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

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches
E-ISSN: 2423-8007
Vol. 39, Issue 2, No. 91, Summer 2023, pp 23-44
Received: 29.08.2023 Accepted: 11.11.2023

Research Paper

Sequence stratigraphy and microfacies of the Sarvak Formation, west of the Hendijan–Bahregansar–Nowrooz Palaeohigh

Solmaz Sadeghi
PhD student of Stratigraphy and Palaeontology, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
sadeghisolmaz6890@gmail.com
Hossein Hashemi
Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
h.hashemi@khu.ac.ir
Bijan Beiranvand*
Senior Researcher, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran
biranvandb@ripi.ir

Abstract
The Sarvak Formation is one of the most important oil reservoirs in southwestern Iran. The Hendijan–Bahregansar–Nowrooz strike-slip Fault (HBNF) is known as a major fault system in the northwestern of the Persian Gulf, extending for approximately 700 kilometers in a north-northeast to south-southwest direction. This fault line passes through the northwestern region of the Persian Gulf, exerting a significant influence on the geological evolution of the area. This study emphasizes on importance of the microfacies, sedimentary environments, and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in the western part of the Hendijan–Bahregansar–Nowrooz palaeohigh, specifically those of the Hendijan, Bahregansar, and Mahshahr oilfields in southwestern Iran. A total of 186 thin sections of rock samples was examined in terms of their petrographic, sedimentological, and stratigraphic aspects. This led to the identification of seven microfacies distributed in four facies belts of tidal flat, lagoon, shoal, and open sea. The lack of turbidites and continuous reefs indicates that carbonates of the Sarvak Formation in the studied area formed on a homoclinal ramp. Additionally, five third-order depositional sequences were identified in the strata studied northwest of the HBNF. It can be concluded that the studied area was structurally stable during the Early Cenomanian. However, starting from the Late Cenomanian, significant tectonic phases resulted in the uplift of the area along an old ridge. Furthermore, the data indicate that the uplift of the Arabian Plate during the Early Turonian had significant effects on sedimentary processes in the region. This resulted in the retreat of the sea and the occurrence of a subsequent notable erosion phase at the Cenomanian–Turonian boundary in many areas including the Bahregansar and Hendijan oilfields. The interpretation of sedimentary characteristics and depositional environments in the upper part of the Sarvak Formation in the Mahshahr Oilfield relies on seismic sections, petrophysical logs, and microfacies analysis. Based on the available information the sediments apparently accumulated in a north-northwest to south-southeast trend, forming an onlap over both sides of a palaeohigh.
Keywords: Microfacies, Depositional environments, Sarvak Formation, Persian Gulf, Sequence stratigraphy.

Introduction

The Persian Gulf is widely recognized as one of the most economically significant hydrocarbon basins in the world. The development of the Persian Gulf region occurred during the Late Cenozoic, at the northeastern edge of the Arabian Plate, where the Zagros Mountains are located in the north and northeast and the Arabian Plate (Ghazban 2007). The HBNF is a major fault system in the northwestern of the Persian Gulf with an NNE-SSW direction. This fault has resulted in the uplift of the Hendijan–Nowrooz palaeohigh and created favorable conditions leading to the formation of such oil traps as the Hendijan and Bahregansar.

The Sarvak Formation represents one of the most important oil reservoirs in southwestern Iran. Tectonic movements along the Hendijan–Nowrooz palaeohigh influenced the sedimentatary history of the Sarvak Formation in this area. The type section of the Sarvak Formation in Tang-e-Sarvak comprises 821.5m of limestones with

*Corresponding author
Sadeghi S. Hashemi H. and Beiranvand B. (2023). Sequence stratigraphy and microfacies of the Sarvak Formation, west of the Hendijan–Bahregansar–Nowrooz Palaeohigh. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches, 39(2):1-22.

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

intercalations of shales and claystones. The rock unit transgressively overlies the Kazhdumi Formation and unconformably underlies the Gurpi Formation.

The Sarvak Formation consists of limestones, shales, dolostones, and dolomitized limestones in the northwest region of the Persian Gulf. The stratigraphic distribution of foraminifera led to the introduction of some biozones/biofacies (Wynd 1965). These include *Trocholina-Orbitolina* assemblage biozone, Oligostegina facies, *Nezzazata*-alveolinids assemblage biozone, and *Nezzazatinella-Dicyclina* assemblage biozone (Sadeghi et al. 2021). This study emphasizes on importance of the microfacies, sedimentary environments, and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in the western part of the Hendijan–Bahregansar–Nowrooz palaeohigh, specifically those of the Hendijan, Bahregansar, and Mahshahr oilfields of southwestern Iran.

Material & Methods

A total of 186 thin sections of rock samples from the study area were examined in terms of their petrographic, sedimentological, and stratigraphic features. The petrographic classification for carbonates is based on the Dunham classification (Dunham 1962). Wilson (1975) and Flügel (2010) facies belts and sedimentary models are also used. The schemes allow for the identification and differentiation of microfacies types based on their unique sedimentological characteristics. The sequence stratigraphic approach based on Sharland et al. (2001)'s proposed model for the Arabian Plate and its subsequent updates (Bromhead et al. 2022; Van Buchem et al. 2011; Davies et al. 2002, 2019) is followed herein. Based on the system tracts and using GIS software, changes in sedimentary environments in the study area are determined.

Discussion of Results & Conclusions

Seven microfacies distributed in four facies belts of tidal flat, lagoon, shoal, and open sea are identified from the Hendijan (HD-Y), Bahregansar (BS-X), and Mahshahr (MR-1) oilfields. Poorly fossiliferous (dolo)mudstone microfacies recognized in the Bahregansar Oilfield are comparable with the tidal facies previously reported from the Kuh-e Mond, Ahwaz Oilfield, and Sarvak Formation in the Shiraz area (Qomi Aveili 2016; Kazem Zadeh and Lotfpour 2016; Mirzaee 2020).

The presence of mud matrix in bioclast mudstone and miliolid-foraminifera mudstone-wackestone microfacies shows that, for the most part, deposition occurred in a low to moderate energy environment such as a lagoon and benthic foraminifera are the main skeletal grains. These facies occur in the Mahshahr and Bahregansar wells and were previously reported from the Kuh-e Siah, Kuh-e-Mond, and Ahwaz Oilfield (Gholami Zadeh et al. 2019; Kazem Zadeh and Lotfpour 2016).

Shoal sediments are composed of bioclast-peloid packstone-grainstone and echinoid-rudist debris grainstone microfacies. These facies occur in the Mahshahr and Bahregansar wells and exhibit characteristics of high-energy sub-environments. They were also recognized in the Kuh-e-Siah and Kuh-e-Mond, as well as in the Ahwaz, and Azadegan oilfields. The palynostratigraphic analysis of the Wara and Ahmadi formations in Kuwait (well F) revealed facies characteristics indicative of tidal and lagoon sub-environments. In the study area, however, sediments of the Wara and Ahmadi formations exhibit characteristics of lagoon-shoal sub-environments.

The open marine facies include benthic-planktonic foraminifera wackestone and planktonic foraminifera mudstone-wackestone. The main components of this facies are planktonic foraminifera accompanied by oligosteginids.
The lack of turbidites and continuous reefs indicates that carbonates of the Sarvak Formation in the studied area formed on a homoclinal ramp. Additionally, five third-order depositional sequences were identified in the strata studied northwest of the HBNF.

Depositional sequence 1 is incomplete because the lower boundary occurs within the Kazhdami Formation. There are type II sequence boundaries in the Mahshahr and Bahregansar oilfields while a type I sequence boundary is identified in the Hendijan well, due to tectonic activities of the HBNF in the Cenomanian. Comparison of the data from these wells with those from the Ahwaz Oilfield, and well F in Kuwait and Nahr-Umar in Iraq shows that the maximum flooding level (MFS) probably can be correlated with the K110 of Sharland et al. (2001) in other parts of the Arabian Plate.

Depositional sequences 2 and 3 are identified in the middle of the Sarvak Formation. The depositional sequence 2 represents the last depositional sequence identified in the Bahregansar due to the tectonic activities of the HBNF. Comparison of the data from the wells studied with those from the Ahwaz Oilfield, wells F, and Nahr-Umar signifies that the MFS of depositinal sequences 2 and 3 are comparable with K120 and K130, respectively, of Sharland et al. (2001) in other parts of the Arabian Plate.

Depositional sequence 4 is the last depositional sequence identified in wells F and Nahr-Umar. Based on the similar facies changes observed in the Mahshahr well with those from Ahwaz Oilfield, Nahr-Umar, and Well F, the MFS is probably comparable to the K140 of Sharland et al. (2001) in other parts of the Arabian Plate.

Depositional sequence 5 is identified in the upper of the Sarvak Formation in the Mahshar Oilfield. The upper boundary of this depositional sequence was coincident with the Middle Turonian disconformity. The MFS appears to be comparable with the KTu1 of Bromhead et al. (2022) in other parts of the Arabian Plate.

It can be concluded that the studied area was structurally stable during the Early Cenomanian. However, starting from the Late Cenomanian, significant tectonic phases resulted in the uplift of the area along an old ridge. Furthermore, the data indicate that the uplift of the Arabian Plate during the Early Turonian had significant effects on sedimentary processes in the region. This resulted in the retreat of the sea and subsequently, a notable erosion phase occurred at the Cenomanian–Turonian boundary in many areas including the Bahregansar and Hendijan oilfields. The interpretation of sedimentary characteristics and depositional environments in the upper part of the Sarvak Formation in the Mahshahr Oilfield relies on seismic sections, petrophysical logs, and microfacies analysis. Based on the available information, sedimentation occurred in a north-northwest to south-southeast trend forming an onlap over both sides of a palaeohigh.

.

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی
سال سی و نهم، شماره پیاپی ۹۱، شماره دوم، تابستان۱۴۰۲، ص۲۳-۴۴
تاریخ وصول: ۱۴۰۲/۰۶/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰

مقاله پژوهشی

چینه نگاری سکانسی و ریزرخساره‌های سازند سروک در غرب بلندای قدیم هندیجان- بهرگانسر- نوروز

سولماز صادقی، دانشجوی دکتری گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
sadeghisolmaz6890@gmail.com
حسین هاشمی، دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
h.hashemi@khu.ac.ir
بیژن بیرانوند*، استادیار پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران
biranvandb@ripi.ir

چکیده
سازند سروک (کرتاسه میانی) یکی از مهم‌ترین مخازن نفتی در جنوب غرب ایران به شمار می‌رود. گسل هندیجان- بهرگانسر- نوروز به طول بیش از ۷۰۰ کیلومتر یک گسل تقریباً عمودی-راست‌گرد لغزشی در روند عربی (NNE-SSW) است که ضمن عبور از شمال غربی خلیج‌فارس و تاثیرگذاری بر تکامل زمین شناسی منطقه نقش مهمی در تحولات چینه شناسی و رخساه های رسوبی سازند سروک داشته است. از اینرو در مطالعه اخیر به بررسی ریز رخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه نگاری سکانسی سازند سروک در غرب بلندای قدیم هندیجان- بهرگانسر- نوروز در میادین هندیجان، بهرگانسر و ماهشهر پرداخته شد. برای این منظور تعداد ۱۸۶مقطع نازک مورد مطالعات پتروگرافی، رسوب شناسی و چینه شناسی قرار گرفت. این مطالعه مجموعاً منجر به شناسایی ۷ ریزرخساره در ۴ کمربند رخساره ای پهنه جزر و مدی، لاگون، سد، و دریای باز گردید. وجود ریف های پشته ای و نبود رسوبات توربیدایتی یک پلاتفرم کربناته کم عمق از نوع رمپ را برای تشکیل رسوبات سازند سروک در این ناحیه پیشنهاد می کند. همچنین چینه نگاری سکانسی رسوبات مورد مطالعه در شمال غرب گسل هندیجان- بهرگانسر- نوروز منجر به شناسائی پنج سکانس رسوبی رده سوم شد. بر اساس نتایج به دست آمده، اگرچه منطقه مورد مطالعه در اوایل سنومانین از نظر ساختاری پایدار بود اما از اواخر سنومانین تحت تاثیر فازهای تکتونیکی مهم در امتداد یک برجستگی قدیمی شروع به بالاآمدن کرد. همچنین بالاآمدگی صفحه عربی در اوایل تورونین، موجب عقب نشینی آب دریا و خروج رسوبات سنومانین از آب و در نتیجه وقوع یک فاز فرسایشی مهم در مرز سنومانین و تورنین در بیشتر مناطق (میادین بهرگانسر و هندیجان) شد. در میدان ماهشهر به دلیل نبود سنگواره های شاخص ، اطلاعات جامع و با استناد به اطلاعات مقاطع لرزه نگاری، لاگ های پتروفیزیک و مطابقت ریز رخساره‌ها با چاههای مشابه احتمالارسوبات کربناته بخش فوقانی سازند سروک در روند شمال شمال غرب – جنوب جنوب شرق، به صورت آنلپ در کناره‌های این بلندای قدیمه ته‌نشین شدند.

واژه‌های کلیدی: سروک، چینه نگاری سکانسی، خلیج فارس، کرتاسه میانی، ماهشهر

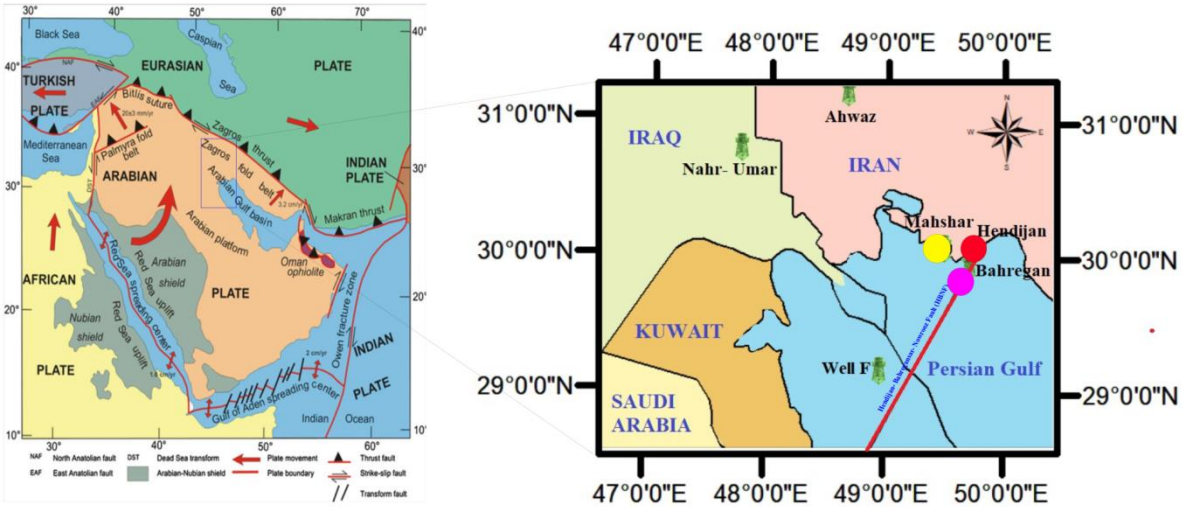
*نویسنده مسئول

صادقی، س.؛ هاشمی، ح. و بیرانوند، ب. (۱۴۰۲). چینه نگاری سکانسی و ریزرخساره‌های سازند سروک در غرب بلندای قدیم هندیجان- بهرگانسر- نوروز. *پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی*، ۳۹(۲)، ۲۳-۴۴.

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

مقدمه

خلیج‌فارس به علت وجود توالی‌های رسوبی ضخیم، سنگ‌های مخزن، منشأ، و پوش‌سنگ، گستردگی ناحیه‌ای و وضعیت استراتژیک یکی از اقتصادی‌ترین حوضه‌های هیدروکربوری جهان به شمار می‌رود. این منطقه در اواخر سنوزوئیک در حاشیه شمال شرقی ورق عربی (Arabian Plate) و اوراسیا، جایی که کوه‌های زاگرس در شمال و شمال‌شرق آن و سپر عربی در بخش غربی آن قرار دارد، توسعه یافت (Ghazban 2007). گسل هندیجان- بهرگانسر- نوروز (HBN Fault) در شمال غربی خلیج‌فارس یک گسل تقریباً عمودی- راست‌گرد لغزشی همراه با یک شیب عمیق در روند عربی NNE- SSW است. مؤلفه لغزش عمیق این گسل اصلی، بلندای قدیمِ هندیجان- نوروز را به وجود آورد و بسیاری از نفت گیرهای ساختاری، مانند تاقدیس هندیجان، بهرگانسر و ماهشهر در مجاورت گسل هندیجان- بهرگانسر- نوروز قرار دارند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی چاههای مورد مطالعه (ماهشهر، هندیجان و بهرگانسر) در صفحه عربی (El-aziz et al. 2022).

Fig 1- location of the studied oilfields (Mahshahr, Hendijan and Bahregansar) on the Arabian Plate (El-aziz et al. 2022).

براساس مطالعات قبلی، بلندای قدیمِ هندیجان - نوروز از آپتین تا تقریباً اواخر سنومانین تحت‌تأثیر حرکات تکتونیکی قرار نداشت. فعالیت‌های تکتونیکی پس از سنومانین منجر به جابه‌جایی بلوک‌ها در امتداد هندیجان - نوروز که تا این زمان آرام بود، گردید و در نهایت ناپیوستگی بعد از سنومانین را در منطقه به وجود آورد. در آغاز تورونین رسوبات کربناته سروک فوقانی در روند شمال شمال غرب – جنوب جنوب شرق که به موازات جهت بلندای قدیمِ است، به صورت آنلپ در کناره‌های بلندای قدیمِ ته‌نشین گردید (Mohammadrezaei et al. 2020; Al- Husseini 2007). سازند سروک به سن کرتاسه میانی (آلبین پسین - تورونین) یکی از مخازن مهم نفتی ایران و کشورهای عربی در این حوضه است. از آنجایی که رخساره‌ها توسط فرایندهای حاکم بر محیط رسوبی کنترل می شوند، مطالعه آنها به تفسیر فرایندهای هم زمان با رسوب‌گذاری کمک زیادی می‌کند. تجزیه و تحلیل رخساره‌ها روش مناسبی جهت مشخص‌کردن مجموعه‌های رسوبی با ویژگی‌های سنگ شناسی، فیزیکی و بیولوژیکی مشابه بوده که نشانه های کلیدی را جهت شناسایی سطوح چینه نگاری، محیط های رسوبی دیرینه، بازسازی جغرافیای دیرینه و چینه نگاری سکانسی فراهم می سازد (Catuneanu 2006). هدف این مطالعه

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

تشخیص رخساره های میکروسکپی، محیط های رسوبی، و چینه نگاری سکانسی سازند سروک در غرب بلندای قدیم هندیجان- بهرگانسر- نوروز در میادین هندیجان، بهرگانسر، ماهشهر و مقایسه آنها با داده های مربوط به مناطق مجاور است.

ویژگی های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

مقطع چینه شناسی تیپ سازند سروک (کرتاسه میانی) در تنگ سروک استان خوزستان شامل ۸۲۱/۵ متر سنگ‌آهک‌های خاکستری تیره_ قهوه‌ای روشن ضخیم لایه تا توده‌ای رودیست‌دار همراه با میان‌لایه‌هایی از شیل و آهک رسی هست. حد پایینی این سازند در برش چینه‌شناسی نمونه با سازند کژدمی تدریجی و حد بالایی آن با سازند شیلی گورپی قاطع و آغشته به ترکیبات آهن‌دار است که می‌تواند معرف یک ناپیوستگی فرسایشی باشد (Motiei 1994). با توجه به اهمیت سازند سروک مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده که از جمله می توان به مورد زیر اشاره کرد:

وایند (Wynd 1965) بایوزون ها و رخساره‌های زیستی متعددی را در نهشته‌های مزوزوئیک- سنوزوئیک منطقه زاگرس معرفی نمود که پس از آن خلیلی (Khalili 1976) با استفاده از مطالعه Wynd (1965) نقشه‌های رخساره‌ای و هم ضخامت سازندهای سروک و ایلام را در محدوده وسیعی از حوضه زاگرس ترسیم نمود. ناصری و همکاران (Naseri et al. 2005) با مطالعه دو برش از سازند سروک (برش نمونه و برش چاه پارسی ۳۵) تعداد ۹ میکروفاسیس، ۳ بیوفاسیس و دوسیکل رسوبی مشخص شناسایی کرد. در این پژوهش تغییرات جانبی شدید رخساره‌ها در چاه پارسی ۳۵ نسبت به برش نمونه را به بالا بودن کوه بنگستان در زمان رسوبگذاری آهک های سازند سروک نسبت دادند. پیریایی و همکاران (Piryaei et al. 2010) با مطالعه و بازنگری سن سازند سروک در ناحیه فارس سه فاز تکتونیکی موثر بر نحوه رسوبگذاری سازند سروک شناسایی کردند که در تفسیر پالئوژئوگرافی حوضه، میزان رسوبگذاری و نبودهای رسوبی بسیار حائز اهمیت است. رزین و همکاران (Razin et al. 2010) در رسوبات سنومانین - تورنین جنوب غرب ایران چهار سکانس رسوبی درجه سه را معرفی و آن را به عنوان یک مثال از پلاتفرم های کربناته جهت بررسی تغییرات سطح آب دریا و میزان فضای رسوبگذاری در نظر گرفتند. حاجی کاظمی و همکاران (Hajikazemi et al. 2012) چینه‌نگاری شیمیایی کربنات‌های سنومانین- تورونین سازند سروک را در ۵ مقطع چینه شناسی در کوه های بنگستان، میادین رگ سفید و بی بی حکیمه بررسی نمودند. امیدوار و همکاران (Omidvar et al. 2014) به اصلاح زون‌بندی فرامینیفرهای سازند سروک در فروافتادگی دزفول همراه با مطالعات رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی پرداختند. وینست و همکاران (Vincent et al. 2015) با مطالعه چینه نگاری رسوبات آلبین - تورنین (سازند کژدمی و سروک) در جنوب غرب ایران (منطقه فارس)، رسوبات کربناته آلبین را تحت تاثیر تغییرات سطح آب دریا و رسوبات کربناته سنومانین تا تورنین را تحت تاثیر فعالیت ها تکتونیکی و دیاپیریسم ها در نظر گرفته اند. نویدطلب و همکاران (Navidtalab et al. 2016) با مطالعه سازند سروک و ایلام در منطقه رگ سفید، دو سطح دیاژنتیکی پیچیده در بازه زمانی سنومانین- تورنین و دیگری در تورنین میانی شناسایی کردند. مطالعه سروک بالایی در منطقه ایذه توسط وزیری مقدم و کلنات (Kalanat and Vaziri-Moghaddam 2019) نشان‌دهنده تغییرات محتوای فسیلی و پالئواکولوژی در پاسخ به میزان اکسیژن در رابطه با تغییرات آب و هوایی محیط در مرز سنومانین – تورونین است. غلامی زاده و همکاران (Gholami Zadeh et al. 2019) با مطالعه چینه نگاری سازند سروک در کوه موند و کوه سیاه، ۱۵ ریز رخساره مربوط به محیط های لاگون، ریف، دریای باز و دریای عمیق همراه با محیط رمپ شناسایی کردند. همچنین در این مطالعه ۶ سکانس رسوبی درجه سه مشخص شد. میرزایی محمود آبادی (Mirzaee Mahmoodabad 2020) ۱۰میکروفاسیس و ۸ نوع تخلخل از سازند سروک در میدان نفتی اهواز معرفی نمود. کاک میم و همکاران (Kakemem et al. 2022) سازند سروک را در دزفول شمالی (میادین اهواز و منصوری) مطالعه و ۱۲ ریز رخساره شناسایی کردند که در یک محیط رمپ

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

هموکلینال نهشته شدند. مهرابی (Mehrabi 2023) به بررسی سازند سروک در جنوب و جنوب غرب ایران پرداخته و فعالیت های تکتونیکی همراه با تغیرات محیطی را عوامل کنترل کننده رخساره‌ها درنظر گرفت. در این پژوهش فازهای اصلی دیاژنز مربوط به زمان سنومانین- تورونین است. در این مطالعه سعی شده رخساره های میکروسکپی، محیط های رسوبی، و چینه نگاری سکانسی سازند سروک در غرب بلندای قدیم هندیجان- بهرگانسر- نوروز در سه چاه از میادین هندیجان، بهرگانسر، ماهشهر شناسایی و با داده های مربوط به مناطق مجاور مقایسه شود.

در شمال غربی خلیج‌فارس یک گسل پی‌سنگی تقریباً عمودی-راست‌گرد لغزشی به طول بیش از ۷۰۰ کیلومتر (از کوه بنگستان تا خفجی در عربستان) با شیب زیاد در روند عربی NNE- SSW قرار دارد (Shiroodi et al. 2015) که حرکات تکتونیکی در امتداد آن سبب ایجاد بلندای قدیمِ (Palaeohigh) هندیجان- بهرگانسر – نوروز شد و تاریخچه رسوبگذاری سازند سروک در این ناحیه را تحت تاثیر خود قرار داد. این سازند در شمال غرب خلیج‌فارس، با ضخامت صفر تا ۷۰۰ متر شامل آهک، آهک با میان لایه‌های شیل، شیل، آهک‌های دولومیتی شده و دولوستون است. مطالعه هم‌زمان تکتونیک، تغییرات سطح آب دریا، و الگوی پراکندگی چینه‌شناسی روزنبران در شمال غرب خلیج فارس (در دو امتداد غرب به شرق و شمال به جنوب) حاکی از آن است که در حالت کلی می‌توان براساس بیوزوناسیون وایند (Wynd 1965) زون های زیستی/رخساره های زیستی *Trocholina – Orbitolina* assemblage biozone, Oligostegina facies, *Nezzazata*- alveolinids assemblage biozone, *Nezzazatinella-Dicyclina* assemblage biozone (معادل زون های زیستی ۲۱، ۲۶، ۲۵ و ۲۹) را در سازند سروک این منطقه معرفی کرد و زون های زیستی ۲۳ و ۲۴ در داخل همین زون های زیستی قرار دارند (Sadeghi et al. 2021). ساختمان زمین شناسی ماهشهر در حاشیه شمالی خلیج فارس(دزفول شمالی) قرار دارد. امتداد محور این تاقدیس از روند شمال غرب – جنوب شرق زاگرس تبعیت می کند و نزدیک به امتداد شمالی- جنوبی تاقدیس های هندیجان و بهرگانسر است. سازند سروک در چاه شماره ۱ (MR- 1) به ضخامت ۷۴۵ متر به صورت زیر است:

در عمق ۳۲۱۱ تا ۳۸۵۶ متر شامل آهک و میان‌لایه‌هایی از دولوستون و آهکی های دولومیتی است. فونای این بخش

Dicyclina schlumbergeri, *Nezzazata simplex*, *Valvulammina picardi*, Alveolinids, *Orbitolina* spp., *Charentia cuvilleri*, *Chrysalidina gradata*, *Nummuloculina* sp., *Dictyoconous* sp., *Hemicyclammina sigali*, *Ovalveolina Ovum*, *Praealveolina* sp., *Biplanata peneropliformis*, *Pseudolituonella reicheli*, *Reticulinella reicheli*, *Multispirina iranensis*, *Nezzazata conica*, *Rabanitina basrraensis*, *Taberina bingestani*, *Oligosteginids*, *Hedbergella washitensis*, *Pseudorhapydionina dubia*, *Praechrysalidina inferacretacea*, Miliolids, Radiolaria, Rudist debris, Echinoid fragments , Algae

است که براساس بیوزوناسیون وایند (Wynd 1965) معادل بایوزون های ۲۵ و ۲۴ است.

فاصله ۳۸۵۶ تا ۳۹۵۴ متر با توالی از آهک‌های آرژیلیتی خاکستری‌رنگ و محتوای فسیلی زیر:

Hedbergella washitensis, Oligosteginids, *Globigerinelloides* sp., *Hedbergella* spp., *Nezzazata simplex*, *Nezzazata conica*, Alveolinids, *Orbitolina* spp.

براساس بیوزوناسیون وایند (Wynd 1965) معادل بایوزون ۲۶ است (شکل ۲). با توجه به نبود فسیل های شاخص سن سازند سروک در این چاه آلبین پسین- تورونین؟ در نظر گرفته شد.

میدان نفتی بهرگانسر در شمال غربی خلیج‌فارس و جنوب شرقی بخش هندیجان واقع شده است. براساس تقسیم‌بندی مناطق ساختمانی ایران توسط اشتوکلین (Stocklin 1968)، بهرگانسر در غرب خلیج‌فارس و دشت آبادان (اروندرود) و ادامه فلات عربی است. سازند سروک در چاه BS- x با ضخامت ۱۲۸ متر به سن آلبین پسین؟- سنومانین با لیتولوژی آهک و میان لایه هایی از دولوستون به صورت زیر است:

در فاصله ۲۶۸۶ تا ۲۸۰۰ متری با فونای :

Nezzazata simplex, *Nezzazata conica*, *Nezzazata* spp., *Praealveolina cretacea*, *Dictyoconus* sp., *Chrysalidina gradata*, *Ovalveolina ovum*, *Cuneolina pavonia*,

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

Dictyoconus sp., Alveolinids, *Orbitolina* sp., *pseudotextularia* sp., Textulariids, Miliolids, Ostracod, Algae, Echinoid, shell fragments.

و براساس بیوزوناسیون واینـد (Wynd 1965) معـادل بـایوزون ۲۵ است.

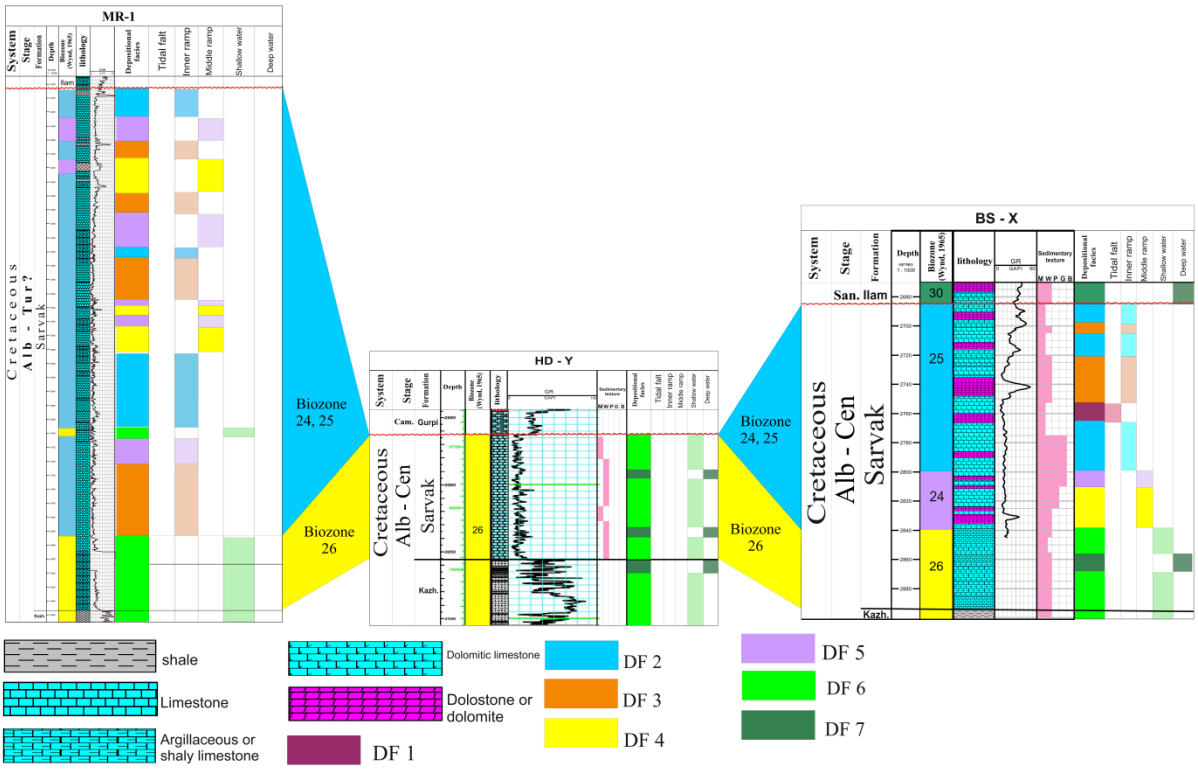
در عمـق ۲۸۰۰ تـا ۲۸۴۰ متـر بـا فونـای زیـر براسـاس بیوزوناسیون واینـد (Wynd 1965) می تواند معادل بـایوزون ۲۴ باشد:

Rudist, Orbitolina sp.,Dicyclina sp., *Dictyoconus* sp., *Cuneolina* sp., *Nezzazata* sp. *Nummoloculina hemi*, *Peneroplis turonicus*, *Chrysalidina* sp., *Textularids*, Miliolids, Algae, Echinoid, shell fragments.

در عمق ۲۸۴۰ تا ۲۸۹۰ متر با محتوای فسیلی زیر براساس بیوزوناسیون واینـد (Wynd 1965) معادل بایوزون ۲۶ است :

Stomisphaera sphaerica, Oligosteginids, *Hemicyclammina* sp.?, Echinoid frgments, *Favusella washitensis*, *Pithonella ovalis*, *P. trejoi*.

میدان نفتی هندیجان در شمال غربـی خلـیج‌فـارس و در فاصله ۱۰ کیلومتری شمال شرقی میدان بهرگانسر واقـع شـده است. سازند سروک در چاه HD-Y بـا ضـخامت۹۴ متـر بـه صورت یکنواخت از سنگ آهـک تـا سـنگ آهـک آرژیلیتـی همراه با فونـای *Favusella washitensis*, *Hedbergella* spp., *Heterohelix* spp., Oligosteginids, Echinoid fragments معادل بایوزون ۲۶ از بیوزوناسیون واینـد (Wynd 1965) و سـن آلبین پسین؟- سنومانین است (شکل ۲).



شکل ۲- ستون چینه شناسی و انطباق بایوزون های زیستی در برش های چینه شناسی مورد مطالعه در شمال غرب خلیج فارس.

Fig 2- Stratigraphic columns and correlation of the studied sections in northwest of Persian Gulf

روش کار

جهت شناسایی میکروفاسیس‌ها و تعیین محیط رسوب‌گـذاری سازند سروک در میادین نفتی هندیجان، بهرگانسر و ماهشـهر، تعـداد ۱۸۶ مقطـع نـازک مـورد مطالعـات پتروگرافـی، رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی قرار گرفت. نام‌گذاری سنگ‌های آهکی در این مطالعه بر اسـاس طبقـه‌بنـدی دانهـام (Dunham 1962)، طبقه‌بندی میکروفاسـیس‌هـا و نام‌گذاری آنان با روش فلوگل (Flugel 2010) و ویلسـون (Wilson 1975) انجـام شـده است (شکل ۲ و ۳). همچنین از تلفیـق اطلاعـات حاصـله بـا داده‌هـای لاگ پتروفیزیکـی گامـا، اطلاعـات لـرزه‌ای و چینـه نگاری سکانـسی بـراسـاس مدل سکانسی معرفی شـده بـرای صفحه عربی توسط (Sharland et al. 2001) و به روز رسانی آن

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

توسط (Van Buchem et al. 2011; Bromhead et al. 2022; Davies et al. 2002, 2019) استفاده شده است، سپس تغییر شرایط محیط های رسوبی منطقه مورد مطالعه براساس سیستم ترکت ها با استفاده از نرم افزار GIS رسم شد.

میکروفاسیس های سازند سروک در میادین مورد مطالعه

ریزرخساره شماره ۱: سنگ آهک دولومیتی کم فسیل

DF 1: Poorly fossiliferous (dolo)mudstone

زمینه این ریز رخساره میکرایتی همراه با دولومیت‌های ریز-بلور و تخلخل چشم‌پرنده ای (فنسترال) است. این ریز رخساره مشابه رخساره رمپ (RMF 22) در تقسیم‌بندی فلوگل (Flugel 2010) و کمربند رخساره‌ای شماره ۹ ویلسون (Wilson 1975) است. فقدان فسیل در این ریز رخساره نشانه چرخش محدود آب و نبود شرایط مناسب برای زیست موجودات دریایی است (Alsharhan and Kendall 2002). همچنین آغشتگی به اکسیدآهن، و تخلخل فنسترال ممکن است نشانه خروج موقت رسوبات از آب و محیط‌های جزرومدی باشد (Wilson 1975; Flugel 2010). این رخساره از سازند سروک در چاه بهرگانسر مشاهده شد که قابل مقایسه با رخساره های جزرو مدی گزارش شده از کوه موند (Qomi Aveili 2016)، میدان نفتی اهواز (Kazem Zadeh and Lotfpour 2016) و سازند سروک در شیراز (Mirzaee 2020) است.

ریز رخساره شماره ۲: بایوکلاست مادستون

DF 2:Bioclast Mudstone

این ریز رخساره با خرده‌های زیستی مانند گاستروپود، دوکفه‌ای، قطعات اکینوئید و فرامینیفرهای بنتیک (miliolid) و اجزای غیراسکلتی مانند پلوئید با فراوانی ۱۰ تا ۲۰ درصد شناسایی شد. مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنتیکی این رخساره نئومورفیسم و انحلال پوسته های آراگونیتی (Biomoldic) است. این رخساره معادل رخساره استاندارد (RMF 19) در تقسیم بندی فلوگل (Flugel 2010) و کمربند رخساره ای ۸ ویلسون (Wilson 1975) می باشد. حضور روزنبران کف زی خصوصا از نوع Miliolid و وجود ماتریکس گلی فراوان در این زیر رخساره حاکی از شرایط محیطی کم عمق نظیر لاگون است. این رخساره در چاه های ماهشهر و بهرگانسر شناسایی شده و مشابه آن از سازند سروک در کوه موند و کوه سیاه (Gholami Zadeh et al. 2019)، میدان نفتی اهواز (Kazem Zadeh and Lotfpour 2016)، بخش بالایی سروک در میدان سیری (Khanjani et al. 2015) و کوه بنگستان (Ghabeishavi et al. 2010) گزارش شده است.

ریز رخساره شماره ۳: میلیولید- فرامینیفرا مادستون- وکستون

DF 3: Miliolid- Foraminifera Mudstone- Wackeston

اگرچه ماتریکس گلی همراه با میلیولید مهم‌ترین اجزای این ریز رخساره هستند ولی سایر فرامینیفرهای بنتیک مانند *Nezzazata*, *Textularia*, *Alveolina* و اجزای غیراسکلتی پلوئید هم دیده می شوند. وجود فرامینیفرهای پورسلانوز نظیر Miliolids و Alveolinids با Echinoid نشانگر این است که در این رخساره ارتباط خوب محیط لاگون با دریای باز از طریق کانال‌های بین سدی برقرار بوده و با ریز رخساره استاندارد (RMF 16) در تقسیم‌بندی فلوگل (Flugel 2010) و کمربند رخساره ای ۸ ویلسون (Wilson 1975) مطابقت دارد. این ریز رخساره در چاه های ماهشهر و بهرگانسر مشاهده و مشابه رخساره های لاگونی گزارش شده از سازند سروک کوه موند و کوه سیاه (Gholami Zadeh et al. 2019)، میدان آزادگان (Saeedi Razavi et al. 2019)، از میدان نفتی اهواز (Kazem Zadeh and Lotfpour 2016) و کوه بنگستان (Ghabeishavi et al. 2010) است.

ریز رخساره شماره ۴: بایوکلست- پلوئید پکستون- گرینستون

DF4: Bioclast - Peloid Packstone- Grainstone

فرامینیفرهای بنتیک، رودیست، و پلوئید آلوکم های اصلی تشکیل دهنده این ریز رخساره هستند که همراه با آنها اینتراکلست نیز دیده می‌شود. این ریز رخساره با رخساره استاندارد (RMF 8) در تقسیم‌بندی فلوگل (Flugel 2010) و کمربند رخساره ای ۷ ویلسون (Wilson 1975) مطابقت دارد .

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

ویژگی‌های بافتی این رخساره نشان می‌دهد که به دلیل عملکرد جریان پر انرژی در یک محیط آشفته (مانند سد)، میکرایت از محیط خارج‌شده و سیمان جایگزین آن شده است. بنابراین می توانیم آن را به یک محیط با انرژی بالا و نزدیک به سد نسبت بدهیم. این رخساره در چاه های ماهشهر و بهرگانسر شناسایی و از سازند سروک در کوه موند و کوه سیاه (Gholami Zadeh et al. 2019)، میدان آزادگان (Saeedi Razavi et al. 2019)، از میدان نفتی اهواز (Kazem Zadeh and Lotfpour 2016)، کوه بنگستان (Ghabeishavi et al. 2010) نیز گزارش شده است.

ریز رخساره شماره ۵: اکینوئید- رودیست گرینستون

DF 5: Echinoid- Rudist debris Grainstone

مهمترین آلوکم این زیررخساره قطعات اکینوئید، قطعات رودیست و خرده های پوسته دوکفه ای ها و قطعات غیراسکلتی از پلوئیدها است که با رخساره استاندارد (RMF7) فلوگل (Flugel 2010) و کمربند رخساره ای 11 ویلسون (Wilson 1975) مطابقت می کند. این رخساره در چاه های ماهشهر و بهرگانسر شناسایی و مشابه آن در کوه موند و کوه سیاه (Gholami Zadeh et al. 2019)، میدان نفتی اهواز (Kazem Zadeh and Lotfpour 2016) و کوه بنگستان (Ghabeishavi et al. 2010) نیز گزارش شده است.

ریز رخساره شماره ۶: بنتیک - پلانکتونیک فرامینیفرا وکستون

DF 6: Benthic-Pelanktonic Foraminifera Wackestone

فرامینیفرهای بنتیک و پلانکتونیک اجزاء اصلی این ریز رخساره هستند که همراه آنها دوکفه‌ای‌ها، اکینوئید و پلوئید هم با فراوانی کمتر دیده می شوند. این ریز رخساره با رخساره استاندارد (RMF 3) در تقسیم‌بندی فلوگل (Flugel 2010) مطابقت دارد. فراوانی قابل توجه فرامینیفرهای پلانکتون و بنتیک، همراه با اکینوئید، پلوئید و وجود شواهدی از آشفتگی رخساره‌ها نشان‌دهنده رسوبگذاری در قسمت‌های انتهایی محیط رمپ‌میانی می‌باشد (Flugel 2010). این رخساره از هر سه چاه ماهشهر، هندیجان و بهرگانسر شناسایی و مشابه آن از کوه موند و سیاه (Gholami Zadeh et al. 2019)، میدان آزادگان (Saeedi Razavi et al. 2019)، از میدان نفتی اهواز (Kazem Zadeh and Lotfpour 2016)، بخش بالایی سروک در میدان سیری (Khanjani et al. 2015) و کوه بنگستان (Ghabeishavi et al. 2010) نیز گزارش شده است.

ریز رخساره شماره ۷: پلانکتون فرامینیفرا مادستون- وکستون

DF7: Planktonic foraminifera mudstone-wackestone

اجزاء اصلی تشکیل دهنده این ریز رخساره الیگوستژیناها و انواع روزنبران پلانکتونیک مانند *Heterohelix, Hedbergella* و سوزن اسفنج ها است که در یک زمینه میکرایتی همراه با کمی سیمانی مشاهده می‌شود. فراوانی فونای پلانکتون، عدم وجود فونای بنتیک و فابریک گل پشتیبان، نشانگر ته‌نشست در محیط کم‌انرژی دریای‌باز و زیر سطح تاثیر امواج در شرایط عادی است (Romero et al. 2002). حضور *Pithonella trejoi* به همراه فرامینیفرهای پلانکتون با پوسته ضخیم (Favusilida) نشان دهنده محیط غنی از کربنات کلسیم، آب و هوای گرم و شوری نرمال است که در رمپ‌های خارجی تا مناطق کم‌عمق باتیال (۴۰۰-۲۰۰متر) گسترش دارند (Villan 1977). این رخساره از هندیجان و بهرگانسر گزارش و مشابه رخساره های معرفی شده از کوه موند و سیاه (Gholami Zadeh et al. 2019)، میدان نفتی اهواز (Kazem Zadeh and Lotfpour 2016)، بخش بالایی سروک در میدان سیری (Khanjani et al. 2015) و کوه بنگستان (Ghabeishavi et al. 2010) است.

مقایسه رخساره های سازند سروک در منطقه مورد مطالعه

الف) سازند یا بخش مادود

سازند مادود اولین بار در قطر، و به رسوبات کربناته حاصل از پیشروی آب دریا در اواخر آلبین- اوایل سنومانین اطلاق شد. همزمان با پیشروی آب دریا و کاهش ورود رسوبات حاصل از فرسایش صفحه عربی (سازند بورگان و هم ارز آن سازند کژدمی در بخش ایرانی)، رسوبات کربناته در سراسر صفحه عربی ته نشین شد (Sadooni and Alsharhan 2003). این سازند

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

در چاه F (کویت) و نهر عمر (عراق) با فراوانی قابل توجه Orbitolina، Algae و Rudist بیانگر رخساره های محیط سدی و لاگونی (رخساره های ۲ تا ۵) است (Sadooni and Alsharhan 2003; Alsharhan et al. 2014). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود سازند مادود در میادین بهرگانسر، هندیجان، ماهشهر شامل ریز رخساره های رسوبی ۶ و ۷ همراه با بایوزون ۲۶ وایند (Wynd 1965) است و رخساره های ذکر شده در ادامه با رخساره های ۳، ۴ و ۵ جایگزین می شوند.

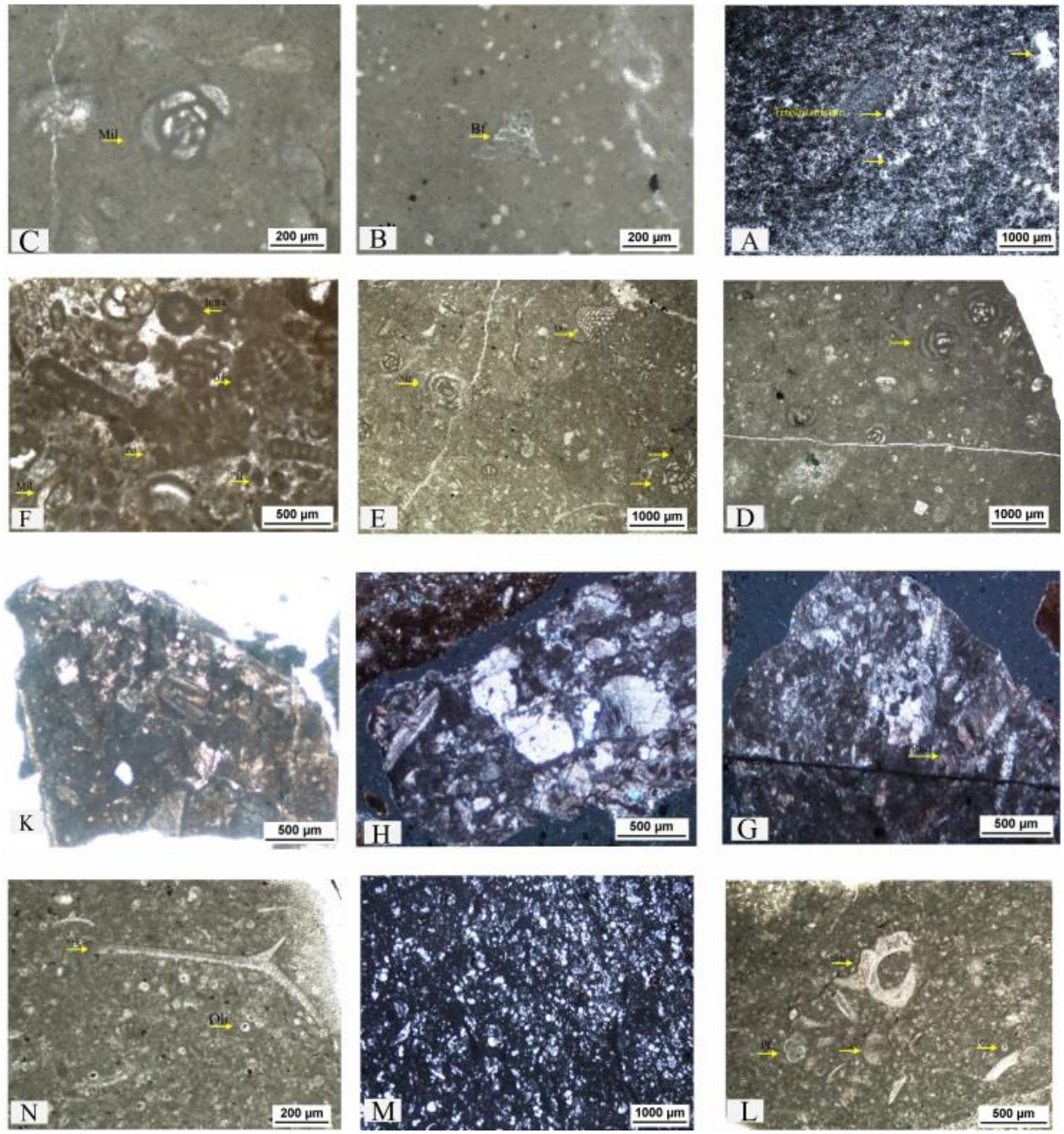
ب) سازند یا بخش وارا- احمدی

سازند وارا از ماسه سنگ و میان لایه های شیلی و کربناته تشکیل شده است که با پیشروی دوباره آب، رسوبات کربناته سازند احمدی، بخش وارا را می پوشاند (Youssef et al. 2019). رسوبات سازند احمدی به دوبخش کربناته در قاعده و رسوبات شیلی در بخش های بالایی تقسیم می شود. نتایج مطالعات پالینوستراتیگرافی سازند وارا و احمدی در کویت (چاه F) بیانگر رخساره های جزر و مدی تا لاگونی بود (Sadooni and Alsharhan 2003; Alsharhan et al. 2014). با این وجود به دلیل عمق بیشتر حوضه در بخش شمال غرب صفحه عربی رسوبات وارا به صورت کربناته بوده و تفکیک آن از بخش احمدی ناممکن است. بنابراین در شمال صفحه عربی (میادین مطالعه شده) وجود محتوای فسیلی زون های زیستی ۲۴، ۲۵ وایند (Wynd 1965) و لیتولوژی کربناته، رخساره رسوبی محیط های لاگون- سدی (رخساره های ۲ تا ۵) را نشان می دهد.

پ) سازندهای رومیله و میشریف

سازند های رومیله و میشریف شامل آهک، دولومیت، مارن و شیل های آهکی است که از اواخر سنومانین تا تورونین رخساره های کم عمق تا عمیق را شامل می شوند (Gaddo 1971; Sadooni and Alsharhan 2003). در بخش شمال غرب خلیج فارس به دلیل فعالیت تکتونیکی ارتفاعات قدیمی هندیجان- بهرگانسر- نوروز، بخش اعظم سازندهای رومیله و میشریف فرسایش یافته و از بین رفته است. در این سازند حضور قابل توجه Praealveolinids، *Dicyclina*، همراه با قطعات جلبک، رودیست و دوکفه ای ها بیانگر محیط لاگون تا سدی است. به طور کلی شواهد بیواستراتیگرافی چندانی از وجود نهشته های تورنین در قسمت بالایی سازند سروک وجود ندارد (Schlagintweit and Simmons 2022). قسمت بالایی سازند سروک با وجود بیوزون ۲۹ (*Valvulammina*– *Dicyclina* Assemblage Zone) از الگوی زون بندی زیستی وایند (Wynd 1965) به سن تورونین در نظر گرفته می شود (مانند میدان اهواز) اگرچه بیوزون مذکور به دلیل حضور *Moncharmontia apenninica* (تورونین) به– *apenninica* *Nezzazatinella* – *Dicyclina* Assemblage Zone *Moncharmontia* تغییر داده شده است (Omidvar et al. 2014) اما شواهدی دال بر وجود *M. apenninica* در لایه های سنومانین نیز گزارش شده است (Schlagintweit and Yazdi-Moghadam 2021). نبود فسیل های شاخص در میدان ماهشهر موجب شد، سن تورونین پیشین در تطابق با میدان اهواز همچنین برمبنای اطلاعات لرزه ای (شکل 5C)، لاگ های پتروفیزیک و جایگاه چینه شناسی در نظر گرفته شد.

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266



شکل ۳- A) سنگ آهک دولومیتی کم فسیل، B, C) بایوکلست مادستون، D, E) میلیولید- فرامینیفر مادستون- وکستون، F, G) بایوکلست- پلوئید پکستون- گرینستون، K, H) اکینوئید- رودیست گرینستون، L) بنتیک - پلانکتونیک فرامینیفرا وکستون، M, N) پلانکتون فرامینیفرا مادستون- وکستون . علائم اختصاری عبارت اند از: Mil: میلیولید، Nez: نزازاتا، Ech: اکینوئید، Rud: رودیست، Spic: سوزن اسفنج، Oli:الیگوستژنید، Pf:فرامینیفر پلانکتون، Bf:فرامینیفر پلانکتون،Or:اربیتولینید، Intra:اینتراکلست، Pel:پلوئید، Dic: دیسیکلینا.

Fig 3- A) Poorly fossiliferous (dolo)mudstone; B, C) Bioclast Mudstone; D, E) Miliolid- Foraminifera Mudstone-Wackeston; F, G) Bioclast- Peloid Packstone- Grainstone; K, H) Echinoid- Rudist debris Grainstone; L) Benthic-Pelanktonic Foraminifera Wackestone; M, N) Planktonic foraminifera mudstone- wackestone.
The abbreviations are: Mil: Miliolid, Nez: *Nezzazata*, Ech: Echinoid, Rud: Rudist debris, Spic: Spicul sponge, Oli: Oligosteginid, Pf: Plankton foraminifera, Pf: benthic foraminifera, Or: Orbitolinid, Intra: Intraclast, Pel: Peloid, Dic: *Dicyclina.*

بازسازی محیط رسوبی

براساس مقایسه رخساره‌های شناسایی شده در سازند سروک با رخساره های مشابه در تقسیم‌بندی فلوگل (Flugel 2010)، محیط تشکیل آنها به زیر محیط‌های دریای

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

باز، سد، لاگون، و پهنه جزر و مدی نسبت داده شده است. هر کدام از این محیط ها رخساره خاص خود را دارند. عدم وجود ریف های پشته ای و رسوبات توربیدایتی در نهشته‌های مورد مطالعه، و بر اساس مدل ارائه شده (Flugel 2010) رسوبگذاری روی یک پلاتفرم کربناته کم‌عمق از نوع رمپ را پیشنهاد می کند. وجود فونای بنتیک متنوع مانند براکیوپودا، اکینودرم، فرامینیفرا، استراکدا، گاستروپودا، دوکفه ای و فقدان ائیدها نشان دهنده شوری نرمال در محیط دریایی کم‌عمق اکسیژن‌دار است (Lees 1975; Matyja et al. 2006). رخساره سنگ آهک گلی حاوی روزنبران شناور، الیگوستژینا و رادیولر ژرفترین رخساه های موجود در سازند سروک را تشکیل می دهند و با زون زیستی ۲۶ (Wynd 1965) مطابقت دارد. بخش های کم عمق تر دریای باز با رخساره سنگ آهک گلی حاوی روزنبران کفزی و شناور مشخص می گردد. رخساره رودیستی که در ماهشهر فراوانی قابل توجهی داشتند پرانرژی ترین رخساره های ناحیه هستند. سایر رخساره‌ها با حضور فسیل های (*Alveolina* و *Orbitolina* ، *Nezazzata*، *Lithuonella*، Miliolids) و جلبک های سبز نشانگر رسوب گذاری در محیط تالاب هستند. رخساره دولوستون نشان دهنده محیط جزر و مدی است و دارای ساختارهای چشم پرنده ای در زمینه میکرایتی است که در میدان بهرگانسر مشاهده شد (Adabi et al. 2010).

چینه‌نگاری سکانسی

با بررسی تغییرات عمودی رخساره‌ها و شناسایی محیط های رسوبی می توان نهشته های موجود در یک حوضه رسوبی را به سکانس های رسوبی تفکیک نمود (Emery and Myers 1996). سکانس رسوبی یک واحد چینه شناسی است که توسط ناپیوستگی ها یا پیوستگیهای هم ارز از طبقات بالا و پایین تفکیک می گردد و دوره ای از رسوب گذاری را نشان می دهد که بین دو برهه زمانی افت سطح آب دریا اتفاق افتاده است (Vali et al. 1977; Van Wagoner et al. 1990). مدل سکانسی تعریف شده در این بخش براساس مدل سکانسی صفحه عربی (Sharland et al. 2001) و به روزرسانی آن توسط (Van Buchem et al. 2011; Davies et al. 2002, 2019; Bromhead et al. 2022) صورت گرفته است. در این مدل نهشته رسوبی به توالی های رسوبی درجه سه همراه با مرزهای سکانسی تقسیم می شوند. هر سکانس با یک مرز سکانسی دارای شواهدی از افزایش رسوبات آواری، هوازدگی ، و کارستی شدن مشخص می شود که در ادامه با رسوبات مارنی و رسی دنبال شده و در حداکثر پیشروی سطح آب دریا با تشکیل رسوبات کربناته ادامه پیدا می کند. پس از آن دوباره با پسروی آب دریا (highstand)، رسوبات آواری و رسی در رسوبات پلت فرم داخلی نهشته شده ولی رسوبات پلت فرم میانی و خارجی همچنان رسوبات کربناته هستند. با این وجود در Lowstands ممکن است در حوضه های اینتراشلفی و در حاشیه پلت فرم ها حاوی رسوبات سیلیسی آواری قابل توجه باشند (Bromhead et al. 2022).

به این ترتیب، چینه نگاری سکانسی رسوبات مورد مطالعه در میادین بهرگانسر، هندیجان و ماهشهر منجر به شناسائی پنج سکانس رسوبی رده سوم شد که با سکانس های شناسایی شده از میادین مجاور مقایسه شدند (شکل ۴).

سکانس ۱

این سکانس در بخش پایینی سازند سروک شناسایی گردید (شکل ۴). رخساره های رسوبی معرف بالاآمدن سطح آب دریا (TST) عمدتاً در رمپ میانی و خارجی تشکیل شده و حداکثر پیشروی سطح آب دریا (MFS) با رخساره رمپ خارجی غنی از روزنبران شناور (رخساره های ۶ و ۷)، کاهش لاگ گاما و تمیز بودن آهک مشخص گردید (شکل های ۶B). آغاز سکون و افت سطح آب با روند تغییر تدریجی رخساره‌های رمپ خارجی غنی از الیگوستژنیدها و سوزن اسفنج به رخساره سدی دارای قطعات رودیست (رخساره‌های ۵ و ۴) و در ادامه با رخساره های لاگون دارای میلیولید و

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

تکستولارید (رخساره ۳) و افزایش تدریجی لاگ گاما به دلیل ورود رسوبات آواری به حوضه مشخص شد (شکل ۴). این سکانس به صورت ناقص است زیرا مرز پایینی این سکانس در داخل سازند کژدمی قرار دارد. همچنین مرز بالا در میادین ماهشهر و بهرگانسر به دلیل عدم وجود شواهد خروج از آب از نوع مرز سکانسی درجه دوم (Type II sequence boundary) است. در چاه هندیجان، در اثر فعالیت‌های تکتونیکی گسل پی سنگی بهرگانسر- نوروز در سنومانین و خروج از آب، بخش زیادی از سازند سروک دچار فرسایش شده و مرز سکانسی از نوع درجه اول (Type I sequence boundary) است. عدم وجود فسیل های شاخص برای تعیین سن در میادین مطالعه شده در شمال غرب خلیج فارس موجب شد سن سازند مادود آلبین پیسن ؟- سنومانین در نظر گرفته شود و تغییرات رخساره ای مشابه در این چاهها با میادین اهواز، چاه F در کویت، نهر امر در عراق (Bromhead et al. 2022) نشان می دهد احتمالا سطح بیشینه غرقابی (MFS) سکانس ۱ از لحاظ سنی قابل تطابق با MFS 110 صفحه عربی به سن آلبین پسین است. در اواخر آپتین- آلبین، با بالاآمدگی سپر عربی و افت سطح آب دریا همراه با تاثیر آب و هوای مرطوب ناشی از فرآیند بازشدن اقیانوس اطلس، حجم عظیمی از رسوبات آواری تولید و به سمت شرق ورقه عربی روانه شد (شکل 6A) که در ادامه در اواخر آلبین و با بالاآمدن سطح آب دریا نهشته های کربناته مادود در سراسر ورقه عربی (شکل 6B) تشکیل شد (Davies et al. 2002; 2019; Van Buchem et al. 2011).

سکانس ۲

این سکانس در بخش میانی سازند سروک شناسایی شده است (شکل ۴). بسته رسوبی پیشرونده سطح آب دریا (TST) که پیشروی سریع سطح آب دریا را نشان می دهد عمدتاً شامل رخساره های رمپ میانی و لاگونی است (شکل ۴). سطح بیشینه غرقابی (MFS) توسط رخساره غنی از اکینوئید، رودیست و الیگوستژینا (رمپ میانی) مشخص گردید. بسته رسوبی مربوطه معرف سکون (Early HST) و آغاز پسروی سطح آب دریا (Late HST) شامل رخساره های لاگون غنی از روزنبران کفزی با پوسته پورسلانوز و آگلوتینه مانند *Nezazzata*, Alveolinids, Miliolids, Textulariids بود (شکل ۴). مرز بالایی سکانس در میدان ماهشهر به دلیل عدم وجود شواهد خروج از آب از نوع درجه دوم (SB2) است و با تغییر رخساره ای همراه با افزایش لاگ گاما مشخص گردید. مرز سکانسی در چاه BS-X به دلیل شواهد خروج از آب و فرسایش رسوبات در اثر فعالیت پی سنگی بهرگانسر- نوروز، از نوع درجه اول (SB1) است. مقایسه تغییرات رخساره ای این چاهها با میادین اهواز، چاه F در کویت، نهر امر در عراق نشان می دهد احتمالا سطح بیشینه غرقابی (MFS) سکانس ۲ از لحاظ سنی قابل تطابق با MFS 120 صفحه عربی به سن سنومانین پیشین است. بازه زمانی سنومانین در صفحه عربی با گسترش حوضه اینتراشلفی همراه با پلت فرم کربناته مشخص می شود (Sharland et al. 2001; van Buchem et al. 2011). در این زمان، به دلیل کاهش حجم رسوبات آواری، پراکندگی جغرافیایی این رسوبات کم بود و نهشته های مذکور تنها در حاشیه غربی صفحه عربی با نام سازند وارا و احمدی (کویت، چاه F)، (جنوب عراق ، چاه نهر عمر)، رسوبات ریزدانه سیلیسی (عمان، سازند ناتیه) و عربستان سعودی، رسوب کرده و در بخش های شمالی (میدان ماهشهر) به رسوبات کربناته تبدیل شدند(شکل 6C). در ادامه، با پیشروی سطح آب دریا رسوبات کربناته در سراسر ورقه عربی نهشته شدند (شکل 6D).

سکانس ۳

این سکانس در برگیرنده بخش میانی سازند سروک است. بسته رسوبی پیشرونده سطح آب دریا (TST) عمدتا از رخساره رمپ میانی و سرشار از روزنبران کفزی بزرگ مانند *Orbitalina*. *Chrysalidina*, *Cuneolina*, *Dicyclina*, *Taberina*، اکینوئید، استراکد و رودیست است (شکل ۴). بسته رسوبی وابسته به سکون و آغاز پسروی سطح آب دریا افت سریع سطح آب دریا را از رخساره رمپ میانی به

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

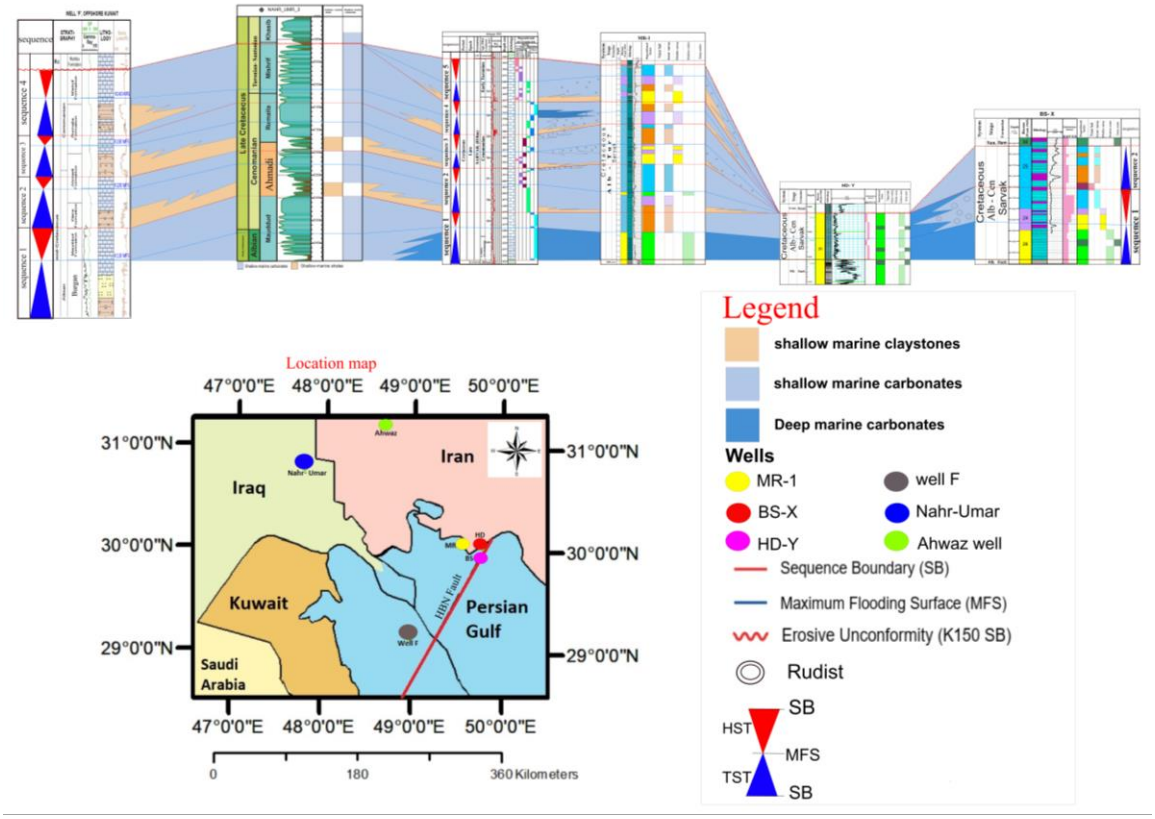
رخساره لاگونی نشان می دهد (شکل ۴). به دلیل عدم وجود شواهد خروج از آب مرز بالای سکانس در میدان ماهشهر براساس تغییرات رخساره ای و افزایش لاگ گاما تعیین شده و از نوع دوم (SB2) است. براساس فرامینیفرها و نانوپلانکتون ها در میادین اهواز (Kazem Zadeh and Lotfpour 2016)، نهر امر در عراق و چاه F در کویت (Al-Fares et al. 1998) سکانس MFS 130 (به سن سنومانین میانی) شناسایی شدند. ضخامت زیاد و تغییرات رخساره ای مشابه سازند سروک در میدان ماهشهر با این میادین، عدم ناپیوستگی لایه‌ها در داده های لرزه ای (شکل ۵) نشان می دهد احتمالا سطح بیشینه غرقابی (MFS) سکانس ۳ قابل تطابق با MFS 130 صفحه عربی به سن سنومانین میانی باشد. بازه زمانی سنومانین با گسترش یک حوضه اینتراشلفی در داخل پلت فرم کربناته صفحه عربی مشخص می شود و در این سکانس نیز واحدهای سیلیسی- آواری (شیل احمدی) گسترش کمتری داشت و به سمت شمال صفحه عربی غالبا به رخساره های آهکی تغییریافت (شکل 6E) و با ادامه پیشروی سطح آب دریا سراسر ورقه عربی با رسوبات کربناته پوشانده شد (شکل 6F) این پالس های سیلیسی- آواری می تواند در ارتباط با افت سطح آب همزمان با دوره های آب و هوای مرطوب باشد.

سکانس ۴

در میدان ماهشهر، بسته رسوبی پیشرونده سطح آب دریا (TST) بالاآمدن جزئی سطح آب دریا را نشان داده و شامل رخساره های لاگون و سدی است (شکل ۴). رخساره محیط سدی غنی از پلوئید سطح حداکثر پیشروی سطح آب دریا (MFS)را نشان میدهد. بسته رسوبی وابسته به سکون و آغاز پسروی سطح آب دریا (HST) شامل رخساره های لاگون و جزر و مدی می باشد (شکل ۴). فرایند دولومیتی شدن در بخش هایی از سکانس ها در روند کم عمق شوندگی سطح آب دریا رخ داده است. به دلیل عدم وجود شواهد خروج از آب و فرسایش رسوبات، مرز سکانسی در میدان ماهشهر از نوع دوم (SB2) است. نبود فسیل های شاخص تعیین سن این سکانس را مشکل ساخته است. براساس فرامینیفرها و نانوپلانکتون ها در میادین اهواز (Kazem Zadeh and Lotfpour 2016)، نهر امر در عراق و چاه F در کویت (Al-Fares et al. 1998) سکانس MFS 140 (به سن سنومانین پسین- تورونین پیشین) شناسایی شدند. براساس تغییرات رخساره ای مشابه سازند سروک در میدان ماهشهر با این میادین، احتمالا سطح بیشینه غرقابی (MFS) سکانس ۴ قابل تطابق با MFS 140 (به سن سنومانین پسین- تورونین پیشین) در صفحه عربی باشد.

در این سکانس واحدهای سیلیسی- آواری (سازند رومیله در چاهF) گسترش محدودتری نسبت به قبل داشته و به سمت شمال صفحه عربی به رخساره های آهکی تبدیل شد (شکل 6G) و در ادامه با پیشروی سطح آب دریا در سراسر ورقه عربی به رسوبات کربناته میشریف تغییر رخساره داد (شکل 6H). این توالی، آخرین سکانس شناسایی شده در شمال کویت و جنوب عراق است (شکل ۴).

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266



شکل ۴- تطابق چینه نگاری سکانسی و تغییرات جانبی رخساره‌ها. سن ها تقریبی و براساس داده های موجود است. داده های استفاده شده براساس منابع زیر است:

Davies et al. 2002 (well F); Davies et al. 2019 (Nahr- Umar well); Bromhead et al. 2022 and Kazem Zadeh and Lotfpour 2016 (Ahwaz well) and this study (MR-1, HD-Y, BS-X)

Fig 4- Regional late Albian to Turonian sequence stratigraphic correlation in study area illustrating lateral facies. Ages are approximate, based on published data. Well data is derived from Davies et al. 2002 (for well F); Davies et al. 2019 (for Nahr- Umar well); Bromhead et al. 2022 and Kazem Zadeh 2016 (for Ahwaz well) and this study (MR-1, HD-Y, BS-X).

سکانس ۵

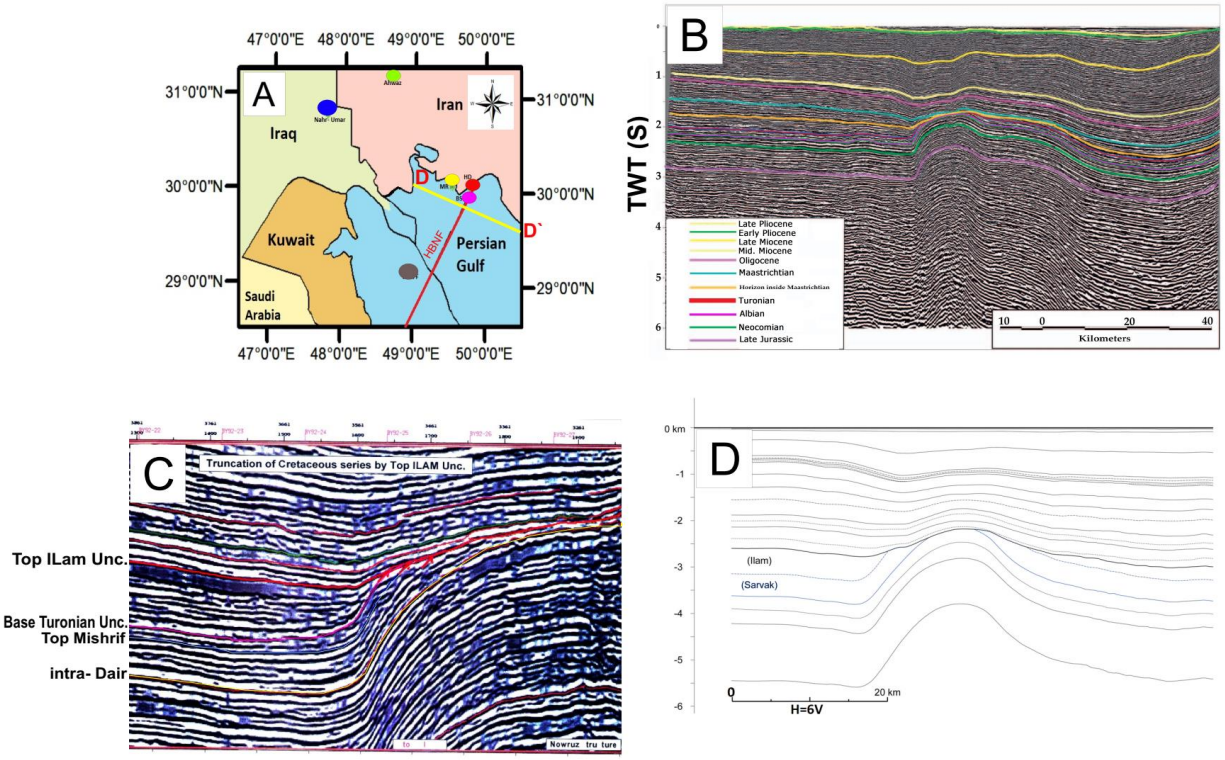
سروک بالایی در فرورفتگی شمالغرب گسل هندیجان- بهرگانسر- نوروز گسترش محدودی دارد. این وضعیت ممکن است معلول پارامترهای زمین ساختی سنومانین (فعالیت گسل هندیجان- بهرگانسر- نوروز) باشد که سبب بالاآمدگی منطقه ای و رسوب گذاری ناشی از فرسایش نواحی مرتفع در فرورفتگی های مجاور شد (شکل۵). به دلیل فرسایش رخ داده در چاه F و نهر امر، سکانس ۵ در میدان ماهشهر قابل مطابقت با چاه اهواز است (شکل 6I, J). رخساره های سدی و لا گونی که در ادامه سکانس ۴ در این میدان وجود دارد به رسوبات پیشرونده حاصل از پیشروی سطح آب دریا (TST) باشد (شکل ۴). سطح حداکثر پیشروی آب احتمالا در آهک تمیز با کمترین مقدار لاگ گاما با رخساره های سدی مشخص شده است و در ادامه لایه های مربوط به سکون و آغاز افت سطح آب دریا با رخساره های لاگونی و افزایش لاگ گاما که ورود رسوبات سیلتی را نشان می دهد مشخص شده است. وجود سیلت در لایه های شیلی بیانگر آن است که شیل موجود در نهشته های سروک میدان ماهشهر مربوط به بخش جلوی دلتا و نواحی کم عمق است.

مرز بالایی این سکانس که بین سازندهای سروک و ایلام قرار دارد به دلیل شواهد خروج از آب و فرسایش گسترده رسوبات، مرز سکانسی نوع اول (Type I sequence

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

boundary) می باشد و به دلیل فرسایش در بخش بالایی این سکانس به صورت ناقص است (شکل 6K). مقایسه میدان ماهشهر با سکانس های گزارش شده از برومهد و همکاران (Bromhead et al. 2022)، نشان می دهد احتمالا سطح بیشینه غرقابی (MFS) سکانس ۵ قابل تطابق با MFS Tu 1 صفحه عربی بوده و در غرب میدان ماهشهر از میادین اهواز، مسجد سلیمان، دارخوین- ۲، خورموج در ایران Qurna- 11 در عراق گزارش شده که پیش از تورونین میانی تشکیل شدند. مرز بالایی این سکانس با K150 که در بخش بزرگی از صفحه عربی با بالاآمدگی تکتونیکی همراه بوده، مشخص می گردد Hollis 2011; Searle et al. 2014; Chen et al. 2021).

(Jordan et al. 1985; Van Buchem et al. 2002; به دلیل نبود داده های مغزه، فسیل های شاخص وجود رسوبات تورونین در میدان ماهشهر با استفاده از شواهد فسیل شناسی به اثبات نرسید. علاوه بر این، تشخیص سنگواره های ذره بینی تورونین در نهشته های کربناته از طبقات جوان تر/قدیمی تر دشوار می باشد. به نظر می رسد تائید وجود طبقات مذکور با استناد به شواهد لرزه نگاری نتایج قابل قبول تری را ارائه نماید (شکل ۵) و احتمالا کربنات های تورونین معادل یک توالی پیشرونده باشند.

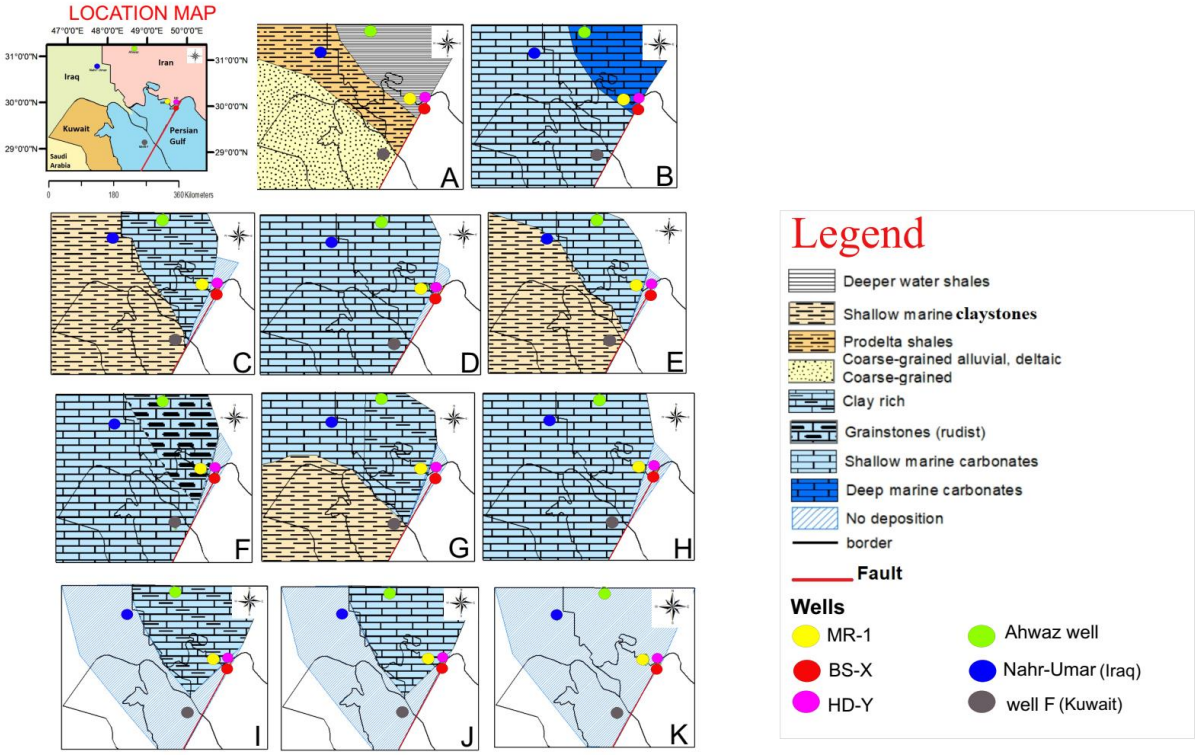


شکل ۵- A) موقعیت گسل هندیجان- بهرگانسر- نوروز (HBNF) و جهت نیم رخ ترسیم شده در امتداد `DD، B,D) نیم رخ لرزه ای ترسیم شده در امتداد `DD، C) آنلپ رسوبات کربناته سروک بالایی در حاشیه بلندای قدیمِ HBN در آغاز تورونین، شکل های D, B به ترتیب از (Valero et al. 2015; Soleimany and Sàbat 2010).

Fig 5- The location of the Handijan-Behrgansar-Nowruz fault (HBNF) and the direction of the profile drawn along DD', B, D) Seismic profile drawn along DD', C) Onlap of Upper Sarvak carbonate sediments an onlap on the sides of paleohigh HBN beginning of Turonian. Figure D, B respectively (Valero et al. 2015; Soleimany and Sàbat 2010).

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

بر این اساس، منطقه مورد مطالعه که در اوایل سنومانین پایدار و با ثبات بود در اثر عملکرد رخدادهای تکتونیکی اواخر سنومانین، بالاآمدگی در امتداد این برجستگی قدیمی آغاز (شکل ۵) و در نهایت عقب‌نشینی دریا سبب خروج رسوبات سنومانین از آب در بیشتر مناطق شد (شکل ۶). بالاآمدگی منطقه در امتداد بلندای قدیم (میادین بهرگانسر و هندیجان) بیشتر بوده به‌طوری که قسمتی از لایه‌های فوقانی سنومانین در این امتداد (NNE-SSW) تحت تأثیر حرکات تکتونیکی و خروج از آب تشکیل نشدند یا بعد از رسوبگذاری فرسایش یافتند (nondeposition / erosion). فعالیت‌های تکتونیکی پس از سنومانین منجر به جابجایی بلوک‌ها در امتداد هندیجان - نوروز، که تا این زمان آرام بود، گردید و در ادامه ناپیوستگی بعد از سنومانین را در منطقه به وجود آورد. در آغاز تورونین رسوبات کربناته سروک فوقانی در روند شمال شمال غرب – جنوب جنوب شرق (به موازات جهت بلندای قدیم) به صورت آنلپ در کناره‌های بلندای قدیم تشکیل شد (میدان ماهشهر، شکل 5B).



شکل ۶- تغییر شرایط محیط های رسوبی منطقه مورد مطالعه در سطح حداکثر پیشروی سطح آب دریا (MFS) و آغاز پسروی دریا (Highstand system tract) در بازه زمانی آلبین- تورونین. داده های استفاده شده براساس منابع زیر است: اطلاعات نقشه BS110 از (Bromhead et al. 2022) استخراج شده است و Davies et al. 2002 (well F); Davies et al. 2019 (Nahr- Umar well); Bromhead et al. 2022 and Kazem Zadeh 2016 (Ahwaz well) and this study (MR-1, HD-Y, BS-X).

Fig 6- Sequence boundary and maximum flooding surface depositional environment maps for the depositional sequences recognized in late Albian – Turonian. BS110 after Bromhead et al. (2022); Well data is derived from Davies et al. 2002 (for well F); Davies et al. 2019 (for Nahr- Umar well); Bromhead et al. 2022 and Kazem Zadeh 2016 (for Ahwaz well) and this study (MR-1, HD-Y, BS-X).

نتیجه

سازند سروک به سن کرتاسه میانی یکی از مخازن مهم نفتی ایران و کشورهای عربی همسایه به شمار می‌رود. در شمال غربی خلیج‌فارس، گسل هندیجان- بهرگانسر- نوروز به طول بیش از ۷۰۰ کیلومتر (از کوه بنگستان تا خفجی در عربستان) یک گسل تقریباً عمودی-راست گرد لغزشی در روند عربی

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266

NNE-SSW می باشد که نقش مهمی در تکامل زمین شناسی منطقه داشته است. رخساره های میکروسکپی، محیط های رسوبی، و چینه نگاری سکانسی سازند سروک در غرب بلندای قدیم هندیجان- بهرگانسر- نوروز در میادین هندیجان، بهرگانسر، ماهشهر مطالعه شدند. جهت بررسی و شناسایی ریزرخساره‌ها و تعیین محیط رسوبگذاری، ۱۸۶ مقطع نازک از نظر پتروگرافی، ویژگی های بافتی مورد مطالعه قرار گرفتند. طبقه بندی ریزرخساره‌ها منجر به شناسایی مجموعاً ۷ ریزرخساره در ۴ کمربند رسوبی، شامل پهنه جزر و مدی، لاگون، سد، و دریای باز شد. وجود ریف های پشته ای، نبود رسوبات توربیدایتی یک پلاتفرم کربناته کم عمق از نوع رمپ را برای تشکیل رسوبات سازند سروک پیشنهاد می کند. همچنین چینه نگاری سکانسی رسوبات مورد مطالعه در شمال غرب گسل هندیجان- بهرگانسر- نوروز منجر به شناسائی پنج سکانس رسوبی رده سوم به سن آلبین پسین- تورونین؟ شد. بر اساس نتایج به دست آمده، اگرچه منطقه مورد مطالعه در اوایل سنومانین از نظر ساختاری پایدار بود اما تحت تاثیر فازهای تکتونیکی مهم از اواخر سنومانین و در امتداد یک برجستگی قدیمی شروع به بالاآمدن کرد و در نهایت عقب‌نشینی دریا سبب خروج رسوبات سنومانین از آب در بیشتر مناطق (میادین بهرگانسر و هندیجان) شد. در اوایل تورونین، بالاآمدگی صفحه عربی موجب عقب نشینی آب و وقوع یک فاز فرسایشی مهم در مرز سنومانین و تورنین شد. به دلیل فقدان فسیل های شاخص، وجود رسوبات تورونین در شمال غرب خلیج فارس به اثبات نرسیده و با استفاده از داده‌های مقاطع لرزه نگاری، احتمالا کربنات‌های تورونین معادل یک توالی پیشرونده (به صورت آنلپ) در نظر گرفته شدند. به این ترتیب، رسوبات کربناته قسمت فوقانی سازند سروک در روند شمال شمال غرب – جنوب جنوب شرق، به صورت آنلپ در کناره‌های بلندای قدیمِ تهنشین شد

.

تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت مشترک دانشگاه خوارزمی (تهران) و شرکت نفت فلات قاره ایران، که تحت حمایت از پایان نامه‌های تحصیلات تکمیلی شرکت ملی نفت ایران می باشد، تهیه گردیده است.

References

Adabi M. H. Salehi M. A. and Ghabeishavi A. 2010. Depositional environment sequence stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Formation), south-west Iran: Journal of Asian Earth Sciences, 39: 148- 160. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.03.011

Al-Fares A. A. Bouman M. and Jens P. 1998. A new look at the Middle to Lower Cretaceous stratigraphy, offshore Kuwait. GeoArabia, 3 (4), 543–560. https://doi.org/10.2113/geoarabia0304543

Al-Husseini A. 2007. Iran's crude oil reserves and production. GeoArabia, 12(2): 69- 94. https://doi.org/10.2113/geoarabia120269

Alsharhan A. S. and Kendall C. G. 2002. Holocene carbonate/evaporates of Abu Dhabi and their Jurassic ancient analogues. In: Sabkha Ecosystems, Barth and Boer (Eds.). Kluwer Acaemic Publishers. The Netherland: 61(3-4):191-243. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00110-1

Alsharhan A. S. Strohmenger C. J. Abdullah F. H. and Sahlan G. Al. 2014. Mesozoic stratigraphic evolution and hydrocarbon habitats of Kuwait. In: Marlow L. Kendall C. and Yose L. (Eds.), Petroleum systems of the Tethyan region. AAPG Memoir, 106, 541- 611.

Bromhead A. D. van Buchem F. S. P. Simmons M. D. and Davies R. B. 2022. Sequence stratigraphy, paleogeography and petroleum plays of the Cenomanian- Turonian succession of the Arabian plate: an update synthesis. Journal of Petroleum Geology, 45(2): 119- 162. https://doi.org/10.1111/jpg.12810

Catuneanu O. 2006. Principles of sequence stratigraphy. Elsevier. Amsterdam, 386 p.

Chen P. Guo L. Li C. and Tong Y. 2021. Karstification characteristics of the Cenomanian-Turonian Mishrif Formation in the Missan Oil Fields, southeastern Iraq, and their effects on reservoirs. Frontiers of Earth Science, 16:435-445. http://dx.doi.org/10.1007/s11707-020-0864-7

Davies R. B. Casey D. M. Horbury A. D. Sharland P. R. and Simmons M. D. 2002. Early to mid-Cretaceous mixed carbonate-clastic shelfal systems: examples issues and models from the Arabian Plate.

Hollis C. 2011. Diagenetic controls on reservoir properties of carbonate successions within the Albian– Turonian of the Arabian Plate. Petroleum Geoscience, 17: 223-241. http://dx.doi.org/10.1144/1354-079310-032

James G. A. and Wynd J. G. 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 49: 2182- 2245. https://doi.org/10.1306/A663388A-16C0-11D7-8645000102C1865D

Jordan C. F. Connally R. C. and Vest H. A. 1985. Middle Cretaceous Carbonates of the Mishrif Formation, Fateh Field, Offshore Dubai, UAE. In: Roehl P.O. and Choquette P.W. (Eds.) Carbonate Petroleum Reservoirs, New York, Springer-Verlag: 425- 442. DOI:10.1007/978-1-4612-5040-1_27

Kakemem U. Adabi M.H. Sadeghi A. Jalali M. and Dehyadegari E. 2022. Palaeoenvironment reconstruction, diagenetic overprint and geochemistry of the Upper Cretaceous Sarvak Formation in the north of Dezful Embayment, south-west of Iran. Stratigraphy and Sedimentology Researches, 38 (3), 1-34. http://dx.doi.org/10.22108/jssr.2022.134679.1237

Kalanat B. and Vaziri-Moghaddam H. 2019. The Cenomanian/Turonian boundary interval deep-sea deposits in the Zagros Basin (SW Iran). Bioevents, carbon isotope record and palaeoceanographic model. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 533: 109- 238. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109238

Kazemzadeh M. and Lotfpour M. 2016. Biostratigraphy, facies and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in the Ahwaz Oil Field, North Dezful Embayment Zone. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches, 32: 53-72. doi:10.22108/JSSR.2016.20871

Khalili M. 1976. The biostratigraphic synthesis of the Bangestan Group in Southwest Iran. IOOC, Report No. 1219 (Unpub.).

Khanjani M. Mousavi Harami R. Rahimpour Bonab H. and Kamali M.R. 2015. Sedimentary environment, diagenesis and sequence stratigraphy of upper Sarvak Formation (Mishrif Equivalent) in Siri Oil Fields. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 24(94): 263- 274. https://dorl.net/dor/20.1001.1.10237429.1393.24.94.121.1

Lees A. 1975. Possible influences of salinity and temperature on modern shelf carbonate sedimentation. Mar. Geol. 19: 159- 198. https://doi.org/10.1016/0025-3227(75)90067-5

Matyja B. A. Wierzbowski A. Gedl P. Boczarowski A. Kaim A. Kedzierski M. Leonwics P. Smolen J.M Szczepanik and P. Witkowska M. 2006. Stop B1.5-GeoArabia, 7 (3): 541-598. https://doi.org/10.2113/geoarabia0703541

Davies R. B. Simmons M. D. Jewellt T. O. and Collins J. 2019. Regional Controls on Siliciclastic Input into Mesozoic Depositional Systems of the Arabian Plate and Their Petroleum Significance. In: Alnazi H.R. Rahmani R.A. Steel R.J. and Soliman O.M. (Eds). Siliciclastic reservoirs of the Arabian plate. AAPG Memoir 116: 103-139. http://dx.doi.org/10.1306/13642165M1183798

Dunham R. J. 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. AAPG Memoir 1: 108-121.

El-Aziz A. K. Abd el-aal A. K. Al-Jeri F. and Al-Enezi A. 2022. Seismicity of Kuwait. The Geology of Kuwait. Regional Geology Reviews: 145- 170. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-16727-0

Emery D. and Myers K. J. 1996. Sequence Stratigraphy. Oxford, United Kingdom, Blackwell, 297 p. DOI:10.1002/9781444313710

Flugel E. 2004. Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis. Interpretation and Application, Springer Verlag, Berlin, 976 p.

Flugel E. 2010. Microfacies of Carbonate Rocks. Springer Verlag, Berlin, 1006 p.

Gaddo J. 1971. The Mishrif Formation paleoenvironment in the Rumaila/Tuba/Zubair region of south Iraq. Geological Society of Iraq, 4: 1-12.

Ghabeishavi A. Vaziri-Moghaddam H. V. Taheri A. and Taati F. 2010. Microfacies and depositional environment of the Cenomanian of the Bangestan anticline, SW Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 37: 275- 285. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2009.08.014

Ghazban F. 2007. Petroleum Geology of the Persian Gulf. Tehran University and National Iranian Oil Company, 1010 p.

Gholami Zadeha P. Adabib M.H. and Sadeghi A. 2019. Microfacies, geochemistry and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation (Mid Cretaceous) in the Kuh-e Siah and Kuh-e Mond, Fars area, southern Iran. Journal of African Earth Sciences 160: 103634. http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103634

Grafe K. U. 2005. Late Cretaceous benthic foraminifera from the Basque-Cantabrian Basin, Northern Spain. Ibriam Geology, 31: 277-298.

Hajikazemi E. Al- Aasm I.S. and Coniglio M. 2012. Chemostratigraphy of Cenomanian- Turonian carbonates of the Sarvak formation, Southern Iran. Petroleum Geology, 35: 187-205. https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2012.00525.x

Haq B. U. 2014. Cretaceous Eustasy Revisited. Global and Planetary Change, 113: 44- 58. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.007

Piryaei A. Reijmer J.J.G. Van Buchem F.S.P. Moghadam M.Y. Sadouni J. and Danelian T. 2010. The influence of Late Cretaceous tectonic processes on sedimentation patterns along the northeastern Arabian plate margin (Fars Province, SW Iran). In: Leturmy P. and Robin C. (Eds.), Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic-Cenozoic. Geol. Soc. Lond. Spec. Pub., 330: 211- 251. https://doi.org/10.1144/SP330

Qomi Aveili J. 2016. Sequence stratigraphy and sedimentary environment of Sarvak Formation, in the oil field of Kuhmond (Southwest of Iran). Scientific Research Publishing Inc: 1344-1360. http://dx.doi.org/10.4236/ojg.2016.610097

Razin P. Taati F. and Van Buchem F.S.P. 2010. Sequence stratigraphy of Cenomanian–Turonian carbonate platform margins (Sarvak Formation) in the High Zagros, SW Iran: an outcrop reference model for the Arabian Plate. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 329, 187-218. https://doi.org/10.1144/SP329.9

Romero J. Caus E. and Rosell J. 2002. A model for the palaeoenvironmental distribution of larger foraminifera based on late Middle Eocene deposits on the margin of the South Pyrenean Basin (NE Spain). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 179: 43- 56.

Sadeghi S. Hashemi. H and Beiranvand. B. 2021. Foraminifera-based biozonation of the Sarvak Formation in Block D, Northwestern Persian Gulf. 14th Symposium of Iranian Paleontological Society, 205- 211.

Sadooni F. N. and Alsharhan A. S. 2003. Stratigraphy, microfacies, and petroleum potential of the Mauddud Formation (Albian– Cenomanian) in the Arabian Gulf basin. AAPG Bulletin, 87(10): 1653-1680.

Saeedi Razavi B. Askari F. Kamali M. and Kazemzadeh E. 2019. Biostratigraphy, microfacies, depositional environment and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in one of the oilfields, southwest Iran. Sedimentary Facies, 12(1): 91- 108.

Schlagintweit F. and Simmons M. 2022. Developing best practice in micropalaeontology: examples from the mid-Cretaceous of the Zagros Mountains. Acta Palaeontologica Romaniae, 18: 63- 84.

Schlagintweit F. and Yazdi-Moghaddam M. 2021. Moncharmontia De Castro 1967 benthic foraminifera from the middle-upper Cenomanian of the Sarvak Formation of SW Iran (Zagros Zone): a CTB survivor taxon. Micropaleontology, 67: 19-29. http://dx.doi.org/10.47894/mpal.67.1.03

Searle M. P. Cherry A. Ali M.Y. and Cooper D. J. W. 2014. Tectonics of the Musandam Peninsula and northern Oman Mountains: From ophiolite Sowas and Glinskis clay pits (upper most Bajocian lower most Bathonian). In: Wierzbowski A. Aubretch R. Golonka J. Gutowski J. Krobicki M. Matyja B.A. Pienkowski G. Uchman A. (Eds.) Jurassic of Poland and Adjacent Slovakian Carpathians. Field trip guide book of 7th International Congress on the Jurassic System, Krakow, Poland:149- 152.

Mehrabi H. 2023. Deposition, diagenesis, and geochemistry of Upper Cretaceous carbonates (Sarvak Formation) in the Zagros Basin and the Persian Gulf, Iran. Minerals, 13 (1078), 1-28. http://dx.doi.org/10.3390/min13081078

Mirzaee Mahmoodabadi R. 2020. Sequence stratigraphy of Albian–Campanian carbonate deposits (Sarvak and Ilam formations) in Shiraz area, Fars, SW Iran. Carbonates and Evaporites, 35(92): 2-21.

Mohammadrezaei H. Alavi A. Cardozo N. and Ghassemi M. R. 2020. Deciphering the relationship between basement faulting and two-phase folding in the Hendijan anticline, northwest Persian Gulf, Iran. Marine and Petroleum Geology, 122:104-626. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104626

Motiei, H. 1994. Geology of Iran: Stratigraphy of Zagros. Geological Survey of Iran Publication, Tehran: 583 p.

Naseri N. Adabi M.H. Qalavand H. and Ghabushavi A. 2005. Investigating the formation time of the ancient uplift of Mount Bangestan. 24th Symposium of Geosciences: 1- 10. [In Persian]

Navidtalab A. Heimhofer U. Huck S. Omidvar M. Rahimpour- Bonab H. Aharipour R. and Shakeri A. 2019. Biochemostratigraphy of an upper Albian–Turonian succession from the southeastern Neo-Tethys margin, SW Iran. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 533: 109- 255. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109255

Navidtalab A. Rahimpour-Bonab H. Huck S. and Heimhofer U. 2016. Elemental geochemistry and strontium-isotope stratigraphy of Cenomanian to Santonian neritic carbonates in the Zagros Basin, Iran: Sedimentary Geology, 346: 35–48. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.10.003

Omidvar M. Mehrabi H. Sajjadi F. Bahramizadeh Sajjadi H. Rahimpour-Bonam H. and Ashrafzadeh A. 2014. Revision of the foraminiferal biozonation scheme in Upper Cretaceous carbonates of the Dezful Embayment, Zagros, Iran: Integrated palaeontological, sedimentological and geochemical investigation. Revue de Micropaléontologie, 57: 97- 116. http://dx.doi.org/10.1016/j.revmic.2014.04.002

stratigraphy of the eastern Arabian Plate depositional sequences and lithostratigraphic nomenclature. Petroleum Geoscience, 17: 211- 222.

Van Buchem F.S.P. Razin P. Homewood P.W. Oterdoom W.H. and Philip J. 2002. Stratigraphic organization of carbonate ramps and organic-rich intrashelf basins: Natih Formation (middle Cretaceous) of northern Oman. AAPG Bulletin, 86: 21-53.

Van Wagoner J. C. Mitchum R. M. Campion K. M. and Rahmanian V. D.1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well log, cores, and outcrops: Concepts of high-resolution correlation of time and facies. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 7: 1- 55.

Villan J.M. 1977. Les Calcisphaerulidae: architectures, calcification de la paroi et phylogenese. Palaeontographica, 159: 139- 177.

Vincent B. Van Buchem F.S.P. Bulot L.G. Jalali M. Swennen R. Hosseini A.S. and Baghbani D. 2015. Depositional sequences, diagenesis and structural control of the Albian to Turonian carbonate platform systems in coastal Fars (SW Iran). Marine and Petroleum Geology, 63: 46- 67.

Wilson J. I. 1975. Carbonate Facies in Geologic History. Springer Verlag, Berlin, 471 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6383-8

Wynd J.G. 1965. Biofacies of the Iranian Oil Consortium Agreement area. Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration division. Report No. 1082.

Youssef A.H. Al-Sahlan G. Kadar A.P. Karam K.A. Packer S. Starkie S. and Stead D. 2019. Sequence stratigraphic framework of the Wara and Ahmadi Formations, onshore Kuwait. Stratigraphy, 16(1):1-26. https://doi.org/10.29041/strat.16.1.1-26

obduction to continental collision: GeoArabia. 19(2): 135- 174. http://dx.doi.org/10.2113/geoarabia1902137

Sepehr M. Cosgrove J. and Moieni M. 2006. The impact of cover rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt. Tectonophysics, 427: 265- 281. http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2006.05.021

Sharland P. R. Archer R. Casey D.M. Davies R.B. Hall S. Heward A. Horbury A. and Simmons M.D. 2001. Arabian Plate Sequence Stratigraphy. GeoArabia Special Publication 2, Gulf PetroLink: 387 p.

Shiroodi S. K. Ghafoori M. Faghih A. Ghanadian M. Lashkaripour G. and Hafezi Moghadas N. 2015. Multi-phase inversion tectonics related to the Hendijan-Nowrooz-Khafji Fault activity. Zagros Mountains. SW Iran Journal of African Earth Sciences, 111: 399- 408. http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.08.015

Soleimany B. and Sabat F. 2010. Style and age of deformation in the NW Persian Gulf. Petrol. Geosci, 16: 31- 39. http://dx.doi.org/10.1144/1354-079309-837

Stocklin J. 1968. Structural history and tectonics of Ilam, a review American Association of peterolum Geology Bulltin, 52 (7): 1229-1258.

Valero L. Soleimany B. Bulnes M. and Poblet J. 2015. Evolution of the Nowrooz anticline (NW Persian Gulf) deciphered using growth strata: structural inferences to constrain hydrocarbon exploration in Persian offshore anticlines. Mar. Petrol. Geol., 66: 873- 889. http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.07.029

Van Buchem F.S.P. Simmons M.D. Droste H.J. and Davies R.B. 2011. Late Aptian to Turonian

https://doi.org/10.22108/jssr.2023.138811.1266