Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Autumn 2025, Vol. 15 (3): 53 - 70

Research Article

Biostratigraphy of the Lower Pabdeh Formation Based on Calcareous Nannofossils in the Surface outcrop of Koh-e Gurpi Anticline (Tang-e-Hati), Southwestern Iran

Narges Shokri[1]*,Sasan Bakhtiary_nejad[1], Majid Alipour[1]

1-Department of Petroleum Geology and Sedimentary Basins, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Keywords: *Pabdeh Formation, Paleocene-Eocene boundary, Biostratigraphy, Calcareous nannofossil, Discoaster*

1-Introduction

In the present study, the lower part of the Pabdeh Formation was sampled at the Tang-e-Hati section, located within the Koh-e Gurpi anticline, to investigate and define the Paleocene–Eocene boundary. The studied interval is approximately 50 meters thick and consists predominantly of shale and marl. Calcareous nannofossils identified in this section exhibit moderate to relatively good diversity, abundance, and preservation. Based on taxonomic analysis, 24 genera and 58 species were recorded in the lower part of the Pabdeh Formation. Using the identified calcareous nannofossils and their index taxa, the following biozones were recognized: NP5, NP6, NP7/8, NP9, NP10, and NP11, along with two subzones, NP9a and NP9b. According to the established biozones and the assemblages observed on the prepared slides, biozones NP5-NP9a correspond to the late Paleocene (Selandian–Thanetian), while NP9b, NP10, and NP11 fall within the early Eocene (Ypresian). The Paleocene–Eocene boundary is placed at a depth of 26.5 meters, between biozones NP9a and NP9b. In the Tang-e-Hati section, the transition from the Paleocene to Eocene (Thanetian–Ypresian) is marked by the co-occurrence of Discoaster araneus and Rhomboaster spp.

Calcareous nannofossils from the Pabdeh Formation were studied in the Mangesh section, where the formation was dated to the Early Paleocene-Oligocene (Bayat, 2005). In addition, based on planktonic foraminifera, the Pabdeh Formation in the Sultan-Ebrahim section was dated to Late Paleocene to Middle Eocene (Sadeghi & Hadavandkhani, 2010). Furthermore, the upper part of the Gurpi Formation and the lower part of the Pabdeh Formation in the Koh-e Gurpi anticline were investigated, with the base of the Pabdeh Formation assigned to the onset of the Late Paleocene (Parandavar et al., 2013).

Other studies, including Hadavandkhani et al. (2017), Senemari and Dehbozorgi (2017), Azami et al. (2018), and Taherizadeh et al. (2023), have also focused on the analysis of planktonic foraminifera and calcareous nannofossils within the Pabdeh Formation. According to Senemari (2021), the presence of temperature-sensitive calcareous nannofossil assemblages during the Late Paleocene–Early Eocene interval has been interpreted as indicative of oligotrophic conditions and warm surface waters. Moreover, the low latitudinal dependency observed among the studied nannofossil taxa suggests that tropical-to-subtropical climatic conditions prevailed throughout the Late Paleocene to Early Eocene.

Despite numerous previous investigations on the Pabdeh Formation, no systematic study has yet been conducted on calcareous nannofossils across the Paleocene–Eocene boundary in the Tang-e-Hati section. Calcareous nannofossils are widely recognized as a powerful and reliable tool for biozonation and paleoenvironmental reconstruction across the Paleocene–Eocene transition globally (e.g., Wang et al., 2023; Self-Trail & Watkins, 2018). Therefore, in the present study, samples were collected from the base

* Corresponding author: shokri.narges@gmail.com
DOI: 10.22055/aag.2025.49347.2508
Received: 2025-04-05
Accepted: 2025-08-06

ISSN: 2717-0764

of the Pabdeh Formation in the Tang-e-Hati section (Koh-e Gurpi anticline) to investigate the Paleocene–Eocene boundary using these fossil groups.

2-Materials and methods

In the present study, the biostratigraphic significance of calcareous nannofossil events across the Paleocene–Eocene boundary has been investigated. The acronyms FO (First Occurrence) and LO (Last Occurrence) are used to denote the first and last appearances of each taxon, respectively. The preservation, diversity, and abundance of the recorded nannofossil assemblages in the Tang-e-Hati section range from moderate to relatively good. This study employs the biozonal scheme introduced by Martini (NP zones, 1971), with the modification proposed by Romein (1979), which combines NP7 and NP8 into a single interval. Additionally, following the proposal by Aubry et al. (1999), Biozone NP9 has been subdivided into two subzones: NP9a and NP9b. The recognized biozones have also been compared with alternative zonation schemes, including those of Agnini et al. (CNP and CNE, 2014), Okada and Bukry (CN zone, 1980), and Varol (NTp zone, 1989).

3-Results and discussions

In the present study, the biostratigraphic significance of calcareous nannofossil events across the Paleocene–Eocene boundary has been investigated. The acronyms FO (First Occurrence) and LO (Last Occurrence) are used to denote the first and last appearances of each taxon, respectively. The preservation, diversity, and abundance of the recorded nannofossil assemblages in the Tang-e-Hati section range from moderate to relatively good. This study employs the biozonal scheme introduced by Martini (NP zones, 1971), with the modification proposed by Romein (1979), which combines NP7 and NP8 into a single interval. Additionally, following the proposal by Aubry et al. (1999), Biozone NP9 has been subdivided into two subzones: NP9a and NP9b. The recognized biozones have also been Various studies have documented a significant decline in both diversity and abundance of the genus Fasciculithus in the upper Paleocene (Kasem et al., 2020a; Agnini et al., 2007a, b). In this study, a decrease in the diversity and abundance of Fasciculithus is observed at the base of subzone NP9b, precisely below and above the Paleocene–Eocene boundary.

The genus Tribrachiatus has been widely used in biostratigraphic zonations (Martini, 1971). Previous studies indicate that T. bramlettei first appears slightly above the base of the Eocene and is commonly considered the lower boundary of Biozone NP10. However, the FO of this species is occasionally very rare, which may be due to the diachronous nature of this bioevent or dissolution affecting early Eocene sediments (Agnini et al., 2007b).

Moreover, some authors consider T. bramlettei and Rhomboaster cuspis to be synonymous (e.g., Von Salis et al., 2000), whereas others regard them as distinct species (e.g., Raffi et al., 2005; Salem & Aubry, 2012; Kasem et al., 2020a, b; Faris et al., 2021). In the study by Khavari-Khorassani et al. (2014) on the Pabdeh Formation, this taxon was not observed either. When the index species Tribrachiatus bramlettei is absent, the FO of Discoaster binodosus has been proposed as the upper boundary of Biozone NP9 (Perch-Nielsen, 1985). In the present study, T. bramlettei was not recorded, and instead, D. diastypus was used to mark the base of Biozone NP10.

The taxonomic position of Tribrachiatus digitalis has also been questioned by Raffi et al. (2005), thereby reducing its biostratigraphic significance (Kasem et al., 2020a, b). Among other species of this genus, T. contortus holds importance in biostratigraphic studies (Martini, 1971). Its first occurrence is particularly useful for subdividing Biozone NP10 into subzones NP10a and NP10b (Faris et al., 2021). The appearance of T. orthostylus can occur in the upper part of Biozone NP10 and may serve as an alternative marker when no definitive index species are present (Perch-Nielsen, 1985). In this study, T. orthostylus appears near the top of Biozone NP10.

The simultaneous occurrence of Tribrachiatus contortus and Discoaster diastypus has previously been recognized (Raffi et al., 2005). Therefore, in the absence of T. contortus, D. diastypus can be used as a proxy (Bukry, 1973), which corresponds to Zone CP9 as described by Okada and Bukry (1980). Furthermore, the LO of T. contortus is generally regarded as the onset of Biozone NP11, which occurs slightly after the appearance of T. orthostylus in the studied section. Compared with alternative zonation

ISSN: 2717-0764
CC BY

schemes, including those of Agnini et al. (CNP and CNE, 2014), Okada and Bukry (CN zone, 1980), and Varol (NTp zone, 1989).

4-Conclusion

In the present study, the lowermost part of the Pabdeh Formation was sampled to investigate and determine the Paleocene-Eocene transition. The studied section was 50 m thick and consisted of shale and marl. The target group in this study was calcareous nannofossils, comprising 24 genera and 58 species. Based on the identified calcareous nannofossils and their index species, biozones NP5, NP6, NP7/8, NP9, NP10, and NP11 were distinguished. Based on the distinguished biozones and the calcareous nannofossil assemblages recorded on the slides, biozones NP5-NP9a are located within the Late Paleocene interval. At the same time, NP9b, NP10, and NP11 are situated within the Eocene age interval. The Paleocene-Eocene boundary is 26.5 m thick and lies between biozones NP9a and NP9b. The association of Discoaster araneus and Rhomboaster spp characterizes it at the Paleocene-Eocene boundary.

5-Reference

Agnini, C., Fornaciari, E., Raffi, I., Catanzariti, R., Palike, H., Backman, J., Rio. D., 2014. Biozonation and biochronology of Paleogene calcareous nannofossils from low and middle latitudes. Newsletters on Stratigraphy 7(2), 131–181. https://doi.org/10.1127/nos/2014/0209.

Agnini, C., Fornaciari, E., Rio, D., Tateo, F., Backman, J., Giusberti, L., 2007a. Responses of calcareous nannofossil assemblages, mineralogy, and geochemistry to the environmental perturbations across the Paleocene/Eocene boundary in the Venetian Pre-Alps. Marine Micropaleontology 63, 19–38. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2007.05.003.

Agnini, C., Fornaciari, E., Raffi, I., Rio, D., Röhl, U., Westerhold, T., 2007b. High-resolution nannofossil biochronology of middle Paleocene to early Eocene at ODP Site 1262: Implications for calcareous nannoplankton evolution. Marine Micropaleontology 64 (3–4), 215–248. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2007.05.003.

Aubry, M.P., Berggren, W.A., Cramer, B., Dupuis, C., Kent, D.V., Ouda, K., Schmitz, B., Steurbaut, E., 1999. Paleocene/Eocene boundaries sections in Egypt. In: Late Paleocene-Early Eocene events from Northern Africa to the Middle East. Intern. Symposium in connection with First International Conference of the Geology of Africa Nov. 23–25, 1999, Assiut, Egypt, P. 1–11.

Aubry, M.P., Salem, R., 2012. The Dababiya Core: a window into Paleocene to Early Eocene depositional history in Egypt based on coccolith stratigraphy. Stratigraphy 9 (3–4), 287–346.

Azami, S. H. R., Wolfgring E., Wagreich, M., and Mahmudy Gharaie, M. H., 2018. Paleocene-Eocene Calcareous Nannofossil Biostratigraphy and Cyclostratigraphy from the Neo-Tethys, Pabdeh Formation of the Zagros Basin (Iran). Stratigraphy and Timescales 3. https://doi.org/10.1016/bs.sats.2018.08.006.

Bayat, Sh., 2005. Lithostratigraphy and Nannostratigraphy of the Pabdeh Formation in the Tang-e Pabdeh Section and Comparison with the Tang-e Maghar Outcrop (Bengestan Mountain): Master's Thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, P.198.

Bukry, D., 1973. Coccoliths stratigraphy, Leg 10-Deep Sea Drilling Project. In: Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project 10. US Government Printing Office, Washington, DC, P. 385–604. http://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALGEODEBRGM7820239356.

Faris, M., Salem, R. F., 2007. Paleocene-early Eocene calcareous nannofossil biostratigraphy in west central Sinai, Egypt. In: Proceedings of the 8th Conference on Geology of Sinai for Development, Ismailia, 1–14.

Faris, M., Farouk, S., 2012. Integrated biostratigraphy of two Upper Maastrichtian– Palaeocene successions in north-central Sinai, Egypt. Geologica Croatica 65 (2), 139–160. DOI:10.4154/gc.2012.10

Faris, M., Obaidalla, N. A., Metwally, A. A., Salman, A. M., Zaky, A. S., 2018. Late Cretaceous–Early Paleogene tectonic events at Farafra-Abu Minqar Stretch, Western Desert, Egypt: Results from

ISSN: 2717-0764

calcareous plankton. Arabian Journal of Geosciences 11, 429. https://doi.org/10.1007/s12517-018-3787-9.

Hadavandkhani, N., Sadeghi, A., Adabi, M. H., Tahmasbi Sarvestani, A., 2017. Stratigraphy and introduction of new biozones in the Tang-e-Hata section (Izeh zone, Khuzestan). Journal of Stratigraphy and Sedimentology Studies, 1-18. https://doi.org/10.22108/jssr.2017.21620.

Kasem, A. M., Wise, S., Jr., Faris, M., Farouk, S., Zahran, E., 2020a. Upper Paleocene–Lower Eocene calcareous nannofossil stratigraphy at the Misheiti Section, Central Sinai, Egypt. Turkish Journal of Earth Sciences 29, 242–256. https://doi.org/10.3906/yer-1812-13.

Kasem, A. M., Wise, S., Jr., Faris, M., Farouk, S., Zahran, E., 2020b. Calcareous nannofossil stratigraphy across the Paleocene-Eocene transition at the Gunnah Section, Farafra Oasis, Western Desert, Egypt. Journal of Geology 128, 371–387. https://doi.org/10.1086/709359.

Khavari-Khorassani, M. P., Hadavi, F., Ghasemi-Nejad, E., 2014. Nanostratigraphy and paleoecology of the Pabdeh Formation in the northwest of the Zagros Basin in the Ilam section. Paleontology 1(2), 149–164 (in Persian).

Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary Calcareous Nannoplankton Zonation. In: Farniacci, A., (Ed.), Proceedings, 2nd International Conference on Planktonic Microfossils, Rome, Italy. Edizioni Tecnoscienza 2, 739-785. https://doi.org/10.1038/226560a0.

Okada, H., and Bukry, D., 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low latitude coccolithbiostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). Marine Micropaleontology 5, 321-325. https://doi.org/10.1016/0377-8398(80)90016-X.

Parandavar, M., MahaniPour, A., Aghanabati, S. A., Hosseini, S. A., 2013. Calcareous nannofossils biostratigraphy of the upper part of Gurpi Formation–Lower part of Pabdeh Formation (Purple Shale) at the north-east of Gurpi Anticline. Scientific Quarterly Journal of Geosciences 23(89), 187–198. https://doi.org/10.22071/gsj.2013.53608.

Perch-Nielsen, K. 1985. Cenozoic Calcareous Nannofossils. In: Bolli, H.M., Sanders, J.B. and Perch-Nielsen, K., Eds., Plankton Stratigraphy, Cambridge University Press, Cambridge, 427-554.

Raffi, I., Backman, J., Pälike, H., 2005. Changes in calcareous nannofossil assemblage across the Paleocene/Eocene transition from the paleo-equatorial Pacific Ocean. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 226, 93–126. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.05.006.

Romein, A.J.T., 1979. Lineages in early Paleogene calcareous nannoplankton. Utrecht Micropalaeontology Bulletin 22, 1–230.

Sadeghi, A., Hadavandkhani, N., 2010. Biostratigraphy of the Pabdeh Formation in the Imamzadeh Sultan Ebrahim Section (Northwest of Izeh). Iranian Journal of Geology 4(15), 81–98 (in Persian).

Self-Trail, J. M., Watkins, D. K., 2018. Insights Into Latest Paleocene Paleoecological Changes in the Nannoplankton Community across a Shelf to Open-Ocean Transect. In Geological Society of America Abstracts 50, P.322644).10.1130/abs/2018AM-322644

Senemari, S., 2021. Late Paleocene-Late Eocene Calcareous nannofossil biostratigraphy in the Zagros Basin (Iran), Tethyan realm. Journal of African Earth Sciences 173, https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.104042

Senemari, S., Dehbozorgi, A., 2017. Biostratigraphy of Pabdeh Formation based on calcareous nannofossils, southwest of Ilam, Ilam Province. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Basin 33(3/68), 79–94. https://doi.org/10.22108/jssr.2017.100648.1000.

Taherizade, S., Vahidinia, M., Mahmoudi Gharaii, M. H., 2023. Biostratigraphy and lithostratigraphy of Pabdeh Formation based on planktonic foraminifera in the section of Jahangirabad (south Ilam-Zagros basin). Iranian Journal of Petroleum Geology 22, 66–88. https://doi.org/10.61186/ispg.40920.11.22.66.

Varol, O., 1989. Paleocene calcareous nannofossil biostratigraphy. In: Crux, J., van Heck, S. (Eds.), Nannofossils and their applications. Ellis Horwood Limited. P. 267– 310.

Wang, X., Xi, D., Mattioli, E., Guannan Wang, G., Xiaoqiao Wan, X., 2023. Middle Paleocene-early Eocene inter-regional correlations and palaeoclimatic changes in eastern Tethys Sea: Calcareous nannofossil evidence for Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) and sea-level change from

ISSN: 2717-0764

the western Tarim Basin, NW China. Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology 626. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111672

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Shokri. N., Bakhtiary_nejad. S., Alipour. M., 2025. Biostratigraphy of the Lower Pabdeh Formation Based on Calcareous Nannofossils in the Surface outcrop of Koh-e Gurpi Anticline (Tang-e-Hati), Southwestern Iran. Adv. Appl. Geol. 15 (3), 53-70.
DOI: 10.22055/aag.2025.49347.2508
https://aag.scu.ac.ir/article_20435.html

©2025 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

چینه نگاری زیستی بخش ابتدایی سازند پابده بر اساس نانوفسیل آهکی در رخنمون سطحی تاقدیس کوه گورپی (تنگ هتی)، جنوب غرب ایران

نرگس شکری
گروه زمین‌شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
ساسان بختیاری نژاد
گروه زمین‌شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
مجید علیپور
گروه زمین‌شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
shokri.narges@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵

چکیده

در مطالعه حاضر، بخش ابتدایی سازند پابده در برش تنگ هتی واقع در تاقدیس کوه گورپی جهت بررسی و تعیین مرز پالئوسن-ائوسن مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. بخش مورد مطالعه با ضخامت ۵۰ متر و با ترکیب سنگ‌شناسی شیل و مارن بوده است. نانوفسیل‌های‌آهکی ثبت شده در این برش دارای تنوع، فراوانی و حفظ شدگی متوسط تا نسبتاً خوبی بودند. بر اساس تاکسای مورد مطالعه، تعداد ۲۲ جنس و ۵۲ گونه در بخش ابتدایی سازند پابده به ثبت رسیده است. بر اساس نانوفسیل‌های‌آهکی شناسایی شده و گونه‌های شاخص آن، زیست‌زون‌های NP5، NP6، NP7/8، NP9، NP10 و NP11 و دو زیر زون NP9a و NP9b تفکیک شده‌اند. بر اساس زیست زون‌های تفکیک شده و مجموعه نانوفسیل‌های آهکی ثبت شده در اسلایدها، زیست‌زون‌های NP5 تا NP9a در بازه پالئوسن پسین (سلاندین-تانتین) و NP9b، NP10 و NP11 در بازه سنی ائوسن پیشین (ایپرزین) قرار دارد. مرز پالئوسن-ائوسن در ضخامت ۲۶/۵ متری و در بین زیست‌زون‌های NP9a و NP9b قرار دارد. در برش تنگ هتی بازه گذر از پالئوسن به ائوسن (تانتین-ایپریزین)، با همراهی گونه *Discoaster araneus* و .spp *Rhomboaster* مشخص می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *سازند پابده، مرز پالئوسن ـ ائوسن، زیست چینه نگاری، نانوفسیل آهکی، دیسکوآستر*

۱-مقدمه

پالئوسن نخستین دور از دوره پالئوژن، یکی از دورهای زمین‌شناسی است که از حدود ۶۵/۵ میلیون سال پیش آغاز و تا ۵۶ میلیون سال پیش ادامه یافته است (Hooker, 2005). پس از پایان پالئوسن، دور ائوسن، دومین دور از دوره پالئوژن (در ۵۶ میلیون سال پیش) آغاز شده و تا ۳۳/۹ میلیون سال پیش ادامه یافته است. ائوسن یک برهه زمانی پویا با دو اقلیم آب و هوایی متفاوت است که آغاز آن با بیشینه حرارتی پالئوسن-ائوسن مشخص می‌شود و پس از آن اقلیم زمین به سوی سرد شدن پیش می‌رود (Lourens et al., 2005; Turner et al., 2017). به‌منظور شناسایی و بررسی تحولات این مرز معمولاً از نانوفسیل‌های آهکی به‌عنوان شاهدی بر حوادث زیستی استفاده می‌شود. نانوپلانکتون‌های آهکی در نزدیکی سطح آب دریا زندگی کرده و تنوع و فراوانی آنها توسط پارامترهایی از قبیل دما، مواد غذایی، عمق و شفافیت آب کنترل می‌شود (Baumann et al., 2005).

در حوضه زاگرس گذر پالئوسن-ائوسن، در داخل سازند پابده به سن پالئوسن-الیگوسن واقع شده است (Motiei, 1993). سازند پابده پس از وقوع فاز تکتونیکی لارامید در انتهای کرتاسه با یک رخساره کربناته-تخریبی نهشته می‌شود. مطالعات مختلفی جهت تعیین سن و محیط رسوبی دیرینه و شناسایی مرز پالئوسن ـ ائوسن بر روی سازند پابده صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آنها و نتایج حاصله اشاره می‌شود.

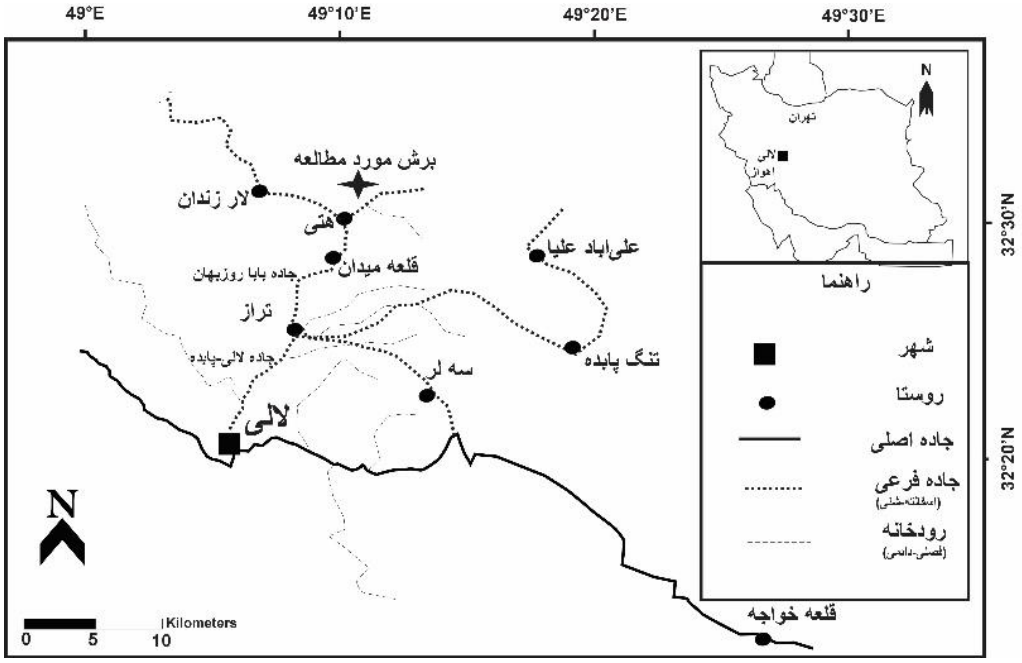
نانوفسیل‌های آهکی سازند پابده در برش منگشت مورد مطالعه قرارگرفته و سن پابده در این برش، پالئوسن پیشین-الیگوسن پیشنهاد شده‌است (Bayat, 2005). همچنین سن سازند پابده در برش سلطان‌ابراهیم بر اساس روزن‌داران پلانکتون پالئوسن پسین ـ ائوسن میانی تخمین زده شده‌است

(Sadeghi and Hadavandkhani, 2010). علاوه بر این، بخش انتهایی سازند گورپی و بخش ابتدایی سازند پابده در تاقدیس کوه گورپی مورد بررسی قرار گرفته و سن بخش ابتدایی پابده را آغاز پالئوسن پسین پیشنهاد داده‌اند (Parandavar et al., 2013). از سایر مطالعات می‌توان به Ahifar و همکاران (۲۰۱۵)، Moradian و همکاران (۲۰۱۴)، Hadavandkhani و همکاران (۲۰۱۷)، Senemari و Dehbozorgi (۲۰۱۷)، Azami و همکاران (۲۰۱۸) و Taherizade و همکاران (۲۰۲۳)، اشاره کرد که به بررسی فرامینیفرهای شناور و نانوفسیل آهکی سازند پابده پرداخته‌اند. بر اساس مطالعه بررسی شرایط محیطی توسط Senemari (۲۰۲۱)، در بازه پالئوسن پسین ـ ائوسن، حضور مجموعه نانوفسیل آهکی حساس به نوسانات دما و تغییرات شرایط محیطی، به عنوان نشانگر شرایط الیگوتروفیک و آب گرم تفسیر شده است. همچنین در پژوهش مذکور، وابستگی کم نانوفسیل‌های مطالعه شده به عرض جغرافیایی، نشان دهنده مناطق گرمسیری یا نیمه گرمسیری در سراسر پالئوسن پسین ـ ائوسن در نظر گرفته شده‌است.

علی‌رغم مطالعات مختلفی که تاکنون بر روی سازند پابده صورت گرفته، مطالعه نظام‌مندی بر روی نانوفسیل‌های آهکی مرز پالئوسن ـ ائوسن در برش تنگ هتی صورت نگرفته‌است. نانوفسیل‌های آهکی به‌عنوان ابزاری کاربردی و قدرتمند برای تعیین زون‌های زیستی و بررسی شرایط محیط دیرینه در مرز پالئوسن-ائوسن در دنیا مورد استفاده قرار گرفته‌اند (از جمله Wang et al., 2023; Self-Trail and Watkins, 2018)، لذا در مطالعه حاضر به‌منظور بررسی مرز پالئوسن ـ ائوسن بر اساس این گروه فسیلی، اقدام به نمونه‌برداری از قاعده سازند پابده در برش تنگ هتی (تاقدیس کوه گورپی) شده‌است. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در تعیین دقیق‌تر مرز پالئوسن-ائوسن و تحلیل تغییرات اقلیمی و زیستی در این بازه مورد استفاده قرار گیرند.

۲-موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

برش مورد مطالعه در تنگ هتی، در یال جنوبی تاقدیس کوه گورپی و در ۲۴ کیلومتری شمال شرقی شهرستان لالی در استان خوزستان واقع شده‌است. سازند پابده در این برش، به صورت هم‌شیب در بین سازندهای گورپی و آسماری قرار دارد. مسیر دسترسی به برش تنگ هتی از طریق جاده لالی ـ پابده در شمال لالی، به سوی شهر تراز و سپس گذر از جاده بابا روزبهان امکان‌پذیر است (شکل ۱). مختصات جغرافیایی برش مورد مطالعه به طول E ″۲۷ ′۱۰ °۴۹ و عرض ″۳۵ ′۳۱ °۳۲ N بوده که در شکل ۲ (a تا c) موقعیت تاقدیس گورپی در جنوب‌غرب ایران، تصویر ماهواره‌ای آن و موقعیت برش نشان داده شده‌است.



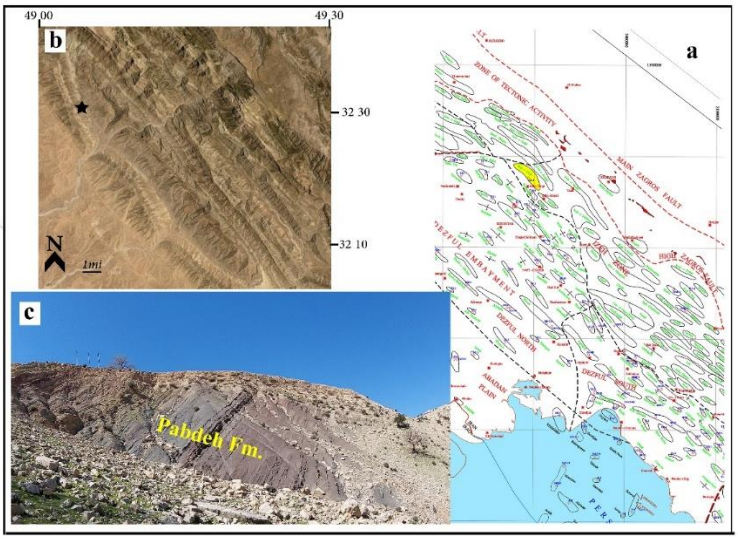
شکل ۱- موقعیت و مسیر دسترسی به برش مورد مطالعه

Fig. 1. Location and access route to the studied section

۳-مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

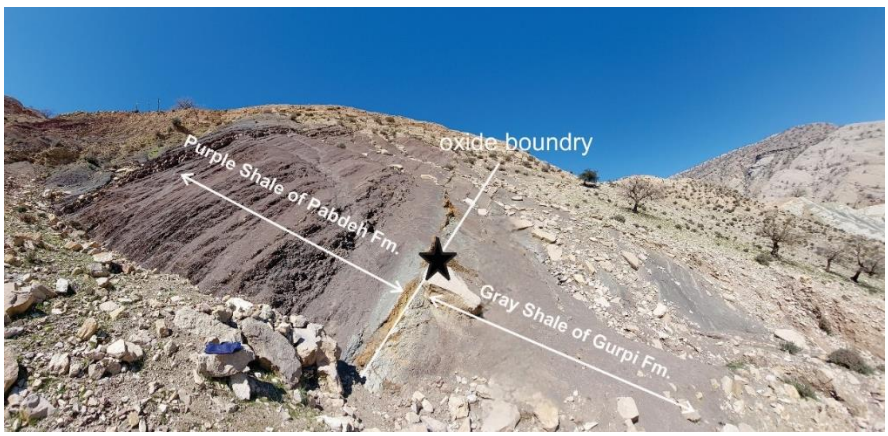
ضخامت توالی مورد مطالعه از قاعده سازند پابده در برش تنگ هتی، ۵۰ متر می‌باشد. سازند گورپی و سازند پابده در این برش با یک لایه اکسیدآهن به ضخامت حدود ۳۵ سانتی‌متر از یکدیگر تفکیک می‌شوند. در برش مورد مطالعه، سازند گورپی با شیل خاکستری به پایان می‌رسد و سازند پابده با شیل ارغوانی پس از لایه اکسید آهن آغاز می‌گردد (شکل ۳).

به منظور دسترسی به نمونه تازه و بدون هوازدگی، در مطالعه حاضر نمونه‌ها از عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری برداشت شده‌اند. تعداد ۳۰ نمونه با فواصل متغیر ۰/۵ تا ۲ متر از قاعده سازند پابده برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه، آماده‌سازی نمونه‌ها به روش اسمیر اسلاید که یکی از روش‌های استاندارد آماده‌سازی نانوفسیل آهکی است، انجام پذیرفت (Bown and Young, 1998). اسلایدهای آماده شده توسط میکروسکوپ پلاریزان Olympus مدل BX60 در نور معمولی و پلاریزه و با بزرگنمایی ۱۲۵۰ برابر، مورد بررسی و عکس‌برداری قرار گرفتند. به منظور شناسایی گونه‌ها از منابعی نظیر Perch-Nielsen (۱۹۸۵) و Agnini و همکاران (۲۰۱۴) و برای تعیین زیست‌زون‌ها از زون‌بندی ارائه شده توسط Martini (۱۹۷۱) برای زمان پالئوژن استفاده شد.



شکل۲-a) موقعیت تاقدیس کوه گورپی در جنوب غرب ایران (رنگ زرد)، برگرفته با تغییراتی از شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۰، b) نقشه ماهواره‌ای موقعیت برش مورد مطالعه (★)، و c) رخنمون سازند پابده در برش مورد مطالعه (دید به سمت جنوب شرق).

Fig. 2. (a) The Gurpi Mountain anticline Situation (yellow color), modified from National Iranian Oil Company (NIOC), 2001, (b) Satellite map of the studied section location (★), and (c) Outcrop of the Pabdeh formations in the studied section (SE view).



شکل ۳- لایه اکسیدآهن (★) در مرز سازندهای گورپی و پابده (دید به سمت جنوب شرق)

Fig. 3. Iron oxide bed at the boundary of the Gurpi and Pabdeh formations in the studied section (View to SE)

۴-زیست چینه‌نگاری نانوفسیل‌های آهکی

در مطالعه حاضر، اهمیت چینه‌شناسی رویدادهای زیستی نانوفسیل آهکی در گذر از مرز پالئوسن ـ ائوسن مورد بررسی قرارگرفته‌است. اختصارات FO (First occurrence) و LO (Last occurrence) به ترتیب برای اولین حضور و آخرین حضور تاکسون در نظر گرفته شده‌است. بر اساس مجموعه نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده در برش تنگ هتی، تعداد ۲۲ جنس و ۵۲ گونه تفکیک شد. تصاویر برخی گونه‌های شناسایی شده نیز در تابلوهای ۱ و ۲ ارائه شده‌است. اشکال ۴ و ۵، رویدادهای زیستی تاکسای شاخص نانوفسیل آهکی، بازه چینه‌شناسی آنها و زیست‌زون‌های تفکیک شده در برش تنگ هتی را نشان می‌دهند. حفظ شدگی، تنوع و فراوانی مجموعه نانوفسیل‌های ثبت شده در برش تنگ هتی متوسط تا نسبتاً خوب بوده‌است.

در مطالعه پیش‌رو، از زیست‌زون‌های معرفی شده توسط Martini (NP، ۱۹۷۱) استفاده شده و توصیه Romein (۱۹۷۹) مبنی بر ترکیب زون‌های NP7 و NP8 نیز اعمال شده‌است. به علاوه، بر اساس پیشنهاد Aubry و همکاران (۱۹۹۹) زون NP9 به زیرزون‌های NP9a و NP9b تفکیک شده‌است. زیست‌زون‌های تفکیک شده، با زون‌بندی‌های Agnini و همکاران (CNP, CNE، ۲۰۱۴)، Okada و Bukry (CN، ۱۹۸۰) و Varol (NTp، ۱۹۸۹) نیز مقایسه شده‌است. زیست‌زون‌های تفکیک شده در بازه پالئوسن پسین-ائوسن پیشین در برش تنگ هتی از قاعده سازند پابده به سمت بالا به شرح زیر است:

۴-۱-زون زیستی (NP5) Fasciculithus tympaniformis Zone

اولین زیست‌زون شناسایی شده در قاعده سازند پابده در برش تنگ هتی، با توجه به حضور گونه Fasciculithus tympaniformis در اولین اسلاید، زیست‌زون NP5 است. این زون توسط Mohler و Hay در Hay و همکاران (۱۹۶۷) در بازه اولین حضور گونه Fasciculithus tympaniformis تا اولین حضور Heliolithus kleinpellii تعریف شده است. این زیست زون ۴ متر ابتدای سازند را در برمی‌گیرد. زون NP5 معادل زون CP4 از زون‌بندی Okada و Bukry (۱۹۸۰) و نیز CNP7 و بخش زیرین زون CNP8 از Agnini و همکاران (۲۰۱۴) است. از نظر سنی، این زون موید پالئوسن میانی و به طور دقیق‌تر اشکوب سلاندین (۶۱/۵ تا ۵۹/۵۵ میلیون سال قبل) است.

۴-۲-زون زیستی (NP6) Heliolithus kleinpellii Zone

این زون توسط Mohler و Hay در Hay و همکاران (۱۹۶۷) شناسایی و معرفی شده‌است که بازه Heliolithus kleinpellii (FO) تا Discoaster mohleri (FO) را در بر می‌گیرد. این زون معادل زون CP5 از Okada and Bukry (1980) و بخش بالایی زون CP8 از زون بندی Agnini و همکاران (۲۰۱۴) است. ضخامت این زیست‌زون در برش تنگ هتی ۵ متر است که از متراژ ۴ تا ۹ متری ابتدای سازند را در برمی‌گیرد. این زیست‌زون موید سن سلاندین پسین-تانتین پیشین (۵۹ تا ۵۹/۵۵ میلیون سال قبل) است. اولین حضور گونه Heliolithus kleinpellii در نمونه شماره ۲ به ثبت رسیده‌است.

۴-۳-زون زیستی ترکیبی (NP7/NP8) Discoaster mohleri zone

این زون ترکیبی، از حضور گونه Discoaster mohleri تا حضور گونه Discoaster multiradiatus گسترش دارد (Romein, 1979) این زون قابل تطابق با زون‌های CP6 و CP7 از زون‌بندی Okada و Bukry (۱۹۸۰) و زون CNP9 و CNP10 از زون‌بندی Agnini و همکاران (۲۰۱۴) است. این زیست‌زون ابتدا توسط Hay (۱۹۶۴) معرفی شد اما از آنجایی که گونه شاخص Heliolithus riedelii جایگاه چینه‌شناسی ثابت و سازگاری مشخصی نداشت و همچنین به خاطر عدم ثبت در برخی مطالعات (Romein, 1979; Perch-Nielsen, 1985; Agnini et al., 2007b) سبب شد تا Romein (۱۹۷۹) این گونه را به عنوان یک زیست‌زون حذف و زون‌های NP7 و NP8 را با هم به عنوان زون D. mohleri (NP7/NP8) تبدیل کند. در این مطالعه، زیست زون مذکور از متراژ ۹ تا حدود ۲۲ متری از قاعده سازند و با ضخامت ۱۳ متر به ثبت رسیده‌است. این زون موید سن پالئوسن پسین و اشکوب تانتین است. اولین حضور گونه Discoaster mohleri در نمونه شماره ۴ به ثبت رسیده‌است.

۴-۴-زون زیستی Discoaster multiradiatus Zone (NP9)

چهارمین زیست‌زون ثبت شده در تنگ هتی، NP9 بوده‌است. این زون اولین بار توسط Bramlette و Sullivan (۱۹۶۱) معرفی، و سپس توسط Martini (۱۹۷۱) به بازه اولین حضور گونه Discoaster multiradiatus تا اولین حضور گونه Tribrachiatus bramlettei اصلاح شد. این زون قابل‌مقایسه با زون CP8 از Okada و Bukry (۱۹۸۰) و زیرزون NTp16b تا NTp20 از Varol (۱۹۸۹) و زون CNP11 به همراه بخش زیرین زون CNE1 از Agnini و همکاران (۲۰۱۴) است. زون NP9 توسط Aubry و همکاران (۱۹۹۹) بر اساس اولین حضور Rhomboaster spp. و یا Discoaster araneus به زیرزون های NP9a و NP9b تقسیم می‌شود. سن این محدوده تانتین-ایپرزین است. این زون در نمونه شماره ۱۱ از متراژ ۲۲ متری از قاعده سازند پابده در برش تنگ هتی آغاز می‌گردد.

زیرزون NP9b در برش مورد مطالعه با حضور گونه‌های Discoaster araneus، Rhomboaster cuspis و R. spineus مشخص می‌شود که در ضخامت ۲۶/۵ متری از قاعده سازند به ثبت رسیده است و شروع ائوسن و اشکوب ایپرزین را نشان می‌دهد. چهارمین زیست‌زون تفکیک شده ۱۳ متر ضخامت داشته و در نمونه شماره ۱۵ و تا متراژ ۳۵ متری ادامه می‌یابد.

۴-۵-زون زیستی Tribrachiatus bramlettei Zone (NP10)

این زون از بازه زیست چینه‌ای اولین حضور (FO) گونه Tribrachiatus bramlettei یا گونه Discoaster diastypus تا آخرین حضور (LO) گونه Tribrachiatus contortus مشخص می‌شود. این زون با سن ائوسن پیشین (ایپرزین)، معادل زیرزون‌های CP8b و CP9a از Okada و Bukry (۱۹۸۰) و نیز بخش بالایی زون CNE1، CNE2 و قاعده CNE3 از Agnini و همکاران (۲۰۱۴) است. زون مذکور از نمونه شماره ۲۲ و ضخامت ۳۵ متری از قاعده سازند آغاز می‌شود. برخی مطالعات این زون زیستی را بر اساس حضور گونه‌های مختلف جنس Tribrachiatus به زیرزون‌هایی تقسیم کرده‌اند از جمله Kasem و همکاران (۲۰۲۰a) که این زون را به دو زیر زون NP10a و NP10b، Tantawy (۱۹۹۸) در نهشته‌های مصر به سه زیرزون NP10a-c، و Aubray در سال ۱۹۶۶ زون NP10 را به چهار زیرزون NP10a-d تفکیک کرده‌اند. زیرزون های مذکور به دلیل عدم حضور همه گونه‌های جنس Tribrachiatus در برش تنگ هتی قابل تفکیک نبوده است.

۴-۶-زون زیستی Discoaster binodosus Zone (NP11)

این زیست زون از آخرین حضور گونه Tribrachiatus contortus تا اولین حضور Discoaster lodoensis را پوشش می‌دهد که توسط Hay و Mohler (۱۹۶۷) مشخص شده‌است. زون NP11 قابل مقایسه با زیرزون CP9b از Okada و Bukry (۱۹۸۰) و معادل زون CNE3 از Agnini و همکاران (۲۰۱۴) است. در برش مورد مطالعه این زون از متراژ ۴۴ متری و از نمونه شماره ۲۸ آغاز می‌شود و تا آخرین نمونه برداشت‌شده ضخامت دارد و معرف سن ایپرزین است. Tribrachiatus orthostylus معمولاً نزدیک به قاعده زون NP11 ظاهر می‌شود؛ بنابراین، زمانی که گونه شاخص این زون وجود نداشته باشد، می‌تواند ورود به این زون را به طور تقریبی تعیین کند (Perch-Nielsen, 1985). در مطالعه حاضر، گونه T. orthostylus نزدیک به انتهای زون NP10 ظاهر می‌شود.

۵-بحث

۵-۱-مرز دانین/سلاندین (پالئوسن پیشین-میانی)

مرز دانین-سلاندین (Da/Se) در زیر مرز زیست‌زون NP4/NP5، نزدیک به اولین حضور گونه Fasciculithus tympaniformis است. حضور این گونه همزمان با فراوانی گونه Braarudosphaera bigelowii بوده که در برش استراتوتایپ جهانی (GSSP) این مرز نیز گزارش شده است (Bernaola et al., 2009). این گونه در مصر و لبنان نیز گزارش شده است (Faris and Farouk, 2012; Faris et al., 2021). قاعده سلاندین در مصر یک هیاتوس کوتاه‌مدت اتفاق افتاده است که این اتفاق با عدم حضور برخی گونه‌های جنس Lithoptychius مشخص می‌شود (Faris et al., 2018). عدم حضور این جنس در برش تنگ هتی نیز در زون NP5 به ثبت رسیده است که با وجود لایه اکسید آهن در قاعده سازند نیز همخوانی دارد (Shokri et al., 2025)؛ لذا عدم حضور جنس Lithoptychius می‌تواند حاکی از یک وقفه کوتاه‌مدت در قاعده سازند پابده و در قاعده سلاندین باشد.

۵-۲-مرز سلاندین-تانتین (پالئوسن میانی-پسین)

بر اساس حضور نانوفسیل‌های آهکی در برش مورد مطالعه، افق زیستی Discoaster mohleri که تاکسون شاخص زون NP7/8 است به عنوان شاخص قاعده تانتین در نظر گرفته شده‌است. در برش تنگ هتی مرز سلاندین ـ تانتین (Se/Th) در متراژ ۹ متری به ثبت رسیده‌است. این گونه در سایر نقاط دنیا نیز به عنوان شاخص این مرز در نظر گرفته شده است (Faris and Abu Shama, 2007; Agnini et al., 2007b). آغاز حضور و تنوع گونه های متعلق به دیسکواستریدها در پالئوسن، از این بازه رخ می دهد که برخی از گونه‌های آن از جمله D.mohleri و D.multiradiatus بعد از این مرز به وقوع می‌پیوندد.

۵-۳-مرز پالئوسن/ائوسن (P/E)

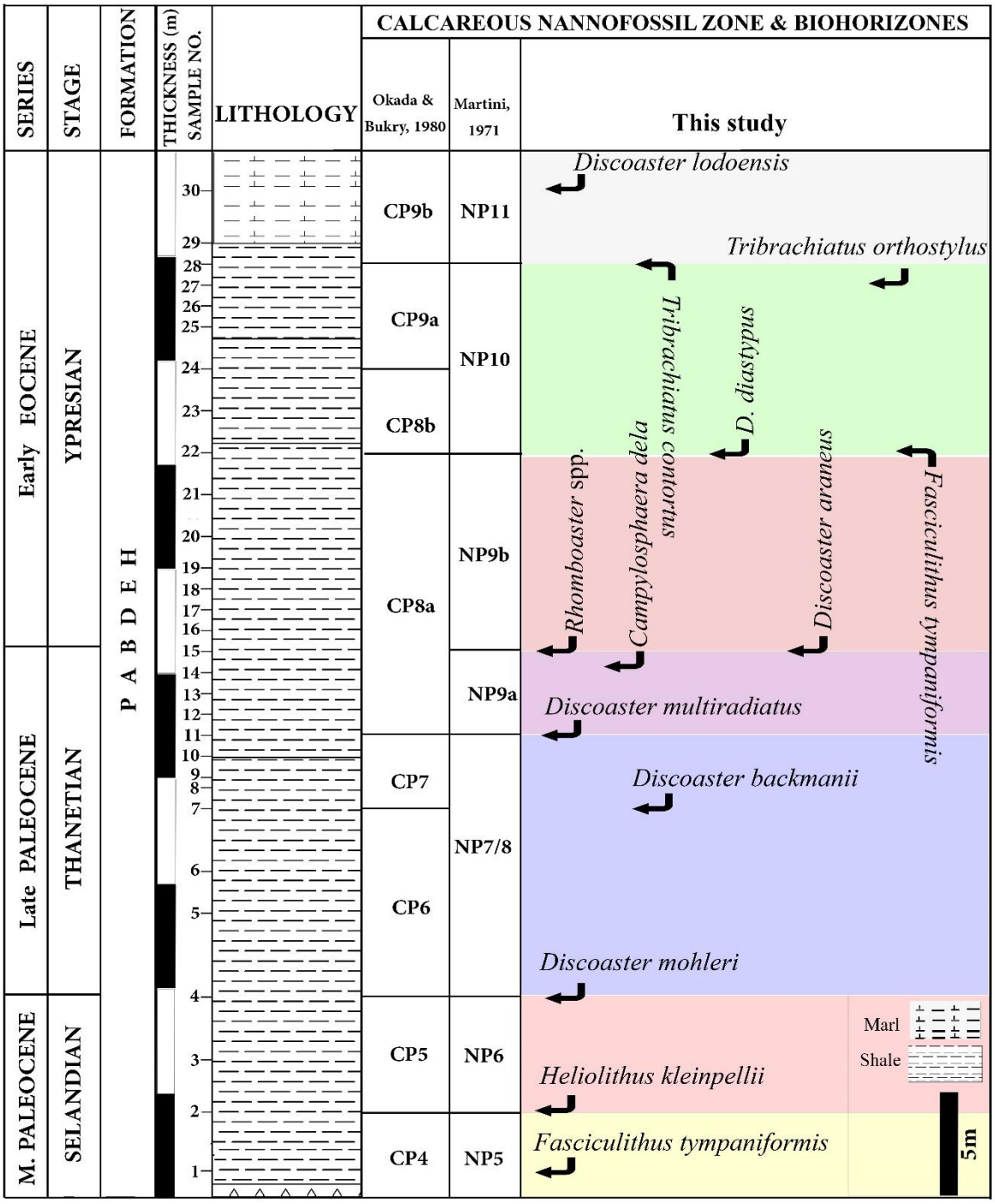
مرز پالئوسن ـ ائوسن بین زون‌های نانوفسیلی NP9a و NP9b قرار دارد. حداکثر گرم‌شدگی پالئوسن ـ ائوسن با افزایش دما و تغییر و تحولات زیستی همراه است. رویداد PETM، یک رویداد هایپرترمال است که در برش تنگ هتی نیز با حضور گونه‌های نانوفسیل آهکی Discoaster araneus و Rhomboaster spp. به ثبت رسیده‌است. این رویداد و گونه‌های شاخص مربوط به آن در مرز پالئوسن ـ ائوسن، در نقاط مختلف دنیا، هم در آب‌های کم‌عمق و هم آب‌های عمیق گزارش شده‌است (Gibbs et al., 2006; Raffi et al., 2005, 2009; Kahn and Aubry, 2004; Loursen et al., 2005). در برش تنگ هتی در محدوده مرز پالئوسن ـ ائوسن، عدم حضور برخی گونه‌های Tribrachiatus نیز احتمالاً به دلیل تاثیرات گرم شدگی جهانی رخ داده است.

۵-۴-حوادث زیستی رخ داده در برش تنگ هتی

ـ جنس Tribrachiatus در زون‌بندی زیست‌چینه‌ای بسیار کاربردی است (Martini, 1971). مطالعات پیشین نشان داده‌است که T. bramlettei کمی بالاتر از قاعده ائوسن ظاهر می‌شود (Agnini et al., 2007a, b) و به عنوان حد زیرین زون NP10 در نظر گرفته می‌شود. اما اولین حضور این گونه گاهی بسیار نادر است (Agnini et al., 2007a) که احتمالاً به دلیل ماهیت دیاکرونی این رویداد زیستی، و یا انحلالی که رسوبات ابتدای ائوسن را تحت تأثیر قرار می‌دهد رخ داده‌است (Agnini et al., 2007b). علاوه بر این، T. bramlettei و Rhomboaster cuspis توسط برخی نویسندگان مترادف در نظر گرفته شدند (برای مثال: Von Salis et al., 2000)، در حالی که سایرین آنها را دو گونه متفاوت می‌شمارند (برای مثال: Raffi et al., 2005; Salem and Aubry, 2012; Kasem et al., 2020a, b; Faris et al., 2021). در مطالعه Khavari-Khorassani و همکاران (۲۰۱۴) نیز بر روی سازند پابده، این جنس مشاهده نشد. زمانی که گونه نشانگر Tribrachiatus bramlettei حضور نداشته باشد، استفاده از اولین حضور گونه Discoaster binodosus برای حد بالایی زون NP9 پیشنهاد شده است (Perch-Nielsen, 1985). در مطالعه حاضر نیز، گونه T. bramlettei مشاهده نشده‌است و از گونه D. diastypus برای تعیین قاعده زیست زون NP10 مورد استفاده قرار گرفته‌است.

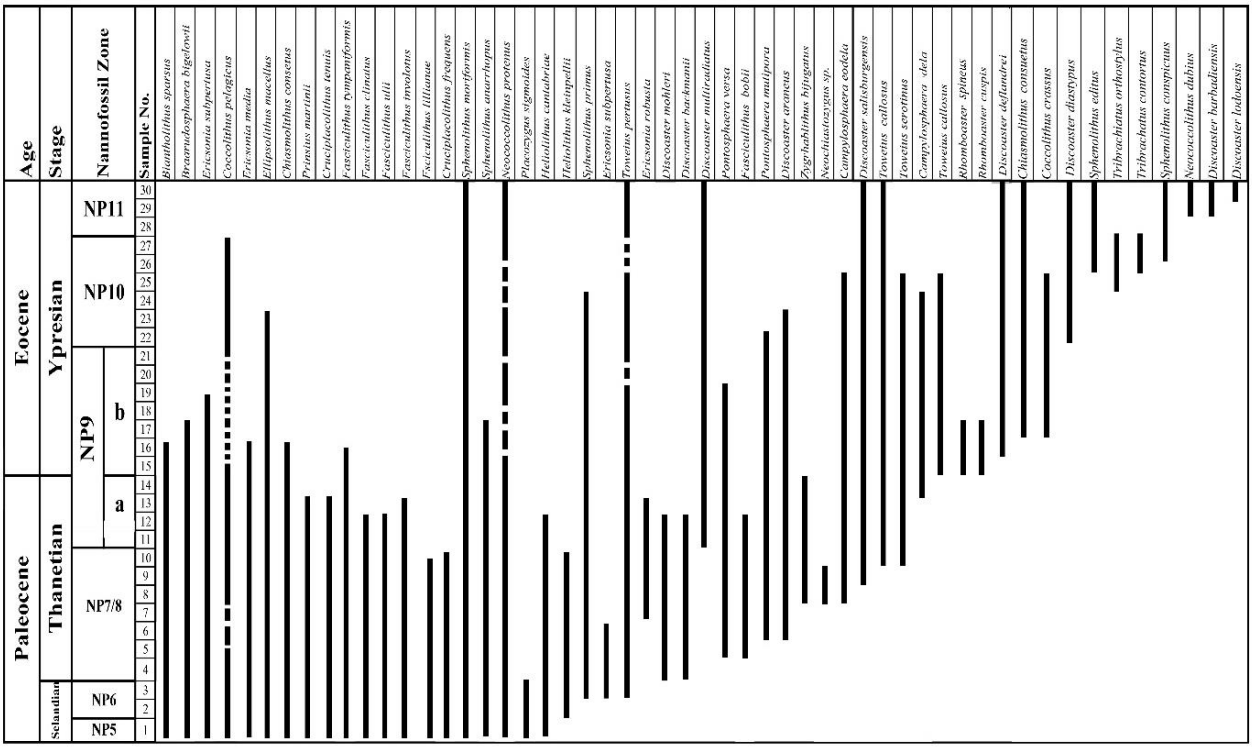
موقعیت تاکسونومیکی Tribrachiatus digitalis نیز توسط Raffi و همکاران (۲۰۰۵) مورد انتقاد قرار گرفت و در نتیجه، اهمیت زیست چینه‌شناسی آن تضعیف شد (Kasem et al., 2020a, b). از سایر گونه‌های این جنس، گونه T. contortus در مطالعات زیست چینه‌شناسی مهم است (Martini, 1971). اولین حضور این گونه در تقسیم زون NP10 به زیرزون‌های NP10a و NP10b مفید است (Kasem et al., 2020a,b; Faris et al., 2021). ظهور گونه T. orthostylus نیز می‌تواند در بخش بالایی زون NP10 رخ دهد و در جایی که شاخص زونی وجود نداشته‌باشد می‌توان از این گونه استفاده کرد (Perch-Nielsen, 1985). در این مطالعه، T. orthostylus نزدیک به انتهای زون NP10 ظاهر می‌شود (شکل ۴).

ـ ظهور دو گونه Tribrachiatus contortus و Discoaster diastypus همزمان در نظر گرفته شده‌است (Raffi et al., 2005). بنابراین، در صورت عدم حضور T.contortus می‌توان از گونه D.diastypus استفاده کرد (Bukry, 1973) که با زون CP9 از Okada و Bukry (۱۹۸۰) همخوانی دارد. آخرین حضور T. contortus نیز به عنوان شروع زون NP11 در نظر گرفته می‌شود که کمی پس از ظهور T. orthosylus در برش مورد مطالعه به ثبت رسیده‌است.



شکل ۴- رویدادهای زیستی مهم نانوفسیل آهکی در قاعده سازند پابده، برش تنگ هتی

Fig. 4. Significant calcareous nannofossil bioevents at the base of the Pabdeh Formation, Tang-e-Hati section.



شکل ۵- گسترش نانوفسیل‌های آهکی ثبت شده در برش تنگ هتی

Fig. 5. Distribution of calcareous nannofossils recorded in the Tang-e- Hati section

۶-نتیجه‌گیری

مطالعه زیست چینه‌شناسی بر پایه نانوفسیل آهکی در ۵۰ متر بخش ابتدای سازند پابده در تاقدیس کوه گورپی، در تنگ هتی انجام شد. در این مطالعه براساس مجموعه نانوفسیل آهکی ثبت شده، ۲۲ جنس و ۵۲ گونه شناسایی شد. بر اساس حضور گونه‌های شاخص، شش زیست‌زون نانوفسیل آهکی تفکیک شد. زیست‌زون‌های شناسایی شده شامل NP5 تا NP11 بوده که زون NP9 به دو زیرزون NP9a و NP9b تقسیم شده است. مرز پالئوسن-ائوسن در بین دو زیرزون مذکور بوده که بر اساس اولین حضور .Rhomboaster spp و Discoaster araneus تفکیک شده‌است. بر اساس زیست‌زون‌های تفکیک شده، سن سلاندین-ایپرزین برای بخش ابتدایی سازند پابده تعیین شده است. گونه Tribrachiatus bramlettei به دلیل برخی ناسازگاری‌ها در برش مورد مطالعه ثبت نشد و از گونه جایگزین Discoaster diastypus برای تعیین حد زیرین زون NP10 مورد استفاده قرار گرفت، اما در ادامه مشاهده و ثبت گونه‌های T. contortus و T.orthostylus تاییدی بر کامل بودن بازه زمانی مورد مطالعه بوده‌است.

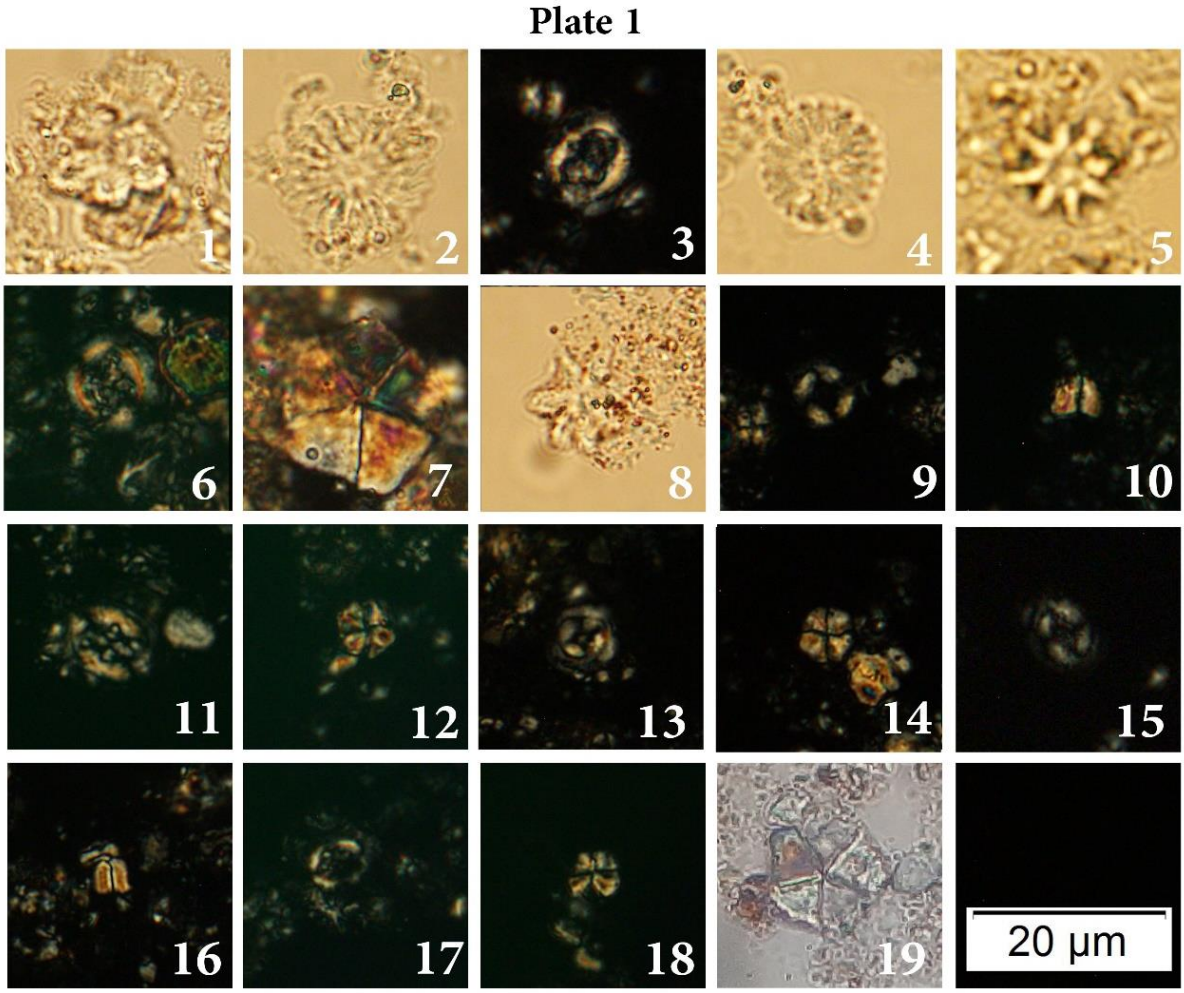


Plate 1: (1, 8) Discoaster backmanii Agnini et al. (2008); (2, 4) Discoaster multiradiatus Bramlette and Reidel (1954); (3) Cruciplacolithus frequens (Perch-Nielsen, 1977) Romein (1979); (5) Discoaster araneus (Bukry, 1971); (6). Cruciplacolithus tenuis (Stradner) Hay and Mohler; (7, 19) Braarudosphaera bigelowii (Gran and Braarud, 1935) Deflandre (1947); (9). Ericsonia universa (Wind and Wise, 1977) Romein (1979); (10). Fasciculithus bobii Perch-Nielsen 1971; (11). Cruciplacolithus tenuis (Stradner, 1961) Hay and Mohler in Hay et al. (1967); (12). Biantholithus sparsus Bramlette & Martini, 1964; (13). Ericsonia media Bown, 2016; (14). Sphenolithus moriformis (Bronnimann and Stradner, 1960) Bramlette and Wilcoxon (1967); (15). Toweius serotinus Bybell & Self-Trail, 1995; (16). Fasciculithus tympaniformis Hay & Mohler in Hay et al., 1967; (17). Reticulofenestra sp.; (18). Sphenolithus primus Perch-Nielsen, 1971.

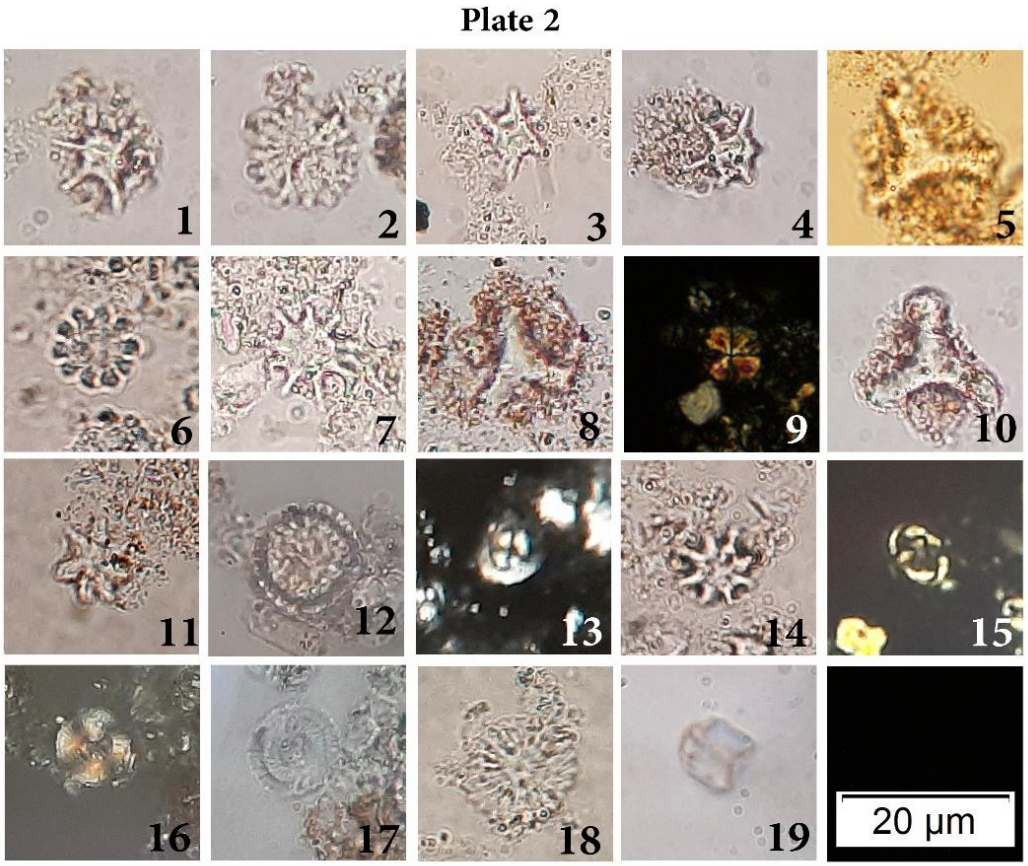


Plate 2. (1) Rhomboaster spineus (Shank and Stradner, 1971) Perch-Nielsen (1984); (2, 18). Discoaster multiradiatus Bramlette and Reidel (1954); (3) Rhomboaster cuspis Bramlette and Sullivan (1961); (4) Rhomboaster sp.; (5, 10) Tribrachiatus orthostylus Sharnrai (1963); (6) Discoaster mohleri Bramlette and Percival (1971); (7) Diascoaster sp.; (8). Tribrachiatus sp.; (9) Sphenolithus primus Perch-Nielsen (1971); (11). Discoaster cf. araneus Bukry (1971); (12) Thoracosphaera sp.; (13). Coccolithus pelagicus (Wallich, 1877) Schiller (1930); (14) Discoaster mediosus Bramlette and Sullivan (1961); (15) Cruciplacolithus primus Perch-Nielsen (1977); (16, 17) Ericsonia subpertusa Hay et al. (1967); (19) Fasciculthus involutus Bramlette & Sullivan, 1961.

مراجع

Agnini, C., Fornaciari, E., Raffi, I., Catanzariti, R., Palike, H., Backman, J., Rio. D., 2014. Biozonation and biochronology of Paleogene calcareous nannofossils from low and middle latitudes. Newsletters on Stratigraphy 7(2), 131–181. https://doi.org/10.1127/nos/2014/0209.

Agnini, C., Fornaciari, E., Rio, D., Tateo, F., Backman, J., Giusberti, L., 2007a. Responses of calcareous nannofossil assemblages, mineralogy, and geochemistry to the environmental perturbations across the Paleocene/Eocene boundary in the Venetian Pre-Alps. Marine Micropaleontology 63, 19–38. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2007.05.003.

Agnini, C., Fornaciari, E., Raffi, I., Rio, D., Röhl, U., Westerhold, T., 2007b. High-resolution nannofossil biochronology of middle Paleocene to early Eocene at ODP Site 1262: Implications for calcareous nannoplankton evolution. Marine Micropaleontology 64 (3-4), 215-248. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2007.05.003.

Ahifar, A., Kani, A., Amiri Bakhtiar, H., 2015. Calcareous Nannofossil Biostratigraphy of Pabdeh Formation at Gurpi Anticline. Geosciences 24(95), 107–120. https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42301 (in Persian).

Aubry, M.P., Berggren, W.A., Cramer, B., Dupuis, C., Kent, D.V., Ouda, K., Schmitz, B., Steurbaut, E., 1999. Paleocene/Eocene boundaries sections in Egypt. In: Late Paleocene-Early Eocene events from Northern Africa to the Middle East. Intern. Symposium in connection with First International Conference of the Geology of Africa Nov. 23–25, 1999, Assiut, Egypt, p. 1–11.

Aubry, M.P., Salem, R., 2012. The Dababiya Core: a window into Paleocene to Early Eocene depositional history in Egypt based on coccolith stratigraphy. Stratigraphy 9 (3–4), 287–346.

Azami, S. H. R., Wolfgring, E., Wagreich, M., and Mahmudy Gharaie, M. H., 2018. Paleocene-Eocene Calcareous Nannofossil Biostratigraphy and Cyclostratigraphy from the Neo-Tethys, Pabdeh Formation of the Zagros Basin (Iran). Stratigraphy and Timescales 3. https://doi.org/10.1016/bs.sats.2018.08.006.

Baumann, K.H., Andruleit, H., Bockol, B., Geisen, M., Kinkel, H., 2005. The significance of extant coccolithophores as indicators of ocean water mass surface water temperature, and paleoproductivity: a review. Paläontologische Zeitschrift 79(1), 93-112. https://doi.org/10.1007/BF02987852.

Bayat, Sh., 2005. Lithostratigraphy and Nannostratigraphy of the Pabdeh Formation in the Tang-e Pabdeh Section and Comparison with the Tang-e Maghar Outcrop (Bengestan Mountain): Master's Thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, P.198.

Bernaola, G., Martín-Rubio, M. and Baceta, J. I., 2009. New high resolution calcareous nannofossil analysis across the Danian/ Selandian transition at the Zumaia section: comparison with South Tethys and Danish sections. Geologica Acta v. 7, 79-92.

Bown, P. R., Young, J. R., 1998. Techniques. In: Bown, P. R. (Ed.), Calcareous Nannofossil Biostratigraphy (pp. 16–28). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4902-0_2.

Bralower, T. J., Premoli Silva, I., Malone, M. J., 2002. New evidence for abrupt climate change in the Cretaceous and Paleogene: An ocean drilling program expedition to Shatsky Rise, northwest Pacific. GSA Today 12(11), 4–10. DOI:10.1130/1052-5173(2002)012<0004:NEFACC>2.0.CO;2

Bramlette M.N., Sullivan F.R., 1961. Coccolithophorids and related nannoplankton of the Early Tertiary in California. Micropaleontology 7, 129–188.

Bukry, D., 1973. Coccoliths stratigraphy, Leg 10-Deep Sea Drilling Project. In: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 10. US Government Printing Office, Washington, DC, p. 385–604. http://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALGEODEBRGM7820239356.

Faris, M., Salem, R. F., 2007. Paleocene-early Eocene calcareous nannofossil biostratigraphy in west central Sinai, Egypt. In: Proceedings of the 8th Conference on Geology of Sinai for Development, Ismailia, 1–14.

Faris, M., Farouk, S., 2012. Integrated biostratigraphy of two Upper Maastrichtian– Palaeocene successions in north-central Sinai, Egypt. Geologica Croatica 65 (2), 139–160. DOI:10.4154/gc.2012.10

Faris, M., Obaidalla, N. A., Metwally, A. A., Salman, A. M., Zaky, A. S., 2018. Late Cretaceous–Early Paleogene tectonic events at Farafra-Abu Minqar Stretch, Western Desert, Egypt: Results from calcareous plankton. Arabian Journal of Geosciences 11, 429. https://doi.org/10.1007/s12517-018-3787-9.

Hadavandkhani, N., Sadeghi, A., Adabi, M. H., Tahmasbi Sarvestani, A., 2017. Stratigraphy and introduction of new biozones in the Tang-e-Hata section (Izeh zone, Khuzestan). Journal of Stratigraphy and Sedimentology Studies, 1-18. https://doi.org/10.22108/jssr.2017.21620.

Hay, W. W., 1970. Sedimentation rates: Calcium carbonate compensation. In: Bader, R. G., Gerard, R. D. et al., Initial Reports DSDP 4, Washington (U.S. Government Printing Office), 668–672. https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.4.127.1970.

Hay, W. W., Mohler, H. P., 1967. Calcareous nannoplankton from early Tertiary rocks at Pont Labau, France, and Paleocene–early Eocene correlations. Journal of Paleontology 41, 1505–1541.

Hay, W. W., Mohler, H. P., Wade, M. E., 1966. Calcareous nannofossils from Nal'chik (northwest Caucasus). Eclogae Geologicae Helvetiae 59, 379–399.

Hooker J.J., 2005. Tertiary to Present: Paleocene. In Selley, Richard C; L. Robin McCocks and Ian R. Plimer (eds), Encyclopedia of Geology 5, 459-465. ISBN 0-12-636380-3.

Gibbs, S. J., Bralower, T. J., Bown, P. R., Zachos, J. C., Bybell, L. M., 2006. Shelf and open-ocean calcareous phytoplankton assemblages across the Paleocene-Eocene Thermal Maximum: Implications for global productivity gradients. Geology 34, 233–236. https://doi.org/10.1130/G22381.1

Kahn, A., and Aubry, M. P., 2004. Provincialism associated with the Paleocene / Eocene thermal maximum: Temporal constraint. Marine Micropaleontology 52, 117–131. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2004.04.003.

Kasem, A. M., Wise, S., Jr., Faris, M., Farouk, S., Zahran, E., 2020a. Upper Paleocene–Lower Eocene calcareous nannofossil stratigraphy at the Misheiti Section, Central Sinai, Egypt. Turkish Journal of Earth Sciences 29, 242–256. https://doi.org/10.3906/yer-1812-13.

Kasem, A. M., Wise, S., Jr., Faris, M., Farouk, S., Zahran, E., 2020b. Calcareous nannofossil stratigraphy across the Paleocene-Eocene transition at the Gunnah Section, Farafra Oasis, Western Desert, Egypt. Journal of Geology 128, 371–387. https://doi.org/10.1086/709359.

Khavari-Khorassani, M. P., Hadavi, F., Ghasemi-Nejad, E., 2014. Nanostratigraphy and paleoecology of the Pabdeh Formation in the northwest of the Zagros Basin in the Ilam section. Paleontology 1(2), 149–164 (in Persian).

Lourens, L. J., Sluijs, A., Kroon, D., Zachos, J. C., Thomas, E., Röhl, U., Bowles, J., Raffi, I., 2005. Astronomical pacing of late Paleocene to early Eocene global warming events. Nature 435, 1-5. https://hdl.handle.net/11564/114531.

Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary Calcareous Nannoplankton Zonation. In: Farniacci, A., (Ed.), Proceedings, 2nd International Conference on Planktonic Microfossils, Rome, Italy. Edizioni Tecnoscienza 2, 739-785. https://doi.org/10.1038/226560a0.

Moradian, F., Baghbani, D., Daneshian, J., Allameh, M., 2014. A Study on Temperature Changes in Paleocene-Eocene Boundary Based on Planktonic Foraminifera in Binak 4 Subsurface Section in Bushehr Province, Southwest of Iran." Journal of Earth Science and Climatic Change 5 (4), 1. https://dx.doi.org/https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000192.

Motiei, H., 1993. Stratigraphy of Zagros. In: Hushmandzadeh, A. (Ed.), Treatise of Geology of Iran. Geological Survey of Iran, P. 536.

National Iranian Oil Company (NIOC), Exploration Directorate, Geological Division. 2001. Zagros Structures: Index Map. Vectorised by M. Maghsoodi; Revised by Sherkati. Tehran, Iran.

Okada, H., and Bukry, D., 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolithbiostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). Marine Micropaleontology 5, 321- 325. https://doi.org/10.1016/0377-8398(80)90016-X.

Parandavar, M., MahaniPour, A., Aghanabati, S. A., Hosseini, S. A., 2013. Calcareous nannofossils biostratigraphy of the upper part of Gurpi Formation–Lower part of Pabdeh Formation (Purple Shale) at the north-east of Gurpi Anticline. Scientific Quarterly Journal of Geosciences 23(89), 187–198. https://doi.org/10.22071/gsj.2013.53608.

Perch-Nielsen, K. 1985. Cenozoic Calcareous Nannofossils. In: Bolli, H.M., Sanders, J.B. and Perch-Nielsen, K., Eds., Plankton Stratigraphy, Cambridge University Press, Cambridge, 427-554.

Raffi, I., Backman, J., Pälike, H., 2005. Changes in calcareous nannofossil assemblage across the Paleocene/Eocene transition from the paleo-equatorial Pacific Ocean. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 226, 93–126. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.05.006.

Raffi, I., Bachman, J., Zachos, J. C., Sluijs, A., 2009. The response of calcareous nannofossil assemblages to the Paleocene Eocene Thermal Maximum at the Walvis Ridge in the South Atlantic. Marine Micropaleontology 70, 201- 212. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2008.12.005.

Romein, A.J.T., 1979. Lineages in early Paleogene calcareous nannoplankton. Utrecht Micropalaeontology Bulletin 22, 1–230.

Sadeghi, A., Hadavandkhani, N., 2010. Biostratigraphy of the Pabdeh Formation in the Imamzadeh Sultan Ebrahim Section (Northwest of Izeh). Iranian Journal of Geology 4(15), 81–98 (in Persian).

Self-Trail, J. M., Watkins, D. K., 2018. Insights Into Latest Paleocene Paleoecological Changes in the Nannoplankton Community across a Shelf to Open-Ocean Transect. In Geological Society of America Abstracts 50, P.322644).10.1130/abs/2018AM-322644

Senemari, S., 2021. Late Paleocene-Late Eocene Calcareous nannofossil biostratigraphy in the Zagros Basin (Iran), Tethyan realm. Journal of African Earth Sciences 173, https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.104042

Senemari, S., Dehbozorgi, A., 2017. Biostratigraphy of Pabdeh Formation based on calcareous nannofossils, southwest of Ilam, Ilam Province. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Basin 33(3/68), 79–94. https://doi.org/10.22108/jssr.2017.100648.1000.

Shokri, N., Bakhtiary_nejad, S., Alipour, M., 2025. Investigation of the iron oxide layer between the Gurpi and Pabdeh formations based on calcareous nonnofossils, Kuh-e-Gurpi anticline. 9th Symposium of Sedimentological Society of Iran, Tabas UNESCO Global Geopark. P. 106.

Taherizade, S., Vahidinia, M., Mahmoudi Gharaii, M. H., 2023. Biostratigraphy and lithostratigraphy of Pabdeh Formation based on planktonic foraminifera in the section of Jahangirabad (south Ilam-Zagros basin). Iranian Journal of Petroleum Geology 22, 66–88. https://doi.org/10.61186/ispg.40920.11.22.66.

Tantawy, A. A. M., 1998. Stratigraphical and paleontological studies on some Paleocene–Eocene succession in Egypt (Ph.D. Thesis). Assiut University, P.273.

Turner. S. K., Hull, P. M., Ridgwell, A., 2017. A probabilistic assessment of the rapidity of PETM onset. Nature Communications 8(353), 353. https://doi.org/10.1038/s41467-017-00292-2.

Varol, O., 1989. Paleocene calcareous nannofossil biostratigraphy. In: Crux, J., van Heck, S. (Eds.), Nannofossils and their applications. Ellis Horwood Limited. P. 267– 310.

Wang, X., Xi, D., Mattioli, E., Guannan Wang, G., Xiaoqiao Wan, X., 2023. Middle Paleocene-early Eocene inter-regional correlations and palaeoclimatic changes in eastern Tethys Sea: Calcareous nannofossil evidence for Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) and sea-level change from the western Tarim Basin, NW China. Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology 626. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111672