



پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران

PAZHOSHESH-HA-YE BASTANSHENASI IRAN
P. ISSN: 2345-5225 & E. ISSN: 2345-5500
Homepage: <https://nbsh.basu.ac.ir/>
Vol. 14, No. 43, Winter 2025



1. Assistant Professor of Environmental Engineering, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (Corresponding Author).

Email: al.vaezi@yahoo.com

2. Associate Professor of Geology, Aix Marseille Univ, Univ Avignon, CNRS, IRD, IMBE (Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie), Marseille, France.

3. Associate Professor of Geology, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

4. Associate Professor of Geology, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), Tehran, Iran.

Citations: Vaezi, A., Djamali, M., Tavakoli, V. & Naderi Beni, A., (2025). "Paleoenvironmental and Paleoclimatic Changes and their Reciprocal Effects on Ancient Settlements in Southern Iran, with a Focus on the Halil Rud Cultural Zone, from 4000 to 2900 Years Ago". *Pazhohesh-ha-ye Bastan shenasi Iran*, 14(43): 37-63. <https://dx.doi.org/10.22084/nb.2023.26444.2501>

Homepage of this Article: https://nbsh.basu.ac.ir/article_5907.html?lang=en

PAZHOSHESH-HA-YE BASTANSHENASI IRAN
Archaeological Researches of Iran
Journal of Department of Archaeology, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

Publisher: Bu-Ali Sina University. All rights reserved.

© Copyright©2022, The Authors. This open-access article is published under the terms of the **Creative Commons**.

Paleoenvironmental and Paleoclimatic Changes and their Reciprocal Effects on Ancient Settlements in Southern Iran, with a Focus on the Halil Rud Cultural Zone, from 4000 to 2900 Years Ago

Alireza Vaezi¹ , Morteza Djamali² , Vahid Tavakoli³ ,
Abdolmajid Naderi Beni⁴

<https://dx.doi.org/10.22084/nb.2023.26444.2501>

Received: 2022/06/16; Revised: 2022/08/24; Accepted: 2022/09/10

Type of Article: **Research**

Pp: 37-63

Abstract

In the present study, multi-proxy climatic records—including palynological, sedimentological, and geochemical data—were employed to reconstruct palaeoenvironmental changes in the Halil Rud cultural zone from 4 to 2.9 ka BP, based on a 2.5-meter sediment core retrieved from a peat bog near the excavation site at Konar Sandal, located near Jiroft in southeastern Iran. The relatively low abundance of desert shrubs in the Konar Sandal sediment core indicates a humid/semi-humid climate from approximately 4 to 3.4 ka BP. Tepe Yahya shows occupation during this period (IVA, ca. 4.0-3.6 ka BP), followed by several centuries with no evidence of sedentary settlement in the region. A similar pattern is observed in the Lut Desert, Siestan, and Bard Sir Valley. However, in highland southwestern Iran, whereby the Kaftari period represents a peak in sedentary occupation in the Kur River Basin. Subsequently, in the later 4th millennium BP (Qaleh/Shogha-Teimuran periods, ca. 3.6-2.9 ka BP), there was a significant decline in population at the Kur River Basin. The high abundance of desert shrubs and the dominance of Amaranthaceae and Artemisia in the Konar Sandal sediment core signify dry environmental conditions alongside reduced agricultural activities in the Halil Rud cultural zone between 3.4 and 2.9 ka BP. This period, particularly around 3.2 ka BP, was characterized by severe droughts that coincided with a decline in settlements in the region. In southeastern Iran, occupation is currently not attested in Siestan, the western Lut, the Bard Sir Valley, or the Bam region before 2.8 ka BP. However, recent studies have recorded early Iron Age settlements (around 3.3-3 ka BP) at Tom-e Gavan and Konar Sandal North, partially filling the long settlement gap and aligning with the gradual rise in Cerealia-type pollen recorded in the Konar Sandal sediment core. The Kur River Basin witnessed a significant decline in settlement during the Qaleh/Shogha-Teimouran periods.

Keywords: Agro-pastoralism, Climate, Konar Sandal, Late Holocene Epoch, Peat.

Introduction

The Early Bronze Age, occurring in the 3rd millennium BCE, saw the emergence and prosperity of human societies in southeastern Iran. Notable settlements such as Konar Sandal, Shahr-i Sokhta, Tepe Yahya, Bampur, and Shahdad were integral to trade, agriculture, and cultural exchange. The community at Konar Sandal, situated by the Halil Rud, is particularly recognized for its unique 'Jiroft' artistic style, which features distinctive stéatite engravings and clay pottery, alongside an early writing system. Investigations suggest that the Jiroft culture represented a socio-economically advanced agrarian society with far-reaching trade connections to other cultural centers. Nevertheless, around 4200 cal yr BP, the Halil Rud area and other Early Bronze Age civilizations, including the Akkadian Empire, the Old Kingdom of Ancient Egypt, and the Indus Valley Civilization, experienced a significant decline. This collapse is likely linked to a drought event around 4200 cal yr BP, which caused inadequate rainfall and subsequent desertification, severely impacting agricultural viability and leading to the abandonment of these settlements.

The main studies in Konar Sandal have focused on archaeological findings, geomorphology and bioarchaeology. However, the harsh environmental conditions combined with complex phytogeographic settings coupled with lack of suitable sedimentary archives and lack of multi-proxy high-resolution palaeo-environmental data hampers our understanding about the cultural dynamics in southeastern Iran.

Main questions of this study are: How did historical societies cope with aridity? What did they cultivate? What kind of natural vegetation was exploited and how this vegetation was impacted by human activities during wet or dry episodes?

This research seeks to explore the historical patterns of regional climate variability, as well as palaeoenvironmental and paleoclimatic transformations, and their interrelations with ancient settlements in southern Iran, particularly within the Halil Rud cultural zone, spanning the period from 4000 to 2900 years ago. The investigation centers on sediment cores obtained from a peat deposit adjacent to the excavation site at Konar Sandal. Variations in wetland water levels, surrounding flora, and other influencing factors are anticipated to be intricately linked to both natural climatic shifts and anthropogenic activities within these communities.

In order to meet these objectives, the study involve detailed analyses of:

Grain size and Magnetic susceptibility studies to trace landscape changes. Total organic carbon and nitrogen, along with the C/N ratio to trace organic matter source. Pollen analyses to determine the paleo-vegetation dominance and peatland water level.

Discussion

The results reveal that the Konar Sandal peatland ecosystem evolved from a shallow marsh around 4000–3900 cal yr BP to a water-rich wetland between 3800 and 3400 cal yr BP, dominated by Sparganium/Typha and Poaceae. The presence of Riparian trees (e.g., Salix and Tamarix)

in the pollen record suggests that climatic conditions were sufficiently humid to support adequate water discharge in the Halil River and/or the expansion of human-made canals and channels. However, given the low pollen production capacity of *Tamarix*, its pollen presence likely indicates abundant riparian forests. Changes in vegetation composition and the abundance of *Cerealia*-type pollen suggest agricultural activities between 3900 and 3700 years ago. Studies indicate that wet to semi-wet conditions were also recorded in various regional lakes during this period.

The present study reveals that, despite minimal signs of agricultural activity between 4000 and 3200 cal yr BP, there were two probable periods of extensive agricultural activity between 3900 and 3700 cal yr BP.

Between approximately 3400 and 2900 cal yr BP, the Jiroft region experienced severe droughts, indicated by the abundance of desert shrubs and the dominance of *Artemisia* and *Calligonum* pollen. The wetland underwent oxidation (decomposition) due to desiccation. Overall, organic matter content was very low during this period. Oxidation facilitated the degradation of organic matter and the formation of amorphous peat, which is common in the region. The water table of the peatland declined during this time, indicating drought conditions. Limited water resources may have hindered tree growth, as evidenced by the disappearance of riparian trees and the emergence of *Prosopis*. These climatic changes align with findings from other studies in the Middle East. With the onset of the Iron Age (3400–2900 cal yr BP), the region experienced severe aridity and water scarcity, leading to population decline and settlement abandonment. Unfavorable climatic conditions had a profound impact on the lifestyle of the region's inhabitants, potentially prompting a shift from agriculture to pastoralism. The driest conditions in the Iranian Plateau occurred around 3200 cal yr BP, coinciding with the decline of late Bronze Age settlements in ancient Mesopotamia and the eastern Mediterranean.

Conclusion

The unique combination of phytogeographic, climatic, and archaeological characteristics has made the Halil River cultural basin an ideal location for studying paleoclimatic changes and human-environment interactions. Results obtained from various climatic proxies (sedimentological, geochemical, and palynological) indicate that the region experienced environmental changes between 4000 and 2900 years ago, driven by both natural and anthropogenic pressures. During the late Holocene, the region was characterized by a Saharo-Sindian pseudo-savannah flora vegetation cover. However, the landscape transitioned from scattered shrub forests to open and degraded shrublands.

The Konar Sandal peatland evolved from a shallow marsh around 4000–3900 cal yr BP to a water-rich wetland between 3800 and 3400 cal yr BP. *Cerealia*-type pollen between 3900 and 3700 cal yr BP indicates agricultural activity, supported by wet to semi-wet conditions in regional lakes. However, minimal agricultural signs are noted between 4000 and

3200 cal yr BP, with two probable periods of extensive activity around 3900–3700 cal yr BP.

Severe droughts between 3400 and 2900 cal yr BP in Jiroft are evidenced by desert shrubs and *Artemisia/Calligonum* pollen. The wetland dried, causing organic matter oxidation and amorphous peat formation. Declining water tables and the disappearance of riparian trees, replaced by *Prosopis*, reflect drought conditions. These changes align with broader Middle Eastern aridity during the Iron Age, causing population decline, settlement abandonment, and a potential shift from agriculture to pastoralism. The driest period around 3200 cal yr BP coincided with the collapse of late Bronze Age settlements in Mesopotamia and the eastern Mediterranean, highlighting the widespread impact of climatic changes on ancient civilizations.

The findings of this study highlight the relationship between environmental changes and human lifestyles in the Halil River cultural basin. The Konar Sandal sediment core analysis reveals significant human intervention in wetland hydrology since ancient times. Human activities such as cereal cultivation, burning, and vegetation clearance are traceable throughout the study period. Specifically, drought had a major impact on agricultural-pastoral communities. However, complete abandonment of settlements is unlikely, as pollen from plants such as *Plantaginaceae* and *Polygonum aviculare*-type persists during dry periods, particularly between 3400 and 2900 cal yr BP. It appears that pastoralism expanded around 3600 cal yr BP. The identified pollen during this period is likely associated with livestock trampling and grazing. Thus, harsh climatic conditions may explain the development of a nomadic pastoralist lifestyle, which has deep historical roots in the region.

Acknowledgments

Authors are very grateful for the support of the National Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences for drilling and various logistical activities during this project. We thank Dr. Ruhollah Shirazi and Dr. Joyanto Ruth for their valuable guidance during this research.

Observation Contribution

Conceptualization: Alireza Vaezi, Vahid Tavakoli, Abdolmajid Naderi Beni. Data Curation: Alireza Vaezi, Morteza Djamali. Formal Analysis: Alireza Vaezi, Morteza Djamali. Funding Acquisition: Vahid Tavakoli, Abdolmajid Naderi Beni, Morteza Djamali. Writing – original draft: Alireza Vaezi. Writing – review & editing: Alireza Vaezi, Morteza Djamali.

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest while observing publication ethics in referencing.



تغییرات دیرینه محیطی و اقلیمی و تأثیرات متقابل آن بر سکونتگاه‌های باستانی جنوب ایران، به‌ویژه حوزه فرهنگی هلیل رود از ۴۰۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر

علیرضا واعظی^I، مرتضی جمالی^{II}، وحید توکلی^{III}، عبدالمجید نادری بنی^{IV}

شناسه دیجیتال (DOI): <https://dx.doi.org/10.22084/nb.2023.26444.2501>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۹

نوع مقاله: پژوهشی

صص: ۶۳-۳۷

چکیده

در مطالعه حاضر از نشانگرهای متعدد اقلیمی، از جمله گرده‌شناسی بر روی یک مغزه رسوبی ۲٫۵ متری بازیابی شده از یک تورب‌زار در اطراف روستای باستانی کنارصندل، برای بازسازی تغییرات دیرینه محیطی حوزه فرهنگی هلیل رود از ۴۰۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر استفاده گردیده است. مقدار نسبی کم درختچه‌های بیابانی در رسوبات مغزه کنارصندل نشانگر آب‌وهوای مرطوب/نیمه مرطوب بین ۴۰۰۰ تا ۳۴۰۰ سال پیش از حاضر است. تپه یحیی در این دوره، سکونت نشان می‌دهد (دوره IVA، حدود ۴۰۰۰-۳۶۰۰ سال پیش از حاضر) و سپس برای چندین قرن هیچ مدرکی از سکونت‌های دائمی در منطقه مشاهده نشده است. وضعیت مشابهی در بیابان لوت، سیستان و دره بردسیر نیز مشاهده می‌شود. با این حال، در نقاط مرتفع جنوب غرب ایران، دوره کفتری نمایانگر اوج سکونت دائمی در حوضه رودخانه گُرم می‌باشد؛ سپس، در ادامه هزاره دوم پیش از میلاد (دوره‌های قلعه، شغاتی‌موران، حدود ۳۶۰۰-۲۹۰۰ سال پیش از حاضر)، کاهش قابل توجهی در جمعیت در حوضه رودخانه گُرم رخ داد. فراوانی بالای درختچه‌های بیابانی و غلبه تاج‌خروس و درمنه در رسوبات مغزه کنارصندل نشانگر شرایط محیطی خشک همراه با کاهش فعالیت‌های کشاورزی در حوزه فرهنگی هلیل رود بین ۳۴۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر است. این دوره، به‌ویژه حدود ۳۲۰۰ سال پیش از حاضر، شاهد خشک‌سالی‌های شدیدی بود که هم‌زمان با افول سکونت‌ها در منطقه بود. در جنوب شرقی ایران، در حال حاضر شواهد سکونت در سیستان، لوت غربی، دره بردسیر یا منطقه بَم قبل از ۲۸۰۰ سال پیش از حاضر مستند نیست؛ اما تحقیقات اخیر سکونت‌های اوایل دوره آهن (حدود ۳۳۰۰-۳۰۰۰ سال پیش از حاضر) را در تم‌گوان و کنارصندل شمالی مستند کرده است، که تا حدی شکاف طولانی سکونت را پر کرده و با افزایش تدریجی گرده‌های نوع *Cerealia* در مغزه رسوبی کنارصندل هم‌راستا است. حوضه رودخانه گُرم در طول دوره‌های قلعه، شغاتی‌موران شاهد کاهش چشمگیر سکونت بود.

کلیدواژگان: دامداری و کشاورزی، اقلیم، کنارصندل، هولوسن پسین، تورب.

- I. استادیار مهندسی محیط زیست، گروه پژوهش‌های نوین کاربردی، پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران (نویسنده مسئول). [Email: al.vaezi@yahoo.com](mailto:al.vaezi@yahoo.com)
- II. دانشیار زمین‌شناسی، پژوهشکده بوم‌شناسی و تنوع زیستی مدیترانه (IMBE)، ماری، فرانسه.
- III. دانشیار زمین‌شناسی، گروه سافت راک، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- IV. دانشیار زمین‌شناسی، گروه علوم غیرزیستی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران.

ارجاع به مقاله: واعظی، علیرضا؛ جمالی، مرتضی؛ توکلی، وحید؛ و نادری بنی، عبدالمجید، (۱۴۰۳). «تغییرات دیرینه محیطی و اقلیمی و تأثیرات متقابل آن بر سکونتگاه‌های باستانی جنوب ایران، به‌ویژه حوزه فرهنگی هلیل رود از ۴۰۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۴(۳): ۳۷-۶۳. <https://dx.doi.org/10.22084/nb.2023.26444.2501>

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: https://nbsh.basui.ac.ir/article_5907.html?lang=fa

فصلنامه علمی گروه باستان‌شناسی دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

© حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر این‌که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

مقدمه

برپایه کاوش‌های باستان‌شناختی، حوزه فرهنگی هلیل‌رود به‌طورکلی در طول هزاره سوم از شکوفایی و رونق بسیار زیادی برخوردار بوده است (Madjidzadeh & Pittman, 2008). در نتیجه کاوش‌ها و اکتشافات باستان‌شناسی که در منطقه کنارصندل انجام شده است، تعداد بسیار زیادی ظروف و اشیای قدیمی یافت شده‌اند که همگی نشان‌دهنده غنای فرهنگ و تمدن در این منطقه از ایران قدیم می‌باشند (Majidzadeh, 2003; Majidzadeh & Pittman, 2008). بخش بزرگی از اکتشافات مربوط به این منطقه، ظروف تزئینی با نقوش گل و برجسته‌کاری هستند. وسایل به‌دست آمده از این حوزه فرهنگی تا به امروز بیشتر ظروف سفالی و سنگی، قطعات سنگ صابون و گاه وسایل مفرغی را شامل می‌شود (Steinkeller, 1982). اهم صنعت منطقه همان کنده‌کاری روی سنگ صابونی است که دارای ظرافت خاص است و موارد کاربردی و زیبایی شناختی را دربر می‌گیرد. بر روی این قطعات تصاویری از قبیل: انسان، بز، گوسفند، نخل، مار و عقرب وجود دارد که البته تصاویر مار و عقرب معمول‌تر است. کارشناسان از نقوش دام، طبیعت و انسان بر روی ظروف و از بازمانده دانه‌های غلات پی‌برده‌اند که این مردم زندگی کاملاً شهرنشینی توأم با کشاورزی، دامپروری، پیشه‌وری و صنعت داشته‌اند (Vidale & Frenez, 2015). بیشتر آثار به‌دست آمده از کنارصندل مربوط به هزاره سوم پیش‌ازمیلاد (۲۸۰۰-۲۲۰۰ پ.م.) است (Madjidzadeh & Pittman, 2008). حوزه فرهنگی هلیل‌رود در پایان این دوره به‌دلیل بیابان‌زایی متروکه شده است (Majidzadeh & Pittman, 2005; Fouache et al., 2008). با وجود شکوفایی این حوزه فرهنگی، در اواخر هزاره سوم پیش‌ازمیلاد، کنارصندل و دیگر سکونتگاه‌های عصر مفرغ قدیم در منطقه افول یافتند و عملاً فراموش شدند (Majidzadeh & Pittman, 2008; Lawler, 2011). چنین فروپاشی ممکن است به‌دلیل تأثیر احتمالی رویداد خشک‌سالی ۴۲۰۰ سال پیش‌ازحاضر در منطقه رخ داده باشد. اعتقاد بر این است که رویداد خشک‌سالی ۴۲۰۰ سال پیش‌ازحاضر، در افول جوامع کشاورزی در امپراتوری اکدی اولیه و پادشاهی قدیمی مصر باستان نقش ایفا کرده است (Weiss et al., 1993; Booth et al., 2005).

مواد زیست‌باستان‌شناسی تاریخی از حوزه فرهنگی هلیل‌رود گواه مرحله دوم سکونت است که مربوط به پایان هزاره دوم پیش‌ازمیلاد و آغاز هزاره اول پیش‌ازمیلاد است (Mashkour et al., 2013)؛ هم‌چنین، برخی از آثاری که مربوط به دوره‌های بعدی هستند، حاکی از آن است که کنارصندل هم‌چنان یک منطقه مهم در دوران اسلامی بوده است (Madjidzadeh & Pittman, 2008; Mashkour et al., 2013). در واقع، «محمد بن ابراهیم» در تواریخ خود در قرن هفدهم از جیرفت در دوره سلجوقیان (قرن ۱۲ م.) به‌عنوان مرکز تجارت شرق و غرب یاد کرده است؛ براساس سوابق او، کالاها از «چین، ماوراءالنهر، هندوستان و خراسان، از زنگبار، حبشه، و مصر، و هم‌چنین از یونان، ارمنستان، بین‌النهرین، و آذربایجان» می‌آمده است (Ebrahim, 1886)؛ به‌همین ترتیب، «مارکوپولو» در سفرنامه خود (در حدود

قرن‌های ۱۳ تا ۱۴ م.) تولیدات کشاورزی در جیرفت را با فهرست برنج و غلات متعدد و هم‌چنین خرما و انواع میوه‌های کشت شده در این منطقه ستوده است (Colbert *et al.*, 1997). سفرنامه‌ها هم‌چنین نشان می‌دهد که شکوه جیرفت به آرامی در حال محوشدن بوده است؛ زیرا با حمله «تاتار»ها روبه‌رو شده است (Yule, 1903). به نظر می‌رسد در مرکز این تغییرات فرهنگی اجتماعی، مجموعه‌ای از تغییرات آب‌وهوایی، محیطی و زمین‌شناختی وجود داشته است.

در این پژوهش به بررسی روند تغییرات دیرینه محیطی و تأثیرات متقابل آن بر سکونتگاه‌های باستانی جنوب ایران، به‌ویژه حوزه فرهنگی هلیل‌رود از عصر مفرغ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر با استفاده از نشانگرهای اقلیمی با وضوح بالا پرداخته می‌شود. شرایط سخت محیطی همراه با خصوصیات جغرافیای گیاهی پیچیده، ضرورت بیشتر داده‌های حاصل از مطالعات دیرینه محیطی برای درک پویایی فرهنگی در جنوب شرقی ایران را آشکار می‌سازد.

پرسش و فرضیه پژوهش: تغییر اقلیم منطقه در اواخر هولوسن بر سکونتگاه‌های اولیه انسان در جنوب ایران، به‌ویژه حوزه فرهنگی هلیل‌رود تأثیرگذار بوده است. این موضوع فرضیه اصلی و در عین حال پرسش اصلی مورد بررسی در این پژوهش می‌باشد.

روش پژوهش: در راستای نیل به اهداف مذکور در این مطالعه از نشانگرهای دیرینه اقلیم‌شناسی رسوب‌شناسی، ژئوشیمیایی و گرده‌شناسی^۲ دقیق در یک مغزه رسوبی بازبایی شده از یک تورب‌زار در نزدیکی روستای باستانی کنار صندل استفاده شده است.

پیشینه پژوهش

تحقیقات دیرینه اقلیم‌شناسی در طول هولوسن در ایران محدود و عمدتاً به دامنه‌های کوه‌های زاگرس در غرب ایران محدود می‌شود (Djamali *et al.*, 2010). پژوهش‌های بیشتری از این دست برای دستیابی به یک تصویر واضح و نسبتاً قابل اطمینان از تغییرات آب‌وهوایی گذشته ایران و تأثیرات آن بر محیط پیرامون و تمدن‌های باستانی منطقه ضرورت دارد.

تحقیقات کلیدی در حوزه فرهنگی هلیل‌رود بر یافته‌های باستان‌شناسی (Madjidzadeh & Pittman, 2008)، باستان‌شناسی زیستی^۳ (Mashkour *et al.*, 2013) و ژئومورفولوژی^۴ (Fouache *et al.*, 2005; 2008) متمرکز شده‌اند. با این حال، فقدان داده‌های دیرینه محیطی با وضوح بالا با استفاده از نشانگرهای اقلیمی متعدد از این منطقه، درک ما از تحولات آب‌وهوایی-تمدنی را مختل کرده است. اخیراً در مطالعه جامعی بر روی مغزه کنار صندل که در مجله مطالعات باستان‌شناسی پارسه منتشر گردیده است، تأثیرات تغییرات دیرین اقلیم بر شکوفایی و افول سلسله‌های حاکم بر ایران مانند شاهنشاهی‌های هخامنشی و ساسانی مورد بررسی قرار گرفت (واعظی و همکاران، ۱۴۰۳). بین ۲۹۰۰ تا ۲۳۰۰ سال پیش از حاضر،

هم‌زمان با پایان پادشاهی ایلام و به‌دنبال آن پادشاهی مادها و شاهنشاهی هخامنشی، شرایط بسیار مرطوبی در دره هلیل‌رود حاکم بوده است؛ نتایج نشان‌داد، در این دوره مرطوب شواهد متعدد از فعالیت‌های کشاورزی گسترده در کنارصندل وجود دارد. شرایط خشک از ۲۳۰۲ تا ۲۲۴۰ سال پیش از حاضر براساس افزایش شدید در ورود رسوبات بادی رخ داده است. خاتمه شاهنشاهی هخامنشی (حدود ۲۳۳۰ سال پیش از حاضر) با آغاز این بازه خشک هم‌سو بود. نکته قابل توجه، ۲۰۰ سال افول کشاورزی در دره هلیل‌رود پس از پایان شاهنشاهی هخامنشی است. شرایط خشک و افزایش قابل توجه در میزان گرد و غبار بین ۲۰۰ تا ۱۶۵۰ سال پیش از حاضر، هم‌زمان با حکمرانی سلسله اشکانیان، در دره هلیل‌رود حاکم بوده است. دره هلیل‌رود بین ۱۵۴۰ تا ۱۳۱۵ سال پیش از حاضر، هم‌زمان با دومین قلمرو بزرگ تاریخ شاهنشاهی ایران (ساسانیان در اوایل قرن هفتم میلادی)، شرایط مرطوبی را تجربه کرد. این دو دوره در تاریخ ایران، یعنی شاهنشاهی‌های هخامنشی و ساسانی، هم‌زمان با دو دوره مرطوب تاریخ ایران بوده‌اند. این روند حاکی از ثبات اقتصادی-اجتماعی است و گسترش فعالیت‌های کشاورزی در طول این بازه‌ها به شرایط اقلیمی مساعدتر مربوط می‌شود؛ درحالی‌که بیشتر اوقات، بین ۱۳۱۵ و ۸۵۴ سال پیش از حاضر، دره جیرفت شرایط معتدلی داشته است، میزان گرده از نوع *Cerealia* قابل توجه نیست. در مقاله مذکور به‌طور اجمالی بحثی مختصر درخصوص اثرات احتمالی تغییرات دیرینه محیطی و اقلیمی بر سکونتگاه‌های عصرمفرغ در جنوب شرق ایران نیز ارائه گردید؛ در این راستا، در مقاله حاضر تغییرات دیرینه محیطی و تأثیرات متقابل آن بر سکونتگاه‌های باستانی جنوب ایران، به‌ویژه حوزه فرهنگی هلیل‌رود در بازه زمانی ۴۰۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر (عمق ۱۳۸ تا ۲۵۰ سانتی‌متری مغزه رسوبی کنارصندل) به‌وسیله مطالعات جامع گرده‌شناسی در مغزه رسوبی کنارصندل مورد بحث دقیق قرار می‌گیرد. در این مطالعه، در مجموع ۷۰ نوع گرده که نشان‌دهنده ۲۵ گونه درخت/بوته، ۳۸ گونه علفی، و ۷ گونه گیاهی نیمه‌آبزی و آبزی هستند، شناسایی و بررسی گردید که از این حیث نتایج این مطالعه را نسبت به مطالعات پیشین متمایز می‌نماید؛ هم‌چنین در قسمت بحث سعی شده، علاوه بر بررسی اثرات تغییرات دیرینه اقلیمی بر حوزه فرهنگی هلیل‌رود، بر روی سایر سکونتگاه‌های جنوب ایران نیز بحث جامعی ارائه گردد.

منطقه مورد مطالعه

مغزه رسوبی از یک توربزار خشکیده در نزدیکی مجموعه باستان‌شناسی کنارصندل (N: 58°34'77" & E:27°37'04")، ۲۵ کیلومتری جنوب شهر جیرفت کنونی (تصویر ۱) برداشت گردید. تورب‌زار بین تپه‌های بلند کنارصندل شمالی و جنوبی، حدود ۱ کیلومتری غرب هلیل‌رود واقع شده است.

کنارصندل، یک محوطه باستانی است که در ۲۵ کیلومتری جنوب شهر جیرفت در استان کرمان، جنوب شرقی ایران واقع شده است (تصویر ۱). این منطقه در دشت‌های رودخانه‌ای و حدود ۱ کیلومتری شرق هلیل‌رود، تقریباً در ارتفاع ۵۷۰ متری

از سطح دریا واقع شده است. هلیل رود از دو رشته‌کوه کرمان در شمال غربی و بارز در شرق سرازیر می‌شود (Fouache *et al.*, 2005).
 آب‌وهوای غالب منطقه مورد مطالعه از نوع مدیترانه‌ای با یک فصل مرطوب کوتاه در طول زمستان و تقریباً بدون بارندگی در تابستان گرم است (Blumler, 2005). با این حال، به دلیل قرار گرفتن در مرز شمالی منطقه همگرایی بین حاره‌ای، جنوب شرقی ایران تحت تأثیرات اندک بادهای موسمی تابستانی اقیانوس هند قرار دارد.

► تصویر ۱: نقشه فلات ایران؛ فلات ایران از دیدگاه هواشناسی یکی از مناطق بسیار پویای جهان محسوب می‌شود که اقلیم آن را برآیند برهم‌کنش جبهه پر فشار سیبری، بادهای غربی مدیترانه‌ای (MLW) و بادهای موسمی اقیانوس هند (IOSM) کنترل می‌کند. موقعیت سامانه‌های اقلیمی و مرز منطقه همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ) در شکل نمایش داده شده است. محل برداشت مغزه رسوبی کنارصندل در یک توربزار نزدیک به محوطه‌های باستان‌شناسی کنارصندل و همچنین مکان سایر مطالعات شاخص دیرینه‌اقلیمی که در متن مقاله مورد بحث قرار گرفته‌اند با ستاره‌های آبی‌رنگ نشان داده شده‌اند. سکونتگاه‌های باستانی جنوب ایران که در متن مورد بررسی قرار گرفته‌اند نیز با نقاط سیاه‌رنگ نمایش داده شده‌اند (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 1: Map of the Iranian Plateau. The Iranian Plateau is considered one of the most dynamic regions in the world from a meteorological perspective. Its climate is influenced by the interaction of the Siberian High, Mid-Latitude Westerlies (MLW), and the Indian Ocean Summer Monsoon (IOSM). The positions of climatic systems and the boundary of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) are shown in the figure. The location of the Konar Sandal sediment core, extracted from a peatland near the Konar Sandal archaeological sites, is indicated by a blue star. Other key paleoclimatic studies discussed in the text are also marked with blue stars. Ancient settlements in southern Iran mentioned in the text are represented by black dots (Authors, 2023).



مواد و روش‌ها

نمونه برداری: یک مغزه رسوبی با طول تقریبی ۲/۵ متر، از توربزار با استفاده از مغزه‌گیر روسی^۵ برداشت گردید (تصویر ۱). پس از بازیابی و عکس برداری از مغزه، سنگ‌شناسی با ارزیابی بصری رسوبات در میدان ثبت شد.

سن‌سنجی^۶: تعیین سن ۸ نمونه به وسیله اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های ناپایدار ^{۱۴}C در مغزه‌های رسوبی به وسیله شتاب‌دهنده طیف‌سنج جرمی^۷ در آزمایشگاه رادیو کربن پزنان لهستان^۸ بر مبنای روش استاندارد صورت‌گرفت (Goslar & Czernik, 2000).

خاصیت پذیرفتاری مغناطیسی: در طی این تحقیق، پس از انتقال نمونه‌ها از عملیات میدانی به آزمایشگاه، نخست، پذیرفتاری مغناطیسی (MS)^۹ مغزه‌ها با کمک دستگاه Bartington (MS2C) متعلق به پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی اندازه‌گیری شد. قطر دهانه اسکنر این دستگاه ۱۰ سانتی‌متر و حساسیت

آن 6 SI x10-6 است. فاصله بین دو اندازه‌گیری متوالی در این تحقیق ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Dearing, 1994).

محاسبه میزان وزنی کربن آلی و نیتروژن: برای اندازه‌گیری مقدار کل کربن آلی (TOC) ۱۰ و نیتروژن کل (TN) ۱۱ در رسوبات بعد از پودر کردن و شستن نمونه با اسید کلریدریک (برای از بین رفتن کربنات) از دستگاه CHN Elemental Analyzer (Carlo-Erba NA-1500) استفاده گردید (Hedges & Stern, fumigation method, 1984).

تجزیه و تحلیل گرده‌های گیاهی: تجزیه و تحلیل گرده‌شناسی در ۳۵ نمونه در فواصل ۱ تا ۱۰ سانتی‌متری در مؤسسه بوم‌شناسی و تنوع زیستی مدیترانه (IMBE)-فرانسه با روش توصیف شده توسط «گرزکیتا» و همکاران (۲۰۱۸) انجام پذیرفت. ۳۵ نمونه برای آنالیز گرده‌شناسی در فواصل ۱-۱۰ سانتی‌متری استخراج شد. استخراج شیمیایی با اتخاذ روش کلاسیک استخراج گرده که توسط «موری» و همکاران (1991) استاندارد شده است، انجام شد. برای هر نمونه حداقل ۳۰۰ گرده گیاهی (به طور متوسط ۳۲۰ دانه در هر نمونه) شمارش شد. به طور استثنایی در نمونه مربوط به عمق ۲۰ سانتی‌متری، به دلیل فقدان گرده، ۱۲۸ گرده شمارش گردید. شناسایی گرده‌ها براساس کلیدها و اطلس‌های شناسایی گرده (Reille, 1992; Beug, 2004) و مجموعه‌های مرجع گرده‌های ایرانی که در مؤسسه بوم‌شناسی و تنوع زیستی مدیترانه فرانسه تأسیس شده است، صورت پذیرفت.

یافته‌ها

سن سنجی

هشت سن رادیو کربن برای ساخت مدل سنی مغزه کنارصندل استفاده شد (جدول ۱). هفت سن کالیبره شده در ترتیب زمانی بود و یک سن در ترتیب زمانی نبود و واژگونی نشان داد. سن کالیبره شده عمیق‌ترین نمونه سن سنجی شده، ۳۶۵۵ سال به دست آمد. نتایج سن سنجی مغزه کنارصندل با استفاده از مدل (v. 2.2) Clam (Blaauw, 2010)، سن مغزه ۲۵۰ سانتی‌متری را در محدوده ۶۳۶ (۶۰۰-۸۰۰) تا ۳۹۵۱ (۳۸۹۰-۴۱۰۰) سال پیش از حاضر نشان می‌دهد (تصویر ۲).

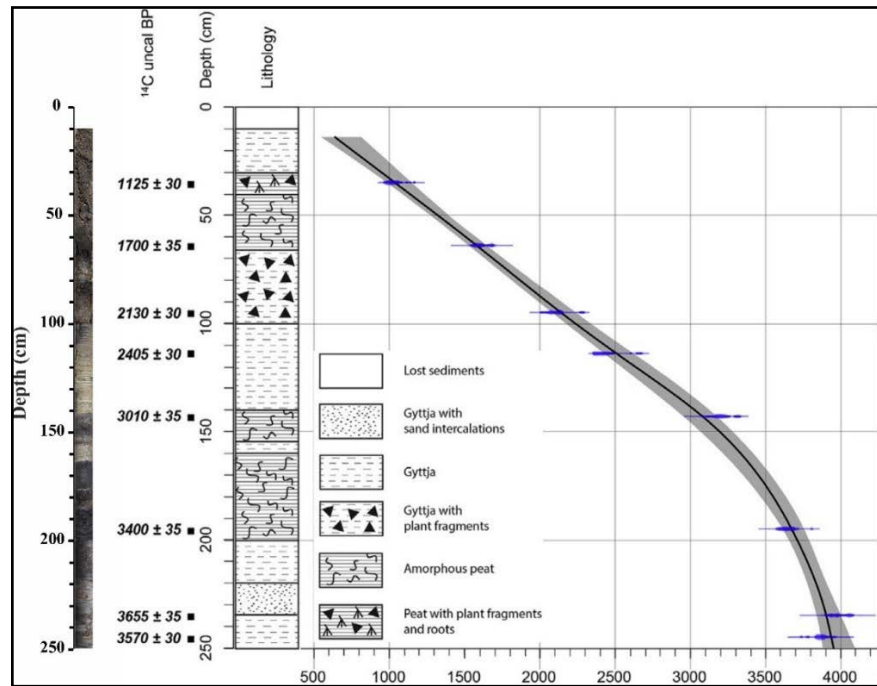
Sample no.	Depth (cm)	Lab no.	Age ¹⁴ C (yr BP)	Calibrated age (cal yr BP)
Dar-35	34-35	Poz-85097	1125 ± 30	1037
Dar-64	63-64	Poz-83152	1700 ± 35	1579
Dar-95	94-95	Poz-83153	2130 ± 30	2139
Dar-114	113-114	Poz-85099	2405 ± 30	2510
Dar-143	142-143	Poz-83154	3010 ± 35	3080
Dar-195	194-195	Poz-83155	3400 ± 35	3672
Dar-235	234-235	Poz-83156	3655 ± 35	3902
Dar-245	244-245	Poz-85100	3570 ± 30	3935

جدول ۱: نتایج سن سنجی مغزه کنارصندل کالیبره شده به وسیله IntCal13 (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Tab. 1: Results of the Konar Sandal core dating calibrated using IntCal13 (Authors, 2023).

► تصویر ۲: مدل سن-عمق مغزه کنارصندل بازیابی شده از تورب‌زاری در نزدیک کنارصندل در جنوب شرقی ایران؛ تصویری از مغزه رسوبی و ویژگی‌های سنگ‌شناسی آن نیز نمایش داده شده است. خط سیاه نشان‌دهنده سن کالیبره شده متوسط است، سایه خاکستری حداقل و حداکثر مقادیر را در فاصله اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهد (نگارندگان، ۱۴۰۲).

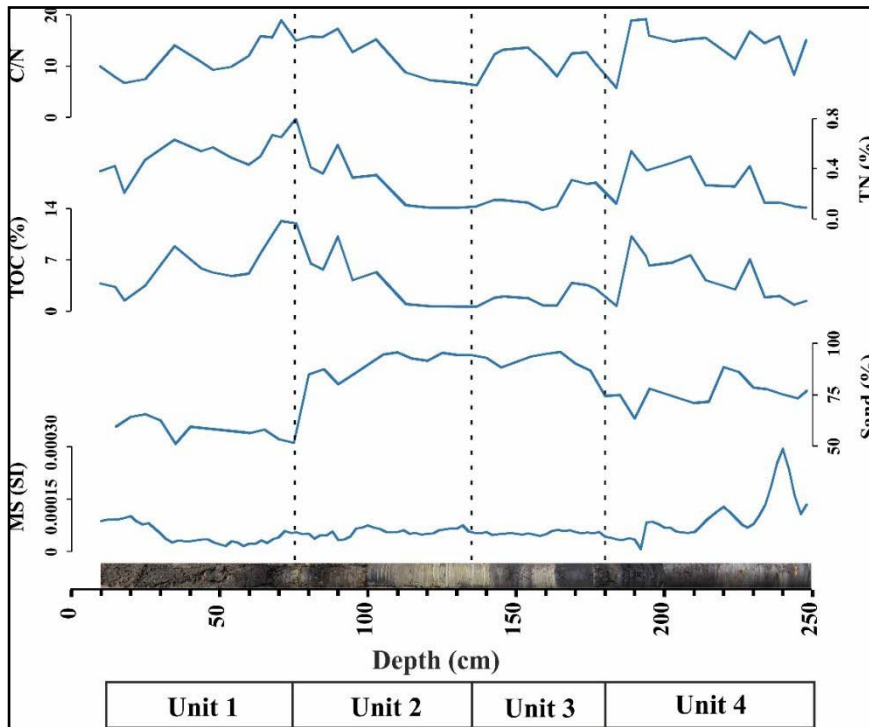
Fig. 2: Age-depth model of the Konar Sandal core retrieved from a peatland near Konar Sandal in southeastern Iran. An image of the sediment core and its lithological features is also displayed. The black line represents the mean calibrated age, while the gray shading indicates the minimum and maximum values within a 95% confidence interval (Authors, 2023).



خاصیت مغناطیسی بین $10^{-6} \times 25/7$ تا $10^{-4} \times 92/2$ با میانگین 10^{-5} تا 10^{-6} متغیر است. از انتهای مغزه رسوبی تا عمق ۲۰ سانتی متری مقادیر خاصیت مغناطیسی بالا هستند. در این عمق، درصد ماسه دارای دامنه تغییرات زیادی از کمینه ۵۱٪ تا بیشینه ۹۶٪ با میانگین ۷۹٪ است. از ۱۷۵ تا ۸۰ سانتی متر در مغزه رسوبی، محتوای ماسه زیاد، اما نسبتاً ثابت است. در طول مغزه رسوبی هم‌بستگی بین خاصیت مغناطیسی و میزان ماسه ضعیف است یا وجود ندارد؛ با این حال، در فاصله عمق‌های ۸۰ تا ۱۰ سانتی متری، هم‌بستگی به مقدار ۰/۳۲ افزایش می‌یابد. همان‌طور که در تصویر ۳ قابل مشاهده است در رسوبات مغزه کنارصندل مقادیر مجموع کربن آلی (TOC) از ۰/۶۱٪ تا ۱۲/۳٪ متغیر است. نیتروژن کل (TN) در رسوبات از ۰/۷٪ تا ۰/۸۰٪ متغیر است. نسبت C/N از حدود ۶ تا ۱۹ متغیر است.

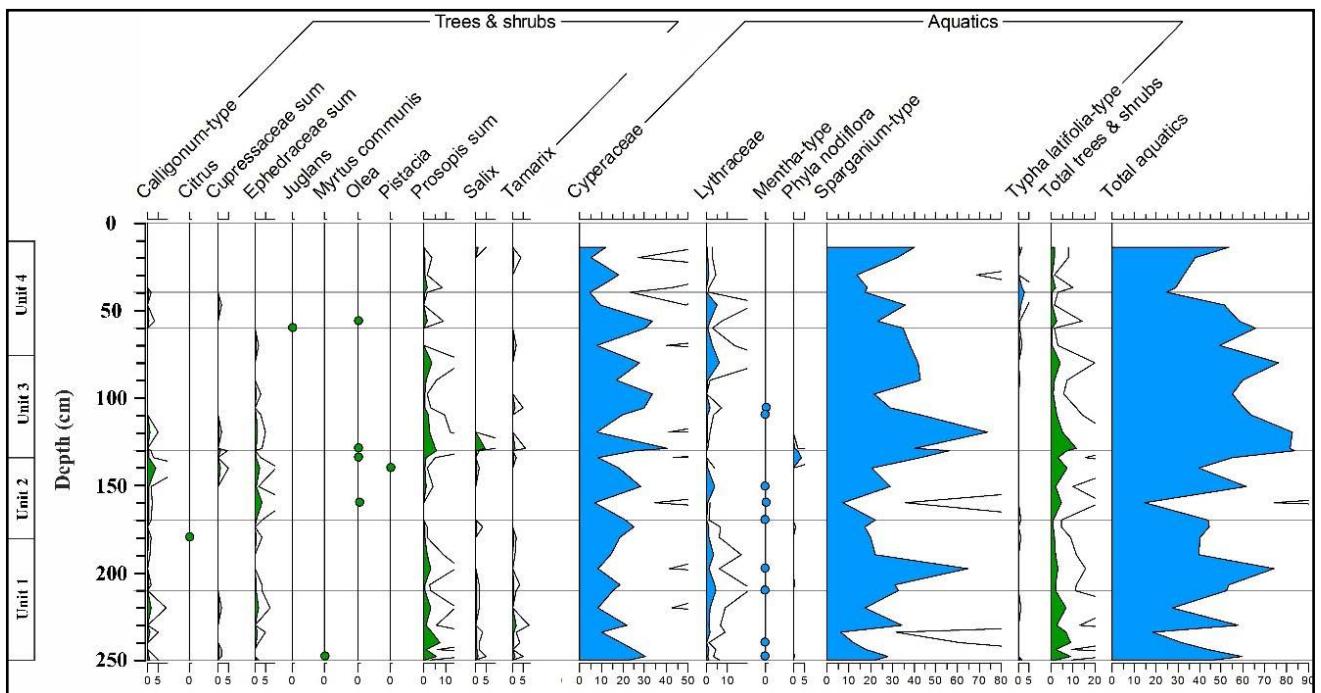
مطالعات پایه رسوب‌شناسی و محاسبه میزان وزنی کربن آلی، نیتروژن - گرده‌شناسی

خلاصه نتایج گرده‌شناسی در نمودار ساده شده درصد گرده‌ها ارائه شده است (تصاویر ۴ و ۵). در مجموع ۷۰ نوع گرده در ۳۵ عمق شناسایی شد که نشان‌دهنده ۲۵ گونه درخت/بوته، ۳۸ گونه علفی، و ۷ گونه گیاهی نیمه‌آبزی و آبزی هستند. میزان حفظ‌شدگی گرده‌ها در طول مغزه متفاوت بود. در عمیق‌ترین بخش‌های مغزه (بیش از ۲۴۰ سانتی متری) حفظ‌شدگی کمتر بود. نمونه عمق ۲۰ سانتی متری نیز از نظر تعداد گرده بسیار ضعیف بود، اما سرشار از ذرات میکروسکوپی زغال سنگ (> ۱۰ میکرومتر) بود. در بسیاری از موارد، شناسایی و شمارش گرده به دلیل میزان



تصویر ۳: خاصیت پذیرفتاری، درصد ماسه و نتایج آنالیزهای کل کربن آلی و نیتروژن (درصد وزن خشک نمونه)، نسبت C/N12، در طول ۴ هزار سال گذشته در رسوبات تورب‌زار کنارصندل در مقابل عمق و سن رسم شده‌اند. چهار واحد رسوبی بر مبنای تغییرات در رسوبات ارائه شده است. تصویری از مغزه رسوبی نیز نمایش داده شده است (نگارندگان، ۱۴۰۳).

Fig. 3: Magnetic susceptibility, sand percentage, and results of total organic carbon and nitrogen analyses (% dry weight), along with the C/N ratio, plotted against depth and age over the past 4,000 years in the Konar Sandal peatland sediments. Four sedimentary units are identified based on changes in the sediment composition. An image of the sediment core is also displayed (Authors, 2023).



تصویر ۴: گرده‌منتخب و گروه‌های اکولوژیکی شناسایی شده در مغزه کنارصندل؛ فراوانی گرده‌ها به صورت درصد بیان شده است. گونه‌های گرده با میزان حضور ناچیز در تصویر آورده نشده‌اند. گونه‌های گرده با میزان حضور کمتر از ۱٪ در هر نمونه به صورت دایره نشان داده شده‌اند. خطوط اغراق آمیز نشان‌دهنده پنج برابر مقدار اصلی (در درصد) است (نگارندگان، ۱۴۰۳).

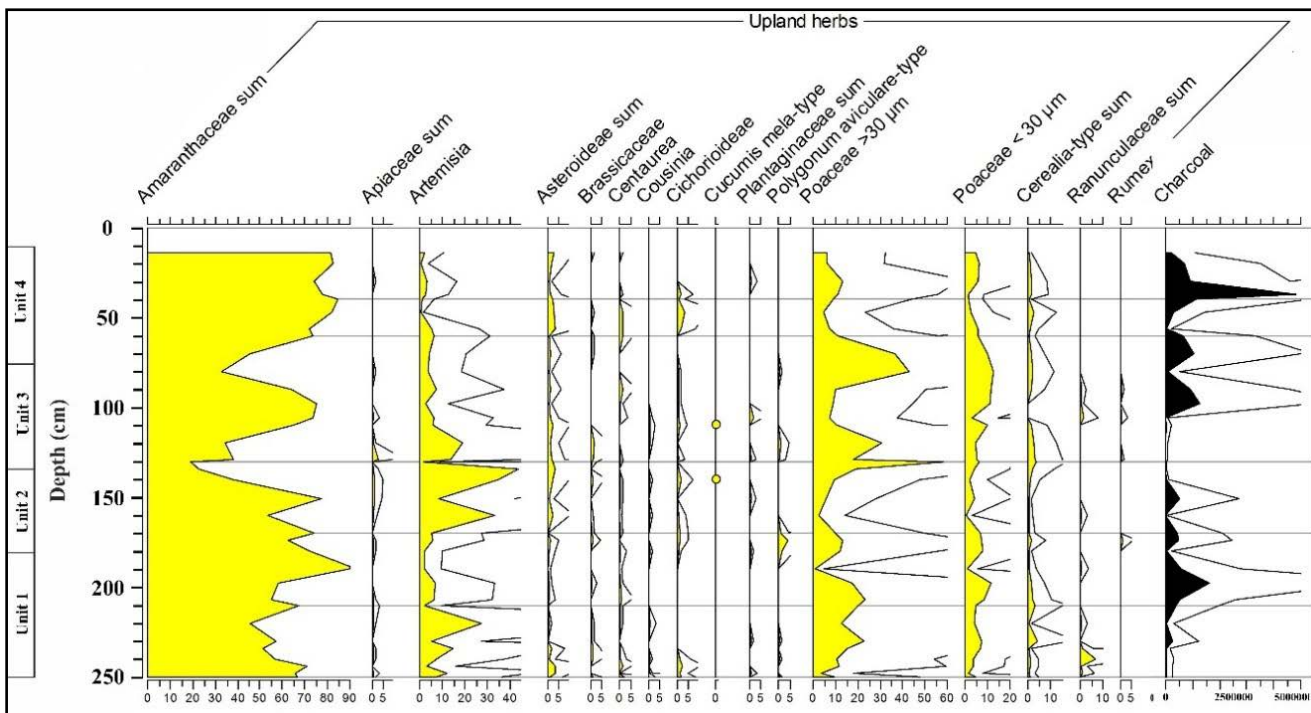
Fig. 4: Selected pollen and ecological groups identified in the Konar Sandal core. Pollen frequencies are expressed as percentages. Pollen species with negligible presence are not shown in the figure. Pollen species with less than 1% abundance in each sample are represented by circles. Exaggeration lines indicate values magnified five times the original percentage (Authors, 2023).

تصویر ۵: گرده‌های منتخب و گروه‌های اکولوژیکی شناسایی شده در مغزه کنارصندل؛ فراوانی گرده‌ها به صورت درصد بیان شده است. گونه‌های گرده با میزان حضور ناچیز در تصویر آورده نشده‌اند. ذرات میکرو زغال سنگ (> ۱۰ میکرومتر) به صورت میلیون ذره در هر ۱ گرم رسوب بیان شد. گونه‌های گرده با میزان حضور کمتر از ۱٪ در هر نمونه به صورت دایره نشان داده شده‌اند. خطوط اغراق‌آمیز نشان‌دهنده پنج برابر مقدار اصلی (در درصد) است (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 5: Selected pollen and ecological groups identified in the Konar Sandal core. Pollen frequencies are expressed as percentages. Pollen species with negligible presence are not shown in the figure. Micro-charcoal particles (< 10 micrometers) are expressed as millions of particles per 1 gram of sediment. Pollen species with less than 1% abundance in each sample are represented by circles. Exaggeration lines indicate values magnified five times the original percentage (Authors, 2023).

بالای مواد آلی در بازه خاصی از مغزه که نمی‌توانست به‌طور مؤثر در طول استخراج گرده، حذف شود، مختل شده بود.

فراوان‌ترین نوع گرده مربوط به تیره تاج خروس^{۱۳} بود. با این حال، تفسیر منشأ آن دشوار بود؛ زیرا برخی از گونه‌ها نمک‌دوست هستند و این خانواده از نظر اکولوژیکی در دامنه وسیعی از شرایط محیطی، از شرایط نیمه خشک تا خشک، وجود دارد (Freitag, 1977). سایر انواع گرده‌های رایج درمنه^{۱۴} و تیره گندمیان^{۱۵} بودند. شرایط هیدرولوژیکی مرطوب و تالابی براساس وجود گیاهان آبیزی مانند نی توپی^{۱۶} و جگنیان^{۱۷} تفسیر شد. افزایش قابل توجه درمنه به‌عنوان شاخصی از وجود شرایط آب‌وهوایی خشک در نظر گرفته شد. وجود گرده‌های غلات^{۱۸} در رابطه با فعالیت‌های کشاورزی بالقوه در گذشته مورد بررسی قرار گرفت. بسته به مجموعه‌های گرده، حضور ذرات میکرو زغال سنگ (> ۱۰ میکرومتر) در مقاطع مغزه برای تفسیر آتش استفاده شد که حضور آن‌ها به شیوه‌های سوزاندن انسان‌زایی برای فعالیت‌های کشاورزی یا آتش‌سوزی‌های طبیعی جنگل نسبت داده شد. محتوای بسیار بالای میکرو زغال سنگ نیز می‌تواند نشان‌دهنده آتش‌سوزی‌های محلی در تالاب باشد (Djamali et al., 2009; Shumilovskikh et al., 2016).



- واحدهای رسوبی

برحسب تغییرات مشاهده شده در مجموعه آزمایشات پایه رسوب‌شناسی و مجموعه آزمایشات ژئوشیمیایی و براساس تغییرات در نوع گرده‌های گیاهی واحدهای رسوبی در طول مغزه کنارصندل تشخیص داده شد. در ادامه به تشریح تغییرات دو واحد

رسوبی اول (از عمق ۱۳۸ تا ۲۵۰ سانتی متری) که در این پژوهش مورد بحث قرار گرفته‌اند، پرداخته شده است.

واحد ۱: این واحد از انتهای مغزه تا عمق ۱۸۰ سانتی متری را پوشش می‌دهد که مربوط به بازه زمانی ۴۰۰۰ تا ۳۴۰۰ سال پیش از حاضر می‌باشد. بافت مغزه رسوبی در این واحد به صورت گیتا^{۱۹} طبقه‌بندی می‌گردد، اما به تورب آمورف^{۲۰} در حدود ۲۰۰ سانتی متر تبدیل می‌شود. این واحد دارای میزان ماسه متوسط و خاصیت مغناطیسی بالا نسبت به سایر بخش‌های مغزه بود. ذرات ریز متشکل از مخلوطی از سیلت و رس می‌باشند که در حدود ۲۵٪ رسوبات را تشکیل می‌دهند. مقدار ماسه تقریباً ثابت است. مقادیر خاصیت مغناطیسی به بالاترین میزان بین ۲۳۵ تا ۲۵۰ سانتی متر می‌رسد و به تدریج به سمت بالای این ناحیه کاهش می‌یابد. نسبت C/N بالاترین مقدار (۱۹/۲) را در حدود ۳۶۵۰ سال پیش از حاضر داشت (تصویر ۳). اولین ظهور قابل توجه گرده‌های نوع غلات در این واحد رخ داد که از ۲۰۷ تا ۲۳۰ سانتی متری (۳۹۰۰ تا ۳۷۰۰ سال پیش از حاضر) گسترش یافته است؛ با این حال مقدار بالای درمنه همراه با کاهش شدید گرده‌های نوع غلات در عمق ۲۲۰ سانتی متری (۳۸۰۰ سال پیش از حاضر) همراه شده است. از ۲۲۰ سانتی متر به بعد، افزایش گرده‌های نوع نی توپی و کاهش شدید درمنه به سمت بالای این واحد مشاهده می‌شود (تصاویر ۴ و ۵).

واحد ۲: این واحد از ۱۸۰ تا ۱۳۵ سانتی متری (متعلق به ۳۴۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر) را دربر می‌گیرد. در واحد ۲، میزان ماسه به تدریج به سمت بالای مغزه رسوبی افزایش می‌یابد. این واحد با میزان ماسه بسیار بالا (حدود ۸۵ تا ۹۵٪) و خاصیت مغناطیسی کم مشخص می‌شود. خاصیت مغناطیسی به شدت کاهش یافت و تقریباً تا بالای مغزه ثابت می‌ماند. مقادیر TOC و TN به طور کلی پایین بودند و تغییرات عمده‌ای در روند خود نشان ندادند. در این واحد رسوبی نسبت به شدت کاهش یافت و مقادیر پایین تری نسبت به واحد ۱ داشت. میزان گرده گیاهی درمنه در ابتدای این واحد پایین و در ادامه این واحد مقادیر بسیار بالایی را نشان می‌دهد. در این واحد کمترین مقدار مجموع کل گرده گیاهان آبی^{۲۱} (۱۴/۸٪) در کل توالی مغزه دیده می‌شود. تعداد گرده‌های جگنیان مقادیر بالاتری نسبت به واحد ۱ داشتند؛ اما گرده‌های نوع غلات در این واحد مقادیر پایینی داشتند، ولی استثنائاً افق رسوبی ۱۷۴ سانتی متری (در حدود ۳۴۰۰ سال پیش از حاضر)، دارای مقادیر نسبتاً زیاد گرده‌های نوع غلات بود (تصاویر ۴ و ۵).

بحث و تحلیل

- بازسازی اقلیم دیرینه منطقه در طول ۴ هزار سال گذشته

بین ۴۰۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر چشم‌انداز منطقه به وضوح دارای پوشش گیاهی صحاری-سندی بوده است. این امر به وقوع پیوسته، گرچه نه یکنواخت گرده درخت کهور^{۲۲} پشتیبانی می‌شود. این مشابه پوشش گیاهی کنونی در منطقه است (Léonard, 1991; 1993)، که بیش از ۳۵٪ از گونه‌های بومی صحاری-سندی

را شامل می‌شود. بر این اساس، به نظر می‌رسد که چشم‌انداز در سراسر منطقه، در طول دوره مطالعه، پوشش گیاهی شبه ساوانای باز بوده است و عمدتاً درختچه‌ها و درختان خشکی‌زی^{۲۳} غالب بوده‌اند.

- ۴۰۰۰ تا ۳۴۰۰ سال پیش از حاضر (شرایط مرطوب/نیمه مرطوب)

بر اساس استنباطی که از پویایی پوشش گیاهی آبی و فراوانی گرده‌های مرتبط با این پوشش گیاهی می‌شود، در اواخر عصر مفرغ (حدود ۴۰۰۰ تا ۳۴۰۰ سال پیش از حاضر) اکوسیستم تورب‌زار کنارصندل از یک باتلاق کم‌عمق (حدود ۴۰۰۰ تا ۳۹۰۰ سال پیش از حاضر) به تالابی پرآب (حدود ۳۸۰۰ تا ۳۴۰۰ سال پیش از حاضر) تغییر کرده است. همان‌طور که ذکر گردید، شاخص‌ها نشان می‌دهند که تورب‌زار کم‌عمق در حال تبدیل شدن به یک تالاب غرقابی است که تحت سلطه نوعی نی‌تویی و گندمیان است. وجود درخت ساحلی بید^{۲۴} در رکورد گرده نشان می‌دهد که شرایط آب‌وهوایی به اندازه کافی مرطوب بوده تا از تخلیه آب کافی در رودخانه هلیل رود و یا گسترش کانال‌ها و نهرهای دست‌ساز انسان پشتیبانی کند. با این حال، با توجه به ظرفیت ضعیف تولید گرده درخت گز، حضور گرده آن احتمالاً به این معنی است که جنگل‌های ساحلی فراوان بوده‌اند (Freitag, 1977).

یک مطالعه جدید با استفاده از شاخص‌های متنوع به بازسازی تغییرات دیرینه محیطی در نزدیکی محوطه باستان‌شناسی کنار صندل در جنوب شرقی ایران پرداخته است. نسبت‌های پایین Si/Al و Ti/Al و نسبت بالای K/Al ، در کنار مقادیر نسبی بالاتر $\delta^{13}C_{OM}$ در مواد آلی نشان داد که در حدود ۳۹۰۰ سال پیش از حاضر، یک دوره مرطوب در منطقه حاکم بوده است (Vaezi et al., 2022; 2024). بین ۳۹۰۰ و ۳۳۰۰ سال پیش از حاضر، بر مبنای مقادیر نسبی متوسط Si/Al و Ti/Al ، جیرفت شرایط مرطوب/نیمه مرطوب را تجربه کرده است. این دوره به عنوان یک دوره مرطوب به وسیله داده‌های به دست آمده از دریاچه زریبار گزارش گردیده است (Stevens et al., 2008; Wasylikowa & Witkowski, 2008). به طور مشابه، در این بازه زمانی در غار جیتا در لبنان، شرایط مرطوبی ثبت شده است (Verheyden et al., 2008)؛ در حالی که دریاچه تسر در مرکز ترکیه، شرایط مرطوب را در حدود ۳۹۰۰ سال پیش از حاضر و از ۳۶۰۰ تا ۳۴۰۰ سال پیش از حاضر ثبت کرده است (Kuzucuoğlu et al., 2011). شرایط مرطوب در شمال سوریه بین ۴۰۰۰ و ۳۷۰۰ سال پیش از حاضر (Fiorentino et al., 2008) و شرایط مرطوب در منطقه مدیترانه شرقی بین ۳۹۰۰ و ۳۷۰۰ سال پیش از حاضر (Roberts et al., 2008) گزارش شده است؛ به همین ترتیب، داده‌های ژئوشیمیایی از دریاچه‌های مدیترانه نشان‌دهنده چندین دوره مرطوب است که بین ۳۹۰۰ و ۳۴۰۰ سال پیش بر منطقه تسلط داشته است (Roberts et al., 2008).

فراوانی گرده‌های نوع *Cerealia* در رسوبات دریاچه آمالو در شمال غرب ایران (Djamali et al., 2009)، دریاچه پریشان در جنوب غرب ایران (Jones et al., 2015) و در رسوبات تورب‌زار کنارصندل نشان‌دهنده فعالیت‌های کشاورزی در این بازه

زمانی می‌باشد. با وجود نشانه‌های کلی حداقلی از فعالیت کشاورزی از ۴۰۰۰ تا ۳۲۰۰ سال پیش از حاضر، دو دوره احتمالی از فعالیت کشاورزی وسیع در حدود ۳۹۰۰ و ۳۷۰۰ سال پیش از حاضر وجود دارد که در فراوانی گرده‌های نوع *Cerealia* در مغزه رسوبی کنار صندل نشان داده شده است (تصویر ۵). فراوانی گرده‌های نوع *Cerealia* در رسوبات دریاچه پریشان در جنوب غرب ایران (Jones et al., 2015) نشان دهنده افزایش از ۳۵۰۰ سال پیش از حاضر، رسیدن به اوج در حدود ۳۳۰۰ سال پیش از حاضر و سپس کاهش آن است.

اکنون بسیاری از سایت‌ها با مجموعه‌های سفالی مرتبط با تمدن آمودریا (Oxus Civilization) در جنوب آسیای مرکزی در استان‌های سیستان ایران و افغانستان شناخته شده‌اند (Biscione & Vahdati, 2020)؛ این سایت‌ها ادامه حضور انسانی در منطقه را در چند قرن اولیه هزاره دوم پیش از میلاد، بعد از رها شدن سایت‌های شهری عمده و استقرارهای اطراف آن‌ها، مستند می‌کنند؛ به‌ویژه، هر دو نوع سکونت‌های مستقل و سیستم کلی سکونت در جنوب شرقی ایران به نظر می‌رسد که از دوره مفرغ میانه (هزاره دوم پیش از میلاد) به بعد کاهش شدیدی را تجربه کرده‌اند؛ اگرچه تپه یحیی در این دوره سکونت نشان می‌دهد (دوره IVA، حدود ۴۰۰۰-۳۶۰۰ سال پیش از حاضر)، سکونت‌های معاصر بالقوه در کنار صندل جنوبی (Thornton, 2012) و برخی سایت‌های نزدیک در این زمان تا حدود ۳۲۰۰ سال پیش از حاضر متروک شدند (Shahsavari et al., 2019; Pfälzner et al., 2019; Prickett, 1986a; et al., 2024)؛ البته نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که با وجود نشانه‌های کلی حداقلی از فعالیت کشاورزی از ۴۰۰۰ تا ۳۲۰۰ سال پیش از حاضر، دو دوره احتمالی از فعالیت کشاورزی وسیع در حدود ۳۹۰۰ و ۳۷۰۰ سال پیش از حاضر وجود دارد.

پس از سکونت تپه یحیی (دوره IVA) که در حدود ۳۶۰۰ سال پیش از حاضر به پایان رسید، برای چندین قرن هیچ مدرکی از سکونت‌های دائمی در منطقه مشاهده نمی‌شود (Prickett, 1986a; Pfälzner et al., 2019; Shahsavari et al., 2024). وضعیت مشابهی در بیابان لوت، سیستان و دره بردسیر نیز مشاهده می‌شود؛ هم‌چنین، کاهش چشمگیری در سکونت‌های شناخته‌شده در این زمان هم‌چنین در بلوچستان پاکستان مشاهده می‌شود که حتی به دره ایندوس و به جنوب آسیای مرکزی نیز گسترش می‌یابد. به این دوره به عنوان «بحران شهرنشینی عصر مفرغ» اطلاق می‌گردد (Biscione & Vahdati, 2020)؛ با این حال، در نقاط مرتفع جنوب غرب ایران، دوره کفتری نمایانگر اوج سکونت دائمی در حوضه رودخانه گُرمی‌باشد؛ سپس، در ادامه هزاره دوم پیش از میلاد (دوره‌های قلعه، شغاتی‌موران، حدود ۳۶۰۰-۲۹۰۰ سال پیش از حاضر)، کاهش قابل توجهی در جمعیت در حوضه رودخانه گُرمی رخ داد که به اوج خود در قرن‌های اولیه هزاره اول پیش از میلاد رسید (De Miroschedji, 2003). الگوهای متضاد دیگری نیز در شوش و غرب مرکزی ایران در هزاره دوم پیش از میلاد وجود دارد. شوش از رشد چشمگیری در جمعیت و قدرت منطقه‌ای ایلامی (حدود ۴۰۰۰ سال پیش از حاضر) برخوردار است که در دوره ایلامی میانی (حدود ۳۵۰۰-۳۱۰۰ سال پیش از حاضر) به اوج خود می‌رسد و سپس در

دوره ایلام جدید کاهش شدیدی را تجربه می‌کند (De Miroschedji, 2003). در این زمان، لرستان به طور عمده با قبرستان‌ها به لحاظ باستان‌شناختی نمایانده می‌شود. در مقابل، سکونت در مناطق شمال‌تر در کرمانشاه با افزایش قابل توجهی در سکونت دائمی از اوایل هزاره دوم پیش از میلاد تا دوره مفرغ پایانی شناسایی گردیده است (Matthews & Fazeli Nashli, 2022).

- ۳۴۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر (شرایط خشک)

در حدود پایان عصر مفرغ و ادامه زمان به عصر آهن، حدود ۳۴۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر منطقه دچار خشک‌سالی‌های شدید شده است که توسط گرده گیاهی درمنه و جمعیت درحال گسترش درختچه‌های بیابانی مشخص می‌شود. تالاب در معرض اکسیداسیون (تجزیه) بر اثر خشک‌شدگی قرار گرفته است. به طور کلی، میزان مواد آلی در این دوره بسیار پایین است. اکسیداسیون تخریب مواد آلی را تسهیل کرده و تشکیل تورب‌آمورف را که در این منطقه رایج است، تسهیل کرده است. در این مدت، سطح ایستابی تورب‌زار کاهش یافته است که نشان‌دهنده خشک‌سالی است. وجود منابع کم آب ممکن است مانعی برای رشد درختان شده باشد، که نه تنها با ناپدید شدن درختان ساحلی، بلکه با ظهور درخت کهور تأیید می‌شود.

از ۳۳۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر، منطقه جیرفت براساس نسبت‌های بالای Ti/Si/Al و مقادیر بسیار کم $\delta^{13}C_{OM}$ در مواد آلی و هم‌چنین وجود آلکان‌های نرمال بلند زنجیره با شرایط خشک و بادی مواجه بود (Vaezi *et al.*, 2022; 2024). شرایط خشک و گرد و غباری در این دوره در دریاچه نئور در شمال غرب ایران گزارش شده است (Sharifi *et al.*, 2015). دوره‌های خشک تقریباً در همان زمان در دریاچه زریبار در غرب ایران (Stevens *et al.*, 2008; Wasylikowa & Witkowski, 2008) و در دریاچه مهارلو در جنوب غرب ایران (Schulman *et al.*, 2001) رخ داده است؛ به طور مشابه، دریاچه تسر در این دوره شرایط خشکی را تجربه کرده و کاهش شدید در سطح دریاچه را نشان می‌دهد (Kuzucuoglu *et al.*, 2011). خشک‌سالی‌ها هم‌چنین در دریاچه وان در حدود ۳۳۰۰ سال پیش از حاضر (Lemcke & Sturm, 1997) و دریاچه مرده بین ۳۰۰۰ و ۳۳۰۰ سال پیش از حاضر (Migowski *et al.*, 2006) گزارش شده است. افزایش گرد و غبار و خشکی محیط با افزایش سطوح Ca و K در مغزه یخی GISP2 در گرینلند (افزایش شدت پرفشار سیبری) سازگار است (Mayewski *et al.*, 1997).

شرایط خشک هم‌زمان با خشک‌سالی‌های منطقه‌ای طولانی و کاهش چشمگیر گرده‌های نوع Cerealia در مغزه رسوبی کنار صندل از ۳۴۰۰ تا ۳۲۰۰ سال پیش از حاضر بوده است. پس از آن، افزایش تدریجی در فراوانی گرده‌های نوع Cerealia مغزه رسوبی کنار صندل مشاهده گردید تا به اوج خود در حدود ۲۸۰۰ سال پیش از حاضر رسید.

خشک‌ترین شرایط در حدود ۳۲۰۰ سال پیش از حاضر در فلات ایران رخ داد و

با افول سکونت‌های عصر مفرغ پایانی در منطقه باستانی بین‌النهرین و مدیترانه شرقی هم‌زمان بود (Weiss, 1982b; Haggis, 1993; Kaniewski *et al.*, 2010; Paulette, 2012; Kaniewski *et al.*, 2013; Weiss, 2016; Manning *et al.*, 2020; Baten *et al.*, 2023).

به‌طور مشابه، شرایط گرم و خشک در حدود ۳۲۰۰ سال پیش از حاضر در کاوش‌های باستان‌شناسی از اوگاریت، سوریه گزارش شده است (Alpert & Neumann, 1989). این دوره با کاهش جریان آب در رودخانه‌های دجله و فرات هم‌زمان شده و منجر به خرابی محصولات و شیوع قحطی‌های گسترده در بین‌النهرین شد و افول مداوم سکونت‌ها را به همراه داشت (Kay & Johnson, 1981; Neumann & Parpola, 1987; Alpert & Neumann, 1989; Schulman *et al.*, 2001; Kaniewski *et al.*, 2013; Weiss, 2016; Manning *et al.*, 2020; Baten *et al.*, 2023).

در جنوب شرقی ایران، شواهد سکونت در حال حاضر در سیستان، لوت غربی، دره بردسیر یا منطقه بم قبل از ۲۸۰۰ سال پیش از حاضر مستند نیست (Petrie & Weeks, 2018)؛ با این حال، پژوهش‌هایی که به تازگی منتشر شده نشان می‌دهند که، درست در آن سوی مرز در سیستان افغانستان، سکونت‌هایی در منطقه سر و تار در حدود ۳۰۰۰ سال پیش از حاضر وجود داشته که آبیاری و کشاورزی در مقیاس وسیع داشته‌اند (Allen & Trousdale, 2019). کاهش سکونت، همان‌طور که در سیستان ایران مشاهده می‌شود، هم‌چنین به‌عنوان یک ویژگی در منطقه جیرفت در نظر گرفته می‌شود؛ اما تحقیقات اخیر، سکونت‌های اوایل عصر آهن (حدود ۳۳۰۰-۳۰۰۰ سال پیش از حاضر) را در تم‌گوان و کنار صندل شمالی مستند کرده است (Mashkour *et al.*, 2013; Shahsavari *et al.*, 2024) که تا حدی شکاف طولانی سکونت را پر کرده و با افزایش تدریجی گرده‌های نوع *Cerealia* در مغزه رسوبی کنار صندل هم‌راستا است. در این دوره، کاهش چشمگیر سکونت در حوضه رودخانه کر در طول دوره‌های دوره‌های قلعه، شغاتی‌موران که در بالا ذکر شد، همراه با سکونت‌های نادر احتمالاً در سمت غرب در تپه نورآباد در دره ممسنی مشاهده گردیده است. در خوزستان، دوره‌ای که از اواخر هزاره دوم تا اوایل هزاره اول پیش از میلاد ادامه داشت، شاهد کاهش چشمگیر در سکونت‌ها بود، قبل از آن که افزایش ملایمی در دوره ایلام جدید II در نیمه هزاره اول پیش از میلاد (De Miroshedji, 2003) پدیدار شود. در زاگرس مرکزی، کاوش‌های عصر مفرغ پایانی نشان می‌دهد که در زمان انتقال به عصر آهن آغازین، تپه باباجان و دیگر سایت‌ها، خالی از سکنه شده یا به شدت افول یافته‌اند. این الگو در لرستان و کرمانشاه نیز مشاهده می‌شود و به تغییر در شیوه‌های معیشتی اشاره دارد که بیشتر بر دامپروری نسبت به کشاورزی تأکید دارد. این سازگاری به احتمال زیاد به دلیل تغییرات اقلیمی یا اکولوژیکی اتفاق افتاده است (Neumann & Parpola, 1987; Overlaet, 2013).

- تاریخچه زراعت و دامداری در حوزه فرهنگی هلیل رود

نشانه‌هایی از کشاورزی و دامداری از ۴۰۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر در حوزه فرهنگی

هلیل‌رود در مغزۀ رسوبی مورد بررسی در این مطالعه، وجود دارد؛ با این حال، شواهد محکمی از کشاورزی، که نشان‌دهندۀ سبک زندگی بدون تحرک انسان در طول دورۀ مورد مطالعه باشد، وجود ندارد. گرده‌های نوع غلات، به احتمال زیاد گندم یا جو، گردۀ اصلی گیاهان زراعی است که در حوزۀ فرهنگی هلیل‌رود شناسایی شده است (Mashkour *et al.*, 2013).

کشت غلات بین ۳۹۰۰ تا ۳۷۰۰ سال پیش از حاضر هم‌زمان با شرایط اقلیمی معتدل در درۀ هلیل‌رود قابل تشخیص است، اما کاهش عمده‌ای از ۳۵۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر دیده می‌شود. این بازۀ زمانی هم‌زمان با خشک‌سالی‌های نشان داده شده توسط نشانگرهای مختلف اقلیمی است. دورۀ دیگری که شواهدی برای کشت غلات چندان آشکار نیست، درست پس از افول اولیۀ تمدن کنارصندل رخ داده است. این کاهش فعالیت‌های کشاورزی که در حدود ۴۰۰۰ سال پیش از حاضر اتفاق افتاده، ممکن است با خشک‌سالی نیز مرتبط باشد. این نتایج حاکی از ارتباط بین تغییرات محیطی و سبک زندگی انسان در حوزۀ فرهنگی هلیل‌رود است. به‌طور خاص، خشک‌سالی تأثیر مهمی بر جوامع کشاورزی - دامداری داشته است. با این حال، رها شدن کامل و متروک شدن سکونتگاه بعید است؛ زیرا انواع گردۀ گیاهان مانند بارهنگ^{۲۵} و علف هفت‌بند^{۲۶} در دوره‌های خشک، به‌ویژه ۳۴۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر وجود دارد. به‌نظر می‌رسد از حدود ۳۶۰۰ دامداری گسترده‌تر شده است. گرده‌های شناسایی شده در این بازۀ زمانی به احتمال زیاد با پای مال شدن توسط دام و چرا مرتبط است (Djamali *et al.*, 2009b, Leroy *et al.*, 2013)؛ بنابراین، شرایط سخت اقلیمی ممکن است توسعه سبک زندگی عشایری را که ریشه‌های تاریخی عمیقی در منطقه دارد، توضیح دهد (Zanjāni & Nejtān, 2014).

براساس نتایج سن‌سنجی دانه‌های غلات و استخوان‌های حیوانات اهلی، یک مرحلۀ سکونت در کنارصندل شمالی حدوداً بین ۳۰۰۰ تا ۲۴۰۰ سال پیش از حاضر رخ داده است (Mashkour *et al.*, 2013). این یافته‌ها شواهد گرده‌شناسی مطالعۀ حاضر در خصوص فعالیت‌های کشاورزی-دامداری در این بازۀ زمانی را در منطقه تقویت می‌کند.

درحالی‌که کاهش گونه‌های چوبی ممکن است به عوامل اقلیمی نسبت داده شود، بهره‌برداری از آن‌ها برای سوخت، چوب یا الوار توسط انسان آشکار و اجتناب‌ناپذیر است. بقایای گردۀ درخت گز^{۲۷} در کنارصندل یافت شده است (Mashkour *et al.*, 2013) و شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد چندین نوع درختچه و درختان ساحلی توسط جوامع تاریخی منطقه برای فعالیت‌های مختلف مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند (Tengberg, 2012). این مشاهدات نشان می‌دهد که مردم نقش کلیدی در شکل‌دهی و دستکاری محیط اطراف خود برای به‌دست آوردن زمین برای استفاده کشاورزی و دامداری داشته‌اند.

امروزه خرما مهم‌ترین محصول در منطقه است و وجود خرما در مطالعات قبلی در طول عصر مفرغ گزارش شده است (Mashkour *et al.*, 2013)؛ هم‌چنین در کنارصندل وجود خرما در هزارۀ سوم پیش از میلاد با حکاکی نخل خرما بر روی

ظروف سنگ صابونی ثبت شده است. کنار صندل، با خصوصیات فیزیکی خود شامل هلیل‌رود و چاه‌های آرتزین متعدد، و آب‌وهوای گرم، به‌عنوان یک مکان ایده‌آل برای کشت نخل خرما عمل می‌کند (Tengberg, 2012). گرده خرما هرگز در هیچ‌یک از نمونه‌های این پژوهش یافت نشد که البته جای تعجب ندارد؛ به دلیل تمایز جنسی، کشاورزان درختان ماده را برای تسلط بر مزارع انتخاب می‌کنند. علاوه بر این، تولید گرده درختان خرما نر ضعیف است که منجر به گرده‌افشانی دستی و حذف گرده خرما شده است (Tengberg, 2012).

نتیجه‌گیری

ترکیبی از خصوصیات جغرافیای گیاهی، اقلیمی و باستان‌شناسی منحصربه‌فرد، حوزه فرهنگی هلیل‌رود را به مکانی بسیار مناسب برای مطالعه تغییرات دیرینه اقلیمی و تعاملات انسان و محیط‌زیست تبدیل کرده است. نتایج به‌دست‌آمده از نشانگرهای مختلف اقلیمی (رسوب‌شناسی، ژئوشیمیایی و گرده‌شناسی) نشان می‌دهد که منطقه در بازه زمانی ۴۰۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش‌ازحاضر با تغییرات محیطی ناشی از فشارهای طبیعی و انسانی مواجه شده است. در اواخر هولوسن، منطقه توسط پوشش گیاهی شبه‌ساوانای صحارا-سندی مشخص شد؛ با این حال، چشم‌انداز از جنگل‌های پراکنده بوته‌ای به بوته‌زارهای باز و تخریب‌شده تغییر پیدا کرده است. بخش بزرگی از چنین تغییری ممکن است به فعالیت‌های انسانی، یعنی سوزاندن و متعاقب آن کشاورزی و دامداری، که بعداً منجر به تخریب خاک شده است، مرتبط باشد. چنین شواهدی قویاً توسط افزایش زغال چوب و گرده غلات که با کاهش پوشش گیاهی درختچه‌ای چوبی مطابقت دارد، تأیید می‌شود.

نتایج نشان داد، اکوسیستم تورب‌زار کنار صندل از یک باتلاق کم‌عمق در حدود ۴۰۰۰ تا ۳۹۰۰ سال پیش‌ازحاضر به تالابی پرآب حدود ۳۸۰۰ تا ۳۴۰۰ سال پیش‌ازحاضر تغییر کرده است. که تحت سلطه نوعی نی توپی و گندمیان بوده است. وجود درخت ساحلی بید در رکورد گرده نشان می‌دهد که شرایط آب‌وهوایی به اندازه کافی مرطوب بوده تا از تخلیه آب کافی در رودخانه هلیل‌رود و یا گسترش کانال‌ها و نهرهای دست‌ساز انسان پشتیبانی کند؛ با این حال، با توجه به ظرفیت ضعیف تولید گرده درخت گز، حضور گرده آن احتمالاً به این معنی است که جنگل‌های ساحلی فراوان بوده‌اند. تغییرات در پیکربندی پوشش گیاهی و فراوانی گرده‌های غلات نشان‌دهنده فعالیت‌های کشاورزی در بازه زمانی بین ۳۹۰۰ تا ۳۷۰۰ سال پیش است. مطالعات نشان می‌دهد، در این بازه زمانی شرایط مرطوب/نیمه مرطوب در دریاچه‌های مختلف منطقه نیز ثبت گردیده است.

هر دو نوع سکونت‌های مستقل و سیستم کلی سکونت در جنوب شرقی ایران به نظر می‌رسد که از هزاره دوم پیش‌ازمیلاد به بعد کاهش شدیدی را تجربه کرده‌اند. اگرچه تپه یحیی در این دوره سکونت نشان می‌دهد (دوره IVA، حدود ۴۰۰۰-۳۶۰۰ سال پیش‌ازحاضر)، سکونت‌های معاصر بالقوه در کنار صندل جنوبی و برخی سایت‌های نزدیک در این زمان تا حدود ۳۲۰۰ سال پیش‌ازحاضر متروک

شدند؛ البته نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که با وجود نشانه‌های کلی حداقلی از فعالیت کشاورزی از ۴۰۰۰ تا ۳۲۰۰ سال پیش از حاضر، دو دوره احتمالی از فعالیت کشاورزی وسیع بین ۳۹۰۰ و ۳۷۰۰ سال پیش از حاضر وجود دارد.

پس از سکونت تپه یحیی (دوره IVA) که در حدود ۳۶۰۰ سال پیش از حاضر به پایان رسید، برای چندین قرن هیچ مدرکی از سکونت‌های دائمی در منطقه مشاهده نمی‌شود. وضعیت مشابهی در بیابان لوت، سیستان و دره بردسیر نیز مشاهده می‌شود. به این دوره به عنوان «بحران شهرنشینی عصر مفرغ» اطلاق می‌گردد. با این حال، در نقاط مرتفع جنوب غرب ایران، دوره کفتری نمایانگر اوج سکونت دائمی در حوضه رودخانه گر می‌باشد؛ سپس، در ادامه هزاره دوم پیش از میلاد (دوره‌های قلعه، شغاتی‌موران، حدود ۳۶۰۰-۲۹۰۰ سال پیش از حاضر)، کاهش قابل توجهی در جمعیت در حوضه رودخانه گر رخ داد که به اوج خود در قرن‌های اولیه هزاره اول پیش از میلاد رسید.

در حدود حدود ۳۴۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر منطقه دچار خشک‌سالی‌های شدید شده است که با فراوانی بالای درختچه‌های بیابانی و غلبه تاج خروس و درمنه نشان داده شد. تالاب در معرض اکسیداسیون (تجزیه) بر اثر خشک‌شدگی قرار گرفته است؛ به طور کلی، میزان مواد آلی در این دوره بسیار پایین است. اکسیداسیون تخریب مواد آلی را تسهیل کرده و تشکیل تورب آمورف را که در این منطقه رایج است، تسهیل کرده است. در این مدت سطح ایستابی تورب زار کاهش یافته است که نشان‌دهنده خشک‌سالی است. وجود منابع کم آب ممکن است مانعی برای رشد درختان شده باشد، که نه تنها با ناپدید شدن درختان ساحلی، بلکه با ظهور درخت کهور تأیید می‌شود. چنین تغییرات اقلیمی نیز با یافته‌های سایر مطالعات در خاورمیانه مطابقت دارد. با ورود به دوره عصر آهن (۳۴۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش) شاهد شرایط خشک شدید و کمبود منابع آب در منطقه بودیم، که به کاهش جمعیت و سکونت‌ها انجامید. شرایط اقلیمی نامساعد تأثیرات جدی بر سبک زندگی ساکنین منطقه گذاشته و ممکن است منجر به انتقال به شیوه‌های معیشتی دامپروری به جای کشاورزی شده باشد.

خشک‌ترین شرایط در حدود ۳۲۰۰ سال پیش از حاضر در فلات ایران رخ داد و با افول سکونت‌های عصر مفرغ پایانی در منطقه باستانی بین‌النهرین و مدیترانه شرقی هم‌زمان بود. در جنوب شرقی ایران، شواهد سکونت درحال حاضر در سیستان، لوت غربی، دره بردسیر یا منطقه بم قبل از ۲۸۰۰ سال پیش از حاضر مستند نیست؛ اما تحقیقات اخیر، سکونت‌های اوایل عصر آهن (حدود ۳۳۰۰-۳۰۰۰ سال پیش از حاضر) را در تم‌گوان و کنار صندل شمالی مستند کرده است که تاحدی شکاف طولانی سکونت را پر کرده و با افزایش تدریجی گرده‌های نوع *Cerealia* در مغزه رسوبی کنار صندل هم‌راستا است. در این دوره، کاهش چشمگیر سکونت در حوضه رودخانه گر در طول دوره‌های دوره‌های قلعه، شغاتی‌موران که در بالا ذکر شد، همراه با سکونت‌های نادر احتمالاً در سمت غرب در تپه نورآباد در دره ممسنی مشاهده گردیده است.

نتایج مطالعه حاضر، حاکی از ارتباط بین تغییرات محیطی و سبک زندگی انسان در حوزه فرهنگی هلیل رود است. مطالعه مغزه کنارصندل نشان می‌دهد که از دوران باستان، دخالت انسانی قابل توجهی بر هیدرولوژی تالاب وجود دارد. فعالیت‌های انسانی، مانند: کشت غلات، سوزاندن و پاک‌سازی پوشش گیاهی در طول دوره مطالعه قابل ردیابی بود. به طور خاص، خشک‌سالی تأثیر مهمی بر جوامع کشاورزی - دامداری داشته است؛ با این حال، رهاشدن کامل و متروک شدن سکونتگاه بعید است؛ زیرا انواع گرده گیاهان، مانند بارهنگ و علف هفت‌بند در دوره‌های خشک، به‌ویژه ۳۴۰۰ تا ۲۹۰۰ سال پیش از حاضر وجود دارد. به نظر می‌رسد از حدود ۳۶۰۰ دامداری گسترده‌تر شده است. گرده‌های شناسایی شده در این بازه زمانی به احتمال زیاد با پای مال شدن توسط دام و چرا مرتبط است؛ بنابراین، شرایط سخت اقلیمی ممکن است توسعه سبک زندگی عشایری را که ریشه‌های تاریخی عمیقی در منطقه دارد، توضیح دهد.

سپاسگزاری

از حمایت‌های پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی برای کاوش و فعالیت‌های لجستیکی مختلف در طول انجام این پروژه بسیار سپاسگزاریم. از آقای دکتر روح‌الله شیرازی و آقای دکتر جویانتوروث به خاطر راهنمایی‌های ارزشمندشان در طول این تحقیق تشکر می‌کنیم.

درصد مشارکت نویسندگان

مفهوم‌پردازی: علیرضا واعظی، وحید توکلی، عبدالمجید نادری‌بنی؛ گردآوری داده‌ها: علیرضا واعظی، مرتضی جمالی؛ آنالیز و تحلیل: علیرضا واعظی، مرتضی جمالی؛ تأمین مالی: وحید توکلی، عبدالمجید نادری‌بنی، مرتضی جمالی؛ نگارش پیش‌نویس اصلی: علیرضا واعظی؛ نگارش-بازبینی و اصلاح: علیرضا واعظی، مرتضی جمالی.

تضاد منافع

نویسندگان ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع‌دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

پی‌نوشت

1. High-resolution
2. Palynological
3. Bioarchaeological
4. Geomorphology
5. Russian peat corer
6. Chronology
7. Accelerator Mass Spectrometry
8. Laboratory, Poland Poznań Radiocarbon
9. Magnetic Susceptibility
10. Total Organic Carbon

11. Total Nitrogen
12. TOC/TN
13. Amaranthaceae
14. Artemisia
15. Poaceae
16. Sparganium
17. Cyperaceae
18. Cerealia-type
19. Gytja
20. Amorphous peat
21. Total aquatic pollen
22. Plantaginaceae
23. Polygonum aviculare
24. Tamarix
25. Prosopis
26. Xerophytic shrubs and trees
27. Riparian tree Salix

کتابنامه

- واعظی، علیرضا؛ جمالی، مرتضی؛ اسکندری، نصیر؛ توکلی، وحید؛ و نادری بنی، عبدالمجید، (۱۴۰۳). «تأثیرات تغییرات دیرینه اقلیم بر شکوفایی و افول سلسله‌های حاکم بر ایران و فرهنگ‌های باستانی جنوب شرق ایران از هزاره دوم پیش از میلاد، تا دوره ساسانی». *مطالعات باستان‌شناسی پارسه*، ۸ (۲۷): ۸۰-۵۹. <https://dx.doi.org/10.22034/PJAS.8.27.37>

- Allen, M. & Trousdale, W. B., (2019). "Early iron age culture of Sistan, Afghanistan". *Afghanistan*, 2(1). <https://doi.org/10.3366/afg.2019.0025>

- Alpert, P. & Neumann, J., (1989). "An Ancient "Correlation" between Streamflow and Distant Rainfall in the near East". *Journal of Near Eastern Studies*, 48(4). <https://doi.org/10.1086/373411>

- Biscione, R. & Vahdati, A. A., (2020). "The BMAC presence in eastern Iran". In: *The World of the Oxus Civilization*. <https://doi.org/10.4324/9781315193359-23>

- De Miroschedji, P., (2003). "Susa and the highlands: major trends in the history of Elamite civilization". *Yeki Bud, Yeki Nabud: Essays on the Archaeology of Iran in Honor of William M. Sumner*: 17-38.

- Dearing, J., (1994). *Environmental magnetic susceptibility*. Using the Bartington MS2 System, Kenilworth, Chi Publ.

- Djamali, M., Akhiani, H., Andrieu-Ponel, V., Braconnot, P., Brewer, S., de Beaulieu, Jacques-L., Fleitmann, D., Fleury, J., Gasse, F., Guibal, F., Jackson, S., Lezine, A.-M., Médail, F., Ponel, P., Roberts, N. & Stevens, L., (2010). "Indian Summer Monsoon variations could have affected the early-Holocene woodland expansion in the Near East". In: *The Holocene* (Vol. 20). <https://doi.org/10.1177/0959683610362813>

- Djamali, M., Beaulieu, J. de & Shah-hosseini, M., (2008). "A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran". *Quaternary*, <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.03.004>

- Djamali, M., de Beaulieu, J. L., Andrieu-Ponel, V., Berberian, M., Miller, N. F., Gandouin, E., Lahijani, H., Shah-Hosseini, M., Ponel, P., Salimian, M. & Guiter, F., (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). <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.01.022>

- Fiorentino, G., Caracuta, V., Calcagnile, L., D'Elia, M., Matthiae, P., Mavelli, F. & Quarta, G., (2008). "Third millennium B.C. climate change in Syria highlighted by Carbon stable isotope analysis of 14C-AMS dated plant remains from Ebla". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 266: 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.03.034>

- Goslar, T. & Czernik, J., (2000). "Sample preparation in the Gliwice Radiocarbon Laboratory for ams 14C dating". *Geochronometria*, 18: 1–8.

- Griffiths, H., Schwalb, A. & Stevens, L., (2001). *Environmental change in southwestern Iran: the Holocene ostracod fauna of Lake Mirabad*. The Holocene. <https://doi.org/10.1191/09596830195771>

- Haggis, D. C., (1993). "Intensive survey, traditional settlement patterns, and Dark Age Crete: the case of early Iron Age Kavousi". *Journal of Mediterranean Archaeology*, 6(2). <https://doi.org/10.1558/jmea.v6i2.131>

- Hedges, J. I. & Stern, J. H., (1984). "Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids¹". *Limnology and Oceanography*, 29(3): 657–663. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.3.0657>

- Jones, M. D., Djamali, M., Holmes, J., Weeks, L., Leng, M. J., Lashkari, A., Alamdari, K., Noorollahi, D., Thomas, L. & Metcalfe, S. E., (2015). "Human impact on the hydroenvironment of Lake Parishan, SW Iran, through the late-Holocene". *Holocene*, 25(10). <https://doi.org/10.1177/0959683615594242>

- Kaniewski, D., Paulissen, E., Van Campo, E., Weiss, H., Otto, T., Bretschneider, J. & Van Lerberghe, K., (2010). "Late second-early first millennium BC abrupt climate changes in coastal Syria and their possible significance for the history of the Eastern Mediterranean". *Quaternary Research*, 74(2). <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2010.07.010>

- Kay, P. A. & Johnson, D. L., (1981). "Estimation of Tigris-Euphrates streamflow from regional paleoenvironmental proxy data". *Climate Change*, 3: 251–263. <https://doi.org/10.1007/BF02423218>

- Kuzucuoglu, C., Dorfler, W., Kunesch, S. & Goupille, F., (2011). "Mid-to late-Holocene climate change in central Turkey: The Tecer Lake record". *The Holocene*, 21(1): 173–188. <https://doi.org/10.1177/0959683610384163>
- Lemcke, G. & Sturm, M., (1997). "δ¹⁸O and Trace Element Measurements as Proxy for the Reconstruction of Climate Changes at Lake Van (Turkey): Preliminary Results". In: H. N. Dalfes, G. Kukla, & H. Weiss (Eds.), *Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse* (Pp: 653–678). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60616-8_29
- Mashkour, M., Tengberg, M., Shirazi, Z. & Madjidzadeh, Y., (2013). "Bio-archaeological studies at Konar Sandal, Halil Rud basin, southeastern Iran". *Environmental Archaeology*, 18(3): 222–246. <https://doi.org/10.1179/1749631413Y.0000000006>
- Matthews, R. & Nashli, H. F., (2022). "The Archaeology of Iran from the Palaeolithic to the Achaemenid Empire". In: *The Archaeology of Iran from the Palaeolithic to the Achaemenid Empire*. <https://doi.org/10.4324/9781003224129>
- Mayewski, P. A., Meeker, L. D., Twickler, M. S., Whitlow, S., Yang, Q., Lyons, W. B. & Prentice, M., (1997). "Major features and forcing of high-latitude northern hemisphere atmospheric circulation using a 110,000-year-long glaciochemical series". *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 102(C12): 26345–26366. <https://doi.org/10.1029/96JC03365>
- Migowski, C., Stein, M., Prasad, S., Negendank, J. F. W. & Agnon, A., (2006). "Holocene climate variability and cultural evolution in the Near East from the Dead Sea sedimentary record". *Quaternary Research*, 66(3). <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2006.06.010>
- Neumann, J. & Parpola, S., (1987). "Climatic Change and the Eleventh-Tenth-Century Eclipse of Assyria and Babylonia Author(s)". *Journal of Near Eastern Studies*, 46 (3): 161-182. <https://doi.org/10.1086/373244>
- Overlaet, B., (2013). *Luristan during the Iron Age*. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199733309.013.0029>
- Paulette, T., (2012). "Domination and resilience in bronze age mesopotamia". In: *Surviving Sudden Environmental Change: Answers from Archaeology*. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1wn0rbs.12>
- Petrie, C. A. & Weeks, L., (2019). "The Iranian Plateau and the Indus River Basin". In: *Climate Changes in the Holocene*. <https://doi.org/10.1201/9781351260244-14>
- Pfälzner, P., Soleimani, N. A. & Karimi, M., (2019). "SOJAS 2015–

2018: A Résumé of Four Seasons of Archaeological Survey South of Jiroft. Archaeology". *Journal of the Iranian Center for Archaeological Research*, 2(2): 107–124.

- Prickett, M. E. (1986). *Man, Land, and Water: Settlement Distribution and the Development of Irrigation Agriculture in the Upper Rud-I Gushk Drainage, Southeastern Iran*. (Vols. I-III). Harvard University.

- Roberts, N., Jones, M. D., Benkaddour, A., Eastwood, W. J., Filippi, M. L., Frogley, M. R., Lamb, H. F., Leng, M. J., Reed, J. M. & Stein, M., (2008). "Stable isotope records of Late Quaternary climate and hydrology from Mediterranean lakes: the ISOMED synthesis". *Quaternary Science Reviews*, 27(25–26): 2426–2441. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.09.005>

- Schilman, B., Bar-Matthews, M., Almogi-Labin, A. & Luz, B., (2001). "Global climate instability reflected by Eastern Mediterranean marine records during the late Holocene". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176(1–4). [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00336-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00336-4)

- 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. K. & Swart, P. K., (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. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.07.006>

- Stevens, L. R., Ito, E., Schwalb, A. & Wright, H. E., (2006). "Timing of atmospheric precipitation in the Zagros Mountains inferred from a multi-proxy record from Lake Mirabad, Iran". *Quaternary Research*, 66(03): 494–500. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2006.06.008>

- Stevens, L. R., Ito, E. & Wright, H. E., (2008). "Variations in effective moisture at Lake Zeribar, Iran during the last glacial period and Holocene, inferred from the d18O values of authigenic calcite". In: K. Wasylikowa & A. Witkowski (Eds.), *Diatom Monographs, Vol. 8, The palaeoecology of Lake Zeribar and surrounding areas, Western Iran, during the last 48,000 years* (p. 377). A.R.G.Gantner Verlag K.G.

- Stevens, L. R., Wright, H. E. & Ito, E., (2001). "Proposed changes in seasonality of climate during the Lateglacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran". *The Holocene*, 11(6): 747–755. <https://doi.org/10.1191/09596830195762>

- Vaezi, A., Djamali, M., Skandari, N., Tavakoli, V. & Naderi Beni, A., (2024). "The Influence of Paleoclimatic Variability on the Rise and Fall of Iranian Dynasties and Ancient Cultures in Southeastern Iran from the 2nd

Millennium BCE to the Sassanid Period”. *Parseh Journal of Archaeological Studies*, 8(27): 59–80.

- Vaezi, A., Routh, J., Djamali, M., Gurjazkaite, K., Tavakoli, V., Beni, A. N. & Roberts, P., (2022). “New multi-proxy record shows potential impacts of precipitation on the rise and ebb of Bronze Age and imperial Persian societies in southeastern Iran”. *Quaternary Science Reviews*, 298: 107855. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2022.107855>

- Verheyden, S., Nader, F. H., Cheng, H. J., Edwards, L. R. & Swennen, R., (2008). “Paleoclimate reconstruction in the Levant region from the geochemistry of a Holocene stalagmite from the Jeita cave, Lebanon”. *Quaternary Research*, 70(3): 368–381. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.05.004>

- Wasylkova, E. K. & Witkowski, A., (Eds.). (2008). *Diatom Monographs Vol. 8: The palaeoecology of Lake Zeribar and surrounding areas, Western Iran, during the last 48000 years*. A. R. G. Gantner Verlag K. G.

- Weiss, B., (1982). “The decline of Late Bronze Age civilization as a possible response to climatic change”. *Climatic Change*, 4(2). <https://doi.org/10.1007/BF02423389>