Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Summer 2025, Vol. 15(2): 254 - 275

Research Article

Nannostratigraphy and tectonic significance of the Central Iran Lower Cretaceous deposits, Qaen region

Marziyeh Notghi Moghaddam[1]*, Mahnaz Nedaei[1], Farah Jalili[2]

1- Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran
2- Department of Geology, University of Birjand, Iran

Keywords: *Lut Block, Qaen, Cretaceous, Calcareous nannofossils, Subduction zone.*

1-Introduction

The eastern part of Iran forms a long north-south belt, primarily composed of Mesozoic and Cenozoic rocks, which extends between the Afghan Block in the east and the Lut Block in the west (Stocklin, 1968). The Sistan ophiolitic suture zone on the Lut block's eastern border reveals the Neotethyan Ocean's subduction (Dercourt et al., 1986; Golonka, 2004; Bagheri & Stampfli, 2008). The evidence of Early Cretaceous or even older normal faulting suggests that the continental margin thinned during the subduction phase of the Sistan Ocean. The intrusion of magmatism associated with Late Cretaceous subduction indicates tension in the continental-to-oceanic transition basin or fore-arc basin (Zarrinkoub et al., 2012; Jentzer et al., 2022). The Birjand ophiolites also represent a normal fault zone of several kilometers, indicating a slow or very slow spreading basin during the Aptian-Albian period, which makes it relatively narrow.

Calcareous nannofossils are crucial tools for paleoecological and biostratigraphic studies of marine sediments. In this research, we investigated the calcareous nannofossils found in the Lower Cretaceous deposits of the Lut Block to reconstruct past tectonic events. Our findings from the stratigraphic section around Qaen, located on the eastern margin of the Lut Block, first reflect the characteristics of the basin and its sedimentary history. Additionally, they illustrate the tectonic conditions of the basin during the Cretaceous period.

This study enhances our understanding of the basin's situation and confirms the tectonic and geodynamic assumptions regarding the Lut Block. The sections examined include Braz, Khonik, Rumshtik, Tighdar, Mal Abad, Fath Abad, and Charmeh, all situated around Qaen. This study aims to determine the age and depositional conditions of the Lut Block basin based on the identified nannofossil species.

2-Materials and methods

In this study, samples from the lower Cretaceous successions in Lut Block from the Baraz (42 samples), Khunik (55 samples), Rumeshtik (98 samples), Tighdar (22 samples), Maleabad (102 samples), Fathabad (30 samples), and Charmeh (91 samples) sections have been studied. Samples were prepared following the standard smear slide technique (Bown & Young, 1998). Smear slides were made directly from unprocessed samples of freshly cut rock fragments without centrifuging to avoid changes in the composition of the original assemblages. All slides were studied under crossed polarized light (XPL) and the plane polarized light (PPL) of the BH2 Olympus microscope. In this study, bibliographic references Perch-Nielsen (1985) and Burnett (1998) have been used to identify taxa.

3-Results and discussions

* Corresponding author: m.n.moghaddam@gmail.com
DOI: 10.22055/aag.2025.49158.2500
Received: 2025-03-04
Accepted: 2025-07-12

ISSN: 2717-0764

In the investigated sequences, biostratigraphic studies of calcareous nannofossils led to the identification of the nannofossil biozones that will be discussed below:

CC3- CC5 in Baraz and Rumeshtik sections

CC3- CC4- lower boundary of CC5 in Khunik section

CC7- CC9 in the Tighdar section

CC4- CC5 with index species for Baremian in the Maleabad section

CC4- CC5 in Fathabad and Charmeh sections

Considering the suggested biozones, the ages of these deposits in the studied sections are as follows:

The studied sequence in the Baraz and Rumeshtik sections: late Valanginian- late Hauterivian

The studied sequence in the Khunik section: early Valanginian- late Hauterivian

The studied sequence in the Tighdar section: Aptian-late Albian

The studied sequence in the Maleabad section: early Hauterivian- early Barremian

The studied sequence in Fathabad and Charmeh sections: early Hauterivian- late Hauterivian

The observed distribution patterns of nannofossils have been interpreted as characterizing a low-productivity, oligotrophic setting with high abundances of cosmopolitan species (Watznaueriaceae). In other words, the existence of Watznaueria barnesiae, Eiffelithus spp., Nannoconus spp., Lithraphidites spp. Microrhabdulus spp., and the absence of the species that index for high productivity, refer to low productivity and low fertility of the Lut Block basin. Considering the abundance of some species, such as Watznaueria spp., the studied samples indicate that the sediments were deposited in warm weather and shallow waters.

The biozones identified in the lower Cretaceous sections indicate the presence of CC3, CC4, and CC5 biozones in all areas except for the Tighdar section (CC7-CC9). Geological maps and geomagnetic lines reveal the Ferdous and Sarab basement faults striking northwest to southeast, with a thrust mechanism between the Tighdar section and the others. Compared to the others, the delay in the Tighdar section suggests that these faults likely influenced the extension of the basin and led to the development of the Lower Cretaceous sedimentation basin in the northeast, which propagated southwest during the Aptian to Albian period. These faults are associated with a normal fault zone, indicating a slow or very slow spreading oceanic basin to the north of Birjand during this time. The development of normal faults has resulted in the formation of horsts, grabens, and semi-grabens in the region. Over time, the expansion of these faults and the associated horsts and grabens toward the southwest has resulted in a delayed appearance of the carbonates deposited in the Tighder area compared to other sections. Subsequently, due to a reversal in the tectonic regime, these normal faults transformed into reverse faults.

4-Conclusion

Based on the index calcareous nannofossil species, the studied sequence in the investigated sections belongs to the lower Cretaceous (from Valanginian to Albian). Based on the index of nannofossil species, the investigated sequences were deposited in a shallow marine environment at relatively low latitudes with warm surface water. The difference in nannofossil biozones in the studied sections indicates varying sedimentation rates in different parts of the basin.

The subduction of the Neotethian Ocean began around 90 million years ago (Ma) as it moved northeast under the Afghan block; due to this subduction, a compressive regime developed in the region by 86 Ma, causing previously normal faults to switch to a reverse mechanism that led to further deformations and the creation of thrusts and uplifts, significantly altering the landscape of the area.

5-References

Bagheri, S., Stampfli, G.M., 2008. The Anarak, Jandaq, and Posht-e-Badam metamorphic complex in central Iran: new geological data, relationships and tectonic implications. Tectonophysics 451, 123-155.

Bown, P.R., Young, J.R., 1998. Techniques. In: Bown, P.R. Ed. Calcareous Nannofossil Biostratigraphy. British Micropalaeontological Society Publication I, 16- 28.

Burnett, J.A., 1998. Upper Cretaceous In: Bown PR (ed), Calcareous Nannofossil Biostratigraphy. Chapman & Hall / Kluwer Academic Publishers 132-199.

ISSN: 2717-0764

CC BY

Dercourt, J.E.A., Zonenshain, L.P., Ricou, L.E., Kazmin, V.G., Le Pichon, X., Knipper, A.L., Grandjacquet, C., Sbortshikov, I.M., Geyssant, J., Lepvrier, C., Pechersky, D.H., 1986. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. Tectonophysics 123, 241-315.

Golonka, J., 2004. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. Tectonophysics 38, 235–273. https://doi:10.1016/j.tecto.2002.06.004.

Jentzer, M., Agard, P., Bonnet, G., Monié, P., Fournier, M., Whitechurch, H., Omrani, J., Zarrinkoub, M.H., Khatib, M.M., Kohansal, R., and Do Couto, D., 2022. The North Sistan orogen (Eastern Iran): Tectono-metamorphic evolution and significance within the Tethyan realm. Gondwana Research, 109, pp.460-492.

Perch-Nielsen, K., 1985. Mesozoic Calcareous Nannofossils, in Plankton Stratigraphy (eds Bolli, H.M., Saunders, J.B., and Perch-Nielsen, K.). Cambridge University Press 329-426.

Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52, 1229-1258.

Zarrinkoub, M.H., Pang, K.N., Chung, S.L., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y., Lee, H.Y., 2012. Zircon U–Pb age and geochemical constraints on the origin of the Birjand ophiolite, Sistan suture zone, eastern Iran. Lithos 154, 392-405.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Notghi Moghaddam, M., Nedaei, M., Jalili, F,. 2025. Nannostratigraphy and tectonic significance of the Central Iran Lower Cretaceous deposits, Qaen region. Adv. Appl. Geol. 15 (2), 254-275.
DOI: 10.22055/aag.2025.49158.2500
https://aag.scu.ac.ir/article_20302.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

نانواستراتیگرافی و اهمیت زمین‌ساختی نهشته‌های کرتاسه پیشین ایران مرکزی، ناحیه قائن

مرضیه نطقی مقدم

دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

مهناز ندائی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

فرح جلیلی

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

notghi.m@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱

چکیده

حوضه رسوبی بلوک لوت، شرقی‌ترین بخش خرد قاره ایران مرکزی است. نهشته‌های کرتاسه پیشین در این حوضه گسترش یافته و از مجموعه‌ای از ماسه‌سنگ، شیل، مارن، کنگلومرا و سنگ آهک تشکیل شده است. به منظور شناخت دقیق چینه‌شناسی و وضعیت زمین‌ساختی بلوک لوت، چند برش چینه‌شناسی پیرامون قائن انتخاب، نمونه‌برداری و با روش اسمیراسلاید آماده‌سازی و مطالعه شد. این برش‌های چینه‌شناسی عبارتند از باراز و خونیک (غرب قائن)، رمشتیک و تیغدر (جنوب غرب قائن)، ماله‌آباد، فتح‌آباد و چرمه (شمال غرب قائن). مطالعات نانوفسیلی انجام شده و زیست‌زون‌های تعیین شده در برش‌های کرتاسه پایینی، گویای وجود زیست‌زون‌های CC3، CC4 و CC5 در تمام برش‌ها به جز برش تیغدر (CC7-CC9) است. سامانه گسل پی‌سنگی فردوس و سراب با راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق درست در حد فاصل بین برش تیغدر با سایر برش‌ها قرار دارند. اختلاف زمانی برش تیغدر نسبت به سایر برش‌ها مؤید این مسئله است که این گسل‌ها، محدوده حوضه را تعیین کرده و با عملکرد خود موجب شده‌اند تا رسوبگذاری در این حوضه در جنوب‌غرب این گسل‌ها با تأخیر زمانی نسبت به شمال‌شرق رخ دهد. این گسل‌ها متعلق به زون گسلش نرمال چندین کیلومتری در شمال بیرجند بوده‌اند که بیانگر یک حوضه اقیانوسی در حال گسترش آهسته یا بسیار آهسته در طول آپتین- آلبین است. گسترش این گسل‌ها و به تبع آن‌ها هورست و گرابن‌ها در طی زمان به سمت SW بوده است. بعدها در اثر معکوس شدن رژیم زمین‌ساختی، این گسل‌های نرمال تبدیل به گسل معکوس گردیده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *بلوک لوت، قائن، کرتاسه، نانوفسیل آهکی، گسل.*

۱-مقدمه

ایران مرکزی موزائیک پیچیده‌ای از چندین خردقاره است که در سیستم کوهزایی آلپ- هیمالیا با کمربندهای چین‌خورده - رانده البرز و کپه‌داغ در شمال، کوه‌های شرق ایران در شرق و زاگرس و مکران در غرب و جنوب احاطه شده (Berberian, 2014) و شامل بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت بادام، فروافتادگی بیاضه-بردسیر و بلوک یزد (Davoudzadeh et al., 1981; Berberian and King 1981) است که با گسل‌های راستگرد شمالی- جنوبی از هم تفکیک می‌شوند (شکل ۱؛ Walker and Jackson, 2004; Meyer and Le Dortz, 2007; Allen et al., 2011).

ایران مرکزی با زمین‌درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر- سبزوار احاطه شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). افیولیت‌های شرق ایران در مرز شرقی بلوک لوت، نشان‌دهنده مرزی است که توسط فرورانش اقیانوس نئوتتیس شکل گرفته است (Dercourt et al., 1986; Golonka, 2004; Bagheri and Stampfli, 2008).

برخی از محققین زمین‌ساخت فرورانش را رد کرده و باور دارند که کانی‌زایی شرق ایران ناشی از زمین‌ساخت کششی است (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱ Tarkian et al., 1983; Jung et al., 1984). محققینی نظیر افتخارنژاد (۱۳۵۹)، Camp و Griffis (۱۹۸۲)، Tirrul و همکاران (۱۹۸۳)، Saccani و

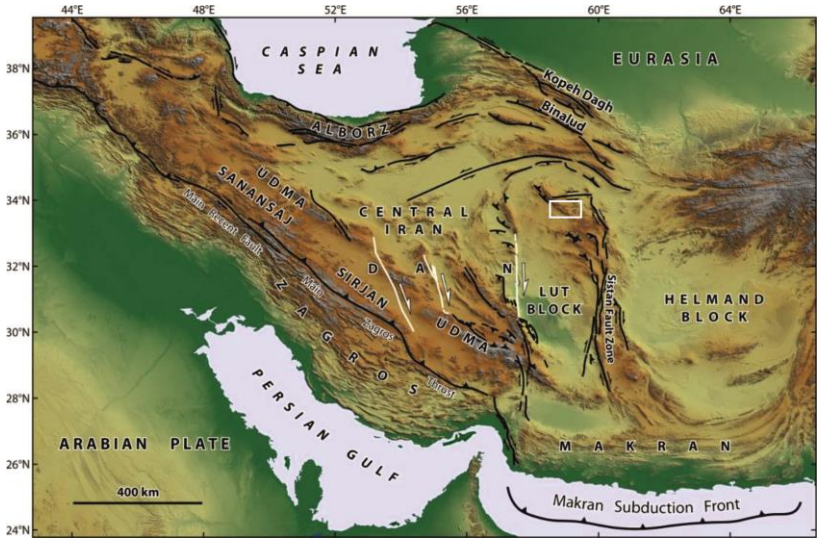
همکاران (۲۰۱۰) و Rezaei-Kahkhaei و همکاران (۲۰۱۰)، Zarrinkoub و همکاران (۲۰۱۲)، فرورانش اقیانوس نئوتتیس سیستان را عامل جای‌گیری افیولیت‌های شرق ایران می‌دانند. این سیستم فرورانش با برخورد بلوک‌های لوت و افغان پایان پذیرفته است.

زمان کافت اقیانوسی نئوتتیس سیستان بطور دقیق معلوم نیست. شواهد گسلش نرمال کرتاسه پایینی و یا حتی قدیمی‌تر در بلوک افغان نشان‌دهنده نازک‌شدگی حاشیه قاره‌ای در مرحله کافتش اقیانوس سیستان است. افیولیت‌های دگرگون نشده بلوک افغان که تحت نفوذ ماگماتیسم‌های مرتبط با فرورانش کرتاسه پایانی قرار گرفته است، کشش در حوضه انتقالی قاره به اقیانوسی پیش حوضه را نشان می‌دهد (۷۱-۸۶ م سال قبل؛ Zarrinkoub et al., 2012; Jentzer et al., 2022). افیولیت‌های بیرجند نیز بیانگر یک زون گسلش نرمال چندین کیلومتری است که نشان‌دهنده یک حوضه در حال گسترش آهسته یا بسیار آهسته در طول آپتین-آلبین است که باعث شده وسعت زیادی نداشته باشد و نهایتاً تا ۶۰۰ کیلومتر وسعت داشته است (Delaloye and Desmons, 1980; Babazadeh and De Wever, 2004; Zarrinkoub et al., 2012; Ozsvárt et al., 2020). وجود پی‌سنگ دگرگونی دمای متوسط و سنگ‌های حاوی لاوسونیت در زیر این افیولیت‌ها، مرتبط با انتشار آهسته افیولیت سیستان است. تکامل متقابل بین لوت و افغان و همچنین جهت N-S کنونی اقیانوس سیستان، با وجود یک محیط تراکششی مورب توضیح داده می‌شود (Jentzer et al., 2022).

همگرایی کلی زمین‌ساختی با کنتاکت‌های شیبدار به سمت NE که رو به SW رانده شده‌اند و نیز زیررانش کمپلکس نه (Neh complex) در زیر بلوک افغان، این دیدگاه را تقویت می‌کند که فرورانش مطابق نظر Tirrul و همکاران (۱۹۸۳) به سمت NE است. فرورانش اقیانوس سیستان در زیر حاشیه افغانستان حداقل از تورونین تایید شده است (Fotoohi Rad et al., 2005; Angiboust et al., 2013; Bröcker et al., 2013; Kurzawa et al., 2017; Bonnet et al., 2018). آذرین‌های نفوذی ائوسن پایینی که تراست کمپلکس نه روی بلوک لوت را بریده، مرحله نهایی بسته‌شدن سیستان را بیان می‌کند. شروع برخورد در کوه‌زایی سیستان با تغییر شکل نهشته‌های ائوسن و افزایش رسوبات آواری درشت دانه در زمان ائوسن (Tirrul et al., 1983) مشخص شده است. وجود ماگماتیسم کالک آلکالن پالئوژن کمی تغییر شکل یافته (حدود 46-25 Ma) در بلوک لوت و منطقه زمین درز سیستان به لایه‌شدگی سنگ کره بعد از برخورد منتسب شده است (Camp and Griffis, 1982; Pang et al., 2013; Mohammadi et al., 2016; Omidianfar et al., 2020).

بلوک لوت شرقی‌ترین بخش خردقاره ایران مرکزی است که پدیده‌های زمین‌شناختی متعدد و شایان توجهی دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳). مرز شرقی بلوک لوت با گسل نهبندان و افیولیت‌های شرق ایران؛ مرز غربی با گسل نایبند؛ مرز شمالی با گسل درونه و مرز جنوبی این زون ساختاری فروافتادگی جازموریان است (Stocklin, 1972; Gansser, 1995; Nowroozi, 1972; Stocklin and Navabi, 1971, 1973). تاریخچه چینه‌ای بلوک لوت بسیار نزدیک با دیگر نواحی خردقاره ایران مرکزی است. وجود فعالیت‌های شدید ماگمایی و حضور توده‌های نفوذی، وجود گسل‌ها و درز و شکاف‌های فراوان و وجود رخساره‌های مختلف دگرگونی در واحدهای مختلف سنگی از ویژگی‌های شاخص آن می‌باشد. علاوه بر آن به صورت محدودتر سنگ‌های رسوبی نظیر سنگ آهک، مارن و ماسه‌سنگ نیز در این زون ساختاری دیده می‌شود (آقانباتی، ۱۳۸۳). در این میان توالی رسوبات کرتاسه در بلوک لوت بدلیل تغییرات ژئودینامیکی منطقه که در بالا ذکر شد، از گستردگی و ضخامت قابل ملاحظه‌ای برخوردار نیست. در بسیاری از نقاط نیز به دلیل وجود شرایط زمین‌ساختی خاص، مطالعه توالی‌های موجود سخت و دشوار است. علی‌رغم شرایط ویژه این حوضه، مطالعات نانوفسیلی بر روی نهشته‌های مختلف سنوزوئیک و مزوزوئیک در مناطق مختلف بلوک لوت انجام شده و طی آن به تعیین سن نهشته‌ها پرداخته شده است.

هدف از مطالعات کنونی و انجام مطالعات نانوفسیل‌شناسی در برش‌های چینه‌شناسی اطراف قائن (شکل ۱)، تعیین سن دقیق نهشته‌ها، بازسازی شرایط حوضه در زمان مزوزوئیک و بررسی تاریخچه چینه‌ای حوضه رسوبی بلوک لوت است. علاوه بر این در مطالعه حاضر، بررسی‌های زمین‌ساختی مبتنی بر نانواستراتیگرافی نهشته‌ها و تغییرات گسترش گونه‌های نانوفسیلی انجام خواهد شد که منجر به شناخت بهتر وضعیت حوضه می‌شود.



شکل ۱. ایران مرکزی و گسل‌های امتداد لغز آن (موقعیت برش‌های مورد بررسی در کادر سفید مشخص شده است)

Fig. 1. Central Iran and its strike-slip faults (The position of the investigated sections as indicated in the white box)

۲- روش مطالعه

پس از انجام مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری در برش‌های مورد مطالعه، جهت انجام مطالعات نانوفسیلی، نمونه‌ها به روش اسمیراسلاید (Bown and Young, 1998) آماده‌سازی شد. اسلایدهای آماده شده با میکروسکوپ نوری المپوس مطالعه و سپس با دوربین عکس‌برداری شد. سپس جهت تعیین سن نهشته‌های مورد مطالعه در برش‌های نمونه‌برداری شده، شناسایی نانوفسیل‌های آهکی با استناد بر تعاریف Perch-Nielsen (۱۹۸۵) و Bown و Young (۱۹۹۸) انجام شد.

۳- موقعیت جغرافیایی برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه

در این مطالعه، برش‌های باراز (''۲۸ '۵۴ °۵۸ طول شرقی و ''۵۴ '۴۰ °۳۳ عرض شمالی و)، خونیک (''۲۵ '۵۶ °۵۸ طول شرقی و ''۵۳ '۴۴ °۳۳ عرض شمالی)، تیغدر (''۵۱ '۵۲ °۵۸ طول شرقی و ''۱۲ '۳۵ °۳۳ عرض شمالی)، ماله‌آباد (''۱۵ '۵۸°۴۳ طول شرقی و ''۳۶ '۵۶ °۳۳عرض شمالی)، فتح‌آباد (''۱۸'۴۵°۵۸ طول شرقی و ''۴۱ '۵۸ °۳۳ عرض شمالی) و چرمه (طول ' ۳۶ °۵۸ شرقی و عرض'۵۷ °۳۳ شمالی) که در محدوده چهار گوش ۱:۱۰۰۰۰۰ گریمونج قرار دارند و برش رمشتیک (''۲۹ '۵ °۵۹ طول شرقی و ''۲۳ '۳۷ °۳۳ عرض شمالی) واقع در در محدوده چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ قائن جهت نمونه‌برداری انتخاب و مطالعه شدند. موقعیت جغرافیایی برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه در شکل ۲ مشخص شده است.

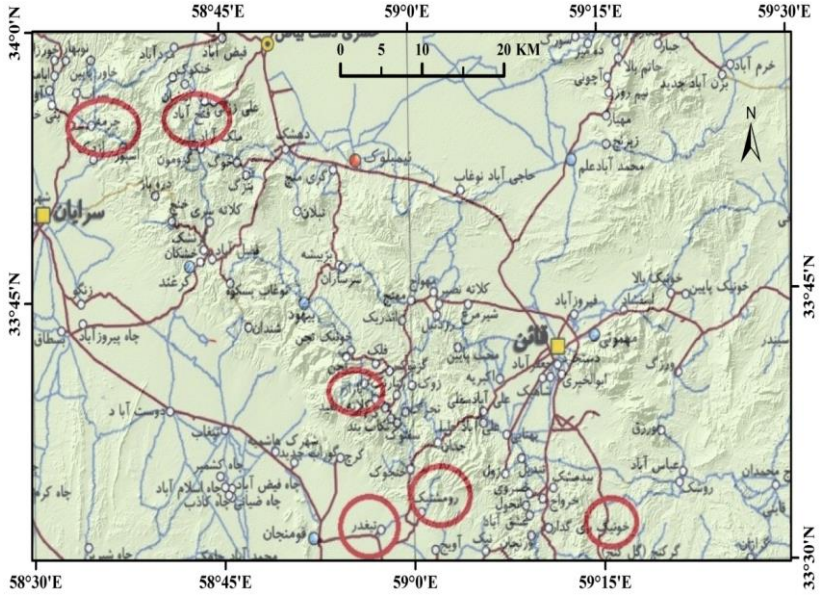
۴- سنگ‌شناسی برش‌های مورد بررسی

سامانه گسلی فردوس با روند شمال باختری- جنوب خاوری با شیب به سمت شمال خاور در شرق ایران قرار دارد. این سامانه از چندین گسل معکوس و رانده تشکیل شده است. کوه کلات در فرادیواره این سامانه قرار گرفته که ارتفاع زیاد این کوه بیانگر جنبش فعال این گسل است. این گسل رسوبات ترشیاری و کواترنری را بالا رانده و چین داده است. حرکت گسل رانده فردوس به سمت باختر، در رشد پهنه‌های گسلی راستالغز دیگر نقش دارد (Walker et al, 2003). مطالعات Walker (۲۰۰۳) در شرق فردوس یک زون بالاآمده و چین‌خورده از رسوبات ترشیاری و کواترنری را در بالای گسل تراستی فردوس نشان داد. رسوبات کواترنری در قسمت شرقی گسل راندگی تغییر کرده‌اند. بیشترین برخاستگی در انتهای جنوب شرقی گسل فردوس است بصورتی که بستر از رسوبات کواترنری و نئوژن برهنه شده است. جابجایی‌ها در گسل راندگی فردوس با دور شدن از تقاطع‌ها افت می‌کند. در این مطالعه توالی‌های نهشته‌های کرتاسه پایینی در برش‌های واقع در دو بلوک فرادیواره و فرودیواره گسل رانده فردوس به شرح ذیل جهت مطالعات نانوفسیلی بررسی شده است:

برش باراز: ضخامت واحد مورد مطالعه در این برش۱۸۲متر است و مشتمل بر تناوبی از مارن‌های خاکستری رنگ،

ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک‌های نازک لایه می‌باشد. مرز زیرین این واحد با یک همبری عادی بر روی یک واحد ماسه‌سنگ ضخیم لایه سبزرنگ قرار دارد و بر روی توالی مورد مطالعه یک واحد آهک توده‌ای ضخیم لایه با مرز عادی مشاهده می‌شود (شکل ۳). از این توالی ۴۲ نمونه با فواصل ۲ تا ۵ متری برداشت شد. همچنین جهت مطالعه مرز بالایی و پایینی تعداد ۴ نمونه از ۱۰ متر از هریک از واحدهای زیرین و بالایی برداشت شده است.

برش خونیک: ضخامت توالی مورد مطالعه در برش چینه‌شناسی مذکور ۱۹۶ متر است که مشتمل بر مارن‌های نرم سبز رنگ با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی می باشد. مارن‌های برداشت شده با مرز عادی بر روی واحد ماسه‌سنگی و در زیر سنگ‌آهک‌های توده‌ای روشن قرار گرفته‌اند (شکل ۳). از این نهشته‌ها با فواصل حدود ۲ تا ۴ متر، ۵۵ نمونه برداشت شد که پس از آماده‌سازی مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه
Fig. 2. Geographical position of the studied stratigraphic sections

جهت مطالعه واحدهای ماسه‌سنگی و سنگ آهکی ۳ نمونه از ۱۰ متر انتهایی بخش ماسه‌سنگی و ۳ نمونه از ۱۰ متر ابتدایی سنگ آهک‌های بالایی توالی مورد مطالعه برداشت شد.

برش رمشتیک: توالی مورد مطالعه در برش رمشتیک متشکل از۶۹۰ متر سنگ آهک و شیل است که ۳۰۰متر زیرین آن از شیل‌های آهکی سبز تیره (شکل ۳) و ۳۹۰ متر بالایی از سنگ آهک توده‌ای خاکستری تا سیاه رنگ تشکیل شده است. توالی مورد مطالعه بر روی ماسه سنگ‌های سازند قلعه دختر با سن ژوراسیک و در زیرکنگلومراهای سنوزوئیک (براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ قائن) با میان لایه‌های رسی قرار گرفته است. از توالی مذکور با فواصل ۳-۱۰متری، ۹۸ نمونه برداشت گردید که ۴۵ نمونه از بخش شیلی و ۵۳ نمونه متعلق به بخش آهکی می باشد.

برش تیغدر: ضخامت توالی مورد مطالعه در برش تیغدر ۱۰۸ متر بوده و مشتمل بر مارن‌های نرم سبز رنگ است (شکل ۳). مارن‌های نمونه‌برداری شده بر روی سنگ‌آهک‌های روشن قرار گرفته و در زیر سنگ‌آهک‌های توده‌ای حاوی رودیست‌های کوچک می‌باشند. از این نهشته‌ها با فواصل ۲ تا ۶ متری، ۲۲ نمونه برداشت گردید.

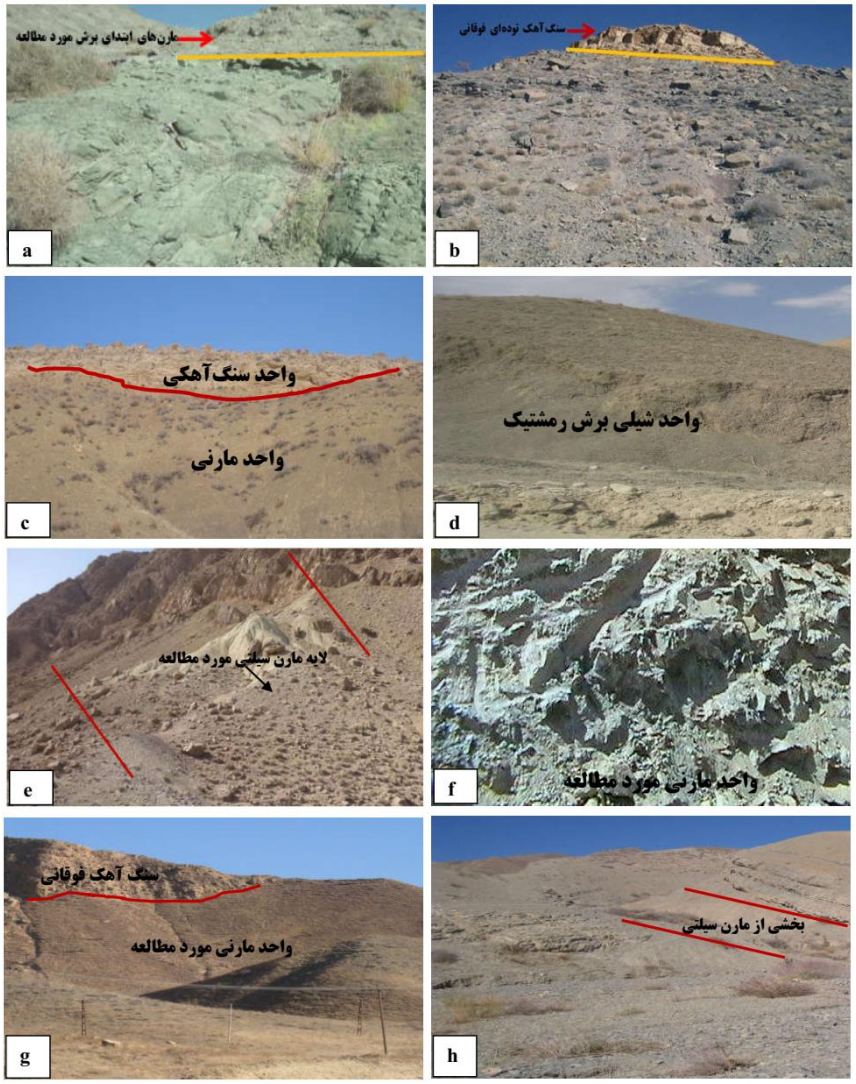
برش ماله‌آباد: ضخامت این برش ۳۴۸ متر بوده و شامل مارن سیلتی (شکل ۳) می‌باشد که بر روی یک واحد کنگلومرایی و در زیر سنگ آهک های دارای رودیست‌های کوچک نهشته شده است. تعداد ۱۰۲ نمونه از این برش جمع‌آوری و مطالعه شد.

برش فتح آباد: ضخامت برش فتح آباد ۵۸ متر می‌باشد. برش مورد مطالعه، مشتمل بر تناوبی از کنگلومرا، مارن های سیلتی خاکستری کم رنگ و سنگ آهک توده ای می‌باشد (شکل ۳). لایه های کنگلومرایی موجود در منطقه صورتی رنگ بوده و لایه بندی مشخصی نشان نمی دهند. لایه‌های مارنی مذکور به خاکستری روشن بوده، سیمای نرم فرسا و پستی دارند. در ابتدای لایه مارنی، بخش‌هایی حاوی فسیل‌های کوچک از

پلسی‌پودها و گاستروپودها با فراوانی بسیار و قابل توجه دیده می‌شود. آهک‌های فوقانی این توالی نیز توده‌ای بوده و حاوی تعداد زیادی رودیست‌های کوچک است. از این برش به طور سیستماتیک و با فواصل منظم ۲ متری، ۳۰ نمونه برداشت گردید و مطالعه شد.

برش چرمه: نهشته‌های موجود در این برش در ابتدا آواری‌های درشت دانه است که با یک گذر تدریجی از رسوبات مارن سیلتی به سنگ‌آهک‌های ضخیم لایه منتهی می‌شود (شکل ۳). در منطقه مورد مطالعه، مارن‌های سیلتی خاکستری تا سبز تیره با ضخامت ۲۰۹ متر بر روی یک واحد کنگلومرایی و ماسه‌سنگی قرار گرفته و با سنگ‌آهک‌های توده‌ای خاکستری پوشیده شده‌اند. جهت مطالعه نانوفسیل‌های آهکی در برش مورد مطالعه، تعداد ۹۱ نمونه از ضخامتی معادل ۲۰۹ متر از نهشته‌های مارن سیلتی مورد بررسی قرار گرفت.

تصاویرتعدادی از گونه‌های نانوفسیلی شاخص شناسایی شده در برش‌های مختلف در شکل ۴ آورده شده است.



شکل۳. تصاویر صحرایی برش‌هایی مورد مطالعه. (a) مرز زیرین و واحد ماسه‌سنگ در ابتدای برش باراز، (b) مرز بالایی با واحد آهک توده‌ای در برش باراز، (c) واحد مارنی مورد مطالعه و سنگ‌آهک فوقانی برش خونیک، (d) واحد شیلی برش رمشتیک، (e) نمای کلی و واحد مارن سیلتی برش فتح‌آباد، (f) واحد مارنی برش تیغدر، (g) واحد مارنی مورد مطالعه و واحد آهکی برش چرمه و (h) واحد مارن سیلتی برش مالەآباد

Fig. 3. Field images of the studied sections (a) lower boundary and sandstone unit at the beginning of the Baraz section, (b) upper boundary with massive limestone unit in the Baraz section, (c) studied marly unit and upper limestone of the Khunik section, (d) shale unit of the Rumeshtik section, (e) general view and silty marl unit of the Fathabad section, (f) marly unit of the Tighdar section, (g) studied marly unit and limestone unit of the Chermeh section and (h) silty marl unit of the Malehabad section

۵- مطالعه نانوفسیل‌های آهکی برش‌های مورد مطالعه

در برش باراز تعداد ۲۸ گونه متعلق به ۱۷ جنس نانوفسیلی شناسایی شده که حاکی از وجود زیست‌زون‌های نانوفسیلی CC3 تا CC5 با سن والانژینین پیشین تا هوتروین پسین هستند (شکل ۵).

در این پژوهش تعداد ۳۰ گونه متعلق به ۲۰جنس نانوفسیلی در برش خونیک شناسایی شد که موید حضور زون‌های زیستی CC3، CC4 و CC5 از زون‌بندی Sissingh (۱۹۷۷) و سن والانژینین پیشین تا هوتروین پسین برای توالی مورد مطالعه هستند (شکل ۶).

براساس مطالعات فسیل شناسی انجام شده در برش رمشتیک، تعداد ۳۳ گونه متلق به ۱۸ جنس نانوفسیلی شناسایی شد. برمبنای نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده، زیست‌زون‌های CC3، CC4 و CC5 از زون بندی Sissingh (۱۹۷۷)تعیین شد که نشان‌دهنده سن والانژینین پیشین– هوتروین پسین برای توالی مورد بررسی در برش رمشتیک می‌باشند (شکل ۷).

مطالعه سیستماتیک ریزدیرینه‌شناسی نمونه‌های برداشت شده از نهشته‌های مارنی برش تیغدر منجر به شناسایی ۲۵ گونه متعلق به ۱۵ جنس نانوفسیلی شد. باتوجه به اولین حضور گونه‌های شاخص ذکر شده و مجموعه فسیلی همراه، زیست‌زون‌های CC7-CC9 از زون‌بندی Sissingh (۱۹۷۷) با سن آپتین تا آلبین پسین تعیین شد (شکل ۸).

مطالعات زیست‌چینه‌نگاری انجام‌شده در برش ماله‌آباد منجر به شناسایی تعداد ۴۳ گونه متعلق به ۱۵ جنس از نانوفسیل‌های آهکی گردید که نشانگر وجود زیست‌زون‌های نانوفسیلی CC4 تا CC5 با سن هوتروین پیشین تا بارمین پیشین هستند (شکل ۹).

در برش فتح‌آباد تعداد ۱۰ جنس و ۲۸ گونه از نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شد. در این برش برپایه اولین حضور و آخرین حضور گونه‌های شاخص و مجموعه فسیل‌های همراه آن‌ها زیست‌زون‌های CC4 و CC5 برای بخش مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد. بر پایه‌ی زیست‌زون‌های معرفی‌شده، سن توالی مورد مطالعه در برش فتح آباد، هوتروین پیشین تا هوتروین پسین می‌باشد (شکل ۱۰).

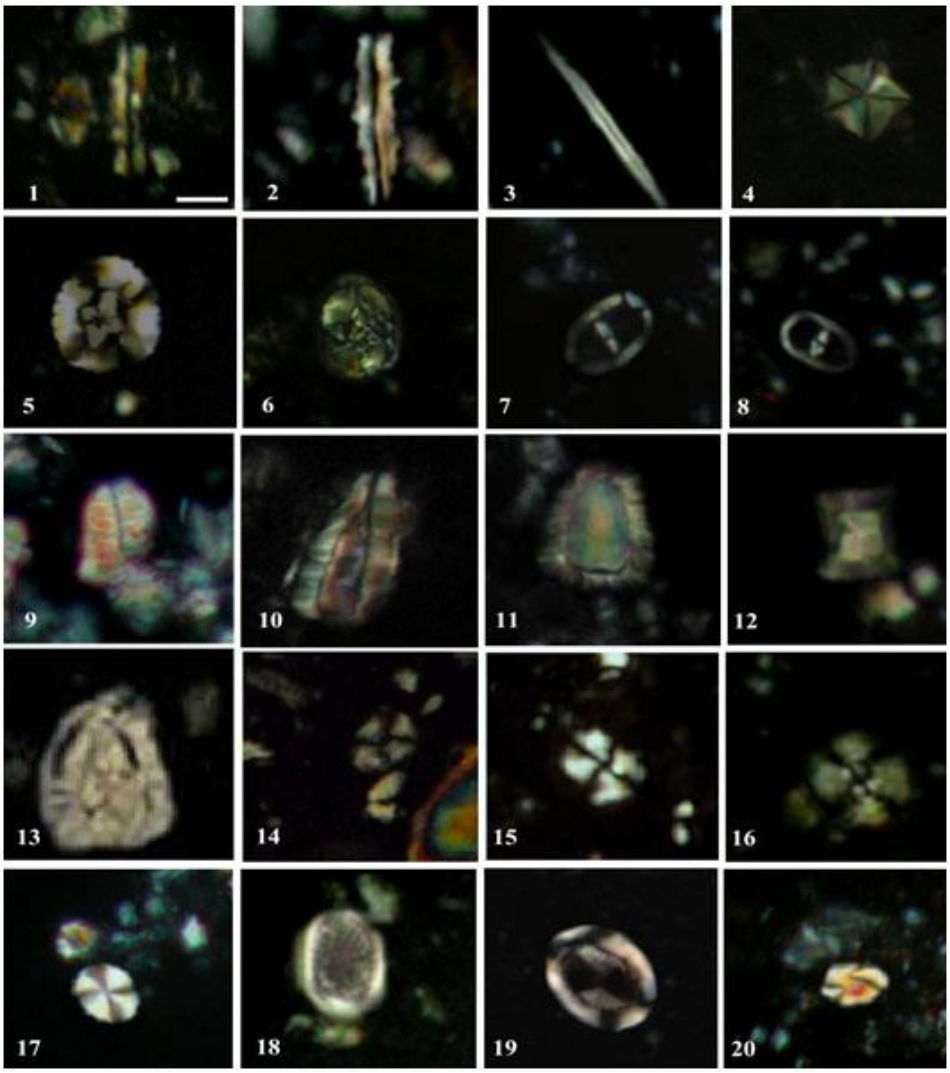
در این مطالعه تعداد ۳۴ گونه متعلق به ۱۹ جنس از نانوفسیل‌های آهکی در برش چرمه شناسایی شد. مطالعات انجام شده موید وجود زیست‌زون‌های CC4 و CC5 از زون‌بندی (Sissingh, 1977) و سن هوتروین پیشین تا هوتروین پسین برای توالی مورد مطالعه در برش مذکور است (شکل ۱۱).

از آن‌جا که نانوفسیل‌های آهکی نسبت به شرایط محیطی حساس بوده و تعدادی از جنس‌ها در دما، میزان مواد غذایی، شوری و عرض جغرافیایی خاصی از فراوانی و تنوع گونه‌ای بالاتری برخوردارند، لذا بررسی تنوع و تغییرات فراوانی آن‌ها در طول ضخامت مطالعه شده، اطلاعات ارزشمندی برای بازسازی و بررسی شرایط حوضه‌های رسوبی در زمان نهشته‌شدن رسوبات در اختیار محققان قرار می‌دهد. این مسئله به ویژه در کرتاسه که ترکیب مجموعه‌های نانوفسیلی بین مناطق مختلف، تفاوت‌های قابل توجهی را نشان‌می‌دهد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در برش‌های مورد بررسی و در میان نانوفسیل‌های شناسایی شده، بالاترین درصد فراوانی مربوط به .Watznaueria spp و به ویژه گونه‌ی Watznaueria barnesaiae است (شکل‌های ۵ تا ۱۱). فراوانی بیش از ۴۰ درصدی یک گونه در نمونه‌های مطالعه‌شده بیانگر تاثیر عوامل استرس‌زا ادر محیط بوده است. این گونه به همراه .Eiffellithus spp و Lithraphidites .spp در شرایط الیگوتروفیک و کم‌عمق، پایدار و فراوان می‌باشد (Kędzierski, 2012; Bornemann et al. 2003) و با فراوانی گونه‌های شاخص عرض‌های جغرافیایی بالا همچون Biscutum constans و.Zeughrhabdatus spp ارتباطی معکوس دارد. نانوکنوس‌ها نیزیکی از گروه‌های نانوفسیلی هستند که در تیتونین ظاهر و از تجمعات شاخص کرتاسه پیشین در Tethyan محسوب می‌شوند. این گروه نانوفسیلی با آب‌های گرم و محیط‌های اپی‌کنتیننتال و همچنین مناطق با عمق کم که میزان رسوبگذاری در آن‌ها پایین بوده، سازگار هستند. همچنین در عرض‌های جغرافیایی پایین (کمتر از ۳۰ درجه) فراوان بوده، به ندرت در عرض‌های بالاتر دیده می‌شوند و تحت تاثیر مواد غذایی محیط هستند (Herrle, 2003; Mutterlose et al., 2005). نانوکونیدها شاخص دریاهای الیگوتروفیک هستند که متاثر از شرایط باروری حوضه بوده و در آب‌های چینه‌بندی شده و در زمان ورودی آواری کم دارای حداکثر شکوفایی هستند (Busson and Noel, 1991; Coccioni et al., 1992; Erba, 1994). از دیگر گونه‌های

مشاهده شده در این مطالعه گونه‌های متعلق به جنس Micrantholithus است. گونه‌های جنس مذکور در آب‌های گرم و محیط‌های کم عمق، از فراوانی بالایی برخوردارند. علاوه بر آن تغییرات شوری محیط بر فراوانی آن‌ها تاثیرگذار می‌باشد.

بررسی درصد فراوانی گونه‌های نانوفسیلی شاخص در برش‌های مورد مطالعه (شکل‌های ۵ تا ۱۱) موید وجود یک محیط اپی‌کنتیننتال، کم عمق و گرم با شرایط الیگوتروفیک در زمان نهشته‌شدن رسوبات کرتاسه پایینی از والانژینین پیشین تا آلبین پسین در بلوک لوت است.



شکل ۴. تصاویر منتخب نانوفسیل‌های آهکی در برش‌های چینه‌شناسی مطالعه شده(Ch: چرمه؛ Kh: خونیک؛B: باراز؛ T: تیغدر؛Ma: ماله‌آباد، Fa: فتح‌آباد)

Fig. 4. Images of identified calcareous nannofossils in the studied stratigraphic sections (Ch: Charmeh; Kh: Khunik; B: Baraz; T: Tighdar; Ma: Maleabad; Fa: Fathabad/ Scale bar: 5µm)

1, 2:Lithraphidites bollii (Thierstein, 1971) Thierstein, 1973 (Ch; Kh); 3:Lithraphidites carniolensis Deflandre, 1963 (Kh); 4:Micrantholithus brevis Jakubowski, 1986 (Ch); 5: Cruciellipsis cuvillieri (Manivit, 1966) Thierstein, 1971 (Ch); 6:Calcicalathina oblongata (Worsley, 1971) Thierstein, 1971 (Ch); 7:Speetonia colligata Black, 1971 (Kh); 8:Zeugrhabdotus erectus (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954) Reinhardt, 1965 (Kh); 9: Nannoconus steinmannii Kamptner, 1931(B); 10:Nannoconus kamptneri Brönnimann, 1955 (Ch); 11:Nannoconus bucheri Brönnimann, 1955(Kh); 12:Nannoconus quadrates (Noël 1959) Deres & Achéritéguy 1980 (Kh); 13:Nannoconus wassallii Brönnimann, 1955 (Ma); 14, 15: Watznaueria barnesiae (Black in Black & Barnes, 1959) Perch-Nielsen, 1968 (Fa; R); 16:Watznauria biporta Bukry, 1969 (T); 17:Cyclagelosphaera margerelii Noël, 1965 (B); 18:Cribrosphaerella ehrenbergii (Arkhangelsky ,1912) Deflandre in Piveteau ,1952 (T); 19:Cretarhabdus loriei Gartner 1968 (Ch); 20:Assipetra infracretacea (Thierstein, 1973) Roth, 1973 (B)

SYSTEM	SERIES	BIOZONE (Sissingh,1977)	STAGE	STUDIED SECTION	SAMPLE NO	THICKNESS (m)	*Cacicalathina oblongata*	*Cretarhabdus loriei*	*Speetonia colligata*	*Eiffellithus steriatus*	*Lithraphidites carniolensis*	*Nannoconus abundans*	*Nannoconus bucheri*	*Nannoconus circularis*	*Nannoconus dislocatus*	*Nannoconus quadratus*	*Nannoconus steinmannii*	*Watznaueria barnesiae*	*Watznaueria biporta*	*Zeugrhabdotus embergeri*	*Zeugrhabdotus erectus*	*Zeugrhabdotus diplogrammus*	*other species*
Cretaceous	early Cretaceous			Limestone	L4	10	Biozone index nannofossil (Sissingh,1977)																
					L3																		
					L2																		
					L1	0																	
		CC5	late Hauterivian	Studeid sequence	Br45	182				0	0	7.33	8	0	0	0	0	29.67	6.67	0	0	0	48.33
					Br44					0	0	7	7.67	0	0	0	0	30	5	0	0.33	0	50
					Br43					0	0	6.67	7	0	0	0	0	31.33	3.67	0	0	0	51.33
					Br42					0	0	0	6.33	0	0	0	0	31.67	3.33	0	0.33	0	58.34
					Br41					0	0	6.33	6	0	0	0	0	32	2	0	0.67	0	53
					Br40					0	0	0	0	0	0	0	0	33.33	7.67	0.33	0	0	58.67
					Br39					0	0	5.67	0	0	0	0	0	33.67	8	0	0	0	52.66
					Br38					0	6.33	4.33	5.67	0	0	0	0	34.67	5.67	0	0.33	0	43
					Br37					0	5.67	4.67	5.33	0	0	0	0	35.33	3.33	0	0.33	0	45.34
					Br36					0	5.33	0	0	0	0	0	0	35.67	6.67	0	0	0	52.33
					Br35					0	0	0	0	0	0	0	0	36	2	0	0	0	62
		CC4	early Hauterivian		Br34	155				0	5	0	4.33	0	0	0	0	37.33	4.67	0	0	0	48.67
					Br33					0	4.67	0	0	0	0	0	0	37	4.33	0	0	0	54
					Br32					2.67	4.33	0	4	0	0	0	0	38.33	2	0	0	0	48.67
					Br31					1.33	0	0	3.67	0	0	0	0	38.67	2.67	0	0	0	53.66
					Br30					0	3.33	0	3.33	0	0	0	0	38	3.33	0	0	0	52.01
					Br29					0	3.67	0	0	0	0	0	0	39.33	4	0.67	0	0	52.33
					Br28					0	2.33	0	0	2.67	0	0	0	39.67	6	0.33	0	0	49
					Br27					0	0	0	0	2.33	0	0	0	41.33	6.33	0	0	0.67	49.34
					Br26					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Br25					0	0	0	0	0	0	0	0	41	6	0	0	0.33	52.67
					Br24					0	0	0	0	0	0	0	0	40.67	5.67	0	0	0	53.66
					Br23					0	0	0	0	0	0	0	0	40.33	0	0	0	0	59.67
					Br22					0	0	0	0	0	0	0	0	40	5	0	0	0	55
					Br21					0	0	0	0	0	5.67	0	0	41.67	3.67	0.33	0.67	0.33	47.66
					Br20					0	0	0	0	0	5.33	0	0	41.33	2.33	0.33	0.33	0	50.35
					Br19					0	0	0	0	0	4	0	0	42.67	1	0	0	0.67	51.66
					Br18					0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0.33	56.67
					Br17					0	0	0	0	0	3.33	0	0	43.67	0	0	0.67	0	52.33
					Br16					0	0	0	0	0	2.67	0	0	44.33	2	0	0.33	0	50.67
					Br15					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Br14					1	0	0	0	0	0	0	0	44	3.67	0	0	0	51.33
					Br13					1.33	2.67	0	2	0	0	0	0	43.67	3.33	0	0	0	47
		CC3	early Valanginian		Br12	45				0	3	0	3.67	0	0	0	0	43.33	0	0	0	0	50
					Br11					0	0	0	3.33	0	0	3.33	0	44	2	0	0	0	47.34
					Br10					0	3.67	0	0	0	0	3.67	0	44.33	6.67	0	0	0	41.66
					Br9					0	3.33	0	0	0	0	2	0	45.67	4.33	0	0	0	44.67
					Br8					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Br7					0	0	0	0	0	0	0	1.67	45.33	3	0	0	0	50
					Br6					0	0	0	1.67	2.33	0	0	0	44.67	0	0	0	0	51.33
					Br5					0	4.67	0	2.67	0	0	2.67	2.67	43.33	2.67	0	0	0	41.32
					Br4					0	4.33	0	2.33	0	0	3.33	3.33	43	2	0	0	0	41.68
					Br3					0	0	0	1.33	3	0	2	3.67	44.67	0	0	0	0.67	44.66
					Br2					0	3.67	0	0	2.67	0	1.67	0	44	5.67	0	0	0	42.32
					Br1					0	3.33	0	1	2.33	0	1.33	2.67	46.33	4.33	0	0	0.33	38.35
		?	?	Sandstone	S4																		
					S3																		
					S2																		
					S1	0																	

شکل ۵. گسترش نانوفسیل‌های آهکی، زیست‌زون‌ها و فراوانی گونه‌های شاخص در برش باراز

Fig. 5. Distribution of calcareous nannofossils, biozones, and abundance of index species in the Baraz section

SYSTEM	SERIES	BIOZONE (Sissingh,1977)	STAGE	STUDIED SECTION	SAMPLE NO	THICKNESS (m)	*Cacicalathina oblongata*	*Cretarhabdus loriei*	*Speetonia colligata*	*Eiffellithus steriatus*	*Lithraphidites carniolensis*	*Nannoconus bermudezii*	*Nannoconus bucheri*	*Nannoconus circularis*	*Nannoconus quadratus*	*Watznaueria barnesiae*	*Watznaueria biporta*	*Zeugrhabdotus erectus*	*Zeugrhabdotus diplogrammus*	*other species*
Cretaceous	early Cretaceous			Limestone	L4	10	Biozone index nannofossil (Sissingh,1977)													
					L3															
					L2															
					L1	0														
		CC5	late Hauterivian	Studeid sequence	Kh55	196				0	0	0	0	0	0	36	5	0	0	59
					Kh54					0	0	0	0	0	0	35.33	6	0	2.67	56
					Kh53					0	0	0	0.67	0	0	33	3.67	0	1.33	61.33
					Kh52					0	0	0	1.33	0	0	31.67	7	0	0	60
					Kh51					2.33	0	0	0	0	0	28.67	2.33	0	0	66.67
					Kh50					1.67	0	0	0	0	0	27	4.67	0	0	66.66
					Kh49					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Kh48					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Kh47						3.67	0.67	0	0	0	25.67	6.33	0	0	63.66
					Kh46					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Kh45					0	0	0	0	0	0	22.67	0	0	0	77.33
					Kh44					0	0	0	0	0	0	19.67	0	0	0	80.33
					Kh43					0	6.67	0	0	0	0	20.33	3.67	0	0	69.33
					Kh42					0	4.67	0	0	0	0	22.67	4.33	0	0	68.33
		CC4	early Hauterivian		Kh41	156				0	5.33	0	0.67	0	0	22	5	0.67	0	66.33
					Kh40					0	0	0	1.67	0	0	23.67	7.67	1.33	0	65.66
					Kh39					0	0	0	2.33	0	0	23.33	6	1	0	67.34
					Kh38					0	5.67	0	2.67	0	0	24	8.67	0.67	0	58.32
					Kh37					0	4	0	0	0	0	26.33	0	0.33	0	69.34
					Kh36					0	2.67	0	0	0	0	26.67	0	0	1.33	69.33
					Kh35					0	1.67	0	0	0	0	27.67	0	0	0.33	70.33
					Kh34					0	3.33	0	0	0	0	27.33	0	0	0.67	68.67
					Kh33					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Kh32					1.33	4	0	0	0	0	26.33	0	0	0	68.34
					Kh31					3.67	3.33	0	0	0	0	25	0	0	0	68
					Kh30					0	1.33	0	0	0	0	26.67	0	0	0	72
					Kh29					0	2	0	1.67	0	0	26.33	0	0	0	70
					Kh28					0	0	0	3.33	0	0	26	0	0	0	70.67
					Kh27					0	0	0	4.67	0	0	28.67	0	0	0	3.99
					Kh26					0	3.67	0	0	0	0	31.67	0	0	0	64.66
					Kh25					0	1.33	0	0	0	0	31.33	0	0	0	67.34
					Kh24					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Kh23					0	0	0.67	0	0	0	30	0	0	0	69.33
					Kh22					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Kh21					1	0	0	0	0	0	28.33	4.67	0.33	0	65.67
					Kh20					0.67	0	0	0	3.67	0	29	2.33	0.67	0	63.66
					Kh19					3.33	0	0	0	4.33	0	28.67	3.33	1.33	0	59.01
					Kh18	64				2.67	0	0	0	4	0	29.67	4	0.67	0	58.99
		CC3	late Valanginian		Kh17					0	0	0	0	4.67	1.67	30	5.67	0.33	0	57.66
					Kh16					0	0	0	0	0	0	31.67	4	0.33	0.67	63.33
					Kh15					0	0	0	0	0	0	33.67	9.67	0	0.33	56.33
					Kh14					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Kh13					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Kh12	45				0	1.33	0	0	0	0	29.33	0	0	0	69.34
					Kh11					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Kh10					0	0	0	0	0	0	34	2	0	0	64
					Kh9					0	0	0	0	0	0	33.67	4	0	0	62.33
					Kh8					0	4.67	1.67	0	0	0	32	3.67	0	0	57.99
					Kh7					0	2	2.33	0	4.33	1	32.33	3	0	0	55.01
					Kh6					0	0	0	0	4.67	2.33	31	5	0	0	57
					Kh5					0	0	0	0	3.67	2.67	32	6.33	0	0	55.33
					Kh4					0	0	0	0	0	0	33.33	8	0	0	58.67
					Kh3					0	3	0	0	4	0	35.67	4.67	0	0	52.66
					Kh2					0	2.33	2	0	4.33	3.33	34	5.33	0	0	48.68
					Kh1					0	1	3.33	0	4.67	3.67	34.67	7.33	0	0	45.33
		?	?	Sandstone	S4	10														
					S3															
					S2															
					S1	0														

شکل ۶. گسترش نانوفسیل‌های آهکی، زیست‌زون‌ها وفراوانی گونه‌های شاخص در برش خونیک

Fig. 6. Distribution of calcareous nannofossils, biozones, and abundance of index species in the Khunik section

SYSTEM	SERIES	BIOZONE (Sissingh,1977)	STAGE	STUDIED SECTION	SAMPLE NO	THICKNESS (m)	*Caccalathina oblongata*	*Cretarhabdus loriei*	*Speetonia colligata*	*Biscutum constans*	*Nannoconus abundans*	*Nannoconus bermudezii*	*Nannoconus bonetii*	*Nannoconus borealis*	*Nannoconus bronimannii*	*Nannoconus circularis*	*Nannoconus dolomiticus*	*Nannoconus ovijormis*	*Nannoconus quadratus*	*Nannoconus steinmannii*	*Watznaueria barnesiae*	*Watznaueria biporta*	*Zeugrhabdotus erectus*	*other species*
Cretaceous	early Cretaceous	?	?	Conglomerate	C4	10	Biozone index nannofossil (Sissingh,1977)																	
					C3																			
					C2																			
					C1	0																		
		CC5	late Hauterivian	Studeid sequence	R69	690				0	2.33	0	0	0.33	0	0.33	0	2	0	0.33	52	8	0	34.68
					R68					0	3.33	0	0	0.33	0	0.33	0	2,33	0	0.67	51.67	4.67	0	39
					R67					0	0.67	0	0	0.67	0	0.67	0	2.67	0	1	51.33	0	0.33	42.66
					R66					0	1.33	0	0	1.33	0	1.67	0	2	0	2.33	49	0	1.67	40.67
					R65					0	1	0	0	2.33	0	1	0	3.33	0	0	51.33	5.67	0	35.34
					R64					0	2.67	1.67	0	1.67	0	1.33	0	4.67	0	0	50	10	0	27.99
					R63					0	1.67	0	0	0.67	0	1.67	0	4.33	0	3.67	50.67	0	1.33	35.99
					R62					0	0.33	0	0	0.33	0	2.33	0	0	0	4	50.33	11	0	31.68
					R61					0	4.33	0	0	4.33	0	3.33	0	0	0	4.67	49.67	8	0	25.67
					R60					0	6	0	0	0	0	3.67	0	0	0	0	48	8.67	0	33.66
		CC4	early Hauterivian		R59	590				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.67	4	0	47.33
					R58					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	49.33	0	0.67	44
					R57					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.67	47.67	0	0	45.66
					R56					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43.33	0	0	56.67
					R55					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.67	8.67	0	46.66
					R54					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	41.67	0	0	54.33
					R53					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.67	37	0	1.33	57
					R52					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.67	6	0	59.33
					R51					0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	29.67	0	0	70
					R50					0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	31.67	0	0	62.33
					R49					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.33	31	3.67	0	60
					R48					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	30.33	0	0	63.67
					R47					0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	6.67	29.33	0	0	63.67
					R46					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.67	0	0	71.33
					R45					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	2	0	72
					R44					0	0	0	0	0	0.67	0	0	0	0	0	24.67	0	0	74.66
					R43					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.67	20.67	7.67	0	62.99
					R42					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	21.67	11	0	58.33
					R41					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.33	20.33	9	0	63.34
					R40					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.33	8.67	0	70
					R39					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.67	8	0	69.33
					R38					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	4.67	0	71.33
		CC3	early Valanginian		R37	370				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	3.33	24.67	0	0	71.67
					R36					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.67	25	4.33	0	66
					R35					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	4	25.33	0	0	70.34
					R34					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.67	0	0	74.33
					R33					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.67	0	0	75.33
					R32					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.67	5.33	25.33	8.67	0	60
					R31					0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	26.67	10	0	62.33
					R30					0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.33	0	27	7.67	0	64
					R29					0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	28.67	0	0	69.33
					R28					0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.33	4.67	36.33	6	0	50.67
					R27					0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	36.67	0	0	61
					R26					1.33	0	0	0	0	0	0	0	0	2.67	6	37	1	0	52
					R25					0.67	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5.33	37.67	3.67	0	49.66
					R24					0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.33	8.67	38.33	0	0	49.67
					R23					0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.67	0	38	0	0	58.33
					R22					0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	39.67	5	0	52
					R21					1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	6,67	0	59
					R20					0.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.67	0	0	57.66
					R19					0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	42	0	0	53.67
					R18					0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.67	4	42.67	0	0	48.66
					R17					0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.67	4.33	42.33	7	0	44.67
					R16					0	0	0	0	0	0	0	6.33	0	2	0	42	5	0	44.67
					R15					0	0	0	0	0	0	0	6	0	3.33	0	43.67	0	0	47
					R14					0	0	0	0	0	1.33	0	0	0	4.67	6.67	44	0	0	43.33
					R13					0	0	0	0	0	0	0	6	0	5.67	7	45.33	0	0	36
					R12					0	0	0	0	0	0	0	5.33	0	0	7.33	45	0	0	42.34
					R11					0	0	0	0	0	0	0	5.67	0	0	0	48	0	0	46.33
					R10					0	0	0	2	0	0	0	4	0	6	0	48.33	7	0	32.67
					R9					0	0	0	1.67	0	0	0	4.33	0	4.33	4.67	48.67	4	0	32.33
					R8					0	0	0	0	0	0	0	5.67	0	4.67	5	49	4.33	0	31.33
					R7					0	0	0	1.33	0	0	0	5.33	0	5.33	0	47.33	0	0	40.68
					R6					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.67	3.33	0	48
					R5					0	0	0	0	0	0	0	4.67	0	0	0	51	0	0	44.33
					R4					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.67	52.33	0	0	44
					R3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	53.67	4	0	38.33
					R2					0	0	0	0	0	0	0	3.67	0	3.67	0	54	2.33	0	36.33
					R1					0	0	0	0	0	0	0	3.33	0	2.67	2.33	54.33	8	0	29.34
		?	?	Sandstone	S4	10																		
					S3																			
					S2																			
					S1	0																		

شکل ۷. گسترش نانوفسیل‌های آهکی، زیست‌زون‌ها و فراوانی گونه‌های شاخص در برش رمشتیک

Fig. 7. Distribution of calcareous nannofossils, biozones, and abundance of index species in the Rumeshtik section

SYSTEM	SERIES	BIOZONE (Sissingh,1977)	STAGE	STUDIED SECTION	SAMPLE NO	THICKNESS (m)	*Chiastozygus litterarius*	*Prediscosphaera columnata*	*Eiffellithus turriseiffelii*	*Lithraphidites carniolensis*	*Nannoconus minutus*	*Nannoconus quadriangulus*	*Nannoconus regularis*	*Nannoconus truittii*	*Watznaueria barnesiae*	*Watznaueria biporta*	*Other species*
Cretaceous	early Cretaceous	?	?	Limestone	L4	10	Biozone index nannofossil (Sissingh,1977)										
					L3												
					L2												
					L1	0											
		CC9	late Albian	Studeid sequence	T22	108				3.67	0	0	7	0	42	9.33	38
					T21					2.33	0	0	6.33	0	41.33	7.67	42.34
					T20					0.67	0	0	4	0	39.33	6.33	49.67
					T19					1.67	0	0	5.67	0	39	7	46.66
		CC8	Albian		T18	102				3	0	0	0	0	38.67	4	54.33
					T17					2.33	0	0	0	4	35.33	5.67	52.67
					T16					5.33	0	0	0	3.67	31.67	3.67	55.66
					T15					6	0	0	0	0	27.67	9.33	57
					T14					1.33	0	0	0	0	29.67	8	61
					T13					1.67	0	0	0	0	31.67	6.67	59.99
					T12					3	0	0	0	0	33	8.67	55.33
					T11					0.33	0	0	0	0	36.67	5.67	57.33
					T10					0.67	0	0	0	0	41	9.33	49
		CC7	Aptian-early Albian		T9	42				2.33	0	0	0	0	40.33	10.33	47.01
					T8					3.67	5	0	0	0	41.67	7.67	41.99
					T7					4	4.33	0	0	0	43	5.33	43.34
					T6					1	0	0	0	0	43.33	7.67	48
					T5					3.33	0	4.67	0	0	44.67	11.67	35.66
					T4					2	0	2.67	0	0	43.67	9.67	41.99
					T3					1.67	0	0	0	0	45.33	5.33	47.67
					T2					0	0	3.33	0	0	48.33	6.67	41.67
					T1	0				0	0	4.67	0	6.67	49.67	10	28.99
		?	?	Limestone	L4	10											
					L3												
					L2												
					L1	0											

شکل ۸. گسترش نانوفسیل‌های آهکی، زیست‌زون‌ها وفراوانی گونه‌های شاخص در برش تیغدر

Fig. 8. Distribution of calcareous nannofossils, biozones, and abundance of index species in the Tighdar section

SYSTEM	SERIES	BIOZONE (Sissingh,1977)	STAGE	STUDIED SECTION	SAMPLE NO	THICKNESS (m)	*Cretarhabdus loriei*	*Speetonia colligata*	*Lithraphidites carniolensis*	*Nannoconus abundans*	*Nannoconus bermudezii*	*Nannoconus bonetii*	*Nannoconus borealis*	*Nannoconus bronnimannii*	*Nannoconus bucheri*	*Nannoconus circularis*	*Nannoconus concavus*	*Nannoconus cornuta*	*Nannoconus dolomiticus*	*Nannoconus dislocatus*	*Nannoconus elongatus*	*Nannoconus globulus*	*Nannoconus kamptneri*	*Nannoconus minutus*	*Nannoconus oviformis*	*Nannoconus steinmannii*	*Nannoconus wassallii*	*Watznaueria barnesiae*	*Watznaueria biporta*	*Zeugrhabdotus embergeri*	*Zeugrhabdotus erectus*	*Zeugrhabdotus diplogrammus*	*Other species*
Cretaceous	early Cretaceous	?	?	Limestone	L4	10	Biozone index nannofossil (Sissingh,1977)																									
					L3																											
					L2																											
					L1	0																										
		CC5	late Hauterivian- early Barremian	Studeid sequence	M58	348			1	0	0	0	2.33	0	0	10.33	0	0	0	10.67	9.67	0	7.67	7.67	0	0	7	11.33	8	0.33	0	0	24
					M57				1.33	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	10.33	0	0	0	0	0	0	6.67	11.67	7.33	0	0	0	57.67
					M56				1.67	0	4.67	6	1.67	0	8.67	0	0	0	0	0	9.33	0	0	0	0	0	0	12	6.67	0	0	1	48.32
					M55				0	1.67	0	5.67	1.33	0	8.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6	15	3.33	0	0	0	51.67
					M54				0	0	0	5.33	0	0	8.33	9.33	0	0	0	0	9	0	7.33	0	0	6.67	0	16.33	7.67	0	0	0	30.01
					M53				1	0	4.33	0	0	0	0	9.67	0	0	0	10	8.67	0	7	7	0	6	0	17	3.67	0.67	0	0	24.99
					M52				0	2.33	4	0	0	0	0	9.33	0	0	0	9.67	0	0	6.67	6.67	0	0	5.67	18.33	16	0	0	0	21.33
					M51				0	0	3.67	5	0	0	0	0	0	0	0	9.33	0	0	0	0	0	0	5.33	19.33	10	0	0.67	0	46.67
					M50				1.33	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8.33	0	0	0	0	0	0	19	12.33	0	0	1	50.01
					M49				0	0	0	4.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.33	0	0	0	20.67	10	0.33	0.33	0	57.67
					M48				0	2.67	0	4.33	0	0	0	9	0	0	0	9	0	0	6.33	0	0	0	0	21	12	0	0	0	35.67
					M47				0	1.33	3.33	4	0	0	0	0	0	0	0	8.67	0	0	6	6	0	0	0	23.67	4.67	0	0	0	42.33
					M46				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.33	8	0	0	0	0	0	0	23	2	0	0	0	58.67
					M45				1.33	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.67	0	0	0	0	0	0	23.33	7.33	0.67	0	1	55.67
					M44				1.67	0	2.67	0	0	0	7.67	8.67	0	0	0	0	7.33	0	0	6	0	6	0	24.33	5.67	0.33	0.33	0	29.33
					M43				0	1.33	0	3.67	0	0	7.33	8.33	0	0	0	7	7	0	0	5.67	0	0	0	24.67	2	0	0.33	0	32.67
					M42				0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	6.67	0	0	5.67	5.33	0	0	0	25.33	12	0	0	0	38
					M41				2.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.33	0	0	0	0	0	0	0	25	23	0	0	0	43.34
					M40				1.67	0	0	0	0	0	0	7.67	0	6.67	0	0	6.67	0	0	5.33	0	5.67	0	25.33	10.67	0	0.67	0	29.65
					M39				1.33	1.33	0	3.33	0	0	0	7.33	0	0	0	0	0	0	5.33	0	0	0	0	26	10.33	0	0	0	45.02
					M38				0	2.67	0	0	0	0	6.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.67	4.67	0	0.67	0	57.65
					M37				0	0	2.33	0	0	0	6	0	0	6.33	0	0	6.33	8	0	0	0	5.33	0	28	8.33	0.33	0.33	0	28.69
					M36				0	0	2.67	0	0	0	0	0	0	0	0	5.67	0	0	5	5	0	5	0	29	2	0	0.33	0	45.33
					M35				1	3.33	2.33	3	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	4.67	4.67	0	0	0	29.33	4.33	0	0	0	41.34
					M34				1	0	0	0	0	0	0	6.67	0	5.67	0	0	6	7.67	4.33	0	0	0	0	30	7.67	0	0	0	30.99
		CC4	early Hauterivian		M33	198			1.33	0	2	0	0	0	5.33	6.33	0	0	0	5.33	5.33	7.33	0	0	0	0	0	30.33	3.67	0	0	1	32.02
					M32				0	0	0	0	0	0	5	5.67	0	0	0	5	0	7	0	0	0	4	0	31	12	0	0	0	30.33
					M31				1.33	0	0	3	0	0	0	5	0	0	0	4.67	0	0	4	4.33	0	3.67	0	30.67	4.67	0	0	0	38.66
					M30				2.67	0	1.33	2.67	0	0	0	0	0	5.33	0	0	0	0	3.67	4	0	0	0	31	7	0	0	0	42.33
					M29				1.33	0	1.67	2.33	0	0	4.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	2.67	0.67	0	1	54
					M28				0	0	0	2.33	0	0	4.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.33	3.33	0	0.33	0	57.01
					M27				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.67	0	0	0	0	0	33	6.67	0	0.33	1	52.33
					M26				1.67	0	0	0	0	0	4.33	0	0	5	0	4.33	0	0	3.33	0	0	0	0	33.33	14	0	0	0	34.01
					M25				0	0	0	0	0	0	0	4.67	0	0	0	0	0	6.33	3.67	3.67	0	0	0	33.67	11	0	0	0	36.99
					M24				1.33	0	0	0	0	0	4	4.33	0	4.67	0	0	0	0	0	3.33	0	3.33	0	34.33	11	0	0	0	33.68
					M23				2.33	0	2	2.67	0	0	0	4	0	0	0	4	0	6	3.33	3	0	3	0	35.33	10	0	0	1	23.34
					M22				1.33	0	0	2.33	0	0	0	3.67	0	4.33	0	3.67	0	5.67	0	0	0	0	0	34.67	9.67	0.33	0	0	34.33
					M21				0	0	0	0	0	0	0	3.33	0	4	0	0	0	0	3	3	0	0	0	35.33	8	0	0	0	43.34
					M20				0	0	0	2.33	0	0	0	0	0	3.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	7.67	0	0	0	50.33
					M19				1.67	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	3.33	0	0	3	2.67	0	0	0	36.67	4	0	0	1	43.66
					M18				0	0	0	0	0	0	0	2.67	0	0	0	0	0	5.33	2.67	0	0	2.67	0	38	5	0	0.67	0	42.99
					M17				1.67	0	0	2	0	0	3.67	2.67	0	0	0	3	0	4.33	0	0	0	2.33	0	38.67	6.33	0	0.33	0	35
					M16				0	0	0	1.67	0	0	3	2.33	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	0	39	10	0	0	0	38
					M15				0	0	0	2	0	0	2.67	2.67	0	0	4	2.67	0	0	0	0	0	1.67	0	39.33	12	0	0	1	31.99
					M14				0	0	0	0	0	0	2.33	0	0	3.33	3.67	2.33	0	0	0	2	0	0	0	39.33	11.33	0	0	0	35.68
					M13				1.67	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.33	0	0	0	39.67	11	0.33	0	0	44
					M12				1.33	0	1.33	1.67	0	0	0	0	0	0	3.33	0	0	0	2.33	2	0	0	0	40	12.67	0	0	0	35.34
					M11				0	0	0	1.33	0	0	2	0	0	0	3	2.33	0	3.33	2	0	0	1.33	0	40	7.33	0	0	0	37.35
					M10				0	0	0	0	0	1.67	0	0	2.67	0	2	0	0	0	0	1.67	0	0	0	40.33	9	0	0	1	41.66
					M9				1.33	0	0	0	0	0	0	2.33	0	0	0	0	0	3.67	1.67	0	0	0	0	41	10.33	0	0.33	0	39.34
					M8				2.33	0	0.67	0	0	0	0	2	0	0	2.67	0	0	0	0	1.33	0	0	0	41.33	6.67	0	0	0	43
					M7				0	0	0	0	0	0	0	1.67	5.33	0	2.33	0	0	3.33	1.33	0	0	0	0	41.67	12.33	0.67	0	1	30.34
					M6				0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.67	1.67	0	3	0	0	0	1.67	0	42	11	0	0	0	37.99
					M5				0	0	0	0	0	1.33	0	0	2.67	0	1.33	0	0	0	0	1	0	0	0	42.67	10	0	0	0	41
					M4				1.33	0	0.33	0	0	4	0	0	4	0	1.33	0	0	0	1	0.67	0	0	0	42	11.33	0	0	0	34.01
					M3				0	0	0	0	0	0	0	0	3.67	0	0	1.33	0	0	0.67	0	0	0	0	43.33	7.67	0	0.33	0	43
					M2				0	0	0	1.33	0	3.67	0	1.33	0	2.33	0	0	0	2.67	0	0.33	5.67	1.33	0	43	12	0	0	0	26.34
					M1				1.67	0	0.33	0.67	0	2.33	1	1	3.33	1.33	1	1	0	2.33	0.33	0.67	4.33	1	0	43.33	11.33	0.33	0	0	22.69
		?	?	Conglomerate	C4	10																										
					C3																											
					C2																											
					C1	0																										

شکل ۹. گسترش نانوفسیل‌های آهکی، زیست‌زون‌ها وفراوانی گونه‌های شاخص در برش مالهآباد

Fig. 9. Distribution of calcareous nannofossils, biozones, and abundance of index species in the Malehabad section

SYSTEM	SERIES	BIOZONE (Sissingh,1977)	STAGE	STUDIED SECTION	SAMPLE NO	THICKNESS (m)	*Cretarhabdus loriei*	*Speetonia colligata*	*Lithraphidites carniolensis*	*Nannoconus abundans*	*Nannoconus bonetii*	*Nannoconus borealis*	*Nannoconus bronimannii*	*Nannoconus circularis*	*Nannoconus dolomiticus*	*Nannoconus elongatus*	*Nannoconus kamptneri*	*Nannoconus minutus*	*Nannoconus oviformis*	*Nannoconus steinmannii*	*Watznaueria barnesiae*	*Watznaueria biporta*	*Other species*
Cretaceous	early Cretaceous	?	?	Limestone	L4	10	Biozone index nannofossil (Sissingh,1977)																
					L3																		
					L2																		
					L1	0																	
		CC5	l. Hauterivian	Studeid sequence	F29	58			1	4	6	6	0	5.67	0	0	7	0	0	8.33	31	0	31
					F28				0	3.33	5.33	4.67	0	5.33	0	0	6.67	0	0	8	33.67	0	33
					F27				0	0	5.67	4	0	5	0	0	6.33	0	0	7.67	35	7	29.33
					F26				2.33	3	5.33	3.33	0	4.67	0	0	6	0	0	7	36	7.33	25.01
					F25				1.33	2.33	5	0	0	4.33	0	5	5.67	0	0	6.67	37.33	0	32.34
		CC4	early Hauterivian		F24	46			1	0	4.67	0	0	4	0	4.67	5	0	7	6.33	37	5	25.33
					F23				0	0	4	0	0	3.67	0	4.33	5.33	0	0	6	38	0	38.67
					F22				0	0	4.33	0	0	3.33	0	4	5.33	0	6.67	5.67	38.33	12.67	19.67
					F21				0	0	4	0	0	3	0	0	5	0	6.33	5	39.67	7	30
					F20				1	0	3.67	0	0	2.33	0	3.67	4.67	0	0	4.67	39.33	0	40.66
					F19				0	0	0	0	0	2.67	0	3.33	4.33	0	6	4.33	39.67	0	39.67
					F18				1.67	0	0	0	0	2.33	0	3	4	0	5.67	4	40	0	39.33
					F17				1.33	0	3.67	0	0	2.33	0	2.33	4	0	0	4.33	41.33	6	34.68
					F16				0	0	3.33	0	0	2	0	0	3.67	0	4	3.67	41	0	42.33
					F15				0	0	0	0	0	1.67	0	2.67	4	0	2.33	4	42	5.33	38
					F14				0	0	3	0	0	0	0	2.33	3.67	0	1	3.67	43.67	4	38.66
					F13				0	0	0	0	0	2	0	1.33	3.33	0	0.67	3.33	44	0	45.34
					F12				2	0	0	0	0	1.33	0	0	3	0	0.33	3.33	45	0	45.01
					F11				1.67	0	0	0	0	0	0	0	2.67	2	0	2.67	45.33	0	45.66
					F10				0	0	2.33	0	0	0	0	0	2.33	1.67	0	2.33	46	3.33	42.01
					F9				0	0	2	0	0	0	0	0	2	1.33	0	2.33	47.33	0	45.01
					F8				2.33	0	1.33	0	0	0	0	0	2	1.33	0	2	47	6.67	37.34
					F7				0	0	1.67	0	0	0	0	0	1.67	1	0	1.67	48.67	2	43.32
					F6				1.33	0	0	0	0	0	0	0	1.33	1	0	1.67	49	0	45.67
					F5				1.67	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	50.33	0	45
					F4				0	0	0	0	5	0	0	0	0.67	0.67	0	0.67	50.67	0	42.32
					F3				0	0	1.67	0	4.67	0	2.67	0	1	0.67	0	1	51	4.67	32.65
					F2				0	0	1	0	3	0	1.67	0	0.67	0.33	0	0.33	51.67	10	31.33
					F1	0			1.33	0	1.33	0	1.33	0	1.33	0	0.33	0.33	0	0.33	51.33	12	30.36
				Conglomerate	C4	10																	
					C3																		
					C2																		
					C1	0																	

شکل ۱۰. گسترش نانوفسیل‌های آهکی، زیست‌زون‌ها وفراوانی گونه‌های شاخص در برش فتح‌آباد

Fig. 10. Distribution of calcareous nannofossils, biozones, and abundance of index species in the Fathabad section

SYSTEM	SERIES	BIOZONE (Sissingh,1977)	STAGE	STUDIED SECTION	SAMPLE NO	THICKNESS (m)	*Cretarhabdus loriei*	*Speetonia colligata*	*Lithraphidites carniolensis*	*Nannoconus abundans*	*Nannoconus bermudezii*	*Nannoconus bonetii*	*Nannoconus bucheri*	*Nannoconus circularis*	*Nannoconus globulus*	*Nannoconus kamptneri*	*Nannoconus steinmannii*	*Watznaueria barnesiae*	*Watznaueria biporta*	*Zeugrhabdotus embergeri*	*Zeugrhabdotus erectus*	*Zeugrhabdotus diplogrammus*	*Other species*
Cretaceous	early Cretaceous	?	?	Limestone	L4	10	Biozone index nannofossil (Sissingh,1977)																
					L3																		
					L2																		
					L1	0																	
		CC5	late Hauterivian	Studied sequence	Ch40	209			2.33	1	0	0	0	0.33	0	0	1	41.33	11.67	1.33	0	0	41.01
					Ch39				0	2.67	0	1.33	1	0.33	0	0.67	2.67	40.67	8	0	0.33	0.33	42
					Ch38				1.67	0	0	0	0	0	0	0	0	38.67	8.33	0	0	0	51.33
					Ch37				0	1.67	1.67	0	0	0.67	8	0	0	39.33	0	0	0	0	48.66
					Ch36				2.33	0	0	0	0	0	0	1	0	39	0	0	2.33	0.67	54.67
					Ch35				0	0	0	0	2.33	0	0	0	3.67	35.67	8	0	0	0	50.33
					Ch34				0	0	0	0	0	1.33	7.67	0	0	29.3	5	0	0	0	56.7
					Ch33				3.33	0.33	0	0	0	0	7.33	1.67	0	25.67	0	0.33	1.67	0	59.67
					Ch32				0	0	2.33	0	3.67	0	7	0	0	22.67	7.67	0	0	0	56.66
					Ch31				0	0	0	2.67	0	2.67	0	0	4.67	21	5	0	0	0	63.99
					Ch30				0	0	0	0	0	0	0	2.67	0	20.67	0	2.67	0	1.33	72.66
					Ch29				4	2.67	0	0	0	0	0	0	0	21.33	8	0	0.33	0	63.67
					Ch28				0	0	0	0	3	0	0	4.33	6	17.67	6.67	0	0	0	62.33
					Ch27				3.67	0	0	1.33	0	4.33	6.67	0	0	19.33	10	0	0	0	54.67
					Ch26				0	0	1.67	0	3.67	0	0	0	0	22.67	0	0	0.67	0	71.32
					Ch25				0	1.33	0	0	0	0	6.33	6.67	5.33	25.67	11.33	1.33	0	0	42.01
					Ch24				0	0	0	2.67	0	6.67	0	0	0	28.33	0	0	0	0	62.33
					Ch23				0	0.67	1	0	0	0	6	0	0	29	0	0	0	0.67	62.66
		CC4	early Hauterivian		Ch22	110			0	0	0	1	0	0	5.67	0	0	29.67	9	0	0	0	54.66
					Ch21				2.33	0	0	0	5.67	5.33	0	5.33	4.67	30	0	0	0	0	46.67
					Ch20				0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.67	0	0	0	0	69.33
					Ch19				0	0	0	1.33	0	4.67	0	0	0	32	8.67	0	0	1.33	52
					Ch18				0	0	2.33	0	0	0	5.33	0	4	31.33	3	1.67	0	0	52.34
					Ch17				0	0	0	0	0	0	4.33	0	0	31.67	0	0	0	0	64
					Ch16				0	0	0	0	4.33	0	4	4.67	0	33.67	0	0	0	0	53.33
					Ch15				0	0	0	0	0	3	0	0	0	34	14.33	1.33	0	0	47.34
					Ch14				1.67	0	0	1.67	0	0	0	0	0	36.67	0	0	0	2.67	57.32
					Ch13				0	0	0	0	0	0	0	0	3.33	37	0	0	0	0	59.67
					Ch12				0	0	0	0	0	2.67	0	2.33	0	39.33	11	0	0	0	44.67
					Ch11				0	0	0	0	3	0	3.33	3	0	41.33	0	0	0	0	49.34
					Ch10				0	0	1.67	0	0	0	0	0	3	42	6.67	0.67	0	1.33	44.66
					Ch9				0	0	0	0	0	1.33	3	1.67	0	43.67	7	0	0	0	43.33
					Ch8				0	0	0	2.33	2.67	0	0	0	2.33	44	0	0	0	0	48.67
					Ch7				0	0	0	0	0	0	0	1.33	0	44.33	0	0	0	0	54.34
					Ch6				0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	57
					Ch5				0	0	0	0	0	0	0	0	0	45.33	5	0.33	0	0	49.34
					Ch4				0	0	0	0	0	0.33	0	1	1.67	47	11.33	0	0	0	38.67
					Ch3				1.33	0	0	0	0	0	0	0.67	0	46.33	6,67	0	0	0	51.67
					Ch2				0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	9	0	0	0	43
					Ch1				2.67	0	0	0	0	0.67	0	0.33	0.33	48.67	10	0	0	0	37.33
		?	?	Conglomerate Sandstone	4	10																	
					3																		
					2																		
					1	0																	

شکل ۱۱. گسترش نانوفسیل‌های آهکی، زیست‌زون‌ها وفراوانی گونه‌های شاخص در برش چرمه

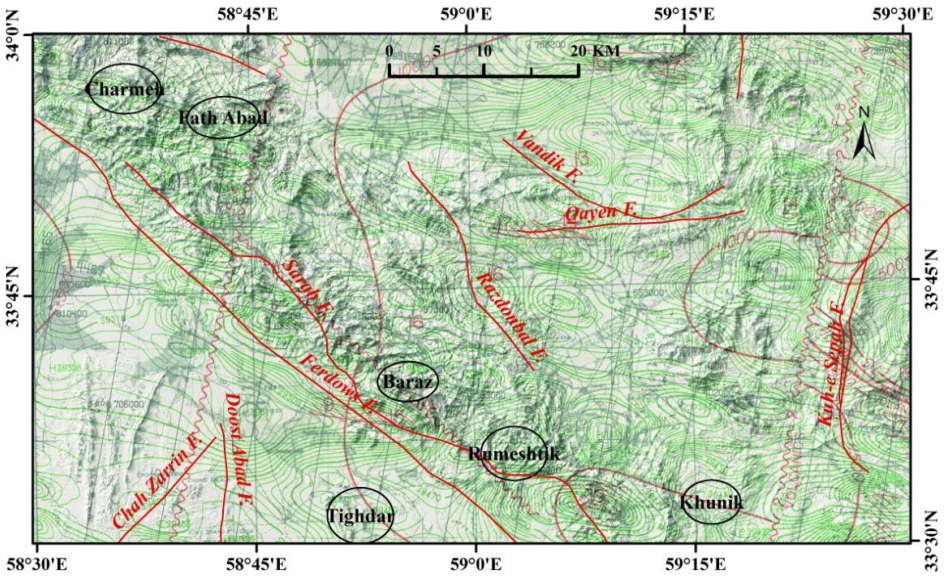
Fig. 11. Distribution of calcareous nannofossils, biozones, and abundance of index species in the Charmeh section

۶- بحث و بررسی

توالی رسوبات کرتاسه در بلوک لوت بدلیل تغییرات ژئودینامیکی منطقه، از گستردگی و ضخامت قابل ملاحظه‌ای برخوردار نیست. در بسیاری از نقاط نیز به دلیل وجود شرایط زمین‌ساختی خاص، مطالعه توالی‌های موجود سخت و دشوار است. علی‌رغم شرایط ویژه این حوضه، در این پژوهش مطالعات نانوفسیل‌شناسی و دیرینه‌بوم‌شناسی در برش‌های چینه‌شناسی کرتاسه پایینی اطراف قائن به منظور تعیین سن دقیق نهشته‌ها صورت پذیرفت و شرایط حوضه در آن زمان بازسازی گردید. علاوه بر آن، وضعیت زمین‌ساختی منطقه مبتنی بر نانواستراتیگرافی نهشته‌ها و تغییرات گسترش گونه‌های نانوفسیلی انجام شد.

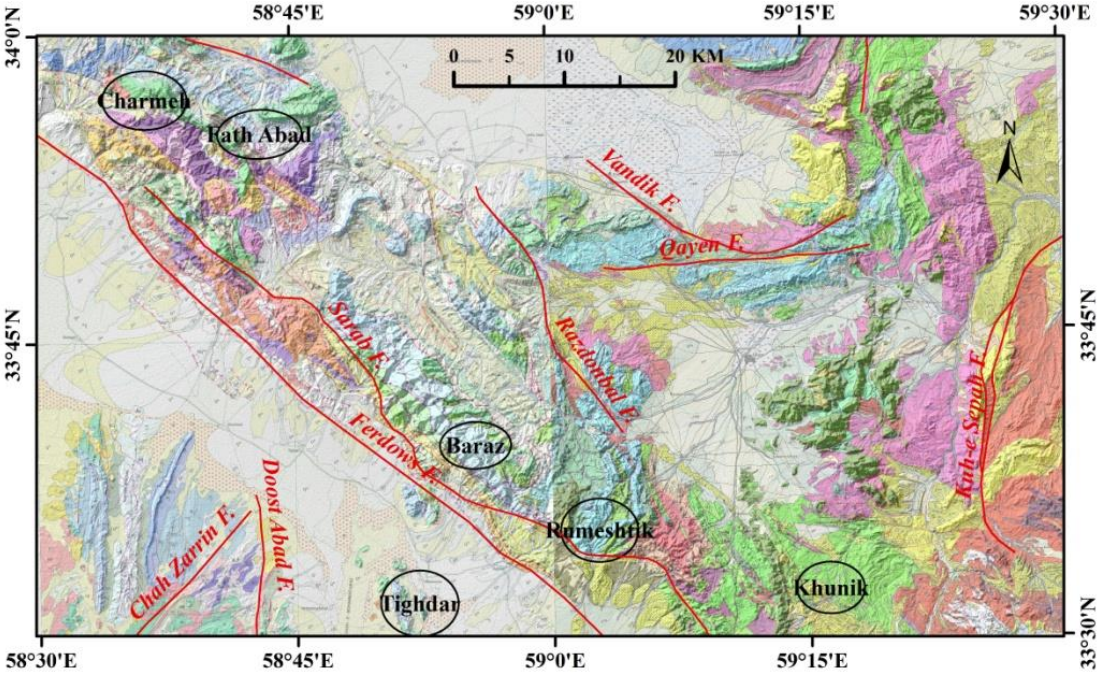
بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و تطبیق این نقشه‌ها با نقشه خطواره‌های ژئومغناطیسی نشان می‌دهد که سامانه گسل پی‌سنگی فردوس با راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق و مکانیسم راندگی، درست در حد فاصل بین برش تیغدر با دیگر برش‌ها قرار دارد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). مطالعات نانوفسیلی انجام شده و زیست‌زون‌های تعیین شده در برش‌های کرتاسه پایینی در بلوک‌های فرادیواره و فرودیواره گسل فردوس تفاوت زمانی بارزی را نشان می‌دهد. گونه‌های شاخص نانوفسیلی در تمام برش‌های فرادیواره، موید نهشته‌شدن توالی‌های مورد مطالعه در بازه زمانی متعلق به زیست‌زون‌های CC3، CC4 و CC5 است. درحالی‌که نهشته‌های برش تیغدر واقع در فرودیواره در بازه زمانی متعلق به زیست‌زون‌های CC7-CC9 نهشته شده‌اند. با توجه به اختلاف زمانی بدست آمده در برش تیغدر نسبت به سایر برش‌ها، احتمالاً سامانه گسلی فردوس در تعیین محدوده حوضه نقش بسزایی داشته و موجب شده تا در زمان والانژینین تا هوتروین حوضه رسوب‌داری کرتاسه پایینی در شمال‌شرق این گسل و در زمان آپتین تا آلبین در جنوب‌غرب این گسل باشد.

مطالعه حاضر بعنوان شاهدی از عملکرد گسل پی‌سنگی فردوس در گسترش حوضه اقیانوس نئوتتیس سیستان است. گسل پی‌سنگی فردوس یکی از گسل‌های نرمالی بوده که به سبب عملکرد آن‌ها، هورست و گرابن یا نیمه گرابن‌هایی در کرتاسه پایینی ایجاد شده و بدنبال آن نازک‌شدگی حاشیه قاره‌ای در مرحله کافتش اقیانوس سیستان رخ داده است (شکل ۱۴). گسترش این سامانه گسلی و به تبع آن هورست و گرابن‌های ایجاد شده در طی زمان به سمت SW، موجب شده تا نهشته‌های منطقه تیغدر با اختلاف زمانی نسبت به دیگر برش‌ها ظاهر شوند. این سامانه گسلی مربوط به زون گسلش نرمال چندین کیلومتری در شمال بیرجند بوده که بیانگر یک حوضه اقیانوسی در حال گسترش است و بعدها در اثر معکوس شدن رژیم زمین‌ساختی، این گسل‌های نرمال تبدیل به گسل معکوس گردیده‌اند (Jentzer et al., 2022).



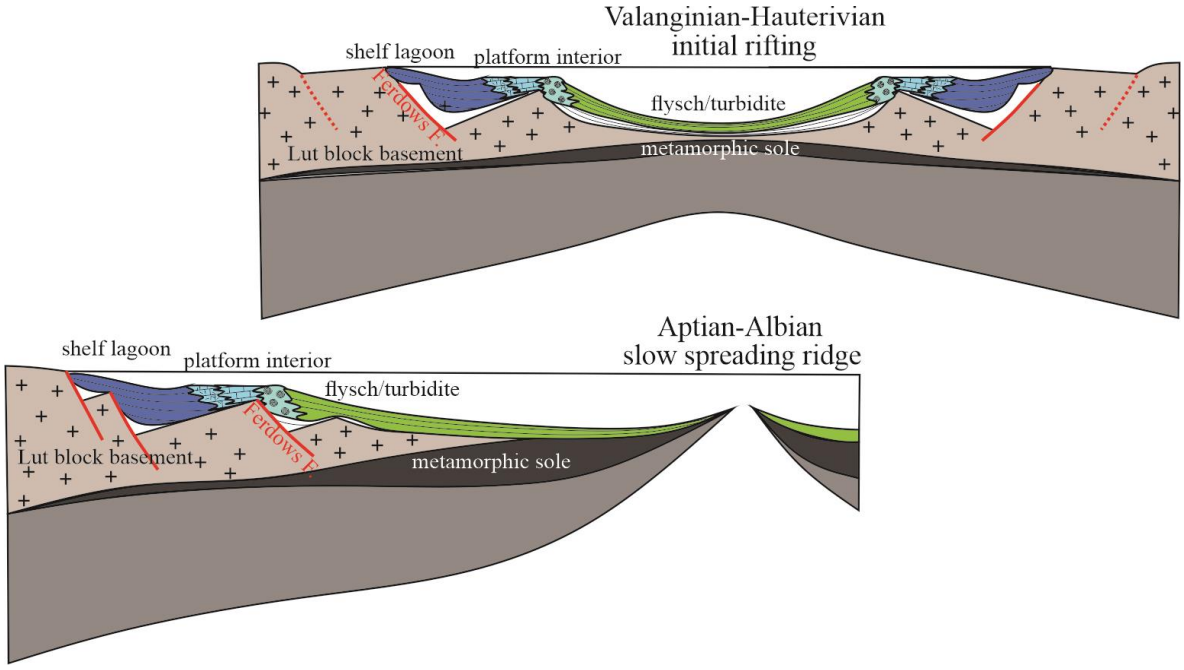
شکل ۱۲. موقعیت برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه در نقشه ژئومغناطیس

Fig. 12. Position of the studied stratigraphic sections in the geomagnetic map



شکل ۱۳. موقعیت برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه در نقشه زمین شناسی

Fig. 13. Position of the studied stratigraphic sections in the geological map



شکل ۱۴. رژیم کششی در اثر باز شدن اقیانوس سیستان و ایجاد نیم گرابن (برگرفته شده از Jentzer et al., 2022)

Fig. 14. Tensile regime as a result of the Sistan Ocean and the creation of a half-graben (adapted from Jentzaer et al., 2022)

۷- نتیجه‌گیری

مطالعات قبلی نتوانسته‌اند زمان کافتش اقیانوس نئوتتیس سیستان را بطور دقیق مشخص کنند. با این حال بنظر می‌رسد در کرتاسه پایینی اقیانوس سیستان بین بلوک لوت و افغان با راستای شمالی جنوبی در اثر تراکشش مورب تشکیل شده است. از آن‌جا که سیستم تراکشش نسبت به راستای اقیانوس سیستان مورب بوده، منجر به ایجاد یکسری گسل‌های نرمال با راستای شمال‌غرب جنوب‌شرق در بلوک لوت گردیده است. محققان بسیاری از جمله Delaloye and Desmons, (1980); Babazadeh and De Wever, (2004); Zarrinkoub et al., (2012); Ozsvárt et al., (2020) شواهد گسلش نرمال در مرحله کافتش اقیانوس سیستان در کرتاسه ابتدایی (آپتین-آلبین) را بیان کرده‌اند. مطالعات نانوفسیلی انجام شده و زیست‌زون‌های تعیین شده در برش‌های کرتاسه پایینی در بلوک‌های فرادیواره و فرودیواره گسل فردوس شاهدی از عملکرد گسل پی‌سنگی فردوس در گسترش حوضه اقیانوس نئوتتیس سیستان است. گسل پی‌سنگی فردوس یکی از گسل‌های نرمالی بوده که به سبب عملکرد آن‌ها، هورست و گرابن یا نیمه گرابن‌هایی در کرتاسه پایینی ایجاد شده و بدنبال آن نازک‌شدگی حاشیه قاره‌ای در مرحله کافتش اقیانوس سیستان رخ داده و احتمالاً همین سامانه گسلی، محدوده حوضه را تعیین کرده است. بر اساس مطالعات نانوفسیلی در این تحقیق، زمان آغاز کافتش اقیانوس سیستان، به والانژینین وحتی قبل‌تر از آن برمی‌گردد. لذا مطالعه بین‌رشته‌ای نانواستراتیگرافی و زمین‌ساخت منجر به شناخت بهتر وضعیت حوضه و تعیین سن دقیق‌تر از کافتش اقیانوس سیستان گردید.

مراجع

Aghanabati, A., 2004. The Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 586 p. (In Farsi)

Allen, M.B., Kheirkhah, M., Emami, M.H., Jones, S.J., 2011. Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone. Geophysical Journal International 184, 555–574. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04874.x

Angiboust, S., Agard, P., De Hoog, JCM., Omrani, J., Plunder, A., 2013. Insights on deep, accretionary subduction processes from the Sistan ophiolitic "mélange" (Eastern Iran). Lithos 156–159, 139–158. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.11.007

Babazadeh, SA., De Wever, P., 2004. Early Cretaceous radiolarian assemblages from radiolarites in the Sistan Suture (eastern Iran). Geodiversitas 26, 185–206.

Bagheri, S., Stampfli, G.M., 2008. The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complex in central Iran: new geological data, relationships and tectonic implications. Tectonophysics 451, 123–155. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.047

Berberian, M., 2014. Earthquakes and Coseismic Surface Faulting on the Iranian Plateau – A Historical, Social and Physical Approach. Developments in Earth Surface Processes 17, 2–714. ISBN: 978-0-444-63292-0.

Berberian, M., King, GCP., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, Canadian Journal of Earth Sciences 18, 210–265. https://10.1139/e81-019

Bonnet, G., Agard, P., Angiboust, S., Monié, P., Jentzer, M., Omrani, J., Whitechurch, H., Fournier, M., 2018. Tectonic slicing and mixing processes along the subduction interface: The Sistan example (Eastern Iran). Lithos 310, 269–287. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.04.016.

Bornemann, A., Ashwer, U., Mutterlose, J., 2003. The impact of calcareous nannofossils on the pelagic carbonate production across the Jurassic/Cretaceous boundary. Palaeogeography, Palaeoceanography, Palaeoecology 199, 187–228 https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00507-8

Bown, PR., Young, JR., 1998. Techniques. In: Bown, P.R., Ed. Calcareous Nannofossil Biostratigraphy. British Micropalaeontological Society Publication l, 16- 28.

Bröcker, M., Fotoohi Rad, G., Burgess, R., Theunissen, S., Paderin, I., Rodionov, N., Salimi, Z., 2013. New age constraints for the geodynamic evolution of the Sistan Suture Zone, eastern Iran. Lithos 170–171, 17–34. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.02.012.

Busson, G., Noël, D., 1991. Les nannoconidés indicateurs environmentaux des océans et mers épicontinentales du Jurassique terminal et du Crétacé inférieur. Oceanologica Acta 14, 333–356.

Camp, VE., Griffis, RJ., 1982. Character, genesis, and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran. Lithos 15(3), 221-239. https://doi.org/10.1016/0024-4937(82)90014-7

Coccioni, R., Erba, E., Premoli Silva, I., 1992. Barremian-Aptian calcareous plankton biostratigraphy from the Gorgo Cerbara section (Marche, central Italy) and implications for plankton evolution. Cretaceous Research 13 (5-6), 517–537. https://doi.org/10.1016/0195-6671(92)90015-I

Davoudzadeh, M., Soffel, H., Schmidt, K., 1981. On the rotation of the Central-East Iran microplate. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte 180-192. https:// 10.1127/njgpm/1981/1981/180

Delaloye, M., Desmons, J., 1980. Ophiolites and mélange terranes in Iran: a geochronological study and its paleotectonic implications. Tectonophysics 68,83–111. https://doi.org/10.1016/0040-1951(80)90009-8

Dercourt, JEA., Zonenshain, LP., Ricou, LE., Kazmin, VG., Le Pichon, X., Knipper, AL., Grandjacquet, C., Sbortshikov, IM., Geyssant, J., Lepvrier, C., Pechersky, DH., 1986. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. Tectonophysics 123, 241-315. https://doi.org/10.1016/0040-1951(86)90199-X

Eftekharnezhad, J., 1980. Separating different Parts of Iran in Vies of Constructional Position Related to Sedimentary Basins. Petrol Association Publication 82, 19-28.

Erba, E., 1994. Nannofossils and superplumes: The early Aptian “nannoconid crisis”. Paleoceanography 9, 483–501. https://doi.org/10.1029/94PA00258

Fotoohi Rad, G.R., Droop, G.T.R., Amini, S., Moazzen, M., 2005. Eclogites and blueschists of the Sistan Suture Zone, eastern Iran: A comparison of P-T histories from a subduction mélange. Lithos 84, 1–24. https://doi.org/10.1016/j. lithos.2005.01.007.

Gansser, A., 1995. New aspects of the geology in central Iran-4th World Petroleum Congress Proceedings, Rome Section, I/A/5, 279-300.

Golonka, J., 2004. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. Tectonophysics 38, 235–273. https://doi:10.1016/j.tecto.2002.06.004.

Herrle, J.O., 2003. Reconstructing nutricline dynamics of midCretaceous oceans: Evidence from calcareous nannofossils from the Niveau Paquier black shale (SE France). Marine Micropalaeontology 47 (3-4), 307–321. https://doi.org/10.1016/S0377-8398(02)00133-0

Jentzer, M., Agard, P., Bonnet, G., Monié, P., Fournier, M., Whitechurch, H., Omrani, J., Zarrinkoub, MH., Khatib, M.M., Kohansal, R., Do Couto, D., 2022. The North Sistan orogen (Eastern Iran): Tectono-metamorphic evolution and significance within the Tethyan realm. Gondwana Research 109, 460-492. https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.04.004

Jung, D., Keller, J., Khorasani, R., Marcks, C., Baumann, A., Horn, P., 1984. Petrology of the Tertiary Magmatic Activity in the Northern Lut Area, East Iran. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen 168 (2-3), 417–467. https://doi: 10. 1127/njgpa/168/1984/417.

Kędzierski, M., 2012. Calcareous nannofossils from the Bathonian (Middle Jurassic) ore-bearing clays at Gnaszyn as palaeoenvironmental indicator, Kraków-Silesia Homocline, Poland. Acta Geologica Polonica 62, 421–437 https:// 10.2478/v10263-012-0024-9

Kurzawa, T., Bröcker, M., Fotoohi Rad, G., Berndt, J., Lisker, F., 2017. Cretaceous high-pressure metamorphism and low-pressure overprint in the Sistan Suture Zone, eastern Iran: Additional temperature estimates for eclogites, geological significance of U-Pb zircon ages, and Rb-Sr constraints on the timing of exhumation. Journal of Asian Earth Sciences 147, 332–344. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.07.051.

Meyer, B., Le Dortz, K., 2007. Strike-slip kinematics in Central and Eastern Iran: Estimating fault slip-rates averaged over the Holocene. Tectonics 26, TC5009. https://doi:10.1029/2006TC002073.

Mohammadi, A., Burg, J.P., Bouilhol, P., Ruh, J., 2016. U-Pb geochronology and geochemistry of Zahedan and Shah Kuh plutons, southeast Iran: Implication for closure of the South Sistan suture zone. Lithos 248–251, 293–308. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.02.003.

Mutterlose, J., Bornemann, A., Herrle, J.O., 2005. Mesozoic calcareous nannofossils-state of the art. Paläontologische Zeitschrift 79 (1), 113–133. https:// 10.1007/BF03021757

Nowroozi, A.A., 1972. Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan, and Afghanistan, and plate tectonics of the Middle East, Bull. Seismological Society of America 62 (3), 823-850.

Omidianfar, S., Monsef, I., Rahgoshay, M., Zheng, J., Cousens, B., 2020. The middle Eocene high-K magmatism in Eastern Iran Magmatic Belt: constraints from UPb zircon geochronology and Sr-Nd isotopic ratios. International Geology Review 1751- 1768. https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1716272.

Ozsvárt, P., Bahramnejad, E., Bagheri, S., Sharifi, M., 2020. New Albian (Cretaceous) radiolarian age constraints for the Dumak ophiolitic mélange from the Shuru area, Eastern Iran. Cretaceous Research 104451. https://doi.org/10.1016/j. cretres.2020.104451.

Pang, K.N., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y., Chu, C.H., Lee, H.Y., Lo, C.H., 2013. Eocene-Oligocene post-collisional magmatism in the Lut-Sistan region, eastern Iran: Magma genesis and tectonic implications. Lithos 180, 234–251. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.05.009.

Perch-Nielsen, K., 1985. Mesozoic Calcareous Nannofossils. In: Bolli, H.M., Saunders, J.B., and Perch-Nielsen, K., (Eds.), Plankton Stratigraphy. Cambridge University Press 329-426.

Rezaei-Kahkhaei, M., Kananian, A., Esmaeily, D., Asiabanha, A., 2010. Geochemistry of the Zargoli granite: Implications for development of the Sistan Suture Zone, southeastern Iran. Island Arc 19, 259–276. https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2009.00704.x

Saccani, E., Delavari, M., Beccaluva, L., Amini, S.A., 2010. Petrological and geochemical constraints on the origin of the Nehbandan ophiolitic complex (eastern Iran): Implications for the evolution of the Sistan Ocean. Lithos 117 (1-4), 209-228. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.02.016

Sissingh, W., 1977. Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton. Geologie en Minjbouw 56, 37-65.

Stocklin, J., 1972. Iran central, septentrional et oriental, Lexiqu Stratigraphique International, 111, Fascicule 9b, Iran. Centre National de La Recherche Scientifique, Paris, 1-283

Stöcklin, J., Nabavi, M.H., 1971. Explanatory text of the Boshruyeh Quadrangle Map J7. Scale 1:250.000. Geological Survey of Iran.

Stöcklin, J., Nabavi, M.H., 1973. 1/2,500,000 sheet, tectonic map of Iran. Geological Survey of Iran.

Tarkian, M., Lotfi, M., Baumann, A., 1983. Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran, Ministry of Mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran 51, 357–383.

Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. Geological Society of America Bulletin 94, 134–150. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<134:TSSZOE>2.0.CO;2

Walker, R., Jackson, J., Baker, C., 2003. Thrust faulting in eastern Iran: source parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquake sequences. Geophysical Journal International 152, 749-765.

Walker, R., Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. Tectonics 23, TC5010. https://doi:10.1029/2003TC001529.

Zarrinkoub, M.H., Pang, K.N., Chung, S.L., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y., Lee, H.Y., 2012. Zircon U–Pb age and geochemical constraints on the origin of the Birjand ophiolite, Sistan suture zone, eastern Iran. Lithos 154, 392-405. https://10.1016/j.lithos.2012.08.007