

Research Article

Foraminiferal morphogroups of the Qom Formation in the Natanz and Qom regions: implication for paleoenvironmental and paleoecological interpretations

Ebrahim Mohammadi^{1*}, Mehdi Ghaedi², Hassan Rameh³, Reza Sadeghi⁴, Tayebah Ahmadi⁴, Mohammad-Reza Vaziri⁵

1- Department of Ecology, Institute of Science, High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

2- Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

3- Faculty of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

4- Department of Geology, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

5- Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

Keywords: Epifaunal, Test morphology, Paleoecology, Feeding strategy, Qom Formation

1- Introduction

The Qom Formation was deposited at the north-eastern coast of the Tethyan Seaway (Reuter et al., 2009) in the Oligo-Miocene, during the final sea transgression (Rahimzadeh, 1994; Daneshian and Ramezani Dana, 2007; Khaksar and Maghfouri Moghaddam, 2007), in the Sanandaj-Sirjan fore-arc basin, Urumieh-Dokhtar magmatic arc (intra-arc basin) and Central Iran back-arc basin (Mohammadi et al., 2013, 2015, 2019; Mohammadi 2020a, b). It is the main reservoir and source rock for hydrocarbons (Abaie et al., 1964; Morley et al., 2009; Mohammadi et al., 2019) in Central Iran. This formation is isochronous with the Asmari Formation in the Zagros Basin in southern and southwestern Iran, a reservoir that contains 12% of the world's oil (Guoqiang et al., 2007). In addition, the Qom limestone is the reservoir for the Alborz, Sarajeh, Arun, and Fakhreh oil/gas fields in Central Iran (Guoqiang et al., 2007; Jalali et al., 2017). Due to its economic importance and communicative role between Eastern Tethys (the proto-Indian Ocean) and the Western Tethys region (the proto-Mediterranean Sea) in the Iranian Plate at the same time, the study of different properties of the oil-bearing Qom Formation is essential (Mohammadi et al., 2013, 2015, 2019).

Although geological investigations on the Qom Formation started more than 160 years ago (with Loftus, 1855); however, surprisingly little information is available concerning the Foraminiferal morphogroups of the Qom Formation. Besides, most of the previous works are limited to one stratigraphic section. Therefore, this study aims to bridge this gap by studying two stratigraphic sections in the Natanz-Qom region.

2- Material and methods

Natanz and Khurabad sections of the Qom Formation in the Natanz-Qom region were studied to analyze their foraminiferal morphogroups. 166 and 101 samples were collected (based on field evidence and lithofacies changes) from the Natanz and Khurabad sections, respectively. Unconsolidated samples were disaggregated, and the foraminifera and Ostracoda were picked and analyzed, while thin sections were taken of harder samples. All samples were studied in detail, and particular attention has been paid to foraminifera, corals, coralline algae, bryozoans, and Ostracoda. The foraminiferal morphogroups analysis is based on the primary references such as Murray (1973), Jones and Charnock (1985), Corliss and Chen (1988), Koutsoukos and Hart (1990), Nagy (1992), Tyszka (1994), Nagy et al. (1995), Båk et al. (1997), Duleba et al. (1999), Szydło (2005), Valchev (2006), Kender et al. (2009), Cetean et al. (2011), Nikitenko et al. (2013), Valchev and Stojanova (2014), Bindi and Filipescu (2015), Davies (2016), Motamedalshariati et al. (2016), Rita et al. (2016), Chan et al. (2017), Setoyama et al. (2017), Reolid et al. (2018), Sarbandi Farahani et al. (2018), Stojanova and Petrov (2018), and Verma et al. (2018).

* Corresponding author: emohammadi02@gmail.com

DOI: 10.22055/AAG.2021.34341.2139

Received 2020-08-06

Accepted 2021-01-16

3- Results and discussion

The foraminiferal morphogroups analysis of the Qom Formation deposits in the Natanz (with Rupelin? - Chattian -Aquitania in age and 330 m thickness) and Khorabad (southeastern Qom; with Rupelin-Burdigalian in age and 260 m thickness) resulted in the identification of eight morphogroups.

The morphogroups were distinguished according to test/shell morphology and architecture (general shape, mode of coiling, arrangement, and several chambers), inferred life habitat either living on the sediments' surface or within the sediments (epifaunal and infaunal) and feeding strategy.

4- Conclusion

Generally, epifaunal morphogroups were dominated in both study sections. Calcareous porcelaneous morphogroups dominate the lower 200 m of the Natanz section. In contrast, the upper layers are dominated by hyaline morphogroups, which indicates that the lower and upper parts were deposited in the inner ramp (lagoonal environments) and open sea, respectively (BouDagher-Fadel, 2018). This significant change through time refers to the gradual increase of the basin depth, decreasing the light intensity, reducing the salinity, and decreasing the nutrient level.

The distribution of morphogroups in the Khorabad section follows a reverse pattern; so that, despite the minor fluctuations, the lower 200 m of the Khorabad section are dominated by hyaline morphogroups; while the upper layers are dominated by porcelaneous morphogroups, which indicates the lower and upper parts were deposited in the open sea and inner ramp (lagoonal environments), respectively.

Acknowledgements

The author would like to express his thanks to Dr. Mohammad Sharifi and Mr. Saeid Latifan for their assistance in the field.

References

- Bindiu, R., Filipescu, S., 2015. Foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironments of the middle Eocene deposits from the northern part of the Tarcău Nappe (Eastern Carpathians, Romania). *Studia UBB Geologia* 59 (1-2), 45 – 59.
- BouDagher-Fadel, M.K., 2018. *Evolution and Geological Significance of Larger Benthic Foraminifera*, 2nd edition, UCL Press, London, p. 693.
- Chan, S.A., Kaminski, M.A., Al-Ramadan, K., Babalola, L.O., 2017. Foraminiferal biofacies and depositional environments of the Burdigalian mixed carbonate and siliciclastic Dam Formation, Al-Lidam area, Eastern Province of Saudi Arabia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 469, 1-16.
- Corliss, B.H., Chen, C., 1988. Morphotype patterns of Norwegian deep-sea benthic foraminifera and ecological application. *Geology* 16, 716–719.
- Daneshian, J., Ramezani Dana, L., 2007. Early Miocene benthic foraminifera and biostratigraphy of the Qom Formation, Deh Namak, Central Iran. *Journal of Asian Earth Science* 29, 844–858.
- Davies, M., 2016. An integrated chemostratigraphic and biostratigraphic framework and benthic foraminifera morphogroup response to paleoenvironmental conditions of the Upper Cretaceous Kanguk Formation Canadian Arctic Archipelago. M.S.c thesis, Carleton University, Ottawa, Ontario.
- Duleba, W., Debenay, J.P., Eichler, B.B., Michaelovitch, M.M., 1999. Holocene Environmental and Water Circulation Changes: Foraminifer Morphogroups Evidence in Flamengo Bay (SP, Brazil). *Journal of Coastal Research* 15(2), 554-571.
- Jones, R.W., Charnock, M.A., 1985. Morphogroups of agglutinated foraminifera. Their life position and feeding habits and potential applicability in paleoecological studies. *Revue de Paleobiologie* 4, 311–320.
- Khaksar, K., Maghfouri Moghadam, I., 2007. Paleontological study of the echinoderms in the Qom Formation (Central Iran). *Earth Science Research Journal* 11(1), 57–79.

- Koutsoukos, E.A.M., Hart, B.H., 1990. Cretaceous foraminiferal morphogroup distribution patterns, palaeocommunities and trophic structures: a case study from the Sergipe Basin, Brazil. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 81, 221-246.
- Mohammadi, E., Hasanzadeh-Dastgerdi, M., Ghaedi, M., Dehghan, R., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., Baizidi, C., Vaziri, M.R., Sfidari, E., 2013. The Tethyan Seaway Iranian Plate Oligo-Miocene deposits (the Qom Formation): distribution of Rupelian (Early Oligocene) and evaporate deposits as evidences for timing and trending of opening and closure of the Tethyan Seaway. *Carbonates and Evaporites* 28, 321-345.
- Mohammadi, E., Vaziri, M.R., Dastanpour, M., 2015. Biostratigraphy of the Nummulitids and Lepidocyclinids bearing Qom Formation based on Larger Benthic Foraminifera (Sanandaj–Sirjan fore-arc basin and Central Iran back-arc basin, Iran). *Arabian Journal of Geosciences* 8, 403-423.
- Mohammadi, E., Hasanzadeh-Dastgerdi, M., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., 2019. Microfacies and depositional environments of the Qom Formation in Barzok area, SW Kashan, Iran. *Carbonates Evaporites* 34, 1293–1306.
- Mohammadi, E., 2020a. Sedimentary Facies and Depositional Environments of the Oligocene-Early Miocene Marine Qom Formation, Central Iran Back-Arc Basin, Iran (Northeastern Margin of the Tethyan Seaway). *Carbonates and Evaporites* 35, <https://doi.org/10.1007/s13146-020-00553-0>
- Mohammadi, E., 2020b. Sedimentary facies and paleoenvironmental interpretation of the Oligocene larger-benthic-foraminifera-dominated Qom Formation in the northeastern margin of the Tethyan Seaway. *Palaeoworld* 1-37, <https://doi.org/10.1007/s13146-020-00553-0>
- Motamedalshariati, M., Raisossadat, S.N., Moluodi, D., Mortazavi Mehrizi, M., 2016. Foraminifera biozonation and morphogroups from Nimbolook section, east margin of Lut block, Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 9, 720, 1-11.
- Murray, J.W., 1973. *Distribution and ecology of benthic foraminiferids*. Heinemann Educational Books, London. p. 274.
- Nagy, J., 1992. Environmental significance of foraminiferal morphogroups in Jurassic North Sea deltas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 95, 111-134.
- Nagy, J., Grandstein, F.M., Kaminski, M.A., Holbourn, A.E., 1995. Foraminiferal morphogroups, paleoenvironments and new taxa from Jurassic to Cretaceous strata of Thakkhola, Nepal. In M.A. Kaminski et al. (Eds.): *Proceedings of the Fourth International Workshop on Agglutinated Foraminifera*. Grzybowski Foundation Special Publication 3, Krakow: Grzybowski Foundation, pp. 181–209.
- Nikitenko, B.L., Reolid, M., Glinskikh, L., 2013. Ecostratigraphy of benthic foraminifera for interpreting Arctic record of Early Toarcian biotic crisis (northern Siberia, Russia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 376, 200–212.
- Rahimzadeh, F., 1994. *Geology of Iran: Oligocene–Miocene, Pliocene*. Geological Survey of Iran.
- Reolid, M., Nagy, J., Rodríguez-Tovar, F. J., Olóriz, F., 2018. Paleocological significance of benthic foraminiferal fauna from the ovče pole basin, republic of macedonia. *Geologica Macedonica* 32 (1), 45–57.
- Rita, P., Reolid, M., Duarte, L.V., 2016. Benthic foraminiferal assemblages record major environmental perturbations during the Late Pliensbachian–Early Toarcian interval in the Peniche GSSP, Portugal. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 454, 267–281.
- Sarbandi Farahani, T., Reolid, M., Yazdi, M., Majidifard, M.R., 2018. Benthic foraminiferal assemblages of the Middle and Upper Jurassic sediments from the northeastern Alborz and western Koppeh Dagh, Iran: Systematic palaeontology and palaeoecology. *Annales de Paléontologie* 104, 249–265.
- Stojanova, V., Petrov, G., 2018. Foraminiferal Assemblages as Palaeoenvironmental Bioindicators in Late Jurassic Epicontinental Platforms: Relation with Trophic Conditions. *Acta Palaeontologica Polonica*, 53(4), 705-722.

- Setoyama, E., Kaminski, M.A., Tyszka, J., 2017. Late Cretaceous-Paleogene foraminiferal morphogroups as palaeoenvironmental tracers of the rifted Labrador Margin, northern proto-Atlantic. Grzybowski Foundation Special Publication 22, 179–220.
- Valchev, B., 2006. Benthic foraminiferal morphogroups from the Paleocene of the coastal part of East Stara Planina Mts. *Geologica Balcanica* 35(3-4), 41-48.
- Valchev, B., Stojanova, V., 2014. Benthic Foraminiferal Morphogroups from the Paleogene of the Republic of Macedonia – preliminary data, National Conference with international participation, 69-70.
- Verma, K., Bharti, S., Singh, A.D., 2018. Late Glacial–Holocene record of benthic foraminiferal morphogroups from the eastern Arabian Sea OMZ: Paleoenvironmental implications. *Journal of Earth System Science* 127(21), 1-16.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Mohammadi, E., Ghaedi, M., Rameh, H., Sadeghi, R., Ahmadi, T., Vaziri, M.R., 2022. Foraminiferal morphogroups of the Qom Formation in the Natanz and Qom regions: implication for paleoenvironmental and paleoecological interpretations. *Adv. Appl. Geol.* 12(1), 75-89.

DOI: 10.22055/AAG.2021.34341.2139

url: https://aag.scu.ac.ir/article_16799.html?lang=en

مورفولوژی های فرامینیفری سازند قم در مناطق نطنز و قم: کاربرد آنها در تفاسیر دیرینه محیطی و

پالئوآکولوژیکی

ابراهیم محمدی*

گروه آکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

مهدی قاندي

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

حسن رامه

دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

رضا صادقی

گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

طیبه احمدی

گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

محمد رضا وزیری

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷

*emohammadi02@gmail.com

چکیده

بررسی گروه‌های شکلی، به دلیل مستقل بودن از تاکسونومی گونه‌ها و همچنین امکان مقایسه تجمعاتی با سنین مختلف ابزار مناسبی برای تفاسیر آکولوژیکی و پالئوآکولوژیکی محسوب می‌گردد. مطالعه روزنبران سازند قم در برش‌های نطنز (با سن روپلین؟ - شاتین - آکیتانین و ۳۳۰ متر ضخامت) و خورآباد (جنوب شرقی قم؛ با سن روپلین - بوردیگالین و ۲۶۰ متر ضخامت)، منجر به تشخیص هشت گروه شکلی شد. شناسایی گروه‌های شکلی بر اساس مورفولوژی و معماری پوسته (شامل شکل کلی، الگوی پیچش، آرایش و تعداد حجرات) و زیستگاه استنباطی (سطح زی یا درون زی/نیمه درون زی) و استراتژی تغذیه استوار بوده است. در هر دو برش به‌طور کلی انواع سطح زی غالب بوده‌اند. در ۲۰۰ متر پایینی برش نطنز گروه‌های شکلی با دیواره پورسلانوز و در بخش بالایی، گروه‌های شکلی با دیواره هیالین فراوانی بیشتری دارند که بیانگر نهشته شدن بخش‌های پایینی در محیط‌های لاگونی و نهشته شدن بخش‌های بالایی برش (به‌طور عمده) در دریای باز است. این تغییر چشمگیر در طول زمان بیانگر افزایش تدریجی عمق حوضه، کاهش شوری، کاهش روشنایی و کاهش مواد مغذی است. پراکندگی گروه‌های شکلی در برش خورآباد از یک الگوی عکس تبعیت می‌کند. به طوری که با وجود نوسانات جزئی، در ۲۰۰ متر پایینی برش خورآباد، گروه‌های شکلی با دیواره هیالین و در بخش بالایی، گروه‌های شکلی با دیواره پورسلانوز غالب هستند که بیانگر نهشته شدن بخش‌های پایینی در محیط‌های دریای باز و نهشته شدن بخش‌های بالایی برش (به‌طور عمده) در محیط‌های لاگونی است.

کلمات کلیدی: اپی فونال، مورفولوژی پوسته، پالئوآکولوژی، استراتژی تغذیه، سازند قم

مقدمه

محیط دریایی گذشته تبدیل شده‌اند. آثار متعددی در مورد روابط بین تغییرات مورفولوژیکی در پوسته روزنبران کفزی و پارامترهای محیطی در ۴۰ سال گذشته منتشر شده است (Valchev, 2006). روزنبران کفزی بسته به توانایی‌های سازگاری آنها با تغییر در محیط کف دریا و ترجیح ریزمحیط‌ها، مورفولوژی‌های عملکردی متنوعی را توسعه می‌دهد که به طور بالقوه می‌توانند در بازسازی محیط‌های دیرینه مورد استفاده قرار گیرند (Verma et al., 2018). طبق نظر Murray (۲۰۰۶، ۱۹۷۳) مورفولوژی‌ها / مورفوتیپ‌ها گروهی از فرم‌هایی هستند که به جای شباهت تاکسونومیک، دارای شکل پوسته مشابه هستند (Alperin et al., 2011; Chan et al., 2017; Stojanova and Petrov, 2018).

گروه‌های شکلی روزنبران، که بر اساس آرایش حجرات و شکل پوسته گروه‌بندی می‌شوند، معمولاً برای تفسیر شرایط محیطی در هر دو مجموعه فسیلی و امروزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Davies, 2016). روزنبران به طور گسترده‌ای به عنوان نشانگرهای زیستی برای تفسیر شرایط آکولوژیکی و بازسازی محیط دیرینه مورد استفاده قرار می‌گیرند (Duleba et al., 1999; Bou Dagher-Fadel, 2018). بررسی گروه‌های شکلی تجمعات فسیلی روزنبران کفزی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد تغییرات در محیط‌های کف اقیانوس‌های/دریاهای گذشته ارائه دهد (Verma et al., 2018). در ۵۰ سال اخیر، روزنبران کفزی به یکی از مفیدترین گروه‌های فسیلی برای تفسیر

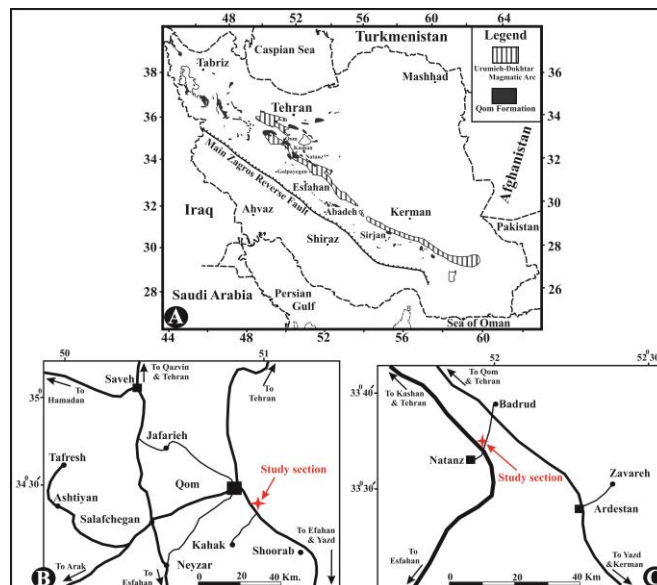
موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

بروزندهای سازند قم از سمت جنوب شرق تا شمال فرونشست جازموربان، از سمت شرق تا شمال و جنوب کویر بزرگ، از سمت شمال تا دامنه‌های البرز و از سمت شمال غرب تا منطقه خوی (شمال دریاچه ارومیه) گسترش دارند (شکل ۱a). رسوبگذاری سازند قم در عرض‌های جغرافیایی پایین تر از $27^{\circ} 34'$ شمالی، در هر سه حوضه‌ی سنندج - سیرجان، ارومیه - دختر و ایران مرکزی در روپلین شروع شده است. رسوبات شاتین تا 35° شمالی ادامه داشته و در عرض‌های جغرافیایی بالاتر از 35° شمالی، سازند قم در میوسن پیشین شروع به رسوبگذاری نموده است؛ بنابراین پیشروی دریای قم از جنوب شرق آغاز شده و به تدریج به سمت شمال غرب ادامه یافته است (Mohammadi et al., 2013, 2015, 2019; Mohammadi, 2020a, 2020b).

در این مطالعه گروه‌های شکلی روزنبران موجود در سازند قم مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و از آنها جهت تفسیر شرایط آکولوژیکی و بازسازی محیط‌های دیرینه استفاده شده است. مطالعات زمین‌شناختی بر روی سازند قم از حدود ۱۶۰ سال پیش آغاز شده است. در ۲۰ سال اخیر مطالعات نسبتاً متعددی بر روی محیط رسوبی این سازند انجام شده است (eg., Mohammadi et al., 2019; Mohammadi, 2020a, 2020b) ولی علیرغم اهمیت گروه‌های شکلی روزنبران در تفسیر شرایط محیطی دیرینه، هیچ مطالعه منتشر شده‌ای بر روی گروه‌های شکلی روزنبران این سازند انجام نشده است، ولی Hosseinipour (۲۰۰۴) و Hasani (۲۰۰۶) گروه‌های شکلی روزنبران سازند قم را در پایان‌نامه‌های خود مورد بررسی قرار داده‌اند. لذا هدف این مقاله، پر کردن بخشی از این خلأ اطلاعاتی، با مطالعه دو برش چینه شناسی از سازند قم در منطقه نطنز - قم می‌باشد.

Jones و Charnock (۱۹۸۵) نشان دادند که مورفولوژی کلی پوسته روزنبران به نیچ‌های محیطی ترجیحی مرتبط است، بنابراین روزنبران را می‌توان به مورفوتیپ‌هایی تقسیم کرد. مطالعات قبلی بر روی گروه‌های مورفولوژیکی روزنبران کفزی توسط Hart و Koutsoukos (۱۹۹۰) و Nagy (۱۹۹۲) بیانگر وجود ارتباط تنگاتنگی بین شرایط محیطی و مورفوتیپ‌ها است. بر اساس مطالعات Corliss و Chen (۱۹۸۸)، Kotsoukes و Hart (۱۹۹۰) و نیز Coccioni و Galeotti (۱۹۹۳) ارتباط مقبولی بین مورفولوژی پوسته و زیستگاه فونای روزنبران وجود دارد. طبق نظر Frederick و همکاران (۲۰۰۳) تجمعات روزنبران و همچنین داده‌های ایزوتوپ‌های پایدار را می‌توان برای تفسیر محتوای اکسیژن آب‌های کف دریا، سیلان مواد آلی به کف دریا و تغییرات سطح دریا مورد استفاده قرار داد (Motamedalshariati et al., 2016).

استفاده از آنالیز گروه‌های شکلی برای تفاسیر بوم شناسی و دیرینه بوم شناسی ابزار مناسبی است. این ابزار مستقل از تاکسونومی در سطح گونه‌ها است و بنابراین کاربرد و درک آن نسبتاً ساده است. این رویکرد امکان مقایسه تجمعاتی با سنین مختلف را فراهم می‌کند. قدرت این ابزار نسبتاً ساده توسط تعداد زیادی از مطالعات نشان داده شده است (Severin, 1983; Katz and Thunell, 1984; Jones and Charnock, 1985; Bernhard, 1986; Corliss and Chen, 1988; Nagy, 1992; Tyszka, 1994). سازند قم از توالی ضخیمی از مارن‌های دریایی، سنگ‌های کربناته، ژئیس و سنگ‌های سیلیسی آواری تشکیل شده است و رسوبگذاری آن در سه حوضه‌ی سنندج - سیرجان، ارومیه - دختر و ایران مرکزی صورت گرفته است (Schuster and Wielandt, 1999; Reuter et al., 2009; Mohammadi et al., 2013, 2015, 2019; Mohammadi and Ameri, 2015, Mohammadi, 2020a, 2020b).



شکل ۱- (a) نقشه ایران که پراکندگی‌های سازند قم و همچنین کمان ماگمایی ارومیه - دختر را نشان می‌دهد (با اصلاحات از Mohammadi et al., 2013). (b-c) موقعیت برش‌های خورآباد (b) و نطنز (c) و راه دسترسی به آنها (National Geographic Center, 2009).

Fig 1. (a) Map of Iran showing distribution of Qom Formation and Uromieh–Dokhtar magmatic arc. (b-c) Location maps, showing the position of the Khorabad section (b) and Natanz section (c) (National Geographic Center, 2009).

برش‌ها چند زون زیستی شناسایی شده است که در ادامه به‌طور خلاصه مورد بحث قرار می‌گیرند.

فرامینیفرها و تجمع‌های زیستی شناسایی شده در برش نطنز

در این برش، سه تجمع زیستی بر اساس پراکندگی روزنبران در آن تشخیص داده شده است (Mohammadi, 2020a).

تجمع ۱: این تجمع ۲۵ متر قاعده‌ای برش را در بر می‌گیرد. سنگ شناسی غالب در این فاصله، عمدتاً شامل شیل با میان لایه‌های آهکی می‌باشد. نمونه‌های N1 تا N12 از توالی‌های دربرگیرنده این تجمع تهیه شده است و روزنبرانی همچون *Pyrgo sp.*, *Triloculina trigonula*, *Triloculina tricarinata*, *Quinqueloculina sp.* از آنها بدست آمده است. این محدوده فاقد روزنبران شاخصی جهت تعیین سن می‌باشد ولی با توجه به موقعیت آن در زیر تجمع ۱ (با سن شاتین) و مقایسه آن با سایر برش‌های مطالعه شده در منطقه، می‌توان سن روپلین؟ - شاتین را برای آن در نظر گرفت.

تجمع ۲: این تجمع از ارتفاع ۲۵ متری شروع و تا ۲۹۵ متری برش امتداد می‌یابد. سنگ شناسی غالب توالی‌های دربرگیرنده این تجمع، در بخش‌های پایینی و میانی عمدتاً شامل آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای، آهک‌های مارنی و مارن و در بخش بالایی شامل آهک‌های عمدتاً متوسط لایه همراه با میان لایه‌های مارنی می‌باشد. نمونه‌های N13 تا N139 از توالی‌های دربرگیرنده این تجمع تهیه شده است. مجموعه فسیلی زیر در این تجمع شناسایی شده است:

Borelis pygmaea, *Borelis hauri*, *Archaias sp.*, *Elphidium sp.*, *Peneroplis tomasi*, *Austrotrillina howchini*, *Dendritina rangi*, *Quinqueloculina sp.*, *Pyrgo sp.*, *Triloculina trigonula*, *Triloculina tricarinata*, *Haplophragmium sp.*, *Valvulina sp.*, *Textularia sp.*, *Nephrolepidina tournoueri*, *Eulepidina dilatata*, *Operculina complanata*, *Heterostegina sp.*, *Amphistegina sp.*, *Rotalia viennoti*.

عدم وجود *Nummulites fichteli*, *N. intermedius*, *N. vasculus* (شاخص روپلین)، *Borelis melo curdica* (شاخص مرز زیرین بوردیگالین) و *Miogyopsina* (شاخص اکیتانین) و حضور لپیدوسیکلینیدها سبب شد تا این بخش از برش به سن شاتین نسبت داده شود.

تجمع ۳: این تجمع ۳۵ متر بالایی برش را شامل شده و از ارتفاع ۲۹۵ تا ۳۳۰ متری ستون چینه‌شناسی وجود دارد. سنگ شناسی غالب توالی‌های دربرگیرنده این تجمع، عمدتاً شامل آهک‌های متوسط و ضخیم لایه همراه با میان لایه‌های مارنی می‌باشد. نمونه‌های N140 تا N166 متعلق به این محدوده می‌باشند. مجموعه فسیلی زیر در این تجمع شناسایی شده است:

Miogyopsina sp., *Nephrolepidina tournoueri*, *Eulepidina dilatata*, *Operculina complanata*, *Heterostegina sp.*, *Amphistegina sp.*, *Rotalia viennoti*

برش خورآباد در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی قم و ۱۳ کیلومتری جنوب شرق مسجد جمکران و شمال غربی روستای خورآباد واقع شده است. این برش دارای مختصات جغرافیایی "۵۳°۳۰'۳۴" عرض شمالی و "۵۸°۵۶'۵۰" طول شرقی می‌باشد. این برش از طریق آزاد راه قم - کاشان و جاده قم - کهک قابل دسترسی می‌باشد (شکل b۱).

برش ناحیه نطنز در شمال شرق نطنز واقع شده و دارای مختصات جغرافیایی "۴۲°۳۰'۳۳" عرض شمالی و "۱۶°۵۹'۵۱" طول شرقی می‌باشد. این برش از طریق آزاد راه اصفهان - کاشان (و پس از طی حدوداً ۳ کیلومتر مسیر پیاده) قابل دسترسی می‌باشد (شکل c۱).

برش‌های مورد مطالعه بر اساس مطالعات معتبر (Reuter et al., 2013; Mohammadi et al., 2009) در حوضه پس کمان ایران مرکزی واقع شده‌اند.

روش مطالعه

به‌منظور بررسی گروه‌های شکلی روزنبران نهشته‌های الیگو - میوسن سازند قم در منطقه نطنز - قم، یک مقطع چینه‌شناسی در ناحیه نطنز (به ضخامت ۳۳۰ متر) و یک مقطع چینه‌شناسی در جنوب شرقی قم (برش خورآباد، به ضخامت ۲۶۰ متر) انتخاب (شکل ۱) و از آنها به ترتیب ۱۶۶ و ۱۰۱ نمونه (سخت و نرم) به‌طور سیستماتیک و بر اساس تغییرات رخساره‌ای و بافتی برداشت گردید. نمونه‌های نرم مورد گل شویی قرار گرفته و روزنبران آن جدا و شناسایی گردیده و از نمونه‌های سخت مقاطع نازک تهیه گردید. مقاطع نازک تهیه شده از این نمونه‌ها مورد بررسی دقیق فسیل‌شناسی قرار گرفته و روزنبران آن شناسایی و مطالعه گردید. سن برش‌های مورد مطالعه بر پایه مطالعات قبلی (Mohammadi et al., 2015, 2016) ارائه شده است. گروه‌های شکلی بر اساس مورفولوژی خارجی پوسته (شکل پوسته) و ماهیت پیچش پوسته (یعنی اضافه شدن حجرات) تعیین شده‌اند. برای تمایز گروه‌های شکلی معمولاً از رویکردهای محققان قبلی تبعیت شده است (Nagy et al., 1995; Szydło, 2005; Reolid et al., 2008; Kender et al., 2009; Murray et al., 2011; Nikitenko et al., 2013; Bindu and Filipescu, 2015; Setoyama et al., 2018; Sarbandi Farahani et al., 2017). فراوانی گروه‌های شکلی غالب شناسایی شده در برش‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۲ و ۳ ترسیم شده است، باین‌حال، به منظور وضوح بیشتر گروه‌های شکلی غالب، در شکل‌های مذکور از ترسیم گروه‌های شکلی دارای فراوانی کمتر از ۵٪ خودداری شده است.

روزنبران شناسایی شده و زیست چینه‌نگاری برش‌های

مورد مطالعه

زیست‌چینه‌نگاری برش‌های نطنز و خورآباد به ترتیب توسط Mohammadi و همکاران (2016) و Mohammadi و همکاران (۲۰۱۵) ارائه شده است. همچنین Mohammadi (2020a) زیست چینه‌نگاری هر دو برش را به‌طور خلاصه بررسی نموده است. بر اساس مطالعات نامبرده سن سازند قم در برش نطنز روپلین؟ - شاتین - اکیتانین و در برش خورآباد روپلین - بوردیگالین است. در هر کدام از

Quinqueloculina sp., *Triloculina trigonula*, *Textularia* sp.

حضور توالی تبخیری، موقعیت آن بین تجمع ۲ (با سن شاتین) و تجمع ۴ (با سن بوردیگالین) و حضور لپیدوسیکلینیدها بدون نومولیتس سبب شد تا سن اکتیانین برای این بخش از برش در نظر گرفته شود.

تجمع ۴: این تجمع از ارتفاع ۲۰۹/۵ متری تا رأس برش را در بر می‌گیرد. سنگ شناسی غالب لایه‌های دربرگیرنده این تجمع، عمدتاً شامل آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه، مارن و مارن ژیبس دار می‌باشد. نمونه‌های K72 تا K99 از توالی‌های دربرگیرنده این تجمع برداشت شده است. مجموعه فسیلی زیر در این تجمع شناسایی شده است:

Borelis melo curdica, *Peneroplis tomasi*, *Dendritina rangi*, *Elphidium* sp., *Pyrgo* sp., *Quinqueloculina* sp., *Triloculina trigonula*, *Textularia* sp., *Miogypsinoides* sp., *Miogypsina* sp.

این تجمع بر اساس حضور *Borelis melo curdica* به سن بوردیگالین نسبت داده شده است.

گروه‌های شکلی شناسایی شده در برش‌های مورد مطالعه

بررسی خصوصیات شکل شناسی (از جمله نوع پیچش صدف و جنس پوسته) روزنبران شناسایی شده در برش‌های مورد مطالعه، به شناسایی گروه‌های شکلی زیر منجر شد (Koutsoukos and Hart, 1990).

گروه شکلی CH-A

روزنبران این گروه شکلی، صدفی از نوع آهک هیالین دارند. این گروه شکلی به انواع زیر تقسیم می‌گردد:

زیرگروه شکلی CH-A1

افراد این گروه شکلی صدفی عدسی شکل با پیچش پلانسیپرال داشته و دارای حجرات متعددی می‌باشند. نوع زندگی آنها به صورت سطح زی می‌باشد. از جمله روزنبرانی که در این گروه قرار می‌گیرند می‌توان به *Eulepidina*, *Nephrolepidina* و *Nummulites* اشاره نمود. فرامینیفرهایی که در این مورفوگروپ قرار می‌گیرند در بخش‌های مختلف پلاتنفرم کربناته، به جز محیط‌های خیلی محصور شده، حضور دارند، فرم‌های بزرگ و کشیده‌تر در اعماق بیشتر ولی فرم‌های کوچک‌تر و کروی‌تر در اعماق کمتر زندگی می‌کنند. به‌طور کلی، آنها غالباً تحت شرایط الیگوتروفیک - مزوتروفیک، الیگوفوتیک - مزوفوتیک، شوری نرمال دریایی و انرژی کم تا متوسط به شکوفایی می‌رسند (Geel, 2000; BouDagher-Fadel, 2018; Mohammadi 2020a; Nikfard et al., 2020).

زیرگروه شکلی CH-A2

افراد این گروه شکلی صدفی عدسی شکل با پیچش تروکواسپیرال دارند. همچنین صدف دیواره‌ای ضخیم داشته و حجرات متعدد می‌باشد. موجودات این گروه زندگی سطح زی و یا نیمه درونزی دارند. روزنبران

با توجه به حضور *Miogypsina* (شاخص اکتیانین) و نبود گونه‌های *Nummulites fichteli*, *N. intermedius*, *N. vascu* (شاخص روپلین) و *Borelis melo curdica* (شاخص قاعده بوردیگالین) و نیز موقعیت این محدوده فسیلی، که در بالای تجمع ۲ (با سن شاتین) قرار دارد، برای این بخش از برش، سن اکتیانین در نظر گرفته شده است.

روزنبران و تجمع‌های زیستی شناسایی شده در برش خورآباد

در این برش ۴ تجمع زیستی، بر اساس پراکنندگی روزنبران تشخیص داده شده است (Mohammadi, 2020a).

تجمع ۱: این تجمع از قاعده تا ارتفاع ۶۰/۵ متری گسترش دارد. سنگ شناسی غالب توالی‌های دربرگیرنده این تجمع، عمدتاً شامل آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و آهک مارنی می‌باشد. نمونه‌های K1 تا K20 متعلق به توالی‌های دربرگیرنده این تجمع می‌باشد. مجموعه فسیلی زیر در این تجمع شناسایی شده است.

Nummulites vascus, *Eulepidina dilatata*, *Nephrolepidina tournoueri*, *Rotalia viennoti*, *Operculina complanata*, *Amphistegina* sp., *Textularia* sp.

این تجمع بر اساس حضور *Nummulites vascus* به اشکوب روپلین نسبت داده شده است.

تجمع ۲: این تجمع از ارتفاع ۶۰/۵ تا ۹۳/۵ متری برش را در بر می‌گیرد. سنگ‌شناسی غالب لایه‌های دربرگیرنده این تجمع، عمدتاً شامل آهک‌های ضخیم لایه و توده‌ای می‌باشد. نمونه‌های K21 تا K32 از توالی‌های دربرگیرنده این تجمع برداشت شده است. مجموعه فسیلی زیر در این تجمع شناسایی شده است:

Operculina complanata, *Eulepidina dilatata*, *Nephrolepidina tournoueri*, *Rotalia viennoti*, *Elphidium* sp., *Pyrgo* sp., *Quinqueloculina* sp., *Textularia* sp.

عدم حضور *Borelis melo curdica* (شاخص مرز زیرین بوردیگالین) و *Miogypsina* (شاخص اکتیانین)، و همچنین موقعیت آن در بالای تجمع ۱ (با سن روپلین) و زیر اولین توالی تبخیری (نهشته‌های تبخیری سازند قم تماماً در میوسن پیشین نهشته شده‌اند) و حضور لپیدوسیکلینیدها بدون جنس نومولیتس سبب شد تا سن شاتین برای این تجمع در نظر گرفته شود.

تجمع ۳: این تجمع از ارتفاع ۹۳/۵ تا ۲۰۹/۵ متری وجود دارد. سنگ شناسی غالب لایه‌های دربرگیرنده این تجمع، به طور عمده شامل آهک‌های متوسط و ضخیم لایه، آهک مارنی، آهک نودولار و نهشته‌های تبخیری می‌باشد. نمونه‌های K33 تا K71 از توالی‌های دربرگیرنده این تجمع برداشت شده است. مجموعه فسیلی زیر در این تجمع شناسایی شده است:

Operculina complanata, *Eulepidina dilatata*, *Nephrolepidina tournoueri*, *Miogypsina* sp., *Amphistegina* sp., *Elphidium* sp., *Pyrgo* sp.,

گروه شکلی PC-C

این گروه شکلی شامل موجوداتی با پوسته پورسلانوز می‌باشند و به انواع زیر تقسیم می‌شوند.

زیرگروه شکلی PC-C1

افراد این گروه شکلی پوسته‌ای کروی یا دوکی شکل دارند. حجرات اصلی به حجرات فرعی تقسیم شده‌اند. این موجودات به صورت سطح‌زی زندگی می‌کنند. روزنبران گروه *Borelis* در این گروه قرار می‌گیرند. فرامینیفرهایی که در این مورفوگروپ قرار می‌گیرند می‌توانند بر روی بسترهای مختلف در آب‌های نسبتاً کم‌عمق زندگی کنند و معمولاً در محیط‌های محصورشده روشن (یوفوتیک) پشت ریف‌ها و یا ماسه‌های بین ریفی فراوان می‌گردند (Hallock, 1985; Geel, 2000; BouDagher-Fadel, 2018; Mohammadi 2020a; Nikfard et al., 2020).

زیرگروه شکلی PC-C2

افراد این گروه شکلی پوسته‌ای با پیچش خوشه‌ای یا استراتیپتواسپیرال دارند. شکل کلی آنها کروی، بیضوی و یا چند گوش می‌باشد. این گروه زندگی سطح‌زی دارند. میلیولیدها (شامل *Quinqueloculina*, *Pyrgo*, *Triloculina*) در این گروه قرار دارند. فسیل‌های دسته‌بندی‌شده در این مورفوگروپ می‌توانند در طیف گسترده‌ای از محیط‌های آبی خیلی کم‌عمق، از نیمه شور (ساب‌سالین) تا خیلی شور (هایپرسالین)، و حتی در جلو ریف نیز یافت شوند. آنها ترجیحاً در محیط‌های با آشفتنگی کم و گل/سوب فراوان زندگی می‌کنند و فراوانی آنها بیانگر لاگون‌های خیلی محصور تحت شرایط یوتروفیک، یوفوتیک و هایپرسالین است (Geel, 2000; Sadeghi et al., 2018; Mohammadi 2020a,b; Nikfard et al., 2020).

زیرگروه شکلی PC-C3

افراد این گروه شکلی پوسته‌ای با پیچش پلانسیپرال و حجرات متعدد دارند. آنها به صورت سطح‌زی زندگی نموده و رسوب‌خوار می‌باشند. از جمله روزنبران این گروه می‌توان به *Dendritina* و *Cibicides* اشاره نمود. فرامینیفرهایی که در این مورفوگروپ قرار می‌گیرند معمولاً در آب‌های نسبتاً کم‌عمق زندگی می‌کنند، معمولاً فراوانی قابل‌توجهی از خود نشان نمی‌دهند ولی در صورت فراوانی نسبتاً بالا (معمولاً همراه با میلیولیدها)، بیانگر محیط‌های محصورشده تحت شرایط یوتروفیک، یوفوتیک و هایپرسالین هستند (Brandano, et al., 2009; Allahkarampour Dill et al., 2010).

انواع مختلف گروه‌های شکلی مطالعه شده در این پژوهش، در جدول ۱ نشان داده شده است.

Rotalia و *Amphistegina* در این گروه قرار می‌گیرند. فرامینیفرهایی که در این مورفوگروپ قرار می‌گیرند غالباً تحت شرایط الیگوتروفیک - مزوتروفیک، الیگوفوتیک - مزوفوتیک، شوری نرمال دریایی و انرژی کم تا متوسط به شکوفایی می‌رسند، باین‌حال در لاگون‌های نیمه محصور با شوری متوسط نیز می‌توانند حضور داشته باشند (Hallock et al., 1986; BouDagher-Fadel, 2018; Mohammadi 2020b).

زیرگروه شکلی CH-A3

افراد این گروه شکلی صدفی با پیچش پلانسیپرال داشته ولی شکل آنها عدسی شکل نمی‌باشد، حجرات متعدد و پرده‌ها کم‌انی شکل می‌باشد. فرامینیفرهای *Heterostegina* و *Operculina* در این گروه قرار می‌گیرند. فرامینیفرهایی که در این مورفوگروپ دسته‌بندی می‌شوند، تحت شرایط اکولوژیکی مشابه با گروه قبلی زندگی می‌کنند. *Operculina* معمولاً بسترهای نرم را برای زندگی ترجیح می‌دهد ولی *Heterostegina* به صورت چسبیده به بسترهای سخت و یا به صورت اپیفت زندگی می‌کند (Geel, 2000; BouDagher-Fadel, 2018).

زیرگروه شکلی CH-A4

افراد این گروه شکلی ابتدا پیچش پلانسیپرال داشته، اما در محله بعد تک ردیفی می‌شوند شکل کلی صدف تقریباً عدسی شکل یا لوزی شکل می‌باشد و نوع زندگی آنها سطح‌زی می‌باشند. از جمله روزنبران این گروه می‌توان به *Miogyopsisina* و *Miogyopsisinoides* اشاره نمود. *Miogyopsisina* تحت شرایط اکولوژیکی نسبتاً مشابه با گروه قبلی زندگی می‌کنند، این جنس به دلیل داشتن حجرات جانبی قادر به زندگی در اعماق زیاد و بخش‌های پایینی زون نوری است، باین‌حال در آب‌های کم‌عمق‌تر نیز به همراه *Miogyopsisinoides* دیده می‌شود. میوزیپسینیدها در نهشته‌های الیگو - میوسن ایران معمولاً از فراوانی قابل‌توجهی برخوردار نیستند (Geel, 2000; BouDagher-Fadel, 2018; Nikfard et al., 2020).

گروه شکلی AG-A

این گروه شکلی شامل روزنبرانی است که جنس پوسته آنها آگلوتینه می‌باشد. صدف در افراد این گروه مخروطی کشیده باریک شونده* می‌باشد. حجرات آنها معمولاً در دو یا سه ردیف آرایش یافته‌اند. افراد این گروه زندگی درون‌زی داشته و رسوب‌خوار می‌باشند. روزنبرانی از قبیل *textularids* و *valvulinids* در این گروه قرار می‌گیرند. فسیل‌های دسته‌بندی‌شده در این مورفوگروپ غالباً در اکثر محیط‌های دریایی با فراوانی اندک و به صورت پراکنده حضور دارند و در رخساره‌های مختلفی در سازندهای قم و آسماری با فراوانی اندک دیده می‌شوند (Sadeghi et al., 2018; Mohammadi 2020a,b; Nikfard et al., 2020).

جدول ۱- انواع مختلف گروه های شکلی در برش های مورد مطالعه.

Table 1. Morphogroup categories of benthic foraminifera assemblages from the studied sections.

Morpho groups	Sub morpho groups	Chamber number	Test wall type	General morphotypes	Inferred microhabitat	Inferred Trophic group	Example
CH-A	CH-A1	ultilocular	hyaline	planispiral lenticular	epifaunal	deposit feeders	<i>Nummulites</i> , <i>Eulepidina</i> , <i>Nephrolepidina</i>
	CH-A2	multilocular	hyaline	Trocospiral lenticular	epifaunal	deposit feeders	<i>Rotalia</i> , <i>Amphistegina</i>
	CH-A3	multilocular	hyaline	planispiral	epifaunal	deposit feeders	<i>Operculina</i> , <i>Heterostegina</i>
	CH-A4	multilocular	hyaline	planispiral- uniserial	epifaunal	deposit feeders	<i>Miogypsina</i>
AG-A	AG-A	multilocular	agglutinated	elongate conical, biserial or triserial	infaunal	deposit feeders	<i>Textularia</i> , <i>Valvulina</i>
PC-C	PC-C1	multilocular	porcelaneous	planispiral globular fusiform	epifaunal	deposit feeders	<i>Borelis</i>
	PC-C2	multilocular	porcelaneous	streptosipilar	epifaunal	deposit feeders	<i>Pyrgo</i> , <i>Triloculina</i> , <i>Quinqueloculina</i>
	PC-C3	multilocular	porcelaneous	planispiral	epifaunal	deposit feeders	<i>Dendritina</i>

شکلی PC-C1 و PC-C2 می باشند به سمت آهک های میانی و بالایی این تجمع از فراوانی گروه های شکلی PC-C1 و PC-C2 کاسته شده و CH-A2 و CH-A3 غالب می گردند و در آخرین لایه های آهکی این تجمع، گروه شکلی CH-A1 دارای بیشترین فراوانی می باشد. گروه شکلی PC-C2 در اکثر افق های ۲۱۰ متر پایینی برش (تا نمونه N96) حضور داشته و غالب ترین گروه شکلی می باشد. فراوانی آن بین صفر تا ۸۰٪ متغیر می باشد ولی در صورت حضور عمدتاً بیش از ۵۰٪ می باشد. نوسانات این گروه شکلی معمولاً نامنظم می باشد، فقط در

بررسی تغییرات گروه های شکلی در برش های مورد مطالعه گروه های شکلی برش نطنز

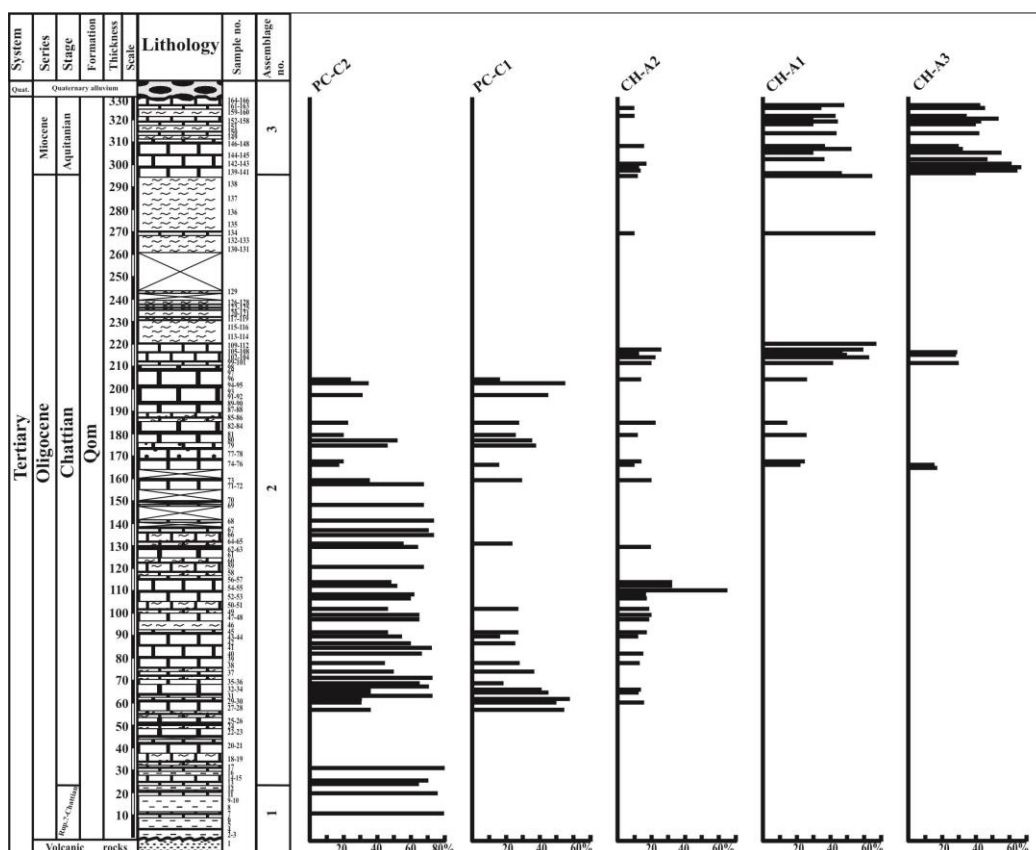
فراوانی گروه های شکلی غالب برش نطنز در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود، تنها گروه شکلی غالب در تجمع ۱، گروه شکلی PC-C2 می باشد، دیگر گروه های شکلی فراوانی قابل ملاحظه ای از خود نشان نمی دهند. در تجمع ۲، گروه های شکلی PC-C1، PC-C2، CH-A2، CH-A1 و CH-A3 حضور دارند. غالب ترین گروه های شکلی بخش های پایینی این تجمع شامل گروه های

می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت فراوانی این دو گروه شکلی به سمت راس این تجمع روند تقریباً نزولی نشان می‌دهد. گروه شکلی CH-A2 نیز به‌صورت پراکنده در این تجمع حضور داشته و فراوانی آن در این تجمع همواره کمتر از ۱۷٪ می‌باشد. این گروه شکلی نیز به سمت راس تجمع شماره ۳ روند تقریباً نزولی نشان می‌دهد. گروه شکلی CH-A4 فقط در لایه‌های قاعده‌ای تجمع شماره ۳ و با حضور خیلی پراکنده میوژپسینا (با فراوانی کمتر از ۵٪) شناسایی شده است. دیگر گروه‌های شکلی تقریباً غایب می‌باشند.

لازم به ذکر است که گروه‌های شکلی AG-A و PC-C3 در سرتاسر برش، از فراوانی قابل توجهی برخوردار نبوده‌اند.

تغییرات فراوانی گروه‌های شکلی غالب برش نطنز بیانگر این است که به‌طور کلی در ۲۰۰ متر پایینی برش نطنز گروه‌های شکلی با دیواره پورسلانوز و در بخش بالایی، گروه‌های شکلی با دیواره هیالین فراوانی بیشتری دارند که خود بیانگر نهشته شدن بخش‌های پایینی در محیط‌های کم عمق لاگونی و عمدتاً تحت شرایط پرنور، غنی از مواد مغذی، با شوری بالا تا متوسط، و نهشته شدن بخش‌های بالایی برش عمدتاً در دریای باز تحت شرایط الیگوفوتیک - مزوفوتیک، الیگوتروفیک - مزوتروفیک و شوری نرمال دریایی است.

نمونه N81 تا N96 منظم بوده و روندی صعودی نشان می‌دهند. گروه شکلی PC-C1 برای اولین بار در نمونه N27 فراوانی قابل توجهی (۵۴٪) یافته و در افق‌های زیادی تا نمونه N96 وجود دارد. این گروه شکلی از نمونه N27 تا نمونه N64 روندی نزولی داشته و میزان آن در نمونه N64 برابر ۲۳٪ می‌باشد. به سمت بالا تا نمونه N95 روندی صعودی در فراوانی این گروه شکلی دیده شده و میزان آن در نمونه N95 برابر با ۵۵٪ می‌باشد. آخرین حضور چشمگیر این گروه شکلی در نمونه N96 بوده و میزان آن برابر با ۱۷٪ می‌باشد. گروه شکلی CH-A2 نیز از نمونه N29 تا راس این تجمع به‌صورت پراکنده وجود داشته و فراوانی آن عمدتاً کمتر از ۲۰٪ می‌باشد. بیشترین فراوانی این گروه شکلی در نمونه N54 بوده و برابر با ۶۴٪ می‌باشد. گروه‌های شکلی CH-A1 و CH-A3 در بخش‌های میانی و بالایی تجمع شماره ۲، به‌صورت پراکنده وجود داشته و بیشترین میزان آنها به ترتیب برابر با ۶۷٪ و ۳۰٪ می‌باشد. هر دو گروه شکلی مذکور به سمت راس این تجمع روند صعودی نشان می‌دهند. در تجمع ۳، گروه‌های شکلی CH-A1، CH-A2 و CH-A3 حضور دارند. غالب ترین گروه‌های شکلی این تجمع گروه‌های شکلی CH-A1 و CH-A3 می‌باشند که حضور گسترده‌ای داشته و بیشترین فراوانی آنها به ترتیب برابر با ۶۵٪ و ۶۷٪



شکل ۲- نمودار درصد فراوانی گروه‌های شکلی غالب در برش نطنز.

Fig. 2. Abundance diagram of dominant morphogroups in the Ntanz section.

گروه‌های شکلی برش خورآباد

فراوانی گروه‌های شکلی غالب برش خورآباد در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، در تجمع شماره ۱، گروه‌های شکلی CH-A1، CH-A2، و CH-A3 حضور دارد. غالب‌ترین گروه شکلی این تجمع شامل گروه شکلی CH-A1 می‌باشد. فراوانی گروه شکلی CH-A1 بین صفر تا ۸۰٪ متغیر می‌باشد و در صورت حضور، فراوانی آن بیش از ۶۰٪ می‌باشد. گروه شکلی CH-A2 در بخش میانی این تجمع به صورت پراکنده و با فراوانی کمتر از ۱۶٪ حضور دارد. گروه شکلی CH-A3 فقط در نمونه K10 و با فراوانی ۳۰٪ حضور دارد.

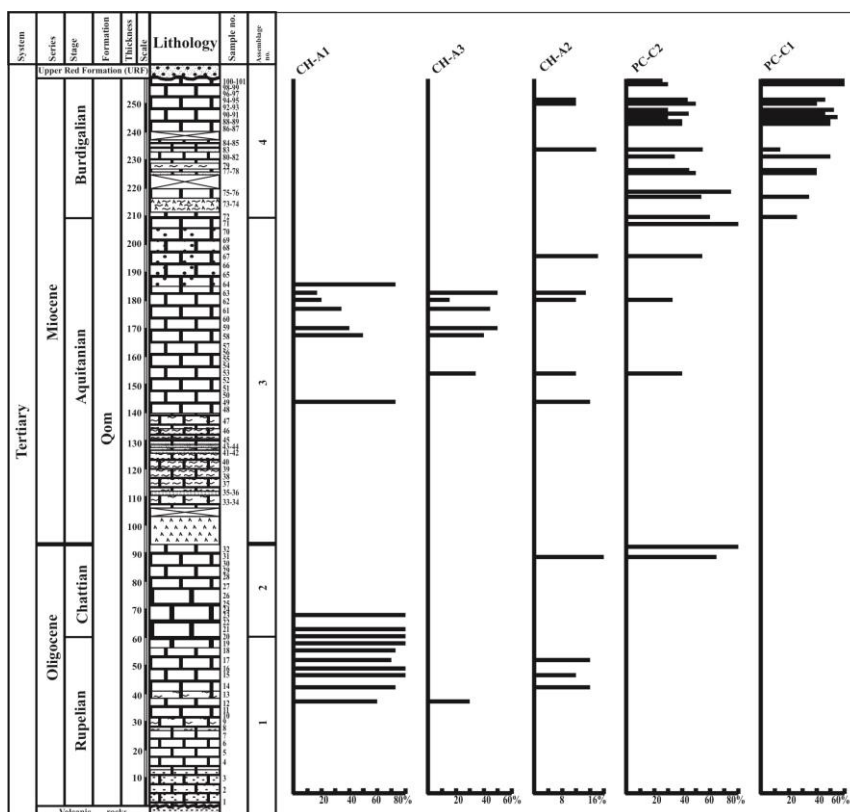
در بخش پایینی تجمع شماره ۲، گروه‌های شکلی CH-A1 و در بخش بالایی این تجمع، گروه‌های شکلی CH-A2 و PC-C2 حضور دارند. بیشترین فراوانی این سه گروه شکلی به ترتیب برابر با ۸۰٪، ۱۵٪ و ۸۰٪ می‌باشد، کمترین فراوانی آنها نیز صفر می‌باشد.

در تجمع ۳، گروه‌های شکلی CH-A1، CH-A2، و CH-A3 و PC-C2 حضور دارند. بخش پایینی این تجمع فاقد روزنبران می‌باشد. غالب‌ترین گروه شکلی تجمع ۳، گروه شکلی CH-A1 می‌باشد. بیشترین فراوانی گروه‌های شکلی CH-A1، CH-A2، و CH-A3 و PC-C2 به ترتیب برابر با ۸۳٪، ۱۸٪، ۴۸٪ و ۹۰٪ می‌باشد، کمترین فراوانی آنها نیز برابر با صفر می‌باشد. در افق‌های پایانی این تجمع گروه

شکلی CH-A1 حضور نداشته و گروه شکلی PC-C2 فراوانی قابل ملاحظه‌ای یافته است. بیشترین فراوانی گروه شکلی PC-C2 (۹۰٪) مربوط به آخرین افق این تجمع (نمونه K71) می‌باشد. گروه شکلی CH-A4 نیز در دو افق در بخش‌های میانی (نمونه‌های K62-K63) و بالایی (نمونه K71) تجمع شماره ۳ و با حضور خیلی پراکنده میوژپسینا (با فراوانی کمتر از ۵٪) شناسایی شده است.

در تجمع شماره ۴، گروه‌های شکلی PC-C1، PC-C2، و CH-A2 حضور دارند. غالب‌ترین گروه‌های شکلی این تجمع شامل گروه‌های شکلی PC-C1 و PC-C2 می‌باشند که میزان فراوانی آنها به ترتیب برابر با ۷۵٪ و ۷۰٪ می‌باشد، کمترین فراوانی آنها نیز برابر با صفر می‌باشد. به سمت راس برش، میزان فراوانی گروه شکلی PC-C2 روندی تقریباً نزولی و میزان فراوانی گروه شکلی PC-C1 روندی تقریباً صعودی نشان می‌دهد. گروه شکلی CH-A3 نیز در این تجمع به صورت بسیار پراکنده و با فراوانی کمتر از ۱۸٪ حضور دارد. گروه شکلی CH-A4 نیز فقط در نمونه K83 و با فراوانی کمتر از ۵٪ شناسایی شده است.

لازم به ذکر است که گروه شکلی CH-A4 فقط در نهشته‌های میوسن این برش شناسایی شده است. به علاوه، گروه‌های شکلی AG- A و PC-C3 نیز در سرتاسر برش، از فراوانی قابل توجهی برخوردار نبوده‌اند.



شکل ۳- نمودار درصد فراوانی گروه‌های شکلی غالب در برش خورآباد.

Fig. 3. Abundance diagram of dominant morphogroups in the Khurabad section.

در هر دو برش به‌طور کلی شکل‌های سطح زی غالب بودند. بررسی گروه‌های شکلی بیانگر وجود نوساناتی در درصد گروه‌های شکلی غالب است، که خود بیانگر نوساناتی در شرایط اکولوژیکی محیط می‌باشد. مورفولوژی CH-A4 فقط از نهشته‌های میوسن (آکیتانین در برش نطنز) و (آکیتانین و بوردیگالین در برش خورآباد) گزارش شده است. به علاوه، گروه‌های شکلی AG-A، PC-C3 و CH-A4 در هر دو برش، از فراوانی قابل توجهی برخوردار نبودند.

در ۲۰۰ متر پایینی برش نطنز گروه‌های شکلی با دیواره پورسلانوز و در بخش بالایی، گروه‌های شکلی با دیواره هیالین فراوانی بیشتری دارند که بیانگر نهشته شدن بخش‌های پایینی در محیط‌های لاگونی و نهشته شدن بخش‌های بالایی برش (به‌طور عمده) در دریای باز است. این تغییر چشمگیر در طول زمان بیانگر افزایش تدریجی عمق حوضه، کاهش شوری، کاهش روشنایی و کاهش مواد مغذی است. پراکندگی گروه‌های شکلی در برش خورآباد از یک الگوی عکس تبعیت می‌کند. به طوری که با وجود نوسانات جزئی، به‌طور کلی در ۲۰۰ متر پایینی برش خورآباد، گروه‌های شکلی با دیواره هیالین و در بخش بالایی، گروه‌های شکلی با دیواره پورسلانوز غالب هستند که بیانگر نهشته شدن بخش‌های پایینی در محیط‌های دریای باز و نهشته شدن بخش‌های بالایی برش (به‌طور عمده) در محیط‌های لاگونی است.

تغییرات فراوانی گروه‌های شکلی غالب برش خورآباد بیانگر این است که به‌طور کلی در ۲۰۰ متر پایینی برش خورآباد، گروه‌های شکلی با دیواره هیالین و در بخش بالایی، گروه‌های شکلی با دیواره پورسلانوز غالب هستند که خود بیانگر نهشته شدن بخش‌های پایینی در محیط‌های دریای باز تحت شرایط الیگوفوتیک - مزوفوتیک، الیگوتروفیک - مزوتروفیک و شوری نرمال دریایی، و نهشته شدن بخش‌های بالایی برش عمدتاً در محیط‌های کم‌عمق‌تر لاگونی و تحت شرایط پرنور، غنی از مواد مغذی، با شوری بالا تا متوسط است.

نتیجه‌گیری

مطالعه گروه‌های شکلی روزنبران سازند قم در مناطق نطنز (برش نطنز) و قم (برش خورآباد) به نتایج زیر منجر شد: روزنبران برش‌های مورد مطالعه در ۸ گروه شکلی طبقه بندی می‌شوند، که آنها را می‌توان در سه گروه شکلی اصلی قرار داد. شناسایی گروه‌های شکلی عمدتاً بر اساس شکل شناسی و معماری پوسته (شامل شکل کلی، الگوی پیچش، آرایش و تعداد حجرات)، و ریز زیستگاه استنباطی که یا در سطح رسوبات زندگی می‌کنند (سطح‌زی) و یا در داخل رسوبات (درون‌زی) و استراتژی تغذیه (معلق/رسوب خوار، گیاهخوار و غیره) استوار بوده است.

منابع

- Alperin, M.I., Cusminsky, G.C., Bernasconi, E., 2011. Benthic foraminiferal morphogroups on the Argentine continental shelf. *The Journal of Foraminiferal Research* 41(2), 155–166.
- Bernhard, J.M., 1986. Characteristic assemblages and morphologies of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits: Jurassic through Holocene. *Journal of Foraminiferal Research* 16, 207-215.
- Bindiu, R., Filipescu, S., 2015. Foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironments of the middle Eocene deposits from the northern part of the Tarcău Nappe (Eastern Carpathians, Romania). *Studia UBB Geologia* 59 (1-2), 45 – 59.
- BouDagher-Fadel, M.K., 2018. *Evolution and Geological Significance of Larger Benthic Foraminifera*, 2st edition, UCL Press, London, p. 693.
- Brandano, M., Frezza, V., Tomassetti, L., Pedley, M., 2009. Facies analysis and paleoenvironmental interpretation of the Late Oligocene Attard Member (Lower Coralline Limestone Formation), Malta. *Sedimentology* 56, 1138–1158.
- Chan, S.A., Kaminski, M.A., Al-Ramadan, K., Babalola, L.O., 2017. Foraminiferal biofacies and depositional environments of the Burdigalian mixed carbonate and siliciclastic Dam Formation, Al-Lidam area, Eastern Province of Saudi Arabia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 469, 1-16.
- Coccioni, R., Galeotti, S., 1993. Orbitally induced cycles in benthonic foraminiferal morphogroups and trophic structure distribution patterns from the Late Albian Amadeus Segment central Italy. *Journal of Micropalaeontology* 12, 227–239.
- Corliss, B.H., Chen, C., 1988. Morphotype patterns of Norwegian deep-sea benthic foraminifera and ecological application. *Geology* 16, 716–719.
- Daneshian, J., Ramezani Dana, L., 2007. Early Miocene benthic foraminifera and biostratigraphy of the Qom Formation, Deh Namak, Central Iran. *Journal Asian Earth Science* 29, 844–858.
- Davies, M., 2016. An integrated chemostratigraphic and biostratigraphic framework and benthic foraminifera morphogroup response to paleoenvironmental conditions of the Upper Cretaceous Kanguk Formation Canadian Arctic Archipelago. M.S.c thesis, Carleton University, Ottawa, Ontario.
- Duleba, W., Debenay, J.P., Eichler, B.B., Michaelovitch, M.M., 1999. Holocene Environmental and Water Circulation Changes: Foraminifer Morphogroups Evidence in Flamengo Bay (SP, Brazil). *Journal of Coastal Research* 15(2), 554-571.

- Geel, T., 2000. Recognition of stratigraphic sequences in carbonate platform and slope deposits: empirical models based on microfacies analysis of Palaeogene deposits in southeastern Spain. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 155, 211–238.
- Hallock, P., 1985. Why are larger foraminifera large? *Paleobiology* 11, 195–208.
- Hallock, P., Forward, L.B., Hansen, H.J., 1986. Influence of environment on the test shape of *Amphistegina*. *Journal of Foraminiferal Research* 16, 224–231.
- Hasani, M.J., 2006. Biostratigraphy and paleoecology of the Qom Formation deposits in the Sirjan areas. MSc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman.
- Hosseinipour, F., 2004. Study of biostratigraphy and paleoecology of Oligo-Miocene sediments at north and northwest Sirjan. MSc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman.
- Friedrich, O., Reichelt, K., Herrle, J. O., Lehmann, J., Pross, J., Hemleben, C., 2003. Formation of the L Aptian NiveauFallot black shale in the Vocontian Basin (SE France): evidence from foraminifera, palynomorphs, and stable isotopes. *Marine Micropaleontology* 49, 65–85.
- Jones, R.W., Charnock, M.A., 1985. Morphogroups of agglutinated foraminifera. Their life position and feeding habits and potential applicability in paleoecological studies. *Revue de Paleobiologie* 4, 311–320.
- Katz, M., Thunell, R., 1984. Benthic foraminiferal biofacies associated with middle Miocene to early Pliocene oxygen-deficient conditions in the eastern Mediterranean. *Journal of Foraminiferal Research* 14(3), 187–202.
- Kender, S., Kaminski, M.A., Jones, R.W., 2009. Early to middle Miocene foraminifera from the deep-sea Congo Fan, offshore Angola. *Micropaleontology* 54, 477–568.
- Khaksar, K., Maghfouri Moghadam, I., 2007. Paleontological study of the echinoderms in the Qom Formation (Central Iran). *Earth Science Research Journal* 11(1), 57–79.
- Koutsoukos, E.A.M., Hart, B.H., 1990. Cretaceous foraminiferal morphogroup distribution patterns, palaeocommunities and trophic structures: a case study from the Sergipe Basin, Brazil. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 81, 221–246.
- Mohammadi, E., Hasanzadeh-Dastgerdi, M., Ghaedi, M., Dehghan, R., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., Baizidi, C., Vaziri, M.R., Sfidari, E., 2013. The Tethyan Seaway Iranian Plate Oligo-Miocene deposits (the Qom Formation): distribution of Rupelian (Early Oligocene) and evaporate deposits as evidences for timing and trending of opening and closure of the Tethyan Seaway. *Carbonates and Evaporites* 28, 321–345.
- Mohammadi, E., Ameri, H., 2015. Biotic components and biostratigraphy of the Qom Formation in northern Abadeh, Sanandaj–Sirjan fore-arc basin, Iran (northeastern margin of the Tethyan Seaway). *Arabian Journal of Geosciences* 8, 10789–10802.
- Mohammadi, E., Ameri, H., Ghaedi, M., Vaziri, M.R., Dastanpour, M., Sadeghi, R., 2016. Biostratigraphy, microfacies and depositional model of the Qom Formation in northeastern Natanz (southeastern Qom back-arc basin). *Paleontology* 3, 1–24.
- Mohammadi, E., Vaziri, M.R., Dastanpour, M., 2015. Biostratigraphy of the Nummulitids and Lepidocyclinids bearing Qom Formation based on Larger Benthic Foraminifera (Sanandaj–Sirjan fore-arc basin and Central Iran back-arc basin, Iran). *Arabian Journal of Geosciences* 8, 403–423.
- Mohammadi, E., Hasanzadeh-Dastgerdi, M., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., 2019. Microfacies and depositional environments of the Qom Formation in Barzok area, SW Kashan, Iran. *Carbonates Evaporites* 34, 1293–1306.
- Mohammadi, E., 2020a. Sedimentary Facies and Depositional Environments of the Oligocene-Early Miocene Marine Qom Formation, Central Iran Back-Arc Basin, Iran (Northeastern Margin of the Tethyan Seaway). *Carbonates and Evaporites* 35, <https://doi.org/10.1007/s13146-020-00553-0>
- Mohammadi, E., 2020b. Sedimentary facies and paleoenvironmental interpretation of the Oligocene larger-benthic-foraminifera-dominated Qom Formation in the northeastern margin of the Tethyan Seaway. *Palaeoworld*, 1–37, <https://doi.org/10.1007/s13146-020-00553-0>
- Motamedalshariati, M., Raisossadat, S.N., Moluodi, D., Mortazavi Mehrizi, M., 2016. Foraminifera biozonation and morphogroups from Nimbolook section, east margin of Lut block, Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 9, 720, 1–11.
- Murray, J.W., 1973. Distribution and ecology of benthic foraminiferids. Heinemann Educational Books, London. p. 274.
- Murray, J.W., 2006. Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. Cambridge University Press, Cambridge. p. 426.
- Murray, J.W., Alve, E., Jones, B., 2011. A new look at modern agglutinated benthic foraminiferal morphogroups: their value in palaeoecological interpretation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 309, 229–241.

- Nagy, J., 1992. Environmental significance of foraminiferal morphogroups in Jurassic North Sea deltas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 95, 111-134.
- Nagy, J., Grandstein, F.M., Kaminski, M.A., Holbourn, A.E., 1995. Foraminiferal morphogroups, paleoenvironments and new taxa from Jurassic to Cretaceous strata of Thakkhola, Nepal. In M.A. Kaminski et al. (Eds.): *Proceedings of the Fourth International Workshop on Agglutinated Foraminifera*. Grzybowski Foundation Special Publication 3, Krakow: Grzybowski Foundation, pp. 181-209.
- Nikfard, M., H., Vaziri-Moghaddam, Seyrafian, A., Behdad, A., Shabafrooz, R., 2020. A review of the Oligo-Miocene larger benthic foraminifera in the Zagros basin, Iran; New insights into biozonation and palaeogeographical maps. *Revue de Micropaleontology*, <http://doi.org/10.1016/j.revmic.2020.100408>
- Nikitenko, B.L., Reolid, M., Glinskikh, L., 2013. Ecostratigraphy of benthic foraminifera for interpreting Arctic record of Early Toarcian biotic crisis (northern Siberia, Russia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 376, 200-212.
- Rahimzadeh, F., 1994. *Geology of Iran: Oligocene-Miocene, Pliocene*. Geological Survey of Iran.
- Reolid, M., Nagy J., Rodríguez-Tovar F.J., Olóriz, F., 2008. Foraminiferal Assemblages as Palaeoenvironmental Bioindicators in Late Jurassic Epicontinental Platforms: Relation with Trophic Conditions. *Acta Palaeontologica Polonica* 53(4), 705-722.
- Reuter, M., Piller, W.E., Harzhauser, M., Mandic, O., Berning, B., Rogl, F., Kroh, A., Aubry, M.P., Wielandt-Schuster, U., Hamedani, A., 2009. The Oligo-/Miocene Qom Formation (Iran): evidence for an early Burdigalian restriction of Tethyan Seaway and closure of its Iranian gateways. *International Journal of Earth Sciences* 98, 627-650.
- Sadeghi, R., Vaziri-Moghaddam, H., Mohammadi, E., 2018. Biofacies, depositional model, and sequence stratigraphy of the Asmari Formation, Interior Fars sub-zone, Zagros Basin, SW Iran. *Carbonate Evaporite* 33, 489-507.
- Sarbandi Farahani, T., Reolid, M., Yazdi, M., Majidifard, M.R., 2018. Benthic foraminiferal assemblages of the Middle and Upper Jurassic sediments from the northeastern Alborz and western Koppeh Dagh, Iran: Systematic palaeontology and palaeoecology. *Annales de Paléontologie* 104, 249-265.
- Severin, K.P., 1983. Test morphology of benthic foraminifera as a discriminator of biofacies. *Marine Micropaleontology* 8, 65-76.
- Schuster, F., Wielandt, U., 1999. Oligocene and Early Miocene coral faunas from Iran: palaeoecology and palaeobiogeography. *International Journal of Earth Science* 88, 571-581.
- Setoyama, E., Kaminski, M.A., Tyszka, J., 2017. Late Cretaceous-Paleogene foraminiferal morphogroups as palaeoenvironmental tracers of the rifted Labrador Margin, northern proto-Atlantic. *Grzybowski Foundation Special Publication* 22, 179-220.
- Stojanova, V., Petrov, G., 2018. Foraminiferal Assemblages as Palaeoenvironmental Bioindicators in Late Jurassic Epicontinental Platforms: Relation with Trophic Conditions. *Acta Palaeontologica Polonica*, 53(4), 705-722.
- Szydło, A., 2005. Benthic foraminiferal morphogroups and taphonomy of the Cieszyn beds (Tithonian-Neocomian, Polish Outer Carpathians). *Studia Geologica Polonica* 124, 199-204.
- Tyszka, J., 1994. Response of Middle Jurassic benthic foraminiferal morphogroups to dysoxic/anoxic conditions in the Pieniny Klippen Basin, Polish Carpathians. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology* 110, 55-81.
- Valchev B., 2006. Benthic foraminiferal morphogroups from the Paleocene of the coastal part of East Stara Planina Mts. *Geologica Balcanica* 35 (3-4), 41-48.
- Verma, K., Bharti, S., Singh, A.D., 2018. Late Glacial-Holocene record of benthic foraminiferal morphogroups from the eastern Arabian Sea OMZ: Palaeoenvironmental implications. *Journal of Earth System Science* 127(21), 1-16.

