

Original Research Paper

Biostratigraphy and sequence stratigraphy of the Guadalupian deposits of the Dalan Formation in the eastern of the Qatar-Persian Arc, Persian Gulf

Fatemeh Rezvannia¹, Hossein Mosaddegh¹, Bijan Biranvand^{*2}, Vahid Tavakoli³, Galina P. Nestell⁴, and Ahmad Yahyaee⁵

¹ Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

² Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

³ School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, USA

⁵ Iranian Offshore Oil Company (IOOC), Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2023 September 23

Accepted: 2024 January 20

Available online: 2024 June 21

Keywords:

Biostratigraphy

Sequence stratigraphy

Sediment environment

Lower Dalan

Nar

Persian Gulf

ABSTRACT

One of the most important carbonate gas reservoirs in the Zagros and Persian Gulf sedimentary basins is the Dalan Formation. This research investigates the microfacies, lithostratigraphy, and sequences of carbonate-evaporite deposits in the Lower member of the Dalan and the Nar member belonging to the Guadalupian series with a total thickness of 2402 meters in four wells namely A, D, E, and G located in the eastern part of the Qatar-Persian arc in the Persian Gulf. The study of 340 thin sections prepared from the drilling cutting pieces with 2-meter intervals of well E, and a review of documents related to other wells led to the identification of 20 species belonging to 14 genera of foraminifera and the foraminiferal assemblages consisting of 65 species belonging to 25 genera. A foraminiferal biozone was recognized in well E, assigned to the Wordian? - Capitanian: *Pachyphloia-Globivalvulina-Hemigordius*, Assemblage Zone. Additionally, 11 microfacies were determined, mainly distributed in five environments (sabkha, intertidal, lagoon, shoal, and shallow marine). Based on the stacking patterns facies and the gamma-ray log trends, two 3rd-order transgressive-regressive (T-R) sequences were determined. These sequences correspond to the sequences of the reservoir unit's equivalent formations in the southern and eastern Tethyan basin including Saudi Arabia, UAE, Oman, Iraq and South China.

1. Introduction

The Persian Gulf is located on the eastern edge of the Arabian Plate between latitudes 20 to 30 degrees North and longitudes 48 to 57 degrees East. The Qatar-Persian arc with a width of more than 100 km, a length of about 300 km, an outcrop with 150 km height


and a north/northeast-south/southwest trend, is one of the most important tectonic structures of the Arabian Plate, which divides the Persian Gulf into two sub-basins, eastern and western. The Dalan Formation belongs to the Dehram Group and is considered

* Corresponding author: Bijan Biranvand; E-mail: biranvandb@ripi.ir

Citation:

Rezvannia, F., Mosaddegh, H., Biranvand, B., Tavakoli, V., Nestell, G. P., and Yahyaee, A., 2024. Biostratigraphy and sequence stratigraphy of the Guadalupian deposits of the Dalan Formation in the eastern of the Qatar-Persian Arc, Persian Gulf. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 34(2), 132, 1-28. <https://doi.org/10.22071/gsj.2024.417435.2116>.

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

 doi: 10.22071/gsj.2024.417435.2116

 dor: 20.1001.1.10237429.1403.34.2.1.7



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

the oldest gas carbonate reservoir in the southern and southwestern regions of Iran in the Zagros and Persian Gulf basins (Taheri and Hadadi, 2020). The Dalan Formation lies between the strata of the Faraghan Formation (Cisuralian- Guadalupian/ Lower-Middle Permian) and the base of the Kangan Formation (Induan/ Lower Triassic). It is mainly composed of dolomitized shallow marine carbonates with evaporate compounds and consists of three carbonate-evaporite parts, the lower carbonate, the Nar Member, and the upper carbonate (Szabo and Kheradpir, 1978). In terms of reservoir quality, the Dalan Formation contains three main units (in ascending order): K5, K4 and K3 (Figure 1). The reservoir unit K5 belongs to the Lower member of the Dalan Formation and the Nar Member is the boundary between K5 and K4 units (Insalaco *et al.*, 2006; Koehrer *et al.*, 2010; Al-Husseini and Koehrer, 2013; Knaust, 2014; Kakemem *et al.*, 2023). The K5 reservoir unit is considered equivalent to the lower part of the Khuff Formation (unit D) in Saudi Arabia, the Saiq Formation in Oman, the Chia Zairi Formation in Iraq, and the Bih Formation in the UAE (Sharland *et al.*, 2001; Insalaco *et al.*, 2006; Ghazban, 2007; Knaust, 2014; Walz *et al.*, 2013). Few detailed studies of the microfacies and depositional environment have been conducted about the Lower member of the Dalan Formation and the Nar Member, especially in the Persian Gulf, due to lack of deep drilling in some fields or diagenetic conditions and poor reservoir quality. However, matching the stratigraphic data of Persian Gulf basin with other studies in the southern Persian Gulf in establishing the stratigraphic correlation, predicting the reservoir, and identifying stratigraphic traps in some areas with limited information will play an important role in understanding the geology of the region. Meanwhile, the Lower member of the Dalan Formation may contain hydrocarbons in some areas due to the quality of the reservoir. The specific aims of this study are: identifying the foraminiferal species, describing the microfacies characteristics, and depositional environment, and determining the third-ordered sequence which provides a reference for the gas exploration in the Persian Gulf basin and comparison with other regions of the Tethyan basin.

The studied area with about 35,000 square kilometers is located between 26 to 27 degrees' north latitudes and 52 to 55 degrees' east longitudes in the east of the Qatar-Persian arc (Figure 2) and includes 4 wells, A, D, E, and G, which are drilled deep in the Dalan Formation. The overall thickness and the percentage of minerals that make up the Lower member of the Dalan and the Nar Member strata are listed in Table 1.

2. Research methodology

This research has been done by examining 340 thin sections prepared from the sub-surface drilling cutting pieces with 2 meter intervals belonging to well E, which were stained with Alizarin Red in some parts, the well logs data such as Gamma-ray (GR), neutron porosity (NPHI) and density (RHOB) compared with delta sonic (DT) log, review of available petrophysical reports such as reservoir zoning and also the paleontological and lithological data belong each wells from unpublished reports, all of which were obtained from the Research Industry Institute of Iran (RIPI). The Petrophysical well logs were clustered using Cyclolog software. This was done by analyzing the deviations of neutron, density, and

(DINPEFA) of gamma values and the amount of increasing and decreasing trends of the gamma-ray log. The analysis took into account the rock and biological facies. Based on this analysis, the sequence boundaries and flood maximum were determined. The information regarding the paleontology and microfacies of well G was obtained from a report, based on the observation of thin sections prepared from 200 meters of the drilling core. The drilling core was continuously observed in the lithological boundaries of the Lower Dalan Faraghan, the Lower Dalan-Nar, and the Nar-Upper Dalan. The carbonate rocks and lithofacies were classified following the Dunham classification (Dunham, 1962), description of facies following Flugel's method (Flugle, 2010), classification and identification of foraminifera were based on (Vachard *et al.*, 2005) studies and methods of Hunt and Tucker (1995), Posamentier and Allen (1999) and Catuneanu's definitions (2006) have been used in sequence stratigraphy.

3. Results

The Lower member of the Dalan Formation can be divided into three separate facies LDI-1, LDI-2, and LDI-3, and the Nar Member is divided into two facies MDI-1 and MDI-2. Although the identification of accurate biozones based on foraminifera has been impeded by intensive diagenetic effects, 65 species of foraminifera and algae belonging to 25 genera were identified in all wells mentioned. Among these, 20 species of foraminifera from 14 genera were identified in well E, and a foraminiferal assemblage biozone was identified in well E called the *Pachyphloia-Globivalvulina-Hemigordius* Assemblage Zone (Figure 3). Also, at the depth of 4025-4100 m in well E, there is an abundance of *Pseudoamodiscus* spp. among foraminifera species. This occurrence is attributed to the Wordian? stage according to Altiner and Payne (2017), Nestell and Nestell (2006) and Pronina (1990). Additionally, *Hemigordius irregulariformis* sp. can be observed at the depth of 3820 m on top of the Nar member. Therefore, it can be concluded that the Lower Dalan and Nar member's deposits belong to the Guadalupian (Wordian? -Capitanian), which can be similar to specimens of the foraminiferal biozones introduced by Baghbani (1993), and Shahinfar *et al.* (2020). Some pictures of foraminifera have been presented in the foraminifera Plate, and the correlation of biozones has been shown in Figures 3 and 4. Facies analysis led to the identification of five association microfacies groups including 11 microfacies in all wells (Table 2 and Figure 5) which are mainly distributed in five environments of a homoclinal carbonate ramp as follows: sabkha, intertidal, lagoon, shoal complex, and shallow marine (Figure 6). The Lower Dalan group facies consist of five types: MFT (Sabkha and Tidal flat), MFL (Lagoon), MFS (Shoal), and MFO (Open marine). These represent a sedimentary environment on an inner ramp to the edge of the middle ramp (from sabkha to shallow marine) with water depths ranging from 10 to 40 meters. The Nar evaporate Member facies also includes MFT to MFL group facies, showing the deposition of an inner ramp environment from sabkha to the open lagoon, with a depth of about 5 to 10 meters. The Lower Dalan and the Nar member's fauna and flora habitat can be compared with the habitat of the seven foraminifera biofacies cluster by Peng *et al.* (2022) in Guadalupian Series and estimate the ecological water depth based on Flugel (2010), Vachard *et al.* (2010) and

Peng *et al.* (2022) (Table 3). The depositional environment of the Lower Dalan and the Nar members indicates a homoclinal carbonate ramp model based on microfacies and the accumulation of fauna and algae (Figures 6 a-c). In addition, two main long-term (3rd-order) transgressive–regressive (TR) sequences were determined in all wells based on the stacking pattern facies change and the trends of Gamma-ray log. Clustering of well logs was done with Cyclog software and based on the deviation of Neutron porosity (NPHI), Density (RHOB), and Sonic and Gamma-ray log values. By using the Cyclog software, the deviation errors of the real values of the log from the predicted values are analyzed and corrected, and the combined prediction filter error analysis (INPEFA) chart, which is the total amount of error between the actual values and the predicted values, is drawn. The increasing trend is a sign of the increase of the sedimentation space compared to the sedimentation rate and the progressive sequence, and the decreasing trend shows the regressive sequence (Wang *et al.*, 2022). During the Wordin? to Capitanin time interval, the first sequence of deposits begins with those from the lower Dalan member, extending to the lower part of the Nar Member. The second set of deposits falls within the time interval of the upper Capitanin and belongs to the upper part of the Nar. The first sequence the maximum flooding (MFS P20) in the Lower Dalan member with the predominance of open marine facies and in the Nar Member (MFS P25) with the abundance of deep lagoon (Figure 7-a-b). The correlation of the sequences in all wells is shown in Figure 8 (Al-Husseini and Koehrer, 2013; Insalaco *et al.*, 2006; Walz *et al.*, 2013; Qiu *et al.*, 2013; Cohen *et al.*, 2023). These two sequences correspond to the sequences of the reservoir units KS5 and KS6 of the lower part of the Khuff Formation (the unit D in Saudi Arabia) (Al-Huseini and Koehrer, 2013) and also its equivalents in the southern and eastern parts of the Tethyan area including UAE, Oman, Iraq and South China (Figure 9).

4. Discussions

Comparison of wells clearly showed decreasing depth and expansion of evaporite minerals (anhydrite and gypsum) in the deposits of the Lower Dalan member and especially the Nar Member due to the effect of active salt domes in the Permian. The changes in basin conditions have also affected the living environment. Meanwhile, the microfacies and fossils content changes showed a general deepening of the basin toward the northeast part of the basin. The signs of the extinction event at the end of the Guadalupian in different wells (range chart Figure 3) with the disappearance of some larger benthic foraminiferal species such as *sp.*, *Verbeekinia sp.*, *Schwagerina sp.*, and small foraminifers such as *Shanita sp.*, *Cribrogenerina sp.* and *Okimurites (Discospirella)? sp.* are observed about 150 to 200 meters below the Guadalupian-Lopingian boundary in the deferent wells (according to the reports of REPI) which are probably attributed to the sea level drop and reduced habitat area, especially in the inner carbonate ramp. Apart from conditions which certain crucial elements that could aid in identifying the foraminifera shell have been destroyed due to diagenesis or inadequate sampling, these species had not seen in upper Dalan member in well E and not reported in paleo logs of other e.g., well G where a more extensive sampling was conducted.

The correlation of the studied sequences with the Khuff Formation sequences and other equivalents (Figures 1 and 9) in the southern part of the Persian Gulf basin (Oman, UAE, and Saudi Arabia) and China (Eastern of Tethyan basin) indicates that there are two T-R (Transgressive- Regressive) sequences in the region. In addition, the Dalan Formation belongs to the inactive southern margin of the Neo-Tethys Ocean and its sediment accumulation coincided with a relative decline in sea level on a global scale on the AP6 and MFS P20 tectonostratigraphic scales (Sharland *et al.*, 2001; Haq and Schutter, 2008; Walz *et al.*, 2013, Qiu *et al.*, 2013).

5. Conclusions

The total investigations of the microfacies, bio and sequence stratigraphy led to the following conclusions:

20 species belonging to 14 genera of foraminifera were identified in well E. In the four studied wells, a total of 65 species belonging to 25 genera of fusulinid and non-fusulinid foraminifera were introduced. This led to the introduction of a biozone from Wordin? - Capitanina namely *Pachyphloia-Globivalvulina-Hemigordius* Assemblage Zone, comparable to the biozones of Baghbani (Baghbani, 1993) and Shahinfar *et al.* (Shahinfar *et al.*, 2020).

-Identification of five facies groups including 11 types of microfacies belonging to five facies belts of sabkha, lagoon, shoal complex, and, open marine, deposited in a homoclinal carbonate ramp.

- Based on the microfacies type and biological components such as algae and foraminifera, it is estimated that the Lower member of the Dalan Formation was deposited at a depth ranging from 1 to 40 meters approximately. Similarly, the Nar Member is believed to have been deposited at a depth between 1 to 10 meters.

- The facies changes of the Lower Dalan member deposits and the Nar in well E appears a greater depth or possibly more subsidence rate compared to other wells. Well D on the active salt dome, and the location of well A (South Pars filed) along the paleo high of the Qatar-Persian arc probably have caused less sediment depth also may cause to deposited more evaporates sediments during Wordin? –Capitanine.

- Two relatively long sedimentary sequences were determined in the Persian Gulf basin. The first one is equivalent to the KS6 reservoir unit and the second one is consistent with the sequence of the KS5 reservoir unit of the lower part of the Khuff Formation (D reservoir unit) and its equivalents in the southern and western Persian Gulf.

Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude for the valuable cooperation of the research officials of the National Iranian Oil Company (NIOC) and the Iranian Offshore Oil Company (IOOC), as well as the compassionate guidance of Dr. Rahim Shabani, Dr. Koorosh Rashidi, Dr. Hossein Kamyabi Shadan, Dr. Ali Moalemi, Mr. Saeed Minibi, Dr. Shaahin Zaman, Dr. Kaveh Khaksar, Dr. Nasrallah Abbasi, Dr. Mahdi Badpa and Dr. Nawab Khodaei and Mr. Mohammad Mahdi Firoozian. We would also like to sincerely thank Dr. Merlynd K. Nestell (The University of Texas at Arlington) for the critical revision and editing of the manuscript.

چینه‌نگاری زیستی و سکانسی نهشته‌های گوادالوپین سازند دالان در خاور کمان قطر - فارس، خلیج فارس

فاطمه رضوان نیا^۱، حسین مصدق^۱، بیژن بیرانوند^{۲*}، وحید توکلی^۳، گالینا پ. نسل^۴ و احمد یحیایی^۵

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

^۲ پژوهشگاه صنعت نفت ایران، تهران، ایران

^۳ دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ دانشکده علوم زمین و محیط زیست، دانشگاه تگزاس، آرلینگتون، تگزاس، آمریکا

^۵ شرکت نفت فلات قاره ایران، تهران، ایران

چکیده

سازند دالان از مهم‌ترین مخازن کربناته گاز در حوضه‌های رسوبی زاگرس و خلیج فارس است. بررسی زیست‌چینه‌ای، ریزرخساره‌ای، چینه‌نگاری سنگی و سکانسی توالی‌های کربناته-تبخیری دو عضو متعلق به سری گوادالوپین این سازند (عضو دالان پایینی و نار) در ۴ چاه A, E, D و G واقع در خاور کمان قطر-فارس در خلیج فارس، با مطالعه ۳۴۰ مقطع نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری چاه E با فواصل ۲ متری و بررسی مستندات مربوط به سایر چاه‌ها به سبب برای کلی ۲۴۰۲ متر، به شناسایی ۲۰ گونه متعلق به ۱۴ جنس روزن‌بران در چاه E و معرفی مجموع ۶۵ گونه متعلق به ۲۵ جنس در همه چاه‌های یاد شده و تعیین زون زیستی *Pachyphloia-Globivalvulina-Hemigordius Assemblage Zone* به مدیریت وردین؟ تا کپیتانین انجامید. همچنین در بررسی رخساره‌ها ۱۱ ریزرخساره کربناته-تبخیری که در ۵ محیط (سبخا، کشتندی (جزر و مدی)، لاگون، پشته‌های کربناته زیر آبی و دریای باز) گسترش یافته‌اند، در چاه E شناسایی شد. بر اساس الگوی برانبارش رخساره‌ها و روند تغییرات نمودار پرتو گاما، دو سکانس رسوبی پیش‌رونده-پس‌رونده (T-R) رده سوم تعیین شد. این دو سکانس با سکانس‌های واحدهای مخزنی سازندهای هم‌ارز در جنوب و خاور حوضه تپیس شامل عربستان، عمان، امارات، عراق و جنوب چین مطابقت دارند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

چینه‌نگاری زیستی

چینه‌نگاری سکانسی

محیط رسوبی

دالان پایینی

نار

خلیج فارس

۱- پیش‌نویس

روی سازند فراقان (پرمین زیرین) و با ناپیوستگی هم‌شیب در زیر سازند کنگان (تریاس زیرین) قرار دارد (Szabo and Kheradpir, 1978). سنگ‌شناسی این سازند دربرگیرنده سه بخش کربناته زیرین به همراه با کانی‌های تبخیری، عضو نار و کربناته بالایی است (باغبانی، ۱۳۶۹؛ مطیعی، ۱۳۷۲). تعیین سن فواصل چینه‌ای عضو پایینی و بالایی سازند دالان براساس گسترش زمانی مجموعه‌های جانوری و گیاهی شاخص صورت گرفته و بدین ترتیب قدمت نهشته‌های عضو پایینی دالان (Lower Dalan)، وردین (Wordian) تا کپیتانین (Capitanian) و عضو نار (Nar) بخش بالایی کپیتانین

مطالعه نهشته‌های کربناته در ایران به دلیل برداشتن حدود ۸۵ درصد از ذخایر نفت و ۹۰ درصد از ذخایر گاز، دارای اهمیت زیادی است. سازند دالان (Dalan Formation) از گروه دهرم (Dehram Group) قدیمی‌ترین مخزن کربناته گازی ایران در مناطق جنوب و جنوب باختر ایران در حوضه‌های زاگرس و خلیج فارس به شمار می‌آید (اسداله‌ی شاد و همکاران، ۱۴۰۱؛ Taheri and Hadaddi, 2020). این سازند به‌طور عمده از کربنات‌های کم‌ژرفای دریایی متوسط لایه به شدت دولومیتی شده و لایه‌های ظریف همراه با ترکیبات تبخیری تشکیل شده که به صورت پیوسته و تدریجی بر

* نویسنده مسئول: بیژن بیرانوند؛ E-mail: biranvandb@ripi.ir

ماخذنگاری:

رضوان نیا، ف.، مصدق، ح.، بیرانوند، ب.، توکلی، و.، نسل، گ. پ. و یحیایی، ا.، ۱۴۰۳، چینه‌نگاری زیستی و سکانسی نهشته‌های گوادالوپین سازند دالان در خاور کمان قطر - فارس، خلیج فارس. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۴(۲)، ۱۳۲-۱. <https://doi.org/10.22071/gsj.2024.417435.2116>

doi: 10.22071/gsj.2024.417435.2116

doi: 20.1001.1.10237429.1403.34.2.1.7

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/>)

Al-Husseini, 2000; Konert *et al.*, 2001; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-) در برابرنده سه واحد اصلی K5، K4، K3 است (شکل ۱)، واحد مخزنی K5 به عضو پایینی سازند دالان اختصاص دارد و عضو نار حذفاصل بین این واحدها می‌باشد (Insalaco *et al.*, 2006; Koehrer *et al.*, 2010; Al-Husseini and Koehrer, 2013;) این مجموعه معادل بخش زیرین سازند خوف (Khuff) در عربستان و عمان، واحدهای مخزنی (KS5-KS7) سازند سودیر (Sudair) در عمان و عربستان، قسمت پایینی سازند سایق (Saiq) در عمان، سازند شیا الزایری (Chia Zairi) در عراق و سازند بیه (Bih) در امارات است (Baghbani, 2014; Walz *et al.*, 2013; Forke *et al.*, 2009). مطالعات بر تعدادی از منظر چینه‌نگاری رسوبی، زیستی، سکانسی و کیفیت مخزنی بر روی واحدهای K4 و K3 انجام شده است، اما بر روی واحد K5 به ویژه در خلیج فارس به دلایلی مانند عدم حفاری عمیق در برخی میدان‌ها یا شرایط دیاژنتیک شدید و کیفیت نامطلوب مخزنی، مطالعات کمتری انجام گرفته است. با این وجود، تطابق داده‌های چینه‌نگاری این حوضه با سایر مطالعات انجام شده در جنوب خلیج فارس در ایجاد همبستگی چینه‌ای این منطقه با سایر نقاط در حوضه خلیج فارس، پیش بینی مخزن، شناسایی تله‌های چینه‌شناسی در مناطقی با داده‌های محدود، نقش مهمی خواهد داشت. ضمن آن که با توجه به شواهد مخزنی و وجود لکه‌های هیدروکربن در مقاطع مورد بررسی و گزارش‌های موجود این امکان وجود دارد که عضو زیرین سازند دالان، با توجه به کیفیت مخزنی در برخی مناطق، سنگ مخزن مناسبی برای منابع هیدروکربن چینه‌های قدیمی تری باشد که به سمت بالا مهاجرت نموده‌اند (Saber *et al.*, 2019). در این صورت مطالعات بیشتر در سایر مناطق خلیج فارس، مبنای اهداف اکتشافی جدیدی مانند تطابق دقیق تر چاه‌ها، شناسایی تله‌های چینه‌ای و مخازن هیدروکربنی قرار خواهد گرفت و هدف این مطالعه نیز برداشتن گامی در این راستا بوده است. خلیج فارس در حاشیه خاوری صفحه عربی بین عرض‌های جغرافیایی ۲۰ تا ۳۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ تا ۵۷ درجه خاوری واقع شده است (شکل ۲). پیش‌بوم خلیج فارس از زمان میوسن پایینی - پلیوسن و در بخش پیشین چین‌خوردگی‌های مربوط به پیش‌روی کوه‌زایی زاگرس توسعه یافته است. روند این چین‌خوردگی در جهت خلیج فارس به‌طور عمده به سمت شمال خاوری (نزدیک سواحل ایران) محدود می‌شود (Orang *et al.*, 2018). مهم‌ترین پدیده‌های زمین‌ساختی پرمین میانی - تریاس بسته شدن تیتیس کهن و آغاز باز شدن تیتیس جوان می‌باشد، خلیج فارس در زمان پرمین میانی - ژوراسیک آغازی در حاشیه غیرفعال زمین‌ساختی ورقه عربی قرار داشته است (Zigler, 2001; Sharland *et al.*, 2001). آنچه از شرایط زمین‌ساختی موثر بر شرایط خلیج فارس در طی پرمین بالایی - تریاس به نظر می‌رسد، استقرار شرایط پایدار در حاشیه شمالی صفحه عربی است که به گسترش یک سکوی (رِمپ) کربناته هم‌کلینال در این زمان در حاشیه یک دریای کم‌ژرفای قاره‌ای (اپیریک) انجامیده است (لطف پور و همکاران، ۱۳۸۵). حوضه خلیج فارس و نواحی مجاور آن از زمان پروتروزوییک تحت تاثیر گسل‌های پی‌سنگ با سه روند اصلی NW-SE و N-S، NE-SW قرار گرفته است. قدیمی‌ترین روند گسلش در این حوضه در جهت N-S است که در بالا آمدگی کمان قطر - فارس نقش دارد (فتوت و همکاران، ۱۳۹۰). کمان قطر - فارس با عرض بیش از ۱۰۰ کیلومتر و طول ۳۰۰ کیلومتر، با روند شمال/شمال خاور - جنوب/جنوب باختر از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌ساختی ورقه عربی است که ابرحوضه خلیج فارس را به دو زیر حوضه خاوری و باختری تقسیم می‌کند، و بالا آمدگی آن حدود ۱۵۰ کیلومتر در خلیج فارس برنورد یافته است. این بالا آمدگی زمین‌ساختی بر ساختارهای رسوبی این ناحیه در پالئوزوییک موثر بوده است. هیچ شاهدهی از رسوب‌گذاری سری هرمز (پرکامبرین بالایی - کامبرین پایینی) بر روی بلندی قدیمی کمان قطر - فارس و تاقدیس‌های مجاور آن دیده نشده، اما این رسوبات در بین این بالا آمدگی‌ها وجود دارند

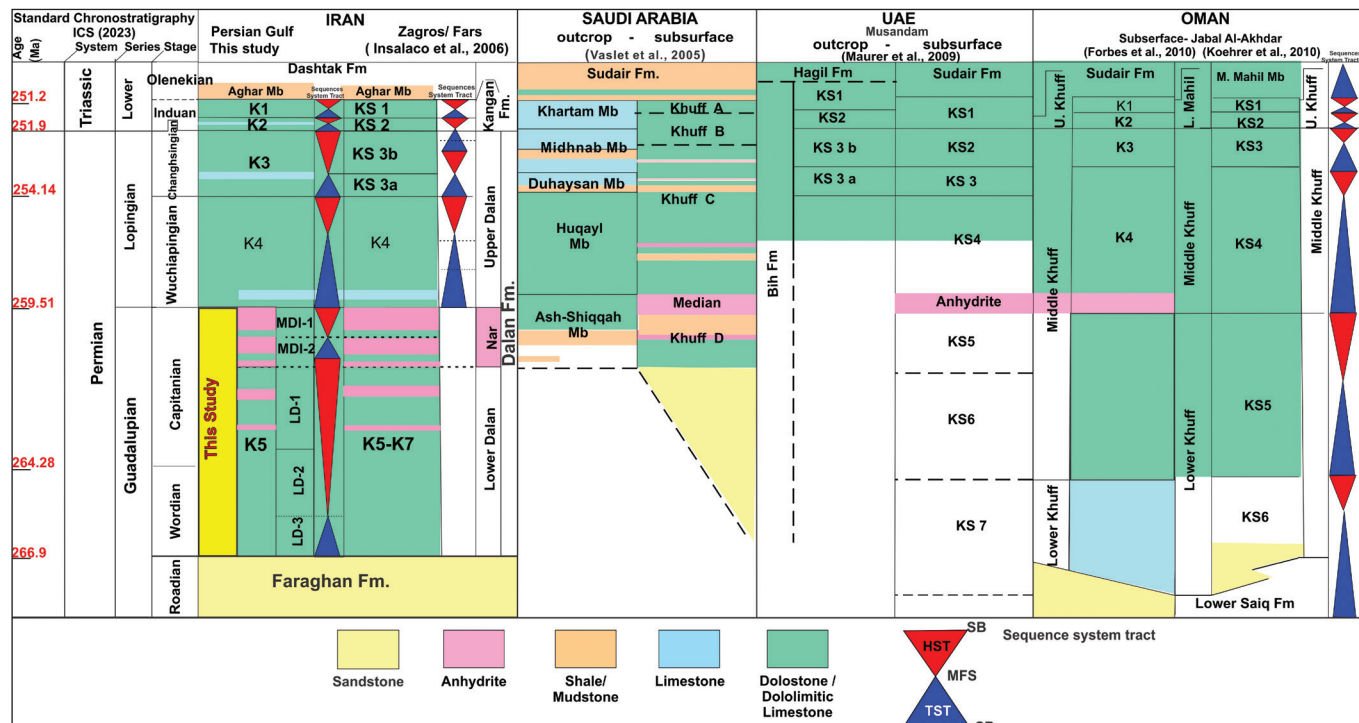
موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه با مساحتی حدود ۳۵۰۰۰ کیلومتر مربع از سمت شمال به خط ساحلی بوشهر و از خاور به استان هرمزگان محدود می‌شود. این منطقه بین عرض‌های شمالی ۲۶ تا ۲۷ درجه و طول‌های خاوری ۵۲ تا ۵۵ درجه در خاور کمان قطر - فارس قرار گرفته است و شامل ۴ حلقه چاه E، D، A، G است که در حفاری به عمق عضو پایینی سازند دالان رسیده‌اند (شکل ۲).

ستبرای کلی عضو پایینی سازند دالان در چاه‌های هدف ۱۲۴۲ متر و ستبرای کلی عضو نار در این چاه‌ها ۱۱۶۰ متر برآورد شده است که ستبراهای تفکیک مشخص شده‌اند (جدول ۱). چاه A بر روی یال خاوری بلندی قدیمی (Paleo high) پارس جنوبی واقع شده است که در ادامه امتداد روند بالا آمدگی ساختار کمان قطر - فارس شکل گرفته است، و چاه D بر گنبد نمکی مدفون حاصل از زمین‌ساخت نمک سری هرمز واقع شده است. فعالیت دیاپیرسم نمک به نازک‌شدگی لایه‌های نهشته‌های مربوط به پالئوزوییک در راس این گنبد نمکی انجامیده است (جهانی، ۱۳۹۰؛ Zigler, 2001; Jahani *et al.*, 2009).

۲- روش پژوهش

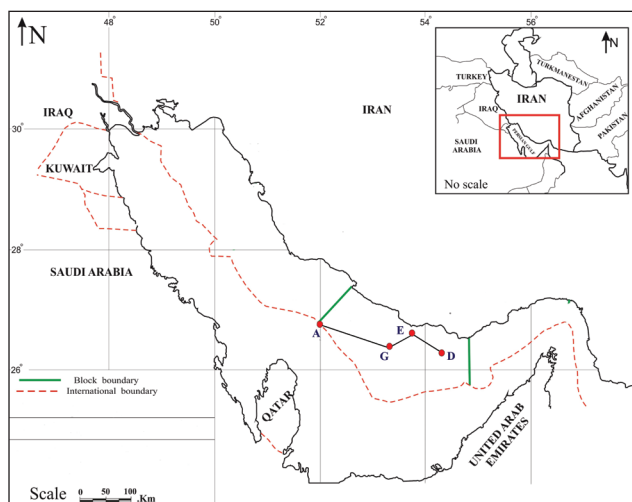
این پژوهش با مشاهده ۳۴۰ مقطع نازک مربوط به عضو دالان پایینی و عضو نار از چاه E که برخی مقاطع آن با آلزارین قرمز (Alizarin Red) رنگ‌آمیزی شده‌اند، مربوط به خرده‌های حفاری، داده‌های به دست آمده از لاگ‌های چاه‌نگاری مانند طیف‌سنجی پرتوگاما (GR)، تخلخل (NPHI) و چگالی (RHOB) در تمام چاه‌ها، گزارش‌های ارزیابی پتروفیزیکی نظیر پهنه‌بندی مخزنی، بررسی داده‌های در دسترس از گزارش‌های منتشر نشده پژوهشگاه صنعت نفت بر روی چاه‌ها و میداین منطقه مورد مطالعه، انجام شده است. تفسیر چینه‌نگاری سکانسی، انطباق لاگ‌ها و ساخت نمودار فیلتر خطای پرتوگاما (INPEFA) با نرم‌افزار سیکلولاگ (Cycloglog) انجام شده و مرزهای توالی (SB) و بیشینه غرقایی (MFS) با در نظر گرفتن رخساره‌های سنگی و زیستی و بر اساس روند تغییرات مقادیر نمودار پرتوگاما (Gamma ray log) و نمودار INPEFA گاما تعیین شده‌اند. فواصل نمونه‌گیری از خرده‌های حفاری ۲ متر بوده که این فواصل در مرز افق‌های سنگی و یا تغییرات رخساره‌ای شاخص برای دقت بیشتر، کاهش یافته و مقاطع نازک بیشتری تهیه شده‌اند. مقاطع نازک در سایر چاه‌ها به صورت مستقیم دردسترس نبوده و داده‌های مورد نیاز از نتایج گزارش‌های داخلی و منتشر نشده پژوهشگاه صنعت نفت استخراج شده‌اند. در این میان، اطلاعات مربوط به فسیل‌شناسی و ریز رخساره‌های چاه G از گزارشی استخراج شده که بر بررسی مقاطع نازک تهیه شده از ۲۰۰ متر مغزه حفاری، به صورت پیوسته در مرزهای سنگی دالان پایینی - فراکان، دالان پایینی - نار و نار - دالان بالایی استوار بوده است، محدوده مغزه‌ها در شکل ۴ مشخص شده است. تعیین خطوط زمانی و توالی‌های T-R در چاه‌های مختلف با هم تطابق داده شده‌اند. در شناسایی و دسته‌بندی سنگ‌ها از روش دانهام (Dunham, 1962) و در توصیف رخساره‌ها از شیوه فلوگل (Flugel, 2010) و

در شناسایی روزن‌بران از مطالعات واچارد (Vachard *et al.*, 2005) و در تعیین تعاریف کتونینانو (Catuneanu, 2006) استفاده شده است. (Posamentier and Allen, 1999) و (Hunt and Tucker, 1995)، پزامنتیر و آلن



شکل ۱ - گستره سنگی و سکانس‌های رده سوم واحدهای مخزنی سازند کنگان و سازند دالان (در این مطالعه) و تطابق با سازندهای هم‌ارز در عربستان سعودی، عراق، امارات، عمان (Forke *et al.*, 2012; Insalaco *et al.*, 2006; Richoz *et al.*, 2010; Knaus t, 2014 ; Al-Hussein and Koehrer , 2013 and Cohen *et al.*, 2023 ICS chart) با تغییرات.

Figure1. The lithology and 3rd order sequences of equivalent reservoir units of the Dalan and Kangan Formations correspond to the comparable formations in Iraq, Saudi Arabia, the UAE, and Oman (modified from Knaust, 2014; Forke *et al.*, 2012; Insalaco *et al.*, 2006; Richoz *et al.*, 2010, Al-Hussein and Koehrer, 2013 and Cohen *et al.*, 2023 ICS chart) .



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه و میادین مورد مطالعه (اقتباس از نقشه میادین نفت و گاز شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۰ با تغییرات).

Figure 2. Regional map and the studied fields (Adapted from the National Iranian Oil Company maps of oil and gas fields, 2014, with changes)

۳- داده‌ها و اطلاعات

۳-۱- چینه‌نگاری

متوسط شامل ۷۰٪ دولومیت و ۳۰٪ سنگ آهک است. رخساره LDI-2 تقریباً شامل ۶۰٪ انیدریت و ۴۰٪ شیل و رخساره LDI-3 دربرگیرنده ۷۰٪ دولومیت و ۳۰٪ سنگ آهک است. عضو نار شامل تناوب انیدریت با فواصل دولومیکرایتی نازک است. انیدریت عموماً به صورت توده‌ای با بافت موزاییکی و موزاییک گره‌دار وجود دارد. رخساره‌های سنگی شامل دولوگرینستون‌های پلوییدی، پکستون و مادستون دولومیتی هستند. این رخساره رسوبی نمایانگر محیط سبخا، شورابه‌های کم‌ژرفای ساحلی و تالاب‌های فوق‌شور تا ژرفای ۵ تا ۱۰ متر با سیلاب‌هایی بوده که گهگاه منجر به نهشته‌شدن کربنات شده و نهایتاً تا لاگون محصور در پشت پشته‌های زیر دریایی گسترش داشته است (Insalaco, 2006). عضو نار از فارس به سمت زاگرس مرتفع ابتدا به سنگ آهک تبخیری و سپس به لایه‌های کربناتی تغییر رخساره می‌دهد (آقنابتی، ۱۳۸۵). این بخش به ۲ رخساره MDI-1 و MDI-2 تفکیک می‌گردد، که رخساره MDI-1 در زیر دالان بالایی قرار گرفته و شامل ۶۰٪ انیدریت و ۴۰٪ دولومیت است و در پی آن رخساره MDI-2 در نهشته شده که از ۵۰٪ دولومیت، ۳۰٪ سنگ آهک و ۲۰٪ انیدریت تشکیل شده است (جدول ۱).

نام سازند دالان برگرفته از تاق‌دیس دالان بوده (علوی نائینی، ۱۳۸۸) و نشانگر رخساره‌های کربناتی ردیف‌های پرمین بالایی زاگرس است. برش الگوی این سازند با ستبرای ۷۴۸ متر تحت‌الارضی بوده و در چاه شماره یک کوه سیاه تعریف شده است. بهترین رخنمون سطحی آن با ۶۳۸ متر ستبرای در کوه سورمه (۱۱۰ کیلومتری جنوب-جنوب باختری شیراز) برونزد دارد (آقنابتی، ۱۳۸۵). عضو پایینی سازند دالان مخزن خوبی برای هیدروکربن‌های تولید شده از سنگ متشا سازند سرچاهان (اوایل سیلورین) است که به سمت بالا مهاجرت کرده و در واحدهای جوان‌تر انباشته شده و توسط عضو نار پوشش یافته است (Saberi et al., 2019). نهشته‌های این بخش از سازند به‌طور چیره از سنگ آهک و دولومیت، و کستون-پکستون‌های گاهی میکرایتی شده و گرینستون‌های آلیتی تشکیل شده است. شرایط کم‌ژرفای دریایی تا کشندی (جزر و مدی) امکان تشکیل این نهشته‌ها را فراهم می‌کند. این بخش به ۳ رخساره مجزا LDI-1، LDI-2 و LDI-3 قابل تفکیک است، رخساره LDI-1 قسمت بالایی نهشته‌ها را شامل شده و در زیر عضو نار قرار گرفته است. این رخساره به طور

جدول ۱- ستبرای واحدهای سنگی و درصد تقریبی کانی‌های تشکیل‌دهنده آنها در میادین مورد مطالعه.

Table 1. The thickness of rock units and the approximate percentage of their constituent minerals in the studied fields.

Field	Thickness (m)			Lithology Mineral (%)	
	Lower Dalan	Nar	Total	Lower Dalan	Nar
A	238	252	490	Dolomite, Limestone, Anhydrite, Shale (60, 25, 12, 3)	Dolomite, Anhydrite (50, 50)
D	200	128	328	Dolomite, Limestone, Shale (85, 20, 5)	Dolomite, Limestone, Anhydrite, Shale (90, 6, 3, 1)
E	290	246	536	Dolomite, Limestone, Shale (50, 30, 20)	Dolomite, Limestone, Anhydrite (60, 30, 10)
G	261	257	518	Dolomite, Anhydrite, Shale (70, 27, 3)	Dolomite, Anhydrite, Shale, Limestone (40, 45, 5, 10)
Total	1242	1160	2402		

یافته‌اند (Arefifard and Payne, 2020). نهشته‌های عضو پایینی دالان و عضو نار دربرگیرنده روزن‌بران کوچک به‌ندرت فوزولینیدی و جلبک می‌باشد. بررسی‌های جامع باغبانی (باغبانی، ۱۳۷۲، ۱۳۷۵، ۱۹۸۸، ۱۹۹۳، ۱۹۸۱، Baghbani)، در نواحی مختلف زاگرس و آباد (شکل ۳ و ۴) گویای آن است که عضو کربناتی پایین دارای ۳ زون زیستی در بازه زمانی گوادالوپین است که عبارتند از: *Neoendothyra Zone*، *Eoverbeekina sp.1 Zone*، *Eopolydixodina Zone*

عضو نار نیز با در برداشتن ۳ زون زیستی به بازه زمانی کیتانین بالایی تعلق دارد *Discospirella Zone*، *Kahlerina-Globivalvolina sp.1 Zone*، *(Paraglobivalvolina) Zone*. البته جنس *Discospirella* امروز به *Okimurites* تغییر نام یافته است (Shahinfar et al., 2020). همچنین شاهین‌فر و همکاران (Shahinfar et al., 2020) ضمن مطالعه روزن‌بران وردین بالایی، کیتانین و ووچیاپینگین دره همبست در منطقه آباد فارس نیز ۳ زون زیستی شاخص به ترتیب برای وردین بالایی- کیتانین پایینی، کیتانین بالایی و بالاترین حد کیتانین (مرز گوادالوپین- لوپینگین) به شرح زیر معرفی کرده‌اند:

دوره پرمین یادآور رخداد بحران زیستی مهم و بزرگ‌ترین و گسترده‌ترین حادثه انقراض زیستی دوران فانروزویک است. این حادثه در دو مرحله رخ داده است، مرحله نخست در مرز گوادالوپین- لوپینگین (Lopingian) (۲۱/۰ ± ۲۵۱/۵۹ میلیون سال پیش) و مرحله دوم در انتهای چنگسینگین (Changhsingian) در مرز پرمین- تریاس (۲/۰ ± ۲۵۱/۹ میلیون سال پیش) که به فقدان بیش از ۹۰٪ از گونه‌های زیست‌مندان دریازی انجامیده است (Liu et al., 2020; Hua et al., 2023). محتمل‌ترین عامل این انقراض، فوران‌های گسترده در ایالت آتشفشانی سیری، گرمایش جهانی، کاهش میزان کربن و اکسیژن و تغییرات شیمی آب به پیروی از آن است. تغییرات ساختاری در پوسته روزن‌بران و نحوه پیچش و راهبردهای تغذیه پاسخ به این تغییرات است (Shen et al., 2022; Li et al., 2022; Kaiho et al., 2023; Peng and Li, 2023). عارفی‌فرد و شاهین‌فر، (۱۴۰۰). انقراض روزن‌بران بزرگ (آخرین فوزولینید با دیواره کریوتکا) در انتهای گوادالوپین رخ داده و روزن‌بران فوزولینیدی کوچک به لوپینگین و آشکوب ووچیاپینگین (Wuchiapingian) راه

نهشته‌های عضو پایینی سازند دالان و عضو نار در چاه میدان E به شناسایی تعداد محدودی از جنس و گونه‌ها انجامیده، زیرا اثر دیاژنز در تخریب شاخص‌های مهم پوسته مانع شناسایی کامل تمام گونه‌ها شده است. با این حال، عناصر زیستی شناسایی شده در میان نهشته‌های عضو پایینی دالان در این چاه به شرح زیر هستند:

از جلبک‌های سبز *Mizzia* sp. فراوان است و روزن‌بران شناسایی شده عبارتند از: *Tuberitina* sp., *Palaeotextularia* sp., *Langella* sp., *Pachyphloia* spp., *Geinitzina* spp., *Earlandia* sp., *Langella acantha*, *Geinitzina longa*, *Geinitzina* sp., *Pseudoammodiscus* sp1, *Pseudoammodiscus* sp2.

و عضو نار نیز شامل روزن‌بران: *Nummulostegina* sp., *Globivalvulina biserialis*, *Hemigordius* spp., *Nankinella* sp., *Archaeodiscus* sp., *Globivalvulina* sp., *Hemigordius irregulariformis*

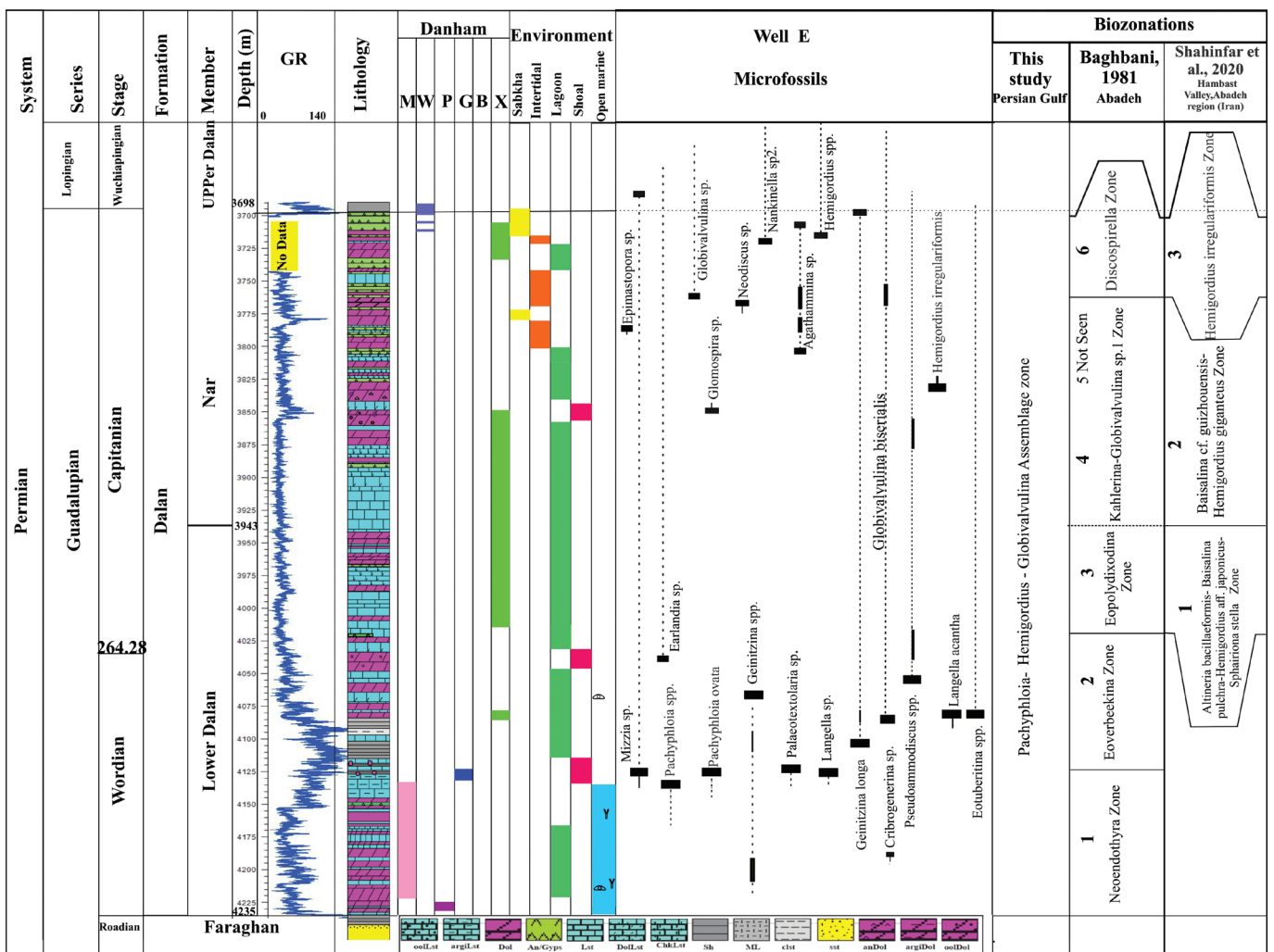
و جلبک‌های *Epimastoporella* sp., *Mizzia* sp. است. با بررسی کلی زیای روزن‌بران در نهشته‌های دو عضو مورد مطالعه، زون تجمعی *Pachyphloia-Globivalvulina-Hemigordius Assemblage Zone* برای محدوده مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد. محدوده گسترش این زون تجمعی در انطباق با زیست‌زون‌های باغبانی (باغبانی، ۱۳۷۲؛ Baghbani, 1993) و شاهین‌فر و همکاران (Shahinfar *et al.*, 2020) در شکل ۳ نشان داده شده است.

Altinera bacillaeformis-*Baisalina pulchra*- *Hemigordius* aff. *japonicus*-*Sphairionia stellata* Zone, *Baisalina* cf. *guzhouensis*-*Hemigordius giganteus* Zone, *Hemigordius irregulariformis* Zone.

گستره زمانی زیست‌زون‌های نام‌برده در شکل ۳ درج شده است.

۲-۳- بررسی زیست‌چینه‌ای

تأثیر فرایندهای دیاژنتیک و تشکیل دولومیت غالباً به تخریب ساختارهای بیرونی و درونی فسیل‌های روزن‌بران و جلبک‌های موجود در نهشته‌های آهکی انجامیده و شناسایی فسیل‌ها را با دشواری روبه‌رو ساخته است. در این مطالعه، با توجه به فقدان برداشت سامانه‌مند نمونه و مقطع گیری از نمونه‌های خرده حفاری، همچنین با در نظر گرفتن شرایط دیاژنزی حاکم بر نهشته‌ها، از مطالعه مستقیم ۳۴۰ مقطع نازک مربوط به دالان پایینی و نار در چاه E تعداد ۲۰ گونه متعلق به ۱۴ جنس روزن‌بران شناسایی شده و با بررسی گزارش‌های داخلی موجود در پژوهشگاه صنعت نفت در مورد روزن‌بران موجود در چاه‌های A, B, D و G در مجموع ۶۵ گونه متعلق به ۲۵ جنس از روزن‌بران معرفی می‌گردند. تصاویر برخی از فسیل‌ها در صفحه اطلس روزن‌بران (Foraminifer Plate) درج شده است. حضور روزن‌بران و مجموعه زیست‌مندان همراه آنها و به تفکیک چاه‌های مورد مطالعه در ادامه ذکر می‌گردد. مشاهده مقاطع نازک تهیه شده از

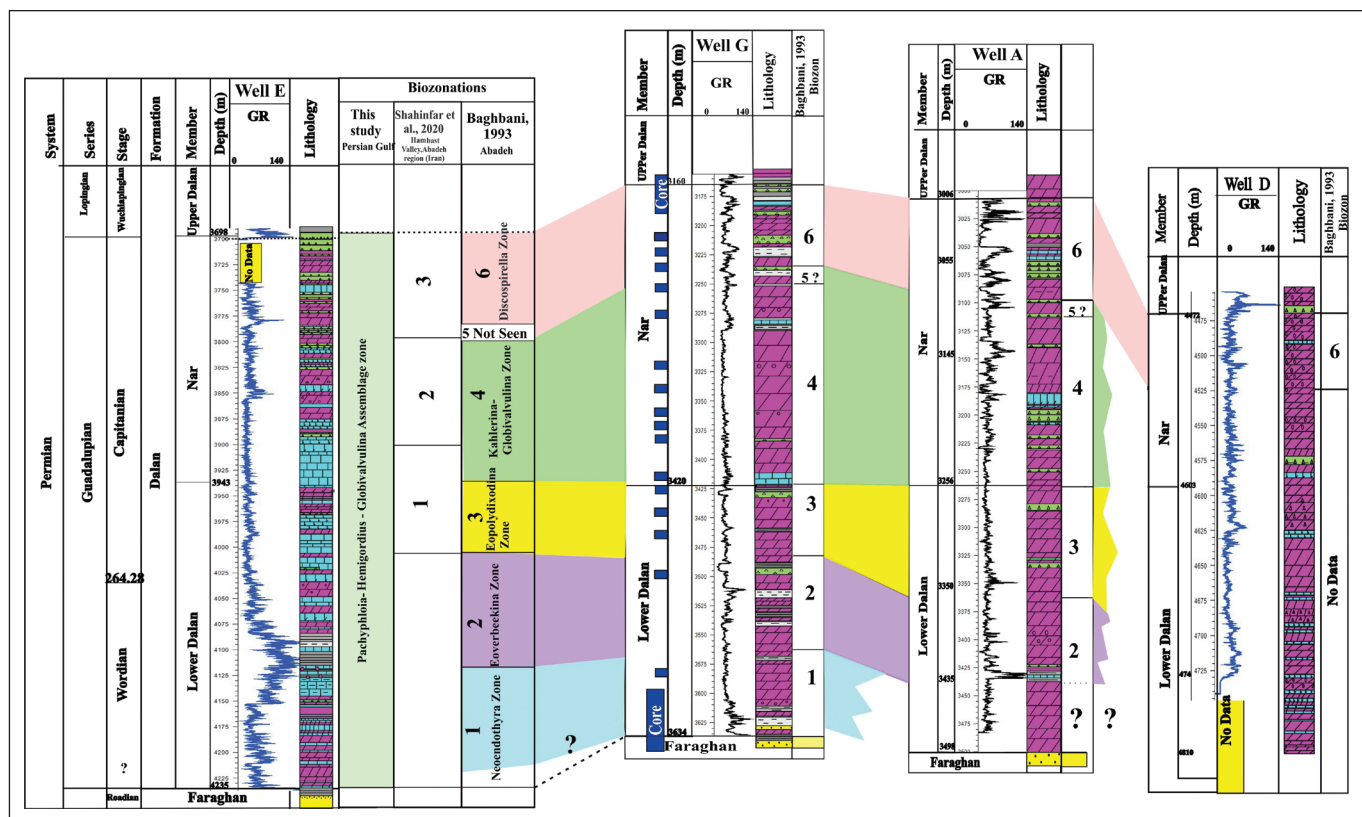


شکل ۳- ستون سنگ‌شناسی، گستره روزن‌بران شناسایی شده و تطابق زیست‌زون‌های عضوهای پایینی دالان و نار در چاه E در منطقه مورد مطالعه با زیست‌زون‌های رخنمون‌های منطقه آباده (Shahinfar *et al.*, 2020; Baghbani, 1993).

Figure 3. The lithology, facies and range of fossils in well E and the correlation of Wordin? -Capitanian biozones in the studied well deposits with those in the outcrops of Abadeh region (Baghbani, 1993 and Shahinfar *et al.*, 2020).

sp., *Hemigordius* sp., *Climacammina* sp., *Geinitzina postcarbonica*, *Pachyphloia cukurkoyi*, *Agathammina* sp., *Gymnocodium* sp., *Vermiporella nipponica*, *Mizzia velebitana*, *Mizzia* sp. و عضو نار در چاه G در برگیرنده فسیل‌های زیر است: *Globivalvulia* sp., *Glomospirella* sp., *Schwagerina* sp. *Agathammina* sp., *Gymnocodium* cf. *aggregatum*, *Permocalculus* sp., *Gymnocodium* sp. محدوده حضور زیادی روزن‌بران در چاه G به واسطه نمونه‌برداری پیوسته مغزه در مرزهای سنگ چینه‌ای در عضو نار و دالان پایینی مشخص شده است. گستره زیست‌زون معرفی شده در چاه‌های مختلف با محدوده زیست‌زون‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ باغبانی (Baghbani, 1993) مقایسه شده است (شکل ۴). صرف نظر از فقدان برخی جنس و گونه‌ها، یا عدم موفقیت در شناسایی کامل تمام روزن‌بران موجود در مقاطع نازک، می‌توان گونه‌های شناسایی شده در چاه E را با سایر مطالعات انجام شده در حوضه زاگرس مقایسه نمود. حضور گونه‌های *Pseudoammodiscus* spp.1 در ژرفای ۴۰۲۵-۴۱۰۰ متری در نهشته‌های دالان پایینی چاه E را می‌توان به آشکوب وردین؟ (Nestell and Nestell, 2006; Altiner and Payne, 2017; Pronina, 1990) و حضور گونه *Hemigordius irregulariformis* در ژرفای ۳۸۲۰ متر، متعلق به نهشته‌های عضو نار، را می‌توان بر اساس زیست‌زون شماره ۳ شاهین‌فر و همکاران (Shahinfar et al., 2020) به بخش بالایی کیتانین نسبت داد.

همچنین، عناصر زیستی موجود چاه‌های A، D و G به شرح پالئولاگ‌های این چاه‌ها (گزارش‌های منتشر نشده پژوهشگاه صنعت نفت) به ترتیب عبارتند از: - در چاه A در عضو پایینی سازند دالان حضور روزن‌بران زیر گزارش شده است: *Eotuberitina* spp., *Hemigordius* spp., *Langella* spp., *Pachyphloia* sp., *Ammodiscus* sp. و در عضو نار در چاه A همراه با اجتماعات اسکلتی بی مهرگان و جلبک *Mizzia velebitana*، روزن‌بران زیر حضور دارند: *Globivalvulina biserialis*, *Okimurites (Discospirella)?* sp., *Geinitzina* spp. - روزن‌بران همراه با جلبک‌های سبز عضو پایینی دالان در چاه D عبارتند از: *Hemigordius* spp., *Geinitzina* sp., *Everbeekina* sp., *Nummulostegina* sp., *Okimurites (Discospirella)?* sp., *Globivalvulina biserialis*, *Fronidina* sp., *Globivalvulina* sp., *Shanita* sp., *Mizzia velebitana* و در نهشته‌های عضو نار این چاه نیز روزن‌بران زیر گزارش شده‌اند: *Okimurites (Discospirella)?* sp., *Shanita* sp., *Everbeekina* sp., *Fronidina* sp., *Glomospira* spp. - در چاه میدان G روزن‌بران و جلبک‌های همراه خانواده‌های داسی‌کلاداسه (Dasycladaceae) و ژیمنو‌کودیاسه آ (Gymnocodiaceae) عضو پایینی دالان عبارتند از: *Pachyphloia* sp., *Globivalvulina bulloides*, *Cribrogenerina* sp., *Nankinella*



شکل ۴- تطابق گستره چینه‌نگاری و زیست‌چینه‌ای روزن‌بران چاه E با چاه‌های A، D و G بر اساس زیست‌زون‌های باغبانی (Baghbani, 1993).

Figure 4. Correspondence of the stratigraphic and biostratigraphic range of well E with A, D and G wells based on Baghbani biozones (Baghbani, 1993).

محیط لاگون (Lagoon) با دو ریزرخساره‌ی (MFL1,2) مشخص شده است. پشته‌های کربناته زیرآبی یا شول (Shoal) با ۳ ریزرخساره متعلق به بخش پشت به باد و به سمت لاگون پشته‌های زیرآبی، بخش مرکزی و بخش رو به دریای باز با عناوین (MFS1,2,3) و دریای باز (Open Marine) با ۳ ریزرخساره (MFO1,2,3) تعریف شده‌اند. رخساره‌های بخش زیرین سازند دالان و عضو نار (جدول ۲) معرف مناطقی از ساحل تا قسمت‌های ژرف‌تر سکوی کربناته هستند و شامل گروه رخساره‌های پهنه سبختا و کشندی (جزر و مدی)، لاگون، پشته‌های کربناته (شول) و دریای باز (شکل ۵) هستند که عبارتند از:

الف- ریزرخساره انیدریتی (MFT1): این ریز رخساره شامل بلورهای سوزنی تا تیغه‌ای انیدریت و ژپس بوده و در عضو نار در میادین A, E, D و G به‌طور متوسط ۵۰٪ نهشته‌ها را تشکیل می‌دهد (جدول ۱). این ریزرخساره در عضو پایینی دالان نیز مشاهده می‌شود. مکان تشکیل این رخساره در محل سبختاها و در موقعیت‌هایی است که میزان تبخیر بیش از بارش و آب‌های ورودی به حوضه بوده که به فوق‌اشباع شدن محلول‌های غنی از سولفات (Lucia, 2007) و فوت و همکاران، (۱۳۹۰) در برکه‌های ساحلی کم‌ژرفا و نهشته‌های تالاب بسیار شور انجامیده است (Teymourzadeh et al., 2014 and Rezavand et al., 2016). واحد نار در ناحیه خلیج فارس و بخش‌های وسیعی از سکوی عربی گسترش دارد. این ریزرخساره به سمت شمال خلیج فارس از گسترش کمتری برخوردار است (لطف پور و همکاران، ۱۳۸۴؛ Shinn, 1969). این ریزرخساره معادل ریزرخساره RMF25 فلوگل (Flugel, 2010) و مربوط به کمربند رخساره‌ای ۹ (FZ9) یا فضای تبخیری-سبختایی سکوی داخلی (Platform interior evaporitic or brackish) بر اساس ویلسون (Wilson, 1975) است.

ب- ریزرخساره مادستون دولومیتی دارای فابریک فنسترال (MFT2): این ریزرخساره از بلورهای ریز دولومیت و فابریک چشم‌پرنده‌ای (Fenestral fabric) تشکیل شده است. محل تشکیل این ریز رخساره محیط‌های میان‌کشندی و فراکشندی بوده و اندازه بسیار ریز بلورهای دولومیت در زمینه گل و همراهی آنها با رخساره‌های تبخیری، تشکیل آن‌ها را در محیط‌های سبختایی فوق‌شور و به دلیل تبخیر شدید نشان می‌دهد (اقتباس از تاکر و وایت- Tucker and Wright, 1990). فابریک چشم‌پرنده‌ای در رخساره مورد نظر ممکن است به دلایل آلی (حباب‌های گاز تولید شده بر اثر پوسیدگی زیست‌مندان، باروتینگ) و یا غیرآلی (خشک‌شدگی، شسته‌شدن انیدریت) تشکیل شود (Flugel, 2010). ریزرخساره یاد شده معادل ریزرخساره RMF22 فلوگل (Flugel, 2010) است و می‌تواند در کمربند رخساره‌ای ۹ (FZ9) ویلسون (Wilson, 1975) تشکیل گردد. این ریزرخساره در میدان گازی گلشن در قسمت‌های مرکزی خلیج فارس معرفی شده است (عبدالمالکی و همکاران، ۱۳۹۲).

پ- ریز رخساره باندستون استروماتولیتی (MFT3): این ریز رخساره از تناوب لامینه‌های تیره و روشن و به صورت نوارهای ساده یا موج دارای فابریک چشم‌پرنده تشکیل شده است. محل تشکیل این ریزرخساره بخش‌های بالایی محیط‌های میان‌کشندی (Upper Intertidal) است (Shinn, 1969; Flugel, 2010). این ریزرخساره معادل ریز رخساره RMF21 فلوگل (Flugel, 2010) است و در کمربند رخساره ای ۹ (FZ9) ویلسون (Wilson, 1975) تشکیل می‌گردد. وجود انیدریت و پرشدگی حفرات به‌ویژه در عضو نار نشان‌دهنده خروج موقت رخساره یاد شده از آب است (لطف پور و همکاران، ۱۳۸۴).

ت- رخساره مادستون / وکستون بایوکلاستی (MFL1): این ریزرخساره دربرگیرنده گل آهکی با آثار آشفستگی زیستی به همراه پلویید و تنوع کم زیست‌مندان مانند حضور کم روزن‌بران پوسته تیره، مانند *Agathammina* sp. است. با افزایش

گونه‌های شناسایی شده در چاه E با روزن‌بران همراه زیست‌زون‌های *Eopolydiexodina* Zone و *Neoendothyra* Zone, *Eoverbeekina* sp.1 Zone در نهشته‌های دالان پایینی و زون‌های زیستی *Kahlerina- Globivalvolina* sp. Zone (باغبانی، ۱۳۷۲؛ Baghbani, 1993) در نهشته‌های عضو نار قابل انطباق هستند. افزون بر این، روزن‌بران این نهشته‌ها در عضو کربناتی پایینی دالان و نار مشابه زیست‌زون‌های *Altineria bacillaeformis-Baisalina* Zone و *Baisalina* و *pulchra- Hemigordius* aff. *japonicus-Sphairionia stellata* Zone در *cf. guizhouensis-Hemigordius giganteus* Zone زیست‌زون *Hemigordius irregulariformis* Zone متعلق به بالاترین بخش کپیتانین در عضو نار هستند (Shahinfar et al., 2020). براین اساس، برای توالی سنگ‌چینه‌ای این دو عضو سازند دالان در منطقه مورد مطالعه بازه زمانی وردین؟- کپیتانین از سری گوادالوپین پیشنهاد می‌گردد (شکل ۳). گستره زیست‌زون‌های باغبانی در چاه‌های A, G و D با استفاده از پالئولاگ‌های مربوط به هر چاه (گزارشات منتشر نشده پژوهشگاه صنعت نفت) با روزن‌بران همراه زیست‌زون‌های معرفی شده توسط باغبانی (Baghbani, 1993) و باغبانی، (۱۳۷۲) مقایسه و تطبیق داده شده‌اند (شکل ۴). زیست‌زون شماره ۵ باغبانی (*Paraglobivalvulina* Zone) در چاه E در محدوده عضو نار مشاهده نشد اما بالای مرز سنگ‌چینه‌ای نار و در نهشته‌های عضو بالایی دالان گونه‌های متعلق به جنس *Paraglobivalvulina* دیده می‌شوند. در چاه‌های A, D و G نیز از وجود روزن‌بران شاخص این زیست‌زون در محدوده زمانی گوادالوپین گزارشی موجود نیست که ممکن است دلایلی مانند محدودیت‌های موجود برای شناسایی فسیل یا شرایط زیست‌محیطی موثر بر حیات گونه‌ها در این مساله دخیل بوده باشند. به طور قطع جهت تعیین مرز انتهای گوادالوپین و اثبات پدیده انقراض پایان آن، به نمونه‌برداری دقیق جهت دستیابی به شواهد محکم برای مشخص شدن آخرین حضور گونه‌های شاخص و اندازه‌گیری مقادیر ایزوتوپ کربن ($\delta^{13}C$) نیاز است (Wignall et al., 2012, Arefifard and Payne, 2020). در این مطالعه، صرفاً بر مبنای مستندات پژوهشگاه صنعت نفت و پالئولاگ‌های موجود، چنین برمی‌آید که در چاه‌های A, D و G به‌طور متوسط بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متردر زیر مرز نار-عضو بالایی دالان زبای روزن‌بران بزرگی مانند *Verbeekina* sp., *Schwagerina* sp., *Okimuraites* (*Discospirella*) sp. آن که در مقاطع نازک چاه E نشانی از روزن‌بران یاد شده در نهشته‌های دالان بالایی نیز مشاهده نشده، ممکن است این رخداد نشانی از پدیده انقراض؟ پایان گوادالوپین باشد که البته نیازمند بررسی دقیق بوده و جهت تعیین دقیق بازه زمانی نهشته‌های عضو زیرین سازند دالان و نار در بخش از ابرحوضه خلیج فارس، تامین داده‌های کمی و کیفی بیشتر مانند آنالیزهای ایزوتوپی ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$) پیشنهاد می‌گردد.

۳-۳- بررسی ریز رخساره‌ها

با مطالعه مقاطع نازک چاه E و بررسی منابع در دسترس مانند گزارش‌های داخلی پژوهشگاه صنعت نفت، ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی دالان پایینی و عضو نار تفکیک و شناسایی شدند. سنگ‌نگاری و شناسایی رخساره‌های رسوبی بر اساس طبقه‌بندی‌های دانهام (Dunham, 1962) و فلوگل (Flugel, 2010) انجام گرفت. بر این اساس، ۱۱ ریز رخساره معرفی می‌گردد که به ۵ کمربند رخساره‌ای سبختا، کشندی، لاگون، پشته‌های کربناتی زیر آبی و دریای باز نزدیک تعلق دارند. گروه‌های رخساره‌ای با کمربندهای رخساره‌ای استاندارد (FZ) ویلسون (Wilson, 1975) و ریزرخساره‌های شاخص سکوه‌های نوع رمپ (RMF) معرفی شده توسط فلوگل (Flugel, 2010) مقایسه شده‌اند (جدول ۲). حضور فراوان رخساره‌های گرینستونی بایوکلاستی و آئیدی گویای یک سکوی کربناته هموکلینال (Homoclinal) است (Tucker and Wright, 1990). در این میان، ریزرخساره (MFT1) به محیط سبختا و فراکشندی و دو ریزرخساره (MFT2,3) به پهنه کشندی (Tidal flat) تعلق دارند.

دریای باز پشته‌های کربناته زیر آبی به علت تخلخل بالا و ارتباط خوب فضاهای خالی به عنوان بهترین رخساره مخزنی دالان پایینی معرفی می‌شوند.

خ- ریز رخساره و کستون بایو کلاستی همراه با روزن‌بران کفزی (MFO1): این رخساره از روزن‌بران پوسته روشن مانند *Nodosaria sp.*، *Geinitzina sp.*، *Pachyphloia sp.* و *Hemigordius sp.* به همراه مقدار کمتری از روزن‌بران پوسته تیره مانند *Hemigordius sp.*، *Agathammina sp.* و قطعات پوسته شکم‌پایان و استراکدها همراه با جلبک‌های داسی کلازاسه (Dasycladacea) مانند *Mizzia sp.* و ژیمنوکودی‌آسه‌آ (Gymnocodiaceae) مانند *Gymnocodium sp.* تشکیل شده است. بر اساس فراوانی نسبی روزن‌بران دارای پوسته روشن، می‌توان محل تشکیل ریزرخساره یاد شده را بخش رو به دریای پشته‌های کربناته زیر آبی در آب‌های کم‌ژرفای دریایی با شوری معمولی در نظر گرفت (Madi et al., 2000; Rezavand et al., 2016). این ریزرخساره معادل RMF13 فلوگل (Flugel, 2010) بوده و در کمر بند رخساره‌ای ۵ (FZ5) ویلسون (Wilson, 1975) و در منطقه رمپ میانی (Flugel, 2010) تشکیل می‌گردد.

د- ریز رخساره پکستونی بایو کلاستی (MFO2): ویژگی این ریزرخساره که در ابتدای عضو دالان پایینی در چاه میدان E مشاهده می‌شود، در آمیختگی خرده‌های اسکلتی بازو پایان، دو کفه‌ای، استراکد، بریوزوئرو روزن‌بران کوچک پوسته هیالین همراه با نوعی جهت‌یافتگی خرده‌های اسکلتی است که احتمالاً نشانی از تغییر سطح انرژی محیط در محدوده زیر حد امواج در رمپ میانی است (مصدق، ۱۳۷۹؛ توکلی، ۱۳۹۸؛ Flugel, 2010).

ذ- ریز رخساره مادستون فسیل دار (MFO3): این ریز رخساره از گل آهکی به همراه خرده‌های اسکلتی ریز بی‌مهرگان مختلف و به مقدار بسیار کم روزن‌بران دریایی تشکیل شده است و با توجه به کاهش خرده‌های جلبک سبز و خرده‌های اسکلتی ریز زیست‌مندان دریایی، محل تشکیل این ریزرخساره را می‌توان در بخش ژرف تری نسبت به رخساره MFO1 با سطح انرژی کمتر در نظر گرفت. این ریزرخساره در بخش قاعده عضو پایینی سازند دالان در چاه E مشاهده و در چاه G گزارش شده است. این ریزرخساره در برخی مقاطع چاه E دارای لکه‌های هیدروکربنی است. ریزرخساره‌های محیط رمپ پهنه کشندی، لاگون و شول در تمام چاه‌ها و ریز رخساره‌های دریای باز در چاه‌های میادین E و G گسترش دارند.

۳-۴- محیط رسوبی

بررسی ارتباط جانی و عمودی رخساره‌ها، وجود رخساره‌های استروماتولیتی در خط ساحلی، فراوانی جلبک‌های سبز آهکی و روزن‌بران محیط لاگون، وجود رخساره‌های مربوط به محیط‌های پارانرژی مانند رخساره‌های آئیدی و عدم وجود رخساره‌های ریزی و مقایسه آنها با مدل‌های رخساره‌ای استاندارد (Flugel, 2010; Wilson, 1975)، نشان‌دهنده این است که مدل رسوب‌گذاری عضو پایینی سازند دالان در میادین مورد مطالعه معرف یک سکوی کربناته هم‌کلینال است. نهشته‌های عضو نار نیز با توجه به تکرار توالی رسوبی محیط سبخا، لاگون کم‌ژرفا با حجم بیشتری از رسوبات تبخیری در برخی چاه‌های میادین E، A و G گستره این توالی در رمپ داخلی را نشان می‌دهد (شکل ۶- a و b، c). ژرفای نهشته‌های این سکوی کربناته را می‌توان براساس حضور زیست‌مندان به تقریب تخمین زد. برخی ویژگی‌های زیستی روزن‌بران کفزی از جمله پارامترهای تعیین ژرفا به‌شمار می‌روند، به طور مثال *Tetrataxis* و *Climacammina* به روزن‌بران دیگر، جلبک‌ها یا مرجان‌ها می‌چسبند. این روزن‌بران احتمالاً در ژرفایی تا حدود ۱۰ متر و البته با توجه به ساختار دو لایه پوسته، در دریاچه‌های کم‌ژرفا در محیط‌های آرام و یا پارانرژی قادر به زیست هستند (Vachard et al., 2010). حضور

درصد قطعات نابرجا شامل روزن‌بران پوسته تیره، ریزرخساره یاد شده به و کستون بایو کلاستی تبدیل می‌شود. گل آهکی در این رخساره تحت تاثیر نو شکلی افزایشی (*Aggrading neomorphism*) ظاهر میکروسپار به خود گرفته است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره RMF20 فلوگل (Flugel, 2010) است و در کمر بند رخساره‌ای ۸ (FZ8) یا فضای محصور سکوی داخلی (Platform interior- restricted) ویلسون (Wilson, 1975) تشکیل می‌گردد.

ث- رخساره پکستون بایو کلاستی دارای جلبک سبز (MFL2): این رخساره از جلبک‌های داسی کلازاسه (Dasycladacea) مانند *Mizzia sp.* به همراه روزن‌بران بنتیک مانند *Hemigordius sp.*، *Climacammina sp.*، *Globivalvulina sp.* شکم‌پایان و استراکدها تشکیل شده است. فراوانی قطعات سالم جلبک‌های سبز مربوط به حمل کم و در موقعیت بالاتر از سطح اثر امواج در شرایط آرام (FWWB) (Aigner, 1985) در عمق نفوذ نور (Photic zone) است (Madi et al., 1996). به دلیل حضور فراوان جلبک‌های سبز و پلوئیدها موجود می‌توان آن را به محیط تالاب شور و کم انرژی نسبت داد (کاکم و همکاران، ۱۳۹۷). دولومیتی شدن مهم‌ترین فرایند دیاژنتیکی در رخساره یاد شده است. این ریزرخساره معادل RMF20 فلوگل (Flugel, 2010) بوده و در کمر بند رخساره‌ای ۷ (FZ7) ویلسون (Wilson, 1975) یا پلت فرم داخلی - دریای باز (Platform interior - normal marine / open marine) تشکیل می‌گردد.

ج- ریز رخساره گرینستون آئیدی بایو کلاستی (MFS1): این ریز رخساره از آئیدهای میکربیتی به همراه روزن‌بران، خرده‌های اسکلتی دو کفه‌ای و به مقدار کمتری اکتینوئید و بریوزوئرو تشکیل شده است. کانی‌شناسی آئیدها آراگونیتی بوده که شدیداً تحت تاثیر میکربیتی شدن قرار گرفته‌اند. انحلال و دولومیتی شدن، فرایندهای دیاژنتی مهم دیگری هستند که در ریزرخساره مورد نظر مشاهده می‌شوند. محل تشکیل این ریزرخساره با توجه به فراوانی خرده‌های اسکلتی لاگونی، بخش‌های رو به لاگون پشته‌های کربناته زیر آبی (Leeward Shoal) در نظر گرفته شده است. این ریزرخساره معادل RMF30 فلوگل (Flugel, 2010) بوده و در کمر بند رخساره‌ای ۷ (FZ7) ویلسون (Wilson, 1975) تشکیل می‌گردد.

ج- ریز رخساره گرینستون آئیدی (MFS2): این ریزرخساره از آئیدهای آراگونیتی میکربیتی شده شکل گرفته و در بیشتر بخش‌های سازندهای دالان و نار به عنوان مهم‌ترین رخساره مخزنی در نظر گرفته می‌شود. انحلال شدید و دولومیتی شدن از فرایندهای دیاژنتی مهم رخساره مورد نظر بوده که سبب افزایش کیفیت مخزنی گردیده‌اند. محل تشکیل این ریزرخساره با توجه به فراوانی آئید، پشته‌های کربناته زیر آبی در نظر گرفته شده است. این ریزرخساره معادل RMF29 فلوگل (Flugel, 2010) بوده و در کمر بند رخساره‌ای ۶ (FZ6) ویلسون (Wilson, 1975) یا حاشیه تپه‌های ماسه‌ای سکو (Platform-margin sand shoals) تشکیل می‌شود.

ح- ریز رخساره گرینستون بیو کلاستی (MFS3): این رخساره از قطعات اسکلتی کربناتیدها، شکم‌پایان و استراکدها به همراه روزن‌بران دارای پوسته روشن هیالینی (Hyaline) مانند *Geinitzina sp.* و *Langella sp.* به همراه مقدار کمتری روزن‌بران مانند *Hemigordius sp.*، *Agathammina sp.* و جلبک‌های سبز تشکیل شده است. محل تشکیل این ریزرخساره با توجه به فراوانی قطعات دریایی و انرژی بالا، می‌تواند بخش‌های رو به دریای پشته‌های کربناته زیر آبی (Seaward Shoal) باشد. این ریزرخساره معادل RMF27 فلوگل (Flugel, 2010) بوده و در کمر بند رخساره‌ای ۵ (FZ5) ویلسون (Wilson, 1975) بخش بالایی شیب و حاشیه سکو (Upper slope and platform-margin reefs) تشکیل می‌گردد. رخساره‌های رو به

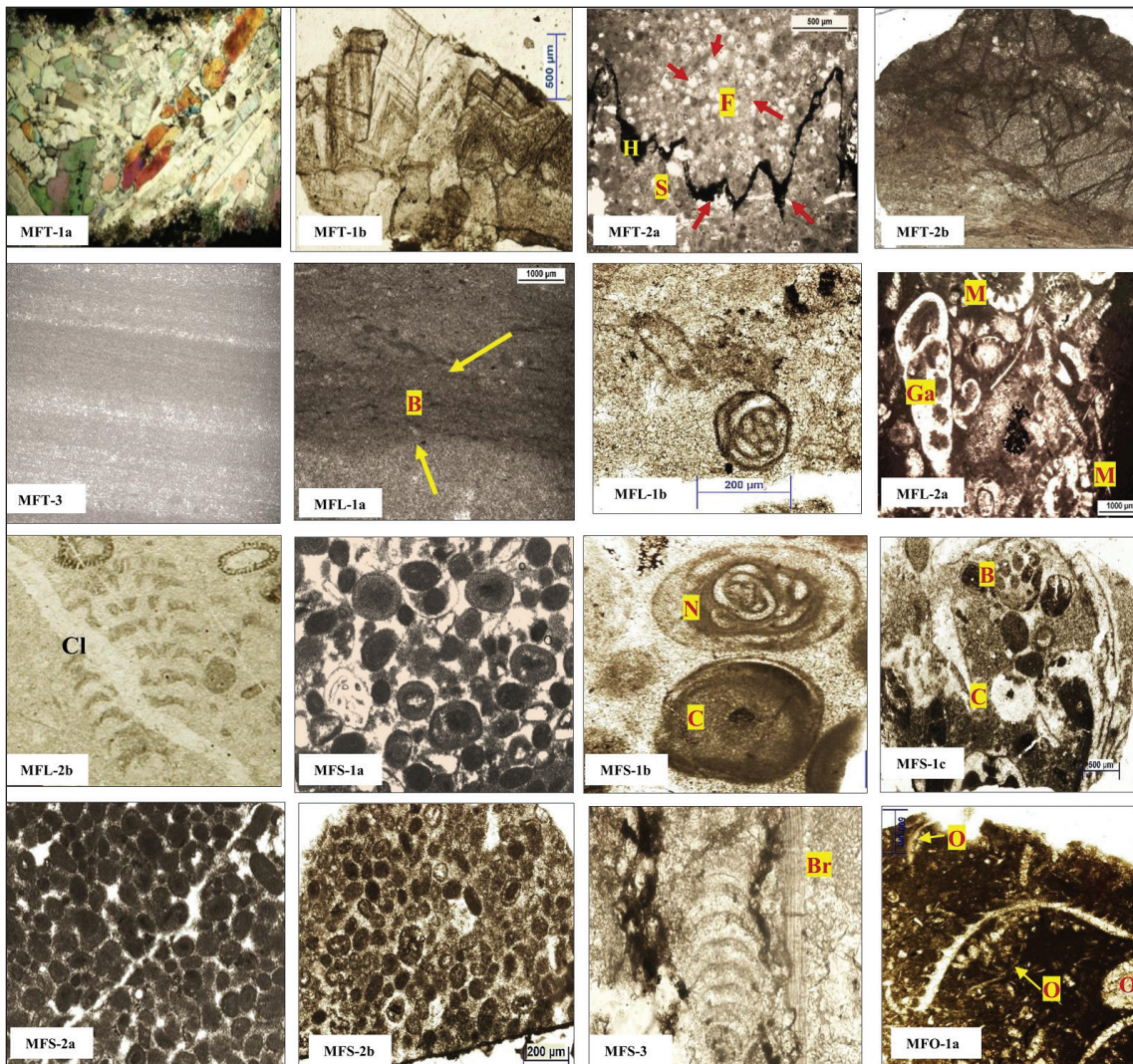
دریای باز این پشته‌ها، بر روی سطح رسوبات یا بر روی جلبک‌ها بازتاب‌دهنده محیطی
پرانرژی (Jin et al., 2013) تا ژرفایی حدود ۱۰ متر است (Peng et al., 2022).

Hemigordius, *Ammodiscus* مانند گرانولار مانند *Glomospira* کنار یکدیگر و در گریستون‌های پشته‌های کربناته و بخش‌های رو به

جدول ۲- ریزرخساره‌ها و کمربند‌های رخساره‌ای شناسایی شده در نهشته‌های عضو پایینی دالان و عضو نار.

Table 2. Microfacies and facies belts identified in the Lower Dalan and Nar members.

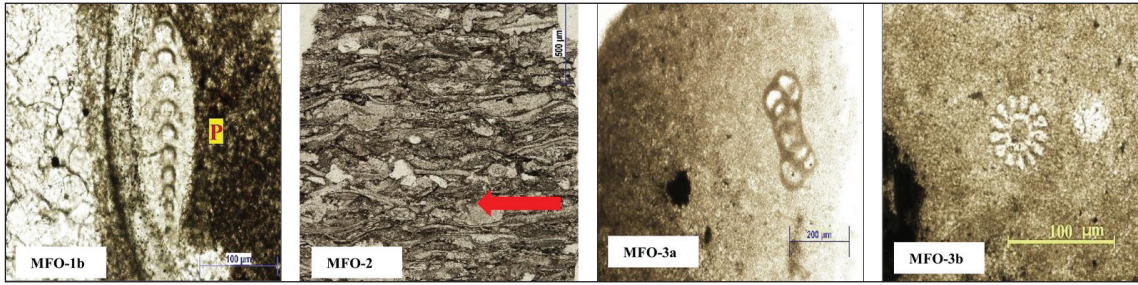
Formation Member	Diagenetic Factors	Skeletal / Non-Skeletal Elements	Microfacies Features	Facies belt /Sedimentary Environment Wilson(1975)		Facies group Flugel (2010)
Nar Lower Dalan	Crystallization	-----	Crystalline mass, needle and layer Gypsum and Anhydrite	Supratidal/ Sabkha (FZ9)		MFT1
Nar Lower Dalan	Dolomitization, Crystallization and dissolution, presence of iron oxide, hydrocarbon stains	Microbial filaments of Cyanobacteria and Mud Cracks	Dolo-Mudstone with fenestral structure	Tidal flat (FZ9)		MFT2
			Stromatolitic Dolo-Bondstone			MFT3
			Dolo-madestone with Anhydrite nodules			
Nar Lower Dalan	Dolomitization, Cementation, Dissolution, Stylolite and Anhydritization	Milliolides and Palaeotextularids foraminifera, algae, skeletal fragments of the Gastropods and Bivalves, Peloid and Bioturbation	Bioclastic to Peloidal Mudstone- Wakestone	Lagoon (FZ7)		MFL1
		Algal ancoids, Ostracods, Gastropods and small Foraminifera	Bioclastic Packstone			MFL2
Nar Lower Dalan	Dolomitization, Anhydritization, Dissolution, Stylolites and Fractures, Cementation	Small Foraminifera, Bivalvs and Gastropods	Bioclastic Ooidal Grainstone	Leeward Shoal (FZ7)	Shoal	MFS1
		Ooids	Ooidal Dolo-Greenstone	Shoal (FZ6)		MFS2
		Small Foraminifera with abundance of hyaline tests, and crinoid stem	Bioclastic Grainstone	Seaward Shoal (FZ5)		MFS3
Lower Dalan	Micritization, Fracture, Dissolution	Brachiopods, Bryozoans, Small Foraminifera and Ostracods carapace	Bioclastic Wackstone	Open Marine (FZ5)		MFO1
	Cementation	Bryozoan and Echinoid skeletal fragments and Intraclasts with Texture orientation	Bioclastic Packstone			MFO2
	Dolomitization, Crystallization and dissolution, hydrocarbon stains	Very small Bryozoan, Brachiopods Echinoid, Ammonoied skeletal fragments, small marine Foraminifera	Bioclastic Packstone			MFO3



شکل ۵- ریزرخساره‌های محیط رسوبی دالان پایینی و عضو تبخیر نار در چاه‌های میداین مورد مطالعه.

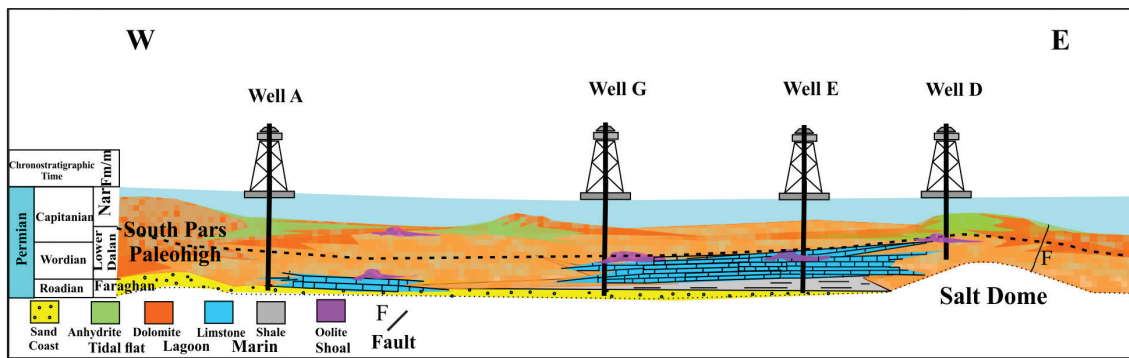
MFT1-a: بلورهای انیدریتی در محیط سبکھا در نور XPL؛ MFT1-b: بلورهای ژپس در محیط سبکھا دارای زون‌بندی؛ MFT2-a: مادستون با ساخت چشم‌پرنده‌ای (F) و استیلولیت (St) و هیدروکربن (H)؛ MFT2-b: رخساره مادستونی دولومیتی میکروبیال حاوی رشته‌های سیانوباکتری‌ها؛ MFT-3: باندستون استروماتولیتی؛ MFL-1a: مادستون پلوییدی همراه با آثار زیست‌آشفته‌گی (B)؛ MFL-1b: مادستون بایوکلستی همراه با روزن‌بر میلیولیدی؛ MFL-2a: پکستون بایوکلستی شامل خرده‌های جلبک *Mizzia* sp. پوسته شکم پایان (Ga) و دوکفه‌ای‌ها؛ MFL-2b: مادستون بایوکلستی شامل خرده‌های جلبکی و (Cl) روزن‌بر *Climacammina* sp. گرنیستون آئیدی دولومیتی دارای تخلخل‌های قالبی آئیدی و جانشینی انیدریت و پوسته روزن‌بران؛ MFS-1b: مادستون بایوکلستی ساقه اکتینوئید (C) و (N) روزن‌بر *Neodiscus?* sp.؛ MFS-1c: پکستون بایوکلستی دارای پوسته بریوزوئر (B) و ساقه کرینوئید (C)؛ MFS-2a: گرنیستون آئیدی دولومیتی رخساره پشته کربناته زیر آبی؛ MFS-2b: گرنیستون آئیدی دولومیتی حاوی جلبک‌های سبز؛ MFS-3: گرنیستون بایوکلستی روزن‌بر پوسته هیالینی (روشن) و پوسته بازوپایان (Br)؛ MFO-1a: و کستون بایوکلستی همراه پوسته استراکدا (O) و خرده‌های اسکلتی دیگر؛

Figure 5. The microfacies of the sedimentary environment of the Lower part of the Dalan Formation and the Nar Member. MFT1-a. Anhydrite crystals in Sabkha environment, XPL light- MFT1-b. Gypsum crystals in Sabkha environment with zonation, MFT2-a. Bird-eye structure (F) mudstone with stylolite (St) and hydrocarbon (H), MFT2-b. Microbial dolomitic mudstone facies containing filaments of cyanobacteria, MFT-3. Stromatolitic boundstone, MFL-1a. Peloidal mudstone with bioturbation (B), MFL-1b. Bioclastic mudstone with Foraminifer (Miliolid), MFL-2a. Bioclastic packstone with gastropod (G), bivalves and *Mizzia* sp. (M) fragments, MFL-2b. Bioclastic mudstone with algal fragments and *Climacammina* sp. (Cl), MFS-1a. Ooidal dolomitic grainstone with moldic porosity, anhydrite replacement and foraminifera, MFS-1b. Bioclastic mudstone with crinoid stem (C) and *Neodiscus?* sp. (N), MFS-1c. Bioclastic packstone with bryozoan (Br) and crinoid stem (C), MFS-2a. Ooidal dolomitic grainstone, shoal facies, MFS-2b. Ooidal dolomitic grainstone with green algae, MFS-3. Bioclastic grainstone with hyaline (bright) test foraminifer and brachiopod shell (B), MFO-1a., Bioclastic wackestone with ostracod shell (O) and other skeletal fragments,



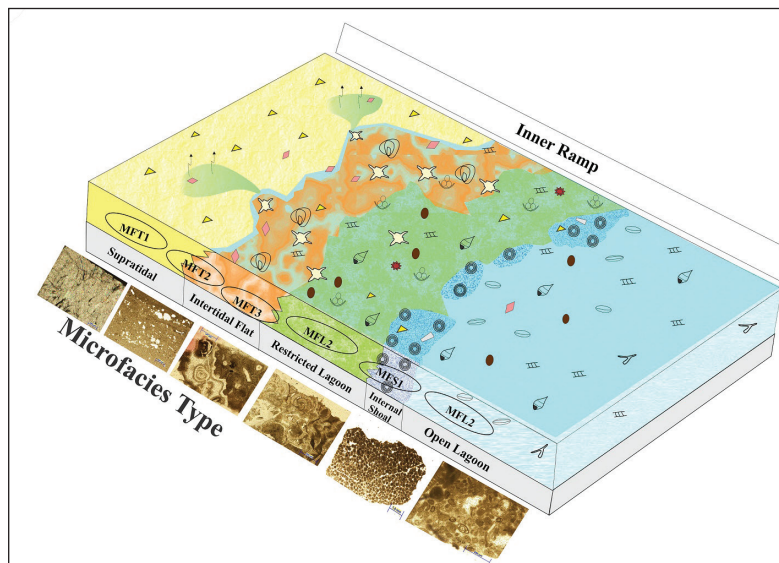
ادامه شکل ۵- ریزرتخساره‌های محیط رسوبی دالان پایینی و عضو تبخیر نار در چاه‌های میادین مورد مطالعه.
 MFO-1b: وکستون- پکستون بایوکلاستی و (P) پوسته روزن‌بر *Pachyphloia* sp.؛ MFO-2: پکستون بایوکلاستی، دارای خرده‌های اسکلتی مختلف و بافت جهت‌دار (فلش‌های قرمز)؛ MFO-3a: مادستون فسیل‌دار با پوسته روزن‌بر؛ MFO-3b: مادستون فسیل‌دار دارای خار اکتینوئید.

Continued from Figure 5. The microfacies of the sedimentary environment of the Lower part of the Dalan Formation and the Nar Member. MFO-1b. Bioclastic wackestone-packstone with *Pachyphloia* sp. (P). MFO-2. Wave dominated bioclastic packstone facies with textural orientation and skeletal fragments (red arrow). MFO-3a. Bioclastic mudstone with foraminifer cast. MFO-3b. Fossiliferous mudstone with an echinoid spine.



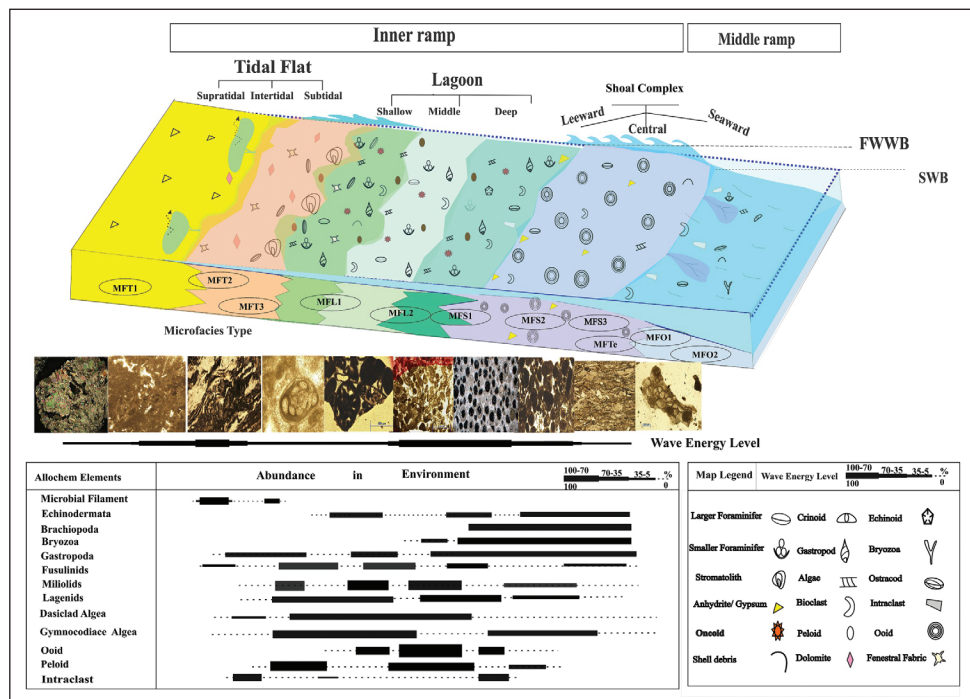
شکل ۶- a) مدل فرضی موقعیت جغرافیایی چاه‌ها و گستره نهشته‌های مورد مطالعه.

Figure 6-a) Schematic model of location of wells and extent of deposits studied



شکل ۶- b) مدل رمپ کربناته برای عضو نار (کپیتانین) (راهنمای نقشه پایین شکل b).

Figure 6- b) Map model of the carbonate ramp of the Nar Member (Capitanian)
 (The legend described in the map-b)



شکل ۶- c) مدل رمپ کربناته هموکلینال برای عضو پایینی سازند دالان (وردین؟- کپیتانین).

Figure 6- c) Map model of the carbonate ramp of the Lower Dalan member (Wordian? -Capitanian)

اقیانوسی که ابرقاره گندوانا و گندوانا ترانس (ابر بلوک سیمیرین) را از هم جدا می‌کند، در چنین شرایط آب و هوایی توسعه یافته است (Insalaco *et al.*, 2006; Davydov and Arefifard, 2013). فرایندهای دیاژنزی چیره در توالی مورد بررسی در تمام جاه‌ها مشابه و شامل تشکیل سیمان‌های دریایی، تدفینی و انیدریتی، انحلال و استیلولیتی شدن و انواع دولومیت‌زایی در نواحی سیخایی و میان‌کشدنی تا رمپ میانی است (فلاح بگتاش و همکاران، ۱۳۹۰؛ عبدالمالکی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Rezavand *et al.*, 2016; Abdolmaleki *et al.*, 2016).

۳-۵- سکانس‌ها

سکانس‌ها چرخه‌های چینه‌ای حاصل از تغییر جریان رسوب‌گذاری هستند. چینه‌نگاری سکانسی تفسیر زایشی نهشته‌های درون حوضه است و نحوه انباشتگی آن در طی زمان را نشان می‌دهد. سطوح چینه‌نگاری سکانسی بر مبنای رخدادهای مهم مانند رخدادهای زمین‌ساختی و لرزه‌ای، تغییر روند رژیم رسوب‌گذاری را به نمایش می‌گذارند، که ممکن است پیوسته یا ناپیوسته باشد. تغییرات سطح آب دریا و فرونشست حوضه مهم‌ترین عامل در تشکیل درجات مختلف سکانس هستند (Sharland *et al.*, 2001; Haq and Schutter, 2008). مطالعه داده‌های لرزه‌ای نشان داده است تغییرات سطح نسبی آب مهم‌ترین عامل در تشکیل درجات مختلف سکانس‌ها هستند و حوادث زمین‌ساختی از عوامل کنترل‌کننده تغییرات سطح آب دریا و کف حوضه رسوبی می‌باشند. از این رو، روش تکنونواستراتیگرافی برای بررسی چرخه‌های رسوبی در نظر گرفته شده است (پیریایی و اصیلیان، ۱۳۹۵؛ Hunt and Tucker, 1995; Winter, 1984). شارلند و همکاران (Sharland *et al.*, 2001) با مطالعه سنگ‌شناسی، زیست‌چینه‌ای، رخساره‌ای و با در نظر گرفتن شواهد زمین‌ساختی و فرونشست حوضه در مقیاس زمان چینه‌ای (Gradstein and Ogg, 1996) و تطبیق با نمودار تغییرات جهانی سطح آب در ناحیه خاورمیانه در ورقه عربی، ۱۱ ابرسکانس (TMS) و ۶۳ سطح پیشینه‌غرفایی (MFS) شناسایی کرده‌اند. سکانس‌ها

نهشته‌های وکستونی و مادستونی دریای باز در پلت فرم کربناته در بازه زمانی گوادالوپین (وردین-کپیتانین) با وجود عناصر زیستی مانند روزن‌بران، دوکفه‌ای‌ها، شکم‌پایان، بریوزوئرها، استراکادا، اکیونیدها و بازوپایان، محیطی کم‌انرژی با ژرفایی حدود چند ده متر (کمتر از ۱۰۰ متر) را دربرمی‌گیرند (Peng *et al.*, 2022). تجمعات روزن‌بران پوسته روشن (هیالینی) و پوسته تیره (میلیولیدی یا میکروگرانولار) در محیط‌هایی با انرژی متوسط تا بالا تشکیل می‌گردند (Peng *et al.*, 2022)، جلبک‌های سبز (داسی کلا داسه‌آ) در کمرندهای نزدیک ساحل و لاگون با ژرفایی حدود ۳۰ متر حضور دارند و روزن‌بران دارای پوسته روشن (هیالین) می‌توانند در ژرفای کم یا زیاد (لاگون تا رمپ میانی تا حدود ۵۰ متر) با انرژی کم تا متوسط ساکن گردند (Peng *et al.*, 2022; Flugle, 2010). پنگ و همکاران (Peng *et al.*, 2022) با در نظر گرفتن شرایط بوم‌شناختی و محاسبات آماری تجمعات روزن‌بران و زیست‌مندان همراه‌شان در نهشته‌های گوادالوپین خاور حوضه سیچوان (Sichuan Basin)، ۷ خوشه زیستی کلی بر مبنای تجمعات روزن‌بران تعریف و ژرفای محیط زیست این جانداران را محاسبه نموده‌اند (جدول ۳). در این مطالعه با توجه به تشابهات تجمعات زیستی روزن‌بران، جلبک‌ها و خرده‌های اسکلتی بی‌مهرگان موجود در ریزرخساره‌های چاه E با حوضه سیچوان و نتایج حاصل از مطالعات اینسالاکو و همکاران (Insalaco *et al.*, 2006) در حوضه زاگرس و بر مبنای توصیف رخساره‌ای فلوگل (Flugel, 2010) و مطالعات واپارد و همکاران (Vachard *et al.*, 2010)، به نظر می‌رسد نهشته‌های عضو دالان پایینی احتمالاً در ژرفایی بین ۱ تا ۴۰ متر و نهشته‌های عضو نا نیز به طور متوسط در ژرفایی حدود ۱ تا ۱۰ متر تشکیل شده باشند (جدول ۳). این سکوی کربناته در یک کمر بند آب و هوایی خشک و نیمه گرمسیری قرار داشته است. در طی دوره پرمین، سکوی سازند خوف به دلیل گرم شدن کره زمین پس از یخبندان‌های کربنیفر-پرمین آغازین و رانش عرضی بخش شمالی به سمت عرض‌های جغرافیایی استوایی پایین‌تر افزایش دما را تجربه کرده است (Angiolini *et al.*, 2003) و سازند دالان در حاشیه تبتیس‌جان،

کربناته پایینی دالان معادل عضو (D) سازند خوف در عربستان و سازند شیا الزابری در عراق و در برگرنده سطح بیشینه غرقابی (MFS P20) است. این سکانس با بالا آمدن سریع آب و توالی پیش‌رونده (Transgression) در وردین آغاز می‌گردد. نهشته‌های تبخیری-انیدریتی در میان توالی‌های کربناتی در این بازه زمانی در طی توالی پس‌رونده و کاهش سرعت بالا آمدن سطح آب در محیط‌های کم‌ژرفا و سیحایی تشکیل شده‌اند (Sharland *et al.*, 2001, 2004).

از نظر زمانی قابل انطباق در مناطق مختلف در ورقه عربی هستند. بر این اساس، ابرسکانس AP6 در برگرنده بازه زمانی پرمین میانی تا ژوراسیک است که از آشکوب وردین آغاز می‌گردد و شامل ۱۲ سطح بیشینه غرقابی است. این ابرسکانس مرتبط با رخداد باز شدن اقیانوس تنیس‌جوان در حاشیه غیر فعال ورقه عربی است و نهشته‌های این ابرسکانس در یک سکوی کربناته کم‌شیب (رمپ) تشکیل شده‌اند. ابرسکانس AP6 در باز زمانی پرمین میانی از وردین تا کیتانین شامل نهشته‌های عضو

جدول ۳- ژرفای تقریبی نهشته‌های دالان پایینی و نار بر اساس تجمعات زیستی روزن‌بران و زیست‌مندان همراه آنها (Peng *et al.*, 2010; Flugel, 2010; Vachard *et al.*, 2010; Insalaco *et al.*, 2006; Peng *et al.*, 2022)

Table 3. The approximate depth of the lower Dalan member and the Nar Member deposits based on the bio association of foraminifera and their accompanying organisms (Insalaco *et al.*, 2006; Vachard *et al.*, 2010; Flugel, 2010; Peng *et al.*, 2022).

Benthic foraminifera biofacies (Peng <i>et al.</i> , 2022)				This study			
Biofacies code	Order/ Superfamily Foraminifera Association	Ecological distribution	Depth (meter)	Associations		Ecological /distribution (Microfacies)	Depth (meter)
				Foraminifera genera	Other organisms		
1	Palaeotextularioidea + Uniserial Nodosariids + Globivalvalina Globivalvalina + Uniserial Nodosariids	Marginal shallow shoal	10	<i>Geinitzina/ Pachyphloia/ Langella+ Nodosaria+Globivalvulina+ Climacammina/ Cribrogenarina</i>	Bivalves, Ostracods, <i>Mizzia</i> algae	Lagoon-Shoal (MFL-1,2) (MFS-1-3)	5-10
2	Uniserial Nodosariids + Globivalvalina Uniserial Nodosariids + Hemigordius/ Lasiodiscids	Dolomitized Shoal Open marine	20~ 100> 40-50~	<i>Geinitzina, Pachyphloia, Langella+ Nodosaria +Hemigordius</i>	Crinoids, Ostracods Brachiopods, Echinoeids Ammonoieids	Lagoon- Shoal Open Marine (MFO2, 3)	5-10~ 40-50
3	Uniserial Nodosariids $\mu\text{m } 600>$	Shoal Open marine	10 100> 40-50~	<i>Geinitzina, Pachyphloia</i>	Brachiopods Echinoeids Ammonoieids	Shoal Open Marine	10 40-50
4	Fusulinids + Tubothalamea (Miliolida, Spirillinida, Ammodiscidae)+ uniserial Nodosariids+ Tuberitinoidea	Bioclastic Shoal-Open marine SMF 17.) (Flugel, 2010)	20-50~	<i>Globivalvulina + Geinitzina few Hemigordius+ Glomospira Eotuberitina+ Nodosaria</i>	Ostoracods Brachiopods Echinoeids	Lagoon- Shoal Open Marine	5-10 40~
5	Endothyrida+ Fusulinids+ uniserial Nodosariids	Shoal- Open Marine	10-50~	<i>Palaeotextularioidea Climacammina Cribrogenarina Nodosaria</i>	Brachiopods, Brachiopod spines, Bryozoans, Gymnocodium algae	Shoal- Open Marine	10-40~

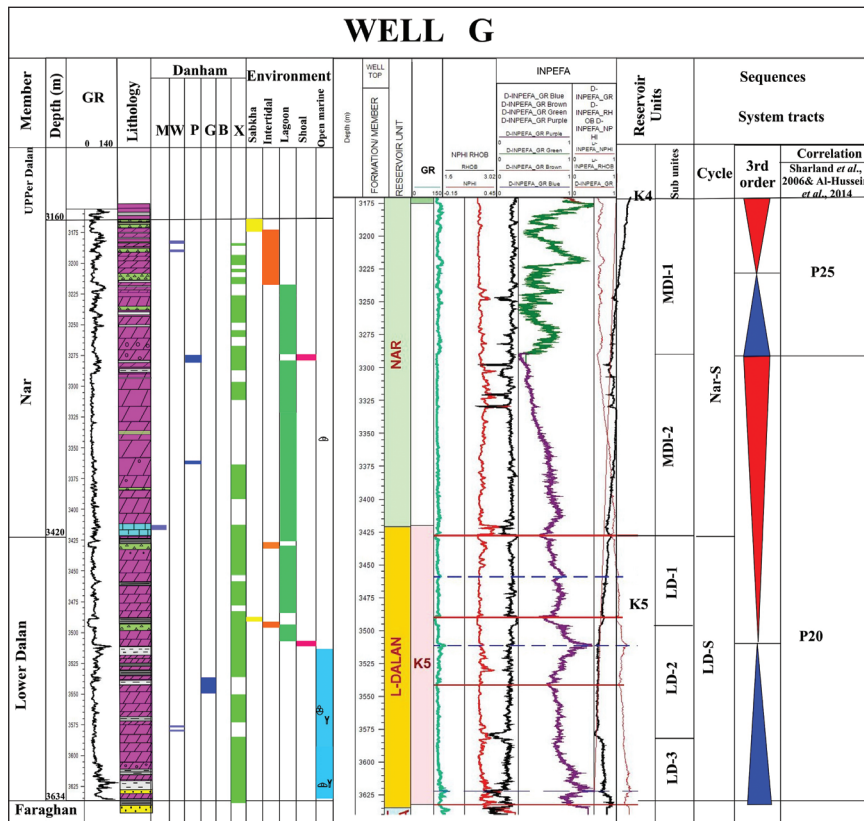
ادامه جدول ۳- ژرفای تقریبی نهشته‌های دالان پایینی و نار بر اساس تجمعات زیستی روزن‌بران و زیست‌مندان همراه آنها (Insalaco *et al.*, 2006; Vachard *et al.*, 2010; Flugel, 2010; Peng *et al.*, 2022)

Continued from Table 3. The approximate depth of the lower Dalan member and the Nar Member deposits based on the bio association of foraminifera and their accompanying organisms (Insalaco *et al.*, 2006; Vachard *et al.*, 2010; Flugel, 2010; Peng *et al.*, 2022).

Benthic foraminifera biofacies (Peng <i>et al.</i> , 2022)				This study			
Biofacies code	Order/ Superfamily Foraminifera Association	Ecological distribution	Depth (meter)	Associations		Ecological /distribution (Microfacies)	Depth (meter)
				Foraminifera genera	Other organisms		
6	Tubothalamea + uniserial nodosariids	Marginal shallow	10-20	<i>Glomospira / Hemigordius</i> +rare +Fusulinids <i>Globivalvulina</i> <i>Nodosaria</i>	Fragments of Gastropods Ostracods Bryozoans Echinoderms	Lagoon-Shoal	5-10
	Miliolida + uniserial Nodosariids+ Globivalvulininae	shoal /Grain . shoal					10-20
7	Fusulinida>200 μm Globivalvulininae+	Marginal shallow	10	<i>Nankinella</i> <i>Globivalvulina</i>	<i>Mizzia</i> algae Crinoids	Lagoon Shoal	5-10
		Shoal Biclastic Shoal	10-20				10-20

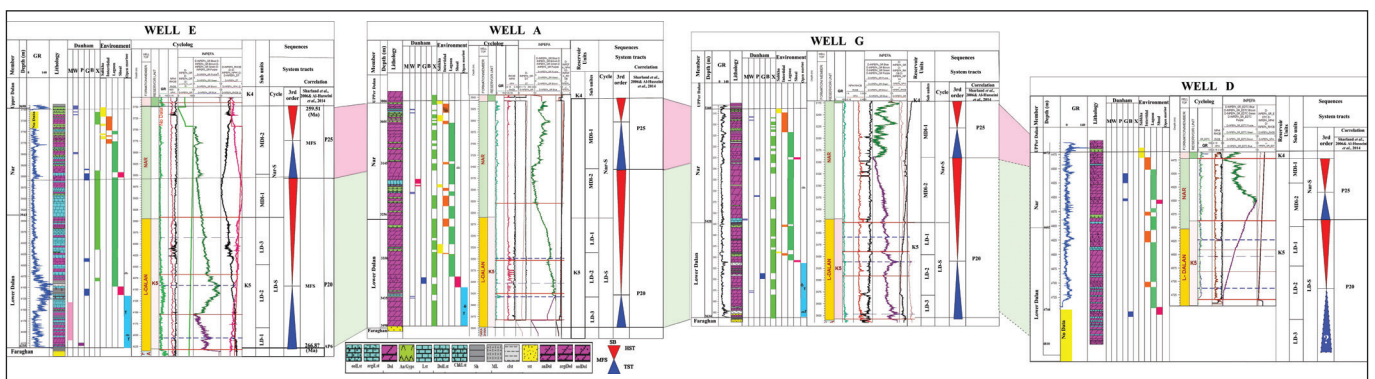
نیستند، زیرا تغییرات چرخه‌ای آن در رسوب‌گذاری واضح‌تر از نمودارهای عادی است (Yuan and Wang, 2018). این نمودار دارای دو روند افزایشی و کاهش‌ی است. روند افزایشی نشانه افزایش فضای رسوب‌گذاری نسبت به نرخ رسوب‌گذاری و توالی پیش‌رونده است و روند کاهش‌ی در واقع توالی پس‌رونده را نشان می‌دهد (Wang *et al.*, 2022). به این ترتیب با شناسایی روندهای افزایشی و کاهش‌ی لاگ به ویژه نمودار پرتو گاما می‌توان اجزای سازنده سکانس‌های رسوبی را مشخص نمود. با در نظر گرفتن تغییرات سنگ‌شناسی ستون‌های چینه‌ای چاه‌ها در منطقه مورد بررسی نسبت به چاه E برای تعیین توالی‌های پیش‌رونده-پس‌رونده (T-R)، دسته رخساره‌های (HST و TST)، مرز دسته رخساره‌ها (SB) و سطح بیشینه سطح غرقابی (MFS) که معرف بیشترین پیش‌نشینی دریا است (Catuneanu *et al.*, 2011) بررسی و مشخص شدند (شکل ۷- a). در نهایت، تعیین و تطابق توالی‌های رسوبی با توجه به تغییرات سطح جهانی آب دریا (Qiu *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2015, 2020) و با تمرکز بر ریزرخساره‌ها، فسیل‌ها و به‌ویژه نوسانات نمودارهای پرتو گاما، INPEFA گاما و مقایسه با توالی‌های رسوبی هم‌ارز بخش زیرین سازند دالان و عضو نار (واحد مخزنی K5 و انیدریت میانی) در عربستان، امارات، عمان و عراق (واحد‌های مخزنی KS5، KS6) (جدول ۱) انجام شده است (Vaslet *et al.*, 2005; Koehler *et al.*, 2010; Walz *et al.*, 2013). برش‌های مورد مطالعه با برش مطالعه شده در یکی از چاه‌های میدان گلشن در بخش باختری کمان- قطر فارس در خلیج فارس (عبدالمالکی و همکاران، ۱۳۹۲) و عسلویه در خاور خلیج فارس (Rezavand *et al.*, 2016) نیز مقایسه شده‌اند. به طور کلی بازه زمانی وردین تا کپتائین در برگیرنده دو سکانس رسوبی رده سوم تقریباً طولانی مدت است. مرزهای سکانسی (SB) منطبق بر خطوط زمانی با در نظر گرفتن تغییر سطح تراز آب دریا تعیین شده و سطح بیشینه غرقابی (MFS) با توجه به تغییرات ریزرخساره و نمودار پرتو گاما تعیین شده است (شکل ۷- a و b و شکل ۸). سازندهای

عضو کربناتی-تبخیری نار در مناطق جنوبی حوضه خلیج فارس به نام انیدریت میانی (Middle Anhydrite) شناخته می‌شود (Forke *et al.*, 2012; Richoz *et al.*, 2010; Al-Hussein and Koehler, 2013). سطح بیشینه غرقابی (MFS P20) با نهشته‌های واحد مخزنی (KS6) سازند سودیر در عمان و عربستان مطابقت دارد (Al-Hussein and Koehler, 2013) واحد مخزنی (KS5) معادل عضو (D) سازند خوف است و تا انتهای عضو انیدریت میانی (معادل عضو نار) با بیشینه سطح غرقابی (MFS P25) مشخص شده می‌گردد (AL-Hussein and Koehler, 2013). تعیین توالی‌های رسوبی پریمین میانی دو عضو دالان پایینی و نار در این مطالعه بر مبنای مشاهده مقاطع نازک چاه E با تلفیق و تطابق نتایج مطالعات پیشین (Al-Hussein and Koehler, 2013; Sharland *et al.*, 2001, 2016; Rezavand *et al.*, 2016; Abdolmaleki *et al.*, 2016) صورت گرفته است (شکل ۷). رده‌بندی سکانس بر مبنای مدت زمان چرخه برای سکانس درجه سوم بین نیم تا پنج میلیون سال در نظر گرفته شده است (پیریایی و اصیلیان مهابادی، ۱۳۹۵؛ Vail *et al.*, 1977; Sharland *et al.*, 2001). در چاه‌های میادینی که به دلیل عدم مغزه‌گیری یا مغزه‌گیری ناقص، شواهد ریزرخساره‌ای و زیستی محدودند، و همچنین در شرایط دیاژنزی شدید، برای کمک به شناسایی، تعیین و انطباق سکانس‌ها، از داده‌های غیر مستقیم و متداوم لاگ‌های چاه‌پیمایی مانند نمودار پرتو گاما، صوتی، چگالی و نوترون استفاده می‌شود. با به کارگیری نرم‌افزار سیکلولاگ، خطاهای انحراف مقادیر واقعی لاگ از مقادیر پیش‌بینی شده، تجزیه و تحلیل و تصحیح می‌گردد و نمودار تلفیقی پیش‌بینی تجزیه و تحلیل فیلتر خطا یا (INPEFA) که در واقع، مجموع میزان خطای بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده است، رسم می‌گردد (عنایتی‌بیدگلی و همکاران، ۱۳۹۶). نمودار INPEFA روند طول موج‌های کوتاه نمودار مورد تجزیه و تحلیل (گاما، چگالی و یا نوترون) را نشان می‌دهد که در داده‌های اصلی آشکار



ادامه شکل ۷- b) گستره سنگ‌چینه‌ای، رخساره‌ای و توالی‌های رده ۳ در چاه G با توجه به تغییرات نمودار پرتو گاما و INPEFA.

Continued from Figure 7- b) Stratigraphic 3rd order sequences of the Lower member of the Dalan Formation and the Nar Member in G well, according to the changes of Gamma ray and INPEFA Gamma diagram, RHOB and NPHI curves.



شکل ۸- تطابق سکانس‌ها در چاه‌های مورد مطالعه.

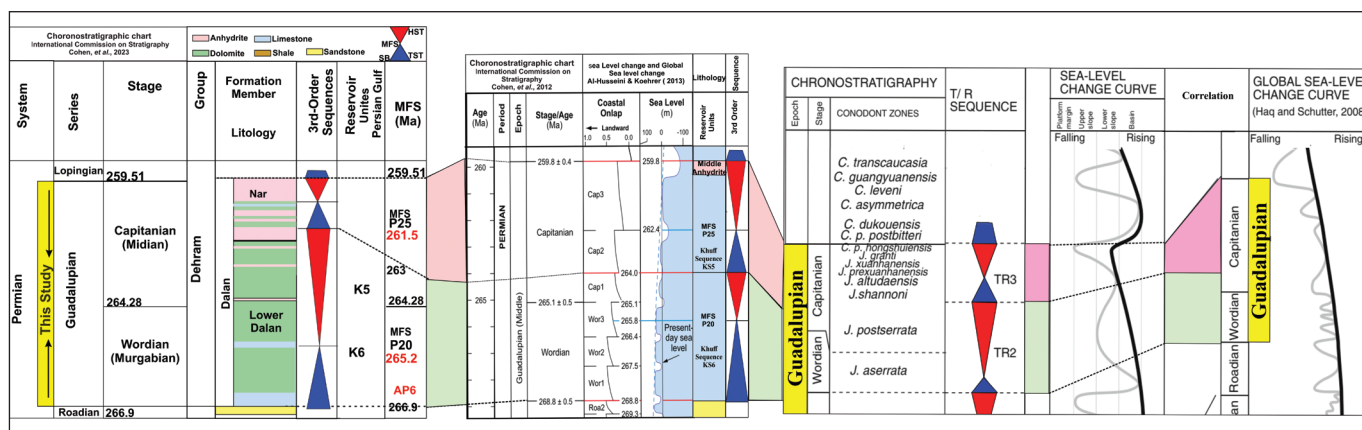
Figure 8. Stratigraphic units and sequences correlations in the studied wells.

موجود گزارش منتشر نشده پژوهشگاه صنعت نفت) در چاه G نیز این روند ادامه یافته است که گویای تشکیل رسوبات در ژرفای بیشتر نسبت به چاه A می‌باشد. بنابراین، داده‌ها احتمالاً بدین ترتیب سطح پیش‌روی (Transgressive Surface /TS) در اولین توالی در آغاز بالا آمدن آب با مرز سکانسی (SB) برهم منطبق است (Embry, 1995). شروع دسته رخساره پیش‌رونده (TST) میدان A از مرز سازند فراقان است، بنابراین مرز سکانسی (SB) بر انتهای نهشته‌های سازند فراقان و آغاز

در نهشته‌های قاعده عضو پایینی دالان در چاه E رخساره پکستونی زیر حد امواج دربرگیرنده تجمعات زیستی خرده‌های اسکلتی بازوپایان، بریوزوئرها و خارپوستان (اکیئوبیدی) با سیمان سین تکسیال مشاهده می‌شود، در شروع نهشته‌های چاه G نیز این تجمعات گزارش شده‌اند. در چاه E این نهشته‌ها با رخساره‌های مادستونی حاوی بریوزوئر، بقایای بازوپایان، قطعات اکیئوبیدی و شکم‌پایان به همراه برخی روزن‌بران مانند *Cribrogenerina* و *Pachyphloia* ادامه می‌یابند و با استناد به گزارش‌های

از اینفراکامبرین تا عهد حاضر سری هرمز قرار گرفته اند، فضای رسوب‌گذاری نسبت چاه‌های دیگر کمتر و ستبرای دسته رخساره پیش‌رونده (TST) نیز کمتر است. دسته رخساره مرتبط با توالی تراز بالا (HST) با کاهش سرعت بالا آمدن آب، به رخساره‌های لاگونی رو به پشته‌های کربناته زیر آبی (Seaward Shoal) رسیده و به تدریج با رخساره‌های کم‌ژرفاتر لاگون ادامه یافته و در انتهای (HST) در چاه‌های A، E، G به رخساره‌های پکستونی بایوکلاستی تا مادستون پلوییدی (MFL-2، 1) و در چاه D به رخساره‌های دولومادستون انیدریتی پهنه کشندی، (MFT3) ختم می‌گردد. مرز بالایی این سکانس رده سوم از انتهای آشکوب وردین گذشته و به ابتدای آشکوب کپتانین در عضو کربناته-تبخیری نار می‌رسد (شکل ۹). این سکانس معادل سکانس واحد مخزنی KS6، واحد پایینی سازند خوف و هم‌ارزهای آن در جنوب و باختر خلیج فارس است (Walz et al., 2013; Knaust, 2014; Rezavand et al., 2016). سطح بیشینه غرقابی این چرخه معادل (MFS P20) شارلند و همکاران (Sharland et al., 2001) و تغییرات سطح آب دریا مطابق با حق و شاتر (Haq and Schutter, 2008)، الحسینی و کوهرر (Qiu et al., 2013) و کی و همکاران (Al-Husseini and Koehrer, 2013) می‌باشد که با جدول زمان‌چینه‌ای (Cohen et al., 2023) تطبیق داده شده است (شکل ۹).

آشکوب وردین؟ منطبق و در چاه G و E در برگرنده رخساره‌های دریایی شامل ریزرخساره‌های مادستونی (MFO3) است که در نهشته‌های قاعده دالان در چاه E با پکستون بایوکلاستی رخساره (MFO2) همراه است و در بالا به رخساره (MFO1) می‌رسد. نهشته‌های قاعده چاه A با رخساره و کستون بایوکلاستی (MFO1) آغاز می‌گردد. این دسته رخساره حاوی روزن‌برانی مانند *Cribrogenerina* sp.، *Climacammina* sp. و جلبک‌هایی از خانواده ژیموکدیاسه آست. ریزرخساره مادستون بایوکلاستی شامل روزن‌بران و اینتراکلت‌های میکریتی است. بیشینه سطح غرقابی (MFS) در چاه E بر رسوبات متراکم شیلی و مادستونی بایوکلاستی گروه رخساره (MFO1) واقع شده و در امتداد بیشینه اوج پرتوگاما قرار گرفته است و در چاه G نیز با رخساره مادستونی متراکم پایان می‌یابد، در چاه A بیشینه غرقابی به رخساره‌های آئید بایوکلاستی پشته‌های کربناته زیر آبی (MFS-2، MFS-3) ختم می‌گردد. برای تعیین سطح بیشینه غرقابی در چاه D از انطباق تغییرات نمودارهای پرتو گاما و INPEFA، با سایر چاه‌ها بهره گرفته شده است (شکل ۷-ا و شکل ۸). در چاه‌های مختلف با توجه به موقعیت توپوگرافی بستر حوضه، شرایط فضای رسوب‌گذاری متغیر است، در چاه‌هایی که بر بلندای دیرینه پارس جنوبی در امتداد کمان قطر فارس قرار گرفته اند مانند چاه A یا چاه D که بر بلندای گنبد نمکی فعال



شکل ۹- انطباق زمانی سکانس‌های عضو پایینی سازند دالان و عضو نار در این مطالعه با عمان، عربستان و جنوب چین براساس نمودار تغییرات جهانی سطح آب دریا (با تغییرات (Al-Husseini and Koehrer, 2013; Insalaco et al., 2006; Walz et al., 2013; Qiu et al., 2013; Cohen et al., 2023).

Figure 9. Lower part of the Dalan Formation and the Nar evaporate member, sequences correlations with global sea level changes (in Oman, Saudi Arabia and South China) (with modifications from Al-Husseini and Koehrer, 2013; Insalaco et al., 2006; Walz et al., 2013; Qiu et al., 2013; Cohen et al., 2023).

در میدان D ختم می‌گردد. دسته رخساره تراز بالا (HST) در این توالی بخش بالایی عضو نار را دربرمی‌گیرد که رخساره‌های لاگون محصور تا پهنه کشندی (MFT-2، MFT-3) و گسترش بایندهستون استروماتولیتی را شامل شده و در چاه‌های E و D در انتهای (HST) به رخساره‌های تبخیری فراکشندی (سیخا) (MFT-1) می‌رسد. مرز بالایی این سکانس (SB) در تمام چاه‌ها به قاعده عضو بالایی سازند دالان و انتهای کپتانین ختم می‌گردد. این چرخه با گرم شدن آب و هوای کره زمین و افت سطح آب دریا مرتبط است و با رخساره‌های تبخیری میان‌کشندی تا فراکشندی مشخص می‌شود. مرزهای سکانسی در هر دو سکانس از نوع دوم (SB2) می‌باشند، انتهای دسته رخساره تراز بالا (HST) سکانس دوم در عضو نار با نهشته‌های فراکشندی (سیخا) پایان یافته و بخش‌های لاگون کم‌ژرفا همچنان در زیر آب قرار داشته‌اند.

سکانس ۲- (Nar-S): این بخش از مخزن معادل واحد مخزنی KS5 در بخش پایینی سازند خوف و هم‌ارزهای آن است. دسته رخساره پیش‌رونده (TST) با بالا آمدن سطح آب به دنبال سکانس پیشین آغاز و در چاه‌های A، E، G از ریزرخساره‌های لاگون به گریستون‌های آئیدی بایوکلاستی رخساره پشته‌های کربناته زیر آبی (MFS-1) و ریز رخساره لاگون (MFL1) در چاه D می‌رسد. این رخساره‌ها حاوی روزن‌برانی مانند *Globivalvulina* sp.، *Pseudoammodiscus* sp.، *Fronidina* sp. و *Okimurites (Discospirella)* sp.، *Nankinella* sp. جلبک‌هایی مانند *Vermiporella* sp. و *Gymnocodium* sp. است. در ادامه، با کاهش روند بالا آمدن آب و فضای رسوب‌گذاری به تدریج رخساره‌های محیط لاگون محصور چیره شده و بیشینه سطح غرقابی (MFS) در چاه‌های A، E، G به ریزرخساره (MFL3) و رخساره‌های آئید گریستونی لاگون محصور (Flugel, 2010)

۴- بحث

بالا آمدن سریع آب در ایران و عمان از زمان وردین آغاز می‌شود (Heydari et al., 2000) و تجمعات فسیلی دریای باز نشانی از این است که نهشته‌های عضو پایینی دالان در ایران) و معادل آن در عمان (Blendinger et al., 1992; Baud et al., 2007; Ghazban, 2012) و در محیط‌های دریایی باز نهشته شده‌اند، با این حال با افزایش شدت رسوب‌گذاری و نرخ پایین فرونشست، به تدریج فضای محیط رسوبی محدودتر شد و رفته رفته رسوبات تبخیری در حوضه تشکیل گردید (Ghazban, 2007). با توجه به ریزرخساره‌های چاه E به نظر می‌رسد این بخش از حوضه منطقه مورد مطالعه ژرفای بیشتری داشته و یا احتمالاً نرخ فرونشست بستر حوضه در این زمان در محل چاه بیشتر بوده، این موضوع بر تغییر ستبرای رخساره دریای باز و سیستم ترک‌ها تأثیر گذار بوده است. همچنین تجمعات روزن‌بران، جلبک‌ها و نرم‌تنان محیط‌های ژرف‌تر در این مکان بیشتر است. تأثیر بلندای دیرینه پارس جنوبی بر چاه A و گنبد‌های نمکی فعال در پرمین بر چاه D، با کاهش ژرفای حوضه در این میدانی سبب گسترش کانی‌های تبخیری (انیدریت و ژپس) در نهشته‌های عضو پایینی دالان و عضو نار شده است. این تغییرات به صورت جزئی در ستبرای دسته‌های رسوبی (سیستم ترک‌ها) در چاه‌های مختلف تأثیر گذار بوده‌اند، البته حفاری در میدان D به سازند فراقان نرسیده و داده‌های چاه‌نگاری نیز در بخش پایینی نهشته‌های دالان پایینی موجود نمی‌باشد. تعیین سیستم ترک‌ها از طریق بررسی ریزرخساره‌ها و روند تغییرات نمودار پرتو گاما، فیلتر خطای پرتوهای گاما، چگالی و تخلخل و لاگ صوتی موجود در مستندات در دسترس و در نهایت تطابق در بین چاه‌ها انجام شده است. تغییرات کف حوضه همچنین بر محیط زیست جانداران موثر بوده است، اگر چه مقایسه زیای روزن‌بران در چاه‌های مختلف نمی‌تواند با قطعیت حضور یا عدم حضور گونه یا اجتماعی خاص از این زیست‌مندان را به محیط چاه یا تغییرات کف حوضه مرتبط سازد، اما در گستره وسیع تأثیر محیط بر تنوع و فراوانی روزن‌بران آشکار است. صرف‌نظر از شرایط دیاژنزی و نمونه برداری، عدم حضور برخی گونه‌های روزن‌بران کف‌زی بزرگ مانند *Schwagerina* sp., *Verbeekina* sp., *Cribrogenerina* sp. و *Okimuraites (Discospirella)* sp. حدوداً بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر پایین‌تر از مرز دو عضو نار- دالان بالایی در چاه‌های مختلف به ویژه در چاه G که نمونه‌برداری از مغزه صورت گرفته است (شکل ۷- b)، ممکن است به سبب حذف این گونه‌ها در مرز گوادالوپین-لوپینگی (Bond et al., 2010) رخ داده باشد که می‌توان آن را با افت سطح تراز دریا و کاهش مساحت منطقه زیستگاهی کم‌ژرفا به ویژه لاگون داخلی در انتهای گوادالوپین مرتبط دانست. در نهشته‌های واحدهای مخزنی KS5 و KS6 در عمان (Richoz et al., 2010) و بخش پایینی سازند خوف در عربستان (با توجه به موقعیت حوضه) نیز حضور روزن‌برانی مانند *Afghanella tereshkovae*, *Verbeekina grabau*, *Shanita amosi*, *Globivalvulina* sp. و *hemigordiids* گزارش شده و ناپدید شدن روزن‌بران بزرگ در انتهای گوادالوپین رخ داده است (Vachard et al., 2002; Forke et al., 2012). افزون بر افت جهانی سطح آب که موجب انقراض بسیاری از گونه‌های روزن‌بران شده است، ظاهراً فعالیت‌های آتشفشانی امیشان (Emeishan volcanism) در خاور حوضه تیس (در جنوب چین) نیز با کاهش دمای آب، سبب وقوع رخداد کامورا (Kamura event) شده و حذف گونه‌های روزن‌بران بزرگ را شدت بخشیده است (Qiu et al., 2013). حال آن‌که در منطقه مورد مطالعه، شواهدی مبنی بر فعالیت آتشفشانی یا بالشتک‌های بازالتی در این زمان مشاهده نشد. اگرچه تعداد سکانس‌ها در چاه‌های مختلف یکسان است، اما ویژگی‌های سنگ شناختی و رخساره‌ای چاه‌ها به لحاظ گستره جانبی و ستبرای متفاوتند. نخستین سکانس رسوبی رده سوم معرفی شده در چاه‌های مختلف (شکل ۸)، دربرگیرنده نهشته‌های عضو پایینی دالان و بخشی از نهشته‌های عضو کربناتی- تبخیری نار است و نخستین سیستم ترک (TST) آن با رخساره‌های دریایی در پایین دالان آغاز می‌گردد، که مطابق نمودار تغییرات کوتاه مدت جهانی

سطح آب (Haq and Schutter, 2008) در آغاز بالا آمدن نسبی سطح تراز دریا رخ داده است. سپس در ادامه، با کاهش روند نسبی بالا آمدن آب دسته رخساره (HST) به رخساره‌های لاگونی و کم‌ژرفای نهشته‌های عضو نار می‌رسد. دومین سکانس رسوبی رده سوم دربرگیرنده بخش بالایی نهشته‌های عضو نار است که در انتهای این سکانس، سیستم ترک تراز بالای (HST) و شروع افت سطح نسبی آب دریا با رخساره‌های محیط فراکشندی و سبخا پایان می‌یابد، که با نمودار افت سطح نسبی تراز دریا (Haq and Schutter, 2008; Isozaki and Servais, 2017) مطابقت دارد. همچنین در مقیاس ابر حوضه (شکل ۹)، مقایسه رخساره‌ای و سکانس‌های مورد مطالعه با سکانس‌های واحد پایینی سازند خوف و هم‌ارزهای آن در جنوب ابرحوضه خلیج فارس (عمان، امارات و عربستان) نشان‌دهنده تعلق این نهشته‌ها به حاشیه جنوبی غیرفعال اقیانوس تیس جوان است و شروع تشکیل آن منطبق بر آغاز سیکل جهانی AP6 و به طور کلی مصادف با افت نسبی تراز دریا و فرونشست آرام کف حوضه در مقیاس جهانی است (Sharland et al., 2001) و لطف پور و همکاران، ۱۳۸۴). در خاور حوضه تیس در دو رخنمون در جنوب چین، نهشته‌های تشکیل دهنده دو توالی پیش‌رونده-پس‌رونده رده سوم برگستره شیب یک سکوی جدا شده (Isolated platforme) قرار گرفته‌اند، نهشته‌های کربناته این سکوی در این برش‌ها دولومیتی شده‌اند و با توجه به توالی کامل دریایی از نظر کی و همکاران (Qiu et al., 2013) منطقه ایده‌آلی برای رمزگشایی از تغییرات سطح دریا در پرمین میانی تا اواخر پرمین است. با وجود تفاوت ساختاری حوضه تیس در جنوب چین با حوضه خلیج فارس، این مقایسه تا حدودی تطابق تعداد توالی‌های پیش‌رونده-پس‌رونده شکل گرفته در بازه زمانی وردین؟ تا کپیتانین را با منطقه مورد مطالعه در خلیج فارس به نمایش می‌گذارد (شکل ۹).

۵- نتیجه‌گیری

برآیند بررسی سنگ‌شناسی رسوبی، زیستی، ریز رخساره‌ای و سکانسی نهشته‌های بخش زیرین سازند دالان و عضو نار در ۴ حلقه چاه از ۴ میدان برگزیده A, D, E و G در بخش خاوری کمان قطر- فارس در خلیج فارس که حفاری در آن‌ها به عضو پایینی سازند دالان رسیده است و مقایسه آن با نتایج به‌دست آمده از مطالعات مشابه در حوضه تیس (چین، عربستان، عراق، امارات، عمان و ایران) به نتایج زیر انجامید: - شناسایی ۲۰ گونه متعلق به ۱۴ جنس روزن‌بران در چاه E و معرفی مجموع ۶۵ گونه متعلق به ۲۵ جنس روزن‌بران فوزولینیدی و غیرفوزولینیدی در ۴ چاه مورد بررسی، که به وجود تأثیر دیاژنزی و محدودیت‌های موجود در مطالعه سامانه‌مند دقیق روزن‌بران این مطالعه به معرفی زیست‌زون تجمعی *Pachyphloia- Globivalvulina- Hemigordius* Assemblage Zone انجامید که با زیست‌زون‌های معرفی شده توسط باغبانی (Baghban, 1993) و شاهین‌فر و همکاران (Shahinfar et al., 2020) قابل انطباق است. - قدمت نهشته‌های بخش زیرین سازند دالان و عضو نار از طریق تطابق با سایر سازندهای هم‌ارز و مطالعه زیای روزن‌بران موجود، به آشکوب‌های وردین؟- کپیتانین می‌رسد. - شناسایی ۵ گروه رخساره‌ای دربرگیرنده ۱۱ نوع ریز رخساره متعلق به کمربند رخساره‌ای سبخا، کشندی، لاگون، تپه‌های کربناتی زیر آبی و دریای باز در یک رمب کربناته (Homoclinal) نهشته شده‌اند. - با توجه به نوع ریزرخساره‌ها و عناصر زیستی موجود (از جمله جلبک‌ها و روزن‌بران) ژرفای احتمالی نهشته‌های عضو پایینی دالان به طور تقریبی بین ۱ تا ۴۰ متر و ژرفای نهشته‌های عضو نار به طور تقریبی بین ۱ تا ۱۰ متر برآورد می‌شود. - تغییرات رخساره‌ای نهشته‌های دالان پایینی و عضو نار در چاه E نسبت به سایر چاه‌ها، ژرفای بیشتر و یا احتمالاً فرونشست بیشتر بستر حوضه را نشان می‌دهد، قرار گرفتن چاه D بر روی گنبد نمکی فعال و قرار گرفتن چاه A (پارس جنوبی) در

دنبال سکانس پیشین در نهشته‌های عضو نار آغاز و از ریزرخساره‌های پشته‌های کربناته زیرآبی و لاگون عبور می‌کند و به سطح بیشینه غرقابی (MFS 25) در بالای رخساره لاگون می‌رسد. دسته رخساره (HST) در این توالی بخش بالایی عضو نار را دربر گرفته است و از رخساره‌های لاگون محصور و بین کشندی و در انتهای (HST) رخساره‌های تبخیری فراکشندی (سبخا) تشکیل شده است. مرز بالایی این سکانس (SB) در تمام جاه‌ها در انتهای آشکوب کپیتانین به قاعده عضو بالایی سازند دالان ختم می‌گردد.

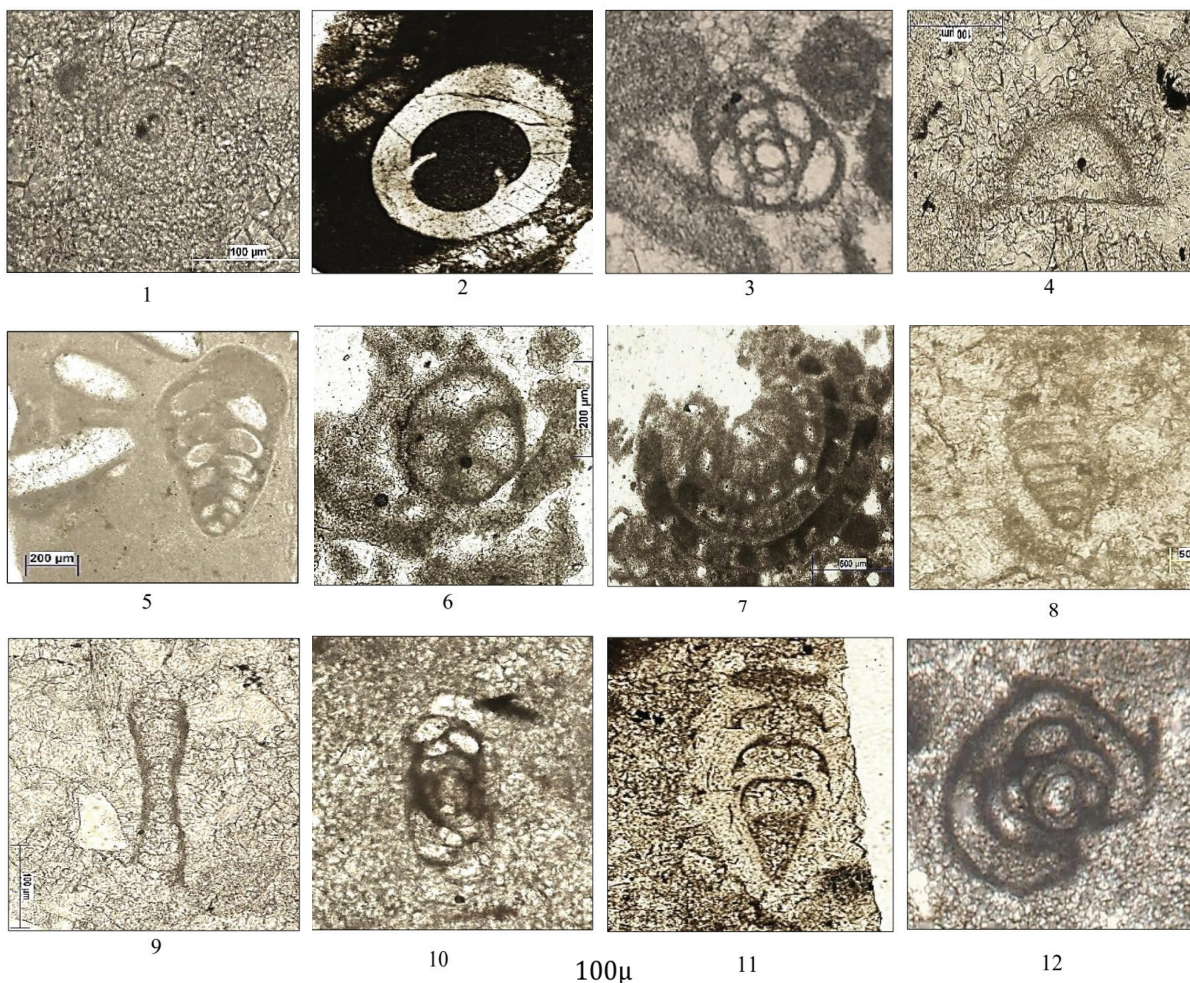
سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس صمیمانه خود را از همکاری ارزنده مسئولان پژوهشی شرکت ملی نفت ایران (NIOC) و شرکت نفت فلات قاره ایران (IOOC)، همچنین راهنمایی‌های مشفقانه دکتر رحیم شعبانیان، دکتر کورش رشیدی، دکتر حسین کامیابی، دکتر علی معلمی، مهندس سعید منیبی، دکتر نواب خدایی، دکتر شاهین زمان، دکتر کاوه خاکسار، دکتر نصراله عباسی، دکتر مهدی بادپا و مهندس محمد مهدی فیروزیان اعلام می‌دارند. همچنین از پروفیسور مرلیندک. نستل (Dr. Merlynd K. Nestell) از دانشگاه تگزاس در آرلینگتون (The University of Texas at Arlington)، برای ویرایش و نقد نوشتار صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

امتداد بلندای دیرینه کمان قطر- فارس احتمالاً دلیل ژرفای کمتر نهشت رسوبات در زمان وردین؟- کپیتانین است.

- توالی‌های کربناته- تبخیری مورد بررسی در این مطالعه، دربرگیرنده ۲ سکانس رده سوم نسبتاً طولانی است. سکانس اول، معادل سکانس واحد مخزنی KS6 سازندخوف و هم‌ارزهای آن در جنوب و باختر خلیج فارس است و دسته توالی پیش‌رونده (TST) مربوط به سکانس اول در دو میدان G و E اندکی پایین‌تر از مرز سازند فراقان آغاز می‌گردد. دسته رخساره پیش‌رونده سکانس اول در میدان A از مرز سازند فراقان شروع شده و بنابراین مرز سکانسی (SB) بر بالای نهشته‌های سازند فراقان و قاعده سازند دالان در آغاز آشکوب وردین؟ منطبق است. این دسته رخساره در آغاز در چاه‌های E, G و A دربرگیرنده رخساره‌های دریایی و تجمعات زیستی خرده اسکلتی بازوپایان، اکتینوئیدها، بریوزوئرها و روزن‌بران کوچک و جلبک‌های متعلق به ژیمنوکودیا سه است. سطح بیشینه غرقابی (MFS 20) در بالای این رخساره (دریایی) قرار گرفته سپس رخساره تراز بالا (HST)، با رخساره‌های مربوط به شول آغاز و در ادامه با لاگون ژرف تا کم‌ژرفا پایان می‌یابد. مرز بالایی این سکانس رده سوم در ابتدای توالی عضو نار و به آشکوب کپیتانین می‌رسد. سکانس دوم با سکانس واحد مخزنی KS5 در واحد پایینی سازند خوف و هم‌ارزهای آن همخوانی داشته و با دسته رخساره‌ای (TST) به

Foraminifera Plate



1: *Pseudoammodisus* sp1. Transverse section; 2: *Langella* sp. Transverse section; 3: *Agathammina* sp. equatorial section; 4: *Tuberitina* sp. axial section; 5: *Palaeotextularia* sp. axial section; 6: *Globivalvulina* sp., lateral section; 7: *Nankinella* sp. subequatorial section; 8: *Geinitzina postcarbonica*, Spandel 1901. axial section; 9: *Pseudoammodisus* sp2. equatorial section; 10: *Hemigordius irregulariformis* Subaxial section; 11: *Pachyphloia* sp. axial section; 12: *Glomospira* sp. Transverse section

کتابنگاری

- اسدالهی شاد، س.، توکلی، و. و رحیم پور بناب، ح.، ۱۴۰۱، تاثیر کمان قطر بر بخش بالایی واحد مخزنی K3 سازند دالان بالایی در بخش زیرین مرزبرمین- تریاس، مقایسه دو میدان در حوضه مرکزی خلیج فارس. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی. سال سی و هشتم. ۸۸ (۳). ص ۵۹-۹۰.
- آفانباتی، ع.، ۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. چاپ دوم. ۵۹۲ ص.
- باغبانی، د.، ۱۳۶۹، بیواستراتیگرافی رسوبات پرمین حوضه زاگرس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی. ۱۴۵ ص.
- باغبانی، د.، ۱۳۷۲، بیواستراتیگرافی فرامینفرهای رسوبات پرمین حوضه زاگرس، جنوب غربی ایران. گزارش شماره ۱۷۹۶ مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران. جلد ۱. ۳۵۸ ص.
- باغبانی، د.، ۱۳۷۵، لیئواستراتیگرافی و بایواستراتیگرافی نواحی آواده - شهرضا و جلفا. رساله دکتری زمین‌شناسی. دانشگاه آزاد اسلامی. ۱۶۸ ص.
- پیریایی، ع. و اصلیلان مهابادی، ح.، ۱۳۹۵، مبانی چینه‌نگاری سکانسی برپایه کتاب مبانی چینه‌نگاری سکانسی کتونیانو. شرکت ملی نفت ایران. تهران بهین. ۴۳۳ ص.
- توکلی، و.، ۱۳۹۸، بررسی توالی‌های طوفانی سازند کربناته کنگان در بخش مرکزی خلیج فارس. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی. ۳۴. ۴. ۷۳. ص ۸۳-۱۰۰. <https://DOI: 10.22108/JSSR.2019.110855.1053>
- جهانی، س.، ۱۳۹۰، تکتونیک نمک، چین خوردگی و گسلش در زاگرس و خلیج فارس. سی‌امین گردهمایی علوم زمین. مجموعه مقالات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۹ ص.
- شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۰، نقشه جامع میادین نفت و گاز خلیج فارس و حوزه فعالیت‌های عملیاتی شرکت نفت فلات قاره ایران. پژوهشگاه صنعت نفت ایران (RIPI).
- عارفی فرد، س. و شاهین فر، س.، ۱۴۰۰، بحران زیستی انتهای پرمین میانی در برش دره همبست، ناحیه آواده، جنوب غرب ایران و مقایسه آن با رسوبات همزمان در شرق تیس. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی. سال سی و هفتم. ۳ (۳). ۴۸. ص ۱۱۲-۹۱. <https://DOI.org/10.22108/jssr.2021.126921.1197>
- عبدالملکی، ج.، رحیم پور بناب، ح.، توکلی، و. و اسدی اسکندر، ا.، ۱۳۹۲، محیط رسوبی، دیاژنز و چینه‌نگاری سکانسی بخش دالان زیرین در میدان گازی گلشن، خلیج فارس. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی. سال بیست و نهم. ۵۲ (۳). ص ۹۰-۶۳. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087888.1392.29.3.4.8>
- علوی نائینی، م.، ۱۳۸۸، چکیده ای از چینه‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۰۷ ص.
- عنایتی بیدگلی، ا.ح.، رحیم پور بناب، ح. و نیک‌اندیش، ع.، ۱۳۹۶، ارزیابی لاگ‌های چاه پیمایی در شناسایی سکانس‌های رسوبی، مثالی از توالی‌های پرمین-تریاس نواحی خلیج فارس و فارس ساحلی. شماره ۱، ۹۲، ۶۹-۸۱ ص.
- فتوت، م.، هاشمی حسینی، غ. و رحیم پور بناب، ح.، ۱۳۹۰، محیط رسوبی بخش بالایی سازند دالان بر روی کمان قطر- فارس و حاشیه شرقی آن، میدین پارس جنوبی و سلمان. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی. سال بیست و هفتم. ۴۲ (۱). ۲۴. ص ۱۱۵-۱۳۶. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087888.1390.27.1.7.3>
- فلاح بگنشا، ر.، آدابی، م. ح. و موحد، ب.، ۱۳۹۰، مطالعه بافت‌های مختلف انیدریت، انواع دولومیت و بررسی کیفیت مخزنی سازند دالان در یکی از چاه‌های میدان گازی پارس جنوبی. پژوهش‌های دانش زمین. سال دوم. ۶. ۴۲-۶۱ ص.
- کاکم، ا.، آدابی، م. ح. و گودرزی، ب.، ۱۳۹۷، دولومیتی شدن، ریز رخساره‌ها و تأثیر آنها بر کیفیت مخزنی سازند دالان بالایی در میدان گازی پارس جنوبی. فصلنامه علوم زمین. سال بیست و هشتم. ۱۱۰. ص ۱۳۷-۱۴۸. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.99877.1277>
- لطف پور، م.، آدابی، م. ح.، صادقی، ع.، معلمی، ع.، ۱۳۸۴، بررسی محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سازند دالان در ناحیه زاگرس، نواحی کوه دنا و سورمه. مجله علوم دانشگاه تهران. جلد سی و یکم. (۱). ۱۹۹-۲۲۸ ص. <https://sid.ir/paper/2130/fa>
- مصدق، ح.، میکروفسیل‌ها، رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند مبارک (کربنفر زیرین) در البرز مرکزی. رساله نامه دکتری. دانشگاه تربیت معلم تهران. ۲۶۹ ص.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲، زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور. ۵۳۶ ص.
- وفایی، ح. و پیروی، م.، ۱۳۹۴، ارزیابی کیفیت مخزنی سازند کنگان در یکی از چاه‌های میدان گازی کیش با استفاده از نرم افزار ژئولاگ. فصلنامه علوم زمین، سال بیست و پنجم. ۹۸. ۲۹-۳۶ ص. <https://DOI.org/10.22071/gsj.2016.41134>

References

- Abdolmaleki, J., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., and Asadi-Eskandar, A., 2013. Depositional Environment, Diagenesis and Sequence Stratigraphy of the Lower Dalan Member in the Golshan Gas Field, Persian Gulf. *Stratigraphy and Sedimentology Researches. Esfahan University*. 29. 3. pp. 63-90. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087888.1392.29.3.4.8>. (In Persian).
- Abdolmaleki, J., Tavakoli, V., and Asadi-Eskandar, A., 2016. Sedimentological and diagenetic controls on reservoir properties in the Permian-Triassic successions of Western Persian Gulf, Southern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 141. pp. 90-113. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2016.01.020>.
- Aghanabati, A., 2006. *Geology of Iran. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. Second edition*. 592 p. (In Persian).
- Aigner, T., 1985. Storm depositional systems. *Lecture Notes in Earth-Science*. 3. 174 p.
- Alavi-Naini, M., 2009. *Stratigraphy of Iran. Geological Survey of Iran. First edition*. 507 p. (In Persian).
- Al-Husseini, M. I., 2000. Origin of the Arabian Plate Structures Amar Collision and Najd Rift. *GeoArabia*. 5. 4. pp. 527-542. <https://doi.org/10.2113/geoarabia0504527>.
- Al-Husseini, M. I., and Koehrer, B., 2013. Chrono and sequence stratigraphy of the Mid-Permian to Early Triassic Khuff sequences of the Arabian Plate. *GeoArabia*. 18.3. pp. 103-130. <https://doi.org/10.2113/geoarabia1803103>.
- Altiner, D., and Payne, J. L., 2017. Origination and early evolution of Involutinida in the aftermath of the end-Permian mass extinction, Praetriadodiscus n. gen., and two new species. *Revue de Micropaleontologie*. 60.4. pp. 573-584. <https://doi.org/10.1016/j.revmic.2017.10.002>.
- Angiolini, L., Balini, M., Garzanti, E., Nicora, A., Tintori, A., Crasquin, S., and Muttoni, G., 2003. Permian Climatic and Paleogeographic

- Changes in Northern Gondwana: The Khuff Formation of Interior Oman. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 191. 269-300p. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(02\)00668-5](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(02)00668-5).
- Arefifard, S., and Payne, J. L., 2020. End Guadalupian extinction of larger fusulinids in central Iran and implications for the global biotic crisis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 550. 15. 10974 .3. <https://DOI: 10.1016/j.palaeo.2020.109743>.
- Arefifard, S., and Shahinfar, S., 2021. *The biotic crisis of end-Guadalupian in the Hambast Valley section, Abadeh, southwest Iran and its comparison with coeval deposits in eastern Tethys. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*. 37. 3. 84. pp.91-112. <https://DOI.org/10.22108/jssr.2021.126921.1197>. (In Persian).
- Arian, M., and Noroozpour, H., 2015. Tectonic Geomorphology of Iran's Salt Structures. *Open Journal of Geology*.5. pp.61-72.
- Asadolahi-Shad, S., Tavakoli, V., and Rahimpour-Bonab, H., 2022. *The effects of Qatar-Arc on the upper part of the K3 Reservoir Unit of the Upper Dalan Formation in the lower part of the Permian-Triassic Boundary: Comparison of two fields in the Central Persian Gulf Basin. Stratigraphic and Sedimentology Researches*. 38. 3. 88. Pp. 59-90. (In Persian).
- Baghbani, D. 1981. Permian biozonation of SW Iran based on foraminifera and algae Proc. 3rd Geol. Symp. Tehran, Iran. Iranian Petroleum Institute Persian.
- Baghbani, D., 1988. Shanita zone and its biostratigraphic significance in South and Southwest Iran. In Review Paleobiology, Special, 2(Benthos 1986). 37p.
- Baghbani, D., 1990. *Biostratigraphy of Permian Foraminifera in Zagross (NW. IRAN). M.Sc dissertation, Tehran Islamic Azad University. 145p. (In Persian)*.
- Baghbani, D., 1993. *Biostratigraphy of Permian sediments of Zagros Basin, Southwest Iran. Exploration Directorate of National Iranian Oil Company (NIOC). Report No. 1796. part I. 358 p. (In Persian)*.
- Baghbani, D., 1993. The Permian sequence in the Abadeh region, Central Iran. South Carolina, Columbia. Occasional Publications ESRI. new series 9, A-B. part II. pp. 7-22.
- Baghbani, D., 1996. *Lithostratigraphy and biostratigraphy of Abadeh - Shahreza and Jolfa areas. Ph.D thesis in geology. Tehran Islamic Azad University. 168 p. (In Persian)*.
- Baud, A., Richoz, S., Beauchamp, B., Cordey, F., Grasby, S., Henderson, C.M., Krystyn, L., and Nicora, A., 2012. The Buday'ah Formation, Sultanate of Oman: A Middle Permian to Early Triassic oceanic record of the Neotethys and the late Induan microsphere bloom. *Journal of Asian Earth Sciences*. 43. 1. 1. pp.130-144. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2011.08.016>.
- Blendinger, W., Furnish, W.M., and Glenister, B. F., 1992. Permian cephalopod limestones, Oman Mountains, evidence for a Permian seaway along the northern margin of Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.93. 1.2. pp.13-20. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(92\)90181-4](https://doi.org/10.1016/0031-0182(92)90181-4).
- Bond, D.P.G., Hilton, J., Wignall, P.B., Ali, J.R., Stevens, L.G., Sun, Y.D., and Lai, X.L., 2010. The Middle Permian (Capitanian) mass extinction on land and in the oceans. *Earth Sci Rev*. 102. pp.100-116. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.07.004>.
- Catuneanu, O., 2006. *Principle of sequence stratigraphy*. 386p. Elsevier, 386p. <https://shop.elsevier.com/books/principles-of-sequence-stratigraphy/catuneanu/978-0-444-51568-1>.
- Catuneanu, O., Galloway, W.E., Kendall, C.G.St.C., Miall, A.D., Posamentier, H.W., Strasser, A., and Tucker, M.E., 2011. *Sequence Stratigraphy, Methodology and Nomenclature, Newsletters on Stratigraphy*. 44. .3. pp. 173-245. <https://DOI: 10.1127/0078-0421/2011/0011>.
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L., and Fan, J.-X., 2023. The ICS International Chronostratigraphic Chart .2013. updated. *Episodes* 36. pp. 199-204. <https:// DOI: 10.18814/epiiugs/2013/v36i3/002>.
- Davydov, V.I., and Arefifard, S., 2013. Middle Permian (Guadalupian) fusulinid taxonomy and biostratigraphy of the mid-latitude Dalan Basin, Zagros, Iran and their applications in paleoclimate dynamics and paleogeography. *GeoArabia. Gulf PetroLink, Bahrain*. 18. 2. pp. 17-62. <https://DOI.org/10.2113/geoarabia180217>.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rock according to depositional texture. AAPG. Mem.1. pp.108-121.
- Embry, A. F., 1995. Sequence boundaries and sequence hierarchies, problems and proposals. In sequence stratigraphy on the Northwest European margin (R.J. Steel, V. I. Felt, E. P. Johannessen and Mathieu, Eds.). Norwegian Petroleum Society (NPS). Special publication 5. pp.1-11. [https://DOI: 10.1016/S0928-8937\(06\)80059-7](https://DOI: 10.1016/S0928-8937(06)80059-7).
- Enayati-Bidgoli, A.H., Rahimpour Bonab, H., and Nickandish, A., 2017. *Evaluation of Well Logs for Recognition of Depositional Sequences, a Case Study from the Permian-Triassic Successions of the Persian Gulf and Coastal Fars Regions. Petroleum Research*. 27 .92. pp. 69- 81. <https://magiran.com/p1714852>. (In Persian).
- Esfarili-Dizaji, B., and Rahimpour-Bonab, H., 2009. Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality, a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf. *Petroleum Geoscience*. 15. pp. 325-344. <https:// DOI: 10.1144/1354-079309-817>.
- Fallah-Bagdash, R., Adabi, M.H., and Movahed, B., 2011. *Study of the various compositions of anhydrite, dolomite and examination of the quality of the Dalan reservoir in one of the wells of the South Pars gas field. The Journal of Researches in Earth Sciences*. 2.6. pp. 42-61. (In Persian).

- Flugel, E., 2010. *Microfacies of carbonate rocks analysis, interpretation and application*. Springer. 984 p. <https://doi.org/10.1017/S0016756806221940>.
- Forke, H.C., Poppelreiter, M., Aigner, T., Koehrer, B., Walz, L., Bendias, D., and Haase, M., 2012. Integrated biostratigraphy of the Saiq Formation (Al Jabal al-Akhdar, Oman Mountains) and its implication for the regional correlation of Khuff time equivalent deposits. In *Third Arabian Plate Geology Workshop*. *GeoArabia*. 17. 1. pp. 230-234. [https:// DOI: 10.3997/2214-4609.20144073](https://doi.org/10.3997/2214-4609.20144073).
- Fotovat, M., Hashemi Hosseini, Gh., and Rahimpour-Bonab, H., 2011. *Sedimentary environment of the Upper Dalan Member in the Qatar-Fars Arc and its eastern margins: South Pars and Salman fields. Stratigraphy and Sedimentology Researches. Esfahan University*. 27. 1. 1.pp. 115-136. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087888.1390.27.1.7.3>. (In Persian).
- Ghazban, F., 2007. *Petroleum geology of the Persian Gulf* edited by Gazban, F. Tehran university and National Iranian Oil Company. 707 p.
- Gradstein, F. M., and Ogg, J., 1996. The Phanerozoic Time Scale. Episodes. 19.1-2. pp. 3-6. [https://DOI: 10.18814/epiiugs/1996/v19i1.2/002](https://doi.org/10.18814/epiiugs/1996/v19i1.2/002).
- Haq, B.U., and Schutter, S.R., 2008. A chronology of Paleozoic sealevel changes. *Science*. 322.pp. 64–68. [https://DOI: 10.1126/science.1161648](https://doi.org/10.1126/science.1161648).
- Heydari, E., Hassanzadeh, J., and Wade, W.J., 2000. Geochemistry of central Tethyan Upper Permian and Lower Triassic strata, Abadeh region, Iran. *Sedimentary Geology*. 137. 1.2. pp. 85-99. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00138-X](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00138-X).
- Hua, F., Shao, L., Zhang, T., Bond, D. P.G., Wang, X., Wang, J., Yan, Z., Lu, J., and Hilton, J., 2023. An astronomical timescale for the Permian-Triassic mass extinction reveals a two-step, million-year-long terrestrial crisis in South China. *Earth and Planetary Science Letters*. 605.118035. 10 p. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2023.118035>.
- Hunt, D., and Tucker, M. E., 1995. Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract, deposition during baselevel fall reply. *Sedimentary Geology*.95. pp. 147-160. [https://DOI.org/10.1016/0037-0738\(92\)90052-S](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90052-S).
- Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M., and Monibi, S., 2006. Upper Dalan member and Kangan formation between the Zagros mountains and offshore Fars, Iran, depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. *Geoarabia Manama*. 11.pp. 75-176. [https://DOI.org/10.2113/geoarabia110275](https://doi.org/10.2113/geoarabia110275).
- Iranian Offshore Oil Company, 2001. The oil and gas fields map of the Persian Gulf internal report. Research Institute of Petroleum Industry (RIPI) Iran National Oil Company. (In Persian)*.
- Isozaki, Y., and Servais, T., 2017. The Hirnantian (Late Ordovician) and end-Guadalupian (Middle Permian) mass-extinction events compared. *Lethaia*. 14p. <https://doi.org/10.1111/let.12252>.
- Jahani, S., 2011. *Salt tectonics, folding and faulting in the Zagros and Persian Gulf. The 30th National Geosciences Congress. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran .9p. (In Persian)*.
- Jahani, S., Callot, J.P., Letouzey, J., and Lamotte, D.F., 2009. The eastern termination of the Zagros Fold-and-Thrust Belt, Iran, Structures, evolution, and relationships between salt plugs, folding and faulting. *Tectonics*. 28. TC6004.22p. [https:// DOI: 10.1029/2008TC002418](https://doi.org/10.1029/2008TC002418).
- Jin, Z.K., Shi, L., Gao, B.S., and Yu, K.H., 2013. Carbonate facies and facies models. *Acta Sedimentol. Sin.* 31 .6. pp. 965–979 (in Chinese) in Peng *et al.*, 2022.
- Kaiho, K., Grasby, S. E., and Chen, Z.Q., 2023. High temperature combustion event spanning the Guadalupian–Lopingian boundary terminated by soil erosion. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.618. 15. 111518. [https://DOI.org/10.1016/j.palaeo.2023.111518](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111518).
- Kakemem, U., Adabi, M., and Gudarzi, B., 2018. *Dolomitization, microfacies and their impact on reservoir quality of the Upper Dalan Formation in South Pars Gas Field. Scientific Quarterly Journal of Geoscience. Geological Survey of Iran*. 28. 110. pp.137-148. [https:// DOI.org/10.22071/gsj.2018.99877.1277](https://doi.org/10.22071/gsj.2018.99877.1277). (In Persian).
- Kakemem, U., Ghasemi, M.F., Adabi, M. H., Antun, H., Mahmoudi, A., and Anderskov, K., 2023. Sedimentology and sequence stratigraphy of automated hydraulic flow units, the Permian Upper Dalan Formation, Persian Gulf. *Marine and Petroleum Geology*.147.105965. 24p. [https://DOI.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105965](https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105965).
- Kashfi, M. S., 1992. Geology of the Permian super giant gas reservoirs in the greater Persian Gulf area. *Journal of Petroleum Geology*. 15. 4. pp. 465-480. [https://DOI: 10.1111/j.1747-5457.1992.tb01046.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1992.tb01046.x).
- Knaust, D., 2014. Classification of bioturbation-related reservoir quality in the Khuff Formation (Middle East), towards a genetic approach, Chapter11, *Permo-Triassic Sequence of the Arabian Plate*. EAGE. pp. 247-267. [https://DOI: 10.2113/geoarabia150291](https://doi.org/10.2113/geoarabia150291).
- Koehrer, B., Zeller, M., Aigner, T., Poppelreiter, M., Milroy, P., Forke, H., and Al-Kindi, S., 2010. Facies and stratigraphic framework of a Khuff outcrop equivalent, Saiq and Mahil formations, Al Jabal al-Akhdar, Sultanate of Oman. *GeoArabia*. 15. 2. pp.91-156.
- Konert, G., Afifi, A.M., Al-Hajri, S.A., and Droste, H.J., 2001. Paleozoic Stratigraphy and Hydrocarbon Habitat of the Arabian Plate. *Geo Arabia*. 6 .3. pp. 407–442. [https://DOI: 10.2113/geoarabia0603407](https://doi.org/10.2113/geoarabia0603407).
- Li, G., Wang, Y., Li, S., Wang, T.3, Liao, W., Deng, B., and Lai, Z., 2022. Biotic Response to Rapid Environmental Changes During the Permian–Triassic Mass Extinction. *Frontiers in Marine Science*. 9. 911492. 17P. [https:// DOI: 10.3389/fmars.2022.911492](https://doi.org/10.3389/fmars.2022.911492).
- Li, J., Han, Z., Wen, X., Retallack, G. J., and Huang, C., 2020. Sea level fluctuations in the late Middle Permian estimated from palaeosols of the Sichuan Basin, SW China. *Geological Magazine*. 1–16p. [https:// DOI: 10.1017/S0016756819001481](https://doi.org/10.1017/S0016756819001481).
- Li, S., Yu, X., Li, S., and Giles, K. A., 2015. Role of sea-level change in deep water deposition along a carbonate shelf margin, Early and Mid-

- dle Permian, Delaware Basin: implications for reservoir characterization. *Geologica Carpathica*. 66. 2. pp. 99-116. <https://DOI: 10.1515/geoca-2015-0013>.
- Liu, X., Song, H., Bond, D. P.G., Tonga, J., and Benton, M. J., 2020. Migration controls extinction and survival patterns of foraminifers during the Permian-Triassic crisis in South China. *Earth-Science Reviews*. 209.103329. 23p. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103329>.
- Lotfpour, M., Adabi, M. H., Sadeghi, A., and Moalemi, A., 2005. *Investigating sedimentary environments and sequence stratigraphy of Dalan Formation in Zagros region (Kuh Dana and Kuh Surmeh areas)*. *Tehran University Science Journal*. 31.1. pp.199-228. <https://sid.ir/paper/2130/fa>. (In Persian).
- Lucia, F.J., 2007. *Carbonate Reservoir Characterization*. Springer Verlag, Berlin. p.341.
- Madi, A., Bourque, P.A., and Mamet, B.L., 1996. Depth-related ecological zonation of a Carboniferous carbonate ramp, Upper Viséan of Bechar Basin, Western Algeria. *Facies*. 35. pp. 58-80. <https://DOI: 10.1007/BF02536957>.
- Madi, A., Savard, M.M., Bourque, P.A., and Chi, G., 2000. Hydrocarbon Potential of the Mississippian Carbonate Platform, Bechar Basin, Algerian Sahara. 84. pp. 266-287. <https://DOI.org/10.1306/C9EBCDC9-1735-11D7-8645000102C1865D>.
- Mosaddegh, H., 2000. *Microfossils, facies, sedimentary environments and sequence stratigraphy of Mobarak Formation (Lower Carboniferous) in Central Alborz*. PhD Thesis. Kharazmi University, Tehran, Iran. 269 p. (In Persian).
- Motiei, H., 1993. *Stratigraphy of Zagros*. Geological Survey of Iran Publication, Tehran, 536 p. (In Persian).
- Nestell, G. P., and Nestell, M. K., 2006. Middle Permian (Late Guadalupian) foraminifers from Dark Canyon, Guadalupe Mountains, New Mexico. *Micropaleontology*. 52. 1. pp. 1-50. <https://DOI.org/10.2113/gsmicropal.52.1.1>.
- Orang, K., Motamedi, H., Azadikhah, A., and Royatvand, M., 2018. Structural framework and tectono-stratigraphic evolution of the eastern Persian Gulf, offshore Iran. *Marine and Petroleum Geology*. 91.PP.89-107. <https://DOI.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.12.014>.
- Peng, Y., and Li, H., 2023. Benthic foraminiferal morphogroups at the end Guadalupian extinction in eastern Sichuan Basin, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 618. 111522. <https://DOI.org/10.1016/j.palaeo.2023.111522>.
- Peng, Y., Li, H., Boudagher-Fadell, M., Wang, L., Zhang, D., Zheng, T., and Yang, K., 2022. Benthic foraminifera distribution and sedimentary environmental evolution of a carbonate platform, a case study of the Guadalupian (middle Permian) in eastern Sichuan Basin. *Marine Micropaleontology*. 170.102079. 17p. <https://DOI.org/10.1016/j.marmicro.2021.102079>.
- Perotti, C.R, Carruba, S., Rinaldi, M., Bertozzi, G., Feltre, L., and Rahimi, M., 2011. The Qatar-South Fars Arch Development (Arabian Platform, Persian Gulf), Insights from Seismic Interpretation and Analogue Modelling. *New Frontiers in Tectonic Research at the Midst of Plate Convergence*. pp.325-352. <http://DOI: 10.5772/20299>.
- Piryaei, A.R., Asilian-Mahabadi, H., (Translators) 2016. *Principle of Sequence Stratigraphy, Octavian Catuneanu, 2006, 1st Edition, Iranian Offshore Oil Company, Tehran Behin. p.433. (In Persian)*.
- Posamentier, H. W., and Allen, G. P., 1999. Siliciclastic sequence stratigraphy, concepts and applications. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology*. 7.210 p. <https://DOI: https://doi.org/10.2110/csp.99.07>.
- Pronina, G. P., 1990. Late Permian small foraminifers of Transcaucasia and their stratigraphic significance." Ph.D. thesis, All-Union Geological Research Institute (VSEGEI). Leningrad. 22 pp. (in Russian) in Nestell, G. and Nestell, M. K. 2006.
- Qiu, Z., Wang, Q., Zou, C., Yan, D., and Wei, H., 2013. Transgressive–regressive sequences on the slope of an isolated carbonate platform (Middle–Late Permian, Laibin, South China). *Facies*. 60. pp.327–345. <https://DOI: 10.1007/s10347-012-0359-4>.
- Rezavand, N., Jahani, D., and Asilian, H., 2016. Facies, Sedimentary Environment and Sequence Stratigraphy of Dalan Formation in South Fars, Iran. *Open Journal of Geology*. 6. pp. 944-962. <http://DOI: 10.4236/ojg.2016.68071>.
- Richoz, S., Krystyn, L., Weidlich, O., Baud, A., Beauchamp, B., Bernecker, M., Cordey, F., Grasby, S., Henderson, C., Marcoux, J., Nicora, A. and Twitchett, R. 2010. The Permian-Triassic transition in the Oman Mountains, Transect of the Tethyan margin from shallow to deep-water deposits. *IGCP 572 Field Guide Book 2, GUtech Geoscience Workshop Publication*. 1. pp.1-109. <https://hal.science/hal-03276240/document>.
- Saberi, M.H., Ashrafi, T., and Rabbani, A. R., 2019. 1D Petroleum system modeling in several costal Fars hydrocarbon fields and analysis of Kangan Formation's shaly sublayers generation potential. *Iranian Journal of Mining Engineering- IRJME*. 13. 41. 7p. <https://10.22034/IJME.2018.34835>.
- Shahinfar, S., Yousefi Yeganeh, B., Arefifard, S., Vachard, D., and Payne, J. L., 2020. Refined foraminiferal biostratigraphy of upper Wordian, Capitanian, and Wuchiapingian strata in Hambast Valley, Abadeh region (Iran), and paleobiogeographic implications. *Geological Journal*. pp.1-25. <https://DOI.org/10.1002/gj.3798>.
- Sharland, P. R., Casey, D. M., Davies, R. B., Simmons, M. D., and Sutcliffe, O. E., 2004. Arabian Plate Sequence Stratigraphy revisions to SP2. *GeoArabia*. 9. 1. Gulf PetroLink, Bahrain. pp. 199-214. <https://DOI: 10.2113/geoarabia0901199>.
- Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D., and Simmons, M.D., 2001. Arabian Plate sequence stratigraphy. *GeoArabia Special Publication*. 2. Gulf PetroLink, Bahrain. p.371.
- Shen, J., Zhang, Y.G., Yang, H., Xie, S., and Pearson, A., 2022. Early and late phases of the Permian–Triassic mass extinction marked by

- different atmospheric CO₂ regimes. *Nature. Geoscience*. 15. pp. 839–844. <http://DOI: 10.1038/s41561-022-01034-w>.
- Shinn, E. A., 1969. Submarine lithification of Holosen carbonate sediments in the Persian Gulf. *Sedimentology*. Elsevier Publishing Company. Netherlands. pp. 109-144. <https://DOI: 10.1111/j.1365-3091.1969.tb00166.x>.
- Szabo, F., and Kheradpir, A., 1978. Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, south west Iran. *Journal of Petroleum Geology*. 1. pp. 57-82. <https://DOI.org/10.1111/j.1747-5457.1978.tb00611.x>.
- Taheri, K., and Hadadi, A., 2020. Improving the Petrophysical Evaluation and Fractures study of Dehram Group Formations using conventional petrophysical logs and FMI Image Log in one of the Wells of South Pars Field. *Journal of Petroleum Science and Technology*. 10. 4. 4. pp. 32-39. <https://DOI: 10.22078/jpst.2020.4150.1671>.
- Tavakoli, V., 2019. *Analysis of carbonate tempestite deposits of the Kangan Formation in the central Persian Gulf. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan*. 34. 4. 73. pp. 83-100. <https://DOI: 10.22108/JSSR.2019.110855.1053>. (In Persian).
- Teymourzadeh, H., Vaziri, S.H., Jahani, D., Kohansal Ghadimvand, N., and Yahyaei, A., 2014. Exploration Characteristics and Lithostratigraphy of the Kangan and Upper Dalan Formations in Lavan Gas Field, Northern Persian Gulf. *Academic Research Part A*. 6. pp. 311-320. <https://DOI: 10.7813/2075-4124.2014/6-5/A.43>.
- Tucker, M. E., and Wright, V. P., 1990. Carbonate sedimentology. Wiley Blackwell. First published. 252p. <https://DOI:10.1002/9781444314175>.
- Vachard, D., Gaillot, J., Vaslet, D., and Nindre, Y. M. L., 2005. Foraminifers and algae from the Khuff Formation. *GeoArabia*. 10.4. pp. 137-186. <https://DOI.org/10.2113/geoarabia1004137>.
- Vachard, D., Hauser, M., Martini, R., Zaninetti, L., Matter, A., and Peters, T., 2002. Middle Permian (Midian) foraminiferal assemblages from the Batain plain (eastern Oman), their significance to Neotethyan. paleogeography, *J. Foram. Res.* 32. 2. pp. 155-172. <https://DOI: 10.2113/0320155>.
- Vachard, D., Pille, L., and Gaillot, J., 2010. Palaeozoic Foraminifera: Systematics, palaeoecology and responses to global changes. *Rev. Micropaleontol.* 53. 4. pp. 209–254. <https://DOI.org/10.1016/j.revmic.2010.10.001>.
- Vafaei, H., and Peyravi, M., 2016. Reservoir quality evaluation of the Kangan Formation in one of the Kish gasfield wells by using geology software. *Scientific Quarterly Journal of Geoscience. Geological Survey of Iran*. 25. 98. 98. pp. 29-36. <https://DOI.org/10.22071/gsj.2016.41134>. (In Persian).
- Vail, P.R., Mitchum, R. M., Jr., and Thompson, S., 1977. Seismic stratigraphy and global change of sea level part four, global cycle of relative changes of sea level. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*. 26. pp. 83-98. <https://DOI.org/10.1306/M26490C6>.
- Vaslet, D., Le Nindre, Y.M., Vachard, D., Broutin, J. Crasquin-Soleau, S., Berthelin, M., Gaillot, J. Halawani, M., and Al-Husseini, M., 2005. The Permian-Triassic Khuff Formation of central Saudi Arabia. *GeoArabia*, 10. 4. pp. 77-134. <https://DOI.org/10.2113/geoarabia100477>.
- Walz, L., Aigner, T., and Koehrer, B., 2013. Khuff Sequence KS5 outcrop-equivalents in the Oman Mountains, Sultanate of Oman: Variations to the simple “layer-cake” stratigraphy. *GeoArabia*. 18. 4. pp. 179-218. <https://DOI: 10.2113/geoarabia100477>.
- Wang, R., Xie, J., Ran, A., Wang, S., Wang, J., Hu, X., Cai, W., and Zhou, Y., 2022. Comparison of INPEFA technology and wavelet transform in sequence stratigraphic division of mixed reservoir: a case study of lower Es3 of KL oilfield in Laizhouwan Sag. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 12. pp. 3213–3225. <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01523-z>.
- Wignall, P. B., Bond, D. P. G, Hass, J., Wang, W., Jiang, H., Lai, X., Altiner, D., Vedrine, S., Hips, K., Zajzon, N., Sun, Y., and Newton, R.J., 2012. Capitanian (Middle Permian) mass extinction and recovery western Tethys a fossil, facies $\delta^{13}C$ study from Hungary and Hydra island (Greece). *Palaios*. 27. pp. 78-89. <https://DOI: 10.2110/palo.2011.p11-058r>.
- Wilson, B.R., 1975. Carbonate Facies in Geological History: Springer, Berlin, 471 p. <https://DOI.org/10.1007/978-1-4612-6383-8>.
- Winter, H. de la R., 1984. Tectonostratigraphy as applied to the analysis of South African Phanerozoic basins. *Transactions of the Geological Society of South African*. 87. pp. 169-179. https://DOI: 10.10520/AJA10120750_1167.
- Yuan, Y., and Wang, L., 2018. Application of INPEFA technology to sequence stratigraphy of the third member of funing formation nanhua block, Qintong Sag, North Jiangsu Basin. *Petroleum Geol.* 40.6. pp. 871–876. <https://DOI: 10.11781/sysydz201806871>.
- Ziegler, M. A., 2001. Late Permian to Holocene Paleofacies Evolution of the Arabian Plate and its Hydrocarbon Occurrences. *GeoArabia*. 6. 3, pp. 445-504. <https://DOI.org/10.2113/geoarabia0603445>.