

Research Article

Biostratigraphy of marine deposits of the Boujan section based on calcareous nannofossils (Southwest Kerman, Central Iran)

Mohammad Shahmoradi Fahreji¹. Masih Afghah¹. Marziyeh Notghi Moghaddam^{2*}. Kouros Yazdjardi¹. Bita Mostafavi¹

1- Department of Geology, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Keywords: *Calcareous nannofossils, Central Iran, Boujan, Rupelian, Chattian*

1- Introduction

The calcareous nannofossils include the coccoliths and coccospheres of haptophyte algae and the associated nannoliths. The first recorded occurrences of calcareous nannofossils (nannoliths) are from the Late Triassic (Carnian) and from this time to the present they are very important in biostratigraphy studies. In this research calcareous nannofossils of the Boujan section (Southwest Kerman city, Central Iran) have been investigated. Some previous biostratigraphic studies of this region include: Dimitrijevic (1973), Hoseinpour (2005), Hasani (2007), Hasani et al., (2009), Derisi (2009), Anjomshoa and Amir Shahkarami (2013) and Hoseini Raviz (2020). But, all these previous studies were focused on the base of foraminifera, while in the present study for the first time the nannofossils of this section were investigated. The Boujan section is located in 29° 25' 85" N and 56 °09' 87"E coordinates, southwest of Kerman city. The studied sequence 392 meters thick consists of limestone and marl. This paper identifies the calcareous nannofossil assemblages, discusses nannofossil biozones and determines the age of the studied deposits in the Boujan section.

2- Material and methods

A total of 60 samples of the Boujan section were collected. Samples were prepared as smear slide method (Bown and Young, 1998), and the examination of nannofossils was performed by using an Olympus polarizing microscope, BX53 model, and photographed by a digital camera. All calcareous nannofossil specimens were identified by using the taxonomic schemes of Perch-Nielsen (1985) and Bown and Young (1998). The Martini (1971) biozonation has been used to classify the biostratigraphy of the studied section.

3- Results and discussions

Because of good preservation, small size, widespread distribution and a very large number of individual coccoliths may be preserved in a tiny amount of sediment; nannofossils are very good in age determination and biostratigraphy studies. In this study, 27 species belonging to 10 genera of calcareous nannofossils with good preservation in the Boujan section were identified. The most important identified nannofossils are species belonging to *Coccolithus*, *Sphenolithus* and *Helicosphaera* that are present in most of the samples. But species belonging to *Discoaster* are existed from the upper part or lower part of the studied section. In the present study, the standard calcareous nannofossil zonation of Martini (1971) was applied. In this zonation, the NP abbreviation represents nannofossil of Paleogene. According to the first and last

* Corresponding author: notghi.m@pnu.ac.ir

DOI:10.22055/AAG.2022.40375.2289

Received 2022-03-26

Accepted 2022-06-21

occurrences of marker species of nannofossils 4 calcareous nannofossil biozones were recognized, ranging in age from early Oligocene to late Oligocene. The proposed biozones are arranged from base to top are *Helicosphaera reticulata* zone, *Sphenolithus predistentus* Zone, *Sphenolithus distentus* Zone, and *Sphenolithus ciperoensis* Zone.

The identified biozones are as follows:

Helicosphaera reticulata zone (NP22): The *Helicosphaera reticulata* zone was proposed by Martini (1970) and Bramlette and Wilcoxon (1967). The age of this zone is the early Oligocene. This zone is identified from the LO of *Ericsonia formosa* to the LO of *Reticulofenestra umbilica*. The thickness of this zone in the studied section is 117 m.

Sphenolithus predistentus zone (NP23): The *Sphenolithus predistentus* zone was proposed by Martini (1970) and Bramlette and Wilcoxon (1967). The age of this zone is the Middle Oligocene. This zone is identified from the LO of the *Reticulofenestra umbilica* to the FO of the *Sphenolithus ciperoensis*. The thickness of this zone in the studied section is 57 m.

Sphenolithus distentus zone (NP24): The *Sphenolithus distentus* zone was proposed by Bramlette and Wilcoxon (1967). The age of this zone is the Late Oligocene. This zone is identified from the FO of the *Sphenolithus ciperoensis* to LO of the *Sphenolithus distentus*. The thickness of this zone in the studied section is 78 m.

Sphenolithus ciperoensis zone (NP25): The *Sphenolithus ciperoensis* zone was proposed by Martini (1967) and Bramlette and Wilcoxon (1967). The age of this zone is the Late Oligocene. This zone is identified from the LO of the *Sphenolithus distentus* to LO of the *Helicosphaera recta* or LO of the *Sphenolithus ciperoensis*. The thickness of this zone in the studied deposits is not determined.

Based on the calcareous nannofossil biozones, the studied deposits are early Oligocene to late Oligocene (*Rupelian-Chatian*) in age.

4- Conclusion

By attention to the stratigraphic value of calcareous nannofossils for age determination of sedimentary beds, for the first time, Oligocene calcareous nannofossil taxa and their distributions were recorded from the Paleogene deposits in the Boujan section located in Central Iran. The nannofossil assemblages of the Boujan section are relatively good in preservation. Index calcareous nannofossils allowed us to infer the biozonation (NP22-NP25) and record bioevents in this section. Based on these biozones, the age of the studied sequence is early Oligocene to late Oligocene (*Rupelian-Chatian*).

5- References

- Anjomshoa, A., Amirshahkarami, M., 2013. Biostratigraphy and paleoenvironmental model of the Late Oligocene deposits in Tanbur section (SW Kerman, Central Iran). *Sedimentary facies* 6(2), 130-149. <https://10.22067/sed.facies.v6i2.18099>
- Bown, P.R., Young, J.R., 1998. Techniques; In: Bown, P.R., (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. Chapman and Hall, London, pp.16-28. <https://10.1007/978-94-011-4902-0>
- Bramlette, M. N., Wilcoxon, J. A., 1967. Middle Tertiary calcareous nannoplankton of the Cipero section, Trinidad, W.I., *Tulane Studies in Geology and Paleontology* 5 (3), 93-131
- Derisi, M., 2009. Study of biostratigraphy and paleoecology of Oligo-Miocene ostracods in the south and southeast of Sirjan. MSc. Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman p.179 (In Persian with English abstract)
- Dimitrijevic, M.D., 1973. Geology of Kerman region. Institute for Geological and mining exploration and investigation of nuclear and other mineral raw materials. Report No. YU/52 p.335
- Hasani, M.J., 2007. Biostratigraphy and paleoecology of Oligo-Miocene deposits in the south of Sirjan region. MSc. Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman (In Persian with English abstract).

- Hasani, M.J., Vaziri, M., Hoseinpour, F., 2009. Biostratigraphy of the Qom Formation in south of Sirjan, Kerman according to benthonic foraminifers. *Sedimentary facies* 2(2), 153-162. <https://10.22067/sed.facies.v2i2.2896>
- Hoseinpour, F., 2005. Biostratigraphic and paleoecological study of Oligo-Miocene deposits in north and northeast of Sirjan. MSc. Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman. p. 168 (In Persian with English abstract)
- Hoseini Raviz, M.R., 2020. Biostratigraphy, sedimentary environment and microfacies of Cenozoic sediments of Jiroft (Sabzevaran, next to the dam of Seyed Bakhtiar Imamzadeh) and Sirjan (Bojan). PhD. Thesis, Islamic Azad University, Shiraz Branch (In Persian with English abstract).
- Martini, E., 1967. *Ceratolithina hamata* n.g., n.sp., aus dem Alb von N- Deutsshland (Nannoplankton, incertae sedis). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. Abhandlungen* 128, 284-298.
- Martini, E., 1970. Standard Paleogene calcareous nannoplankton zonation. *Nature* 226, 560-561
- Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary Calcareous nannoplankton zonation. *Proceedings II Planktonic Conference, Roma 1*, 739-386.
- Perch-Nielsen, K., 1985. Cenozoic calcareous nanofossils; In: Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K., (Eds.), *Plankton stratigraphy*. Cambridge Earth Science Series, New York, pp. 329-554.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Shahmoradi Fahreji, M., Afghah, M., Notghi Moghaddam, M., Yazdjardi, K., Mostafavi, B., 2023. Biostratigraphy of marine deposits of the Boujan section based on calcareous nanofossils (Southwest Kerman, Central Iran). *Adv. Appl. Geol.* 12(4), 910-924.

DOI:10.22055/AAG. 2022.40375.2289

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_17947.html

©2023 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

زیست‌چینه‌نگاری نهشته‌های دریایی الیگوسن برش بوجان برمبنای نانوفسیل‌های آهکی (جنوب غرب کرمان، ایران مرکزی)

محمد شه‌مرادی فهرجی

گروه زمین‌شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

مسیح افقه

گروه زمین‌شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

مرضیه نطقی مقدم*

دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

کورس یزدجردی

گروه زمین‌شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

بینا مصطفوی

گروه زمین‌شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

notghi.m@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱

چکیده

در پژوهش حاضر جهت انجام مطالعات زیست‌چینه‌نگاری بر مبنای نانوپلانکتون‌های آهکی، نهشته‌های دریایی منسوب به الیگوسن برش بوجان در منطقه سیرجان (ایران مرکزی) نمونه‌برداری شده است. نهشته‌های مطالعه شده با ضخامت ۳۹۲ متر مشتمل بر مارن، سنگ‌آهک و سنگ‌آهک‌های شیلی می‌باشد. در این مطالعه تعداد ۲۷ گونه متعلق به ۱۰ جنس نانوفسیلی با حفظ‌شدگی خوب شناسایی شد. با توجه به گونه‌های شاخص شناسایی‌شده و مجموعه فسیل‌های همراه، زیست‌زون‌های نانوفسیلی *Helicosphaera reticulata Zone* (NP22/ CNO2/ CP16c)، *Sphenolithus predistentus Zone* (NP23/ CNO3-CNO4/ CP17-CP18)، *Sphenolithus distentus Zone* (NP24/ upper part of) و *Sphenolithus ciperoensis Zone* (CNO4- lower part of CNO5/ CP19a) و *NP25/ upper part of CNO5-CNO6/ CP19b- CN1b* برای نهشته‌های مورد مطالعه تعیین گردید. براساس موقعیت چینه‌شناسی، گونه‌های شناسایی شده و زیست‌زون‌های تعیین‌شده، سن الیگوسن پیشین تا الیگوسن پسین (روپلین تا شاتین) برای نهشته‌های بررسی شده پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: زیست‌چینه‌نگاری، نانوفسیل‌های آهکی، بوجان، کرمان، ایران مرکزی

۱- مقدمه

کپه‌داغ، ایران مرکزی، بلوک لوت، سنندج- سیرجان، ارومیه- دختر و مکران برای فلات ایران مشخص شده است (Aghanbati, 2004; Berberian and King 1981).

در این میان زون ایران مرکزی بزرگترین و قدیمی‌ترین زون ساختاری- رسوبی ایران به حساب می‌آید که از شمال به رشته کوه‌های البرز، از جنوب و غرب به زون سنندج- سیرجان و از شرق به بلوک لوت محدود می‌شود (Darvishzadeh, 2010). در بخش‌هایی از این زون ساختاری، انشعابات اقیانوس نئوتتیس گسترش یافته و منجر به تشکیل پوسته اقیانوسی شده است.

در این مطالعه نهشته‌های دریایی برش بوجان در منطقه سیرجان مورد بررسی قرار گرفته است. برش مورد مطالعه در این منطقه در بردارنده‌ی نهشته‌های الیگوسن اقیانوسی تتیس میانی می‌باشد و بخشی از حوضه رسوبی ساختاری ایران مرکزی است. پهنه‌بندی رسوبی- ساختاری ایران از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان بوده و تقسیم‌بندی‌های متعددی بر روی آن انجام شده است. براساس مرزبندی گسل‌های اصلی، پهنه‌هایی با سکانس‌های رسوبی مختلف و ماگماتیسیم شامل زاگرس، البرز،

می‌باشد. توالی مورد بررسی در ابتدا با یک سنگ آهک رسی نازک لایه که بصورت همشیب بر روی یک واحد کنگلومرای قهوه‌ای رنگ واقع شده، شروع می‌شود و در ادامه تا ضخامت ۱۵۷ متری، تناوبی از مارن‌های آهکی سبز تا کرم رنگ با میان لایه‌هایی از سنگ آهک‌های رسی نازک تا متوسط لایه، نهشته شده است. از ضخامت ۱۵۷ متری تا ۲۱۰ متر سنگ آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه حاوی قطعات فراوان اکتینوئید و مرجان مشاهده و برداشت گردید. توالی برداشت شده در محدوده‌ی بین ضخامت ۲۱۰ تا ۲۶۰ متری، از سنگ آهک‌های رسی ضخیم لایه حاوی قطعات فراوان مرجان و بریوزوئرا تشکیل شده است. پس از سنگ آهک‌های ریفی، مجدداً مارن‌های روشن رنگ مایل به سبز غالب شده و همراه با میان لایه‌های نازکی از سنگ آهک رسی (ضخامت بین ۲۶۰ تا ۳۹۲ متری) نهشته‌گذاری ادامه یافته است. سپس تا انتهای برش سنگ چینه‌ای بوجان، سنگ آهک‌های روشن رنگ ضخیم لایه حاوی خرده‌های دوکفه‌ای و گاستروپود نهشته شده است. سطح بالایی برش بوجان فرسایش یافته و بصورت همشیب در زیر توالی نئوژن قرار دارد (شکل ۳، تصاویر الف تا د). در توالی مورد مطالعه جهت بررسی و معرفی نانوفسیل‌های آهکی، تعداد ۶۰ نمونه برداشت گردید و پس از آماده‌سازی مطالعه شد (شکل ۴).

۳- آماده‌سازی

نانوفسیل‌های آهکی در تمامی رسوبات دریایی مزوزوئیک و سنوزوئیک که حاوی کربنات کلسیم دانه‌ریز هستند و تحت تاثیر متامورفیسم، دیاژنز شدید و هوازدگی قرار نگرفته اند، یافت می‌شوند. هرچند که مناسب‌ترین لیتولوژی از نظر وجود نانوفسیل‌های آهکی مارن، شیل و چاک است. بدین سبب و بدلیل اهمیت غیرهوازده بودن نمونه‌ها، نمونه‌برداری از نهشته‌های مارنی و سنگ آهکی برش بوجان از عمق ۳۰-۵۰ سانتی‌متری انجام شد.

جهت بررسی نانوپلانکتون‌های آهکی و انجام مطالعات زیست‌چینه‌نگاری، تعداد ۶۰ نمونه به روش اسمیراسلاید آماده سازی گردید. روش مذکور به دلیل حفظ تعداد بیشتر گونه برای مطالعه نانوفسیل‌های آهکی با میکروسکوپ نوری (LM Technique) بسیار مناسب می‌باشد (Bown and Young, 1998).

اسلایدهای آماده‌شده توسط میکروسکوپ نوری Olympus مدل BX53 مورد مطالعه قرار گرفت. سپس نانوپلانکتون‌های

در ایران مرکزی همانند سایر حوضه‌های رسوبی، سنگ‌های متنوع دوره‌های مختلف زمین‌شناسی با ضخامت و سن متفاوت نهشته شده است. سنگ‌های ترشیری در بعضی از نواحی ایران- مرکزی با کنگلومرای قاعده‌ای و ماسه‌سنگ شروع شده و به‌طور دگرشیب، سنگ‌های قدیمی‌تر را می‌پوشانند. کنگلومرای موجود نشانگر وقوع فاز کوهزایی اواخر کرتاسه بوده که منجر به خروج بخش مهمی از ایران مرکزی از آب و دگرشیبی رسوبات آن شده است.

تاکنون مطالعات متعددی در بخش‌های مختلف ایران مرکزی بر روی نهشته‌های موجود انجام گرفته و پژوهش حاضر یکی از مطالعات فسیل‌شناسی این حوضه رسوبی است که بر روی نهشته‌های منطقه سیرجان در برش بوجان انجام شده است.

مطالعات Huckriede و همکاران (۱۹۶۲)، Dimitrijevic (۱۸۷۳)، Hoseinpour (۲۰۰۵)، Hasani (۲۰۰۷)، Derisi (۲۰۰۹)، Hasani و همکاران (۲۰۰۹)، Anjomshoa و Amir Shahkarami (۲۰۱۳) و Hoseini (۲۰۲۰)، بر مبنای روزن‌داران کفزی بر روی نهشته‌هایی اطراف سیرجان انجام شده که سن روپلین-چاتین را برای نهشته‌های مذکور مشخص کرده است. ولی تاکنون مطالعات نانوفسیل‌شناسی از این منطقه گزارش نشده است. از اینرو جهت تکمیل مطالعات فسیل‌شناسی و معرفی گروه دیگری از میکروفسیل‌ها از منطقه سیرجان، به بررسی نانوفسیل‌های آهکی برش بوجان پرداخته و علاوه بر معرفی جنس و گونه‌های نانوفسیلی، زیست‌زون‌های نانوفسیلی و سن توالی مورد مطالعه نیز تعیین شده است.

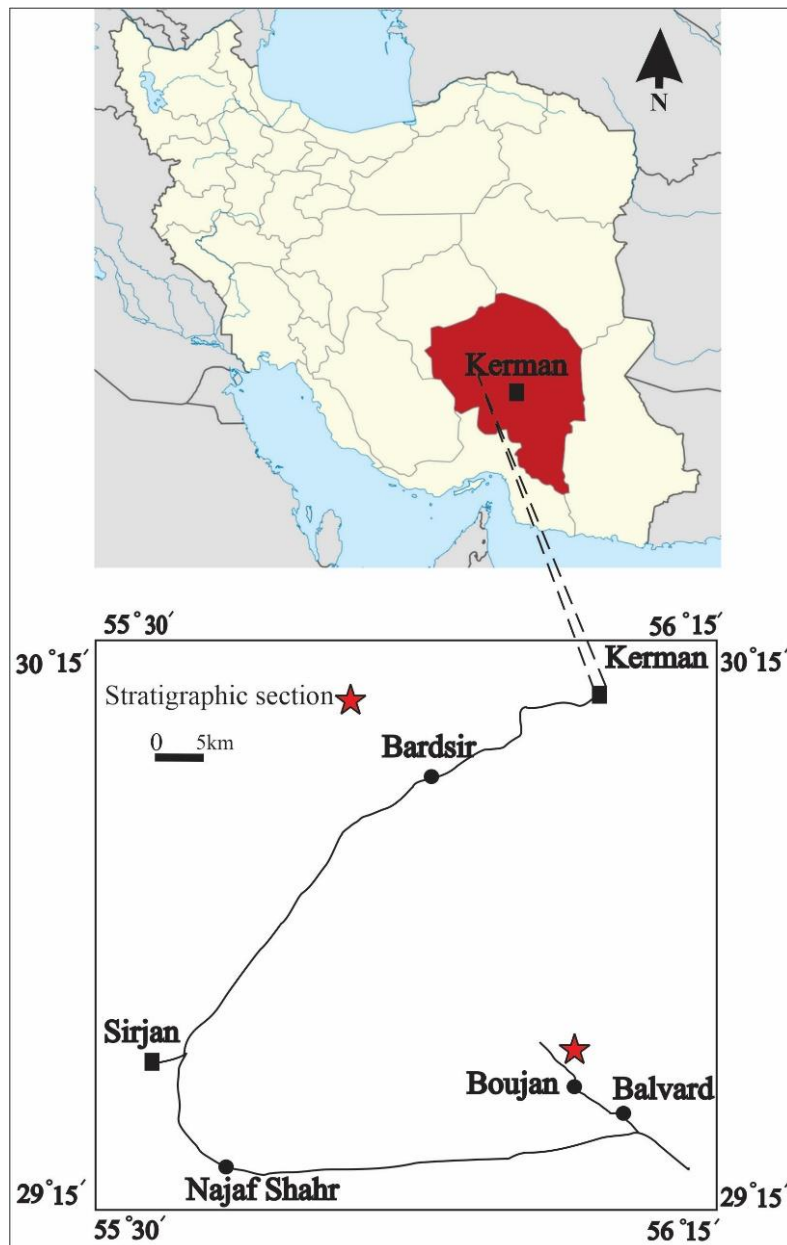
۲- موقعیت جغرافیایی و سنگ چینه‌نگاری برش مورد مطالعه

برش بوجان بین ۵۶ درجه و ۹ دقیقه و ۸۷ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲۵ دقیقه و ۸۵ ثانیه عرض شمالی و در ۴۸ کیلومتری سیرجان (جنوب غرب کرمان، جنوب ایران) واقع شده است. برش مورد مطالعه در مسیر جاده کرمان- سیرجان قرار دارد و برای دستیابی، ضمن عبور از نجف‌شهر و روستای بلورد، در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال روستای بوجان واقع شده است (شکل‌های ۱ و ۲).

نهشته‌های مورد بررسی در برش بوجان با ضخامت ۳۹۲ متر متشکل از تناوبی از سنگ آهک‌های روشن تا نخودی رنگ متوسط تا ضخیم لایه با مارن‌های آهکی روشن مایل به سبز

نانوفسیلی براساس اولین حضور و آخرین حضور گونه‌های شاخص و مجموعه فسیلی همراه، تعیین گردیده است. جهت طبقه‌بندی زیست‌چینه‌نگاری برش مورد مطالعه از الگوی زون‌بندی (Martini, 1971) استفاده شده است. تصاویر غالب نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده در پلیت ۱ آورده شده است.

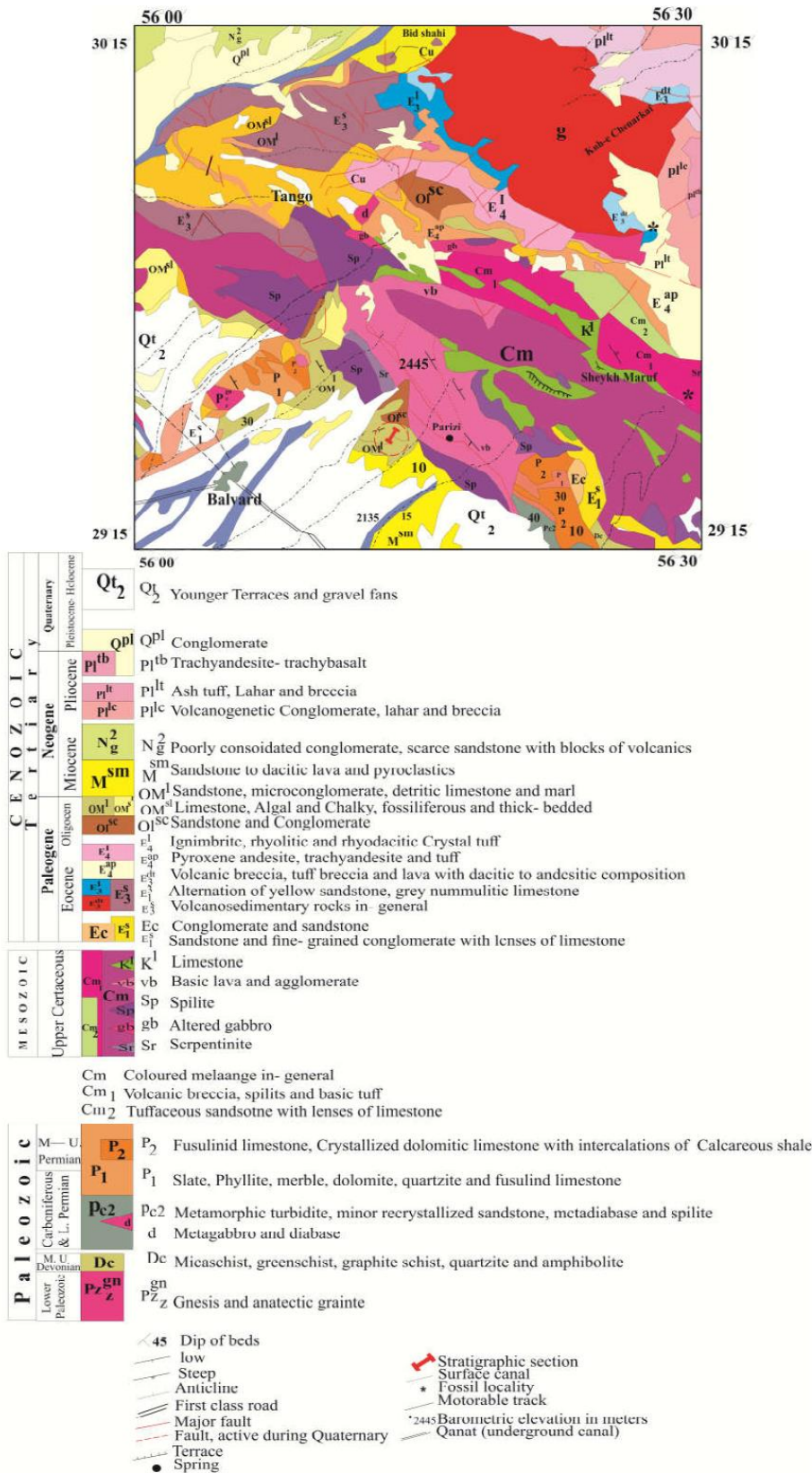
آهکی موجود بوسیله دوربین Olympus مدل DP73 عکسبرداری شد. جهت مطالعه بهتر و شناسایی دقیق‌تر نانوپلانکتون‌های آهکی، گونه‌های مختلف در هر دو نور معمولی (PPL) و متقاطع (XPL)، مشاهده و خصوصیات آن‌ها بررسی گردید. در این مطالعه گونه‌های نانوفسیلی برمبنای توصیفات (Perch-Nielsen, 1985) شناسایی شده و زیست‌زون‌های



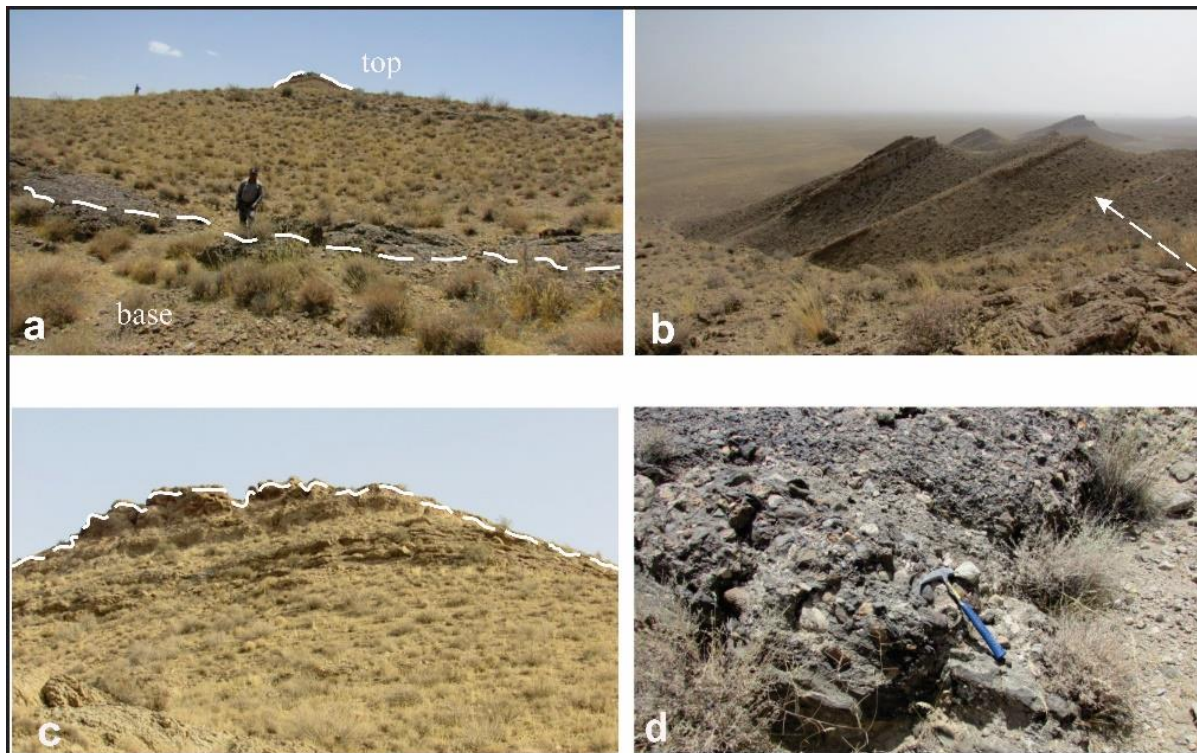
شکل ۱- موقعیت برش مورد مطالعه.

Fig. 1. Location of the studied section.

LEGEND



شکل ۲- نقشه زمین شناسی و موقعیت برش بوجان برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان (Sabzei 1998) با ترسیم مجدد.
 Fig. 2. Geological map and location of the Boujan section (taken from 1: 100000 Sirjan map with redrawing).



شکل ۳- تصاویر صحرایی برش مورد مطالعه شامل (a) قاعده و راس برش مورد مطالعه، (b) لایه‌های نمونه برداری شده در برش مورد مطالعه، (c) مرز بالایی برش با یک توالی از نهشته‌های نئوژن (سنگ‌آهک‌های ضخیم‌لایه) و (d) قاعده و مرز پایینی برش با یک واحد کنگلومرایی قهوه‌ای.

Fig. 3. Field images of the studied section consist of (a) Base and top of the studied section; (b) Sampled layers in the studied section; (c) The upper boundary of the section with a sequence of the Neogene deposits (Thick limestone) and (d) Base and the lower boundary of the section with a brown conglomerate.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

۴-۱- حفظ شدگی؛ تنوع و ترکیب گونه‌ای

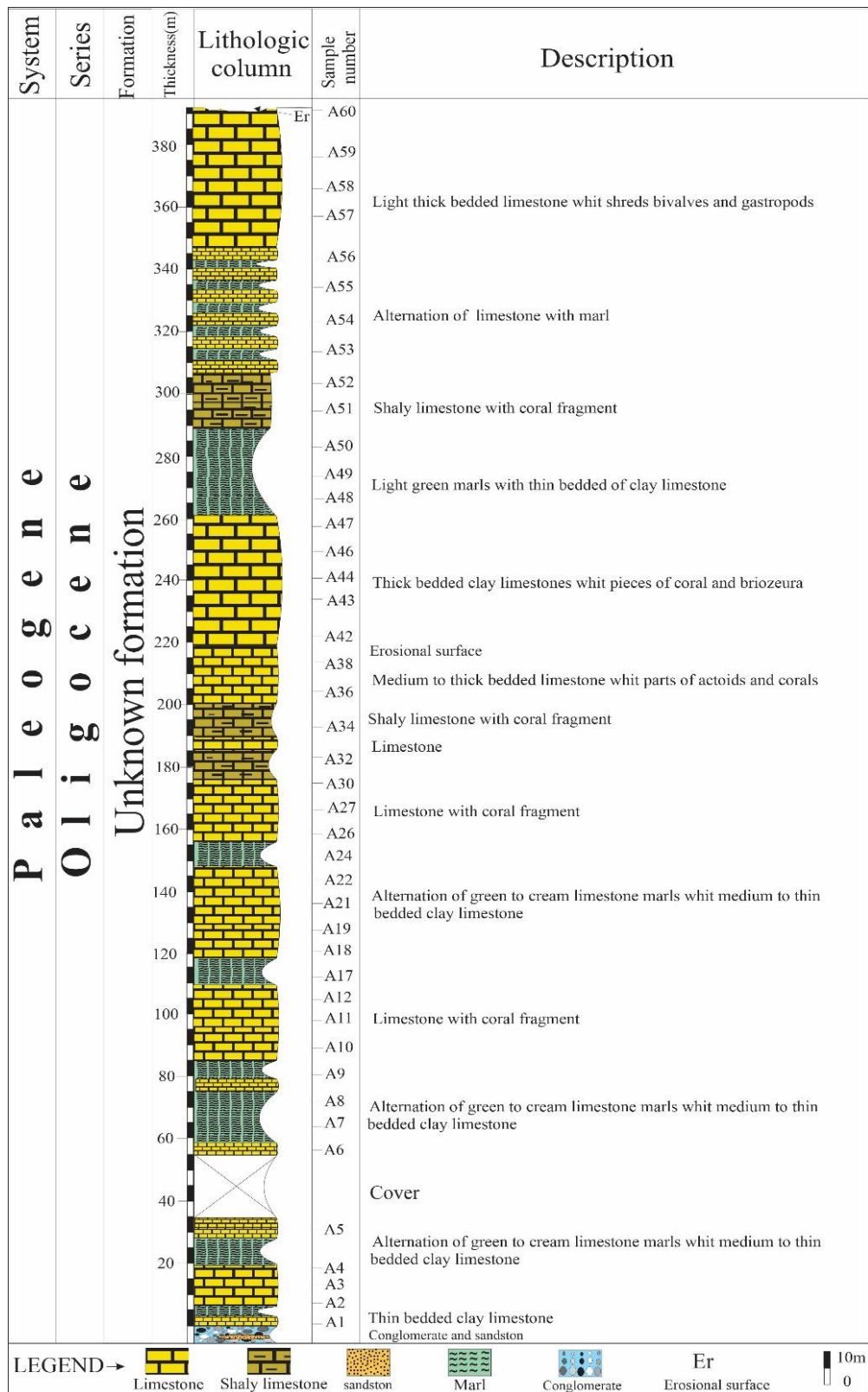
از آن‌جا که عامل حفظ‌شدگی شناسایی جنس و گونه‌های نانوفسیلی و بالطبع تعیین سن دقیق سازندها و نهشته‌ها را میسر می‌سازد، لذا تعیین میزان حفظ‌شدگی اهمیت ویژه‌ای دارد. در این خصوص بایستی متذکر شد که گاهی به دلیل انحلال و یا بروز دیازنز، حفظ‌شدگی نانوفسیل‌ها به شدت تحت تاثیر قرار گرفته و رشد ثانویه نیز که ممکن است طی مراحل پیشرفته دیازنز رخ دهد اثرات نامطلوبی بر حفظ‌شدگی گونه‌های نانوفسیلی می‌گذارد (Honjo, 1976; Andruleit, 1997; Bown and Young, 1998).

علاوه بر این حضور گونه‌های مقاوم در برابر انحلال نسبت به گونه‌های نامقاوم با فراوانی بیشتر، می‌تواند نشانگر تاثیر انحلال باشد (Williams and Bralower, 1995). در برش بوجان، گونه‌ها از حفظ‌شدگی نسبتاً خوبی برخوردارند به طوری‌که پل‌ها، صلیب‌ها و حفرات ناحیه مرکزی به جز موارد

معدود در سایر گونه‌ها به خوبی مشاهده می‌شوند (پلیت ۱) و این مسئله موید عدم تاثیر پدیده انحلال یا در مواردی تاثیر جزئی بر روی نانوفسیل‌ها در این بخش از حوضه است.

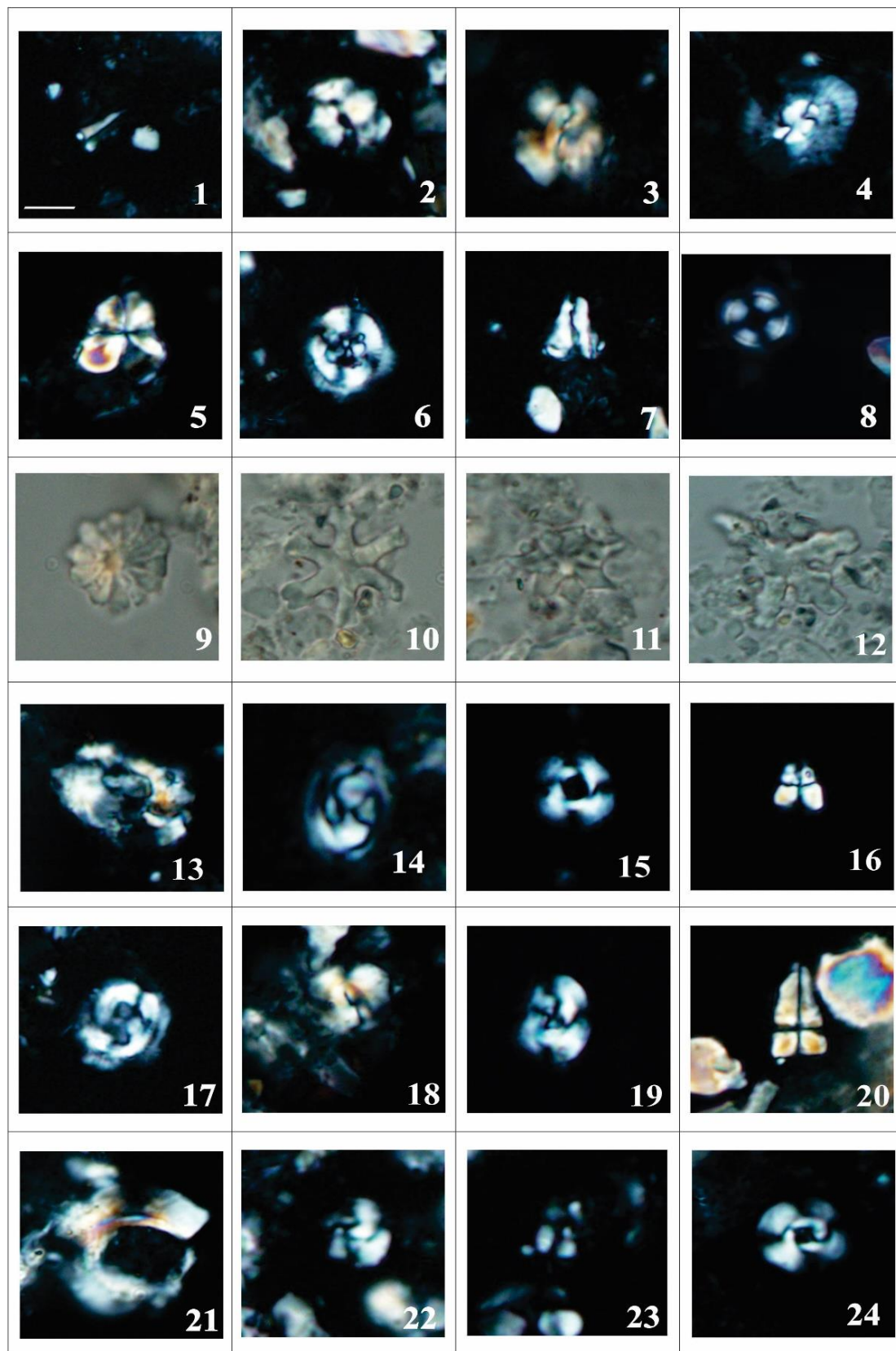
در این مطالعه تعداد ۲۷ گونه متعلق به ۱۰ جنس نانوفسیلی شناسایی شد. با عنایت به اینکه تنوع نانوفسیل‌های الیگوسن کم بوده و برخی از گونه‌های ائوسن در الیگوسن ناپدید می‌شوند، لذا شناسایی ۲۷ گونه‌ی نانوفسیلی در این مطالعه می‌تواند گویای تنوع نسبتاً خوب آن‌ها در برش بوجان باشد.

در این پژوهش، مجموعه تاکساهای غالب در میان نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده، گونه‌های متعلق به جنس‌های *Sphenolithus*، *Coccolithus* و *Helicosphaera* بوده به طوری که تقریباً در غالب نمونه‌های مطالعه شده دیده می‌شوند. ولی گونه‌های متعلق به جنس *Discoaster* در نمونه‌های متعلق به بخش‌های خاصی در ابتدا و یا انتهای نمونه‌های بررسی شده مشاهده می‌شوند (شکل ۶).



شکل ۴- ستون چینہ نگاری نهشته های مورد مطالعه در برش چینہ شناسی بوجان.

Fig. 4. Lithostratigraphic column of the studied deposits in the stratigraphic section of Boujan.



شکل ۵- تصاویر برخی از نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده در برش چینه‌شناسی بوجان.

Fig. 5. Images of some identified calcareous nannofossils in the Boujan stratigraphic section

مستثنی از این امر نبوده و مطالعه بر روی نهشته‌های مختلف بازه‌های زمانی مذکور منجر به ارائه زون‌بندی‌های متعددی از قبیل Martini (۱۹۷۱)، Bukry (۱۹۷۳؛ ۱۹۷۵؛ ۱۹۷۸) و Okada و Bukry (۱۹۸۰) شده است. علاوه بر آن برپایه مطالعات جدید Backman و همکاران (۲۰۱۲) و Agnini و همکاران (۲۰۱۴) زون‌بندی جدیدی برای محدوده زمانی پالئوژن و نئوژن ارائه شده که در بسیاری از افق‌های زیستی مطابق زون‌بندی‌های قبلی است.

در این میان باعنایت به این که زون‌بندی Martini (۱۹۷۱) در پالئوژن و نئوژن یک زون‌بندی کامل بوده و گونه‌های شاخص زیست‌زون‌های تعریف‌شده در آن فراوانی و گسترش جهانی خوبی دارند، از این‌رو در این پژوهش از زون‌بندی Martini (۱۹۷۱) برای محدوده زمانی پالئوژن شامل ۲۵ زون زیستی با علامت اختصاری NP و برای نئوژن شامل ۲۱ زون زیستی با علامت اختصاری NN است. در این مطالعه زیست‌زون‌های تعیین‌شده با زون‌های ارائه شده توسط Okada و Bukry (۱۹۸۰) با علامت اختصاری CP و CN مطابقت داده شد. در ذیل شرح زیست‌زون‌های شناسایی‌شده و نتایج زیست‌چینه‌نگاری حاصل در برش بوجان آورده شده است.

۴-۲-۱- زیست‌زون NP22 (*Helicosphaera reticulata Zone*)

محدوده این زون توسط Martini (۱۹۷۰) و Bramlette و Wilcoxon (۱۹۶۷) از آخرین حضور *Ericsonia formosa* تا آخرین حضور *Reticulofenestra umbilica* تعریف شده و سنی معادل الیگوسن پیشین دارد. علاوه بر گونه‌های شاخص زون، انقراض گونه *Reticulofenestra hillae* در انتهای این زون رخ داده و آخرین حضور *Isthmolithus recurvus* کمی پایین‌تر از آخرین حضور *Reticulofenestra umbilica* دیده می‌شود. همچنین حضور گونه‌های *Lanternithus minutes* و *Rhabdolithus tenuis* به صورت محلی در خلال این زیست‌زون گزارش شده است. زیست‌زون مذکور با زیست‌زون CNO2 از زون‌بندی Agnini و همکاران (۲۰۱۴) و با زیست‌زون‌های CP16c از زون‌بندی Okada و Bukry (۱۹۸۰) مطابقت دارد.

در این مطالعه تا چهارمین نمونه بررسی شده از نهشته‌های برش بوجان، گونه *Ericsonia formosa* دیده شد و از آن‌جا

اسامی نانوفسیل‌های آهکی پلیت ۱ (Scale bar: 5µm) (علامت‌های اختصاری B معرف برش بوجان است)

- 1- *Sphenolithus akropodus* Kaenel and Villa (1996); (B.23)
- 2- *Reticulofenestra bisecta* (Hay, Mohler and Wade, 1966) Roth (1970); (B.54)
- 3- *Helicosphaera* sp. (B.19)
- 4- *Coccolithus pelagicus* (Wallich, 1877) Schiller (1930); (B.18)
- 5- *Sphenolithus moriformis* (Brönnimann and Stradner, 1960) Bramlette and Wilcoxon (1967); (B.11)
- 6- *Chiasmolithus* cf. *altus* Bukry and Percival (1971); (B.16)
- 7- *Zygrhablithus bijugatus* (Deflandre in Deflandre and Fert, 1954) Deflandre (1959); (B.5)
- 8- *Ericsonia formosa* (Kamptner, 1963) Haq, 1971; (B.2)
- 9- *Discoaster barbadiensis* Tan Sin Hok (1927); (B.3)
- 10- *Discoaster deflandrei* Bramlette and Riedel (1954); (B.45)
- 11- *Discoaster saipanensis* Bramlette and Riedel (1954); (B.3)
- 12- *Discoaster nodifer* (Bramlette and Riedel, 1954) Bukry (1973); (B.6)
- 13- *Helicosphaera euphratis* Haq (1966); (B.15)
- 14- *Hughesius tasmaniae* (Edwards and Perch-Nielsen, 1975) de Kaenel and Villa (1996); (B.87)
- 15- *Reticulofenestra dictyoda* (Deflandre in Deflandre and Fert, 1954) Stradner in Stradner and Edwards (1968); (B.50)
- 16- *Sphenolithus conicus* Bukry (1971); (B. 33)
- 17- *Sphenolithuspre distentus* (Bramlette and Wilcoxon, 1967) Howe (2021); (B.33)
- 18- *Reticulofenestra bisecta* (Hay, Mohler and Wade, 1966) Roth (1970); (B.54)
- 19- *Reticulofenestra reticulate* (Gartner and Smith, 1967) Roth and Thierstein (1972); (B.26)
- 20- *Sphenolithus radians* Deflandre in Grassé (1952); (B.21)
- 21- *Reticulofenestra umbilicus* (Levin, 1965) Martini and Ritzkowski (1968); (B.4)
- 22- *Reticulofenestra* sp. (B.5)
- 23- *Sphenolithus ciperoensis* (Bramlette and Wilcoxon, 1967) Howe (2021); (B.54)
- 24- *Cyclicargolithus floridanus* (Roth and Hay, in Hay et al., 1967) Bukry (1971); (B. 1)

۴-۲- زیست‌چینه‌نگاری

تاکنون مطالعات زیست‌چینه‌نگاری وسیعی در زمان‌های مختلف بر مبنای نانوفسیل‌های آهکی انجام شده و زون‌بندی‌های متعددی نیز توسط محققین مختلف ارائه شده است (Perch-Nielsen, 1985). نانوفسیل‌های آهکی پالئوژن و نئوژن نیز

۴-۲-۳- زیست‌زون NP24 (*Sphenolithus distentus Zone*)

گستره‌ی این زون توسط Bramlette و Wilcoxon (۱۹۶۷) از اولین حضور *Sphenolithus ciperoensis* تا آخرین حضور *Sphenolithus distentus* تعریف شده است. سن این زون الیگوسن پسین می‌باشد. گونه *Sphenolithus predistentus* در این زون نیز حضور دارد و تا قبل از آخرین حضور *Sphenolithus distentus* دیده می‌شود. ظهور گونه *Triquetrorhabdulus carinatus* معمولاً در نزدیک راس این زون اتفاق می‌افتد. تشخیص این زون در مناطق واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا سخت و یا غیرممکن است ولی در عرض‌های پایین به دلیل حضور گونه‌های شاخص، مشکلی در شناسایی آن وجود ندارد. زیست‌زون NP24 با بالاترین بخش زیست‌زون CNO4 و پایین‌ترین بخش زیست‌زون CNO5 از زون‌بندی Agnini و همکاران (۲۰۱۴) و با زیست‌زون‌های CP19a از زون‌بندی Okada و Bukry (۱۹۸۰) مطابقت دارد.

در این مطالعه مرز زیرین و بالایی زون NP24 به ترتیب با اولین حضور گونه *Sphenolithus ciperoensis* در نمونه شماره ۳۳ (۱۹۲ متری از قاعده توالی) و آخرین حضور *Sphenolithus distentus* در نمونه شماره ۴۸ (۲۷۰ متری از قاعده توالی) تعیین گردید. ضخامت زون NP24 در توالی مورد مطالعه ۷۸ متر می‌باشد.

۴-۲-۴- زیست‌زون NP25 (*Sphenolithus ciperoensis Zone*)

محدوده‌ی این زون توسط Bramlette و Wilcoxon (۱۹۶۷) و Martini (۱۹۶۷) از آخرین حضور *Sphenolithus distentus* تا آخرین حضور *Helicosphaera recta* و یا آخرین حضور *Sphenolithus ciperoensis* تعریف شده و دارای سن الیگوسن پسین است. اولین حضور *Pontosphaera enormis* نیز برای تعیین قاعده NP25 مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیست‌زون NP25 با بخش اعظم زیست‌زون CNO5 و بخش اعظم زیست‌زون CNO6 از زون‌بندی Agnini و همکاران (۲۰۱۴) و با زیست‌زون‌های CP19b، CN1a و نیمه ابتدایی زیست‌زون CN1b از زون‌بندی Okada و Bukry (۱۹۸۰) مطابقت دارد.

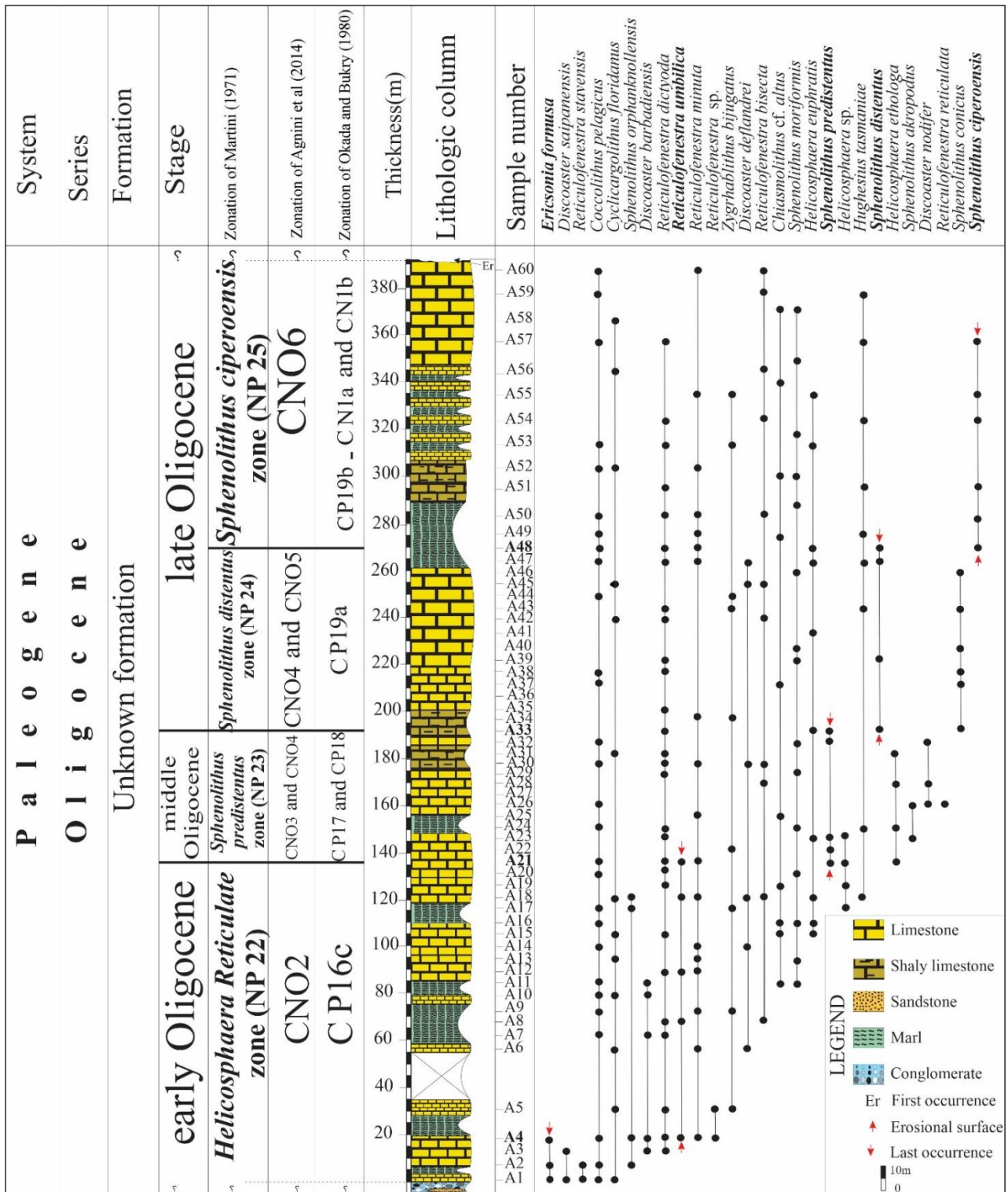
که عدم حضور آن نشانگر آغاز زیست‌زون NP22 است، لذا آغاز مرز پایینی زون NP22 از نمونه ۴ (۱۸ متری از قاعده توالی) با عدم حضور گونه *Ericsonia formosa* مشخص می‌باشد. مرز بالایی زون NP22 با آخرین حضور گونه *Reticulofenestra umbilica* که در نمونه شماره ۲۱ (۱۳۵ متری از قاعده توالی) مشاهده شد، مشخص گردید. لذا ضخامت زون NP22 در بخش مورد مطالعه ۱۱۷ متر می‌باشد.

شایان ذکر است که شاخص مرز زیرین زون NP21 آخرین حضور گونه‌ی *Discoaster saipanensis* است که عدم حضور آن در نمونه‌های مورد مطالعه را نمی‌توان به قطعیت به آخرین حضور آن مرتبط نمود. از اینرو مرز زیرین NP21 و در نتیجه ضخامت این زون نامشخص است.

۴-۲-۴- زیست‌زون NP23 (*Sphenolithus predistentus Zone*)

محدوده این زون توسط Martini (۱۹۷۰) و Bramlette و Wilcoxon (۱۹۶۷) از آخرین حضور *Reticulofenestra umbilica* تا اولین حضور *Sphenolithus ciperoensis* تعریف شده و سنی معادل الیگوسن میانی (روپلین) دارد. گونه *Sphenolithus predistentus* معمولاً در طول زیست‌زون مذکور در عرض‌های جغرافیایی پایین یافت می‌شود ولی در عرض‌های جغرافیایی بالا کمیاب است. شایان ذکر است که گونه‌های مختلف جنس *Sphenolithus* در الیگوسن میانی و پسین کوچک اندازه بوده و به راحتی قابل تشخیص نیستند. از این رو در عرض‌های بالا برای زون‌بندی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. زیست‌زون مذکور با زیست‌زون‌های CNO3 و بخش اعظم CNO4 از زون‌بندی Agnini و همکاران (۲۰۱۴) و با زیست‌زون‌های CP17 و CP18 از زون‌بندی Okada و Bukry (۱۹۸۰) مطابقت دارد.

آخرین حضور گونه *Reticulofenestra umbilica* که در نمونه ۲۱ (۱۳۵ متری از قاعده توالی) دیده شد، نشانگر آغاز زیست‌زون NP23 است. متعاقباً مرز بالایی این زون با اولین حضور گونه *Sphenolithus ciperoensis* که در نمونه شماره ۳۳ (۱۹۲ متری از قاعده توالی) مشاهده شد، مشخص گردید. لذا ضخامت زون NP23 در بخش مورد مطالعه ۵۷ متر می‌باشد.



شکل ۶- پراکندگی نانوفسیل‌های آهکی و زیست‌زون‌های شناسایی شده در برش چینه‌شناسی بوجان.

Fig. 6. Distribution of calcareous nannofossils and identified biozones in the Boujan stratigraphic section

نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده در برش مطالعه شده دارای حفظ‌شدگی نسبتاً خوبی هستند. در این مطالعه ۲۷ گونه متعلق به ۱۰ جنس نانوفسیلی شناسایی شد. براساس گونه‌های نانوفسیلی شناسایی شده، زمان زمین‌شناسی پیشنهاد شده برای نهشته‌های مورد مطالعه در برش بوجان، الیگوسن پیشین تا الیگوسن پسین (روپلین تا شاتین) پیشنهاد می‌گردد. بازه‌های زمانی اشاره شده برای نهشته‌های مورد مطالعه در برش بوجان با زون‌های استاندارد جهانی مقایسه شده و مطابق زیست‌زون‌های NP22 تا NP25 از زون‌بندی Martini (۱۹۷۱) است. زیست‌زون‌های NP22 تا NP25 از زون‌بندی Martini (۱۹۷۱) با زیست‌زون‌های CNO2 تا بخش اعظم زیست‌زون CNO6 از زون‌بندی Agnini و همکاران (۲۰۱۴) و با زیست‌زون‌های CP16c تا نیمه ابتدایی زیست‌زون CN1b از زون‌بندی Okada و Bukry (۱۹۸۰) مطابقت دارد.

در این مطالعه مرز زیرین زون NP25 با آخرین حضور *Sphenolithus distentus* در نمونه شماره ۴۸ (۲۷۰ متری از قاعده توالی) مشخص گردید لکن به دلیل حضور *Sphenolithus ciperoensis* تا آخرین نمونه مطالعه شده و عدم شناسایی آخرین حضور این گونه، تعیین مرز بالایی زون امکان‌پذیر نیست. به عبارتی انتهای زون NP25 در محدوده مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا ۱۲۲ متر انتهای توالی منطبق با زون NP25 است ولی تعیین دقیق ضخامت توالی مورد مطالعه با توجه به مشخص نشدن مرز بالایی زون، امکان‌پذیر نیست. به طور کلی در این مطالعه برمبنای گونه‌های نانوفسیلی و مجموعه فسیل‌های همراه و با استناد به زیست‌زون‌های تعیین‌شده، سن نهشته‌های مورد مطالعه در برش بوجان الیگوسن پیشین تا الیگوسن پسین (روپلین تا شاتین) پیشنهاد می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی نهشته‌های برش بوجان برمبنای مطالعه نانوفسیل‌های آهکی به شرح ذیل است:

مراجع

- Aghanbati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran. p. 606
- Agnini, C., Fornaciari, E., Raffi, I., Catazariti, R., Pälke, H., Backman, J., Rio, D., 2014. Biozonation and biochronology of Paleogene calcareous nannofossils from low and middle latitudes. Newsletters on Stratigraphy 47, 131-181. <https://10.1127/0078-0421/2014/0042>
- Andruleit, H., 1997. Coccolithophorefluxes in the Norwegian-Greenland Sea: seasonality and assemblage alterations, Marine Micropaleontology 31(1-2), 45-64.
- Backman, J., Raffi, I., Rio, D., Fornaciari, E., Pälke, H., 2012. Biozonation and biochronology of Miocene through Pleistocene calcareous nannofossils from low and middle latitudes. Newsletters on stratigraphy 45 (3), 221-244. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(96\)00055-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(96)00055-2)
- Anjomshoa, A., Amirshahkarami, M., 2013. Biostratigraphy and paleoenvironmental model of the Late Oligocene deposits in Tanbur section (SW Kerman, Central Iran). Sedimentary facies 6(2), 130-149. <https://10.22067/sed.facies.v6i2.18099>
- Backman, J., Raffi, I., Rio, D., Fornaciari, E., Pälke, H., 2012. Biozonation and biochronology of Miocene through Pleistocene calcareous nannofossils from low and middle latitudes. Newsletters on Stratigraphy p. 24. <https://10.1127/0078-0421/2012/0022>
- Bown, P.R., Young, J.R., 1998. Techniques; In: Bown, P.R., (Ed.), Calcareous Nannofossil Biostratigraphy. Chapman and Hall, London. pp. 16-28. <https://10.1007/978-94-011-4902-0>
- Berberian, M., King, G., 1981. Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences 18, 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>
- Bramlette, M. N., Wilcoxon, J. A., 1967. Middle Tertiary calcareous nannoplankton of the Cipero section, Trinidad, W. I., Tulane Studies in Geology and Paleontology 5(3), 93-131

- Bukry, D., 1973. Low-latitude coccolith biostratigraphic zonation, Initial Reports. DSDP No. 14: Washington (U.S. Govt. Printing Office) 15, 685- 703
- Bukry, D., 1975. Coccolith and silicoflagellate stratigraphy, northwestern Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 32. Initial Rep. Deep Sea drilling Project 32, 677-701. <https://10.2973/dsdp.proc.32.124.1975>
- Bukry, D., 1978. Cenozoic silicoflagellate and coccolith stratigraphy, Northwestern Atlantic Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 43. In: Benson, W.E., Sheridan, R.E., (Eds.), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Washington (U.S. Government Printing Office), pp. 75-805. <https://10.2973/DSDP.PROC.35.36CHAP2.1976>
- Darvishzadeh, A., 2010. Geology of Iran. Amir Kabir Publications. p. 434
- Derisi, M., 2009. Study of biostratigraphy and paleoecology of Oligo-Miocene ostracods in the south and southeast of Sirjan. MSc. Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman. p. 179 (In Persian with English abstract)
- Dimitrijevic, M.D., 1973. Geology of Kerman region. Institute for Geological and mining exploration and investigation of nuclear and other mineral raw materials. Report No. YU/52, 335 p.
- Hasani, M.J., 2007. Biostratigraphy and paleoecology of Oligo-Miocene deposits in the south of Sirjan region. MSc. Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman p.208 (In Persian with English abstract)
- Hasani, M.J., Vaziri, M., Hoseinpour, F., 2009. Biostratigraphy of the Qom Formation in south of Sirjan, Kerman according to benthonic foraminifers. *Sedimentary Facies* 2(2), 153-162. <https://10.22067/sed.facies.v2i2.2896>
- Hoseinpour, F., 2005. Biostratigraphic and paleoecological study of Oligo-Miocene deposits in north and northeast of Sirjan. MSc. Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman (In Persian with English abstract).
- Hoseini Raviz, M.R., 2020. Biostratigraphy, sedimentary environment and microfacies of Cenozoic sediments of Jiroft (Sabzevaran, next to the dam of Seyed Bakhtiar Imamzadeh) and Sirjan (Bojan). PhD. thesis, Islamic Azad University, Shiraz Branch. p. 289 (In Persian with English abstract)
- Honjo, S., 1976. Coccoliths: Production, transportation and sedimentation. *Marine Micropaleontology* 1, 65-79 [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(76\)90005-0](https://doi.org/10.1016/0377-8398(76)90005-0)
- Huckriede, A., Kursten, M., and Venzlaff, H., 1962. Zur Geologie des Gebietes zwischen Kerman und Saghand. *Geology Hanover* 51, P. 197. <https://10.12691/ajmm-2-3-1>
- Martini, E., 1967. *Ceratolithina hamata* n.g., n.sp., aus dem Alb von N- Deutschland (Nannoplankton, incertae sedis). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. Abhandlungen* 128, 284-298
- Martini, E., 1970. Standard Paleogene calcareous nannoplankton zonation. *Nature* 226, 560-561
- Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary Calcareous nannoplankton zonation. *Proceedings II Planktonic Conference, Roma* 1, 739-386
- Okada, H., Bukry, D., 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology* 5(3), 321-325. [https://dx.doi.org/10.1016/0377-8398\(80\)90016-X](https://dx.doi.org/10.1016/0377-8398(80)90016-X)
- Perch-Nielsen, K., 1985. Cenozoic calcareous nannofossils. In: Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K., (Eds.), *Plankton stratigraphy*. Cambridge Earth Science Series, New York, pp. 329-554.
- Sabzeei, M., 1998. Geological map of Sirjan (1:100000). Geological Survey of Iran.
- Williams, J.R., Bralower, T.J., 1995. Nannofossil assemblages, fine fraction stable isotopes, and the paleoceanography of the Valanginian-Barremian (Early Cretaceous) North Sea Basin: *Paleoceanography* 10 (4), 815-839 <https://doi.org/10.1029/95PA00977>