل گرفته‌اند و، دوم، آب‌وهوای کنونی زمین نتیجهٔ تغییرات در این دوره است از اهمیت بیشتری برخوردار است. یکی از این تغییرات آب‌وهوایی مهم در دورهٔ هولوسن که در ابتدای هولوسن پایانی رخ داده رخداد آب‌وهوایی سرد و خشک در حدود ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد، موسوم به رخداد ۴/۲، است که شواهد متعددی از تأثیرات آن بر تمدن‌های بشری گزارش شده است (Ran and Chen, 2019). مطالعات متعددی درخصوص این رخداد آب‌وهوایی صورت گرفته که گسترش مکانی آنها در شکل ۱، به‌نقل از Railsback و همکاران (۲۰۱۷)، نمایش داده شده است. این رخداد در رسوبات دریاچه‌ای (Ohlendorf et al., 2014; Nakamura et al., 2016)، رسوبات یخرفت (Thompson et al., 2002; Menounos et al., 2008)، رسوبات دریایی (Cullen et al., 2000; Arz et al., 2006) و استالاگمیت‌ها (Bar-Matthews et al., 1999; Berkelhammer et al. 2012) مطالعه شده و در هر دو نیم‌کرهٔ شمالی و جنوبی و در شرق و غرب کرهٔ زمین گزارش شده است اما تعداد گزارش‌ها در عرض‌های شمالی محدودتر بوده است.

به نظر می‌رسد این رخداد آب‌وهوایی تأثیراتی مهم بر تمدن داشته و با فروپاشی برخی تمدن‌های اولیه همراه بوده است (Railsback et al., 2017). در منابع علمی، به هم‌زمانی فروپاشی این تمدن‌ها با این رخداد پرداخته شده است: پادشاهی باستانی مصر در درهٔ رود نیل (Stanley et al., 2003)، امپراتوری آکدیان در بین‌النهرین (Cullen et al. 2000)، تمدن هاراپان (Harappan) در درهٔ ایندوس (Staubwasser et al., 2003)، تمدن لانگشان (Longshan) در درهٔ رود هویهی (Huaihe) در چین (Zhang et al., 2010) و تمدن نئولیتیک (Neolithic) در بخش مرکزی چین (Wu and Liu, 2004). در مطالعهٔ Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) روی نمونه‌های رسوبی به‌دست‌آمده از دریاچهٔ نئور در شمال غرب ایران، مطابقت میان شواهد رسوبی و ژئوشیمیایی رسوبات بادرفت در دریاچه و تغییرات آب‌وهوایی طی رخداد ۴/۲ گزارش شد. شایان ذکر است که دریاچهٔ نئور، در حدود ۳۰کیلومتری غرب دریای خزر و ۳۵کیلومتری جنوب شرقی شهر اردبیل، در ارتفاع حدود ۲۵۰۰متری از سطح آزاد دریاها و با مساحتی بالغ بر ۲۱۰ هکتار قرار دارد.

هدف مطالعهٔ حاضر بازسازی دیرینه اقلیم، به‌خصوص در بازهٔ زمانی حدود ۴۰۰۰ سال پیش در منطقهٔ دریای خزر، بر اساس مغزه‌های رسوبی به‌دست‌آمده از بستر دریاست. بدین‌منظور، دو مغزهٔ رسوبی به‌دست‌آمده از عمق‌های ۶۰۰ و ۴۰۰متری آب دریای خزر جنوبی، برای آزمایش‌های ژئوشیمیایی و رسوبی و نیز تعیین سن، به‌روش کربن ۱۴ استفاده و، بر اساس نتایج، شرایط آب‌وهوایی دیرینه بررسی شد و شواهد دالّ بر تأثیر پدیدهٔ آب‌وهوایی مورد بحث بر ویژگی‌های رسوبات منطقه ارزیابی شد.



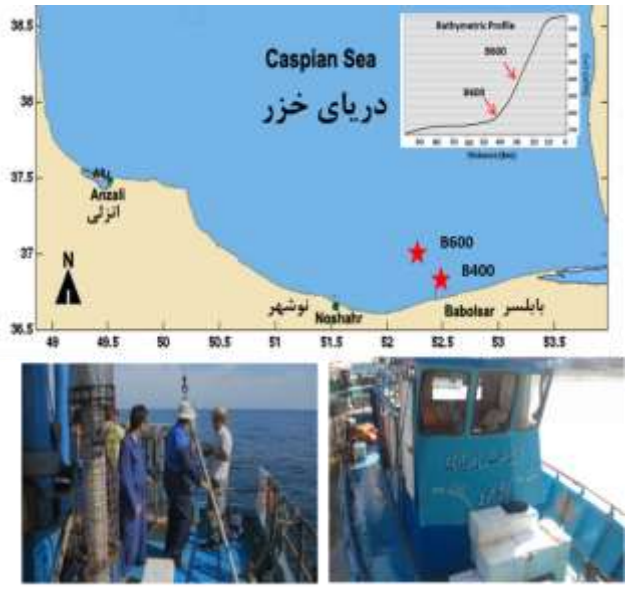
شکل ۱ بالا: گسترش مکانی مطالعاتی که شواهدی از رخداد آب‌وهوایی ۴۰۰۰ سال پیش گزارش کرده‌اند (Railsback et al., 2017). پایین: تغییرات دمایی کرهٔ زمین در دورهٔ هولوسن.

روش پژوهش

۱. منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در شرق دریای خزر جنوبی قرار دارد. طی گشت دریایی در این منطقه، مغزه‌های رسوبی مناسب برای مطالعه تهیه شد (شکل ۲). بخش جنوبی دریای خزر در ناحیهٔ چین‌خوردهٔ آلپی قرار دارد و، ازاین‌رو، مورفولوژی بستر آن بسیار پیچیده‌تر است. به‌طورِکلی، فلات قاره در بخش شرقی خزر جنوبی از بخش غربی آن وسیع‌تر و شیب بستر در آن کمتر است. اما در محل مقطع انتخاب‌شده برای مطالعهٔ حاضر، شیب قاره نیز نسبتاً زیاد است که این مسئله احتمال وجود جریان‌های توربیدایتی و زمین‌لغزش‌های زیردریایی و ثبت اثر آنها را در رسوبات بیشتر می‌کند.

حوضهٔ دریای خزر در دوره‌های زمین‌شناسی فرایندهای رسوب‌گذاری، فرسایش و کوه‌زایی را تجربه کرده و نهشته‌های گوناگونی از رسوبات کربناته، رسوبات آواری، رسوبات ولکانیکی و غیره در بخش‌های آن بر جای مانده است. در آغاز کواترنری، پسروی بزرگی در دریای خزر روی داده به‌طوری‌که تراز آب آن ۳۰۰ متر پایین‌تر از تراز کنونی بوده است. ازاین‌رو، بستر قدیم دریا به‌سرعت فرسایش یافته و در دریای خزر دره‌های رودخانه‌ای و مسیرهای زمین‌لغزشی گسترش یافته است. در کواترنری ستبرای، رسوبات به ۱/۵ کیلومتر می‌رسد. فرونشست حوضه در خزر جنوبی ۳ـ۲ کیلومتر در میلیون سال بوده است (Gerivani and Gerivani, 2016; Bagheri et al.2019).



شکل ۲ منطقه مورد مطالعه، موقعیت‌های نمونه‌برداری و تصاویری از عملیات دریایی.

رسوباتی که توسط رودخانه‌ها وارد دریای خزر می‌شوند ابتدا در نواحی ساحلی و کم‌عمق تهنشست و سپس از نواحی ساحلی به قسمت‌های عمیق مرکزی کشانده شده‌اند و اطراف آنها را ذرات درشت‌دانه‌ای محصور می‌کنند که عموماً از قطعات بزرگ صدف دوکفه‌ای‌ها و شکم‌پایان تشکیل شده‌اند. این فرایند رسوب‌گذاری در تمام طول کواترنری در حوضهٔ دریای خزر فعال است و نهشته‌ای رسوبی این دریا را تشکیل داده است.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تغییرات و رخدادهای آب‌وهوایی، طی گشتی دریایی در منطقهٔ مورد مطالعه، تعدادی مغزهٔ رسوبی، با استفاده از مغزه‌گیر وزنی (gravity corer) ۲متری ساخت شرکت KC، تهیه شد و ۲ مورد از مغزه‌های اخذشده در این بخش از دریا که در عمق‌های ۴۰۰ و ۶۰۰متری تهیه شده بود بررسی ژئوشیمیایی و رسوب‌شناسی شدند. مشخصات مغزه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. پس از برداشت نمونه‌های مغزه، لولهٔ پولیکای درون مغزه‌گیر بیرون آورده شد. سپس، ابتدا و انتهای مغزه روی لولهٔ پی‌وی‌سی (به‌قطر ۵ سانتی‌متر) علامت‌گذاری شد. برای حفظ بهینهٔ نمونهٔ رسوب، ابتدا و انتهای مغزه با استفاده از اسفنج مرطوب بسته و سپس دو طرف آن، به‌کمک چسب نواری، محکم شد تا نمونه جابه‌جا نشود. برای عملیات دریانوردی و نمونه‌برداری‌های لازم، از شناور صیادی کیلکا خزر استفاده شد (شکل ۲).

روی رسوبات دو مغزهٔ مذکور آزمایش‌ها و بررسی‌هایی، شامل دانه‌بندی، تعیین میزان مواد آلی و کربناته، تعیین ترکیب شیمیایی رسوبات با استفاده از روش اسکن XRF (فلورسانس اشعه ایکس) و حساسیت مغناطیسی روی نمونه‌ها صورت گرفت. علاوه‌براین، یک نمونه بالک از هر مغزه برای سن‌سنجی تهیه شد. بررسی نگاشت مغناطیس‌پذیری روشی مرسوم در مطالعات رسوب‌شناختی به‌منظور شناسایی تغییرات در رسوب به‌شمار می‌رود که در مطالعهٔ حاضر مورد توجه قرار گرفته است. بدین‌منظور، مغزه‌ها به آزمایشگاه زمین‌شناسی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوّی منتقل شد و، پیش از آنکه مغزه‌ها باز شوند، میزان مغناطیس‌پذیری رسوبات با استفاده از دستگاه مغناطیس‌سنج از نوع MS2C Bartington در فواصل ۱سانتی‌متری سنجش شد. سپس، مغزه‌ها به دو نیمه تقسیم شدند و، به‌منظور دراختیارداشتن وضعیت ظاهری مغزه‌ها، در قدم اول، از آنها عکس‌برداری شد. یکی از دو نیمهٔ مغزه‌های بازشده، به‌منظور آزمایش‌های ژئوشیمیایی، به دانشگاه مارسی در فرانسه ارسال و نیمهٔ دیگر در آزمایشگاه پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوّی، برای مطالعات رسوب‌شناسی، استفاده شد. ترکیب ژئوشیمیایی مغزه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش اسکن فلورسانس اشعهٔ ایکس در مرکز CEREGE وابسته به دانشگاه Aix-Marseille فرانسه تعیین شد. در این روش، به‌صورت پیوسته در هر ۵ میلی‌متر، میزان عناصر Ar ، Si، Cl، K، Ca، Ti، Mn، Fe، Br، Rb، Sr و Zr تعیین شد. آزمایش‌های رسوب‌شناختی مرسوم، شامل دانه‌بندی لیزری با استفاده از دستگاه مدل Horiba la-950 و تعیین میزان مواد آلی و میزان کربنات با استفاده از کوره، در آزمایشگاه زمین‌شناسی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوّی و در فواصل ۲سانتی‌متری در طول مغزه انجام گرفت. برای هر نمونه، به‌منظور محاسبهٔ میزان مواد آلی، ۴ گرم رسوب خشک در آون دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتیگراد خشک شد و سپس، به‌منظور

محاسبهٔ میزان کربنات، نمونه‌ها به‌مدت ۲ ساعت در دمای ۹۵۰ درجهٔ سانتیگراد قرار داده شدند (Schumacher, 2002). برای تعیین سن رسوبات، از هریک از مغزه‌های B400 و B600 یک نمونه، به‌ترتیب، در فواصل ۹۷ و ۸۶ سانتی‌متری از بالای مغزه‌ها تهیه و، برای تعیین سن به‌روش کربن ۱۴، به Poznan Radiocarbon Laboratory ارسال شد. در این آزمایشگاه، ابتدا، برای جذب کربن آلی، نمونه‌ها با اسید کلریدریک شست‌وشو داده شدند. سن‌های تعیین‌شده با استفاده از CALIB REV8.2 و منحنی Marine20 کالیبره شدند (Reimer et al., 2020). مشخصات نمونه‌های سن‌سنجی و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

به‌منظور بررسی تأثیرات ناشی از رخداد آب‌وهوایی مورد بحث، تغییرات کلیهٔ پارامترهای رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی بر اساس مدل زمان‌ـعمق به‌دست‌آمده از نتایج سن‌سنجی نسبت به زمان ترسیم و تأثیرات احتمالی این رخداد در هر دو مغزه بررسی شد.

جدول ۱ مشخصات مغزه‌های مورد مطالعه

شمارهٔ مغزه	طول و عرض جغرافیایی	عمق آب دریا در محل مغزه‌گیری (m)	طول مغزه (cm)
B400	N 36° 51' 38.0" E 052° 28' 23.4"	۴۱۸	۱۵۶
B600	N 37° 05' 29.6" E 052° 23' 36.5"	۵۸۴	۱۴۷

جدول ۲ مشخصات نمونه‌های سن‌سنجی و نتایج

شمارهٔ مغزه	فواصل نمونه‌گیری از بالای مغزه (cm)	سن رادیوکربن (BP)	سن کالیبره‌شده (BP) برای 2δ (95.4 %) R=-147±90 14C yr
B400	۹۷	۴۰ ± ۴۹۵۰	۲۸۸ ± ۵۲۳۹
B600	۸۶	۴۰ ± ۶۶۶۰	۲۵۵ ± ۷۱۱۳

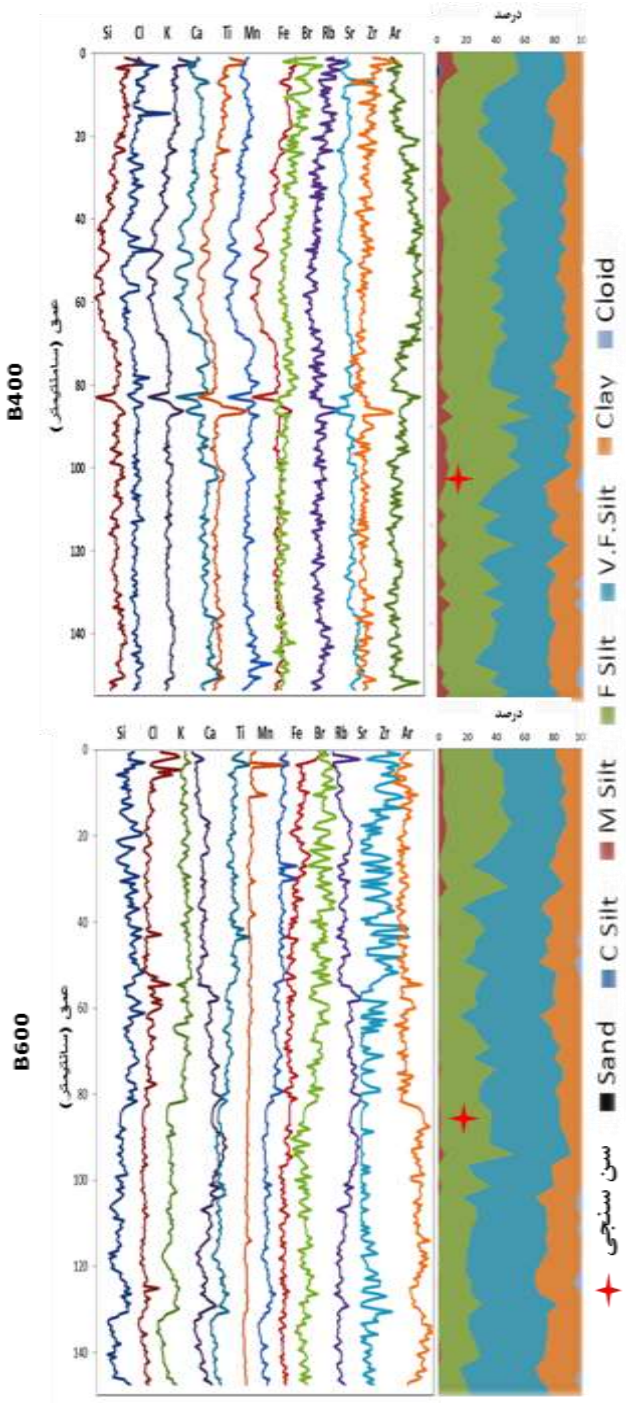
نتایج و بحث

۱. نتایج

الف) سن‌سنجی: دو مغزه در این پژوهش مطالعه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از سن‌سنجی نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. ازنظرِ زمانی، مغزهٔ عمق ۴۰۰متری تا حدود ۸۰۰۰ سال پیش (ابتدای هولوسن میانی) و مغزهٔ عمق ۶۰۰متری تا حدود ۱۴۰۰۰ سال (پلیستوسن پایانی) را پوشش می‌دادند. رخدادهای اقلیمی و غیراقلیمی متعددی، مانند مرز پلیستون‌ـهولوسن و طغیان‌های رودخانه‌ای، ردپایی از خود در این رسوبات بر جای گذاشته‌اند که بررسی آنها خارج از موضوع مطالعهٔ حاضر است. با درنظرگرفتن اینکه هدف مطالعهٔ حاضر شناسایی تأثیرات احتمالی رخداد آب‌وهوایی موسوم به رخداد ۴/۲ است، روی بررسی تغییرات پارامترهای ژئوشیمیایی و رسوب‌شناختی در محدودهٔ زمانی‌ای تمرکز شده است که انتظار می‌رود تأثیرات احتمالی این رخداد مشاهده شود.

ب) آنالیز ژئوشیمیایی: نتایج آنالیز ژئوشیمیایی به‌روش XRF-Scan به‌همراه دانه‌بندی رسوبات در دو مغزهٔ مورد مطالعه نسبت به عمق در شکل ۳ نمایش داده شده است. غلظت عناصر در این نمودارها، برای سهولت در نمایش، نسبت به بیشینهٔ مقادیر غلظت هر عنصر نرمالیزه شده است. غلظت عناصر شیمیایی با تغییرات و نوساناتی در طول هر دو مغزه همراه است که به‌طور خاص می‌توان به تغییرات نسبتاً شدید در فاصلهٔ حدود ۸۵سانتی‌متری نسبت به بالای مغزه B400 اشاره کرد. بااین‌حال، لازمهٔ مطالعهٔ تأثیرات احتمالی رخداد مورد بحث در این پژوهش بررسی تغییرات غلظت این عناصر و نیز سایر پارامترهای رسوب‌شناختی در بستر زمان است که در ادامه بدان پرداخته می‌شود.

ج) دانه‌بندی رسوبات: بر اساس نتایج، رسوبات مشاهده‌شده در این منطقه از خزر جنوبی، ازنظرِ دانه‌بندی، عموماً در محدودهٔ سیلت قرار دارند و اندازهٔ ذرات رسوبی در مغزهٔ ۶۰۰متری از مغزهٔ ۴۰۰متری ریزتر است. درواقع، مطابق با انتظار، هرچه از مناطق کم‌عمق نزدیک به ساحل به سمت مناطق عمیق‌تر در روی شیب قاره و سپس منطقهٔ عمیق دریایی می‌رویم، از میانگین اندازهٔ ذرات کاسته می‌شود. تأمین رسوبات در این بخش عموماً توسط رودخانه‌های بخش جنوبی دریای خزر انجام می‌شود و طبیعتاً، با فاصله گرفتن از ساحل، انتظار می‌رود از اندازهٔ ذرات رسوبی کاسته شود.



شکل ۳ غلظت عناصر شیمیایی (XRF) و ترکیب دانه‌بندی رسوبات در دو مغزهٔ مطالعه‌شده نسبت به عمق از بستر دریا (بالای مغزه). در این نمودارها، غلظت عناصر نسبت به بیشینهٔ مقادیر هر نمودار نرمالیزه شده است.

۲. بحث

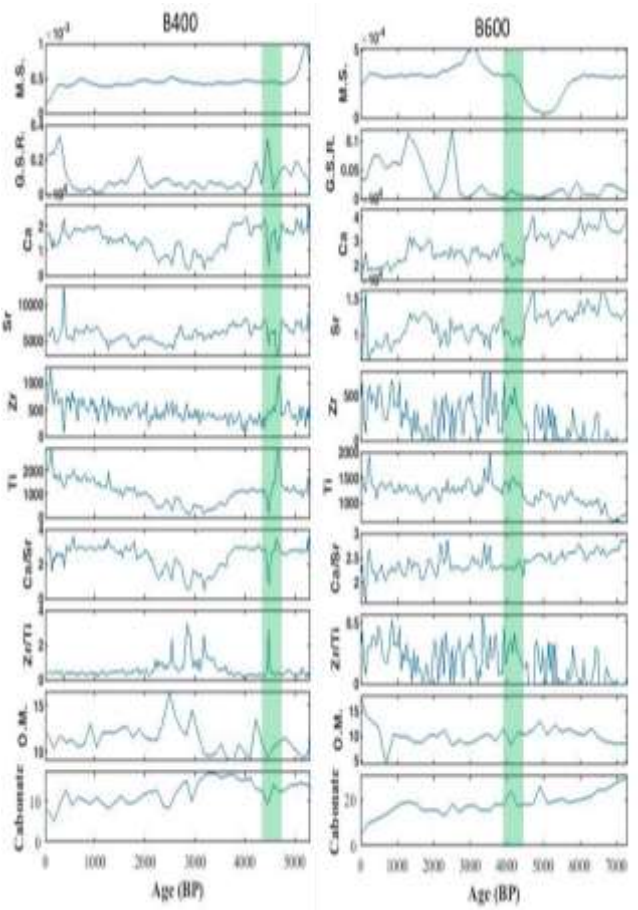
تغییرات غلظت و شدت برخی از پارامترهای به‌دست‌آمده در این مطالعه در شکل ۴ و در گذر زمان نمایش داده شده است. در این شکل، نمودار تغییرات میزان مغناطیس‌پذیری، نسبت اندازهٔ ذرات (G.S.R) که نسبت مجموع درصد ذرات ماسه و سیلت درشت‌دانه به مجموع درصد سیلت ریزدانه و رس را نشان می‌دهد، میزان کربنات، میزان مواد آلی به‌همراه تغییرات غلظت چهار عنصر و نیز نسبت دو به دوی آنها ارائه شده است. بر اساس بررسی منابع علمی، گمان می‌رود پارامترهای مذکور تغییرات آب‌وهوایی مربوط به رخداد ۴/۲ را در منطقهٔ مورد مطالعه نشان دهند. شایان ذکر است که رسوبات در مغزه‌های مورد مطالعه عموماً از رس و سیلت تشکیل شده‌اند و رسوبات درشت‌تر ماسه‌ای به‌ندرت مشاهده می‌شود. ازاین‌رو، از نسبت ذرات ماسه و سیلت درشت‌دانه به ذرات ریزتر برای بررسی تغییرات اندازهٔ ذرات استفاده شده است. غلظت کلسیم (Ca) و استرانسیوم (Sr) عموماً با میزان تولیدات زیستی (bioproductivity) در ارتباط است. نسبت آنها معیاری مناسب‌تر برای ارزیابی میزان تولیدات زیستی به‌شمار می‌رود (Lahijani et al. 2020). عناصر زیرکونیوم و تیتانیوم عموماً از سنگ‌های آذرین ناشی می‌شوند. در حوضهٔ پیرامونی دریای خزر، سنگ‌های آذرین عموماً در کوه‌های البرز یافت می‌شوند. از این نظر، Lahijani و همکاران (۲۰۲۰) سنگ‌های آذرین واقع در کوه‌های البرز را منشأ این عناصر در دریای خزر می‌دانند.

در مغزهٔ گرفته‌شده از عمق ۴۰۰متری در محدودهٔ زمانی ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال پیش، غلظت کلسیم و استرانسیم به‌نحو درخور توجهی افت می‌کند. نسبت این دو یک افت نسبتاً شدید اما کوتاه‌مدت در حدود ۴۴۰۰ سال پیش را نشان می‌دهد. غلظت این دو عنصر در مغزهٔ ۶۰۰متری نیز با کاهشی درخور توجه در بازهٔ زمانی ۳۹۰۰ تا ۴۴۰۰ سال پیش همراه است. نسبت Ca/Sr در این مغزه، همانند مغزهٔ عمق ۴۰۰متری، افتی اندک و کوتاه‌مدت را در حدود ۴۴۰۰ سال پیش نشان می‌دهد. با توجه به دقت سن‌سنجی‌ها، واقع شدن افت نسبت Ca/Sr در محدودهٔ ۴۴۰۰ سال پیش در هر دو مغزه اتفاقی و استنادناپذیر به نظر می‌رسد اما افت این نسبت و نیز مقادیر غلظت این دو عنصر در هر دو مغزه مؤید کاهش تولیدات زیستی در حوضهٔ خزر جنوبی در حدود زمانی یادشده است که با شرایط آب‌وهوایی سرد و خشک مورد انتظار از رخداد ۴/۲ سازگار است. در طول این بازهٔ زمانی، افت دما و خشک بودن هوا می‌توانسته است باعث کاهش دمای آب و فعالیت‌های زیستی در دریا شود و، درنتیجه، افت تولیدات زیستی را در پی داشته باشد. علاوه‌براین، با درنظرگرفتن این نکته که یکی از منابع عمدهٔ مواد مغذی در دریاها رودخانه‌ها هستند که تحت تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی قرار می‌گیرند (Caddy and Bakun, 1994)، می‌توان انتظار داشت که افت تولیدات زیستی در محدودهٔ مورد مطالعه در بازهٔ زمانی رخداد ۴/۲ می‌توانسته است از کاهش پوشش

گیاهی در ارتفاعات خزر، به‌دلیل سرد و خشک بودن هوا، و درنتیجه کاهش محلی مواد مغذی همراه با رودخانه‌ها متأثر شده باشد. در دریای خزر، بخش عمدهٔ مواد مغذی ازطریقِ رودخانهٔ ولگا تأمین می‌شود (Tuzhilkin et al., 2005)؛ بااین‌حال، مواد مغذی همراه با رودخانه‌های جنوبی که از ارتفاعات البرز منشأ می‌گیرند، به‌صورت محلی، در مناطق نزدیک به ساحل، نظیر محدودهٔ مورد مطالعه، تأثیرگذارند. میزان کربنات و میزان مواد آلی، بدین‌دلیل‌که با فواصل ۲سانتی‌متری اندازه‌گیری شده‌اند، در مقایسه با نتایج XRF که هر نیم سانتیمتر سنجیده شده‌اند، دقت کمتری دارند. بااین‌حال، میزان مواد آلی در هر دو مغزه اندکی کاهش را نشان می‌دهد که با مشاهدات و مباحث یادشده مبنی بر افت تولیدات زیستی همخوانی دارد.

غلظت عناصر زیرکونیوم و تیتانیوم در مغزهٔ عمق ۴۰۰متری، افزایشی شدید را در حدود زمانی ۴۷۰۰ سال پیش و سپس افتی ناگهانی را نشان می‌دهد. نسبت این دو نیز در حدود ۴۴۰۰ سال پیش با افزایشی درخور توجه و کوتاه‌مدت همراه است. غلظت این دو عنصر در مغزهٔ عمق ۶۰۰متری از حدود ۴۷۰۰ سال پیش افزایش یافته است و سپس در ۳۹۰۰ سال پیش افت می‌کند. این زمان با محدودهٔ زمانی افت تولیدات زیستی که قبلاً دربارهٔ آن بحث شد همخوانی دارد. نسبت این دو عنصر نیز در این مغزه در بازهٔ زمانی مذکور افزایش نشان می‌دهد. نسبت Zr/Ti و غلظت این دو عنصر پس از افت در حدود ۳۹۰۰ سال پیش در مغزهٔ عمق ۶۰۰متری مجدداً افزایش یافته است و این شرایط تا حدود ۲۰۰۰ سال پیش کماکان باقی می‌ماند اما آنچه به نظر بااهمیت می‌رسد هم‌زمانی افزایش این پارامترها همراه با افت میزان کلسیم و استرانسیم در بازهٔ زمانی ۳۹۰۰ تا ۴۴۰۰ سال پیش است، به‌خصوص آنکه افت غلظت کلسیم و استرانسیوم همراه با افزایش نسبت این دو عنصر است که، به‌نوبهٔ خود، کاهش بیشتر میزان استرانسیوم را که در پوستهٔ آهکی جانداران دریایی یافته می‌شود نشان می‌دهد و مؤید کاهش فعالیت‌های زیستی است. همان‌طورکه قبلاً بحث شد، منشأ زیرکونیوم و تیتانیم در حوضهٔ خزر جنوبی احتمالاً سنگ‌های آذرین در کوه‌های خزر است. بنابراین، افزایش این عناصر و نسبت آنها نشان‌دهندهٔ افزایش فرسایش و هوازدگی در کوه‌های خزر است که ممکن است بر اثر کاهش پوشش گیاهی ناشی از سردی و کاهش رطوبت هوا رخ داده باشد. در مطالعهٔ Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) در دریاچهٔ نئور نیز، افزایش غلظت زیرکونیوم و تیتانوم هم‌زمان با رخداد مورد بحث گزارش شد. نکته‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد کاهش غلظت زیرکونیم و تیتانیوم در مغزهٔ B600، در مقایسه با مغزهٔ B400، است. درحالی‌که بیشینهٔ غلظت زیرکونیوم و تیتانیوم در مغزهٔ B400، به‌ترتیب، حدود ۱۲۰۰ و ۲۸۰۰ واحد (شمارش به ازای هر ثانیه) است، در مغزهٔ B600، به‌ترتیب، به حدود ۷۰۰ و ۱۸۰۰ واحد افت می‌کند. با توجه به دورتر بودن مغزهٔ B600، در مقایسه با مغزهٔ B400، از خط ساحلی و، درنتیجه، کوه‌های البرز، افت غلظت این عناصر با دورتر شدن از ط ساحلی مؤید منشأ مذکور برای این عناصر باشد. در بازه‌های زمانی بحث‌شده، نسبت اندازهٔ ذرات در مغزهٔ B400 به‌نحوی بارز افزایش یافته که به‌معنای افزایش نسبت ذرات ماسه و سیلت درشت‌دانه است. این نسبت در مغزهٔ B600 نیز در بازهٔ مذکور افزایشی اندک نشان می‌دهد. مغناطیس‌پذیری که در رسوبات دریایی عموماً مؤید منشأ آواری رسوبات است در این مغزه با افزایشی نسبی و چشمگیر همراه است. این پارامتر در مغزهٔ B400 نیز با افزایش نسبی اندکی همراه است که در نمودار شکل ۴ به‌خوبی مشاهده نمی‌شود. مجموعاً، درشت‌تر شدن نسبی دانه‌بندی و افزایش مغناطیس‌پذیری در بازه‌های زمانی مذکور نشان‌دهندهٔ افزایش میزان رسوبات آواری منتقل‌شده به حوضهٔ رسوبی است که احتمالاً در نتیجهٔ افزایش فرسایش فیزیکی در کوه‌های البرز بوده است و مشاهدات و مباحث یادشده را دربارهٔ رخداد آب‌وهوایی ۴/۲ تأیید می‌کند. در مطالعه‌ای روی مغزه‌های رسوبی به‌دست‌آمده از دریاچهٔ Yoa در کشور چاد نیز، مشابه با مشاهدات مطالعهٔ حاضر، افزایش حساسیت مغناطیسی هم‌زمان با رخداد ۴/۲ گزارش شده است. این افزایش در رسوبات دریاچهٔ یائو بر اثر افزایش ورود رسوبات بادی به دریاچه، به‌دلیل گسترش بیابان در این زمان، بوده است (Kropelin et al., 2008). علاوه‌براین، در مطالعه‌ای روی مغزه‌های دریاچهٔ وان، افزایش میزان کوارتز که نشان‌دهندهٔ افزایش منشأ آواری رسوبات است هم‌زمان با رخداد ۴/۲ مشاهده شده است (Lemcke and Sturm 1997). در مغزه‌های مطالعه‌شده در این پژوهش، میزان سیلیس تغییر درخور توجهی در این زمان نشان نمی‌دهد که احتمالاً به منشأ متفاوت رسوبات در دو دریاچه ربط دارد. بااین‌حال و همان‌طورکه بحث شد، مشابه با مشاهدات در دریاچهٔ وان، میزان رسوبات با منشأ آواری افزایش یافته است.

اگرچه، ازنظرِ تئوری، افزایش میزان زیرکونیوم و تیتانیوم منشأ برون‌حوضه‌ای دارد، اول آنکه، برای آن شواهدی در دسترس نیست و، دوم آنکه، با درنظرگرفتن هم‌زمانی آن با کاهش تولیدات زیستی، کاهش غلظت آن با دور شدن از ساحل و هم‌زمان شدن آن با رخداد آب‌وهوایی‌ای سرد و خشک که در مطالعات بسیاری بدان اشاره شده است احتمال این فرض را کاهش می‌دهد.



شکل ۴ تغییرات پارامترهای رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی در طول مغزه‌های رسوبی مطالعه‌شده، بر اساس زمان. در این شکل، غلظت عناصر منتخب، شامل زیرکونیوم (Zr)، تیتانیوم (Ti)، کلسیم (Ca) و استرانسیم (Sr)، و نسبت‌های آنها (Ca/Sr و Zr/Ti)، نسبت اندازهٔ ذرات (G.S.R که بیان‌کنندهٔ نسبت درصد ذرات ماسه و سیلت درشت‌دانه به درصد رس و سیلت ریزدانه است)، میزان کربنات (Carbonate)، میزان مواد آلی (O.M.) و میزان مغناطیس‌پذیری (M.S.) ارائه شده است. باند سایهٔ سبزرنگ نشان‌دهندهٔ محدودهٔ زمانی است که شواهد دالّ بر رخداد آب‌وهوایی موسوم به رخداد ۴/۲ در آن مشاهده می‌شود.

درمجموع، در مغزه‌های B600 و B400، شواهد دالّ بر رخداد آب‌وهوایی موسوم به ۴/۲ در بازهٔ زمانی ۳۹۰۰ تا ۴۴۰۰ و ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال پیش مشاهده می‌شود که اختلاف زمانی چند صد ساله‌ای بین آنها ملاحظه می‌شود. با درنظرگرفتن دقت سن‌های کالیبره‌شده برای هر مغزه که، به‌ترتیب، ±۲۵۵ و ±۲۸۸ سال محاسبه شده است، این تفاوت زمان تخمینی بین دو مغزه منطقی به نظر می‌رسد. در مطالعات پیشین نیز، بر تفاوت میان زمان‌های تخمینی تأکید شده است. Railsback و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی مطالعات پیشین بیان می‌کنند که تفاوت میان زمان تخمین‌زده‌شده برای این رخداد در مطالعات گوناگون به‌نحوی است که، درحالی‌که برخی از مطالعات زمانی را برای پایان این رخداد محاسبه کرده‌اند، بر اساس برخی دیگر از مطالعات، این رخداد هنوز شروع نشده است. زودترین زمان تخمینی برای شروع این رخداد ۴۳۸۰ سال پیش و دیرترین زمان شروع ۳۴۱۰ سال پیش است. ازنظرِ طول زمانی رخداد نیز، کمترین زمان تخمینی ۱۲۰ سال و بیشترین آن ۶۰۰ سال است. با وجود این تفاوت‌های زمانی درخور توجه و با درنظرگرفتن دقت سن‌سنجی در مطالعات، Railsback و همکاران (۲۰۱۷) جمع‌بندی می‌کنند که این رخداد احتمالاً در بازهٔ زمانی بین ۴۱۵۰ تا ۳۹۳۰ سال پیش رخ داده است. دراین‌صورت، در منطقهٔ خزر، سن تخمینی این رخداد بر اساس نتایج مغزهٔ B600 به زمان ذکرشدهٔ Railsback و همکاران نزدیک‌تر است و احتمالاً باید حدود ۴۰۰۰ سال پیش زمان واقعی این رویداد در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

در مطالعهٔ حاضر، دو مغزهٔ رسوبی تهیه‌شده از بستر دریای خزر جنوبی و نزدیک سواحل بابلسر، به‌منظور ارزیابی شواهد احتمالی از رخداد آب‌وهوایی حدود ۴۰۰۰ سال پیش، مطالعه و بررسی شد. بدین‌منظور، آزمایش‌های رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی به‌روش XRF روی رسوبات صورت گرفت و، علاوه‌براین، سن رسوبات با استفاده روش کربن ۱۴ تخمین زده شد. بر اساس مشاهدات و تحلیل نتایج، آنومالی‌های رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی که مبیّن شرایط آب‌وهوایی سرد و خشک گزارش‌شده در مطالعات پیشین است، در بازه‌های زمانی ۳۹۰۰ تا ۴۴۰۰ و ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال پیش، به‌ترتیب، در مغزه‌های به‌دست‌آمده از اعماق ۶۰۰ و ۴۰۰متری مشاهده شد. بر اساس این مشاهدات، غلظت عناصر تیتانیوم و زیرکونیوم و نسبت آنها در طول این رخداد آب‌وهوایی در حوضهٔ رسوبی مورد بحث افزایش یافته است که گمان می‌رود دلیل این امر افزایش هوازدگی فیزیکی سنگ‌های آذرین در کوه‌های البرز، به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی ناشی از هوای سرد و خشک، باشد. همچنین غلظت عناصر کلسیم و استرانسیم در این بازهٔ زمانی کاهش و نسبت این دو افزایش را نشان می‌دهد که شاهدی بر کاهش تولیدات زیستی در دریای آن زمان است. احتمالاً این کاهش در تولیدات زیستی را، از یک سو، به افت دمای آب و کاهش فعالیت موجودات دریازی و، از سوی دیگر، به کاهش میزان مواد مغذی وارده به حوضه، به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی در خشکی و طبیعتاً کاهش امکان رشد و تکثیر موجودات دریایی، مرتبط است. علاوه‌براین، افزایش نسبی اندازهٔ ذرات رسوبی و افزایش نسبی میزان مغناطیس‌پذیری رسوبات نشان‌دهندهٔ افزایش نسبی ورود مواد آواری به حوضه است و، درنتیجه، تأییدی بر غلبهٔ نسبی فرسایش فیزیکی در ارتفاعات به‌شمار می‌آید. افزایش نسبی میزان مواد آلی و کاهش

نسبی میزان کربنات در بازه‌های زمانی مذکور نیز در مطابقت با سایر مشاهدات است.

با درنظرگرفتن دقت آزمایش‌های سن‌سنجی و بررسی تجربیات گزارش‌شده در مطالعات پیشین درخصوص بازهٔ زمانی رخداد مورد بحث (مانند Railsback et al., 2017; Ran and Chen, 2019)، به نظر می‌رسد این رخداد در منطقهٔ خزر نیز در محدودهٔ زمانی حدود ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد رخداد داده و با تأثیرات محیطی درخور توجهی همراه بوده است.

نکتهٔ مهمی که همواره در بررسی تغییرات آب‌وهوایی باید مدنظر قرار گیرد تأثیرات عمیقی است که این تغییرات بر جوانب زندگی انسان می‌گذارند. رخداد آب‌وهوایی مذکور نیز با تغییراتی درخور توجه در تمدن‌های باستانی بشر همراه بوده است که برخی از آنها، به‌استناد منابع و مطالعات پیشین، ذکر شد. یکی از پدیده‌های انسانی مرتبط با این رخداد آب‌وهوایی مهاجرت اقوام هندوـاروپایی است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که مهاجرت این اقوام به هند با این رخداد آب‌وهوایی هم‌زمان بوده است (Kochhar, 2017). اگرچه اظهارنظر درخصوص تأثیرات احتمالی این رخداد در مهاجرات‌های بشری فراتر از نتایج مطالعهٔ حاضر و نیازمند مطالعات گسترده و متعدد است، به نظر می‌رسد احتمالاً سرد شدن هوا باعث مهاجرت اقوام هندوـاروپایی از عرض‌های جغرافیایی شمالی‌تر به سمت عرض‌های جنوبی در این حدود زمانی شده که، به‌نوبهٔ خود، تأثیراتی عمیق بر گسترش تمدن بشری داشته است.

مشارکت نویسندگان

در نگارش مقالهٔ حاضر، نویسندگان سهمی یکسان داشتند.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوّی و با حمایت آن انجام شده است. ازاین‌رو، مؤلف مراتب سپاسگزاری خود را اظهار می‌دارد. همچنین از آزمایشگاه مرکز CEREGE وابسته به دانشگاه Aix-Marseille فرانسه و آزمایشگاه Poznan Radiocarbon Laboratory، به‌خاطر آزمایش‌های XRF و سن‌سنجی، قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است».

منابع

[1] . Arz, H.W.; Lamy, F. & Pätzold, J., 2006, "A pronounced dry event recorded around 4.2 ka in brine sediments from the northern Red Sea". *Quaternary Research*, 66, 432-441

[2] . Bagheri, H. & Naderi Beni, A. M., 2019, "Reconstruction of Sea Level Changes using Magnetic Susceptibility Variations in Southeastern Caspian Sea". *Journal of Oceanography*, 10(37), 11-21

[3] . Bar-Mathews, M.; Ayalon, A.; Kaufman, A. & Wasserburg, G.J., 1999, "The Eastern Mediterranean paleoclimate as a reflection of regional events: Soreq cave, Israel". *Earth and Planetary Science Letters*, 166, 85–95

[4] . Berkelhammer, M.; Sinha, A.; Stott, L.; Cheng, H.; Pausata, F.S.R. & Yoshimura, K., 2012, "An abrupt shift in the Indian Monsoon 4000 years ago". In: Giosan, L. (ed.). *Climates, Landscapes, and Civilizations: American Geophysical Union Monograph*, 198, 75–87

[5] . Stanley, J.-D.; Krom, M.D.; Cliff, R.A. & Woodward, J.C., 2003, "Nile flow failure at the end of the Old Kingdom, Egypt: strontium isotopic and petrologic evidence". *Geoarchaeology: An International Journal*, 18, 395–402

[6] . 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*, 28, 379-382

[7] . Gerivani, H. & Gerivani, B., 2016, "Gas Hydrate in the Caspian Sea and Assessing the Effects of Global Warming on it". *Journal of Oceanography*, 7(26), 33-41

[8] . Kochhar R., 2017, *The Aryan chromosome*. The Indian ERxpress

[9] . Kropelin, S.; Verschuren, D.; Lézine, A.-M.; Eggermont, H.; Cocquyt, C.; Francus, P.; Cazet, J.-P.; Fagot, M.; Rumes, B.; Russell, J.M.; Darius, F.; Conley, D.J.; Schuster, M.; von Suchodoletz, H. & Engstrom, D.R., 2008, "Climate-driven ecosystem succession in the Sahara: The past 6000 years". *Science*, 320, 765–768

"The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP)". *Radiocarbon*, 62(4): 725-757

[18] .Caddy, J.F. & Bakun, A., 1994, "A tentative classification of coastal marine ecosystems based on dominant processes of nutrient supply". *Ocean & coastal management*, 23(3), pp.201-211

[19] .Tuzhilkin, V.S.; Katunin, D.N. & Nalbandov, Y.R., 2005, "Natural chemistry of Caspian Sea waters". *The Caspian Sea Environment*, pp.83-108

[20] .Schumacher, B.A., 2002, Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. Ecological Risk Assessment Support, Center Office of Research and Development, US. Environmental Protection Agency

[21] .Sharifi, A.; Pourmand, A.; Canuel, E.A.; Ferer-Tyler, E.; Peterson, L.C.; Aichner, B.; Feakins, S.J.; Daryaee, T.; Djamali, M.; Beni, A.N. & Lahijani, H.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, pp. 215-230

[22] .Staubwasser, M.; Schneider, R. R. & Steig, E. J., 2003, "Holocene climate variability". *Quaternary Research*, 62, 243-255.

[23] .Thompson, L.G.; Mosley-Thompson, E.; Davis, M.E.; Henderson, K. A.; Brecher, H.H.; Zagorodnov, V.S.; Mashiotta, T.A.; Lin, P.-N.; Mikhalenko, V.N.; Hardy, D.R. & Beer, J., 2002, "Kilimanjaro ice core records: evidence of Holocene climate change in tropical Africa". *Science*, 298, 589-593

[24] .Wu, W. & Liu, T., 2004, "Possible role of the 'Holocene Event 3' on the collapse of Neolithic Cultures around the Central Plain of China". *Quaternary International*, 117, 153–166

[10] .Lahijani H.A.; Beni A.N.; Tudryn, A.; Hosseindoust, M.; Habibi, P. & Pourkerman, M., 2020, "Unraveling extreme events from deep water cores of the south Caspian Sea". *Quat Int*, 540: 111-119

[11] .Lemcke, G. & Sturm, L., 1997, "δ18O and trace element measurements as proxy for the reconstruction of climate changes at Lake Van {Turkey): Preliminary Results". In: Dalfes, H.N., Kukla, G., Weiss, H., (Eds.), *Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse: NATO ASI Series*, 149, 653–678

[12] .Menounos, B.; Clague, J.J.; Osborn, G.; Luckman, B.H.; Lakeman, T.R. & Minkus, R., 2008, "Western Canadian glaciers advance in concert with climate change circa 4.2 ka". *Geophysical Research Letters*, 35, L07501, oi:10.1029/2008GL033172

[13] .Nakamura, A.; Yokoyama, Y.; Maemoku, H.; Yagi, H.; Okamura, M.; Matsuoka, H.; Miyake, N.; Osada, T.; Adhikari, D.P.; Dangol, V.; Ikehara, M.; Miyari, Y. & Matsizaki, H., 2016, "Weak monsoon event at 4.2 ka recorded in sediment from Lake Rara, Himalayas". *Quaternary International*, 397, 349–359

[14] .Ohlendorf, C.; Fey, M.; Massaferro, J.; Haberzettl, T.; Laprida, C.; Lücke, A.; Maidana, N.; Mayr, C.; Oehlerich, M.; Marcau, J.R.; Wille, M.; Corbella, H.; St-Onge, G.; Schäbitz, F. & Zolitschka, B., 2014, "Late Holocene hydrology inferred from lacustrine sediments of Laguna Cháltel (southeastern Argentina)". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 411, 229–248

[15] .Railsback, L.B.; Liang, F.; Brook, G.A.; Voarintsoa, N.R.G.; Sletten, H.R.; Marais, E.; Hardt, B.; Cheng, H. & Edwards, R.L., 2018, "The timing, two-pulsed nature, and variable climatic expression of the 4.2 ka event: A review and new high-resolution stalagmite data from Namibia". *Quaternary Science Reviews*, 186, pp.78-90

[16] .Ran, M. & Chen, L., 2019, "The 4.2 ka BP climatic event and its cultural responses". *Quat Int*, 521: 158-167

[17] .Reimer, P.J.; Austin, W.E.; Bard, E.: Bayliss, A.; Blackwell, P.G.; Ramsey, C.B.; Butzin, M.; Cheng, H.; Edwards, R.L.; Friedrich, M. & Grootes, P.M., 2020,

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Gerivani, H., Assistant Professor, Marine Geology, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), Tehran, Iran.

✉ *Gerivani@inio.ac.ir* 0000-0002-3565-0201

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) *Parsi, M.; Akbarpour Jannat, M.R., (2021). Tsunami warning system using of IoT. J. of Oceanography., Spring 2021; 11(44): 1-17.*

http://doi.org/10.52547/joc.14.54.6

http://joc.inio.ac.ir/article-1-1737-fa.html

https://orcid.org/ 0000-0002-3565-0201

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.