

Original Research Paper

Mixed carbonate-siliciclastic platforms: a case study from the Hauterivian-Barremian Gadvan Formation in the Interior Fars area, southern Iran

Ali Hossein Jalilian^{1*} and Mohammad Ali Kavooosi²

¹ Department of Geology, Faculty of Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

² National Iranian Oil Company Exploration Directorate, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2023 August 03

Accepted: 2023 September 09

Available online: 2023 December 22

Keywords:

Gadvan Formation

Lower Cretaceous of Zagros

Mixed platform

ABSTRACT

The Hauterivian-Barremian Gadvan Formation represents a depositional sequence in the central and eastern regions of the Zagros Mountains. Field surveys and petrography of 30 thin-sections of this Formation in the Khaneh-Kat anticline together with wireline logs (gamma-ray and sonic) and 25 thin-sections analysis of two drilled wells in the Dashtak and Bandubast gas fields (Interior Fars area) indicate important events in the basin evolution, especially the changes in the sedimentation regime and platform evolution during the time period. The key point is upward grading of the thick-bedded layers, feature forming Berriasian-Valanginian carbonates into shale, marl and argillaceous limestone interbeds of the Gadvan Formation. The vertical changes is consistent with a prominent decrease in carbonate production and a definite change in the nature of the Fars platform. The intense bioturbation and mostly mud-dominated texture of skeletal limestone microfacies with significant occurrence of molluscs, green algae and benthic foraminifera in the cyclic alternations of shales and limestones indicate that the Gadvan Formation was deposited in a mixed carbonate-siliciclastic platform. The platform formed as the result of increased siliciclastics influx from the southern areas of the Zagros fold-thrust belt (clastic drowning of the platform) and the change of the Fahlyian oolitic-algal ramp into an environment consisting of an open lagoon and a muddy shelf. In the drilled wells, these changes correspond to a significant increase in gamma-ray and sonic wireline logs. The Khalij Member shows the regional continuity, implies a decrease of the (relative) siliciclastics supply and increase of carbonate production in the mixed platform. Considering the relative tectonic quiescence of the Interior Fars area during the Early Cretaceous, the mentioned changes can be the result of the interplay between tropical climate and short-term fluctuations in the context of global sea level rise.

1. Introduction

Mixed carbonate-siliciclastic platforms are sedimentary environments characterized by lateral changes or vertical

stacking of carbonate and siliciclastic deposits (Dunbar and Dickens, 2003; Flugel, 2014). The study of such sedimentary

* Corresponding author: Ali Hossein Jalilian; E-mail: jalilian@pnu.ac.ir

Citation:

Jalilian, A. H., and Kavooosi, M. A., 2023. Mixed carbonate-siliciclastic platforms: a case study from the Hauterivian-Barremian Gadvan Formation in the Interior Fars area, southern Iran. Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, 33(4), 130, 95-110. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.408546.2101>.

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

 doi: 10.22071/gsj.2023.408546.2101

 dor: 20.1001.1.10237429.1402.33.4.5.8



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

systems provides valuable information related to the origin of sediments, transport pathways and depositional conditions of different geological periods. In many cases, spatial and temporal interactions of carbonate and siliciclastic sediments in the mixed systems can provide significantly more information on such processes as eustatic sea level fluctuations, global and regional tectonics, and climate than studying either pure carbonate or pure siliciclastic systems. Mixed sedimentary systems are the result of complex relationships between the mentioned factors and other geological components, such as the rate of carbonate production and the amount of clastic input. Therefore, a detailed study of the temporal and spatial grading of carbonate and clastic deposits is very important in evaluating the role of each of these factors. In addition, different parts of mixed sedimentary systems play different roles in the formation of source, reservoir and cap rocks of hydrocarbon, which are also important (Gordon et al., 2000; Tcherepanov et al., 2008).

The Gadvan Formation is one of the lower Cretaceous lithostratigraphic units in the eastern areas of the Zagros Mountain range, which comprises a possible petroleum system including source, reservoir as well as cap rocks in some cases (Sharland et al., 2001; van Buchem et al., 2010). In current research, we investigate the facies, depositional environment and the effective controlling factors of the formation as an example of mixed carbonate-clastic sequences.

2. Research methodology

Field and laboratory investigations of Gadvan Formation were carried out at the Khaneh-Kat outcrop section and the Dashtak-1 and Bandubast-1 gas wells in Fars region. In field surveys, during logging thickness of the sedimentary succession as well as the lateral and vertical changes of lithology, sedimentary structures, geometric form and fossils were considered. 50 rock samples were taken at variable intervals. Carbonate rocks were nomenclatured based on Dunham's classification (Dunham, 1962) and clastic types according to Folk's method (Folk, 1980). In the examination of gamma-sonic well logs, the overall composition of rocks in the wells were determined and different rock units (carbonate and shale) were identified. The integration of field, laboratory and petrophysical data led to the recognition of facies that have been interpreted and reconstructed by comparing them with present day analogues. Moreover, due to the relationship between the vertical and lateral

changes of facies (Walther's Law), the temporal changes of different sub-environments have also been considered and the expansion of facies in different areas of the basin was shown in the form of a three-dimensional model. Finally, based on the eustatic sea level variation and the climatic and tectonic conditions of the region in the Early Cretaceous, the relative role of these factors in controlling the clastic input and carbonate production was investigated.

3. Discussions and results

Most geologists recognize the Cretaceous sedimentary sequence of Zagros with the presence of platform carbonates, which host some of the most important hydrocarbon reservoirs in the region, such as Fahlyian, Daryian, Sarvak and Ilam Formations (Alsharhan and Nairn, 2003; Ghazban, 2007). However, field observations and drilled well data of gas wells indicate the intermittent presence of siliciclastic units including the Gadvan, Kazhdumi, Laffan and Gurpi Formations among this mostly carbonate sequence. This issue is a sign of frequent structural changes in the basin or the environmental conditions governing it, including the creation of intra-shelf basins and increased clastic input (Zeigler, 2001; van Buchem et al., 2010). These siliciclastic units were formed in various sedimentary environments, from coastal to deep marine, and it is very important to know these environments and the effective mechanisms in their creation and expansion (Bayet-Goll et al., 2016; Abtahian et al., 2023).

4. Conclusion

The Gadvan Formation is one of the few lithostratigraphic units of the Zagros fold-thrust belt, which has been introduced as a source rock in some areas and as a cap rock in some places. This shale-limestone succession is the result of a frequently changing balance of carbonate production versus clastic input over a large area of the southern margin of the Neotethys Ocean. In fact, the increase of clastic input in a period of the Early Cretaceous led to the disruption of carbonate production and the change of the oolitic-peloid ramp of the Berriasian-Valanginian (Fahlyian Formation) to a mixed platform, which was affected by the alternating activity of a muddy continental shelf and the mid-ramp lagoon. The interfingering of the Gadvan Formation and siliciclastic deposits were sourced from the erosion of the Arabian Shield lands and transported towards the south of the Zagros fold-thrust belt. The results of this research prove that the change of the sedimentation regime in the Fars platform

and intermittent activation of mixed carbonate-clastic systems in the Early Cretaceous are basically the result of

the interplay of tropical climate and short-term eustatic sea level fluctuations.

سکوه‌های مختلط کربناته-سیلیسی آواری: مطالعه موردی از سازند گدوان (کرتاسه پیشین) در زیرپهنه فارس داخلی، جنوب ایران

علی حسین جلیلیان^{۱*} و محمدعلی کاوسی^۲^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران^۲ اداره اکتشاف شرکت ملی نفت، تهران، ایران

چکیده

سازند گدوان (هوتریون-بارمین) معرف بخشی از توالی رسوبی کرتاسه زیرین در مناطق مرکزی و خاوری کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس است. مطالعات میدانی رخنمون‌ها و سنگ‌نگاری ۳۰ مقطع نازک از نمونه‌های این سازند در تاق‌دیس خانه‌کت همراه با بررسی نمودارهای گاما-صوتی و ۲۵ مقطع نازک از خرده‌های حفاری دو حلقه چاه از میدان‌های گازی دشتک و بندوبست در زیرپهنه فارس داخلی گویای رویدادهای مهمی در روند تکامل حوضه، به‌ویژه تغییر نظام رسوب‌گذاری و نوع سکوی (پلاتفرم) آن زمان است. نکته کلیدی در این میان، تغییر کربنات‌های ستبرلایه و کوه‌ساز نئوکومین به تناوب شیل، مارن و سنگ آهک‌های نازک‌لایه سازند گدوان است که نشانه اختلال در تولید کربنات و تغییر ماهیت سکوی فارس است. آشفتنگی زیستی شدید و بافت غالباً گل‌پشتیبان ریزرخساره‌های سنگ آهک اسکلتی با حضور قابل توجه نرم‌تنان، جلبک‌های سبز و روزن‌داران کف‌زی در تناوب‌های آهکی-شیلی سازند گدوان گویای رسوب‌گذاری آن در یک سکوی مختلط کربناته-آواری است. این سکو نتیجه افزایش ورود آواری‌ها از مناطق جنوبی حوضه زاگرس و تغییر سکوی شیب‌دار (رمپ) آلیتی-پلوییدی فلهیان به محیطی متشکل از یک تالاب باز و یک فلات قاره گلی است. در پُرش‌های زیرزمینی این تغییرات با افزایش قابل توجه پرتو گاما و کاهش مقدار سرعت در نمودارهای ژئوفیزیکی همخوانی دارند. بخش خلیج، معرف واحدهای آهکی محدود در شیل‌های سازند گدوان است که از کاهش نسبی واردات آواری و افزایش مقطعی تولید کربنات در سکوی مختلط حکایت می‌کند. با توجه به آرامش نسبی زمین‌ساختی زیرپهنه فارس داخلی در کرتاسه پیشین، تغییرات یادشده نتیجه اقلیم گرم و مرطوب و افت و خیزهای کوتاه‌مدت سطح جهانی آب دریاها در آن زمان است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

سازند گدوان

کرتاسه زیرین زاگرس

سکوی مختلط

۱- پیش‌نوشتار

واردات آواری هستند. بنابراین، مطالعه دقیق ارتباط زمانی و مکانی نهشته‌های کربناته و آواری در ارزیابی نقش هر یک از این عوامل اهمیت فراوانی دارد. افزون بر این، بخش‌های مختلف سامانه‌های رسوبی مختلط در تشکیل سنگ‌های منشا، مخزن و پوشش نفت و گاز نقش‌های گوناگون ایفا می‌کنند که از این نظر نیز اهمیت دارند (Gordon et al., 2000; Tcherepanov et al., 2008). با این وجود، این محیط‌ها و رخساره‌های برجای مانده از آن‌ها در مناطق مختلف ایران با این عنوان کمتر مورد توجه قرار گرفته و یا شناخته شده‌اند. سازند گدوان یکی از واحدهای سنگ‌چینه‌ای کرتاسه زیرین در مناطق خاوری رشته‌کوه زاگرس است که در برخی از نواحی به‌عنوان سنگ منشا احتمالی و در مواردی نیز به‌عنوان سنگ پوشش مطرح شده‌است

سکوه‌های (پلاتفرم‌های) مختلط کربناته-سیلیسی آواری محیط‌های رسوبی هستند که با تغییرات جانبی و یا برانبارش عمودی (Vertical stacking) نهشته‌های کربناته و آواری شناخته می‌شوند (Dunbar and Dickens, 2003; Flugel, 2014). مطالعه این گونه سامانه‌های رسوبی، اطلاعات با ارزشی در ارتباط با خاستگاه رسوبات، مسیرهای حمل و نقل و شرایط رسوب‌گذاری دوره‌های مختلف فراهم می‌کند. در بیشتر موارد، با بررسی نهشته‌های مختلط در مقایسه با سامانه‌های کاملاً کربناته یا آواری محض می‌توان به داده‌های بیشتری در مورد تغییرات سطح جهانی آب دریاها، زمین‌ساخت و اقلیم گذشته دست یافت. سامانه‌های رسوبی مختلط حاصل روابط پیچیده بین عوامل یادشده و دیگر مولفه‌های زمین‌شناسی از جمله نرخ تولید کربنات و میزان

* نویسنده مسئول: علی حسین جلیلیان؛ E-mail: jalilian@pnu.ac.ir

ماخذنگاری:

جلیلیان، ع. ح. و کاوسی، م. ع. ۱۴۰۲، سکوه‌های مختلط کربناته-سیلیسی آواری: مطالعه موردی از سازند گدوان (کرتاسه پیشین) در زیرپهنه فارس داخلی، جنوب ایران. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۳(۴)، ۹۵-۱۱۰. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.408546.2101>

doi: 10.22071/gsj.2023.408546.2101



dor: 20.1001.1.10237429.1402.33.4.5.8

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

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

و واحدهای سنگی متفاوت (کربناته و سیلی) از هم تفکیک شده‌اند. برتری اصلی این نمودارها نمایش پیوسته ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها در توالی مورد مطالعه است، اما در مقایسه با مشاهده مستقیم رخنمون‌ها از دقت کمتری برخوردارند. بنابراین، برای اعتباربخشی به آن‌ها با داده‌های سطحی تطبیق شده‌اند. به این منظور، بر اساس یافته‌های سنگ‌شناسی، دیرینه‌شناسی و موقعیت بخش آهکی خلیج در سازند گدوان، رخساره‌های شناخته‌شده در بُرش سطحی و چاه‌ها مطابقت داده و واحدهای سنگی هم‌ارز مشخص شده‌اند. تلفیق داده‌های میدانی، آزمایشگاهی و پتروفیزیکی به شناخت رخساره‌ها و ریزرخساره‌هایی انجامید که با تحلیل و مقایسه آن‌ها با انواع شناخته‌شده امروزی، محیط رسوبی و جغرافیای دیرینه تفسیر و بازسازی شده‌است (e.g., Wilson, 1997; Flugel, 2014). همچنین، با توجه به ارتباط تغییرات عمودی و جانبی رخساره‌ها (اصل والتر (Walther's law)) تغییرات زمانی زیرمحیط‌های مختلف نیز مورد توجه قرار گرفته و گسترش رخساره‌ها در نواحی مختلف حوضه در قالب یک الگوی سه بُعدی نشان داده شده‌است. در نهایت، براساس موقعیت سطح جهانی آب دریاها و شرایط اقلیمی و زمین‌ساختی منطقه در کرتاسه پیشین، نقش نسبی این عوامل در کنترل واردات آواری و تولید کربنات بررسی شده‌است.

۳- داده‌ها و اطلاعات

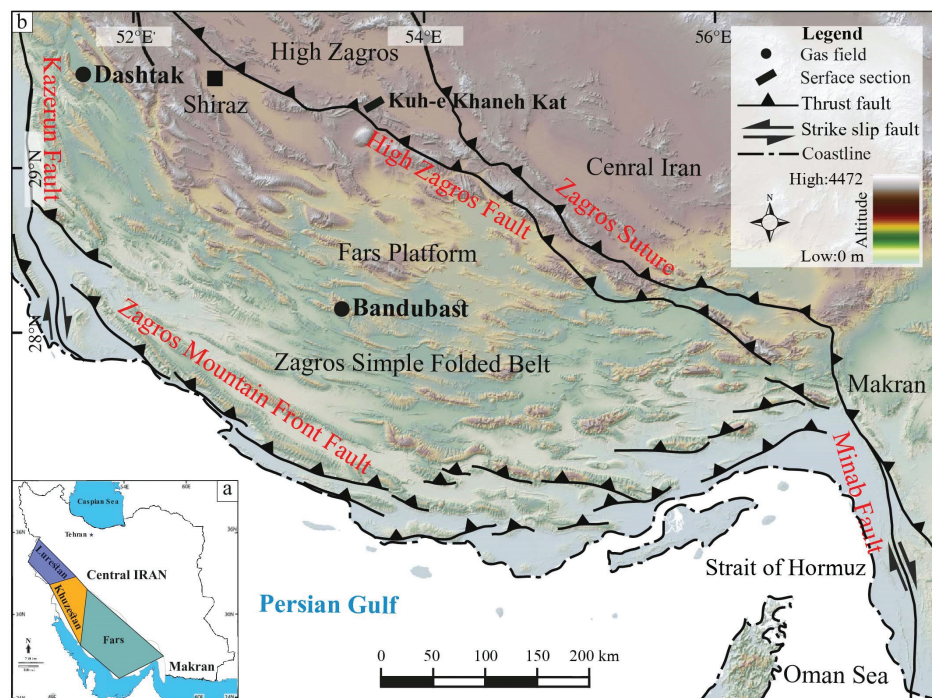
۳-۱- زمین‌شناسی و چینه‌نگاری

نواحی مورد مطالعه در این تحقیق در جنوب ایران و در محدوده خاوری رشته‌کوه زاگرس واقع شده‌اند (شکل ۱). بررسی‌های جغرافیای دیرینه نشان می‌دهد که در پرکامبرین و تقریباً تمام پالئوزویک، زاگرس بخشی از حاشیه غیرفعال و پایدار شمال خاوری ابرقاره گندوانا بوده که نتیجه آن نهشته‌شدن چند هزار متر رسوبات تبخیری، آواری و کربناته است (Alavi, 2004; Navabpour and Barrier, 2012).

(Sharland et al., 2001; Van Buchem et al., 2010). در بیشتر پژوهش‌های منتشرشده مرتبط با این سازند بیشتر بر جنبه‌های گوناگون چینه‌نگاری، دیرینه‌شناسی و زمین‌شناسی نفت توجه و تمرکز شده‌است (e.g., James and Wynd, 1965; Shakiab, 1990; Van Buchem et al., 2010; Bayet-Goll et al., 2016; Asgari-Pirbalouti and Abyat, 2017; Abtahian et al., 2023). در این پژوهش، رخساره‌ها و محیط رسوب‌گذاری و عوامل موثر در تشکیل سازند گدوان به عنوان نمونه‌ای از توالی‌های سکویی مختلط کربناته-آواری بررسی شده‌است.

۲- روش پژوهش

این پژوهش بر پایه بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی رخنمون‌های سازند گدوان در کوه خانه‌کت و داده‌های دو حلقه از چاه‌های گاز زیرپهنه فارس داخلی انجام شده‌است. بُرش سطحی مورد نظر در یال جنوبی تاقدیس خانه‌کت (۱۱۰ کیلومتری خاور-جنوب خاوری شیراز) رخنمون دارد. اطلاعات زیرسطحی هم از چاه‌های شماره یک میدان‌های گازی دشتک و بندوبست به ترتیب در شمال خاوری کازرون و جنوب خاوری قیر و کارزین به دست آمده‌است. در بررسی‌های میدانی، ضمن اندازه‌گیری ستبرای توالی رسوبی و بررسی تغییرات جانبی و عمودی واحدهای سنگی از جمله سنگ‌شناسی، ساختمان‌های رسوبی، فرم هندسی و سنگواره‌ها، ۵۰ نمونه دستی متناسب با تغییرات رخساره‌ها برداشت گردید. در سنگ‌نگاری ۳۰ مقطع نازک تهیه‌شده از این نمونه‌ها و ۲۵ مقطع از خرده‌های حفاری (Cuttings) چاه‌های گاز ویژگی‌های بافتی و ترکیب آن‌ها بررسی و سنگ‌های کربناته و آواری نام‌گذاری شدند. سنگ‌های کربناته براساس طبقه‌بندی دانهام (Dunham, 1962) و انواع آواری به روش فولک (Folk, 1980) نام‌گذاری شده‌اند. در بررسی نمودارهای درون چاهی گاما و صوتی، ترکیب کلی سنگ‌ها در دیواره چاه‌ها مشخص گردیده



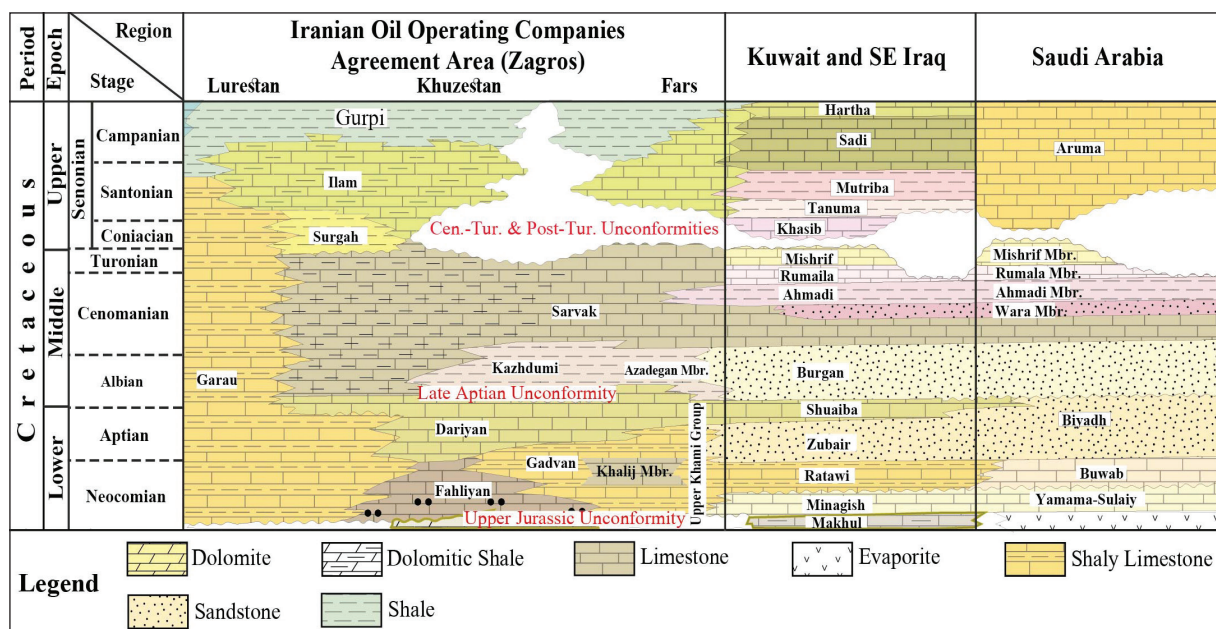
شکل ۱-۱) نقشه‌ای ساده از موقعیت رشته‌کوه زاگرس و زیرپهنه‌های فارس، خوزستان و لرستان در جنوب و جنوب باختری ایران؛ (b) مدل رقومی ارتفاع (Digital elevation model (DEM)) از زیرپهنه فارس (زاگرس خاوری) و چارچوب زمین‌شناسی آن که با گسل‌های کازرون، میناب، پیشانی کوهستان و راندگی اصلی (زمین‌درز) زاگرس محدود شده‌است. بخش‌های زاگرس بلند و چین‌خورده توسط گسل زاگرس بلند از هم جدا شده‌اند. محدوده میدان‌های گازی و محل بُرش سطحی مورد مطالعه با علامت دایره و مستطیل سیاه مشخص شده‌است (براساس داده‌های معتمدی و همکاران (Motamedi et al., 2012) و اسنیدرو و همکاران (Snidero et al., 2019)).

Figure 1-a) A simple map showing the location of the Zagros mountains and Fars, Khuzestan and Lurestan domains in the south and southwest of Iran;

b) Digital elevation model of Fars region (Eastern Zagros) and its geological framework which is limited by the Kazerun, Minab, Zagros Mountain Front and Main Zagros reverse faults. The High Zagros and Simple Fold Belt regions separated by the High Zagros fault. The area of the gas fields and the area of the surface section marked with black circles and rectangle (based on Motamedi et al., 2012; Snidero et al., 2019).

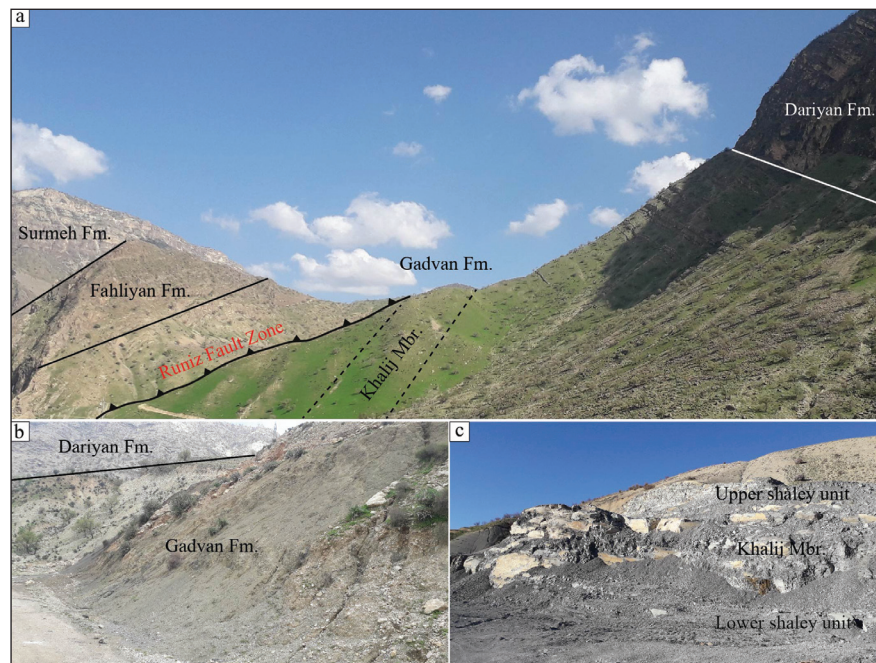
ذخایر شناخته شده گاز جهان یکی از مهم ترین مناطق اکتشاف و استخراج هیدروکربن است (Motamedi et al., 2012; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab, 2019). برخورد ورقه عربی با بخش جنوبی اورازیا (ایران میانی) در اواخر کرتاسه تا میوسن به بسته شدن تیس جوان (نئوتیس) و ایجاد روند کلی شمال باختری- جنوب خاوری و سیمای کنونی رشته کوه زاگرس شد (Agard et al., 2005; Mouthereau et al., 2012). سازند گدوان به سن هوتریون-بارمین قسمتی از توالی رسوبی کرتاسه زیرین مناطق فارس و خوزستان است که با سازندهای سورمه (ژوراسیک)، فهلیان (نئوکومین) و داریان (آپتین) گروه خامی را تشکیل داده اند (شکل ۲). این گروه با قسمت زیرین سازند گرو (کرتاسه) در لرستان هم ارز است و از پتانسیل تولید هیدروکربن زیادی برخوردار است. سازند گدوان به طور عمده شیلی-مارنی است و با میان لایه هایی از سنگ آهک های نازک لایه خاکستری همراه است. به همین خاطر، ریخت فرسوده ای دارد و در مطالعات میدانی از سازندهای فهلیان و داریان که ستر لایه و کوه ساز هستند، به راحتی قابل تفکیک است (شکل ۳). مرزهای سازند گدوان با سازندهای فهلیان و داریان را تدریجی و همساز توصیف کرده اند. در تاقدیس خانه کت (محدوده شمالی زیرپهنه فارس) سازند گدوان ۱۵۵ متر ستبراً دارد که از این مقدار حدود ۳۰ متر مربوط به بخش آهکی خلیج است. شیل های سازند گدوان که در پایین و بالای این بخش دیده می شوند، در برخی منابع به نام گدوان پایینی و گدوان بالایی هم خوانده شده اند. در چاه شماره یک دشتک واقع در شمال باختری فارس ستبرای این سازند به ۱۰۸ متر و در میدان بندوبست (نواحی میانی فارس) به ۱۳۸ متر کاهش یافته است (Van Buchem et al., 2006). این تغییرات ستبراً را به ایجاد بلندی های کهن در پایان رسوب گذاری سازند فهلیان نسبت داده اند (مطبیعی، ۱۳۷۲؛ آقناباتی، ۱۳۸۳).

با توجه به تغییرات جانبی رخساره های رسوبی، زاگرس را به زیرپهنه های فارس، خوزستان و لرستان تفکیک کرده اند (Sepehr and Cosgrove, 2004). همچنین، عبور گسل زاگرس بلند از میان این رشته کوه آن را به دو بخش بلند (داخلی) در شمال و چین خورده (بیرونی) در جنوب تفکیک کرده است (Sherkati et al., 2006; Allen and Talebian, 2011). زیرپهنه فارس معرف بخش جنوب خاوری زاگرس و سرزمین محدود بین گسل های کازرون و میناب است که با توجه به حضور چیره کربنات های دریای کم ژرفا در آن با عنوان های سکو (پلاتفرم) و بلندای فارس هم معرفی شده است (Setudehnia, 1978; Bigi et al., 2018). مجموعه نهشته های پرکامبرین پسین-فانروزوییک زاگرس بر پی سنگی جای گرفته است که همزمان با کوهزایی پان آفریکن در پروتروزوییک ایجاد شده است (Husseini, 2000; Gray et al., 2008; Snidero et al., 2019). ستون چینه نگاری فانروزوییک زیرپهنه فارس مشتمل بر چند کیلومتر نهشته سنگ های گوناگون است که سری هرمز (پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین) را پوشانده است. صعود تبخیری های هرمز و تشکیل گنبد های نمکی گوناگون یکی از ویژگی های آشکار زیرپهنه فارس است که به حوضه هرمز هم معروف است (Jahani et al., 2017; Najafi et al., 2018). تکوین ساختاری-رسوبی زاگرس از پرمین تا نئوژن متأثر از باز و بسته شدن اقیانوس تیس جوان در میان ورقه عربستان (متشکل از سپر و سکوی عربی و خلیج فارس) و قاره سیمین (شمال باختری ایران، سندج-سیرجان، ایران میانی، لوت، بلوک فرح، افغانستان و تبت) بوده است (Heydari, 2008; Bordenave, 2014). این مهم با جابه جایی تدریجی حوضه به سوی عرض های جغرافیایی شمال استوا و ایجاد شرایط لازم برای تشکیل کربنات های سکویی با تناوب هایی از شیل، مارن و تبخیری ها همراه بود که در ایجاد سامانه های نفت و گاز نقش کلیدی دارند (Alsharhan and Nairn, 2003; Ghazban, 2007). در این میان، سرزمین فارس با در اختیار داشتن حدود ۱۵٪ از



شکل ۲- شمای کلی واحدهای سنگ چینه ای کرتاسه در مناطق مختلف زاگرس و انطباق آن ها با بخش هایی از کویت، جنوب خاوری عراق و عربستان؛ سازند گدوان که عمدتاً در مناطق فارس و خوزستان گسترش یافته است در لرستان با قسمتی از سازند گرو و در جنوب خلیج فارس با ماسه سنگ های سازندهای زیر و بیاض هم ارز است (براساس داده های جیمز و وایند (James and Wynd, 1965)؛ علوی (Alavi, 2004) و الشرحان و نایرن (Alsharhan and Nairn, 2003)).

Figure 2. The overview of Cretaceous strata units in different areas of Zagros and their correspondence with parts of Kuwait, southeastern Iraq and Arabia; The Gadvan Formation, which is mainly spread in Fars and Khuzestan regions, is equivalent in Lorestan with a part of the Garau Formation and in the south of the Persian Gulf with the sandstones of the Zubair and Biyadh Formations (based on James and Wynd, 1965; Alsharhan and Nairn, 2003; Alavi, 2004).



شکل ۳- تصاویر میدانی از رخنمون واحدهای سنگ‌چینه‌ای ژوراسیک بالایی-کرتاسه زیرین در تاق‌دیس خانه‌ک: (a) نمای کلی قسمتی از یال جنوبی تاق‌دیس که از سازندهای سورمه، فهلین، گدوان و داریان تشکیل شده و با عبور پهنه گسلی رونیز (بخشی از راندگی زاگرس بلند) تحت تاثیر قرار گرفته‌است. (b) نمای نزدیک از زمین‌ریخت فرسوده سازند گدوان ناشی از سنگ‌شناسی غالباً شیلی-مارنی همراه با سنگ آهک‌های نازک لایه خاکستری؛ (c) لایه‌های آهک کرم رنگ بخش خلیج در میانه سازند گدوان که با رخنمونی متفاوت واحدهای شیلی زیرین و بالایی را از هم جدا کرده‌است.

Figure 3. Field photographs of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous strata in Khaneh-Kat anticline: a) General view of a part of the southern flank of the anticline, which consists of Surmeh, Fahliyan, Gadvan and Daryian Formations and was affected by the Runiz fault zone (part of the High Zgros Fault). b) A close-up view of the eroded outcrops of the Gadvan Formation, resulting from mostly shale-marle lithology with thin-bedded grey limestones; c) white-cream limestones of the Khalij Member in the middle of the Gadvan Formation, which separates the lower and upper shaley units.

۴- بحث

بسیاری زمین‌شناسان توالی رسوبی کرتاسه زاگرس را با حضور چیره کربنات‌های سکویی می‌شناسند که برخی از مهم‌ترین مخازن هیدروکربن منطقه مانند فهلین، داریان، سروک و ایلام را در خود جای داده‌اند (Alsharhan and Nairn, 2003; Ghazban, 2007). با این حال، مشاهدات میدانی و داده‌های حاصل از حفاری چاه‌های نفت و گاز گویای حضور متناوب واحدهای سیلیسی-آواری از جمله سازندهای گدوان، کزدمی، گورپی و بخش لافان در میان این توالی غالباً کربناته است. این موضوع نشانه تغییرات ساختمانی مکرر در حوضه و یا شرایط محیطی حاکم بر آن از جمله ایجاد حوضه‌های درون شلفی (Intrashelf basins) و افزایش واردات آواری است (Zeigler, 2001; Van Buchem et al., 2010). واحدهای آواری مورد نظر در محیط‌های رسوبی گوناگون اعم از ساحلی تا دریای عمیق تشکیل شده‌اند که شناخت این محیط‌ها و سازوکارهای مؤثر در ایجاد و گسترش آن‌ها واجد اهمیت فراوان است (Bayet-Goll et al., 2016; Abtahian et al., 2023).

۴-۱- رخساره‌های رسوبی و نوع سکو

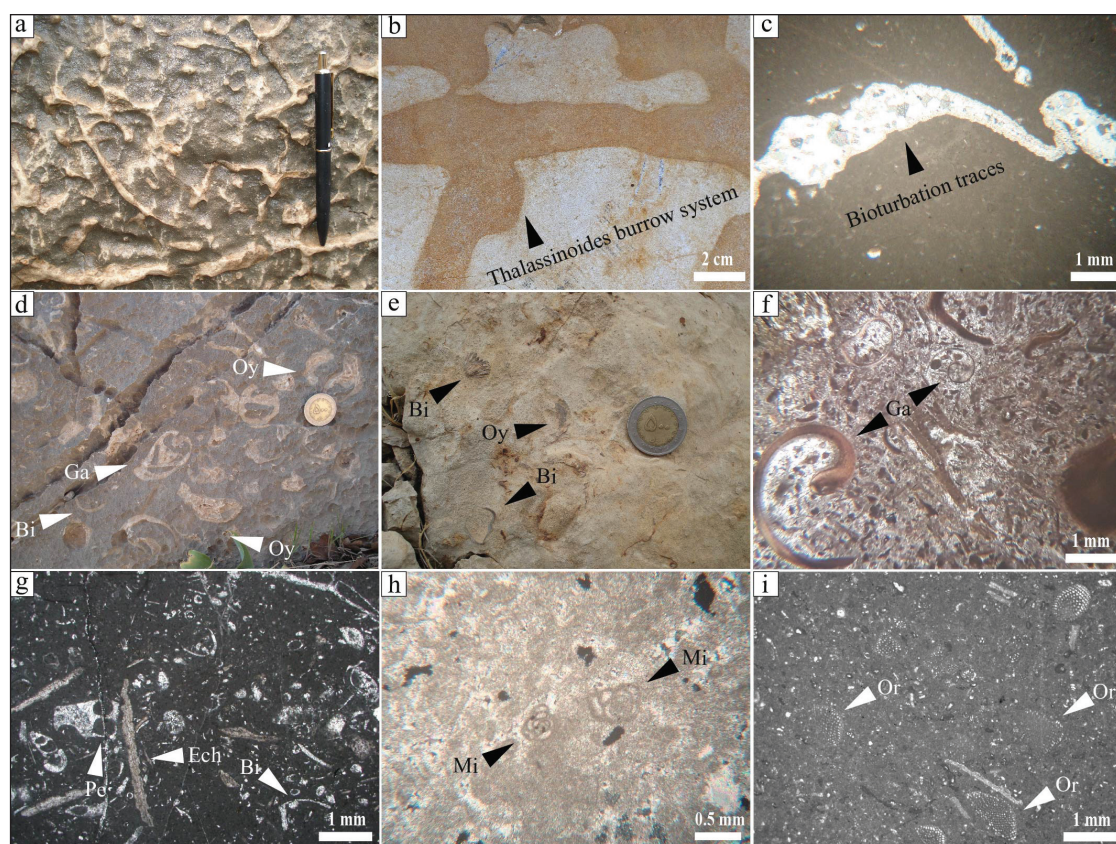
مجموعه داده‌های سنگ‌شناسی، سنگواره‌ها و نمودارهای چاه‌پیمایی نشان می‌دهند که سنگ‌های آهکی نازک لایه و آواری‌های دانه ریز رخساره‌های اصلی سازند گدوان هستند (شکل‌های ۳ تا ۵). شواهد میدانی، سنگ‌نگاری و چاه‌نگاری مربوط به این رخساره‌ها و تفسیر محیط رسوب‌گذاری آن‌ها در زیر ارائه شده‌است.

۴-۱-۱- رخساره‌های کربناته

براساس این مشاهدات، سنگ آهک‌های اسکلتی گل‌پشتیان (Mud-dominated skeletal limestones) (دسته رخساره‌ای A) رخساره چیره واحدهای کربناته سازند گدوان هستند (جدول ۱). به‌طور کلی، به‌دلیل آشفستگی زیستی شدید، این لایه‌های نازک تقریباً فاقد ساختارهای رسوبی غیرزیستی هستند. در مقابل، آثار فسیلی از نوع تالاسینویدهای بزرگ از عوارض متداول در سطح آنهاست (شکل‌های ۴- c-a). همچنین، در بعضی لایه‌ها دو کفه‌ای‌های بزرگ به‌ویژه اویسترها اجزای اسکلتی چیره

هستند (شکل‌های ۴-d-e). در سنگ‌نگاری نمونه‌های سنگ آهک، وکستون‌های بیوکستی با بقایای روزن‌داران کفزی و قطعات دوکفه‌ای‌ها، شکم‌پایان و خارپوستان ریزرخساره‌های اصلی هستند که در مواردی بافت‌های مادستونی و پکستونی هم به نمایش می‌گذارند. با توجه به اجزای اسکلتی چیره در نمونه‌های مختلف، رخصاره‌های آهکی از وکستون بیوکستی میلیولیدی تا انواع اوریتولین‌دار و شکم‌پایان تغییر می‌کنند. در برخی نمونه‌ها درصد کمی خرده‌های جلبک سبز، بریوزوآها و مرجان‌ها و پلویید هم مشاهده می‌شود (شکل‌های ۴-h-f). اوریتولین‌ها در بخش آهکی خلیج فراوان‌تر هستند (شکل ۴-i). ترکیب و تنوع آلوکم‌ها، آثار فسیلی و چیرگی زمینه میکرایتی در نمونه‌های سنگ آهک سازند گدوان زیرپهنه فارس داخلی گواه رسوب‌گذاری آن در قسمت آرام و کم انرژی رمپ میانی (Low-energy mid ramp (lagoon)) است (Bayet-Goll et al., 2014; Flugel, 2014).

این محیط شامل یک تالاب باز یا بخش به نسبت محدود دریای باز بوده که ژرفای آن را بین ۱۰ تا ۲۵ متر (پایین‌تر از قاعده امواج عادی تا قاعده امواج توفانی) برآورد کرده‌اند (Van Buchem et al., 2010; Pomar and Hallock, 2008; Baniak et al., 2014). شدت آشفته‌گی زیستی در رسوبات، مقادیر به نسبت زیاد مواد مغذی همراه با واردات آواری را نشان می‌دهد. در واقع یک زیست‌بوم غنی از رُس در بخش بالایی فراساحل (Upper offshore) ایجاد شده که دارای بیشترین تنوع جانداران کفزی به‌ویژه روزن‌داران بزرگ است (James and Bone, 2011; Riding, 2011). بر این اساس و با توجه به یافته‌های مطالعات پیشین، می‌توان تالاب‌ها را به عنوان محیط اصلی تشکیل نهشته‌های کرتاسه از جمله سازندهای فلهیان، گدون و داریان در زیرپهنه فارس معرفی کرد (Naderi-Khujin, 2010; Vincent et al., 2010; et al., 2020).



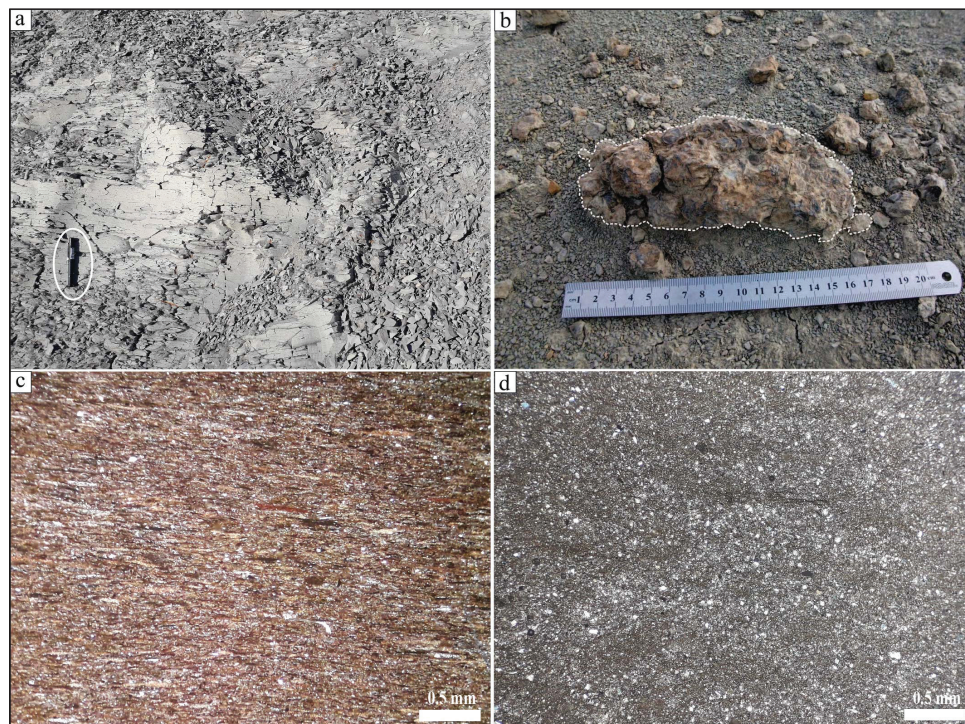
شکل ۴- تصاویر میدانی و میکروسکوپی از رخصاره‌های کربناته سازند گدوان: (a) سنگواره اثری (Ichnofossil) از نوع تالاسینوید متشکل از نقب‌های حاصل از فعالیت (تغذیه) جانداران مختلف در سطح رسوب؛ (b) نمونه دستی صیقلی با نقب‌هایی با قطر حدود ۲ سانتی‌متر در جهت‌های متفاوت؛ (c) ریزرخساره مادستون آهکی با آثار ناشی از آشفته‌گی زیستی؛ (d و e) سنگواره‌های دوکفه‌ای‌ها (Bi)، اویستر (Oy) و شکم‌پایان (Ga) در سطح میان‌لایه‌های سنگ آهک؛ (f) ریزرخساره وکستون تا پکستون بیوکستی با پوسته شکم‌پایان (Ga)؛ (g) تصویر میکروسکوپی وکستون بیوکستی با بقایای خارپوستان (Ech)، دوکفه‌ای‌ها (Bi) و پلویید (Pe)؛ (h) میلیولیدها (Mi) در نمونه‌ای از مادستون تا وکستون بیوکستی و (i) نمونه ریزرخساره وکستون بیوکستی اوریتولین‌دار (Or) در بخش آهکی خلیج، نور XPL.

Figure 4. Field and microscopic photographs of the carbonate facies of Gadvan Formation: a) Thalassinoid-type trace fossil consisting of burrows resulting from the activity (feeding) of different organisms on the sediments surface; b) a polished sample with holes with a diameter of about 2 cm in different directions; c) Calcareous mudstone microfacies with traces of bioturbation; d and e) fossils of bivalves, oysters and gastropods in the limestone interbeds; f) bioclastic wackestone to packstone microfacies with gastropod shells; g) Photomicrograph of bioclastic wackestone with remains of echinoderms, bivalves and peloids; h) miliolids in mudstone to bioclastic wackestone and i) bioclastic orbitolina wackestone microfacies in the Khalij Member, XPL.

جدول ۱- توصیف و تفسیر رخساره‌های آواری و کربناته سازند گدوان در زیرپهنه فارس داخلی.

Table 1. Description and interpretation of the clastic and carbonate facies of Gadvan Formation in Interior Fars area.

Facies code	Lithofacies	Microfacies/petrofacies	Sedimentary structures/textures	Environmental interpretation
A	Thin-bedded argillaceous skeletal limestones	Bioturbated lime mudstone	Fine lamination and traces of bioturbation	Low-energy mid ramp (open lagoon)
		Bioclastic (echinoid, bivalve) peloid wackestone		
		Miliolid bioclast wackestone/ mudstone		
		Orbitolinid bioclast wackestone/ packstone		
		Bioclastic (bivalve, oyster and gastropod) wackestone/ packstone		
B	Light grey shale/ marls	calcareous/silty mudstone	Thalassinoides	Muddy shelf (offshore)

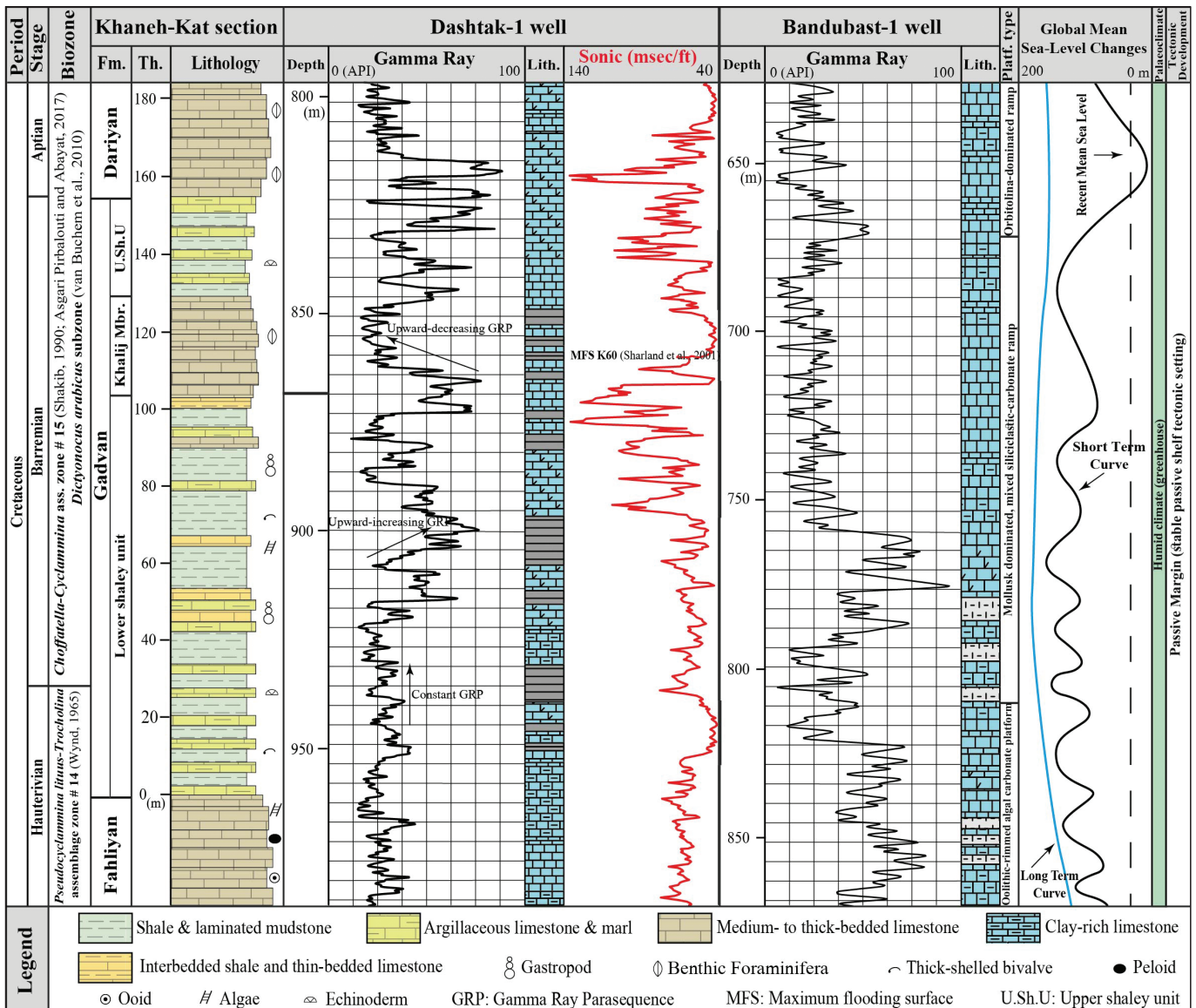


شکل ۵- تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از رخساره‌های آواری سازند گدوان: (a) نمای نزدیک از لیتوفاسیس شیل (مادستون متورق) خاکستری که قسمت عمده سازند گدوان را تشکیل داده است. (b) تجمع دو کف‌های (اویسترها) و شکم‌پایان در یکی از افق‌های مارنی-آهک رُسی؛ (c) تصویر میکروسکوپی از یک نمونه شیلی و (d) لامیناسون ظریف در رخساره سنگی مادستون سیلتی، نور XPL.

Figure 5. Macroscopic and microscopic photographs of siliciclastic facies of the Gadvan Formation: a) close-up view of the grey shale lithofacies that forms the major part of the Gadvan Formation; b) Accumulation of bivalves (oysters) and gastropods in one of the marl and clay-rich limestone units; c) microphotograph of a shaley specimen and d) fine lamination in a silty mudstone petrofacies, XPL light.

این در حالی است که تغییرات مقدار API در سازندهای زیرین و بالایی (فهلان و داریان) نسبتاً ناچیز است (رمضانی اکبری و همکاران، ۱۳۹۵؛ ارباب و همکاران، ۱۳۹۷). در نمودار صوتی چاه شماره یک دشتک ورود به سازند گدوان با انحراف ناگهانی منحنی به سمت چپ همراه است که نشانه حضور لایه‌های کم سرعت و به نسبت نامتراکم است (e. g., Singh et al., 2008; Cabarcas and Slott, 2014). در محدوده سازند گدوان بین ۶۰ تا ۱۴۰ $\mu\text{s}/\text{ft}$ است. این مقدار در لایه‌های آهکی بین ۵۰ تا ۷۵ و در واحدهای شیلی از ۸۰ تا ۱۴۰ متغیر است که به افزایش تخریل غیرمفید در زمینه لایه‌های اخیر مربوط می‌شود (Darling, 2005; Ellis and Singer, 2007).

در نمودارهای گامای طبیعی میدان‌های گازی دشتک و بندوبست به ترتیب در ژرفاهای ۸۲۴ و ۶۷۰ متری یک انحراف معنی‌دار و تغییر شایان توجه پرتوها از حدود کمتر از ۳۰ API به ۵۰ تا ۱۰۰ دیده می‌شود. این افزایش ناگهانی پرتو گاما نشانه یک تغییر سنگ‌شناسی آشکار و شروع سازند گدوان است (شکل ۶). این تغییرات با افزایش مقدار رُس در محیط و رسوب‌گذاری واحدهای شیلی و مارنی در توالی رسوبی همخوانی دارد (Kleipool et al., 2015). افزون بر این، شکل نمودارهای گاما در محدوده سازند گدوان به صورت پلکانی است که گویای تناوب‌های مکرر کربناته-شیلی و معرف پاراسکانس‌های پرتو گامای این سازند است (Maguire et al., 2019).



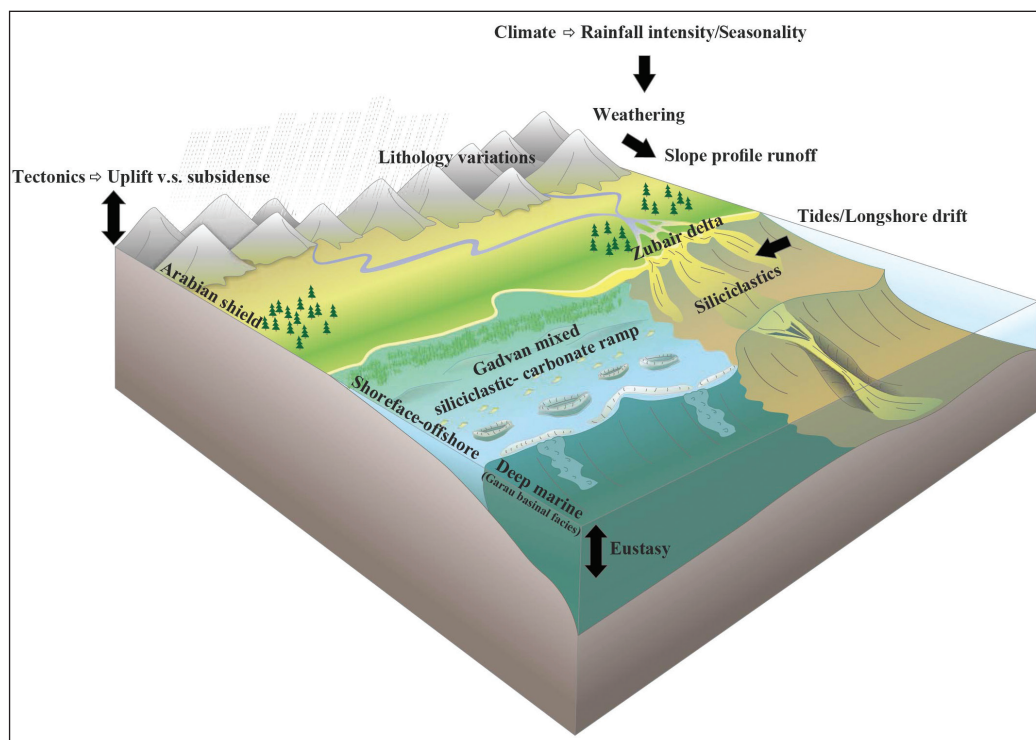
شکل ۶- ستون چینه‌نگاری قسمتی از توالی رسوبی کراتاسه زیرین در تاقدیس خانه‌کت شامل بخش پایانی سازند فهلان، سازند گدوان و داریان زیرین در کنار نمودارهای گاما و صوتی چاه‌های مورد مطالعه رسم شده‌است. قاعده بخش آهکی خلیج مبنای انطباق زمانی است. داده‌های سنگ‌شناسی و تنوع سنگواره‌ها با اقلیم گرم و مرطوب مناطق استوایی در کراتاسه پیشین (Mehrabi et al., 2015) و تغییرات سکو با ساختار زمین‌ساختی غیرفعال حوضه زاگرس در آن زمان (Alavi, 2004) مطابقت دارد. همخوانی قابل توجه تغییرات رخساره‌ها و تکامل سکو با نمودار تغییرات سطح جهانی آب دریاها در کراتاسه پیشین (Haq and Al-Ghahtani, 2005) نیز نقش موثر این تغییرات بر نظام رسوب‌گذاری آن زمان را تایید می‌کند.

Figure 6. The stratigraphic column of a part of the Lower Cretaceous sedimentary sequence in the Khaneh-Kat anticline, including the upper part of the Fahlyan Formation, the Gadvan Formation and the lower Daryian, is drawn along with the gamma-ray and sonic logs of the studied gas wells. The base of the Khalij Member is the basis of the chronological adaptation. The lithological data and fossil diversity are consistent with the tropical climate in the early Cretaceous (Mehrabi et al., 2015) and the platform changes with the passive tectonic structure of the Zagros Basin at that time (Alavi, 2004). The significant coincidence of facies changes and platform evolution with the chart of global sea level changes in the early Cretaceous (Haq and Al-Ghahtani, 2005) also confirms the effective role of these changes on the sedimentation regime of that time.

۴-۱-۲- رخساره‌های سیلیسی آواری

همان طور که اشاره شد، سنگ‌های آواری دانه‌ریز از اجزای اصلی سازند گدوان هستند. در بعضی نواحی، فراوانی این سنگ‌ها به گونه‌ای است که این سازند را به عنوان یک واحد آواری و به نام شیل گدوان معرفی کرده‌اند (e. g., James and Wynd, 1965; Alavi, 2004). این رخساره‌های سنگی (دسته رخساره‌ای B) در اصل گل‌سنگ‌های مختلف به ویژه مادستون‌های سیلتی و رُسی هستند که با لایه‌های نازک مارن و سنگ آهک‌های رُسی همراهی می‌شوند. زمین‌ریخت فرسوده و رنگ عمومی تیره سازند گدوان عمدتاً متأثر از این مجموعه رخساره‌ای است که ستبرای برخی از افق‌های آن به ۵ متر هم می‌رسد (شکل ۳). این سنگ‌ها با مقادیر متفاوتی از مواد آلی همراهند و غالباً با اعمال فشارهای ناشی از تدفین به شیل‌های خاکستری تبدیل شده‌اند (Sharp et al., 2010). در مقایسه با رخساره‌های کربناته سازند گدوان، شیل و مارن‌ها به جز اندک بقایایی از دوکفه‌ای‌ها و نرم‌تان، تنوع سنگواره‌ای چندانی ندارند (شکل‌های ۵-d-a). این موضوع گویای محدودیت بیشتر شرایط محیطی در زمان افزایش واردات آواری و کاهش ژرفای آب است (Van Buchem et al., 2010; Ghajari et al., 2013). فقدان کانولینیت در میان کانی‌های رُسی این سازند نیز

ژرفای کم محیط تشکیل آن را گواهی می‌کند (Soleimani, 2009; Wesley, 2014). ارتباط جانبی رخساره‌ها و چیدمان عمودی واحدهای سنگ آهکی-شیلی در سازند گدوان حاکی از بودن یک سکوی مختلط کربناته-آواری در مقطعی از اواخر کرتاسه پیشین زیرپهنه فارس داخلی است (شکل ۷). این نوع سکو ترکیبی از یک فلات قاره گلی (پایین‌تر از قاعده امواج عادی) و کارخانه تولید کربنات (تالاب) است که به تناوب فعالیت کرده‌اند (Coffey and Read, 2004; Schlager, 2005). چنین محیطی نتیجه اختلال در کربنات‌سازی و تغییر عملکرد رمپ آلئینی-پلوییدی بریازین-هوتریون (کربنات‌های سازند فهلین) به دلیل افزایش واردات آواری است. شارپ و همکاران (Sharp et al., 2010) این رویداد را ناشی از پیشروی دلتای زُبیر به سوی سکوی فارس و غرق‌شدن محیط کربناته ناشی از ورود سیلیسی‌آواری‌ها دانسته‌اند. تبدیل تدریجی توالی مختلط سازند گدوان به رخساره‌های آواری به جای‌مانده از محیط‌های ساحلی و دلتایی در نواحی جنوبی حوضه از جمله دشت آبادان گویای این مطلب و حاکی از تامین و انتقال رسوبات آواری از ارتفاعات حاشیه شمال خاوری ورقه عربی به کرانه جنوبی اقیانوس تنیس‌جوان است (Ziegler, 2001; Bayet-Goll et al., 2016).



شکل ۷- الگوی ساده‌ای از بخش‌های مختلف حوضه زاگرس در زمان تشکیل سازند گدوان و عوامل کنترل‌کننده تولید کربنات در مقابل رسوب‌گذاری سیلیسی آواری‌ها. قسمت عمده نهشته‌های آواری از فرسایش سیر عربستان در جنوب حوضه تامین و پس از انتقال به فلات قاره آن زمان مانع تولید کربنات و تغییر عملکرد سکوی فارس شده‌است. در بخش‌هایی از جنوب حوضه مثل کویت، عراق و دشت آبادان افزایش شایان توجه واردات آواری سبب ایجاد یک سامانه کاملاً آواری شد که به نام دلتای زُبیر معرفی شده‌است. همزمان، بخشی از رخساره‌های دریایی ژرف سازند گرو در نواحی شمالی نهشته شده‌اند (برگرفته از دیویس و همکاران- Davies et al., 2019 با تغییرات).

Figure 7. Cartoon illustrating the different parts of the Zagros Basin during the formation of the Gadvan Formation and the controls of carbonate production versus sedimentation of siliciclastics. The major part of siliciclastics supplied from the erosion of the Arabian shield in the south of the basin and after being transferred to the continental shelf at that time prevented the production of carbonates and changed the nature of the Fars platform. In parts of the south of the Basin, such as Kuwait, Iraq, and Abadan Plain, the significant increase of clastics influx led to the creation of a completely siliciclastic system, which has been introduced as the Zubair Delta. At the same time, part of the deep marine facies of the Garau Formation deposited in the northern areas (Modified after Davies et al., 2019).

۴-۲- کنترل کننده‌های ورود آواری‌ها در مقابل تولید کربنات

زمین‌ساخت، اقلیم و نوسان سطح جهانی آب دریاها عوامل اصلی کنترل‌کننده ساختار هندسی و تکامل سامانه‌های رسوبی به‌شمار می‌روند (Mack, 2003; Busby, 2011 and Azor, 2011). تغییرات اقلیمی و موقعیت سطح آب دریاها ضمن وابستگی و ارتباط متقابل با یکدیگر، تا حدود زیادی متأثر از زمین‌ساخت هستند. افزون بر این، رسوب‌گذاری تحت تأثیر فرایندهای درون‌زاد سامانه‌های رسوب‌گذاری نیز قرار می‌گیرد که مستقل از متغیرهای بیرونی عمل می‌کنند (Boggs, 2009; Nichols, 2009).

۴-۲-۱- زمین‌ساخت

رویدادهای زمین‌ساختی به شیوه‌ها و در مقیاس‌های گوناگون رسوب‌گذاری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. زمین‌ساخت با ایجاد فرونشینی درازمدت و فضای لازم برای رسوب‌گذاری، عامل اصلی تشکیل حوضه‌های رسوبی است (Allen and Allen, 2008; Abdullayev, 2020). فرونشست می‌تواند ناشی از کشش پوسته، بارگذاری رسوبی و زمین‌ساختی و تغییر در ستبرا یا چگالی سنگ کره باشد. در مقابل، بالآمدگی زمین‌ساختی به افزایش پتانسیل فرسایش در خشکی‌های پیرامون و تامین رسوب مورد نیاز می‌انجامد (Miall, 2000; Wangen, 2011). کرتاسه دوره بیشترین گسترش تیتس‌جوان و آغاز همگرایی شدن حاشیه غیرفعال این اقیانوس با خشکی اورازیا است (Alavi, 2007; Ghazban, 2007). به بیان دیگر، این دوره یکی از نقاط عطف در تاریخچه تکامل زاگرس به‌شمار می‌رود که طی آن نظام واگرایی (کافت) (Rift) پرمین-کرتاسه به سامانه برخوردی-فروورانش (Collision-subduction) توروین-نورژن تغییر یافت (Sadeghi and Yasaghi, 2016; Barber et al., 2018). سازند گدوان در مراحل پایانی توسعه تیتس‌نو تشکیل شده‌است که به دلیل فعال نبودن گسل‌های مهم و نرخ به نسبت پایین رسوب‌گذاری (۱۳/۳۳ متر در میلیون سال) آرامش نسبی بر حوضه حاکم بوده‌است (Farahzadi et al., 2019; Karimnejad-Lalami et al., 2020).

مقایسه نقشه‌های خطوط میزان ستبرا و رخساره‌های رسوبی کرتاسه زیرین در زیرپهنه فارس نیز گویای انطباق موقعیت ژرف‌ترین قسمت حوضه با مکان بیشترین رسوب‌گذاری است که این موضوع هم فرونشینی اندک و فضای رسوب‌گذاری کم در سکو را تأیید می‌کند (مطیعی، ۱۳۷۲؛ جلیلیان، ۱۴۰۱). یکی از موانع اصلی فرونشینی سکوی فارس در کرتاسه پیشین، بلندای قدیمی پارس جنوبی است که بر نرخ رسوب‌گذاری تأثیر گذاشته‌است (Perotti et al., 2016; Jahani et al., 2017). البته با وجود آرامش نسبی زمین‌ساختی حوضه زاگرس در زمان مورد نظر، بالآمدگی آهسته و خمش قسمت‌هایی از شمال ورقه عربی در تشدید فرسایش خشکی‌های آن منطقه و تولید و انتقال رسوبات آواری به سواحل (دلتای ژبیر) و فلات قاره جنوب تیتس‌جوان تا حدودی موثر بوده‌است (Haq and Al-Qahtani, 2005; Ghazban, 2007).

۴-۲-۲- اقلیم

همان‌گونه که اشاره شد، با توجه به موقعیت حوضه زاگرس در عرض‌های جغرافیایی پایین (حدود ۱۵ درجه شمال استوا) در زمان کرتاسه، امکان تشکیل کربنات‌های گرمسیری بیشتر از سایر رسوبات فراهم بوده‌است (Stampfli and Borel, 2002; Heydari, 2008). شواهد گوناگون سنگ‌شناسی و چینه‌نگاری از جمله افزایش متناوب واردات آواری و کاهش چشمگیر رسوبات تبخیری و دولومیت‌های اولیه گویای تغییر محسوس شرایط اقلیمی آن دوره نسبت به اقلیم گرم و خشک تریاس-ژوراسیک است (Alavi, 2004; Ghazban, 2007). حضور چیره دوکفه‌ای‌ها، شکم‌پایان، جلبک‌های سبز، میکروبیولیت‌ها و اریتولین‌ها به عنوان آلوکم‌های اصلی ریزرخساره‌های کربناته کرتاسه گویای توسعه دریا‌های گرم و فراوانی مواد غذایی در حوضه‌های رسوبی آن زمان است (Scholle and Ulmer-Scholle, 2003; Kavoosi et al., 2022). افزون بر این، وجود ماسه‌سنگ‌های رسی و کهرابا در

نهشته‌های هم‌ارز سازند گدوان در جنوب عراق و کویت نیز ضمن تأیید اقلیم گرم و مرطوب کرتاسه پیشین، وجود جنگل‌های انبوه در مناطقی از شمال سکوی عربی را نشان می‌دهد (Poinar et al., 2004; Hasan, 2011). رُس‌ها در اساس محصول هوازدگی شیمیایی هستند که شرط لازم برای پیشرفت آن وجود رطوبت کافی در محیط است (Murray, 2007). یکی از وجوه آشکار مناطق استوایی، اقلیم موسمی و بارندگی‌های فصلی شدید (Monsoon) و تشکیل رواناب‌ها و سیلاب‌های گسترده است. این شرایط همراه با میانگین بالای دمای سالیانه (حدود ۳۵ درجه سانتی‌گراد) به افزایش پتانسیل فرسایش می‌انجامد (Sellwood and Valdes, 2006). این موضوع عامل اصلی گسترش سامانه‌های آبرفتی در قاره‌ها و تامین رسوبات مورد نیاز برای تشکیل محیط‌های رسوبی حدواسط از جمله دلتاها و فلات قاره‌های آواری و مختلط است.

۴-۲-۳- نوسان سطح آب دریا

در بررسی‌های رسوب‌شناسی و چینه‌نگاری سکانشی، منظور از ائوستازی (Eustasy) تغییرات سطح آب دریاها در مقیاس جهانی است که معلول فرایندهای زمین‌ساختی یا تغییرات اقلیم در مقیاس جهانی است. اما آنچه به‌طور مستقیم در مطالعه توالی‌های رسوبی و بازسازی محیط‌های گذشته به‌دست می‌آید، افت‌وخیز سطح آب در حوضه‌های رسوبی یا تغییرات سطح نسبی آب دریاهاست که برآیند ائوستازی، تغییرات کف حوضه و تامین رسوب است (امینی، ۱۳۹۶). در بازه زمانی کرتاسه، سطح جهانی آب دریاها به بالاترین حد خود در فانروزوییک و حدود ۲۰۰ متر بالاتر از سطح امروزی رسید (Sharland et al., 2001; Golonka and Kiessling, 2002). گسترش رشته‌کوه‌های میان اقیانوسی و فقدان کلاهک‌های یخی در آن دوره را به‌عنوان عوامل اصلی این رویداد مطرح کرده‌اند (Sellwood and Valdes, 2006; Van der Meer et al., 2022). نتیجه خیزش طولانی‌مدت سطح آب دریاها در کرتاسه، گسترش قابل توجه سکوها و ایجاد توالی‌های عمدتاً کربناته در جهان است. افزایش سریع سطح نسبی آب دریاها به غرق‌شدن سکوها می‌انجامد که با تغییر ناگهانی نهشته‌های دریای کم‌ژرفا به رخساره‌های ژرف و پلازیکیک مشخص می‌شود (جلیلیان، ۱۳۹۹؛ کیانی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۹). در مقابل، در زمان افت سطح آب حوضه، سکو با رسوبات آواری تسخیر یا در اصطلاح غرق در آواری می‌شود (Sharp et al., 2010; Bayet-Gol et al., 2016). در این شرایط، تولید کربنات مختل و سکو محدود می‌شود. چیدمان عمودی رخساره‌های رسوبی و نمودارهای ژئوفیزیکی بُرش‌های مطالعه شده در کنار منحنی تغییرات سطح جهانی آب دریاها و مراحل تغییر سکو و شرایط اقلیمی بازه زمانی مورد نظر در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. الگوی کلی نمودارهای گاما معرف دو چرخه رسوبی است که نیمه زیرین آن‌ها ماهیت کثیف‌شونده (Dirtying up) دارد اما بخش بالایی تمیزشونده (Cleaning up) است. این چرخه‌ها بیانگر بخش‌های شیلی زیرین و بالایی سازند گدوان هستند که قسمت کم‌پرتوی مشترک بین آن‌ها با بخش آهکی خلیج مطابقت دارد. این افق کلیدی که در نواحی گسترده‌ای از فارس و خوزستان گسترش دارد با رادیواکتیویته کم (آهک تمیز و فاقد ترکیبات رُسی) و سنگواره *Dictyoconus arabicus* شناخته می‌شود که شاخص بارمین است (Van Buchem et al., 2010; Asgari-Pirbalouti and Abayat, 2017). روند کلی تغییرات نمودارهای صوتی نیز پلکانی و با منحنی‌های گاما هماهنگ است. همگرایی این نمودارها به‌گونه‌ای است که می‌توان محدوده کمترین فاصله بین آن‌ها (بیشترین API و کمترین سرعت صوت) را به‌عنوان سطح بیشینه آب‌گرفتگی در نظر گرفت که بر بخش آهکی خلیج منطبق است (Catuneanu et al., 2012; Abouelresh and Slatt, 2012). این سطح با MFS K60 اواخر بارمین در ورقه عربی همزمان است (Sharland et al., 2001; Kavoosi et al., 2022). با توجه به آرامش نسبی زمین‌ساختی سکوی فارس در کرتاسه پیشین، تبدیل کربنات‌های ستبر و کوه‌ساز نوکومین به تناوب‌های آهکی-شیلی سازند گدوان حاصل تغییرات

فهلپان) به یک سکوی مختلط شد که متاثر از فعالیت متناوب یک فلات قاره گلی و تالاب میانه سکوی شیب دار (رمپ) بوده که تناوب های آواری-کربناته سازند گدوان نتیجه عملکرد آن است. ارتباط بین انگشتی سازند گدوان با نهشته های آواری مناطق پیرامون خلیج فارس از جمله ماسه سنگ های دلتای زُبر در کویت و جنوب خاوری عراق نشان می دهد که آواری های مورد نظر از فرسایش خشکی های سپر عربستان تامین و به جنوب حوضه زاگرس منتقل شده اند. نتایج این پژوهش، بیانگر آن است که تغییر نظام رسوب گذاری در سکوی فارس و فعالیت مقطعی سامانه های مختلط کربناته-آواری در کرتاسه پیشین در اساس نتیجه عملکرد متقابل اقلیم استوایی و نوسانات کوتاه مدت سطح آب دریا است.

سپاسگزاری

از زحمات بی دریغ و تلاش های مشفقانه سردبیر ارجمند و دست اندرکاران محترم مجله علمی علوم زمین در پیگیری امور مختلف مربوط به داوری، پذیرش و انتشار مقاله بی نهایت سپاسگزاریم. همچنین، داوران گرامی با صرف وقت گرانبهای خود در مطالعه دقیق مقاله و ارائه نکات اصلاحی ارزشمند در بهتر شدن محتوا و ارزش علمی آن بسیار موثر بوده اند. نویسندگان مراتب امتنان خود را نسبت به داوران مقاله ابراز نموده و برای همه عزیزان تندرستی و توفیق آرزومندند.

۵- نتیجه گیری

سازند گدوان یکی از محدود واحدهای سنگ چینه ای کمر بند چین خورده-رانده زاگرس است که در برخی نواحی به عنوان سنگ منشا و در بعضی جاها در نقش پوش سنگ معرفی شده است. این توالی شیلی-آهکی محصول تغییر مداوم موازنه تولید کربنات در برابر واردات آواری در منطقه گسترده ای از کرانه جنوبی اقیانوس تنیس جوان است. در حقیقت، افزایش واردات آواری در برهه ای از کرتاسه پیشین منجر به اختلال در تولید کربنات و تغییر رمپ آلیتی-پلوییدی نئوکومین (سازند

کتابنگاری

- ارباب، ب.، جهانی، د. و موجد، ب.، ۱۳۹۷، تحلیل رخساره ها و خصوصیات مخزنی مقاومت ویژه پایین، سازند داریان جنوب شرق خلیج فارس. فصلنامه علمی علوم زمین، دوره ۲۸، شماره ۱۰۹، ۳۲-۲۳. <https://doi.org/10.22071/gsj.2017.79545.1062>.
- آفانباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۴۰ ص.
- امینی، ع.، ح.، ۱۳۹۶، مبانی چینه نگاری سکانسی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۳۳۹ ص
- جلیلیان، ع.، ح.، ۱۳۹۹، شواهدی بر غرق شدن پلاتفرم کربناته فارس در ژوراسیک، جنوب ایران. مجله رسوب شناسی کاربردی، شماره ۱۵، صص. ۹۴-۷۹. http://psj.basu.ac.ir/article_3277.
- جلیلیان، ع.، ح.، ۱۴۰۱، بررسی عوامل کنترل کننده رسوب گذاری پلاتفرم فارس در کرتاسه پیشین. مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی انجمن رسوب شناسی ایران، ۸-۱. <http://ssi7.ui.ac.ir/fa>.
- رمضانی اکبری، ع.، رحیم پورناب، ح.، کمالی، م.، موسوی حرمی، ر. و کدخدایی، ع.، ۱۳۹۵، محیط رسوبی، رخساره های الکتریکی و چینه نگاری سکانسی سازند فهلپان (کرتاسه آغازین) در دشت آبادان. فصلنامه علمی علوم زمین، دوره ۲۶، شماره ۱۰۲، ۳۵۰-۳۳۹. <https://doi.org/10.22071/gsj.2017.44159>.
- کیانی فرد، م.، جلیلیان، ع.، ح. و ارزانی، ن.، ۱۳۹۹، غرق شدن ناگهانی پلاتفرم کربناته کرتاسه پسین در حوضه رسوبی زاگرس مرکزی: مطالعه موردی از عضو شیلی لافان در یکی از میادین نفتی دشت آبادان، جنوب غربی ایران. مجله زمین شناسی ایران، شماره ۵۶، ۱۱۶-۱۰۱. <http://geology.saminattech.ir/fa/Article/15748>.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲، چینه شناسی زاگرس. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۳۶ ص.

References

- Abdullayev, N.R., 2020. Analysis of sedimentary thickness, volumes and geographic extent of the world sedimentary basins. *Earth Sciences*, 1, 28-36. DOI: 10.33677/ggias20200100040.
- Abouelresh, M.O., and Slatt, R.M., 2012. Lithofacies and sequence stratigraphy of the Barnett Shale in eastcentral Fort Worth Basin, Texas: AAPG Bulletin, 96, 1-22. DOI: 10.1306/04261110116.
- Abtahian, A.R., Afghah, M., and Ahmadi, V., 2023. Biostratigraphy and microfacies of the Gadvan Formation: Coastal Fars zone (Zagros Basin, SW Iran). *Carbonates and Evaporites*, 38(2), 94-105. DOI: 10.1007/s13146-023-00874-w.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 401e419. DOI: 10.1007/s00531-005-0481-4.
- Aganbati, A., 2003. *Geology of Iran. Geological survey and Mineral Exploration of Iran*, 640 p. (In Persian).
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304, 1-20. DOI: 10.2475/ajs.304.1.1.
- Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, 307, 1064-1095. DOI: 10.2475/09.2007.02
- Allen, P.A., and Allen, J.R., 2008. *Basin analysis: principles and applications* (2nd Ed). Blackwell, 549 p.
- Allen, M.B., and Talebian, M., 2011. Structural variation along the Zagros and the nature of the Dezful Embayment. *Geological Magazine*, 148, 911-924. DOI: 10.1017/s0016756811000318.
- Alsharhan, A.S., and Nairn, A.E.M., 2003. *Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East*. Elsevier, 878 p.
- Amini, A.H., 2016. *Principles of Sequence Stratigraphy*. University of Tehran Press, second edition, 339 p. (In Persian).

- Arbab, B., Jahani, D., and Movahed, B., 2017. Microfacies analysis and reservoir characterization low resistivity pay, Driyan Formation southeastern of Persian Gulf. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 28(109): 23-32. <https://doi.org/10.22071/gsj.2017.79545.1062>. (In Persian).
- Asgari-Pirbalouti, B., and Abyat, A., 2017. Early Cretaceous benthic foraminiferal biozonation of the Fahliyan and Gadvan Formations in the Assaluyeh and Halegan stratigraphic sections, Zagros Basin, Southwest of Iran. *Carbonates Evaporites*, 34, 249-260. DOI: 10.1007/s13146-017-0376-z.
- Baniak, G.M., Gingras, M.K., Burns, B., and Pemberton, S.G., 2014. An example of a highly bioturbated, storm-influenced shoreface deposit: upper Jurassic Ula Formation, Norwegian North Sea. *Sedimentology*, 61, 1261-1285. DOI.org/10.1111/sed.12100.
- Barber, D.E., Stockli, D.F., Horton, B.K. and Koshnaw, R.I., 2018. Cenozoic exhumation and foreland basin evolution of the Zagros orogen during the Arabia-Eurasia collision, western Iran. *Tectonics*, 37, 4396-4420. DOI.org/10.1029/2018TC005328.
- Bayet-Goll, A., Samani, P.N., de Carvalho, C.N., Monaco, P., Khodaie, N., Pour, M.M., Kazemeini, H., and Zareiyan, M.H., 2016. Sequence stratigraphy and ichnology of Early Cretaceous reservoirs, Gadvan Formation in southwestern Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 81, 294-319. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2016.11.008.
- Bigi, S., Carminati, E., Aldega, L., Trippetta, F. and Kavooosi. M. A., 2018. Zagros fold and thrust belt in the Fars province (Iran) I: Control of thickness/rheology of sediments and pre-thrusting tectonics on structural style and shortening. *Marine and Petroleum Geology*, 91, 211-224. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2018.01.005.
- Boggs, S., 2009. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Cambridge University Press, 600 p.
- Bordenave, M.L., 2014. Petroleum Systems and Distribution of the Oil and Gas Fields in the Iranian Part of the Tethyan Region. In: Marlow, L., Kendall, C.C.G. and Yosef, L.A. (Eds), *Petroleum Systems of the Tethyan Region*. AAPG Memoir 106, 505-540. DOI: 10.1036/13431865M1063614.
- Busby, C., and Azor, A., 2011. *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*. Blackwell Science, 579.
- Cabarcas, C., and Slatt, R., 2014. Sequence stratigraphic principles applied to the analysis of borehole microseismic data. *Society of Exploration Geophysicists and American Association of Petroleum Geologists*, 2(3), 1-9. DOI: 10.1190/INT-2013-0151.1.
- Catuneanu, O., Galloway, W., Kendall, C., Miall, A., Posamentier, H., Strasser, A., and Tucker, M., 2011. Sequence stratigraphy: Methodology and nomenclature: *Newsletters on stratigraphy*, 44(3), 173-245. DOI: 10.1127/0078-0421/2011/0011.
- Coffey, B.P., and Read, J.F., 2004. Mixed carbonate-siliciclastic sequence stratigraphy of a Paleogene transition zone continental shelf, southeastern USA. *Sedimentary Geology*, 166, 21-57. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2003.11.018.
- Darling, T., 2005. *Well Logging and Formation Evaluation*. Elsevier, 326 p.
- Davies, R.B., Simmons, M.D., Jewell, T.O., and Collins, J., 2019. Regional controls on siliciclastic input into mesozoic depositional systems of the Arabian plate and their petroleum significance, in AlAnzi, H.R., Rahmani, R.A., Steel, R.J., and Soliman, O.M., eds., *Siliciclastic reservoirs of the Arabian plate*. AAPG Memoir 116, 103-140. DOI: 10.1306/13642165M1183798.
- Dunbar, G.B., and Dickens, G.R., 2003. The shedding of shallow marine carbonate over space and time in a tropical mixed siliciclastic-carbonate system: Carbonate components of late Quaternary periplatform ooze east of the Great Barrier Reef, Australia. *Sedimentology*, 50, 1061-1077. DOI: 10.1046/j.1365-3091.2003.00593.x.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E (Ed) *Classification of carbonate rocks*. AAPG Memoir 1, pp. 108-121.
- Ellis, D.V., and Singer, G.M., 2007. *Well Logging for Earth Scientists*. Springer, 692 P.
- Esrafil-Dizaji, B., and Rahimpour-Bonab, H., 2019. Carbonate reservoir rocks at giant oil and gas fields in SW Iran and the adjacent offshore: A review of stratigraphic occurrence and poro-perm characteristics. *Journal of Petroleum Geology*, 42(4), 343-370. DOI: 10.1111/jpg.12741.
- Farahzadi, E., Alavi, S.A., Sherkat, S., and Ghasemi, M.R., 2019. Variation of subsidence in the Dezful Embayment, SW Iran: Influence of reactivated basement structures. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(20), 1-22. DOI: 10.1007/s12517-019-4758-5.
- Flügel, E., 2014. *Microfacies of carbonate rocks*. Springer, 984 p.
- Folk, R.L., 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, 182 p.
- Ghajari, A., Kamali, M., and Mortazavi, S.A., 2013. A comprehensive study of Laffan Shale Formation in Sirri oil fields, offshore Iran: Implications for borehole stability. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 107, 50-56. DOI: 10.1016/j.petrol.2013.03.030.
- Ghazban, F., 2007. *Petroleum geology of the Persian Gulf*. Tehran University Press, 707 p.
- Golonka, J., and Kiessling, W., 2002. Phanerozoic Time Scale and definition of time slices. *Society for Sedimentary Geology, Special Publication No. 72*, 11-20. DOI: 10.2110/pec.02.72.0011.
- Gordon, S.A., Huizinga, B.J., and Sublette, V., 2000. Petroleum potential of the Southern Gulf of Papua, in Papua New Guinea's Petroleum Industry in the 21st Century, *Proceedings of the Fourth PNG Petroleum Convention*, pp. 205-218. DOI: 10.1029/2006JF000684, 2008.
- Gray, D.R., Foster, D.A., Meert, J.G., Goscombe, B.D., Armstrong, R., Trouw, R.A.J., and Passchier, C.W., 2008. A Damara orogen perspective on the assembly of southwestern Gondwana. *Geological Society of London, Special Publications*, 294, 257-278. DOI: 10.1144/SP294.14.
- Haq, B.U., and Al-Qahtani, A.M., 2005. Phanerozoic cycles of sea-level change on the Arabian Platform. *GeoArabia*, 10(2), 127-160. DOI: 10.2113/geoarabia1002127.
- Hasan, I. S., 2011. A sedimentological study of the Zubair Formation in the Luhais Oil Field, Southern Iraq: M.Sc. thesis, University of Baghdad, Baghdad, Iraq. 90 p.

- Heydari, E., 2008. Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran. *Tectonophysics*, 451, 56–70. DOI: 10.1016/j.tecto.2007.11.046.
- Husseini, M.I., 2000. Origin of the Arabian Plate structures: Amar Collision and Najd Rift. *GeoArabia*, 5(4), 527–542. DOI.org/10.2113/geoarabia0504527.
- Jahani, S., Hassanpour, J., Mohammadi-Firouz, S., Letouzey, J., Frizon de Lamotte, D., Alavi, S.A., and Soleimany, B., 2017. Salt tectonics and tear faulting in the central part of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 86, 426–446. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2017.06.003.
- Jalilian, A.H., 2019. Evidences on the drowning of the Fars carbonate platform in the Jurassic, southern Iran. *Journal of Applied Sedimentology*, 15: 79-94. (In Persian with English abstract). http://psj.basu.ac.ir/article_3277.html.
- Jalilian, A.H., 2021. Investigating the controls on sedimentation of the Fars platform in the Early Cretaceous. *Proceedings of the 7th National Conference of Sedimentological Society of Iran*, pp. 1-8. (In Persian with English abstract). <http://ssi7.ui.ac.ir/fa>.
- 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.
- James, N.P., and Bone, Y., 2011. *Neritic Carbonate Sediments in a Temperate Realm*. Springer, 254 p.
- Karimnejad-Lalami, H.R., Hajlibeigi, H., Sherkati, S., and Adabi, M.H., 2020. Tectonic evolution of the Zagros foreland basin since Early Cretaceous, SW Iran: Regional tectonic implications from subsidence analysis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 204(4), 104550. DOI: 10.1016/j.jseaes.2020.104550.
- Kavoosi, M.A., Aharipour, R., and Jalilian, A.H., 2022. The controlling factors of the spatio-temporal distribution of the upper Barremian to the upper Albian sedimentary succession in the Zagros folded. *Journal of Asian Earth Sciences*, 225(3) 105046. DOI: 10.1016/j.jseaes.2021.105046.
- Kianifard, M., Jalilian, A.H. and Arzani, N., 2019. Drowning of the Late Cretaceous carbonate platform in central Zagros basin: a case study from the shaley Laffan Member in one of the Oil Fields of Abadan Plain, SW Iran. *Iranian Journal of Geology*, 56: 101-116. (In Persian with English abstract). <http://geology.saminetech.ir/fa/Article/15748>
- Kleipool, L.M., Reijmer, J.J.G., Bádenas, B., and Aurell, M., 2015. Variations in petrophysical properties along a mixed siliciclastic carbonate ramp (Upper Jurassic, NE Spain). *Marine and Petroleum Geology*, 68, 158-177. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2015.08.017.
- Mack, G.H., 2003. Climatic Control of Sedimentation. In: Middleton, G.V., 2003. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Springer, pp. 142-145.
- Maguire, H., Mehrtens, Ch., Kim, J., and Romanowicz, E., 2019. Using Gamma Emissions to Identify Cycles in the Lower Cambrian Monkton Formation (NW Vermont): Implications for Identifying Sea Level Variation on the Iapetus Margin. *Open Journal of Geology*, 9, 89-108. DOI.org/10.4236/ojg.2019.92008.
- Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Enayati-Bidgoli, A.H., and Esrafil-Dizchi, B., 2015. Impact of contrasting paleoclimate on carbonate reservoir architecture: Cases from arid Permo-Triassic and humid Cretaceous platforms in the south and southwestern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 126, 262-283. DOI: 10.1016/j.petrol.2014.12.020.
- Miall, A.D., 2000. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Springer, 616 p.
- Motamedi, H., Sherkati, Sh., and Sepehr, M., 2012. Structural style variation and its impact on hydrocarbon traps in central Fars, southern Zagros folded belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, 37, 124-133. DOI: 10.1016/j.jsg.2012.01.021.
- Motiei, H., 1993. *Stratigraphy of Zagros. Geological survey and Mineral Exploration of Iran*, 536 p. (In Persian).
- Mouthereau, F., Lacombe, O., and Verges, 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/i.tecto.2012.01.022.
- Murray, H.H., 2007. *Applied Clay Mineralogy*. Elsevier, 180 p.
- Naderi-Khujin, M., Tavakoli, V., Seyrafi, A., and Vaziri-Moghaddam, H., 2020. How a mud-dominated ramp changed to a carbonate-clastic oil reservoir: Sea-level fluctuations in cretaceous of the central Persian Gulf. *Marine and Petroleum Geology*, 116, 104301. DOI: org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104301.
- Najafi, M., Verge's, J., Etemad-Saeed, N., and Karimnejad, H.R., 2018. Folding, thrusting and diapirism: Competing mechanisms for shaping the structure of the north Dezful Embayment, Zagros, Iran. *Basin Research*, 30(6): 1200-1229. DOI: 10.1111/bre.12300.
- Navabpour, P., and Barrier, E., 2012. Stress states in the Zagros fold-and-thrust belt from passive margin to collisional tectonic setting. *Tectonophysics*, 581, 76–83. DOI: 10.1016/j.tecto.2012.01.011.
- Nichols, G., 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. Wiley-Blackwell, 419 p.
- Perotti, C.R., Chiariotti, L., Bresciani, I., Cattaneo, L., and Toscani, G., 2016. Evolution and timing of salt diapirism in the Iranian sector of the Persian Gulf. *Tectonophysics*, 679, 180-198. DOI: 10.1016/j.tecto.2016.04.040.
- Poinar, G. Jr., Lambert, J.B., and Wu, Y., 2004. NMR analysis of amber in the Zubair Formation, Khafji Oilfield (Saudi Arabia-Kuwait): Coal as an oil source rock? *Journal of Petroleum Geology*, 27, 207–209. DOI: 10.1111/j.1747-5457.2004.tb00054.x.
- Pomar, L., and Hallock, P., 2008. Carbonate factories: A conundrum in sedimentary geology. *Earth-Science Reviews*, 87(3–4), 134–169. DOI: org/10.1016/j.earscirev.2007.12.002.
- Ramezani-Akbari, A., Rahimpour-Bonab, H., Kamali, M.R., Moussavi-Harami, R., and Kadkhodaie, A., 2017. Depositional environment, electrofacies and sequence stratigraphy of the Fahliyan Formation (lower Cretaceous), Abadan plain. *Scientific Quarterly Journal of*

- Geosciences*, 26(102): 339-350. (In Persian). <https://doi.org/10.22071/gsj.2017.44159>.
- Riding, R., 2011. Reefal microbial crusts. In: Hopley, D. (Ed), *Encyclopedia of Modern Coral Reefs*. Encyclopedia of Earth Science Series, Springer, Heidelberg, 911-915. DOI: 10.1007/978-90-481-2639-2_112.
- Sadeghi, Sh., and Yassaghi, A., 2016. Spatial evolution of Zagros collision zone in Kurdistan, NW Iran: Constraints on Arabia-Eurasia oblique convergence. *Solid Earth*, 7(2), 659-672. DOI: 10.5194/sed-7-2735-2015.
- Schlager, W., 2005. *Carbonate Sedimentology and sequence stratigraphy*. Society for Sedimentary Geology, 200 p.
- Scholle, P.A., and Ulmer-Scholle, D.S., 2003. *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis*. AAPG Memoir 77, 459 p.
- Sellwood, B.W., and Valdes, P.J., 2006. Mesozoic climates: General circulation models and the rock record. *Sedimentary Geology*, 190(1-4), 269-287. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2006.05.013.
- Sepehr, M., and Cosgrove, J.W., 2004. Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 829-843. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2003.07.006.
- Setudehnia, A., 1978. The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent area. *Journal of Petroleum Geology*, 1(1), 3-42. DOI: [10.1111/j.1747-5457.1978.tb00599.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1978.tb00599.x).
- Shakib, S.S., 1990. Biostratigraphical aspect of Gadvan Formation (Barremian-Aptian) of SW Iran. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 96, 111-132. DOI: [10.13130/2039-4942/9051](https://doi.org/10.13130/2039-4942/9051).
- Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D., and Simmons, M.D., 2001. *Arabian Plate sequence stratigraphy*. Gulf Petro Link, Bahrain, Special Publication, 2, 371 p.
- Sharp, I., Gillespie, P., Morsalnezhad, D., Taberner, C., Karpuz, K., Verges, J., Horbury, A., Pickard, N., Garland, J., and Hunt, D., 2010. Stratigraphic architecture and fracture-controlled dolomitization of the Cretaceous Khami and Bangestan groups: an outcrop case study, Zagros Mountains, Iran. *Geological Society, London, Special Publications*, 329, 343-396. DOI: 10.1144/SP329.14.
- Sherkati, S., Letouzey, J., and Frizon de Lamotte, D., 2006. Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics*, 25, 1-27. DOI: [10.1029/2004TC001766](https://doi.org/10.1029/2004TC001766).
- Singh, P., Slatt, R., Borges, G., Perez, R., Portas, R., Marfurt, K., Ammerman, M., and Coffey, W., 2008. Reservoir characterization of unconventional gas shale reservoirs: Example from the Barnett shale, Texas, U.S.A: VI INGEPET EXPL-1-RS-124. https://www.researchgate.net/publication/266464624_Reservoir_characterization_of_unconventional_gas_shale_reservoirs_Example_from_the_Barnett_Shale_Texas_USA.
- Snidero, M., Muñoz, J.A., Carrera, N., Butillé, M., Mencos, J., Motamedi, H., Piryaee, A., and Sàbat, F., 2019. Temporal evolution of the Darmadan salt diapir, eastern Fars region, Iran. *Tectonophysics*, 76, 115-130. DOI: 10.1016/j.tecto.2019.06.006.
- Soleimani, B., 2009. Paleoclimate Reconstruction during Pabdeh, Gurpi, Kazhdumi and Gadvan Formations (Cretaceous-Tertiary) Based on Clay Mineral Distribution. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 1, 59-63. DOI: 10.5281/zenodo.1085417.
- Stampfli, G.M., and Borel, G.D., 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth and Planetary Science Letters*, 196, 17-33. DOI: 10.1016/S0012-821X(01)00588-X.
- Tcherepanov, E.N., Droxler, A.W., Lapointe, P., Dickens, G.R., Bentley, S.J., Beaufort, L., Peterson, L.C., Daniell, J., and Opdyke, B.N., 2008. Neogene evolution of the mixed carbonate-siliciclastic system in the Gulf of Papua, Papua New Guinea. *Journal of Geophysical Research*, 113, F01S21. DOI: 10.1029/2006JF000684.
- Van Buchem, F.S.P., Gaumet, F., Vedrenne, V., and Vincent, B., 2006. *Middle East Cretaceous Sequence Stratigraphy Study, Part 1: Iran*. Unpublished Report NIOC-IFP, 167 p.
- Van Buchem, F.S.P., Gerdes, K.D., and Esteban, M., 2010. Mesozoic and Cenozoic Carbonate Systems of the Mediterranean and the Middle East: Stratigraphic and Diagenetic Reference Models. *Geological Society, London, Special Publications No. 329*, 422 p. DOI: [10.1144/SP329.1](https://doi.org/10.1144/SP329.1).
- Van der Meer, D.G., Scotese, C.R., Mills, B.J.W., Sluijs, A., Van den Berg Van Saparoea, A.P., and Van de Weg R.M.B., 2022. Long-term Phanerozoic global mean sea level: Insights from strontium isotope variations and estimates of continental glaciation. *Gondwana Research*, 11, 103-121. DOI: [10.1016/j.gr.2022.07.014](https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.07.014).
- Vincent, B., Van Buchem, F.S., Bulot, L.G., Immenhauser, A., Caron, M., Baghbani, D., and Huc, A.Y., 2010. Carbon isotope stratigraphy, biostratigraphy and organic matter distribution in the Aptian-Lower Albian successions of southwest Iran (Dariyan and Kazhdumi formations). Barremian-Aptian stratigraphy and hydrocarbon habitat of the eastern Arabian Plate. *GeoArabia Special Publication No. 4*, 139-197. <https://www.researchgate.net/journal/GeoArabia-Manama-1025-6059>.
- Wangen, M., 2011. *Physical Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Cambridge University Press, New York, 527 p.
- Wesley, L.R., 2014. *Clays and Clay Minerals: Geological Origin, Mechanical Properties and Industrial Applications*. Nova Science, 465 p.
- Wilson, J.L., 1997. Carbonate Depositional Environments and Diagenesis. In: Palaz, I., Marfurt, K.J. (Eds.), *Carbonate seismology*. Geophysical developments Series No. 6, pp. 9-28.
- Wynd, A.G., 1965. Biofacies of the Iranian Oil Consortium Agreement area. Iranian Oil Operating Companies. Geological and Exploration Division, Report 1082, 89 p.
- Ziegler, M.A., 2001. Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia*, 6, 445-504. DOI: [10.2113/geoarabia0603445](https://doi.org/10.2113/geoarabia0603445).