



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

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches

E-ISSN: 2423-8007

Vol. 40, Issue 1, No. 94, Spring 2024, pp 1-28

Received: 22.02.2024

Accepted: 14.04.2024

Research Paper

Controls of palaeoclimate condition on facies characteristics and diagenetic processes in the Cenomanian–Turonian sequences (upper Sarvak Formation) in the Abadan Plain, SW Iran

Emad Yahyaei

M.Sc., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
emad.yahyae@ut.ac.ir

Ramin Abbasi

M.Sc., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
aramin1374@gmail.com

Hamzeh Mehrabi* 

Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
mehrabi.hamze@ut.ac.ir

Amin Navidtalab

Associate Professor, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran
navidtalab@gmail.com

Abstract

The Sarvak Formation, a crucial reservoir rock in the Abadan Plain, is extensively studied due to its sedimentary attributes and diagenetic evolution, heavily influenced by tectonic activities and palaeoclimatic conditions. This research focuses on analyzing palaeoclimatic indicators within the Sarvak Formation in a selected oil field in the Abadan Plain. Through a comprehensive approach integrating core data, thin section analyses, and electron microscopy, the study characterizes various facies, diagenetic processes, and sequence stratigraphy of the formation. Five distinct microfacies representing different depositional environments, such as lagoon, shoal, reef, reef-talus, and open marine belts, are identified, suggesting a ramp-type depositional setting. The investigation also reveals a paragenetic sequence of diagenetic processes, including transitions from marine to meteoric diagenesis and from shallow to deep burial environments. Notably, two palaeoexposure surfaces are identified, characterized by meteoric dissolution, brecciation, iron oxide staining, and silicification. Scanning electron microscopy analysis indicates prevailing kaolinite and montmorillonite clay mineral assemblages, indicative of warm and humid palaeoclimatic conditions. These findings provide insights into the palaeoclimatic conditions and paleogeographical positioning of the Arabian Plate during the Cenomanian–Turonian period, suggesting a close proximity to low latitudes near the Equator.

Keywords: Sarvak Formation, Palaeoclimate, Meteoric diagenesis, Abadan Plain

Introduction

The Middle East, particularly the Arabian Plate, is renowned for its vast oil and gas reserves. Among these, the Sarvak limestone formation in Iran's Zagros Basin stands out as a crucial reservoir rock. Its sedimentary characteristics and diagenetic processes are intricately linked to past climatic and geographical conditions. Climatic factors, along with fluctuations in sea levels and tectonic activity, have shaped highly productive reservoir units within the Sarvak Formation. Understanding these influences is pivotal for comprehensive reservoir studies, as they determine sedimentary facies and diagenetic alterations, thus impacting reservoir distribution within the formation.

This study aims to analyze facies and diagenetic processes in the Sarvak Formation, particularly during the Cenomanian–Turonian period. By examining the effects of

long-term climate on diagenesis, it seeks to enhance understanding of reservoir characteristics and improve modeling accuracy. Ultimately, this research aims to optimize hydrocarbon recovery from the Sarvak Formation's reserves, contributing to economic development in the region.

Materials & Methods

In pursuit of our study objectives, we examined 726 thin sections derived from the Sarvak Formation in two wells (K-01 and K-02) within the study area. The cored thickness of this formation in wells one and two amounted to 242 meters and 64 meters, respectively. We employed thin-section staining using a combination of alizarin red solution and potassium ferrocyanide to distinguish between dolomite and calcite. Generally, plug samples were extracted from the cored sections of the wells, with an average interval of one

*Corresponding author

Yahyaei E. Abbasi R. Mehrabi H. and Navidtalab A. (2024). Controls of palaeoclimate condition on facies characteristics and diagenetic processes in the Cenomanian–Turonian sequences (upper Sarvak Formation) in the Abadan Plain, SW Iran. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 40(1):1-28. <https://doi.org/10.22108/jssr.2024.140793.1278>



2423-8007 / © 2024 University of Isfahan

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



<https://doi.org/10.22108/jssr.2024.140793.1278>

meter, focusing on capturing diagenetic processes during sampling. Additionally, we analyzed 65 SEM images using the MIRA3 TESCAN device at the Research Center of Razi Metallurgical Research Center in Tehran, Iran.

For limestone examination, we utilized Dunham's (1962) and Embry and Klovan's (1971) classification methods. Furthermore, we applied Flügel's (2010) classification for facies description, interpretation, and establishing a conceptual sedimentary model. Our sequence stratigraphy studies aimed at identifying third and fourth-order sequences through the T-R method (separation based on transgressive systems tract and regressive systems tract). We also conducted petrographic studies to identify deepening and shallowing-upward facies to determine the maximum flooding surface (Embry 2002).

Discussion of results & Conclusions

Microfacies

The study of skeletal, non-skeletal, and textural components related to thin sections of the Sarvak Formation in Wells 1 and 2 of the targeted oil field was conducted using the classification methods of Flügel (2010) and Dunham (1962) to identify five microfacies (Table 1). Benthic and planktonic foraminifera, rudists, corals, and echinoderms, along with other bio-clastic components, constitute the main constituents of these microfacies. Additionally, peloids and intraclasts have been identified as the most important non-skeletal components present in the studied microfacies.

Sequence stratigraphy

The sequence stratigraphic study of the Sarvak Formation has led to the identification of two third-order depositional sequences named the Cenomanian sequence and the Turonian sequence, along with six fourth-order sequences. In the following, we will focus on a more detailed examination of the third-order sequences:

Cenomanian Sequence (DSS-1)

The thickness of the Cenomanian sequence in Well 1 is approximately 245 meters. The transgressive systems tract (TST) of this sequence consists of restricted lagoon facies (MF-1), reef and reef talus facies (MF-2 and MF-3), and open marine lagoon facies (MF-5), which are successively positioned upwards toward the maximum flooding surface (MFS-1). The regressive systems tract (RST) in the Cenomanian sequence comprises rudist and shoal facies (MF-4), indicating a shallowing-upward trend towards the Cenomanian-Turonian sequence boundary.

The upper boundary of DSS-1, known as the Cenomanian-Turonian discontinuity (CT-ES), is exposed to meteoric diagenetic processes, displaying features such as meteoric dissolution, karstification, brecciation, and the formation of paleosols (Figure 3). The lower boundary of DSS-1 has not been identified in Wells 1 and 2 of the studied oil field. However, previous studies suggest its confinement at the base by the middle Cenomanian unconformity (Alsharhan and Nairn 1997; Aqrabi et al. 2010; Sharland et al. 2001; Hollis 2011).

Turonian Sequence (DSS-2)

The Turonian sequence in the studied wells has a thickness ranging from 15 to 25 meters. This sequence is predominantly composed of open marine lagoon facies (MF-5) in the lower half (TST) and restricted lagoon facies (MF-1) in the upper half (RST). The upper boundary of DSS-2 is characterized by a diagenetic boundary, exhibiting features such as silicification, brecciation, meteoric dissolution, and iron oxide staining. This discontinuity, known as the middle Turonian discontinuity (mT-ES), extends throughout the Tethyan basin (Sharland et al. 2001; Mehrabi et al. 2022). In

the upper part of this sequence boundary, the shale of the Laffan Formation, dated to the Coniacian, limits the upper boundary of the Turonian sequence.

Diagenesis

The types of diagenetic processes that have influenced the Sarvak sedimentary sequence in the studied section are as follows: micritization, cementation, recrystallization (neomorphism), dissolution, mechanical and chemical compaction, dolomitization associated with stylolitization, fracturing, silicification, pyritization, and formation of paleosol horizons.

Discussion

During the Late Cretaceous era, the prevailing warm and humid climate in the Zagros region had a notable impact on the composition and distribution of carbonate organisms within the shallow-water carbonate platforms (Keller, 2008). Under such climatic conditions, the saturation level of seawater with respect to CaCO₃ was often below the threshold, resulting in infrequent occurrences of evaporitic facies, primary dolomites, and ooids in the Sarvak platform. Instead, the platform predominantly consisted of bioclasts (such as rudists, algae, benthic and planktonic foraminifera, and molluscs), intraclasts, and peloids.

Microfacies associated with shoal facies belts offer approximate insights into the climatic context of the Sarvak Formation. As previously noted, bioclastic-peloidal shoals indicate deposition in warm and humid climates (typical of the prevailing climatic conditions over the Sarvak carbonate platform during the Cretaceous). Conversely, algal-dominated shoals, often accompanied by evaporites indicative of warm and arid climates, are not observed in the studied oil field (Tucker and Wright 1990).

Furthermore, the prevalence of organisms like rudists, corals, and green algae as the primary constituents of Sarvak Formation reefs, representing a coral-algal or coral-zoan skeletal association (Tucker and Wright 1990), underscores the dominance of warm climatic conditions in low latitudes (Flügel 2004).

In warm and moist climates such as those during the Late Cretaceous era, like the conditions influencing the Sarvak Formation's deposition, the intensity and development of meteoric diagenetic processes heighten. Meteoric dissolution, karstification, low-magnesium calcite cementation, silicification, fracturing, and the development of paleosol horizons are all exacerbated. Conversely, in warm and arid climates, the meteoric diagenesis intensity diminishes due to limited meteoric waters, potentially leading to minimal sediment alterations over extended periods (Mehrabi et al. 2023).

For instance, prolonged meteoric diagenesis of carbonate sediments under warm and humid climates can lead to the maturation and aging of karstified intervals, the principal product of meteoric diagenesis and sedimentation under such conditions. With increased dissolution and weathering, collapse events occur, filling dissolution cavities and caves with sedimentary debris, known as dissolution collapse breccias, compromising reservoir quality (Mazzullo and Chilingarian 1992; Keller 2008).

Analysis of paleosol horizons from the Sarvak Formation reveals their rich content of montmorillonite and kaolinite minerals, with elevated iron and aluminum oxides. Upon closer examination away from discontinuities, the presence of Illite and Chlorite minerals becomes apparent. The occurrence of meteoric leaching and chemical weathering during the transition from the Cenomanian-Turonian and middle Turonian boundaries led to the formation of these paleosol horizons.



مقاله پژوهشی

تأثیر اقلیم دیرینه بر خصوصیات رخساره‌ای و فرآیندهای دیاژنزی سکانس‌های رسوبی سنومانین-تورونین (سازند سروک بالایی) در ناحیه دشت آبادان، جنوب غرب ایران

عماد یحیایی، کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

emad.yahyaee@ut.ac.ir

رامین عباسی، کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

aramin1374@gmail.com

حمزه مهرابی*، استادیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

mehrabi.hamze@ut.ac.ir

امین نویدطلب، دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

navidtalab@gmail.com

چکیده

سازند سروک به سن سنومانین - تورونین، مهم‌ترین سنگ مخزن نفت در بیشتر میدان‌های دشت آبادان است. تحولات تکتونیکی و شرایط آب و هوایی قدیمه، تأثیرات چشمگیری بر خصوصیات رخساره‌ای و فرآیندهای دیاژنزی این سازند داشته و در نهایت، کیفیت مخزنی آن را کنترل کرده‌اند. مطالعه حاضر با تلفیق داده‌های مغزه، مقاطع نازک و تحلیل تصاویر میکروسکوپ الکترونی، به دنبال بررسی شاخص‌های رخساره‌ای و دیاژنزی نشانگر اقلیم دیرینه در سازند سروک است. برای این منظور، مطالعات جامع رخساره‌ای، تحلیل‌های دیاژنزی و چینه‌نگاری سکانسی انجام شد. تعداد پنج ریزرخساره رسوبی متعلق به زیرمحیط‌های رسوبی لاگون، شول، ریف‌ها و واریزه‌های ریفي و دریای باز در این سازند شناسایی شد که معرف یک مدل رسوبی نوع رمپ هم‌شیب‌اند. انواع فرآیندهای دیاژنزی بررسی شدند و یک توالی پاراژنزی، شامل گذر از محیط‌های دریایی، دو مرحله دیاژنزی جوی و محیط‌های تدفینی کم‌عمق تا عمیق بازسازی شد. دو سطح رخنمون دیرینه در مرز سنومانین-تورونین و تورونین میانی با وجود عوارضی نظیر انحلال گسترده جوی، برشی شدن ریزشی، آغستگی به اکسیدهای آهن و سیلیسی شدن تفکیک شدند. مطالعات میکروسکوپ الکترونی نشان داد که کانی‌های رسی بیشتر در محل رخداد ناپیوستگی، عموماً از نوع کائولینیت و مونت مورینیت‌اند. ترکیب اجزای سازنده رخساره‌های سازند سروک (مجموعه‌های اسکلتی مرجانی - جلبکی)، فراوانی و گستردگی عوارض دیاژنزی جوی (به‌ویژه انحلال) و نوع خاک‌های قدیمه تشکیل شده در محل رخنمون‌ها، همگی نشانگر غلبه شرایط اقلیمی گرم و مرطوب در زمان نهشت و دیاژنزی اولیه سازند سروک در ناحیه دشت آبادان‌اند. تحلیل‌های اقلیمی به دست آمده از سازند سروک در مطالعه حاضر، انطباق بالایی با جایگاه جغرافیایی قدیمه صفحه عربی در بازه زمانی سنومانین - تورونین دارد که در عرض‌های پایین (۵ تا ۵ درجه شمالی) در مجاورت خط استوا بوده است.

واژگان کلیدی: سازند سروک، اقلیم دیرینه، دیاژنزی جوی، دشت آبادان.

* نویسنده مسئول

یحیایی، عماد؛ عباسی، رامین؛ مهرابی، حمزه. و نویدطلب، امین. (۱۴۰۳). تأثیر اقلیم دیرینه بر خصوصیات رخساره‌ای و فرآیندهای دیاژنزی سکانس‌های رسوبی سنومانین-تورونین (سازند سروک بالایی) در ناحیه دشت آبادان، جنوب غرب ایران. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۴۰(۱): ۱-۲۸.

<https://doi.org/10.22108/jssr.2024.140793.1278>



مقدمه

بر خصوصیات رخساره‌ای و عوارض دیاژنزی، تحولات مخزنی را کنترل می‌کنند و به‌طور غیرمستقیم و کنترل‌کننده، توزیع واحدهای مختلف مخزنی و غیر مخزنی در سازند مطالعه شده‌اند.

پژوهش حاضر به دنبال آن است تا با بهره‌گیری از مطالعات پتروگرافی و دانش رسوب‌شناسی، رخساره‌ها، نوع پلتفرم کربناته در زمان نهشت رسوبات و فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر توالی رسوبی سروک را توصیف و تفسیر و شواهد رخساره‌ای و دیاژنزی به دست آمده و مرتبط با وضعیت اقلیمی را در بازه زمانی سنومانین - تورونین بررسی کند. مطالعه تأثیر اقلیم دیرینه بر تاریخچه دیاژنزی سازند سروک، به درک بهتر خصوصیات مخزنی این سازند، افزایش دقت در مدل‌سازی و در نهایت توسعه و برداشت اقتصادی از ذخایر هیدروکربوری موجود در آن منجر خواهد شد.

زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

صفحه عربی در شمال شرق با زون خردشده تاروس - زاگرس، در شمال غرب از طریق ترانسفورم دریای مرده، در جنوب شرق به وسیله حاشیه غیرفعال/ ترانسفورم اقیانوس هند و در سمت جنوب غرب با حاشیه ریفتی دریای سرخ محصور شده است (Alsharhan and Nairn 1997). ماحصل برخورد صفحه عربی با صفحه ایران مرکزی، به وجود آمدن زاگرس به‌عنوان یک زون چین‌خورده مجزاست. چهار زون شامل فروافتادگی دزفول، پهنه ایذه، لرستان و فارس از نظر تکتونواستراتیگرافی و براساس تاریخچه رسوب‌گذاری و فعالیت‌های تکتونیکی حوضه زاگرس از سمت شمال غرب به جنوب شرق شناسایی‌شده است (Mouthereau et al. 2012). دشت آبادان، بخشی از زاگرس و در حاشیه شمال شرقی صفحه عربی واقع شده است و از ویژگی‌های زمین‌شناسی آن تبعیت می‌کند (Abdollahie Fard et al. 2006) (شکل ۱). با شناسایی و اکتشاف حجم عظیمی از هیدروکربن، پتانسیل اقتصادی بالای این منطقه به اثبات رسیده است

منطقه جنوب غرب آسیا (خاورمیانه)، میزبان تمرکزهای عظیم نفت و گاز در جهان است که بخش اصلی آنها بر صفحه عربی واقع شده‌اند. بیشتر این ذخایر، میدان‌های فوق عظیم را شامل می‌شوند و این مسئله صفحه عربی را به یکی از اصلی‌ترین ایالت‌های هیدروکربوری جهان مبدل کرده است (Sharland et al. 2001). یکی از سازندهای مهم این منطقه، سازند آهکی سروک از گروه بنگستان است که در ایران پس از آسماری، مهم‌ترین سنگ مخزن حوضه زاگرس شناخته می‌شود (van Buchem et al. 2011; Esrafil-Dizaji et al. 2015).

خصوصیات رخساره‌ای و بخش عمده‌ای از عوارض و فرایندهای دیاژنزی (اژونز و تلوژن)، تحت کنترل شرایط اقلیمی و جغرافیایی حاکم در زمان تشکیل یا رخنمون کربنات‌هایند. وضعیت اقلیمی و ترکیب آب دریاها در زمان نهشت کربنات‌ها، تأثیر بسزایی بر روندهای دیاژنزی و سرگذشت رسوبات در مراحل بعدی می‌گذارد (Ahr 2008). نوسانات یواستاتیک سطح آب دریا همراه با فرایندهای تکتونیکی بزرگ‌مقیاس (در ارتباط با حرکت صفحات تکتونیکی و باز و بسته‌شدن اقیانوس‌ها)، سبب رخنمون‌یافتن و گاه فرسایش توالی‌های کربناته به میزان چشمگیر می‌شود؛ به‌خصوص اگر رخنمون کربنات‌ها تحت شرایط اقلیمی گرم و مرطوب روی دهد، شدت این فرایندها بسیار بیشتر خواهد بود (Ahr 2008; Schlager 2005).

در مدت‌زمان نهشت سازند سروک، تأثیر آب‌وهوا، نوسانات سطح آب دریاها و تکتونیک به ایجاد بخش‌های پربازده مخزنی در این واحد رسوبی منجر شده است (Rahimpour-Bonab et al. 2012; Mehrabi and Rahimpour- 2014). نوع موجودات و حتی ذرات کربناته غیر زیستی، تحت تأثیر این پارامترها قرار می‌گیرند. بنابراین آگاهی از شرایط تکتونیکی، اقلیمی و نوسانات سطح آب دریا و ترکیب دریای میزبان نهشت رسوبات، از ضروریات هر مطالعه اصولی مخزنی است. همچنین این موارد با اثرگذاری

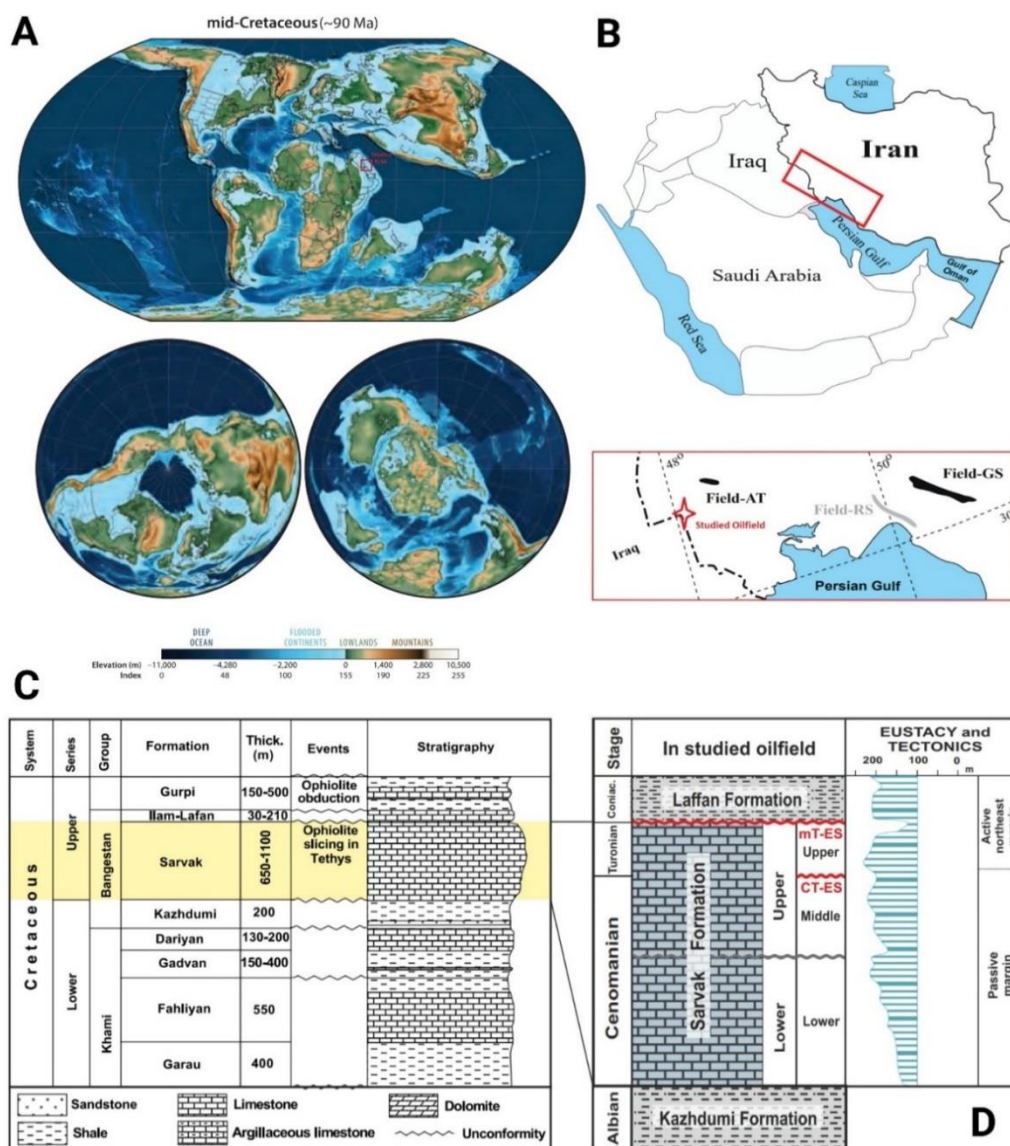
(Atashbari et al. 2018).

نام سازند آهکی سروک به سن کرتاسه و از گروه بنگستان (شامل سازندهای کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام) که دومین سنگ مخزن پر اهمیت حوضه زاگرس است، از تنگ سروک واقع در یال جنوبی تاقدیس کوه بنگستان و ۴۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان بهبهان اقتباس شده است (Motiei 1993). این سازند، پیش از این با نام‌های آهک بنگستان، آهک‌های رودیست‌دار، آهک لشتگان، آهک‌های هیوریت‌دار، جزئی از آهک‌های کرتاسه میانی یا آهک سیاه‌کوه شناخته می‌شد (Motiei 1993). بیشتر مطالعات انجام‌شده بر توالی‌های سروک در نواحی مختلف، این سازند را براساس حضور یک ناپوستگی فرسایشی چشمگیر در بخش‌های میانی آن، به دو بخش سروک زیرین و بالایی تقسیم می‌کنند. در میدان نفتی مطالعه‌شده و برخی میدان‌های واقع در دیگر بخش‌های فروافتادگی دزفول، سه ناپوستگی فرسایشی به چشم می‌خورد که عبارت‌اند از: ۱- ناپوستگی اواسط سنومانین؛ ۲- ناپوستگی حدفاصل سنومانین - تورونین و ۳- ناپوستگی حدفاصل تورونین - کنیاسین معروف به ناپوستگی تورونین میانی (van Buchem et al. 2011; Hajikazemi et al. 2012; Rahimpour-Bonab et al. 2006; Taghavi et al. 2001; Sharland et al. 2012, 2013). بر همین اساس، سازند سروک در مطالعه حاضر، سه بخش سروک زیرین، سروک میانی و سروک بالایی دارد.

حد پایینی سازند سروک با سازند کژدمی به صورت هم‌شیب و تدریجی (پیوسته) است و مرز بالایی آن با سازند ایلام ناهمسان فرسایشی و آغشته به ترکیب‌های آهن است (James and Wynd 1965) (شکل ۱). در بیشتر مناطق فروافتادگی دزفول و دیگر مناطق مجاور آن، سازندهای

سروک و ایلام روی هم یک واحد آهکی دریایی کم‌عمق یا نریتیک را تشکیل می‌دهند که تفکیک آنها بسیار دشوار است (Rahimpour-Bonab et al. 2012) (شکل ۱). در اواخر آلبین تا سنومانین، به تدریج از عمق آب دریا کاسته شده است، به طوری که رسوبات آهکی سازند سروک در سنومانین، پهنه وسیعی از حوضه زاگرس را می‌پوشاند (Alsharhan 2014). مناطق جنوب شرقی فروافتادگی دزفول و خلیج فارس طی زمان سنومانین - تورونین، تحت تأثیر حرکات توده‌های نمکی هرمز، آغاز بسته‌شدن نئوتتیس، فعالیت گسل‌های پی‌سنگی و حرکات خشکی‌زایی، دچار دگرشکلی شده است و بلندی‌های قدیمه نیز به وجود آمده‌اند. شکل‌گیری این بلندی‌ها، تحت کنترل روندها و امتدادهای صفحه عربی بوده است (Abdollahie Fard et al. 2006).

طی سنومانین و به‌خصوص در انتهای آن، بخش‌هایی از فروافتادگی دزفول با بالآمدگی‌های قدیمه از آب خارج می‌شود که نتیجه آن فرسایش قسمت‌های بالایی آهک‌های سازند سروک است (van Buchem et al. 2011; Hollis 2011; Sadooni 2005). آثار این فاز فرسایشی (ناپوستگی مرز سنومانین - تورونین)، تقریباً در تمامی نواحی خلیج فارس و فروافتادگی دزفول مشاهده می‌شود. تورونین، آخرین چرخه رسوب‌گذاری کرتاسه میانی است که طی آن نواحی فارس و فروافتادگی دزفول، شروع به فرونشستی در حد ایجاد محیط‌های کم‌عمق و ساحلی کرده و به‌موجب آن کربنات‌های فوقانی سازند سروک نهشته شده‌اند که قبلاً به‌صورت بلندی‌های قدیمی از آب بیرون مانده و سبب ایجاد ناپوستگی فرسایشی شده بودند (Alsharhan and Nairn 1997; Aqrabi et al. 1998; Hollis 2011; Sharland et al. 2001; Sharp et al. 2010).



شکل ۱- نقشه جغرافیایی دیرینه مطالعه شده و موقعیت آن نسبت به خط استوا در حوضه تیسس (A). (Scotese, 2021). موقعیت جغرافیایی میدان مطالعه شده واقع در دشت آبادان؛ (B). ستون چینه‌شناسی توالی رسوبی سروک به سن کرتاسه؛ (C) همراه با نوسانات سطح آب دریا و وضعیت تکتونیکی؛ (D). (نقل شده با تغییراتی از Rahimpour-Bonab et al. 2013)

Fig 1- Paleogeographic map of the studied area and its position relative to the equator in the Tethys basin (A). (Scotese 2021). **Geographic location of the studied field located in the Abadan Plain (B).** **Stratigraphic column of the Sarvak depositional sequence of Cretaceous age (C) along with sea level fluctuations and tectonic status (D).** (Modified from Rahimpour-Bonab et al. 2013).

است (Bromhead et al. 2022). همچنین این سازند در اثر عملکرد تکتونیک و اقلیم در طول کرتاسه، در بخش‌های مختلف منطقه، ضخامت‌های متفاوتی دارد (Sharland et al. 2001).

به طور کلی حوضه رسوب‌گذاری کرتاسه، تمام زاگرس و خلیج فارس، عراق، عمان، کویت و قسمت اعظم عربستان را شامل می‌شود و با چشم‌پوشی از جزئیات، کمابیش نظیر ناپوستگی‌های شناسایی شده سازند سروک در سازندهای معادل آن در بخش‌های مختلف منطقه نیز، گزارش شده

داده‌ها و روش‌ها

برای محقق شدن اهداف مدنظر، در مطالعه حاضر ۷۲۶ مقطع نازک به دست آمده از سازند سروک، در دو چاه (K-01 و K-02) مربوط به میدان مطالعه شده بررسی شد. ضخامت مغزه‌گیری شده از این سازند در چاه‌های شماره یک و دو، به ترتیب ۲۴۲ متر و ۶۴ متر است. با هدف تشخیص دولومیت و کلسیت، رنگ آمیزی مقاطع نازک با استفاده از ترکیب محلول آلزارین قرمز و فروسیانید پتاسیم انجام شد. به‌طور کلی، نمونه‌های پلاگ با بازه میانگین یک متر، از مغزه‌های چاه مطالعه شده برداشته شدند. در هنگام نمونه‌برداری از مغزه‌ها، سعی بر آن بود تا به فرایندهای دیاژنزی توجه شود. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل ۶۵ نمونه تصاویر SEM با استفاده از دستگاه MIRA3 TESCAN، مرکز تحقیقات متالورژی رازی، تهران و ایران اجرا شد. در مطالعه حاضر به‌منظور بررسی سنگ‌آهک‌ها، طبقه‌بندی دانه‌ها (Dunham 1962) و امری و کلوان (Embry and Klovan 1971) به کار گرفته شده است. همچنین برای توصیف و تفسیر رخساره‌ها و تعیین مدل مفهومی رسوبی، تقسیم‌بندی فلوگل (Flügel 2010) مدنظر بوده است. مطالعات چینه‌نگاری سکناسی در میدان مطالعه شده، برای شناسایی سکناس‌های رده سوم و رده چهارم، با استفاده از روش T-R (جداسازی بر مبنای سیستم ترکتهای پس‌رونده و سیستم ترکتهای پیش‌رونده) و به کمک مطالعات پتروگرافی، با هدف شناسایی رخساره‌های عمیق‌شونده و رخساره‌های کم‌عمق‌شونده به‌منظور تشخیص حداکثر سطح سیلابی انجام شد (Embry 2002).

نتایج

رخساره‌های رسوبی

مطالعه اجزای اسکلتی، غیر اسکلتی و بافت مربوط به مقاطع نازک سازند سروک در چاه‌های ۱ و ۲ میدان نفتی مدنظر با استفاده از طبقه‌بندی فلوگل و دانه‌ها (Dunham 1962; Flügel 2010)، به شناسایی پنج ریزرخساره کربناته انجامید (جدول ۱). فرامینفرهای بتیک و پلانکتون، رودیست‌ها، مرجان‌ها و خارپوستان همراه با دیگر خرده‌های بایوکستی، اجزای اصلی

تشکیل دهنده این ریز رخساره‌ها هستند. همچنین پلوئیدها و اینتراکلت‌ها مهم‌ترین ترکیبات غیر بایوژنیک موجود در ریزرخساره‌های مطالعه شده را تشکیل داده‌اند. این ریزرخساره‌ها به ترتیب عبارت‌اند از:

ریزرخساره شماره ۱- مادستون تا وکستون حاوی فرامینفرهای بتیک

توصیف: در این ریزرخساره فرامینفرهای بتیک (نظیر میلیولیدها و آلوئولینیدها) آلوکم‌های غالب‌اند. شکم‌پایان و سوزن‌های اسفنج آهکی از دیگر اجزای اسکلتی چشمگیرند و مهم‌ترین آلوکم‌های غیر اسکلتی رؤیت‌شده در این ریزرخساره، شامل پلوئیدها و آنکوئیدها (MF-1 در شکل ۲). آلوکم‌های اشاره شده در ماتریکس گلی قرار گرفته‌اند. به‌علاوه این میکروفاسیس، شواهدی از زیست‌آشفستگی همراه با حفاری (Burrowing) و ساخت رسوبی لامیناسیون است.

تفسیر: با توجه به توضیحات داده شده و فراوانی فرامینفرهای کفزی نسبتاً درشت، نظیر آلوئولینیدها در بافت مادستون تا وکستونی که به انرژی پایین در محیط اشاره دارد، این ریزرخساره مربوط به محیط لاگون محدود شده و معادل با RMF-20 از رخساره‌های استاندارد فلوگل (Flügel 2010) است.

ریزرخساره شماره ۲- فلوستون تا رودیست حاوی رودیست

توصیف: رودیست‌ها مهم‌ترین اجزای اسکلتی این رخساره به شمار می‌روند که بیشتر در اندازه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر) و به صورت خردشده (نابرجا) مشاهده می‌شوند. قسمت سطحی برخی از قطعات رودیستی، میکرایتی شده است و گاه آثار زیست‌آشفستگی و حفاری (boring) در آنها دیده می‌شود. پلوئید، اینتراکلت، فرامینفرهای بتیک، مرجان و جلبک سبز از جمله آلوکم‌های تشخیص‌دانی در این ریزرخساره‌اند (MF-2 در شکل ۲).

تفسیر: فراوانی قطعات بزرگ رودیست، مرجان و جلبک سبز (بیش از ۲ میلی‌متر) در یک زمینه میکرایتی به‌همراه

نزدیکی با ریزرخساره شماره ۱ و ۲ دارد؛ در نتیجه آنها در قسمت‌های کم عمق پلتفرم کربناته یا به عبارت دقیق‌تر، در کمربند رخساره‌ای ریف‌های مجزا نهشته شده‌اند. این ریزرخساره معادل با RMF-12 از رخساره‌های استاندارد فلوگل (Flügel 2010) است.

ریزرخساره شماره ۴- پکستون تا گرینستون حاوی پلوئید و بایوکلست

توصیف: بایوکلست‌های میکرایتی‌شده، پلوئید و قطعات خارپوستان، دوکفه‌ای‌ها، فرامینفرهای بتتیک و در برخی موارد رودیست‌ها و خرده‌های جلبکی، آلوک‌های اصلی این ریزرخساره را تشکیل می‌دهند که در بافتی دانه‌پشتیان قرار گرفته‌اند (MF-4 در شکل ۲). جورشدگی خوب و گردشگری بالای بایوکلست‌ها، نشان‌دهنده تشکیل در شرایط پرانرژی است. لایه‌بندی مورب و لایه‌بندی مورب، ساخت‌های رسوبی شناسایی شده این ریزرخساره‌اند.

پلوئید و اینتراکلت، نشان‌دهنده یک محیط دریایی کم عمق است؛ در نتیجه این ریزرخساره مربوط به واریزه‌های ریف (تالوس) و معادل با RMF-15 از رخساره‌های استاندارد فلوگل (Flügel 2010) است.

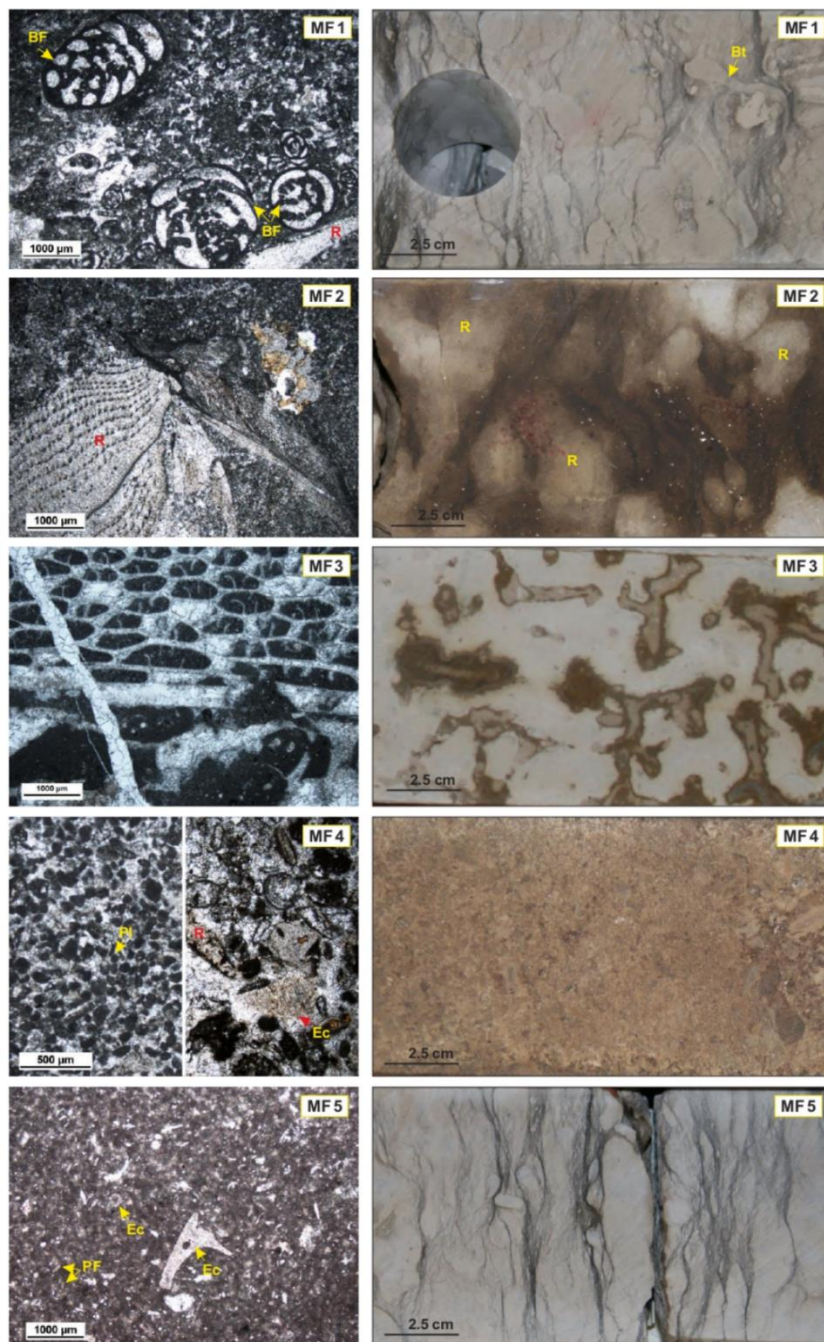
ریزرخساره شماره ۳- باندستون حاوی مرجان - جلبک - رودیست

توصیف: این ریزرخساره شامل ساختمان‌های زیستی درجاست که اسکلت‌های کامل رودیست همراه با مرجان و جلبک‌های سبز حفظ شده را در بافتی باندستونی، به خصوص در مطالعه بر مغزه‌های حفاری مشاهده می‌کنیم. زیست‌آشفته‌گی و آثار حفاری (boring) ساخت‌های رسوبی شناسایی شده در این ریزرخساره‌اند (MF-3 در شکل ۲). تفسیر: ریزرخساره‌های باندستونی متعلق به ریف‌های مجزای رودیستی - جلبکی - مرجانی، به طور محدود در چند مورد از مطالعات میکروفاسیسی شناسایی شدند که این امر به ناپایداری این گونه ریف‌ها در برابر امواج قوی و طوفان‌ها اشاره دارد (Steuber and Loser 2000). این ریزرخساره ارتباط

جدول ۱- خلاصه ویژگی‌های ریزرخساره‌های توالی رسوبی سروک در میدان مطالعه شده

Table 1- Summary of the microfacies characteristics of the Sarvak depositional sequences in the studied field.

نام اختصاری	نام ریزرخساره	اجزای اسکلتی	اجزای غیر اسکلتی	ساخت رسوبی	کمربند رخساره‌ای
MF-1	مادستون تا وکستون حاوی فرامینفرهای بتتیک	میلولید آلوئولید شکم‌پایان اسپیکول آهکی اسفنج	پلوئید آنکوئید	زیست‌آشفته‌گی (حفارشدگی) لامیناسیون	لاگون محدود شده
MF-2	فلوتستون تا رودستون حاوی رودیست	رودیست جلبک سبز مرجان فرامینفرهای بتتیک	پلوئید اینتراکلت	زیست‌آشفته‌گی (حفاری موجودات)	واریزه‌های ریف (تالوس)
MF-3	باندستون حاوی مرجان، جلبک و رودیست	رودیست جلبک سبز مرجان	پلوئید	زیست‌آشفته‌گی (حفاری موجودات)	ریف
MF-4	پکستون تا گرینستون حاوی پلوئید و بایوکلست	رودیست خارپوست جلبک و دوکفه‌ای فرامینفرهای بتتیک	پلوئید اینتراکلت	لایه‌بندی مورب لامینه‌بندی مورب	پشته‌های زیرآبی (شول)
MF-5	وکستون تا مادستون حاوی فرامینفرهای پلانکتونیک و خارپوست	خارپوست الیگوستژینید فرامینفرهای پلانکتونیک	پلوئید	لامینه‌بندی	لاگون دریای باز



BF: benthic foraminifera Bt: bioturbation R: rudist Pl: peloid Ec: echinoderm PF: planktic foraminifera

شکل ۲- تصاویر مغزه و مقاطع نازک میکروسکوپی از ریزرخساره‌های رسوبی سازند سروک در میدان نفتی مطالعه‌شده MF-1: مادستون تا وکستون حاوی فرامینفرهای بتیک؛ MF-2: فلوتستون تا رودستون حاوی رودیست؛ MF-3: باندستون حاوی مرجان، جلبک و رودیست؛ MF-4: پکستون تا گرینستون حاوی پلوئید و بایوکلست؛ MF-5: وکستون تا مادستون حاوی فرامینفرهای پلانکتونیک و خارپوست.

Fig 2- Core photos and photomicrographs of depositional facies of the Sarvak Formation in the Studied oil field. MF-1: Benthic foraminifera wackestone to wackestone. MF-2: Rudist floatstone to rudstone. MF-3: Rudist-coral-algal boundstone. MF-4: Bioclast peloid packstone to grainstone. MF-5: Echinoderm planktic foraminifera mudstone to wackestone.

محدود شده (MF-1)، ریف و واریزه‌های ریف (MF-2) و MF-3) و لاگون دریای باز (MF-5) است که به ترتیب در جهت بالا و به سمت حداکثر سطح سیلابی (MFS-1) قرار گرفته‌اند. سیستم ترک‌ت پس‌رونده (RST) در سکانس سنومانین، شامل رخساره‌های رودیستی و شول (MF-4) است که در یک روند رو به بالا به سمت مرز سکانسی سنومانین - تورونین، کم‌عمق‌شدگی محیط رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد. مرز سکانسی بالایی DSS-1 که به ناپیوستگی سنومانین - تورونین (CT-ES) معروف است و در سراسر صفحه عربی دیده می‌شود، طی رخنمون‌یافتن در معرض فرایندهای دیاژنز جوی قرار گرفته است و عوارضی همچون انحلال متئوریک و کارستی‌شدن، برشی‌شدن ریزشی - انحلالی و تشکیل خاک‌های دیرینه را نشان می‌دهد (شکل ۳). مرز سکانسی پایینی DSS-1 در چاه‌های ۱ و ۲ میدان نفتی مطالعه‌شده، تشخیص داده نشده است، ولی با توجه به مطالعات پیشین، این واحد در پایین به وسیله ناپیوستگی سنومانین میانی محدود می‌شود (Alsharhan and Nairn 1997; Aqrabi et al. 2010; Hollis 2011; Sharland et al. 2001).

سکانس تورونین (DSS-2)

سکانس تورونین در چاه شماره ۱ میدان مطالعه‌شده، ضخامتی در حدود ۱۵ الی ۲۵ متر دارد. این سکانس در نیمه پایینی (سیستم ترک‌ت پیش‌رونده یا TST) بیشتر از رخساره‌های لاگون دریای باز (MF-5) و در نیمه بالایی (سیستم ترک‌ت پس‌رونده یا RST) از رخساره‌های لاگون محدود شده (MF-1) تشکیل شده است (شکل ۴). مرز سکانسی بالایی DSS-2 با یک رخنمون همراه است که عوارضی از قبیل سیلیسی‌شدن، برشی‌شدن، انحلال متئوریک و رنگ قرمز مربوط به اکسیدهای آهن را نشان می‌دهد (شکل ۳). این ناپیوستگی که با عنوان ناپیوستگی تورونین میانی (mT-ES) شناخته می‌شود، در سرتاسر حوضه تیس گسترش دارد (Mehrabi et al. 2022; Sharland et al. 2001). در بخش بالایی این مرز سکانسی، شیل‌های سازند لافان به سن کنیاسین قرار گرفته‌اند که حد بالایی سکانس تورونین را محدود می‌کنند.

تفسیر: با توجه به توضیحات داده‌شده، این میکروفاسیس به محیط شول رمپ داخلی تعلق دارد و به سبب بایوکلستی بودن و غلبه اجزای فسیلی مرتبط با دریای باز مانند خارپوستان، به بخش‌های حاشیه شول نسبت داده می‌شود. بایوکلستی - پلوئیدی بودن شول‌ها با اقلیم گرم و مرطوب حاکم بر پلتفرم کربناته سازند سروک در کرتاسه میانی سازگاری دارد. این ریزرخساره مشابه RMF-26 فلوگل (Flügel 2010) است.

ریزرخساره شماره ۵ - وکستون تا مادستون حاوی فرامینفرهای پلانکتونیک و خارپوست

توصیف: فرامینفرهای پلانکتونیک، خارپوستان و پلوئیدهای پراکنده در بافت گل غالب، مهم‌ترین آلوکم‌های تشکیل‌دهنده این ریزرخساره‌اند و ساخت رسوبی لامیناسیون مشهود است (MF-5 در شکل ۲).

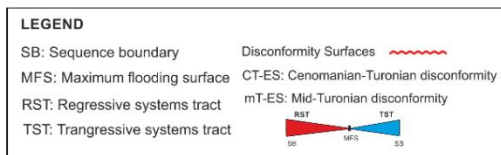
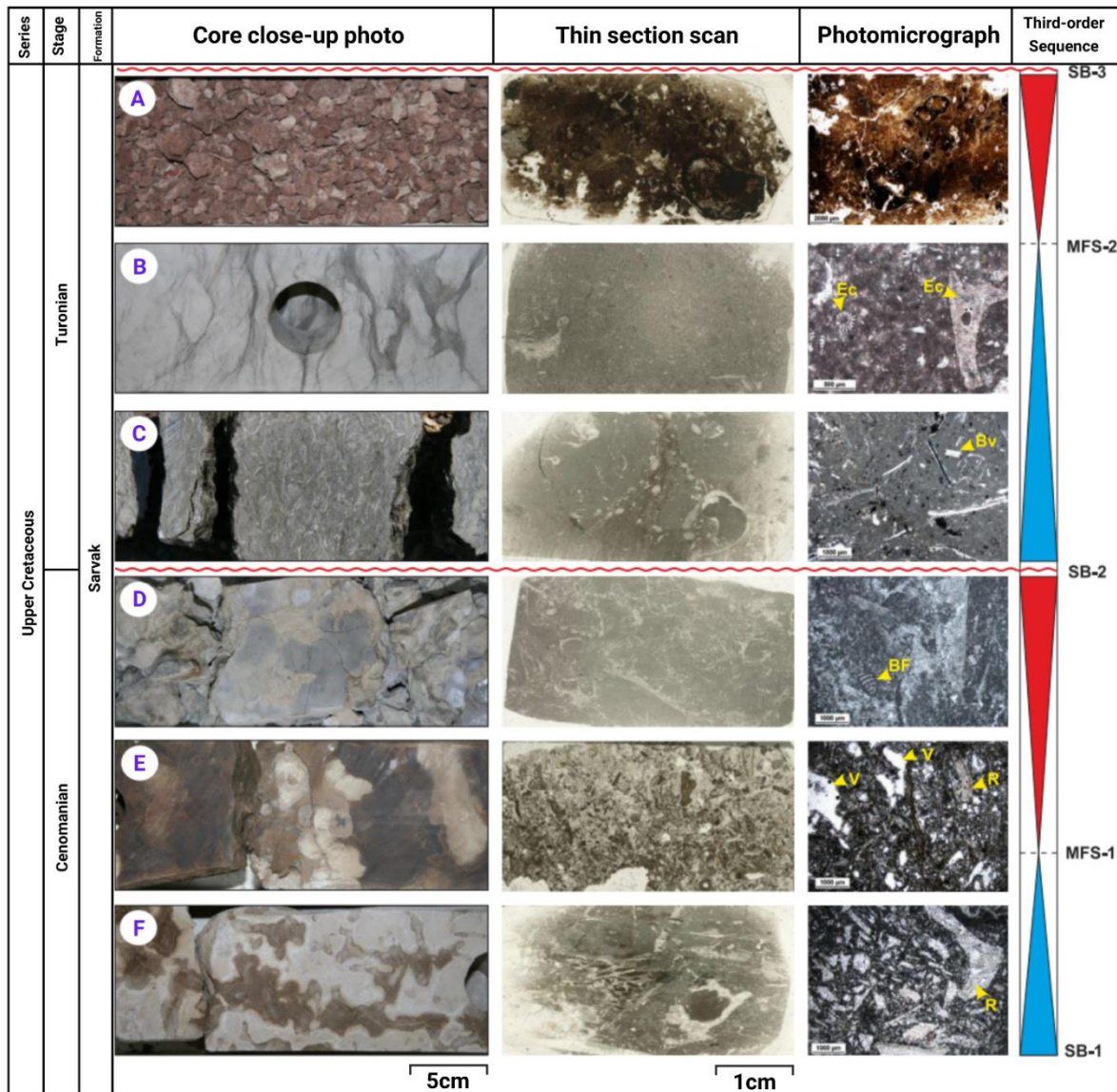
تفسیر: با توجه به دیده‌نشدن فونای مرتبط با محیط‌های بسیار عمیق و کم‌انرژی بودن محیط، همچنین فراوانی فرامینفرهای پلانکتونیک، به نظر می‌رسد که این ریزرخساره در محیط لاگون دریای باز و در ارتباط با آب‌های آزاد و در حدفاصل رمپ داخلی و رمپ میانی رسوب‌گذاری کرده است. از دیدگاه کیفیت مخزنی، این رخساره در مقایسه با دیگر رخساره‌های شناسایی‌شده، کیفیت کمتری دارد. این ریزرخساره معادل با RMF-7 از رخساره‌های استاندارد فلوگل (Flügel 2010) است.

چینه‌نگاری سکانسی

مطالعات چینه‌نگاری توالی رسوبی سروک در میدان مطالعه‌شده، به شناسایی دو سکانس رده سوم به نام سکانس سنومانین و سکانس تورونین، به علاوه شش سکانس رده چهارم منجر شد که در ادامه سکانس‌های رده سوم دقیق‌تر بررسی می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴).

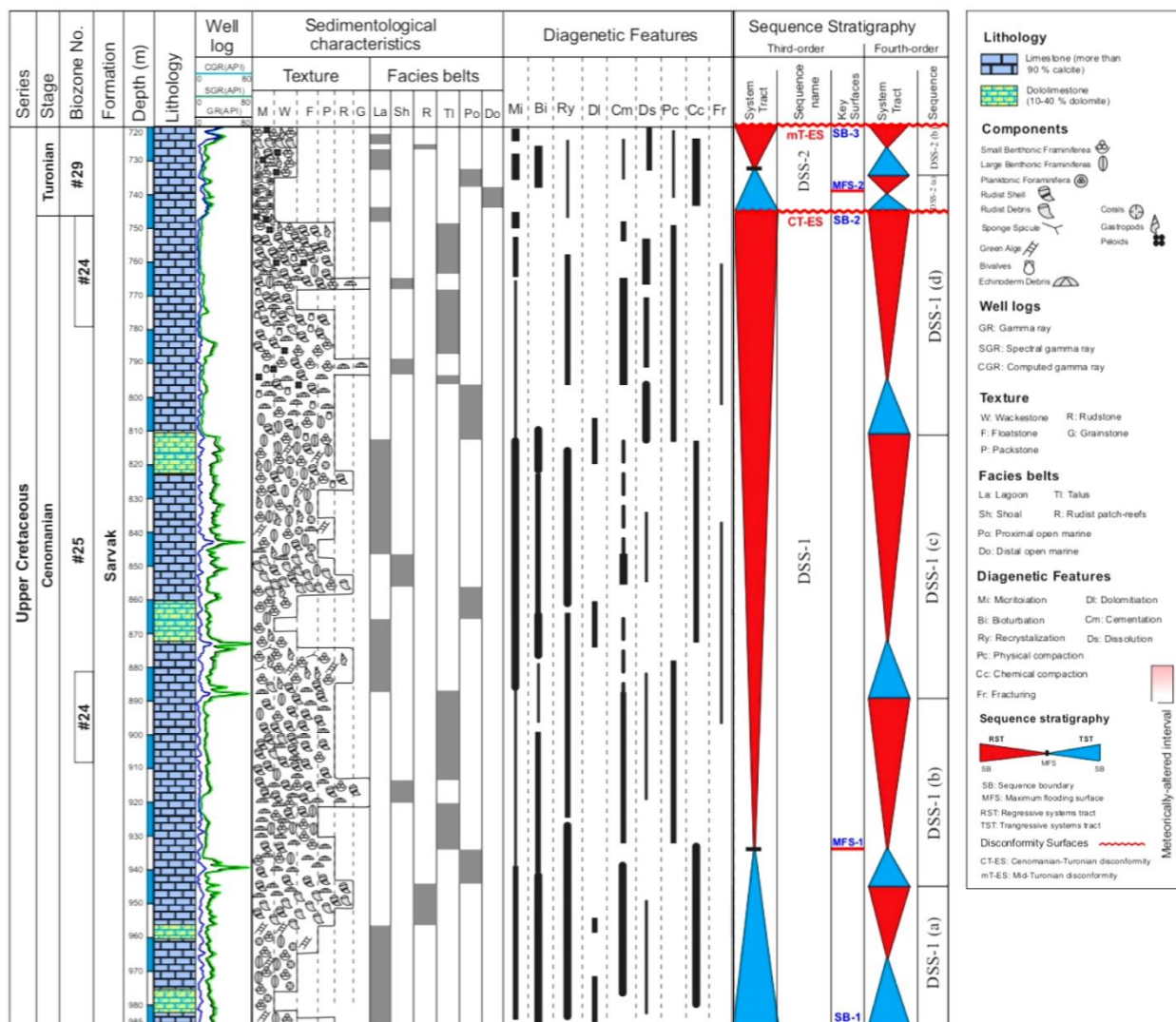
سکانس سنومانین (DSS-1)

ضخامت سکانس سنومانین در چاه شماره ۱ میدان نفتی مطالعه‌شده در حدود ۲۴۵ متر است. سیستم ترک‌ت پیش‌رونده (TST) این سکانس متشکل از رخساره‌های لاگون



شکل ۳- تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی، مغزه‌های حفاری و اسکن مقاطع نازک این تصاویر که نشان‌دهنده ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی سازند سروک در میدان مطالعه شده است، در ارتباط با چینه‌نگاری سکانسی این واحد نمایش داده شده است. رخساره‌های با فراوانی رودیست که در زیر سطح ناپیوستگی سنومانین- تورونین دچار انحلال شده‌اند (تصاویر E-G) چشمگیرند. همچنین سکانس تورونین با رخساره‌های گل غالب (تصاویر C-D) همراه با افق خاک‌های دیرینه در بالای آن (تصویر A) نشان داده شده است.

Fig 3- Thin section microscopic images, drill cores and thin section scans showing the facies and diagenetic features of the Sarvak Formation in the studied field, in relation to the sequence stratigraphy of this unit. Facies with abundant rudists that have been dissolved below the Cenomanian-Turonian unconformity (images E-G) are noticeable. Also, the Turonian sequence with dominant mud facies (images C-D) along with the ancient soil horizon above it (image A) is shown.



شکل ۴- لاگ رسوب‌شناسی شامل اطلاعات ریزرخساره، دیاژنزی و چینه‌نگاری سکانسی سازند سروک مربوط به چاه K-01 در میدان مطالعه شده

Fig 4- Sedimentological log including microfacies, diagenesis and sequence stratigraphy information of the Sarvak Formation related to well K-01 in the studied oil field.

تطابق سکانسی

اعمال می‌شوند. در صفحه عربی و حوضه زاگرس، ترکیب اثر فعالیت‌های تکتونیکی از قبیل عملکرد مجدد گسل‌ها و بلوک‌های پی‌سنگی، به‌علاوه دی‌پایرسم نمک با نوسانات سطح آب دریا در دوره زمانی سنومانین - تورونین، باعث ایجاد سه فاز خروج از آب و تشکیل ناپیوستگی‌های فرسایشی شده است (Hollis 2011; Mehrabi and Rahimpour- 2012). Bonab 2014; Rahimpour-Bonab et al. 2012). با توجه به شدت عمل فرایندهای مطرح‌شده، همچنین حضور یا حضورنداشتن بلندی‌های قدیمه، تعداد و شدت این

تفکیک مرزهای سکانسی و رده‌بندی آنها، امکان اظهارنظر درباره بازه‌های زمانی گم‌شده و توالی‌های مرتبط با آنها را فراهم می‌کند. دانش چینه‌نگاری سکانسی به‌منظور مطالعه ناپیوستگی‌های فرسایشی، از علوم مختلفی همچون فسیل‌شناسی، مطالعات ریزرخساره‌ای، ژئوشیمی، پتروگرافی و غیره بهره می‌برد. بخشی از تحولات مخزنی که کیفیت مخزنی را تعیین می‌کند، با ناپیوستگی‌ها و با کنترل بر توزیع واحدهای مختلف مخزنی و غیر مخزنی در حجم سازند

به‌خصوص فرورانش افیولیت‌ها بر حاشیه شمال شرقی صفحه عربی، نقش کم‌رنگ‌تری طی این فرایند ایفا کرده‌اند (Van Buchem et al. 2011; James and Wynd 1965; Hollis 2011; Murris 1981; Razin et al. 2010; Sharland et al. 2001; Sharp et al. 2010).

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، وجود تطابق بالا در میان سکانس‌های رسوبی توالی‌های سنومانین - تورونین حوضه صفحه عربی و زاگرس، نشان از کنترل غالب نوسانات سطح آب دریا بر تشکیل واحدهای رسوبی این حوضه در این زمان دارد. البته تأثیر تحولات تکتونیکی محلی که در بسیاری از مناطق فروافتادگی دزفول و دیگر نقاط صفحه عربی فعال بوده و سبب تفاوت در ضخامت و متغیربودن دیگر موارد مثل تعداد و شدت عمل ناپیوستگی‌های فرسایشی شده است نیز، باید مورد توجه باشد (شکل ۵).

سکانس‌های رده سوم مرتبط با مخزن سروک بالایی که در این مطالعه شناسایی شد، انطباق پذیرفتنی با مدل‌های چینه‌نگاری سکانسی ارائه‌شده به‌وسیله دیگر محققان در نواحی مختلف صفحه عربی و خلیج فارس نشان می‌دهد (Aqrabi et al. 2010; Taghavi et al. 2006).

از مهم‌ترین مطالعات چینه‌نگاری سکانسی بر توالی رسوبات کربناته سازند سروک در منطقه جنوب غربی ایران، مطالعه رزین و همکاران (Razin et al. 2010) است. این مطالعه به شناسایی چهار سکانس رده سوم در برش پادنا منجر شد که با سه سطح ناپیوستگی فرسایشی از یکدیگر جدا می‌شدند و دو سطح از این بین با سطوح ناپیوستگی شناسایی شده در میدان نفتی مطالعه شده مطابقت دارند. در مطالعه‌ای دیگر، ون باخم و همکاران (van Buchem et al. 2011) با بررسی سازند ناتیح (معادل سروک) در عمان از نظر چینه‌نگاری سکانسی، چهار سکانس رده سوم را معرفی کردند. همچنین اقراوی و همکاران (Aqrabi et al. 2010) با مطالعه بر واحدهای رسوبی احمدی، رمیلا و میشریف (معادل‌های سروک) در حوضه مزوپوتامین عراق، چهار سکانس رده سوم و سه ناپیوستگی فرسایشی مهم را شناسایی کردند (شکل ۵).

ناپیوستگی‌ها در بخش‌های مختلف حوضه متفاوت است. در ادامه، دو ناپیوستگی شناسایی شده در میدان مطالعه شده بررسی می‌شود (شکل ۵).

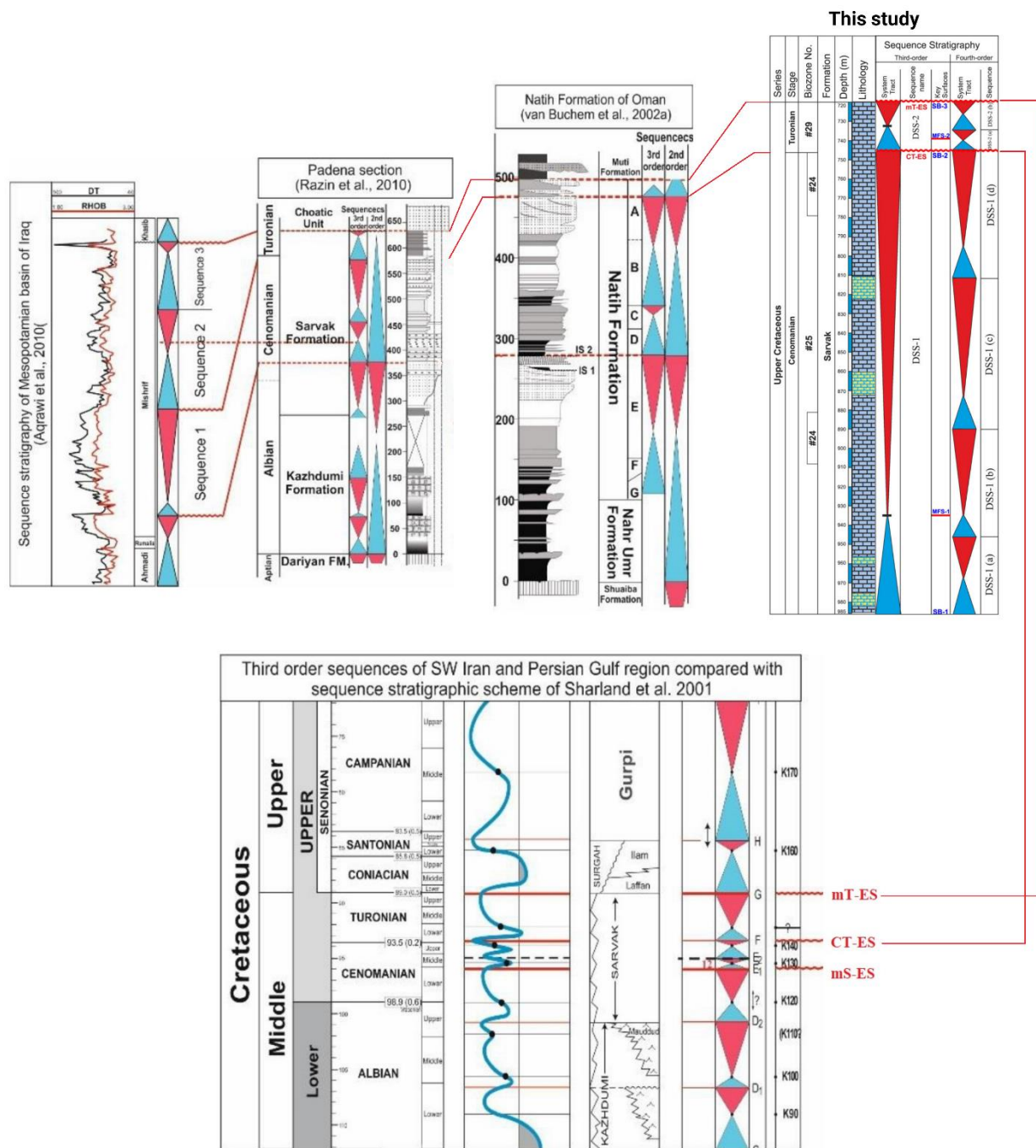
ناپیوستگی سنومانین پسین - تورونین پیشین

در جنوب غربی ایران و برخی دیگر از مناطق صفحه عربی، فعالیت گسل‌ها و بلوک‌های پی‌سنگی در کنار دیپایریسم نمک محلی و تشکیل بلندی‌های قدیمه، موجب ایجاد ناپیوستگی سنومانین - تورونین شده است (van Buchem et al. 2011; Hollis 2011; Sharp et al. 2010). این ناپیوستگی حد بالایی ایتروال سروک میانی را مشخص می‌کند و نشان‌دهنده عبور از سنومانین و ورود به تورونین است. در شرق حوضه مزوپوتامین نیز یک وقفه زمانی توالی سنومانین را از تورونین جدا می‌کند (van Buchem et al. 2011; Sadooni 2005) که در نتیجه آن حرکات خشکی‌زایی در این منطقه طی دوره عبور از سنومانین به تورونین، موجب ایجاد یک ناپیوستگی فرسایشی در سازند میشریف (معادل سروک در عراق) شده است.

این فاز خروج از آب در حدود چند صد هزار سال و گاه یک میلیون سال به طول انجامیده است. همین مدت‌زمان کم رخنمون‌یافتن در مقایسه با دیگر بخش‌های این سازند، باعث افزایش چشمگیر کیفیت مخزنی در سروک میانی شده است. این ناپیوستگی با حرکت به سمت شمال غرب حوضه زاگرس و غرب حوضه مزوپوتامین به تدریج ناپدید می‌شود (James and Wynd 1965).

ناپیوستگی تورونین میانی

در این مطالعه، ناپیوستگی تورونین میانی مرز بالایی سازند سروک با سازند لافان را مشخص می‌کند. این فاز خروج از آب، گسترش منطقه‌ای وسیعی داشته است. با توجه به مطالعات پیشین، نوسانات یواستاتیک سطح آب دریا در مقیاس جهانی، نقش پررنگ و فعالیت‌های تکتونیکی



شکل ۵- تطابق چینه‌نگاری سکانسی سازند سروک در میدان مطالعه‌شده با معادل‌های آن در نواحی مجاور و صفحه عربی (Aqrabi et al. 2010; van Buchem et al. 2011; Razin et al. 2010; Sharland et al. 2001)

Fig 5- Sequence stratigraphic correlation of the Sarvak Formation in the studied field with its equivalents in the adjacent areas and the Arabian Plate (Aqrabi et al., 2010; van Buchem et al. 2011; Razin et al. 2010; Sharland et al. 2001).

میکریتی شدن (ریزدانه‌شدن)، سیمانی شدن، تبلور مجدد (نوشکلی)، انحلال، تراکم مکانیکی و شیمیایی، دولومیتی شدن، مرتبط با استیلولیت، برشی شدن و شکستگی، سیلیسی شدن،

فرآیندهای دیاژنی

انواع فرایندهای دیاژنی که توالی رسوبی سروک در مقطع مطالعه‌شده تحت تأثیر آنها بوده است، به شرح زیر است:

و در ارتباط با ریزرخساره MF-4 شناسایی شده‌اند. همچنین علاوه بر سیمانی شدن کلسیتی هم‌بعد (equant) در رخساره‌های غنی از رودیست‌ها (MF-2 و MF-3)، سیمانی شدن رشد اضافی هم‌محور (syntaxial) در اطراف اکیئوئیدها (MF-5) و سیمان‌های کلسیتی بلوکی (blocky) نیز مشاهده شده است که شکستگی‌ها و تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی بزرگ را پر می‌کند. با توجه به اینکه این فرایند به‌وسیله مسدود کردن منافذ اولیه و ثانویه، کیفیت مخزنی را کاهش می‌دهد، یکی از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی در سازند مطالعه شده است.

تراکم

تراکم فیزیکی و شیمیایی در سازند سروک، به‌صورت دانه‌های تغییر شکل یافته و شکسته (بایوکلسیت‌های شکسته و پلئوئیدهای تغییر شکل یافته) همراه با رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها به ثبت رسیده است. تراکم مکانیکی و تشکیل استیلولیت‌ها در رخساره با بافت دانه غالب مرتبط با ریزرخساره MF-4 مشاهده شده است، در حالی که رگچه‌های انحلالی در بافت‌های گل پشتیبان مرتبط با ریزرخساره‌های MF-1 و MF-5 تشکیل شده‌اند.

دولومیتی شدن

غالب دولومیت‌های مشاهده شده در سازند سروک در ارتباط با آثار و شواهد مربوط به فشردگی شیمیایی (استیلولیت‌ها) هستند. بیشتر دولومیت‌هایی که در کنار این عوارض دیده می‌شوند، یوهدرال (خودشکل) و دانه‌ریزند. همچنین سطوح مات یا کدر از خود نشان می‌دهند. تمرکز دولومیت‌ها در مسیر رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها و همراهی آنها با آغشتگی‌های نفتی حاکی از آن است که افق‌های دولومیتی شده سازند سروک دارای تراوایی درخور توجهی بوده و مسیری برای مهاجرت سیالات فراهم آورده‌اند.

پیریتی شدن و تشکیل افق خاک‌های دیرینه.

تصاویر مغزه و مقاطع نازک میکروسکوپی از این فرآیندهای دیاژنزی در شکل ۶ ارائه شده‌اند که در زیر به اختصار توصیف می‌شوند.

انحلال

طی بررسی‌های انجام‌شده بر مقاطع نازک و مغزه‌ها، انحلال‌های حفره‌ای و قالبی در مقیاس‌های متفاوت به‌صورت شبکه‌های حفره‌ای پیوسته و مجزا به فراوانی در بخش‌های بالایی سازند سروک رؤیت‌شدنی‌اند. این فرایند به‌طور واضح در ساختارهای رودیستی از جمله ریزرخساره‌های MF-2 و MF-3 مشاهده می‌شوند. گاهی در قسمت‌هایی با بافت دانه پشتیبان که بیشتر در ارتباط با ریزرخساره MF-4 بودند، انحلال گسترده رودیست‌ها و دوکفه‌ای‌ها به ایجاد منافذ بزرگ قالبی منجر شده است. مشاهده عوارض انحلالی گسترده در سازند کربناته سروک به این معناست که این توالی در زمان‌های مختلف، تحت تأثیر سیالات متوریک بوده است. به‌طور کلی عوارض انحلالی در سازند سروک به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- عوارض انحلالی انتخاب‌کننده فابریک که در بخش‌های بالایی سازند سروک مشاهده می‌شود و به قطعات اسکلتی همچون خرده‌های رودیست محدود است. این فرایند در زمانی اتفاق می‌افتد که رسوبات هنوز سخت نشده‌اند؛

۲- در برخی بخش‌های میانی توالی‌های مطالعه‌شده از سازند سروک، عوارض انحلالی غیر انتخاب‌کننده فابریک به‌صورت گسترده و در بخش‌های زیرین با گسترش کمتر دیده می‌شود. این مرحله از انحلال، پس از سنگ‌شدگی رسوبات اتفاق می‌افتد و موجب تشکیل تخلخل مفید می‌شود.

سیمانی شدن

انواع سیمان‌های کلسیتی در سازند سروک مشاهده شده است. در مطالعه حاضر، سیمان‌های هم‌ضخامت (isopachous) در اطراف آلوکم‌های اسکلتی و غیر اسکلتی در بافتی دانه پشتیبان

برشی شدن و شکستگی

شکستگی یکی از فرایندهای پس از رسوب‌گذاری در سازند سروک مشهود است. در مطالعه مقاطع نازک و مغزه‌های حفاری شکستگی‌هایی به صورت باز، نیمه پر یا کاملاً پر شده با شکل‌های هندسی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متنوع تشخیص‌دانی است. در زیر سطوح ناپیوستگی، واحدهای کارستی ریزشی و انحلالی مشاهده می‌شود که در اثر توسعه اینتروال‌های برشی شده با عنوان برش‌های ریزشی انحلالی ایجاد شده‌اند.

سیلیسی شدن

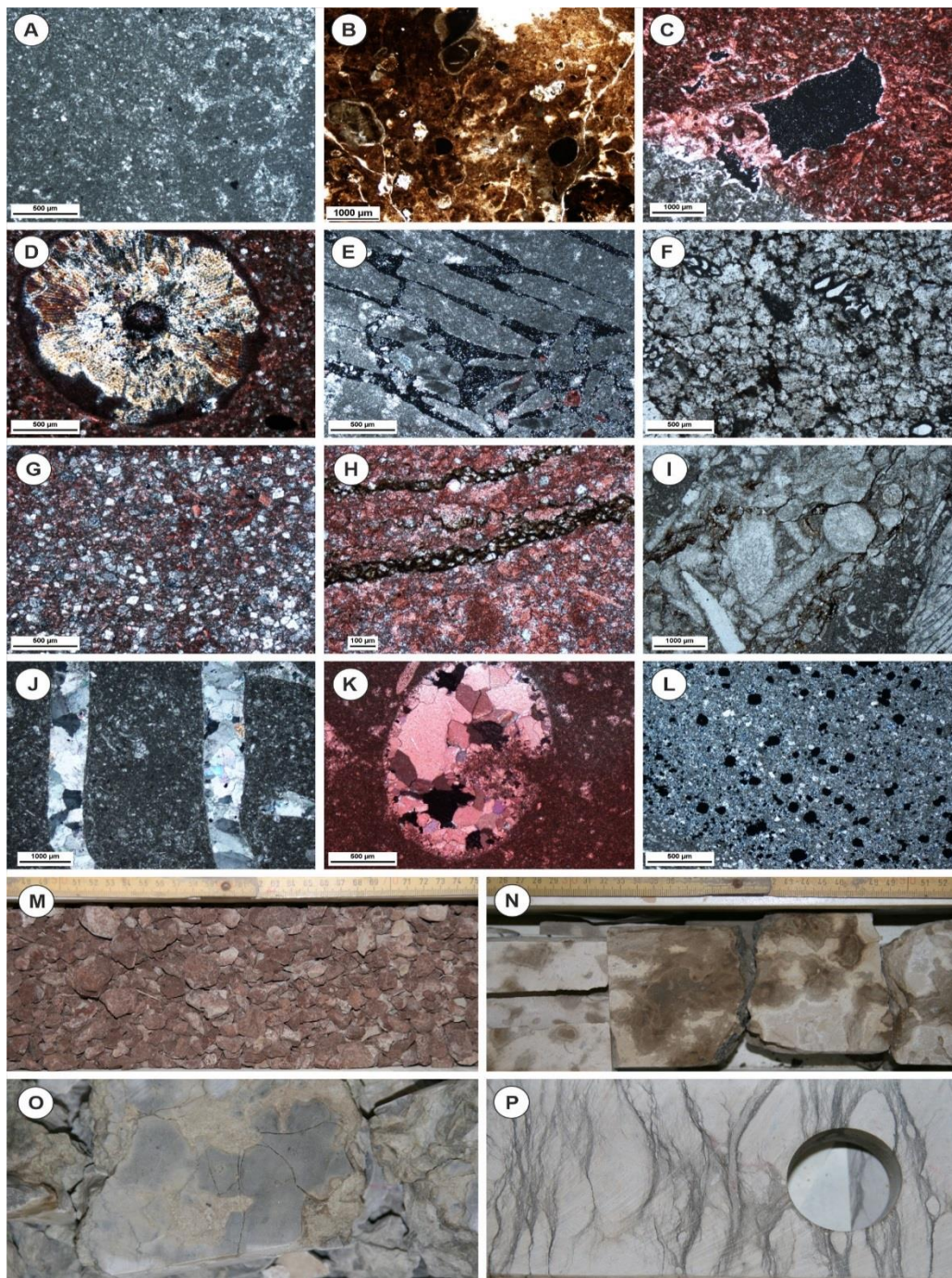
در برخی افق‌های زیر سطوح ناپیوستگی و افق‌های کارستی شده، سیلیس‌جانشینی به شکل پرکننده حفرات انحلالی ایجاد شده در ماتریس و یا حفرات ایجاد شده در صدف‌های فسیلی همچون خرده‌های رودیست‌ها دیده می‌شود. انواع سیلیس‌های جانشینی یا چرت‌ها در افق‌هایی این‌چنین در اثر شسته شدن و حمل سیلیس از افق‌های بالایی، به افق‌های زیرین در محیط دیاژنزی متئوریک تشکیل شده‌اند.

زیست‌آشفستگی

آثار حفارشدگی (Burrowing) و حفاری (Boring) دو شکل رایج زیست‌آشفستگی در سازند سروک‌اند که بیشتر در رخساره‌های مرتبط با لاگون دریای باز دیده می‌شوند. آثار به جا مانده از این فرایند، عمدتاً به وسیله میکرایت و سیمان پر شده است. همچنین آثار حفاری قطعات اسکلتی به‌ویژه رودیست‌ها در رخساره‌های واریزه‌ای و ریفی سازند سروک مشاهده‌شدنی‌اند.

تشکیل افق‌های خاک دیرینه

افق‌های به شدت هوازده و آغشته به اکسیدهای آهن و نیز غنی از کانی‌های رسی کائولینیت و مونت‌موریونیت در رأس سازند سروک در چاه‌های مطالعه شده شناسایی شده‌اند. این افق‌های خاک قدیمه نشانگرهای کلیدی برای تشخیص سطوح رخنمون‌یافتگی دیرینه فراهم می‌آورند. گزارش‌های متعددی از وجود افق‌های خاک قدیمه و آغشته‌گی به اکسید آهن در افق‌های کارستی شده و هوازده زیر سطوح ناپیوستگی در سازند سروک از نواحی مختلف زاگرس به ثبت رسیده است (Zarasvandi et al. 2008, 2012; Mehrabi et al. 2015; Mehrabi 2023).



شکل ۶- تصاویر مقاطع نازک (A-L) و مغزه‌های حفاری (M-P) مرتبط با فرآیندهای دیاژنزی سازند سروک در میدان نفتی مطالعه‌شده دشت آبادان (A) زیست‌آشفتنگی؛ (B) خاک قدیمه؛ (C) حفره انحلالی؛ (D) سیلیسی شدن جان‌شینی؛ (E) برشی شدن؛ (F) تبلور مجدد (نوشکلی)؛ (G) دولومیتی شدن؛ (H) دولومیتی شدن در مسیر استیلولیت؛ (I) فشردگی؛ (J) شکستگی و سیمانی شدن؛ (K) سیمانی شدن؛ (L) پیریتی شدن؛ (M) افق خاک قدیمه؛ (N) انحلال؛ (O) برشی شدن؛ (P) رگچه‌های انحلالی (تصاویر A، B، F، و I در نور PPL و سایر تصاویر در نور XPL تصویربرداری شده است).

Fig 6- Thin section (A-L) and drilling core (M-P) images of diagenetic features of the Sarvak Formation in the Abadan Plain. (A) Bioturbation. (B) Paleosol. (C) Dissolution vug. (D) Silicification. (E) Brecciation. (F) Recrystallization. (G) Dolomitization. (H) Dolomitization along stylolites. (I) Compaction. (J) Fracturing and cementation. (K) Cementation. (L) Pyritization. (M) Paleosol horizon. (N) Dissolution. (O) Brecciation. (P) Dissolution seams. (Images A, B, F, and I in PPL and other images in XPL).

بحث و تفسیر

مدل رسوبی

در این مطالعه، ریزرخساره‌های سازند سروک در میدان نفتی مطالعه‌شده دشت آبادان براساس خصوصیاتشان (شامل مشخصات بافتی، اسکلتی و ارتباطات رخساره‌ای) در پنج کمر بند رخساره‌ای زیر قرار می‌گیرند (شکل ۷):

لاگون محدودشده (Restricted lagoon facies belt)

مرتبط با ریزرخساره MF-1

از مشخصات این محیط، ارتباط نداشتن با دریای باز است. این کمر بند رخساره‌ای معمولاً در پلتفرم‌های دارای سدهای مرتفع و چشمگیر گسترش می‌یابد. با توجه به اینکه ریف‌های تشکیل‌شده به وسیله رودیست‌ها عموماً ارتفاع اندک و مقاومتی پایین در برابر امواج و طوفان‌ها دارند و این ویژگی درباره بیشتر سازندهای کربناته مخزنی کرتاسه در خاورمیانه و دیگر نقاط دنیا صدق می‌کند (Aqrabi et al. 1998; Sadooni 2005)، رخساره‌های این کمر بند رخساره‌ای، فراوانی بسیار کمی دارند.

واریزه‌های ریف (Talus facies belt) مرتبط با ریزرخساره

MF-2

کنده‌شدن و خردشدن قطعات ریفی در پی برخورد مداوم امواج و طوفان‌ها و انباشته‌شدن آنها در قسمت جلویی با پشت ریف، واریزه‌های ریفی یا تالوس را شکل می‌دهد که از نظر مخزنی اهمیت بالایی دارند. در این محیط با توجه به عمیق‌شدن پلتفرم، رسوبات بر قسمت‌های شیب‌دار به صورت زاویه‌دار نهشته می‌شوند.

ریف (Reef facies belt) مرتبط با ریزرخساره MF-3

ریف به توده‌های کربناته جانبی، محدود و ساخته‌شده با موجودات کفزی ساکن آب اطلاق می‌شود. در دوره‌های مختلف زمین‌شناسی، مرجان‌ها نقش بسیار مهمی در تشکیل ریف‌ها داشته‌اند، اما دیگر موجودات ریف‌ساز همانند

خزه‌وشان، جلبک‌ها، اسفنج‌ها و غیره نیز به تنهایی یا همراه با دیگر گروه‌ها، قادر به ایجاد ساختمان‌های ریفی چشمگیرند. اصلی‌ترین موجودات ریف‌ساز در سازند سروک، رودیست‌هایند و چون رودیست‌ها نمی‌توانند صخره‌های سدی گسترده ایجاد کنند، معمولاً به صورت غیرمتمرکز یا لکه‌ای، ساختارهایی را بر پلتفرم‌های کرتاسه شکل داده‌اند (Du et al. 2015). همچنین آنها قادر به تغییر پیکربندی پلتفرم نیستند، اما منبع بزرگی از ذرات رسوبی را برای محیط‌های همسایه‌شان مانند شول‌ها و تالوس‌ها فراهم می‌کنند (Esrafilii-Dizaji et al. 2015).

پشته‌های زیرآبی (Shoale facies belt) مرتبط با

ریزرخساره MF-4

شول‌ها در مقایسه با دیگر کمر بندهای رخساره‌ای از دیدگاه مخزنی در مخازن کربناته، معمولاً از کیفیت مخزنی اولیه مطلوبی برخوردارند (Ahr 2008; Schlager 2005). شول‌های بایوکستی - پلوئیدی از جمله مشخصات بارز پلتفرم‌های کربناته در اقلیم‌های گرم و مرطوب (نظیر شرایط اقلیمی حاکم بر پلتفرم کربناته سازند سروک در کرتاسه) هستند (Flügel 2004). آلوکم غالب تشکیل‌دهنده شول‌ها در اقلیم‌های گرم و خشک، عموماً آئید است که این نوع آلوکم در رخساره‌های سازند سروک در میدان نفتی مطالعه‌شده مشاهده نشده است.

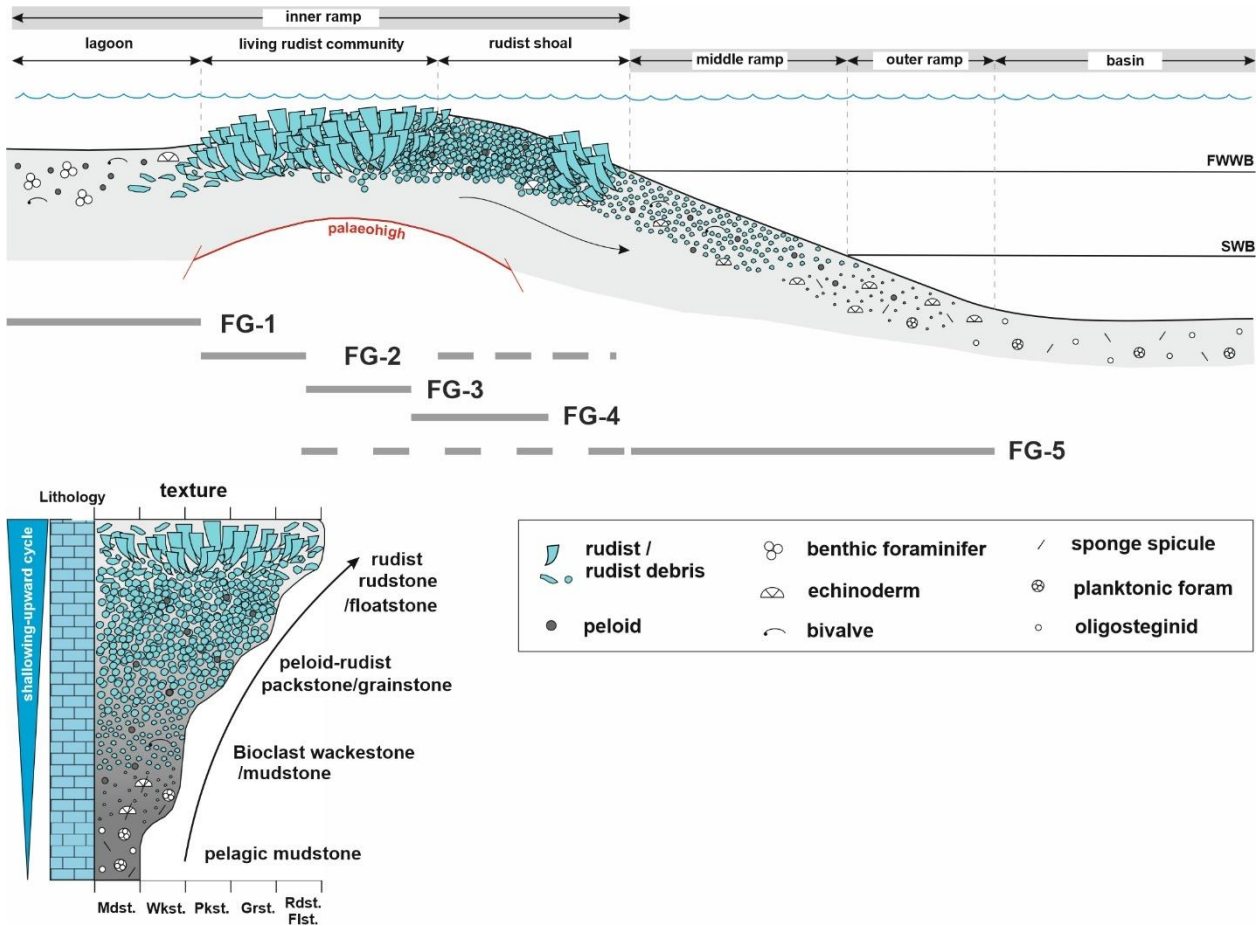
لاگون دریای باز (Open-marine lagoon facies belt)

مرتبط با ریزرخساره MF-5

لاگون دریای باز در این مطالعه، در اصل محیط‌های کانال‌مانندی است که بخش‌های کم‌عمق‌تر رمپ را به بخش‌های عمیق‌تر ارتباط می‌دهد. این محیط‌ها در بین ریف‌های پراکنده رودیستی - جلبکی - مرجانی قرار گرفته‌اند و خصوصیات دوگانه‌ای از نظر رسوب‌شناختی (بافتی) و دیرینه‌شناختی دارند (Flügel 2004; Sadooni 2005). ارتباط و

اوایل رمپ میانی واقع شده است، اما گاهی تا بخش‌های انتهایی رمپ میانی نیز گسترش می‌یابد.

تغییرات تدریجی ریزرخساره‌ها در توالی عمودی چاه‌ها نشان می‌دهند که این محیط در بخش‌های انتهایی رمپ داخلی، تا



شکل ۷- مدل رسوبی پیشنهادی سازند سروک در میدان نفتی مطالعه‌شده (اقتباس‌شده با تغییراتی از Esrafil-Dizaji et al. 2015)

Fig 7- Proposed depositional model of the Sarvak Formation in the studied oil field (adopted with some modifications from Esrafil-Dizaji et al. 2015).

منطقه ایجاد کرد و معماری پلتفرم را تغییر داد (Mehrabi et al. 2022).

تجزیه و تحلیل پنج ریزرخساره و کمربندهای رخساره‌ای مطالعه‌شده از توالی رسوبی سازند سروک براساس مدل بورچت و رایت (Burchette and Wright 1992) و فلوگل (Flügel 2010) با توجه به وجود شواهدی از قبیل ارتباط و تغییرات تدریجی ریزرخساره‌ها در توالی عمودی چاه‌ها و روند تدریجی عمیق‌شدگی از سمت بخش‌های داخلی پلتفرم

در طول سنومانین، بیشتر مناطق زاگرس (جنوب باختری ایران) با دریا‌های کم‌عمق پوشیده شده بود (Bromhead et al. 2001; Sharland et al. 2022). با پایان سنومانین، تحولی در فعالیت زمین‌ساختی حاشیه شمال شرقی صفحه عربستان (یعنی تسلط رژیم فشاری) به تغییرات درخور توجیهی در محیط‌های رسوبی ناحیه زاگرس منجر شد (Bagherpour et al. 2014; Mehrabi and Rahimpour-Bonab 2021). فعال‌شدن مجدد گسل‌ها و تشکیل گندهای نمکی، بلندی‌های دیرینه را در

ریف‌های سازند سروک که همگی نشانگر یک مجموعه اسکلتی از نوع کورال - آلگال یا کورال - زوئن‌اند (Tucker and Wright 1990)، تأکید بر غلبه شرایط اقلیمی گرم در عرض‌های جغرافیایی پایین دارند (Flügel 2004).

توالی پارائزنی

مطالعات پتروگرافی سازند سروک نشان می‌دهد این سازند تاریخچه دیائزنی پیچیده‌ای در قلمروهای دیائزنی دریایی، جوی و تدفینی دارد (شکل ۸). تغییرات دیائزنی این سازند در محیط دریایی، شامل میکرایتی‌شدن، زیست‌آشفستگی و سیمان‌های حاشیه‌ای هم‌ضخامت است. مهم‌ترین و تأثیرگذارترین قلمروی دیائزنی سازند سروک محیط جوی یا متئوریک است. مطالعات پیشین نیز تأیید می‌کنند که دیائزنی متئوریک و فرایندهای ناشی از آن، نقش مهمی در تغییرات کیفیت مخزنی سازند سروک در ایران و دیگر معادل‌های آن در صفحه عربی داشته است (Aqrabi et al. 1998; Esrafil-Dizaji et al. 2015; Hajikazemi et al. 2012; Hollis 2011; Mehrabi et al. 2015; Rahimpour-Bonab et al. 2013; Taghavi et al. 2006). با توجه به موقعیت جغرافیایی دیرینه صفحه عربی در زمان کرتاسه، این قلمروی دیائزنی تحت تأثیر اقلیم گرم و مرطوب بوده است که نتیجه آن عوارض انحلالی متئوریک، کارستی‌شدن، سیمان‌کلسیتی کم‌مینزیم، سیلیسی‌شدن، برشی‌شدن و تشکیل افق‌های خاک دیرینه است.

نهشته‌های سازند سروک پس از آنکه تحت تأثیر دیائزنی جوی قرار گرفتند و دچار سنگ‌شدگی شدند، تحت شرایط جدید، دفن می‌شوند و تغییرات مهم بافتی و ژئوشیمیایی در آنها اتفاق می‌افتد. سازند سروک برای مدت حدود ۸۳ میلیون سال در قلمروی دیائزنی دفنی قرار داشته است (Mehrabi et al. 2022)، در حالی که دیائزنی جوی تنها چند میلیون سال به طول انجامیده است؛ در نتیجه بخش درخور توجهی از عمر رسوبات کربناته سازند سروک در این محیط دیائزنی سپری و تنها عواملی مثل فرسایش، بالآمدگی‌های تکتونیک و

به‌طرف حوضه، حاکی از نهشته‌شدن توالی رسوبی سازند سروک بر پلتفرم کربناته از نوع رمپ هموکلینال است (شکل ۶).

مطالعات پیشین انجام‌شده بر سازند سروک و معادل‌های آن در منطقه، نتایج مشابهی را نشان می‌دهند و ادعا می‌شود که تقریباً تمام رسوبات آهکی در صفحه عربی و حوضه جنوب غرب ایران در این نوع پلتفرم‌ها نهشته شده‌اند (Aqrabi et al. 1998; van Buchem et al. 2011; Hajikazemi et al. 2012; Mehrabi et al. 2015).

رخساره‌های نشانگر اقلیم

در دوره کرتاسه پسین، ماندگاری اقلیم گرم و مرطوب در ناحیه زاگرس موجب تأثیرگذاری بر نوع و فراوانی موجودات کربنات‌ساز در بخش‌های کم‌عمق پلتفرم‌های کربناته شده است (Keller 2008). در چنین شرایط اقلیمی، آب دریا نسبت به CaCO_3 کمتر از حد اشباع بوده است؛ در نتیجه رخساره‌های تبخیری، دولومیتی اولیه و آئیدها در پلتفرم سروک به‌ندرت دیده می‌شوند و در عوض، اجزای تشکیل‌دهنده آن عمدتاً از بایوکلست‌ها (مانند رودیست‌ها، جلبک‌ها، فرامینیفرهای بتیک و پلانکتونیک و نرم‌تنان)، ایتراکلست‌ها و پلوئیدها تشکیل شده‌اند.

ریزرخساره‌های مرتبط با کمر بند رخساره‌ای شول، تشخیص حدودی وضعیت اقلیمی سازند سروک به سن کرتاسه را میسر می‌کنند. همان‌طور که پیش از این هم اشاره شد، شول‌های بایوکلستی - پلوئیدی نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در اقلیم‌های گرم و مرطوب (نظیر شرایط اقلیمی حاکم بر پلتفرم کربناته سازند سروک در کرتاسه) هستند و آلوکم غالب تشکیل‌دهنده شول‌ها در اقلیم‌های گرم و خشک عموماً آئید همراه با تبخیری‌هاست که این نوع آلوکم در رخساره‌های سازند سروک در میدان نفتی مطالعه‌شده، مشاهده نشده است (Tucker and Wright 1990).

از سوی دیگر، غلبه موجوداتی نظیر رودیست‌ها، مرجان‌ها و جلبک‌های سبز به‌عنوان اجزای اصلی سازنده

زمانی سنومانین پسین تا تورونین پیشین، ایجاد ساختارهای بلند دیرینه و خروج از آب سازند سروک به تشکیل یک مرز ناپیوستگی فرسایشی (ناپیوستگی مرز سنومانین - تورونین) منجر شده است.

در مرحله بعد، بالآمدن مجدد سطح آب دریا طی تورونین پیشین، سازند سروک را دوباره به زیر آب می‌برد و این امر موجب راه‌اندازی دوباره کارخانه کربنات‌سازی می‌شود که نتیجه آن نهشته شدن بخش بالایی سازند سروک است. تحولات این مرحله سبب قرارگرفتن سروک میانی در محیط دیاژنزی دنی کم‌عمق و اثرگذاری فرایندهایی همچون تراکم مکانیکی و سیمانی شدن دنی می‌شود.

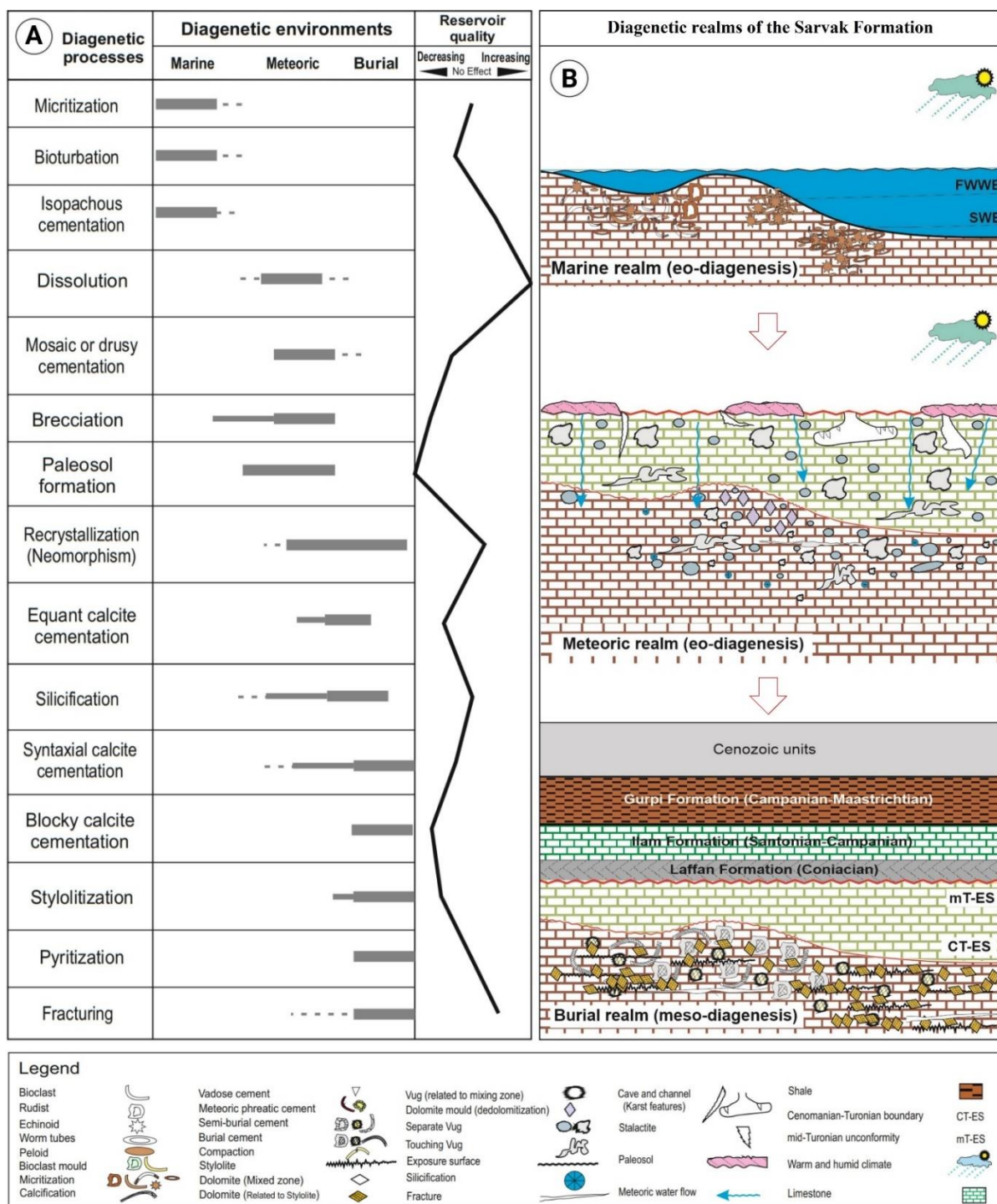
در نهایت طی مرحله پنجم، یک افت یواستاتیک چشمگیر در سطح آب دریا طی تورونین میانی سبب خروج از آب نهشته‌های سروک بالایی برای مدت‌زمانی نسبتاً طولانی می‌شود و این سازند تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی مرتبط با محیط جوی در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب استوایی (دیاژنزی متئوریک ائوژنیک سروک بالایی و دیاژنزی متئوریک تلوزنیک سروک میانی) قرار می‌گیرد (Rahimpour-Bonab et al. 2012). مهم‌ترین این فرایندها شامل انحلال (کارستی شدن)، برشی شدن ریزشی - انحلالی و سیمانی شدن در سروک بالایی و انحلال‌های غیر انتخاب‌کننده فابریک تلوزنیک در سروک میانی است.

در مطالعه حاضر، تنها بخش‌های میانی و بالایی سازند سروک بررسی شده است، بنابراین شواهد دیاژنزی مربوط به ناپیوستگی سنومانین میانی گزارش نشده‌اند. بنابراین، مراحل دوم تا پنجم تشریح شده در بالا، سرگذشت دیاژنزی سازند سروک در میدان مطالعه شده از ناحیه دشت آبادان در نظر گرفته می‌شود (شکل ۸).

خشکی‌زایی‌های محلی سبب قرارگیری مجدد این توالی‌ها در محیط‌های نزدیک به سطح شده است (Navidtalab et al. 2016). فرایندهایی از قبیل تراکم مکانیکی و شیمیایی، سیمانی شدن، دولومیتی شدن تدفینی و دگرسانی کانی‌های آبدار به انواع بدون آب در محیط دیاژنزی تدفینی، به‌طور پیچیده‌ای بر سازند کربناته سروک مؤثر بوده است (Mehrabi 2014 and Rahimpour-Bonab).

مطالعه توالی یا سکناس پاراژنزی، به معنی تعیین ترتیب وقوع فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر واحد رسوبی مطالعه شده، طی عبور از قلمروهای دیاژنزی مختلف از زمان نهشته شدن تا حال حاضر است (Ahr 2008; Schlager 2005). تاریخچه دیاژنزی سازند سروک در نواحی مختلف واقع در حوضه زاگرس و خلیج فارس، تفاوت‌های چشمگیری دارد که علت این موضوع فعالیت‌های تکتونیکی و نوسانات سطح آب دریاها طی دوره کرتاسه است (Mehrabi et al. 2015). توالی پاراژنزی سازند سروک در منطقه مطالعه شده (دشت آبادان)، شامل عبور از قلمروهای دیاژنزی دریایی، جوی ائوژنیک و سپس دنی کم‌عمق، جوی تلوزنیک و در نهایت دنی عمیق است (شکل ۸). سرگذشت کامل دیاژنزی سازند سروک در منطقه زاگرس شامل مراحل زیر است (Rahimpour-Bonab et al. 2012):

در مرحله اول، پس از رسوب گذاری بخش زیرین سازند سروک در بازه زمانی آلبین پسین - سنومانین پیشین، یک افت یواستاتیک درخور توجه در سنومانین میانی، موجب رخنمون یافتن این بخش از سازند سروک شده است که نتیجه آن ایجاد یک ناپیوستگی فرسایشی چشمگیر در این بخش است. با آغاز مرحله دوم بالآمدن سطح آب دریا و شروع تشکیل رسوبات کربناته، بخش سروک میانی بر ناپیوستگی سنومانین میانی نهشته شده است. در مرحله سوم، فعالیت گسل‌های پی‌سنگی و تشکیل گنبد‌های نمکی هرمز طی بازه



شکل ۸: تاریخچهٔ دیاژنزی سازند سروک در منطقهٔ مطالعه‌شده و چگونگی تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی (A). مدل دیاژنزی شماتیک سازند سروک در منطقهٔ مطالعه‌شده که محیط‌های دیاژنزی آن را نمایش می‌دهند؛ (B). (با تغییرات از Rahimpour-Bonab et al. 2012)

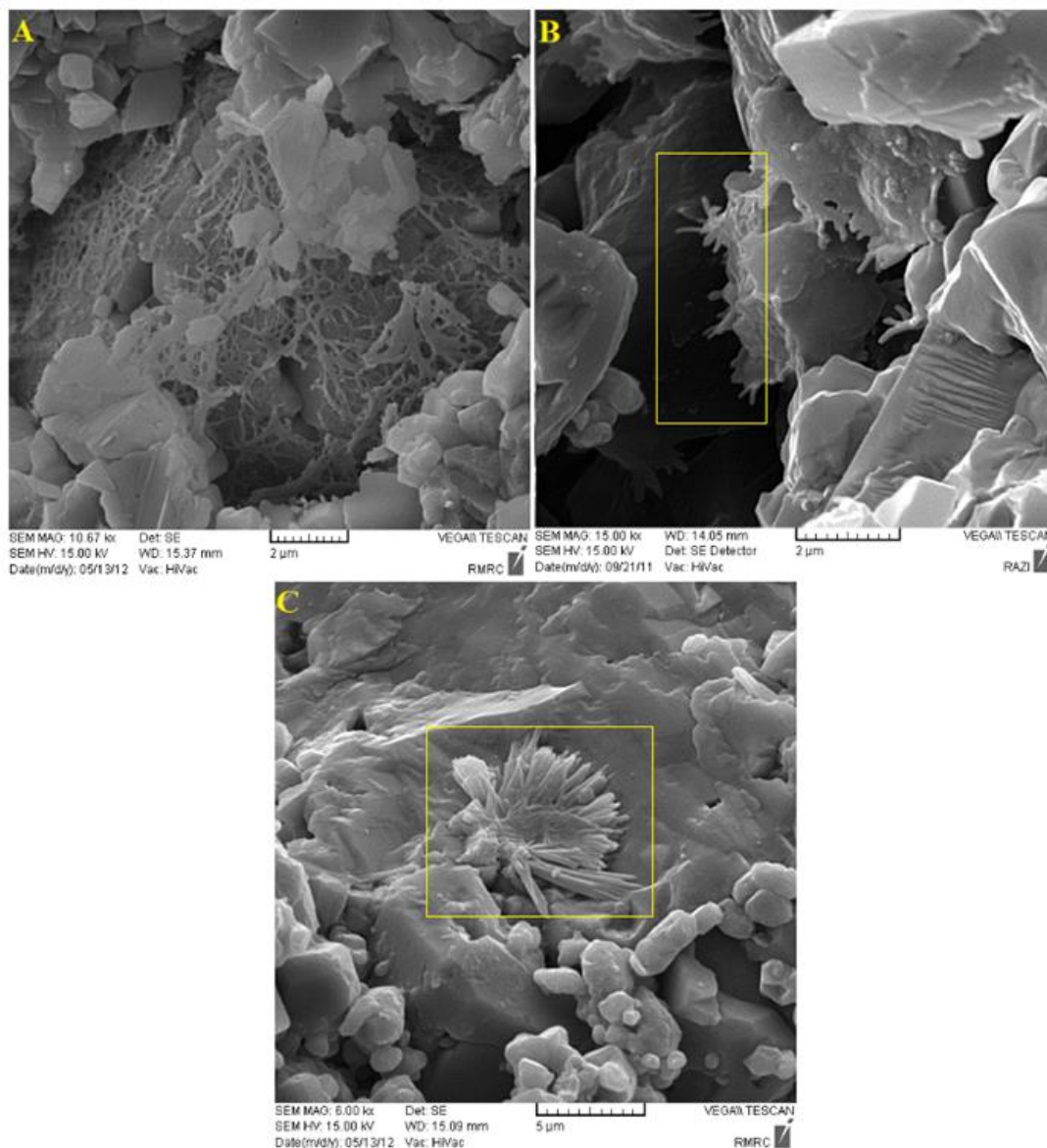
Fig 8- Diagenetic history of the Sarvak Formation in the studied area and the impact of diagenetic processes on reservoir quality (A). Schematic diagenetic model of the Sarvak Formation in the studied area showing its diagenetic environments (B). (Modified from Rahimpour-Bonab et al. 2012).

فرآیندهای دیاژنزی نشانگر اقلیم

در اقلیم گرم و مرطوب همچون اقلیم حاکم بر کرتاسه در زمان نهشت سازند سروک، سرعت و شدت فرآیندهای دیاژنزی جوی، مانند عوارض انحلالی متئوریک، کارستی‌شدن، سیمان کلسیتی کم‌منیزیم، سیلیسی‌شدن، برشی‌شدن و تشکیل افق‌های خاک دیرینه تشدید می‌شود، در حالی که در اقلیم گرم و خشک، شدت دیاژنزی جوی به‌علت نبود آب‌های جوی پایین است و این امکان وجود دارد که رسوبات برای زمان‌های طولانی دچار تغییرات مهمی نشوند (Mehrabi et al. 2023).

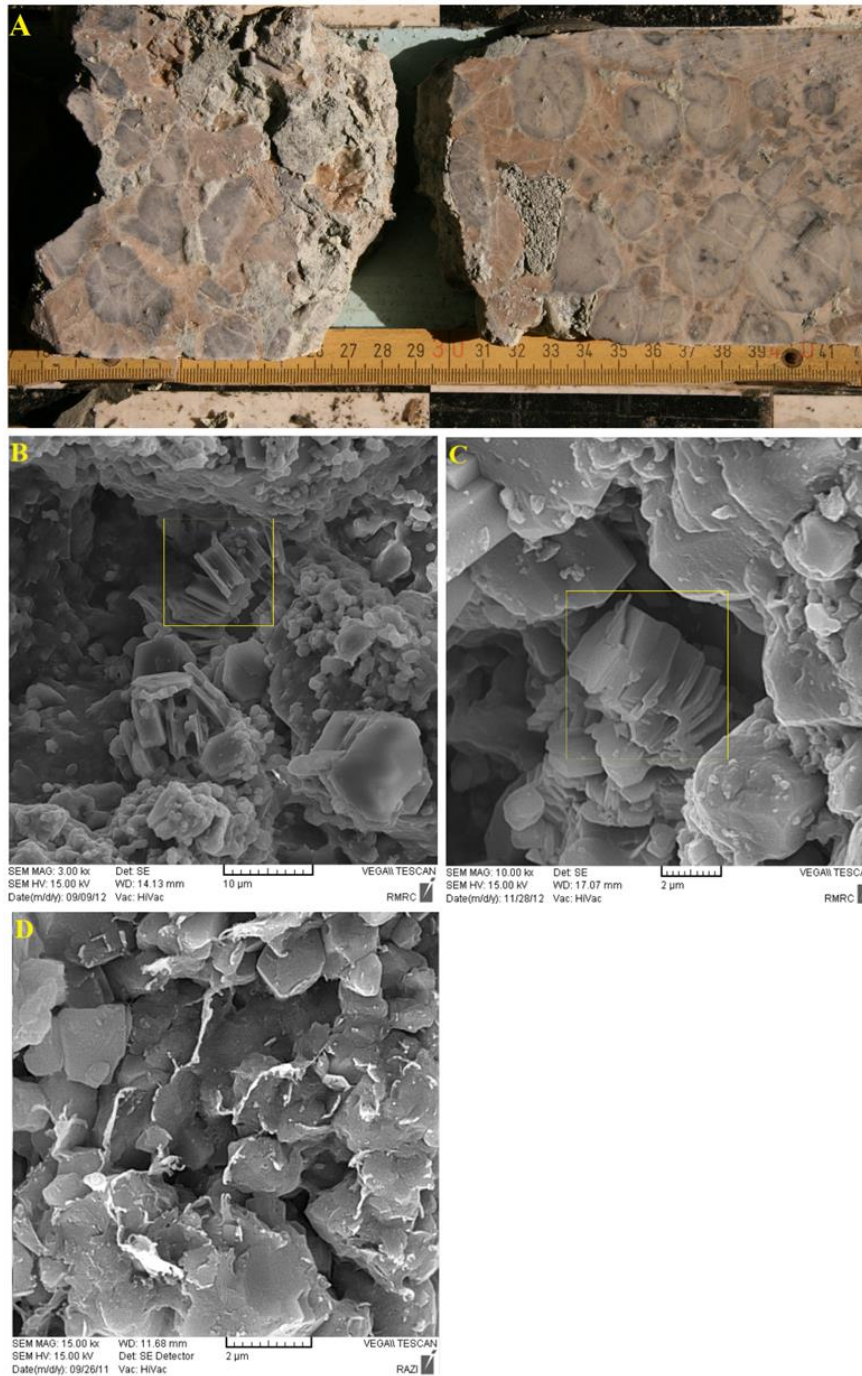
برای مثال اگر رخنمون جوی رسوبات کربناته تحت شرایط اقلیمی گرم و مرطوب، مدت‌زمان زیادی به طول بینجامد، اینتروال‌های کارستی‌شده که مهم‌ترین محصول دیاژنزی متئوریک و رخنمون در رسوبات کربناته، تحت شرایط اقلیمی گرم و مرطوب‌اند، وارد مرحله بلوغ و پیری می‌شوند. با تشدید انحلال و هوازگی، فروریزش اتفاق خواهد افتاد که به پرشدن شبکه‌های انحلالی و غاری در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی با رسوبات ریزشی منجر می‌شود که عموماً

برش‌های ریزشی انحلالی نام دارند و کیفیت مخزنی را کاهش می‌دهند (Keller 2008; Mazzullo and Chilingarian 1992). با توجه به شواهد پتروگرافی به دست آمده از افق‌های خاک دیرینه رأس سازند سروک، مشخص شد که این خاک‌ها سرشار از کانی‌های رسی مونت مورونیت و کائولینیت (به عنوان کانی‌های رسی غالب) و مقادیر بالایی از اکسیدهای آهن و آلومینیوم را نشان می‌دهند. همچنین با فاصله‌گرفتن از ناپیوستگی‌ها، امکان مشاهده کانی‌های رسی ایلیت و کلریت وجود دارد (Zarasvandi et al. 2008, 2012; Mehrabi et al. 2022). رخنمون یافتن جوی و هوازگی شیمیایی طی خروج از آب در مرزهای سنومانین - تورونین و تورونین میانی، علت تشکیل این افق‌های خاک دیرینه است (Navidtalab et al. 2023; Mehrabi 2019). هرچند در مطالعه حاضر با توجه به در اختیار نداشتن داده‌های آنالیز XRD، اظهارنظر در این باره امکان‌پذیر نیست، اما بررسی تصاویر میکروسکوپی SEM حاکی از حضور برخی کانی‌های رسی در توالی مطالعه‌شده است که در اشکال زیر چشمگیر است (شکل‌های ۹ و ۱۰).



شکل ۹- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از کانی‌های رسی مرتبط با دیاژنز (ایلیت و کلریت) در حد فاصل ناپوستگی‌ها تصاویر (A و B) نشان‌دهنده ایلیت‌ها و ساختار پل‌زننده آنها؛ تصویر (C) مربوط به کانی رسی کلریت.

Fig 9- Electron microscope images of clay minerals related to diagenesis (illite and chlorite) at the interval of discontinuities. Images (A and B) show the illites and their bridging structure. Image (C) is related to the clay mineral chlorite.



شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از کانی‌های رسی مرتبط با اقلیم (مونت موریلونیت و کائولینیت) در نزدیکی مرزهای ناپوستگی تصویر (A) برش پلاگ نشان‌دهنده افق خاک‌های دیرینه حاوی اکسید آهن؛ تصاویر (B و C) ساختارهای ورقه‌کتابی کائولینیت به‌خوبی مشاهده شده است؛ تصویر (D) ساختار لانه زنبوری و کانی رسی مونت موریلونیت.

Fig 10- Electron microscope images of clay minerals related to climate (montmorillonite and kaolinite) near discontinuity boundaries. Image (A) shows a plug section of ancient soils containing iron oxide. Images (B and C) show the well-visible book-like structures of kaolinite. Image (D) shows the honeycomb structure and clay mineral montmorillonite.

نتیجه

باز با نرخ بالای گردش سیالات جوی انجام شده است؛

مجموعه شواهد فوق به‌خصوص حضور دو ناپیوستگی فرسایشی ذکر شده، شاخص‌های کلیدی را برای تفکیک سکانس‌های رسوبی سازند سروک در ناحیه دشت آبادان فراهم آورده‌اند که به میزان زیادی با دیگر نواحی زاگرس و خاورمیانه نیز تطابق دارند؛

تحلیل‌های اقلیمی به دست آمده از سازند سروک در مطالعه حاضر، انطباق بالایی با جایگاه جغرافیایی قدیمه صفحه عربی در بازه زمانی سنومانین - تورونین دارد که در عرض‌های پایین (۰ تا ۵ درجه شمالی) در مجاورت خط استوا بوده است.

مطالعات رخساره‌ای، دیاژنزی و چینه‌نگاری سکانشی انجام شده بر سازند سروک در یکی از میدان‌های واقع در دشت آبادان به‌منظور بررسی تأثیر شرایط اقلیمی دیرینه بر خصوصیات رسوب‌شناختی این سازند انجام شده است. مهم‌ترین نتایج حاصل از این مطالعات به شرح زیر است:

بررسی‌های پتروگرافی بر مقاطع نازک میکروسکوپی نشان داد که سازند سروک در میدان مطالعه شده از پنج مجموعه رخساره‌ای شامل لاگون، شول، ریف و واریزه‌های ریفی و دریای باز تشکیل شده است که حاکی از نهشت این سازند در یک رمپ کربناته هم‌شیب‌اند؛

فرآیندهای دیاژنزی اثرگذار بر سازند سروک در محیط‌های دریایی، جوی و تدفینی کم‌عمق تا عمیق رخ داده‌اند که از این میان، فرآیندهای دیاژنزی جوی نظیر انحلال، سیمانی شدن، برشی شدن، سیلیسی شدن، گسترش افق‌های خاک و آغشتگی به اکسیدهای آهن از اهمیت و فراوانی بالایی برخوردارند؛

تاریخچه دیاژنزی سازند سروک نشانگر وقوع دو رخنمون‌یافتگی دیرینه در این سازند در مرز سنومانین - تورونین و تورونین میانی است. این دو سطح فرسایشی دیرینه با گستردگی بالای عوارض دیاژنزی جوی به‌خوبی در مقیاس مغزه‌های حفاری و مقاطع نازک میکروسکوپی شناسایی شدند؛

ترکیب اجزای سازنده رخساره‌های شول در سازند سروک که عموماً شامل خرده‌های اسکلتی (رودیست، مرجان، جلبک سبز، خارپوست، دوکفه‌ای)، پلوئیدها و ایتراکلاست‌هایند و دانه‌هایی نظیر اوئید اساساً مشاهده نمی‌شوند، حاکی از غلبه شرایط اقلیمی گرم و مرطوب در محیط نهشت این رخساره‌هاست؛

فراوانی و گستردگی انحلال جوی در زیر ناپیوستگی‌های فرسایشی، شاهد دیگری است که نشان می‌دهد در زمان رخنمون‌یافتگی سازند سروک، سیالات جوی به میزان زیادی در دسترس بوده‌اند و دیاژنزی جوی این سازند در یک سیستم

References

- Abdollahie Fard I. Braathen A. Mokhtari M. and Alavi S.A. 2006. Interaction of the Zagros Fold-Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. *Petroleum Geoscience*, 12(4): 347-362. DOI: <https://doi.org/10.1144/1354-079305-706>
- Ahr Wayne M. 2008. Summary: Geology of Carbonate Reservoirs. John Wiley and Sons Inc., Hoboken, 277 p.
- Alsharhan A.S. 2014. Petroleum systems in the Middle East. In: Rollinson H.R. Searle M.P. Abbasi A.I. Al-Lazki A.I. and Al Kindi M.H. Eds. *Tectonic Evolution of the Oman Mountains*, v. 392, Geological Society, London, 361-408. <https://doi.org/10.1144/SP392.19>
- Alsharhan A. S. and A. E. M. Nairn. 1997. *Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East*. Elsevier Science, Amsterdam, 843 p. doi: 10.1016/s0264-8172(99)00008-2.
- Aqrabi A.A.M. Mahdi T.A. Sherwani G.H. and Horbury A. 2010. Characterization of the Mid-Cretaceous Mishrif Reservoir of the southern Mesopotamian Basin, Iraq. *GeoArabia* 18(1):139-74. doi: 10.2113/geoarabia1801139.
- Aqrabi A. A. M. G. A. Thehni G. H. Sherwani and Kareem B. M. A. 1998. Mid-Cretaceous rudist-bearing carbonates of the Mishrif Formation: An important reservoir sequence in the Mesopotamian Basin, Iraq. *Journal of Petroleum Geology* 21(1):57-82. doi: 10.1111/j.1747-5457.1998.tb00646.x.
- Atashbari V. Tingay M. and Amrouch K. 2018. Stratigraphy, Tectonics and Hydrocarbon Habitat of the Abadan Plain Basin: A Geological Review of a Prolific Middle Eastern Hydrocarbon Province.

- Gulf. Joint Publication. Tehran University Press and National Iranian Oil Company 734.
- Hajikazemi E. Al-Aasm I. S. and Coniglio M. 2012. Chemostratigraphy of Cenomanian-Turonian carbonates of the Sarvak Formation, southern Iran. *Journal of Petroleum Geology* 35(2):187–205. doi: 10.1111/j.1747-5457.2012.00525.x.
- Hollis C. 2011. Diagenetic controls on reservoir properties of carbonate successions within the Albian-Turonian of the Arabian Plate. *Petroleum Geoscience* 17(3):223–241. doi: 10.1144/1354-079310-032.
- Keller G. 2008. Cretaceous climate, volcanism, Impacts, and biotic effects. *Cretaceous Research* 29(5–6):754–771. doi: 10.1016/j.cretres.2008.05.030.
- Mazzullo S. J. and Chilingarian G. V. 1992. Diagenesis and origin of porosity. *Developments in petroleum science* 30(C):199–270. doi: 10.1016/S0376-7361(09)70127-X.
- Mehrabi H. Navidtalab A. Rahimpour-Bonab H. and Heimhofer U. 2022. Geochemical expression of sequence stratigraphic surfaces: A case from Upper Cretaceous shallow-water carbonates of southeastern Neo-Tethys margin, SW Iran. *Cretaceous Research* 140:105329. doi: 10.1016/j.cretres.2022.105329.
- Mehrabi H. and Rahimpour-Bonab H. 2014. Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian-Early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran. *Facies* 60(1):147–167. doi: 10.1007/s10347-013-0374-0.
- Mehrabi H. Rahimpour-Bonab H. Hajikazemi E. and Jamalian A. 2015. Controls on depositional facies in Upper Cretaceous carbonate reservoirs in the Zagros area and the Persian Gulf, Iran. *Facies* 61(4). doi: 10.1007/s10347-015-0450-8.
- Mehrabi H. Yahyaei E. Navidtalab A. Rahimpour-Bonab H. Abbasi R. Omidvar M. Assadi A. and Honarmand J. 2023. Depositional and diagenetic controls on reservoir properties along the shallow-marine carbonates of the Sarvak Formation, Zagros Basin: Petrographic, petrophysical, and geochemical evidence. *Sedimentary Geology* 454:106457. doi: 10.1016/j.sedgeo.2023.106457.
- Mouthereau F. Lacombe O. and Vergés J. 2012. Building the Zagros collisional orogen: Timing, strain distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia Plate convergence. *Tectonophysics* 532–535:27–60. doi: 10.1016/j.tecto.2012.01.022.
- Motiei H. 1993. Stratigraphy of Zagros. Geological Survey of Iran Publication, Tehran, 536 p.
- Murris R. J. 1981. Middle East: Stratigraphic evolution and oil habitat. *Geologie En Mijnbouw* 60(4):467–86. doi: 10.1306/2f918a8b-16ce-11d7-8645000102c1865d.
- Geosciences, 8(12), 496. <https://doi.org/10.3390/geosciences8120496>
- Bagherpour B. Mehrabi H. Faghih A. Vaziri-Moghaddam H. and Omidvar M. 2021. Tectono-eustatic controls on depositional setting and spatial facies distribution of Coniacian–Santonian sequences of the Zagros Basin in Fars Area, S. Iran. *Marine and Petroleum Geology* 129:105072. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105072>
- Bromhead A. D. Van Buchem F. S. P. Simmons M. D. and Davies R. B. 2022. Sequence Stratigraphy, palaeogeography and petroleum plays of the Cenomanian – Turonian succession of the Arabian Plate: An updated synthesis. *Journal of Petroleum Geology* 45(2):119–161. doi: 10.1111/jpg.12810.
- Van Buchem F. S. P. Simmons M. D. Droste H. J. and Davies R. B. 2011. Late Aptian to Turonian stratigraphy of the eastern Arabian Plate - Depositional sequences and lithostratigraphic nomenclature. *Petroleum Geoscience*, 17(3):211–222. doi: 10.1144/1354-079310-061.
- Burchette T. P. and Wright V. P. 1992. Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology* 79(1–4):3–57. doi: 10.1016/0037-0738(92)90003-A.
- Du Y. Zhang J. Zheng S. Xin J. Chen J. and Li Y.-Z. 2015. The rudist buildup depositional model, reservoir architecture and development strategy of the Cretaceous Sarvak Formation of southwest Iran. *Petroleum* 1(1):16–26. doi: 10.1016/j.petlm.2015.04.001.
- Dunham R. J. 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures. *Classification of Carbonate Rocks--A Symposium* 108–21.
- Embry A. 2002. Transgressive-regressive (T-R) sequence stratigraphy. In: Armentrout, J., Rosen, N. (Eds.), *Sequence Stratigraphic Models for Exploration and Production*. Gulf Coast SEPM Conference Proceedings, Houston, pp. 151–172.
- Embry Ashton F. and Edward Klován J. 1971. A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19(4):730–781.
- Esfarili-Dizaji B. Rahimpour-Bonab H. Mehrabi H. Afshin S. Kiani Harchegani F. and Shahverdi N. 2015. Characterization of rudist-dominated units as potential reservoirs in the Middle Cretaceous Sarvak Formation, SW Iran. *Facies* 61(3). doi: 10.1007/s10347-015-0442-8.
- Flügel E. 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer. doi: 10.1007/978-3-662-08726-8.
- Flügel E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer. doi: 10.1007/978-3-662-08726-8.
- James G. A. and Wynd J. G. 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *AAPG Bulletin* 49(12): 2182–2245. doi: 10.1306/a663388a-16c0-11d7-8645000102c1865d.
- Ghazban F. 2007. *Petroleum Geology of the Persian*

- seas go out. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 49:679–728. doi: 10.1146/annurev-earth-081320-064052.
- Steuber T. and Löser H. 2000. Species richness and abundance patterns of Tethyan Cretaceous rudist bivalves (Mollusca: Hippuritacea) in the central-eastern Mediterranean and Middle East, analysed from a palaeontological database. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 162(1–2): 75–104. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00106-1](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00106-1)
- Sharland P. R. Archer D. M. Casey R. B. Davies S. H. Hall A. P. Heward A. D. Horbury A. D. and Simmons M. D. 2001. Arabian Plate sequence stratigraphy. *Geo-Marine Special Publications* 2 3(Chapter 4):56–74.
- Sharp I. Gillespie P. Morsalnezhad D. Taberner C. Karpuz R. Vergés J. Horbury A. Pickard N. Garland J. and Hunt D. 2010. Stratigraphic architecture and fracture-controlled dolomitization the Cretaceous Khami and Bangestan groups: An outcrop case study, Zagros Mountains, Iran. *Geological Society Special Publication* 329:343–96. doi: 10.1144/SP329.14.
- Taghavi A. A. Mørk A. and Emadi M. A. 2006. Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the Carbonate Dehloran Field, southwest Iran. *Petroleum Geoscience* 12(2):115–26. doi: 10.1144/1354-079305-672.
- Tucker M.E. and Wright V.P. 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell, Oxford, 482 p. <http://dx.doi.org/10.1002/9781444314175>
- Zarasvandi A. Carranza E. J. M. and Ellahi S. S. 2012. Geological, geochemical, and mineralogical characteristics of the Mandan and Deh-now bauxite deposits, Zagros Fold Belt, Iran. *Ore Geology Reviews*, 48: 125–138. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.02.010>
- Zarasvandi A. Charchi A. Carranza E.J.M. and Alizadeh B. 2008. Karst bauxite deposits in the Zagros mountain belt, Iran. *Ore Geol. Rev.* 34: 521–532.
- 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, 109255. <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>
- Rahimpour-Bonab H. Mehrabi H. Enayati-Bidgoli A. H. and Omidvar M. 2012. Coupled imprints of tropical climate and recurring emergence on reservoir evolution of a Mid Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, southwest Iran. *Cretaceous Research* 37:15–34. doi: 10.1016/j.cretres.2012.02.012.
- Rahimpour-Bonab H. Mehrabi H. Navidtalab A. Omidvar M. Enayati-Bidgoli A. Sonei H. R. Sajjadi F. Amiri-Bakhtyar H. Arzani N. and Izadi-Mazidi E. 2013. Palaeo-exposure surfaces in Cenomanian - Santonian carbonate reservoirs in the Dezful Embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology* 36(4):335–362. doi: 10.1111/jpg.12560.
- 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. *Geological Society Special Publication* 329(November 2015):187–218. doi: 10.1144/SP329.9.
- Sadooni F. N. 2005. The nature and origin of Upper Cretaceous basin-margin rudist buildups of the Mesopotamian Basin, southern Iraq, with consideration of possible hydrocarbon stratigraphic entrapment. *Cretaceous Research* 26(2):213–224. doi: 10.1016/j.cretres.2004.11.016.
- Schlager W. 2005. *Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy*. doi: 10.2110/csp.05.08.
- Scotese Christopher R. 2021. An atlas of Phanerozoic paleogeographic maps: The seas come in and the