Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Summer 2026, Vol. 16(2): 100 - 120

Research Article

Investigating the impact of the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) on the Taleh Zang Formation using isotopic geochemistry and its relation to Neo-Tethyan carbonate platform evolution (case study: Rit anticline)

Mohammad Reza Zakerzadeh[1]*

1- Operations Geology Division, National Iranian South Oil Company (NISOC), Ahvaz, Iran

Abstract

This study investigates the impacts of the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM), a global extreme warming event at the SBZ 4- SBZ 5 biozone boundary, and the trend of Early Paleogene platform evolution stages. We studied five surface sections of the Taleh Zang Formation in the Lurestan area and one subsurface section from the Lab-e Safid oil field in the Dezful Embayment. Biostratigraphic analysis defined SBZs and platform evolution stages for all sections. The Rit section was identified as the sole candidate for geochemical analysis, characterized by SBZ 4 and platform evolution stage II. Isotopic analysis ($\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$) of the LBF tests indicated a relative decrease in oxygen isotopes, suggesting an average temperature increase of 34 °C. However, the characteristic sharp negative oxygen and carbon isotope excursions of the PETM were less pronounced in this section compared to other Circum-Tethyan platforms. Contrary to the typical pattern, a complete faunal turnover from SBZ 4 to SBZ 5 was not observed. Index species such as *Azzarolina daviesi* and *Glomalveolina levis* persisted until the end of Taleh Zang Formation deposition in the Rit section. This suggests the influence of local factors such as environmental refugia, tectonic effects, and delayed species migration. In conclusion, while the PETM warming signature is present, its intensity was milder in this area, potentially indicating that the region experienced the early to middle stages of this extreme warming event. Such studies can be applied to regional biostratigraphic correlations, hydrocarbon reservoir modelling, and groundwater resource management.

Keywords: *PETM, Taleh Zang Formation, Isotopic geochemistry, Carbonate platform, Rit anticline.*

1-Introduction

The Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) was a brief period (about 200,000 years) of extreme global warming approximately 56 million years ago, characterized by a negative carbon isotope excursion (CIE) in marine and terrestrial records. A sharp increase in the concentrations of potent greenhouse gases, such as carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4), occurred due to the release of methane hydrates from the ocean floor, massive volcanic eruptions in the North Atlantic region, and lava flows over organic-rich sediments, which increased CO_2 levels in the atmosphere and ocean waters. This was accompanied by the thawing of permafrost, which released vast amounts of stored carbon; severe wildfires triggered by volcanic eruptions; impacts of carbon-rich meteorites on Earth; significant methane emissions from wetlands and marshes; and increased chemical weathering of silicate rocks following increased rainfall (Zachos, 2003, 2006, 2010; Scheibner and Speijer, 2008, 2009). This event significantly impacted marine ecosystems, including larger benthic foraminifera (LBFs), and is a key marker for understanding rapid climate change. In the Neo-Tethyan realm, the PETM coincides with the boundary between Shallow Benthic Zones SBZ 4 and SBZ 5, marking a major shift in carbonate platform evolution. Early Paleogene carbonate platform evolution depended on three main factors: the presence or absence of corals, the distribution of larger benthic foraminifera (LBFs), and the position of the carbonate platform at different paleolatitudes (Scheibner and Speijer, 2008; BouDgher-Fadel, 2008). According to these researchers, the impacts of the PETM on the Neo-Tethyan carbonate platforms are particularly significant for the following reasons:

* Corresponding author: mrz223.geo@gmail.com
DOI: 10.22055/aag.2026.51040.2544
Received: 2025-11-02
Accepted: 2026-09-11

ISSN: 2717-0764

Impact on carbonate production: Extreme warming, decreased pH, seawater acidification, and changes in salinity could affect carbonate-producing communities such as corals, calcareous algae, and foraminifera, leading to alterations in sedimentation patterns.

Identification of Early Paleogene platform evolution stages: At the SBZ 4–SBZ 5 boundary or during the transition to subsequent biozones (the shift from platform stage II to platform stage III), changes in carbon and oxygen isotope ratios can indicate variations in water depth, temperature, and environmental conditions that influenced depositional patterns.

Effects in the Mediterranean and Alpine basins: The PETM and associated CIE events had notable impacts on the Neo-Tethyan carbonate platforms, bringing about considerable transformations. Similar changes can be traced in other Circum-Neo-Tethyan basins.

Biological impacts: Decreases in carbon ($\delta^{13}C$) and oxygen ($\delta^{18}O$) isotope values coincide with the extinction of se

2-Material and methods

Six sections of the Taleh Zang Formation were initially selected and studied. The selected sections include five surface sections-Zangul, Posht-e Jangal, Rit, Daryageriveh, and Chenarh-located in the Lurestan area, and the Lab-e Safid subsurface section, situated in the northeastern Dezful Embayment. Detailed biostratigraphic analysis of LBF assemblages was conducted on 456 thin sections. This analysis allowed the determination of SBZs and platform evolution stages for each section. The Rit section was identified as the only section containing the SBZ 4 zone (Late Thanetian) and platform evolution stage II, which encompasses the PETM interval. In this section, the Taleh Zang Formation includes the following index LBFs:

Operculina subsalsa, Operculina cf. heberti, Discocyclina seunesi, Discocyclina ranikotensis, Miscellanea miscella, Miscellanea iranicus, Miscellanea juliettae, Ranikothalia nuttali, Ranikothalia sindensis, Daviesina khatiyahi, Assilina azilensis, Assilina yvettae, Nummulites convexa, Nummulites cf. catari, Idalina sinjarica, Alveolina pastisillata, Alveolina cf. globula, Glomalveolina levis, Glomalveolina primaeva, Pseudolithonella richeli, Sakessaria dukhani, Azzarolina daviesi, Avia labyrinthica, Avia cf. anatolica, and *Haymanella elongata.*

Consequently, ten powdered samples from well-preserved LBF tests (*Azzarolina, Glomalveolina*, and miliolids) from the upper part of the formation in the Rit section were selected for stable isotope ($\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$) analysis using mass spectrometry. Paleotemperature was calculated using the established equation of Anderson and Arthur (1983).

3- Results and discussions

The PETM event was accompanied by a sharp excursion in carbon ($\delta^{13}C$) and oxygen ($\delta^{18}O$) isotope values. Analysis of these isotopes is not only essential for understanding past climate changes but also plays a key role in determining Early Paleogene platform evolution stages, particularly at the boundary between SBZ 4 and SBZ 5 (Scheibner and Speijer, 2008). Using geochemical methods, particularly carbon ($\delta^{13}C$) isotopes in sediments and micro- and macrofossil tests at the Late Paleocene–Early Eocene boundary, this phenomenon can be investigated. Changes in oxygen ($\delta^{18}O$) isotope values primarily reflect temperature fluctuations and variations in the hydrological cycle. During the PETM, a decrease in oxygen ($\delta^{18}O$) values in foraminiferal tests and carbonate sediments indicates global warming at the Late Paleocene–Early Eocene boundary (Zachos et al., 2006; Dickens, 2009; Westerhold et al., 2020). In general, carbon ($\delta^{13}C$) and oxygen ($\delta^{18}O$) isotope records in LBF tests are recognized as valuable, cumulative archives of short-term changes in the Paleogene carbon cycle, temperatures at different depths, and seawater composition. One of the most important applications of oxygen ($\delta^{18}O$) isotope analysis in carbonates is determining their formation temperature during deposition, in other words, estimating the ambient water temperature at the time of carbonate deposition. This means that a decrease in oxygen ($\delta^{18}O$) isotope values corresponds to an increase in water temperature (Zachos et al., 2006).

Biostratigraphic results confirmed the presence of an index SBZ 4 assemblage in the Rit section, a Late Thanetian age, and platform stage II, with no evidence of SBZ 5 LBF assemblages.

ISSN: 2717-0764
CC BY

4-Conclusion

The combined biostratigraphic and isotopic evidence suggests that the Taleh Zang Formation in the Rit anticline section was influenced by the early to middle phase of the PETM warming event but did not experience its full intensity or the peak thermal impact of this event by the end of deposition of the Taleh Zang Formation. The muted CIE, the absence of a definitive SBZ 4- SBZ 5 boundary, and the persistence of SBZ 4 LBF fauna indicate that this area might have acted as a local refugium. This could be due to local tectonic controls, specific hydrological conditions, or a delayed response to the global climatic perturbation compared with other parts of the Neo-Tethys. In conclusion, while the warming signature of the PETM is recorded, its most severe biotic and geochemical impacts are attenuated in the Rit section, highlighting the importance of local factors in modulating the effects of global climate events. However, the contribution of erosional processes affecting the overlying Kashkan Formation, which constitutes the stratigraphic cover of the Taleh Zang Formation, to the development of the Inverted J Trend phenomenon, as well as the role of diagenetic processes, particularly vadose diagenesis, should not be overlooked. Overall, such studies can have various practical applications in different fields of Earth sciences, including the exploration and evaluation of carbonate reservoirs, hydrocarbon reservoir modeling, biostratigraphy and regional/global correlation, and groundwater resource management.

5-References

Anderson, T.F., Arthur, M.A., 1983. Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems. In: Arthur, M.A., Anderson, T.F., Kaplan, I.R., Veizer, J., Land, L.S. (Eds.), Stable isotopes in sedimentary geology. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Short Course No.10, Tulsa, Oklahoma, pp. 1-151.

BouDagher-Fadel, M.K., 2008. Evolution and geological significance of larger benthic foraminifera. Developments in Palaeontology and Stratigraphy, 1st edition. Elsevier, Amsterdam, p. 544

Dickens, G.R., 2009. Early Cenozoic Hyperthermals: The Sedimentary Record of Rapid Global Warming and Massive Carbon Input, 1st edition. Department of Earth Sciences, Rice University, Houston, Texas, p. 185

Scheibner, C., Speijer, R.P., 2008. Late Paleocene–Early Eocene Tethyan carbonate platform evolution – a response to long- and short-term paleoclimatic change. Earth-Science Reviews 90, 71–102. https://doi.org/10.1016/j.earscirev. 2008.07.002

Scheibner, C., Speijer, R.P., 2009. Recalibration of the Tethyan shallow-benthic zonation across the Paleocene-Eocene boundary: the Egyptian record. Geologica Acta 7, 195-214. https://doi.org/10.1344/105.000000267

Westerhold, T., Marwan, N., Drury, A.J., Liebrand, D., Agnini, C., Anagnostou, E., Barnet, J.S.K., Bohaty, S.M., De Vleeschouwer, D., Florindo, F., Frederichs, T., Hodell, D.A., Holbourn, A.E., Kroon, D., Lauretano, V., Littler, K., Lourens, L.J., Lyle, M., Pälike, H., Röhl, U., Tian, J., Wilkens, R.H., Wilson, P.A., Zachos, J.C., 2020. An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years. Science 369, 1383-1897. https://doi.org/10.1126/science.aba6853

Zachos, J.C., Wara, M.W., Bohaty, S., Delaney, M.L., Petrizzo, M.R., Brill, A., Bralower, T.J., Premoli-Silva, I., 2003. A transient rise in tropical sea surface temperature during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum. Science 302, 1551–1554. https://doi.org/10.1126/science.1090110

Zachos, J.C., Schouten, S., Brinkhuis, H., Sluijs, A., 2006. Extreme warming of mid-latitude coastal ocean during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum: Inferences from TEX86 and isotope data. Geology 34 (9), 737–740. https://doi.org/10.1130/g22522.1

Zachos, J.C., Dickens, G.R., Zeebe, R.E., 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. Nature 451, 279–283. https://doi.org/10.1038/nature06588

Zachos, J.C., McCarren, H., Murphy, B., Röhl, U., Westerhold, T., 2010. Tempo and scale of late Paleocene and early Eocene carbon isotope cycles: Implications for the origin of hyperthermals. Earth and Planetary Science Letters 299, 242-249, https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.09.004

ISSN: 2717-0764

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Zakerzadeh, M., 2026. Investigating the impact of the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) on the Taleh Zang Formation using isotopic geochemistry and its relation to Neo-Tethyan carbonate platform evolution (case study: Rit anticline). Adv. Appl. Geol. 16 (2), 100-120.
DOI: 10.22055/aag.2026.51040.2544
https://aag.scu.ac.ir/article_20925.html

©2026 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

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

بررسی احتمال تاثیر رویداد بیشینه دمایی مرز پالئوسن ـ ائوسن (PETM) در سازند تله‌زنگ با استفاده از داده‌های ژئوشیمی ایزوتوپی و ارتباط آن با تکامل پلاتفرم‌های کربناته نئوتتیس (مطالعه موردی: تاقدیس ریت)

محمدرضا ذاکرزاده

اداره عملیات زمین‌شناسی، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب ایران، اهواز، ایران

mrz223.geo@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۰

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر رویداد بیشینه دمایی پالئوسن-ائوسن (PETM)، که به صورت جهانی در مرز زون‌های زیستی SBZ 4 و SBZ 5 رخ داده است، و ارتباط آن با تکامل پلاتفرم‌های کربناته نئوتتیس، در پنج برش سطح‌الارضی از سازند تله‌زنگ در تاقدیس‌های زنگول، پشت‌جنگل، ریت، دریاگریوه و چناره در ناحیه لرستان و برش زیرسطحی میدان نفتی لب‌سفید در فروافتادگی دزفول انجام شد. با استفاده از مطالعات زیست‌چینه‌نگاری، زون‌های زیستی و مراحل تکامل پلاتفرمی برای این برش‌ها تعیین گردید. در این راستا، زون زیستی SBZ 4 و مرحله تکامل پلاتفرمی II برای برش تاقدیس ریت، تنها گزینه انجام مطالعات ژئوشیمی ایزوتوپی، شناسایی شد. نتایج تحلیل‌های ایزوتوپی اکسیژن $\delta^{18}O$ و کربن $\delta^{13}C$ روی پوسته‌های روزنبران درشت کف‌زی، کاهش نسبی در ایزوتوپ اکسیژن و افزایش دما با میانگین ۳۴ درجه سانتیگراد را نشان داد. در این مطالعه، انحراف ناگهانی و شدید منحنی‌های ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن مشخصه PETM، به شدت سایر پلاتفرم‌های حوضه نئوتتیس نبوده و کمی ملایم‌تر مشخص شدند. همچنین بر خلاف الگوی رایج در دیگر پلاتفرم‌های حوضه نئوتتیس، جایگزینی فونای SBZ 4 با SBZ 5 مشاهده نگردید و تداوم حضور گونه‌های شاخصی نظیر *Azzarolina daviesi* و *Glomalveolina levis* تا انتهای زمان رسوبگذاری سازند تله‌زنگ در برش ریت دیده شد. این امر می‌تواند نشان دهنده تاثیر شرایطی مانند پناهگاه‌های محیطی، عوامل تکتونیکی و تاخیر در مهاجرت گونه‌ها باشد و اینکه منطقه در مراحل ابتدایی تا میانی این رویداد گرمایشی قرار داشته است. این‌گونه مطالعات می‌توانند در تطابق‌های زیست‌چینه‌نگاری منطقه‌ای، مدل‌سازی مخازن هیدروکربوری و مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی یه‌کار گرفته شوند.

کلمات کلیدی: *تاقدیس ریت، تحلیل ایزوتوپی، تکامل پلاتفرمی، رویداد بیشنه دمایی، سازند تله‌زنگ*

۱ـ مقدمه

سنوزوئیک پیشین با مجموعه‌ای از رویدادهای گرمایشی زودگذر مشخص می‌شود که یکی از طولانی‌ترین و شاخص‌ترین این دوره‌ها در مرز اپوک‌های پالئوسن-ائوسن بوقوع پیوسته است. مرز پالئوسن پسین-ائوسن پیشین یکی از مهم‌ترین نقاط تحول در تاریخچه زمین‌شناسی پالئوژن و زمان بروز تغییرات شگرف در خصوصیات کربنات‌های کم‌عمق بوده است (Zachos et al., 2003, 2006; Scheibner and Speijer, 2009; Zhang et al., 2019). این مرز با یک رویداد گرمایشی ناگهانی کوتاه مدت به نام پدیده بیشینه دمایی پالئوسن-ائوسن یا Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) شناخته می‌شود (Zachos et al., 2005, 2010). این پدیده که حدود ۵۶ میلیون سال پیش در یک بازه زمانی دویست هزار ساله و در خلال پالئوسن پسین-ائوسن پیشین بوقوع پیوسته، گرم‌ترین بازه زمانی پالئوژن است که با افزایش ۵ تا ۸ درجه سانتیگراد در دمای جهانی سطح آب دریاها شناخته می‌شود، به طوری که عده‌ای از دانشمندان این واقعه را به عنوان تابستان جوشان یا Bolide Summer توصیف کرده‌اند (Cramer and Kent, 2005). رویداد PETM یکی از مهم‌ترین رویدادهای گرمایشی در تاریخ زمین است. این رویداد با افزایش ناگهانی دمای جهانی و اختلال در چرخه کربن همراه بوده است. تشخیص PETM در نهشته‌های رسوبی پالئوژن از طریق بررسی شواهد

ژئوشیمیایی یکی از روش‌های استاندارد در مطالعات اقلیم شناسی دیرینه محسوب می‌شود. این رویداد به عنوان یک نشانگر ایزوتوپی جهانی عمل می‌کند و امکان تطابق میان نهشته‌ها و رسوبات پالئوژن زیرین را در پلاتفرم‌های پیرامون نئوتتیس (Circum-Neo-Tethyan Platforms) در مرز پالئوسن پسین-ائوسن پیشین فراهم می‌نماید. اهمیت PETM به عنوان یک مطالعه موردی برای تغییرات اقلیمی سریع و اثرات آن بر اکوسیستم‌های پالئوژن مورد توجه است (Zachos et al., 2006, 2008; Scheibner and Speijer, 2008, 2009). در خلال رویداد بیشینه دمایی پالئوسن-ائوسن، رخداد انقراضی موجودات کف‌زی یا Benthic Extinction Event (BEE) در بستر اقیانوس‌ها منجر به انقراض بسیاری از روزنبران ریز گردید؛ اما در دریاهای حاشیه‌ای، روزنبران ریز و استراکودها تغییرات کمتر و ملایم‌تری را تجربه کردند (BouDagher-Fadel, 2008). پژوهشگران مختلف علل احتمالی پدیده PETM را عوامل زیر برشمرده‌اند: افزایش شدید غلظت گازهای گلخانه‌ای قوی مانند دی‌اکسیدکربن (CO_2) و متان (CH_4) در اثر آزاد شدن هیدرات‌های متان از کف اقیانوس‌ها، فوران‌های عظیم آتشفشانی در مناطق شمال اقیانوس اطلس و خروج گدازه بر روی رسوبات غنی از مواد آلی که سبب افزایش دی‌اکسیدکربن در جو و آب اقیانوس‌ها شد، پدیده ذوب شدن خاک‌های منجمد (Permafrost) و آزاد شدن مقادیر زیادی کربن ذخیره شده در آنها، آتش سوزی‌های شدید جنگلی در اثر فوران‌های آتشفشانی، برخورد شهاب‌سنگ‌های غنی از کربن به زمین، همچنین رها شدن مقادیر زیادی متان از باتلاق‌ها و هوازدگی شدید شیمیایی سنگ‌های سیلیکاته در پی افزایش میزان بارش‌ها (Zachos et al., 2003, 2006, 2010; Scheibner and Speijer, 2008). بازه زمانی پالئوسن پسین-ائوسن پیشین، با تزریق سریع مقادیرعظیمی از کربن سبک به اتمسفر و اقیانوس‌ها همراه بوده است که این امر منجر به بروز یک انحراف منفی شدید در مقادیر ایزوتوپ کربن ($\delta^{13}C$) گردید و به رویداد Paleocene-Eocene Carbon Isotope Excursion یا CIE معروف است (Zachos et al., 2005; McInerney and Wing, 2011). این کربن رها شده دارای سبک‌ترین ترکیب ایزوتوپی است، بنابراین ترکیبات کربناته‌ای که در ساختار آنها این نوع کربن حضور دارد، دارای سبک‌ترین مقادیر ایزوتوپ کربن خواهند بود. محاسبه و تعیین میزان این ایزوتوپ سبک کربن می‌تواند به عنوان ابزار سودمندی در تعیین دقیق مرز پالئوسن-ائوسن در نهشته‌های کربناته کم‌عمق در صورت کمبود و یا فقدان روزنبران کف‌زی شاخص مورد استفاده قرار گیرد (Scheibner and Speijer, 2008). بر اساس مطالعات محققین مختلفی نظیر Hottinger (1997)، Zachos و همکاران (2005, 2010)، Scheibner و Speijer (2008)، Westerhold و همکاران (2009, 2020)، بررسی و تجزیه و تحلیل مقادیر ایزوتوپ کربن در مرز پالئوسن پسین-ائوسن پیشین به دلایل زیر حیاتی است:

- تشخیص مرز زمانی: پدیده CIE به عنوان یک مارکر و نشانگر ایزوتوپی جهانی عمل می‌کند و امکان تطابق بین نهشته‌های این زمان را در حوضه‌ها و پلاتفرم‌های مختلف فراهم می‌کند.

- بررسی تاثیرات زیست محیطی: کاهش شدید در میزان ایزوتوپ کربن $\delta^{13}C$ با انقراض‌ها و ظهورهای گونه‌های مختلفی از جوامع زیستی بویژه روزنبران ریز و درشت کف‌زی همراه بوده است.

- ارتباط با تغییرات پلاتفرم‌های کربناته: در پلاتفرم‌های کربناته نئوتتیس کاهش مقادیر ایزوتوپ کربن $\delta^{13}C$ می‌تواند با تغییر در تولید کربنات، به دلیل اسیدی شدن آب اقیانوس‌ها یا تغییرات شرایط محیطی، مرتبط باشد.

برای درک تکامل پلاتفرم‌های مختلف در حوضه نئوتتیس، ارتباط بین تغییرات سه عامل اصلی رخساره‌ای و تکاملی یعنی موجودات اصلی پلاتفرم‌ساز یعنی مرجان‌ها، روزنبران درشت کف‌زی و موقعیت پلاتفرم در عرض‌های جغرافیایی دیرینه (Paleolatitude) بسیار ضروری است. همچنین، برای توسعه پلاتفرم‌ها، عوامل برون حوضه‌ای نظیر افزایش کوتاه مدت و دراز مدت دما، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و تغییرات در منابع تامین کننده مواد غذایی، باید کاملاً مد نظر قرار گیرند. در پالئوژن پیشین، سازندگان اصلی پلاتفرم‌های کربناته یعنی مرجان‌ها، جلبک‌های آهکی و روزنبران درشت کف‌زی نقش اصلی را

در ایجاد این پلاتفرم‌ها ایفا کرده‌اند (Scheibner and Speijer, 2008; BouDagher-Fadel, 2008). جوامع زیستی این پلاتفرم‌ها تحت تاثیر رویدادهای انقراضی در مرز کرتاسه پسین-پالئوسن پیشین، مرز پالئوسن پسین-ائوسن پیشین و نیز ائوسن میانی قرار گرفته‌اند که به انقراض یا تکامل برخی از آنها انجامیده است. تکامل پلاتفرم‌های کربناته پالئوسن-ائوسن در حوضه نئوتتیس در سه مرحله صورت گرفته است. این مراحل تکاملی در حاشیه‌های پلاتفرم‌های کربناته و شیب‌های آنها، جایی که ریف‌های مرجانی-جلبکی توسعه یافته و یا درون نهشته‌های آن دیده می‌شوند، به خوبی قابل شناسایی هستند. مراحل توسعه و تکامل پلاتفرمی که در اینجا عنوان می‌شوند، بازه زمانی از پالئوسن پسین (۵۹ میلیون سال پیش) تا ائوسن پیشین (۵۵ میلیون سال پیش) را در بر می‌گیرند. مراحل سه گانه تکامل پلاتفرمی بر اساس مطالعات Scheibner و Speijer (2008) به اختصار به شرح زیر است: ۱) مرحله پلاتفرمی I: از ۵۸/۹ تا ۵۶/۲ میلیون سال پیش، پلاتفرم مرجانی-جلبکی، شامل SBZ 1 الی SBZ 3، ۲) مرحله پلاتفرمی II: از ۵۶/۲ تا ۵۵/۵ میلیون سال پیش، پلاتفرم مرجانی-جلبکی و اولین روزنبران درشت، شامل SBZ 4 و ۳) مرحله پلاتفرمی III: از ۵۵/۵ تا ۵۵ میلیون سال پیش، پلاتفرم روزنبران درشت، شامل SBZ 5 الیSBZ 16. به طور خلاصه می‌توان مراحل تکامل پلاتفرمی را به صورت زیر عنوان کرد: مرحله اول با توسعه مرجان‌ها در عرض‌های پایین و میانه آغاز می‌گردد، مرحله دوم با انتشار روزنبران درشت در عرض‌های پایین و ریف‌های مرجانی در عرض‌های میانه ادامه می‌یابد و سپس مرحله سوم تکامل پلاتفرمی که در آن روزنبران درشت در تمامی عرض‌های جغرافیایی گسترش می‌یابند. همانگونه که مشاهده می‌شود این مراحل تکامل پلاتفرمی به شدت به الگوی انتشار و توزیع دو گروه مهم از موجودات دریایی یعنی مرجان‌ها و روزنبران درشت وابسته هستند (Scheibner and Speijer, 2008). بر اساس نظر این پژوهشگران، به دلایل زیر تاثیر پدیده PETM بر پلاتفرم‌های کربناته نئوتتیس اهمیت ویژه‌ای دارد:

- تاثیر بر تولید کربنات‌ها ـ گرمایش شدید و کاهش pH آب و اسیدی شدن آن و همچنین تغییر در میزان شوری آب‌ها می‌تواند جوامع سازنده کربنات‌ها مانند مرجان‌ها، جلبک‌های آهکی و روزنبران را تحت تاثیر قرار دهد و منجر به تغییر در روند رسوبگذاری گردد.

- تشخیص مراحل تکامل پلاتفرم‌های پالئوژن پیشین- در مرز زون زیستی SBZ 4 و گذار به زون‌های زیستی بعدی به‌ویژه زون زیستی SBZ 5 (گذر مرحله دوم به سوم تکامل پلاتفرمی)، تغییرات در میزان ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن، می‌تواند نشان دهنده تغییرات در عمق، درجه حرارت آب و شرایط محیطی باشدکه بر الگوی رسوبگذاری و مهاجرت جوامع زیستی تاثیر گذاشته‌اند.

- در حوضه‌های مدیترانه و آلپ، پدیده PETM و به تبع آن CIE بر تکامل پلاتفرم‌های کربناته نئوتتیس اثرات چشمگیری داشته و موجب تحولات قابل ملاحظه‌ای شده است، لذا اینگونه تغییرات را نیز می‌توان در سایر پلاتفرم‌های پیرامونی حوضه نئوتتیس پیگیری و دنبال کرد.

- بررسی تاثیرات زیستی- کاهش میزان مقادیر ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن با انقراض تعدادی از گونه‌های LBF و پیدایش گونه‌های جدیدی همراه است. این مورد در مرز زون‌های زیستی SBZ 4 به SBZ 5 در بسیاری از پلاتفرم‌های پیرامونی نئوتتیس قابل مشاهده است.

در مورد زون‌های زیستی روزنبران کف‌زی کم عمق یا Shallow Benthic Zone (SBZ)، به اختصار می‌توان گفت که این زون‌های زیستی توسط گروه تحقیقاتی Serra-Kiel و همکاران (1998) تهیه گردید و حاصل بازنگری در زون‌بندی زیستی قدیمی‌تر پالئوسن-ائوسن است که عمدتاً بر اساس گونه‌های مختلف آلوئولین‌ها و نومولیت‌ها صورت گرفته بود. در دهه‌های اخیر، علاوه بر نومولیتیده‌ها و آلوئولینیده‌ها، توجه بیشتری بر تاکسونومی و زیست‌چینه‌نگاری سایر روزنبران درشت پالئوژن موجود در رخساره‌های نریتیک مختلف، نظیر اورتوفراگمینیفرم‌ها (دیسکوسیکلینا)، روتالیفرم‌ها، میلیولیدهای درشت و گونه‌های آگلوتینه مخروطی و صفحه‌ای نیز متمرکز شده است. زون‌های زیستی پالئوژن پیشین شامل بیست زون زیستی است که بازه زمانی از دانین تا پریابونین پسین را در بر می‌گیرند و بر گرفته از گونه‌های فراوانی از سنگواره‌های روزنبران درشت کف‌زی هستند که در

توالی‌های سنگ‌چینه‌ای قلمرو وسیعی از کرانه‌های شرقی اقیانوس اطلس (حوضه‌های پاریس و پیرنه) تا نواحی مرکزی نئوتتیس (هندوستان)، شامل پلاتفرم‌های پیرنه، آلپ اتریش، شمال ایتالیا، پلاتفرم‌های آدریاتیک و گارگانو، شبه جزیره کریمه، حوضه هیمنه در آناتولی مرکزی، مصر، لیبی، عمان، پاکستان و هند، گسترش یافته‌اند. همانگونه که ذکر شد، گذار از مرحله دوم به مرحله سوم پلاتفرمی، یعنی مرز زون‌های زیستی SBZ 4 به SBZ 5، با پدیده PETM مصادف بوده است. منشا رویداد PETM هر چه که بوده، در طول این پدیده پرتنش، ۳۰ تا ۵۰ درصد از روزنبران کف‌زی کوچک به طورناگهانی منقرض شدند. جایگزینی فونای SBZ 4 توسط فونای SBZ 5 این تغییرات را تایید می‌کند، به طوری که در طی این جایگزینی، تاکسون‌های شاخص پالئوسن مانند Ranikothalia و Miscellanea به تدریج ناپدید شده و به جای آنها، Nummulites و Alveolina جایگزین شده‌اند. این تغییرات در اکثر پلاتفرم‌های واقع در حواشی قاره‌ای عرض‌های جغرافیایی پایین حوضه نئوتتیس رخ داده است. مطالعات مربوط به شناسایی پدیده PETM در پلاتفرم‌های حاشیه حوضه نئوتتیس در سطح وسیعی انجام شده و نتایج ملموس و قابل توجهی از اثرات این واقعه بر نهشته‌ها و جوامع زیستی درون آنها به دست آمده است (Scheibner and Speijer, 2008; Hontzsch et al., 2013). به طور کلی پاسخ زیست بوم‌ها و جوامع زیستی دریایی به رویداد PETM، ناهمگون بوده است و طیفی از انقراض برخی گونه‌ها تا گسترش و توسعه برخی گونه‌های گرما دوست را در بر گرفته است (Scheibner and Speijer, 2008). در ایران و به ویژه زاگرس، اینگونه مطالعات یا انجام نشده و یا بسیار محدود و اندک هستند. هدف این نوشتار، در وهله اول، معرفی مختصر پدیده‌های PETM و CIE و اثرات آنها بر پلاتفرم‌های کربناته پیرامون حوضه نئوتتیس و در ادامه، امکان شناسایی پدیده PETM و اثرات احتمالی این پدیده بر جوامع زیستی و نهشته‌های کربناته پالئوژن زیرین سازند کربناته تله‌زنگ در بخشی از زیرحوضه لرستان با بهره‌گیری از مطالعات زیست‌چینه‌نگاری و ژئوشیمی ایزوتوپی بوده است.

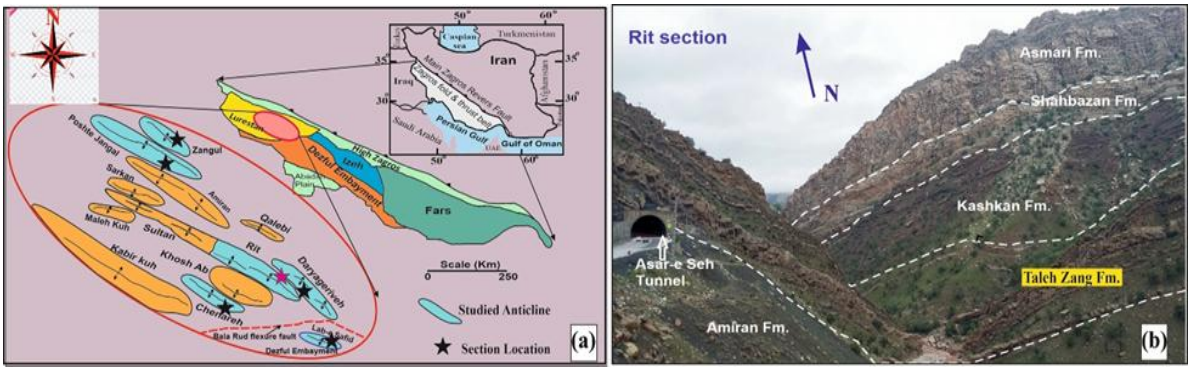
۲ـ زمین شناسی

۲ـ۱ـ زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی ناحیه لرستان و قسمت کوچکی از شمال شرق فروافتادگی دزفول قرار گرفته است. ناحیه لرستان از لحاظ تقسیم بندی ساختمانی ایران در ناحیه زاگرس چین خورده و در شمال شرق فروافتادگی دزفول قرار داشته و توسط گسل بالارود که حد جنوب شرقی این ناحیه است از فروافتادگی دزفول جدا می‌شود. همچنین این ناحیه از جنوب غرب و شمال شرق به ترتیب با گسل‌های پیشانی کوهستان و زاگرس مرتفع محصور شده است (Alavi, 2004). فروافتادگی دزفول بخشی از حوضه پیش بوم زاگرس و دارای ساختار های چین خورده با روند شمال غرب-جنوب شرق است. فروافتادگی دزفول در میانه سه پدیده مهم ساختمانی قرار دارد که عبارتند از: زون خمشی گسلی کازرون (راست گرد) در شرق، زون خمشی جبهه کوهستان در شرق و شمال شرق و زون خمشی گسل بالارود (چپ گرد) در شمال. این ناحیه با وجود مساحت نسبتاً کم خود بخش اعظمی از نفت تولیدی ایران را در خود جای داده است که علت آن هم پوشیده شدن سازند آسماری به وسیله تبخیری‌های سازند گچساران می‌باشد (Motiei, 1993). در شکل ۱، موقعیت تاقدیس‌ها و برش‌های انتخاب شده در محدوده مورد مطالعه و همچنین تصویر صحرایی توالی سازند تله زنگ در برش تاقدیس ریت، نمایش داده شده است.

سازند تله‌زنگ یکی از سازندهای مهم پالئوژن زیرین درحوضه لرستان و یک توالی عمدتاً کربناته به سن پالئوسن بالایی تا ائوسن میانی است. این سازند بعد از فاز کوهزایی لارامید و پس از پیشروی آب دریا در اوائل ترشیری، به صورت یک رخساره محلی در زیرحوضه لرستان که یکی از حوضه‌های پالئوژن حاشیه جنوبی نئوتتیس واقع در حوضهٔ رسوبی زاگرس محسوب می‌شود، نهشته شده است. در اکثر نقاط ناحیه لرستان سازند تله‌زنگ بر روی سازند آواری امیران و در زیر سازند آواری کشکان قرار گرفته است، ولی گاهی به صورت جانبی و به تدریج با این دو سازند جانشین می‌شود، اما در مناطق جنوب غرب ناحیه لرستان و همجوار با فروافتادگی دزفول، سازند تله‌زنگ می‌تواند با سازند پابده نیز پیوند جانبی داشته باشد و یا بر روی آن قرار گیرد

(Motiei, 1993). در فروافتادگی دزفول، سازند تله زنگ تنها در قسمت‌های شمالی این ناحیه و به صورت زیرسطحی در برخی از چاه‌های نفتی میادین لب‌سفید، بالارود و قلعه نار شناسایی شده است. در این میادین این سازند تحت نام بخش آهکی تله‌زنگ شناخته می‌شود که در میانه سازند پابده قرار گرفته است.



شکل ۱- (a) نقشه موقعیت تاقدیس‌ها و برش‌های انتخاب شده در محدوده مورد مطالعه و (b) تصویر صحرایی از توالی سازند تله زنگ در برش تاقدیس ریت.

Fig. 1. (a) Location map of the anticlines and selected sections in the study area, and (b) Field image of the Taleh Zang Formation in the Rit anticline section.

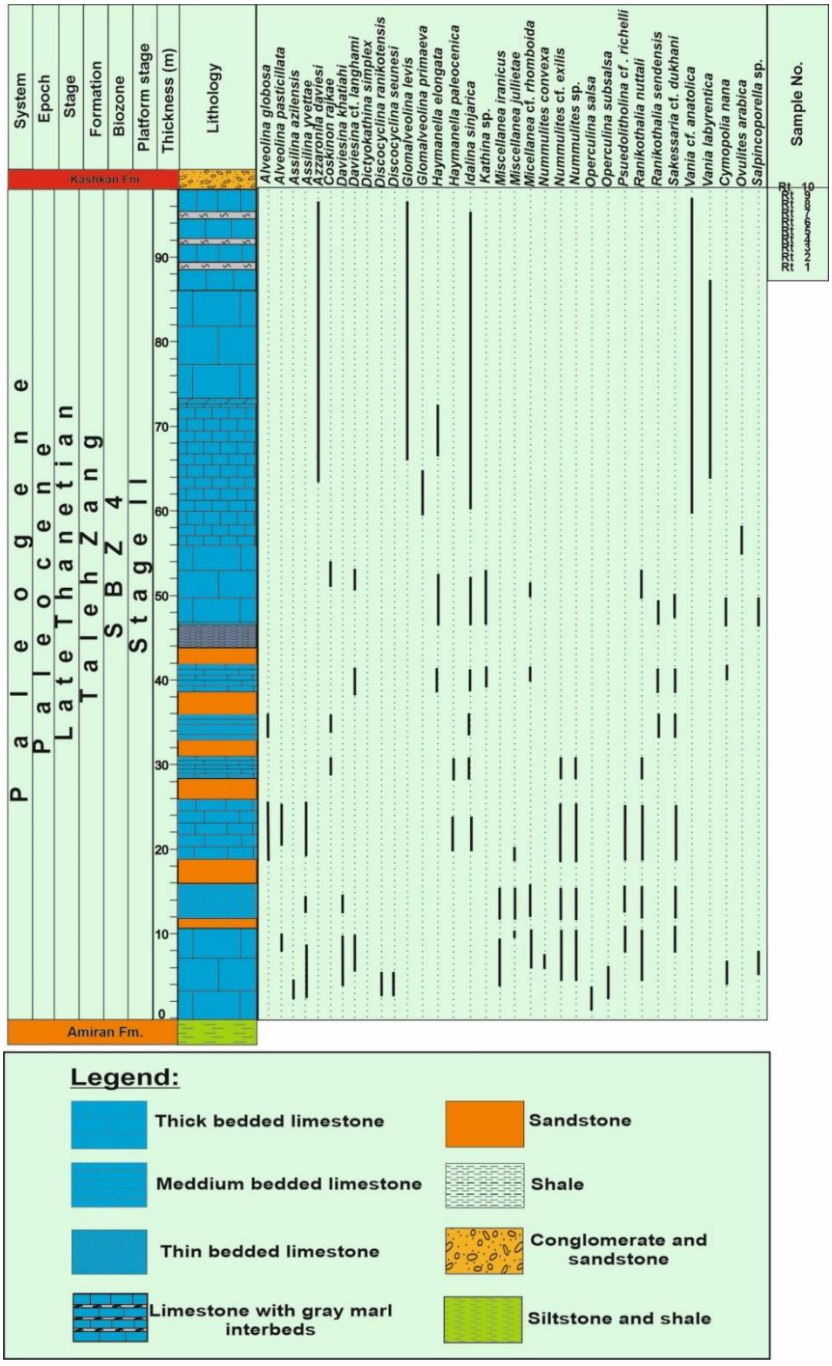
۲ـ۲ـ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

سازند تله زنگ در مقطع نمونه کاملاً متشکل از لایه‌های ضخیم و توده‌ای آهکی است، اما در برش‌های مطالعه شده این پژوهش شامل توالی‌هایی ناهمگن متشکل از سنگ آهک، دولومیت، مارن‌های خاکستری، قرمز و ماسه‌سنگ است. این سازند در برش تاقدیس ریت ۹۸ متر ضخامت داشته که مرز بالایی آن به صورت همساز و قاطع بر روی سازند امیران و مرز زیرین آن به صورت همساز و قاطع در زیر سازند کشکان قرار می‌گیرد. توالی سازند تله‌زنگ در همه برش‌های مطالعه شده، غنی از روزنبران درشت کف‌زی، مرجان‌ها و جلبک‌های سبز و قرمز است. در برش تاقدیس ریت جامعه زیستی گسترش یافته تقریباً به طور کلی متشکل از روزنبران درشت کف‌زی است و اثری از مرجان‌ها دیده نمی‌شود. در شکل ۲، ستون زیست‌چینه‌ای و سنگ‌چینه‌ای توالی سازند تله‌زنگ در برش تاقدیس ریت نمایش داده شده است. تاقدیس ریت در بخش جنوب شرقی ناحیه لرستان و در شمال تاقدیس خوش‌آب و شمال غرب تاقدیس چناره قرار گرفته و در انتهای پلانژ (دماغه) شمال غربی خود به تاقدیس سلطان می‌پیوندد. درازای این تاقدیس حدوداً ۷۵ کیلومتر و پهنای آن ۱۰ الی ۱۲ کیلومتر است. روند ساختمانی این تاقدیس نیز همانند اغلب ساختارهای زاگرس شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد. قدیمی‌ترین سازندهای رخنمون یافته در هسته آن، سازندهای گروه بنگستان (سازندهای ایلام و سروک) می‌باشند. این تاقدیس حدوداً در ۹۰ کیلومتری شمال شهر اندیمشک قرار دارد. برش انتخابی در این تاقدیس دارای مختصات عرض جغرافیایی ″۰۸′۰۴°۳۳ شمالی و طول جغرافیایی ″۱۵′۱۴°۴۸ شرقی است. مسیر دسترسی به برش انتخاب شده در این تاقدیس، از طریق بزرگراه پل زال-خرم‌آباد، کیلومتر ۶۰ این بزرگراه به سمت خرم‌آباد و در مجاورت تونلی به نام اثر سه می‌باشد. سازند تله زنگ در برش تاقدیس ریت حاوی تجمعات زیستی غنی و فراوانی از ریزسنگواره‌های روزنبران درشت کف‌زی و مقادیر اندکی از سنگواره‌های غیر روزنبران نظیر جلبک‌ها، خرده‌های خارپوستان، دوکفه‌ای‌ها و شکم‌پایان است. شاخص‌ترین گونه‌های روزنبران درشت کف‌زی (LBF) شناسایی شده در توالی سازند تله‌زنگ در برش ریت عبارتند از:

Operculina subsalsa, Operculina cf. heberti, Discocyclina seunesi, Discocyclina ranikotensis, Miscellanea miscella, Miscellanea iranicus, Miscellanea juliettae, Ranikothalia nuttali, Ranikothalia sindensis, Daviesina khatiyahi, Assilina azilensis, Assilina yvettae, Nummulites convexa, Nummulites cf. catari, Idalina sinjarica,

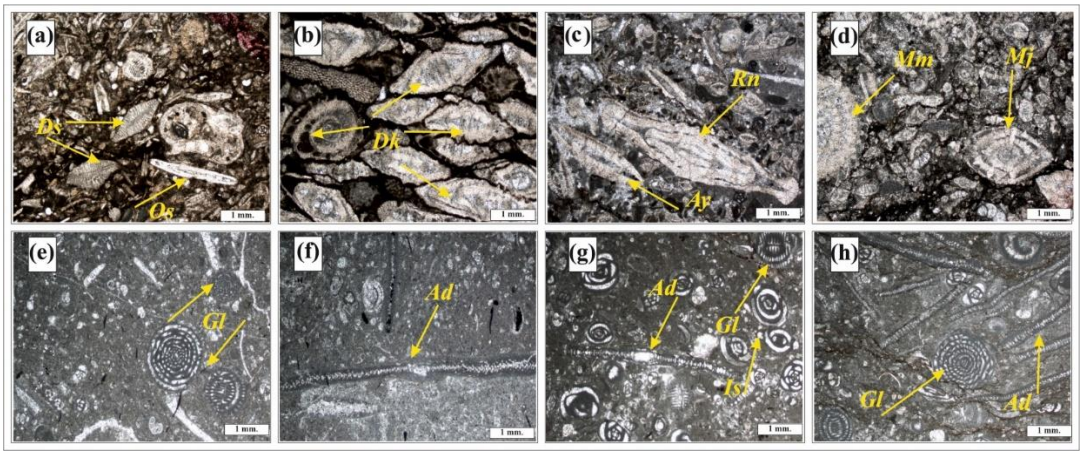
Alveolina pastisillata, Alveolina cf. globula, Glomaleolina levis, Glomalveolina primeava, Psuedolithonella richeli, Sakessaria dukhani., Azzarolina daviesi, Avia labirynthica, Avia cf. anatolica, and Haymanella elongata.

با توجه به جامعه زیستی روزنبران درشت کفزی توسعه یافته در توالی سازند تله‌زنگ در برش تاقدیس ریت، این توالی متعلق به زون زیستی SBZ 4 به سن تانتین پسین و مرحله تکامل پلاتفرمیII می‌باشد. در شکل ۳، تصاویر میکروسکوپی برخی از شاخص‌ترین روزنبران درشت کفزی شناسایی شده در این برش نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار زیست‌چینه‌نگاری و ستون سنگ‌چینه‌نگاری توالی سازند تله‌زنگ در برش تاقدیس ریت.

Fig 2. Biostratigraphic range chart and lithostratigraphic column of the Taleh Zang Formation in the Rit anticline section.



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی برخی از روزنبران درشت کف‌زی شاخص زون زیستی SBZ 4 در توالی سازند تله زنگ در برش تاقدیس ریت.
Ranikothalia Assilina (c) ،Daviesina khatiyahi (Dk) (b) ،Discocyclina seunesi (Ds), Operculina subsalsa (Os) (a)
Glomaleolina levis (e) ،Miscellanea juliettae (Mj), Miscellanea miscella (Mm) (d) ،yvettae (Ay), nuttali (Rn)
(Gl)، (f) Azzarolina daviesi (Ad) ،(g) Azzarolina daviesi (Ad), Glomaleolina levis (Gl), Idalina sinjarica (Is) و ،Azzarolina daviesi (Ad), Glomaleolina levis (Gl) (h)
Azzarolina daviesi (*Ad*), *Glomaleolina levis* (*Gl*).

Fig 3. Photomicrographs of some index LBFs belonging to the SBZ 4, in the Taleh Zang Formation in the Rit anticline section.
(a) Discocyclina seunesi (Ds), Operculina subsalsa (Os), (b) Daviesina khatiyahi (Dk), (c) Ranikothalia nuttali (Rn), Assilina yvettae (Ay), (d) Miscellanea juliettae (Mj), Miscellanea miscella (Mm), (e) Glomaleolina levis (Gl), (f) Azzarolina daviesi (Ad), (g) Azzarolina daviesi (Ad), Glomaleolina levis (Gl), Idalina sinjarica (Is), and (h) Azzarolina daviesi (Ad), Glomaleolina levis (Gl).

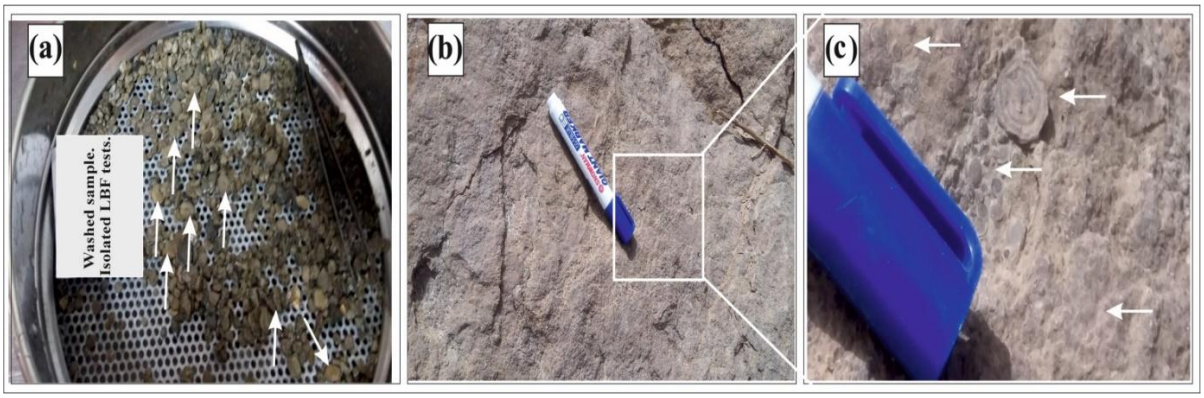
۳ـ روش مطالعه

برای بررسی احتمال تاثیر رویداد بیشینه دمایی مرز پالئوسن-ائوسن (PETM) در سازند تله‌زنگ در محدوده مورد مطالعه، ابتدا شش برش از توالی‌های این سازند انتخاب شد. این برش‌ها شامل پنج برش سطح‌الارضی از تاقدیس‌های زنگول، پشت‌جنگل، ریت، دریاگریوه و چناره، و یک برش زیرسطحی از چاه شماره ۷ میدان نفتی لب‌سفید بودند. در گام نخست، با مطالعه و بررسی دقیق ۴۰۰ مقطع نازک تهیه شده از نمونه‌های برداشت از سازند تله‌زنگ و ۵۶ مقطع نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری، شناسایی دقیق جوامع زیستی و فونای توسعه یافته در توالی‌های سازند تله‌زنگ، به ویژه روزنبران درشت کف‌زی، در هر کدام ازبرش‌های مورد مطالعه انجام گرفت. در ادامه، زون‌های زیستی (SBZ) و مراحل تکامل پلاتفرمی هر توالی مشخص شد که در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات سنی و مراحل تکامل پلاتفرمی سازند تله‌زنگ در برش‌های مطالعه شده.
Table 1. Age and platform evolution stage characteristics of the Taleh Zang Formation in the studied area.

Section Name	Platform Stage	SBZ	Age
Zangul	Stage I	SBZ 3	Early Thanetian
Posht-e Jangal	Stage I	SBZ 3	Early Thanetian
Rit	Stage II	SBZ 4	Late Thanetian
Daryageriveh	Stage III	SBZ 10-SBZ 11	Early-Middle Cuisian
Chenareh	Stage III	SBZ 10-SBZ 11	Early-Middle Cuisian
Lab-e Safid	Stage III	SBZ 11-SBZ 12	Middle-Late Cuisine

با توجه به داده‌های به دست آمده مشخص گردید که در هیچکدام از برش‌ها، مرز پالئوسن-ائوسن مشاهده نمی‌شود و تنها توالی سازند تله‌زنگ در برش ریت، که متعلق به زون زیستی SBZ 4 است، می‌تواند تنها گزینه مناسب برای انجام مطالعات ایزوتوپی کربن δ13C و اکسیژن δ18O باشد، چرا که پدیده PETM در مرز زون‌های زیستی SBZ 4 به SBZ 5 و در انتهای مرحله تکامل پلاتفرمی II و ابتدای مرحله پلاتفرمی III رخ داده است. از آنجایی که ترکیب عناصر اصلی، فرعی و ایزوتوپی (δ13C و δ18O) در پوسته روزنبران درشت کف‌زی همانند سورتیدها، آلوئولین‌ها، نومولیت‌ها، میلیولاین‌ها و سایر روزنبران درشت کف‌زی در محیط‌های دریایی تحت تاثیر شرایط شیمیایی و فیزیکی کنترل می‌شود، از اینرو با استفاده از تحلیل‌های عنصری و ایزوتوپی این پوسته‌ها می‌توان به تغییرات شرایط محیطی و اقلیمی دیرینه محیط زندگی آنها پی برد. با توجه به‌اینکه برش‌های انتخاب شده از سازند تله‌زنگ در این مطالعه، از جمله برش تاقدیس ریت، سرشار از روزنبران درشت کف‌زی بودند، برای انجام آزمایش‌های تحلیل ایزوتوپی از پوسته‌های این گونه روزنبران استفاده شد. به منظور انجام مطالعات ایزوتوپی کربن δ13C و اکسیژن δ18O در نمونه‌های کربناته سازند تله‌زنگ، با توجه به امکانات موجود و محدودیت‌های پیش‌رو، تنها از بخش‌های فوقانی توالی سازند تله‌زنگ (فواصل اندازه‌گیری شده ۸۹ الی ۹۸ متری) در برش تاقدیس ریت برای تعیین احتمال تاثیر رویدادهای PETM و CIE، نمونه برداری انجام شد. در این راستا، تعداد ۱۰ نمونه از پودر پوسته‌های روزنبران درشت کف‌زی انتهای پالئوسن (تانتین پسین) شامل ۴ نمونه از پوسته‌های جنس Azzarolina، ۴ نمونه از پوسته‌های جنس Glomalveolina و ۲ نمونه از پوسته‌های Miliolid که حداقل دگرسانی را تحمل کرده بودند انتخاب گردیدند. تهیه پودر پوسته‌های این روزنبران با توجه به درشتی، فراوانی و همچنین امکان تهیه نمونه ایزوله، با سهولت نسبی انجام گردید (شکل ۴) و به آزمایشگاه ارسال شد. شایان ذکر است که بررسی‌های ژئوشیمیایی در این مطالعه فقط مربوط به بررسی‌های ایزوتوپی و امکان شناسایی و ردیابی پدیده‌های PETM و CIE بوده است و بررسی‌های عنصری و دیاژنتیکی را شامل نمی‌شود. در جدول ۲ نتایج حاصل از تحلیل‌های ایزوتوپی کربن δ13C و اکسیژن δ18O نمونه‌های انتخاب شده ارائه شده است.



شکل ۴- تصاویری از روزنبران درشت کف‌زی گسترش یافته در لایه‌های آهکی و مارن‌های سازند تله زنگ در برش ریت. فراوانی، درشتی و سهولت تهیه نمونه‌های ایزوله روزنبران درشت کف‌زی قابل مشاهده است. (a) نمونه شسته شده، (b) و (c) روزنبران درشت و فراوان در سطح یک لایه آهکی.

Fig. 4. Images of the LBFs developed in the limestone and marl layers of the Taleh Zang Formation in the Rit anticline section. The abundance, large size, and ease of collecting isolated LBF samples are observable. (a) Washed Sample, (b) and (c) Large and abundant LBFs on the surface of a limestone layer.

جدول ۲. نتایج دامنه تغییرات ایزوتوپ‌های کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ در نمونه‌های پوسته های روزنبران درشت کف‌زی انتخاب شده در برش تاقدیس ریت.

Table 2. Results of the variation range of carbon ($\delta^{13}C$) and oxygen ($\delta^{18}O$) isotopes in selected LBF test samples from the Rit anticline section.

Sample No.	Sample Interval (Meterage)	Sample Type (LBF)	$\delta^{13}C$ ‰	$\delta^{18}O$ ‰
Rt 1	89	Azzarolina	2.118	-3.874
Rt 2	90	Glomalveolina	2.007	-3.981
Rt 3	91	Miliolid	1.958	-3.775
Rt 4	92	Glomalveolina	1.927	-3.986
Rt 5	93	Azzarolina	2.008	-3.951
Rt 6	94	Azzarolina	1.717	-4.521
Rt 7	95	Glomalveolina	1.795	-4.414
Rt 8	96	Miliolid	1.928	-4.112
Rt 9	97	Glomalveolina	1.819	-4.375
Rt 10	98	Azzarolina	1.976	-4.618

۴ـ نتایج و بحث

رویداد PETM با یک انحراف ناگهانی در مقادیر ایزوتوپ‌های کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ همراه بوده است. تحلیل این ایزوتوپ‌ها نه تنها برای درک تغییرات آب و هوایی گذشته ضروری است، بلکه در تعیین مراحل تکامل پلاتفرم‌های کربناته حوضه نئوتتیس، به‌ویژه در انتهای زون SBZ 4 و گذار به مراحل بعدی نیز نقش کلیدی ایفا می‌کند. بر پایه آخرین مطالعات انجام شده توسط Scheibner و Speijer (2009)، مشخص شده که حد فاصل زمانی پالئوسن پسین-ائوسن پیشین، زمان بروز تغییرات حیرت انگیز در ویژگی‌ها و شرایط رسوبگذاری در حوضه‌های رسوبی کربناته کم عمق نئوتتیس بوده است. به نظر می‌رسد که پدیده PETM حاصل رهاسازی ناگهانی مقادیر بسیار زیاد دی‌اکسیدکربن و یا متان و همزمانی این فرآیند با اختلال در چرخه کربن است که به چرخه کربن یا CIE معروف است (BouDagher-Fadel, 2008). تغییرات ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ عمدتاً نشان دهنده نوسانات دما و تغییرات در چرخه آب است. در طول PETM کاهش ایزوتوپ $\delta^{18}O$ در پوسته‌های روزنبران و رسوبات کربناته نشانگر گرمایش جهانی در مرز پالئوسن-ائوسن است. به طور کلی می‌توان اظهار کرد که، پیشینه و ثبت ایزوتوپ‌های کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ در پوسته‌های روزنبران درشت کف‌زی به مثابه یک بایگانی انباشته شده و ارزشمند از تغییرات کوتاه مدتی است که در دمای اعماق مختلف و ترکیب آب دریا، در پالئوژن پیشین و در چرخه کربن بوقوع پیوسته است. تغییرات ایزوتوپ‌های کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ در پلاتفرم‌های کربناته حوضه نئوتتیس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا تاثیر بسزایی بر تولید کربنات‌ها، شوری آب، تاثیر بر جوامع زیستی سازنده کربنات‌ها مانند مرجان‌ها و روزنبران و به طور کلی

روند رسوبگذاری دارد (Zachos et al., 2003, 2008). با به کارگیری روش‌های ژئوشیمیایی و به ویژه با تکیه بر تحلیل ایزوتوپ‌های کربن $\delta^{13}C$ در رسوبات و سنگوارهای ریز و درشت موجود در مرز اپوک‌های پالئوسن-ائوسن، این پدیده را می‌توان بررسی کرد. این مشاهدات حاکی از تغییر ناگهانی و بارز در چرخه جهانی کربن است که معمولاً با گرمایش سریع یا رویدادهای هایپرترمال همراه بوده است. تحلیل‌های ایزوتوپی کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ ابزارهایی قدرتمند در بازسازی شرایط محیط‌های رسوبی دیرینه به‌ویژه در مرز پالئوسن پیسن-ائوسن پیشین، به شمار می‌روند (Marshall, 1992; Rao and Wang, 1990). استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار، به‌ویژه ایزوتوپ‌های کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ اطلاعات ارزشمندی در زمینه دمای محیط رسوبگذاری، دمای دیاژنتیکی، روند دیاژنز در تفکیک محیط‌های دیاژنتیکی و شوری آب اقیانوس‌ها ارائه می‌دهد. ترکیب ایزوتوپی کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ در رسوبات مرز پالئوسن پیسن-ائوسن پیشین، نه تنها شواهدی از یک رویداد گرمایشی سریع ارائه می‌کند، بلکه با درک ارتباط بین چرخه کربن، شرایط اقلیمی و تکامل زیستی در پلاتفرم‌های کربناته حوضه نئوتتیس یاری می‌رساند. به طورکلی تحلیل‌های ایزوتوپی کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ ابزاری ضروری برای درک تغییرات آب و هوایی، زیستی و رسوبی در مرز پالئوسن پیسن-ائوسن پیشین محسوب می‌شوند. این تحلیل‌ها نه تنها به شناسایی PETM و CIE کمک می‌کنند، بلکه ارتباط مستقیمی با تکامل پلاتفرم‌های کربناته حوضه نئوتتیس دارند. کاهش مقادیر ایزوتوپ‌های کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ در انتهای SBZ 4 و گذار به مراحل بعدی، نشان دهنده یک بحران محیطی و اقلیمی جهانی است که بر سامانه‌های رسوبی تاثیر گذاشته و الگوی رسوبگذاری کربنات‌ها را تغییر داده است. بنابراین، این تحلیل‌ها نه تنها برای بازسازی گذشته زمین‌شناسی، بلکه برای درک پاسخ سامانه‌های کربناته به تغییرات اقلیمی نیز حیاتی هستند. با توجه به داده‌های حاصل از نتایج تحلیل ایزوتوپی مقادیر ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ و ایزوتوپ کربن $\delta^{13}C$ در نمونه‌های پوسته‌های روزنبران درشت کف‌زی انتخاب شده در محدوده مورد مطالعه و با مقایسه‌این داده‌ها با نتایج به دست آمده در برخی از مطالعات جهانی مهم نظیر Zachos et al., (2006, 2008)، Dickens (2009) و Westerhold et al., (2020)، مشخص می‌گردد که با توجه به روند نسبتاً یکنواخت مقادیر ایزوتوپ کربن $\delta^{13}C$ و نرسیدن به مقادیر منفی و همچنین عدم مشاهده انحراف شدید و شکست ناگهانی در منحنی‌های به دست آمده، می‌توان اینگونه فرض کرد که تا پایان فرآیند رسوبگذاری سازند تله‌زنگ در برش تاقدیس ریت در تانتین پسین و در زون زیستی SBZ 4، محیط رسوبگذاری سازند تله‌زنگ در این برش و در بازه زمانی مذکور، هنوز حداکثر گرمایش شدید جهانی را تجربه نکرده بوده و یا در مراحل ابتدایی تا میانی پدیده PETM و CIE قرار داشته است. شایان ذکر است که اختلافات و تغییرات در میزان مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن $\delta^{18}O$ و کربن $\delta^{13}C$ محاسبه شده در محدوده PETM و CIE در مطالعات مختلف، می‌توانند ناشی از موارد ذیل باشند: اختلاف در موقعیت محل نمونه‌برداری نسبت به عرض‌های جغرافیایی دیرینه پالئوزن، تغییرات فصلی، تنوع نمونه‌برداری (انواع مختلف روزنبران اعم از کف‌زی یا شناور، میکرات و....)، زمان ته‌نشست و به عبارت دیگر نزدیکی و یا دوری از زمان رخدادهای PETM و CIE، میزان عمق آب محیط زندگی روزنبران، میزان و نرخ روند افزایش دما و همچنین شرایط خاص محیطی و اقلیمی. در شکل ۵ ترسیم مقادیر و تغییرات ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ در مقابل ایزوتوپ کربن $\delta^{13}C$ در نمونه‌های پوسته‌های روزنبران درشت کف‌زی و همچنین مقایسه تغییرات مقادیر این ایزوتوپ‌ها با برخی از مطالعات جهانی نشان داده شده است. در شکل ۶ نیز دامنه تغییرات منحنی‌های مقادیر ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ و ایزوتوپ کربن $\delta^{13}C$ در نمونه‌های پوسته‌های روزنبران درشت کف‌زی انتخاب شده به صورت جداگانه ترسیم شده و با برخی از مطالعات جهانی مقایسه شده‌اند.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای تحلیل ایزوتوپی اکسیژن $\delta^{18}O$ در کربنات‌ها، تعیین دمای تشکیل آنها به هنگام ته‌نشست و به عبارتی، تخمین دمای آب محیط رسوبگذاری در زمان ته‌نشینی کربنات‌هاست. بدین معنی که با کاهش میزان ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$، دمای آب افزایش یافته است (Morse and Mackenzie, 1990). برای تعیین دمای آب از طریق تحلیل ایزوتوپی اکسیژن $\delta^{18}O$، باید از

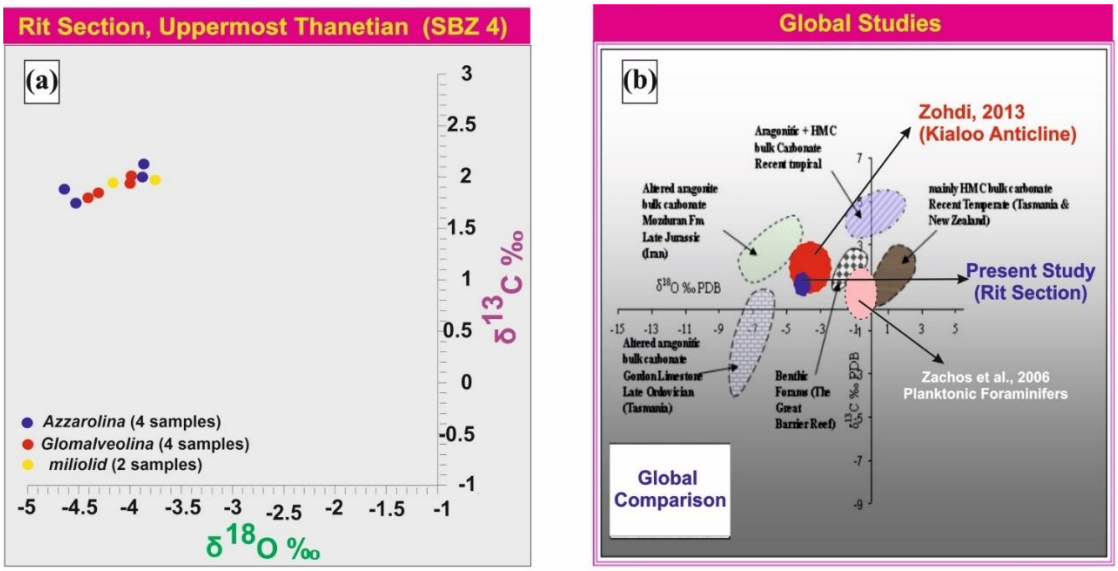
نمونه‌های آهکی دریایی با کمترین میزان دگرسانی و سنگین‌ترین ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ استفاده نمود (Zachos e al., 2006). با توجه به انحلال کمتر و تأثیر کمتر فرآیندهای دیاژنزی بر روی روزنبران درشت کف‌زی در مقایسه با نمونه‌های میکرایتی، برای تعیین دمای آب محیط رسوبی سازند تله‌زنگ در برش تاقدیس ریت نیز از داده‌های تحلیل ایزوتوپی اکسیژن $\delta^{18}O$ پوسته‌های پوسلانوز روزنبران درشت کف‌زی استفاده شد.

برای محاسبه دمای آبی که کلسیت در آن نهشته شده از معادله Anderson و Arthur (1983) استفاده می شود:

$$T°C=16-4.14(\delta c-\delta w)+0.13(\delta c-\delta w)2$$

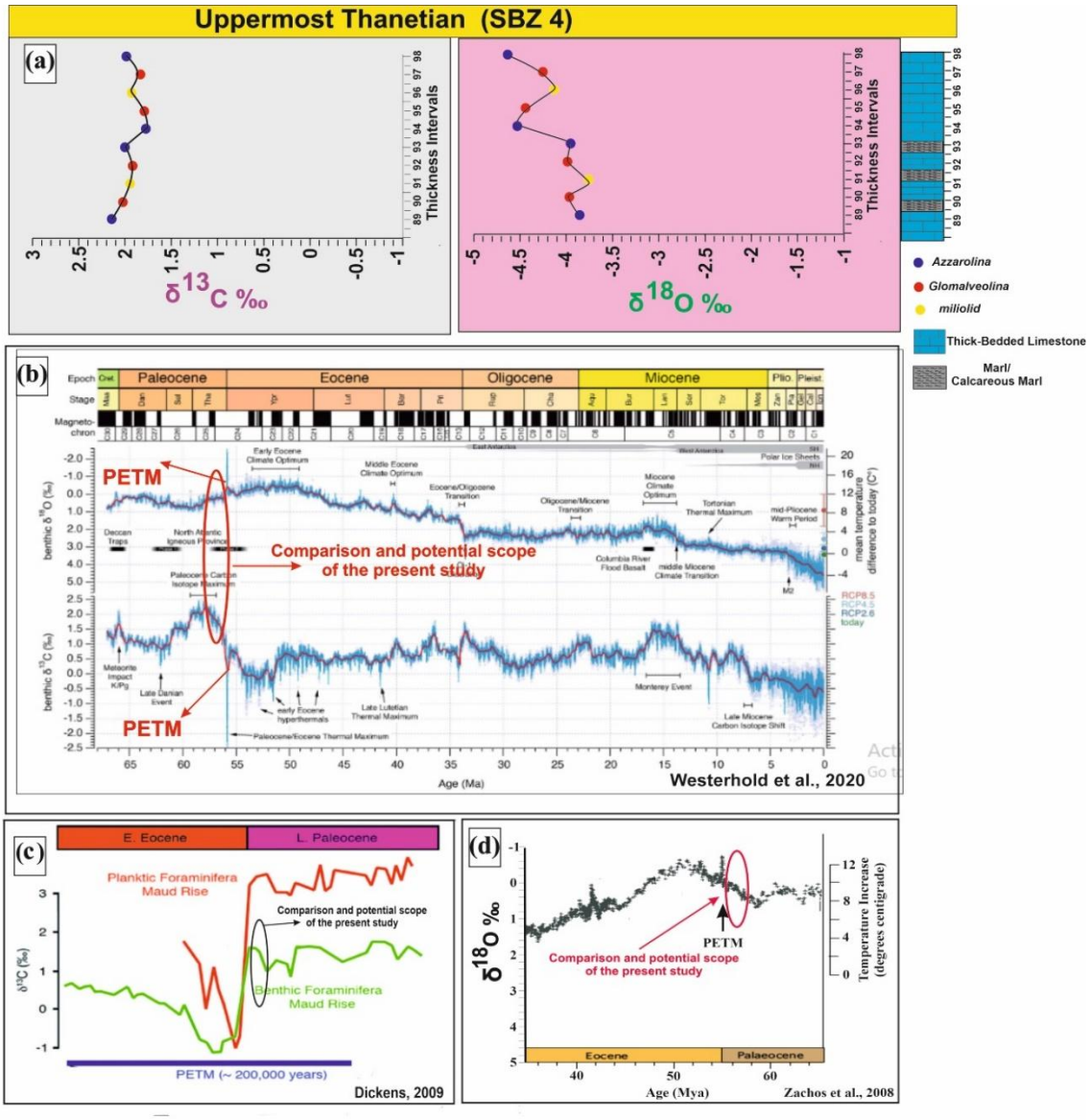
که در آن: T: بر حسب درجه سانتیگراد، δc:: مقدار ایزوتوپ اکسیژن δ18O محاسبه شده در کلسیت بر حسب BPD توسط دستگاه اسپکترومتر جرمی، δw: مقدار ایزوتوپ اکسیژن آب دریا در زمان تشکیل کلسیت برحسب SMOW یا Standard Mean Ocean Water هستند.

بر اساس داده‌های به دست آمده، دمای آب دریا در زمان ته نشست سازند تله‌زنگ در برش تاقدیس ریت، به طور متوسط حدود ۳۴ درجه سانتیگراد محاسبه می‌گردد. البته در آخرین نمونه (Rt 10)، میزان درجه حرارت آب تا ۳۸ درجه سانتیگراد هم محاسبه شد. لازم به ذکر است که در حال حاضر دمای آب دریا برای ته‌نشست آراگونیت به ویژه در کربنات‌های خلیج فارس بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد است (Rao and Adabi, 1992). بر اساس مطالعات جامع انجام شده توسط پژوهشگران زیادی از جمله Zachos و همکاران (2003, 2008)، Scheibner و Speijer (2008)، Dickens (2009)، Sluijs و Dickens (2012)، Minelli و همکاران (2013) و Westerhold و همکاران (2009, 2020)، در مورد رویدادهای PETM و CIE در پلاتفرم‌های کربناته پلاتفرم‌های پیرامون حوضه نئوتتیس در مرز پالئوسن پسین-ائوسن پیشین، یعنی در مرز مراحل دوم و سوم تکامل پلاتفرم‌های کربناته حوضه‌های نئوتتیس (مرز SBZ 4 به SBZ 5)، شرایط دمای آب دریا و مقادیر ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ به طور خلاصه به شرح زیر است:



شکل ۵- (a) ترسیم مقادیر و تغییرات ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ در مقابل ایزوتوپ کربن $\delta^{13}C$ در نمونه‌های پوسته‌های روزنبران درشت کف‌زی در بخش‌های راسی سازند تله‌زنگ برش تاقدیس ریت و (b) مقایسه تغییرات مقادیر ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ در مقابل ایزوتوپ کربن δ13C در برخی مطالعات انجام شده درتعدادی از حوضه‌های رسوبی ایران و سایر مناطق دنیا، برداشت با تغییرات از Zohdi, (2009).

Fig 5. (a) Plot of $\delta^{18}O$ values versus $\delta^{13}C$ values in the LBF tests from the upper part of the Taleh Zang Formation in the Rit anticline section., and (b) Comparison of $\delta^{18}O$ values versus δ13C variations with some global studies conducted in several sedimentary basins of Iran and some other parts of the world. Modified from Zohdi (2009).



شکل ۶- (a) ترسیم دامنه تغییرات مقادیر ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ (راست) و ایزوتوپ کربن $\delta^{13}C$ (چپ) در نمونه‌های پوسته‌های روزنبران درشت کف‌زی انتخاب شده و (b الی d) مقایسه داده‌های به دست آمده با برخی از مطالعات جهانی. به انحراف و شکست شدید و ناگهانی منحنی‌های مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن $\delta^{18}O$ و کربن $\delta^{13}C$ در محدوده PETM و CIE در مطالعات جهانی و محدوده مربوط به این مطالعه (بیضوی‌ها) توجه گردد. برداشت با تغییرات از Zachos و همکاران (۲۰۰۸)، Dickens (۲۰۰۹) و Westerhold و همکاران (۲۰۲۰).

Fig. 6. (a) Plot showing the range of $\delta^{18}O$ (Right) and $\delta^{13}C$ (Left) values in the selected LBF tests, and (b to d) Comparison of the obtained data with some global studies. Note the severe and abrupt deviation and break in the $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ curves within the PETM and CIE intervals in global studies, in the range related to this study (the ellipses). Modified from Zachos et al. (2008), Dickens (2009), and Westerhold et al. (2020).

- دمای آب دریا در حوضه نئوتتیس در طول زمان PETM- مطالعات ایزوتوپی نشان می‌دهند که دمای آب سطح دریا Sea Surface Temperature(SST) در مناطق کم عمق پلاتفرم‌های کربناته حوضه‌های نئوتتیس مانند جنوب غرب ایران، ترکیه و اروپای مرکزی در این دوره زمانی (حدود ۲۰۰ هزار سال) به ۳۵ تا بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد رسیده است.

- در مناطق عمیق‌تر، دمای آب ممکن است کمی کمتر و در حدود ۳۰ الی ۳۵ درجه سانتیگراد بوده باشد.

- مقادیر ایزوتوپ اکسیژن δ18O در طول دوره CIE در پوسته‌های روزنبران و کربنات‌ها کاهش یافته که نشان دهنده گرمایش شدید و همچنین کاهش شوری آب دریاهاست.

- در طول دوره PETM در پلاتفرم‌های کربناته حوضه‌های پیرامون نئوتتیس، مقادیر ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ معمولاً بین ۴- الی ۶- پرمیل گزارش شده است. این کاهش نسبت به مقادیر پیش از رویداد یعنی ۲- الی ۳- پرمیل، نشانگر افزایش دما و ذوب یخ‌های قطبی بوده است.

بر اساس تمامی داده‌های به دست آمده از بررسی‌های ژئوشیمیایی در این پژوهش، مشخص می‌گردد پلاتفرم کربناته سازند تله‌زنگ در برش ریت، در طی زمان تانتین فوقانی با توجه به مطالعات ایزوتوپی کربن δ13C و اکسیژن δ18O و همچنین تعیین میزان دمای سطح آب دریا، احتمالاً تحت تاثیر عوامل محیطی، در مراحل اولیه تا میانی رویداد PETM قرار داشته و اگرچه تحت تاثیر افزایش دما بوده است، اما تا انتهای رسوبگذاری این سازند به حداکثر فعالیت و تاثیر گرمایشی این رویداد نرسیده است.

از نقطه نظر شرایط تکامل پلاتفرم‌های کربناته پالئوژن، در حالی که در بیشتر پلاتفرم‌های کربناته حوضه نئوتتیس پس از تاثیر پدیده حداکثر دمایی در مرز پالئوسن-ائوسن (PETM) و از نظر زیست‌چینه‌نگاری در انتهای SBZ 4، فونای شاخص و اصلی این زون زیستی یعنی روزنبران درشت کف‌زی شاخصی نظیر جنس‌های Miscellanea و Ranikothalia با پوسته هیالین منقرض می‌گردند و سپس زون زیستی SBZ 5 آغاز می‌شود، اما در ناحیه لرستان و مشخصاً تاقدیس ریت پس از انقراض فونای فوق، نه تنها زون زیستی SBZ 5 آغاز نمی‌شود بلکه با ماندگاری زون زیستی SBZ 4 شاهد تداوم و توسعه زون‌های زیستی تجمعی بارز و توسعه یافته‌ای از روزنبران درشت کف‌زی با پوسته پورسلانوز ازجنس‌های Azzarolina، Glomalveolina و Milioline‌های درشتی نظیر جنس Idalina هستیم. این مساله تا پایان رسوبگذاری سازند تله‌زنگ در این برش ادامه می‌یابد. در تاقدیس‌های مجاور تاقدیس ریت (تاقدیس‌های دریاگریوه و خوش آب) نیز نه تنها اثری از زون زیستی SBZ 5 نیست، بلکه توالی سازند تله‌زنگ در آنها متعلق به زون‌های زیستی SBZ 10-SBZ 11 به سن کوئیزین پیشین-میانی است. در این محدوده‌ها نقش فرآیندهای تکتونیکی همزمان با رسوبگذاری بسیار بارز است (Zakerzadeh et al., 2023). برای تبیین رویداد استثنایی عدم جایگزینی فونای زون زیستی SBZ 5 به جای زون زیستی SBZ 4 و ماندگاری این زون زیستی در منطقه و بر اساس مطالعات جهانی صورت گرفته نظیر Scheibner و Speijer (۲۰۰۸)، BouDagher-Fadel (۲۰۰۸) و Zhang و همکاران (۲۰۱۹)، فرضیه‌هایی را به شرح زیر می‌توان پیشنهاد نمود:

- پناهگاه محیطی یا Refugia: ممکن است شرایط محلی خاص در حوضه لرستان و به‌ویژه در محدوده تاقدیس ریت، مانند شرایط هیدرولوژیکی و یا شیمیایی خاص، شوری و یا وفور منابع غذایی، پناهگاهی در برابر شدیدترین اثرات استرس جهانی (افزایش شدید دما و اسیدی شدن آب دریا) را برای رشد و بقای فونای فوق ایجاد کرده باشد.

- تاثیر تکتونیک محلی: فعالیت‌های تکتونیکی مرتبط با فاز لارامید، موقعیت جغرافیایی دیرینه حوضه و همچنین نهشته شدن سازند تله‌زنگ در حوضه پیش بوم امیران که به ویژه در محدوده تاقدیس ریت منجر به تشکیل رخساره‌های زیستی متنوعی شده (Homke et al., 2009; Saura et al., 2011; Zakerzadeh et al., 2023)، و ممکن است باعث ایجاد محیط‌های ایزوله و منحصر به فردی شده باشد که در برابر تغییرات سریع گرمایش جهانی یا با تاخیر واکنش نشان داده و یا کمتر تحت تاثیر قرار گرفته باشند.

- تاخیر در مهاجرت: ممکن است جایگزینی فونا و جامعه زیستی SBZ 5 و سایر زون‌های زیستی به جای SBZ 4، با تاخیر نسبت به سایر نقاط حوضه نئوتتیس صورت گرفته و به تدریج در منطقه رخ داده باشد.

از سوی دیگر و با توجه به داده‌های به‌دست آمده، می‌توان اوج تاثیرات احتمالی پدیده بیشینه دمایی مرز پالئوسن-ائوسن را در سازند بالایی سازند تله‌زنگ، یعنی سازند کشکان نیز جستجو کرد. در این صورت علاوه بر فرضیه‌های پیشنهادی فوق‌الذکر، الگوی مشاهده شده می‌تواند با پدیده جی برگشتی یا (Inverted J Trend) و

تاثیر دیاژنز ناحیه وادوز نیز مرتبط باشد. در مدل جی برگشتی، در صورت فرسایش بخش‌های قاعده‌ای یا میانی سازند کشکان، که احتمالاً دربرگیرنده اوج اثرات رویداد PETM بوده‌اند، بخش‌هایی از هاله ژئوشیمیایی این رویداد در سطح رخنمون یافته و می‌توانسته به سمت قسمت‌های فوقانی سازند تله‌زنگ (محل نمونه‌برداری) حرکت کرده باشد و باعث بروز انحراف‌های ایزوتوپی ملایم‌تر (و نه شدیدتر) گردند. این استنباط، با احتمال قرارگیری مرز کامل و اوج فعالیت PETM در سازند بالاسری (سازند کشکان) سازگارتر است. همچنین با توجه به قرارگیری پلاتفرم کربناته تله‌زنگ در محیط کم‌عمق و رسوبگذاری در یک حوضه پیش بوم فعال (حوضه فورلند یا پیش بوم امیران)، احتمال مواجهه با آشکار شدگی توالی‌های رسوبی (Exposure) و تاثیر فرآیندهای دیاژنزی متاثر از نفوذ آب‌های شیرین سطحی (وادوز) پس از رسوبگذاری را نمی‌توان نادیده گرفت. این فرآیندها می‌توانند سبب تغییر احتمالی مقادیر $\delta^{18}O$ به سمت مقادیر منفی‌تر (سبک‌تر) شده و در عین حال، نشانگر اصلی $\delta^{13}C$ مرتبط با چرخه کربن در خلال PETM را نیز تضعیف نمایند. بنابراین ملایم بودن نشانگرهای ایزوتوپی در برش تاقدیس ریت به‌نوعی می‌تواند حاصل تلفیقی از تاثیرات اولیه، ملایم و کم‌رمق رویداد گرمایشی انتهای پالئوسن-ابتدای ائوسن و همچنین فرآیندهای ثانویه فرسایشی و دیازنزی باشد. در هر صورت بررسی علل این واقعه به صورت دقیق و با جزئیات بیشتر در مطالعات آینده ضروری به نظر می‌رسد.

۵ـ جنبه‌های کاربردی

بررسی ردپای رویداد بیشینه دمایی پالئوسن پسین-ائوسن پیشین یا همان PETM در سازند تله زنگ، افزون بر ارزش بنیادین در بازسازی اقلیم دیرینه، می تواند کاربردهای علمی مهمی نیز در حوزه‌های گوناگون علوم زمین داشته باشد، از جمله:

- اکتشاف و ارزیابی مخازن کربناته: شناسایی رویداد گرمایشی در پوسته‌های روزنبران درشت کف‌زی و تغییرات ایزوتوپی، امکان اصلاح مدل‌های دیاژنزی و پیش‌بینی کیفیت مخزنی سنگ‌های کربناته در میادین نفتی ناحیه لرستان و فروافتادگی دزفول (مانند میادین نفتی لب‌سفید، قلعه‌نار، بالارود، کبود و سرکان) را فراهم می‌نماید. همچنین آگاهی از نحوه واکنش پلاتفرم‌های کربناته به تنش گرمایی، به تفسیر دقیق‌تر چگونگی واکنش پلاتفرم‌های سازندهای کربناته مخزنی هم‌سن در حوضه‌های مجاور با شرایط اقلیمی مشابه کمک می‌نماید.

- مدل سازی مخازن هیدروکربوری: شناسایی شرایط دمایی بالا (۳۴ تا ۳۸ درجه سانتیگراد) در زمان رسوبگذاری، در تحلیل‌های ژئوشیمیایی و دیازنزی به منظور برآورد بلوغ حرارتی و کیفیت هیدروکربن‌های شکل گرفته احتمالی در سنگ‌های منشا (در زیرحوضه لرستان، سازند امیران)، می‌بایست مد نظر قرار گیرد..

- زیست‌چینه‌نگاری و تطابق منطقه‌ای: داده‌های ایزوتوپی حاصل از این پژوهش، امکان تطابق دقیق‌تر نهشته‌های پالئوژن زیرین ایران را با سایر پلاتفرم‌های پیرامونی نئوتتیس به‌ویژه حوضه جلاله در مصر و حوضه سیرته در لیبی که شباهت‌های زیادی با زیرحوضه لرستان دارند را مهیا می‌سازد و به عنوان یک نشانگر راهنما در غیاب شاخص‌های زیستی، در تعیین مرز پالئوسن پسین-ائوسن پیشین در برش‌های فقیر از فونای شاخص، می‌تواند به کار گرفته شود.

- مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی: شناخت رویدادهای دیرینه اقلیمی و تغییرات شوری آب دریاهای گذشته (بر اساس تغییرات ایزوتوپ اکسیژن) می‌تواند به ارزیابی پاسخ سفره‌های آب‌دار کربناته و کیفیت آب آنها اعم از سفره‌های آب‌های کم عمق، نیمه ژرف و ژرف، به نوسانات اقلیمی و مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک زاگرس کمک شایانی نماید.

۶. نتیجه گیری

مطالعه پیش رو با هدف بررسی ردپا و اثر رویداد بیشینه دمایی پالئوسن پسین-ائوسن پیشین (PETM) دربخش‌های فوقانی سازند تله‌زنگ در برش تاقدیس ریت (جنوب شرق ناحیه لرستان) و با به کارگیری روش‌های زیست‌چینه‌نگاری و ژئوشیمی ایزوتوپی انجام شد. بر اساس مطالعات دقیق زیست‌چینه‌نگاری، جوامع زیستی و فونای روزنبران درشت کف‌زی گسترش یافته در توالی رسوبی سازند تله‌زنگ در شش برش مورد مطالعه زنگول، پشت‌جنگل، ریت، دریاگریوه، چناره و لب‌سفید شناسایی و به دنبال آن زون‌های زیستی روزنبران کف‌زی یا SBZ و

مرحله تکامل پلاتفرمی هر برش تعیین گردید. با توجه به‌اینکه پدیده PETM در مرز زون‌های زیستی SBZ 4 به SBZ 5 روی داده است، تنها توالی سازند تله‌زنگ در برش‌های مورد مطالعه که امکان بررسی اثرات این رویداد گرمایشی را در منطقه داشت، توالی نهشته شده در برش تاقدیس ریت بود که متعلق به SBZ 4 به سن تانتین پسین و مرحله دوم تکامل پلاتفرم‌های پالئوژن پیشین بود. داده‌های ایزوتوپی کربن $\delta^{13}C$ و اکسیژن $\delta^{18}O$ از پوسته روزنبران درشت کف‌زی، اگرچه کاهش نسبی و روند افزایش دمایی را نشان می‌دهند، اما به نظر، الگوی انحراف ناگهانی و شدیدی نظیر آنچه که در بسیاری از پلاتفرم‌های حوضه نئوتتیس است، در اینجا کمی ملایم‌تر است. میانگین دمای آب محاسبه شده بر اساس مقادیر ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ (بین ۳/۷- تا ۴/۶- پرمیل) در زمان رسوبگذاری، حاکی از آن است که این توالی در بازه زمانی مورد مطالعه، یا در مراحل ابتدایی تا میانی رویدادهای PETM و CIE قرار داشته و هنوز به اوج گرمایش این رویدادها نرسیده بوده‌اند، و یا به دلیل شرایط خاص محلی، اثرات کامل این رویدادهای جهانی را با شدت کمتری تجربه کرده است. شواهد زیست‌چینه‌نگاری نیز موید این نتیجه گیری است؛ به طوری که در میانه‌های رسوبگذاری توالی مورد مطالعه، به جای انقراض فونای شاخص زون زیستی SBZ 4 یعنی گونه‌های شاخص جنس‌های Miscellanea و Ranikothalia و ظهور گونه‌های شاخص زون زیستی SBZ 5، شاهد تداوم بقای دیگر گونه‌های شاخص SBZ 4 یعنی گونه‌های شاخصی از جنس‌های Azzarolina، Glomalveolina و Miliolid ها هستیم. این امر می‌تواند نشان دهنده نقش پناهگاه‌های محیطی در حوضه رسوبی مورد مطالعه، تاثیر عوامل تکتونیکی محلی (مانند تحرکات تکتونیکی در حوضه پیش بوم امیران)، و یا تاخیر در مهاجرت و جایگزینی گونه‌ها در پاسخ به تغییرات اقلیمی جهانی باشد. هر چند که از نقش فرآیندهای فرسایشی در سازند پوشاننده سازند تله‌زنگ (سازند کشکان) و ایجاد پدیده جی برگشتی (Inverted J Trend) و همچنین فرآیندهای دیاژنزی (وادوز) نیز نباید چشم‌پوشی کرد. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه سازند تله‌زنگ در برش تاقدیس ریت تحت تاثیر روند افزایش دمایی در خلال رویداد PETM قرار داشته، اما یا به دلیل موقعیت جغرافیایی دیرینه، شرایط هیدرولوژکی خاص، و یا تاخیر زمانی، اثرات کامل و مخرب این رویداد را به صورت همزمان با دیگر پلاتفرم‌های نئوتتیس ثبت نکرده است. این مطالعه بر ضرورت انجام پژوهش‌های جزئی‌نگرتر با نمونه‌برداری‌های با فواصل کمتر و تعداد بیشتر و نیز بررسی‌های چندجانبه ژئوشیمی، زیست‌چینه‌نگاری و تکتونیکی در محدوده مورد مطالعه و همچنین در دیگر توالی‌های سازند تله‌زنگ و سازندهای هم سن در ناحیه لرستان برای درک دقیق‌تر پاسخ پلاتفرم‌های کربناته این ناحیه به تغییرات اقلیمی سریع تاکید می‌نماید. اینگونه مطالعات می‌توانند جنبه‌های کاربردی متنوعی در حوزه‌های گوناگون علوم زمین از جمله در اکتشاف و ارزیابی مخازن کربناته، مدل سازی مخازن هیدروکربوری، زیست‌چینه‌نگاری و تطابق‌های منطقه‌ای و جهانی و همچنین مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی داشته باشند. در نهایت اینکه پدیده PETM یکی از بهترین نمونه‌های تغییرات آب و هوایی سریع در گذشته زمین است و به دانشمندان کمک می‌کند تا اثرات گرمایش جهانی کنونی را بهتر درک کنند. همچنین این رویداد یکی از بهترین قیاس‌های تاریخی برای بررسی و مطالعه تغییرات اقلیمی امروزی است و مطالعه آن می‌تواند به درک پاسخ سامانه‌های طبیعی زمین به افزایش سریع گازهای گلخانه‌ای کمک کند. در نهایت می‌توان گفت که مطالعه این پدیده به مثابه سفری در گذشته برای درک شرایط آینده است.

تشکر و قدردانی

از راهنمایی‌ها و زحمات بی‌شائبه همکار ارجمند، جناب آقای دکتر عبدالرضا باوی عویدی از شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

مراجع

Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. American Journal of Science 304, 1-20. https://doi.org/10.2475/ajs.304.1.1

Anderson, T.F., Arthur, M.A., 1983. Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems. In: Arthur, M.A., Anderson, T.F., Kaplan, I.R., Veizer, J., Land, L.S. (Eds.), Stable isotopes in sedimentary geology. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Tulsa, Oklahoma, pp. 1-151.

BouDagher-Fadel, M.K., 2008. Evolution and geological significance of larger benthic foraminifera. Developments in Palaeontology and Stratigraphy, 1st edition. Elsevier, Amsterdam, p. 544

Cramer, B.S., Kent, D.V., 2005. Bolide summer: the Paleocene/Eocene Thermal Maximum as a response to an extraterrestrial trigger. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 224, 144–166. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.03.040

Dickens, G.R., 2009. Early Cenozoic Hyperthermals: The Sedimentary Record of Rapid Global Warming and Massive Carbon Input, 1st edition. Department of Earth Sciences, Rice University Texas, Houston, Texas, p. 185

Homke, S., Verges, J., Serra-Kiel, J., Bernaola, G., Sharp, I., Garces, M., Montero-Verdu, I., Karpuz, R., Goodarzi, M.H., 2009. Late Cretaceous- Paleocene formation of the proto-Zagros foreland basin, Lurestan Province, SW Iran. Geological Society of America Bulletin 121, 963–978. https://doi.org/10.1130/B26035.1

Hontzsch, S., Scheibner, C., Brock, J.P., Kuss, H.J., 2013. Circum-Tethyan carbonate platform evolution during the Palaeogene: The Prebetic platform as a test for climatically controlled facies shifts. Turkish Journal of Earth Sciences 22, 891-918. https://doi.org/10.3906/yer-1207-8

Hottinger, L., 1997. Shallow benthic foraminiferal assemblages as signals for depth of their deposition and their limitations. Bulletin de la Société géologique de France 168, 491–505

Marshall, J.D., 1992. Climatic and oceanographic isotopic signals from the carbonate rock record and their preservation. Geological Magazine 129, 143-160. https://doi.org/10.1017/s0016756800008244

McInerney, F.A., Wing, S.L., 2011. The Paleocene- Eocene thermal maximum: A perturbation of carbon cycle, climate, and biosphere with implications for the future. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 39, 489–516. https://doi .org/10.1146 /annurev-earth-040610-133431

Minelli, N., Manzi, V., Roveri, M., 2013. The record of the Paleocene-Eocene thermal maximum in the Ager Basin (Central Pyrenees, Spain). Geologica Acta 4, 421-441. https://doi.org/10.1344/105.000002061

Morse, J.W., Mackenzie, F.T., 1990. Geochemistry of Sedimentary Carbonates, 1st edition, Elsevier, New York, p. 707

Motiei, H., 1993. Geology of Iran, Stratigraphy of Zagros, 1st edition, Iranian Geological Survey Publications, Iran, p. 536

Rao, C.P., Wang, B., 1990. Oxygen and carbonate isotope composition of Gordon Group carbonates (Ordovician) Florentine Valley, Tasmania. Australian Journal of Earth Sciences 37, 305-316. https://doi.org/10.1080/08120099008727929

Rao, C.P., Adabi, M.H., 1992. Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia. Marine Geology 103, 249-272. https://doi.org/10.1016/0025-3227(92)90019-e

Saura, E., Verges, J., Homke, S., Blank, E., Serra-Kiel, J., Berneola, G., Casciello, E., Fernandez, N., Romaire, I., Casini, G., Embry, J.C., Sharp, I.R., 2011. Basin architecture and growth folding of the NW Zagros early foreland basin during the Late Cretaceous and early Tertiary. Journal of the Geological Society 168, 235–250. https://doi.org/10.1144/0016-76492010-092

Scheibner, C., Speijer, R.P., 2008. Late Paleocene–Early Eocene Tethyan carbonate platform evolution – a response to long- and short-term paleoclimatic change. Earth-Science Reviews 90, 71–102. https://doi.org/10.1016/j.earscirev. 2008.07.002

Scheibner, C., Speijer, R.P., 2009. Recalibration of the Tethyan shallow-benthic zonation across the Paleocene-Eocene boundary: the Egyptian record. Geologica Acta 7, 195-214. https://doi.org/10.1344/105.000000267

Serra-Kiel, J., Hottinger, L., Caus, E., Drobne, K., Ferrandez, C., Jauhri, A.K., Les, G., Pavlovec, R., Pignatti, J., Samso, J., 1998. Larger foraminifera biostratigraphy of the Tethyan Paleocene and Eocene. Bulletin de la Société géologique de France 169, 281–299.

Sluijs, A., Dickens, G.R., 2012. Assessing offsets between the δ13C of sedimentary components and the global exogenic carbon pool across early Paleogene carbon cycle perturbations. Global Biogeochemical Cycles 26, 25-42. https://doi.org/10.1029/2011GB004224

Westerhold, T., Rohl, U., McCarren, H.K., Zachos, J.C., 2009. Latest on the absolute age of the Paleocene–Eocene Thermal Maximum (PETM): New insights from exact stratigraphic position of key ash layers +19 and −17. Earth and Planetary Science Letters 287, 412–419. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.08.027

Westerhold, T., Marwan, N., Drury, A.J., Liebrand, D., Agnini, C., Anagnostou, E., Barnet, J.S.K., Bohaty, S.M., De Vleeschouwer, D., Florindo, F., Frederichs, T., Hodell, D.A., Holbourn, A.E., Kroon, D., Lauretano, V., Littler, K., Lourens, L.J., Lyle, M., Pälike, H., Röhl, U., Tian, J., Wilkens, R.H., Wilson, P.A., Zachos, J.C., 2020. An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years. Science 369, 1383-1897. https://doi.org/10.1126/science.aba6853

Zachos, J.C., Wara, M.W., Bohaty, S., Delaney, M.L., Petrizzo, M.R., Brill, A., Bralower, T.J., Premoli-Silva, I., 2003. A transient rise in tropical sea surface temperature during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum. Science 302, 1551‑1554. https://doi.org/10.1126/science.1090110

Zachos, J.C., Röhl, U., Schellenberg, S.A., Sluijs, A., Hodell, D.A., Kelly, D.C., Thomas, E., Nicolo, M., Raffi, I., Lourens, L.J., McCarren, H., Kroon, D., 2005. Rapid acidification of the ocean during the Paleocene-Eocene thermal maximum: Science 308, 1611–1615. https://doi.org/10.1126 /science.1109004

Zachos, J.C., Schouten, S., Brinkhuis, H., Sluijs, A., 2006. Extreme warming of mid-latitude coastal ocean during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum: Inferences from TEX86 and isotope data. Geology 34 (9), 737–740. https://doi.org/10.1130/G22522.1

Zachos, J.C., Dickens, G.R., Zeebe, R.E., 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. Nature 451, 279–283. https://doi.org/10.1038/nature06588

Zachos, J.C., McCarren, H., Murphy, B., Röhl, U., Westerhold, T., 2010, Tempo and scale of late Paleocene and early Eocene carbon isotope cycles: Implications for the origin of hyperthermals. Earth and Planetary Science Letters 299, 242-249. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.09.004

Zakerzadeh, M.R., Majidifard, M.R., Arian, M., Aleali, M., 2023. Age and platform variation evaluation of the Taleh Zang Formation based on the Early Paleogene LBFs changes trend, in two adjacent Rit and Daryageriveh anticlines in SW Lurestan. Advanced Applied Geology 13(3), 814-835. https://doi.org/ 10.22055/AAG.2023.42218.2324

Zhang, Q., Willems, H., Lin Ding, L., Xu, X., 2019. Response of larger benthic foraminifera to the Paleocene-Eocene thermal maximum and the position of the Paleocene/Eocene boundary in the Tethyan shallow benthic zones: Evidence from south Tibet. Geological Society of America Bulletin 131 (1/2), 84-98. https://doi.org/10.1130/B31813.1

Zohdi, A., 2009. Geochemistry, diagenesis, and sedimentary environment of the carbonate deposits of Tale Zang Formation in type section at Langar Anticline, (Dezful) and comparison with surface Tale Zang section at Kialo Anticline, (Dehluran). Ph.D. thesis. University of Shahid Beheshti, Tehran.