

Research Article

Calcareous nannofossil biostratigraphy of the marly part of Farrokhi formation in the Farrokhi stratigraphic section (Central Iran, West Tabas)

Marziyeh Notghi Moghaddam^{1*}, Farah Jalili², Bita Mostafavi³

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

2- Ph.D. in Stratigraphy and Paleontology, Department of Geology, University of Birjand, Iran

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

Keywords: *Calcareous nannofossils, Central Iran, Farrokhi, Campanian, Maastrichtian*

1-Introduction

Calcareous nannofossils are one of the most important groups of microfossils that give us valuable data from biostratigraphic studies. The present study investigates calcareous nannofossils of the Farrokhi formation in Central Iran (west Tabas City). Other researchers on Farrokhi formation have carried out several studies. For example, some previous biostratigraphic studies of Farrokhi formation, which is studied based on foraminifera and macrofossils, include Razmjoe (2011), Wilmsen et al. (2012), Seif (2013), Allameh and Taherpour Khalil Abad (2014), Allameh and Rezayi Yazdi Nejad (2017). In contrast, a previous calcareous nannofossils study on this formation was done by Notghi Moghaddam (2020) in the Azizabad section.

The present research investigates the Farrokhi formation on the base calcareous nannofossils in the Farrokhi section. The Farrokhi section is located at 33° 52' 9" N and 54° 52' 46" E coordinates, northwest of Farrokhi village. The Farrokhi formation in this section is 254 meters thick and consists of limestone, marl and marly limestone. This study aims to determine the calcareous nannofossil assemblages and discuss the possibility of applying the standard zonation and age determination of Farrokhi formation in the studied section.

2-Material and methods

In this study, 64 samples from the marl successions of the studied formation with 118m thickness, three samples of the upper unit of the marl part and three samples from the lower unit of the marl part from the Farrokhi section have been studied. Samples were prepared as the smear slide method (Bown and Young, 1998), and nannofossils were examined using an Olympus polarizing microscope, BH2 model and photographed by a digital camera. All calcareous nannofossil specimens were identified using the taxonomic schemes of Perch- Nielsen (1985) and Bown and Young (1998).

3-Results and discussions

Nannofossils have planktonic life modes and more widespread distribution than macrofossils; therefore, they are a powerful tool in the age determination of Cretaceous marine sections.

This research identified 35 species belonging to 22 genera of calcareous nannofossils in the Farrokhi section from the marl part of the Farrokhi formation.

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

DOI : 10.22055/aag.2022.39296.2260

Receive: 2021-11-29

Accepted 2022-01-31

In the investigated samples, structures of the central area in many species, such as *Watznaueria barnesiae* and *Cribrosphaerella ehrenbergii*, indicate that the calcareous nannofossils in this section have relatively high preservation.

The most essential identified species are *Watznaueria barnesiae* and *Micula decussata*, which are present in most samples. Among species, *Micula murus* and *Lithraphidites quadratus* exist from the upper part, and other taxa such as *Tranolithus orionatus* and *Reinhardtites anthophorus* exist from the lower part of the studied section.

The standard calcareous nannofossil zonation of Sissingh (1977; 1978) was applied in the present study. In this zonation, the CC abbreviation represents Coccolith Cretaceous.

In this study, according to first occurrences (FO) and last occurrences (LO) of marker species of nannofossils, four calcareous nannofossil biozones (CC22–CC25) equivalent to UC15d – UC20b biozones of Burnett (1998) in the marl successions of Farrokhi formation were recognized.

The identified biozones are as follows:

Quadrum trifidum Zone (CC22): The *Quadrum trifidum* zone was proposed by Bukry and Bramlette (1970) and Sissingh (1977). The age of this zone is late Campanian. This zone is identified from the FO of *Uniplanarius trifidius* to LO of *Reinhardtites anthophorus*. The thickness of this zone in the studied section is 37 m.

Tranolithus phacelosus Zone (CC23): The *Tranolithus phacelosus* zone was proposed by Sissingh (1977). The age of this zone is the latest Campanian- early Maastrichtian. This zone is identified from the LO of *Reinhardtites anthophorus* to LO of *Tranolithus phacelosus* (= *Tranolithus orionatus*). The thickness of this zone in the studied section is 54 m.

Reinhardtites Levis Zone (CC24): The *Reinhardtites Levis* zone was proposed by Sissingh (1977). The age of this zone is early Maastrichtian. This zone is identified from the LO of *Tranolithus phacelosus* (= *Tranolithus orionatus*) to the LO of *Reinhardtites levis*. The thickness of this zone in the studied section is 20 m.

Arkhangelskiella cymbiformis Zone (CC25): The *Arkhangelskiella cymbiformis* zone was proposed by Perch- Nielsen et al. (1972) and amended by Sissingh (1977). The age of this zone is early Maastrichtian-Late Maastrichtian. This zone is identified from the LO of *Reinhardtites levis* to FO of *Nephrolithus frequens*, but the Fo of *Micula murus* determines this zone's upper boundary in low latitudes. Therefore, the thickness of this zone in the studied deposits is not determined.

Calcareous nannoplankton zones indicate that the investigated deposits are related to the age of late Campanian –early late Maastrichtian in this area

4-Conclusion

In this research, nannofossil species in the studied sections are relatively good in diversity with high preservation. Based on index calcareous nannofossils and identified biozones (CC22-CC25), the age of the studied interval is late Campanian –early late Maastrichtian.

References

- Allameh, M., Rezaei Yazdi Nejad, R., 2017. Late Cretaceous Biostratigraphy planktonic foraminifera of the Farrokhi Formation, Iran. *Open Journal of Geology* 7, 320-334. <https://doi.org/10.4236/ojg.2017.73022>
- Allameh, M., Taherpour Khalil Abad, M., 2014. Systematic Interpretation of Silicified Specimens of Upper Cretaceous Echinocorys ex. gr. scutata (Leske, 1778), Farrokhi Formation, Central Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 25(3), 237 – 251. https://jscienc.es.ut.ac.ir/article_51852.html
- Bown, P.R., Young, J.R., 1998. Techniques. In: Bown, P.R. Ed. *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropalaeontology Society Publication 16- 28. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-4902-0>

- Bukry, D., Bramalette, M.N., 1970. Coccolith age determination leg 3, Deep sea Drilling project Initial Report Deep Drilling Project 3,589-611.
- Burnett, J.A., 1998. Upper Cretaceous. In: Bown, P.R. (ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. Chapman and Hall, Cambridge pp. 132–199.
- Notghi Moghaddam, M., 2020. Introduction of Calcareous Nannofossils and Biostratigraphy of the Farrokhi Formation in Azizabad section (Central Iran, Middle Tethys Ocean). *Journal of Oceanography* 11(42), 149-157. <https://doi.org/10.52547/joc.11.42.149>
- Perch-Nielsen, K., 1972. Remarks on Late Cretaceous to Pleistocene coccoliths from the North Atlantic Initial Rep. Deep Sea drilling Project 12, 1003-69.
- Perch-Nielsen, K., 1985. Mesozoic Calcareous Nannofossils. In: Bolli, H.M., Saunders, J.B., & Perch-Nielsen, K., (Eds.), *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press 329-426.
- Razmjoe, A., 2011. Lithostratigraphic and biostratigraphic finding on the Farrokhi formation in Northwest of khur (Central Iran), Master's Thesis, Institute for Earth Sciences. Geological Survey of Iran.
- Seif, H., 2013. Lithostratigraphic and biostratigraphic finding on the Farrokhi Formation in Southwest of khur (Central Iran), Master's Thesis, Institute for Earth Sciences. Geological Survey of Iran, Tehran
- Sissingh, W., 1977. Biostratigraphy of Calcareous Nannoplankton. *Geologie En Mijnbouw* 56, 37-65.
- Sissingh, W., 1978. Microfossil biostratigraphy and stage- stratotypes of the Cretaceous. *Geologie En Mijnbouw* 57, 433-440.
- Wilmsen, M., Fürsich, F. T. Majidifard, M. R., 2012. *Porosphaera globularis* (Phillips, 1829) (Porifera, Calcarea) from the Maastrichtian of the Farrokhi Formation of Central Iran, *Cretaceous Research* 33, 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2011.09.002>

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Notghi Moghaddam, M., Jalili, F, Mostafavi, B., 2023. Calcareous nannofossil biostratigraphy of the marly part of Farrokhi formation in the Farrokhi stratigraphic section (Central Iran, West Tabas), 13(1): 261-277.

Doi: 10.22055/aag.2022.39296.2260

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_17729.html

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

زیست‌چینه‌نگاری نانوفسیل‌های آهکی بخش مارنی سازند فرخی در برش چینه‌شناسی فرخی

(ایران مرکزی، غرب طبس)

مرضیه نطقی‌مقدم*

دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

فرح جلیلی

دکتری چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، ایران

بیبا مصطفوی

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

notghi.m@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

چکیده

در مطالعه حاضر زیست‌چینه‌نگاری بخش مارنی سازند فرخی در حوضه رسوبی ایران مرکزی و در برش چینه‌شناسی روستای فرخی براساس نانوفسیل‌های آهکی مورد بررسی قرار گرفته است. سازند فرخی در برش مورد مطالعه عمدتاً شامل سنگ‌آهک، مارن و سنگ‌آهک مارنی می‌باشد. ضخامت بخش مارنی سازند فرخی در برش مورد مطالعه ۱۱۸ متر بوده و مجموعاً ۶۴ نمونه از این بخش برداشت و بررسی شده است. مطالعه نانوفسیل‌های آهکی در محدوده مورد مطالعه منجر به شناسایی ۳۵ گونه متعلق به ۲۲ جنس شد. برمبنای جنس و گونه‌های شاخص شناسایی‌شده، زیست‌زون‌های CC22 تا CC25 از زون‌بندی سیسینگ تعیین شد. بر این اساس سن بخش مارنی سازند فرخی در برش مورد مطالعه کامپانین پسین تا ابتدای ماستریشتین پسین پیشنهاد می‌شود. بررسی‌های دیرینه‌بوم‌شناسی نشان می‌دهد که ناحیه مورد مطالعه در عرض‌های جغرافیایی نسبتاً پایین نهشته شده و دارای آب گرم با مواد غذایی پایین و باروری پایین است.

واژه‌های کلیدی: زیست‌چینه‌نگاری، نانوفسیل‌های آهکی، فرخی، ایران مرکزی، طبس

۱- مقدمه

زون ساختاری ایران مرکزی تا مرزهای شرقی و غربی ایران ادامه دارد (Aghanbati, 2004). زون رسوبی ساختاری ایران مرکزی با زمین‌درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل دورونه و افیولیت‌های کاشمر - سبزوار احاطه شده و توسط گسل‌های طولی که به سمت غرب خمیدگی دارند، قابل تقسیم به بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت بادام، فروافتادگی بیاضه - بردسیر و بلوک یزد است. این حوضه رسوبی در بردارنده‌ی توالی‌های متنوعی از رسوبات مربوط به بازه‌های زمانی مختلف است (Aghanbati, 2004). سازند غیر رسمی فرخی در ایران مرکزی، جوان‌ترین واحد سنگی کرتاسه بالایی در بلوک یزد و

ناحیه خور محسوب می‌شود (Aistov et al., 1984). این سازند روی سازند دبرسو و زیر سازند چوپانان قرار گرفته است. از نظر سنگ‌شناسی سازند فرخی عمدتاً شامل سنگ‌آهک، مارن و سنگ‌آهک مارنی است و در آن میان‌لایه‌هایی از سنگ‌آهک فسیل‌دار دیده می‌شود. در پژوهش حاضر به منظور تکمیل مطالعات فسیل‌شناسی، سازند فرخی در برش چینه‌شناسی روستای فرخی با هدف معرفی نانوفسیل‌های آهکی، تعیین زیست‌زون‌های نانوفسیلی و تعیین سن واحد مارنی سازند مذکور مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مطالعات پیشین

تاکنون مطالعات متعددی بر روی سازند فرخی انجام شده که برخی مانند Aistov و همکاران (۱۹۸۴) به منظور تهیه

تنها گزارش موجود از نانوفسیل‌های آهکی سازند توسط Notghi Moghaddam (۲۰۲۰) ارائه شده است. با عنایت به این مسئله و در راستای تقویت و تکمیل مطالعات نانوفسیلی، در پژوهش حاضر نانوفسیل‌های آهکی سازند فرخی بررسی شده است.

۳- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

برش چینه‌شناسی فرخی در نزدیکی شهرستان طبس قرار گرفته و دارای مختصات جغرافیایی $33^{\circ} 52' 9''$ عرض شمالی و $54^{\circ} 52' 46''$ طول شرقی است. جهت دسترسی به سازند فرخی در برش مذکور بایستی در جاده طبس - اصفهان حرکت کرد تا به روستای فرخی رسید. سازند فرخی در شمال غرب این روستا واقع است (شکل‌های ۱ و ۲). ضخامت سازند در برش فرخی ۲۵۴ متر بوده و مشتمل بر تناوبی از سنگ آهک، مارن و سنگ آهک‌های مارنی با میان‌لایه‌هایی از آهک‌های فسیل‌دار می‌باشد. در این مطالعه ۶۴ نمونه از بخش مارنی سازند (به ضخامت ۱۱۸ متر)، ۳ نمونه از واحد زیرین بخش مارنی، ۳ نمونه از واحد بالایی بخش مارنی و در مجموع ۷۰ نمونه برداشت شد و نانوفسیل‌های آهکی آن مطالعه گردید (شکل ۳).

نقشه‌های زمین‌شناسی بوده و منجر به ارائه‌ی گزارش‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه شده است. Mohafez و Moshtaghian (۱۹۶۳) چینه‌شناسی نهشته‌های دریایی کرتاسه- پالئوسن را با هدف پی‌جویی نفت و گاز انجام داده‌اند. Khosro Tehrani (۱۹۷۷) رخساره‌های زیستی و سنگی مقاطع مختلف کرتاسه بالایی و پالئوسن را بررسی نموده است.

علاوه بر موارد فوق بررسی‌های فسیل‌شناسی متعددی نیز بر روی سازند فرخی انجام شده که غالب آن‌ها برمبنای فرامینیفرها، داینوفلاژله‌ها، استراکودها و یا بی‌مهرگانی نظیر بازوپایان، اسفنج و خارپوستان بوده است. برخی از این مطالعات به شرح زیر می‌باشد:

Wilmsen و همکاران (۲۰۱۲) اسفنج‌های سازند را بررسی نموده‌اند. مطالعه خارپوستان سازند فرخی نیز توسط Allameh و Taherpour Khalil Abad (۲۰۱۴) انجام شده است. Razmjoe (۲۰۱۱)؛ Seif (۲۰۱۳)؛ Allameh و Rezaei Yazdi Nejad (۲۰۱۷) و Seif و همکاران (۲۰۱۵)؛ فرامینیفرهای سازند را مطالعه کرده‌اند. پالینومورف‌های سازند توسط Torabian و همکاران (۲۰۱۱) و Allameh و Torabian (۲۰۱۶) گزارش شده است. مطالعه توأم پالینومورف‌ها و فرامینیفرهای این سازند نیز توسط Jedavi و همکاران (۲۰۱۸) انجام شده است. در این میان

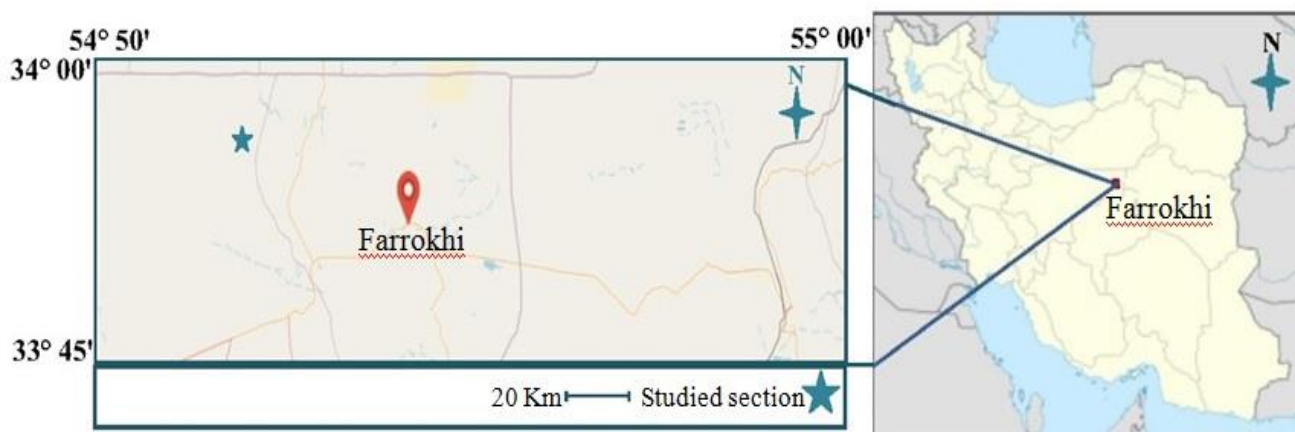
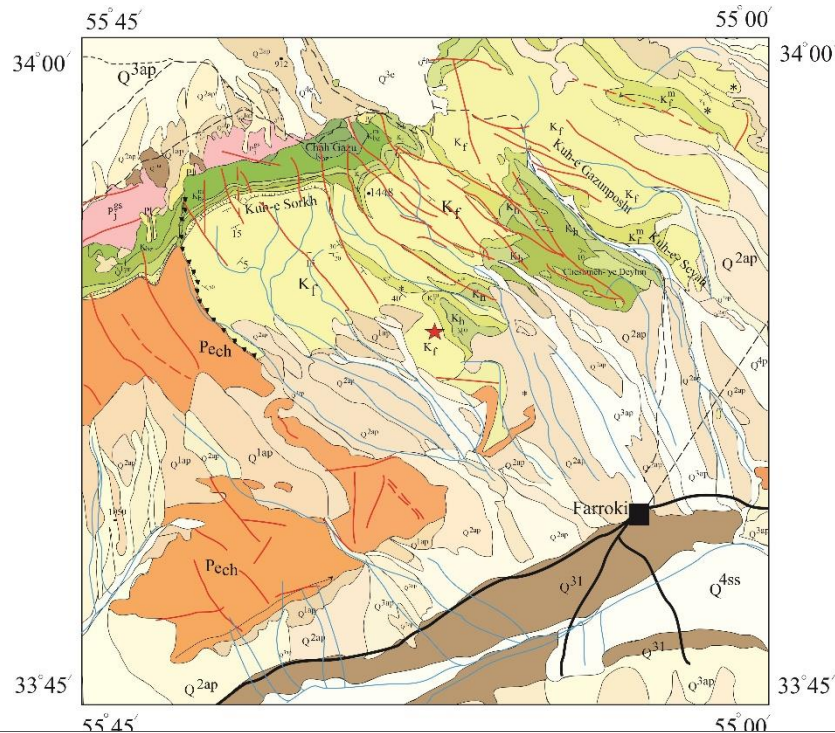


Fig. 1. Location of the studied section

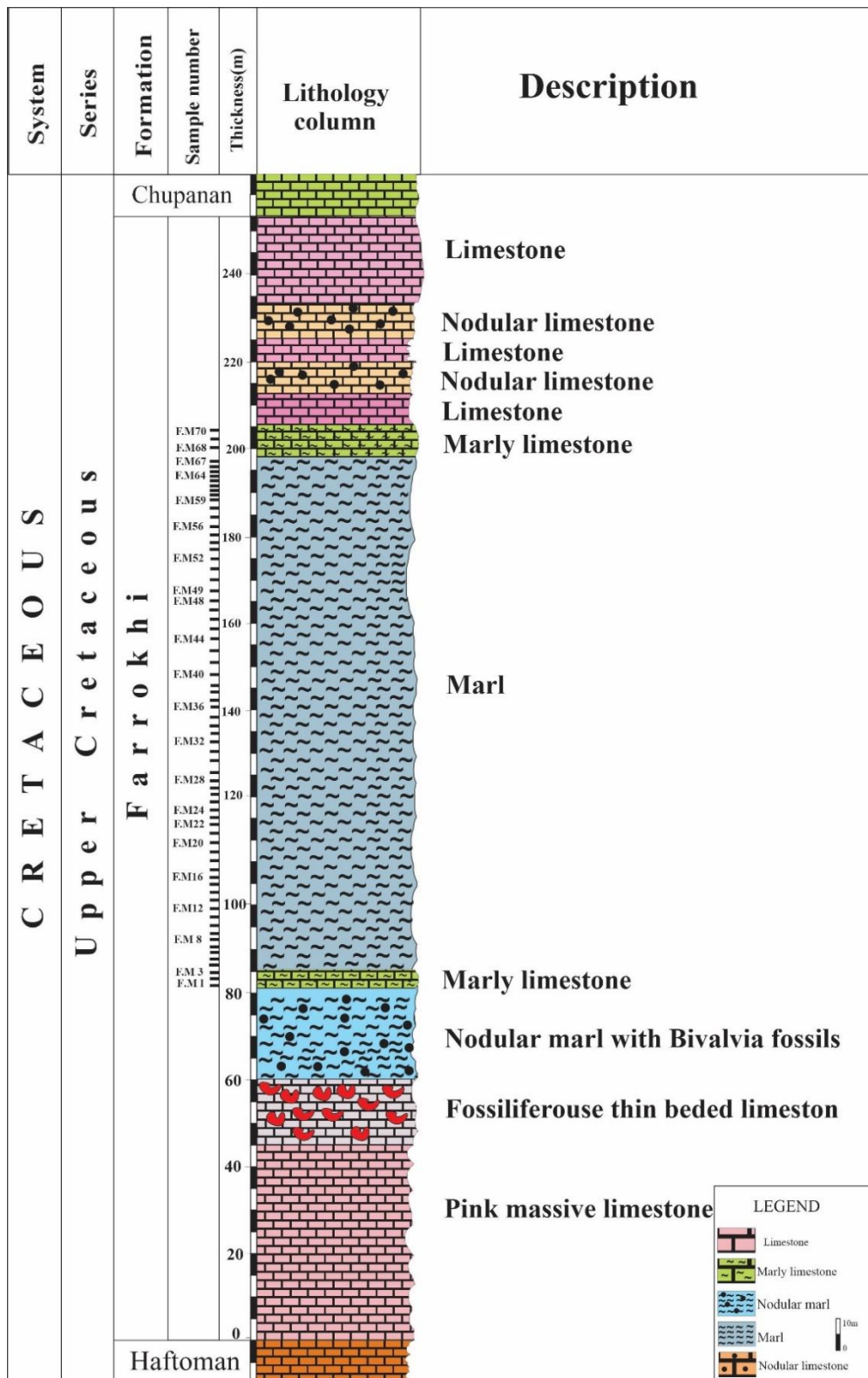


L E G N D

QUATERNARY	Q ^{3ap}	Q ^{3sp}	Q ^{3s}	Q ^{3p}	Recent sediments
	Q ^{2ap}	Q ^{2sp}	Q ^{2s}	Q ^{2p}	
	Q ^{1ap}	Q ^{1sp}	Q ^{1s}	Q ^{1p}	Old sediments
	Q ^{1ap}	Q ^{1sp}	Q ^{1s}	Q ^{1p}	
	Q ^{1ap}	Q ^{1sp}	Q ^{1s}	Q ^{1p}	
PLOCENE	P1				P1 - Conglomerate, sandstone, pebble gravel, sandy clay
PALEOCENE	Pech				Chupanan formation
CRETACEOUS	UPPER	DANIAN	K _f	K _f	Farrokhi formation
		UPPER	K _f	K _f	
	LOWER		K _h	K _h	Haftoman formation. Limestone with rudists, sandy limestone (often with chert), Marl, conglomerate
			K _h	K _h	
TURONIAN		K _d	K _d	Debarsu formation	
		K _d	K _d		
POWER	ALBIAN		K _b	K _b	Bazyab formation
			K _b	K _b	
UPPER PROTEROZOIC		P _{gsj}	P _{gsj}		Greenschists, phyllite, metasandstone, metabasite

*	Fossil locality	★	Stratigraphy Section
-15	Dip of beds	---	Fault active during Quaternary
---	Major fault	• 970	Barometion elevation in meters
▲▲▲▲	Thrust	---	Temprary watercourses
←	Anticline	---	Scarp
←	Syncline	---	Asphalted road
---	Minor fault	---	Motorable track
		---	Other tracks

شکل ۲- نقشه زمین شناسی و موقعیت برش فرخی برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فرخی (Perfiliev et al., 2001) با ترسیم مجدد
 Fig. 2. Geological map and location of Farrokhi section (taken from 1: 100000 Farrokhi map with redrawing)



شکل ۳- ستون چینه‌سنگی سازند فرخی در برش چینه‌شناسی روستای فرخی

Fig.3. Lithostratigraphic column of Farrokhi Formation in the stratigraphic section of Farrokhi village

۴- بحث و نتایج

۴-۱- نانوفسیل‌های آهکی

نانوفسیل‌های آهکی ابزار سودمندی در مطالعات زیست‌چینه‌نگاری رسوبات کربناته دریایی به ویژه در محیط‌های اقیانوس باز هستند. اولین حضور آن‌ها در تریاس (حدود ۲۲۰ میلیون سال قبل) بوده و از آن زمان، به سرعت تکامل یافته و توزیع گسترده‌ای در عرض‌های جغرافیایی مختلف داشته‌اند (Agnini et al., 2017). استفاده از این گروه میکروفسیلی در انطباق رخنمون‌های سطحی و نیز در نمونه‌های برداشت شده از چاه‌ها نتایج ارزشمندی در اختیار محققان قرار می‌دهد (Mattioli et al., 2013)

نظر به اهمیت نانوفسیل‌های آهکی در مطالعات دیرینه‌شناسی، تعداد ۷۰ نمونه سنگی از بخش مارنی و واحدهای زیرین و بالایی بخش مارنی سازند در برش چینه‌شناسی روستای فرخی، به منظور بررسی نانوفسیل‌های آهکی برداشت و مطالعه گردید. نمونه‌های جمع‌آوری شده به روش اسمیراسلاید (Bown and Young, 1998) آماده‌سازی و سپس توسط میکروسکوپ نوری المپوس مدل BH2 مطالعه و عکسبرداری شد. جهت شناسایی گونه‌های نانوفسیلی از توصیفات Perch-Nielsen (۱۹۸۵) و Bown و Young (۱۹۹۸) استفاده شده است. تعیین میزان حفظ‌شدگی نانوفسیل‌ها، با استناد به مطالعات Watkins (۲۰۰۷) با استفاده از شواهد خوردگی و رشد ثانویه که ارتباط مستقیمی با قابلیت حفظ‌شدگی دارند، صورت گرفته است.

در این پژوهش تعداد ۳۵ گونه متعلق به ۲۲ جنس از نانوفسیل‌های آهکی در واحد مارنی سازند فرخی شناسایی شد. گونه‌های شناسایی شده در برش چینه‌شناسی روستای فرخی دارای حفظ‌شدگی خوبی هستند. تصاویر غالب نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده در شکل ۱ آورده شده است.

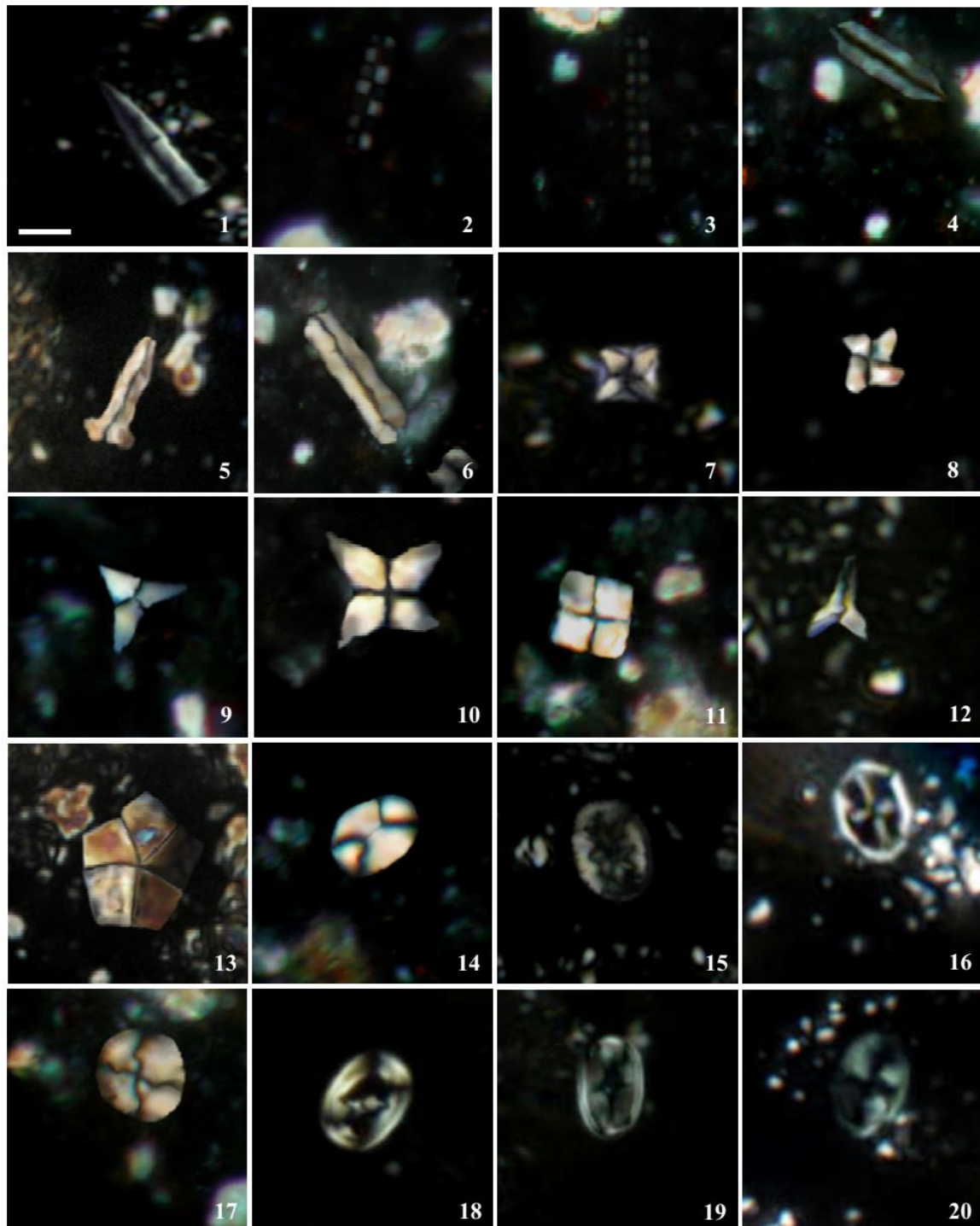
در میان گونه‌های شناسایی شده گونه‌های متعلق به جنس‌های *Watznaueria* و *Micula* در بیشتر نمونه‌های مطالعه شده حضور داشته‌اند. گونه‌هایی مانند *Reinhardtites anthophorus*، *Micula murus* و *Lithraphidites quadratus* تنها در بخش‌های ابتدایی و

انتهایی برش مورد مطالعه رویت شده‌اند (شکل ۴).

۴-۲- زیست‌چینه‌نگاری برمبنای نانوفسیل‌های آهکی

نانوفسیل‌های آهکی در بررسی‌های زیست‌چینه‌ای از کیفیت انکارناپذیری برخوردار هستند و برخی از مهمترین داده‌های چینه‌نگاری با تجزیه و تحلیل نانوفسیل‌های آهکی به دست آمده است (Halásová et al., 2012). از این رو مطالعات متعددی در زمینه شناسایی و زیست‌چینه‌نگاری نانوفسیل‌ها به ویژه بر روی نهشته‌های مزوزوئیک انجام شده و زون‌بندی‌های زیستی مختلفی توسط نانوفسیل‌شناسانی مانند Cepek و Hay (۱۹۶۹)؛ Thierstein (۱۹۷۶)؛ Verbeek (۱۹۷۷)؛ Perch-Nielsen (۱۹۷۷)؛ Roth (۱۹۷۸)؛ Doeven (۱۹۸۳) ارائه شده است. در این پژوهش زون‌بندی Sissingh (۱۹۷۷)؛ Roth (۱۹۷۸)؛ مبنای تعیین زیست‌زون‌ها بوده است. ملاک تعیین زیست‌زون‌ها در این الگو، اولین ظهور (First Occurance) و آخرین حضور (Last appearance) گونه‌های شاخص نانوفسیلی و بعضاً مجموعه‌های همراه است. در ادامه به شرح رویدادهای زیستی و زیست‌زون‌های نانوفسیلی بخش مارنی سازند فرخی در برش چینه‌شناسی روستای فرخی پرداخته شده است.

اولین حادثه زیستی قابل مشاهده در ضخامت مورد مطالعه از سازند فرخی، ثبت حضور گونه *Uniplanarius trifidius* (نشانگر مرز زیرین زون زیستی CC22) در اولین نمونه مورد مطالعه است. بدنبال آن، دومین حادثه زیستی آخرین حضور گونه‌ی *Reinhardtites anthophorus* (نشانگر مرز بالایی زون زیستی CC22) می‌باشد. متعاقباً آخرین حضور گونه‌های *Tranolithus orionatus* (نشانگر مرز بالایی زون زیستی CC23) و *Reinhardtites levis* (نشانگر مرز بالایی زون زیستی CC24 و مرز زیرین زون CC25)، از دیگر حوادث زیستی است که در ادامه ثبت گردید. حوادث زیستی بعدی در این مطالعه شامل اولین حضور گونه‌های *Lithraphidites quadratus* و *Micula murus* است که نشان دهنده وجود زیست‌زون CC25 می‌باشد. برمبنای حوادث زیستی مذکور، زیست‌زون‌های نانوفسیلی زیر تعیین گردید.



شکل ۱- تصاویر برخی از نانوفسیل‌های شناسایی شده در بخش مارنی سازند فرخی در برش چینه‌شناسی فرخی

Fig. 1. Images of some identified nannofossils in the marl segment of Farrokhi Formation in Farrokhi stratigraphic section

نمونه‌ها در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور استان خراسان جنوبی، F.M نمونه‌های مارنی برش فرخی است
1: *Acuturris scotus* (Risatti, 1973) Wind & Wise in

اسامی نانوفسیل‌های آهکی پلیت ۱ (شکل ۱) (Scale bar:)
۵µm). علامت‌های اختصاری PNU معرف محل نگهداری

حضور گونه‌های *Eiffellithus* و *Uniplanarius trifidius* و *parallelus* و جهت تعیین مرز پایین و بالای UC15e اولین حضور گونه نانوفسیلی *Eiffellithus parallelus* و آخرین حضور *Eiffellithus eximius* معرفی شده است.

در این پژوهش حضور گونه‌ی *Uniplanarius trifidius* در نمونه‌های مطالعه شده از واحد زیرین بخش مارنی (واحد مارن آهکی) و نیز در اولین نمونه مورد مطالعه از بخش مارنی مشاهده شد. آخرین حضور *Reinhardtites anthophorus* در ۳۴ متری از قاعده بخش مارنی (نمونه شماره ۲۲) ثبت گردید. این زیست‌زون ۳۴ متر ابتدایی بخش مارنی و ۳ متر انتهایی واحد مارن آهکی زیرین را در بر دارد. بنابراین ضخامت آن در مجموع نمونه‌های مورد مطالعه ۳۷ متر است. در این مطالعه بر مبنای حضور گونه‌ی *Uniplanarius trifidius* به شرحی که در بالا اشاره شد و آخرین حضور *Eiffellithus eximius* در نمونه شماره ۲۲، زیرزون‌های UC15d و UC15e نیز ثبت گردید. لکن با توجه به عدم حضور *Eiffellithus parallelus* مرز دو زیرزون دقیقاً مشخص نیست.

۴-۲-۲- زیست‌زون CC23 (*Tranolithus phacelosus*) (Zone)

طبق تعریف Sissingh (۱۹۷۷) لبه پایینی و بالایی این زون به ترتیب آخرین حضور *Reinhardtites anthophorus* و آخرین حضور *Tranolithus phacelosus* (= *Tranolithus orionatus*) می‌باشد. سن زیست‌زون مذکور انتهای کامپانین پسین تا ماستریشتین پیشین است (Perch-Nielsen, 1985). زیست‌زون UC16 و UC17 از زون‌بندی Burnett (۱۹۹۸) معادل زیست‌زون مذکور هستند. آخرین حضور *Eiffellithus eximius* و آخرین حضور *Broinsonia parvus constrictus* به ترتیب معرف مرز پایین و بالایی UC16 و آخرین حضور نانوفسیلی *Broinsonia parvus constrictus* و آخرین حضور *Tranolithus orionatus* به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مرز پایین و بالای UC17 می‌باشد.

در این مطالعه آخرین حضور *Reinhardtites anthophorus* در نمونه شماره ۲۲ و آخرین حضور *Tranolithus orionatus* در نمونه شماره ۴۹ (تقریباً ۸۸ متری از قاعده بخش مارنی) موید وجود زیست‌زون CC23

- Wise & Wind, 1977; (Sample No.: PNU. F.M34)
 2: *Microrhabdulus decoratus* Deflandre, 1959; (Sample No.: PNU. F.M23)
 3: *Microrhabdulus belgicus* Hay & Towe, 1963; (Sample No.: PNU. F.M27)
 4: *Lithraphidites quadratus* Bramlette & Martini, 1964; (Sample No.: PNU. F.M65)
 5: *Lucianorhabdus maleformis* Reinhardt, 1966; (Sample No.: PNU. F.M9)
 6: *Lucianorhabdus cayeuxii* Deflandre, 1959; (Sample No.: PNU. F.M21)
 7: *Micula staurophora* (Gardet, 1955) Stradner, 1963; (Sample No.: PNU. F.M13)
 8: *Micula murus* (Martini, 1961) Bukry, 1973; (Sample No.: PNU. F.M2)
 9: *Uniplanarius trifidus* (Stradner in Stradner & Papp, 1961) Hattner & Wise, in Wind & Wise 1983; (Sample No.: PNU. F.M20)
 10: *Uniplanarius sissinghii* (Perch-Nielsen, 1986) Farhan 1987; (Sample No.: PNU. F.M37)
 11: *Quadrum gartneri* Prins & Perch-Nielsen in Manivit et al., 1977; (Sample No.: PNU. F.M57)
 12: *Ceratolithoides aculeus* (Stradner, 1961) Prins & Sissingh in Sissingh, 1977; (Sample No.: PNU. F.M15)
 13: *Braarudosphaera bigelowii* (Gran & Braarud 1935) Deflandre, 1947; (Sample No.: PNU. F.M23)
 14: *Calculites obscurus* (Deflandre, 1959) Prins & Sissingh in Sissingh, 1977; (Sample No.: PNU. F.M63)
 15: *Retecapsa angustiforata* Black, 1971; (Sample No.: PNU. F.M59)
 16: *Corollithion signum* Stradner, 1963; (Sample No.: PNU. F.M60)
 17: *Watznaueria barnesiae* (Black in Black & Barnes, 1959) Perch-Nielsen, 1968; (Sample No.: PNU. F.M54)
 18: *Reinhardtites anthophorus* (Deflandre, 1959) Perch-Nielsen, 1968; (Sample No.: PNU. F.M21)
 19: *Reinhardtites levis* Prins & Sissingh in Sissingh, 1977; (Sample No.: PNU. F.M50)
 20: *Tranolithus orionatus* (Reinhardt, 1966a) Reinhardt, 1966b; (Sample No.: PNU. F.M48)

۴-۲-۱- زیست‌زون CC22 (*Quadrum trifidum*) (Zone)

Bramlette و Bukry (۱۹۷۰) و Sissingh (۱۹۷۷) زیست‌زون CC22 را از اولین حضور *Uniplanarius trifidius* تا آخرین حضور *Reinhardtites anthophorus* معرفی نموده‌اند. بازه‌ی زمانی این زیست‌زون کامپانین پسین است (Perch-Nielsen, 1985). زیست‌زون مذکور معادل زیست‌زون UC15d و UC15e از زون‌بندی Burnett (۱۹۹۸) است. برای تعیین مرز پایین و بالای UC15d به ترتیب اولین

حضور *Lithraphidites* و *Ceratolithoides kamptneri* و *quadratus* نیز شاخص بازه زمانی ماستریشتین پسین می باشد (Perch-Nielsen, 1972). مطابق مطالعات بعدی و مقایسه زون بندی های Sissingh (۱۹۷۷؛ ۱۹۷۸)، Burnett (۱۹۹۸) و با استناد بر داده های حاصل از مطالعات ایزوتوپی و مغناطیس سنجی، مرز بالای زیستزون CC25 با اولین حضور گونه *Ceratolithoides kamptneri* تعیین می شود (Burnett, 1998).

این زیستزون معادل زیستزون UC19 و زیرزون های زیستی UC20a و UC20b از زون بندی Burnett (۱۹۹۸) می باشد. وی شاخص های تعیین مرزهای زیرین و بالایی زیستزون UC19 را براساس آخرین حضور *Reinhardtites Lithraphidites quadratus* و اولین حضور معرفی نمود. محدوده ی زیرزون زیستی UC20a به ترتیب با اولین حضور *Lithraphidites quadratus* تا اولین حضور *Micula murus* مشخص می شود. محدوده ی زیرزون UC20b نیز از اولین حضور *Micula murus* تا اولین حضور *Ceratolithoides kamptneri* تعیین می گردد. اولین حضور گونه ی *Ceratolithoides kamptneri* مطابق Burnett (۱۹۹۸) معادل آغاز زیستزون CC26 است.

در برش مورد مطالعه آخرین حضور *Reinhardtites levis* در نمونه شماره ۵۹ موید آغاز زیستزون CC 25 در ۱۰۸ متری از قاعده لایه مارنی مورد مطالعه و نشانگر سن ماستریشتین پیشین برای این قسمت است. لکن در غیاب گونه *Nephrolithus frequens* براساس شواهد نانوفسیلی موجود مانند اولین حضور گونه *Lithraphidites quadratus* در نمونه شماره ۶۵ و اولین حضور گونه *Micula murus* در دومین نمونه از واحد مارن آهکی بالایی (نمونه شماره ۶۹)، سن بخش انتهایی واحد مارنی مورد مطالعه و ابتدای واحد مارن آهکی بالایی آغاز ماستریشتین پسین پیشنهاد می گردد. اولین حضور گونه *Ceratolithoides kamptneri* در این مطالعه مشاهده نشد. لکن با استناد بر اولین حضور گونه *Lithraphidites quadratus* و *Micula murus* وجود زیرزون UC20a و آغاز UC20b نیز محرز است. با توجه به عدم شناسایی گونه شاخص مرز بالایی، تعیین دقیق ضخامت زیستزون مذکور در نهشته های مطالعه شده امکان پذیر نیست.

با ضخامت ۵۴ متر است. علاوه بر آن بر مبنای ثبت آخرین حضور *Eiffellithus eximius* در نمونه شماره ۲۲، آخرین حضور *Broinsonia parvus constrictus* در نمونه شماره ۳۴ و آخرین حضور *Tranolithus orionatus* در نمونه شماره ۴۹، زون های زیستی UC16 و UC17 از زون بندی Burnett (۱۹۹۸) نیز مشخص گردید. ضخامت زون های مذکور به ترتیب ۲۴ و ۳۰ متر است.

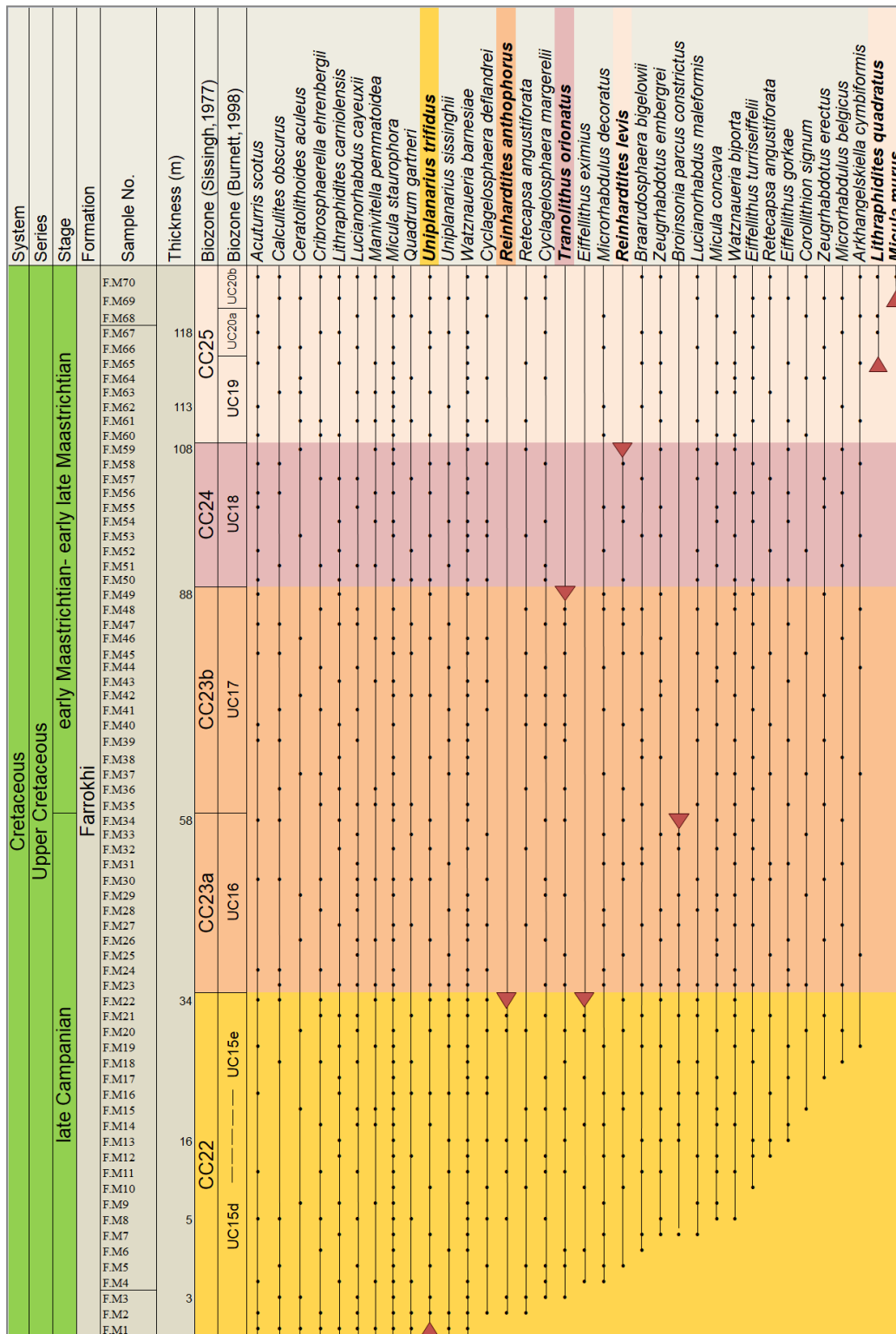
۴-۲-۳- زیستزون CC24 (*Reinhardtites levis*) (Zone)

گستره ی این زیستزون منطبق بر تعریف Sissingh (۱۹۷۷) از آخرین حضور *Tranolithus phacelosus* (= *Tranolithus orionatus*) تا آخرین حضور *Reinhardtites levis* است و دارای بازه ی زمانی ماستریشتین پیشین می باشد (Perch-Nielsen, 1985). این زیستزون معادل زیستزون UC18 از زون بندی Burnett (۱۹۹۸) است. مرز پایین و بالای UC18 بر مبنای آخرین حضور گونه نانوفسیلی *Tranolithus orionatus* و آخرین حضور *Reinhardtites levis* قابل تشخیص است.

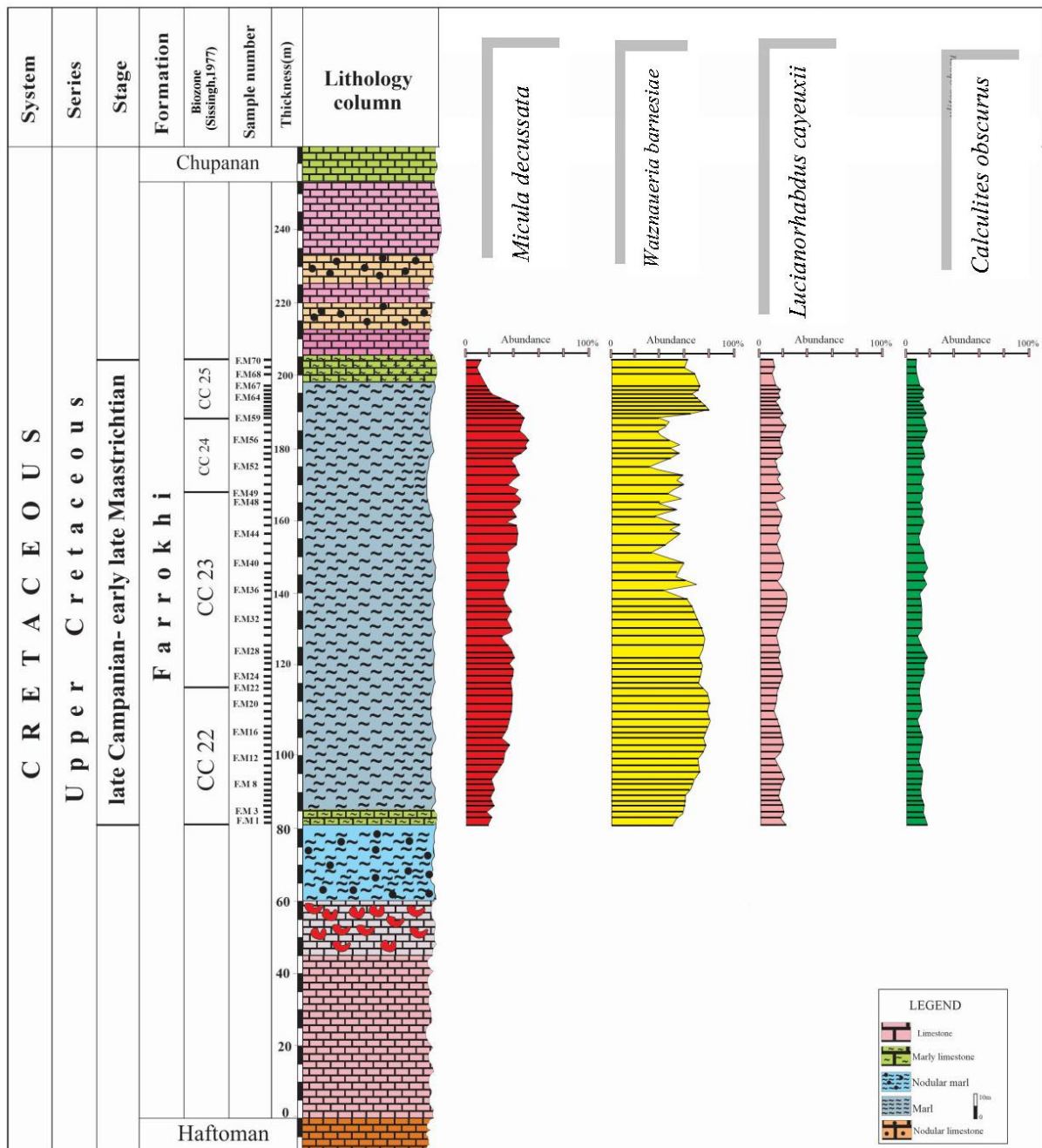
در این مطالعه مرز پایینی زیستزون CC24 و زیستزون معادل آن UC18 براساس آخرین حضور *Tranolithus orionatus* به شرح فوق تعیین شد و مرز بالایی آن ها بر پایه ی آخرین حضور *Reinhardtites levis* در نمونه شماره ۵۹ و در ۱۰۸ متری از قاعده بخش مارنی ثبت شد. این زیستزون ۲۰ متر ضخامت دارد.

۴-۲-۴- زیستزون CC25 (*Arkhangelskiella*) (*cymbiformis* Zone)

Perch-Nielsen (۱۹۷۲) و Sissingh (۱۹۷۷) زیستزون CC25 را از آخرین حضور گونه نانوفسیلی *Reinhardtites levis* تا اولین حضور *Nephrolithus frequens* تعریف نموده اند. سن این زیستزون ماستریشتین پیشین تا ماستریشتین پسین است (Perch-Nielsen, 1985). از آن جا که گونه *Nephrolithus frequens* در عرض های جغرافیایی پایین یافت نمی شود، لذا در عرض های جغرافیایی پایین می توان به اولین حضور *Micula murus* جهت تعیین مرز بالای زون استناد کرد (Perch-Nielsen, 1972). علاوه بر آن اولین



شکل ۴- پراکندگی نانوفسیل‌های آهکی و زیست‌زون‌های شناسایی شده در بخش مارنی سازند فرخی در برش چین‌شناسی فرخی
 Fig.4. Distribution of calcareous nannofossils and identified biozones in the marl section of Farrokhi Formation in Farrokhi stratigraphic section



شکل ۵- فراوانی نسبی گونه‌های غالب نانوفسیلی در نمونه‌های مورد مطالعه
 Fig.5. Relative abundance of dominant nannofossil species in the studied samples

۴-۳- دیرینه‌بوم‌شناسی بخش مورد مطالعه

نانوفسیل‌های آهکی یکی از مهمترین گروه‌های میکروفسیلی هستند که به دلیل حساسیت به شرایط محیط مانند دما، شوری، عمق و موادغذایی، فراوانی و تنوع گونه‌ای آنان دستخوش تغییر شده و از این رو اطلاعات مفیدی در مورد

شرایط دیرینه‌ی حوضه‌های رسوبی در اختیار محققان قرار می‌دهند (Herrle et al., 2010; Mutterlose et al., 2005).

در پژوهش کنونی بخش مارنی سازند فرخی بر اساس تجمع نانوفسیل‌های آهکی موجود جهت بازسازی شرایط

دیرینه بررسی شد. نتایج دیرینه بوم‌شناسی حاصل به شرح ذیل است.

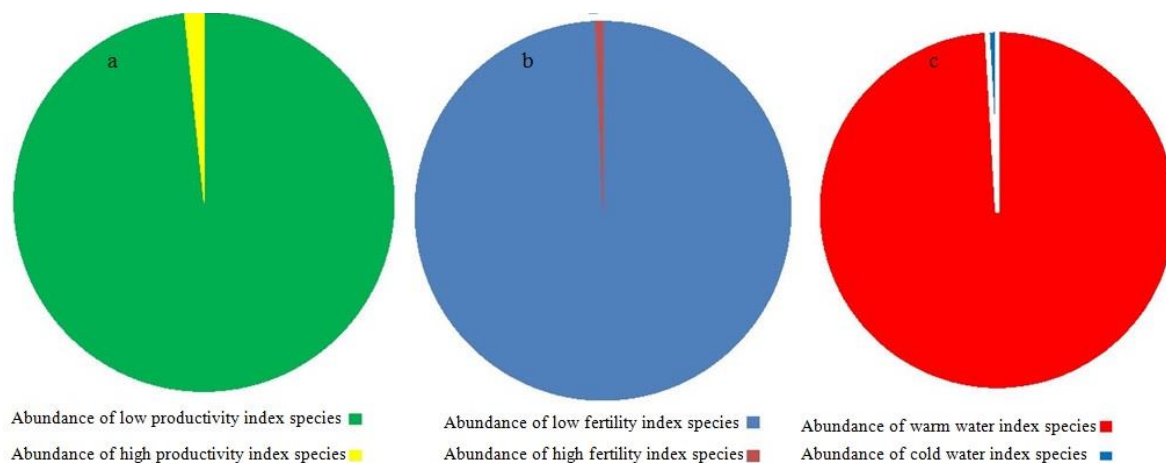
در نمونه‌های مورد مطالعه از بخش مارنی سازند فرخی در برش چینه‌شناسی فرخی، تنوع و فراوانی جنس و گونه‌ها در بخش مارنی نسبت به نمونه‌های مطالعه شده از واحد مارن آهکی زیرین و بالایی افزایش بیشتری را نشان می‌دهد. فراوانی جنس و گونه‌های غالب و مورد استفاده در مطالعات دیرینه بوم‌شناسی کنونی عبارتند از *Micula decussata* (حداکثر فراوانی ۳۵/۲۶٪، متوسط فراوانی ۱۴/۳۶٪)، *Lucianorhabdus cayeuxii* (حداکثر فراوانی ۲۵/۶۳٪، متوسط فراوانی ۱۷/۳۲٪)، *Watznaueria barnesiae* (حداکثر فراوانی ۶۵/۳۴٪، متوسط فراوانی ۲۲/۱۹٪) و *Calculites obscurus* (حداکثر فراوانی ۱۹/۱۰٪، متوسط فراوانی ۹/۸۶٪) می‌باشد (شکل ۵).

همان‌طور که ذکر شد یکی از گونه‌های غالب در تجمع نانوفسیل‌های آهکی موجود، گونه *Micula decussata* است که بیانگر شرایط آب و هوایی نسبتاً سرد، الیگوتروف و پر استرس محیطی می‌باشد (Thiabult and Gardin, 2006; Watkins and Self-Trail, 2005). از دیگر گونه‌های غالب در نمونه‌های مطالعه شده، گونه‌ی

Watznaueria barnesiae است که در عرض‌های پایین فراوان بوده و توسط غالب محققان شاخص آب گرم و محیط‌های الیگوتروف معرفی شده است (Herrle et al., 2003; Mattioli et al., 2013). علاوه بر آن Campbell و همکاران (۲۰۰۴) نیز گونه‌های *Lithraphidites carniolensis*، *Uniplanarius sissinghii* و *Uniplanarius trifidus* را شاخص عرض‌های جغرافیایی پایین با آب گرم دانسته و معتقدند که این گونه‌ها در مناطق با عرض‌های جغرافیایی بالا دیده نمی‌شوند.

همچنین گونه‌های مختلف *Eiffellithus* spp. و *Microrhabdulus* spp. *Lithraphidites* spp. به عنوان شاخص‌های مواد غذایی پایین، باروری پایین و محیط الیگوتروفیک شناخته می‌شوند (Friedrich et al., 2005; Thibault and Gardin, 2007). در مقابل فراوانی گونه‌های *Zeughrabdotos thoracosphaera saxeae* و *Biscutum constans erectus* در شرایطی است که حاصل‌خیزی آب‌های سطحی روبه افزایش است (Erba et al., 1992).

شکل ۶- فراوانی نسبی گونه‌های شاخص مواد غذایی (a)، باروری (b) و دما (c)



شکل ۶- فراوانی نسبی گونه‌های شاخص مواد غذایی (a)، باروری (b) و دما (c)

در این مطالعه حضور فراوان گونه‌ی *Watznaueria barnesiae* در کنار گونه‌های *Ceratolithoides aculeus*، *Uniplanarius lithraphidites carniolensis* و نبود گونه‌های شاخص عرض‌های جغرافیایی بالا، حاکی از آن است که حوضه در زمان نهشته شدن سازند فرخی در مناطق با عرض‌های

در این مطالعه حضور فراوان گونه‌ی *Watznaueria barnesiae* در کنار گونه‌های *Ceratolithoides aculeus*، *Uniplanarius lithraphidites carniolensis* و نبود گونه‌های شاخص عرض‌های جغرافیایی بالا، حاکی از آن است که حوضه در زمان نهشته شدن سازند فرخی در مناطق با عرض‌های

حضور گونه‌های *Eiffellithus eximius*، *Eiffellithus*،
Lithraphidites quadratus، *turriseiffelii*،
Microrhabdulus Lithraphidites carniolensis،
Microrhabdulus belgicus decoratus و
Watznaueria barnesiae نبود گونه‌های شاخص باروری
و مواد غذایی باله، دال بر شرایط باروری و مواد غذایی پایین
حوضه است (شکل ۶).

جغرافیایی پایین تا متوسط و گرم قرار داشته است. از طرفی
وجود *Micula decussata* که شاخص محیط‌های با دمای
پایین تر می‌باشد، حاکی از نوسانات دما در بازه‌ی زمانی
کامپانین - ماستریشتین است و با تغییرات آب و هوای جهانی
یعنی گذر از آب و هوای گرم کرتاسه میانی به آب و هوای
نسبتاً سردتر ماستریشتین (Friedrich et al., 2012; Linnert et al., 2014, 2018) مطابقت دارد. در این مطالعه

مراجع

- Aghanbati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, p. 606.
- Agnini, C., Monechi, S., Raffi, I., 2017. Calcareous nannofossil biostratigraphy: historical background and application in Cenozoic chronostratigraphy. *Lethaia* 50, 447–463. <https://doi:10.1127/0078-0421/2014/0042>
- Aistov, L., Melnikov, B., Krivyakin, B., Morozov, L., Kiristaev, V., 1984. Geology of the Khur Area (Central Iran). Explanatory Text of the Khur Quadrangle Map1:250.000, V/O Technoexport Report 20, pp. 1e130.
- Allameh, M., Rezaei Yazdi Nejad, R., 2017. Late Cretaceous Biostratigraphy planktonic foraminifera of the Farrokhi Formation, Iran. *Open Journal of Geology* 7, 320-334. <https://doi:10.4236/ojg.2017.73022>
- Allameh, M., Taherpour Khalil Abad, M., 2014. Systematic Interpretation of Silicified Specimens of Upper Cretaceous *Echinocorys* ex. gr. *scutata* (Leske, 1778), Farrokhi Formation, Central Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 25(3), 237 – 251. https://jsciencs.ut.ac.ir/article_51852.html
- Allameh, M., Torabian, B., 2016. Palynofacies and paleoenvironment of marl segment in Farokhi formation (Central Iran). *Scientific Quarterly Journal, Geosciences* 26 (101), 57-68. <https://doi.org/10.22071/gsj.2016.41008>
- Bown, P.R., Young, J.R., 1998. Techniques. In: Bown PR (ed), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropaleontology Society Publication 16- 28. <https://10.1007/978-94-011-4902-0>
- Bukry, D., Bramalette, MN., 1970. Coccolith age determination leg 3, Deep sea Drilling project Intial Report Deep Drilling Project 3,589-611.
- Burnett, J.A., 1998. Upper Cretaceous. In: Bown, P.R. (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. Chapman and Hall, Cambridge pp. 132–199.
- Campbell, R.J., Howe, R.W., Rexilius, J.P., 2004. Middle Campanian- Lower most maastrichtian nannofossil and foraminiferal biostratigraphy of the north western Australian margin. *Cretaceous Research* 25: 827-864. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2004.08.003>
- Cepek, P., Hay, WW., 1969. Calcareous nannoplankton and biostratigraphic subdivision of the Upper Cretaceous Trants. *Gulf Coast Association geology Society* 19, 323-336.
- Doeven, P.H., 1983. Cretaceous nannofossil stratigraphy and paleoecology of the Canadian Atlantic Margin. *Bulletin of the Geological Survey of Canada* 356, 1-70. ISBN, 0660113236, 9780660113234; Length, 69 pages.
- Erba, E., Castradori, D., Guasti, G., Ripepe, M., 1992. Calcareous nannofossils and Milankovitch cycles: the example of the Albian Gault Clay Formation (southern England). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 93, 47- 69. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(92\)90183-6](https://doi.org/10.1016/0031-0182(92)90183-6)
- Friedrich, O., Herrle, J.O., Hemleben, C., 2005. Climatic changes in the Late Campanian – Early Maastrichtian: micropaleontological and stable isotopic evidence from an epicontinental sea. *Journal Foraminiferal Research* 35: 228- 247. <https://doi:10.2113/35.3.228>.
- Friedrich, O., Norris, R.D., Erbacher, J., 2012- Evolution of middle to Late Cretaceous ocean- a 55m.y. record of Earth s temperature and carbon cycle. *Geology* 40, 107-110. <https://doi:10.1130/G32701.1>.

- Halássová E., Vašíček Z., Jansa L., Reháková D., Skupien P., 2012. Lower Cretaceous succession and biostratigraphy near overthrust plane of Silesian Nappe (Ostravice River Channel, Outer Western Carpathians, Czech Republic). *Bull. Geosci* 87: 2, 383-406. <https://doi:10.3140/bull.geosci.1326>
- Herrle, J., Pross, J., Friedrich, O., Kobler, P., Hemleben, C., 2003. Forcing mechanisms for mid-Cretaceous black shale formation: evidence from the Upper Aptian and Lower Albian of the Vocontian Basin (SE France). *Palaeontology Journal* 399- 426. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(02\)00616-8](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(02)00616-8)
- Herrle, J.O., Kossler, P., Bollmann, J., 2010. Palaeoceanographic differences of early Late Aptian black shale events in the Vocontian Basin (SE France), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297, 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.08.015>
- Jedavi, S., Ghaseminejad, E., Majidifard, M.R., 2018. New finding on the biostratigraphy and paleoecology of the Farrokhi Formation in northwest of Khur, Central Iran, based on palynomorphs and foraminifera. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology researchs* 34 (3), 1-20. <https://doi.org/10.22108/jssr.2018.109056.1036>
- Khosro Tehrani, K., 1977. Startigraphie du cretace Superieur et du Paleocene de la partie mediane de l'Iran (region comprise entre Esfahan-jandagh et yazd) *C.R.Sc. Bulletin de la Société géologique de France* 4, 239-241.
- Linnert, C., Robinson, S.A., Lees, J.A., Bown, P.R., Perez-Rodriguez, I., Petrizzo, M.R., Falzoni, F., Littler, K., Arz, J.A., Russell, E.E., 2014. Evidence for global cooling in the Late Cretaceous. *Nature Communications* 5, 1-7. <https://doi.org/10.1144/jgs.157.4.737>
- Linnert, C., Robinson, S. A., Lees, J.A., Rodriguez, I.P., Jenkyns, H.C., Petrizzo, M.R., Arz, J.A., Bown, P.R., Falzoni, F., 2018. Did Late Cretaceous cooling trigger the Campanian- Maastrichtian Boundary Event?. *Newsletters on Stratigraphy* 51, 145-166. <https://doi:10.1127/nos/2017/0310>
- Mattioli1, E., Plancq, J., Boussaha, M., Duarte, L.V., Pittet, B., 2103. Calcareous nannofossil biostratigraphy: new data from the Lower Jurassic of the Lusitanian Basin. *Comunicações Geológicas*, 100 Especial I, 69-76.
- Mohafez, S., Moshtaghian, A., 1963. Geology and oil possibilities of khur-Jandaq-Biabanak area.
- Notghi Moghaddam, M., 2020. Introduction of Calcareous Nannofossils and Biostratigraphy of the Farrokhi Formation in Azizabad section (Central Iran, Middle Tethys Ocean). *Journal of Oceanography* 11(42),149-157. <https://doi:10.52547/joc.11.42.149>
- Mutterlose, J., Bornemann, A., Herrle, J.O., 2005. Mesozoic calcareous nannofossils state of the art. *Paleontology* 79, 113-133. <https://www.researchgate.net/profile/Andre-Bornemann/publication/227246386>
- Perch-Nielsen, K., 1972. Remarks on Late Cretaceous to Pleistocene coccoliths from the North Atlantic Initial Rep. Deep Sea drilling Project 12, 1003-69.
- Perch-Nielsen, K., 1979. Calcareous nannofossil zonation at the Cretaceous/ Tertiary boundary in Denmark. In: Birkelund, T., and Bromley, R.G., (Editors), *Proceedings Cretaceous-Tertiary Boundary Events Symposium*, Copenhagen, 1, Copenhagen pp. 115-135. .
- Perch-Nielsen, K., 1983. Recognition of Cretaceous stage boundaries by means of calcareous nannofossils. In: Birkelund, T. et al. (Editors), *Symposium on Cretaceous Stage Boundaries*, Copenhagen, October 18-21, 1983, Abstracts, Copenhagen pp. 152-156.
- Perch- Nielsen, K., 1985. Plankton Stratigraphy. In: Bolli Hm, Saunders JB, Perch- Nielsen K (Eds). Cambridge University Press 329- 426.
- Perfiliev, Y.U., Aistov, L., Selivanov, E., Remizov, N., Melnikov, B., 2001. Geological map of Farrokhi (1:100000). Geological Survey of Iran.
- Razmjoe, A., 2011. Lithostratigraphic and biostratigraphic finding on the Farrokhi formation in Northwest of khur (Central Iran), Master's Thesis, Institute for Earth Sciences. Geological Survey of Iran.
- Rezaei Yazdi Nejad, R., 2014. Micropaleontology of the shale segment of Farrokhi Formation based on foraminifera (sedimentary basin of Central Iran). Ms Thesis, Islamic Azad University, Mashhad Branch, 150 p.

- Roth, P.H., 1978. Cretaceous nannoplankton biostratigraphy and oceanography of the northwestern Atlantic Ocean. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 44, 731-760.
- Seif, H., 2013. Lithostratigraphic and biostratigraphic finding on the Farrokhi Formation in Southwest of khur (Central Iran), Master's Thesis , Institute for Earth Sciences. Geological Survey of Iran, Tehran
- Seif, H., Majidifard, M.R., Mohtat, T., 2013. New biostratigraphic findings of the Farrokhi Formation located in the southwest of Khur (Central Iran) based on planktonic foraminifera. 32nd National and 1st International Geosciences Congress.
- Seif, H., Majidifard, M.R., Mohtat, T., 2015. New lithostratigraphic and biostratigraphic finding on the Farrokhi Formation in southwest of Khur, Central Iran. Scientific Quarterly Journal, Geosciences 25 (97), 197-210. . <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.41505>
- Sissingh, W., 1977. Biostratigraphy of Calcareous Nannoplankton. *Geologie En Mijnbouw* 56, 37-65.
- Sissingh, W., 1978. Microfossil biostratigraphy and stage- stratotypes of the Cretaceous. *Geologie En Mijnbouw* 57, 433-440.
- Thibbault, N., Gardin, S., 2006. Maastrichtian calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoecology in the equatorialatlantic (demerara rise, ODP leg 207 hole 1258A). *Micropaleontology* 49(4), 199-214. <https://doi.org/10.1016/j.revmic.2006.08.002>
- Thibult, N., Gardin, S., 2007. The late Maastrichtian nannofossil record of climate change in the South Atlantic DSDP Hole 525A. *Marine Micropaleontology* 65, 163-184. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2007.07.004>
- Thierstein, H.R., 1976. Mesozoic calcareous nannoplankton biostratigraphy of marine sediments. *Marine Micropaleontology* 1, 325-362. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(76\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0377-8398(76)90015-3)
- Torabian, B., Allameh, M., Aryaei, A. A., 2011. Palynofacies and sedimentary environment of marl parts of Farrokhi Formation in the Central Iran sedimentary basin (west of Farrokhi village). The First Congress of Sedimentology and Stratigraphy of Iran, Mashhad p. 178. <https://doi.org/10.22071/gsj.2016.41008>
- Verbeek, J.W., 1977. Calcareous nannoplankton biostratigraphy of Middle and Upper Cretaceous deposits in Tunisia, southern Spain and France. *Utrecht Micropaleontological Bulletins* 16, 1-157.
- Watkins, D.K., 2007. Quantitative analysis of the calcareous nannofossil assemblages from CIROS-1, Victoria Land Basin, Antarctica. *Journal of Nannoplankton Research* 29 (2), 130-137. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1235&context=geosciencefacpub>
- Watkins, D. K., Self- Trail, J.M., 2005. Calcareous nannofossils evidence for the existence of the Gulf Stream during the Late Maastrichtian. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 20, 1-9. <https://doi.org/10.1029/2004PA001121>
- Wilmsen, M., Fürsich, F. T. Majidifard, M. R., 2012. Porosphaera globularis (Phillips, 1829) (Porifera, Calcarea) from the Maastrichtian of the Farrokhi Formation of Central Iran, *Cretaceous Research* 33, 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2011.09.002>