



<https://jssr.ui.ac.ir/?lang=en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan
E-ISSN: 2423-8007
Vol. 37, Issue 4, No. 85, Winter 2022, pp 1-22
Received: 18.08.2021 Accepted: 12.10.2021

Research Paper

Palynofacies and Palaeoenvironment of the Sanganeh Formation, East and the Center of the Kopet-Dagh Basin

Narges Shokri *

Assistant Professor, Department of Petroleum Geology and Sedimentary Basin, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
n.shokri@scu.ac.ir

Ebrahim Ghasemi-Nejad

Professor, Department of Geology, School of Geology, Tehran University, Tehran, Iran
eghaseminejad@ut.ac.ir

Ali-Reza Ashouri

Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
ashouri@um.ac.ir

Abstract

In order to identify the palynofacies and to reconstruct the paleoenvironment of the Lower Cretaceous depositions in the Kopet-Dagh sedimentary basin, the Sanganeh Formation was sampled and studied. The four sections of the Sanganeh Formation were selected for correlation and comparison in the east and the center of the Kopet-Dagh Basin, respectively included Karizak, Mozduran, Sanganeh and Qarah-Su. The study of slides was done with an optical microscope. Marine palynomorphs groups, phytoclasts, amorphous organic matter, transparent to opaque amorphous organic matter ratio, brown to opaque phytoclast ratio, Peridinioid to Gonyaulacoid dinocyst ratio, abundance, and diversity of marine palynomorphs and dinoflagellates were counted and investigated. In this study, a quantitative analysis of the main palynologic elements (AOM, marine palynomorph, phytoclast) led to characterize four palynofacies types that were identified in the Karizak and Mozduran sections. Based on the palynofacies analyses and according to the plotting to Tyson diagram, we have recorded an increase in the number of phytoclasts and a decrease in the number of marine palynomorphs to the east indicating a decrease in the depth and oxygen trend in the Sanganeh Formation in these part of the Kopet-Dagh sedimentary Basin. The sedimentation rate of the Sanganeh Formation was also considered low in the studied sections.

Keywords: Palynofacies, Dinoflagellate, Kopet-Dagh, Sanganeh Formation, Lower Cretaceous

Introduction

According to Tyson (1993, 1995) and Batten (1996b), identification of palynofacies plays an essential role in determining depositional environments as well as studying the petroleum potential in sediments. The components of palynologic slides, which are used to determine palynofacies and paleoenvironmental interpretation, can be grouped into three groups: amorphous organic matter (AOM), marine palynomorphs (MP), and phytoclasts (P). Due to the Sanganeh Formation lithology, paleontologists have been interested in working the shale samples. Several studies have been done to determine the age and identify the

paleoenvironment on this formation in the Kopet-Dagh basin based on different fossil groups including foraminifera, calcareous nannofossil, ammonite, and palynomorph. Four stratigraphic sections have been selected from the Sanganeh Formation in the Kopet-Dagh Basin. The studied sections from the east to the center of the Basin are included Karizak, Mozduran, Sanganeh and Qarah-Su, respectively with a thickness of 320, 355, 550, and 580 meters. In the studied sections, the lower and upper boundaries of the Sanganeh Formation are continuance with Sarcheshmeh and Aitamir formations. The aim of this study was to identify the palynofacies and the paleoenvironment of the Sanganeh

*Corresponding author

Shokri, N., Ghasemi-Nejad, E., & Ashouri, A. (2021). Palynofacies and Palaeoenvironment of the Sanganeh Formation, East and the Center of the Kopet-Dagh Basin. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 37(4), 1-22.



2423-8007 / © 2022

This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<http://dx.doi.org/10.22108/jssr.2021.130143.1212>



<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087888.1400.37.4.2.4>

Formation based on the counting and frequency of palynological content in the studied sections.

Material & Methods

A total of 370 samples were taken from the Sanganeh Formation in four sections, (Karizak, Mozduran, Sanganeh, and Qarah-Su). Samples were prepared based on the acid treating technique (HCl/HF) (Travers 2007). In this standard method, dry sediment samples were degraded with 30% hydrochloric acid (HCl) and 40% hydrofluoric acid (HF) to extract acid-resistant organic matter. These acids had been added to remove carbonates and silicates materials. In the following steps, after sieving (10 μm mesh), the samples were centrifuged with heavy liquid zinc chloride (ZnCl_2), and the residual material was finally transferred to 3–5 lamellas for palynological studies. It should be noted that the samples were not oxidized.

Discussion of Results & Conclusions

Based on the relative frequency of three palynological matter categories, three types of palynofacies are recognized at the Qarah-Su section, and four types of palynofacies at the Karizak and Mozduran sections. According to these plots, we could subdivide the Sanganeh Formation into two parts in the studied sections. The first part is characterized by abundant phytoclast matter indicating a highly proximal dysoxic-anoxic basin, while the second part of the studied succession shows a change in organic matter in the samples composed of AOM and marine palynomorphs. This part is indicated by the proximal suboxic-anoxic shelf. The depositional depth showed an increase in this part. However, an exception could be observed in the Karizak section so there could be a third part and we could have observed a decrease in the depositional depth again.

The relative abundance of marine palynomorphs, phytoclasts, and amorphous organic matter, the ratio of transparent/opaque amorphous organic matter, brown/opaque phytoclast and Peridinioid/Gonyaulacoid dinocyst, and also the density and diversity of marine palynomorphs and dinoflagellates were considered at this study. The ratio of the transparent AOM to opaque AOM indicates low oxygen conditions have fluctuated over time. The absence of dinocysts at the base of succession may be due to the lack of preservation of distributed organic matter at the sediment surface, diagenesis, or the initial lack of production of

dinoflagellate cysts in the marine environments (Ogg 1992). The upward trend in the peridinioid group is also considered to be near-coastal or transitional environments (Habib and Miller 1989).

The distribution of palynological data on the Tyson diagram indicates the relative high amount of phytoclasts for this formation, especially in the eastern sections of the Kopet-Dagh Basin. According to the diagrams, the shallowing trend to the east can be observed, clearly in the Karizak section. Therefore, the depositional environment of the Sanganeh Formation can be considered as a shallow, coastal, and low oxygen environment in the eastern part of the study area. Towards the center of the Basin, the amount of marine palynomorphs has increased which indicates deeper and distal coast, and a relatively lack of oxygen.


The paleoenvironmental and palynological elements analysis of the Sanganeh Formation in the studied area generally show the following results:

Comparison of the three main groups of palynological components (phytoclasts, amorphous organic matter, and marine palynomorphs) in the studied sections shows that the amount of phytoclasts in all sections is almost high. The amount of amorphous organic matter and marine palynomorphs are in the next degree of abundance. Due to the relative amount of these three groups, the base of the Sanganeh Formation has shown the shallow marine deposit and proximal setting. In the middle part, the amount of organic matter is increased and the amount of phytoclasts is reduced. The amount of marine palynomorphs also shows a relative increase in this part.

Therefore, the increase in amorphous organic matters, the presence of marine palynomorphs, and the relative decrease of phytoclasts, palaeoenvironment of the sequences can be considered mud dominate distal shelf. The upper part of the studied sections, which can be seen just only in the Karizak section, indicates a decrease in depth and near-shore environments, accompanied by an increase in phytoclasts.

The Karizak section, which is the most eastern section, has the lowest marine palynomorphs and the highest phytoclasts. The Mozduran section, which is the second section from the east shows an increase in the marine palynomorph and AOM. Finally, marine palynomorphs and AOM are increased in the Sanganeh and Qarah-Su sections, indicating an increase in depth and a decrease in oxygen to the center of the Kopet-Dagh basin.

رخساره‌های پالینولوژیکی و دیرینه‌بوم‌شناسی سازند سنگانه در شرق و مرکز حوضه رسوبی کپه‌داغ

نرگس شکری * استادیار گروه زمین‌شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز،

ایران

n.shokri@scu.ac.ir

ابراهیم قاسمی‌نژاد، استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

eghaseminejad@ut.ac.ir

علیرضا عاشوری، استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

ashouri@um.ac.ir

چکیده

به‌منظور شناسایی رخساره‌های پالینولوژیکی و بازسازی محیط‌های دیرینه، در این مطالعه یکی از مهم‌ترین سازندهای شیلی کرتاسه زیرین در حوضه رسوبی کپه‌داغ، نمونه‌برداری و بررسی شده است. به این منظور، تعداد چهار برش چینه‌شناسی از سازند سنگانه برای تطابق و مقایسه انتخاب شده است. برش‌ها از شرق به غرب شامل کاریزک، مزدوران، سنگانه و قره‌سو است. گروه‌های پالینومورف‌های دریایی، فیتوکلست‌ها، مواد آلی بی‌شکل، نسبت مواد آلی بی‌شکل شفاف به تیره، نسبت فیتوکلست قهوه‌ای به تیره، نسبت سیست‌های پریدینوئید به گونیاکونید، فراوانی و تنوع پالینومورف‌های دریایی و داینوفلاژله‌های شاخص شمارش و بررسی شده است. در این راستا، چهار رخساره پالینولوژیکی در برش‌های کاریزک و مزدوران شناسایی شد. براساس رخساره‌های پالینولوژیکی شناسایی شده و با توجه به ترسیم نمودارها، افزایش میزان فیتوکلست‌ها و کاهش میزان پالینومورف‌های دریایی به سمت شرق مشاهده شد. این مسئله بیانگر روند افزایش عمق و کاهش میزان اکسیژن در سازند سنگانه از شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ به سمت غرب است که با عدم حضور گروه پریدینوئید، در برش قره‌سو می‌توان تطبیق داد. میزان رسوب‌گذاری سازند در منطقه مورد مطالعه، کم در نظر گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی: رخساره پالینولوژیکی، داینوفلاژله، کپه‌داغ، سازند سنگانه، کرتاسه زیرین

* نویسنده مسئول

شکری، ن.؛ قاسمی‌نژاد، ا. و عاشوری، ع. (۱۴۰۰). رخساره‌های پالینولوژیکی و دیرینه‌بوم‌شناسی سازند سنگانه در شرق و مرکز حوضه رسوبی کپه‌داغ، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۳۷(۴): ۱-۲۲.



مقدمه

اجزای موجود در اسلایدهای پالینولوژیکی که برای تعیین رخساره‌ها و تفسیر محیطی استفاده می‌شود، در سه گروه مواد آلی بی‌شکل (AOM)، پالینومورف‌های دریایی (MP) و فیتوکلست‌ها (P) جای داد.

تاریخچه موضوع و مطالعات پیشین

سازند سنگانه به دلیل داشتن ماهیت شیلی، بیشتر مورد توجه دیرینه‌شناسان بوده است. در حوضه رسوبی کپه‌داغ، مطالعات متعددی براساس گروه‌های مختلف فسیلی، از جمله فرامینیفرها، نانوفسیل‌های آهکی، آمونیت‌ها و پالینومورف‌ها برای تعیین سن و شناسایی محیط دیرینه، درباره این سازند صورت گرفته است؛ از جمله اولین مطالعات انجام‌شده، عبارتند از: مطالعات فرامینیفرها (Kalantari 1969) و بررسی آمونیت‌ها (Afshar-harb 1994). در مطالعات مذکور، سن آلبین و آپتین‌پسین-آلبین برای سازند سنگانه تعیین شده است. از مطالعات انجام‌شده درباره نانوفسیل‌های آهکی سازند سنگانه، می‌توان به مطالعات Hadavi and Bodaghi (2009) در برش مزدوران با سن آلبین-تورونین آغازی، Mahanipour and Kani (2015) در برش شیخ با تعیین سن ابتدای آپتین پسین تا آپتین پسین؟ و Gholami-fard et al. (2017) در برش‌های قلعه‌جق با سن آپتین پسین-آلبین آغازین و یزدان‌آباد با سن آپتین آغازین تا پسین اشاره کرد.

از مطالعات انجام‌شده در زمینه پالینومورف‌های سازند سنگانه، می‌توان به برش قلعه‌نو اشاره کرد (Khosaravi and Ghaseminejad 2006). سن سازند در برش مذکور آپتین و محیط رسوبی آن پروکسیمال شلف تا mud dominated oxic shelf با شرایط نیمه‌هوایی و کم‌انرژی تعیین شده است. در برش باغک، بخشی از بایوزون *Odontochitina operculata* برای سازند سنگانه تعیین شده است (Keshmiri et al. 2014). در مطالعه مذکور، بررسی عناصر پالینولوژیکی و مطالعه آماری فاکتورهای مؤثر، نشان‌دهنده افزایش عمق محیط از سازند سرچشمه به سازند سنگانه، همراه با شرایط آرام‌تر، کم‌انرژی

برخلاف باور عموم، دیرینه‌جغرافیا نشان می‌دهد به دلیل اثر حرکت‌های زمین‌ساختی، پیشروی و پسروی دریای کرتاسه مکرراً اتفاق افتاده و رسوب‌گذاری در پهنه کپه‌داغ به صورت پیوسته رخ نداده است (Aghanabati 2004). با وجود این، توالی‌های بازه زمانی کرتاسه در کپه‌داغ، یکی از کامل‌ترین و ضخیم‌ترین نهشته‌های کرتاسه ایران است. واحدهای سنگ‌چینه‌ای نظیر سازندهای شورججه، تیرگان، سرچشمه و سنگانه، در بازه زمانی کرتاسه زیرین حوضه رسوبی کپه‌داغ تشکیل شده‌اند (Aghanabati 2004). در زمان آپتین پسین، حوضه رسوبی کپه‌داغ، عمق بیشتری داشته و با ورود ذرات رسی، سازند سرچشمه نهشته شده است. ورود ذرات رسی در زمان آلبین تداوم یافته که در نتیجه آن، سازند شیلی سنگانه ته‌نشست یافته است (Aghanabati 2004; Shokri et al. 2015a).

مطالعه رخساره‌های پالینولوژیکی، رویکردی برای بازسازی محیط‌های رسوبی دیرینه محسوب می‌شود. در این راستا، در هنگام مطالعه اسلایدهای پالینولوژیکی، به جای محدود کردن پژوهش به پالینومورف‌ها در بقایای پالینولوژیکی، تمام محتوای آلی بررسی می‌شود. ذرات تشکیل‌شده از مواد آلی، به‌عنوان یک جزء رسوبی در نظر گرفته می‌شود. این ذرات، شرایط اولیه ناحیه منشأ و محیط ته‌نشستی را منعکس می‌کند (Tyson 1996; Mansour & Taboun 2018; Mohamed et al. 2020; Mansour et al. 2018; al.). طبق نظر بسیاری از محققان، اجزا و نسبت مواد آلی رسوبی ته‌نشست یافته در محیط‌های دیرینه دریایی، به‌طور مستقیم با تغییرات سطح آب دریا در ارتباط است (Gorin and Steffen 1991; Tyson 1995; Bombardiere and Gorin 2000; Oboh-Ikuenobe et al. 2005).

براساس مطالعات تایسون (Tyson 1993, 1995) و باتن (Batten 1996b)، شناسایی و تفکیک رخساره‌های پالینولوژیکی، نه تنها در تعیین محیط‌های رسوبگذاری نقش مهمی را ایفا می‌کند؛ بلکه برای بررسی و ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزائی در رسوبات میزبان نیز مفید است. می‌توان

بررسی پتروگرافی، آنالیز عناصر کمیاب و ایزوتوپ کربن و اکسیژن بوده است (Heidari et al. 2014). این مطالعه که بر میان‌لایه‌های آهکی سازند سنگانه انجام شده، سبب شناسایی سه فاز اکوژنز، مزوژنز و تلوزنز برای این سازند شده است.

زمین‌شناسی عمومی و چینه‌شناسی برش‌های مورد مطالعه

چهار برش چینه‌شناسی برای سازند سنگانه در شرق و مرکز حوضه رسوبی کپه‌داغ انتخاب شده است. برش‌های مورد بررسی از شرق به غرب، شامل برش‌های کاریزک با مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 19' 52''$ و $60^{\circ} 44' 44''$ طول شرقی و $19^{\circ} 19' 36''$ عرض شمالی و ضخامت 320 متر، مزدوران با مختصات $36^{\circ} 33' 59''$ و $60^{\circ} 33' 59''$ طول شرقی و $36^{\circ} 32' 53''$ عرض شمالی و ضخامت 355 متر، سنگانه با مختصات $52^{\circ} 13' 13''$ و $60^{\circ} 13' 54''$ طول شرقی و $36^{\circ} 42' 54''$ عرض شمالی و ضخامت 550 متر و قره‌سو با $60^{\circ} 40' 46''$ طول شرقی و $36^{\circ} 58' 14''$ عرض شمالی و ضخامت 580 متر است. سازند سنگانه در این برش‌ها، اغلب سیمای تپه‌ماهوری دارد و متشکل از توالی‌های شیلی و مارن با میان‌لایه‌هایی از سنگ آهک و سیلت است. مرزهای زیرین و بالایی سازند سنگانه، در برش‌های مورد مطالعه با سازندهای سرچشمه و آیتامیر به صورت تدریجی است (شکل ۱). از مشخصات ظاهری سازند سنگانه در این برش‌ها می‌توان به وجود ساختار رسوبی مخروط‌درمخروط، حضور فسیل آمونیت، و نودول‌هایی با هسته آمونیتی اشاره کرد. راه‌های دسترسی و موقعیت جغرافیایی برش‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

و کاهش اکسیژن است. از سایر مطالعات براساس استفاده از عناصر پالینولوژیکی، می‌توان به (Shokri et al. 2015a) در شرق و مرکز حوضه کپه‌داغ اشاره کرد. آنها براساس مطالعه سیستم‌های داینوفلاژله و پراکندگی و توزیع جنس و گونه‌ها، دو داینوزون را شناسایی و سن سازند را آپتین-پسین-آلبین آغازین تعیین کردند. داینوزون‌های تفکیک‌شده منطبق بر زون‌های *Odontochitina operculata* (Evans 1966) و *Pseudoceratium turneri* (Morgan 1980) است. داینوفلاژله‌های معرفی‌شده در این مطالعه، از خانواده‌هایی همچون *Gonyaulacystaceae*، *Fromeacean*، *Canningiaceae*، *Spiniferitaceae*، *Hystrichosphaeridiaceae*، *Pseudoceratiaceae*، *Homotrybiaceae*، *Cleistosphaeridiaceae*، *Systematophoraceae* و *Areoligeraceae* هستند. در مطالعه‌ای دیگر که (Shokri et al. 2014) انجام داده، محیط دیرینه سازند سنگانه در برش روستای سنگانه، براساس عناصر پالینولوژیکی، محیط کم‌اکسیژن تا فاقد اکسیژن و دریای حاشیه‌ای تا دریای باز کم‌عمق تعیین شده است. در مطالعه مذکور، براساس آنالیز ژئوشیمیایی، پتانسیل انباشت مواد آلی سازند مناسب تعیین شده است. در برش دهانه غلامان در کپه‌داغ مرکزی، سن سازند سنگانه، آپتین-پسین-آلبین و محیط ته‌نشست سازند، شرایط احیایی تا نیمه احیایی و دریای باز و کم‌ژرفا در نظر گرفته شد (Nouri et al. 2017). در برش امیرآباد، محیط رسوبی سازند سنگانه، کم اکسیژن تا فاقد اکسیژن و دریای حاشیه‌ای تا دریای باز کم‌ژرفا در نظر گرفته شده است (Allameh 2019). یکی دیگر از مطالعات انجام‌شده درباره سازند سنگانه،



شکل ۱- مرز زیرین و بالایی سازند سنگانه با سازندهای سرچشمه و آیتامیر در برش کاریزک (دید به سمت شمال غرب)

Fig 1- Outcrop of the sanganeh formation at the karizak section



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به برش‌های مورد مطالعه؛ ۱- برش کاریزک؛ ۲- برش مزدوران؛ ۳- برش سنگانه؛ ۴- برش قره‌سو (اقتباس با تغییرات از Shokri et al. 2014)

Fig 2- Location map of the studied sections: 1- Karizak; 2- Mozduran; 3- Sanganeh; 4- Qarah-su (after Shokri et al. 2014)

روش کار و مطالعه

برای انجام مطالعه پیش رو، در مجموع تعداد ۳۷۰ نمونه سطح‌الارضی از سازند سنگانه در چهار برش کاریزک، مزدوران، سنگانه و قره‌سو برداشت شده است. فواصل و نقاط نمونه‌های آماده‌سازی شده برای هر برش در شکل‌های ۳ و ۶ و ۸ نشان داده شده است. نمونه‌ها براساس تکنیک اسیدشویی (HCl/HF) آماده‌سازی شده است (Travers 2007). در این روش، نمونه‌های رسوب خشک، برای استخراج مواد آلی که مقاوم به اسید است با اسیدهای هیدروکلریک ۳۰٪ (HCl) و هیدروفلوئوریک ۴۰٪ (HF)، تخریب شده است. هر یک از اسیدهای مذکور، به ترتیب برای انحلال کربنات‌ها و سیلیکات‌ها در مراحل مختلف به نمونه اضافه شده است. در مراحل بعدی نمونه‌ها پس از گذراندن از الک ۱۰ میکرون، با مایع سنگین کلراید روی ($ZnCl_2$)، برای جدایش کانی‌های سنگین، خرده‌های چوب و عناصر غیرآلی سانتیفریوژ شده و مواد باقیمانده، در نهایت به روی ۳-۵ لامل برای مطالعات پالینولوژیکی منتقل شده است. گفتنی است نمونه‌ها اکسید نشده است. اسلایدهای آماده‌شده با میکروسکوپ نیکون مدل Eclipse E600 مجهز به دوربین و با عدسی‌های شیئی ۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ در آزمایشگاه پالئونتولوژی دانشگاه کانزاس آمریکا بررسی شد. تاکسای شناسایی شده و ذرات پالینولوژیکی عکسبرداری شدند.

رخساره‌های پالینولوژیکی و دیرینه‌بوم‌شناسی سازند سنگانه

در برش‌های مورد مطالعه

برای مطالعه محیط دیرینه، براساس رخساره‌های پالینولوژیکی، لازم است حداقل ۳۰۰ ذره در هر اسلاید شمارش شود (Tyson 1995). توصیفات متعددی از توزیع مواد آلی را می‌توان در مطالعات مختلف یافت (از جمله Boulter and Riddick 1986; Van Bergen et al. 1990; Van der Zwan 1990; Steffen and Gorin 1993a, 1993b; Tyson 1995; Batten 1996; Oboh-Ikuenobe et al. 1997, 2005; Mendonça Filho et al. 2010). درباره طبقه‌بندی‌های اولیه بین‌المللی مواد آلی در کارگاه آموزشی مواد آلی در آمستردام بحث شد (Lorente and

Ran 1991). در این کارگاه ماده آلی، به‌عنوان ماده آلی پالینولوژیکی (POM) معرفی شد. POM به چهار گروه اصلی پالینومورف‌ها، خرده‌های ساختاری، مواد بی‌شکل و ماده نامشخص تقسیم شد؛ سپس هرکدام از این گروه‌ها به دسته‌های مختلف تقسیم شد.

Jaramillo and Oboh-Ikuenob (1999) مجموعه‌های پالینورخساره و نسبت‌ها و پارامترهای آن را مطابق خط ساحلی قرار دادند. آنها از عمیق‌ترین تا کم‌عمق‌ترین بخش محیط رسوبی را به‌صورت یک توالی در مجموعه پالینورخساره A، مجموعه پالینورخساره D، مجموعه پالینورخساره B و مجموعه پالینورخساره C شرح دادند.

در تفسیر محیط دیرینه، فاکتورهای مختلفی بررسی می‌شود. این فاکتورها شامل نسبت فیتوکلیست قهوه‌ای به تیره، نسبت مواد آلی بی‌شکل به تیره، نسبت مواد آلی بی‌شکل به پالینومورف‌های دریایی، نسبت داینوفلاژله‌های پریدینیوئید (P) به گونیالاکوئید (G)، تنوع و فراوانی پالینومورف‌های دریایی و داینوفلاژله‌های شاخص محیط است.

به‌طورکلی، مقادیر بالای مواد آلی بی‌شکل (AOM) نشان‌دهنده محیط‌های با پتانسیل حفظ‌شدگی بالا و انرژی کم است. تعیین منشأ مواد آلی بی‌شکل معمولاً سخت است (Pacton et al. 2011). حفظ‌شدگی مواد آلی بی‌شکل، به‌طور مستقیم با شرایط نیمه‌اکسیژن‌دار مرتبط است؛ در نتیجه این حفظ‌شدگی با بهره‌وری اولیه در ارتباط است؛ اما لزوماً این‌طور نیست (Tyson 1993). درصد مواد آلی بی‌شکل را می‌توان به‌عنوان نشان‌دهنده محیط‌های احیایی یا حداقل محیط‌هایی تفسیر کرد که موقتاً نیمه‌اکسیژن‌دار تا فاقد اکسیژن با حفظ‌شدگی بالای مواد آلی، پلانکتون برجا، یا محیط‌های ته‌نشستی دور از منشاء هستند. در رخساره‌های بالای دلتای پروکسیمال و کم‌انرژی، ممکن است برخی از مواد بی‌شکل موجود، محصول تخریب گیاهان در بالادست باشند (Piper 1995, Tyson 1995; Mendonca Filho et al. 2010; Pacton et al. 2011).

اکسیژن یکی از فاکتورهای مهم در دیرینه‌بوم‌شناسی و

آب زیاد می‌شود؛ به همین دلیل، از آنها برای تعیین موقعیت خط ساحلی استفاده می‌شود (Vink et al. 2000). براساس شکل سیست داینوفلاژله نیز، سیست‌هایی که زوائد طویل دارد، شاخص محیط‌های دور از ساحل است؛ درحالی‌که، اشکال با زوائد کوتاه یا فاقد زائده در محیط‌های ساحلی و نزدیک به ساحل فراوان است (Götz et al. 2009).

با توجه به تجزیه و تحلیل کمی گروه‌های مختلف از منطقه مورد مطالعه، مجموعه رخساره‌های پالینولوژیکی هر برش به شرح زیر تفکیک شده است. در این مطالعه، رخساره‌های پالینولوژیکی شناسایی شده در برش‌های کاریزک و مزدوران، با برش‌های سنگانه (Shokri et al. 2014) و قره‌سو (Shokri et al. 2015b) مقایسه و تطابق داده شده است.

برش قره‌سو

فاکتورهای مؤثر در تفسیر محیط رسوبی دیرینه سازند سنگانه در برش قره‌سو ترسیم شده است (شکل ۳). تفسیر محیط رسوبی دیرینه این برش، با توجه به فاکتورهای محاسبه‌شده به شرح زیر است:

نسبت P/G: همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، از نسبت سیست‌های P/G به منظور تعیین میزان تولید مواد ارگانیکی استفاده می‌شود. بررسی نسبت بین این دو گروه حاکی از تغییرات جزئی در میزان گروه P بوده؛ بنابراین، میزان تولید تنها در این بخش بالا بوده است. در سایر قسمت‌ها با عدم حضور گروه پریدینیوئید روبه‌رو هستیم که به‌طور کلی بیانگر محیط عمیق‌تر، شوری و مواد غذایی کمتر است. از گونه‌های مربوط به گروه P می‌توان به *Subtilisphaera* و از گروه G به *Spiniferites* اشاره کرد.

نسبت AOM شفاف به تیره: پارامتر نسبت مواد ارگانیکی بی‌شکل شفاف به تیره در برش قره‌سو اندازه‌گیری شده است. این نسبت در برش مورد مطالعه، حاکی از غالب بودن نسبی مواد ارگانیکی بی‌شکل شفاف در ابتدای سازند است که در ادامه، در نیمه دوم و نزدیک به انتها، این نسبت عکس می‌شود

به‌ویژه بازسازی محیط‌های رسوب‌گذاری و تشکیل هیدروکربورهاست؛ زیرا شرایط اکسیژن پایین در شکل‌گیری هیدروکربن مهم است. به‌منظور تعیین میزان اکسیژن محیط، از نسبت مواد آلی بی‌شکل شفاف به تیره استفاده شده است. مواد آلی بی‌شکل شفاف، نشان‌دهنده شرایط بدون اکسیژن و مواد آلی بی‌شکل تیره، شرایط اکسیژن‌دار را نشان می‌دهد (Tyson 1993). چنانچه نسبت این دو گروه بیشتر از یک باشد، شرایط فاقد اکسیژن و اگر این نسبت کوچک‌تر از یک باشد، حاکی از شرایط اکسیژن‌دار است (Waveren and Visscher 2000; Bombardiere and Gorin 1994).

درصد بالای فیتوکست، اغلب مرتبط با شرایط ته‌نشست در نواحی پروکسیمال است. عامل کنترل‌کننده اصلی، فاصله کوتاه حمل و نقل ذرات است. عوامل دیگر مانند شرایط اکسیدشدگی و مقاومت نسبی بافت‌های پوششی نیز به مجاورت ناحیه منشأ ارتباط دارند (Mendonca Filho et al. 2010). به‌طور کلی می‌توان میزان فیتوکست را به محیط نزدیک به خط ساحلی و یا جریان‌های توربیدیتی در آب‌های عمیق نسبت داد (Habib 1982).

نسبت فیتوکست قهوه‌ای به ایک، به‌عنوان فاکتور لبیلیتی نیز شناخته می‌شود. فیتوکست‌های قهوه‌ای به گیاهان خشکی وابسته است و نشان‌دهنده محیط‌های نزدیک به ساحل است. فیتوکست‌های ایک، محیط نیمه‌اکسیژن‌دار، نیمه‌آرام و دور از ساحل را نشان می‌دهد (Waveren and Visscher 1994; Schioler et al. 2002).

میزان فراوانی و تنوع پالینومورف‌های دریایی، نشان‌دهنده مساعد بودن شرایط برای تولید و تنوع گونه‌های مختلف است و همچنین به شرایط حفظ‌شدگی آنها بستگی دارد. در صورت عدم حفظ‌شدگی، میزان فراوانی و تنوع، با وجود تولید بالا تقریباً ناچیز است (Sluijs et al. 2005; Zonneveld et al. 2001). داینوفلاژله‌ها معمولاً در شرایط مساعد از نظر میزان دما و مواد غذایی به‌سرعت تکثیر می‌شود، فراوانی درخور توجهی پیدا می‌کند و قدر مطلق آنها با دور شدن از ساحل و افزایش سطح

میزان خرده‌های آلی در مطالعه مذکور، نشان می‌دهد مواد آلی بی‌شکل (AOM) و پالینومورف‌های دریایی در ابتدای سازند، نسبتاً پایین و درصد فیتوکلست بالاست. در نیمه بالایی، میزان مواد آلی بی‌شکل و نیز پالینومورف‌های دریایی افزایش یافته است (شکل ۸).

برش سنگانه

براساس مطالعه (Shokri et al. 2014) در برش سنگانه، چهار پالینورخساره (II- IV-VI-VII) منطبق بر تایسون (Tyson 1993) تفکیک و شناسایی شده است (شکل ۱۰). حضور جنس *Spiniferites* به همراه فیتوکلست‌ها در ابتدای سازند که به‌طور متناوب با داینوسیست‌های با زواید بلند از جمله *Oligosphaeridium* و *Hystrichosphaeridium* دیده می‌شود، بیانگر نوسانات سطح آب دریاست. جنس‌های *Cribrosphaeridium* و *Subtilisphaera* در ادامه توالی، بیانگر محیط‌های دریای حاشیه‌ای و نزدیک به ساحل‌اند. در نمونه‌های مربوط به انتهای سازند، تنوع و فراوانی داینوسیست‌ها رو به افزایش است. این امر نشان‌دهنده شرایط مطلوب زیستی برای آنهاست. همچنین در مطالعه (Shokri et al. 2014)، نسبت AOM شفاف به تیره نیز بررسی شده که این نسبت در اکثر نمونه‌ها بیشتر از یک ذکر شده است. این امر بیانگر شرایط کم‌اکسیژن یا نبود اکسیژن در زمان رسوب‌گذاری است. فاکتورهای دیگری از جمله نسبت فیتوکلست‌های قهوه‌ای به فیتوکلست اپک نیز در پژوهش مذکور بررسی شده است.

و مواد ارگانیکی بی‌شکل تیره غالب است. این روند به‌طور کلی محیط، فاقد اکسیژن بوده و در بخشی از سازند در قسمت انتهایی، به محیط اکسیژن‌دار تبدیل شده است (شکل ۳).

نسبت AOM به پالینومورف‌های دریایی: بررسی نسبت مواد ارگانیکی بی‌شکل به پالینومورف‌های دریایی، به‌منظور تعیین میزان اکسیژن صورت گرفته است. این پارامتر در طول برش مورد مطالعه، بیانگر بالابودن این نسبت و در نتیجه محیط کم‌اکسیژن با سرعت رسوب‌گذاری پایین است.

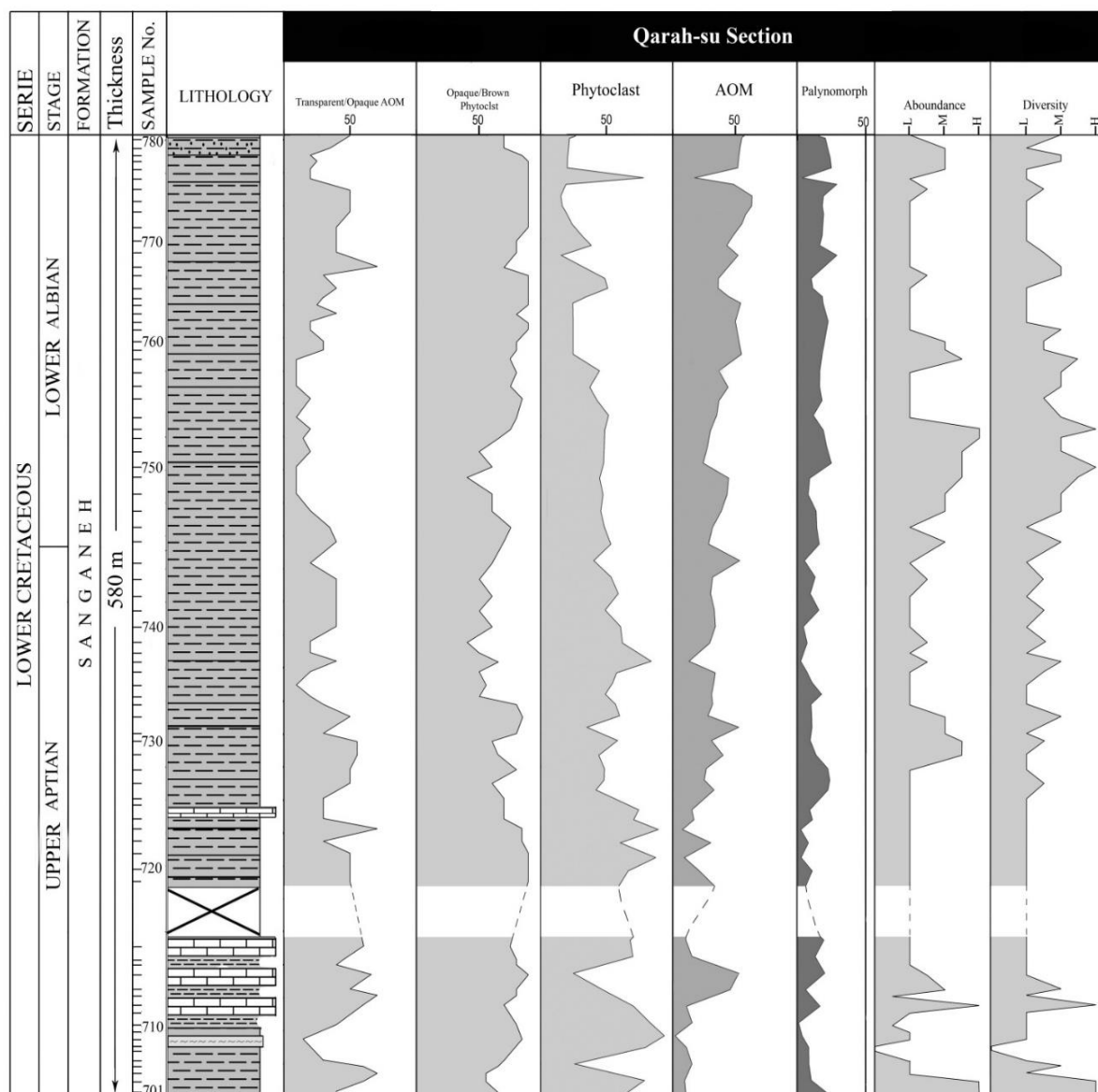
فراوانی و تنوع پالینومورف‌های دریایی: تنوع و فراوانی

پالینومورف‌های دریایی در طول برش قره‌سو روند نسبتاً پایداری را در نیمه ابتدایی سازند نشان می‌دهد و بیانگر تنوع و فراوانی کم تا متوسط برای این بخش است که حاکی از کمبود اکسیژن است؛ اما در ادامه و در نیمه بالایی، تنوع و فراوانی متوسط تا زیاد است که نشان‌دهنده افزایش نسبی میزان اکسیژن در این برش است.

داینوفلاژله‌های شاخص: مجموعه داینوسیستی ثبت شده

در برش قره‌سو، غلبه گروه‌های کوریت و پروکسیموکوریت را نشان می‌دهد؛ از آن جمله می‌توان جنس *Oligosphaeridium* را نام برد. مجموعه داینوسیستی حاکی از محیط دریای باز و نریتیک خارجی است (شکل ۴).

چگونگی توزیع و فراوانی گروه‌های پالینولوژیکی نسبت به هم، برای تعیین پالینورخساره‌های سازند سنگانه در برش قره‌سو براساس نمودار تایسون (Tyson 1989, 1993) در (Shokri et al. 2015b) مطالعه شده و در آن سه پالینورخساره (II- IV- VII) تفکیک شده است. روند تغییرات



شکل ۳- نمودار شاخص‌های پالینولوژیکی سازند سنگانه در برش قره‌سو (AOM، مواد ارگانیکی بی‌شکل؛ MP، پالینومورف‌های دریایی؛ B/Op، نسبت فیتوکلاست قهوه‌ای به اپک؛ AOM(Transparent/Opaque)، نسبت مواد ارگانیکی بی‌شکل شفاف به تیره؛ Diversity، تنوع؛ Abundance، فراوانی)

Fig 3- Chart showing lithological column, vertical stratigraphic distributions of palynofacies and paleoenvironmental parameters of the Karizak section.

شرح زیر است:

برش مزدوران

نسبت فیتوکلاست قهوه‌ای به تیره: تغییرات نسبت فیتوکلاست قهوه‌ای به تیره یا لیبیلیتی در برش مزدوران، نشان‌دهنده پایین بودن این فاکتور و یا به عبارتی، بالابودن میزان فیتوکلاست تیره است. در بخش میانی و انتهایی سازند، این

در برش مزدوران، ذرات پالینولوژیکی و پالینومورف‌های دریایی شمارش شده و نمودار فراوانی آن‌ها ترسیم شده است (شکل ۶). با توجه به نمودارهای حاصل از اطلاعات آماری، محیط‌های رسوبی دیرینه سازند سنگانه در برش مذکور به

(1996). حضور جنس‌هایی از گروه *Cribroperidinium* و *Circuludinium* شاخص شرایط نریتیک داخلی است (Mahmoud and Moadwad 2000; Wilpshaar and Leereveld 1994) شمارش ذرات پالینولوژیکی فیتوکلست، مواد آلی بی‌شکل، پالینومورف‌های دریایی و پیاده‌کردن آن‌ها بر دی‌اگرام مثلثی تایسون (Tyson 1989, 1993)، به تفکیک چهار پالینورخساره I، II، V و VI در برش مزدوران منجر شده است (شکل‌های ۵ و ۶):

I: Highly proximal dysoxic-anoxic basin

II: Marginal dysoxic-anoxic basin

V: Mud dominated oxic (distal) shelf

VI: proximal suboxic-anoxic shelf

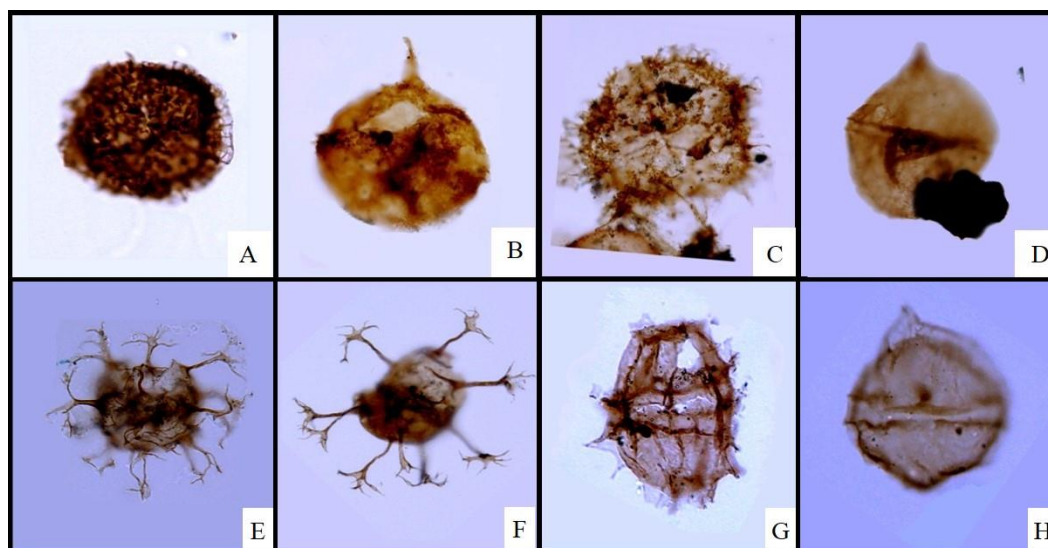
تغییرات میزان ذرات آلی و پالینورخساره‌ها در طول برش چینه‌شناسی مزدوران، نشان‌دهنده میزان بالای فیتوکلست، به‌خصوص در نیمه ابتدایی سازند سنگانه است. میزان مواد آلی بی‌شکل (AOM)، در نیمه دوم برش افزایش می‌یابد و تقریباً در یک سوم انتهایی برش نیز، میزان پالینومورف‌های دریایی افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد.

نسبت پایین است که این امر افزایش عمق را بازگو می‌کند (شکل ۶).

نسبت AOM شفاف به تیره: تغییرات روند نسبت مواد آلی بی‌شکل شفاف به تیره، حضور تقریباً برابر این دو گروه را نشان می‌دهد. بر این اساس، می‌توان برای این برش محیط نیمه‌اکسیژن‌دار را در نظر گرفت.

فراوانی و تنوع پالینومورف‌های دریایی: حضور پالینومورف‌های دریایی در برش مزدوران، در هفت نمونه ملاحظه شده است و سایر نمونه‌ها به‌ندرت و یا خالی از حضور این گروه بوده‌اند. حفظ‌شدگی پالینومورف‌های دریایی در برش مزدوران، مناسب نیست و اغلب تنوع کمی دارد. با وجود این، فراوانی برخی جنس‌ها، از جمله *Cribroperidium* در برخی اسلایدها بسیار چشمگیر است (شکل ۴).

داینوفلاژله‌های شاخص جنس *Cribroperidinium* از جنس‌های غالب در برش مزدوران است. حضور جنس *Cribroperidinium* می‌تواند حاکی از نهشته‌شدن در عرض‌های بالا و آب‌های سرد باشد (Brinkhuis and Schiøler



شکل ۴- داینوفلاژله‌های شاخص محیط در برش‌های مورد مطالعه (بزرگنمایی ۵۰۰ برابر):

A C- *Circulodinium* sp.; **B- *Cribroperidinium globulatum*** (Gitmez and Sarjeant 1972) **Helenes, 1984;** **D- *Cribroperidinium orthoceras*** (Eisenack 1958) **Davey 1969a;** **E- *Oligosphaeridium complex*** (White 1842) **Davey and Williams 1966b;** **F- *Oligosphaeridium abaculum*** **Davey 1979a;** **G- *Spiniferites multibrevis*** (Davey and Williams 1966a) **Below 1982c;** **H- *Subtilisphaera* sp.**

Fig 4-paleoenvironmental Index Dinoflagellates at the studied sections (X500)

A, C- *Circulodinium* sp.; **B- *Cribroperidinium globulatum*** (Gitmez and Sarjeant 1972) **Helenes 1984;** **D- *Cribroperidinium orthoceras*** (Eisenack 1958) **Davey 1969a;** **E- *Oligosphaeridium complex*** (White 1842) **Davey and Williams 1966b;** **F- *Oligosphaeridium abaculum*** **Davey 1979a;** **G- *Spiniferites multibrevis*** (Davey and Williams 1966a) **Below 1982c;** **H- *Subtilisphaera* sp.**

برش کاریزک

کاریزک است که در بخش میانی، کمی نوسان و کاهش را نسبت به فیتوکلست‌های تیره نشان می‌دهد.

نسبت مواد آلی بی‌شکل شفاف به تیره: یکی از موارد درخور توجه در مطالعات دیرینه‌بوم‌شناسی، تعیین میزان اکسیژن در رسوبات دریایی است. روند تغییرات این نسبت، تغییر کم بین این دو را نشان می‌دهد و تقریباً برابر یک است. تفکیک عناصر اصلی پالینولوژیکی و پیاده‌کردن بر دیاگرام سه گانه (Tyson 1993) مواد آلی بی‌شکل-پالینومورف‌ها- فیتوکلست‌ها (APP) در این برش، به شناسایی چهار پالینورخساره I، II، VI و IX منجر شد (شکل‌های ۵، ۷ و ۱۰).

I: Highly proximal dysoxic-anoxic basin
II: Marginal dysoxic-anoxic basin
VI: Proximal suboxic-anoxic shelf
IX: Disatal suboxic-anoxic basin

داینوفلاژله‌ها در برش کاریزک به ندرت حضور داشته و تعداد انگشت‌شماری از آنها در برخی اسلایدها با حفظ‌شدگی نامناسب به ثبت رسیده که قابل‌محاسبه در تعیین فاکتورهای مختلف نبوده است (شکل‌های ۵ و ۶). نمودار برخی فاکتورهای قابل‌بررسی برای این برش ترسیم و در ادامه ارائه شده است (شکل ۶). شایان ذکر است در این برش، فاکتورهایی از قبیل نسبت مواد آلی بی‌شکل به پالینومورف‌های دریایی، فراوانی و تنوع پالینومورف‌های دریایی و همچنین نسبت گروه پریدینیوئید به گونیالاکوئید، به دلیل عدم حضور پالینومورف‌های دریایی محاسبه نشده‌اند.

نسبت فیتوکلست قهوه‌ای به اپک: نمودار تغییرات نسبی این فاکتور، حاکی از غالب‌بودن فیتوکلست قهوه‌ای در برش

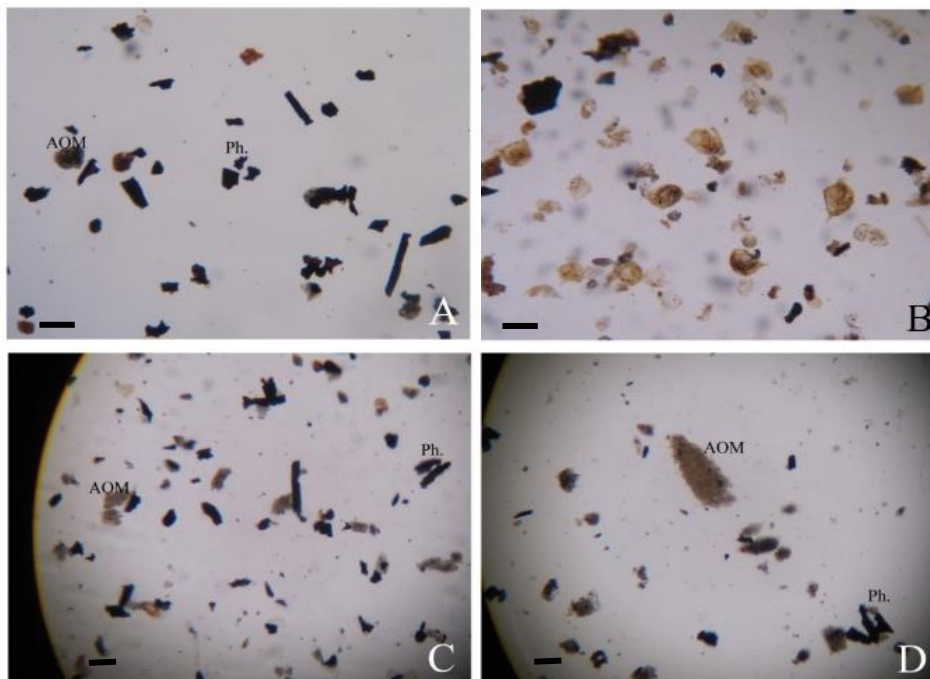
پالینورخساره چهارم: این رخساره که منطبق بر رخساره نوع IX از دیاگرام تایسون (Tyson 1989, 1993) است، تنها سه نمونه در آن جای دارد. براساس مطالعات تایسون (Tyson 1993, 1995)، نمونه‌های نهشته‌شده در محدوده این رخساره، در حوضه دیستال نیمه‌اکسیژن‌دار-فاقد اکسیژن، با فراوانی بسیار پایین پالینومورف‌ها همراه است. این امر می‌تواند به دلیل پوشیده‌شدن حوضه‌های عمیق غنی از آلژینات یا رسوبات چینه‌بندی‌شده دریای شلف، به‌ویژه در حوضه‌های فقیر از رسوب رخ دهد (Carvalho et al. 2013).

نمودار تغییرات پالینورخساره در این برش، نشان‌دهنده حضور غالب فیتوکلست‌ها و میزان بسیار ناچیز پالینومورف‌های دریایی است. میزان مواد آلی بی‌شکل، در بخش میانی سازند افزایش یافته و در بخش‌های ابتدایی و پایانی، حضور فیتوکلست‌ها غالب است (شکل ۷).

پالینورخساره اول: بالابودن نسبت اجزای قاره‌ای به دریایی، نشان‌دهنده محیط‌های رسوب‌گذاری نزدیک به منشأ است. این پالینورخساره را در بخش‌های ابتدایی سازند می‌توان مشاهده کرد.

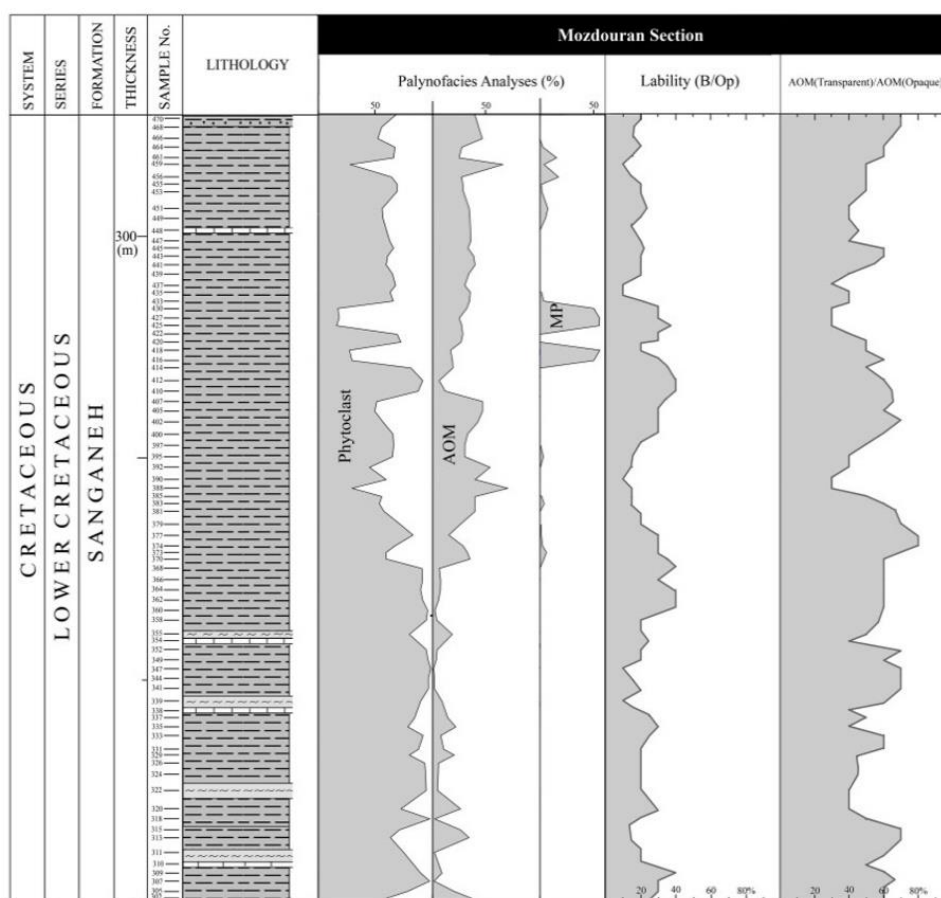
پالینورخساره دوم: بیشترین تمرکز نمونه‌ها در رخساره نوع II است که میزان فیتوکلست بالایی در این برش دارد. با توجه به بالابودن این گروه از عناصر پالینولوژیکی که با مواد آلی بی‌شکل (AOM) کم همراه‌اند، می‌توان نهشته‌های این بخش را مربوط به نواحی کم‌عمق و ساحلی دانست. تعداد انگشت‌شمار پالینومورف‌های دریایی نیز تأییدی بر این مطلب است.

پالینورخساره سوم: این رخساره منطبق بر رخساره نوع VI دیاگرام تایسون (Tyson 1989, 1993) است. میزان مواد آلی بی‌شکل در این رخساره افزایش یافته است.



شکل ۵- پالینورخساره‌های تفکیک‌شده در برش کاریزک و مزدوران. (AOM-مواد آلی بی‌شکل، Ph.-فیتوکلست، MP-پالینومورف دریایی). A-پالینورخساره نوع II؛ B-پالینورخساره نوع V؛ C-پالینورخساره نوع VI؛ D-پالینورخساره نوع IX (مقیاس ۵۰ میکرون)

Fig 5- Palynological elements of the Karizak and Mozdouran section; Aom-Amourphus organic matter; Ph-Phytoclast; MP-Marine palynomorph (scale bar: 50 μ)



شکل ۶- نمودار شاخص‌های پالینولوژیکی سازند سنگانه در برش مزدوران (AOM، مواد آلی بی‌شکل؛ MP، پالینومورف‌های دریایی؛ B/Op، نسبت فیتوکست قهوه‌ای به ایک؛ AOM(Transparent/Opaque)، نسبت مواد آلی بی‌شکل شفاف به تیره)

Fig 6- Chart showing lithological column, vertical stratigraphic distributions of palynofacies parameters of the Mozduran section

توریدایت‌های محیط دریای کم‌عمق است که شرایط برای تشکیل سیستم‌های داینوفلاژله مطلوب بوده است (Ogg 1992). روند افزایشی در گروه پریدینیوئید نیز، مربوط به محیط‌های نزدیک ساحل یا محیط‌های انتقالی در نظر گرفته شده است (Habib and Miller 1989). با توجه به نتایج حاصل از مطالعات دیرینه‌بوم‌شناسی و داده‌های آماری براساس عناصر پالینولوژیکی، در برش‌های کاریزک، مزدوران و قره‌سو از سازند سنگانه و مقایسه با برش سنگانه (Shokri et al. 2014) دستاوردهای زیر حاصل شده است (شکل ۸):

مقایسه سه گروه اصلی اجزای پالینولوژیکی (فیتوکست، مواد آلی بی‌شکل و پالینومورف‌های دریایی) و فاکتورهای

تطابق روند تغییرات فاکتورهای پالینولوژیکی سازند سنگانه در برش‌های مورد مطالعه

فیتوکست‌های ایک را برای حفظ‌شدگی انتخابی آنها، به محیط‌های آشفته (توریدایتی)، نظیر کرانه‌های ساحلی مربوط می‌دانند (برای مثال Tyson 1995). روند کاهشی در تنوع گونه‌های داینوسیست، نشان‌دهنده روند رو به ساحل است (Habib and Miller 1989). عدم حضور داینوسیست‌ها، ممکن است به علت عدم حفظ‌شدگی مواد آلی توزیع‌شده در سطح رسوبات، دیازنز و یا فقدان اولیه تولید سیستم داینوفلاژله در محیط دریای باز باشد (Ogg 1992)؛ همچنین پالینومورف‌های با حفظ‌شدگی خوب، اغلب در رسوبات مشتق‌شده از

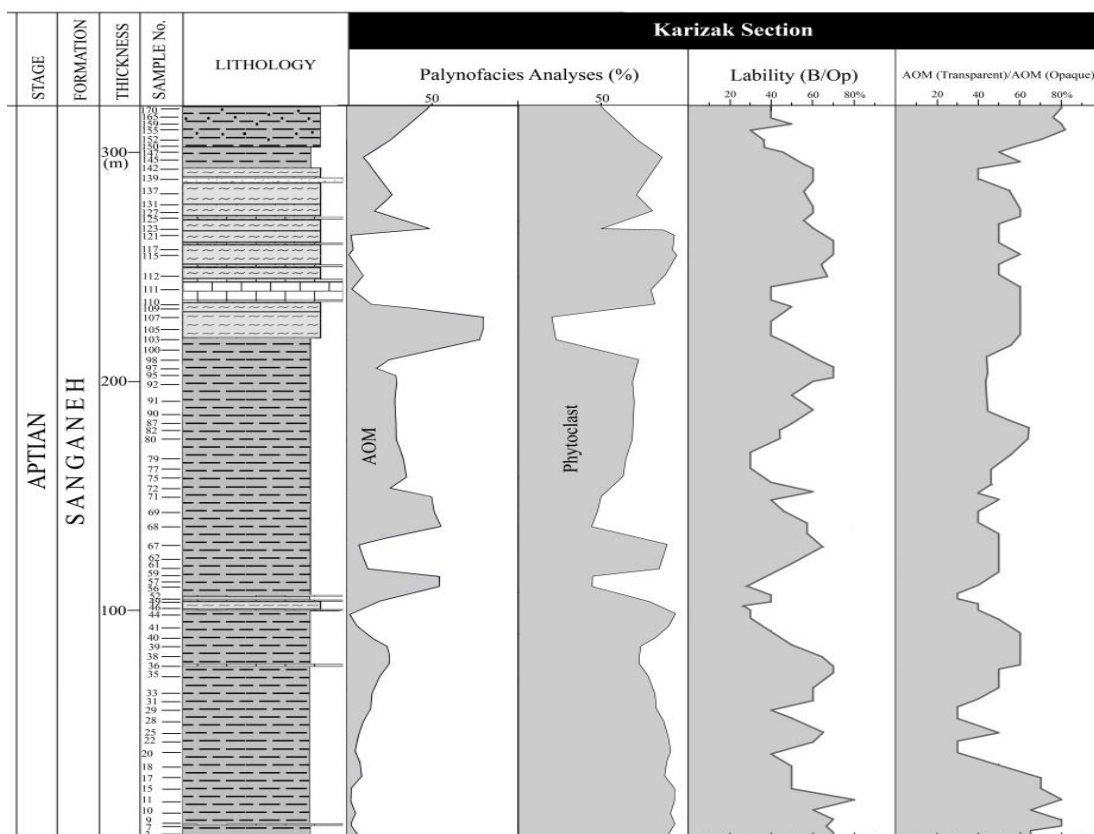
با توجه به بالابودن میزان نسبی فیتوکلست در برش‌های مورد مطالعه، با محیط کم‌عمق و نزدیک به ساحل، مخصوصاً در ابتدای سازند روبه‌رو هستیم که این امر به‌ویژه در برش کاریزک با حضور ریپل‌مارک‌های متقارن ساحلی، در آخرین لایه‌های سنگ آهکی سازند سرچشمه، در قاعده سازند سنگانه کاملاً مشهود است (شکل ۹).

میزان نسبت AOM شفاف به AOM تیره بیانگر شرایط کم‌اکسیژن در زمان ته‌نشست سازند است که در برهه‌های زمانی نوساناتی داشته است. میزان تولید مواد آلی، محیطی با تولید کم را نشان می‌دهد که در بخش‌های بالایی بر میزان تولید افزوده شده است. سرعت رسوب‌گذاری سازند سنگانه نیز در برش‌های مورد مطالعه پایین بوده است.

نسبت داینوفلاژله پریدینیوئید به گونیالاکوئید حاکی از غالب بودن گروه پریدینیوئید در برش سنگانه و غالب بودن گروه گونیالاکوئید در برش قره‌سو است که بیانگر محیط عمیق‌تر، شوری و مواد غذایی کمتر است. با توجه به حضور و فراوانی جنس *Cribroperidinium sp.* در برش مزدوران نیز می‌توان گفت، عرض جغرافیایی در زمان ته‌نشست سازند سنگانه بالا و آب، سرد بوده است.

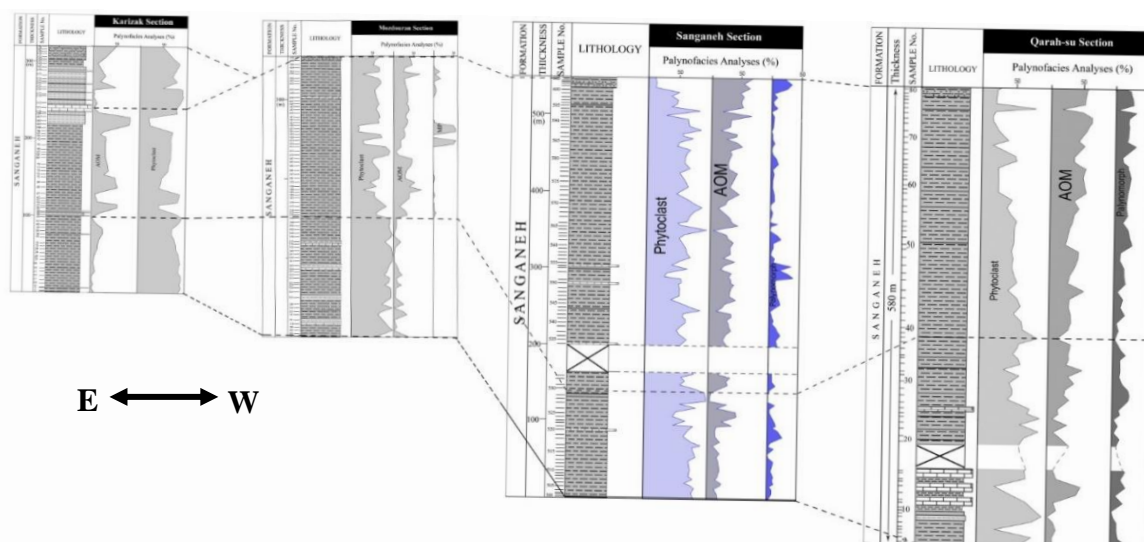
مؤثر در تعیین محیط دیرینه در برش‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد تقریباً میزان فیتوکلست در تمامی برش‌ها بالاست و مواد آلی بی‌شکل و پالینومورف‌های دریایی در درجه بعدی فراوانی قرار دارند. با توجه به میزان نسبی این سه گروه، بخش ابتدایی به دلیل غالب بودن فیتوکلست، حاکی از غالب بودن محیط‌های ته‌نشینی کم‌عمق و نزدیک به ساحل است. در بخش بعدی، میزان مواد آلی بی‌شکل افزایش یافته و از میزان فیتوکلست‌ها کاسته شده است. میزان پالینومورف‌های دریایی نیز افزایش نسبی را نشان می‌دهد. با توجه به افزایش مواد آلی بی‌شکل، حضور پالینومورف‌های دریایی و کاهش نسبی فیتوکلست‌ها می‌توان افزایش عمق و محیط‌های دور از ساحل را برای این بخش در نظر گرفت. بخش سوم که تنها در برش کاریزک مشاهده و تفکیک می‌شود، حاکی از کاهش مجدد عمق و محیط‌های نزدیک به ساحل است که با افزایش میزان فیتوکلست‌ها همراه است.

برش کاریزک که شرقی‌ترین برش برداشت شده است، کمترین میزان پالینومورف دریایی و بیشترین مقدار فیتوکلست را دارد. برش مزدوران که برش دوم از سمت شرق محسوب می‌شود، در ردیف بعدی از نظر فراوانی میزان فیتوکلست و پالینومورف دریایی قرار دارد. برش‌های قره‌سو و سنگانه از نظر میزان فراوانی فیتوکلست‌ها، در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



شکل ۷- نمودار شاخص‌های پالینولوژیکی سازند سنگانه در برش کاریزک (AOM، مواد آلی بی شکل)؛ B/Op، نسبت فیتوکلست قهوه‌ای به اپک؛ AOM(Transparent/Opaque)، نسبت مواد آلی بی‌شکل شفاف به تیره

Fig 7- Chart showing lithological column, vertical stratigraphic distributions of palynofacies parameters of the Karizak section.



شکل ۸- تطابق نسبی نمودارهای تغییرات فاکتورهای اصلی پالینولوژیکی سازند سنگانه در برش‌های مورد مطالعه (فواصل برش‌ها از شرق به غرب به ترتیب ۵۵، ۸۵ و ۴۵ کیلومتر است)

Fig 8- Palynological elements correlation of the Sanganeh Formation at the studied sections



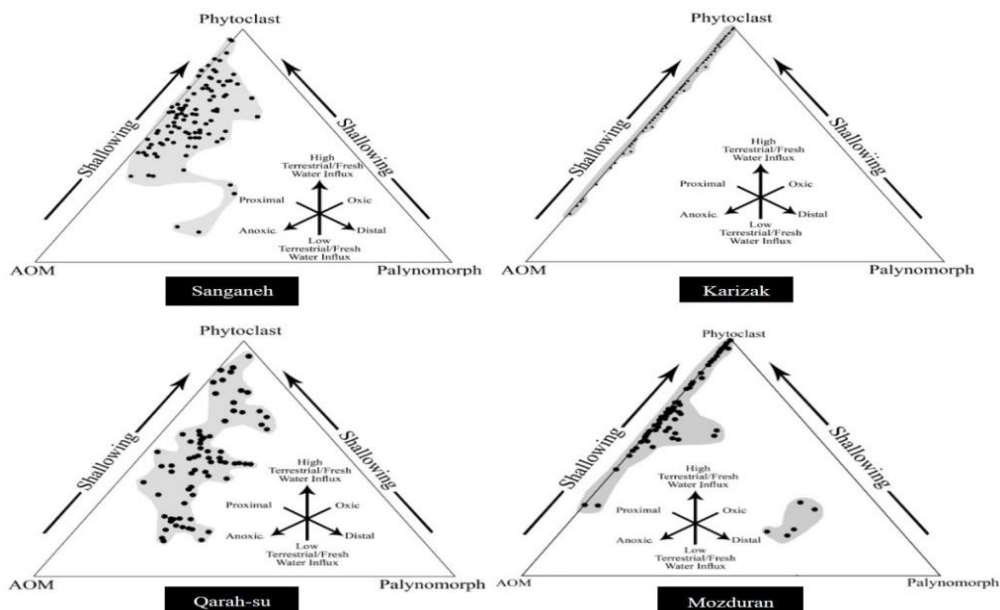
شکل ۹- حضور ریپل مارک در آخرین لایه از سازند سرچشمه در برش کاریزک (دید به سمت شمال‌غرب)

Fig 9- ripple mark at the top of Sarcheshmeh Formation in the Karizak section

مشاهده کرد. این امر به‌وضوح در برش کاریزک مشهود است. از این رو می‌توان محیط رسوبی سازند سنگانه را در نواحی شرقی حوضه رسوبی کپه‌داغ، محیط کم‌عمق، ساحلی و کم‌اکسیژن در نظر گرفت. به‌سمت مرکز حوضه، بر میزان پالینومورف‌های دریایی افزوده شده است که این مسئله حاکی از محیط‌های عمیق‌تر و دورتر از ساحل و نسبتاً فاقد اکسیژن است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

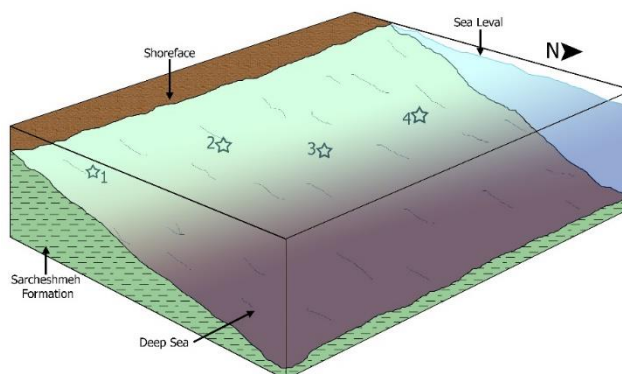
مقایسه رخساره‌های پالینولوژیکی سازند سنگانه در برش‌های مورد مطالعه

توزیع و پراکندگی داده‌های پالینولوژیکی برش‌های مورد مطالعه و برش سنگانه (Shokri et al. 2014) بر دیاگرام مثلثی تایسون، حاکی از میزان نسبتاً بالای فیتوکلاست‌ها برای این سازند است. این امر به‌ویژه در برش‌های شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ مشهود است. با توجه به نمودارهای ترسیم‌شده، می‌توان روند کم‌عمق‌شوندگی به‌سمت شرق را



شکل ۱۰- مقایسه پراکندگی نمونه‌های سازند سنگانه بر دیاگرام مثلثی تایسون در برش‌های مورد مطالعه

Fig 10- Schematic illustration of palynofacies and palynomorph groups used for paleoenvironmental interpretations



شکل ۱۱- بلوک دیاگرام بازسازی موقعیت برش‌های مورد مطالعه از سازند سنگانه نسبت به خط ساحلی؛ ۱- برش کاریزک، ۲- مزدوران ۳- سنگانه (Shokri et al. 2014) و ۴- قره سو

Fig 11- A block diagram illustrating the studied sections position during the deposition of the Sanganeh formation; 1- karizak, 2- Mozduran 3- Sanganeh (Shokri et al. 2014) and 4- Qarah-su

نتیجه

پس از بررسی و شمارش گروه‌های هدف در تعیین پالینورخساره و دیرینه‌بوم‌شناسی و ترسیم نمودارها، مقایسه و تطابق برش‌های مورد مطالعه حاصل شد و نتایج ذیل به دست آمد:

بررسی اسلایدها و شمارش ذرات پالینولوژیکی به شناسایی چهار پالینورخساره در برش‌های کاریزک و مزدوران منجر شد. پالینورخساره‌های تفکیک‌شده در برش کاریزک، در محدوده رخساره‌های I، II، V، VI و در برش مزدوران، رخساره‌های I، II، VI، IX از نمودار مثلثی تایسون (1993) قرار دارد. با توجه به پالینورخساره‌های تعیین‌شده و با توجه به میزان بالای فیتوکلست در ابتدای سازند، به‌طور کلی می‌توان محیط نزدیک به ساحل و دریای حاشیه‌ای با شرایط احیا تا نیمه‌احیا را برای قاعده سازند سنگانه در نظر گرفت. در ادامه ته‌نشست سازند سنگانه، با افزایش نسبی عمق روبه‌رویم که با افزایش میزان پالینومورف‌های دریایی و مواد آلی بی‌شکل می‌توان مشاهده کرد. این افزایش عمق به‌استثنای برش کاریزک، تا انتهای سازند ادامه می‌یابد؛ به‌طوری‌که در برش

کاریزک به سمت انتهای سازند، مجدداً کاهش عمق ملاحظه می‌شود. بررسی فاکتورهای شاخص تعیین محیط دیرینه از جمله لیبلیتی، نسبت مواد آلی بی‌شکل شفاف به تیره، نسبت فیتوکلست قهوه‌ای به تیره، فراوانی و تنوع پالینومورف‌های دریایی، نشان‌دهنده افزایش عمق و کاهش میزان اکسیژن به سمت مرکز حوضه است. حضور جنس‌هایی از جمله *Cribroperidinium sp.* و *Circuludinium sp.* در شرق، نشان‌دهنده شرایط نریتیک داخلی است که به سمت غرب با افزایش سیست‌های با زوائد بلندتر، مانند *Oligosphaeridium sp.* حاکی از محیط دریای باز و نریتیک خارجی برای سازند سنگانه در منطقه مورد مطالعه است. سرعت رسوب‌گذاری سازند سنگانه نیز در برش‌های مورد مطالعه، پایین در نظر گرفته شده است.

References

- Afshar-Harb A. 1994. In Hushmandzadeh A. (Ed.) Treatise on the Geology of Iran, Geological Survey of Iran, 275 p. (in Persian).
- Aghanabati A. 2004. Geology of Iran. Geological survey of Iran. 586 p (in Persian).
- Allameh M. 2019. Palaeoecology and palynofacies of the Sanganeh Formation in Amir Abad stratigraphic section (Khorasan-e-Razavi Province). Sedimentary

- Palaeoecology, 85: 303-320.
- Götz A. E. Ruckwied K. Palfy J. and Hass J. 2009. Palynological evidence of synchronous changes within the terrestrial and marine realm at the Triassic/Jurassic boundary (Csovar section, Hungary). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 156: 401-409.
- Habib D. 1982. Sedimentary supply origin of Cretaceous black shales, 113-127. In: Schlanger S.O. and Cita M.B. (Eds.), *Nature and Origin of Cretaceous Carbon-rich Facies*. Academic Press, London, 229 pp.
- Habib D. and Miller J. A. 1989. Dinoflagellate species and organic facies evidence of marine transgression and regression in the Atlantic coastal plain. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 74: 23-47.
- Hadavi F. and Bodaghi F. 2009. Nannostratigraphy of Sanganeh Formation in Mozduran section (Kopet-dogh). *Sedimentary Facies*, 2 (1): 115-127.
- Heidari A. Shokri N. Ghasemi-Nejad E. Gonzales L. and Ludvigson G. 2014. Application of petrography, major and trace elements, carbon and oxygen isotope geochemistry to reconstruction of diagenesis of carbonate rocks of the Sanganeh Formation (Lower Cretaceous), East Kopet-Dagh Basin, NE Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8 (7): 4949-4967.
- Jaramillo C.A. and Oboh-Ikuenobe F.E. 1999. Sequence stratigraphic interpretations from palynofacies, dinocyst and lithological data of Upper Eocene-Lower Oligocene strata in southern Mississippi and Alabama, U.S. Gulf Coast. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 145, 259-302.
- Kalantari A. 1969. Foraminifera from the Middle Jurassic-Cretaceous successions of Kopet Dagh region (N.E. IRAN). Tehran, NIOC. Geology Laboratories, Publication, (Ph.D thesis, London University) No.3, 298 p.
- Lorente M.A. and Ran E.T.H. 1991. Open Workshop on Organic Matter Classification. Hugo de Vries-Laboratory, Amsterdam, 73 p.
- Keshmiri M. Ghaseminejad E. Ashouri A.R. Yazdi-Moghaddam M. and Jamali A.M. 2014. Palynology and paleoecology of Sarcheshmeh and Sanganeh formations at Baghak section (East of Kopet-Dogh). *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 56(3):17-33 (In Persian).
- Khosravi Alghar R. and Ghasemi-nejad E. 2006. Consideration of the sedimentary environments during sedimentation of the Sanganeh Formation at Qaleh Now area (east Kopet-Dagh Basin) using organic matters (organofacies), 10th Congress of Iranian Society of Geology, Iran (In Persian).
- Mahmoud M.S. and Moawad R.M.M. 2000. Jurassic-Cretaceous (Bathonian to Cenomanian) palynology Facies, 12(1):109-145. (In Persian).
- Batten D.J. 1996. Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. *Palynology principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 3: 1011-1064.
- Bombardiere L. and Gorin G.E. 2000. Stratigraphical and lateral distribution of sedimentary organic matter in Upper Jurassic carbonates of SE France. *Sedimentary Geology*, 132:177-203.
- Boulter M.C. and Riddick A. 1986. Classification and analysis of palynodebris from the Palaeocene sediments of the Forties Field. *Sedimentology*, 33(6): 871-886.
- Carvalho M.A. Ramos R.R.C. Crud M.B. Witovisk L. Kellner A.W.A. Silva H.P. Grillo O.N. Riff D. and Romano P.S.R. 2013. Palynofacies as indicators of paleoenvironmental changes in a Cretaceous succession from the Larsen Basin, James Ross Island, Antarctica. *Sedimentary Geology*, 295: 53-66.
- Davey R. J. and Williams G. L. 1966a. The genera *Hystriochosphaera* and *Achomosphaera*, in *Studies on Mesozoic and Cainozoic dinoflagellate cysts*. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Geol. Supp.* 3: 28-52, pls. 1-5, 9 (pars)
- Eisenack A. 1958. Mikroplankton aus dem norddeutschen Apt nebst einigen Bemerkungen fiber fossile Dinoflagellaten. *Neues Jahrb. Geol. Pal-ontol., Abh.*, 106(3): 383-422.
- Evans P.R. 1966a. Mesozoic stratigraphic palynology in Australia. *Australian Oil and Gas Journal*, 12: 58-63.
- Evans P. R. 1966b. Mesozoic stratigraphic palynology of the Otway Basin. Bureau of Mineral Resources, Australia, Records 1966/198 (unpublished).
- Brinkhuis H. and Schiøler P. 1996. Palynology of the Geulhemmerberg Cretaceous/Tertiary boundary section (Limburg, SE Netherlands). *Geologie Mijnbouw*, 75 (2-3): 193-213.
- Gholami-Fard A. Kani A.L. Mahanipour A. 2017. Calcareous nannofossil biostratigraphy of Sarcheshmeh and Sanganeh formations at Qaleh Jekh and Yazdan Abad sections (West of Kopet-Dagh Basin). *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 33 (1): 69-84 (In Persian).
- Gitmez G.U. and Sarjeant W.A.S. 1972. Dinoflagellate cysts and acritarchs from the Kimmeridgian (Upper Jurassic) of England, Scotland and France. *Bulletin of the British Museum (Natural History) Geology*, 21: 171-257
- Gorin G. and Steffen D. 1991. Organic facies as a tool for recording eustatic variations in marine fine-grained carbonates-examples of the Berriasian stratotype at Berrias (Ardèche, SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology,*

- stratigraphy of Palaeogene strata in Southeastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 41(1-2): 79–102.
- Ogg G. 1992. Early Cretaceous palynomorphs of the western Pacific Ocean. In: Larson R.L. Lancelot Y. et al. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling program, Scientific Results*, 129: 221-228.
- Pacton M. Gorin G.E. and Vasconcelos C. 2011. Amorphous organic matter — experimental data on formation and the role of microbes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 166(3-4): 253–267.
- Piper A.T. 1995. Evaluation of palynofacies analysis in the interpretation of depositional environmental in the Middle Jurassic of Yorkshire. (Ph.D. Thesis) Newcastle Univ. Newcastle, United Kingdom.
- Schioler P. Crampton J. S. and Laird M. G. 2002. Palynofacies and sea-level changes in the Middle Coniacian-LateCampanian (Late Cretaceous) of the East Coast Basin, New Zealand. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 188: 101-125.
- Shokri N. Ghasemi-Nejad A. and Ashouri A. 2014. Environmental interpretation of the Sanganeh Formation at Sanganeh village, east of Kopet-Dagh basin: Using palynological elements, *Journal of Paleontology*, (1) 2: 35-48. (In Persian)
- Shokri N. Ghasemi-Nejad A. and Ashouri A. 2015a. Palynostratigraphy of Sanganeh Formation in the east and center of Kopet-Dagh sedimentary basin based on dinoflagellate cysts, *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Research*, 31, 58 (1): 12-1 (In Persian).
- Shokri N. Ghasemi-Nejad E. and Ashouri A. 2015b. Palynostratigraphy and Palynofacies of the Sanganeh Formation, Qarah-su section, NE Iran, *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 6(1): 633-641.
- Sluijs A. Pross J. and Brinkhuis H. 2005. From greenhouse to icehouse; organic-walled dinoflagellate cysts as paleoenvironmental indicators in the Paleogene. *Earth-Science Reviews*, 68: 281-315.
- Steffen D. and Gorin G. 1993a. Palynofacies of the Upper Tithonian–Berriasian deep-sea carbonates in the Vototian Trough (SE France). *Bulletin Centres Recherches Exploration Production Elf Aquitaine*, 17: 235–247.
- Steffen D. and Gorin G. 1993b. Sedimentology of organic matter in Upper Tithonian– Berriasian deep-sea carbonates of southeast France: evidence of eustatic control. In: Katz B. and Prott L. (Eds.), *Source Rocks in a Sequence Stratigraphic Framework*. American Association of Petroleum Geologists, *Studies in Geology*, 37: 49–65
- Travers A. 2007. *Paleopalynology*. 2nd Edition, Springer, 813 pp.
- Tyson R.V. 1987. The genesis and palynofacies and stratigraphy of the West Tiba-1 borehole, northern Western Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. 30 (2). 401-416.
- Mahanipour A. and Kani A.L. 2015. Calcareous nannofossil biostratigraphy of Sarcheshmeh and Sanganeh formations in the west of Kopet-Dagh Basin, Sheikh Section. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Research*, 58(1): 57-66 (in Persian).
- Mendonça Filho J.G. Menezes T.R. Mendonça J.O. Oliveira A.D. Carvalho M.A. Sant'Anna A.J. and Souza J.T. 2010. Palinofácies. In: Carvalho I.S. (Ed.), *Paleontologia*. Interciência, Rio de Janeiro, 283–317.
- Mohamed O. Mansour A. Tahoun S.S. Elewa A.M.T. and Mekky M.A. 2018. Palynology of the Cenomanian Raha Formation, Gulf of Suez, Egypt: biostratigraphical, palaeoenvironmental and palaeobiogeographical implications. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 111: 135–154.
- Mansour A. Gentzis T. Carvajal-Ortiz H. Tahoun S.S. Elwa A.M.T. and Mohamed O. 2020. Source rock evaluation of the Cenomanian Raha Formation, Bakr oil field, Gulf of Suez, Egypt: Observations from palynofacies, RGB-based sporomorph microscopy, and organic geochemistry. *Marine and Petroleum Geology* 122, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104661
- Morgan R. 1980a. Palynostratigraphy of the Australian Early and Middle Cretaceous. *Memoirs of the Geological Survey of New South Wales*. *Palaeontology*, 18: 1-153.
- Morgan R. 1980b. The P. turneri dinoflagellate assemblage and the Aptian-Albian Boundary in Australia. *Proceedings of the Fourth International Palynological Conference*, Lucknow, (1976-77): 409-418.
- Nouri S. Ghaseminejad E. and Majidifard M.R. 2017. Palynostratigraphy and palynofacies studies of the Sanganeh Formation at the Dahaneh Gholaman Section, Central Koppeh-Dagh. *Geosciences*, 26 (104): 103-112 (In Persian).
- Oboh-Ikuenobe F.E. and Yepes O. 1997. Palynofacies analysis of sediments from the Cotê d'Ivoire–Ghana transform margin: preliminary correlation with some regional events in the Equatorial Atlantic. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 129, 291–314.
- Oboh-Ikuenobe F.E. and Villiers E. 2003. Dispersed organic matter in samples from the western continental shelf of Southern Africa: palynofacies assemblages and depositional environments of Late Cretaceous and younger sediments. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 201: 67-88.
- Oboh-Ikuenobe F.E. Obi C.G. and Jaramillo C.A. 2005. Lithofacies, palynofacies, and sequence

- Van der Zwan C.J. 1990. Palynostratigraphy and palynofacies reconstruction of the Upper Jurassic to lowermost Cretaceous of the Draugen Field, offshore mid Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 62: 157–186.
- Vink A. Zonneveld K.A.F. and Willems H. 2000. Organic-walled dinoflagellate cysts in western equatorial Atlantic surface sediments: distributions and their relation to environment. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 112(4): 247-286.
- Waveren I. and Visscher H. 1994. Analysis of the composition and selective preservation of organic matter in surficial deep-sea sediments from a high-productivity area (Banda Sea, Indonesia): Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 112(1-2): 85 – 111.
- White, H.H. 1842. On fossil Xanthidia. *Microsc. J. Lond.*, 2: 35-40.
- Wilpshaar M. and Leereveld H. 1994. Palaeoenvironmental change in the Early Cretaceous Vocontian Basin (SE France) reflected by dinoflagellate cysts. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 84 (1-2): 121-128.
- Zonneveld K.A.F. Versteegh G.J.M. and de Lenge G.J. 2001. Palaeoproductivity and postdepositional aerobic organic matter decay reflected by dinoflagellate cyst assemblages of the eastern Mediterranean S1 sapropel. *Marine Geology*, 172: 181–195.
- characteristics of marine petroleum source rocks. In: Brooks J. and Fleet A.J. (Eds.), *Marine petroleum source rocks*, Geological Society. Special Publication, 26:47-67.
- Tyson R.V. 1989. Late Jurassic palynofacies trend, piper and Kimmeridgian Clay Formation, UK onshore and Northern Sea, In: Batten D. J and Keen M. C (Eds.), *Northwest European Micropaleontology and Palynology*, 133-172.
- Tyson R. 1993. Palynofacies analysis. *Applied Micropaleontology*, 153-191.
- Tyson R. V. 1995. *Sedimentary Organic Matter: organic facies and palynofacies*. Chapman & Hall, London. 615 p.
- Tyson R.V. 1996. Sequence-stratigraphical interpretation of organic facies variations in marine siliciclastic systems; general principles and application to the onshore Kimmeridge Clay Formation, UK. In: Hesselbo S.P. Parkinson D.N. (Eds.), *Sequence Stratigraphy in British Geology*, Geological Society Special Publication, 103: 75–96.
- Van Bergen P. Janssen N. Alferink J. and Kerp J. 1990. Recognition of organic matter types in standard palynological slides. In: Fermont W.J.J. and Weegink J.W. (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Organic Petrology January 1990*. Mededelingen Rijks Geologische Dienst, 45: 9–21.

