



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

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan  
E-ISSN: 2423-8007  
Vol. 38, Issue 1, No. 86, Spring 2022, pp 115-146  
Received: 08.01.2021 Accepted: 27.02.2021

#### Research Paper

### Microfacies, depositional environment and sequence stratigraphy of the carbonate-evaporate successions of the Kangan Formation in the central part of the Persian Gulf

**Majid Fakhar**

PhD Student of Sedimentology and Sedimentary rocks, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran  
m.fakhar.phd@hormozgan.ac.ir

**Payman Rezaee\*** 

Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran  
p.rezaee@hormozgan.ac.ir

**Amir Karimian Torghabeh**

Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran  
amirkarimian@shirazu.ac.ir

#### Abstract:

The Persian Gulf possesses the largest gas fields in the world. The reservoir part of these fields includes upper Dalan and Kangan formations dating back to the Permo–Triassic age, equivalent to Arab countries' Khuff Formation in the south of the Persian Gulf. The present study was based on the core and petro-physical information, including gamma, sonic, and neutron log, in well A in the central part of the Persian Gulf with a thickness of 174 meters. Findings obtained from examining 628 thin sections indicated 12 microfacies in five groups of microfacies (sedimentary environment). These five facies belts consisted of supratidal, intertidal, lagoon, shoal, and open marine (middle and outer ramp). The sum of these facies and their sequence indicated the formation of carbonate-evaporative successions of Kangan in a ramp environment with a gentle slope deposited in the hot and dry climate of the former Triassic. Regarding the combination of microfacies studies and petrophysical logs, two third-order depositional sequences named DS1 and DS2 were identified. Investigations indicated that the Kangan Formation could be divided into four reservoir zones. Zones 1 and 3 with evaporitic or mudstone facies and very low porosity were considered impermeable and non-production capacity parts of the reservoir. These zones were in correspondence to the supratidal microfacies and lagoon. On the other hand, zones 2 and 4 included ooid-bearing grain-supported microfacies with very high porosity. These zones were regarded as the permeable and production capacity parts of this formation and corresponded to the microfacies group of the back shoal.

**Keywords:** Kangan Formation, Microfacies, Depositional Environment, Sequence Stratigraphy, Sedimentary Environment

#### Introduction

The Persian Gulf has always taken researchers' attention in the oil and gas basin due to its largest gas fields in the world. The gas part of this field is located in the Dalan (mainly the upper part) and Kangan formations dating back to the Permo–Triassic age (Esrafil-Dizaji and Rahimpour Bonab 2013). Sedimentary deposits in this field are related to the extension and evolution of the Neotethys Ocean (Szabo and Kheradpur 1978). According to many changes in the facies in the ramp

environment and the creation of different sedimentary conditions in the sequences of this formation, a more detailed review and analysis of microfacies and the sedimentary environment is required. In addition, the reservoir potential from petrographic surveys based on the microfacies determination, the sediment environment analysis, and the sequence stratigraphy should be reviewed.

#### Materials & Methods

\*Corresponding author

Fakhar M. Rezaee P. and Karimian Torghabeh A. (2022). Microfacies, depositional environment and sequence stratigraphy of the carbonate-evaporate successions of the Kangan Formation in the central part of the Persian Gulf. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 38(1), 115-146.

2423-8007 / © 2022

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



<http://dx.doi.org/10.22108/jssr.2022.132142.1221>



<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087888.1401.38.1.6.9>

The present study was conducted based on cores taken from Kangan Formation and information obtained from petrophysical logs, including gamma, sonic, resistance, and neutron. In the studied well, coring of Kangan Formation was performed with a thickness of 174 meters. After coring, the samples were sent to the laboratory to examine the core and prepare thin sections. For a more comprehensive and accurate study, a thin section of the core was prepared every 30 cm (one foot). The samples were measured for porosity and permeability by conventional core tests. A total of 628 thin sections were taken from the plugs. These thin sections were stained with Alizarin Red solution to differentiate the calcite minerals from dolomite. These samples were evaluated with a microscope, and the facies were named based on the Dunham classification (Dunham 1962). Next, the sedimentary sequence was drawn, and the sedimentation environment of the microfacies was specified in a model. Based on the progradational plan of sedimentary facies, deep and shallow trends and petrophysical logs of the sequence stratigraphy framework were examined, and the third- and fourth-order sedimentary sequences were identified.

#### Discussion of Result & Conclusion

Examining the petrographic and sequence stratigraphy data of Kangan Formation in the studied area showed some conclusions as follows:

1- Kangan Formation dating back to the former Triassic consisted of a series of carbonate-evaporative successions with thin layers of shale deposited in the ramp environment with a gentle slope in hot and dry climates (due to the presence of large masses of anhydrite-gypsum often in sabkha and supratidal environment).

2- Deposits of Kangan Formation in the Persian Gulf were divided into five facies belts, including supratidal (sabkha and small evaporitic ponds), intertidal, lagoon, shoal, and open marine (middle ramp and outer ramp).

3- Due to its evaporation, the supratidal facies belt had the lowest porosity with the role of caprock, separating the permeable and production capacity zones within the Kangan Formation. The intertidal facies belt was mostly dolomitic; however, it was observed with some mudstone and anhydrite facies. The predominant diagenetic phenomenon in these facies was dolomitization, and these dolomites resulted from the Seepage-Reflux model. In the absence of anhydrite in the dolomitic intertidal zone, these distances had high reservoir properties. They were considered the second type of reservoir in Kangan Formation in terms of quality. The lagoon facies

belt mainly consisted of dolostone and anhydrite with interbedded shale. The lagoon belt corresponded to the sequence boundary of the second type; it was considered part of the impermeable part of the Kangan reservoir. The back shoal microfacies comprised fine facies with lithology, including dolostone and limestone with a small amount of anhydrite-gypsum diagenesis. In terms of reservoir quality, the back shoal belt had the highest reservoir quality. Two parameters played a significant role in improving the quality of the reservoir, the formation environment in which the ooidal grain-supported facies were formed and the process of dolomitic diagenesis. The shoal belt was used as the maximum flooding surface, and a progressive part of the sequence was formed in the center of the shoal in the final stages. The open marine facies (middle and outer ramp) are also composed of compacted limestone lithology. These facies could be known as the maximum flooding surface. There was a lack of reservoir quality in this section due to its mudstone being. This facies belt is very thin and was formed in a thin layer.

4- Sequence stratigraphic studies showed that Kangan Formation has two third-order sequences, DS1 and DS2. Sequence DS1 consisted of three parasequences of fourth-order such as DS1a, DS1b, and DS1c. The DS2 sequence consisted of four parasequences of fourth-order, including DS2a, DS2b, DS2c, and DS2d. Studies demonstrated that sequential boundaries were formed in the supratidal zone and the central part of the lagoon. In addition, the progradational part of the sequences extended from the supratidal zone to the marine and deeper areas such as lagoons and back shoals. In the continuation of the cycle and at the highest water level, the environment was located in the center of the shoal or open marine. It should be noted that the highest amount of porosity and quality of the reservoir was observed in the center of the shoal and especially in the condition of dolomitization.

5- Based on microfacies studies, sequence stratigraphic and petro-physical of Kangan Formation had two permeable and production capacity sections, including a) Zone No. 2 with a thickness of 11 meters related to the TST progressive section of sequence DS1 with lithology of 60% limestone and 40% dolostone was formed in the central part of the shoal, and the dominant microfacies was ooidal grainstone; b) Zone No. 4 with a thickness of 25 meters in the progressive part of the DS2 sequence with predominant dolomitic lithology (more than 90%) was formed in the central shoal and microfacies of dolomitic ooidal grainstone.



مقاله پژوهشی

## ریزرخساره‌ها، شرایط ته‌نشینی و چینه‌نگاری سکانسی توالی کربناته-تبخیری سازند کنگان، در بخش مرکزی خلیج فارس

مجید فخار، دانشجوی دکتری رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی دانشگاه هرمزگان،

بندرعباس، ایران

m.fakhar.phd@hormozgan.ac.ir

پیمان رضائی\*، دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

p.rezaee@hormozgan.ac.ir

امیر کریمیان طرقله، استادیار، بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

amirkarimian@shirazu.ac.ir

### چکیده

خلیج فارس بزرگ‌ترین میدان‌های گازی دنیا را دارد. بخش مخزنی این میدان‌ها، سازندهای دالان بالایی و کنگان به سن پرمو-تریاس است که معادل سازند خوف در کشورهای عربی جنوب خلیج فارس شناخته می‌شود. این پژوهش بر پایه اطلاعات حاصل از مغزه و اطلاعات پتروفیزیکی (لاگ گاما، لاگ صوتی و لاگ نوترون) در چاه A بخش مرکزی خلیج فارس، با ضخامت ۱۷۴ متر انجام شده است. یافته‌های حاصل از مطالعه ۶۲۸ مقطع نازک، نشان‌دهنده ۱۲ ریزرخساره در ۵ گروه ریزرخساره‌ای (محیط رسوبی) شامل بالای پهنه‌کشدی، پهنه‌کشدی، لاگون، تپه‌های سدی و دریای باز (رمپ کم عمق میانی و رمپ عمیق خارجی) است. مجموع این رخصاره‌ها و توالی آنها نشان‌دهنده تشکیل توالی کربناته-تبخیری کنگان در یک محیط رمپ با شیب ملایم است که در آب‌وهوای گرم و خشک تریاس پیشین نهشته می‌شوند. براساس تلفیق مطالعات ریزرخساره‌ای رسوبی و لاگ‌های پتروفیزیکی، ۲ سکانس رده سوم DS1 و DS2 شناسایی شدند. بررسی‌های انجام‌شده نشان داد سازند کنگان به ۴ زون مخزنی تقسیم می‌شود. زون ۱ و ۳ غالباً ریزرخساره تبخیری یا مادستونی و تخلخل بسیار کم دارند، بخش ناتراوا و برداشت‌نشده مخزن محسوب می‌شوند، منطبق با گروه‌های ریزرخساره‌ای بالای کشدی و لاگون‌اند و زون‌های ۲ و ۴ شامل ریزرخساره‌های دانه غالب اییدی‌اند، تخلخل بسیار بالا دارند، بخش تراوا و برداشت‌شدنی این سازند محسوب می‌شوند و منطبق بر گروه ریزرخساره‌ای پشته‌های سدی‌اند.

واژه‌های کلیدی: سازند کنگان، ریزرخساره‌ها، شرایط ته‌نشینی، چینه‌نگاری سکانسی، محیط رسوبی

\* نویسنده مسئول

فخار، م؛ رضائی، پ. و کریمیان طرقله، ا. (۱۴۰۱). ریزرخساره‌ها، شرایط ته‌نشینی و چینه‌نگاری سکانسی توالی کربناته-تبخیری سازند کنگان، در بخش مرکزی خلیج فارس، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۳۸(۱)، ۱۱۵-۱۴۶.



## مقدمه

در این سازند، اهمیت بازبینی دقیق‌تر ریزرخساره‌ها و تحلیل محیط رسوبی ایجاب می‌کند مجدداً این سازند مخزنی مهم، دقیق‌تر بررسی و پتانسیل مخزنی ممکن از بررسی‌های پتروگرافی بر مبنای تعیین ریزرخساره‌ها، تحلیل محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانشی بازبینی مجدد شود. پس از تعیین ریزرخساره‌ها و تفسیر لاگ‌های پتروفیزیکی، سکانش‌های رده سوم و سکانش‌های رده چهارم براساس سن‌سنجی عناصر ایزوتوپی اکسیژن و کربن توسط (Wardlaw et al. 2004) تعیین و با سکانش‌های (Sharland et al. 2001; Insalaco et al. 2006) راستی‌آزمایی شد، همچنین از نظر مخزنی نیز این سازند به بخش‌های تراوا (برداشت‌شدنی) و ناتراوا تقسیم شد.

## تاریخچه و پیشینه پژوهش

سازند کنگان در نیم‌قرن گذشته، درخور توجه بسیاری از محققان قرار داشته است (Insalaco et al. 2006; Rahimpour- Bonab and Esrafil-Dizaji 2009; Maurer et al. 2009; Tavakoli et al. 2011; Adabi et al. 2013; Abdolmaleki et al. 2016; Enayati-Bidgoli et al. 2016; Mehrabi et al. 2016; Tavakoli and Jamalian 2018-2019; Bargahi 2020; Yarmahmodi 2020; Falahatkah et al. 2021; Kakemem et al. 2021). حاصل این پژوهش‌ها به‌طورکلی تعیین حدود ۱۵-۱۲ ریزرخساره و تفکیک ۲ زون K1 با کیفیت مخزنی ضعیف و K2 با کیفیت مخزنی خوب در سازند کنگان بوده است. مطالعات ما نشان داد با بررسی دقیق ریزرخساره‌ها، سازند کنگان به ۴ زون تقسیم‌بندی می‌شود: زون‌های ۱ و ۳ با کیفیت مخزنی پایین و زون‌های ۲ و ۴ با کیفیت مخزنی بالا تقسیم می‌شوند و از فواصل برداشت‌شدنی کنونی با شناخت بیشتر و بر مبنای ریزرخساره‌های جدید، تولید را بالا می‌برند.

## مواد و روش‌ها

میدان مطالعه‌شده در بخش مرکزی خلیج فارس قرار دارد (شکل ۱-الف). سازند کنگان در بخش تحتانی با سازند دالان و در سطح فوقانی با سازند دشتک، مرز تدریجی دارد (Insalaco et al. 2006) (شکل ۱-ب). در گذشته تصور بر این بود که مرز بین سازندهای کنگان و دالان، ناپوستگی دارد؛ اما مطالعات نشان داد شواهدی بر نبود رسوب‌گذاری و فرسایش

خلیج فارس به‌واسطه داشتن بزرگ‌ترین میدان‌های گازی دنیا، همواره درخور توجه پژوهشگران حوضه نفت و گاز بوده است. بخش گازی این میدان در سازندهای دالان (عمدتاً بخش بالایی) و کنگان، به سن پرمو-تریاس است (Esrafil-Dizaji and Rahimpour Bonab 2013). تشکیل مجموعه رسوبات این میدان مرکزی خلیج فارس مربوط به بازشدن، گسترش و تکامل اقیانوس نئوتتیس بوده است (Szabo and Kheradpir 1978). شروع کافتی شدن نئوتتیس در پرمین پیشین همراه با رسوب‌گذاری ماسه‌های سازند فراقان و پس از آن با پیشروی دریا و نوسانات سطح آب در پرمین میانی تا تریاس پیشین، به رسوب‌گذاری تولی‌های کربناتی-تبخیری سازندهای دالان و کنگان منجر شده است. سازند کنگان در بخش مرکزی خلیج فارس با ضخامت ۱۷۴ متر با سن تریاس پیشین و لیتولوژی آهک، دولومیت و ژیپس-انیدریت در بخش مرکزی خلیج فارس و فارس ساحلی گسترش دارد. اکتشاف گاز در توالی‌های کربناتی پرموتریاس در اوایل دهه هفتاد میلادی و در منطقه فارس ساحلی<sup>۱</sup> (میدان کنگان در سال ۱۹۷۲) انجام شد و سپس زابو و خردپیر (Szabo and Kheradpir 1978) این توالی‌های را بررسی و با واحدهای رسمی سازندهای فراقان، دالان و کنگان رسماً آن را معرفی کردند. در این مطالعه، تعیین ریزرخساره‌ها براساس روش دانهام (Dunham 1962) انجام گرفت. سازند کنگان در یک محیط سکوی کربناته-تبخیری دریایی کم‌عمق، به‌صورت رمپ هموکلینال با محیط‌های بالایی کشندی، پهنه‌کشندی، لاگون، پشته‌سدی و دریای باز نهشته شده‌اند (Baharlouei et al. 2018). در خلال نهشته‌شدن ریزرخساره‌ها و پس از آن فرایندهای دیاژنزی سیمانی‌شدن، کلسیتی‌شدن، دولومیتی‌شدن، تشکیل نودل و سیمان‌های انیدریتی، انحلال و فشردگی بر ریزرخساره‌ها اثر گذاشته است (Shakeri et al. 2021). با توجه به تغییرات زیاد رخساره‌ها در محیط رمپ بر جای گذاشته شده و ایجاد شرایط متفاوت رسوبی در سکانش‌های موجود

<sup>1</sup> Coastal Fars

بررسی هر ریزرخساره، توصیف ویژگی‌های میکروسکوپی شامل نام ریزرخساره، محیط و شرایط تشکیل، نوع دیاژنز غالب، کیفیت تخلخل، نوع فسیل‌ها و جایگاه آن در توالی ریزرخساره‌ای و سکانسی ذکر شده است.

### کمر بند رخساره‌ای بالای پهنه‌کشدی FB1: Supertidal Flat Facies Belt

#### ریزرخساره انیدریت توده‌ای و انیدریت گلی: MF1: Massive Anhydrite and Muddy Anhydrite

**توصیف:** این ریزرخساره از دو بخش مجزا با ویژگی‌های متفاوت تشکیل شده است. الف- انیدریت توده‌ای: به صورت ۱۰۰٪ از بلورهای انیدریت-ژیپس خالص سفید تا دودی‌رنگ، به صورت توده‌ای یا به صورت لایه‌ای با ضخامت حدود ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر با بلورهای مترکم و فشرده در سازند کنگان مشاهده می‌شوند. اشکال بلوری انیدریت-ژیپس در این بخش ریزرخساره، به صورت ریزبلور و سوزنی<sup>۴</sup>، فیبری، فیبری شعاعی، تیغه‌ای و بلوکی مشاهده می‌شوند (شکل ۲ الف). گاهی تجمع بلورهای کوچک و فیبری انیدریت-ژیپس ساخت‌های مختلفی را ایجاد می‌کنند که عبارتند از: ساخت لامینه‌ای موازی<sup>۵</sup> و ساخت لامینه‌ای موجی<sup>۶</sup>. ریزرخساره انیدریت توده‌ای به علت نفوذناپذیر بودن نقش پوش‌سنگ، بخش‌های تراوای زیرین را دارد و گاهی آثار هیدروکربنی در این لایه‌ها به دام می‌افتد (شکل ۲ ب). ب- انیدریت گلی: از دو بخش انیدریت-ژیپس و گل تشکیل شده‌اند. بخش انیدریتی زمینه اصلی با مقداری گل (۴۰٪-۱۰٪) با یکدیگر امتزاج پیدا کرده‌اند (شکل ۲ ج). انیدریت-ژیپس‌های این ریزرخساره به صورت ریزبلور و در محیط هایپرسالین، مانند سیخا و لاگون به وجود آمده است. در این ریزرخساره ساخت توری مرغی (Insalaco et al. 2006; Aleali et al. 2013; Abdolmaleki et al. 2016)<sup>۷</sup> (شکل ۲ د) و ساخت لامیناسیون و ساخت انترولیتی<sup>۸</sup> مشاهده می‌شود. اگر لایه‌های گل به صورت موازی و متوالی با انیدریت همراه شود، ساخت

در بین این دو سازند وجود ندارد و تنها یک انقراض بزرگ زیستی در این محدوده قرار دارد که احتمالاً به دلیل نبود اکسیژن در محیط دریایی است (Insalaco et al. 2006). این پژوهش براساس مغزه‌های گرفته‌شده از سازند کنگان و اطلاعات حاصل از لاگ‌های پتروفیزیکی (گاما، صوتی، مقاومت و نوترون) انجام شده است. در چاه مدنظر، مغزه‌گیری از سازند کنگان با ضخامت ۱۷۴ متر انجام گرفته است. پس از مغزه‌گیری، نمونه‌ها برای بررسی مغزه و تهیه مقاطع نازک به آزمایشگاه فرستاده شده است. برای مطالعه جامع و دقیق‌تر، هر ۳۰ سانتی‌متر (یک فوت) یک مقطع نازک از مغزه تهیه شد و نمونه‌ها به روش آزمایش‌های متداول مغزه<sup>۱</sup>، مورد سنجش تخلخل و تراوایی قرار گرفت. از پلاگ‌های گرفته‌شده، در مجموع تعداد ۶۲۸ عدد مقطع نازک گرفته و این مقاطع با محلول آلیزاین قرمز به منظور تفکیک کانی‌های کلسیت از دولومیت، رنگ‌آمیزی شد. این نمونه‌ها در زیر میکروسکوپ مطالعه شد و نام‌گذاری رخساره بر مبنای طبقه‌بندی دانهام (Dunham 1962) صورت گرفت. در مطالعات مقاطع نازک ساخت، بافت و پدیده‌های دیاژنزی شناسایی، توصیف و از آنها عکس تهیه شد؛ سپس سکانس رسوبی توالی ترسیم و محیط رسوب‌گذاری ریزرخساره‌ها در یک مدل تعیین شد. براساس طرح برانبارش رخساره‌های رسوبی، روندهای عمیق و کم‌عمق شدن و لاگ‌های پتروفیزیکی چارچوب چینه‌نگاری سکانسی در توالی بررسی و سکانس‌های رسوبی رده سوم و چهارم مشخص شد. مجموع مطالعات بالا در نهایت به تحلیل حوضه منجر شد که می‌توان نتایج حاصل از آن را مبنای تعیین فواصل برداشت<sup>۲</sup> و روش‌های ازدیاد برداشت<sup>۳</sup>، مورد استفاده قرار داد.

### بحث و تحلیل یافته‌های پژوهش

#### ریزرخساره‌های سازند کنگان

از مطالعه ۶۲۸ عدد مقطع نازک از سازند کنگان، تعداد ۱۲ ریزرخساره در ۵ گروه ریزرخساره‌ای تعیین شده است. در

<sup>4</sup> Acicular

<sup>5</sup> Laminated or Aligned Structure

<sup>6</sup> Wave Structure

<sup>7</sup> Chicken Wire

<sup>8</sup> Enterolith Structure

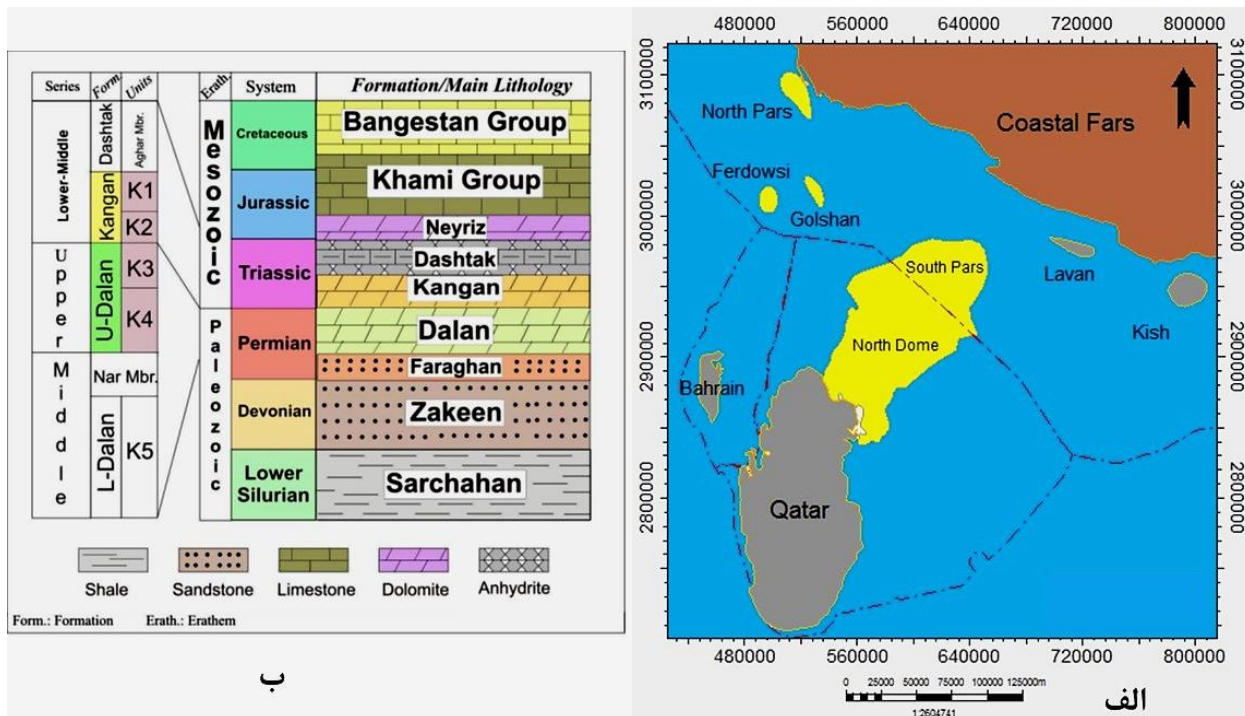
<sup>1</sup> CCAL: Conventional Core Analysis

<sup>2</sup> Perforation Zone

<sup>3</sup> EOR: Enhance Oil Recovery

ریزرخساره‌های دولومادستون انیدریتی و رخساره دولوستون انیدریتی و در جهت افقی با ریزرخساره‌های دولوستون متبلور، وکستون تا پکستون (همراه با مقداری بایوکلست و اینتراکلست) مجاور است.

لامیناسیون (گل-انیدریت) تشکیل می‌شود و اگر گل به صورت ساختارهای بسته و غیر موازی انیدریت‌ها را در بر گیرد، ساخت توری مرغی ایجاد می‌شود و ساخت انترولیتی، حاصل آمیختگی و در هم بودن گل و انیدریت (روده‌ای شکل) است. این ریزرخساره در جهت عمودی با



شکل ۱ - تصویر منطقه مطالعه شده و موقعیت میدان‌های مرکزی خلیج فارس (الف) و ستون سنگ‌شناسی سازند کنگان و سازندهای مجاور در میدان خلیج فارس (ب) (Tavakoli 2016).

Fig 1- (A) Image of case study area and position of oil field in Persian Gulf. (B): Lithology of column of Kangan formation and neighbor formation in Persian Gulf (Tavakoli 2016).

محیط بالای جزرومدی و به صورت محدودتر و به صورت میان‌لایه‌ای یا لنزی با ضخامت کمتر از ۵۰ سانتی‌متر در محیط لاگون و در بخش پس‌رونده سکانس<sup>۵</sup> مشاهده می‌شود. تشکیل این رخساره از نهشته‌های شورابه‌ای غلیظ غنی از سولفات<sup>۶</sup> و به صورت انیدریت‌های اولیه در محیطی کاملاً آرام، بدون انرژی، در شرایط آب‌وهوای گرم و خشک و در

**تفسیر:** این ریزرخساره بیشتر در محیط بالای جزرومدی<sup>۱</sup>، مانند سبخا<sup>۲</sup> و حوضچه‌های کوچک تبخیری<sup>۳</sup>، محیط جزرومدی و محیط لاگون<sup>۴</sup> در شرایط هایپرسالین به صورت انیدریت-ژپس خالص یا همراه با مقداری گل مشاهده می‌شود (Kendall et al. 1969; Insalaco et al. 2006; Aleali et al. 2013).

<sup>5</sup> HST  
<sup>6</sup> Sulfate Hypersaline

<sup>1</sup> Supratidal  
<sup>2</sup> Sabkha  
<sup>3</sup> Pond  
<sup>4</sup> Lagoon

وجود آمده‌اند. این ریزرخساره در جهت عمودی با ریز رخساره‌های انیدریت توده‌ای و انیدریت گلی و در جهت افقی با ریزرخساره دولوستون متبلور و با ریزرخساره وکستون تا پکستون اییدی در مجاورت است. تشکیل ریزرخساره در ادامه بخش پسرونده سکانس و معمولاً پس از تشکیل انیدریت توده‌ای صورت می‌گیرد و می‌توان آن را ادامه مرز سکانسی و در بسته رسوبی HST شناخت. این ریزرخساره معادل با زون رخساره‌ای ۸ ویلسون (FZ8) و تقریباً معادل با رخساره ۲۳ (SMF23) و ریزرخساره رمپ ۲۵ (RMF25) فلوگل است.

### FB2: Tidal Flat Facies کمربند رخساره‌ای پهنه‌کشدی Belt

#### MF3: Crystalline Dolostone دولوستون متبلور

**توصیف:** این رخساره در شرایط عمیق‌تر و شوری کمتر نسبت به رخساره دولوستون انیدریتی یا در تناوب با آن تشکیل می‌شود و در آن سیمان انیدریتی کم یا بیشتر مشاهده نمی‌شود. در این ریزرخساره دولومیت‌ها بیشتر ثانویه، با بلورهای درشت، شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار مشاهده می‌شوند. بیشتر دولومیت‌های سازند کنگان ثانویه و به صورت جانشینی است و مقدار کمتری به صورت سیمان مشاهده می‌شود (Kadkhodaie-Ilkhchi et al. 2018). از ویژگی‌های بارز این ریزرخساره، ساخت کیستون<sup>۳</sup> است و قرارگیری انیدریت-ژپیس در بین بلورهای اسپاری دولومیت به شکل دندانه‌های کلید مشاهده می‌شود که خاص منطقه جزرومدی است. تخلخل در این ریزرخساره متغیر و به صورت متوسط تا خیلی خوب مشاهده می‌شود. نوع تخلخل‌های مشاهده‌شده در این رخساره عبارتند از: بین بلوری، شکستگی، حفره‌ای، کانالی و غاری. اگر دولومیتی‌شدن حاصل پدیده نشتی در دانه‌های ماسه کریناته باشد، تخلخل بسیار خوب (شکل ۳ الف) و اگر دولومیتی‌شدن حاصل نفومورفیسیم میکرایت باشد، تخلخل متوسط خواهد بود (شکل ۳ ب). این ریزرخساره ۱۰۰٪-۹۵٪

محیط‌های محصور و ایزوله<sup>۱</sup> تشکیل می‌شود. در توالی سکانسی، این ریزرخساره در پایین‌ترین سطح آب یا عقب‌نشینی دریا تشکیل و مرز سکانسی محسوب می‌شود. این ریزرخساره معادل زون رخساره‌ای ۹-A (FZ9-A) ویلسون (Wilson 1975) و 25 استاندارد (SMF25) و تقریباً معادل ریزرخساره رمپ ۲۵ (RMF25) فلوگل (Flugel 2010) است.

### ریزرخساره دولوستون انیدریتی: MF2: Anhydritic Dolostone

**توصیف:** این ریزرخساره از دولومیت‌های اولیه، به همراهی انیدریت-ژپیس اولیه در بخش بالای جزرومدی تشکیل شده است. در این ریزرخساره بلورهای اولیه دولومیت بسیار ریز (اندازه بلورها کمتر از ۱۰ میکرون)، بدون شکل بلورین و به شکل دانه‌های کروی با رنگ روشن مشاهده می‌شود. تشکیل این نوع دولومیت‌های اولیه، غالباً در نتیجه تبخیر آب دریا و ایجاد آب‌های هایپرسالین و به صورت رسوب از این شورابه‌ها صورت می‌گیرد. انیدریت با مقدار ۵۰٪-۱۰٪ در این ریزرخساره، به صورت ثانویه و پرکننده شکستگی‌ها (شکل ۲ ه) و یا به صورت اولیه و ساخت نودل (شکل ۲ و) مشاهده می‌شود. دیاژنز مشاهده‌شده در این ریزرخساره، سیمان انیدریتی پرکننده شکستگی‌ها و دیگر فضاهای خالی بین بلورهای میکرواسپاری دولومیت است و تخلخل کم تا متوسط و از نوع بین بلوری، شکستگی و بسته به میزان سیمان انیدریتی در بین فضای خالی بلورهای دولومیت دارد. به علت شرایط هایپرسالین و تشکیل دولومیت و انیدریت اولیه، در محیط این ریزرخساره فسیل مشاهده نمی‌شود.

**تفسیر:** این ریزرخساره در محیط بالای جزرومدی تشکیل می‌شود، اما در محیط لاگون مرکزی نیز نهشته و به‌طور کلی در محیط آرام و کم انرژی تشکیل می‌شود (Wilson 1975). این دولومیت‌ها از روش دولومیتی‌شدن تبخیری<sup>۲</sup> به

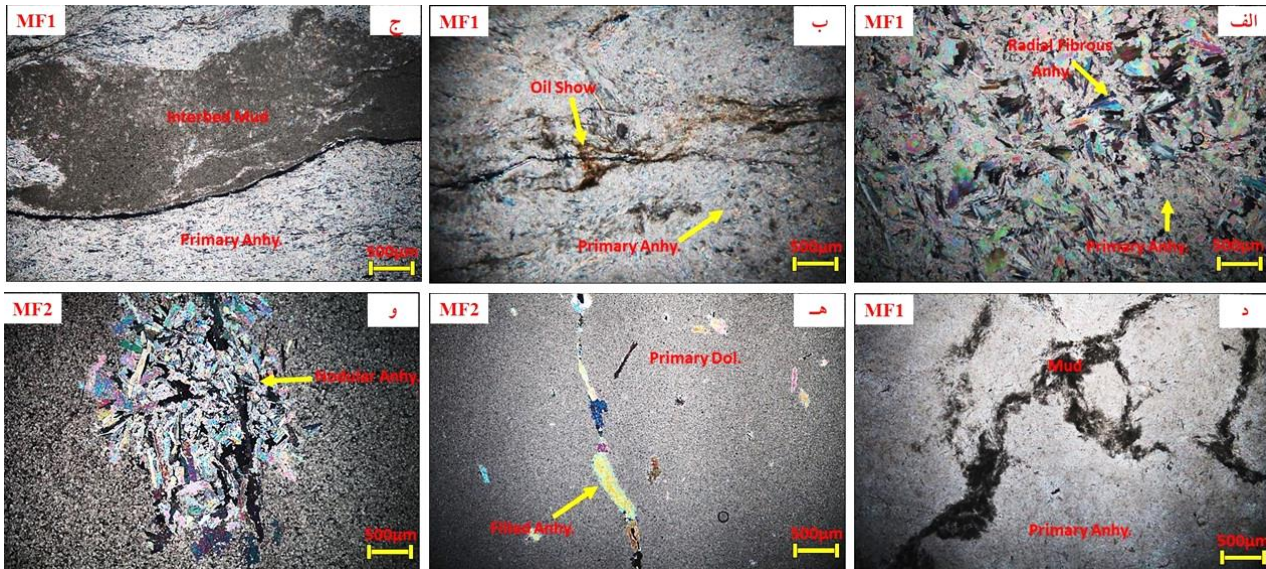
<sup>1</sup> Restricted environmet

<sup>2</sup> Evaporative Dolomitization

<sup>3</sup> Keystone

مشاهده می‌شود که نشانه انرژی بالا و نبود شوری زیاد در محیط اولیه است.

دولومیت و ۵-۰٪ انیدریت به صورت تکه‌های کوچک یا ساخت کیستون دارد. گاهی در این ریزرخساره اینتراکست‌هایی از مادستون و قطعات جلبکی (سبز آبی)



**شکل ۲- ریزرخساره‌های کمر بند بالای کشندی:** الف: ریزرخساره انیدریت توده‌ای با بلورهای ریز اولیه و فیبری شعاعی ثانویه در رخساره انیدریت توده‌ای (در نور پلاریزه). شکل ب: ریزرخساره انیدریت توده‌ای، آثار نفتی به دام افتاده در لایه نفوذناپذیر انیدریتی که نقش پوش سنگ دارد (در نور پلاریزه). شکل ج: ریزرخساره انیدریت گلی، گل به صورت میان‌لایه‌ای در زمینه‌ای از انیدریت اولیه نهشته شده، نشانه تناوب محیط رسوبی کربناته و محیط تبخیری، محیط تشکیل لاگون هایپرسالین (در نور پلاریزه). شکل د: ریزرخساره انیدریت گلی، ساخت توری مرغی در انیدریت‌های گلی یا کثیف (در نور طبیعی). شکل ه: ریزرخساره دولوستون انیدریتی: دولومیت‌های اولیه که شکستگی و فضاهای خالی آن با انیدریت پر شده است (در نور پلاریزه). شکل و: رخساره دولوستون انیدریتی. تشکیل هم‌زمان دولومیت‌های اولیه و انیدریت نودولی در محیط بالای جزرومدی و محیط هایپرسالین (در نور پلاریزه).

**Fig 2- Supertidal Microfacies Belt, A: Massive Anhydrite Microfacies with primary fine crystalline and second radial fibrous (at Polarizing light). B: Massive Anhydrite Microfacies oil trace trap in Anhydritic impermeability layer that has caprock roll (at polarizing light). C: Muddy Anhydrite Microfacies as deposit interbedded in matrix of primary Anhydrite is indicator Carbonate sedimental environment frequency and Evaporation environment, Hypersaline Lagoon environment (at Polarizing light). D: Muddy Anhydrite Microfacies, Chicken wire fabric in muddy or dirty Anhydrite (at unpolarizing light). E: Anhydritic Dolostone Microfacies: Filled fracture and empty space in Primary Dolomite by Anhydrite (at Polarizing light). F: Anhydritic Dolostone Microfacies: Simultaneous formation primary Dolomite and nodular Anhydrite in supertidal and Hypersaline environment (at Polarizing light).**

انرژی محیط تشکیل این ریز رخساره متوسط تا بالا (به دلیل وجودداشتن میکرایت و گل) است. این رخساره در جهت عمود با رخساره‌های مادستون تا دولومادستون، رخساره مادستون تا وکستون و رخساره‌های گرینستونی جزرومدی و در جهت افقی با رخساره‌های انیدریتی و انیدریت گلی بخش بالای جزرومدی و رخساره‌های مادستونی و انیدریتی بخش

**تفسیر:** این ریزرخساره در مقیاس وسیع، در محیط جزرومدی و بیشتر از دانه‌های ماسه کربناته تشکیل شده است (به دلیل تشکیل ماسه‌های کربناتی در محیط کم عمق و پر انرژی جزرومدی و گاهی پشته‌های سدی)؛ اما در محیط پشته سدی نیز از دولومیتی شدن دانه‌های آئید به وجود می‌آید (Wilson 1975) و سبب افزایش فوق‌العاده کیفیت مخزنی می‌شود.

**تفسیر:** رخصاره ترمبولیت شبیه رخصاره استروماتولیت باندستون از ساختار جلبکی به وجود می‌آید، اما تفاوت آن وجودداشتن لایه‌بندی (لامیناسیون) در ترمبولیت و داشتن فابریک لخته‌ای است؛ همچنین تشکیل این رخصاره در قاعده سازند کنگان و ۲ تا ۳ متر پس از انقراض<sup>۵</sup> زیستی است (Tavakoli 2016). محیط‌های تشکیل این رخصاره متنوع، اما خاستگاه اصلی آن محیط جزرومدی و به‌صورت فرش‌های میکروبی<sup>۶</sup> است (Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab 2009)، ولی در محیط زیر جزرومدی، محیط لاگونی، در محیط آرام تا آشفته و گاهی همراه با آشفته‌گی زیستی<sup>۷</sup> نیز تشکیل می‌شود (Kershaw et al. 2012). در منطقه مطالعه‌شده، این ریزرخساره در کمر بند جزرومدی مشاهده می‌شود. این ریزرخساره به‌صورت عمودی با ریزرخساره‌های دولوستون متبلور و وکستون پلوئیدی و در جهت افقی با ریز رخصاره‌های مادستون تا دولومادستون انیدریتی یا بدون انیدریت در مجاورت است. جایگاه این رخصاره در چینه‌نگاری سکانسی در شرایط پس‌روی و بسته رسوبی HST و بر جای گذاشتن رسوبات تبخیری (انیدریتی) است. این ریزرخساره معادل با زون ۸ ویلسون (FZ8) و معادل با ریزرخساره استاندارد ۲۱-۲۰ (SMF20/21) و ریز رخصاره رمپ 18-23 (RMF18/23) فلوگل است.

#### ریزرخساره پکستون تا گرینستون پلو ائیدی: MF5: Peloid Ooidal Packstone to Grainstone

**توصیف:** ریزرخساره پکستون تا گرینستون پلو ائیدی یک رخصاره دانه‌غالب، با دانه‌های ائید (با اندازه کوچک‌تر از ۰/۵ میلی‌متر) و پلوئید و جورشدگی ضعیف تا بددانه‌هاست (شکل ۳ ز). در این رخصاره سیمان انیدریتی و میکریتی بین دانه‌ها وجود دارد (شکل ۳ ح). میکریتی شدن دانه‌ها به صورتی است که ساختمان داخلی دانه‌ها تخریب می‌شود و گاهی تشخیص دانه‌ها به‌سادگی امکان‌پذیر نیست (شکل ی).

لاگون در مجاورت است. تشکیل این ریزرخساره، به‌علت وجودنداشتن انیدریت یا مقدار کم آن در انتهای یک سکانس تراز بالای آب HST یا در خلال سکانس پس‌رونده و همراه با افزایش مقدار منیزیم محلول در محیط است (Folk 1965). این ریزرخساره معادل با زون ۸ ویلسون (FZ8) و معادل با ریزرخساره استاندارد ۲۴ (SMF24) و تقریباً ریزرخساره رمپ ۲۳ (RMF23) فلوگل است.

#### رخصاره میکروبیالیتی: MF4: Microbially Facies

**توصیف:** این رخصاره بیشتر از گل‌های حاصل از فعالیت میکروبی، مانند سیانوباکتری‌ها، جلبک‌های رشته‌ای، دانه‌های پلوئیدی و مقداری نهشته‌های تبخیری تشکیل و به دو شکل مختلف در سازند کنگان مشاهده می‌شود. الف- ریزرخساره استروماتولیت باندستون<sup>۱</sup>: این ریزرخساره به‌صورت نوارهایی با ظاهر روشن و تیره مشاهده می‌شود. ریزرخساره استروماتولیت باندستون با ساختارهای مختلف، از جمله مسطح، گنبدی و مخروطی‌شکل مشاهده می‌شود (شکل 3 ج و د). ب- ریز رخصاره ترمبولیتی<sup>۲</sup>: لایه کلیدی<sup>۳</sup> در بخش قاعده سازند کنگان (کمی بالاتر از مرز سازند کنگان با بخش دالان بالایی) است که با ضخامت چند سانتی‌متر تا چندین ده سانتی‌متر مشاهده می‌شود. این رخصاره فابریک لخته‌ای<sup>۴</sup> (شکل ۳ ه) دارد و از فیلامان‌های جلبکی سبز-آبی و توده‌های درج‌زای میکروبی و فونای جانوری، مانند گاستروپود و استراکد و در برخی موارد همراه با آلومک‌های پلوئید به وجود می‌آید و با اشکال کرمی‌شکل (شکل ۳ و)، توده‌ای و لکه‌لکه و در برخی موارد با پلوئید و تخلخل فنسترال مشاهده می‌شود که مشخصه نهشته‌های گل غالب است (Tavakoli 2016). دیاژنز غالب در این ریزرخساره، سیمان انیدریتی و میکریتی و دارای تخلخل کم و به‌صورت فنسترال و ریزشکستگی است.

<sup>1</sup> Stromatolite Boundstone

<sup>2</sup> Thrombolite

<sup>3</sup> Key Bed

<sup>4</sup> Clotted Fabric

<sup>5</sup> Extinction

<sup>6</sup> Microbial matt

<sup>7</sup> Bioturbation

جزرومدی و پایین جزرومدی است (Insalaco 2006; Abdolmaleki et al. 2016). همچنین این ریزرخساره در محیط‌های حد واسط جزرومدی به لاگون و پشته‌سدی به لاگون نیز به مقدار کمتر مشاهده می‌شود (Wilson 1975; Flugel 2010). در این مطالعه، این ریزرخساره با توجه به شواهد موجود در محیط جزرومدی تا زیر جزرومدی مشاهده شد. با توجه به اینکه ریزرخساره گرینستون اییدی در محیط پشته‌سدی نیز مشاهده می‌شود، تفاوت‌هایی بین نهشته‌های این دو محیط در این ریزرخساره مشاهده می‌شود. تفاوت رخساره پکستون تا گرینستون پلو اییدی منطقه جزرومدی با پشته‌سدی: ۱- دانه‌های پلو اییدی در منطقه جزرومدی بسیار کوچک‌تر از محیط پشته‌سدی است (کوچک‌تر از ۰/۳ میلی‌متر)؛ ۲- مقدار درخور توجهی سیمان انیدریتی و میکرایتی در منطقه جزرومدی وجود دارد (شکل ۳ ل)؛ ۳- وجود حفرات کیستون (معمولاً پر شده با سیمان انیدریتی) که نشانه بارز محیط جزرومدی است؛ ۴- وجود ساخت ترک‌های گلی نیز از جمله شواهد محیط جزرومدی است. این ریزرخساره در جهت عمودی با ریزرخساره پلو ایید و کستونی تا گرینستونی و در جهت افقی با ریزرخساره‌های لاگونی مادستون تا دولومادستون و بخش بالایی جزرومدی، مانند دولوستون متبلور و استروماتولیت باندستون در مجاورت است. این ریزرخساره معمولاً در ابتدای سکانس پیش‌رونده آب دریا و در بسته رسوبی TST در محیط جزرومدی و در شرایط پس‌رونده و بسته رسوبی HST در محیط‌های حد واسط تشکیل می‌شود. این ریزرخساره معادل با زون رخساره‌ای ۸ تا ۹ ویلسون (FZ8-FZ9-A) و معادل با ریزرخساره استاندارد ۱۶ (SMF16) و ریزرخساره رمپ ۲۹ (RMF29) فلوگل است.

### کمر بند رخساره‌ای لاگونی FB3: Lagoonal Facies Belt

رخساره مادستون تا دولومادستون: MF6: Mudstone to Dolomudstone  
توصیف: این رخساره از زمینه مادستونی با مقدار ۴۰٪-۱۰٪

در این ریزرخساره گاهی خرده‌فسیل‌های دوکفه‌ای و گاستروپود و ایتراکلاست به صورت گریپستون و گاهی مقدار کمی آنکوئید مشاهده می‌شود. ساخت‌هایی که در این ریزرخساره مشاهده می‌شود: ساخت کیستون (مخصوص محیط جزرومدی)، ساخت‌های آشفته‌گی و زیست‌آشفته‌گی (شکل ۳ ط) همراه با آثار فسیلی بائورینگ (شکل ۳ ی) و دیگر ساخت‌ها، مانند ترک‌های گلی است (شکل ۳ ک). اجزای تشکیل‌دهنده ریزرخساره عبارتند از: ۱- آلوکم‌ها: شامل دانه‌های ایید و پلوئید که ۹۰٪-۴۰٪ ریزرخساره را تشکیل می‌دهند؛ ۲- سیمان انیدریتی: سیمان‌های انیدریتی ۶۰٪-۱۰٪ که بیشتر ثانویه و دیاژنری است، اما انیدریت‌های اولیه نیز در ریزرخساره مشاهده می‌شود. در این ریزرخساره زمینه از انیدریت تشکیل شده است؛ ۳- سیمان میکرایتی: علاوه بر اینکه در این ریزرخساره بیشتر دانه‌های ایید، میکرایتی شده است، همچنین میکرایت می‌تواند به صورت سیمان در بین دانه‌های به مقدار ۲۰٪-۱۰٪ وجود داشته باشد؛ ۴- بایوکلاست و ایتراکلاست کمتر از ۵٪. فرایندهای دیاژنری این ریزرخساره، سیمان میکرایتی، سیمان انیدریتی، مقداری دولومیتی‌شدن و فشردگی فیزیکی است. در این ریزرخساره به دلیل وجود سیمان‌های فراوان انیدریتی و میکرایتی، تخلخل ضعیف و پایین است.

### تفسیر: این ریزرخساره در محیط‌های مختلف رمپ

کربناته، مانند جزرومدی تا زیر جزرومدی و پشته‌سدی به لاگون مشاهده می‌شود. با توجه به وجود حفرات کیستونی پر شده با سیمان انیدریتی، این رخساره مربوط به محیط جزرومدی و زیر جزرومدی است که در آن نوسانات جزرومدی، حباب‌های هوا را در دانه‌های کوچک آلوکم‌ها محبوس می‌کند (Flugel 2010). ریزرخساره پکستون تا گرینستون با دانه‌های ایید و سیمان میکرایتی و قطعات ایتراکلاست گرد شده نیز نشانه محیط کسندی است (Sabouhi and Rezaee 2019). ریزرخساره گرینستون پلوئید ایید با سیمان انیدریتی و مقداری دولومیتی‌شدن نیز نشانه شرایط

از بلورهای میکرو اسپاری دولومیت (کوچک‌تر از ۱۰ میکرون) تشکیل می‌شود و با رنگ روشن دولومیت در زمینه تیره مادستونی تشخیص‌دانی است. مطالعات نشان داد این رخساره در سازند کنگان، در ۲ نوع بدون انیدریت و همراه با انیدریت وجود دارد. الف- ریزرخساره مادستون تا دولومادستون بدون انیدریت: در این ریزرخساره انیدریت-ژیپس وجود ندارد یا به مقدار بسیار کم (کمتر از ۱۰٪) دیده می‌شود. همچنین از حدود ۵٪ فسیل، مانند دوکفه‌ای‌ها و گاستروپود (شاخص محیط لاگون) و زیست‌آشفته‌گی محیطی با آثار فسیلی اسکولایتوس نیز مشاهده می‌شود (شکل ۴ الف). از ویژگی‌های دیگر این ریزرخساره آثار فعالیت میکروبی به صورت تخلخل فنسترال است (شکل ۴ ب)؛ ب- ریزرخساره مادستون تا دولومادستون انیدریتی: این ریزرخساره از زمینه مادستون تا دولومادستون با حضور ۴۰-۲۰ درصد انیدریت، به صورت نودل‌های انیدریتی درون مادستون با بافت نمدی<sup>۱</sup> تشکیل (شکل ۴ ج) و گاهی انیدریت به صورت لنزی و رگه‌های پراکنده در مادستون مشاهده می‌شود. اگر میزان انیدریت در محیط کم باشد آثار زیست‌آشفته‌گی، مانند آثار اسکولایتوس و آثار بائورینگ (شکل ۴ د) مشاهده می‌شود. ساخت‌های دیگر موجود در این ریزرخساره، ترک‌های گلی، ساخت جریان‌ی (خطواره‌های گلی موازی درون متن انیدریتی) و ساخت توری مرغی (با وجود میزان بالای انیدریت) است. دولومیت‌های این ریزرخساره بیشتر ثانویه و حاصل دیاژنز نئومورفسم میکرایت (گل آهکی) است، اما ممکن است دولومیت‌های اولیه نیز وجود داشته باشد که تشخیص آنها از یکدیگر مشکل است.

**تفسیر:** این ریزرخساره به دلیل گل غالب بودن در محیط‌های کم‌انرژی لاگون و بالای جزرومدی<sup>۲</sup> تشکیل شده است (Wilson 1975). وجود گاستروپود در کنار مقادیر کم دانه‌های میکرایتی (کمتر از ۱۰٪) در محیط رمپ، نشان‌دهنده حرکت از دریای باز به سمت شرایط محدود لاگون است.

(Flugel 2010). ریزرخساره مادستون تا دولومادستون در محیط فرونشینی محدود شده و دوره‌های آبی فقیر از اکسیژن و محیط کمی عمیق‌تر لاگونی به صورت توده‌ای و در محیط لاگونی کم‌عمق‌تر به صورت لایه‌ای تشکیل شده است (Insalaco et al. 2006). وجود فونای لاگونی (گاستروپود) و آشفته‌گی زیستی و لایه‌بندی از ویژگی‌های محیط لاگون در این ریزرخساره است (Abdolmaleki et al. 2016). در صورتی که این ریزرخساره همراه با انیدریت باشد، بیشتر لیتولوژی دولومیتی دارد و شامل قالب‌ها و نودول‌های انیدریتی است که در محیط لاگون و تالاب هایپرسالین نهشته می‌شود (Warren 2006). وجود انیدریت نشانه محیط هایپرسالین و غنی از محلول‌های سولفات و آب‌وهوای گرم و خشک است که بیشتر در گروه رخساره‌ای لاگون و بخش عمیق و کم انرژی آن تشکیل می‌شود (Flugel 2010; Abdolmaleki et al. 2016). با توجه به شواهد مشاهده‌شده در این ریزرخساره، یعنی وجود گاستروپود، مشاهده زیست‌آشفته‌گی، مجاوربودن با ریزرخساره گرینستون اییدی پشته‌سدی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که این ریزرخساره در محیط لاگون تشکیل شده است. در مطالعات پتروگرافی این سازند و بررسی توالی رخساره‌ای، این ریزرخساره به مقدار کم در محیط جزرومدی در مجاورت ریزرخساره‌های استروماتولیت و ترمبولیت نیز مشاهده شد. این ریزرخساره در جهت عمودی و افقی با ریزرخساره‌های وکستون پلوئیدی و پکستون تا گرینستون پلو اییدی در مجاورت است. در توالی سکانسی، ریزرخساره مادستون تا دولومادستون بدون انیدریت با ضخامت کم در بخش پیش‌رونده TST تشکیل و در عبور از لاگون به شول قلمداد می‌شود؛ اما نوع انیدریت‌دار این ریزرخساره در ضخامت بیشتر، بسته‌های رسوبی پسرونده HST در عبور از محیط جزرومد به لاگون است. این ریزرخساره معادل با زون رخساره‌ای ۸ (FZ8) تا ۹-A (FZ9-A) ویلسون و معادل با ریزرخساره استاندارد ۲۳ (SMF23) و ریزرخساره رمپ ۲۵-۱۹ (RMF19/25) فلوگل است.

<sup>1</sup> Felted Fabric  
<sup>2</sup> Pond



بایوکلست‌دار در مجاورت است. شواهد پتروگرافی نشان می‌دهد در توالی سکانسی این ریزرخساره در شرایط آرام، آب تشکیل می‌شود؛ همچنین در شرایط پس‌رونده در میانه‌های بسته رسوبی، پس‌رونده HST و قبل از رسیدن به مرز سکانسی SB ایجاد می‌شود (در منطقه مطالعه‌شده، این رخساره کمی قبل از رخساره انیدرت گلی در محیط لاگون مشاهده می‌شود). این ریزرخساره معادل با زون رخساره‌ای ۸ ویلسون (FZ8) و معادل با ریزرخساره استاندارد ۲۲ و ۲۳ (SMF22, SMF23) و ریزرخساره رمپ ۱۸ و ۲۵ (RMF18 and RMF25) فلوگل به ترتیب مربوط به MF13-A و MF13- است. B

#### ریزرخساره وکستون تا پکستون پلو ایید دار: MF8: Pelloidal Wackestone to Packstone

**توصیف:** این رخساره حدود ۱۰ تا بیش از ۵۰ درصد آلوکم‌های پلوئید و ایید دارد و حدود ۱۰ درصد نیز سیمان انیدریتی به صورت پرکننده فضای خالی در آن دیده می‌شود (شکل ۴ ز). در برخی از مقاطع کمتر از ۱۰٪ قطعات اینتراکلت و بایوکلست هم مشاهده می‌شود. از ویژگی‌های این ریزرخساره، میکرایتی شدن شدید دانه‌ها و قطعات، وجود سیمان انیدریتی در بین دانه‌ها و همچنین به صورت جایگزینی در پوسته جانداران کفزی (دوکفه‌ای و گاستروپود) است. با کاهش شوری در محیط این ریزرخساره (کاهش سیمان انیدریتی)، فسیل‌هایی مانند گاستروپود و فسیل‌های دوکفه‌ای ظهور می‌یابد که دیواره کربنات کلسیم منیزیم بالا و ناپایدار آنها با انیدریت جایگزین می‌شود (شکل ۴ ح). همچنین آثار آشفستگی (مخلوط شدن دانه‌های پلوئید و ایید) نیز در این ریزرخساره مشاهده می‌شود. دیاژنز غالب، سیمان انیدریتی و میکرایتی است، تخلخل بسیار ضعیف دارد و از نوع ریزخشستگی است.

**تفسیر:** این ریزرخساره با فونای محدود و مشخص در محیط لاگون تشکیل شده است (Shakeri et al. 2021).

#### ریزرخساره مادستون تا وکستون پلوئیدی بایوکلست دار:

#### MF7: Bioclastic, Pelloidal Mudstone to Wackestone

**توصیف:** این ریزرخساره زمینه مادستونی تیره‌رنگ با مقادیر کمتر از ۱۰٪ دانه‌های پلوئید و بایوکلست دارد. بایوکلست‌های موجود در این ریزرخساره، قطعات گاستروپود و دوکفه‌ای است و آثار زیست‌آشفستگی به صورت بائورینگ<sup>۱</sup> نیز وجود دارد (شکل ۴ ه). شرایط شوری در این ریزرخساره به حد اشباع و فوق اشباع نمی‌رسد، زیرا موجودات کفزی و جلبک (بسیار کم) در این رخساره مشاهده می‌شوند که این موجودات قادر به زندگی در شرایط شوری بالا (شرایط ته‌نشینی انیدریت) نیستند (شکل ۴ و). در برخی فواصل، مقادیری انیدریت به صورت میان‌لایه‌ای یا نودول‌های انیدریت مشاهده می‌شود. انیدریت در این ریزرخساره معمولاً به صورت ثانویه وجود دارد. انیدریت‌های ثانویه بیشتر به صورت جایگزینی در دانه‌ها و پوسته جانداران مشاهده می‌شود. فرایندهای دیاژنزی دولومیتی شدن و سیمان انیدریتی در این ریزرخساره مشاهده می‌شود و تخلخل بسیار پایین است.

**تفسیر:** این ریزرخساره پلوئیددار بیشتر همراه با آثار زیست‌آشفستگی است و در محیط کم‌انرژی لاگون نهشته می‌شود (Abdolmaleki et al. 2016). همچنین این ریزرخساره در محیط لاگون یا حوضچه‌های کوچک تبخیری (پوند) با انرژی پایین تشکیل و در محیط‌های جزرومدی و منطقه نفوذ نور<sup>۲</sup> نیز مشاهده می‌شود (Wilson 1975). با توجه به شواهد وجود پلوئید، فسیل گاستروپود، وجود توده‌های انیدریتی در بخش پس‌رونده سکانس و همچنین مجاورت این ریزرخساره با گرینستون اییدی، بخش پشته‌سای این ریزرخساره بیشتر در محیط لاگون مشاهده می‌شود. این ریزرخساره در جهت عمودی با ریزرخساره‌های مادستون تا دولومادستون انیدریتی و وکستون تا پکستون پلو اییدی و در جهت افقی با ریزرخساره‌های پکستون تا گرینستون اییدی تا پلو اییدی

<sup>1</sup> Burrowing

<sup>2</sup> Euphotic Zone

۲۰ درصد سیمان انیدریتی و کمتر از ۵ درصد آنکوئید دارد. فونای مشاهده شده در این ریزرخساره عبارتند از: استراکد، دوکفه‌ای‌ها و فیلامان‌های جلبکی (سبز-آبی) و به ندرت مقداری گاستروپود. سیمان انیدریتی یا بین آلوکم‌ها را پر می‌کند و موجب کاهش تخلخل می‌شود و یا درون پوسته فسیل‌ها به صورت جایگزین وجود دارد (شکل ۵ الف). یکی از ویژگی‌های بارز این ریزرخساره، میکرایتی شدن است که بیشتر در اطراف دانه‌ها و آلوکم‌ها (پوشش) و گاهی به صورت کامل دانه را فرا می‌گیرد؛ همچنین گاهی میکرایت به صورت محدود و به شکل سیمان بین دانه‌ای وجود دارد. از ویژگی‌های دیگر این ریزرخساره، جورشدگی ضعیف دانه‌ها (دانه‌بندی نامنظم و در هم بودن دانه‌های کوچک و بزرگ) است؛ همچنین آثار فشردگی فیزیکی در تماس بین دانه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۵ ب).

**تفسیر:** این ریزرخساره در محیط رمپ، در دو موقعیت پشته‌سدی و همچنین در پهنه جزرومدی تشکیل می‌شود (Abdolmaleki et al. 2016). همچنین ریزرخساره مشابه در گزارش‌ها به محیط پشته‌سدی به سمت دریای باز و به سمت خشکی نیز گزارش شده است (Shakeri et al. 2021). در این مطالعه با توجه به شواهد: گریستونی بودن رخساره و وجودنداشتن گل یا میزان کم آن نشانه محیط پرانرژی است (Tucker et al. 1993) و نوع ایده‌های درجه ۳ (ایده‌های متحدالمرکز بزرگ‌تر از ۰/۵ میلی‌متر) که نشانه پشته‌سدی است (Flugel 2010). این ریزرخساره متعلق به محیط پشته‌سدی است؛ اما میکرایتی شدن درخور توجه آلوکم‌ها، جورشدگی ضعیف دانه‌ها، وجود سیمان انیدریتی و مقدار کم آنکوئید، نشانه محیط کم‌انرژی (Flugel 2010) و تمایل ریزرخساره از پشته‌سدی به سمت لاگون است (محیط حد واسط)، پس می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل این ریزرخساره در محیط پشته‌سدی به سمت خشکی<sup>۱</sup> صورت گرفته است. این ریزرخساره باید در جهت عمودی و افقی با ریزرخساره‌های

همچنین وجود این ریزرخساره بیشتر در محیط‌های حد فاصل رمپ داخلی (Flugel 2010)، مانند جزرومدی به لاگون و پشته‌سدی به لاگون با میزان انرژی متنوع از انرژی پایین (در محیط تشکیل وکستون) تا انرژی بالاتر (در محیط تشکیل وکستون) مشاهده می‌شود. با توجه به شواهد زیستی (وجود گاستروپود)، میکرایتی شدن شدید دانه‌ها، وجود مقادیر درخور توجه سیمان انیدریتی در بین دانه‌های پلوئید و مجاورت با ریزرخساره گریستون اییدی، این ریزرخساره در شرایط لاگونی و حد واسط (لاگون به پشته‌سدی) تشکیل شده است. وجود سیمان انیدریتی در بین دانه‌های پلوئید نشانه محیط لاگون هایپرسالین است. این ریزرخساره در جهت عمودی با ریزرخساره‌های گریستون اییدی (به سمت پشته‌سدی) و مادستون تا وکستون پلو اییدی (به سمت درون لاگون) و در جهت افقی با ریزرخساره‌های مادستون تا دولومادستون (انیدریتی یا بدون انیدریت) و وکستون تا گریستون پلو اییدی تا اییدی در مجاورت است. با توجه به حد فاصل بودن این ریزرخساره، تشکیل آن در جریان سکانس پیشروی یا پس‌روی آب صورت می‌گیرد. در جریان سکانس پیشروی، این ریزرخساره از کمربند لاگون به سمت کمربند پشته‌سدی حرکت می‌کند و در بسته رسوبی یا سیستم تراکت TST به وجود می‌آید. در جریان پس‌روی آب در بسته رسوبی یا سیستم تراکت، HST تشکیل می‌شود. این ریزرخساره معادل با زون رخساره‌ای ۸ ویلسون (FZ8) و معادل با ریزرخساره استاندارد ۱۶ (SMF16) و ریزرخساره رمپ ۱۴ (RMF14) فلوگل است.

**گروه رخساره‌ای پشته‌سدی FB4: Shoal Facies Belt**  
ریزرخساره گریستون پلو آئید، اینتراکست، بایوکلست آنکوئیددار:

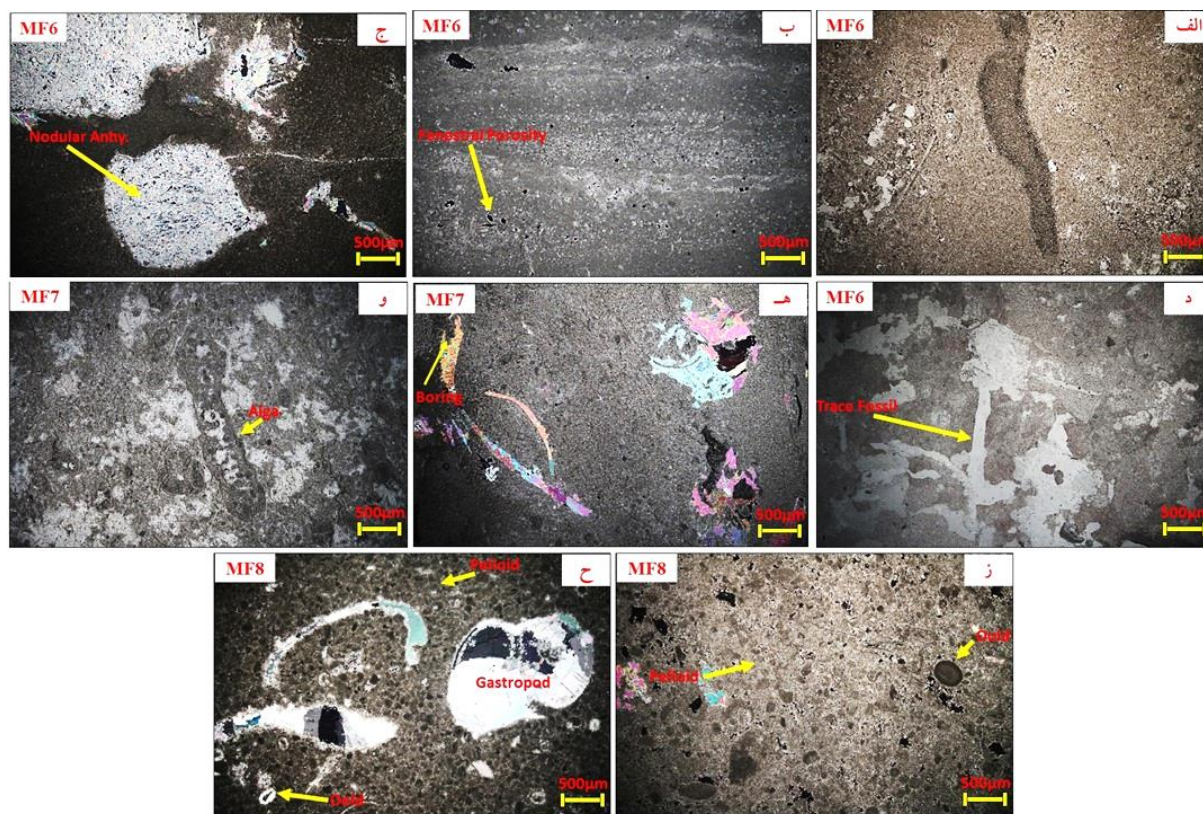
**MF9: Oncoidal, Bioclast, Intraclast, Pello Ooid Grainstone**

**توصیف:** این رخساره دانه‌غالب از ۷۰-۵۰ درصد دانه‌های آئید و پلوئید، ۲۰ درصد اینتراکست و بایوکلست و تا حدود

<sup>1</sup> Landward

به سمت لاگون تشکیل شده است. این ریزرخساره معادل با زون ۶ ویلسون (FZ6) و معادل با ریزرخساره استاندارد ۱۳ (SMF13) و ریزرخساره رمپ ۳۰ (RMF30) فلوگل است.

پکستون تا گریستون اییدی و وکستون تا پکستون پلواییدی در مجاورت باشد. این ریزرخساره در اواخر پیشروی و بستۀ رسوبی یا سیستم تراکت TST و رسیدن به انرژی بالا و همچنین شروع پس‌روی HST و عبور از پشته‌سدی مرکزی



**شکل ۴- ریزرخساره‌های کمر بند لاگون:** شکل الف: رخساره مادستون تا دولومادستون، بایو توریشن و آثار فسیلی اسکولایتوس (محیط لاگون). شکل ب: رخساره مادستون تا دولومادستون، محیط لاگون، تخلخل فنسترال. شکل ج: رخساره مادستون تا دولومادستون انیدریتی با نودول‌های انیدریت درون زمینه و بافت نمدی درون نودول‌های انیدریتی. شکل د: رخساره مادستون تا دولومادستون انیدریتی بایو توریشن و آثار فسیلی بائورینگ و ژئوفیکوس در محیط لاگون. شکل ه: ریزرخساره مادستون تا وکستون بایوکلت‌دار، تصویر بایوتوریشن و خرده‌فسیل‌های دوکفه‌ای و نودول‌های انیدریت (گاستروپود پرشده با انیدریت) و آثار فسیلی بورینگ. شکل و: ریزرخساره مادستون تا وکستون پلواییدی بایوکلت‌دار، فسیل آگ در محیط لاگون، دارای مقدار کمی ایید. شکل ز: ریزرخساره وکستون تا پکستون پلواییدی در محیط لاگون با مقدار کم انیدریت. شکل ح: ریزرخساره پکستون پلواییدی، بایوکلت‌دار در محیط لاگون، دانه‌های پلوئید و ایید در سیمان گلی و جایگزینی سیمان انیدریتی درون پوسته و فضای خالی فسیل‌ها.

**Fig 4- Lagoon Belt, A: Mudstone to Dolomudstone Microfacies, Bioturbation and Scolithos trace fossil. B: Mudstone to Dolomudstone Microfacies, Lagoon environment, Fenestral porosity. C: Anhydritic Mudstone to Dolomudstone Microfacies, with nodular Anhydrite and felted fabric in nodular Anhydrite. D: Anhydritic Mudstone to Dolomudstone Microfacies, bioturbation and Burrowing and Zeoficous in lagoon environment. E: Bioclastic Mud to Wackestone, image of bioturbation and Bivalve shell fragments and Anhydritic nodular (filled Gastropod with Anhydrite) and Boring trace fossil. F: Bioclastic Pelloid Mudstone to Wackestone, Alga fossil in lagoon environment, has some Ooid. G: Pello Ooidal Wack to Packstone, In lagoon environment with some Anhydrite. H: Bioclastic Pello Ooid Packstone, In lagoon environment, Pelloid and Ooid within Muddy cement and replacement Anhydrite cement within fossil empty space.**

بلوری تجمع پیدا می‌کند (شکل ۵ و). گاهی این ریزرخساره تحت تأثیر دیاژنز انیدریتی شدن قرار گرفته و فضای خالی درون دانه‌های ائیدی<sup>۲</sup> یا بین دانه‌ای با سیمان انیدریتی پر شده است. در دیاژنز، انیدریتی شدن آلوم‌ها با سیمان انیدریتی جایگزین یا تخلخل آنها با انیدریت پر شده و موجب کاهش درخور توجه تخلخل و تراوایی (پروپرم) در ریزرخساره شده است. در این ریزرخساره انیدریت بیشتر به صورت دیاژنزی و ثانویه به صورت انیدریت‌های پرکننده شکستگی‌ها و سطوح میولیتی، انیدریت‌های پرکننده تخلخل قالبی ائیدی، نودل‌های انیدریتی، سیمان فراگیر<sup>۳</sup> مشاهده می‌شود (شکل ۵ ز). گاهی در این ریزرخساره دانه‌های ائید شعاعی مشاهده می‌شود که نشانه تشکیل در محیط پشته‌سدی به طرف لاگون و محیط آرام تشکیل آنهاست (Flugel 2010) (شکل ۵ ح). تخلخل این ریزرخساره بالا تا بسیار بالا و از نوع بین دانه‌ای، درون دانه‌ای و مقداری تخلخل‌های قالب ائیدی، حفره‌ای و کانالی و همچنین بین بلوری (گرینستون ائیدی دولومیتی) است.

**تفسیر:** این ریزرخساره در رمپ میانی و داخلی شامل پشته‌سدی، جزرومدی و ساحل پرنرژری تشکیل می‌شود (Flugel 2010). گرینستون ائیدی شامل مقادیر فراوان ائیدهای متحدالمرکز با جورشدگی خیلی خوب و نشانه محیط کم‌عمق و پرنرژری (پشته‌سدی) است (Flugel 2010). به دلیل وجود دانه‌های ائید و وجودداشتن گل در محیط (Tucker et al. 1993)، جایگاه اصلی این ریزرخساره محیط مرکزی پشته‌سدی (وجود ائیدهای درشت با ساختمان متحدالمرکز) است و بالاترین میزان انرژری را در بین تمام رخساره‌ها دارد، اما در قسمت‌های فعال محیط جزرومدی و پرنرژری امواج نیز تشکیل می‌شود. در این ریزرخساره نیز دولومیتی شدن انتخابی توسعه زیادی دارد و دانه‌های ائیدی معمولاً به این طریق دولومیتی شده و در طی فرایند دیاژنزی، سیمان انیدریتی فضای خالی درون دانه‌ها و بین دانه‌ها را پر کرده است

## ریزرخساره گرینستون ائیدی: MF10: Ooidal Grainstone

**توصیف:** این ریزرخساره بیشتر از دانه‌های ائید (بیش از ۹۰٪) تشکیل شده است. به علت انرژری بسیار بالای محیط، گاهی قطعاتی از خود رخساره یا رخساره‌های مجاور کنده و به صورت اینتراکلسست‌هایی درون رخساره نمایان می‌شود که بیشتر گرینستونی (حدود ۱۰٪) است. ائیدها از نظر شکل در این ریزرخساره کامل‌ترین شکل و ساختمان داخلی متحدالمرکز مماسی<sup>۱</sup> را دارند (Flugel 2010)؛ همچنین از نظر اندازه، بزرگ‌ترین ائیدهای سازند کنگان مربوط به این ریز رخساره (نوع ۳ با اندازه بزرگ‌تر از یک میلی‌متر) است (Flugel 2010). هرچه از مرکز شول به سمت کناره‌ها حرکت کنیم، اندازه ائیدها کوچک‌تر و ساختمان داخلی آنها به سختی تشخیص‌دانی است. ائیدهای پشته‌سدی مرکزی درشت و کامل است؛ اما ائیدهای محیط جزرومدی از نظر اندازه کوچک‌تر از ائیدهای محیط شول است و مقداری گل دارد. فرایندهای دیاژنزی در این ریزرخساره عبارتند از: کلسیتی شدن، دولومیتی شدن، انیدریتی شدن و میکرایتی شدن دیواره ائیدها (شکل ۵ ج) و گاهی سیمان حاشیه‌ای دریای باز (شکل ۵ د) نیز مشاهده می‌شود. زمینه و دانه‌های ائید این ریزرخساره کلسیتی یا دولومیتی است و بلورهای دولومیت به صورت سدل درون دانه‌های ائیدهای انحلال‌یافته مشاهده می‌شود. پدیده دولومیتی شدن از مرکز دانه‌های انحلال‌یافته شروع شده و گسترش یافته است. در برخی قسمت‌های پشته‌سدی، تمام دانه‌های ائیدی تحت تأثیر شدید دولومیتی شدن قرار می‌گیرد و رخساره اولیه به سختی تشخیص‌دانی و شناسایی‌شدنی است و فقط در مطالعه توالی رخساره‌ای می‌توان به آنها پی برد (شکل ۵ ه). گرینستون ائیدی دولومیتی‌شده، بالاترین میزان تخلخل در بین تمام رخساره‌ها و ریزرخساره‌های سازند کنگان را دارد و دارای آثار نفتی درخور توجه است که در تخلخل بین دانه‌ای و بین

<sup>2</sup> Oomuldic

<sup>3</sup> Pervasive Cement

<sup>1</sup> Tangentially Ooids

کلسیتی‌شدن در آن مشاهده می‌شود. فسیل‌های این بخش شول، جنه کوچک‌تر دارند؛ همچنین در این بخش سیمان‌های حاشیه‌ای دریایی نیز مشاهده می‌شود (شکل ۵ ل). در این ریزرخساره تخلخل به‌صورت قالب‌آییدی، بین قطعه‌ای، درون قطعه‌ای، کانالی، حفزه‌ای و شکستگی باز مشاهده می‌شود.

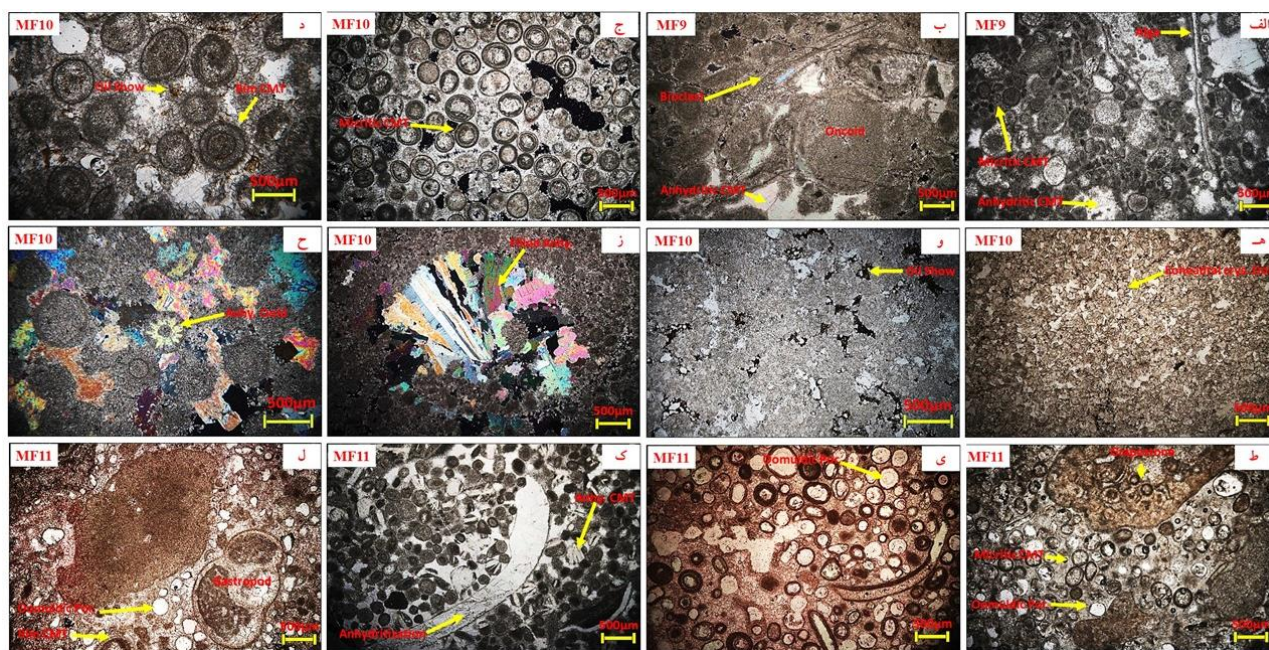
**تفسیر:** این ریزرخساره معمولاً در رمپ داخلی، در قسمت سدها، کانال‌های پشته‌ای، پشته‌های سدی و جزرومدی کم‌عمق متمایل به پشته‌سلی تشکیل می‌شود (Flügel 2010)، همچنین این ریزرخساره در بخش مرکزی پشته‌سلی و دریای باز تشکیل می‌شود (Shakeri et al. 2021). وجود اینتراکلاست‌های زاویه‌دار و در هم بودن دانه‌های آئید کوچک و بزرگ، نشانه وجود دوره‌های آشفستگی شدید و کوتاه‌مدت در محیط است (Wilson 1975). وجود پوشش‌های میکرایتی در اطراف آئیدها (Hossein Yar and Rahimpour Bonab 2011) و تشکیل آئید مرکب (Flügel 2010)، نشانه انرژی پایین در این محیط است. نکته شایان ذکر این است که به‌علت دانه غالب بودن رخساره، به‌طورکلی انرژی محیط در این ریزرخساره بالا بوده است. شواهدی مانند میکرایتی‌شدن، نشانه دوره‌های آرامش کوتاه‌مدت در این ریزرخساره است. این ریزرخساره در جهت عمودی با ریزرخساره‌های گریستون آئید دولومیتی یا انیدریتی و در جهت افقی با ریزرخساره‌های وکستون تا پکستون پلواآییدی و مادستون تا وکستون بایوکلاستی در مجاورت است. در توالی سکانسی ریزرخساره در خلال پیشروی آب دریا و در بسته رسوبی پیش‌رونده TST، یعنی عبور از محیط لاگون به پشته‌سلی تشکیل می‌شود. این ریزرخساره معادل با زون ۶ و ۷ ویلسون (FZ6 and FZ7) و معادل با ریزرخساره استاندارد ۱۸ (SMF18) و ریزرخساره رمپ ۲۷ و ۳۰ (RMF27 and ) 30 و ۲۹ (RMF29) فلوگل است.

(Hossein Yar and Rahimpour Bonab 2011). به‌جز محیط پشته‌سلی، گریستون آئیدی انیدریتی در ضخامت‌های کمتر در محیط حد واسط پشته‌سلی به لاگون و جزرومدی با انرژی بالا و عمق کم نیز تشکیل می‌شود. این ریزرخساره در جهت عمودی با ریزرخساره‌های پکستون تا گریستون آئیدی و گریستون آئید اینتراکلاست بایوکلاست‌دار و در جهت افقی با ریزرخساره‌های وکستون تا پکستون پلواآییدی و مادستون تا وکستون بایوکلاستی در مجاورت است. این ریزرخساره در سیستم پیش‌رونده و در سطح بالایی بسته رسوبی TST به وجود می‌آید و یکی از نشانه‌های حداکثری سطح آب MFS است. این ریزرخساره معادل با زون ۶ ویلسون (FZ6) و معادل با ریزرخساره استاندارد ۱۵ (SMF15) و ریزرخساره رمپ ۲۹ (RMF29) فلوگل است.

#### ریزرخساره گریستون آئید، اینتراکلاست، بایوکلاستی:

##### MF11: Bioclastic, Intraclast, Ooid Grainstone

**توصیف:** اجزای این ریزرخساره آئید (۶۰٪-۵۰٪)، اینتراکلاست (۳۰٪-۲۰٪) و بایوکلاست (۲۰٪-۱۰٪) و از اجزای اصلی این ریزرخساره‌اند. در این ریزرخساره جورشدگی متوسط تا ضعیف دانه‌ها، وجود اینتراکلاست‌های بسیار درشت تا ۲ سانتی‌متر، با حاشیه صاف تا کمی زاویه‌دار مشاهده می‌شود (شکل ۵ ط). میکرایتی‌شدن در اطراف آلوکم‌ها و در برخی دانه‌ها به‌صورت کامل مشاهده می‌شود (شکل ۵ ی). در این ریزرخساره پدیده انحلال در آلوکم‌ها نیز مشاهده می‌شود. این ریزرخساره در دو سمت پشته‌سلی مشاهده می‌شود. در سمت پشته‌سلی به طرف لاگون، این ریزرخساره فسیل‌های دوکفه‌ای‌های درشت و گاستروپود دارد و در برخی موارد مقدار بسیار کمی ذرات پلوئید نیز در این ریزرخساره مشاهده می‌شود. زمینه این ریزرخساره بیشتر میکرایتی است، اما در برخی موارد زمینه و پوسته‌های فسیلی انیدریتی می‌شود که پدیده‌ای دیاژنزی است (شکل ۵ ک). این ریزرخساره به سمت دریای باز بدون انیدریت است و معمولاً



**شکل ۵-** ریزرخساره‌های کمر بند پشته‌سدی: شکل الف: ریزرخسارهٔ پکستون تا گرینستون پلو آئیدی اینتراکلاست بایوکلست آنکوئیددار، محیط تورپیشن (پشته سدی) دارای فیلامان‌های جلبکی، میکریتی‌شدن (دانه‌ها و زمینه)، سیمان انیدریتی ثانویه، دارای اینتراکلاست‌های گریستون. شکل ب: ریزرخسارهٔ پکستون تا گرینستون پلو آئید، اینتراکلاست، بایوکلست آنکوئیددار، محیط پشته‌سدی به سمت لاگون، تورپیشن و مخلوط‌شدن دانه‌ها و ذرات (جورشدگی ضعیف) و انیدریت ثانویه. شکل ج: ریزرخسارهٔ گرینستون آئیدی، میکرایتی‌شدن دیوارهٔ آئیدها. شکل د: ریزرخسارهٔ گرینستون آئیدی. سیمان حاشیه‌ای در محیط دریایی پشته‌سدی و پراثرژی با آثار نفتی. شکل هـ: ریزرخسارهٔ گرینستون آئید دولومیتی، دولومیتی‌شدن کامل دانه‌های آئیدی در محیط تشکیل پشته‌سدی. شکل و: ریزرخسارهٔ گرینستون آئید دولومیتی و گسترش تخلخل و تراوایی و تجمع مواد هیدروکربنی در این فضاها در محیط پشته‌سدی، دارای نشانه‌های نفتی. شکل ز: ریزرخسارهٔ آئید گرینستون اینتراکلاست، بایوکلستی. محیط شول، کلسیتی‌شدن زمینهٔ میکرایتی، محیط تورپیشن و تشکیل گریپ استون، وجود تخلخل قالبی، میکرایتی‌شدن دیوارهٔ دانه‌ها، دارای اینتراکلاست‌های بسیار درشت (تا ۱۷۰۰ میکرون). شکل ح: ریزرخسارهٔ آئید گرینستون اینتراکلاست، بایوکلستی محیط شول به سمت لاگون، میکرایتی‌شدن و انحلال دانه‌ها. شکل ط: ریزرخسارهٔ گرینستون آئیدی، بایوکلست، اینتراکلاست‌دار انیدریتی، محیط پشته‌سدی و ترانزیشن پشته‌سدی به لاگون. مقدار کمی پلوئید نیز در رخساره وجود دارد، نفوذ محلول‌های غنی از سولفات و ایجاد سیمان انیدریتی مابین دانه و درون برخی از دانه‌ها به صورت نواری و قالبی، فسیل دوکفه‌ای (کربنات کلسیم پر منیزیم ناپایدار) که تحت تأثیر دو فاز دیاژنز قرار گرفته است: ۱- انحلال دیواره (دیاژنز متئوریک)؛ ۲- جایگزینی سیمان انیدریتی. شکل ی: ریزرخسارهٔ پکستون تا گرینستون پلو آئیدی اینتراکلاست بایوکلست‌دار، محیط ترانزیشن پشته‌سدی به لاگون. دارای ویژگی‌هایی از محیط لاگون (پلوئید، فسیل گاستروپود و میکرایتی‌شدن) و محیط پشته‌سدی (وجود آئیدهایی که انحلال یافته است و سیمان حاشیه‌ای دریایی). شکل ک: ریزرخسارهٔ گرینستون آئید انیدریتی. محیط تشکیل پشته‌سدی به لاگون، انیدریت ثانویه به صورت نودل و توده‌ای احتمالاً جایگزین فسیل گاستروپود. شکل ل: ریزرخسارهٔ گرینستون آئیدی انیدریتی با آئیدهای انیدریتی، محیط تشکیل پشته‌سدی، دارای سیمان انیدریتی پویی کیلو تا پیک.

**Fig 5-** Shoal Microfacies Belt, A: Oncoidal Bioclast Intraclast Pello Ooid Pack to Grainstone, turbation environment (shoal) has Alga filaments, Micritization (grains and texture), Secondary Anhydritic cement, has grapestone intraclasts. B: Oncoidal Bioclast Intraclast Pello Ooid Pack to Grainstone, Shoal environment towards lagoon, turbation and mixing grains and particles (week sorting) and secondary Anhydrite. C: Ooidal Grainstone, Micritization around Ooids. D: Ooidal Grainstone, rim cement in shoal sea environment and high enrgy with oil show. E: Dolomitic Ooid Grainstone, complete Dolomitization of Ooid grains in shoal environment. F: Dolomitic Ooid Grainstone, extend porosity and permeability and aggregation of Hydrocarbhone materials in this space in shoal environment, has oil show. G: Bioclastic Intraclast Ooid Grainstone: Shoal environment, calcitization in micritic texture, turbation and form grepestone, Oomuldic, micritization around of grains, has coarse intraclast (to 1700µ). H: Bioclastic Intraclast Ooid Grainstone, Shoal environment toward lagoon, micritization and solution in grains. I: Anhydritic Intraclastic Bioclast Ooid Grainstone, Shoal environment and transition to lagoon, with some Piloid, influence rich sulfate solution and create Anhydritic cement within and intergrains in some grains as fibrous and muldic, Bivalve fossil (unstable high Magnesium carbonate) under the influence two diagenesis prosses: 1- solution Cover (meteoric diagenesis) 2- replacement Anhydritic cement. J: Bioclastic Intraclast Pello Ooid Pack to Grainstone, Shoal environment toward lagoon, has feature of lagoon (Pelloid, Gastropod fossil, micritization) and shoal environment (Oomuldic and sea rem cement). K: Anhydritic Ooid Grainstone, Shoal environment toward lagoon, second Anhydrite as nodular and massive probably replacement Gastropod fossil. L: Anhydritic Ooid Grainstone with Anhydritic Ooid, form in Shoal environment, has Anhydritic poikilotopic cement.

کلسیتی، فشردگی شیمیایی است و تخلخل بسیار ضعیف دارد و در مواردی که منشأ رسوبات میکروبی باشد، به مقدار کم تخلخل فنسترال مشاهده می‌شود (شکل ۶ و).

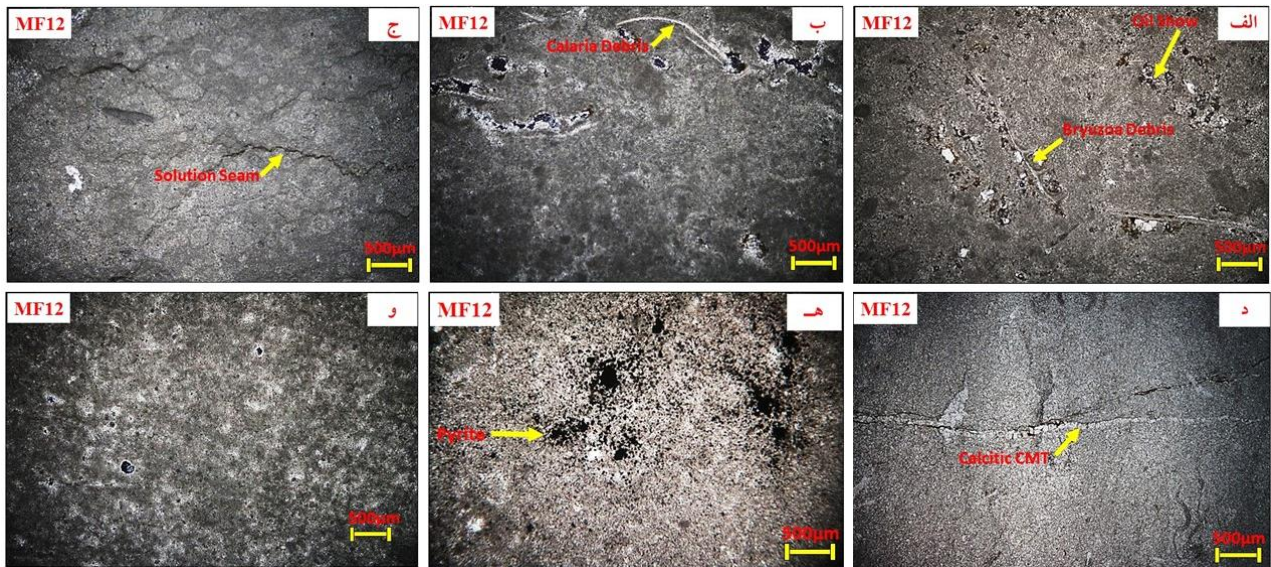
**تفسیر:** وجود برخی فسیل‌ها مانند کلاریا، استراکد و اکینودرم نشانه محیط دریای باز در این ریزرخساره است (Shakeri et al. 2021). با توجه به شرایط موجود در این ریزرخساره شامل وجود فونای ویژه دریای باز (اکینودرم، دوکفه‌ای‌ها با پوسته نازک و فیلامان‌های جلبکی)، نزدیکی به گرینستون‌های اییدی و وجودنداشتن انیدریت یا مقدار کم آن، این ریزرخساره بین دریای عمیق و گروه رخساره‌ای پشته‌سدی با انرژی کم و ضعیف در رمپ میانی قرار دارد (Aleali 2013). در صورتی که ریزرخساره بیشتر از رسوبات دانه‌ریز مادستون تا مادستون شیلی تشکیل شده باشد، مربوط به محیط عمیق رمپ کریناته (رمپ خارجی) است (Hossein 2011 Yar and Rahimpour Bonab). با توجه به شرایط محیطی شامل گل غالب، شرایط احیایی، وجودنداشتن انیدریت و وجود فسیل‌های دوکفه‌ای با پوسته نازک (Aleali et al. 2013)، این ریزرخساره فقط در محیط دریای باز با انرژی بسیار پایین و محیط کاملاً آرام مشاهده می‌شود (Wilson 1975). این ریزرخساره در جهت عمودی و افقی با ریزرخساره‌های پکستون اییدی و پکستون تا گرینستون بایوکلسیتی در مجاورت است. در توالی سکانسی، این ریزرخساره در بالاترین سطح آب MFS تشکیل می‌شود و درست در نقطه مقابل مرز سکانسی (تبخیری‌های سبختا) در سکانس‌های رده بالا جای دارد. دیاژنهای این ریزرخساره کلسیتی‌شدن، مقدار کمی انحلال و فشردگی شیمیایی است و تخلخل پایین دارد؛ اما مقداری تخلخل حفره‌ای مرتبط با یکدیگر و قالبی در آن مشاهده می‌شود. این ریزرخساره معادل با زون رخساره‌ای ۵-۴ ویلسون (FZ4-5) و معادل با ریزرخساره استاندارد ۱۰ (SMF10) و ریزرخساره رمپ ۵ تا ۷ (RMF5-7) فلوگل است.

## گروه رخساره‌ای دریای باز FB5: Open Facies Belt Marin

### ریزرخساره مادستون شیلی و مادستون تا وکستون

#### بایوکلسیتی: MF12: Shaly Mudstone to Bioclastic Mudstone to Wackestone

**توصیف:** اجزای ریزرخساره بیشتر از نهشته‌های دانه‌ریز رسی، گاهی همراه با شیل (در قسمت‌های عمیق‌تر) تشکیل شده است و در تقسیم‌بندی دانه‌ها، در گروه مادستون قرار دارد؛ اما گاهی مقادیر بسیار کم (کمتر از ۱۰٪) آلوکم شامل دانه‌های کوچک ایید و بایوکلسیت با پوسته نازک و ظریف، مانند کلاریا و استراکد در آن مشاهده می‌شود و آن را به وکستون تبدیل می‌کند. ویژگی‌های این ریزرخساره، وجود رسوبات کریناته ریزدانه با منشأ آلی یا شیمیایی در محیط است که گاهی همراه با آثار نفتی مشاهده می‌شود (شکل ۶ الف). این محیط به علت ارتباط با دریای باز شوری پایین‌تر، اکسیژن و مواد غذایی بیشتری دارد و برای موجودات زنده مطلوب است؛ بنابراین از نظر فونای زیستی و تراکم آنها درخور توجه است. با توجه به شرایط محیطی، موجودات در این قسمت جثه کوچک‌تری دارند و پوسته دوکفه‌ای‌ها به صورت نازک و ظریف (کلاریا)، فیلامان‌های جلبکی، اکینودرم و بریوزوآ در محیط، سمت دریای باز پشته‌سدی (رمپ میانی) مشاهده می‌شوند (شکل ۶ ب). همچنین آثار فشردگی شیمیایی به صورت مرزهای انحلالی فشاری است (شکل ۶ ج). اگر این ریزرخساره در فاصله دورتری از پشته‌سدی تشکیل شود، در آن بیش از ۹۰٪ رسوبات دانه‌ریز کریناته است که گاهی خاصیت تورق از خود نشان می‌دهد و کمتر از ۱۰٪ نیز فسیل دوکفه‌ای و به‌ندرت دانه‌های ایید است و همچنین کانی‌های رسی تیره و مقداری پیریت دارد. از ویژگی‌های آنها، ضخامت کم، وجود آثار نفتی در امتداد شکستگی‌های کلسیتی‌شده (شکل ۶ د)، محیط احیایی و تشکیل پیریت اولیه در محیط (شکل ۶ ه) و گاهی دارای خاصیت تورق (ویژگی شیل)، دارای مقدار کمی فسیل دوکفه‌ای با پوسته ظریف و نازک است. دیاژنهای مشاهده‌شده در این ریزرخساره سیمان



**شکل ۶- ریزرخساره‌های کمر بند رخساره‌ای رمپ میانی و خارجی (دریای باز): شکل الف:** رخساره مادستون تا وکستون بایوکلستی دارای آثار نفتی، مقدار کمی دانه و خرده‌های فسیل بریوزوا در محیط رمپ میانی. **شکل ب:** رخساره مادستون تا وکستون پلوئیدی محیط رمپ میانی، دارای فسیل دوکفه‌ای کلاریا با پوسته نازک و ظریف. **شکل ج:** رخساره مادستون تا وکستون ائید بایوکلست دار، محیط پشته‌سدی به سمت دریای باز (رمپ میانی)، زون فشاری و ایجاد مرزهای انحلالی. **شکل د:** ریزرخساره مادستون تا مادستون شیلی، محیط رمپ بیرونی، دارای مقداری آثار نفتی در امتداد شکستگی‌های پر شده با سیمان کلسیتی اسپاری، مقدار کم پیریت. **شکل ه:** رخساره مادستون محیط رمپ خارجی، محیط احیایی و مقدار فراوان پیریت در زمینه. **شکل و:** ریزرخساره مادستون تا مادستون شیلی، محیط رمپ خارجی، شرایط پیشروی آب دریا یا بالآمدن سطح آب.

**Fig 6- Middle and Outer Ramp Belt (Open Marin) A: Bioclastic Mud to Wackestone, with oil show, has some grain and Bryozoa fossil fragments in middle ramp environment. B: Pelloidal Mud to Wackestone, middle ramp environment has Claria bivalve fossil with thin and delicate shell. C: Bioclastic Ooid Mud to Wackestone, Shoal environment toward open marine (Middle ramp), compress zone and create solution seam. D: Mudstone to Shally Mudstone, Outer ramp environment, has oil show along fractures that filled by spary calcitic cement, with some pyrite. E: Mudstone Microfacies, Outer ramp, environment, regenerative environment and plenty pyrite in matrix. F: Mudstone to Shally Mudstone, Outer ramp environment, transgressive or rise sea level.**

#### محیط رسوبی

بخش محیط رسوبی را تشکیل می‌دهد و شامل سبخا و حوضچه‌های کوچک تبخیری (پوند) است که در هنگام پیشروی دریا از آب پر و با اندک پس‌روی آب، ارتباط آن با دریا قطع و با تبخیر شدید آب (در هوای گرم و خشک) به شورابه تبدیل می‌شود و کانی‌های تبخیری (ژپس-انیدریت) و مقداری کانی‌های کربناتی (دولومیت‌های اولیه) و گل (معمولاً به صورت میکرایت) در آن نهشته می‌شود. ساخت‌های مشاهده‌شده در این محیط توری مرغی، انترولیتی و لامیناسیون است. ریزرخساره‌هایی که در این محیط دیده می‌شود عبارتند از: ۱- انیدریت توده‌ای و انیدریت گلی (MF1)؛ ۲- دولوستون انیدریتی (MF2) (شکل ۷).

**محیط کسندی:** تشکیل ریزرخساره‌های این محیط در شرایط عمق کم آب و انرژی کم (ریزرخساره‌های میکروبی استروماتولیتی و ترومبولیتی و ریزرخساره تبخیری انیدریتی)

با توجه به مطالعات پتروگرافی، مقاطع نازک و تعیین ریزرخساره‌ها، کمر بند ریزرخساره‌ای و ارتباط عمودی و جانبی آنها، می‌توان نتیجه گرفت که محیط رسوبی سازند کنگان (در خلیج فارس) در ابتدای تریاس یک محیط رمپ، در آب‌وهوای گرم و خشک بوده (Alshahrhan 2006) که باعث نهشته شدن توالی رسوبات کم‌عمق کربناته-تبخیری شده است (شکل ۷). برخی پژوهشگران نیز قبلاً محیط رمپ سازند کنگان را تأیید کرده‌اند (Sharland et al. 2001; Ziegler 2001; ) (Rahimpour-Bonab et al. 2009; Insalaco et al. 2006). قسمت‌های مختلف محیط رسوبی سازند کنگان در منطقه مطالعه‌شده در تریاس پیشین به شرح زیر است:

**محیط بالای کسندی:** این محیط بخش ساحلی و بالاترین

بیشتر دانه‌های ایید، فسیل‌های استراکد، فیلامات‌های جلبکی، دوکفه‌ای‌ها و به میزان کم گاستروپود و مقدار بسیار کمی دانه‌های پلوئید (محل پشته‌سدی به سمت لاگون) است. مطالعه ریزرخساره‌ها نشان داد محیط پشته‌سدی به سه بخش تقسیم می‌شود: ۱- محیط پشته‌سدی به سمت لاگون: در این بخش دانه‌های ایید و بایوکلست‌ها بیشتر پوشش میکرایتی دارند، جورشدگی دانه‌ها ضعیف است و گاهی مقدار کمی دانه‌های پلوئید و آنکوئید (کمتر از ۵ درصد) نیز در این محیط مشاهده می‌شود. از ویژگی‌های دیگر این محیط، تعداد بسیار کم فسیل گاستروپود است که شاخص محیط لاگونی است، اما وجود این فسیل نشانه نزدیک‌شدن پشته‌سدی به لاگون است؛ ۲- محیط پشته‌سدی مرکزی: در این محیط دانه‌های ایید جورشدگی خوب، اندازه بزرگ‌تر از ۵/۵ میلی‌متر، سیمان حاشیه‌ای دریایی و گاهی به شدت دولومیتی شده دارند که در این صورت بیشترین میزان تخلخل و کیفیت مخزنی را تشکیل می‌دهند؛ ۳- محیط پشته‌سدی به سمت دریای باز: در این محیط دانه‌های ایید کوچک‌تر از ۵/۵ میلی‌متر است و جورشدگی متوسط تا ضعیف گاهی فسیل فیلامان‌های جلبکی و مقداری میکرایتی‌شدن آلوکم‌ها را دارد. این محیط در سطح تراز بالای آب (HST) تشکیل می‌شود. ریزرخساره‌های این محیط شامل: ۱- ریزرخساره پلو ایید اینتراکلت بایوکلست آنکوئیددار (MF9)؛ ۲- ریزرخساره گرینستون اییدی (MF10)؛ ۳- ریزرخساره گرینستون ایید اینتراکلت بایوکلست‌دار (MF11) (شکل ۷).

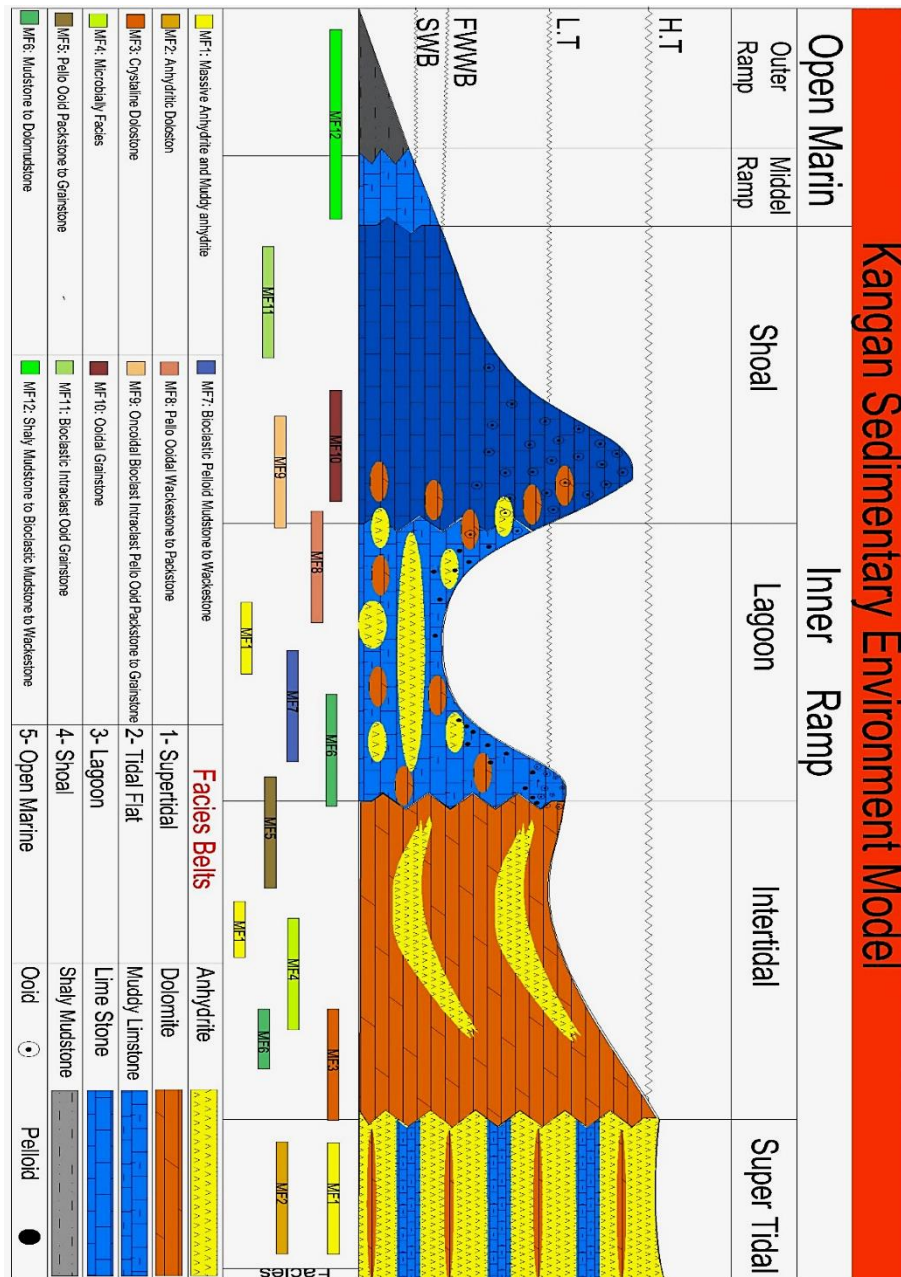
**محیط دریای باز:** این محیط در بالای خط تأثیر امواج قرار دارد و بیشتر دارای ریزرخساره‌های گل غالب است. فسیل‌های مشاهده‌شده در این محیط شامل اکینودرم، بیروزوآ و دوکفه‌ای‌ها با پوسته نازک و ظریف (کلاریا) است. از ویژگی‌های دیگر این محیط، وجودنداشتن انیدریت یا میزان بسیار کم آن، کلسیتی‌شدن، وجود آثار نفتی و مقدار کم بلورهای پیریت و همچنین ضخامت کم رسوبات در این محیط است. ریزرخساره این محیط، مادستون شیلی و مادستون تا وکستون بایوکلستی دریای باز (MF12) است (شکل ۷).

و انرژی بالا (ریزرخساره دانه‌غالب پکستون تا گرینستون) است (Insalaco 2006). در منطقه مطالعه‌شده، لیتولوژی غالب این محیط دولومیت است و مقدار کمی انیدریت-تریپس به صورت بین لایه‌ای با ضخامت ۳۰-۱۰ سانتی‌متر نیز مشاهده می‌شود، معروف‌ترین ساخت این محیط کیستون است که در بخش تبخیری این محیط به وفور مشاهده می‌شود. ریزرخساره‌هایی که در این محیط تشکیل شده است، عبارتند از: ۱- دولوستون متبلور (MF3)؛ ۲- ریزرخساره‌های میکروبی (MF4)؛ ۳- پکستون تا گرینستون پلو اییدی (MF5) (شکل ۷).

**محیط لاگون:** این محیط بیشتر انرژی پایین تا متوسط و تنوعی از ریزرخساره‌ها را دارد. در این محیط ریزرخساره‌های مادستونی تا وکستونی و همچنین تبخیری به صورت غالب تشکیل شده است (Insalaco 2006). این ریزرخساره به سمت پشته‌سدی، به صورت وکستون تا پکستون بایوکلست‌دار یا پلوئیددار مشاهده می‌شود (Shakeri et al. 2021). در این محیط ریزرخساره‌های تبخیری و ریزرخساره‌های گلی در مرکز لاگون و در شرایط پس‌روی دریا (HST)، و ریزرخساره‌های دانه‌غالب در شرایط بالآمدن سریع آب دریا (TST) نهشته شده‌اند. ویژگی‌های بارز این ریزرخساره وجود فسیل گاستروپود، آثار فسیلی اسکولایتوس، وجود مقادیر درخور توجه پلوئید، وجود تجمع‌های انیدریتی (نودل) در بین رخصاره‌های گلی با بافت نمدی و گاهی دانه‌های پیریت که نشانه محیط عمیق و احیایی لاگونی است. ریزرخساره‌های این محیط شامل: ۱- ریزرخساره مادستون تا دولومادستون (MF6)؛ ۲- ریزرخساره مادستون تا وکستون پلوئیدی بایوکلست‌دار (MF7)؛ ۳- ریزرخساره وکستون تا پکستون پلو اییددار (MF8) (شکل ۷).

**محیط پشته‌سدی:** ریزرخساره‌های این محیط در بالای حد تأثیر جزرومدی<sup>۱</sup> و در محیط پرانرژی نهشته می‌شوند. محیط پشته‌سدی بالاترین میزان انرژی را در بین محیط‌های رمپ سازند کنگان دارد و از ریزرخساره‌های دانه‌غالب گرینستونی تشکیل می‌شود. آلوکم‌های مشاهده‌شده در این ریزرخساره

<sup>1</sup> FWWB: Fair Weather Wave Base



شکل ۷- مدل محیط رسوبی سازند کنگان (برش عرضی) در منطقه خلیج فارس همراه با گروه رخصاره‌ای، موقعیت ریزرخساره‌ها، سنگ‌شناسی و سطح آب در تریاس پیشین.

**Fig 7- Kangan Sedimentary Environment Model (transects) in Persian Gulf with Microfacies Belt, Microfacies position, Lithology and surface water in early Triassic.**

**چینه‌نگاری سکاسی**

توالی مطالعه‌شده کربناته-تبخیری بوده که در یک محیط رمپ با بخش‌های مختلف سبنا با عمق بسیار کم تا رمپ خارجی با عمق بالا نهشته شده است. یکی از بهترین روش‌ها در تعیین

چینه‌نگاری سکاسی که به وسیله ( Embry and Johannessen

1992) معرفی شد، مدل سکاس‌های پیشروی-پس‌روی<sup>۱</sup> است که در آن اطلاعات حاصل از بررسی مقاطع نازک تهیه‌شده

<sup>1</sup> T-R Sequence



مطالعه سعی شد تا به کمک اطلاعات پتروفیزیکی، نوع لیتولوژی و میزان تخلخل تعیین و از آنها در زون‌بندی مخزن و چینه‌نگاری سکانسی استفاده شود. لاگ‌های پتروفیزیکی و کاربرد آنها در این پژوهش عبارتند از: ۱- لاگ‌های گاما (CGR, GR): از این لاگ‌ها برای تشخیص شیل و دولومیت استفاده می‌شود؛ زیرا عناصر رادیواکتیو توریم، پتاسیم و اورانیم در این سنگ‌ها فراوانی بالایی دارد و در نمودارها مشخص می‌شود؛ ۲- لاگ تعیین قطر چاه (CALIPER): با توجه به اینکه شیل‌ها خواص ریزشی دارند، در محدوده‌های شیلی درون چاه، دیواره ریزش و قطر آن افزایش می‌یابد؛ ۳- لاگ‌های تعیین تخلخل و چگالی (PEF, NPHI, RHOZ, ) (HARD): لاگ‌های فتوالکتریک (PEF) و نوترون (NPHI) به کمک روش نوترون میزان تخلخل موجود در سنگ را نشان می‌دهند. از لاگ‌های چگالی با کمک روش صوتی یا سونیک (RHOZ, HARD) برای شناسایی نوع سنگ با توجه به میزان چگالی تقریباً ثابت سنگ‌ها استفاده شد؛ ۴- لاگ‌های مقاومتی (RXOZ, RLA, ) از این لاگ‌ها معمولاً برای شناسایی سیال درون سنگ‌ها مانند آب، نفت یا گاز استفاده می‌شود (از لاگ فتوالکتریک در کنار لاگ‌های دیگر نیز می‌توان به نوع سیال درون سازندی پی برد). در نهایت حجم سنگ‌های آهک، دولومیت، انیدریت و شیل با کمک نرم‌افزار ژئولاگ محاسبه و در ستون مربوطه ترسیم شد (شکل ۹).

در تعیین سکانس‌های سازند کنگان، دو سطح اهمیت خاصی دارد: ۱- مرزهای سکانسی، یعنی پایین‌ترین سطح آب که منطبق بر کمربندهای بالای کشندی، کشندی و لاگون است؛ ۲- سطح حداکثر غرقابی: سطحی از رسوبات است که در بالاترین سطح آب دریا یا جابه‌جایی رخساره‌ها به سمت خشکی نهشته می‌شود (Catuneanu 2011)، معمولاً این سطح با افزایش میزان گاما در لاگ پتروفیزیک در رسوبات شیلی و مادستونی با ضخامت کم ایجاد می‌شود (Hudford and Louks 2010, Flugel 1993). این سطح منطبق با کمر بند رخساره‌ای پشته‌سدی و دریای باز است.

مغزه‌ها استفاده می‌شود. در این روش اساس کار با تعیین دو سطح، مرز سکانسی و سطح حداکثر غرقابی صورت می‌گیرد. مرزهای سکانسی سطوحی‌اند که نشان‌دهنده حداکثر پس‌روی و پایین‌افتادن آب دریا و شامل دو نوع‌اند: ۱- مرز سکانسی نوع اول<sup>۱</sup>: از ویژگی‌های این مرز، خروج رسوبات از آب و اثر فرسایش بر آنهاست و در بخش کم‌عمق حوضه تشکیل می‌شود. این مرز بر اثر انحلال پدیده کارستی‌شدن و همچنین کالیچ و کالکریت تشکیل می‌شود (Hunt and Toker 1992)؛ ۲- مرز سکانسی نوع دوم: این مرز در بخش‌های عمیق‌تر حوضه ایجاد می‌شود و رخنمون تحت جوی ندارد (Hunt and Toker 1992).

### بررسی سکانس‌های سازند کنگان

پس از مطالعه پتروگرافی مقاطع سازند کنگان و شناسایی ریزرخساره‌های این سازند، محیط رسوبی و روند نوسانات آب دریا تعیین شد (شکل ۹). براساس مطالعات سن‌سنجی ایزوتوپی عناصر کربن و اکسیژن (Wardlaw et al. 2004)، محدوده MFS براساس شکل ۸ سکانس DS1(247 Ma) و محدوده MFS سکانس DS2(246 Ma) سن‌سنجی و فواصل زمانی بین آنها حدود ۱ میلیون سال تعیین شد. از طرف دیگر بر طبق تقسیم‌بندی (Emery and Meyers 1996)، فواصل زمانی سکانس رده سوم (۵/۰ تا ۳ میلیون سال) و سکانس رده چهارم (۱/۰ تا ۵/۰ میلیون سال) فاصله دارند. با توجه به تعیین ریزرخساره‌ها در منطقه مطالعه‌شده و مقایسه و تطابق آنها با مطالعات (Wardlaw et al. 2004; Insalaco et al. 2006) و اینکه هر دو مطالعه در بخش مرکزی خلیج فارس انجام شده است، سکانس‌های استخراج‌شده در این مطالعه از نوع رده سوم و چهارم تشخیص داده شد (شکل ۸).

ارزیابی شاخص‌های پتروفیزیکی، مانند تخلخل و تراوایی و نیز تفسیر لیتولوژیکی و تعیین گونه‌های سنگی از اهداف اصلی و یکی از اولویت‌های مخازن نفت و گاز است. در این

<sup>1</sup> SB1

		CHRONOSTRATIGRAPHY		FORMATIONS		RESERVOIR	Revised SP2 SURFACES Sharland et al. (2001, 2004)	STRATIGRAPHIC STACKING	
		STANDARD	TETHYS	North	South			Tr30 245 Ma	3rd-order
TRIASSIC	Early	?Olenekian		Aghar Shale	Sudair Shale	K1	Tr20 246 Ma	Cycle I	KS1c
		----- ?		Kangan	Upper Khuff				KS1b
		Induan							KS1a
late PERMIAN		Changhsingian	Dorashamian	Upper Dalan		K2	Tr10 247 Ma 252 Ma	Cycle II	KS2
									K3

شکل ۸- کرونواستراتیگرافی و سکانس استراتیگرافی سازند کنگان (Insalaco 2006)

**Fig 8- Chronostratigraphic and Sequence stratigraphy kangan formation quoted from Insalaco for comparison with performed study (Insalaco 2006).**

پتروفیزیکی در این بخش به صورت پایین بودن میزان لاگ گاما (تمیز بودن محیط تشکیل و وجود نداشتن گل و شیل) است، میزان بالای لاگ‌های تخلخل PEF و NPHI نشانه تخلخل بالا و میزان متوسط تا بالای لاگ‌های چگالی HARD و RHOZ مربوط به حجم بالای دولومیت در این بخش است؛ همچنین میزان تخلخل در آنالیز مغزه نیز بالا و حد متوسط آن حدود ۱۰٪ است. بخش HST سکانس DS1 با ضخامت حدود ۴۰ متر دارای لیتولوژی ۸۰٪-۶۰٪ دولومیت و ۴۰٪-۲۰٪ انیدریت با میان‌لایه‌های نازک شیلی مشاهده می‌شود. لاگ‌های پتروفیزیکی در این بخش به صورت پایین بودن میزان لاگ گاما با وجود ۲ میزان ماکزیمم است که نشانه وجود ۲ لایه نازک شیلی نازک (حدود ۱ متر) در این بخش است. میزان پایین لاگ تخلخل PEF و NPHI به علت وجود مقدار درخور توجه سیمان انیدریتی و پرشدن تخلخل به وسیله آن است. میزان بالا تا بسیار بالای لاگ چگالی HARD و RHOZ به دلیل مقادیر درخور توجه انیدریت با چگالی بالاست. همچنین میزان کلی تخلخل آنالیز مغزه نیز در این بخش بسیار پایین است (شکل ۹).

مطالعه سکانس‌های منطقه مطالعه شده بر مبنای ویژگی‌های سنگ‌شناسی، رسوب‌شناسی، ساخت‌های بیولوژیک و غیر بیولوژیک، انرژی محیط (آشفستگی یا آرام بودن)، توالی رخساره‌ها و کمربند رخساره‌ای، فرایندهای دیازنزی و اطلاعات پتروفیزیکی سکانس‌های چینه‌ای این سازند تعیین شد. برای اطمینان از سکانس‌های ترسیم شده (پیشروی و پسروی آب دریا)، اطلاعات آنها با لاگ‌های پتروفیزیکی گاما، نوترون، چگالی و تخلخل مقایسه و بر مبنای آنها ۲ سکانس رده سوم و ۷ سکانس رده چهارم تعیین شد (شکل ۹) که در ادامه سکانس‌های رده سوم را شرح می‌دهیم.

**سکانس DS1:** ضخامت این سکانس حدود ۷۰ متر است. شروع این سکانس (مرز سکانسی SB) در بخش بالایی سازند دالان وجود دارد. بخش TST این سکانس با ضخامت حدود ۳۰ متر، لیتولوژی بیش از ۹۰٪ دولومیت و حدود ۱۰٪ آهک دارد که در محیط تمیز و بدون گل بر جای نهشته می‌شود. سکانس DS1 کاملاً با روند کلی افزایش آب جهانی (Sharland 2001) هم‌خوانی دارد و با آن منطبق است. لاگ‌های

**DS1b:** مرز سکاسی SB آن منطبق بر ریزرخساره‌های محیط جزرومدی است. بخش پیش‌رونده TST آن با افزایش سطح آب از محیط جزرومدی به لاگون، سپس به پشته‌سدی و ریزرخساره‌های گرینستون اییدی می‌رسد. سطح ماکزیمم غرقابی MFS آن منطبق با بالاترین سطح آب سکاس DS2 و در محیط دریای باز نهشته شده است. بخش پس‌رونده HST این سکاس با کاهش سطح آب و تغییر محیط از دریای باز به سمت پشته‌سدی و لاگون است (شکل ۹).

**DS1c:** مرز سکاسی SB این سیکل منطبق بر مرکز لاگون و نهشته‌های تبخیری آن است. بخش TST سکاس DS1 با بالآمدن سطح آب و عبور از محیط لاگون به پشته‌سدی تشکیل می‌شود. بالاترین سطح غرقابی MFS منطبق بر مرکز پشته‌سدی و ریزرخساره‌های گرینستون اییدی است. بخش پس‌رونده HST این سکاس با پایین‌رفتن سطح آب از بخش مرکزی شول به سمت لاگون تغییر مکان می‌دهد. مرز سکاسی SB آن با مرز سکاسی مابین DS1 و DS2 و نهشته‌های تبخیری مرکز لاگون منطبق است (شکل ۹).

**سکاس DS2:** این سکاس ضخامت حدود ۱۰۵ متر دارد. شروع این سکاس منطبق بر مرز DS1 و DS2 است و با محیط بالای جزرومدی تا جزرومدی منطبق و نشانه پایین‌ترین سطح آب است. روند تغییرات سطح آب در سکاس DS2 کمی با روند تغییرات آب جهانی (Sharland 2001) متفاوت است. بخش TST این سکاس با ضخامت حدود ۳۰ متر دارای لیتولوژی ۸۰٪-۶۰٪ دولومیت و ۴۰٪-۲۰٪ آهک است. لاگ‌های پتروفیزیکی در این بخش نشان‌دهنده میزان بسیار پایین لاگ گاما است که به علت تمیزبودن محیط رسوب‌گذاری از گل و شیل است. میزان بالای لاگ‌های تخلخل PEF و NPHI نشانه تخلخل بالا در این قسمت است. میزان متوسط تا بالای لاگ‌های چگالی

**روند سکاس DS1:** بخش TST این سکاس کمی قبل از ابتدای سازند کنگان رخ می‌دهد. مرز دالان و کنگان یک مرز پیوسته (مرز پرمو-تریاس<sup>۱</sup>) و منطبق بر منطقه انقراض زیستی بزرگ است (Insalaco 2006). این مرز در محیط لاگون و جزرومدی مشاهده شده و ریزرخساره ترمبولیتی (کمی بالاتر از مرز پرمو-تریاس) لایه شاخص این مرز در گستره بزرگ، بلندای قطر-فارس و کشورهای عربی منطقه گزارش شده است (Alsharhan 2006).

با افزایش آهسته سطح آب، توالی از مرز پرمو-تریاس عبور می‌کند و در محیط لاگون و لاگون به سمت پشته‌سدی در خلال TST وارد می‌شود، در ادامه افزایش سطح آب، توالی رسوبی به محیط پشته‌سدی و دریای باز می‌رسد (حداکثر بالآمدگی سطح آب) که منطبق بر MFS این سکاس است و با ریزرخساره‌های MF10 تا MF12 شناسایی می‌شود. پس از آن سطح آب دریا به صورت آهسته کاهش می‌یابد و محیط رسوبی از سمت دریای باز به لاگون و در ادامه به محیط جزرومدی و بسته رسوبی HST می‌رسد. انتهای بخش HST به مرز سکاسی مابین DS2 و DS1 ختم می‌شود (شکل ۹). سکاس رده سوم DS1 به ۴ سکاس رده چهارم DS1a, DS1b, DS1c, DS1d تقسیم و در زیر بررسی می‌شود:

**DS1a:** مرز سکاسی SB آن درون سازند دالان است و در محیط کشندی نهشته می‌شود. بخش پیش‌رونده TST با افزایش سطح آب، تغییر از محیط کشندی به لاگون و سپس به پشته‌سدی صورت می‌گیرد. سطح ماکزیمم غرقابی MFS این سطح نشانه بالاترین سطح آب و بر پشته‌سدی مرکزی منطبق است. بخش پس‌رونده HST با کاهش سطح آب، تغییر محیط از پشته‌سدی به سمت محیط لاگون و جزرومدی است (شکل ۹).

<sup>1</sup> PTB

می‌رسد که منطبق با محیط بالای جزرومدی و محیط سبخاست و با ریزرخساره‌های MF1 و MF2 (بیشتر تبخیری) منطبق است و مرز بین سازند کنگان و بخش آغار شیل سازند دشتک است (شکل ۹). سکانس ردهٔ سوم DS2 به سه سکانس ردهٔ چهارم DS2a, DS2b, DS2c تقسیم می‌شود که چرخهٔ آنها به صورت زیر است:

**DS2a:** مرز سکانسی SB آن منطبق بر مرز سکانسی مشترک DS1 و DS2 و تبخیرهای بخش مرکزی لاگون است. بخش پیش‌روندهٔ TST با افزایش سطح آب و عبور از لاگون به سمت پشته‌سدی صورت می‌گیرد. ماکزیمم سطح غرقابی MFS آن در دریای باز نهشته شده است. بخش پس‌روندهٔ HST آن با پایین‌رفتن سطح آب و تغییر محیط از دریای باز به پشته‌سدی و لاگون انجام شده است (شکل ۹).

**DS2b:** مرز سکانسی SB آن در محیط کم‌عمق جزرومدی تشکیل شده است. بخش پیش‌روندهٔ TST آن با بالآمدن سطح آب، از منطقهٔ جزرومدی به لاگون و سپس به پشته‌سدی وارد شده است. ماکزیمم سطح آب MFS با بالآمدن سطح آب محیط، وارد دریای باز و ریزرخساره‌های گل غالب عمیق آن شده است. بخش پس‌روندهٔ HST با شروع کاهش سطح آب تغییر محیط از دریای باز به سمت پشته‌سدی و لاگون بوده است (شکل ۹).

**DS2c:** مرز سکانسی SB آن منطبق با تبخیری‌های منطقهٔ بالای جزرومدی بوده است. بخش پیش‌روندهٔ TST با بالآمدن سطح آب محیط از بالای جزرومدی، به تدریج وارد محیط جزرومدی و سپس لاگون شده است. ماکزیمم سطح غرقابی MFS آن با افزایش سطح آب به بخش مرکزی پشته‌سدی رسیده است. بخش پس‌روندهٔ HST با شروع کاهش سطح آب محیط، از مرکز پشته‌سدی به سمت ساحل جابه‌جا شده و به محیط لاگون و جزرومدی صورت گرفته

HARD و RHOZ نشانهٔ آهکی و دولومیتی بودن این قسمت است؛ همچنین میزان تخلخل آنالیزمغزه در این قسمت مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. بخش HST سکانس DS2 با ضخامت حدود ۷۵ متر دارای لیتولوژی ۷۰٪-۵۰٪ دولومیت و ۳۰٪-۲۰٪ انیدریت و ۲۰٪-۱۰٪ شیل به صورت میان‌لایه‌های نازک مشاهده می‌شود. لاگ‌های پتروفیزیکی در این بخش، لاگ گاما با میزان متوسط تا بالاست که نشانهٔ وجود میان‌لایه‌های شیلی فراوان به صورت نازک‌لایه است. میزان پایین لاگ تخلخل PEF و NPHI به علت وجود مقدار درخور توجه سیمان انیدریتی و رسوبات ریزدانهٔ شیلی تا گلی و پرشدن تخلخل به وسیلهٔ آنهاست. میزان بالا تا بسیار بالای لاگ چگالی HARD و RHOZ به دلیل مقادیر درخور توجه انیدریت با چگالی بسیار بالا و دولومیت با چگالی بالاست. همچنین میزان کلی تخلخل آنالیزمغزه نیز در این بخش بسیار پایین است.

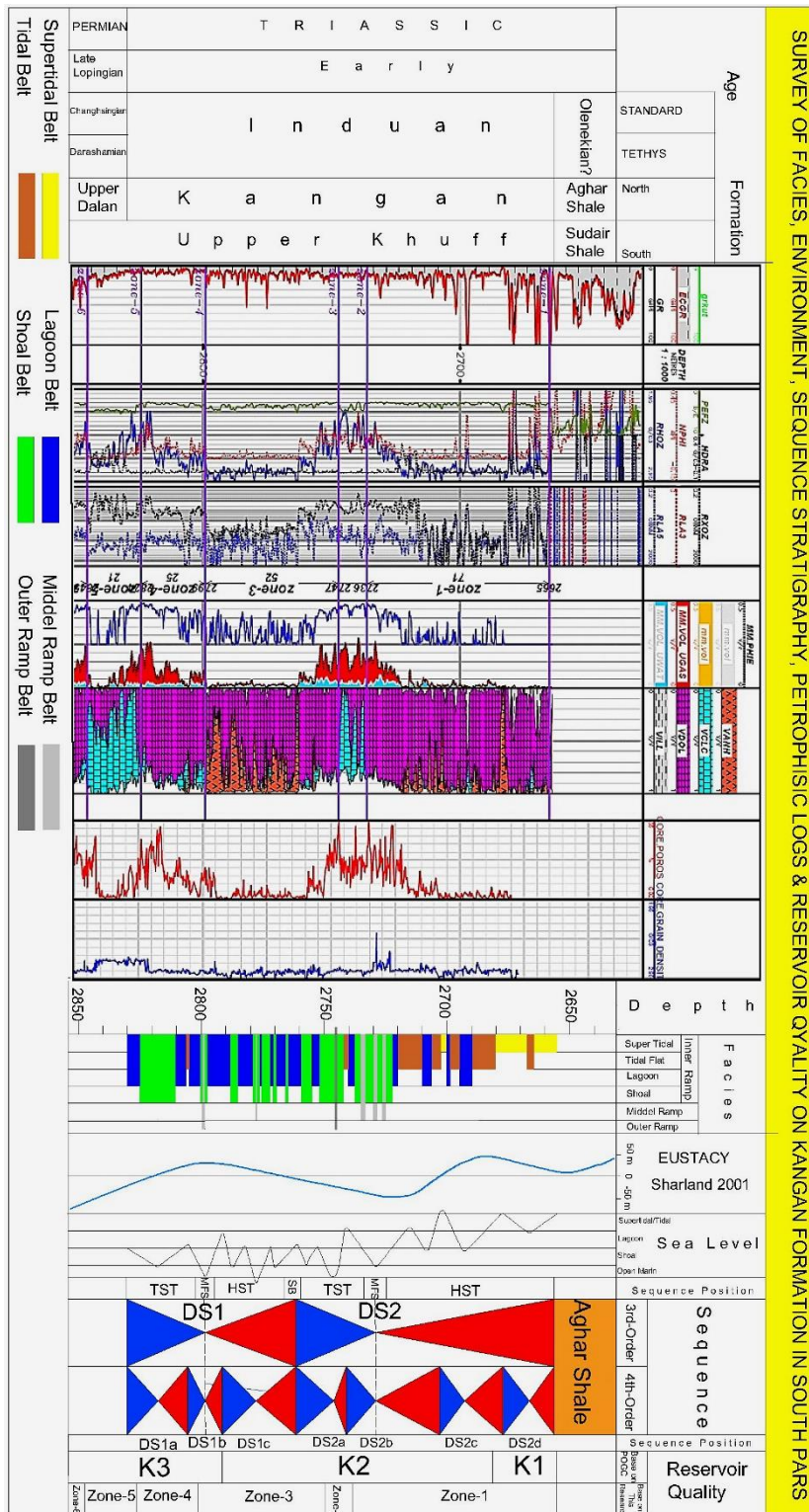
**روند سکانس DS2:** پس از مرز SB بین سکانس‌های DS1 و DS2 با افزایش سطح آب، سکانس وارد مرحلهٔ TST می‌شود و به محیط لاگون و ریزرخساره‌های MF6 تا MF8 می‌رسد، پس از آن سطح آب بالاتر می‌آید و وارد محیط لاگون و ریزرخساره‌های MF9 و MF10 می‌شود. در ادامه با افزایش بیشتر سطح آب، محیط به دریای باز تبدیل می‌شود و سکانس به MFS (بالاترین سطح آب) می‌رسد که با ظهور ریزرخسارهٔ MF12 در محیط دریای باز منطبق است. با گذشت زمان، سطح آب شروع به کاهش آهسته می‌کند و وارد بستهٔ رسوبی HST و محیط رسوبی لاگون و ریزرخساره‌های MF6 تا MF8 می‌شود. کاهش سطح آب ادامه پیدا می‌کند و وارد بستهٔ رسوبی HST می‌شود که منطبق با محیط جزرومدی و ریزرخساره‌های MF3 تا MF5 است. با ادامهٔ کاهش، سطح آب محیط به مرز سکانسی SB، یعنی بخش بالایی DS1

است (شکل ۹).

**DS2d**: مرز سکانشی SB آن منطبق با پایین‌ترین سطح آب و ریزرخساره‌های تبخیری بالای جزرومدی صورت گرفته است. بخش پیش‌رونده TST با افزایش سطح آب محیط از بالای جزرومدی به محیط جزرومدی رسیده است. ماکزیمم سطح آب MFS در این سکانش با پیشرفت آب دریا، محیط وارد بخش عمیق‌تر جزرومدی تا لاگون شده است. بخش پیش‌رونده HST با پایین‌افتادن سطح آب محیط از بخش لاگون، وارد محیط جزرومدی کم‌عمق شده و مرز سکانشی بالای این سکانش به تبخیری‌های توده‌ای بالای جزرومدی و مرز کنگان با عضو آغار شیل سازند دشتک رسیده است (شکل ۹).

در مطالعات پیشین، مخزن کنگان به دو بخش K1 و K2 تقسیم شده است (Bazvand et al. 2017). این تقسیم‌بندی در گزارش‌های داخلی (شرکت نفت و گاز پارس) و برخی مقالات استفاده شده است. در این مطالعه، سازند کنگان به ۴ زون تقسیم شد (شکل ۹). زون ۴: این زون با ضخامت ۲۵ متر دارای لیتولوژی: ۸۰٪-۹۰٪ دولومیت، حدود ۱۰٪ آهک و

کمتر از ۵٪ انیدریت است. این زون در بخش پشته‌سدی ایجاد و در بخش پیش‌رونده سکانش DS1 و در بسته رسوبی TST نهشته و بخش تراوای مخزن محسوب می‌شود. زون ۳: ضخامت این زون ۵۲ متر است و دارای لیتولوژی: ۵۰٪-۶۰٪ دولومیت، ۲۰٪-۳۰٪ انیدریت و آهک و کمتر از ۱۰٪ شیل است. این زون در محیط لاگون و جزرومدی تشکیل و در بخش پیش‌رونده سکانش DS1 و در بسته رسوبی HST نهشته می‌شود. این زون ناتراوا و فاقد کیفیت مخزنی است. زون ۲: ضخامت این زون ۱۱ متر است و دارای لیتولوژی ۶۰٪ آهک و ۴۰٪ دولومیت است. این زون در بخش پشته‌سدی ایجاد و در بخش پیش‌رونده سکانش DS2 و در بسته رسوبی TST نهشته می‌شود، این زون بخش تراوای مخزن و برداشت‌شدنی است. زون ۱: این زون با ضخامت ۷۱ متر دارای لیتولوژی ۷۰٪-۶۰٪ دولومیت، ۲۰٪-۳۰٪ انیدریت و کمتر از ۱۰٪ شیل است. این زون در بخش بالای جزرومدی (سبخا)، جزرومدی و لاگون تشکیل و در بخش پیش‌رونده سکانش DS2 و بسته رسوبی HST نهشته می‌شود. این زون بخش ناتراوا و برداشت‌نشده مخزن است (شکل ۹).



شکل ۹- بررسی رخساره‌ها، محیط، چینه‌نگاری سکansı و لاگ‌های پتروفیزیک و کیفیت مخزنی سازند کنگان در خلیج فارس.

Fig 9- Survey facies, Environment, Sequence Stratigraphy and Petrophysic logs and Kangan formation reservoir Quality in Persion Gulf.

## نتیجه

نتایج حاصل از پتروگرافی و چینه‌نگاری سکانسی سازند کنگان در منطقه مطالعه‌شده به شرح زیر است:

۱- سازند کنگان به سن تریاس پیشین، شامل مجموعه‌ای از توالی‌های کربناته-تبخیری با میان‌لایه‌های نازک شیلی است که در محیط رمپ با شیب ملایم و در آب‌وهوای گرم و خشک (به علت وجود توده‌های بزرگ انیدریت-ژیپس بیشتر در محیط بالای جزرومدی و سبخایی) نهشته شده است.

۲- نهشته‌های سازند کنگان در خلیج فارس در ۵ گروه رخساره‌ای (محیط رسوبی) شامل: ۱- بالای جزرومدی (سبخا و حوضچه‌های کوچک تبخیری)؛ ۲- جزرومدی؛ ۳- لاگون؛ ۴- پشته‌سدی؛ ۵- دریای باز (رمپ میانی و رمپ بیرونی) نهشته شده‌اند.

۳- گروه رخساره‌ای بالای جزرومدی شامل ریزرخساره‌های ۱- انیدریت توده‌ای و انیدریت گلی؛ ۲- دولوستون انیدریتی که نماینده پایین‌ترین سطح آب دریا و منطبق با مرز سکانسی (نوع اول) است. این گروه رخساره‌ای به دلیل اینکه بیشتر تبخیری است، کمترین میزان تخلخل و نقش پوش سنگ و جداکننده زون‌های تراوا و برداشت‌شدنی درون سازند کنگان را دارد.

۴- گروه رخساره‌ای جزرومدی شامل ریزرخساره‌های ۳- دولوستون متبلور؛ ۴- رخساره میکروبیالیتی (استروماتولیت باندستون و ترمبولیتی)؛ ۵- پکستون تا گرینستون پلو اییدی (دانه‌ریز جزرومدی) است. این بخش بیشتر دولومیتی است، اما مقداری رخساره‌های مادستونی (گلی) و انیدریتی نیز در آن دیده می‌شود (بسته به سکانس پیش‌رونده یا پس‌رونده). پدیده دیازنزی غالب در این گروه، رخساره‌ای دولومیتی شدن است که بر اثر مکانیسم دولومیتی شدن نشتی ایجاد می‌شود. در صورت وجودداشتن انیدریت در زون دولومیتی جزرومدی، این فواصل خاصیت مخزنی بالا دارد و می‌توان آنها را از نظر کیفیت، مخزن نوع دوم در سازند کنگان در نظر گرفت.

۵- گروه رخساره‌ای لاگون شامل ریزرخساره‌های ۶-

مادستون تا دولومادستون؛ ۷- مادستون تا وکستون پلوئیدی بایوکلاست‌دار؛ ۸- وکستون تا پکستون پلو اییدی است. لیتولوژی این قسمت دولومیت و انیدریت با میان‌لایه‌های شیلی است. کمر بند لاگون منطبق با مرز سکانسی نوع دوم است و جزء بخش ناتراوای مخزن کنگان محسوب می‌شود.

۶- گروه رخساره‌ای پشته‌سدی شامل ریزرخساره‌های ۹- پکستون تا گرینستون پلو اییدی اینتراکلاست بایوکلاست آنکوئیدی؛ ۱۰- گرینستون اییدی؛ ۱۱- گرینستون ایید اینتراکلاست بایوکلاست‌دار است. لیتولوژی این قسمت شامل دولومیت و آهک با مقدار کمی انیدریت-ژیپس دیازنزی است. از نظر کیفیت مخزنی کمر بند پشته‌سدی بالاترین کیفیت را دارد. دو پارامتر در بهبودی کیفیت مخزنی نقش دارد: ۱- محیط تشکیل که در آن رخساره دانه‌غالب ایید تشکیل می‌یابد؛ ۲- فرایند دیازنزی دولومیتی شدن که موجب افزایش کیفیت مخزنی شده است. کمر بند پشته‌سدی سطح حداکثری غرقابی است و در مراحل پایانی بخش پیش‌رونده سکانسی در مرکز پشته‌سدی تشکیل می‌شود.

۷- رخساره دریای باز (رمپ میانی و رمپ خارجی) که شامل ریزرخساره ۱۲- مادستون شیلی و مادستون تا وکستون بایوکلاست‌دار است. لیتولوژی این بخش آهک فشرده و دولومیت و تخلخل آن بسیار پایین است. این رخساره سطح حداکثری غرقابی شناخته می‌شود. این بخش به دلیل مادستونی بودن فاقد کیفیت مخزنی است. این کمر بند رخساره‌ای ضخامت بسیار کم دارد و به صورت نازک‌لایه تشکیل می‌شود.

۸- مطالعات چینه‌نگاری سکانسی نشان داد سازند کنگان دارای ۲ سکانس رده سوم DS1 و DS2 است. سکانس DS1 شامل ۳ سکانس رده چهار است و عبارتند از: DS1a, DS1b, DS1c. سکانس DS2 شامل ۴ سکانس رده چهارم است و عبارتند از: DS2a, DS2b, DS2c, DS2d. مطالعات نشان داد مرزهای سکانسی در محیط‌های بالای پهنه‌کشندی و بخش مرکزی لاگون تشکیل و بخش پیش‌رونده سکانس‌ها از محیط

## References

- Aali J. Rahimpour-Bonab H. and Kamali M.R. 2006. Geochemistry and origin of the world's largest gas field from Persian Gulf, Iran. *Petroleum Science and Engineering*. 50(3-4): 161-175.
- Abdolmaleki J. Tavakoli V. and Asadi-Eskandar A. 2016. Sedimentological and diagenetic controls on reservoir properties in the Permian-Triassic successions of western Persian Gulf, southern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 141: 90-113.
- Adabi M. Hejazi H. 2013. Depositional facies and geochemistry of the Kangan formation in the South Pars field, Persian Gulf (Iran). *Carbonates Evaporites*. 11pp.
- Aleali M. Rahimpour-Bonab H. Moussavi-Harami R. Jahani D. 2013. Environmental and sequence stratigraphic implications of anhydrite textures: A case from the Lower Triassic of the Central Persian Gulf. *Journal of Asian Earth Sciences*. 75: 110-125.
- Alsharhan A.S. 2006. Sedimentological character and hydrocarbon parameters of the middle Permian to Early Triassic Khuff Formation, United Arab Emirates. *GeoArabia*. 11: 121-158.
- Baharlouei Yancheshmeh S. Ghasemi Nejad E. Rahimpour-Bonab H. and Aghanabati S. 2018. Biostratigraphy, sequence stratigraphy and depositional environment of Dalan and Kangan formations in Lavan Gas Field in Persian Gulf, with emphasis on Permian-Triassic boundary. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*. 27(108): 169-180.
- Bargahi D. 2020. Analysis of Kangan and Dalan Formations Lithology and Reservoirs Properties in southern Iranian gas fields. *SRPH Journal of Fundamental Sciences and Technology*. 2(3): 1-10).
- Bazvand P. and Kadkhodaie A. (2017). Comparison of Reservoir properties and pore network characterization of limestone and dolomite units: A case study from Kangan and Dalan gas reservoirs at South Pars field. *Journal of Petroleum Research* 26(95-5): 104-113.
- Catuneanu O. Galloway W.E. Kendall Ch.G.St.C. Miall A.D. Posamentie H.W. Strasser A. and Tucker M.E. 2011. Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. *Newsletters on Stratigraphy*. 44(3): 173-245.
- Dunham R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *AAPG*. 108-121.
- Emery D. and Myers K J. 1996. *Sequence Stratigraphy*. Oxford, U.K., Blackwell, 297 pp.
- Embry A. F. and Johannessen E. P. 1993. T-R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic-Lower Jurassic succession, western Sverdrup Basin. *Arctic*

بالای پهنه‌کشدی به سمت دریا و مناطق عمیق‌تر مانند لاگون و پشته‌سدی کشیده می‌شوند. در ادامه چرخه و در بالاترین سطح آب، محیط در مرکز پشته‌سدی یا دریای باز قرار گرفته است. شایان ذکر است که بیشترین میزان تخلخل و کیفیت مخزنی در مرکز پشته‌سدی و مخصوصاً در حالتی در محیط مشاهده شد که پدیده دولومیتی شدن را سپری کرده باشد. در ادامه چرخه با شروع پایین‌رفتن آب، محیط از دریای باز و پشته‌سدی به سمت ساحل کشیده می‌شود و مجدداً به مرز سکانسی سیکل بعدی می‌رسد.

۹- بر اساس مطالعات ریزرخساره‌ای، چینه‌نگاری سکانسی و پتروفیزیکی، سازند کنگان دو بخش تراوا و برداشت‌شدنی دارد که هر دو منطبق با گروه رخصاره‌ای پشته‌سدی است و شامل: ۱- زون شماره ۲ با ضخامت ۱۱ متر مربوط به بخش پیش‌رونده TST سکانس DS1 با لیتولوژی آهک ۶۰٪ و دولومیت ۴۰٪ در بخش مرکزی پشته‌سدی و ریزرخساره غالب گرینستون اییدی تشکیل شده است؛ ۲- زون شماره ۴ با ضخامت ۲۵ متر در بخش پیش‌رونده سکانس DS2 با لیتولوژی غالب دولومیتی (بیشتر از ۹۰٪) در بخش شول مرکزی و ریزرخساره گرینستون ایید دولومیتی تشکیل شده است.

## تشکر و قدردانی

این تحقیق بخشی از پروژه مشترک شرکت نفت و گاز پارس، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران و شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی است. به این وسیله از بخش پژوهش و فناوری، اداره زمین‌شناسی و اداره پتروفیزیک و کارشناسان محترم این سه شرکت برای در اختیار قرار دادن اطلاعات و مشاوره، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از ریاست محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات جنوب ایران و کارشناسان محترم این سازمان به علت همکاری در انجام این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.



- Dolomitization and its relationship with sedimentary facies and reservoir quality of the upper Dalan and Kangan formations in southeast district of the Persian Gulf. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*. 27(106): 231-242.
- Kakemem U. Jafarian A. Husinec A. Adabi M. H. and Mahmoudi A. 2021. Facies, sequence framework, and reservoir quality along a Triassic carbonate ramp: Kangan Formation, South Pars Field, Persian Gulf Superbasin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 198: 108-166.
- Kashfi M. 2000. Greater Persian Gulf Permian-Triassic. *Oil and Gas Journal*. 98(45): 36-43.
- Kendall C.G. St C. and Skipwith P.A. D'E. 1969. Holocene shallow water carbonate and evaporate sediments of the Khor al Bassam, Abu Dhabi, SW Persian Gulf. *AAPG Bulletin*. 53: 841-869.
- Kershaw S. Crasquin S. Li Y. Collin P.Y. Forel M.B. Mu X. Baud A. Wang Y. Xie S. Maurer F. and Guo L. 2012. Microbialites and global environmental change around the Permian-Triassic boundary: a synthesis. *Geobiology*. 10: 25-47.
- Mancini E. A. and Tew B. H. 2004. Recognition of maximum flooding events in mixed siliciclastic carbonate system: key to global chronostratigraphic correlation. *Geology*. 25: 351-354
- Maurer F. Martin R. Rettori R. Hillgarther H. and Cirilli S. 2009. The geology of khuff outcrop analogues in the Musandam Peninsula, United Arab Emirates and Oman. *GeoArabia*. 14: 125-158.
- Mehrabi H. Mansouri M. Rahimpour-Bonab H. Tavakoli V. and Hassanzadeh M. 2016. Chemical compaction features as potential barriers in the Permian-Triassic reservoirs of Southern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 145: 95-113.
- Rahimpour-Bonab H. Esrafil-Dizaji B. and Tavakoli V. 2009. Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars Gas Field, Offshore Iran: controls on reservoir quality. *J. Pet. Geol.* 33: 43-66.
- Sabouhi M. and Rezaee P. 2019. Investigation of hydraulic flow units of carbonate shoal reservoir facies of Kangan formation (Early Triassic) and its relationship with depositional environment and diagenesis. *Applied Sedimentology*. 7(13): 167-183.
- Shakeri N. Rahimpour-Bonab H. Tavakoli V. and Haji Kazemi E. 2021. Combined effects of depositional and diagenetic processes on the distribution of rock types in the Lucia petrophysical classification system: A case study of the Dalan and Kangan formations. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*. 37(2): 1-20.
- Sharland P.R. Archer R. Casey D.M. Davies R.B. Hall S.H. Heyward A.P. Horbury A.D. and Simmons Canada. In: Vorren T. O. Berg - sager E. Dahl-Stamnes O. A. Holter E. Johansen B. Lie E. Lund T. B. (Eds.) *Arctic Geology and Petroleum Potential*, 2 (Special Publication). Norwegian Petroleum Society (NPF). 2:121-146.
- Enayati-Bidgoli A. and Rahimpour-Bonab H. 2016. A geological based reservoir zonation scheme in a sequence stratigraphic framework: A case study from the Permo-Triassic gas reservoirs, Offshore Iran. *Marine and Petroleum Geology*. 73: 36-58.
- Esrafil-Dizaji B. and Rahimpour-Bonab H. 2009. Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf. *Petroleum Geoscience*. 15(4): 325-344.
- Esrafil-Dizaji B. and Rahimpour-Bonab H. 2013. A review of permo triassic reservoir rocks in the zagros area, sw iran: influence of the Qatar fars arch. *Journal of Petroleum Geology*, 36(3): 257-279.
- Falahatkah O. Kadkhodai A. Ciabeghods A A. and Li M. 2021. Cyclostratigraphy of the Lower Triassic Kangan Formation in the Salman gas field, eastern Persian Gulf, Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 561: 110045
- Flugel E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks: analysis, interpretation and application*. Springer Berlin Heidelberg New York 976 pp.
- Folk R. L. 1965. Some aspects of recrystallization in ancient limestones. In: L. C. Pray and R. S. Murray (Eds.), *Dolomitization and Limestone Diagenesis: Tulsa, OK, SEPM Special Publication*. 13: 14-48.
- Handford R. and Loucks R. G. 1993. Carbonate depositional sequences and systems tracts: responses of carbonate platforms to relative sea-level change. In: Loucks, R. G. Sarg, R.(Eds.), *Carbonate sequence stratigraphy: recent advances and applications: American Association of Petroleum Geologists Memoir*. 57: 3-41.
- Hossein Yar G. and Rahimpour Bonab H. 2011. Factors controlling the reservoir characteristics of Ooid and Madstone facies of Kangan Formation in South Pars. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*. 27: 1-16.
- Hunt D. and Tucker M.E. 1992. Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract. Deposition during base-level. *Sedimentary Geology*. 18: 1-9.
- Insalaco E. Virgone A. Courme B. Gaillot J. Kamali M. Moallemi A. Lotfpour M. and Monibi S. 2006. Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. *GeoArabia*. 11(2): 75-176.
- Kadkhodaie-Ilkhchi R. Nouri B. and Jodeyri R. 2018.

- M.D. 2001. Arabian Plate sequence stratigraphy. Gulf PetroLink, Bahrain, Special Publication 2, 371 p.
- Szabo F. and Kheradpir A. 1978. Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, southwest Iran. *Journal of Petroleum Geology*. 1(2): 57-82.
- Tavakoli, V. 2016. The Effect of Post Extinction Facies on Reservoir Compartmentalization of Kangan and Dalan formations in Central Persian Gulf. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*. 32(3): 1-20.
- Tavakoli V. and Jamalian A. 2018. Microporosity evolution in Iranian reservoirs, Dalan and Dariyan formations, the central Persian Gulf. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 52: 155-165.
- Tavakoli V. and Jamalian A. 2019. Porosity evolution in dolomitized Permian–Triassic strata of the Persian Gulf, insights into the porosity origin of dolomite reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 181: 106-191.
- Tavakoli V. Rahimpour-Bonab H. and Esrafil-Dizaji B. 2011. Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach. *Geoscience*. 343(1): 55-71.
- Tucker M E. Calvet F. Hunt D. Posamentier H W. Summerhayes C P. Haq B U. and Allen GP. 1993. Sequence stratigraphy of carbonate ramps: systems tracts, models and application to the Muschelkalk carbonate platforms of eastern Spain. In *Sequence Stratigraphy and Facies Associations*, 18: 397-415.
- Wardlaw B.R. V.I. Davydov and F.M. Gradstein 2004. The Permian Period. In: F. Gradstein, J. Ogg and A. Smith (Eds.), *A Geologic Time Scale*, Cambridge University Press, p. 249-270.
- Warren J.K. 2006. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*. Springer Verlag, Brunei, p. 1035.
- Wilson B.R. 1975. *Carbonate Facies in Geological History*. Springer, Berlin, 471p.
- Yarmohammadi S. Wood D.A. and Kadkhodaie A. 2020. Reservoir microfacies analysis exploiting microscopic image processing and classification algorithms applied to carbonate and sandstone reservoirs. *Marine and Petroleum Geology*. 121: 104609.
- Ziegler M.A. 2001. Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia*. 6(3): 445-504.