

Original Research Paper

Comparison of sedimentology and changes in the sedimentary environment of the Shurijeh Formation in the central and eastern parts of the Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran

Zahra Esmeli Khoshmardan¹, Mohamad Hosein Mahmudy Gharaie^{1*}, Asadollah Mahboubi¹, and Seyyed Reza Moussavi Harami¹

¹ Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2025 May 14

Accepted: 2025 July 27

Available online: 2025 September 23

Keywords:

Sedimentary environment

Sequence stratigraphy

Shurijeh Formation

Kopet-Dagh

ABSTRACT

The Shurijeh Formation (Early Cretaceous) in the studied sections in northeastern Iran, with a thickness of 570.40 m in Bid-Sukhteh and 850 m in Radkan, consists of conglomerate, sandstone, shale (mudstone), limestone, and dolomite. A detailed facies analysis indicates the presence of 7 types of coarse-grained facies (Gmm, Gmg, Gci, Gcm, Gh, Gt, Gms), 6 sandstone facies (St, Sp, Sm, Sh, Sl, Sr), 2 fine-grained facies (Fm, Fl), 2 intertidal facies (bioclastic sandy dolomite, dolostone), and 17 diverse subtidal facies. Based on the studied facies, the sedimentary environment of these deposits is primarily continental, characterized by a meandering fluvial system with low sinuosity, and a marine carbonate ramp. Sequence stratigraphic studies have identified 3 sedimentary sequences of third-order in each of the studied sections. Fluctuations in the water table in continental sediments and sea-level changes in marine sediments have resulted in facies diversity in these sections.

1. Introduction

Lithofacies represent a combination of sediments deposited in specific sedimentary environments. The characteristics of lithofacies vary over time and space. Lateral variations in the same rock layers reflect differences in the sedimentary environment in different regions during a period, while changes in the vertical direction reflect changes in the sedimentary environment across different regions during a given period, while vertical variations indicate


environmental changes over time in the same location (Zhang et al., 2023). The Shurijeh Formation is considered a reservoir rock in northeastern Iran (Moussavi Harami and Brenner, 1993). Moreover, in terms of age and sedimentary conditions, it is equivalent to other formations such as the Sangestan and Noghreh Formations in the Alborz and Zagros sedimentary basins, respectively. Additionally, it is comparable to the Shatlik sandstones, which serve as the primary


* Corresponding author: Mohamad Hosein Mahmudy Gharaie; E-mail: mhmgharaie@um.ac.ir

Citation:

Esmeli Khoshmardan, Z., Mahmudy Gharaie, M. H., Mahboubi, A., and Moussavi Harami, S. R., 2025. Comparison of sedimentology and changes in the sedimentary environment of the Shurijeh Formation in the central and eastern parts of the Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 35(3), 137, 41-62. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.520806.2194>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi:10.22071/gsj.2025.520806.2194

 dor: 20.1001.1.10237429.1404.35.3.3.8



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

reservoir rock in the Turkmenistan gas fields (Aghanabati, 2004).

2. Research methodology

Folk's classification (Folk, 1980) was used to determine the sedimentary environment of detrital sequences. Dunham's and Embry and Klovan's classification (Dunham, 1962; Embry and Klovan, 1971) were used to identify carbonate microfacies and were matched with the standard microfacies introduced by Flugel and Wilson (Flugel, 2010; Wilson, 1975). The clasticity index (CI) was determined to interpret environmental energy. Finally, by integrating sedimentological studies, the sea level change curve in the study area was compared with the global sea-level curve.

3. Results and Discussion

The rock facies of the Shurijeh Formation in the Bid-Sukhteh and Radkan sections were studied based on geometric shape, sedimentary structures, and observed grain sizes (Figure 1). Based on these criteria, six sandstone facies (St, Sp, Sm, Sr, Sl, Sh), two fine-grained facies (Fm, Fl), seven coarse-grained facies (Gmm, Gmg, Gci, Gcm, Gh, Gt, Gms), and carbonate facies (dolomitic and calcareous) were identified. The descriptions of these facies are summarized in Tables 1 and 2 (you may refer to all figures shown in the Persian version of the article).

Based on the above detrital facies, 4 structural elements have been identified, including: channel-fill elements (CH), sand bedforms (SB), gravel bedforms and dams (GB), and sediment gravity flow (SG). (Please refer to all figures shown in the Persian version of the article).

Considering the position of each facies (Tables 1 and 2) and their changes in the vertical sequence, the Shurijeh Formation in the Bid-Sukhteh and the Radkan sections consists of 3 third-order sequences (Please refer to all figures shown in the Persian version of the article).

4. Conclusion

In the study areas, the Shurijeh Formation consists of detrital rock facies (conglomerate, sandstone, and mudstone) deposited in continental environment and carbonate facies (dolomitic and calcareous) deposited in a marine environment. The study of vertical and lateral facies changes as well as petrographic characteristics, suggests that the continental deposits of the Shurijeh Formation were formed in fluvial systems (low-sinuosity-meandering rivers), while the marine sediments were deposited in a carbonate ramp. Based on thin-section analysis and field data, a total of seven sequence boundaries (SB), three maximum flooding surfaces (MFS), and three main depositional sequences have been identified in the Shurijeh Formation. Factors such as global sea-level changes and tectonic activities have influenced facies distribution, thickness variations, and sequence boundaries.

Acknowledgements

This study is part of the achievements of the master's thesis of the first author (Z-E). The support of the Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad (52425) is gratefully acknowledged.

مقایسه رسوب‌شناسی و تغییرات محیط رسوبی سازند شوربجه در بخش‌های مرکزی و خاور حوضه کپه‌داغ، شمال خاور ایران

زهرا اسماعیلی خوشمردان^۱، محمد حسین محمودی قرائی^{۱*}، اسداله محبوبی^۱ و سید رضا موسوی حرمی^۱

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

محیط رسوبی

چینه‌نگاری سکansı

سازند شوربجه

کپه داغ

چکیده

سازند شوربجه در برش‌های رادکان و بیدسوخته در شمال خاور ایران به طور عمده از نهشته‌های کربناته و سیلیسی آواری تشکیل شده است؛ به گونه‌ای که به سمت باختر از رخساره‌های سیلیسی آواری کاسته شده و بر رخساره‌های کربناته افزوده می‌شود. مطالعه رخساره‌های آواری به معرفی ۷ رخساره دانه‌درشت (Gmm, Gms, Gci, Gcm, Gmg, Gt, Gh)، ۶ رخساره دانه‌متوسط (Sr, Sm, Sh, Sp, St, Sl)، ۲ رخساره دانه‌ریز (Fm, Fl) و سیلتستون انجامید. همچنین مطالعه رخساره‌های کربناته به وجود ۲ رخساره میان‌کشندی (بین جزرومدی) (دولومیت ماسه‌ای بایوکلستی، دولستون) و ۱۷ رخساره متنوع زیرکشندی دلالت دارد. با توجه به ویژگی‌های رخساره‌ای و شکل هندسی لایه‌ها، در محیط‌های رسوبی متنوعی از جمله: قاره‌ای (Flood plain, Point bar, Chanal)، کشندی، لاگون، سد و دریای‌باز تفکیک می‌شوند. سه سکانس رسوبی در نهشته‌های رسوبی سازند شوربجه براساس رخساره‌ها و سطوح اصلی چینه‌نگاری شناسایی شده است. تنوع رخساره‌ها در این سازند حاصل فاز خشکی‌زایی، تغییرات توپوگرافی و تغییرات جهانی سطح آب دریا در اواخر ژوراسیک پسین و کرتاسه پیشین است.

۱- پیش‌نوشتار

رخساره‌های سنگی ترکیبی از رسوب‌هایی هستند که در محیط‌های رسوبی خاصی نهشته شده‌اند. ویژگی رخساره‌های سنگی با زمان و مکان متفاوت بوده و تغییرات در لایه‌های سنگی یکسان در جهت افقی منعکس‌کننده تفاوت در محیط رسوبی در مناطق مختلف در طول یک دوره است، در حالی که تغییرات در جهت عمودی منعکس‌کننده تغییرات در محیط رسوبی در همان منطقه در دوره‌های مختلف است (Zhang et al., 2023). مطالعات نشان می‌دهند که با تغییر قدرت جریان رخساره‌های سنگی تشکیل شده متفاوت خواهند بود، چرا که بر همین اساس شرایط محیط رسوبی تغییر می‌کند (Li et al., 2022)، بنابراین، مطالعه ویژگی‌های مختلف رخساره‌ای متفاوت به صورت عمودی یا جانبی به تفسیر محیط رسوبی دیرینه کمک فراوانی خواهد کرد. در واقع چنین تغییراتی به توزیع ناهمگون سنگ‌های رسوبی مختلف در توالی‌های حوضه می‌انجامد. از سوی دیگر، انتخاب یک گروه یا نوع سنگ بر اساس مجموعه‌ای از ویژگی‌ها، برای تعریف یک واحد سنگ چینه‌شناسی مانند یک سازند،

ممکن است به درستی تاریخ رسوب‌گذاری حوضه را به تصویر نکشد، چنین مسائلی ممکن است به طور موثر با استفاده از چینه‌نگاری سکansı حل شود، که با تفسیر تغییرات محیط‌های رسوبی در طول زمان و تقسیم نهشته‌های رسوبی به واحدهای محدود در مقیاس‌های مختلف سر و کار دارد. سکانس‌ها از عوامل درون‌حوضه‌ای و برون‌حوضه‌ای پیروی می‌کنند که بر اثر تغییرات جهانی در سطح دریا، فرایندهای زمین‌ساختی و تغییرات در تامین رسوب حاصل شده‌اند (Catuneanu, 2019). در این مطالعه، تغییرات رخساره‌ای سازند شوربجه از خاور به مرکز در دو برش و نوع سطوح چینه‌نگاری سکansı به ویژه مرزهای سکansı رسوبات کرتاسه سازند شوربجه مورد بررسی قرار گرفته است.

سازند شوربجه یک سازند مخزنی در منطقه شمال خاور ایران به‌شمار می‌رود (Moussavi Harami and Brenner, 1993) و از آنجا که دارای پتانسیل مخزنی است، مطالعه آن می‌تواند به درک بهتر ما از کیفیت مخزنی و در رابطه با گسترش لایه‌های

* نویسنده مسئول: محمد حسین محمودی قرائی؛ E-mail: mhmgharaie@um.ac.ir

ماخذنگاری:

اسماعیلی خوشمردان، ز.، محمودی قرائی، م. ح.، محبوبی، ا. و موسوی حرمی، س. ر.، ۱۴۰۴، مقایسه رسوب‌شناسی و تغییرات محیط رسوبی سازند شوربجه در بخش‌های مرکزی و خاور حوضه کپه‌داغ، شمال خاور ایران. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۵(۳)، ۱۳۷-۴۱. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.520806.2194>

doi:10.22071/gsj.2025.520806.2194



doi: 20.1001.1.10237429.1404.35.3.3.8

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.



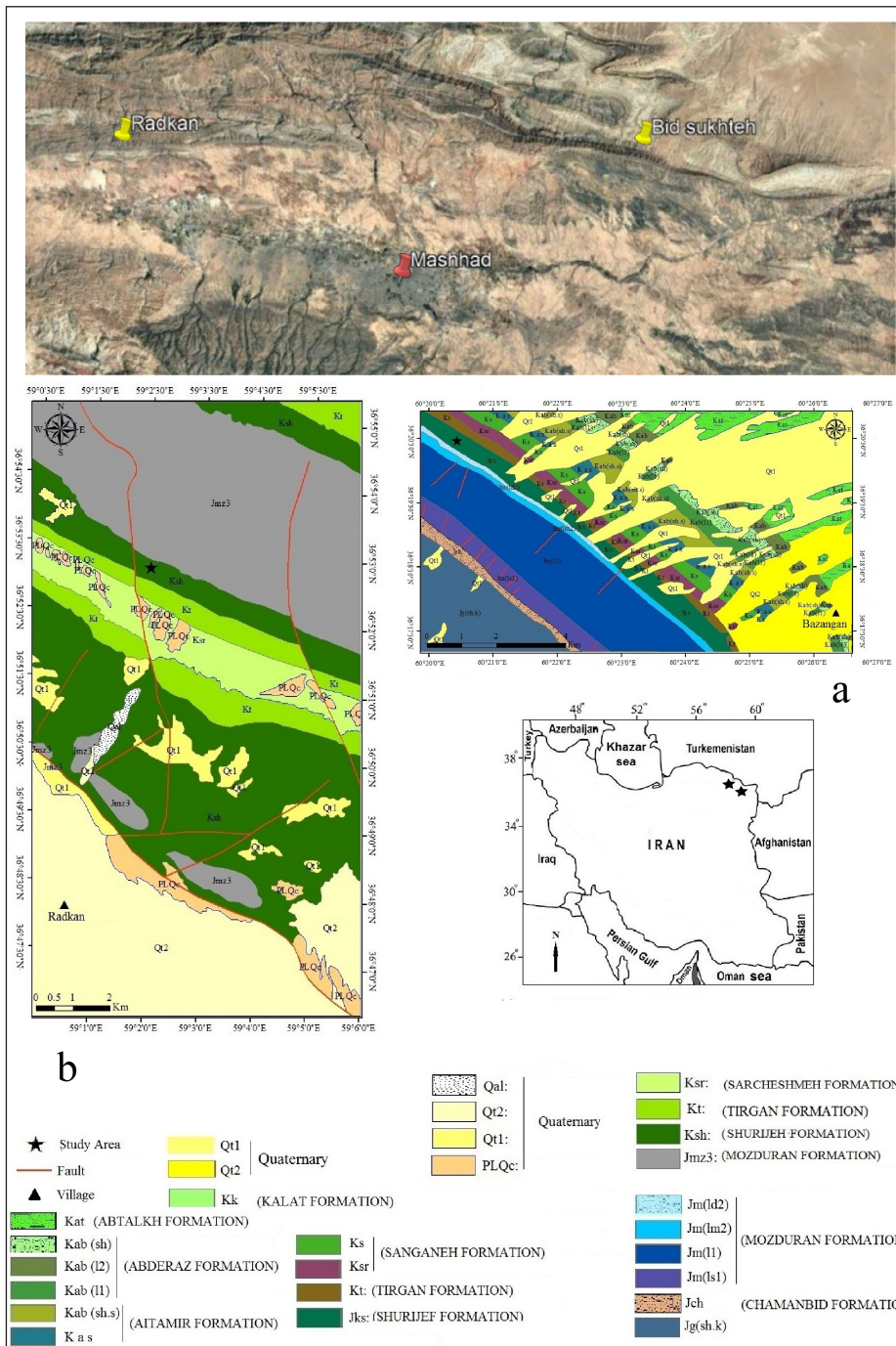
This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

پیشنهاد شده است (Moussavi Harami et al., 2009). برش الگوی این سازند در دره خور، در دماغه خاوری تاقدیس خور در ۵۰ کیلومتری شمال خاور شهر مشهد، کنار جاده مشهد به کلات نادری برداشت و معرفی شده است، سن این سازند در برش‌های خاوری به دلیل نبود سنگ‌های دریایی و براساس واحدهای سنگی زیرین و بالایی، نوکومین و در بخش‌های مرکزی و باختری به دلیل وجود نهشته‌های دریایی از براین تا برمین در نظر گرفته شده است (افشار حرب، ۱۳۷۳).

۲- روش پژوهش

در این مطالعه رسوبات سازند شورجه در بخش خاوری و مرکزی حوضه رسوبی در ۲ برش، بید سوخته در فاصله ۴۰ کیلومتری جاده سرخس به سمت شمال باختر دریاچه بزنگان (۳۶° ۳۳' N و ۶۰° ۳۳' ۶۹" E) به ستبرای ۵۷۰/۴۰ متر، و رادکان در فاصله ۹/۱۱ کیلومتری شمال خاور روستای رادکان به مختصات (۳۶° ۵۳' ۰۳" N و ۲۳° ۲۳' ۰۲" E) به ستبرای ۸۵۳ متر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (شکل ۱).

مناسب بیانجامد. از سوی دیگر، از نظر زمانی و شرایط رسوبی معادل رسوبات دیگر مانند سنگستان و سازند نقره به ترتیب در حوضه‌های رسوبی البرز و زاگرس است و همچنین معادل ماسه‌سنگ‌های شاتلیک (سنگ مخزن اصلی میدان‌های گازی ترکمنستان) در نظر گرفته می‌شود (آقاباتی، ۱۳۸۳). سازند شورجه در کپه‌داغ به‌طور عمده از ماسه سنگ، کنگلومرا، سنگ آهک، دولومیت، مارن و شیل تشکیل شده است که به سمت باختر حوضه بر ستبرای آهک و مارن افزوده می‌شود. این سازند به‌طور عمده از رسوبات سیلیسی آواری (شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا) و به میزان کم از لایه‌های کربناته و در برخی بخش‌ها از لایه‌های تبخیری تشکیل شده است. در مناطق مختلف تغییرات رخساره‌ای در این سازند به خوبی آشکار است. آنالیز رخساره‌ها و ساخت‌های رسوبی موجود در سازند شورجه، نشان‌دهنده نهشته شدن این توالی در سیستم‌های رودخانه‌ای بریده بریده با بستر گراولی است، اما به سوی باختر و نواحی مرکزی حوضه، محیط‌های رودخانه‌ای پیچان‌رودی (مئاندری)، دریاچه‌های شور، دلتایی، دشت ساحلی و همچنین محیط دریایی برای این سازند



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در (a) برش بید سوخته نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سرخس (افشار، ۱۹۸۲)؛ (b) برش رادکان نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ چناران (ترشیزیان، ۱۹۹۸). فاصله هوایی بین مناطق مورد مطالعه ۱۲۹/۷۰ کیلومتر.

Figure 1. The location of the study areas in a) Bid-Sukhteh section of the 1:250,000 Sarakhs map (Afshar, 1982); b) Radkan section of the 1:100,000 Chenaran map (Torshizian, 1998). The air distance between the study areas is 129.70 km.

بایوکستی کلسی اسفردار اییدی، گرینستون پلوییدی، پکستون کلسی اسفردی، رودستون بایوکستی، رودستون مرجان‌دار، رودستون اویستی، (۶) مجموعه رخساره دریای باز ژرف (وکستون بایوکستی کالیپونل‌دار، پکستون کلسی اسفردی سوزن اسفنج‌دار) (جدول ۲). رخساره Gcm به شکل بار بستر و در اثر جریان‌های رفت و برگشتی امواج ساحلی در بخش پایینی سدهای رسوبی تشکیل شده است، انرژی بالای رسوب‌گذاری سبب نهشته شدن ذرات گراولی و همچنین به دلیل تشکیل این رخساره در شرایط جریان آشفته حالت توده‌ای دارند (Mial, 2014; Zhang et al., 2023). رخساره Gci در اثر جریان‌های خرده‌دار و در قسمت‌هایی تشکیل می‌شود که انرژی کانال قدری افزایش یافته است (Daryono et al., 2024). رخساره Gmg در اثر جریان‌های با قدرت بالا به وجود آمده و بیانگر رسوبات پرکننده کانال، که رسوبات دانه‌درشت به شکل بار بستر و دانه‌های ریزتر به شکل

معلق می‌باشند (Finthan and Mamman., 2020).

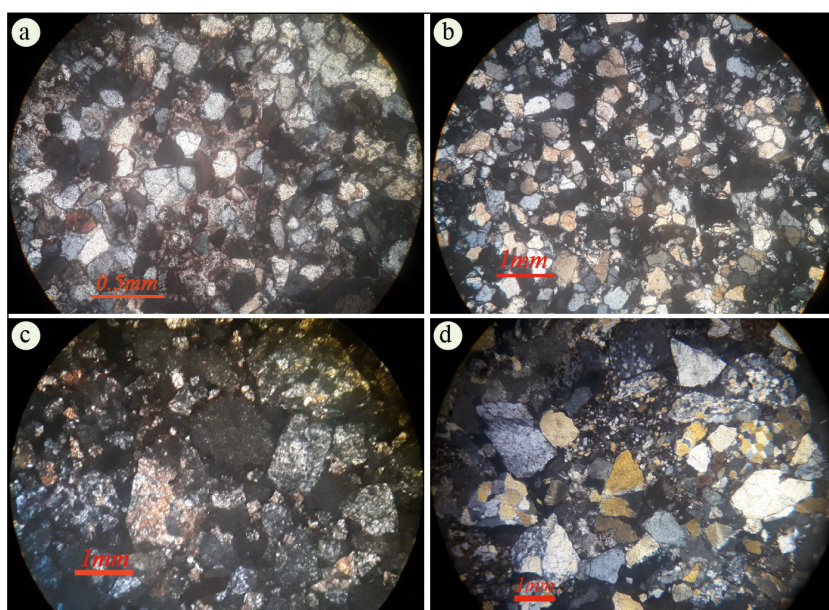
رخساره Gmm از یک جریان با انرژی بالای حمل و نقل و بار بستر دانه‌درشت و بار معلق ماسه و ریزتر منشا می‌گیرد؛ ماسه‌هایی که در بین گراول‌ها قرار گرفته‌اند در اثر کاهش سرعت جایگزین شده‌اند، بیشتر ذرات زاویه دارند که نشان‌دهنده حمل و نقل کوتاه نزدیک به منشا رسوبی و ته‌نشست بسیار سریع رسوبات می‌باشد (Eltijani et al., 2024). رخساره Gms نتیجه رسوب سریع در یک کانال رودخانه‌ای ناشی از جریان خرده‌دار از منابع مجاور است (Zaheer et al., 2022). رخساره Gt در اثر جریان‌های با انرژی بالا مثل رخساره Gp که طبقات مورب نتیجه پرشدگی در کانال‌های فرسایشی می‌باشد، به وجود می‌آید. طبقه‌بندی مسطح شیب‌دار با زاویه زیاد وابسته به مهاجرت سدهای بزرگ یا سطوح لغزشی با شیب زیاد است (Milaneschi et al., 2024). رخساره Gh بر اثر مهاجرت سدهای طولی و یا به شکل رسوبات باقی‌مانده در کف کانال تشکیل می‌شوند (Miall, 2013). کنگلومراهای این سازند از نوع پلی میکتیک (polymictic) با قطعات متنوع و پاراکنگلومرا (کنگلومرای ماتریکس پشتیبان) (Pettijohn, 1975) می‌باشد (شکل ۴). رخساره S در اثر حجم زیاد رسوبات معلق و سرعت بالای رسوب‌گذاری که مانع تشکیل ساختمان‌های رسوبی می‌شوند، به وجود می‌آید (Shah and Patel., 2024). رخساره Sr در ژرفای کم و رژیم‌های جریان‌ی پایین ایجاد شده است.

برای پی بردن به محیط رسوبی توالی‌های آواری در برداشت‌های صحرایی، ستبرای نهشته‌ها-سطوح لایه‌بندی-ساختارهای رسوبی-ارتباط لایه‌ها و تغییرات اندازه دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سنگ‌های سیلیسی آواری با استفاده از طبقه‌بندی فولک (Folk, 1980) نام‌گذاری شدند. همچنین با بررسی و مشاهدات سنگ‌نگاری بر روی بخش‌های کربناته که شامل اجزای اسکلتی و غیر اسکلتی می‌باشد، ریز رخساره‌های سازند شوربچه در بخش‌های کربناته معرفی گردید. این ریزرخساره‌ها بر اساس طبقه‌بندی دانهام (Dunham, 1962) و امبری کلون (Embry and Klovan., 1971) نام‌گذاری شده‌اند و با ریزرخساره‌های استاندارد معرفی شده به وسیله فلوجل (Flugel, 2010) و ویلسون (Wilson, 1975) مطابقت داده شده است. شاخص کلاستیسیت (CI) تعیین شد. به منظور رسم CI، قطرهای ایید، اینترکلت، اکینویید و کوارتز اندازه‌گیری شد. CI برای تفسیر انرژی محیطی استفاده شد. در نهایت، با ادغام مطالعات رسوب‌شناسی، مطالعات صحرایی، داده‌های پتروفاسیسی، سطوح چینه‌نگاری سکاسی در نهشته‌های مورد مطالعه شناسایی شده و در نهایت منحنی تغییرات سطح آب دریا در منطقه مورد مطالعه با منحنی سطح دریا در مقیاس جهانی مقایسه شد (Haq et al., 1987).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- رخساره‌های رسوبی

بر اساس شواهد صحرایی و آزمایشگاهی ۶ مجموعه رخساره‌ای در توالی آواری-کربناته سازند شوربچه شناسایی شده است که عبارت‌اند از: (۱) مجموعه رخساره‌های قاره‌ای (Gmm, Gms, Gci, Gcm, Gmg, Gt, Gh, Sr, Sm, Sh)، (جدول ۱) (شکل‌های ۲ و ۳)، (۲) مجموعه رخساره‌های میان‌کشدی (Sp, St, Sl, Fm, Fl) (جدول ۱) (شکل‌های ۳)، (۳) مجموعه رخساره‌های زیرکشدی (مادستون، وکستون بیوکستی، گرینستون-پکستون بایوکستی اینترکلت‌دار، رودستون بایوکستی ماسه‌ای)، (۴) مجموعه رخساره‌های سد (گرینستون اینترکلت- اییدی بایوکستی، گرینستون اییدی، گرینستون ایید- پلوییدی ماسه‌ای، گرینستون-پکستون بایوکستی اییدی)، (۵) مجموعه رخساره‌های دریای باز (گرینستون-پکستون بایوکستی، گرینستون-پکستون



شکل ۲- پتروفاسیسی سازند شوربچه در برش بید سوخته (a) ساب لیت آرنایت، (b) کوارتز آرنایت، (c) ساب آرکوز، (d) پتروفاسیسی کنگلومرای.

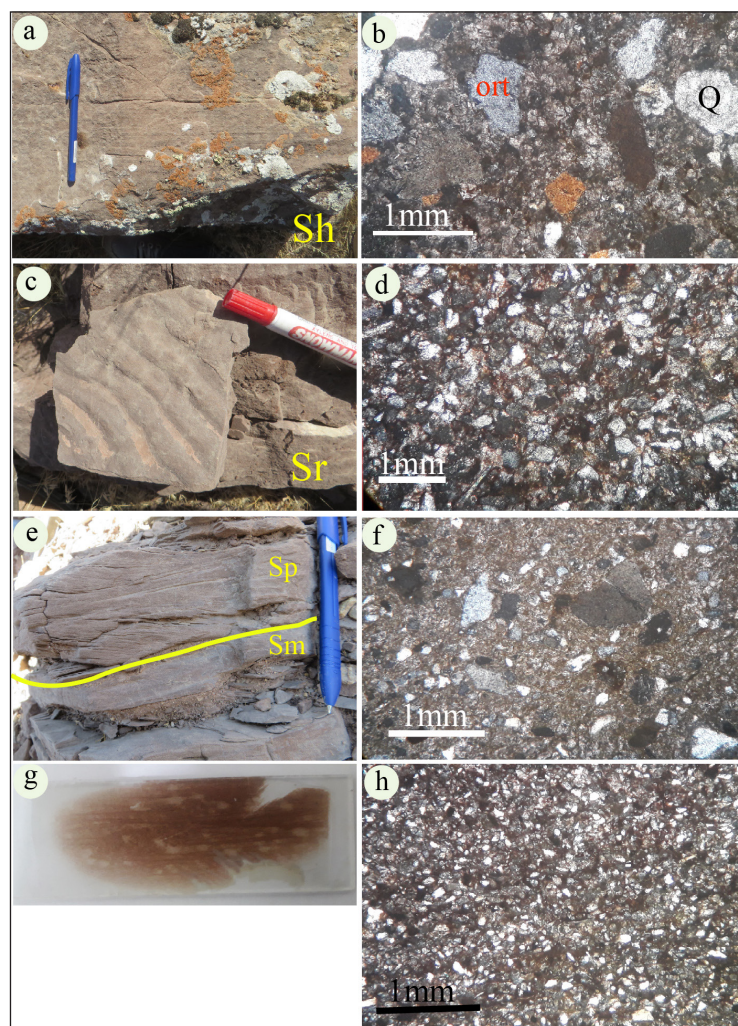
Figure 2. Petrofacies of the Shurijeh Formation in the Bid-Sukhteh section a) sub-lithic arenite, b) quartz arenite, c) subarkose, d) conglomerate petrofacies.

Table 1. Facies identified in siliceous-clastic sediments of the Shurijeh Formation.

Facies Code	Facies	Sedimentary Structure	Description	Interpretation	Sedimentary Environment
Gci	Conglomerate with abundant reverse graded bedding	Mass stratification	Weakly sorted and rounded, no stratification, lower erosional boundary	They are formed by debris flows and in high-energy parts of the channel.	Channel filling sediment assemblage
Gcm	Conglomerate with massive layering with abundant fragments	Mass stratification	Weakly sorted and rounded, lower erosional boundary, this sample in microscopic section has 58% quartz, 2% plagioclase, gravel (11% sandstone, 19% limestone), cement (2% iron oxide, 8% carbonate)	They are formed by fine-grained sediment flows and turbulent flow conditions in the channel or lower parts of sedimentary dams.	
Gmg	Matrix-rich conglomerate with gradual stratification	Lenticular stratification	Weak rounding, erosional lower boundary	They are formed by high-power currents and are considered as residual channel sediments along with the Gmm facies.	
Gmm	Weakly layered (massive) conglomerate supporting matrix	No stratification	Sand matrix, normal gradual layering, rounded and semi-rounded fragments, poorly sorted, pebble-sized grains	They are formed by high-power currents and are considered as residual channel sediments along with the Gmg facies	
Gms	Clay-matrix conglomerate without stratification	No stratification	Generally, there is no normal gradual layering and sometimes there is reverse layering and dispersion of coarse particles in granule size, wide lens geometry	Due to rapid sedimentation in a river channel caused by fine-grained flows	
Gt	Conglomerate with oblique lenticular stratification	Diagonal trough stratification	Sand matrix	It is formed by the migration of three-dimensional gravel dunes and in the form of sediments filling gravel channels.	
Gh	Conglomerate with abundant fragments with horizontal layering	Horizontal layering	Large and coarse fragments, horizontal bedding and rounded and semi-rounded fragments, medium to weak sorting, gradual and upward fine-grained classification, sand-like matrix, flat geometric shape, erosional upper and lower boundaries	As a result, vertical accretion is formed in longitudinal dams and in the form of channel bottom sediments.	
Sm	Massive sandstone	Mass classification	No sedimentary structure, grain size variation from fine to coarse sand, poor sorting and textural maturity sub mature to immature, quartz 95%, orthoclase 2%, mica 1%, sandstone fragments 1%, zircon 1%	It is formed due to the large volume of suspended sediments and high sedimentation rates.	
Sr	Rippled sandstone	Ripple marks of flow with straight to sinusoidal ridges	The grain size is very fine sand and coarse silt, with a ripple sedimentary structure, with poor sorting and rounding, this sample in microscopic section has 80% quartz, 2% mica, 9% orthoclase, 3% plagioclase, gravel (2% sandstone, 2% silt, 1% shales), 1% glauconite,	At shallow depths and due to low flow regimes	
Sh	Sandstone with parallel layers	Horizontally stratified strata	Poorly sorted and rounded, medium to coarse grain size, this sample in microscopic section has 80% silt-sized quartz, gravel (3% calcareous, 4% sandstone, 7% chert), 3% plagioclase, 2% orthoclase, 1% zircon in the petrographic sections of the Radkan section, the name of the rock changes from sub-lithic arenite to lithic arkose	At high and low flow speeds and in the form of flat layers	
Sp	Sandstone with flat diagonal layers	Flat-angled diagonal beds	It has a flat-to-low-angle oblique classification, no sorting or rounding, medium to coarse grain size, this sample in microscopic section has 80% quartz, gravel (7% calcareous, 9% sandstone), 1% plagioclase, 3% orthoclase. In the petrographic sections of the Radkan section, the name of the rock changes from sub-arkose to feldspathic litharenite.	Migration of two-dimensional downwells with a straight apex in low flow regime conditions	
St	Sandstone with oblique lenticular layers	Lenticular or trough-shaped diagonal beds	Medium to coarse grain size, poorly sorted and submature to immature textural maturity. This sample in microscopic section contains 95% quartz, 3% orthoclase, 1% mica, 1% sandstone fragments	Migration of two-dimensional downwells with complex crest line under low flow regime conditions	
Sl	Sandstone with oblique lenticular layers	Angled diagonal strata	The grain size is fine to medium, with poor sorting and roundness. This sample in microscopic section contains 80% quartz, 2% mica, 8% orthoclase, 3% plagioclase, and small stones (3% sandstone, 2% silt, 1% shale).	As flat surfaces in high flow regime conditions	

Continued from Table 1. Facies identified in siliceous-clastic sediments of the Shurijeh Formation.

Facies Code	Facies	Sedimentary Structure	Description	Interpretation	Sedimentary Environment
Fm	Fine-grained massif mud facies	Mass classification and no stratification	Fine-grained particle size mainly clays	Sedimentation of suspended load in the form of mud coatings on dams	Floodplain complex
Fl	Fine-grained mud laminar facies	Parallel and flat layering	Shale and silt size	Sedimentation of suspended load in parts far from the origin of the floodplain	



شکل ۳- لیتوفاسیس و پتروفاسیس ماسه‌سنگی سازند شورجه در برش رادکان (a) لیتوفاسیس Sh، (b) پتروفاسیس لیتیک آرکوز، (c) لیتوفاسیس Sr، (d) پتروفاسیس ساب آرکوز، (e) لیتوفاسیس Sm-Sp، (f) پتروفاسیس فلدسپاتیک لیت آرنایت، (g) لامیناسیون مورب مسطح در مقطع نازک، (h) پتروفاسیس کوآرتز آرنایت.

Figure 3. Lithofacies and petrofacies of the Shurijeh Formation sandstone in the Radkan section a) lithofacies Sh, b) lithic arkose petrofacies, c) lithofacies Sr, d) subarkose petrofacies, e) lithofacies Sp-Sm, f) feldspathic lithic arenite petrofacies, g) cross bedded lamination in thin section, h) quartz arenite petrofacies.

جدول ۲- رخصاره‌های شناسایی شده در رسوبات کربناته سازند شورجه.

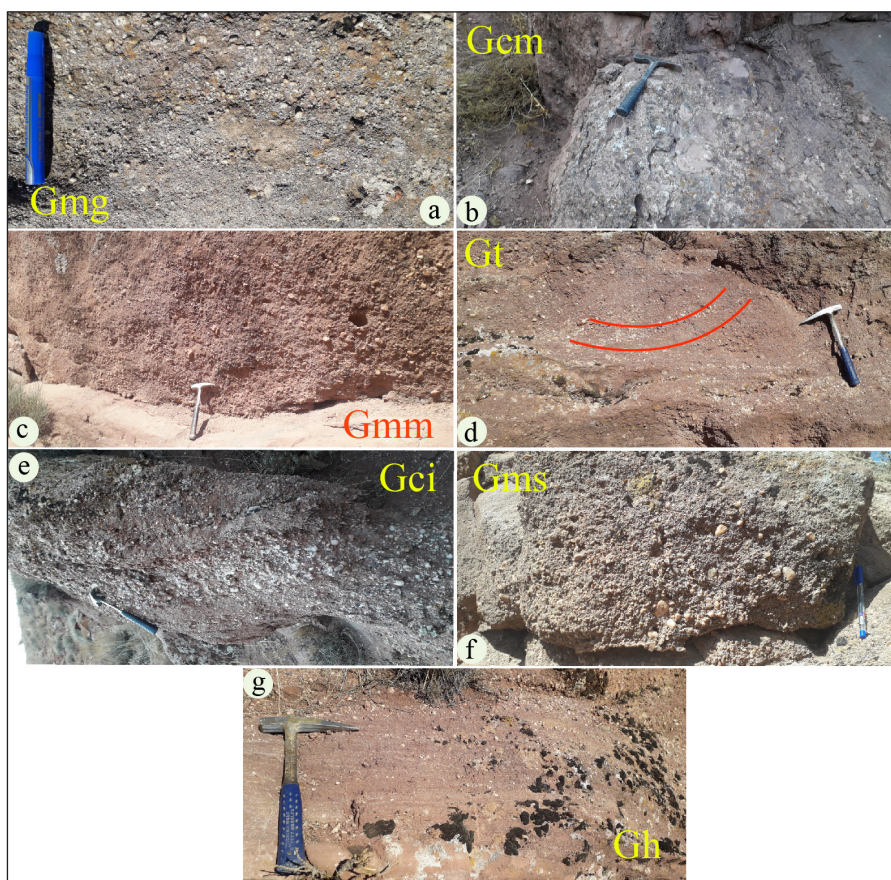
Table 2. Facies identified in carbonate sediments of the Shurijeh Formation.

Facies complex	Facies code	Facies	Description	Sedimentary environment
Carbonate deposits Ramp	Facies A1	bioclastic sandy Dolomite	Quartz grains less than 0.07mm (30%), bioclastic 2% in dolomitic background, standard microfacies 18 SMF18 -(Wilson,1975) and RMF20 (Flugel,1972)	Intertidal
	Facies A2	Dolostone	Dolomite crystals 0.5mm (95%)	Intertidal
	Facies B1	Mudstone	Minor amount of bioclastic debris (less than 2%), micritic background Standard microfacies 23 SMF 23-(Wilson, 1975) and RMF19 (Flugel, 1972)	Lagoon
	Facies B2	Bioclastic wackstone	Micrite or sparite background, with bioclastic fragments (less than 5%), standard microfacies SMF 9-(Wilson, 1975) and RMF17 (Flugel, 1972)	Lagoon
	Facies B3	Grainstone- Bioclastic Intraclastic Packstone	Micrite and sparite background, with bioclastic fragments (bryozoan, miliolid, coral, intraclasts, echinoderm, bivalves, annelid, brachiopod, brachiopod spine, ostracod, gastropod, green algae less than 20%, and minor components of radial ooid, oncoid, aggregate less than 5%, traces of boring organisms in intraclasts of standard microfacies 18 SMF 18-(Wilson, 1975) and RMF14 (Flugel, 1972)	Lagoon
	Facies B4	Bioclastic sandy rudstone	Micrite and sparite background, skeletal fragments (brachiopods, bivalves, annelids, gastropods, echinoderms, green algae and bioclasts less than 45%, minor components (aggregates, intraclasts and quartz less than 20%), the micritization process has caused the formation of coated grains (cortex). Standard microfacies 24 SMF 24-(Wilson, 1975) and RMF20 (Flugel, 1972)	Lagoon
	Facies C1	Grainstone intraclast-oidal Bioclast	The main components include intraclasts and ooid 40%, minor components include echinoderms, calcispheres, bivalves, aggregates, oncoids, benthic foraminifera, grainstones, brachiopods 3%, with detrital particles (quartz, sandstone fragments, orthoclase) 5%. Standard microfacies 11SMF 11-(Wilson, 1975) and RMF27 (Flugel, 1972)	Shoal
	Facies C2	Ooidal Grainstone	Ooid with an abundance of 45% and minor components with an abundance of 3% including echinoderm-bivalve-oncoid-peloid, intraclast-brachiopod, calcite background, diagenetic processes (chemical compaction, micritization) standard microfacies 15SMF18- (Wilson, 1975) and RMF29 (Flugel, 1972)	Shoal
	Facies C3	Ooidal Grainstone, peloid sandy	Major components: Ooid, Peloid. Minor components include bivalves, benthic foraminifera, brachiopods, green algae, echinoderms, intercalates, 5% grainstone, borings filled with calcite spar. Standard microfacies: 14SMF14- (Wilson, 1975) and RMF29 (Flugel, 1972)	Shoal
	Facies C4	Grainstone- Bioclastic ooidal Packston	The main components include radial ooid, oncoid, bivalves (80%), minor components with an abundance of 20% include green algae, brachiopods, grainstone, intraclasts, benthic foraminifera, peloids, miliolids, gastropods and detrital grains (sandstone rock fragment, orthoclase, microcline, quartz) deposited with a calcite background. Standard microfacies SMF18-18 (Wilson, 1975) and RMF26 (Flugel, 1972)	Shoal
	Facies D1	Grainstone –Bioclastic Packston	Recrystallization, main components with an abundance of 40% (brachiopods, echinoderms, bryozoans, bivalves, calcispheres, green algae, Serpulidae, corals, gastropods, intraclasts, benthic foraminifers, ooids). Clastic grains as minor components in the rock field with an abundance of 5% (quartz, sandstone fragments, mica, heavy minerals, orthoclase). Biological disturbance and boring marks filled by calcite in the rock field. Standard microfacies 12 SMF12-(Wilson, 1975) and RMF26 (Flugel, 1972)	open marine
	Facies D2	Grainstone- Bioclastic ooidal Calcispheric Packston	Background in the form of (recrystallization). Main components (brachiopods, echinoderms, bryozoans, bivalves, green algae, calcispheres, Serpulidae worms, corals, ooids, gastropods, crinoids, ostracods, benthic foraminifers 50%). Minor components (quartz, sandstone fragments, mica, heavy minerals (zircon), microcline, orthoclase 5%). Biological disturbance, excavation traces are visible in the rock background. Microbial coatings are deposited around some grains and the grains are seen in the form of cortex grains. Standard microfacies 12 SMF12-(Wilson, 1975) and RMF14 (Flugel, 1972)	open marine
	Facies D3	peloidic Grainstone	Background in the form of (recrystallization). Peloid with an abundance of 60%, minor components including bioclasts, echinoderms, ooids, quartz 5%, standard microfacies SMF2- (Wilson, 1975) and RMF14 (Flugel, 1972)	open marine
	Facies D4	Calcispheric Packstone	Recrystallization background. Minor components include quartz, intraclasts, bivalves, echinoderms, bioclastic, brachiopods 10%. There are boring marks in the rock background. Standard microfacies 2 SMF2 - (Wilson, 1975) and RMF7 (Flugel, 1972)	open marine

ادامه جدول ۲- رخساره‌های شناسایی شده در رسوبات کربناته سازند شوربچه.

Continued from Table 2. Facies identified in carbonate sediments of the Shurijeh Formation.

Facies complex	Facies code	Facies	Description	Sedimentary environment
Carbonate deposits Ramp	Facies D5	Bioclastic Rudstone	Background in the form of (recrystallization). Main components include gastropods, brachiopods, bivalves, benthic foraminifera, green algae, echinoderms, echinoderms spine, ooids, gastropods, gripstones, intraclasts, corals, bryozoans, Serpulidae worms, calcispheres 60%. Standard microfacies 24 SMF12- (Wilson, 1975) and RMF3 (Flügel, 1972)	open marine
	Facies D6	Coral rudstone	Micrite rock background, coral with an abundance of 70%, the remaining minor components include brachiopods- echinoderms- bioclasts- Serpulidae worms- green algae 30%. Boring traces are visible in the background. Standard microfacies 6 SMF6 - (Wilson, 1975) and RMF3 (Flügel 1972)	open marine
	Facies D7	Oyster Rudstone	Background in the form of (recrystallization). The main components are oyster bivalves 70%, brachiopods 5%, a calcic vein in the background. Standard microfacies 6 SMF2 - (Wilson, 1975) and RMF14 (Flügel, 1972)	open marine
	Facies D8	Bioclastic Wackstone with Calpionella	Ostracod and bioclast microfossils 30%, calpionella 5%, rock porosity is of the Vugular -contraction and mold type. Standard microfacies 9 SMF9 - (Wilson, 1975) and RMF14 (Flügel, 1972)	Deep open marine
	Facies D9	Calcspheric Packstone Sponge spicules	Micrite matrix, 50% calcisphere, 30% sponge needle and 10% bioclast. Standard microfacies 1 SMF1 - (Wilson, 1975) and RMF1 (Flügel, 1972)	Deep open marine



شکل ۴- رخساره‌های دانه‌درشت (کنگلومرایی) برش بید سوخته: (a) لیتوفاسیس Gmg، (b) لیتوفاسیس Gcm، (c) لیتوفاسیس Gmm، (d) لیتوفاسیس Gt، (e) لیتوفاسیس Gci، (f) لیتوفاسیس Gms، (g) لیتوفاسیس Gh.

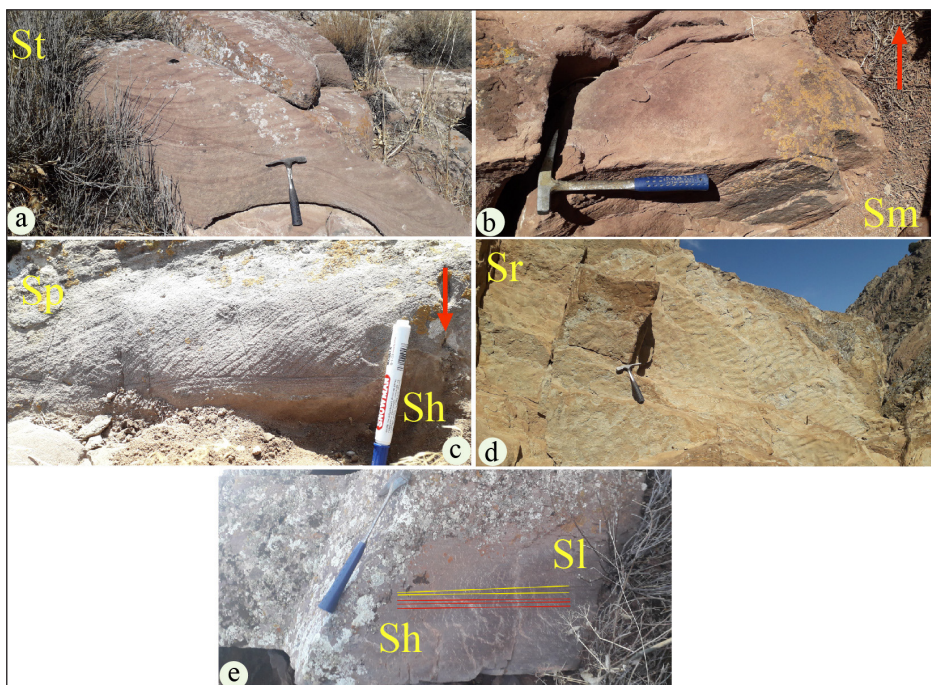
Figure 4. Coarse-grained (conglomerate) facies of the Bid-Sukhteh section: a) Gmg lithofacies, b) Gcm lithofacies, c) Gmm lithofacies, d) Gt lithofacies, e) Gci lithofacies, f) Gms lithofacies, g) Gh lithofacies.

شامل عناصر پرکننده کانال (CH)، شکل‌های لایه‌ای ماسه‌ای (SB)، شکل‌های لایه‌ای و سدهای گراولی (GB)، جریان گراولته رسوب (SG). این عناصر بر اساس بافت و ساختمان‌های رسوبی، گسترش رخساره به صورت جانبی و عمودی و آنالیز جهت جریان دیرینه در رسوبات رودخانه‌ای سازند شوربچه شناسایی شدند (جدول ۳). هیچ یک از رخنمون‌ها مجموعه کاملی از همه رخساره‌ها را نشان نمی‌دهند که احتمالاً به دلیل پتانسیل پایین حفظ یا به دلیل تغییر موضعی وضعیت انرژی، رسوب و عرضه در همان حوضه است (Wakefield et al., 2015).

– **عناصر ساختاری CH (عناصر پرکننده کانال):** این عنصر قاعده فرسایشی به شکل مقعر مانند هستند. به صورت پر مانند و چند طبقه‌ای که هر طبقه توسط سطح فرسایشی (سطوح مرتبه پنجم) محدود می‌شود. عرض کانال زیاد است و شیب حاشیه کانال آن ملایم‌تر است. رخساره‌های Sm, Sh, St, Sp در این عنصر ساختاری قرار دارند. این عنصر در سیستم‌های کشتندی (جزرومدی) متداول است. در این عنصر ساختاری رخساره‌ها توالی به سمت بالا ریزشونده دارند. کانال‌های کشتندی دارای طیف گسترده‌ای از شکل‌های بستر با اندازه‌های مختلف هستند که با جریان‌های دوطرفه در محیط‌های کم‌انرژی دریایی تا سدهای ماسه‌ای شکل می‌گیرند (Miall, 2014; Salehi et al., 2023).

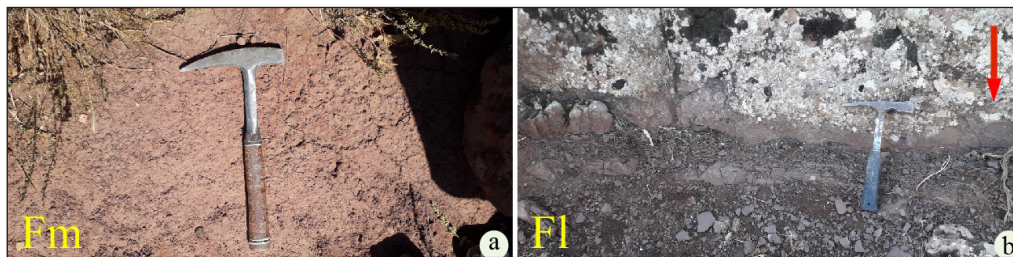
– **عناصر ساختاری SB (شکل‌های لایه‌ای ماسه‌ای):** به شکل تپه‌های پشته‌ای و کوژ پشت به صورت عدسی و ورقه‌ای و پتوماند هستند، که سیکل ریزشونده به سمت بالا را دارند. رخساره‌های St, Sp, Sh, Sm در این عنصر ساختاری قرار دارند. این عنصر در مناطق کشتندی به دلیل نرخ رسوب بالای دانه‌هایی به اندازه ماسه، تشکیل می‌شوند (Korus et al., 2018).

اما حضور موج‌نقش‌ها (ریپل‌ها) با طرح‌های مختلف بیانگر رژیم‌های جریان متفاوت در تشکیل آن‌هاست (Tucker, 2001). رخساره Sh می‌تواند در سرعت‌های بالا و همچنین در سرعت‌های پایین جریان در بخش‌های مختلف حوضه بسته به این که اندازه ذرات درشت یا ریز باشند، تشکیل شده و به طور جانبی به دیگر رخساره‌ها تبدیل می‌گردد، از سوی دیگر، این رخساره در داخل کانال‌ها نشان‌دهنده عقب‌نشینی نهایی سیلابی شدن فصلی است (Yeste et al., 2020). رخساره Sp را معمولاً به مهاجرت به طرف پایین دست تلماسه‌های (Dune) دو بعدی با خط‌الراس موجی در رژیم‌های پایین جریان نسبت می‌دهند (Tucker, 2014). رخساره St با وجود سطح زیرین فرسایشی، انباشتگی جانبی، شکل هندسی کانال و عدسی شکل بیانگر رسوب‌گذاری در یک کانال و یا در تپه‌های کانالی زیر آبی تحت جریان پایین در رودخانه‌های موقتی در یک شرایط نیمه خشک می‌باشد (مهدیه نجف‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۳). رخساره SI بیشتر همراه با رخساره Sh بوده و در رژیم‌های بالا و پایین جریان آب به وجود می‌آید (Benavente et al., 2023). رخساره FI نشان‌دهنده شرایط کم‌انرژی در محیط‌های حاشیه‌ای رودخانه‌ای یا دشت سیلابی با شیب کم در طی مراحل سیلابی با انرژی متغیر است، این رخساره حاصل رسوب‌گذاری ذرات معلق و توسط جریان‌های ضعیف کشتندی ایجاد می‌شود (Smith and Platt., 2023). رخساره Fm ساختار رسوبی این رسوبات در کانال‌های قدیمی و از جریان‌های کم‌انرژی ته‌نشین شده‌اند، این رخساره در برخی نواحی با ستریای کم دیده می‌شود که نشان می‌دهد این رسوبات مربوط به رسوب‌گذاری بار معلق در دشت سیلابی و یا مربوط به پوشش‌های گلی بین سدهای ماسه‌ای و گراولی داخل رودخانه می‌باشند (Zamani et al., 2023) (شکل‌های ۵ و ۶). در رخساره‌های آواری یاد شده، همچنین ۴ عنصر ساختاری شناسایی شده‌اند که عبارتند از: عناصر ساختاری



شکل ۵- رخساره‌های دانه‌متوسط (ماسه سنگی) برش بید سوخته: (a) لیتوفاسیس St، (b) لیتوفاسیس Sm، (c) لیتوفاسیس Sh، Sp، (d) لیتوفاسیس Sr، (e) لیتوفاسیس Sl، Sh (فلش قرمز جهت لایه را نمایش می‌دهد).

Figure 5. Medium-grained (sandstone) facies of the Bid-Sukhteh section: a) lithofacies St, b) lithofacies Sm, c) lithofacies Sh, Sp, d) lithofacies Sr, e) lithofacies Sl, Sh (red arrow shows the direction of the layer).



شکل ۶- رخساره‌های دانه‌ریز (گلی) برش بید سوخته: (a) لیتوفاسیس Fm، (b) لیتوفاسیس Fl (فلش قرمز جهت لایه را نمایش می‌دهد).

Figure 6. Fine-grained (mud) facies of the Bid-Sukhteh section: a) Fm lithofacies, b) Fl lithofacies (red arrow shows the direction of the layer).

جدول ۳- عناصر ساختاری برش‌های مورد مطالعه.

Table 3. Structural elements of the studied sections.

Structural elements	rock facies	Geometric shape	Interpretation
CH	Sm, Sh, St, Sp	Concave-shaped erosional base	They have a wide range of bed shapes with bidirectional currents forming in sand dams.
SB	St, Sp, Sh, Sm	In the form of ridged and humpbacked hills	In tidal areas, sand-sized grains form due to high sedimentation rates.
GB	Sh, Sm, Gci, Gp, Gh, Gt, Gmm	Lens-like and blanket-like with flat erosion	They form under high energy conditions.
SG	Gci, Gmg, Gmm, Gcm	They are in the form of narrow, elongated gravity flow deposits, or as multi-layered sheets.	They form due to high deposition rates and high energy conditions.

بایوکستی اییدی (C4). مجموعه رخساره‌های دریای باز شامل: گریستون-پکستون بایوکستی (D1)، گریستون-پکستون بایوکستی کلسی اسفر اییدی (D2)، گریستون پلیویدی (D3)، پکستون کلسی اسفری (D4)، رودستون بایوکستی (D5)، رودستون مرجان‌دار (D6)، رودستون اویستری (D7)، و کستون بایوکستی کالیپونل‌دار (D8)، پکستون کلسی اسفر سوزن اسفنج‌دار (D9).

با توجه به موقعیت قرارگیری رخساره‌های A1 و A2 در توالی رسوبی بر روی رخساره‌های بالایی، و از سوی دیگر، نبود آلوکم‌ها، وجود دولومیت اولیه، وجود قالب‌های بایوکستی که با سیمان اسپاری و کلسی پر شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که رخساره‌های A1 و A2 در پهنه‌های میان‌کشدی (intertidal) و مناطقی فراکشدی (Supratidal) نهشته شده‌اند (Chiarella et al., 2024). وجود ذرات آواری نشان‌دهنده تاثیر آب‌های شیرین در محیط‌های ساحلی است (Bachmann and Hirsch., 2006) (شکل ۸). از سوی دیگر، فابریک گل‌پشتیان همراه با مقدار اندکی از خرده‌های بایوکستی و همراهی با رخساره‌های سدی در رخساره‌های B1 تا B4 نشان از کم‌تر شدن و محدود شدن محیط با شرایط دارای انرژی پایین در محیط لاگونی است (Khan et al., 2022). فراوانی خرده‌های دو کفه‌ای همراه با بافت و کستونی گویای رسوب‌گذاری این رخساره در محیط لاگونی (زیرکشدی کم‌ژرفا) می‌باشد، وجود خرده‌های اسکلتی مربوط به شرایط دریای باز مانند بازوپایان (براکیوپود) و بریزوئر نشان‌دهنده محیط‌های زیرکشدی ژرف‌تر در محیط‌های لاگونی باز است، وجود روزن‌بران کف‌زی از جمله میلیوید و جلبک سبز نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در بالاترین بخش منطقه نوری است، همچنین وجود ذرات آواری نشانه اتصال سکوی (پلتفرم) کرناته به خشکی است (Khan et al., 2024; Flugel, 2010) (شکل ۹).

– عنصر ساختاری GB (شکل‌های لایه‌ای و سدهای گراولی): از چندین طبقه با فرسایش مسطح و نامنظم تشکیل شده است، به شکل عدسی مانند و پتو مانند هستند. معمولاً با بدنه‌های مسطح و یا معمولاً همراه با عنصر SB همراه‌اند. درشت‌ترین رسوبات، بالای رسوبات ریزتر تشکیل می‌شوند و دارای قطعات (کلت‌های) ستبر و پراکنده در سطح لایه می‌باشند. این عنصر در شرایط انرژی بالا تشکیل می‌شود. رخساره‌های Sh, Sm, Gci, Gp, Gh, Gt, Gmm در این عنصر ساختاری قرار دارند (Tucker et al., 2024).

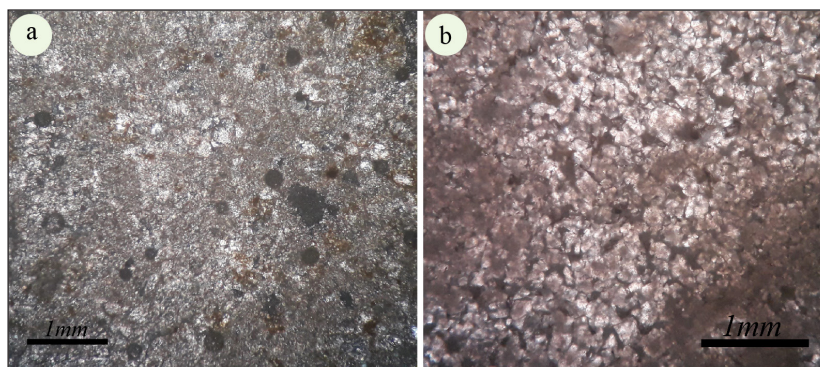
– عنصر ساختاری SG (جریان گرانثی رسوب): به صورت جریان گرانث رسوب باریک و کشیده و یا به شکل ورقه‌های چند طبقه‌ای هستند و به طور معمول با عنصر GB و SB نزدیک به هم قرار می‌گیرند. رخساره‌های Gci, Gmg, Gmm, Gcm در این عنصر ساختاری قرار دارند (Miall, 2013) (شکل ۷).

همزمان با بالا آمدن سطح آب دریاها و افزایش تولید کرنات، در قسمت مرکزی و باختری سازند شورپیچہ نسبت به قسمت خاوری، سنگ‌های آهکی متوسط تا سترلایه ته‌نشست یافته‌اند. نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته بر روی رخساره‌های کرناته سازند شورپیچہ مشخص کرد که رسوبات کرناته این سازند از ۱۹ رخساره رسوبی تشکیل شده‌اند که در ۵ مجموعه رخساره‌ای پراکنده هستند. این مجموعه‌های رخساره‌ای از خشکی به سمت دریا عبارتند از: (۱) مجموعه رخساره‌های پهنه‌کشدی شامل دولومیت ماسه‌ای بایوکستی (A1)، دولستون (A2). (۲) مجموعه رخساره‌های زیرکشدی شامل: مادستون (B1)، و کستون بایوکستی (B2)، گریستون - پکستون بایوکستی اینترکلت‌دار (B3)، رودستون بایوکستی ماسه‌ای (B4)، (۳) مجموعه رخساره‌های سدی شامل گریستون اینترکلت-اییدی بایوکستی (C1)، گریستون اییدی (C2)، گریستون ایید-پلیویدی ماسه‌ای (C3)، گریستون-پکستون



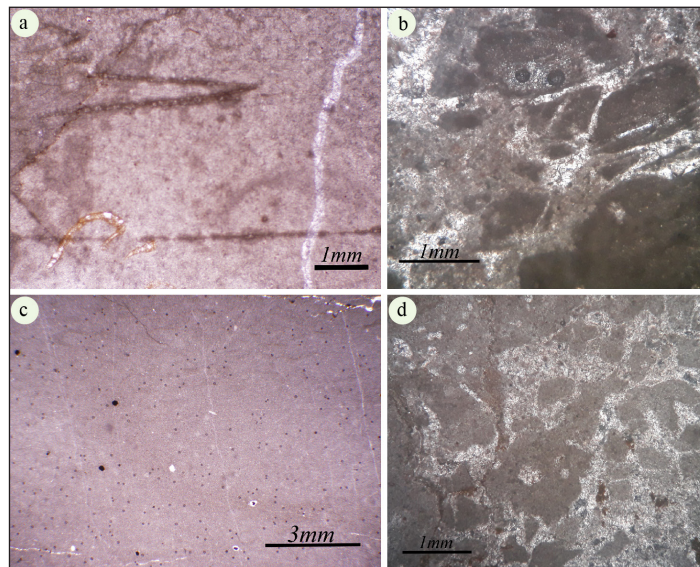
شکل ۷- عناصر ساختاری سازند شورجه در برش بید سوخته: (a) عنصر ساختاری CH، (b) عنصر ساختاری GB، (c) عنصر ساختاری SG، (d) عنصر ساختاری SB.

Figure 7. Structural elements of the Shurijeh Formation in the Bid- Sukhteh section: a) CH structural element, b) GB structural element, c) SB structural element, d) SG structural element.



شکل ۸- پتروفاسیس سنگ‌های آهکی سازند شورجه در برش رادکان (پهنه کشندی): (a) دولومیت ماسه‌ای با یوکستی، (b) دولستون.

Figure 8. Petrofacies of the Shurijeh Formation limestones in the Radkan section (intertidal zone): a) bioclastic sandy dolomite, b) dolostone.



شکل ۹- پتروفاسیس سنگ‌های آهکی سازند شوربچه در برش رادکان (لاگون): (a) مادستون، (b) رودستون بایوکلاستی ماسه‌ای، (c) وکستون بیوکلاستی، (d) گرینستون - پکستون بایوکلاستی اینتراکلاست‌دار.

Figure 9. Petrofacies of limestones of the Shurijeh Formation in the Radkan (Lagoon) section: a) Mudstone, b) Sandy bioclastic rudstone, c) Bioclastic wackstone, d) Intraclast bioclastic grainstone – Packstone.

(Mid ramp) است (Ples et al., 2024). ازدیاد موجوداتی که قادر به تحمل طیف محدودی از شوری‌اند (Stenohaline) مانند بریوزوئر، اکینودرم و پلوتید و تنوع کم فرامینفرها، نشان دهنده شرایط محیطی با آشفستگی کم و شوری بیش از حد معمول آب دریا است (Gil-Gil et al., 2024).

حضور دانه‌های کوارتز همراه با رسوبات کربناته در محیط‌های کم‌ژرفای دریایی به عوامل گوناگونی مانند زمین‌ساخت، آب و هوا و نوسان سطح آب دریا نسبت داده می‌شود (Aigbadon et al., 2024) (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). از سوی دیگر، نتایج اندیس تخریبی نشان می‌دهند که سنگ آهک‌های دریایی کم‌ژرفای این منطقه شامل سکانس‌های کم‌ژرفا شونده رو به بالا (Shallowing upward) هستند (Carozzi, 1989). زیرا اینتراکلاست‌ها در کل توالی روند منظمی را نشان نمی‌دهند که این امر سبب می‌شود که تاثیر اندیس تخریبی (CI) روی نمودار مربوطه زیاد منظم نباشد (Flugle, 2010). همچنین در رخساره‌های کوارتزدار انتظار داریم که هر چه از مناطق ژرف به سمت مناطق کم‌ژرفای نزدیک ساحل پیش برویم، بر مقدار و اندازه خرده‌های کوارتز افزوده گردد که این امر منطبق بر قسمت‌های میانی و بالایی توالی رسم شده بوده و کاملاً آشکار و قابل مشاهده است. از سوی دیگر، ایدها مربوط به مناطق پرانرژی و کم‌ژرفا مانند پشته ایدیدی رمپ میانی و پشته‌های سدی، اندیس تخریبی بالایی دارند که کاملاً با بحث مربوط به توالی رمپ کربناته کم‌ژرفا شونده به سمت بالا هم‌خوانی دارد، و با توجه به این که اکینودرم‌ها مربوط به مناطق دریایی هستند و در مناطق گسترده‌ای وجود دارند، از این رو، اندیس تخریبی که این فسیل نشان می‌دهد روند بسیار منظمی را در رخساره‌های مطالعه شده نشان می‌دهند.

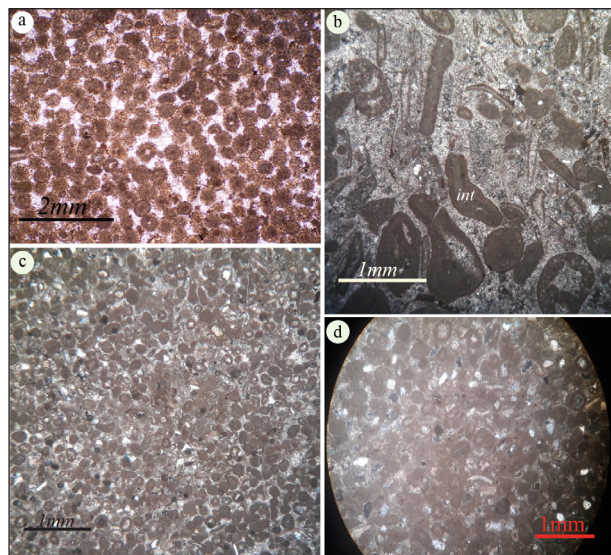
۳-۲- محیط رسوبی

شواهدی مانند تنوع رخساره‌های سنگی و ترتیب آن‌ها در سیکل‌های به سمت بالا ریزشونده که توسط یک سری عناصر ساختاری مجزا مشخص شده است (Sun et al., 2024)، وجود قطعات زیاد، شکل توده‌ای - عدسی و گوه‌ای شکل، مرز

وجود دولومیت‌های ریز تا درشت‌بلور و دولومیتی شدن این کربنات‌ها در محیط لاگون به احتمال زیاد در منطقه مخلوط آب جوی (متئوریک) و آب دریا و در طی افت پس‌رونده سطح آب دریا صورت گرفته است (Tucker, 1993). آثار حفرشدگی (boring) که در این رخساره لاگون مشاهده شده است، توسط موجودات حفر ایجاد شده که پس از ایجاد تخلخل در رسوبات، توسط سیمان و گل آهکی پر شده‌اند (Flugel, 2010). در مقابل عدم وجود گل و داشتن مقادیر بالای ایدید، رخساره‌های C1 تا C4 به عنوان رخساره‌های سد در نظر گرفته می‌شوند. بافت خوب شسته شده، جورشدگی نسبتاً خوب دانه و دانه‌پشتیبان که در این مجموعه رخساره‌ها دیده می‌شود، گویای حاکم بودن شرایط پرانرژی مانند پشته‌های سدی در زمان رسوب‌گذاری این مجموعه رخساره‌هاست (Khan et al., 2020). وجود آلوکم‌های اسکلتی مانند دوکفه‌ای‌ها و بازویان نشان‌دهنده نهشته شدن این رخساره‌ها در محیط پشته‌ای رو به دریای باز است (Clement et al., 2020). بافت و ساخت‌های رسوبی در رخساره‌های سد نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در بخش بالایی سطح اثر امواج و در محدوده رمپ داخلی است (Mahmoodabadi et al., 2022) (شکل ۱۰). در مقابل، مجموعه رخساره‌ای شامل ریزرخساره‌های D1 تا D9 همراه با شواهد و آثاری از نهشته‌های کم‌ژرفا و ژرف می‌باشد (Flugel, 2010). وجود گل آهکی و لایه‌های شیلی که دربرگیرنده رخساره‌های دریای باز هستند، از ویژگی‌های شاخص این مجموعه رخساره است، زمینه میکربیتی و لایه‌های شیلی و اثر امواج و جریان‌ها گویای شرایط کم‌انرژی محیط رسوبی در منطقه رمپ میانی یا شیب یکنواخت می‌باشد (Khan et al., 2020). بافت و کستونی در مجموعه رخساره‌ای دریای باز نشان‌دهنده نهشته شدن این رخساره در شرایط کم‌انرژی است (Rasool et al., 2023). وجود سوزن (اسپیکول) اسفنج و کالپونلا نشانه رسوب این رخساره در مناطق ژرف‌تر حوضه می‌باشد. اما نبود ساخت‌های رسوبی مربوط به رسوبات توریدیتی نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محدوده‌های زیر سطح اثر امواج (Fair weather wave base) و بالاتر از سطح اثر امواج طوفانی در کمربند رمپ میانی

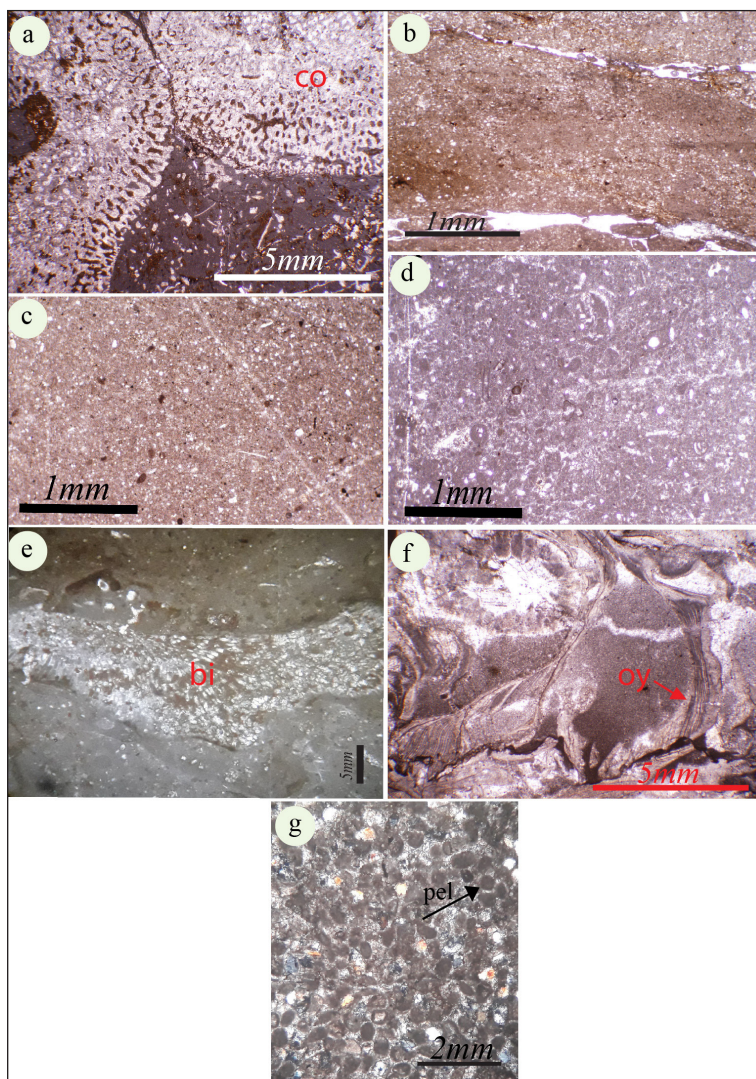
گلی در رخساره‌های گلی که به صورت توده‌ای و فاقد لایه‌بندی و یا به شکل لایه‌بندی رسوب کرده‌اند، نشان‌دهنده شرایط کم‌انرژی در محیط‌های رودخانه‌ای هستند (Capuzzo and Wetzel, 2004). در نهایت، بر پایه شواهد صحرایی و بررسی تغییرات جانبی و عمودی رخساره‌های رسوبی، نهشته سیلیسی-آواری سازند شورجه در محیط رودخانه به‌طور عمده پیچان‌رودی (مئاندری) با پیچش کم تشکیل شده است.

زیرین فرسایشی، جورشدگی و گردشدگی ضعیف تا متوسط، دانه‌بندی تدریجی در رخساره‌های کنگلومرایی بیانگر شرایط محیطی قاره‌ای می‌باشد. همچنین اندازه متوسط تاریزدانه، ساخت‌های جریان‌ی - توده‌ای، لامیناسیون موازی-مورب و افقی، طبقه‌بندی مورب عدسی شکل، طبقه‌بندی مسطح با زاویه کم و گسترش جانبی کم، نشان‌دهنده محیط‌های رودخانه‌ای هستند (Ali et al., 2024). از سوی دیگر، وجود رسوبات دانه‌ریز



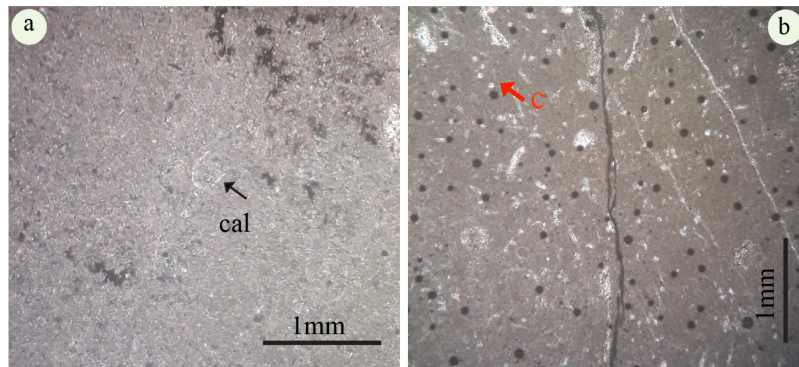
شکل ۱۰- پتروفاسیس سنگ‌های آهکی سازند شورجه در برش رادکان (سد): (a) گرینستون ااییدی، (b) گرینستون اینتراکلاست - اایید بایوکلستی، (c) گرینستون اایید- پلوییدی ماسه‌ای، (d) گرینستون - پکستون بایوکلستی ااییدی.

Figure 10. Petrofacies of limestones of the Shurijeh Formation in the Radkan section (shoal): a) Ooidal grainstone, b) Bioclastic ooid-intraclast grainstone, c) Ooidal-peloid sandy grainstone, d) Bioclast Ooidal grainstone - packstone.



شکل ۱۱- پتروفاسیس سنگ‌های آهکی سازند شورجه در برش رادکان (دریای باز): (a) رودستون مرجان‌دار، (b) پکستون کلسی اسفیری، (c) گرینستون- پکستون بایوکلستی، (d) گرینستون- پکستون بایوکلستی کلسی اسفردار ااییدی، (e) رودستون بایوکلستی، (f) رودستون اویستری، (g) گرینستون پلوییدی.

Figure 11. Petrofacies of limestones of the Shurijeh Formation in the Radkan section (open marine) coralline rudstone, b) calcispheric packstone, c) Bioclastic grainstone-packstone, d) bioclastic calcispheric ooidal grainstone- packstone, e) Bioclastic rudstone, f) Oyster rudstone, g) Peloidal grainstone.

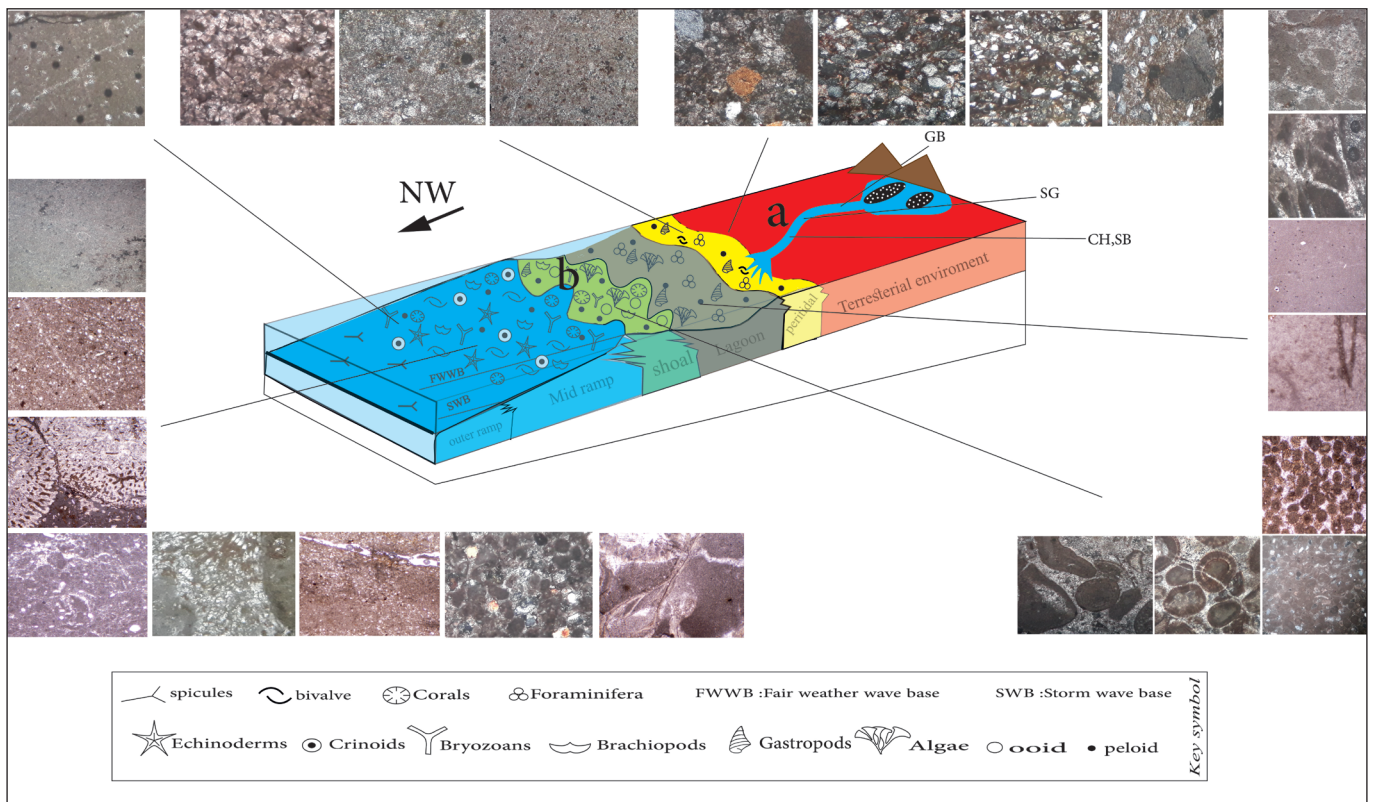


شکل ۱۲- پتروفاسیس سنگ‌های آهکی سازند شورجه در برش رادکان (دریای باز ژرف): (a) وکستون با یوکالستی کالپئونل دار، (b) پکستون کلسی اسفنجی سوزن اسفنج‌دار.

Figure 12. Petrofacies of limestones of the Shurijeh Formation in the Radkan section (deep open marine): a) Bioclastic calpionella wackstone, b) Calcspheroidal packstone with sponge spicules.

کمتر بوده است. با توجه به رودخانه‌ای بودن سازند شورجه در قسمت‌های خاوری حوضه (Moussavi Harami, 1986) رسوبات آواری در برش رادکان از طریق پایین افتادن سطح نسبی آب در قسمت‌های خاوری حوضه نهشته شده‌اند (شکل ۱۳).

رسوبات دریایی سازند شورجه در یک سکوی کربناته کم ژرفا و با تغییرات شیب کم مانند رمپ هموکلینال مخلوط سیلیسی آواری- کربناته بر جای گذاشته شده که میزان ورود رسوبات سیلیسی آواری به محیط نسبت به میزان تولید رسوبات کربناته



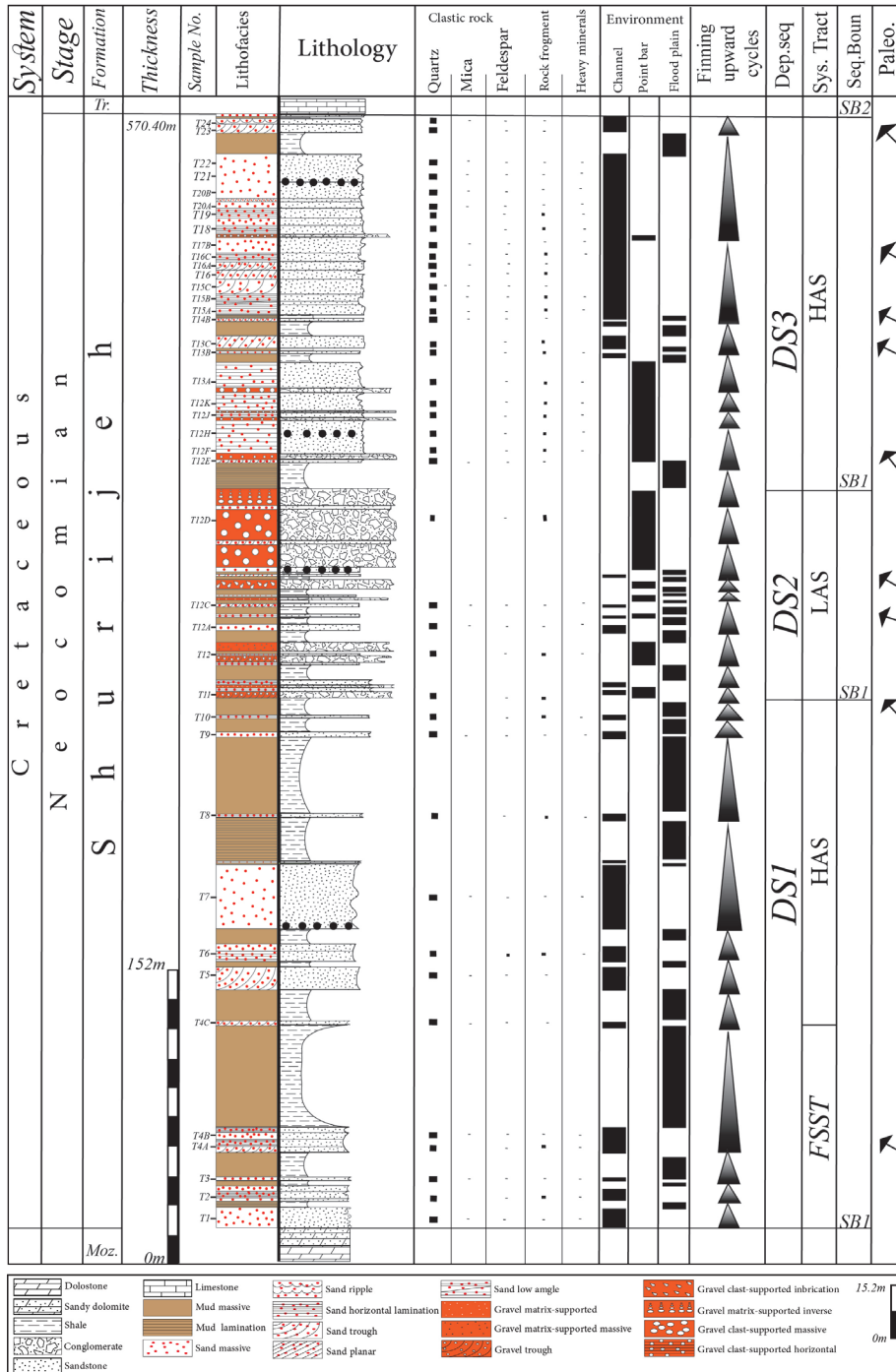
شکل ۱۳- مدل نمادین از محیط رسوبی سازند شورجه در دو برش و نحوه پراکندگی رخساره های رسوبی؛ (a) برش آواری، (b) برش دریایی.

Figure 13. Schematic model of the sedimentary environment of the Shurijeh Formation in two sections and the distribution of sedimentary facies. a) Clastic section, b) Marine section.

۳-۳- سکانس‌های رسوبی سازند شورجه

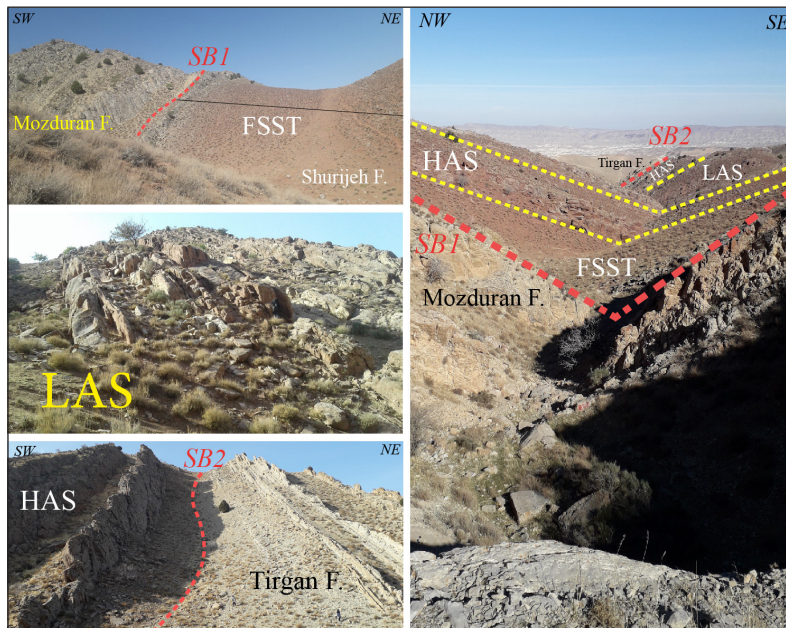
در محیط‌های رودخانه‌ای، چینه‌نگاری توالی با سایر محیط‌ها بسیار متفاوت است، محیط‌های رودخانه‌ای تحت تأثیر چندین عامل از جمله اتوستازی، آب و هوا، زمین‌ساخت منطقه مبدأ و فرونشست حوضه قرار دارند (Catuneanu, 2017). با توجه به موقعیت هر یک از رخساره‌ها (جدول‌های ۱ و ۳) و تغییرات آن‌ها در توالی عمودی (ستون شکل‌های ۱۴ و ۱۶) سازند شورجه در برش بید سوخته و برش رادکان از ۳

سکانس رده سوم تشکیل شده است. براساس اطلاعات حاصل از بررسی‌های صحرائی و مطالعه مقاطع نازک، در مجموع ۳ سکانس اصلی (Sequence)، ۳ سطح پیشینه پیش‌روی آب دریا (MFS) و ۶ مرز سکانسی (SB) اصلی در این سازند شناسایی شد. نتایج حاصل از جهت جریان دیرینه در طبقه‌بندی مورب تراف و مورب مسطح نشان‌دهنده جهت چیره یک‌طرفه می‌باشد که مربوط به رسوب‌گذاری به وسیله جریان یک‌طرفه درون کانال است (Amini and Zamanzadeh., 2006) (شکل‌های ۱۵ و ۱۷).



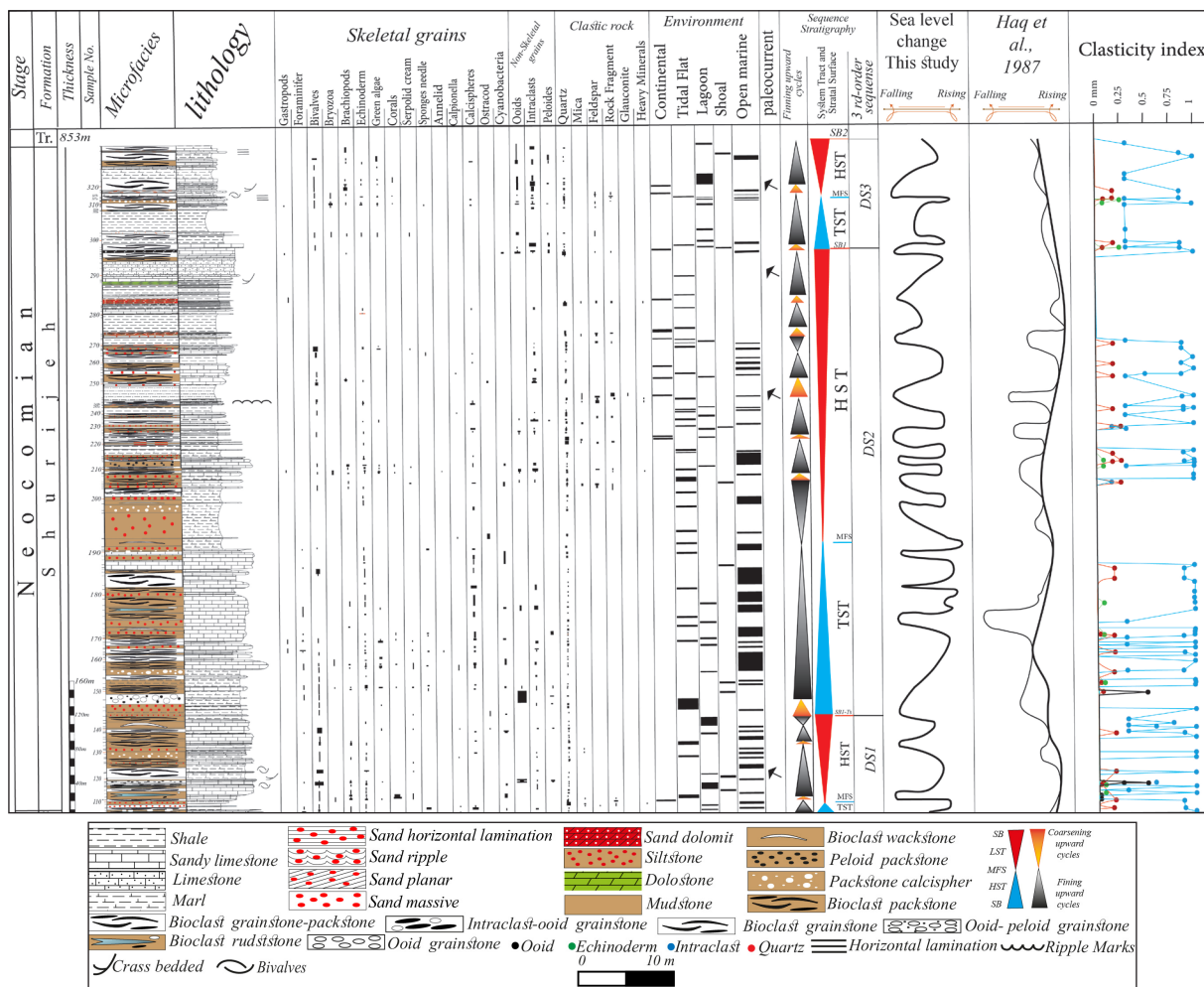
شکل ۱۴- ستون تغییرات عمودی رخساره‌های شناسایی شده و سکانس‌های رسوبی سازند شورجه در برش بید سوخته.

Figure 14. Column of vertical changes of identified facies and sedimentary sequences of the Shurijeh Formation in the Bid- Sukhteh section.



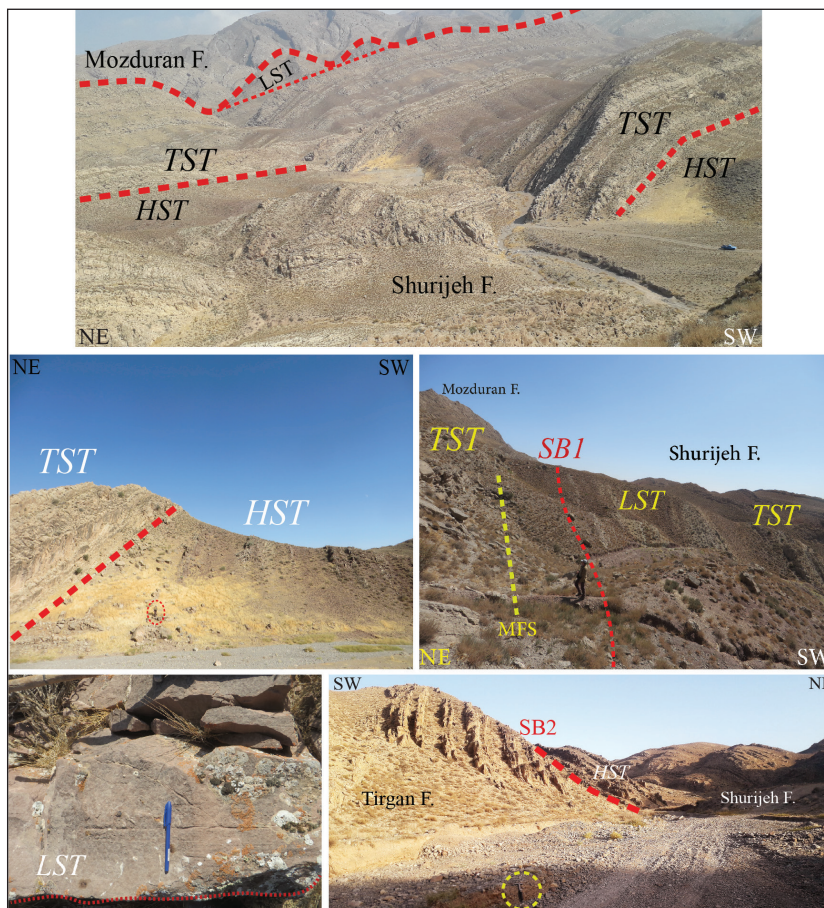
شکل ۱۵- تصاویر صحرایی از مرزهای پایینی و بالایی و سطوح سکانسی سازند شورجه در برش بید سوخته.

Figure 15. Field pictures of the lower and upper boundaries and sequence surfaces of the Shurijeh Formation in the Bid-Sukhteh section.



شکل ۱۶- ستون تغییرات عمودی رخساره‌های شناسایی شده و سکانس‌های رسوبی سازند شورجه در برش رادکان.

Figure 16. Vertical stratigraphic succession of identified facies and sedimentary sequences of the Shurijeh Formation in the Radkan section.



شکل ۱۷ - تصاویر صحرایی از مرزهای پایینی و بالایی و سطوح سکانشی سازند شوربچه در برش رادکان.

Figure 17. Field picture of the lower and upper boundaries and sequence surfaces of the Shurijeh Formation in the Radkan section.

شوربچه از رخساره‌های عمدتاً ماسه‌ای و به مقدار کمتر از رخساره‌های کنگلومرایی و شیلی از نوع (LAS) با فضای رسوب گذاری پایین تشکیل شده است. بالا آمدن اولیه و آرام سطح ایستایی به کمبود فضای رسوب گذاری برای رسوبات دشت سیلابی انجامیده است که این سکانش‌های رسوبی از سیکل‌های زمین ساختی و آب و هوایی منطقه در این زمان پیروی می‌کند. در رسوبات کربناته همانند سکانش ۲ از نهشته‌های گستره تراز بالا (TST) و تراز پایین (HST) تشکیل شده است. رخساره‌های گوناگونی در این دسته سکانش قرار دارند و سبب شده‌اند سطح سکانشی مرکب از HST, TST, MFS, SB1 ایجاد گردد.

۳-۴- تکامل محیط رسوبی سازند شوربچه

در سیستم رسوبی سازند شوربچه با توالی آواری در قسمت خاوری و توالی‌های کربناته در قسمت‌های مرکزی و باختری ورود رسوب به حوضه تحت کنترل عوامل مختلفی از جمله تغییر آب و هوا، زمین ساخت محلی، عوامل برون حوضه‌ای و تغییر سطح آب انجام می‌شود (Catuneanu, 2017). همان گونه که اشاره شد، روند تغییرات رخساره‌ای و در پی آن روند پاراسکانش‌ها در این سازند از پایین به بالا در برش‌های مورد مطالعه گویای ۳ سکانش رسوبی در برش بیدسوخته و ۳ سکانش رسوبی در برش رادکان است.

با توجه به سکون آب در انتهای ژوراسیک، سطح آب پس روی کرده و نرخ ایجاد فضای رسوب گذاری از نرخ تامین رسوب بیشتر شده است که سبب نهشته شدن رخساره‌های دشت سیلابی و رخساره‌های ماسه‌سنگی رودخانه‌ای شده است.

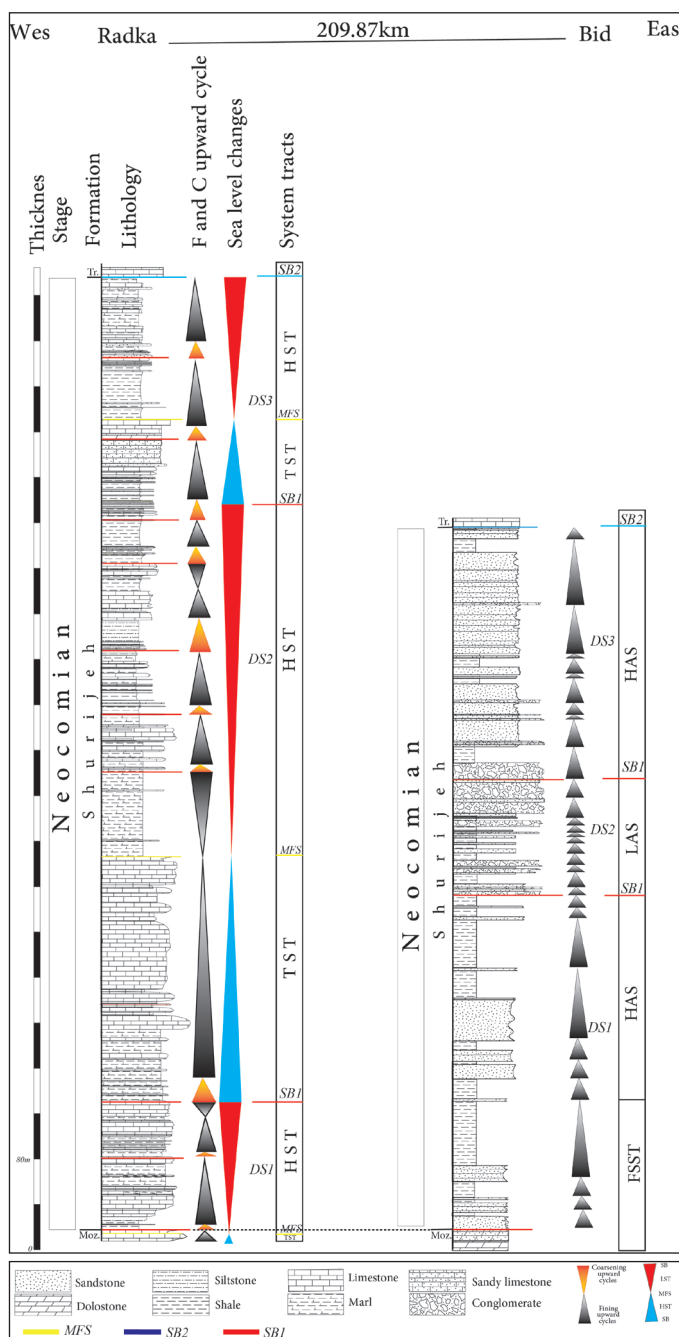
— **سکانش ۱:** سکانش شماره ۱ سازند شوربچه در بخش آواری مرکب از HAS و FSST می‌باشد. این دسته سکانش به دلیل گسترش دشت سیلابی و کم بودن رخساره‌های کانالی تشکیل شده‌اند. مرز پایینی این سکانش (SB1) از نوع فرسایشی بر روی توالی دولومیتی و آهکی مزدوران است. در برش کربناته، این سکانش فقط از گستره تراز بالا (HST) تشکیل شده است. وجود نهشته‌های رسوبی ژرف دریا و دسته رخساره‌های تراز پایین آب و تراز پیش روی آب موجب شده است که سطح سکانشی مرکب از MFS/TS در قاعده سکانش ۱ سازند شوربچه ایجاد گردد. تبدیل رخساره‌های آهکی و دولومیتی سازند مزدوران به رخساره‌های رودخانه‌ای بیانگر افت سطح آب بوده است.

— **سکانش ۲:** سکانش شماره ۲ سازند شوربچه تشکیل دهنده بخش میانی در بخش آواری از دسته رخساره‌های فضای پایین رسوب گذاری (LAS) تشکیل شده است. سیکل‌های به سمت بالا ریز شونده، فراوانی رسوبات دانه درشت نسبت به رسوبات دشت سیلابی نشان دهنده بالا آمدگی سطح ایستایی و محیط رودخانه‌ای پراثری است (Catuneanu et al., 2009). در محیط دریایی مرز پایینی این سکانش با رخساره‌های پهنه کشندی (LST) (Tidal flat) که بر روی دسته رخساره پیش رونده (TST) قرار دارد، شروع می‌شود. وجود نهشته‌های گستره تراز پایین و پیش رونده این سازند موجب شده است که سطح سکانشی مرکب از TS/MFS/SB1 در قاعده سکانش ۲ سازند شوربچه ایجاد گردد.

— **سکانش ۳:** سکانش شماره ۳ سازند شوربچه تشکیل دهنده بخش بالایی سازند

بوده و رخساره‌های ژرف و نیمه ژرف برجای گذاشته شده‌اند. پس روی آب دریا و افت سطح ایستایی در اواخر نئوکومین سبب تامین رسوب آواری و کاهش فضای رسوب گذاری شده است که در نهایت به نهشته شدن رسوبات رودخانه‌ای که از نوع قطع شدگی هستند، انجامیده است. پس از این پس روی در اواخر نئوکومین پیشروی دریا در آپسین آغازین (Haq et al., 1987) به نهشته شدن رسوبات کربناته سازند تیرگان در یک محیط کربناته کم ژرفا بر روی سازند شوربچه انجامیده است (شکل ۱۸).

این تغییرات با پیش روی کوتاه مدت سطح آب دریا در اواخر ژوراسیک در مقیاس جهانی همخوانی دارد. همزمان در نهشته‌های کربناته پیش روی سطح آب دریا و بالا آمدن سطح ایستایی در دریا و قاره سبب نهشته شدن رخساره‌هایی ژرف و نیمه ژرف و رسوبات کنگلومرا شده است. با بالا آمدن سطح ایستایی، رسوبات ماسه سنگی در ادامه آن‌ها تشکیل شده‌اند. در ادامه، با پیش روی و پس روی آب دریا در قسمت باختری سازند شوربچه نرخ تولید فضای رسوب گذاری بیشتر از نرخ تامین رسوب



شکل ۱۸- انطباق سکانس‌های رسوبی سازند شوربچه در برش بید سوخته و رادکان.

Figure 18. Correlation of sedimentary sequences of the Shurijeh Formation in the Bid-Sukhteh and Radkan sections.

۴- نتیجه گیری

توالی عمودی، سازند شورجه در برش بیدسوخته و رادکان دارای ۳ سکانس رسوبی رده سوم است. عواملی از جمله تغییرات جهانی در سطح آب دریا و فعالیت‌های زمین‌ساختی مهم‌ترین عوامل تشکیل‌دهنده سکانس‌های رسوبی بوده‌اند. این عوامل موجب تغییر در رخساره، ستبرای و مرز سکانشی شده است.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از دستاوردهای پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول است. بدینوسیله از حمایت‌های معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد (۵۲۴۲۵) قدردانی می‌گردد.

در نواحی مورد مطالعه، سازند شورجه متشکل از رخساره‌های سنگی آواری (کنگلومر، ماسه‌سنگ و گل‌سنگ) در محیط قاره‌ای و رخساره کربناته (دولومیتی و آهکی) در محیط دریایی است. بر مبنای تفکیک رخساره‌های سنگی و بررسی تغییرات عمودی و جانبی رخساره‌ای و نیز ویژگی‌های سنگ‌نگاری، نهشته‌های قاره‌ای سازند شورجه در سیستم‌های رودخانه‌ای (پیچان‌رودی (مناندری) با پیچش کم) و رسوبات دریایی سازند شورجه در یک رمپ کربناته بر جای گذاشته شده است. براساس بررسی اطلاعات حاصل از مقاطع نازک و داده‌های صحرایی در مجموع ۷ مرز سکانشی (SB)، ۳ سطح بیشینه پیش‌روی آب دریا (MFS) و ۳ سکانس اصلی در سازند شورجه شناسایی شده است و با توجه به موقعیت و تغییرات در

کتابنگاری

- افشار حرب، ع.، ۱۳۷۳، زمین‌شناسی کپه داغ، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۱۱، ۲۷۶ ص.
- افشار، ع.، ۱۹۸۲، نقشه زمین‌شناسی سرخس، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- آفانباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- ترشیزیان، ح.، ۱۹۹۸، نقشه زمین‌شناسی چناران، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- مهدیه نجف‌آبادی، ن.، صالحی، م.ع.، یحیی شیبانی، و.، ۱۴۰۳، رخساره‌ها، محیط رسوبی و رخساره‌های الکتریکی سازند هجدک (ژوراسیک میانی) در معدن زغال‌سنگ پروده طیس، جنوب طیس. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، تابستان ۱۴۰۳، سال چهارم، شماره ۹۵، ص ۱-۲۶. [jssr.2024.141278.1284/10.22108](https://doi.org/10.22108/141278.1284/10.22108.jssr.2024.141278.1284/10.22108).

References

- Afshar Harb, A., 1994. *Geology of Kopeh Dagh, Publications of the Geology and Mineral Exploration Organization of the Country, No. 11, 276 p (In Persian).*
- Afshar, A., 1982. *Geological map of Sarakhs, scale 1:250,000, Publications of the Geology and Mineral Exploration Organization of the Country (In Persian).*
- Aghanabati, A., 2004. *Geology of Iran, Geological Survey of Iran, 586 p. (In Persian).*
- Aigbadon, G. O., Igbini, N. S., Obasi, A. I., Akudo, E. O., Christopher, S. D., Ocheli, A., Igwe, D. O., Francis, A. J., Joseph, G.E, and Akor, D. J., 2024. Microfacies and mineralogical analyses of the late cretaceous carbonate rocks from The Central Benue Trough, Nigeria. *Ife Journal of Science*, 26(1), 101-118. doi:10.4314/ijss. v26i1.8.
- Ali, A. M., Kwaya, M. Y., and Aminu, A. A., 2024. Investigating the mineralogical and geochemical composition of fluvial sediments of Watari River system, Kano, Nigeria. *Kuwait Journal of Science*, 51(1), 100151. doi: 10.1016/j.kjs.2023.11.002.
- Amini, A. Zaman Zadeh, S.M., 2006. *Analytical Sedimentology (Translation). Iran University press.250p.*
- Bachmann, M., and Hirsch, F., 2006. Lower Cretaceous carbonate platform of the eastern Levant (Galilee and the Golan Heights): stratigraphy and second-order sea-level change. *Cretaceous Research*, 27(4), 487-512. doi: 10.1016/j.cretres.2005.09.003.
- Benavente, C. A., Matheos, S., Barredo, S., Abarzúa, F., and Mancuso, A. C., 2023. Diagenesis of continental carbonates linked to the evolution of the flexural margin of the Triassic Sorocayense-Hilario rift sub-basin, Argentina. *Andean geology*, 50(2), 270-291. doi:10.5027/andgeov50n2-3450.
- Capuzzo, N., and Wetzel, A., 2004. Facies and basin architecture of the Late Carboniferous Salvan-Dorénaz continental basin (Western Alps, Switzerland/France). *Sedimentology*, 51(4), 675-697. doi: 10.1111/j.1365-3091.2004.00642. x.
- Carozzi, A. V., 1989. *Carbonate Rocks Depositional Model: A Microfacies Approach Prentice Hall, London, 604pp.*
- Catuneanu, O., 2017. Sequence Stratigraphy: Guidelines for a Standard Methodology. In *Stratigraphy & timescales. Academic Press*, 2, 1-57. doi: 10.1016/bs.sats.2017.07.003.
- Catuneanu, O., 2019. Scale in sequence stratigraphy. *Marine and Petroleum Geology*, 106, 128-159. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2019.04.026.
- Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J., Blum, M., Dalrymple, R., Eriksson, P., Fielding, C.R., Fisher, W., Galloway, W., Gibling, M., Giles, K.A., Holbrook, J.M., Jordanm, R., Kendall, C.G.St.C., Macurda, B., Martinsen, O.J., Miall, A.D., Neal, J.E., Nummedal, D., Pomar, L., Posamentier, H.W., Pratt, B.R., Sarg, J.F. Shanley, K.W., Steel, R.J., Strasser, A., Tucker, M.E., and Winker, C., 2009. Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92(1-2), 1-33. doi: 10.1016/j.earscirev.2008.10.003.
- Chiarella, D., Longhitano, S. G., Spalluto, L., and Martinius, A. W., 2024. Hierarchies of stratigraphic discontinuity surfaces in siliciclastic, carbonate and mixed siliciclastic-bioclastic tidalites: Implications for fluid migration in reservoir quality assessment. *The Depositional Record*, 11(1):373-402, 1-30. doi:10.1002/dep2.307.

- Clement, A. M., Tackett, L. S., Ritterbush, K. A., and Ibarra, Y., 2020. Formation and stratigraphic facies distribution of early Jurassic iron oolite deposits from west central Nevada, USA. *Sedimentary Geology*, 395, 105537.
- Daryono, S. K., Afrilita, A., and Idarwati, I., 2024. Deposition Environment Interpretation of Lemat Formation in the West Tanjung Jabung, Jambi Province. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, 4(2), 240-254.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional textures. In: *Classification of Carbonate Rocks*, Ham, W.E. (ed.). American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, 108-121.
- Eltijani, A., Mohammed, M. A., Abuobida, Y., and Yousif, I., 2024. Integrating CoDA and PCA for enhanced characterization of fluvial depositional processes: a case study of the Shendi formation, Sudan. *Discover Geoscience*, 2(1), 10. doi: 10.1007/s44288-024-00011-7.
- Embry, A. F., and Klovan, J. E., 1971. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT. *Bulletin of Canadian petroleum geology*, 19(4), 730-781.
- Finthan, B., and Mamman, Y. D., 2020. The lithofacies and depositional paleoenvironment of the Bima Sandstone in Girei and Environs, Yola Arm, Upper Benue Trough, Northeastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences* 169, 103863. doi:10.1016/j.jafrearsci.2020.10386.
- Flügel, E., 2010. *Microfacies of carbonate rocks, analysis interpretation and application*, Berlin-Heidelberg, New York, Springer, 976p.
- Folk, R. L., 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill publishing company, Austin, Texas, 182p.
- Gil-Gil, J., Bretones, A., Boix, C., and García-Hidalgo, J. F., 2024. Evolution of coniacian facies and environments in the Iberian basin: a longshore current controlling siliciclastic sand distribution on a carbonate platform. *Facies*, 70(2), 7. doi:10.1007/s10347-024-00681-2.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. A. N., and Vail, P. R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235(4793), 1156-1167.
- Khan, E. U., Saleem, M., Naseem, A. A., Ahmad, W., Yaseen, M., and Khan, T. U., 2020. Microfacies analysis, diagenetic overprints, geochemistry, and reservoir quality of the Jurassic Samanasuk Formation at the Kahi Section, Nizampur Basin, NW Himalayas, Pakistan. *Carbonates and Evaporites* 35:95. doi:10.1007/s13146-020-00622-4.
- Khan, E. U., Saleem, M., Sajjad, S. M. W., and Khan, S. U., 2024. Depositional Environment, Diagenesis and Source Rock Characterization of Middle Jurassic Carbonates, North Waziristan, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. In *Doklady Earth Sciences*, 519(1), 1792-1807. Moscow: Pleiades Publishing. doi:10.1134/S1028334X2460244X.
- Khan, E., Naseem, A. A., Khan, S., Wadood, B., Rehman, F., Saleem, M., Mehmood, Ahmad, W., Ahmed, Z., and Azeem, T., 2022. Facies Analysis, Sequence Stratigraphy and Diagenetic Studies of the Jurassic Carbonates of the Kohat Basin, Northwest Pakistan: Reservoir Implications. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 96(5), 1673-1692. doi: 10.1111/1755-6724.14938.
- Korus, J.T., Gilmore, T.E., Waszgis, M.M., and Mittlestet, A.R., 2018. Unit-bar migration and bar-trough deposition: Impacts on hydraulic conductivity and grain size heterogeneity in a sandy streambed. *Hydrogeology Journal*, 26(2): 553- 564. doi:10.1007/s10040-017-1661-6.
- Li, M.W., Ma, X.X., Jin, Z.J., Li, Z.M., Jiang, Q.G., Wu, S.Q., Li, Z., and Xu, Z., 2022. Diversity in the lithofacies assemblages of marine and lacustrine shale strata and significance for unconventional petroleum exploration in China. *Oil Gas Geol.*, 43, 1–25.
- Mahdieh NajafAbadi, N., Salehi, M. A., and Yahya Sheibani, V., 2024. *Facies, sedimentary environment and log facies of the Hojedk Formation (Middle Jurassic) in Parvadeh Tabas Coal Mine, South of Tabas. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 40(2), 1-26. doi:10.22108/jssr.2024.141278.1284. (In Persian).
- Mahmoodabadi, R. M., and Zahiri, S., 2022. Formation evaluation and Rock Type Classification of Asmari Formation based on petrophysical-petrographic data: A case study in one of super fields in Iran southwest. *Petroleum*, 9(2), 143-165. doi:10.1016/j.petlm.2022.01.009.
- Miall, A. D., 2013. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. Springer Berlin, Heidelberg, 598p.
- Miall, A., 2014. *The facies and architecture of fluvial systems*. Fluvial depositional systems, Springer Geology, Springer, 14. 316p.
- Miall, A.D., 2014. *Fluvial Depositional Systems*. Dordrecht: Springer, 319 p.
- Milaneschi, L., Cornamusini, G., Martini, I., Conti, P., Liberato, G. P., Tavarnelli, E., and Foresi, L. M. 2024. Shallow-water clastic carbonates of the southwestern margin of Val d'elsa Neogene Basin. Preliminary data on mid-Pliocene Warm Period in Southern Tuscany (Italy). *Rend. Online Soc. Geol. It.* 63. doi:10.3301/ROL.2024.29.
- Moussavi Harami, R., 1986. Neocomian (Lower Cretaceous) continental sedimentation in eastern Kopet-Dagh in NE Iran. Abstract, 12th International Sedimentological. Congress, Canberra, Australia, 220 p.
- Moussavi Harami, R., and Brenner, R. L., 1993. Diagenesis of non-marine petroleum reservoirs: The Neocomian (Lower Cretaceous) Shurijeh Formation, Kopet-Dagh Basin, NE Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 16 (1), 55-72.
- Moussavi Harami, R., Mahboubi, A., Nadjafi, M., Brenner, R.L., and Mortazavi, M., 2009. Mechanism of calcrete formation in the Lower Cretaceous (Neocomian) fluvial deposits, northeastern Iran based on petrographic, geochemical data, *Cretaceous Research* 30, 1146-1156. doi: 10.1016/j.cretres.2009.04.003.
- Pettijohn, F. J., 1975. *Sedimentary rocks*. Harper and Row. New York, 3, 628p.
- Peleş, G., Schlagintweit, F., Kołodziej, B., Bucur, I. I., Gawlick, H. J., Mircescu, C. V., Sasaran, E., and Lazăr, I. 2024. Upper Jurassic–lowermost Cretaceous hybrid build-ups of the Western Tethys Realm: Cement-rich microencruster-microbialite-calcified sponge framework. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 639, 112035. doi: 10.1016/j.palaeo.2024.112035.

- Rasool, R. H., Ali, S. A., and Al-Juboury, A. I., 2023. Petrography and diagenesis of the middle to upper Jurassic succession from Sargelu section, northeastern Iraq. *Al-Kitab Journal for Pure Sciences*, 7(2), 153-172. doi:10.32441/kjps.07.02. p12.
- Salehi, M.A., Wilmsem, M., Zamanian, E., Baniasad, A., and Heubeck, C., 2023. Depositional and thermal history of a continental, coal-bearing Middle Jurassic Succession from Iran: Hojedk Formation northern Tabas Block. *Geological Magazine*, 160(2), 235-259. doi:10.1017/S0016756822000814.
- Shah, N. H., and Patel, S. J., 2024. Lithofacies and geochemical analysis of intertrappeans of the Ninama Basin, Saurashtra, Western India: An integrated approach for paleolake depositional system. *Journal of Earth System Science*, 133(2), 50. doi:10.1007/s12040-024-02265-8.
- Smith, J. J., and Platt, B. F., 2023. Reconstructing late Miocene depositional environments in the central High Plains, USA: Lithofacies and architectural elements of the Ogallala Formation. *Sedimentary Geology*, 443, 106303. doi: 10.1016/j.sedgeo.2022.106303.
- Sun, Z., Lin, S., Wang, G., Liu, L., and Wang, M., 2024. Sedimentary evolution pattern influenced by sequence stratigraphy: a case study of the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin, China. *Geoscience Letters*, 11(1), 1-25. doi:10.1186/s40562-024-00345-7.
- Torshizian, H., 1998. *Geological map of Chenaran, scale 1:100,000, Publications of the Geology and Mineral Exploration Organization of the Country (In Persian)*.
- Tucker, M.E., 1993. Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy, In: V.P. Wright (Ed.), *Sedimentology Rev.*, Blackwell, Oxford, 51-72. doi: 10.1002/9781444304534.ch4.
- Tucker, M.E., 2001. *Sedimentary Petrology, An introduction to the origin of sedimentary rocks*, Blackwell, Scientific Publication, 260p.
- Tucker, M.E., 2014. *Rochas sedimentares: guia geológico de campo*. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 324 p.
- Tucker, R. T., King, M. R., Mohr, M. T., Renaut, R. K., Crowley, J. L., Fekete, J. W., Makovicky, P.J., and Zanno, L. E., 2024. Tectono-sedimentary history of the upper Cedar Mountain Formation, Central Utah, USA. *Sedimentology*, 71, 2144-2182. doi:10.1111/sed.13211.
- Wakefield, O. J., Hough, E., and Peatfield, A. W., 2015. Architectural analysis of a Triassic fluvial system: the Sherwood Sandstone of the East Midlands Shelf, UK. *Sedimentary Geology*, 327, 1-13.
- Wilson, V.P., 1975. *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer-Verlag, 471p.
- Yeste, L.M., Varela, A.N., Viseras, C., McDougall, N.D., and García-García, F., 2020. Reservoir architecture and heterogeneity distribution in floodplain sandstones: Key features in outcrop, core and wireline logs. *Sedimentology*, 67, 3355–3388. doi:10.1111/sed.12747.
- Zaheer, M., Khan, M. R., Mughal, M. S., Janjuhah, H. T., Makri, P., and Kontakiotis, G., 2022. Petrography and Lithofacies of the Siwalik Group in the Core of Hazara-Kashmir Syntaxis: Implications for Middle Stage Himalayan Orogeny and Paleoclimatic Conditions. *Minerals*, 12(8), 1055. doi:10.3390/min12081055.
- Zamani, Z., Rahimpour-Bonab, H., and Littk, R., 2023. Palaeoenvironmental reconstruction of a coal bearing unit: the upper Triassic Nayband Formation, Tabas Block, East-Central Iran. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 103, 733-757. doi:10.1007/s12549-023-00574-2.
- Zhang, Y., Pan, H., Bai, Y., Chen, G., Luo, J., and Zhang, Y., 2023. Pore Characteristics, Oil Contents and Factors Influencing Laminated Shale in the First Member of the Qingshankou Formation in the Gulong Sag, Northern Songliao Basin. *Minerals*, 13(9), 1220. doi:10.3390/min13091220.