



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

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches
E-ISSN: 2423-8007
Vol. 39, Issue 3, No. 92, Autumn 2023, pp 79-102
Received: 29.11.2023 Accepted: 30.01.2024

Research Paper

Petrographic and geochemical evidence of diagenetic alterations in the Sarvak Formation in an oilfield from the Abadan Plain, west of Iran

Ramin Abbasi

M.Sc. Student, Soft-Rock Department, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
aramin1374@gmail.com

Hamzeh Mehrabi * 

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

Emad Yahyaei

M.Sc. Student, Soft-Rock Department, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
emad.yahyae@ut.ac.ir

Hossain Rahimpour-Bonab

Professor, Soft-Rock Department, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
hrahimpour@gmail.com

Abstract

The Sarvak Formation, the second important oil reservoir in the Zagros Basin, has a complicated diagenetic history. This study focuses on the diagenetic processes of this formation in the Abadan Plain. To achieve this goal, petrographic investigations of core samples, thin sections, X-ray diffraction, and scanning electron microscopy are integrated with the results of elemental geochemical data. Intensive meteoric dissolution (karstification), paleosol formation, dissolution-collapsed brecciation, meteoric cementation, and silicification are major meteoric diagenetic processes. Such intensive meteoric diagenesis along with the dominance of kaolinite and montmorillonite, as predominant clay types within the paleosol, all indicate a warm and humid paleoclimatic condition at the time of exposure. These diagenetic alterations provided special trends of variations in the elemental contents of altered carbonates. They include a clear increase in Na, Mn, Fe, and Rb along with the decrease in Sr contents recorded below the Cenomanian–Turonian and mid-Turonian disconformities. The variations in Mg contents depend on the original mineralogy of carbonates that can result in variable trends in response to the meteoric diagenesis. Below the mid-Turonian disconformity, the development of mud-dominated facies hampered the free fluid circulation and, consequently, diagenetic alterations and their related geochemical trends are limited within the Turonian sequence.

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

Introduction

The Sarvak Formation, as a member of the Bangestan Group, is an important oil reservoir in Iran, especially in the Abadan Plain (Motiei 1993). It is mainly composed of carbonate rocks deposited on the northeast margin of the Arabian Plate (Fard et al. 2006). In carbonate successions, complex diagenesis history is strongly influenced by the combined effects of tectonics, eustasy, and palaeoclimate (Ahr 2008). The Zagros Basin has experienced an active tectonic setting and a warm and humid palaeoclimatic condition, during the Late

Cretaceous (Mehrabi 2023). At this time, subaerial exposure of carbonate successions has resulted in the development of disconformities at the Cenomanian–Turonian boundary (CT-ES) and middle Turonian (mT-ES) (Rahimpour-Bonab et al. 2013). This study focuses on the petrographic and geochemical investigations of diagenetic features in the Sarvak Formation in an oilfield in the Abadan Plain.

Material & Methods

In this study, elemental geochemical analyses of 27 samples

*Corresponding author

Abbasi R. Mehrabi H. Yahyaei E. and Rahimpour H. (2023). Petrographic and geochemical evidence of diagenetic alterations in the Sarvak Formation in an oilfield from the Abadan Plain, west of Iran. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 39(3):79-102.



2423-8007 / © 2023 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.2024.139935.1274>

taken from the Sarvak Formation are integrated with a petrographic study of 831 thin sections in a well, located in the Abadan Plain. Bulk rock and micrite samples were taken for geochemical analyses. After macro- and microscopic studies, 1.5 to 2 mg of powder was prepared using a dental bit (tungsten carbide). This powder was cleaned to remove the organic matter and oil staining and, then, reacted with pure phosphoric acid to produce the carbon dioxide gas. A Kiel III Thermo Finnigan 252 mass spectrometer is used at the Arak University for elemental analysis.

Discussion of Results & Conclusions

The main results of this study are as follows:

Dissolution and Karstification: Intensive meteoric dissolution in the forms of the vuggy, channel, and moldic pores are frequently recorded in the upper parts of the Sarvak Formation. These pores are subsequently filled by meteoric or burial cements or remain unfilled to provide high reservoir potential beneath the palaeoexposure surfaces.

Silicification and Brecciation: Replacement of silica within the skeletal fragments (mostly rudists) or in the form of cement filling the burrows and intra-skeletal pores are recorded at the topmost parts of the Sarvak Formation. It shows close association with other meteoric diagenetic features including dissolution, meteoric cementation, and paleosols. Brecciation is also recorded in microscopic studies. A clay-rich matrix filled between these breccias.

Development of paleosols: Bauxite and laterite are common paleosols recorded at the topmost parts of the Sarvak Formation. High Fe and Al contents are measured from these horizons. Fe-oxide staining is distinguished within the weathered and karstified units of this formation, below the disconformable surfaces. Moreover, kaolinite and montmorillonite are common clay minerals within these paleosols that indicate a warm and humid climatic condition at the time of exposure.

Trace Elements: Elemental contents of Sr, Rb, Fe, Na, Ca, Mn, and Mg are measured from the Sarvak Formation. **Manganese (Mn):** Mn values of analyzed samples range from 5 to 809 ppm, with an average of 407 ppm. It shows a uniform trend across the Cenomanian sequence, with a sharp increase at the beginning of Turonian as 809 ppm.

Sodium (Na): This element varies from 791 to 15439 ppm in the analyzed samples. An increase in Na is recorded

at the base of the Cenomanian that changes to lower values in the upper Cenomanian. Two peaks of Na are recorded around the Cenomanian–Turonian boundary. Lower values of Na are measured from the Turonian sequence.

Strontium (Sr): The Sr content of the studied well changes from 28 to 604 ppm, with a mean of 367 ppm. Decreased Sr contents are recorded in the lower part of the Cenomanian sequence that changes to higher concentrations in the upper part of this sequence. Generally, the Sr content of the Cenomanian sequence is low. Around the C-T boundary, perturbations in Sr concentrations are recorded with sharp decreases below the disconformities.

Paragenetic Sequence: The paragenetic sequence of the Sarvak Formation includes its deposition in the marine realm, experiencing two stages of meteoric diagenesis, and passing through shallow to deep burial realms.

Elemental Evidence: The effects of meteoric waters on marine carbonates commonly result in an increase in Mn concentrations in the altered carbonates (Brand and Veizer, 1980). Such an increase in Mn content is recorded at the C–T and mT paleoexposures.

The variations in Na concentrations are strongly facies dependent. Sharp increasing peaks of Na are recorded at disconformable surfaces indicating a meteoric diagenetic effect (Brand and Veizer 1980).

Decreased values of Sr are expected within the meteorically-altered carbonates, because the Sr concentration in meteoric waters (0.1–0.01 ppm) is much lower than the marine carbonates (1000–9400 ppm) (Brand and Veizer 1980). In the Sarvak Formation, sharp decreases in Sr are measured from the karstified intervals below the paleoexposure surfaces.

Geochemical Correlation: The geochemical profile of the Sarvak Formation in the studied well is correlated with a previous study in the Dezful Embayment (Mehrabi et al. 2022). As shown, there is a close correlation between these sections, especially regarding the trace elemental concentrations. Both C–T and mT disconformities are distinguished across the Zagros Basin, including the Abadan Plain, Dezful Embayment, Izeh, and Fars zones. Consequently, similar geochemical trends are formed as a result of intensive meteoric diagenetic alterations below these disconformable surfaces.

مقاله پژوهشی

شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی از فرآیندهای دیاژنزی اثرگذار بر کربنات‌های سازند سروک در یکی از میادین نفتی دشت آبادان، غرب ایران

رامین عباسی، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه سافت راک، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

aramin1374@gmail.com

حمزه مهرابی*^{ID}، استادیار، گروه سافت راک، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

mehrabi.hamze@ut.ac.ir

عماد یحیایی، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه سافت راک، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

emad.yahyaee@ut.ac.ir

حسین رحیم‌پور بناب، استاد، گروه سافت راک، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

hrahimpor@gmail.com

چکیده

سازند سروک، دومین مخزن مهم نفتی در حوضه زاگرس، دارای تاریخچه دیاژنزی پیچیده‌ای است که تحولات مخزنی و توزیع پارامترهای پتروفیزیکی را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. مطالعه حاضر، فرآیندهای دیاژنزی این سازند را در یکی از مهم‌ترین میدان‌های نفتی واقع در ناحیه دشت آبادان بررسی کرده است. برای این منظور، مطالعات پتروگرافی بر مغزه‌های حفاری و مقاطع نازک میکروسکوپی، نتایج آنالیزهای پراش پرتو ایکس و تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی با داده‌های ژئوشیمی عنصری به دست آمده از این سازند در یک چاه از میدان مطالعه شده تلفیق شده‌اند. فرآیندهای دیاژنزی سازند سروک در دو گروه فرآیندهای دیاژنزی متأثر از اقلیم دیرینه و فرآیندهای با تأثیر ناچیز از اقلیم دیرینه تفکیک، توصیف و تفسیر شده‌اند. بر این اساس، انحلال گسترده جوی (کارستی‌شدن)، گسترش افق‌های خاک قدیمه، برشی‌شدن ناشی از ریزش شبکه‌های کارستی، سیمانی‌شدن جوی و سیلیسی‌شدن جانشینی در زیر سطوح ناپیوستگی (رخمون دیرینه)، مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی جوی در دو افق مختلف در سازند سروک شناسایی شده‌اند. این فرآیندهای دیاژنزی جوی شدید در کنار غلبه کانی‌های رسی کائولینیت و مونت‌موریونیت در افق‌های خاک قدیمه، همگی حاکی از غلبه اقلیم گرم و مرطوب در زمان رخمون‌یافتگی این سازندند. وقوع همین فرآیندهای دیاژنزی سبب ایجاد روندهای کاملاً مشخص در محتوای عناصر کمیاب کربنات‌های دگرسان‌یافته شده است. افزایش مقادیر سدیم (Na)، منگنز (Mn)، آهن (Fe) و روبیدیم (Rb) و کاهش مقادیر استرانسیم (Sr) در زیر سطوح ناپیوسته در پاسخ به رخدادهای دیاژنزی جوی، به‌خوبی در زیر دو ناپیوستگی مرز سنومانین - تورونین و تورونین میانی به ثبت رسیده‌اند. تغییرات مقادیر منیزیم (Mg) به میزان زیادی به کانی‌شناسی اولیه رسوبات وابسته است و روندهای متغیری را در ارتباط با سطوح رخمون‌یافتگی دیرینه نشان می‌دهد. در زیر مرز تورونین میانی، به‌علت گسترش رخساره‌های گل غالب، امکان گردش آزادانه سیال جوی فراهم نیست و بنابراین آثار دیاژنزی مرتبط با آن نیز، فراوانی و شدت کمتری دارد.

واژه‌های کلیدی: سازند سروک، عناصر کمیاب، اقلیم دیرینه، دیاژنزی جوی، دشت آبادان.

* نویسنده مسئول

عباسی، ر.؛ مهرابی، ح.؛ یحیایی، ع. و رحیم‌پور، ح. (۱۴۰۲). شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی از فرآیندهای دیاژنزی اثرگذار بر کربنات‌های سازند سروک در یکی از میادین نفتی دشت آبادان، غرب ایران. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۳۹(۳): ۷۹-۱۰۲.



مقدمه

سازند سروک را از جنبه‌های مختلف رسوب‌شناسی، چینه‌شناسی، دیرینه‌شناسی، ژئوشیمیایی و مخزنی مطالعه کرده‌اند (نظیر Esrafil-Dizaji et al. 2015; Bagherpour 2023; Kiani et al. 2022; Mehrabi et al. 2015, 2020, 2022a; Mehrabi and Rahimpour-Bonab 2014; Mohseni and Zeybaram Javanmard 2020; Rahimpour-Bonab et al. 2013, 2012a, 2012b). با این حال، مطالعات پیشین عمدتاً در فروافتادگی دزفول، فارس، ایذه و خلیج فارس انجام شده و منطقه دشت آبادان کمتر مدنظر قرار گرفته است. مطالعه حاضر به دنبال آن است تا با تلفیق نتایج مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی، انواع فرایندهای دیازنزی اثرگذار بر سازند سروک را شناسایی و از این طریق، توالی وقوع این فرایندها (پاراژنز) و قلمروهای دیازنزی آن را آشکار کند.

تاریخچه زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

منطقه مطالعه‌شده، میزبان مخازن هیدروکربنی عظیم و فوق عظیم در حوضه بین‌النهرین است (Abdollahie Fard et al. 2006). میدان نفتی مطالعه‌شده واقع در دشت آبادان (جنوب غربی کمر بند چین خورده زاگرس)، بخشی از حاشیه غیرفعال صفحه عربی به وسیله فروافتادگی دزفول، مرز ایران و عراق و خلیج فارس محدود می‌شود (شکل ۱). توالی کرتاسه نقشی تعیین‌کننده در تمامی پهنه این منطقه بازی می‌کند. سازند سروک در حاشیه نئوتتیس، واقع در جنوب غربی ایران نهشته شده است. در مقطع تیپ (تنگ سروک، کوه بنگستان)، این سازند با سنگ‌های آهکی سازند ایلام در امتداد مرزی ناپیوسته پوشیده شده و بر سازند کژدمی قرار گرفته است (James and Wynd 1965). سازند سروک عضوی از گروه بنگستان، عمدتاً سنگ‌شناسی کربناته را نشان می‌دهد و سن آن به آلبین-تورونین می‌رسد (James and Wynd 1965).

با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه و دیگر مطالعات انجام‌شده در این منطقه، مدل رسوبی پیشنهادی برای سازند سروک در فروافتادگی دزفول، یک رمپ کربناته هم‌شیب است (Mehrabi et al. 2015). تکتونیک فعال در دوره

منطقه جنوب غرب آسیا (شامل خاور میانه و حوضه زاگرس) میزبان تمرکزهای عظیم نفت و گاز در جهان است که بخش اصلی آنها بر پلیت عربی واقع شده‌اند. سازند آهکی سروک از گروه بنگستان، یکی از سازندهای مهم صفحه عربی از نظر میزان ذخایر هیدروکربن است که در ایران پس از سازند آسماری، مهم‌ترین سنگ مخزن حوضه زاگرس شناخته می‌شود (Motiei 1993). دشت آبادان بخشی از فروافتادگی دزفول در حاشیه شمال شرقی صفحه عربی واقع شده است و از ویژگی‌های زمین‌شناسی آن تبعیت می‌کند (Fard et al. 2006). تکامل رسوب‌گذاری و دیازنز سنگ‌های کربناته رسوبی، تحت تأثیر دو عامل اصلی یعنی فعالیت‌های تکتونیکی و نوسانات سطح آب دریاهاست (Ahr 2008). علاوه بر این، آب و هوای دیرینه نیز بر خصوصیات رخساره‌های رسوبی (از جمله نوع و ویژگی دانه‌ها، کانی‌شناسی، بافت و ساختارهای رسوبی) و تغییرات پس از رسوب‌گذاری، تأثیرات درخور توجهی داشته است. علاوه بر آب و هوای دیرینه، فعالیت‌های تکتونیکی هم‌زمان یا پس از رسوب‌گذاری نیز نقش کلیدی در شکل‌گیری تغییرات رسوب‌گذاری-دیازنز این رسوبات از طریق تنظیم فضای انباشت، قرارگیری پلتفرم‌های کربناته در معرض رخنمون جوی داشته است (Mehrabi and Rahimpour-Bonab 2014). سنگ‌های کربناته دوره کرتاسه بالایی (سنومانین-تورونین) در یک حوضه تکتونیکی فعال، تحت تأثیر آب و هوای گرمسیری ته نشست کرده‌اند (Mehrabi 2023). این شرایط بر رسوبات کربناته صفحه عربی تأثیر بزرگی داشته و به ایجاد ناپیوستگی‌هایی شاخص در این واحد منجر شده است (Mehrabi et al. 2023). در این مطالعه با استفاده از داده‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی در یکی از میدان‌های نفتی دشت آبادان، به درک بهتری از تحولات زمین‌شناسی و عوامل مؤثر بر این توالی‌ها خواهیم رسید. محققان به دلیل اهمیت توالی‌های رسوبی سازند سروک، در سالیان گذشته توجه زیادی به آنها کرده‌اند. این محققان،

عراق، امارات، قطر و عمان شناسایی و گزارش شده‌اند (Bromhead et al. 2022; Razin et al. 2010) (شکل ۱).

داده‌ها و روش‌های مطالعه

در مطالعه حاضر، نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی عنصری (۲۷ نمونه) از سازند سروک در یکی از میدان‌های واقع در دشت آبادان ارائه و تفسیر شده‌اند. در مرحله پتروگرافی، مقاطع نازک (۸۳۱ عدد) برای بررسی شدت دیاژنزی و وجود فازهای مناسب (قطعات اسکلتی خوب حفظ‌شده) برای نمونه‌گیری ژئوشیمیایی بررسی شدند. مطالعات نشان داد فسیل ماکروسکوپی و میکروسکوپی مناسب (غیر دیاژنزی) برای نمونه‌برداری ژئوشیمیایی وجود ندارد؛ بنابراین باید نمونه‌برداری به روش نمونه‌برداری کلی^۱ و نمونه‌برداری از میکرایت (گل کربناته) انجام شود. به‌طور کلی نمونه‌های پلاگ^۲ با بازه میانگین یک متر، از مغزه‌های چاه مطالعه‌شده برداشته شدند. در هنگام نمونه‌برداری از مغزه‌ها کوشیده شد تا از بازه‌هایی نمونه‌گیری نشود که دچار دیاژنزی شدیدی بودند. با این حال برای مقایسه چند نمونه نیز از بازه‌هایی برداشته شد که به نظر دیاژنزی شدیدی داشتند. آنالیزهای پراش پرتو ایکس و تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی در آزمایشگاه شرکت رازی انجام شده‌اند.

به‌منظور انتخاب نمونه‌های ژئوشیمیایی، ابتدا مقاطع نازک هر بخش برای شناسایی اجزای سازنده با دقت مطالعه شدند؛ سپس نمونه‌ها با آب شسته و با استفاده از میکروسکوپ دوچشمی^۳، محل نمونه‌برداری‌ها با دقت بر نمونه‌های پلاگ‌ها علامت زده شد. در حین نمونه‌برداری با متد دندانپزشکی از شکستگی‌ها و عوارضی همچون استیلولیت‌ها پرهیز شد؛ زیرا در این نواحی عموماً شدت دیاژنزی زیاد است. در مرحله بعدی با استفاده از متد دندانپزشکی (متد تنگستن کارباید)، از محل‌های مشخص‌شده بر پلاگ‌ها به میزان ۱/۵ تا ۲ گرم پودر

کرتاسه شامل فعال‌شدن مجدد عمودی بلوک‌های سنگی و حرکات تکتونیکی گنبد‌های نمکی، باعث بالا آمدن بخش‌هایی از منطقه، از جمله ارتفاعات بورگان-آزادگان، هندیجان، دشت آبادان و فروافتادگی دزفول شد. علاوه بر این، ایجاد این بلندی‌های دیرینه به تغییرات گسترده در رخساره‌ها، دیاژنزی و ریخت‌شناسی سکوی کربناته منجر شد (Piryaei et al. 2011). این رویدادها، دوره کرتاسه میانی را یکی از فعال‌ترین دوره‌های زمین‌ساختی در تاریخ منطقه مطالعه‌شده، شاخص می‌کند (Alavi 2007). از دیدگاه زمین‌ساختی، کرتاسه میانی زمان آغاز فرورانش پوسته اقیانوسی در زیر ایران مرکزی و عمان در حوضه نئوتتیس است (Sepehr and Cosgrove 2004). در همان زمان، حاشیه شمالی صفحه عربی، از یک حاشیه غیرفعال قاره‌ای به یک حاشیه زمین‌ساختی فعال تغییر شکل داد. با توجه به حضور افیولیت‌های فرارنده‌شده بر پوسته قاره‌ای در کوه‌های عمان و منطقه رورانده زاگرس، پوسته اقیانوسی (در نئوتتیس) شروع به فرورانش در زیر ایران مرکزی کرده است (Farahpour and Hessami 2012). در زمان سنومانین-تورونین، منطقه صفحه عربی (شامل دشت آبادان) در عرض‌های جغرافیایی ۰ تا ۵ درجه شمال خط استوا قرار داشته است (Sharland et al. 2001). به همین سبب، شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب استوایی حاکم، موجب گسترش سکوی کربناته از نوع گرمسیری در نواحی جنوب و جنوب غرب ایران شده است (Rahimpour-Bonab et al. 2012a, 2012b). اثر ترکیبی تغییر میانگین سطح آب دریا و فعالیت‌های تکتونیکی، به ایجاد چندین سطح ناپیوستگی در سازند سروک و معادل‌های آن در حوضه بین‌النهرین (توالی سنومانین-تورونین) منجر شده است که سه مورد از شاخص‌ترین آنها عبارت‌اند از: ناپیوستگی سنومانین میانی، ناپیوستگی سنومانین پسین-تورونین پیشین و ناپیوستگی تورونین میانی (Mehrabi et al. 2016; Navidtalab et al. 2023). همین ناپیوستگی‌ها در موقعیت‌های مشابه چینه‌شناسی، از توالی‌های رسوبی معادل سازندهای میشریف و ناتیح) در کشورهای همسایه، نظیر

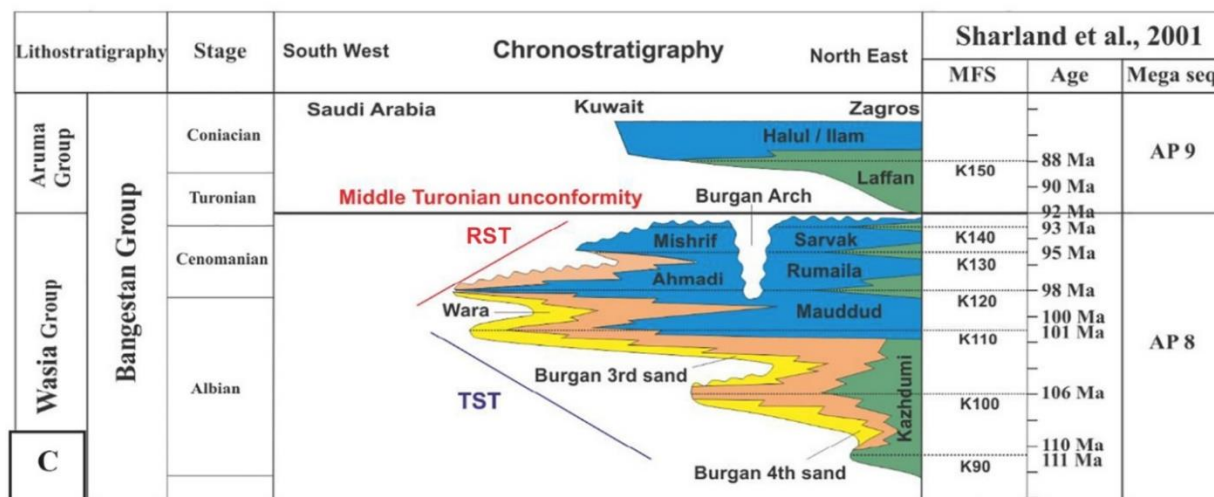
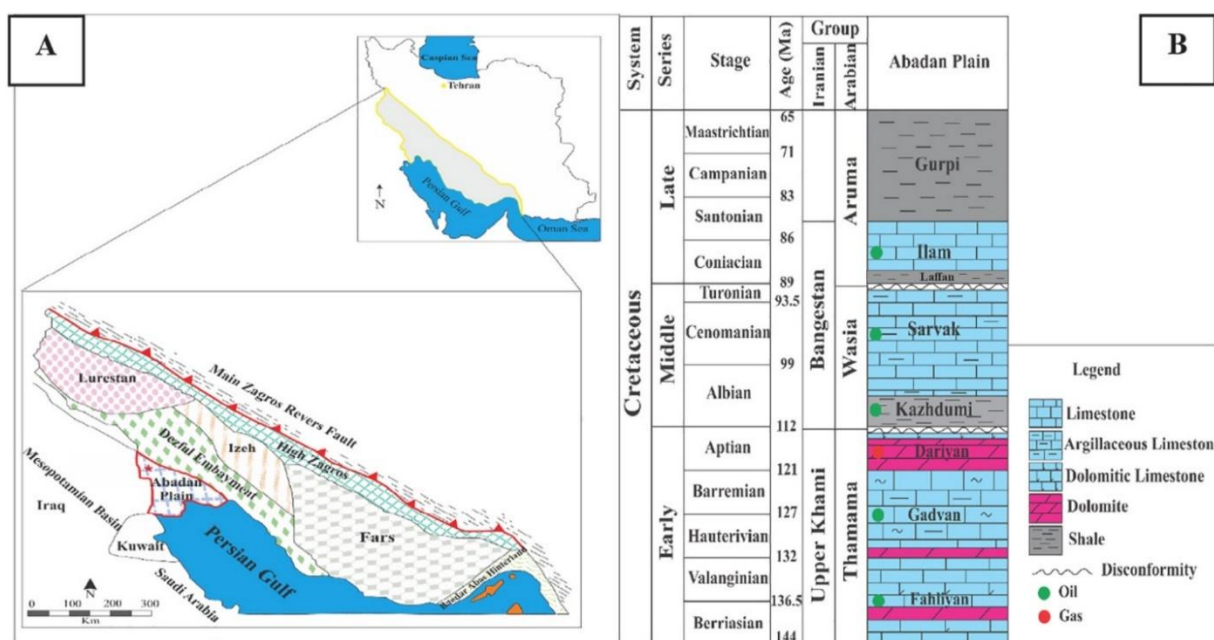
¹ Bulk Sampling

² Plug

³ Binocular

شسته شود. آنگاه پودرهای مدنظر در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا آب آن خشک شود. در پایان، نمونه‌ها به میکروتیوب‌های پلاستیکی منتقل شدند.

تهیه شد؛ سپس نمونه‌های پودری به دست آمده با استفاده از حلال استون مرکب و کاغذ صافی شست و شو داده شدند تا مواد آلی و نفت موجود در آنها شسته شود. در پی آن، نمونه‌ها با آب یونیزه و دوباره شویی شدند تا استون باقی‌مانده



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی میدان مطالعه‌شده در دشت آبادان واقع در غرب حوضه زاگرس (A)؛ ستون‌های چینه‌شناسی از توالی‌های رسوبی کرتاسه در دشت آبادان (B) و صفحه عربی (C). (نقل شده با تغییراتی از Kiani et al. 2022).

Fig 1- Location map of the studied field in the Abadan Plain, west of the Zagros Basin (A). Cretaceous stratigraphic chart of the Abadan Plain (B), and the Arabian Plate (C) (adopted with some modifications from Kiani et al. 2022).

باشند. انحلال جوی عمدتاً در رخساره‌های شول با انرژی بالا و رخساره‌های ریف - واریزه‌های ریفی سازند سروک در زیر سطح رخنمون دیرینه رخ داده است. (شکل ۲ A, D). انحلال گسترده انجام شده در سازند سروک به علت وجود آب‌های جوی فراوان در آن زمان، ناشی از بارندگی‌های فراوان و تأثیرات آن بر سازند سروک است. وقوع بارندگی‌های فراوان نشان‌دهنده غلبه آب و هوای گرم و مرطوب در بازه زمانی کرتاسه بالایی در حاشیه شمال شرقی صفحه عربی است.

سیلیسی شدن و برشی شدن

سیلیسی شدن معمولاً به صورت جانیشینی سیلیس در خرده‌های اسکلتی (رودست‌ها)، یا به صورت سیمان پرکننده منافذ در حفره‌های سخت نشده و حفرات درون اسکلتی ثبت شده است. منشأ سیلیس ممکن است از آب‌های شیرین جاری شده در خشکی‌ها، در طول زمان رخنمون یافتن سازند سروک حاصل شده باشد. همراهی نزدیک افق‌های سیلیسی شده با انحلال‌های گسترده و سیمان‌های جوی و نیز دیگر عوارض دیاژنزی، نشانگر دیاژنزی جوی حاکی از وقوع آن در این قلمرو دیاژنزی‌اند. برشی شدن نیز معمولاً در زیر مرز ناپیوستگی سنومانین - تورونین، در عمق ۲۷۳۳ متری در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی ثبت شده است. همچنین زمینه غنی از کانی‌های رسی در بین برش‌ها مشاهده شده است (شکل ۲ B).

تشکیل افق‌های خاک قدیمه

تحت شرایط اقلیمی گرم و مرطوب، خاک‌های دیرینه‌ای که تشکیل می‌شوند، بیشتر غنی از اکسیدهای آهن و آلومینیوم‌اند که به آنها بوکسیت و لاتریت گفته می‌شود. در بخش‌های بالایی سازند سروک در میدان مطالعه شده نیز، شواهدی وجود دارند که نشان‌دهنده آغشتگی به اکسیدهای آهن در افق‌های هوازه و کارستی شده در زیر مرزهای ناپیوستگی‌اند که مؤید وجود اقلیم گرم و مرطوب در این منطقه بوده است. همچنین

برای انجام این آنالیز، ابتدا پودر نمونه‌ها با اسید فسفریک خالص واکنش داده می‌شود تا گاز دی‌اکسید کربن از نمونه‌ها حاصل شود. این عمل در دستگاه تهیه گاز از نوع کیل ۳ (Kiel III) متصل به طیف‌سنج جرمی ایزوتوپی و از نوع (Thermo Finnigan 252) انجام می‌شود. آنالیزهای عنصری و ایزوتوپی در دانشگاه صنعتی اراک انجام گرفته‌اند.

نتایج

فرآیندهای دیاژنزی

مطالعه پتروگرافی نمونه‌های مقطع نازک تهیه شده از مغزه‌های سازند سروک، به شناسایی برخی تغییرات مهم دیاژنتیکی منجر شده است. این فرآیندها عبارت‌اند از: میکرایتی شدن، زیست‌آشفستگی، نوشکلی، سیمانی شدن - که خود شامل چهار حالت مختلف حاشیه‌ای هم‌ضخامت، هم‌بعد، اسپاری درشت (بلوکی) و کلسیت هم‌محور (رشد اضافی کلسیت)، فشردگی - که شامل فشردگی مکانیکی و شیمیایی است - شکستگی و دولومیتی شدن از نظر چینه‌شناسی در زیر دو سطح رخنمون دیرینه در سنومانین-تورونین (مرز CT-ES) و تورونین میانی (مرز mT-ES) متمرکز شده‌اند. در مطالعه حاضر، فرآیندهای دیاژنزی تأثیرگذار بر سازند سروک را در دو گروه فرآیندهای دیاژنزی تحت تأثیر اقلیم دیرینه و فرآیندهای دیاژنزی با تأثیر ناچیز از اقلیم دیرینه دسته‌بندی کرده‌ایم. شرح کامل فرآیندهای دیاژنزی در زیر آمده است.

فرآیندهای دیاژنزی متأثر از اقلیم دیرینه

انحلال و کارستی شدن

انحلال متئوریک (جوی) در قسمت بالایی سازند سروک به شکل انحلال‌های حفره‌ای و قالبی در هر دو مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی بسیار رایج است. شبکه‌های کارستی حالت‌های متفاوتی از حفرات غاری انتخاب‌کننده فابریک، حفرات غاری غیر انتخاب‌کننده فابریک و مرتبط به هم را شامل می‌شود که ممکن است با سیمان‌های جوی یا دفنی به صورت کامل یا جزئی پر شده و یا خالی باقی مانده

در رخساره‌های تالاب، در رخساره‌های شول نیز بسیار رایج‌اند. به نظر می‌رسد برخی از دانه‌های نامشخص، در طول میکرایتی شدن کامل بیوکلست‌ها تشکیل می‌شوند. این فرآیند معمولاً در محیط‌های دریایی کم‌عمق، با انرژی نسبتاً کم اتفاق می‌افتد (مانند محیط فریاتیگ دریایی راکد) و این گواه فعالیت شدید میکروبی است (Bathurst 1975; Flügel 2013; Longman 1980). میکرایتی شدن عمدتاً در رخساره‌های کربناته سازند سروک، به‌عنوان یک فرآیند دیاژنزی اولیه وجود دارد (شکل ۳ A).

زیست‌آشفستگی

زیست‌آشفستگی یک ویژگی رایج در رخساره‌های تالابی و دریای باز سازند سروک در چاه مطالعه شده است (شکل ۳ B). این ویژگی عمدتاً به‌عنوان یک ویژگی حفاری بستر سخت (حفرات پرشده) در دانه‌های بزرگ اسکلتی (رودیست‌ها) ثبت شده است که متعاقباً با پلت‌های مدفوعی، میکرایت و سیمان پر شده‌اند. آثار حفرشدگی (حفرات پر نشده) رسوبات نرم، نوع دیگری از زیست‌آشفستگی است که عمدتاً بر نمونه‌های مغزه تشخیص‌دانی است.

کانی‌های رسی مانند کائولینیت نیز، در این بازه مشاهده شده است. این شواهد در چاه مطالعه شده نیز به ثبت رسیده‌اند (شکل ۲ C,E).

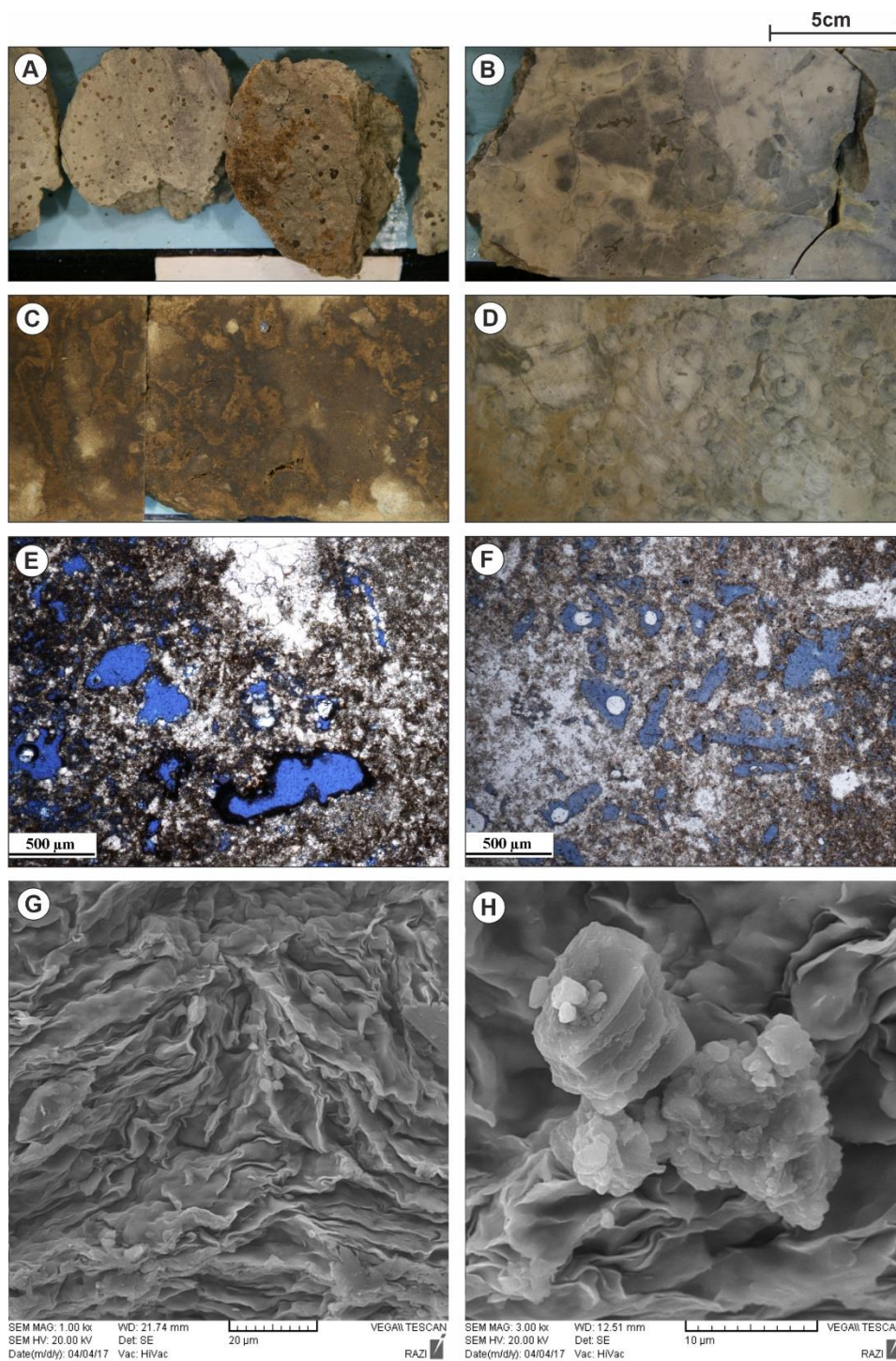
خاک‌های موجود در محدوده مطالعه شده، بیشتر شامل کائولینیت و قسمتی مونت‌موریلونیت است که از نوع بوکسیت و لاتریت‌اند. این نوع خاک‌های قدیمه (بوکسیت و لاتریت) نشان‌دهنده غلبه شرایط آب و هوای گرم و مرطوب در زمان رخنمون‌یافتگی و هوازدگی رسوبات کربناته است.

فرآیندهای دیاژنزی با تأثیر ناچیز از اقلیم دیرینه

برخی از فرآیندهای دیاژنزی ثبت شده از سازند سروک در چاه مطالعه شده، تأثیر ناچیزی از اقلیم دیرینه می‌گیرند که در ادامه به آنها اشاره شده است.

میکرایتی شدن

در سازند سروک پس از رسوب‌گذاری، دانه‌های اسکلتی به‌طور جزئی یا به‌صورت کامل با اجزای درون‌سنگ‌زی و یا دیگر موجودات حفار میکروسکوپی در کف دریا میکرایتی شده‌اند. خرده‌های اسکلتی میکرایتی شده (کورتوئیدها)، نه‌تنها



شکل ۲ - تصاویر SEM و مقاطع نازک میکروسکوپی از فرآیندهای دیاژنزی نشانگر اقلیم در سازند سروک در چاه مطالعه شده [A] ندول‌های آن‌دار در افق خاک قدیمه؛ [B,D] برشی شدن ریزشی - انحلالی؛ [C] انحلال و تخلخل حفره‌ای ناشی از آن؛ [E,F] انحلال میکروسکوپی به شکل تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی؛ [G,H] کانی‌های رسی رایج در افق‌های خاک قدیمه شامل کانولینیت و مونت مورینیت.

Fig 2- SEM images and core photos and photomicrographs of climate indicator diagenetic processes in the Sarvak Formation of the studied well. A- Fe-rich nodules in the paleosols, B,D- dissolution-collapse brecciation, C- dissolution, E,F- kaolinite and montmorillonite in paleosols, G,H- vuggy pores.

نوشکلی

تبدیل اجزای ناپایدار و گل (با کانی‌شناسی آراگونیت و کلسیت با منیزیم بالا) به کلسیت کم‌منیزیم، فرآیندی رایج در دیاژنز کربناته است که با عنوان دگرسانی از آن یاد می‌شود (شکل ۳ C). کلسیتی شدن قطعات اسکلتی آراگونیتی و گل (تشکیل شبه اسپاریت^۱)، معمولاً در رخساره‌های رمپ داخلی سازند سروک رخ داده است. ممکن است نوشکلی، میکرایت را به‌طور جزئی یا کامل به میکرو اسپار^۲ یا شبه اسپاریت (اندازه کریستال بیش از ۴ میکرومتر) تغییر دهد. گاهی اوقات، تمایز ارتواسپاریت (سیمان اسپاری) و شبه اسپاریت (اسپاریت نئومورفیک) مشکل است. در بعضی موارد، بافت رخساره در طی دگرسانی کاملاً محو می‌شود. این نشان‌دهنده طیف وسیعی از قلمروهای دیاژنتیکی، از دیاژنز جوی تا دیاژنز عمیق است (Longman 1980; Tucker and Wright 1990).

سیمانی شدن

این فرآیند یکی از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنتیکی در سازند مطالعه‌شده است که به مسدود شدن منافذ اولیه و دیاژنتیکی منجر شده است. منافذ بین ذره‌ای، درون اسکلتی، قالبی و شکستگی در بسیاری از موارد به‌طور کامل یا جزئی با سیمان مسدود شده‌اند. در سازند سروک، عمده‌ترین انواع سیمان‌های شناخته‌شده عبارت‌اند از:

سیمانی شدن حاشیه‌ای هم‌ضخامت^۳

سیمان‌های هم‌ضخامت (شکل ۳ D) به‌صورت لایه‌های نازک و یکنواختی از کریستال‌های سیمان (کلسیت و آراگونیت)، اطراف دانه‌ها به وجود می‌آیند (Roehl and Choquette 2012). در سازند سروک، سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت در رخساره‌های پراثرژی شول و در اطراف دانه‌های اسکلتی و پلوئیدها مشاهده می‌شود.

سیمانی شدن هم‌بعد^۴

منظور از هم‌بعد (شکل ۳ E)، شکل بلورهای سیمان کلسیت اسپاری است که نسبت طول به عرض در آنها نسبتاً مشابه است (Tucker and Wright 1990). در سازند سروک، این سیمان‌ها عمدتاً قالب‌های اسکلتی انحلال‌یافته یا حجرات درون اسکلتی را پر کرده‌اند.

سیمانی شدن اسپاری درشت (بلوکی)^۵

سیمان درشت اسپاری که به نام سیمان بلوکی نیز شناخته می‌شود، بلورهای درشت کلسیت‌اند که معمولاً حفرات غاری و قالب‌های بزرگ را در توالی‌های کربناته پر می‌کنند (شکل ۳ F). سیمان‌های کلسیتی متشکل از بلورهای متوسط تا درشت‌دانه (از ده‌ها میکرون تا چند میلی‌متر) بدون جهت‌گیری ترجیحی، سیمان بلوکی شناخته می‌شوند (Flügel 2013). در سازند سروک، سیمان‌های کلسیتی بلوکی عمدتاً به‌صورت پرکننده حفرات بزرگ انحلالی و شکستگی‌ها مشاهده می‌شوند.

سیمانی شدن کلسیت هم‌محور (رشد بیش از حد کلسیت)^۶

رشد اضافی کلسیت در اطراف یک دانه میزبان ساخته‌شده با یک بلور منفرد (معمولاً قطعات خارپوست کلسیت با منیزیم بالا)، سیمان هم‌محور (شکل ۳ G) شناخته می‌شوند (Roehl and Choquette 2012). این نوع سیمان در رخساره‌های دریای باز سازند سروک در اطراف قطعات خارپوستان مشاهده می‌شود.

فشردگی

این مطالعه نشان می‌دهد توالی مطالعه‌شده در سازند سروک، به‌شدت تحت تأثیر فشردگی، در حین و پس از دفن (عمق دفن فعلی حدود ۳ کیلومتر) در چاه مطالعه‌شده قرار گرفته

⁴ Equant Sparry

⁵ Coarse sparry (blocky)

⁶ Syntaxial

¹ Pseudo-sparite

² Micro-spar

³ Isopachous

است. ویژگی‌های فشردگی این سازند به دو دسته اصلی طبقه‌بندی می‌شود:

فشردگی مکانیکی

فشردگی مکانیکی به جهت‌گیری، تغییر شکل و شکستگی دانه‌ها در نتیجه افزایش استرس در محیط‌های دفن نسبتاً کم‌عمق اشاره دارد. در اینتروال مطالعه‌شده در سازند سروک، این فرآیند عمدتاً در رخساره‌های دانه‌غالب از ریف - واریزه‌های ریفی و ساختارهای شول، به صورت تغییر شکل و شکستگی دانه‌ها ثبت شده است. محدوده عمق از فشردگی مکانیکی به عوامل مختلفی از جمله بافت رخساره، کانی‌شناسی، محتوای رس، تخلخل و عوامل دیگر بستگی دارد (Revil et al. 2002). با این حال، این فرآیند معمولاً درست پس از ته‌نشست رسوبات (شکل ۳ H)، تا عمق دفن ۱ تا ۲ کیلومتری، رخ می‌دهد.

فشردگی شیمیایی

فرآیند فشردگی شیمیایی (که با عنوان انحلال فشاری نیز شناخته می‌شود)، یکی از اصلی‌ترین فرآیندها، از فرآیندهای دیاژنتیکی در قلمروهای دفن عمیق است. این فرآیند به تشکیل محصولات فشردگی شیمیایی، شامل رگچه‌های انحلالی (شکل ۳ J) و استیلولیت‌ها (شکل ۳ I) منجر می‌شود. در سازند سروک، هم استیلولیت‌ها و هم رگچه‌های انحلالی، محصولات مهم دیاژنتیکی دیده می‌شوند. با این حال، رگچه‌های انحلالی بیشتر شایع‌اند و در بسیاری از مواقع در رخساره‌های تحت سلطه گل (مادستون و وکستون) تشکیل شده‌اند. استیلولیت‌ها عمدتاً در رخساره‌های دانه‌پشتیبان ثبت شده‌اند.

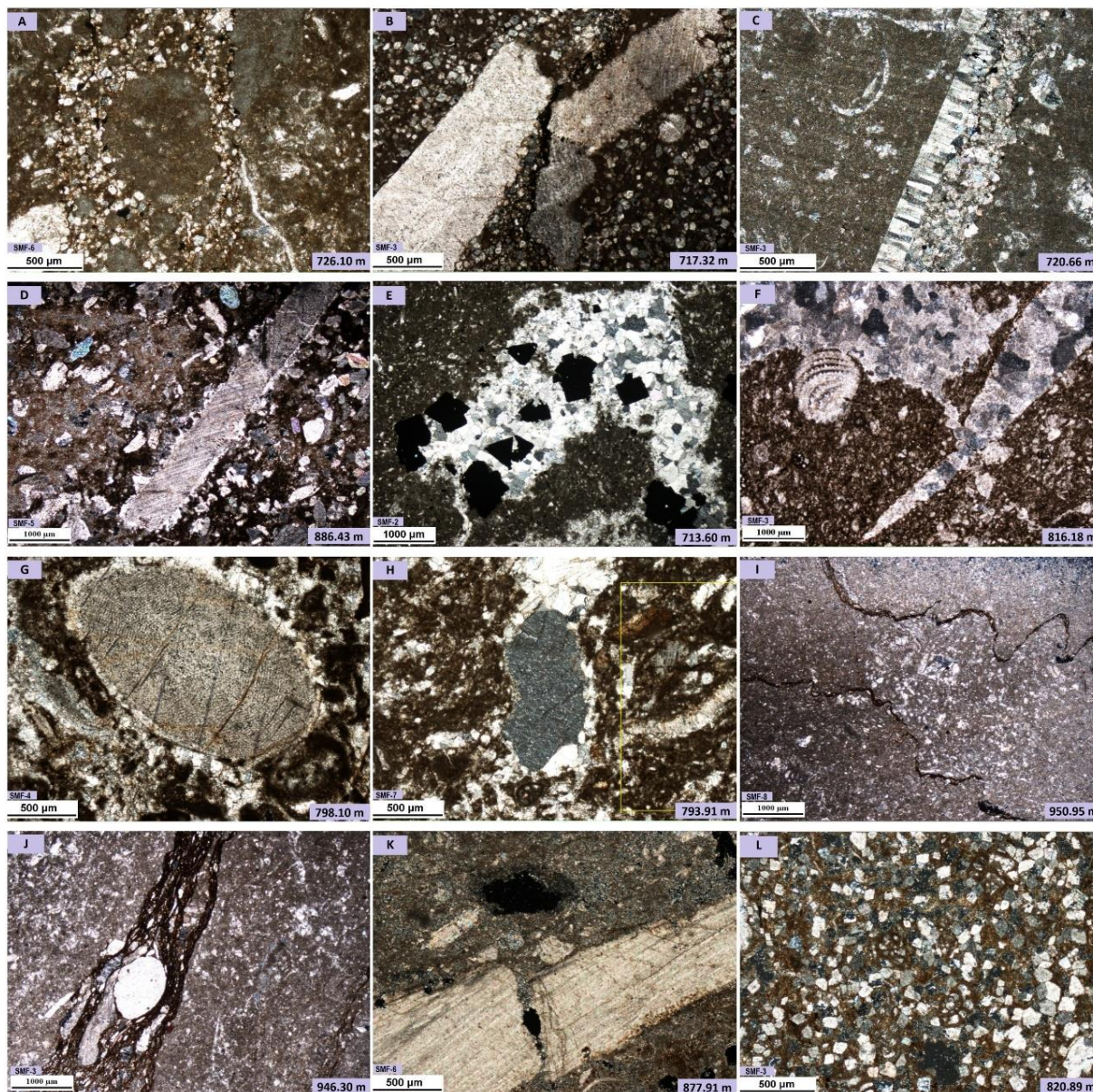
شکستگی

شکستگی‌ها، ویژگی‌های مهم پس از رسوب‌گذاری (دیاژنتیکی) در سازند سروک، در چاه مطالعه‌شده ثبت شده‌اند. موارد زیادی وجود دارد که شکستگی‌ها با سیمان‌های کلسیتی (به‌طور کامل یا جزئی) پر شده‌اند. شکستگی‌های باز نیز وجود دارد. شکستگی‌های ریز در مقاطع نازک، دیده می‌شوند (شکل ۳ K).

دولومیتی شدن

با در نظر گرفتن مدل‌های مختلف دولومیتی شدن، دولومیت‌های سازند سروک همگی دولومیت‌های مرتبط با استیلولیت‌اند که از مدل‌های رایج دولومیتی شدن در توالی‌های کربناته کرتاسه در خاورمیانه به شمار می‌روند (Alsharhan and Nairn 1997). غلبه رخساره‌های تحت سلطه گل و عمق بیشتر دفن، باعث شدت بیشتر استیلولیتی شدن و دولومیتی شدن مربوط به استیلولیت در بازه مطالعه‌شده، شده است (شکل ۳ L). این فرآیند دیاژنتیکی در رخساره‌های گل‌پشتیبان به توسعه توالی‌های مخزنی با کیفیت بالا منجر شده است (Rahimpour-Bonab et al. 2012b).

منبع اصلی یون منیزیم برای این دولومیتی شدن، منیزیم آزادشده از قطعات اسکلتی با کانی‌شناسی اولیه کلسیت پر منیزیم (HMC) نظیر خارپوستان است. در بخش‌هایی از زاگرس که دولومیتی شدن گسترده در توالی‌های رسوبی کرتاسه بالایی (از جمله سازند سروک) در رخنمون‌ها مشاهده شده است، منشأ تأمین یون منیزیم را به فرارانش افیولیت‌ها در حاشیه قاره‌ای صفحه عربستان و ایران مرکزی در دوره کرتاسه پسین نسبت داده‌اند (Alsharhan 1988; Aqrabi 1988; Hood et al. 2004; Lapponi et al. 2011).



شکل ۳ - تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی از فرآیندهای دیاژنزی با تأثیر ناچیز از اقلیم در سازند سروک (A) - میکربیتی شدن، زیست‌آشفستگی (B) - نوشکلی (C) - سیمانی شدن که خود شامل چهار حالت مختلف: حاشیه‌ای هم‌ضخامت (D)، هم‌بعد (E)، اسپاری درشت (بلوکی) (F) و کلسیت هم‌محور (رشد بیش از حد کلسیت)؛ (G) - فشردگی که شامل فشردگی مکانیکی (H) و شیمیایی (I, J) است؛ شکستگی (K) و دولومیتی شدن (L).

Fig 3- Photomicrographs of diagenetic features with lesser effects from climate in the Sarvak Formation. A- bioturbation, B- neomorphism, C- cementation including isopachous (D), equant (E), blocky (F), and syntaxial calcite (G) cements. H- mechanical compaction, I-J- chemical compaction, K- fracturing, L- dolomitization.

کربناته‌اند، تنوع کانی‌شناسی در آنها کم و حضور کانی‌های خشکی‌زاد در آنها، نشان‌دهنده رخداد دیاژنز تحت‌الجوی و فعالیت سیالات مربوطه است. از طرف دیگر با توجه به

آنالیزهای پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی

در مطالعه حاضر، تعداد ۹ نمونه برای آنالیز XRD انتخاب شده است. با توجه به اینکه سنگ‌های مطالعه‌شده به‌طور کلی

مطالعه شده است. مقدار اندکی کوارتز نیز در همه نمونه‌ها وجود دارد که حضور آن در رخساره‌های مختلف به میزان کم، حاکی از اولیه بودن آن است. بنابراین نتایج حاصل از XRD تا حدودی در بازشناسی نمونه‌های مناسب، رهنمون است. به‌طور کلی این نتایج حاکی از غلبه کانی‌شناسی کلسیت کم‌منیزیم (مشابه دریا‌های کرتاسه) و همچنین مبین پتانسیل دیاژنزی اولیه کم این نهشته‌هاست. نتایج آنالیزهای اشعه ایکس برخی از نمونه‌ها در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۱).

مطالعات پتروگرافی انجام شده، بیشتر دولومیت‌های موجود در سازند مطالعه شده منشأ دفنی دارند. نتایج آنالیز XRD و ترکیب کانی‌شناسی به دست آمده، مبین وقوع دیاژنزی شدید تحت‌الجوی در برخی نمونه‌هاست. در این نمونه‌ها عملکرد دیاژنزی شدید تحت‌الجوی تحت اقلیم گرم و مرطوب دوره کرتاسه، موجب هوازگی شدید کربنات‌ها شده و کانی‌های رسی مانند ایلیت، مونت موریونیت و کائولینیت به وجود آمده‌اند. بنابراین حضور این کانی‌ها در برخی افق‌ها، خود نشانگر مناسبی درباره رخنمون یافتن و خروج از آب واحدهای مدنظر در میدان

جدول ۱- خلاصه فازهای کانیایی شناسایی شده بر مبنای نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس در نمونه‌های سازند سروک

Table 1- Summary of mineral phases detected in the Sarvak Formation through XRD analysis

شماره نمونه	عمق (متر)	کوارتز (%)	کلسیت (%)	هورنبلند (%)	دولومیت (%)	گوتیت (%)	کائولینیت (%)	ایلیت / میکا (%)	پیریت (%)	مونت موریلونیت (%)
۱	۶۲۰,۷۰						*	*		*
۲	۷۳۵,۶۰						*			*
۳	۷۳۵,۶۰	۱۰	۷	۲		۳	۹			۶۵
۴	۷۳۸,۲۵						*	*		*
۵	۷۳۸,۲۵	۱	۹۴				۱	۱	۱	۱
۶	۸۱۱,۸۵						*	*		
۷	۸۱۱,۸۵		۹۴		۳		۱	۱		
۸	۹۴۵,۳۰						*	*		
۹	۹۴۵,۳۰	۳	۴۰		۴۵		۲	۸		

عناصر کمیاب

از مهم‌ترین عناصر کمیاب برای مطالعه سیستم‌های کربناته رسوبی، به Sr ، Rb ، Fe ، Na ، Ca ، Mn ، Mg اشاره می‌شود که از این میان Sr و Na ، Mn کارایی بیشتری برای مطالعات دیاژنزی دارند (شکل ۴). در ادامه روندهای تغییرات عناصر در توالی‌های مطالعه شده از سازند سروک را توصیف می‌کنیم.

منیزیم (Mg)

دامنه تغییرات عنصر منیزیم در چاه مطالعه شده، از ۳۰۳

پی‌پی‌ام در عمق ۷۴۷,۴۳ متری تا ۱۰۳۰۱ پی‌پی‌ام در عمق ۸۳۵,۱۰ متری است که میانگین تغییرات آن ۵۳۰۲ پی‌پی‌ام است. عنصر منیزیم در بخش زیرین سکانس سنومانین، ابتدا یک روند کاهشی و سپس افزایشی را نشان می‌دهد. این تغییرات به همین شکل در بخش بالایی سکانس سنومانین تکرار می‌شود تا در بالاترین بخش این سکانس، یک قلعه افزایشی در عمق ۸۳۵,۱۰ متری به میزان ۱۰۳۰۱ پی‌پی‌ام را به ثبت می‌رساند (شکل ۴)؛ سپس این روند کاهشی است و تا مرز سنومانین - تورونین (CT-ES) در تورونین، ابتدا یک

می‌دهد؛ سپس یک روند نسبتاً کاهشی را تا انتهای تورونین دنبال می‌کند (شکل ۴).

آهن (Fe)

دامنه تغییرات عنصر آهن در چاه مطالعه‌شده، از کمتر از ۱۰٪ کل حجم سنگ در عمق ۷۴۷,۴۳ متری تا ۲۷۲۱۷ پی‌پی‌ام در عمق ۷۳۵,۳ متری است که میانگین تغییرات آن حدوداً ۲۳۷۶۴ پی‌پی‌ام است. عنصر آهن در طول سنومانین، یک روند تقریباً ثابت و نزدیک به ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام را به ثبت رسانده است؛ سپس در طول تورونین، قله‌های افزایشی و کاهشی متعددی را نشان می‌دهد. یک مقدار مشخص افزایش عنصر آهن در محل ناپیوستگی‌های فرسایشی مشاهده می‌شود (شکل ۴).

روبیدیم (Rb)

دامنه تغییرات عنصر روبیدیم در چاه مطالعه‌شده، از ۳۴ پی‌پی‌ام در عمق ۷۴۲,۶۰ متری تا ۴۳ پی‌پی‌ام در عمق ۸۴۲,۶۰ متری است که میانگین تغییرات آن ۳۸,۵ پی‌پی‌ام است. عنصر روبیدیم در بخش پایینی سکانس سنومانین، ابتدا یک روند کاهشی تا عمق ۹۵۰ متری و سپس یک روند افزایشی را تا انتهای این سکانس نشان می‌دهد. این عنصر در طول تورونین، چند قله واضح کاهشی را در اعماق ۷۳۱, ۷۳۷ و ۷۴۳ متری به ثبت رسانده است. مقدار عنصر روبیدیم در محل ناپیوستگی‌های فرسایشی، افزایش درخور توجهی را نشان می‌دهد (شکل ۴).

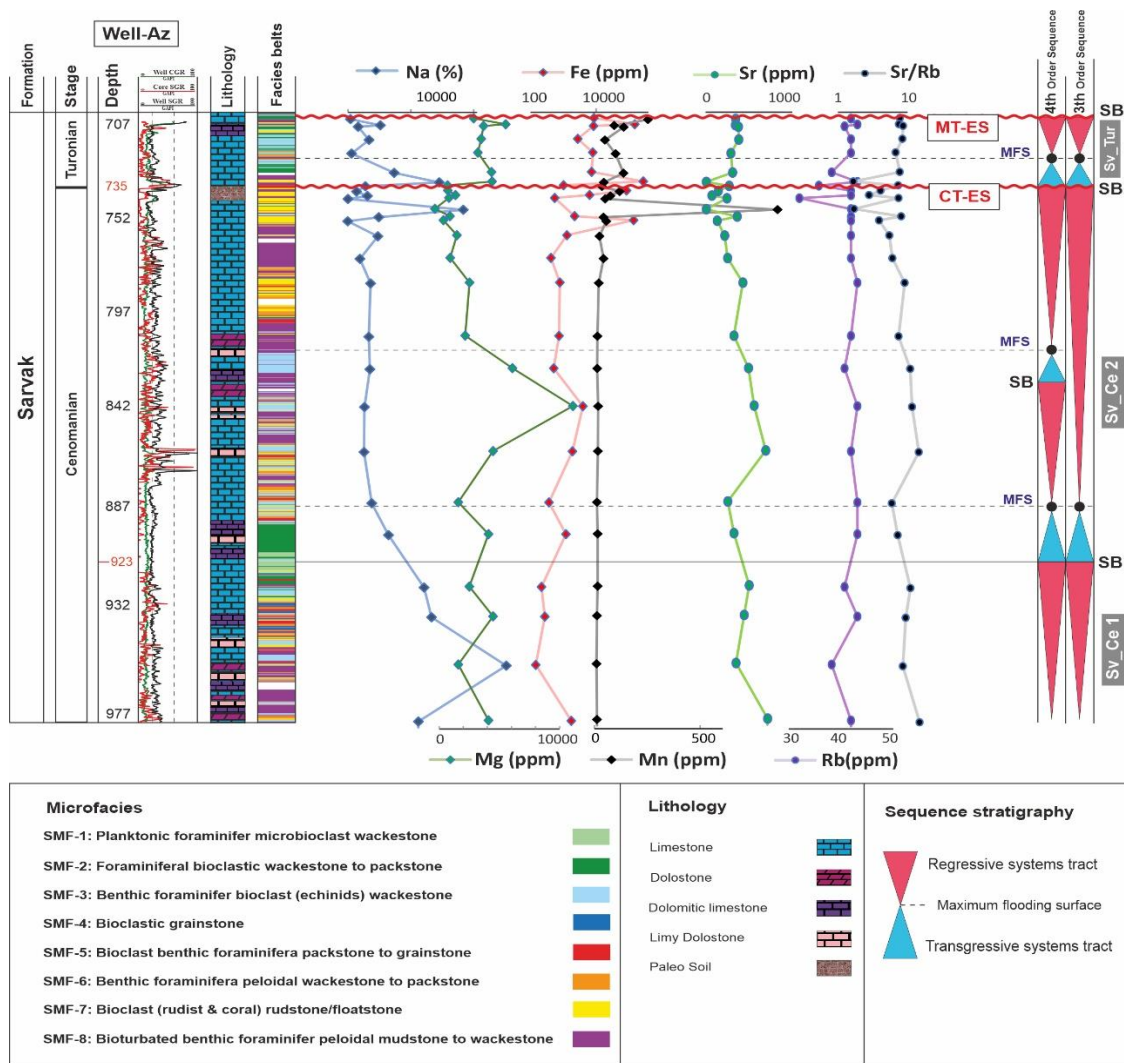
روند کاهشی (با آشفتگی حاصل از ناپیوستگی) و سپس یک روند افزایشی را در طول تورونین نشان می‌دهد.

منگنز (Mn)

دامنه تغییرات عنصر منگنز در چاه مطالعه‌شده، از ۵ پی‌پی‌ام در عمق ۹۵۰,۰۴ متری تا ۸۰۹ پی‌پی‌ام در عمق ۷۴۷,۴۳ متری است که میانگین تغییرات آن ۴۰۷ پی‌پی‌ام است. عنصر منگنز در طول سنومانین، یک روند ثابت نزدیک به صفر پی‌پی‌ام را نشان می‌دهد و سپس در شروع تورونین، ابتدا یک مقدار افزایشی بسیار واضح را در عمق ۷۴۷,۴۳ متری به میزان ۸۰۹ پی‌پی‌ام به ثبت می‌رساند (این تغییر ناگهانی، مرز ناپیوستگی را نشان می‌دهد). در ادامه نیز این عنصر، یک روند تقریباً ثابت و کمی افزایشی را تا انتهای تورونین نشان می‌دهد (شکل ۴).

سدیم (Na)

دامنه تغییرات عنصر سدیم در چاه مطالعه‌شده، از ۷۹۱ پی‌پی‌ام در عمق ۷۵۲,۵۶ متری تا ۱۵۴۳۹ پی‌پی‌ام در عمق ۹۵۰,۰۴ متری است که میانگین تغییرات آن ۱۵۴۳۹ پی‌پی‌ام است. عنصر سدیم در بخش پایینی سکانس سنومانین، ابتدا یک قله افزایشی را در عمق ۹۵۰,۰۴ متری به میزان ۸۱۱۵ پی‌پی‌ام در چاه مطالعه‌شده به ثبت می‌رساند؛ سپس در تمام طول سنومانین، یک روند کاهشی را نشان می‌دهد. این عنصر در ابتدای تورونین و در نزدیک مرز ناپیوستگی، دو قله افزایشی واضح را در ابتدا در عمق ۷۴۷ متری، به میزان ۱۱۴۶۹ پی‌پی‌ام و سپس در عمق ۶۳۱ متری، به میزان ۱۱۵۱۲ پی‌پی‌ام نشان



شکل ۴- ستون جامع ژئوشیمیایی سازند سروک در چاه مطالعه‌شده

Fig 4- Comprehensive geochemical log of the Sarvak Formation in the studied field.

استرانسیم (Sr)

در میزان عنصر استرانسیم کاهش می‌یابد و در حدود ۵۰۰ پی‌پی‌ام، ثابت می‌شود. کاهش مشخص در مقادیر عنصر استرانسیم، در محل ناپیوستگی‌های فرسایشی مشاهده می‌شود (شکل ۴).

دامنه تغییرات عنصر استرانسیم در چاه مطالعه‌شده، از ۲۸ پی‌پی‌ام در عمق ۸۱۸,۶۰ متری تا ۷۰۷ پی‌پی‌ام در عمق ۶۰۴,۴۷ متری است که میانگین تغییرات آن ۳۶۷,۵ پی‌پی‌ام است. عنصر استرانسیم یک روند تقریباً کاهشی را در بخش پایینی سکانس سنومانین و سپس یک روند افزایشی را در بخش بالایی سکانس سنومانین نشان می‌دهد. دامنه تغییرات عنصر استرانسیم در سکانس سنومانین، به‌طور کلی بسیار کم است؛ سپس در ابتدای تورونین (در محل ناپیوستگی)، آشفته‌گی‌ها در مقادیر عنصری استرانسیم شروع می‌شود و در بخش انتهایی تورونین در چاه مطالعه‌شده، دوباره این تغییرات

بحث و تفسیر

توالی پاراژنی

با مروری بر مطالعات رسوب‌شناسی قبلی بر این سازندها در فروافتادگی دزفول و ادغام آنها با نتایج مطالعه حاضر، بازسازی توالی پاراژنتیک و تاریخچه دیاژن سازند سروک انجام شده است. با توجه به نوسانات سطح دریاها و

می‌کنند اقلیم در آن زمان گرم و مرطوب بوده است. وقوع انحلال وسیع در سازند سروک، وجود خاک‌های دیرینه از نوع بوکسیت و لاتریت و همچنین فراوانی کائولینیت و مونت‌موریلونیت در سازند سروک و همچنین مشاهده سیلیسی شدن که نشان‌دهنده وقوع شست‌وشوی شدید در این سازند است و باعث جانشینی سیلیس شده است، همگی نشانگر تأثیر اقلیم گرم و مرطوب بر سازند سروک، در زمان رخمنون یافتگی‌اند. چنین شرایط اقلیمی کاملاً با موقعیت جغرافیایی قدیمه حاشیه شمال شرقی صفحه عربی در بازه زمانی سنومانین - تورونین مطابقت دارد (Sharland et al. 2001).


شواهد عنصری

منیزیم (Mg)

عنصر منیزیم در مرزهای سکانسی افزایش‌های واضحی را نشان می‌دهد که بیانگر پاسخ عنصر منیزیم به ناپیوستگی‌هاست. رفتار منیزیم در مرزهای سکانسی تحت تأثیر نوع رخساره قرار دارد؛ برای مثال، کاهش شدید Mg در مرز توالی سنومانین-تورونین و تورونین میانی (در چاه مطالعه‌شده)، به محتوای بالای HMC (کلسیت با منیزیم بالا) رخساره‌های شول مرکزی (بیشتر HMC) و افزایش میزان منیزیم به رخساره‌های رمپ میانی / خارجی با محتوای بالاتر LMC (کلسیت کم منیزیم) نسبت داده می‌شود. این شواهد با دگرسانی کربنات‌ها به وسیله آب‌های جوی، به افزایش میزان عنصر Mg در LMC یا آراگونیت در مقایسه با کاهش میزان آن در HMC منجر می‌شود (Brand and Veizer 1980). همچنین دولومیتی شدن یکی از فرآیندهای مهم دیاژنزی تأثیرگذار بر توالی‌های کربناته سازند سروک در چاه مطالعه‌شده، بر محتوای عنصری منیزیم اثرگذار است. انطباق مثبت بین افزایش عنصر منیزیم در افق‌های دولومیتی‌شده اسن سازند، به‌خوبی نشانگر کنترل این فرآیند است.

فعالیت‌های تکتونیکی در مقیاس محلی و منطقه‌ای در طول سنومانین - تورونین، سازند سروک در نواحی فروافتادگی دزفول و دشت آبادان، تاریخچه دیاژنتیکی پیچیده‌ای را تجربه کرده است. همچنین وجود برخی سطوح رخمنون دیرینه در داخل و در رأس سازند سروک، تکامل دیاژنتیکی این سازند را پیچیده‌تر کرده‌اند (برای جزئیات بیشتر به Rahimpour-Bonab et al. 2013 مراجعه کنید). براساس وجود یا وجودداشتن ارتفاعات دیرینه، تعداد این سطوح رخمنون‌یافتگی و شدت تغییرات دیاژنتیکی مربوط به آنها در مناطق مختلف زاگرس متفاوت است. وجود داده‌های مغزه‌پیوسته و شواهد کافی از قسمت بالایی سازند سروک در چاه مطالعه‌شده، امکان بحث درباره این سطوح رخمنون دیرینه را فراهم می‌کند. بر این اساس، شواهدی از انحلال و سیمانی شدن جوی همراه با برشی شدن و گسترش افق‌های نازک خاک قدیمه در دو بازه چینه‌شناسی، در بالاترین قسمت این سازند ثبت شده است. این توالی‌های چینه‌شناسی حاوی رخساره‌های شول پرانرژی و ریف - واریزه‌های ریفی، انواع رخساره‌های غالب و حجم‌های بالایی (۲۰ تا ۳۰ درصد) از حفرات انحلالی (مناذ قالبی و حفرات غاری)، انواع منافذ غالب در سازند سروک‌اند. شدت دیاژنزی جوی در زیر ناپیوستگی مرز سنومانین - تورونین بیشتر است. در زیر مرز تورونین میانی، به‌علت گسترش رخساره‌های گل غالب، امکان گردش آزادانه سیال جوی فراهم نیست و بنابراین آثار دیاژنزی مرتبط با آن نیز، فراوانی و شدت کمتری دارند. انحلال در این توالی‌ها بیشتر در مقیاس میکروسکوپی رخ داده است (سیستم دیاژنزی نیمه‌بسته). همین عامل نیز سبب شده است تا آثار ژئوشیمیایی مرتبط با ناپیوستگی تورونین میانی در مقایسه با ناپیوستگی مرز سنومانین - تورونین خفیف‌تر باشند.

براساس روابط بافتی ویژگی‌های دیاژنتیکی و کمک‌گرفتن از مطالعات قبلی سازند سروک، توالی پاراژنتیکی برای این سازند در (شکل ۵) بازسازی و ارائه شده است. بر این اساس، فرآیندهای دیاژنتیکی این سازند به چهار قلمروی دیاژنتیکی دریایی، جوی، دفنی کم‌عمق و دفنی عمیق تقسیم می‌شود. فرآیندهای دیاژنزی جوی در سازند سروک ثابت

DIAGENETIC FEATURES	EARLY DIAGENESIS		LATE DIAGENESIS	
	Marine	Meteoric	Shallow burial	Deep burial
Micritization				
Isopachous cementation				
Bioturbation				
Meteoric dissolution				
Mosaic or drusy cementation				
Recrystallization (Neomorphism)				
Shallow burial cementation				
Mechanical compaction				
Chemical compaction				
Deep burial cementation				
Burial dolomitization				
Fracturing				
DOMINANT PORE TYPES	Intergrain Growth Framework Intragrain	Vuggy Microporosity Moldic	Microporosity Vuggy	Microporosity Fracture Styloitic Vuggy
POROSITY TREND				

شکل ۵ - توالی پاراژنزی سازند سروک در میدان مطالعه شده

Fig 5- Paragenetic sequence of the Sarvak Formation in the studied field

منگنز (Mn)

ساختار پوسته متخلخل خارجی دوکفه‌ای رودیست Mn^{2+} را می‌گنجاند و به افزایش شدید عنصر منگنز در توالی‌های مطالعه شده منجر می‌شود (Brand and Veizer 1980).

سدیم (Na)

تغییرات عنصر سدیم در سرتاسر توالی مطالعه شده، مشاهده شدنی است و عمدتاً با تغییرات رخساره‌ای کنترل می‌شود. قله‌های افزایشی واضحی که سدیم در مرزهای سکانسی ثبت کرده است، در واقع نشان‌دهنده واکنش این عنصر به رخنمون سطحی است. عنصر سدیم در بخش پایینی سکانس سنومانین، یک افزایش واضح را نشان می‌دهد که احتمالاً نتیجه تغییرات رخساره‌ای است و از آن پس، در تمام طول سنومانین به‌طور یکنواخت، یک روند کاهش را تا مرزهای سکانسی نشان می‌دهد (Brand and Veizer 1980).

به دلیل تغییرات ایجاد شده به وسیله آب‌های جوی، انتظار می‌رود که میزان عنصر استرانسیوم (در مرزهای ناپیوستگی) کاهش و در مقابل، میزان عناصر آهن و منگنز افزایش یابد (Brand and Veizer 1980). همان‌طور که در ستون جامع ژئوشیمی نیز مشخص است، این افزایش در عنصر منگنز در زیر مرزهای ناپیوستگی CT-ES و mT-ES به ثبت رسیده است. تغییرات غلظت عنصر منگنز جدا از رخساره، سطوح سکانسی و سیستم ترک‌ها و حاصل تغییرات شرایط احيایی محیط است. علاوه بر این، افزایش محسوس در میزان عنصر منگنز مربوط به رخساره‌هایی است که در آنها حفرات غاری و قالبی به صورت اولیه وجود داشته و فضایی را برای رسوب‌گذاری کلسیت کم‌میزیم دیاژنزی (dLMC) فراهم کرده است. در شرایط رسوب‌گذاری دفنی، رسوب کلسیت در

آهن (Fe)

می‌یابد. با این حال در سیستم‌های باز، Sr تمایل به کاهش در همه اجزا دارد. بنابراین به‌طور معمول انتظار می‌رود غلظت عنصر استرانسیوم در سنگ‌های آهکی دریایی در زیر سطوح رخنمون کاهش یابد؛ زیرا غلظت عنصر استرانسیوم در آب‌های جوی (0.01-0.1 ppm) در مقایسه با سنگ‌آهک‌های دریایی (9400-1000 ppm) کمتر است (Brand and Veizer 1980). همین کاهش در میزان عنصر استرانسیوم به‌خوبی در زیر سطوح ناپیوستگی سازند سروک (به‌خصوص ناپیوستگی مرز سنومانین - تورونین) مشاهده‌شده است.

نمودار Mg در برابر Mn

این نمودار برای نمونه‌های سازند سروک در چاه مطالعه‌شده ترسیم شده است که مبین عملکرد دیاژنز در نمونه‌ها به شدت‌های مختلف است (شکل ۶). در این نمودار NCR مبین تغییرات نسبت این دو عنصر در طی دیاژنز قطعات آراگونیتی است. نظر به غلبه کانی‌شناسی کلسیت در سازند مطالعه‌شده، این محدوده‌ها فقط برای مقایسه ارائه شده‌اند تا ارزیابی کلی درباره شدت اثر دیاژنز بر این نمونه‌ها به دست آید. همان‌گونه که مشخص است، این نمودار نیز مبین عملکرد دیاژنز به درجات مختلف بر نمونه‌های سازند سروک است (Brand and Veizer 1980). تغییر محتوای عنصری کربنات‌های دگرسان‌شده سازند سروک در زیر ناپیوستگی‌های فرسایشی (به‌خصوص ناپیوستگی مرز سنومانین - تورونین)، حاکی از تأثیرپذیری شدید آنها از سیالات جوی در یک سیستم دیاژنزی باز، با نسبت آب به سنگ بالا و نرخ بالای گردش سیالات است. همین مسئله به‌خوبی با محدوده قرارگیری نمونه‌های این سازند بر نمودار متقاطع منگنز در برابر منیزیم مطابقت می‌کند (شکل ۶).

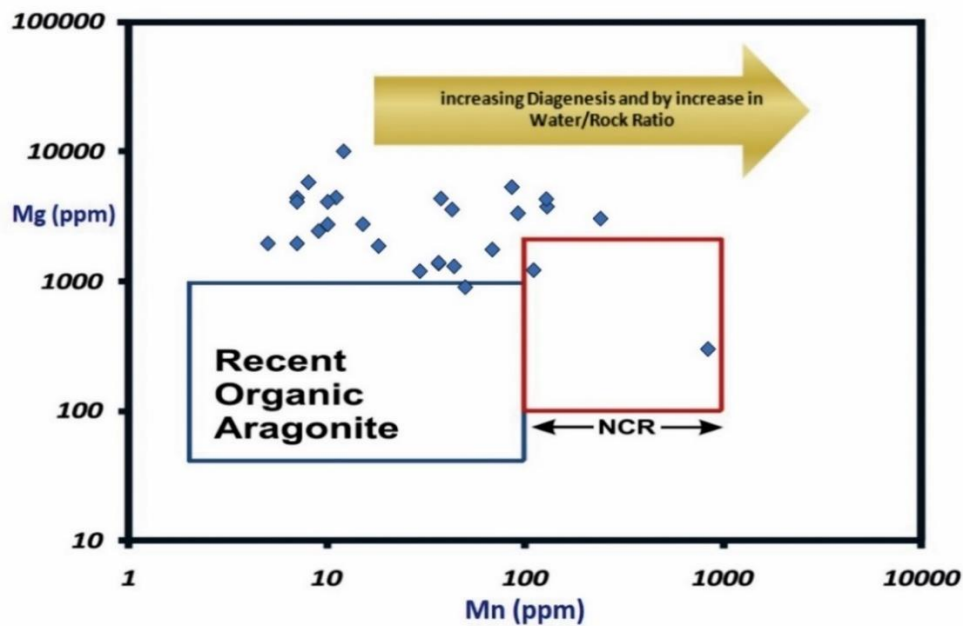
همان‌طور که در بخش نتایج اشاره شد، مقادیر عنصر آهن از قاعده سازند سروک به سمت مرز سنومانین - تورونین از ۹۳۱ تا ۲۷۲۱۷ ppm افزایش یافته است. دلیل این افزایش، وقوع فرآیندهای دیاژنزی جوی مرتبط با خروج از آب مرز سنومانین - تورونین است که باعث شده است آب‌های قاره‌ای غنی از آهن، بر سازند کربناته سروک اثر بگذارند و مقادیر عنصر آهن را در توالی‌های دگرسان‌شده تحت تأثیر دیاژنز جوی، افزایش دهند (Brand and Veizer 1980).

رویدیم (Rb)

میزان عنصر رویدیم در توالی‌های کربناته، عمدتاً تحت تأثیر رخنمون‌یافتگی است. در سازند سروک، توالی‌های رسوبی واقع در زیر ناپیوستگی تورونین میانی، میزان رویدیم کمتری را در مقایسه با مرز سنومانین-تورونین نشان می‌دهند. میزان رویدیم بالاتر در ناپیوستگی سنومانین-تورونین به‌گونه‌ای تفسیر می‌شود که نسبت آب به سنگ بالاتر را در این ناپیوستگی نسبت به تورونین میانی منعکس کند (سیستم دیاژنتیکی باز) و همچنین حفظ‌شدگی لایه‌های دگرسان‌شده در زیر سطوح رخنمون را نشان می‌دهد. افزایش غلظت رویدیم احتمالاً به ورود کانی‌های رسی در مرزهای سکانسی مرتبط است (Brand and Veizer 1980).

استرانسیوم (Sr)

زمانی که کلسیت کم‌منیزیم در محیط دریایی در حال غنی شدن از عنصر استرانسیوم است، هم‌زمان کلسیت با منیزیم بالا در حال تخلیه میزان عنصر استرانسیوم است. بنابراین در سیستم‌های دیاژنتیکی نیمه‌بسته، عنصر استرانسیوم در HMC افزایش می‌یابد، اما در اجزای LMC نسبت به ماتریکس کاهش



شکل ۶- نمودار تغییرات منگنز در برابر منیزیم در سازند سروک همان‌گونه که مشخص است، ترکیب عنصری نمونه‌ها حاکی از تأثیرپذیری آنها از دیاژنز در یک سیستم دیاژنزی باز، با نسبت آب به سنگ بالاست.

Fig 6- Mn vs. Mg cross plot for the analyzed samples of the Sarvak Formation. As shown, elemental composition of samples indicates an open diagenetic system with high water-to-rock ratios.

تطابق ژئوشیمیایی

مرز CT-ES و mT-ES این قله‌های افزایشی مشاهده‌شده‌اند، ولی در چاه AT این قله افزایشی فقط در زیر مرز ناپیوستگی mT-ES مشاهده می‌شود. مقادیر عنصر منگنز نوسانات درخور توجهی را در چاه AT در زیر و بالای مرز CT-ES نشان می‌دهد که این نوسانات در نزدیکی مرز mT-ES پایدار می‌شود. در چاه AZ، در طول سنومانین مقادیر عنصر منگنز ثابت و تقریباً نزدیک به صفر است و فقط در زیر مرز CT-ES یک قله کاملاً واضح افزایشی را نشان می‌دهد که احتمال می‌رود با رخنمون دیرینه ارتباط داشته باشد.

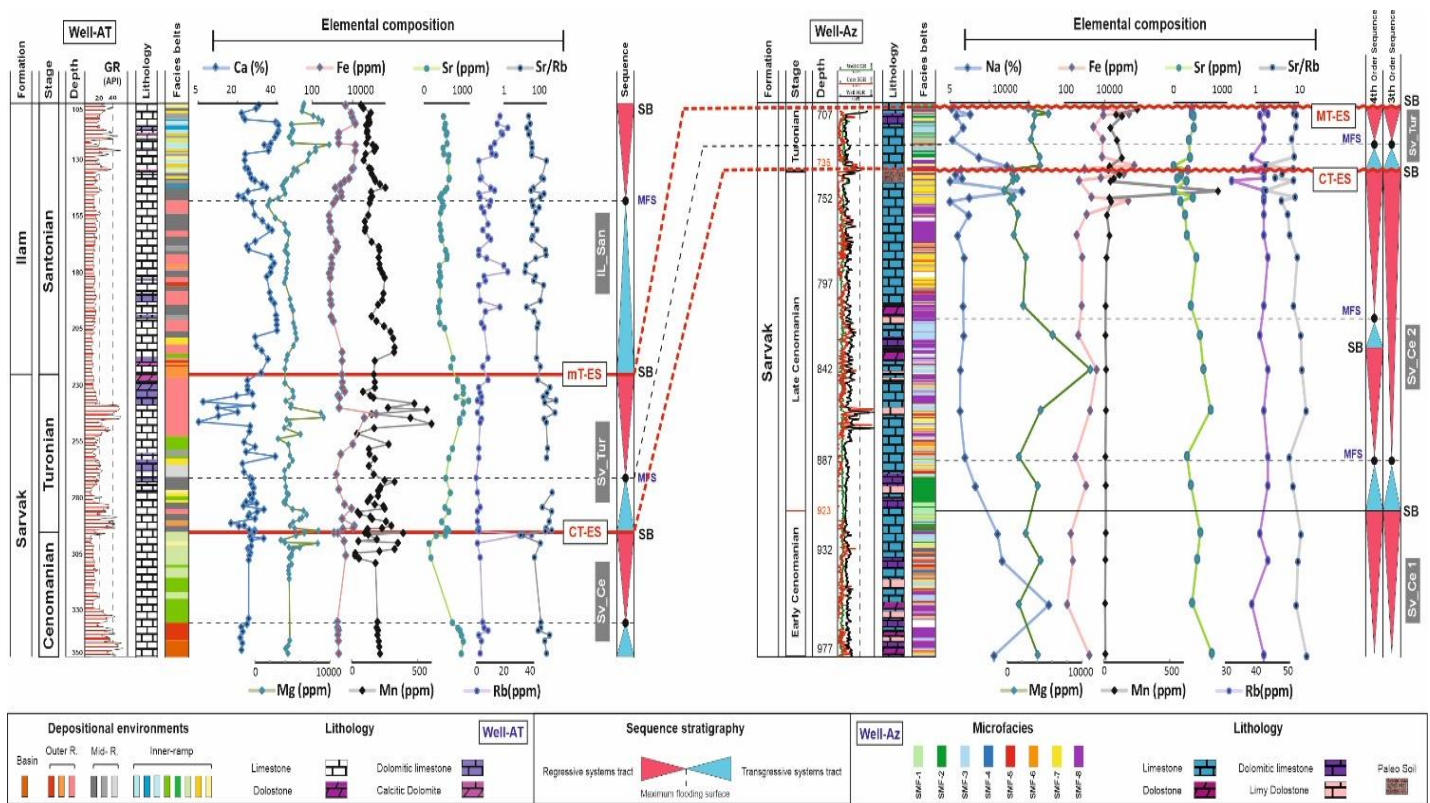
عنصر استرانسیوم در هر دو چاه، روندهای مشابه باهم را نشان می‌دهند، با این تفاوت که مقادیر این عنصر و میانگین آن در چاه AZ تقریباً نصف مقادیر ثبت‌شده در چاه AT است. روندهای افزایش و کاهش در هر دو چاه، به‌صورت یکسانی ثبت شده است. کمترین مقادیر استرانسیوم در چاه AT در زیر مرز سنومانین-تورونین ثبت شده است. محتوای عنصر روبیدیم در چاه AZ، روندی تقریباً ثابت را در طول سازندهای سروک و ایلام نشان می‌دهد و فقط در زیر مرز

نتایج مطالعات عنصری انجام‌شده و یافته‌های این پژوهش با اطلاعات منتشرشده از دیگر نواحی زاگرس شامل میدان نفتی آب تیمور در فروافتادگی دزفول (Mehrabi et al. 2022a) تطابق داده شده است (شکل ۷). روند تغییرات عناصر کمیاب در این دو چاه باهم مقایسه و در شکل ۷ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقادیر Mg یک الگوی نسبتاً پایدار را در سرتاسر چاه AT نشان می‌دهد. اما این عنصر در چاه AZ (مطالعه حاضر)، با کاهش شدیدی در زیر مرزهای سکانسی روبه‌رو شده است که پاسخ این عنصر به رخنمون تحت‌الجوی در زیر مرز ناپیوستگی‌هاست. البته آثار دیاژنز جوی با یک فاصله از مرز با بیشترین شدت خود مشاهده می‌شود و میزان شدت وقوع آنها نیز درباره مرز سنومانین-تورونین بسیار بیشتر از مرز تورونین میانی است.

غلظت عنصر آهن در هر دو چاه نسبتاً پایدار است و در زیر مرزهای سکانسی، قله‌های افزایشی را نشان می‌دهد. در چاه مطالعه‌شده در پژوهش حاضر (چاه AZ)، در زیر هر دو

است (Mehrabi et al. 2022a, b). نظیر مطالعه حاضر، کائولینیت و مونت مورینیت، فازهای کانیاپی اصلی در این افق‌های خاک قدیمه گزارش شده‌اند. همچنین تصاویر SEM نیز مؤید حضور این کانی‌هایند. همچنین مطالعه ریزتخلخل‌های سازند سروک در نواحی دشت آبادان و فروافتادگی دزفول به وسیله مهرابی و همکاران (Mehrabi et al. 2020)، حاکی از گسترش تخلخل‌های میکروسکوپی در رخساره‌های گل غالب سازند سروک در سکناس تورونین این سازندند. در مطالعه حاضر نیز به بسته‌بودن سیستم دیاژنزی و انحلال‌نداشتن ماکروسکوپی در این سکناس اشاره شد. همچنین داده‌های ژئوشیمیایی نیز حاکی از تأثیرپذیری کمتر سکناس تورونین از سیالات جوی بودند.

نایبوستگی CT-ES، یک روند کاهش‌ی واضح را به ثبت رسانده است. این عنصر در چاه AT، در یک روند کلی از قائده به سمت بالای سازند ایلام افزایش می‌یابد و مقادیر عنصر رویدیم در سازند ایلام (در چاه AT)، محتوای بالاتری نسبت به سازند سروک دارد (شکل ۷). مقایسه نتایج به دست آمده از مطالعات پراش پرتو ایکس و تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی در سازند سروک در چاه مطالعه شده از ناحیه دشت آبادان با مطالعات مشابه انجام شده در نواحی مجاور در حوضه زاگرس نیز، نشانگر مشابهت‌هایی است؛ به طور مثال، ترکیب کانی‌های رسی موجود در افق‌های خاک قدیمه موجود در بخش‌های بالایی سازند سروک در مطالعات مختلفی از فروافتادگی دزفول و ناحیه فارس بررسی شده



شکل ۷ - تطابق ژئوشیمیایی براساس عناصر کمیاب در چاه مطالعه شده (AZ) و عناصر کمیاب در چاه تیمور (AT) واقع در فروافتادگی دزفول (Mehrabi et al. 2022a)

Fig 7- Geochemical correlation of the Sarvak Formation according to the elemental compositions between the studied field (AZ) and the AT well of the Dezful Embayment (Mehrabi et al. 2022a)

جمع‌بندی و نتیجه

تلفیق نتایج مطالعات پتروگرافی با داده‌های ژئوشیمیایی به دست آمده از سازند سروک در یک چاه از یکی از میدان‌های واقع در دشت آبادان، به منظور ارزیابی فرآیندهای دیاژنزی اثرگذار بر این سازند استفاده شده‌اند. مهم‌ترین نتایج به دست آمده عبارت‌اند از:

مطالعات پتروگرافی بر مغزه‌های حفاری، مقاطع نازک میکروسکوپی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی و آنالیز پراش پرتو ایکس، همگی حاکی از تأثیر فرآیندهای مختلف دیاژنزی بر سازند سروک‌اند. از این میان، فرآیندهای دیاژنزی جوی در ارتباط با ناپیوستگی‌های فرسایشی موجود در این سازند، از اهمیت بسزایی برخوردارند.

آثار دیاژنزی مرتبط با دو ناپیوستگی فرسایشی مهم در سازند سروک، شناسایی و تفکیک شده‌اند. این ناپیوستگی‌ها در مرز سنومانین - تورونین و تورونین میانی رخ داده‌اند. فرآیندهای دیاژنزی مرتبط با این دو سطح ناپیوسته، شامل انحلال گسترده جوی (کارستی شدن)، سیمانی شدن جوی، تشکیل افق‌های خاک قدیمه، برشی شدن، سیلیسی شدن، جانشینی و آغشتگی به اکسیدهای آهن‌اند. علاوه بر این، فرآیندهای دیاژنزی متعلق به قلمروهای دیاژنزی دریایی و تدفینی نیز در این سازند شناسایی شده‌اند. این فرآیندها عبارت‌اند از: میکرایتی شدن، سیمانی شدن هم‌ضخامت، فشردگی فیزیکی و شیمیایی، دولومیتی شدن، تبلور مجدد، سیمانی شدن تدفینی و شکستگی.

فرآیندهای دیاژنزی جوی گسترده در زیر ناپیوستگی‌های فرسایشی و حضورنداشتن یا شدت کمتر آنها در توالی‌های کربناته دور از ناپیوستگی‌ها، سبب ایجاد روندهای ژئوشیمیایی معین در این سازند شده است. افزایش چشمگیر عناصری نظیر آهن، روبیدیم، سدیم و منگنز و کاهش استرانسیم و منیزیم، به خوبی در زیر ناپیوستگی‌های فرسایشی مشاهده می‌شوند.

نمودارهای مقاطع ژئوشیمیایی نظیر نمودار منگنز در برابر منیزیم، حاکی از آن است که ترکیب عنصری کربنات‌های سازند سروک از سیالات جوی در یک سیستم دیاژنزی باز، با نسبت آب به سنگ بالا هستند. البته آثار دیاژنزی جوی با یک فاصله از مرز با بیشترین شدت خود مشاهده می‌شوند و میزان شدت وقوع آنها نیز درباره مرز سنومانین - تورونین بسیار بیشتر از مرز تورونین میانی است. در زیر مرز تورونین میانی، به علت گسترش رخساره‌های گل غالب، امکان گردش آزادانه سیال جوی فراهم نیست و بنابراین آثار دیاژنزی مرتبط با آن نیز فراوانی و شدت کمتری دارند. انحلال در این توالی‌ها بیشتر در مقیاس میکروسکوپی رخ داده است (سیستم دیاژنزی نیمه‌بسته). همین عامل نیز سبب شده است تا آثار ژئوشیمیایی مرتبط با ناپیوستگی تورونین میانی در مقایسه با ناپیوستگی مرز سنومانین - تورونین خفیف‌تر باشند.

توالی پاراژنزی این سازند شامل گذر از محیط‌های دیاژنزی دریایی، جوی و تدفینی کم‌عمق تا عمیق‌اند. تطابق ژئوشیمیایی چاه مطالعه‌شده با نواحی همجوار نیز نشان‌دهنده شباهت روند تغییرات عناصر کمیاب در سازند سروک‌اند. حضور این ناپیوستگی‌ها، آثار دیاژنزی مرتبط با آنها در نواحی مختلف زاگرس، شامل دشت آبادان و فروافتادگی دزفول، سبب ایجاد چنین روندهای ژئوشیمیایی مشابهی شده است.

References

- Ahr W.M. 2008. Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks. In *Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*. John Wiley and Sons, 296p.
- Alavi M. 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, 307(9): 1064-1095.
- Alsharhan A.S. 1988. A review of the Cretaceous formations in the Arabian Peninsula and Gulf: part II. Mid-Cretaceous (Wasia Group), Stratigraphy and Paleogeography. *Journal of Petroleum Geology*, 11(1): 89-112.

- from Sarvak Formation, Abadan Plain, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208:109560.
- Lapponi F. Casini G. Sharp I. Blendinger W. Fernández N. Romaine I. and Hunt D. 2011. From outcrop to 3D modelling: A case study of a dolomitized carbonate reservoir, Zagros Mountains, Iran. *Petroleum Geoscience*, 17(3): 283–307. <https://doi.org/10.1144/1354-079310-040>
- Longman M.W. 1980. Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 64(4): 461–487.
- Mehrabi H. 2023. Deposition, Diagenesis and Geochemistry of Upper Cretaceous Carbonates (Sarvak Formation) in the Zagros Basin and the Persian Gulf, Iran. *Minerals*, 13(8):1087.
- Mehrabi H. Bagherpour B. and Honarmand J. 2020. Reservoir quality and micrite textures of microporous intervals in the Upper Cretaceous successions in the Zagros area, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 192, 107292.
- Mehrabi H. Navidtalab A. Rahimpour-Bonab H. and Heimhofer U. 2022a. 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.
- Mehrabi H. Navidtalab A. Enayati A. Bagherpour B. 2022b. Age, duration and geochemical signatures of paleo-exposure events in Cenomanian–Santonian sequences (Sarvak and Ilam formations) in SW Iran: Insights from carbon and strontium isotopes chemostratigraphy. *Sedimentary Geology*, 434, 106136.
- 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.
- 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): 1-24.
- 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.
- Mohseni H. and Zeybaram Javanmard R. 2020. New data on sequence stratigraphy of the Sarvak
- Alsharhan A.S. and Nairn A.E.M. 1997. *Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East*, Elsevier, Netherlands, 843 p.
- Aqrabi A. 1988. 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.
- Bagherpour B. 2023. Paleoenvironmental significance of the carbon isotope record across the Cenomanian–Turonian transition and the Oceanic Anoxic Event 2 (OAE2) in the southeastern Neotethys, Zagros, Iran. *Cretaceous Research*, 150, 105574.
- Bathurst R.G.C. 1975. *Carbonate Sediment and Their Diagenesis*. Development in Sedimentology. Elsevier Science, 657 p.
- Brand U. and Veizer J. 1980. Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system: 1. Trace elements. *Journal of Sedimentary Petrology* 50: 1219–1236.
- 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.
- 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(14): 1–25.
- Farahpour M.M. and Hessami K. 2012. Cretaceous sequence of deformation in the SE Zagros fold-thrust belt. *Journal of the Geological Society*, 169(6): 733–743.
- Fard I.A. 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.
- Flügel E. 2013. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*, 2nd ed. Springer, Berlin.
- Hood S.D. Nelson C.S. and Kamp P.J.J. 2004. Burial dolomitisation in a non-tropical carbonate petroleum reservoir: The Oligocene Tikorangi Formation, Taranaki Basin, New Zealand. *Sedimentary Geology*, 172(1–2): 117–138.
- James G.A. and Wynd J.G. 1965. Stratigraphic Nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area1. *AAPG Bulletin*, 49(12): 2182–2245.
- Kiani A. Saberi M.H. ZareNezhad B. and Mehmandosti E.A. 2022. Reservoir zonation in the framework of sequence stratigraphy: A case study

- Geology, 35(3): 213-236.
- Rahimpour-Bonab H. Mehrabi H. Navidtalab A. Omidvar M. Enayati-Bidgoli A.H. Sonei 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.
- 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: 187–218.
- Revil A. Grauls D. and Brévert O. 2002. Mechanical compaction of sand/clay mixtures. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107: 11-15.
- Roehl P.O. and Choquette P.W. 2012. Carbonate petroleum reservoirs. Springer New York, NY, 622 p.
- Sepehr M. and Cosgrove J.W. 2004. Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21(7): 829–843.
- 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.
- Tucker M.E. and Wright V.P. 1990. Carbonate Sedimentology. Blackwell, Oxford, 482 p.
- Formation in Malekshahi city, (Ilam province) Zagros basin, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 112:104035.
- Motiei H. 1993. Geology of Iran, the stratigraphy of Zagros. *Geol Surv Iran, Tehran. Geological Survey of Iran, No 1*, 536 p.
- 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.
- Piryaei A. Reijmer J.J.G. Borgomano J. and van Buchem F.S.P. 2011. Late Cretaceous tectonic and sedimentary evolution of the bandar abbas area, Fars region, southern Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 34(2): 157–180.
- Rahimpour-Bonab H. Mehrabi H. Enayati-Bidgoli A.H. and Omidvar M. 2012a. 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.
- Rahimpour-Bonab H. Mehrabi H. Enayati-Bidgoli A.H. and Omidvar M. 2012a. 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.
- Rahimpour-Bonab H. Mehrabi H. Navidtalab A. Izadi-Mazidi E. 2012. Flow unit distribution and reservoir modeling in Cretaceous carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oilfield, Dezful embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum*

