Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Spring 2023, Vol. 13(1): 364-383

Research Article

Introducing the newly-established "Varkan Member" in SW Kashan as the oldest member of the Qom Formation

Ebrahim Mohammad

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

Keywords: *Qom Formation, Rupelian, Nummulites, Verkan member, Oligocene- Early Miocene*

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 and Ameri, 2015). The Marine Qom Formation is subdivided into 11 members and named: 1) unnamed-member (alternation of silty marl, sandstone and limestone) which is identified by *Nummulites intermedius* and *Eulepidina* cf. *dilatata* and attributed to Rupelian, was introduced as the oldest member of the Qom Formation; 2) a- member (basal limestone, Chattian); 3) b- member (sandy marls, Chattian- Aquitanian); 4) c1-member (alternating marls and limestones, Aquitanian); 5) c2- member (red and gray shale, sandstone, gypsum; Aquitaine); 6) c3- member (bryozoan limestone; Aquitanian); 7) c4-member (light green to yellow marl; Aquitanian); 8) d-member (evaporites, Aquitanian); 9) e- member (greenish marls, Burdigalian); 10) f-member (top limestone); 11) top evaporative member (with marine biota, Burdigalian).

Recent studies by the current author subdivided the Rupelian deposits of the Qom Formation into "early Rupelian" and "late Rupelian", based on the first appearances of lepidocyclinids in the latter one. Accordingly, the "unnamed member" is a late Rupelian in age. Besides, the early Rupelian strata are characterized by the presence of *Nummulites* without lepidocyclinids, reported merely from southwestern and southern Kashan. The basal deposits of the Qom Formation sections in SW and S Kashan (composed of marl, limestone and marl limestone) are distinctly different from the "unnamed" member (alternation of silty marl, sandstone and limestone), "a" member (basal limestone) and "b" member (sandy marl) of the Qom Formation, in terms of lithology. Therefore, the mentioned deposits are introduced as a new member of the Qom Formation and named the "Verkan Member". The aims of this study are therefore to: 1) Introduce and study the oldest deposits of the Qom Formation, 2) investigating their temporal and spatial distribution, and 3) Introducing of the "Varkan member" in the Varkan section (southwest of Kashan) as the oldest member of Qom Formation.

2- Material and Methods

According to Mohammadi (2023) and previous studies on the Qom Formation, the "Verkan Member" (early-Rupelian in age) is the oldest member of the Qom Formation. The Qom Formation outcrops in the Varkan area, with 190-m thickness, consist mainly of medium to thick-bedded and massive limestone, marly limestone, marl, and conglomerate. The Varkan section was studied bed by bed and 127 samples were collected (based on field evidence and lithofacies changes). All samples were studied in detail and

* Corresponding author: emohammadi02@gmail.com

DOI : 10.22055/aag.2022.41562.2308

Receive: 2022-08-13
Accepted 2022-09-19

ISSN: 2717-0764

CC BY

particular attention has been paid to foraminifera, corals, corallinacean algae, bryozoans, and ostracoda. Different stratigraphical, paleontological and sedimentological aspects of the Varkan section were studied by this author (Safari et al., 2014; Mohammadi et al., 2015; Mohammadi, 2021a, b; Mohammadi, 2023). Biostratigraphy of the Varkan section is studied by Mohammadi et al. (2015) and Mohammadi (2023); Sedimentary facies and depositional environments are studied by Safari et al. (2014) and Mohammadi (2021b), and Foraminiferal morphogroups was analyzed by Mohammadi (2021a). Detailed lithostratigraphic characteristics of the Varkan section and "Verkan Member" are discussed herein.

3- Results and Discussion

All published stratigraphic names have the binomial form: geographic name and lithological, or rank, term. The geographic name for a newly established rock-stratigraphic unit should be the name of a river, town, or other natural or artificial feature at or near which the unit is typically developed (Cohee, 1974; Staines, 1985). Geographic names should be derived from permanent natural or artificial features at or near which the stratigraphic unit is present. Short names are preferable to long or compound names. The name of the stratigraphic unit should be exactly the same as the name of the geographic feature after which it is named (Murphy and Salvador, 2000). Boundaries of lithostratigraphic units are placed at positions of lithologic change or arbitrarily within zones of vertical or lateral lithologic gradation or intertonguing. The terms “lower”, “middle”, and “upper” should not be used for formal subdivisions of lithostratigraphic units (Murphy and Salvador, 2000). A member is the formal lithostratigraphic unit next in rank below a formation and is always a part of some formation. A member, whether formally or informally designated, need not be mappable at the scale required for formations. All member and submember names include a geographic term and the word “member” or “submember” (NACSN, 2005, 2021). Considering the above-mentioned principles, the geographical name of this new member of the Qom Formation is derived from the village of "Varkan", which is the largest village in the study area and also can be found in an ordinary atlas, or on state or provincial, topographic, or similar maps. Therefore, it is introduced as "Verkan Member" herein. "Verkan Member" mainly consists of an alternation of marl, limestone, and marl limestone.

4- Conclusion

"Unnamed member" (alternation of silty marl, sandstone, and limestone) which is identified by *Nummulites intermedius* and *Eulepidina* cf. *dilatata* and attributed to Rupelian, and previously introduced as the oldest member of the Qom Formation, is a late Rupelian in age. Hence, the early Rupelian deposits of the Qom Formation are studied for the first time and their lower parts considered a new member. The new member is here named “Varkan member”. Accordingly, the number of members of the Qom Formation has increased to 12 members and the “Varkan Member” (early Rupelian in age) is introduced as the oldest member of Qom Formation. This member (with 108-m thickness in the Varkan section) mainly consists of an alternation of marl, limestone, and marl limestone. The early Rupelian deposits are present in the Varkan (southwest of Kashan), Vidoja (southwest of Kashan), and Ghohroud (south of Kashan) sections and are 145, 132, and 120 meters thick, respectively. Besides, the “Verkan member” is present in the Varkan, Vidoja, and Ghohroud sections.

Acknowledgments

Dr. Amrollah Safari, Dr. Mehdi Ghaedi, and Mrs. Mahboubeh Hasanzadeh-Dastgerdi are thanked for their assistance in the field.

References

Cohee, G.V., 1974. Stratigraphic nomenclature in reports of the U.S. Geological Survey. Geologic Names Committee. Geological Survey (U.S.), p. 45. https://doi.org/10.3133/70047747

Daneshian, J., Ramezani Dana, L., 2007. Erly Miocene benthic foraminifera and biostratigraphy of the Qom Formation, Deh Namak, Central Iran. Journal of Asian Earth Sciences 29, 844- 858. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2006.06.003

Khaksar, K., Maghfouri–Moghadam, I., 2007. Paleontological study of the echinoderms in the Qom Formation (Central Iran). Earth Sciences Research Journal 11, 57–79.

ISSN: 2717-0764

Mohammadi, E., 2021a. Foramniferal morphogroups of the Qom Formation in E Sirjan and SW Kashan: implication for paleoenvironmental and paleoecological interpretations. Iranian Journal of Petroleum Geology 20, 82-94.

Mohammadi, E., 2021b. Sedimentary facies and paleoenvironmental interpretation of the Oligocene larger-benthic-foraminifera-dominated Qom Formation in the northeastern margin of the Tethyan Seaway. Palaeoworld 30, 356-372. https://doi.org/10.1016/j.palwor.2020.06.005

Mohammadi, E., 2023. Foraminiferal biozonation, biostratigraphy and trans-basinal correlation of the Oligo-Miocene Qom Formation, Iran (NE Margin of the Tethyan Seaway). Palaeoworld 32, 156–173. https://doi.org/10.1016/j.palwor.2022.04.005

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. https://doi.org/ 10.1007/s13146-012-0120-7

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 and Evaporites 34, 1293–1306. https://doi.org/10.1007/s13146-017-0415-9

Mohammadi, E., M.R., Vaziri, 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. https://doi.org/ 10.1007/s12517-013-1136-6

Murphy, M.A., Salvador, A., 2000. International subcommission on stratigraphic classification of IUGS international commission on stratigraphy: international stratigraphic guide—an abridged version. GeoArabia 5, 231–266. https://doi.org/10.2113/geoarabia0502231

NACSN (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature), 2005. North American Stratigraphic Code. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 89, 1547–1591. https://doi.org/10.1306/07050504129

NACSN (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature), 2021. North American Stratigraphic Code. Stratigraphy 18, 153–204. https://doi.org/10.29041/strat.18.3.01

Rahimzadeh, F., 1994. Geology of Iran: Oligocene–Miocene, Pliocene. Geological Survey of Iran. Tehran, p. 311. (In Persian).

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. https://doi.org/10.1007/s00531-007-0269-9

Safari, A., Mohammadi, E., Ameri, H., 2014. Analysis of the Qom Formation microfacies and controlling factors on their deposition, Varkan area (Southwest of Kshan), Sanandaj-Sirjan fore arc basin. Paleontology 2, 187–204. (In Persian).

Staines, H.R.E., 1985. Field Geologist's Guide to Lithostratigraphic Nomenclature in Australia. Australian Journal of Earth Sciences 32, 83–106.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Mohammadi, E., 2023. Introducing the newly-established “Varkan Member” in SW Kashan as the oldest member of the Qom Formation. Adv. Appl. Geol. 13(1), 364-383
DOI : 10.22055/aag.2022.41562.2308
https://aag.scu.ac.ir/article18198.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

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

معرفی و پیشنهاد «عضو -جدید- ورکان» در جنوب غرب کاشان به‌عنوان قدیمی‌ترین عضو سازند قم

ابراهیم محمدی

استادیار، گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
emohammadi02@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

چکیده

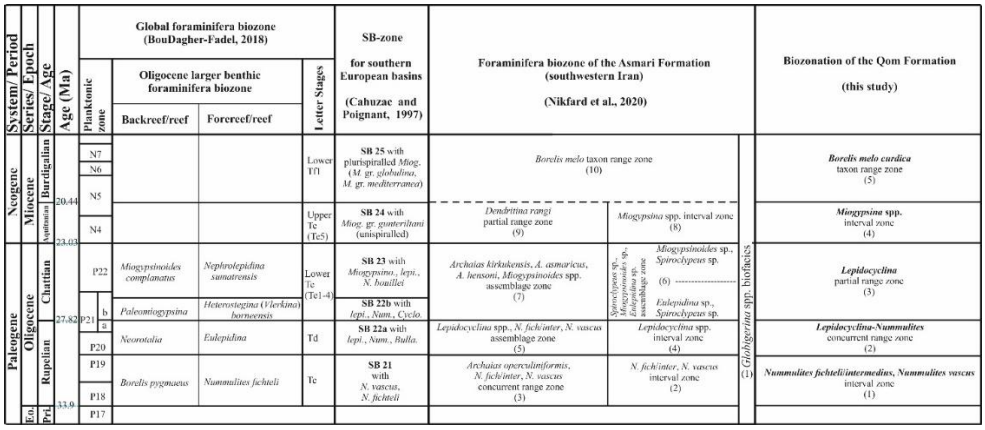
سازند قم (الیگوسن- میوسن پیشین) از توالی ضخیمی از مارن‌های دریایی، سنگ‌های کربناته، ژیپس و سیلیسی آواری تشکیل شده است. این سازند در سه حوضه رسوبی-ساختاری ایران مرکزی، ارومیه- دختر و سنندج-سیرجان نهشته شده است و تاکنون به ۱۱ عضو تقسیم شده بود. «عضو بی‌نام» که با فسیل‌های *Nummulites intermedius* و *Eulepidina* cf. *dilatata* مشخص می‌شود و به روپلین نسبت داده شده است، به‌عنوان قدیمی‌ترین عضو سازند قم معرفی شده بود. مطالعات اخیر نویسنده این مقاله، نهشته‌های روپلین را بر اساس اولین حضور لپیدوسیکلینیدها در روپلین پسین، به روپلین پیشین و روپلین پسین تقسیم نموده است. بر این اساس، عضو بی‌نام دارای سن روپلین پسین است. نهشته‌های روپلین پیشین سازند قم که با حضور *Nummulites* واقعی بدون لپیدوسیکلینیدها مشخص می‌گردند، صرفاً در مناطق جنوب غربی و جنوب کاشان یافت شده‌اند. نهشته‌های قاعده‌ای برش‌های سازند قم در جنوب غربی و جنوب کاشان (متشکل از مارن، سنگ‌آهک و آهک مارنی) از نظر سنگ‌شناسی به‌طور مشخصی متفاوت از عضو بی‌نام (تناوبی از مارن سیلتی، ماسه‌سنگ و آهک)، عضو a (آهک قاعده‌ای) و عضو b (مارن ماسه‌ای) سازند قم هستند. بنابراین، نهشته‌های مذکور به‌عنوان یک عضو جدید از سازند قم معرفی می‌شود و به‌عنوان «عضو ورکان» نام‌گذاری می‌گردد. بدین ترتیب، تعداد عضوهای سازند قم به ۱۲ عضو افزایش یافته و «عضو ورکان» (با ۱۰۸ متر ضخامت در برش ورکان)، به سن روپلین پیشین، به‌عنوان قدیمی‌ترین عضو سازند قم معرفی می‌گردد. «عضو ورکان» در برش‌های ورکان (جنوب غربی کاشان)، ویدوجا (جنوب غربی کاشان) و قهرود (جنوب کاشان) نیز حضور دارد.

کلمات کلیدی: *سازند قم، روپلین، Nummulites، «عضو ورکان».*

۱- مقدمه

سازند قم (به سن روپلین-بوردیگالین) از توالی ضخیمی از مارن‌های دریایی، سنگ‌های کربناته، ژیپس و سیلیسی آواری تشکیل شده (Reuter et al., 2009) و رسوب‌گذاری آن در سه حوضه‌ی پیش کمان سنندج- سیرجان، درون کمانی ارومیه- دختر و پس کمان ایران مرکزی صورت گرفته است (Mohammadi et al., 2013, 2015, 2019؛ Reuter et al., 2009). این سازند نشانگر آخرین پیشروی دریا در ایران میانی (بخش‌هایی از ایران که بین زمین‌درز تتیس جوان و زمین‌درز تتیس کهن قرار دارد) است (Rahimzadeh, 1994; Aghanabati, 2004; Daneshian and Ramezani Dana, 2007; Mohammadi et al., 2011, Mohammadi, 2020, 2023). این سازند قبلاً به ۱۱ عضو تقسیم می‌شد که به‌طور مختصر عبارت‌اند از: ۱) عضو بی‌نام (تناوبی از مارن سیلتی، ماسه‌سنگ و آهک) که با فسیل‌های *Nummulites intermedius* و *Eulepidina* cf. *dilatata* مشخص می‌شود و به روپلین نسبت داده شده است (که بر اساس Mohammadi (۲۰۲۳)، سن آن روپلین پسین است)؛ ۲) عضو a (آهک قاعده‌ای؛ شاتین)؛ ۳) عضو b (مارن ماسه‌ای؛ شاتین و آکیتانین)؛ ۴) عضو c1 (تناوب سنگ‌آهک و مارن؛ آکیتانین)؛ ۵) عضو c2 (شیل قرمز و خاکستری، ماسه‌سنگ، ژیپس؛ آکیتانین)؛ ۶) عضو c3 (سنگ‌آهک بریوزوئردار؛ آکیتانین)؛ ۷) عضو c4 (مارن سبز روشن تا زرد؛ آکیتانین)؛ ۸) عضو d (تبخیری؛ آکیتانین)؛ ۹) عضو e (مارن سبز؛ بوردیگالین)؛ ۱۰) عضو f (آهک پایانی؛ بوردیگالین)؛ ۱۱) عضو تبخیری نهایی (دارای آثار جانوری دریایی؛ بوردیگالین). مطالعات اخیر توسط Mohammadi (۲۰۲۳)، نهشته‌های روپلین را بر اساس اولین حضور لپیدوسیکلینیدها در روپلین پسین، به روپلین پیشین و روپلین پسین تقسیم نموده است (شکل ۱)، بر این اساس، عضو بی‌نام که قبلاً به‌عنوان قدیمی‌ترین عضو سازند قم شناخته

می‌شد و با فسیل‌های *Nummulites intermedius* و *Eulepidina* cf. *dilatata* مشخص می‌شد، دارای سن روپلین پسین است. Mohammadi (۲۰۲۳) نهشته‌های دارای *Nummulites* واقعی و فاقد لپیدوسیکلینیدها (قبل از ظهور لپیدوسیکلینیدها در دریای قم) را به روپلین پیشین نسبت داده است که در اینجا عمدتاً «عضو ورکان» نامیده می‌شوند. به بیان ساده، «عضو ورکان» (با سنگ‌شناسی مارن، سنگ‌آهک و آهک مارنی) ازنظر سنگ‌شناسی به‌طور مشخصی متفاوت از عضو بی‌نام (تناوبی از مارن سیلتی، ماسه‌سنگ و آهک)، عضو a (آهک قاعده‌ای) و عضو b (مارن ماسه‌ای) سازند قم است و قدیمی‌تر از تمامی عضوهای معرفی‌شده قبلی سازند قم است و دیگر عضوهای سازند قم عمدتاً در روپلین پسین و یا در سنین جوان‌تر (شاتین، آکیتانین، بوردیگالین) نهشته شده‌اند. لذا، هدف این مقاله ۱) معرفی و بررسی قدیمی‌ترین نهشته‌های سازند قم، ۲) بررسی گسترش زمانی و مکانی آن‌ها، و ۳) معرفی و پیشنهاد «عضو ورکان» از برش ورکان (جنوب غربی کاشان) به‌عنوان قدیمی‌ترین عضو سازند قم است.



شکل ۱- بیوزونبندی سازند قم و مطابقت آن با زون‌های منطقه‌ای و جهانی (Mohammadi, 2023).

Fig. 1. Biozonation of the Qom Formation and its correlation with regional and global zones (Mohammadi, 2023).

۲- مطالعات پیشین

مطالعات زمین‌شناسی بر روی سازند قم از حدود ۱۶۰ سال پیش (Loftus, 1855) آغاز شده است و بعد از کشف نفت در این سازند (در سال ۱۹۳۴) و خصوصاً در ۲۵ سال اخیر شتاب بیشتری به خود گرفته است. Loftus (۱۸۵۵)، برای اولین بار به وجود رسوبات الیگو- میوسن در حوضه ایران مرکزی اشاره نموده است. Stahl (۱۹۱۱)، اولین محققی است که رسوبات الیگو- میوسن را از ناحیه قم به‌صورت رسمی معرفی نموده است. Gansser (۱۹۵۵)، ضمن ارائه گزارشی در چهارمین گردهمایی جهانی نفت گام مؤثری در جهت شناخت چینه‌شناسی ایران مرکزی برداشت و نام سازند قم را مطرح نمود. Gansser (۱۹۵۵) و Furrer و Soder (۱۹۵۵)، در ناحیه قم، این سازند را به شش عضو (a، b، c، d، e و f) تقسیم کردند. Abaie و همکاران (۱۹۶۴)، عضو c را به چهار بخش (c_1- c_4) تقسیم کردند و بدین ترتیب تعداد عضوهای سازند قم به ۹ عضو افزایش یافت که با نشانه‌های a، b، c_1، c_2، c_3، c_4، d، e و f مشخص می‌شوند. Abaie و همکاران (۱۹۶۴)، یک عضو تبخیری به آخر رسوبات دریایی اضافه کردند، که سنگ پوش مخازن نفتی منطقه قم است. Bozorgnia (۱۹۶۶)، بر این باور است که جدا از عضوهای ده‌گانه، در ناحیه کاشان عضو قدیمی‌تری را می‌توان به سازند قم اضافه کرد که نامبرده «عضو نامشخص» یا «بی‌نام» را پیشنهاد کرده است. «عضو بی‌نام» که توسط Bozorgnia (۱۹۶۶) و همچنین در کتاب‌های زمین‌شناسی ایران به‌عنوان قدیمی‌ترین عضو سازند قم معرفی شده است با فسیل‌های *Nummulites intermedius* و *Eulepidina* cf. *dilatata* به سن روپلین از الیگوسن پیشین شناخته می‌شود (Rahimzadeh, 1994; Aghanabati, 2004). وضع مشابهی (با «عضو بی‌نام» را Sajadi Hazareh (۱۹۹۰) در منطقه‌ای بین نطنز تا اردستان گزارش کرده است. بدین ترتیب قبل از انتشار این مقاله سازند قم به ۱۱ عضو تقسیم شده است که مشخصات آن‌ها به تفکیک در ادامه ارائه خواهد شد.

۳- اعضای سازند قم

در ناحیهٔ قم، این سازند ۱۲۰۰ متر ضخامت دارد و دو مرز چینه‌شناسی مشخص در آن تشخیص داده شده است. بر اساس این مرزهای چینه‌شناسی این سازند را به سه بخش زیرین، میانی و بالایی تقسیم نموده‌اند. ویژگی‌های سنگی و زیستی عضوهای نه‌گانه آن به‌علاوه دو عضو پیشنهادی جدید، از پایین به بالا، به شرح زیر است (Darvishzadeh, 1991; Rahimzadeh, 1994; Aghanabati, 2004):

بخش زیرین: به ضخامت ۴۱۰ تا ۷۸۰ متر که از پایین به بالا شامل واحدهای زیر می‌باشد.

- «عضو بی‌نام»، ۲۰ تا ۳۰ متر، تناوبی از مارن سیلتی سُرخ و سبز، ماسه‌سنگ و آهک نازک دارای مرجان، میلیولید است که در نطنز ۴۸ متر ضخامت و فسیل *Nummulites intermedius* دارد. این عضو که قدیمی‌ترین بخش سازند قم است، با فسیل‌های *Eulepidina* cf. *dilatata* به سن روپلین مشخص می‌شود که قابل‌مقایسه با بخش زیرین آسماری در زاگرس است.

- «عضو a»، ۸۵ –۴۰ متر آهک‌های کلسی‌رودایت و کلکارنایت، قهوه‌ای رنگ، ضخیم لایه تا توده‌ای و تا اندازه‌ای ماسه‌ای است. میلیولیده، روتالیده، تکستولاریده، فسیل‌های این عضو است که چندان شاخص نیستند، ولی به خاطر موقعیت چینه‌شناسی، به سن شاتین شناخته می‌شوند.

- «عضو b»، صفر تا ۲۶۰ متر، مارن، مارن ماسه‌ای، ماسه‌سنگ کمی گلوکونیت‌دار و یک افق کنگلومرایی، با قطعات آتشفشانی، در بالا است. این عضو حاوی، *Miogypsina* sp.، *Miogypsinoides complanata*، *Rotalia viennotti*، *Globoquadrina* sp.، *Globorotalia opima opima* است. مرز بین الیگوسن و میوسن در بخش بالایی عضو b (مارن ماسه‌دار) قرار دارد. این واحد سنگی خصوصیات یکسانی در تمام منطقه دارد. گذر از این واحد به واحد زیرین و بالایی تدریجی است و عموماً باواسطه یک لایه ماسه‌سنگ‌آهکی انجام می‌گیرد.

- «عضو c_1»، ۲۰۰ تا ۳۶۰ متر، تناوبی از سنگ‌آهک‌های بایواسپارودایت، بایومیکرودایت و مارن است. در برخی نقاط مانند کوه دوبرادر، به‌طور محلی آهک ریفی نیز وجود دارد. از این عضو سنگواره‌هایی مانند *Miogypsina* sp.، *Globigerina prabulloides*، *Operculina* cf. *complanata*، *Anomalinella rostrata* گزارش شده ولی در بالاترین حد این عضو روزنه‌داران جای خود را به انواع لب‌شور می‌دهند. این واحد ضخیم‌ترین واحد بخش زیرین سازند قم می‌باشد و دارای تغییر رخساره جانبی زیادی است.

- «عضو c_2»، با رخسارهٔ نیمه‌خشکی، ۶ تا ۱۵۰ متر، شیل قرمز و خاکستری، ماسه‌سنگ، ژیپس و به‌طور محلی گدازه و لایه‌های آذرآواری است. این عضو، فقط حاوی استراکودهای آب‌های شیرین – لب‌شور می‌باشد. رسوبات شیلی قرمز و ژیپس نشانه‌ای از نخستین پس نشست دریای قم دانسته می‌شود. این رسوبات که آخرین واحد بخش زیرین سازند قم می‌باشد و بیانگر خاتمه اولین سیکل رسوبی منطقه است از رخساره خشکی و کولابی تشکیل گردیده است، Rahimzadeh (۱۹۹۴) ضخامت این عضو را ۲۰ تا ۸۰ متر بیان کرده است.

بخش میانی: این بخش دومین سیکل رسوبی سازند قم را در حوضه جنوبی قم تشکیل می‌دهد. ضخامت این سیکل بین صفر تا ۱۳۰ متر تغییر می‌کند و از سه واحد تشکیل گردیده است.

- «عضو c_3»، صفر تا ۸۰ متر، سنگ‌آهک بریوزوئردار (بایواسپارودایت و بایومیکرودایت) است که در پایهٔ آن لایه‌هایی از اائولیت وجود دارد و نشانگر آغاز دومین سیکل رسوبی سازند قم است. سنگواره‌هایی مانند *Eulepidina* sp.، *Nephrolepidina* sp.، *Amphistegina lessoni* نشانگر آشکوب آکیتانین و معادل آسماری میانی‌اند. این عضو توسط مرز مشخصی بر روی بخش زیرین سازند قم قرار می‌گیرد. در اغلب موارد یک افق آهک اائیتی به ضخامت حداکثر ۲ متر مابین این دو وجود دارد.

- «عضو c_4»، صفر تا ۱۰۰متر، مارن سبز روشن تا زرد است که گاهی به‌طور جانبی به شیل آهکی و آهک ریفی تبدیل می‌شود. انواع *Globigerina stainforthi*، *Globigerina praebulloides*، *G. triloba triloba*، *G. ouachitoensis ciperaensis* از سنگواره‌های این عضواند. گذر آهک بریوزوآدار به این واحد تدریجی است.

- «عضو d»، ۲۰ تا ۴۰ متر، ژیپس و کمی شیل قرمز است که فسیل ندارد و چرخهٔ رسوبی دوم قم را به پایان می‌برد. (این عضو حد آکیتانین – بوردیگالین است).

بخش فوقانی: این بخش که معرف سومین سیکل رسوبی در منطقه است، از سه عضو تشکیل شده است. یک زیر عضو

تبخیری نیز به‌طور محلی در آن مشاهده گردیده است.

- «عضو e»، ۸۰ تا ۶۵۰ متر، مارن سبز، با کمی ژیپس و کمی میان‌لایه‌های آهک‌رسی (کلکارنایت رسی) است. این واحد مارنی ضخیم‌ترین واحد مارنی سازند قم است که در حوضهٔ دریای باز نهشته شده و دارای *Globigerinoides triloba triloba*، *G. sacculifera*، *G. bisphaerica*، *Robulus vertex*، *Cibicides ungerianus*، *C. dutemplei* به سن بوردیگالین است. در این عضو لایه‌های ژیپس نیز مشاهده گردیده که دارای خصوصیات مشابهی با واحد سوم بخش میانی (یعنی عضو d) هستند.

- «عضو f»، ۱۸۰ تا ۳۲۰ متر، آخرین عضو آهکی سازند قم با گسترش محدود است و به شکل عدسی بزرگی به طول حدود ۲۰ کیلومتر رخنمون دارد. واحد آهک پایانی از کلسی-رودایت توده‌ای با طبقه‌بندی ضخیم به رنگ زرد، قهوه‌ای یا سفید تشکیل شده که دیواره‌های ریف را مشخص می‌نماید. ژیپس‌های شاه جمال یا کوه سفید ممکن است معرف نهشته‌های پشت ریفی این واحد نیز باشد. انـــواع *Borelis melo curdica*، *Peneroplis evolutus*، *Dendritina rangi*، *Acervulina* sp.، *Meandropsia anahensis*، *Archaias* sp. موجود، متعلق به بوردیگالین و نشانگر هم‌ارزی عضو f با آسماری بالایی است.

در جنوب شرق نبیل و جنوب دوبرادر (قزتختی)، این واحد تبدیل به میان لایه‌های کوچکی در داخل مارن بالایی می‌شود. در چنین حالتی نام‌گذاری این واحد به نام آهک پایانی صحیح نمی‌باشد. گذر از واحد مارن زیرین به این واحد آهکی تدریجی است. به‌طرف بالا واحد آهکی به‌تدریج و به‌واسطه طبقاتی به ضخامت چند متر از مارن و ماسه‌سنگ رنگارنگ تبدیل به رسوبات سازند قرمز بالایی می‌شود (کوه سفید، کمر کوه و یزدان). در نرداقی کنگلومرایی با قطعات آهکی نئوژن پایانی به‌طور دگرشیب بر روی این واحد آهکی قرار گرفته است.

- «عضو تبخیری نهایی»، به عضوهای گفته‌شده باید عضو تبخیری نهایی را اضافه کرد که خاتمهٔ پیشروی دریا را نشان می‌دهد. این واحد از ژیپس با ناخالصی‌های مارنی تشکیل گردیده است. Abaie و همکاران (۱۹۶۴) به دلیل وجود آثار جانوری پلانکتون، منشأ دریایی برای این تبخیری‌ها پیشنهاد کرده‌اند.

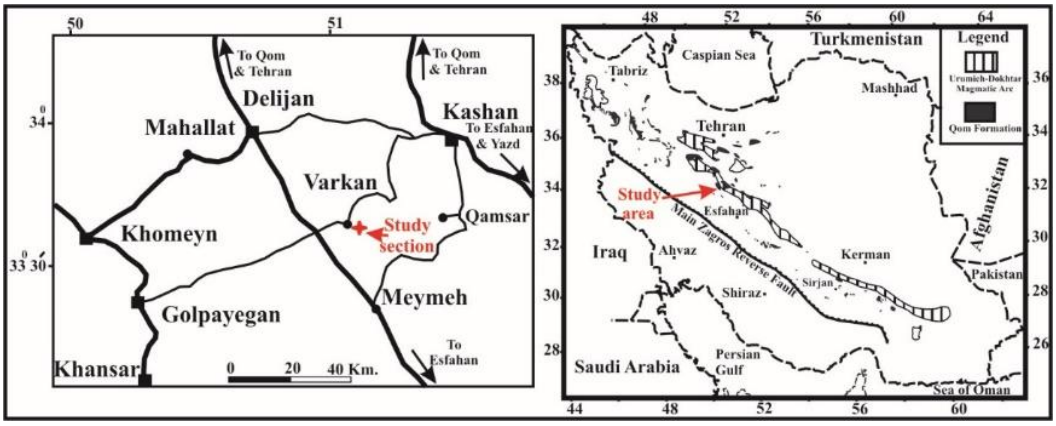
۴- بحث

Mohammadi (۲۰۲۳) با بررسی ۱) داده‌های زیست چینه نگاری ۱۰ برش چینه شناختی از سازند قم، ۲) بررسی زیست‌چینه‌شناختی جنوب شرقی‌ترین برش‌های سازند قم در شمال غربی دریاچه جازموریان، ۳) بررسی داده‌های زیست‌چینه‌شناختی مطالعات معتبر قبلی بر روی سازند قم، و ۴) بررسی گستره زمانی فرامینیفرهای شاخص در سازندهای قم و آسماری، بیوزوناسیونی رسمی متشکل از ۵ زون زیستی برای تعیین سن نهشته‌های سازند قم پیشنهاد نموده است و همچنین نهشته‌های روپلین را به روپلین پیشین و پسین (براساس اولین ظهور لپیدوسیکلینیدها در مورد دوم) تقسیم نموده‌اند (شکل ۱). مطالعات ایشان نشان داد که قدیمی‌ترین نهشته‌های سازند قم (به سن روپلین پیشین) از جنوب و جنوب غربی کاشان گزارش شده‌اند و تمام نهشته‌های منتسب به روپلین پیشین، که قبل از ظهور لپیدوسیکلینیدها نهشته شده‌اند، قدیمی‌تر از «عضو بی‌نام»، که با فسیل‌های *Eulepidina* cf. *dilatata* مشخص می‌شود، هستند. لذا نهشته‌های روپلین پیشین به‌عنوان قدیمی‌ترین نهشته‌های سازند قم شناخته می‌شوند و ازنظر سنگ‌شناسی با عضوهای قدیمی سازند قم (عضوهای بی‌نام، a و b) متفاوت است. با توجه به ضخامت قابل‌توجه در برش ورکان و اینکه نظم چینه‌ای این نهشته‌ها در برش ورکان بیشتر می‌باشد، قدیمی‌ترین نهشته‌های سازند قم به‌عنوان «عضو ورکان» نام‌گذاری شده است و برش ورکان به‌عنوان برش الگوی این عضو معرفی می‌گردد. مهم‌ترین مشخصات «عضو ورکان» در ادامه موردبحث و بررسی قرار خواهد گرفت. لازم به ذکر است که زیست چینه نگاری برش ورکان در Mohammadi و همکاران (۲۰۱۵) و Mohammadi (۲۰۲۳) بررسی شده است، ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی این برش در Safari و همکاران (۲۰۱۴) و Mohammadi (۲۰۲۱b)، گروه‌های شکلی فرامینیفرهای این برش در Mohammadi (۲۰۲۱a) موردبررسی قرار گرفته است.

۴-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به برش ورکان

برش ورکان در ۷۵ کیلومتری جنوب غرب کاشان (۵ کیلومتری جنوب شرق روستای ورکان و در شرق روستای پنداس) واقع شده است (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). این برش (با ۱۹۰ متر

ضخامت؛ شکل ۶) دارای مختصات جغرافیایی ۲۹´۴۱°۳۳ عرض شمالی و ۵۴´۴°۵۱ طول شرقی بوده و بر اساس مطالعات Reuter و همکاران (۲۰۰۹) و Mohammadi و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه پیش کمان اصفهان-سیرجان واقع شده است (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۷). این برش از طریق جاده اصفهان-دلیجان و همچنین جاده کاشان-گلپایگان قابل‌دسترس می‌باشد. (شکل‌های ۲ و ۸).



شکل ۲- سمت راست: موقعیت ناحیه ورکان در نقشه ایران و حوضه پیش کمان اصفهان-سیرجان (از Mohammadi et al., 2013)، سمت چپ: موقعیت برش ورکان در جنوب غرب کاشان و راه‌های دسترسی به آن (INCC, 2009).

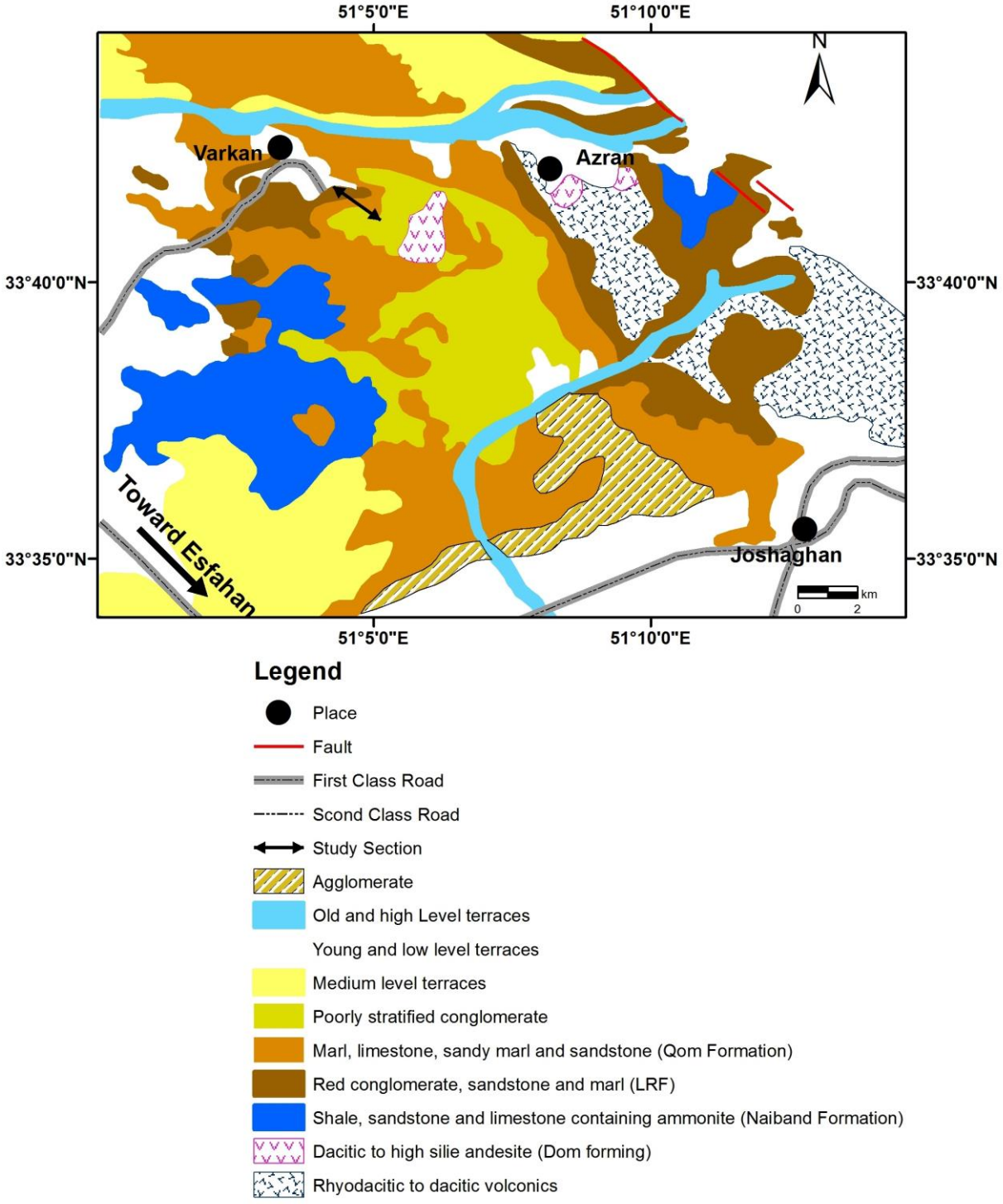
Fig. 2. Right: a map of Iran showing the location of the Varkan section, as well as the distribution of the Qom Formation and Uromieh–Dokhtar magmatic arc (after Mohammadi et al., 2013); Left: Location and road maps of the Varkan section (INCC, 2009).

۴-۲- سنگ‌شناسی برش ورکان و «عضو ورکان»

سازند قم در ناحیه‌ی ورکان ۱۹۰ متر ضخامت داشته و ازنظر سنگ‌شناسی عمدتاً شامل سنگ‌آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای، آهک مارنی و مارن می‌باشد. نهشته‌های روپلین پیشین در برش ورکان ۱۴۵ متر ضخامت دارد و «عضو ورکان» شامل ۱۰۸ متر پایینی این برش است. این سازند با ناپیوستگی بر روی کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز زیرین قرار گرفته و در انتها توسط یک کنگلومرای پلی میکتیک متعلق به پلیوسن پوشیده شده است (شکل‌های ۳، ۴ و ۶). بر اساس مشاهدات صحرایی، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و خصوصیات ماکروسکوپی از قبیل رنگ و تغییر ضخامت این سازند در ناحیه موردمطالعه، از پایین به سمت بالا به واحدهای سنگ چینه‌ای غیررسمی زیر قابل‌تقسیم است:

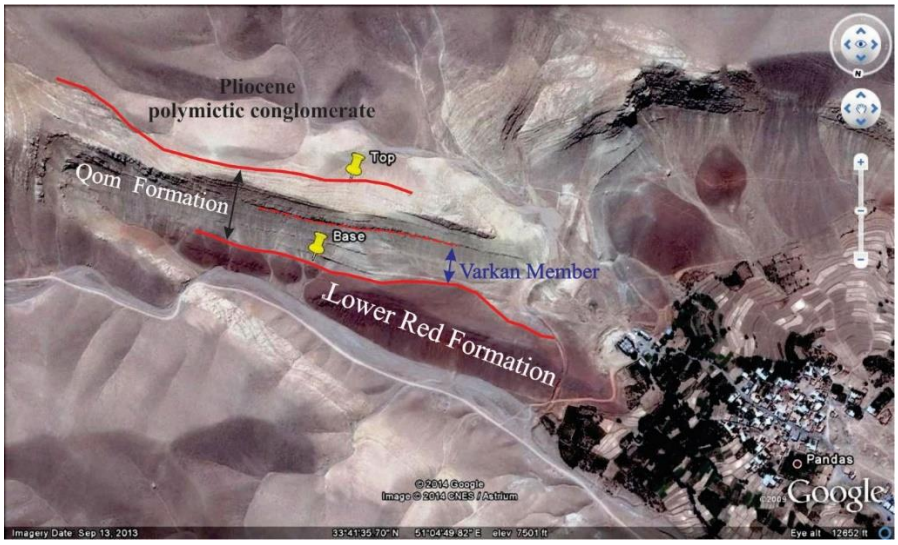
a) برش ورکان در قاعده دارای ۱۵ متر مارن با رنگ متمایل به سبز است؛ b) در ادامه شامل ۱۲ متر آهک‌های مارنی و ماسه‌ای متوسط تا ضخیم لایه، مارن و کنگلومرا است. آهک‌ها به رنگ خاکستری روشن می‌باشند؛ c) به سمت بالا شامل ۱۵ متر از مارن‌های رنگ زرد تا زرد متمایل به سبز است؛ d) برش ورکان در ادامه دارای حدوداً ۶۶ متر آهک‌های نازک، تا ضخیم لایه، آهک مارنی و دو افق مارنی است. رنگ این آهک‌ها از خاکستری روشن تا خاکستری تیره متغیر است. اکثر لایه‌های آهک مارنی و آهکی این واحد کم مقاوم و خردشونده هستند. تمام واحدهای قبلی به نام «عضو ورکان» معرفی می‌گردد و متعلق به روپلین پیشین هستند. به‌عبارت‌دیگر «عضو ورکان» تمامی لایه‌های پایینی این برش (به ضخامت ۱۰۸ متر) و واقع در زیر آهک‌های صخره‌ساز بالایی را شامل می‌شود. و e) واحد آهکی بالایی شامل حدوداً ۸۲ متر آهک‌های نازک، متوسط، ضخیم لایه و توده‌ای است. این واحد بر روی «عضو ورکان» قرار گرفته است و معادل آهک‌های عضو a سازند قم هستند. رنگ این آهک‌ها از خاکستری روشن تا خاکستری تیره متغیر است یک افق مارنی در ضخامت ۱۴۵ متری و دقیقاً در زیر در مرز روپلین پیشین/روپلین پسین در این بخش از توالی وجود دارد.

«عضو ورکان» که ۱۰۸ متر پایینی برش را شامل می‌گردد، از قاعده برش تا زیر آهک‌های صخره‌ساز بالایی را شامل می‌گردد (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).



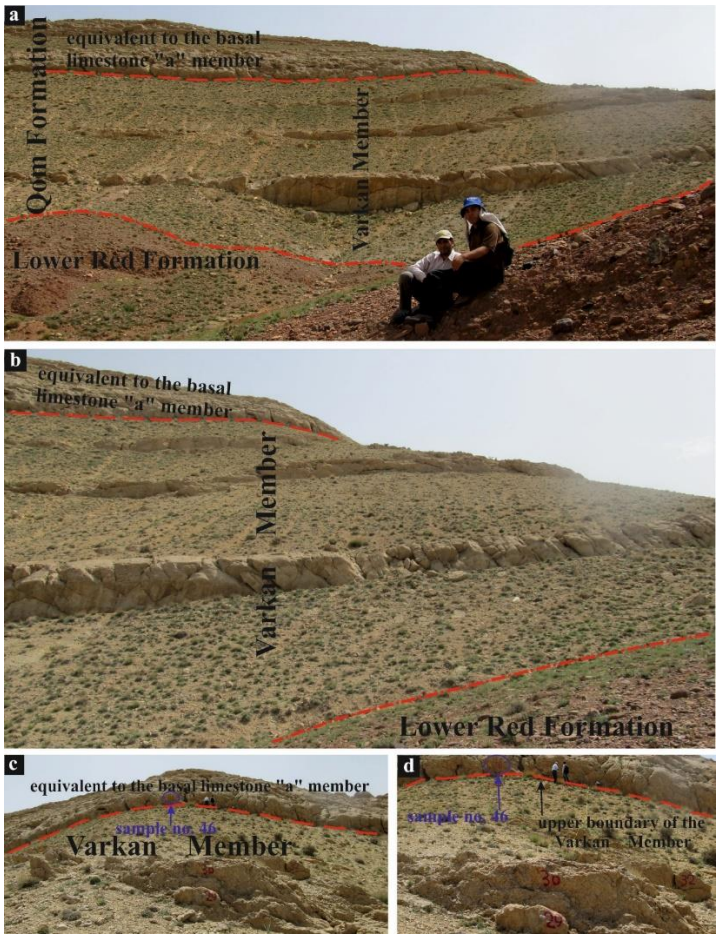
شکل ۳- بخش از نقشه زمین‌شناسی کاشان که در آن موقعیت برش ورکان نشان داده شده است (Zahedi and Amidi, 1991).

Fig. 3. Part of the geological map of Kashan, showing the location of Verkan section (Zahedi and Amidi, 1991).



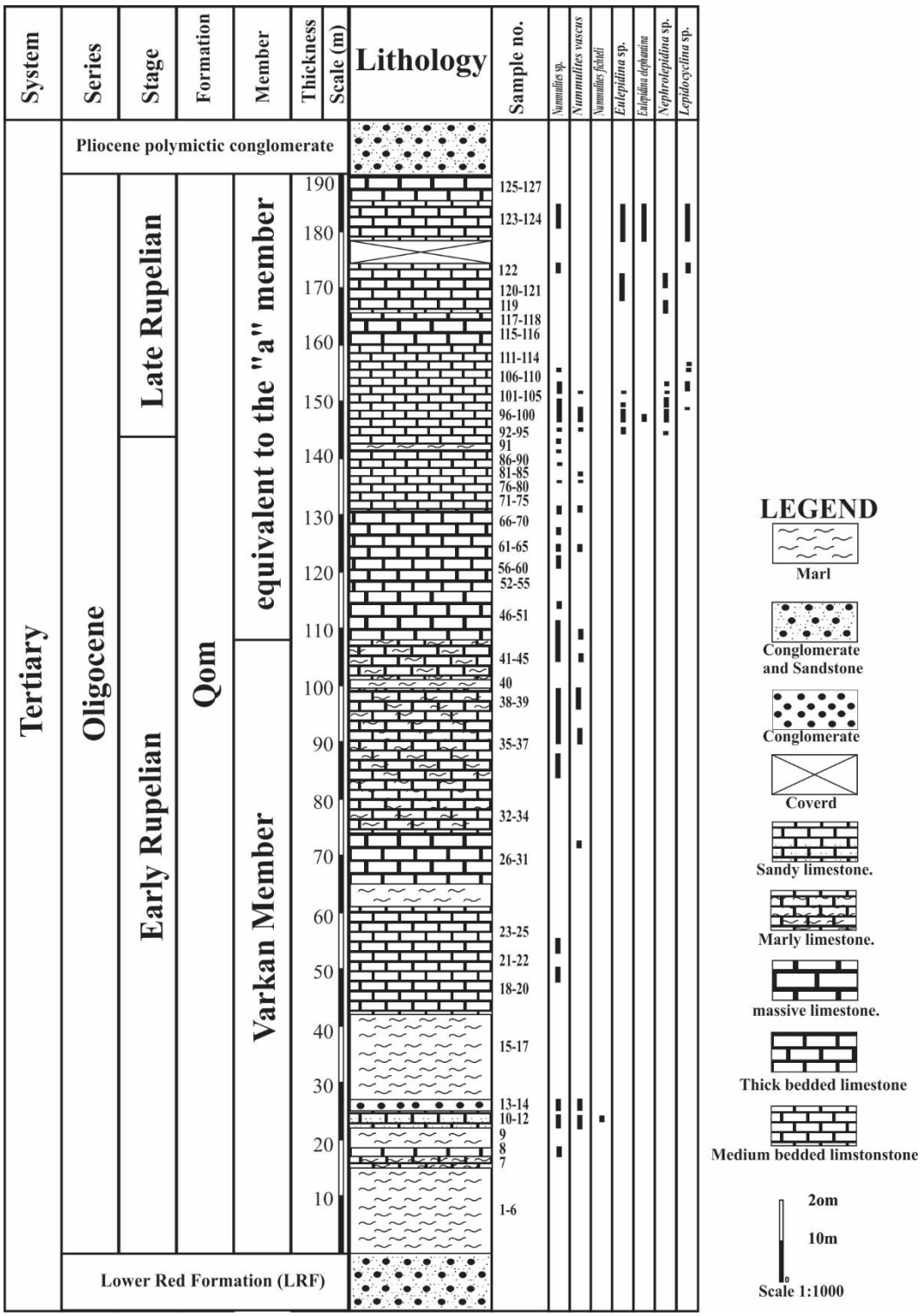
شکل ۴- عکس هوایی برش ورکان و «عضو ورکان» (www.googleearth.com).

Fig. 4. Satellite image of the Varkan section and "Varkan Member" (www.googleearth.com).



شکل ۵- تصاویر صحرایی دور، نزدیک و خیلی نزدیک از «عضو ورکان» و مرزهای پایینی و بالایی آن در برش ورکان (جنوب غربی کاشان).

Fig. 5. Panoramic, close and very close outcrop views of the "Varkan Member" and its lower and upper boundaries in the Varkan section (SW Kashan).



شکل ۶- ستون چینه‌شناسی «عضو ورکان» در برش ورکان همراه با پراکندگی عمودی فرامینیفرهای شاخص (با تغییرات از Mohammadi et al., 2015).

Fig. 6. Lithostratigraphic column of the “Varkan Member” in the Varkan section (SW Kashan) and vertical distribiotion of the key LBF (after Mohammadi et al., 2015).

۴-۳- برش الگو، محل الگو و ناحیه الگو «عضو ورکان»

برش ورکان واقع در ۵ کیلومتری جنوب شرق روستای ورکان و در شرق روستای پنداس به‌عنوان برش الگوی «عضو ورکان» معرفی می‌گردد. برش الگو همیشه ثابت بوده و قابل‌تغییر نیست.

شرق روستای پنداس به‌عنوان محل الگوی «عضو ورکان» در نظر گرفته می‌شود.

ناحیه ورکان نیز به‌عنوان ناحیه الگوی «عضو ورکان» معرفی می‌گردد.

۴-۴- وجه تسمیه

واحدهای رسمی سنگ‌چینه‌شناختی شامل گروه، سازند (واحد اصلی سنگ‌چینه‌شناختی)، عضو، و لایه است (Cohee, 1974; Staines, 1985). لذا ذکر عباراتی همچون زیرعضو/زیربخش (به‌عنوان‌مثال: زیرعضوهای c1، c2، c3 و c4 سازند قم) غیررسمی بوده و استفاده از آن‌ها پیشنهاد نمی‌گردد. مطابق Cohee (۱۹۷۴) و Staines (۱۹۸۵) نام واحدهای سنگ‌چینه‌شناختی باید یک اسم دوکلمه‌ای باشد که در زبان انگلیسی کلمه اول شامل یک نام جغرافیایی (به‌عنوان‌مثال: ورکان) و کلمه دوم شامل مشخصه سنگ‌شناختی (به‌عنوان‌مثال: عبارت «آهک» در آهک بهرام) یا مرتبه صحیح واحد سنگ‌چینه‌شناختی (به‌عنوان‌مثال: عضو) است (Cohee, 1974; Staines, 1985). ترتیب ارائه این دو کلمه در زبان فارسی برعکس می‌گردد. نام‌های جغرافیایی باید از عارضه‌های طبیعی یا مصنوعی دائمی که واحد چینه‌شناسی در آن یا در نزدیکی آن‌ها وجود دارد مشتق شود. نام‌های کوتاه بر نام‌های بلند یا مرکب ارجحیت دارند. نام واحد چینه‌شناسی باید دقیقاً با نام عارضه جغرافیایی که واحد بر اساس آن نام‌گذاری شده است، یکسان باشد (Murphy and Salvador, 2000). نام جغرافیایی باید شامل نام رودخانه، شهر، یا دیگر عوارض طبیعی یا مصنوعی در محل یا در نزدیکی محل گسترش آن واحد باشد (Cohee, 1974; Staines, 1985). نام‌هایی که از منابع قابل‌تغییری همچون نام مزارع یا باغات، کلیساها/مساجد، مدارس، چهارراه‌ها و جوامع کوچک مشتق شده‌اند، چندان مناسب نیستند، اما درصورتی‌که موارد دیگری در دسترس نباشد، قابل‌قبول هستند (Cohee, 1974). نام سازندها یا سایر واحدهای سنگی مهم را می‌توان از نام‌هایی که در یک اطلس معمولی، یا در نقشه‌های ایالتی یا استانی، شهرستانی، توپوگرافی یا نقشه‌های مشابه یافت می‌شود، انتخاب نمود (Cohee, 1974). اصطلاحات «پایینی»، «میانی» و «بالایی» نباید برای زیرتقسیمات رسمی واحدهای سنگ‌چینه‌شناختی استفاده شود (Murphy and Salvador, 2000). مرزهای واحدهای سنگ چینه‌شناسی در محل‌های تغییر سنگ‌شناسی یا به‌طور دلخواه در پهنه‌های گذار عمودی یا جانبی سنگ‌شناسی یا به‌صورت زبانه‌ای (intertonguing) قرار می‌گیرند. مرزهای واحدهای سنگ‌چینه‌شناختی معمولاً سطوح زمانی، محدوده‌های گستره فسیل‌ها، و مرزهای انواع دیگرِ واحدهای چینه‌شناختی را قطع می‌کنند (Murphy and Salvador, 2000).

«عضو» یک واحد سنگ‌چینه‌شناختی رسمی در رتبه بعدی و پایین‌تر از سازند است و همیشه بخشی از سازند است. لزومی ندارد یک عضو (چه به‌صورت رسمی و چه غیررسمی تعیین شده باشد)، در مقیاس موردنیاز برای سازند، قابل نقشه‌برداری باشد (NACSN, 2005, 2021). نام همه عضوها شامل یک اصطلاح جغرافیایی و کلمه «عضو» است (NACSN, 2005, 2021). به‌عبارت‌دیگر، نام یک عضو، ترکیبی از یک اصطلاح جغرافیایی است که با عبارت «عضو» دنبال می‌گردد (Cohee, 1974). با در نظر گرفتن نکات و اصول فوق‌الذکر، نام جغرافیایی این عضوِ جدیدِ سازند قم از روستای «ورکان» که بزرگ‌ترین روستای نزدیک به برش بوده و در نقشه‌های معمولی راه‌های کشوری نیز یافت می‌شود (شکل ۸)، اقتباس شده است و با عنوان «عضو ورکان» معرفی می‌گردد.

۴-۵- مهم‌ترین مشخصه‌های «عضو ورکان» و برش ورکان

۴-۵-۱- سن «عضو ورکان»

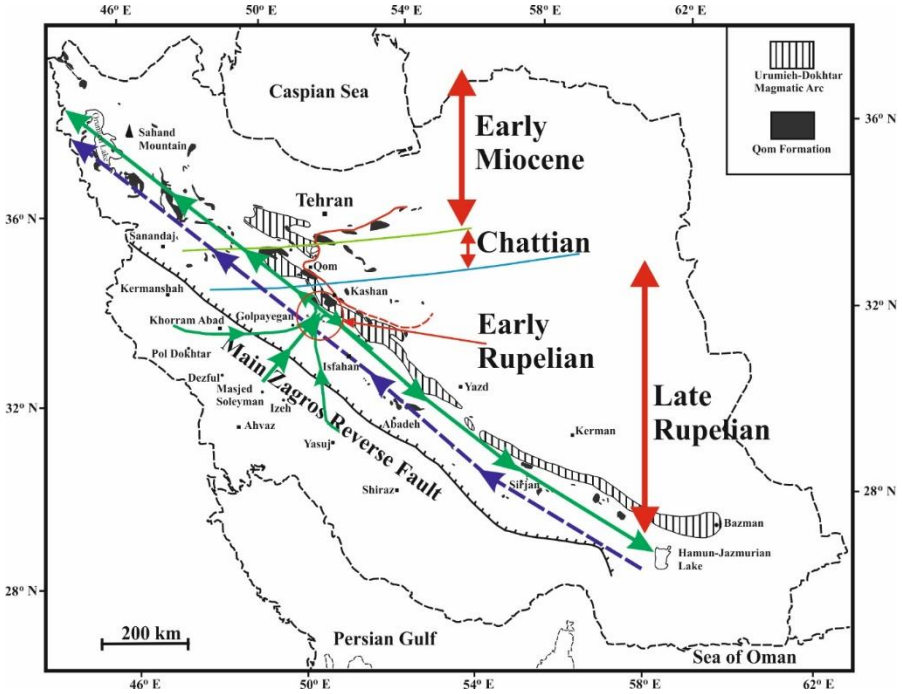
نهشته‌های روپلین پیشین سازند قم که با حضور *Nummulites* واقعی بدون لپیدوسیکلینیدها مشخص می‌گردند صرفاً در مناطق جنوب و جنوب غربی کاشان یافت شده‌اند (شکل ۷). «عضو ورکان» (در برش‌های موردبحث) دارای سن روپلین پیشین است که قدیمی‌ترین سن نسبت داده شده به نهشته‌های سازند قم است، لذا این عضو به‌عنوان قدیمی‌ترین عضو سازند قم شناخته می‌شود (شکل ۶). بااین‌حال، با توجه به دیاکرونوس (دو زمانه) بودن واحدهای سنگ‌چینه‌شناختی، بعید نیست که سن «عضو ورکان» در برش‌های احتمالی دیگر، تا روپلین پسین نیز توسعه یابد.

۴-۵-۲- مرز بالا و پایین

«عضو ورکان» در پایین بر روی سازند قرمز زیرین قرار گرفته است و مرز بالایی آن در ضخامت ۱۰۸ متری و در حدفاصل آهک‌های مارنی و آهک‌های صخره‌ساز قرار دارد. به‌عبارت‌دیگر، نمونه شماره ۴۵ از رأس «عضو ورکان» و نمونه شماره ۴۶ از قاعده واحد آهکی بالایی (معادل آهک‌های عضو a) برداشت شده است (شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶).

۴-۵-۳- اتفاقات زیستی

مهم‌ترین اتفاق زیستی، ظهور *Nummulites fichteli/intermedius* و/یا *Nummulites vascus* در توالی‌های مربوطه می‌باشد که بدون همراهی لپیدوسیکلینیدها در لایه‌های این عضو دیده می‌شوند (شکل ۹).



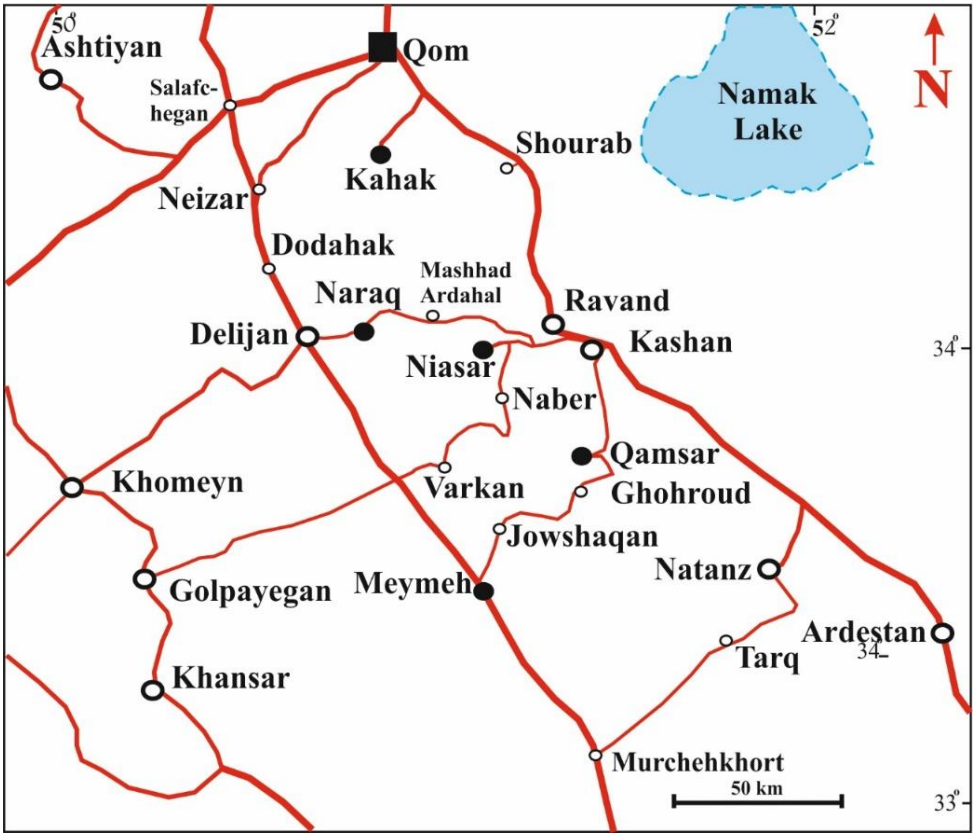
شکل ۷- پراکندگی جغرافیایی نهشته‌های روپلین پیشین سازند قم در جنوب و جنوب غربی کاشان و همچنین سناریوهای پیشنهادی برای پیشروی دریای قم (Mohammadi, 2023).

Fig. 7. Geographical distribution of the early Rupelian deposits of the Qom Formation in SW and S Kashan, as well as the proposed scenarios to show the Tethyan Seaway transgression over the Iranian Plate (Mohammadi, 2023).

۴-۵-۴- ضخامت نهشته‌های روپلین در برش‌های دارای «عضو ورکان»

نهشته‌های روپلین پیشین با ضخامت ۱۴۵، ۱۳۲ و ۱۲۰ متر (به ترتیب) از برش‌های ورکان، ویدوجا و قهرود گزارش شده است. مجموع ضخامت نهشته‌های روپلین (شامل روپلین پیشین و پسین) در برش‌های مذکور از دیگر برش‌های سازند قم بیشتر است. بطوریکه ضخامت نهشته‌های روپلین در برش‌های ورکان، قهرود و ویدوجا به ترتیب ۱۹۰، ۱۸۵، ۴۱۰ متر است. قطعاً یکی از مهم‌ترین دلایل ضخامت زیادتر نهشته‌های روپلین در این برش‌ها نسبت به دیگر برش‌های سازند قم، بازه زمانی طولانی‌تر جهت رسوب‌گذاری است، البته نقش فرونشست کف حوضه نیز قطعاً از اهمیت زیادی برخوردار بوده که همواره فضای جدیدی برای رسوب‌گذاری فراهم می‌نموده است. لازم به ذکر است که Raziee (۲۰۰۴) ضخامت نهشته‌های روپلین را در برش دره (جنوب کاشان) ۲۲۸ متر و در برش آرنجن (جنوب شرقی روستای ورکان و در ۷۰ کیلومتری جنوب غرب کاشان) ۱۵۰ متر اندازه‌گیری نموده است. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۱) و Mohammadi (۲۰۲۳) نیز ضخامت نهشته‌های

روپلین برش جزه (جنوب کاشان) را ۲۰۱ متر اندازه‌گیری نموده‌اند. جالب‌توجه است که هر سه برش جزه، دره و آرنجن در منطقه جنوب و جنوب غربی کاشان واقع شده‌اند که قدیمی‌ترین نهشته‌های سازند قم («عضو ورکان») به سن روپلین پیشین (Mohammadi, 2023) از آنجا گزارش شده است. «عضو ورکان» با ضخامت ۱۰۸ و ۱۲۰ متر (به ترتیب) از برش‌های ورکان و ویدوجا گزارش شده است (شکل ۱۰). ۱۲۰ متر از نهشته‌های قاعده‌ای برش قهرود نیز متعلق به روپلین پیشین است ولی علیرغم اینکه واحدهای مذکور به لحاظ زمانی (سنی) معادل عضو ورکان هستند ولی به دلیل وجود همراهان آذرآواری و لیتولوژی عمدتاً آهکی، این توالی‌ها تا حدودی با «عضو ورکان» در برش الگو متفاوت هستند (Mohammadi, 2023). ۵۷ متر قاعده‌ای برش جزه (جنوب کاشان) نیز با لیتولوژی عمدتاً شیل/مارن، آهک و آهک مارنی قابل‌مقایسه با «عضو ورکان» در برش الگو است ولی ازآنجاکه ضخامت زیادی (حدوداً ۱۰۰ متر) از لایه‌های پایینی این برش در محیط‌های لاگونی نهشته شده است (Mohammadi et al., 2011; Mohammadi, 2023) که شرایط اکولوژیکی جهت حضور فسیل‌های شاخص روپلین پیشین (*Nummulites fichteli/intermedius* و/یا *Nummulites vascus*) فراهم نبوده است لذا امکان تفکیک آن به روپلین پیشین و پسین فراهم نیست. سپس با فراهم شدن شرایط دریای باز، اولین حضور *Nummulites* در برش جزه با لپیدوسیکلینیدها همراه می‌گردد که نشانه روپلین پسین است. ولی مطالعات دقیق‌تر بعدی بر روی برش‌های دره و آرنجن ممکن است حضور نهشته‌های روپلین پیشین را اثبات نماید.



شکل ۸- موقعیت جغرافیای منطقه کاشان به‌منظور نمایش موقعیت جغرافیای برش‌های مذکور در بخش پراکندگی جغرافیاییِ «عضو ورکان» (INCC, 2009).

Fig. 8. Geographical situation of Kashan region to show the geographical location of the sections mentioned in the chapter geographical distribution of the "Varkan Member" (INCC, 2009).

۴-۵-۵- ریزرخساره‌ها

ریزرخساره پکستون دارای *Neorotalia* (*Neorotalia packstone*) با بیش از ۵ متر ضخامت در لایه‌های بالایی روپلین پیشین (در بخش پایینی آهک‌های معادل عضو a) در برش ورکان دیده شده است (Safari et al., 2014; Mohammadi, 2021b) (شکل ۹). این ریزرخساره قبلاً از نهشته‌های دریایی الیگو-میوسن ایران (سازندهای قم و آسماری)، گزارش نشده است، به‌عبارت‌دیگر اگر هم وجود داشته، محققان آن را با رخساره‌های دیگر (از قبیل پرفریت فرامینیفرا پکستون) تلفیق نموده‌اند. همچنین این ریزرخساره معادل جهانی ندارد یا در منابع معتبر کمتر به آن پرداخته شده است. مهم‌ترین عناصر تشکیل‌دهنده این ریزرخساره *Neorotalia* می‌باشد. فرامینیفرهای دارای دیواره هیالین مانند *Amphistegina* و *Operculina*، قطعات جلبک و خارپوست عناصر فرعی این ریزرخساره را تشکیل می‌دهند و به‌صورت پراکنده وجود دارند. به دلیل کم بودن منابع درباره محیط رسوبی و پالئواکولوژی *Neorotalia*، تفسیر آن با راهنمایی متخصصینی چون Hallock، Brandano، Pomar، Racey، Bassi، Renema و Mateu-Vicen انجام شد. بر آن اساس *Neorotalia* در محیط‌های با نور بالا تا نور کم، کم‌عمق، نسبتاً محصور تا رمپ/شلف میانی تا احتمالاً دور، با انرژی متوسط تا بالا و غنی از مواد مغذی زندگی می‌کند. حضور قطعات جلبک و خارپوست، تفوق *Neorotalia*، عدم وجود تاکسون‌های آب‌های کم‌عمق شلف/رمپ داخلی، و موقعیت آن در توالی بیانگر نهشته شدن این ریز رخساره در شلف/رمپ میانی می‌باشد (Safari et al., 2014; Mohammadi, 2021b).

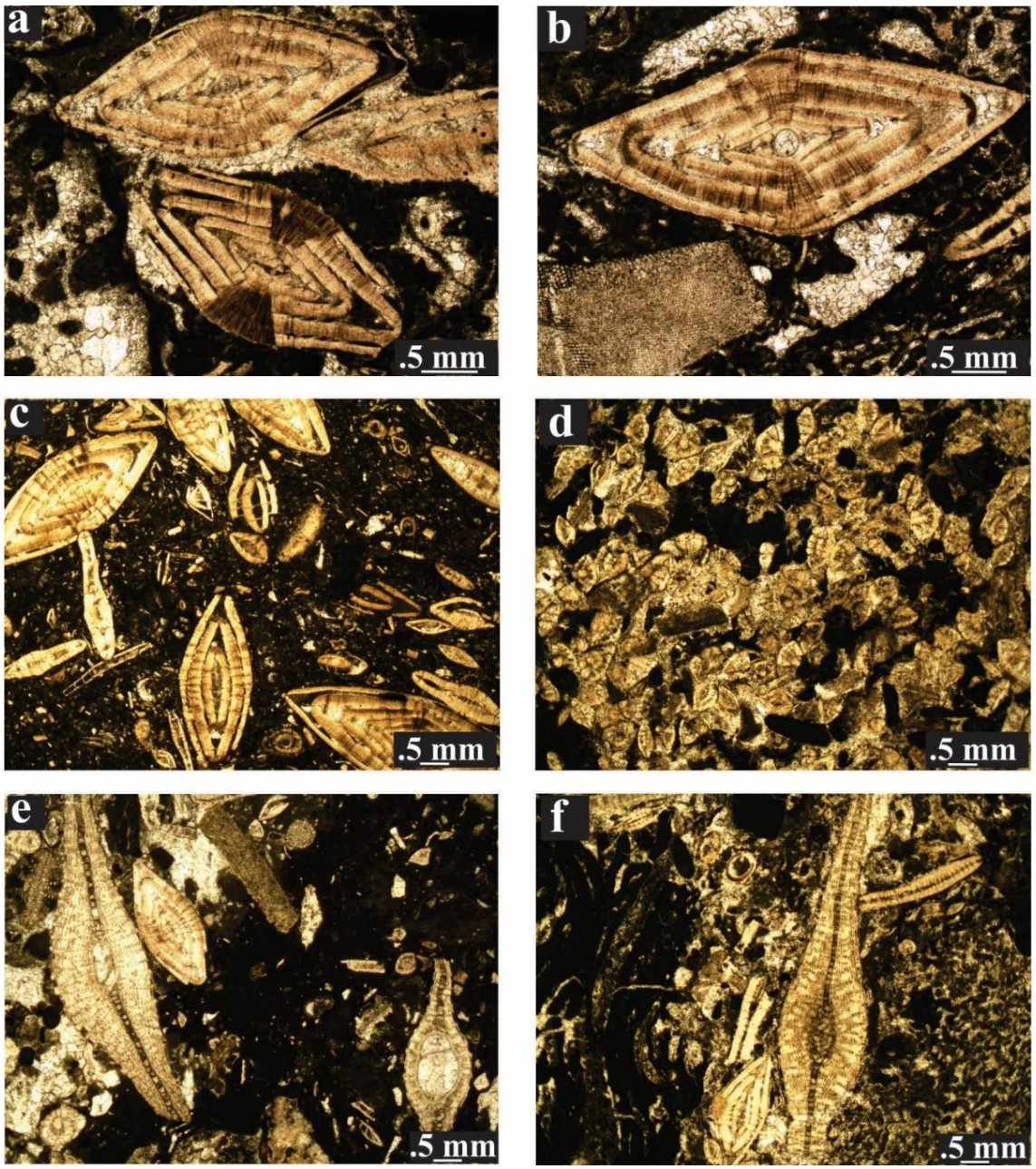
۴-۶- «عضو ورکان» در دیگر برش‌های سازند قم

در برش ویدوجا ۱۲۰ متر قاعده‌ای معادل «عضو ورکان» می‌باشند. همان‌طور که گفته شد، ۱۲۰ متر از نهشته‌های قاعده‌ای برش قهرود نیز به لحاظ زمانی (سنی) معادل عضو ورکان هستند ولی به لحاظ سنگ‌شناسی تا حدودی با «عضو ورکان» در برش الگو متفاوت است. واحدهای منتسب به روپلین پیشین در برش ویدوجا شباهت بیشتری به «عضو ورکان» در برش ورکان داشته و شامل تناوبی از آهک‌های عمدتاً متوسط، ضخیم لایه و توده‌ای، شیل و مارن است، به عبارت دقیق‌تر بخش‌های قاعده‌ای عمدتاً شامل تناوب شیل‌های لاگونی و آهک است ولی به سمت بالا تناوب مارن‌های نسبتاً عمیق و آهک دیده می‌شود (شکل ۱۰) و مرز بالایی روپلین پیشین در این برش بر روی آخرین واحد مارنی می‌باشد (شکل ۱۰). در برش قهرود، لیتولوژی واحدهای معادلِ (زمانیِ) «عضو ورکان» عمدتاً آهکی بوده و عمدتاً از آهک‌های متوسط، ضخیم لایه و توده‌ای تشکیل شده است (Mohammadi et al., 2013). این توالی دارای میان لایه‌هایی از سنگ‌های ولکانیکی نیز هست (Dehghan et al., 2010). ۵۷ متر قاعده‌ای برش جزه (جنوب کاشان) نیز با لیتولوژی عمدتاً شیل/مارن، آهک و آهک مارنی قابل‌مقایسه با «عضو ورکان» در برش الگو است.

۴-۷- پراکندگی جغرافیایی «عضو ورکان»

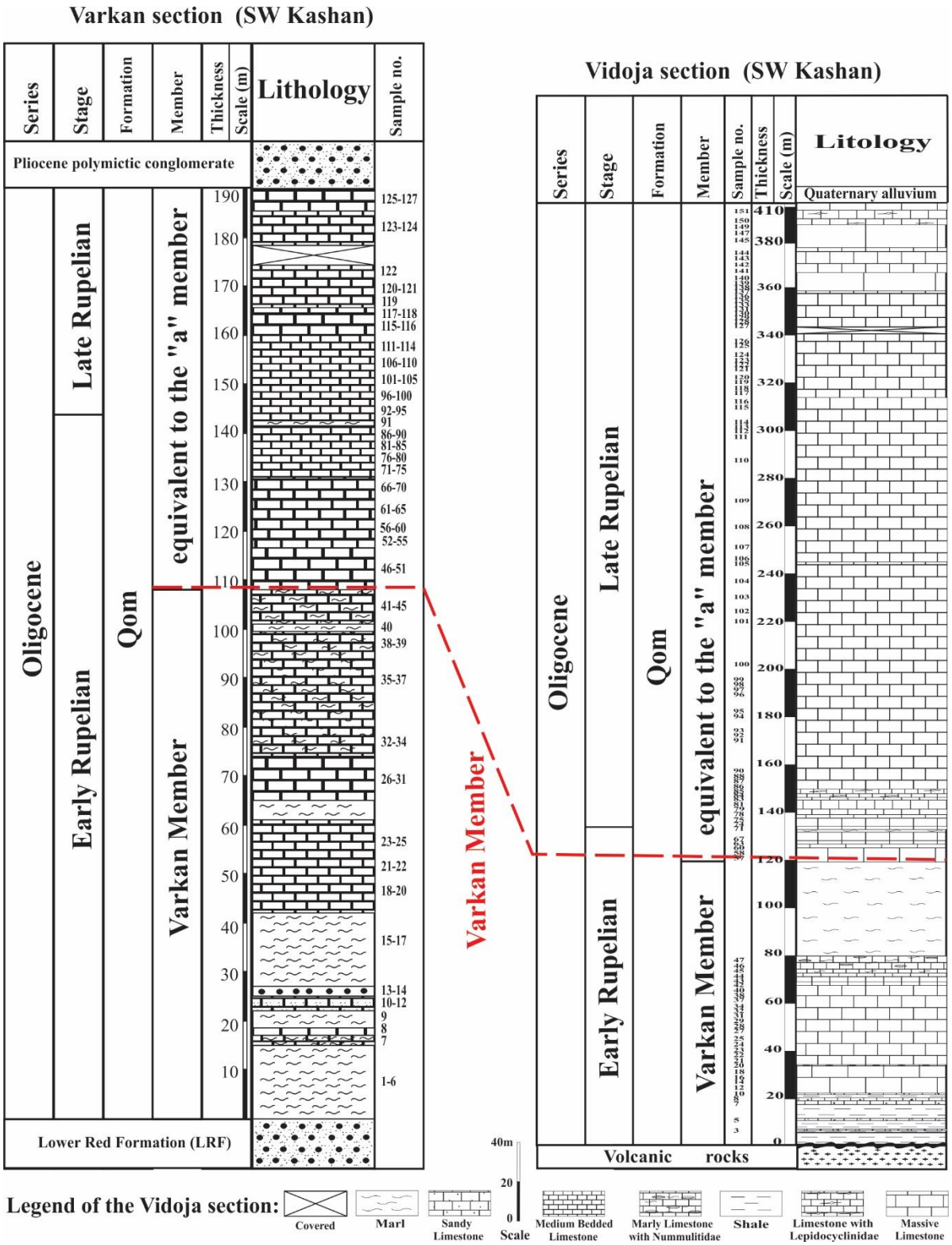
بر اساس Mohammadi (۲۰۲۳) نهشته‌های روپلین پیشین («عضو ورکان») فقط از نواحی جنوب و جنوب غربی کاشان گزارش شده‌اند (شکل ۷). ایشان نهشته‌های روپلین پیشین را از برش‌های ورکان، ویدوجا و قهرود گزارش نموده است. بااین‌حال مطالب زیر از Rahimzadeh (۱۹۹۴) قابل‌تأمل است. از نراق به سمت جنوب و جنوب شرق بخش عمده‌ای از سازند قم آهکی می‌گردد، بطوریکه در هستیجان به‌استثناء ۲۲ متر زیرین که از آهک نازک لایه با قاعده‌ای ماسه‌ای کنگلومرایی تشکیل گردیده، باقیمانده آهک آلگی است. در جوشقان قالی سازند قم از آهک آلگی زرد-صورتی رنگ، ضخیم لایه تا توده‌ای محتوی فسیل‌های مختلف تشکیل گردیده است. ضخامت این آهک به‌طور منظمی از ۲۰ تا ۳۰ متر در بوغه و تا ۳۷۰ متر در جوشقان قالی افزایش می‌یابد. این رخساره در جنوب شرق جاده دلیجان به میمه در اطراف رباط و آزران نیز وجود دارد (Stöcklin, 1953). نکته‌ای که در این منطقه می‌بایست موردتوجه قرار گیرد این است که در تمام رخنمون‌های بوغه، جنوب داقان، قلعه چم، چشمه‌علی، شیرین بلاغ، حاجی‌آباد، راونج، الوان و بیدجگان نهشته‌های سازند قم بر روی کنگلومرای روئی سازند قرمز زیرین قرار دارد ولی در نراق این کنگلومرا با داشتن عدسی‌هائی از آهک بریوزوآدار به‌عنوان عضو قاعده‌ای سازند قم و در جوشقان قالی آهک قاعده‌ای حتی در زیر این کنگلومرا وجود دارد. به نظر Stöcklin (۱۹۵۲) باوجوداینکه در طبقات زیرین تمام مقاطع فوق *Nummulites intermedius* وجود دارد ولی می‌توان تصور نمود که زمان پیشروی دریا در جهت جنوب شرق کمی قدیمی‌تر بوده است».

با در نظر گرفتن مطالب فوق (Rahimzadeh, 1994) و تأکید بر حضور *Nummulites intermedius* در برش‌های مذکور و عدم اشاره به حضور لپیدوسیکلینیدها در لایه قاعده‌ای آن برش‌ها و همچنین با توجه به قرارگیری این برش‌ها در محدوده حضور نهشته‌های روپلین پیشین (جنوب و جنوب غربی کاشان) و یا نواحی هم‌جوار (غرب کاشان)، می‌توان انتظار داشت که مطالعات دقیق‌تر بعدی منجر به گزارش نهشته‌های روپلین پیشین در تعدادی از آن برش‌ها شود و محدوده حضور نهشته‌های روپلین و همچنین «عضو ورکان» (علاوه بر جنوب و جنوب غربی کاشان) به غرب کاشان نیز توسعه یابد (شکل ۸).



شکل ۹- فرامینیفرها و ریزرخساره‌های شاخص در برش ورکان. (a-b) *Nummulites vascus*؛ (c) حضور فراوان *Nummulites* بدون لپیدوسیکلینیدها در روپلین پیشین؛ (d) پکستون دارای *Neorotalia* و (e-f) همیافتی *Nummulites* و لپیدوسیکلینیدها در روپلین پسین.

Fig. 9. Key foraminfera and facies of the Varkan section. (a-b) *Nummulites vascus*; (c) aboundance presence of *Nummulites* spp. without Lepidocyclinids in Early Rupelian; (d) *Neorotalia* packstone and (e-f) co-occurrence of Lepidocyclinids and *Nummulites* spp. in Late Rupelian.



شکل ۱۰- تطابق سنگ‌چینه‌شناختی «عضو ورکان» در برش‌های ورکان و ویدوجا (جنوب غربی کاشان).

Fig. 10. Lithostratigraphic correlation of the “Varkan Member” in the Varkan and Vidoja sections (SW Kashan).

۴-۸- پراکندگی جغرافیایی عضوهای دوازده‌گانه سازند قم

نهشته‌های سازند قم در بخش اعظم گستره این سازند (از جازموریان تا ماکو و در سه حوضه پیش کمانی سنندج-سیرجان، درون کمانی ارومیه- دختر و پس کمانی ایران مرکزی) قابل قیاس با عضوهای گزارش‌شده سازند قم در ناحیه قم نبوده و سیکل‌های رسوبی گزارش‌شده در ناحیه قم، در آن‌ها مشاهده نمی‌گردد. همان‌طور که Rahimzadeh (۱۹۹۴) و Aghanabati (۲۰۰۴) یادآور شده‌اند «تغییر رخساره سازند قم بسیار زیاد است، به‌گونه‌ای که در بسیاری از نقاط شناسایی و تفکیک عضوهای چندگانه ناممکن است». بر اساس Mohammadi و همکاران (۲۰۱۳)، نهشته‌های تبخیری فقط در بخش نسبتاً کوچکی از گستره سازند قم در حوضه پس کمان وجود دارند و تماماً در میوسن (اکیتانین- بوردیگالین) نهشته شده‌اند. تمامی برش‌های سازند قم که در حوضه پیش کمان سنندج-سیرجان واقع شده‌اند، فاقد نهشته‌های تبخیری و درنتیجه فاقد عضوهای تبخیری ۳ گانه می‌باشد. به‌علاوه «عضو بی‌نام»، فقط در جنوب کاشان (احتمالاً فقط در حوضه درون کمانی)، و «عضو ورکان» نیز فقط در مناطق جنوب غربی و جنوب (و احتمالاً غرب) کاشان وجود دارد. بنابراین در حوضه پیش کمان در بهترین حالت (و درصورتی‌که هیچ بخشی از سازند قم توسط فرسایش یا عوامل دیگر از بین نرفته باشد) همواره ۴ عضو سازند قم (عضو بی‌نام و ۳ عضو تبخیری) غایب می‌باشند. به‌عبارت‌دیگر در حوضه پیش کمان (و همچنین در حوضه درون کمان و بخش‌های زیادی از حوضه پس کمان) عمدتاً تناوب‌هایی از آهک و مارن دیده می‌شود که در موارد زیادی در غیاب عضوهای تبخیری، تفکیک آن‌ها چندان علمی، منطقی و آسان به نظر نمی‌رسد. به‌علاوه، باوجوداینکه عضو f سازند قم در تمام منابع فارسی به‌عنوان عضو ریفی (ریف مرجانی) سازند قم معروف می‌باشد ولی در برش خوراباد (در جنوب شرقی قم و واقع در ناحیه الگو)، مرجان‌ها فقط به مقدار بسیار کم (آن‌هم) در مقاطع نازک وجود دارند (Okhravi 1998; Okhravi and Amini, 1998; Mohammadi 2020). به‌عبارت‌دیگر عضوهای ۱۲ گانه سازند قم فقط و فقط در کتاب‌های زمین‌شناسی ایران در کنار هم دیده می‌شوند و حتی در ناحیه قم نیز علاوه بر عضوهای «ورکان» و «بی‌نام» که کلاً وجود ندارد، عضوهای دیگر نیز در تعداد زیادی از برش‌ها و کوه‌ها دیده نمی‌شوند و معمولاً در یک برش همراه باهم دیده نمی‌شوند. به عنوان مثال: Aghanabati (۲۰۰۴) معتقد است که در تاقدیس ابردژ عضوهای a و b وجود ندارد؛ در مناطق کهلو، پرندک، رزن-اوج فقط بخش بالایی قم دیده می‌شود؛ از منطقه عطاری به سمت شمال، سازند قم فاقد رخساره آهکی است؛ از جنوب قم تا میمه سازند قم سه واحد لیتولوژیکی دارد؛ در باختر زفره، سنگ‌آهک‌های قم محدود به عضوهای c2 و c3 است. بنابراین، نهشته‌های سازند قم در بسیاری از برش‌ها قابل قیاس با عضوهای سازند قم در ناحیه قم نیست.

۵- نتایج

نتایج زیر از این مطالعه حاصل شد:

نهشته‌های روپلین پیشین سازند قم در برش ورکان (جنوب غربی کاشان) ۱۴۵ متر ضخامت دارد که ۱۰۸ متر قاعده‌ای آن به‌عنوان «عضو ورکان» نام‌گذاری شد.

تعداد عضوهای سازند قم به ۱۲ عضو افزایش یافته و «عضو ورکان»، به سن روپلین پیشین، به‌عنوان قدیمی‌ترین نهشته‌های سازند قم معرفی می‌گردد.

«عضو ورکان» تنها عضوی از سازند قم است که تماماً متعلق به روپلین پیشین بوده و دیگر عضوهای سازند قم در روپلین پسین و یا در سنین جوان‌تر (شاتین، آکیتانین، بوردیگالین) نهشته شده‌اند.

«عضو ورکان» عمدتاً شامل تناوبی از مارن، سنگ‌آهک و آهک مارنی است.

برش ورکان (واقع در ۵ کیلومتری جنوب شرق روستای ورکان و در شرق روستای پنداس) به‌عنوان برش الگو، شرق روستای پنداس به‌عنوان محل الگوی و ناحیه ورکان نیز به‌عنوان ناحیه الگوی «عضو ورکان» معرفی می‌گردد.

«عضو ورکان» در برش الگو (برش ورکان) در پایین بر روی سازند قرمز زیرین قرار گرفته است و مرز بالایی آن در ضخامت ۱۰۸ متری و در حدفاصل آهک‌های مارنی و آهک‌های صخره-ساز قرار دارد.

عضو بی‌نام با فسیل‌های *Nummulites intermedius* و *Eulepidina* cf. *dilatata* مشخص می‌شود ولی «عضو ورکان» با حضور *Nummulites fichteli*/*intermedius* و/یا *Nummulites vascus* و بدون همراهی لپیدوسیکلینیدها مشخص شده است.

نهشته‌های روپلین پیشین در برش‌های ویدوجا (جنوب غربی کاشان) و قهرود (جنوب کاشان) نیز حضور داشته و به ترتیب ۱۳۲ و ۱۲۰ متر ضخامت دارند.

مجموع ضخامت نهشته‌های روپلین (شامل روپلین پیشین و پسین) در برش‌های ورکان، قهرود و ویدوجا به ترتیب ۱۹۰، ۱۸۵، ۴۱۰ متر است که از دیگر برش‌های سازند قم بیشتر است. این ضخامت زیاد را می‌توان نتیجه بازه زمانی طولانی‌تر جهت رسوب‌گذاری و فرونشست بیشتر کف حوضه دانست.

در بسیاری از نقاط شناسایی و تفکیک عضوهای چندگانه ناممکن است و عضوهای ۱۲ گانه سازند قم فقط در کتاب‌های زمین‌شناسی ایران در کنار هم دیده می‌شوند.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر امرالله صفری، دکتر مهدی قائدی و سرکار خانم محبوبه حسن‌زاده که نویسنده را در مطالعات صحرایی برش ورکان یاری نموده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد. نویسنده از دکتر مهدی قائدی که با پیشنهادات ارزشمندشان سبب بهبود سطح علمی و کیفی این مقاله شده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارد.

مراجع

Abaie, I.L., Ansari, H.J., Badakhshan, A., Jaafari, A., 1964. History and development of the Alborz and Sarajeh fields of Central Iran. Bulletin of Iranian Petroleum Institute 15, 561–574.

Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran. Tehran, p. 603 (In Persian).

Bozorgnia, F., 1966. Qum formation stratigraphy of the Central Basin of Iran and its intercontinental position. Bulletin of Iranian Petroleum Institute 24, 69-76.

Cohee, G.V., 1974. Stratigraphic nomenclature in reports of the U.S. Geological Survey. Geologic Names Committee. Geological Survey (U.S.), p. 45. https://doi.org/10.3133/70047747

Daneshian, J., Ramezani Dana, L., 2007. Erly Miocene benthic foraminifera and biostratigraphy of the Qom Formation, Deh Namak, Central Iran. Journal of Asian Earth Sciences 29, 844- 858. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2006.06.003

Darvishzadeh, A., 1991. Geology of Iran. Nashre Danesh Emroz Publisher. Tehran, p. 901. (In Persian).

Dehghan, R., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., 2010. Microfacies and paleoenviornmental environment of the Qom Formation in the Ghohroud area (south of the Kashan). Researches in Earth Sciences 3, 60-73.

Furrer, M.A., Soder, P.A., 1955. The Oligo–Miocene marine Formation in the Qom region (Central Iran). Proceedings of the 4th World Petroleum Congress, Roma, Italia, Section I/A/5. 267-277.

Gansser, A., 1955. New aspects of the geology in Central Iran. Proceedings of the 4th World Petroleum Congress, Roma, Italia, Section I/A/5, 279-300.

INCC (Iran National Cartographic Center), 2009. Road Map of Iran. scale: 1: 2500000.

Loftus, W.K., 1855. On the geology of portions of the Turko-Persian frontier, and of the districts adjoining. Quarterly Journal of the Geological Society 11, 247-344. https://doi.org/ 10.1144/GSL.JGS.1854.010.01-02.53

Mohammadi, E., 2020. 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, 1–29. https://doi.org/10.1007/s13146-020-00553-0.

Mohammadi, E., 2021a. Foramniferal morphogroups of the Qom Formation in E Sirjan and SW Kashan: implication for paleoenvironmental and paleoecological interpretations. Iranian Journal of Petroleum Geology 20, 82-94.

Mohammadi, E., 2021b. Sedimentary facies and paleoenvironmental interpretation of the Oligocene larger-benthic-foraminifera-dominated Qom Formation in the northeastern margin of the Tethyan Seaway. Palaeoworld 30, 356-372. https://doi.org/10.1016/j.palwor.2020.06.005

Mohammadi, E., 2023. Foraminiferal biozonation, biostratigraphy and trans-basinal correlation of the Oligo-Miocene Qom Formation, Iran (NE Margin of the Tethyan Seaway). Palaeoworld 32, 156–173. https://doi.org/10.1016/j.palwor.2022.04.005

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. https://doi.org/ 10.1007/s13146-012-0120-7

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 and Evaporites 34, 1293–1306. https://doi.org/10.1007/s13146-017-0415-9

Mohammadi, E., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., Vaziri, M.R., Ghaedi, M., 2011. Microfacies analysis and paleoenviornmental interpretation of the Qom Formation, south of the Kashan, Central Iran, Carbonates and Evaporites 26, 255–271. https://doi.org/10.1007/s13146-011-0059-0

Mohammadi, E., M.R., Vaziri, 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. https://doi.org/ 10.1007/s12517-013-1136-6

Murphy, M.A., Salvador, A., 2000. International subcommission on stratigraphic classification of IUGS international commission on stratigraphy: international stratigraphic guide—an abridged version. GeoArabia 5, 231–266. https://doi.org/10.2113/geoarabia0502231

NACSN (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature), 2005. North American Stratigraphic Code. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 89, 1547–1591. https://doi.org/10.1306/07050504129

NACSN (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature), 2021. North American Stratigraphic Code. Stratigraphy 18, 153–204. https://doi.org/10.29041/strat.18.3.01

Okhravi, R., 1998. Synsedimentary cementation in the lower Miocene reefal carbonates of the central basin Iiran. Carbonates and Evaporites 13, 136–144. https://doi.org/

Okhravi, R., Amini, A., 1998. An example of mixed carbonate-pyroclastic sedimentation (Miocene, central Basin, Iran). Sedimentary Geology 118, 37–57. https://doi.org/10.1016/S0037-0738(98)00004-9

Rahimzadeh, F., 1994. Geology of Iran: Oligocene–Miocene, Pliocene. Geological Survey of Iran. Tehran, p. 311. (In Persian).

Raziee, A., 2004. Lithostratigraphy and biostratigraphy of the Qom Formation in southwest of Kashan. MSc. Thesis. Tarbiat Moallem University of Tehran, Tehran

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. https://doi.org/10.1007/s00531-007-0269-9

Safari, A., Mohammadi, E., Ameri, H., 2014. Analysis of the Qom Formation microfacies and controlling factors on their deposition, Varkan area (Southwest of Kshan), Sanandaj-Sirjan fore arc basin. Paleontology 2, 187–204. (In Persian).

Sajadi-Hazareh, F., 1990. Study of petrology, paleontology and stratigraphy of the area between Natanz and Ardestan (Central Iran). MSc. Thesis. University of Tehran, Tehran

Stahl, A.F., 1911. Persien: in Handbuch der Regionalen Geologie. Heidelberg (Winter), Hft. p. 46

Staines, H.R.E., 1985. Field Geologist's Guide to Lithostratigraphic Nomenclature in Australia. Australian Journal of Earth Sciences 32, 83–106.

Stöcklin, J., 1952. Stratigraphic investigations in the Qom- Arak- Gulpaigan- Delidjan area. National Iranian of Oil Company, Report 95.

Stöcklin, J., 1953. Geology of the area between Kashan, Ardestan and Isfahan. National Iranian of Oil Company, Report 1088.

Zahedi, M., Amidi, S.M., 1991. Geological quadrangle map of Kashan. Scale 1:250 000. Geological Survey of Iran