



<http://ui.ac.ir/en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan  
E-ISSN: 2423-8007  
Document Type: Research Paper  
Vol. 35, Issue 4, No. 77, Winter 2020, pp. 129-148  
Received: 14.10.2019 Accepted: 23.12.2019

## Reservoir quality evaluation of the Late Jurassic Manifa carbonate sequence in one of oilfield in the Persian Gulf

**Ali Asaadi**

*Ph.D. in Petroleum Geology, Tehran Energy Consultants (TEC), Tehran, Iran  
a.asaadi@tehranenergy.com*

**Mehdi Sarfi\***

*Assistant Professor, Department of Geology, University of Damghan, Damghan, Iran  
m.sarfi@du.ac.ir*

**Ali Imandoust**

*MSc. in paleontology, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran  
imandousta@yahoo.com*

### Abstract

The late Tithonian Manifa carbonate is one of the important oil producing intervals in some oil fields of the Northwestern Persian Gulf. The combination of geological and petrophysical data in three key wells in one of oilfield, enabled us to clarify the effects of depositional facies and diagenesis on reservoir quality in a sequence stratigraphic framework. Nine microfacies were recognized that deposited in three facies belts: tidal flat, lagoon and leeward shoal in a homoclinal carbonate ramp. The carbonate interval of the Manifa has been subjected to a variety of diagenetic processes, including micritization, bioturbation, recrystallization, dissolution, cementation, dolomitization, dedolomitization and compaction in three realm of marine, meteoric and burial diagenesis. From the identification of sequence boundaries and maximum flooding surfaces, one third-order sequence was recognized and interpreted. The sequence boundaries are important local and regional disconformity surfaces. Investigation of reservoir quality of different facies demonstrates that diagenetic features have considerable effects on the reservoir characteristics and regulated pore system characteristics. After deposition of the shallow marine Manifa carbonate was drastically subjected to the fresh-water diagenesis in the meteoric realm. The main important meteoric diagenesis alterations including karstification, dissolution, cementation and recrystallization are mainly concentrated below disconformity surfaces of the Manifa carbonate. The poroperm properties are very good related to dissolution phenomena creating interconnected pore space. Vuggy and solution enlarged interparticle porosities are the two dominant interconnected pore types within the reservoir. Considering the reservoir significance of the Manifa carbonate in the northwest Persian Gulf, the conclusion drawn from this investigation can be utilized for a better reservoir characterization.

**Keywords:** Manifa, Persian Gulf, Facies, Diagenesis, Sequence Stratigraphy, Reservoir Quality

### Introduction

Reservoir quality of carbonate reservoirs is controlled by many interrelated factors such as depositional facies, diagenetic processes and tectonic setting (Lucia 2007; Ahr 2008; Moore & Wade 2013). In fact, by controlling the pore system properties, these parameters affect the fluid flow and saturation within the reservoirs (Ahr 2008). Although, the original sedimentary properties substantially control the reservoir quality, but diagenesis may exert considerable influence on pore characteristics (Lucia 2007; Ahr 2008; Moore & Wade 2013). The reservoir quality may be enhanced or deteriorated depending on the type of dominant diagenetic processes (Ahr 2008). The Late Tithonian sequences of the Manifa carbonate is notable carbonate reservoir in some part of the Arabian Platform. Despite of this importance, a little is known about various geological and petrophysical characteristics in Iranian northwestern part of the Persian

Gulf. This study is the first report of sedimentological and reservoir geological aspects of this carbonate sequences in subsurface sections of the northwestern Persian Gulf. In this study, by using a complete dataset of drilled cores, thin sections, petrophysical well log and porosity-permeability data, interpretation of reservoir quality evaluation has been carried out on the Manifa carbonate. The aims of this study are to investigate the facies characteristics, depositional environments, diagenetic alterations and evaluate pore system and reservoir properties in relation to the disconformity surface of the Manifa Formation in the northwestern part of the Persian Gulf

### Material & Methods

A continuous, 52-m-thick core through the Manifa Formation was logged in one of oilfield in the northwestern Persian Gulf. To differentiate the calcite from dolomite, all thin

\*Corresponding author

Copyright©2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

sections were stained with Alizarin Red-S (Dickson 1966). Also, in order to determine pores types and their properties, epoxy resin was injected to the samples (130 thin section), and all samples were scanned by a high-resolution (Up to 10000 DPI) scanner (CREO-IQSMART3) at the Petroleum Industry of Research Institute. Petrographic studies were carried out to identify different types of depositional facies, and based on the allochems type and their frequency, different sub-environments were distinguished. Also, the important diagenetic processes affecting the pores system were identified. Based on the combination of the results of facies/diagenesis studies the framework of sequence stratigraphy was introduced and one third-order sequences interpreted. Due to the interpreted distribution of depositional and diagenetic characteristics, petrophysical well logs were used for their correlation between the three studied wells in the studied field.

### **Discussion of Results & Conclusion**

The core description and petrographic studies resulted in the identification of nine microfacies. These microfacies were attributed to three facies belts including tidal flat, lagoon, and leeward shoal. The carbonate ramp model proposed for the Manifa Formation is comparable with the model and facies distribution presented for this interval in the neighboring area. The Manifa carbonate has been subjected to a variety of diagenetic processes including micritization, bioturbation, recrystallization, compaction, cementation, dissolution, dolomitization, dedolomitization and fracturing. Dissolution, cementation, dolomitization, compaction, along with fracturing have had the greatest impact on the pore system

and reservoir properties of the Manifa carbonate. In order to establish a sequence stratigraphic framework and specify the sequence boundaries and maximum flooding surfaces for the studied formation, the results from depositional and diagenetic studies were integrated. Hence, sequence stratigraphic analysis of the studied interval has resulted in the recognition of one third-order depositional sequences with aggradational-progradational stacking pattern. At the Late Tithonian, a eustatic sea-level fall caused platform emersion and subaerial exposure at top of the Manifa carbonate. This sequences are bounded with two local and regional disconformities. From reservoir quality point of view, intense meteoric dissolution of grain-to mud-dominated facies exert a main improving effect and development of intervals with high porosity and permeability. Core poroperm data interpretation clearly demonstrate that most grain- and mud-dominated facies related to different sub-environments have a good reservoir quality due to the high impact of dissolution related to meteoric diagenesis. With respect to the effect of diagenesis on the reservoir properties, the defined diagenetic facies display a distinct trend on poroperm distribution. Porosity-permeability distribution indicating the high heterogeneity is strongly related to the effects of both depositional and diagenetic characteristics. Vuggy and solution interparticle pore spaces are two dominant pore types and show high pore connectivity.

Thus, an integrated sedimentological and petrophysical reservoir evaluation of the Manifa carbonate in one of oilfield in the northwestern Persian Gulf indicate that diagenetic alterations had main role in pore system characteristics and reservoir evolution.

## بررسی کیفیت مخزنی توالی کربناته منیفا با سن ژوراسیک پسین در یکی از میادین نفتی خلیج

### فارس

علی اسعدی، دکترای زمین‌شناسی نفت، شرکت مشاوران انرژی تهران، ایران

a.asaadi@tehranenergy.com

مهدی صرفی\*، استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

m.sarfi@du.ac.ir

علی ایمن دوست، کارشناس ارشد چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، پژوهشکده علوم زمین، پژوهشگاه صنعت نفت،

تهران، ایران

imandousta@yahoo.com

### چکیده

کربنات‌های منیفا یکی از مخازن مهم تولید نفت در برخی از میادین نفتی شمال غربی خلیج فارس محسوب می‌شوند. تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی و پتروفیزیکی در سه چاه کلیدی یکی از میادین این ناحیه، امکان بررسی تأثیر رخساره‌ها و دیاژنز را بر کیفیت مخزنی در چارچوب چینه‌شناسی سکانسی فراهم کرد. ۹ ریزرخساره در سه زیرمحیط پهنه جزرومدی، لاگون و بخش رو به خشکی شول شناسایی و در ارتباط با بخش‌های داخلی پلت‌فرم رمپ کربناته تفسیر شدند. فرایندهای دیاژنزی مختلفی شامل میکرایتی شدن، زیست‌آشفستگی، تبلور مجدد، انحلال، سیمانی شدن، دولومیتی شدن، دولومیتی زدایی و تراکم در سه محیط دیاژنزی دریایی، متئوریک و تدفینی بخش منیفا را تحت تأثیر قرار داده‌اند. بر اساس شناسایی سطح بیشترین غرقابی و مرزهای سکانسی، یک سکانس رده سوم شناسایی و تفسیر شد. مرزهای سکانسی بر سطح ناپیوستگی محلی و ناحیه‌ای منطبقند. بررسی کیفیت مخزنی رخساره‌های مخزنی نشان می‌دهد فرایندهای دیاژنزی تأثیر درخور توجهی بر ویژگی‌های مخزنی و سیستم منافذ داشته‌اند. پس از نهشته شدن، کربنات‌های کم عمق منیفا به شکل گسترده تحت تأثیر دیاژنز متئوریک قرار گرفته‌اند. تحت تأثیر ناپیوستگی واقع در رأس این توالی، فرایندهای مرتبط با دیاژنز متئوریک به شدت ویژگی‌های مخزنی را تحت تأثیر قرار داده‌اند. انحلال گسترده سبب ایجاد تخلخل‌های به هم مرتبط شده است؛ بر اساس این، تخلخل‌های حفره‌ای و بین‌دانه‌ای انحلالی فراوان‌ترین منافذ مشاهده شده‌اند. با توجه به اهمیت مخزنی کربنات‌های منیفا در بخش شمال غربی خلیج فارس، نتایج مطالعه حاضر به منظور شناخت بهتر ویژگی‌های مخزنی استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: منیفا، خلیج فارس، رخساره، دیاژنز، چینه‌نگاری سکانسی، کیفیت مخزنی

\* نویسنده مسئول: ۰۲۳۳۵۲۲۰۰۹۱

## مقدمه

یکی از مهم‌ترین اهداف مدنظر در مطالعه‌های جامع زمین‌شناسی مخزن، شناسایی شاخص‌های کنترل‌کننده کیفیت مخزنی و تعیین واحدهای جریان‌ی است (Lucia 2007; Ahr 2008). کیفیت مخزنی را سه شاخص مرتبط به هم شامل رخساره‌های رسوبی، فرایندهای دیاژنزی و تحولات تکنونیک تشکیل می‌دهند (Moore and Wade 2013). سیستم منافذ در مخازن کربناته برخلاف ماسه‌سنگ‌ها به علت ناهمگنی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی از نظر نوع و هندسه منافذ متنوع و پیچیده است (Hollis et al. 2010; Skalinski and Kenter 2015). در این مخازن، ارتباط تخلخل- تراوایی به‌طور غیرخطی است و تعیین واحدهای جریان‌ی و انطباق زون‌های مخزنی به علت این ناهمگنی‌ها پیچیده و دشوار است. اگرچه بافت و رخساره‌های رسوبی به‌طور اولیه سیستم منافذ و ویژگی‌های مخزنی را کنترل می‌کنند، فرایندهای دیاژنزی به علت حساسیت زیاد کربنات‌ها تأثیر در خورتوجهی را بر ویژگی‌های مخزنی اعمال می‌کنند (Moore and Wade 2013).

چینه‌نگاری سکانشی بر الگوی برانبارش رسوبات در فضا و چارچوب زمان که در اثر برهم‌کنش<sup>۱</sup> شاخص‌های فضای رسوب‌گذاری<sup>۲</sup> و تأمین رسوب<sup>۳</sup> شکل می‌گیرد، متمرکز است (Catuneanu et al. 2006, 2012). به‌منظور شناسایی سطوح کلیدی سکانشی از تلفیق نتایج مطالعه‌های دقیق رخساره‌ای و دیاژنزی استفاده می‌شود (Tucker 1993; Taghavi et al. 2006). به عبارتی، الگوی توزیع رخساره‌ها و روند فرایندهای دیاژنزی مرتبط با رخساره از طریق اعمال این چارچوب بررسی می‌شود (Mazullo 1994). مطالعه مخزن در چارچوب چینه‌نگاری سکانشی به شناسایی، توصیف و بررسی توزیع زون‌های مخزنی منجر می‌شود (Catuneanu 2006; Taghavi et al. 2006). در مخازن کربناته، شناسایی سطوح ناپیوستگی یکی از مراحل مهم تفسیر و انطباق ویژگی‌های مخزنی است؛

حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد مخازن کربناته زیر سطوح ناپیوستگی‌ها قرار دارند (Mazullo and Chilingarian 1996). انحلال‌های مرتبط با دیاژنزی متئوریک تأثیر عمده‌ای در افزایش تخلخل- تراوایی زیر سطوح ناپیوستگی دارند (Razin et al. 2010; van Buchem et al. 2011). یکی از شاخص‌های مهم در تأثیر ناپیوستگی بر ویژگی‌های مخزنی توالی‌های زیر این سطوح کلیدی، دوره رخنمون است؛ ناپیوستگی‌های با رخنمون کوتاه مدت عموماً کیفیت مخزنی را به‌علت ایجاد تخلخل و تشکیل کارست‌ها افزایش می‌دهند (Rahimpour-Bonab et al. 2013).

کربنات‌های منیفا با سن ژوراسیک بالایی و رخساره‌های عمدتاً استروماتولیتی در روند شرقی- غربی از شرق عربستان تا بخش شمال‌غربی خلیج فارس توسعه دارند (Sharland et al. 2008, Hughes & Nassir 2001). این توالی کربناته بر اساس جایگاه چینه‌شناسی دارای سن تیتونین پسین است. باوجود اهمیت این مخزن کربناته از نظر تولید نفت در بخش شمال‌غربی خلیج فارس، تاکنون مطالعه‌ای در بخش ایرانی خلیج فارس درباره ویژگی‌های رخساره‌ای- دیاژنزی و کیفیت مخزنی این کربنات‌ها انجام نشده است. با توجه به مطالعه‌های گذشته (Sharland et al. 2001; Hughes & Nassir 2008)، بررسی کیفیت مخزنی بخش منیفا بر اساس تلفیق نتایج مطالعه‌های رخساره‌ای، دیاژنزی و سیستم منافذ در چارچوب چینه‌شناسی سکانشی در یکی از مهم‌ترین مخازن نفتی شمال‌غربی خلیج فارس هدف مطالعه حاضر است.

## زمین‌شناسی منطقه و چینه‌شناسی

خاورمیانه حدود ۶۵ درصد نفت و ۳۵ درصد گاز در جای دنیا را در خود جای داده است (Sharland et al. 2001) و بخش شمال‌شرقی صفحه عربی حجم عظیمی از هیدروکربن را در حوضه‌هایی از جمله خلیج فارس، زاگرس ایران و بین‌النهرین عراق شامل می‌شود. خلیج فارس یکی از مهم‌ترین حوضه‌های هیدروکربنی دنیاست (Konyuhov and Maleki

<sup>1</sup> Interaction

<sup>2</sup> Accommodation space

<sup>3</sup> Sediment supply

(Sharland et al. 2001; Ziegler 2001). در بیشتر بخش‌های صفحه عربی طی ژوراسیک بالایی، سازند هیث<sup>۶</sup> و معادل آن گوتنیا<sup>۷</sup>، جوان‌ترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای ژوراسیک هستند (Sharland et al. 2001, Hughes & Nassir 2008). به عبارتی، مرز دو سکانس بزرگ‌مقیاس AP7 و AP8 بر ناپیوستگی رأس سازند هیث منطبق است و زمان تیتونین پسین با عنوان نبود رسوب‌گذاری و خروج از آب در بیشتر نواحی صفحه عربی در نظر گرفته می‌شود (Sharland et al. 2001) و به عبارتی پس از خروج از آب طی تیتونین، آغاز رسوب‌گذاری کربنات‌های کرتاسه (آشکوب بریازین) بر نهشت کربنات‌های سازند فهلیان و معادل‌های آن در صفحه عربی منطبق است؛ با وجود این، در برخی از نواحی از جمله محدوده شرق عربستان تا بخش‌هایی از شمال‌غربی خلیج فارس، آغاز رسوب‌گذاری کربنات‌ها زودتر از کرتاسه آغازین و طی تیتونین پسین بوده است (Sharland et al. 2001). به عبارتی در این نواحی، مدت زمان خروج از آب تیتونین کمتر بوده است. بر اساس مطالعه‌های ناحیه‌ای (Sharland et al. 2001)، بخش منیفا از نظر زمانی می‌تواند معادل با بخشی از سازندهای اسب<sup>۸</sup>، نایفا<sup>۹</sup>، چیاگارا<sup>۱۰</sup>، ماکول<sup>۱۱</sup> و سولایی<sup>۱۲</sup> در نظر گرفته شود که از این سازندهای کربناته و آهک آرژیلیتی با عنوان جوان‌ترین توالی‌های ژوراسیک صفحه عربی یاد می‌شود. کربنات‌های یادشده تغییر شرایط محیطی از شرایط رسوب‌گذاری هایپرسالین (تبخیری هیث و گوتنیا) به کربنات‌های با شوری طبیعی (کربنات‌های منیفا) را نشان می‌دهند. در میدان مطالعه‌شده، کربنات‌های منیفا حدود ۵۰ تا ۶۰ متر ضخامت دارند و در مرز زیرین و بالایی به ترتیب با سازندهای هیث و فهلیان محدود می‌شوند (شکل ۱، b)؛ هر دو مرز زیرین و بالایی به شکل ناپیوسته‌اند. مرز زیرین منیفا با

(Farzadi 2006; 2006) که با خطواره‌های عمده به فروافتادگی<sup>۱</sup> و بلندی‌هایی<sup>۲</sup> تقسیم شده است. خلیج فارس بخش شمال‌شرقی صفحه عربی است و از نظر ساختاری، بخش پیش‌بوم<sup>۳</sup> کمربند زاگرس چین‌خورده-گسل‌خورده در نظر گرفته می‌شود (Perotti et al. 2011, 2016). این حوضه گوه‌ای شکل با توالی ضخیم رسوبات از پروتروزوئیک پسین تا هولوسن مشخص می‌شود (Edgell 1996; Alsharhan and Nairn 1997; Sharland et al. 2001; Ziegler 2001). بلندای ساختاری قطر-فارس با روند شمال‌شرق-جنوب‌غرب از زمان پرکامبرین، خلیج فارس را به بخش شمال‌غربی و جنوب‌شرقی تقسیم می‌کند (Alsharhan and Nairn 1997). در بخش غربی (نواحی واقع در غرب بلندای قطر-فارس)، گسل‌های عمیق پی‌سنگی عامل مهم شکل‌گیری ساختمان‌ها و هندسه پلت‌فرم‌های کربناته محسوب می‌شوند. در این نواحی، دو بلندای ساختاری مهم هندیجان-بهرگانسر<sup>۴</sup> و خارک-میش<sup>۵</sup> سبب شکل‌گیری بلندی‌ها و فروافتادگی‌هایی شده‌اند. ضخامت سازندها، نوع رخساره‌ها و ویژگی‌های مخزنی واقع روی هرکدام از این بلندی‌ها و فروافتادگی‌ها متفاوتند. میدان مطالعه‌شده در بخش شمال‌غربی خلیج فارس قرار دارد و سازند فهلیان و کربنات‌های استروماتولیتی منیفا، افق‌های مهم تولید نفت هستند (شکل ۱، a). ساختمان این میدان، تاقیس کشیده‌ای با شیب به سمت شمال-شمال‌غرب است و گسل‌های پی‌سنگی قدیمی و کوه‌زایی زاگرس در شکل‌گیری آن نقش داشته‌اند (Chehrizi et al. 2011).

عموماً توالی ژوراسیک بالایی در بخش داخلی صفحه عربی و خلیج فارس با غالب‌بودن تبخیری‌ها و توسعه رخساره‌های هایپرسالین عرب و هیث (گوتنیا) مشخص می‌شود؛ این توزیع رخساره‌ای نشان‌دهنده آب‌وهوای گرم و خشک و عرض‌های جغرافیایی ۱۰ تا ۱۵ درجه است

<sup>6</sup> Hith

<sup>7</sup> Gotnia

<sup>8</sup> Asab

<sup>9</sup> Naifa

<sup>10</sup> Chia Gara

<sup>11</sup> Makhul

<sup>12</sup> Sulaiy

<sup>1</sup> Trough

<sup>2</sup> High

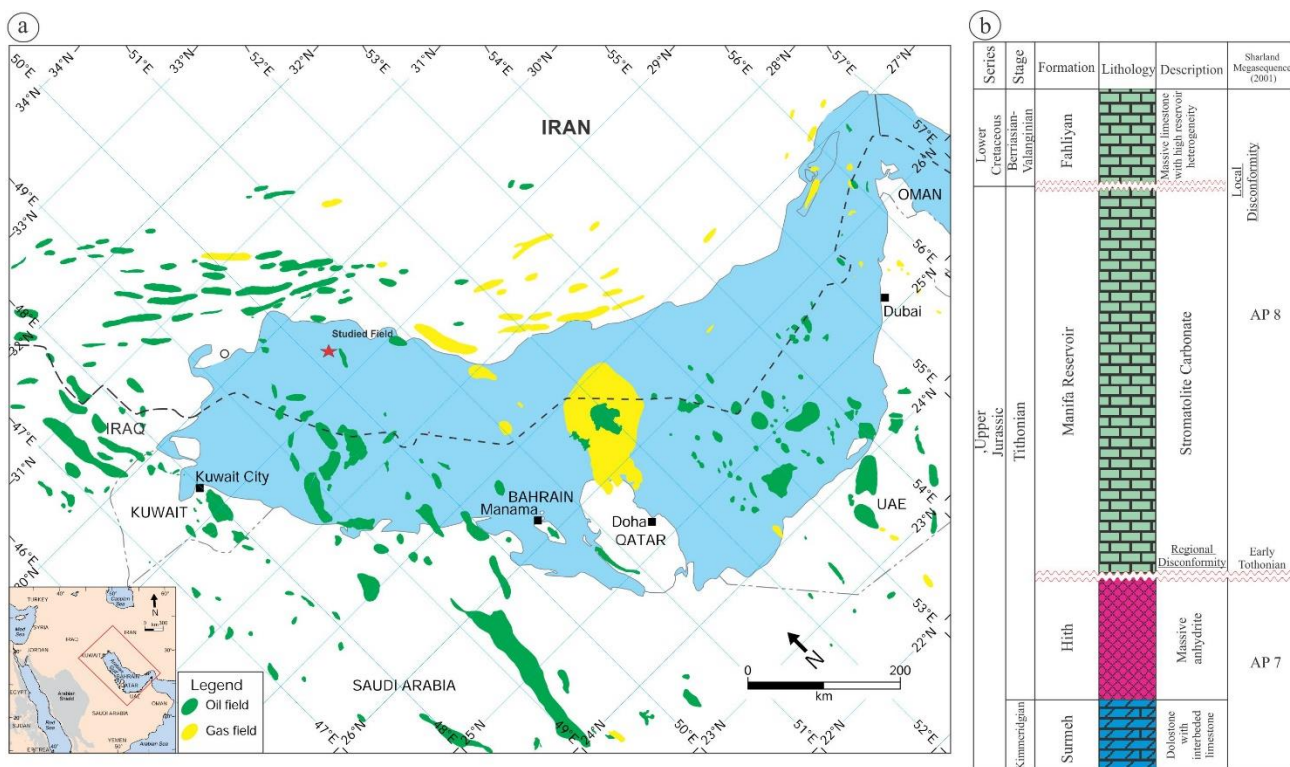
<sup>3</sup> Foredeep basin

<sup>4</sup> Hendijan-Bahregansar

<sup>5</sup> Kharg-Mish

می‌شود (Sharland et al. 2001; Ziegler 2001). در میدان مطالعه‌شده، در مرز بالایی با کربنات فلهیان که مغزه‌ها نیز در دسترسند، شواهدی از کارستی‌شدن و برشی‌شدن گسترده مشاهده می‌شوند.

سازند هیث بر ناپوستگی ناحیه‌ای تیتونین منطبق و تفکیک‌کننده دو سکانس بزرگ‌مقیاس AP7 و AP8 است. باتوجه به وجود داشتن اطلاعات مستقیم و تنها بر اساس مطالعه‌های ناحیه‌ای گذشته، این سطح ناپوسته در نظر گرفته



شکل ۱- a. موقعیت میدان مطالعه شده در بخش شمال‌غربی خلیج فارس (برگرفته با تغییرات از Al-Husseini 2007). b. مرز بالایی و پایینی کربنات‌های منیفا به ترتیب به ناپوستگی‌های با ماهیت محلی و ناحیه‌ای محدود می‌شود.

رنگ‌آمیزی شدند. تمام مقاطع نازک برای درک بهتر ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی اسکن شدند و دستگاه اسکنر<sup>۲</sup> در پژوهشگاه صنعت نفت برای اسکن مقاطع نازک میکروسکوپی استفاده شد؛ این دستگاه، اسکنر قدرتمندی است که برای تهیه تصاویر با قدرت تفکیک زیاد (تا 10000 DPI) استفاده می‌شود. به منظور ارزیابی بهتر سیستم منافذ و تفکیک تخلخل و انواع آن، چسب اپوکسی آبی‌رنگ<sup>۳</sup> به ۶۰ مقطع نازک تزریق شد. باتوجه به فراهم‌بودن ۲۵ نمونه

### داده‌ها و روش مطالعه

به‌منظور بررسی ویژگی‌های مخزنی کربنات‌های منیفا در یکی از میداین شمال‌غربی خلیج فارس، تلفیق نتایج توصیف ۵۰ متر مغزه، پتروگرافی ۱۳۰ مقطع نازک میکروسکوپی، ۲۵۰ پلاگ تخلخل- تراوایی مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی مرسوم در سه چاه کلیدی (A, B, C) استفاده شدند. به‌منظور تعیین کانی‌شناسی (تفکیک کلسیت از دولومیت)، تمام نمونه‌ها با محلول آلیزارین قرمز<sup>۱</sup> به روش دیکسون (Dickson 1966)

<sup>2</sup> CREO-IQSMART3

<sup>3</sup> Blue-Dyed Epoxy

<sup>1</sup> Alizarin red S

درنهایت، انطباق زون‌های مخزنی از طریق نمودارهای پتروفیزیکی انجام شد.

### رخساره‌ها و محیط رسوبی

تلفیق نتایج مطالعه‌های پتروگرافی مقاطع نازک و توصیف مغزه‌ها برای شناسایی رخساره‌ها و تفسیر محیط رسوبی استفاده شد و رخساره‌های رسوبی بر اساس بافت رسوبی، اجزای اسکلتی و غیراسکلتی غالب، ساخت رسوبی، سنگ‌شناسی و رخساره‌های همراه تفکیک شدند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر و مقایسه با مدل‌های استاندارد (Wilson 1975; Flugel 2010)، ۹ ریزرخساره در ارتباط با سه زیرمحیط پهنه جزرومدی<sup>۶</sup>، لاگون<sup>۷</sup> و شول رو به خشکی<sup>۸</sup> در کربنات‌های استروماتولیتی منیفا شناسایی شدند. رخساره‌های یادشده به منظور درک بهتر ویژگی‌های اصلی هر کدام از آنها به طور خلاصه در جدول ۱ معرفی شده‌اند. تصاویر مقاطع نازک و اسکن آنها همراه با برخی برش‌های مغزه از ریزرخساره‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده‌اند.

۶ ریزرخساره در ارتباط با زیرمحیط پهنه جزرومدی شناسایی شد. انحلال گسترده و تخلخل‌های حفره‌ای و شبکه‌ای، لامینه‌های جلبکی، توسعه استروماتولیت و ترومبولیت و فابریک‌های چشم‌پرنده‌ای نشان می‌دهد این ریزرخساره‌ها در پهنه جزرومدی نهشته شده‌اند. توسعه سدهای ساحلی<sup>۹</sup> زیر محیط پهنه جزرومدی از طریق فراوانی اوئیدها، آنکوئیدها و پلوئیدها در رخساره‌های دانه‌غالب گرینستونی شناسایی می‌شود (Flügel 2010) و تنوع کم مجموعه‌های فسیلی که عمدتاً به استراکودها و فیلامنت‌های جلبکی محدود می‌شود، نشان می‌دهد شوری و تنش محیط زیاد بوده است. استروماتولیت‌ها همراه با اجزای غیراسکلتی از جمله اوئیدها، پلوئیدها و آنکوئیدها، فراوان‌ترین اجزای سازنده ریزرخساره‌های مرتبط با زیرمحیط پهنه جزرومدی‌اند.

نمودار فشار موئینه<sup>۱</sup>، از آنها برای بررسی سیستم و هندسه گلوگاه‌های تخلخل استفاده شد. در شناسایی ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی از تلفیق مطالعه‌های پتروگرافی مقاطع نازک و توصیف مغزه‌ها استفاده شد. در پتروگرافی مقاطع نازک میکروسکوپی، کانی‌شناسی، بافت، اندازه دانه‌ها، جورشدگی، اجزای تشکیل‌دهنده (اسکلتی و غیراسکلتی) و محتوای فسیلی در هر نمونه به طور کمی شناسایی و توصیف شد. به منظور توصیف رخساره‌ها از روش دانهام (Dunham 1962) با تغییراتی برای شناسایی بافت رسوبی استفاده شد؛ درنهایت، مدل‌های استاندارد رخساره‌ای برای تجزیه و تحلیل رخساره‌ها و نام‌گذاری استفاده شدند (Wilson 1975; Flugel 2010). به منظور بازسازی سکانس دیاژنزی و شناسایی زیرمحیط‌های مختلف دیاژنزی، از توصیف مغزه‌ها و پتروگرافی مقاطع نازک استفاده شد. سیستم منافذ که شاخص مهمی در شناسایی زون‌های مخزنی و تولید هیدروکربن است، شناسایی و بر اساس تقسیم‌بندی پتروفیزیکی لوسیا (Lucia 2007) گروه‌بندی شد. با توجه به ماهیت داده‌های در دسترس و به منظور سهولت بیشتر، چارچوب چینه‌نگاری سکانسی واگنر و وایل (van Wagoner et al. 1990; Vail 1991) در مطالعه حاضر استفاده شد. در این روش، یک سکانس با دو سطح سکانسی<sup>۲</sup> و حداکثر غرقابی<sup>۳</sup> مشخص و با دو سیستم تراکت پیش‌رونده<sup>۴</sup> و تراز بالا<sup>۵</sup> شناسایی می‌شود. از تلفیق مطالعه‌های رخساره‌ای و دیاژنزی برای تعیین سطوح حداکثر غرقابی و مرزهای سکانسی استفاده شد و در مرحله بعد بر اساس پلات‌های تخلخل - تراوایی مغزه و نیز گروه‌های مختلف رخساره‌ای - دیاژنزی، عوامل کنترل‌کننده کیفیت مخزنی کربنات‌های منیفا مشخص شدند. نمودارهای تزریق جیوه و توزیع گلوگاه‌های تخلخل برای درک بهتر ویژگی‌های مخزنی استفاده شدند؛

<sup>1</sup> Capillary pressure curve (PC)

<sup>2</sup> Sequence boundary (SB)

<sup>3</sup> Maximum flooding surface (MF)

<sup>4</sup> Transgressive system tract (TST)

<sup>5</sup> Highstand system tract (HST)

<sup>6</sup> Tidal Flat

<sup>7</sup> Lagoon

<sup>8</sup> Leeward Shoal

<sup>9</sup> Beach ridges

در مطالعه حاضر، نتایج مطالعه‌های پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها برای شناسایی فرایندها و بازسازی سکانس دیاژنزی استفاده شدند. فرایندهای میکرایتی شدن، زیست‌آشفستگی، تبلور مجدد، تراکم فیزیکی و شیمیایی، انحلال، سیمانی شدن، دولومیتی شدن، دولومیت‌زدایی، سیلیسی شدن و شکستگی، کربنات‌های منیفا را پس از نهشته شدن در سه محیط دریایی، متئوریک و تدفینی تحت تأثیر قرار داده‌اند. گفتنی است تفسیر دیاژنزی مخزن منیفا در میدان مطالعه شده تنها بر اساس شواهد پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها انجام شد و ایزوتوپ‌های پایدار کربن و اکسیژن و نتایج تحلیل عنصری نمونه‌ها برای تفسیر دقیق‌تر دیاژنزی و رخداد آنها در دسترس نبودند. در شکل ۴، تصاویر مقاطع نازک، اسکن آنها و مغزه از هرکدام از فرایندهای دیاژنزی نشان داده شده است. به‌منظور توصیف بهتر دیاژنزی و بازسازی سکانس دیاژنزی، رخداد آنها و شواهد مرتبط با آنها به‌طور خلاصه معرفی می‌شود:

**دیاژنزی دریایی:** فرایندهای میکرایتی شدن اجزای اسکلتی و غیراسکلتی، زیست‌آشفستگی و توسعه سیمان‌های دریایی با فابریک هم‌ضخامت طی دیاژنزی دریایی رخ داده‌اند. سیمان هم‌ضخامت در رخساره‌های گرینستونی توسعه داشته و با ایجاد چارچوب مقاوم از کاهش تخلخل با افزایش عمق ممانعت کرده است.

**دیاژنزی متئوریک:** محصولات مرتبط با دیاژنزی متئوریک بیشترین تأثیر را در کربنات‌های استروماتولیتی منیفا داشته‌اند. پایداری کانی‌شناسی، نوشکلی و تبلور مجدد، انحلال و رخداد سیمان‌های با اشکال هم‌بعد، آویزه‌ای و دروزی از شواهد مرتبط با دیاژنزی متئوریک به شمار می‌آیند. عموماً شدت تأثیر فرایندهای مرتبط با دیاژنزی متئوریک از رأس بخش منیفا به سمت قاعده کاهش می‌یابد. در حالت کلی، انحلال مرتبط با این مرحله از دیاژنزی و تبلور مجدد بیشترین اهمیت و تأثیر را در ویژگی‌های مخزنی داشته است.

**دیاژنزی تدفینی:** پس از نهشته شدن و تحمل دیاژنزی متئوریک، کربنات‌های استروماتولیتی منیفا تحت تأثیر دیاژنزی

ریزرخساره‌های مرتبط با زیرمحیط لاگون با فراوانی فرامینفرهای بتیک، استراکود، جلبک سبز و گاستروپودها در بافت عموماً پکستونی مشخص می‌شوند.

زیرمحیط شول بر اساس اجزای اسکلتی و غیراسکلتی غالب به سه بخش شول رو به ساحل یا پشت شول<sup>۱</sup>، شول مرکزی یا شول اووئیدی<sup>۲</sup> و شول رو به دریا یا جلو شول<sup>۳</sup> تقسیم می‌شود (Wilson 1975; Flügel 2010). زیرمحیط شول رو به خشکی با فراوانی فرامینفرهای بتیک، جلبک‌ها، اووئیدها، پلوئیدها و گاستروپودها در بافت رودستونی - گرینستونی مشخص می‌شود. عموماً رخساره‌های مرتبط با بخش رو به خشکی شول با اجزای فسیلی متعلق به محیط کم‌عمق و در مجاورت زیرمحیط لاگون مشخص می‌شوند. رخساره‌های با اووئید فراوان، جورشدگی زیادی دارند و در مقابل، رخساره‌های جلبکی جورشدگی ضعیف‌تری نشان می‌دهند. در مجموع، ریزرخساره‌های مرتبط با زیرمحیط‌های لاگون و شول رو به خشکی، فراوانی اندکی در مقایسه با رخساره‌های پهنه جزرومدی دارند.

طی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین، پلت‌فرم‌های با هندسه رمپ عموماً به‌علت بالا بودن سطح آب دریا و پایداری تکنونیک توسعه یافته‌اند (Murriss 1980). بر اساس تغییرات رخساره‌ای ملایم، وجودنداشتن اجزای ریف‌ساز و نبود رخساره‌های واریزه‌ای می‌توان نتیجه گرفت کربنات‌های منیفا در بخش‌های داخلی پلت‌فرم<sup>۴</sup> رمپ کربناته نهشته شده‌اند (شکل ۳). تغییرات رخساره‌ای در بخش منیفا ناچیز است و عموماً با زون نسبتاً یکنواختی از نظر تغییرات رخساره‌ای و توسعه عمده ریزرخساره‌های مرتبط با پهنه جزرومدی مشخص می‌شود.

## دیاژنزی و سکانس دیاژنزی

<sup>1</sup> Leeward Shoal-Back-Shoal

<sup>2</sup> Central Shoal-Ooid Shoal

<sup>3</sup> Seaward Shoal-Fore Shoal

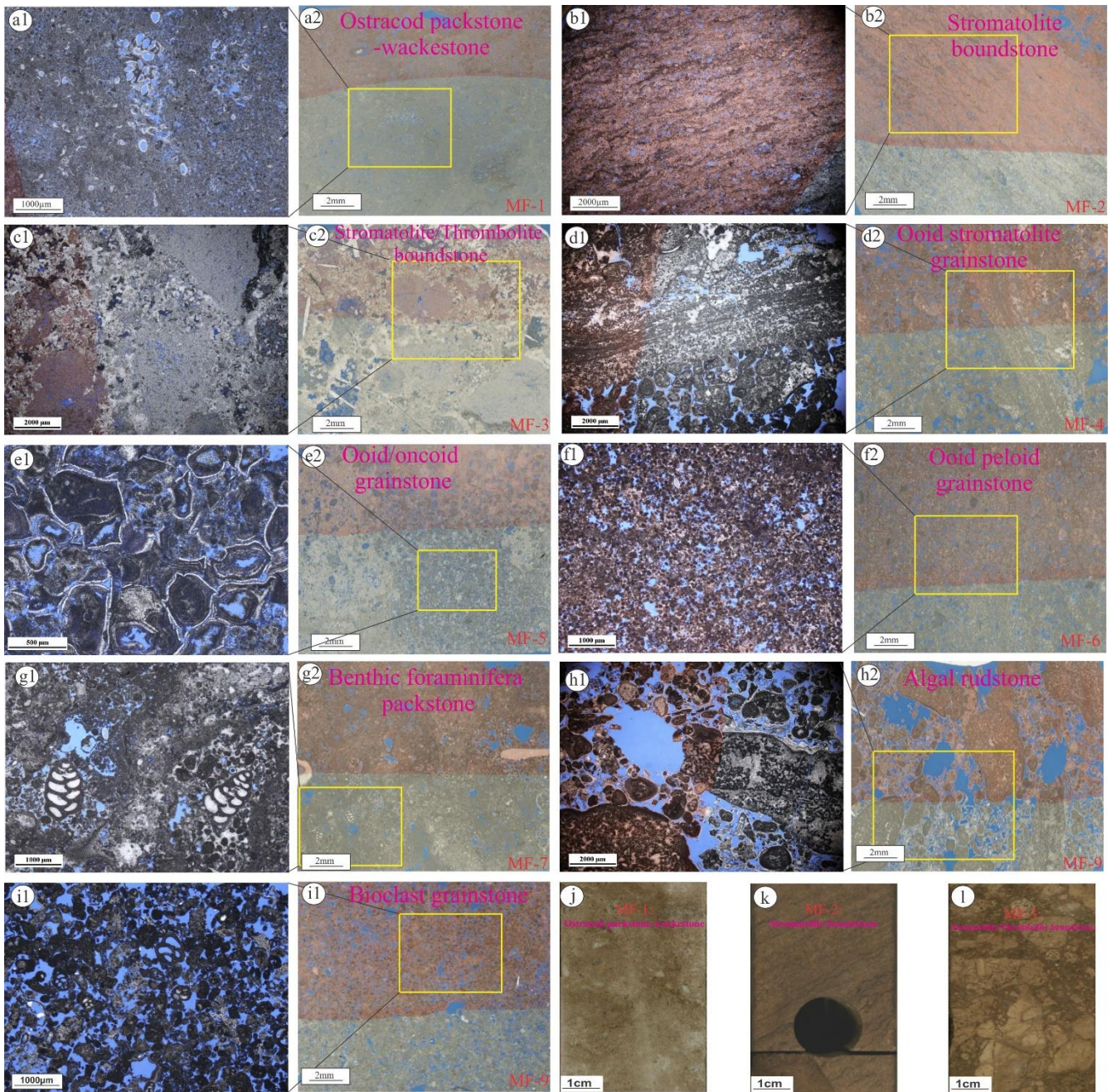
<sup>4</sup> Inner Platform

تشکیل و تبلور مجدد آنها طی تدفین است. بلورهای پراکنده کوارتز به شکل بلورهای شش وجهی طی دیاژنز تدفینی شکل گرفته اند. رگچه های انحلالی و استیلولیت ها از دیگر شواهد مرتبط با دیاژنز تدفینی اند که توسعه درخور توجهی ندارند. شکستگی ها در تدفین عمیق شکل گرفته اند و گاهی با سیمان های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی مسدود شده اند.

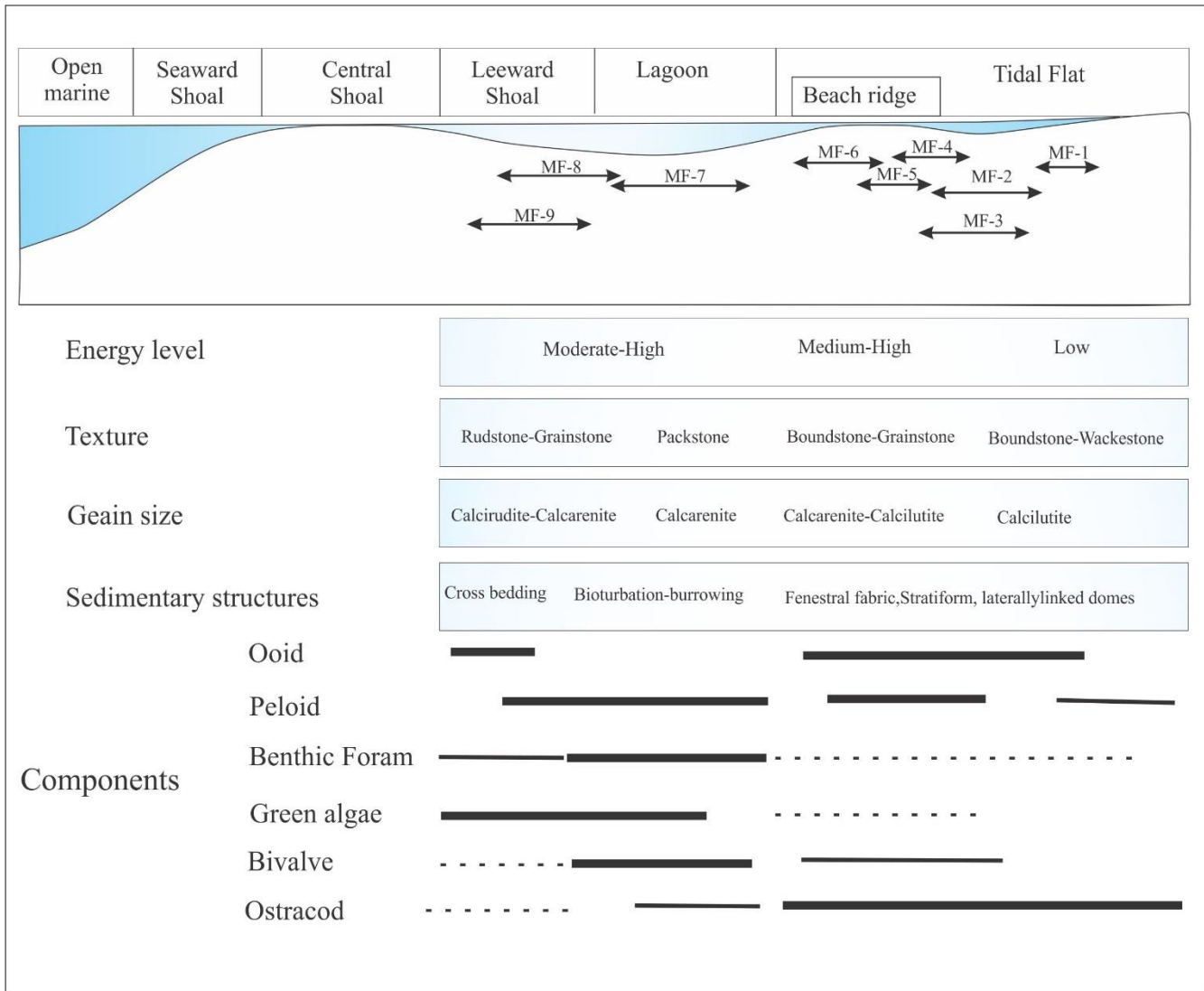
تدفینی کم عمق و عمیق قرار گرفته اند. فرایندهای مرتبط با این محیط دیاژنزی عبارتند از: تراکم فیزیکی و شیمیایی، برخی از اشکال سیمان به ویژه انواع دروزی و بلوکی با رخ مشخص، دولومیت های زین اسبی و گاهی دولومیتی شدن. در مطالعه های پتروگرافی، بلورهای دولومیت با هسته دارای ادخال و حاشیه شفاف شناسایی می شوند که نشان دهنده

جدول ۱- معرفی، توصیف و تعیین رخساره ها و زیر محیط های رسوبی در بخش کربناته منیفا؛ نشانه های اختصاری: ف: فراوان، ر: رایج، ن: نادر

کد نمونه	توصیف	اجزا		نشان	توصیف	نشان
		اسکلتی	غیر اسکلتی			
MF-1	وکتون - پکتون استراکودار	کلسی لوتایت	استراکود (ف)	فابریک چشم پرنده ای - لامینه های جلبکی	پلوتید (ر)	پهنه جزرومدی
MF-2	باندستون استروماتولیتی	کلسی لوتایت	رشته های جلبکی (ف)، استراکود (ف)	فابریک چشم پرنده ای - لامینه های جلبکی	پلوتید (ر)، آنئید (ن)	پهنه جزرومدی
MF-3	باندستون ترومبولیتی - استروماتولیتی	کلسی رودایت	رشته های جلبکی (ف)، استراکود (ر)	زیست آشفته گی - فابریک چشم پرنده ای	پلوتید (ر)، آنکوئید (ر)	پهنه جزرومدی
MF-4	باندستون استروماتولیتی - اوئیدی	کالک آرنایت	رشته های جلبکی (ر)، استراکود (ر)	فابریک چشم پرنده ای - لامینه های جلبکی	پلوتید (ر)، آنئید (ف)	سدهای ساحلی
MF-5	گرینستون اوئیدی - آنکوئیدی	کالک آرنایت	رشته های جلبکی (ر)	-	پلوتید (ر)، اوئید (ف)	سدهای ساحلی
MF-6	گرینستون اوئیدی - پلوتیدی	کالک آرنایت	استراکود (ف)، جلبک (ر)	-	پلوتید (ف)، آنئید (ف)	سدهای ساحلی
MF-7	پکتون فرامینفردار	کالک آرنایت	جلبک سبز (ف)، فرامینفرهای بتتیک (ر)	زیست آشفته گی	پلوتید (ر)	لاگون
MF-8	رودستون جلبکی	کلسی رودایت	فرامینفرهای بتتیک (ف)، جلبک سبز (ر)	زیست آشفته گی - حفاری در رسوبات	پلوتید (ف)، ایتراکلاست (ن)	شول رو به خشکی
MF-9	گرینستون بایوکلاستی	کالک آرنایت	فرامینفرهای بتتیک (ف)، گاستروپود (ر)، دوکفه ای (ن)	-	پلوتید (ف)، آنئید (ف)	شول رو به خشکی



شکل ۲- تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی (a1-b1-c1-d1-e1-f1-g1-h1-i1) از ریزرخساره‌های شناسایی شده در کربنات‌های منیفا و اسکن آنها (a2-b2-c2-d2-e2-f2-g2-h2-i2) با توجه به فراوانی و توسعه ریزرخساره‌های ترومبولیتی و استروماتولیتی در ارتباط با زیرمحیط جزرومدی. تصاویری از برش‌های مغزۀ این رخساره‌ها نشان داده شده‌اند؛ برای تفسیر بیشتر به جدول ۱ مراجعه شود.



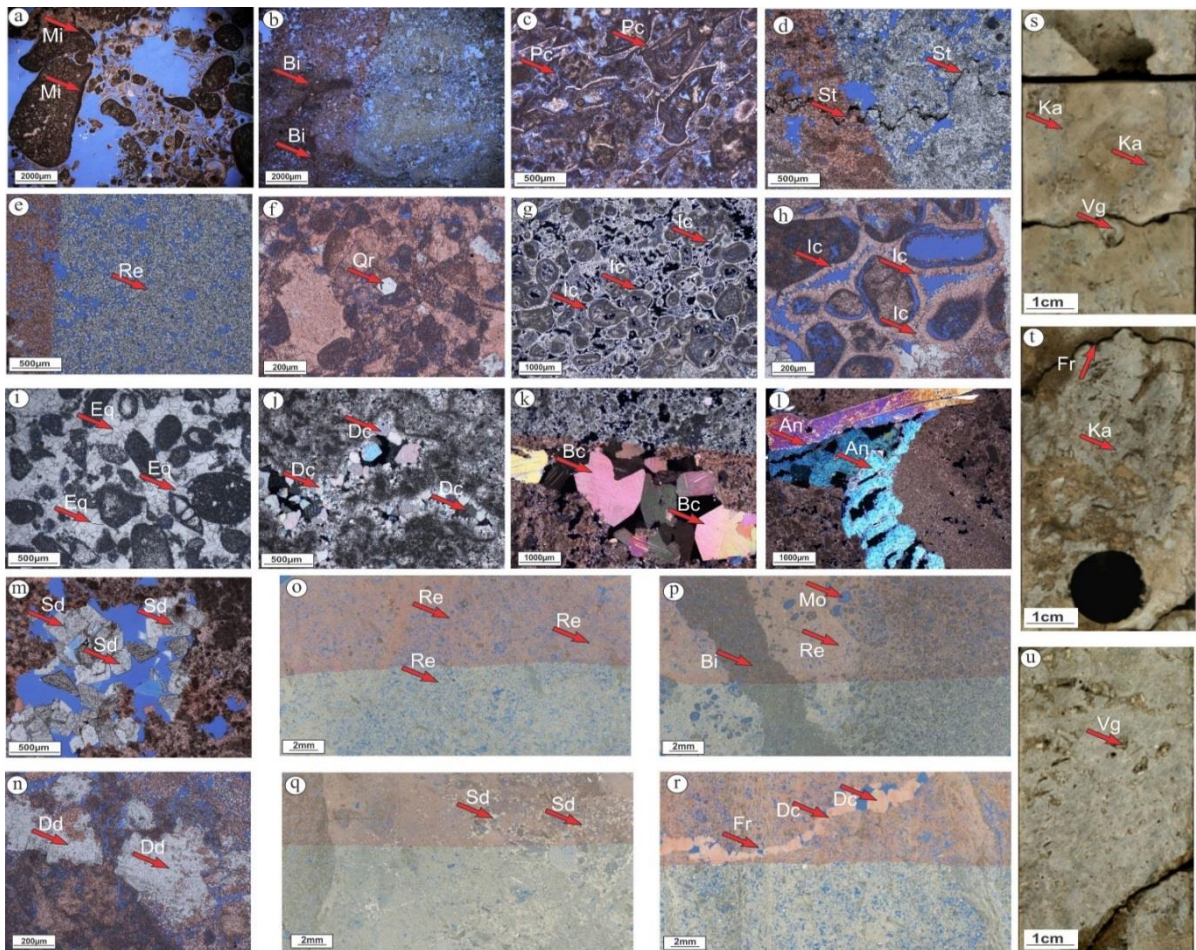
شکل ۳- مدل شماتیکی از محیط رسوبی بخش منیفا در میدان مطالعه شده. براساس توزیع رخساره‌ها، اجزای اسکلتی و غیراسکلتی، بافت، ساخت رسوبی و سایر ویژگی‌های رسوبی، کربنات‌های منیفا در بخش‌های داخلی رمپ کربناته نهشته شده‌اند.

توالی کربناته منیفا به سه گروه با تأثیر مثبت، منفی و بدون تأثیر درخور توجه تقسیم می‌شوند. فرایندهای بهبوددهنده کیفیت مخزنی شامل انحلال و تبلور مجدد است. انحلال عامل اصلی افزایش کیفیت مخزنی و ایجاد زون‌های متخلخل در بخش منیفاست. تخلخل‌های حفره‌ای، قالبی و بین‌دانه‌ای انحلالی از مهم‌ترین انواع تخلخل توسعه‌یافته طی دیاژنز متوریک به شمار می‌آیند. اگرچه در بسیاری از مخازن کربناته، شکستگی‌ها عامل مهمی برای بهبود کیفیت مخزنی‌اند، بیشتر نمونه‌ها در بخش منیفا با سیمانی‌های کلسیتی، دولومیتی

باتوجه به تأثیر عمده کارستی‌شدن رخساره‌های مرتبط با زیرمحیط پهنة جزرومدی، مرز دو توالی کربناته منیفا و فلهیان ناپیوسته است. فرایندهای مرتبط با دیاژنز متوریک ناشی از ناپیوستگی رأس منیفا روی تصاویر مغزه عموماً با شواهدی از جمله کارستی‌شدن و توسعه تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی مشخص می‌شوند (شکل ۴، s، t و u). در شکل ۵، سکانس دیاژنزی و رخداد فرایندها در سه محیط دریایی، متوریک و تدفینی همراه با تأثیر آنها بر تخلخل دیده می‌شود. این فرایندها از نظر تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر ویژگی‌های مخزنی

دولومیتی شدن در توالی کربناته منیفا توسعه درخور توجهی ندارد و عموماً به شکل بلورهای پراکنده دولومیت با منشأ تدفینی و بلورهای دولومیت زین‌اسبی تخلخل‌های حفره‌ای و شکستگی‌ها را پر کرده است؛ به عبارتی، این فرایند تأثیر منفی بر مقادیر تخلخل - تراوایی مخزن اعمال کرده است. فرایندهای میکرایتی شدن، زیست‌آشفستگی و تشکیل بلورهای پراکنده کوارتز، فرایندهای بدون تأثیر درخور توجه بر ویژگی‌های مخزنی‌اند.

و انیدریتی پر شده‌اند. سیمانی شدن و تراکم مهم‌ترین فرایندهای کاهش‌دهنده کیفیت مخزنی در توالی مطالعه شده‌اند. تأثیر فرایند تراکم به‌طور درخور توجهی به نوع رخساره وابسته است. تراکم فیزیکی به شکل فشرده شدن دانه‌ها بیشتر در رخساره‌های گریستونی مشاهده می‌شود؛ در مقابل، انحلال فشاری و استیلولیت‌ها عموماً بسیار پراکنده‌اند و به برخی از مادستونی - وکستونی و استروماتولیتی محدود می‌شوند.



شکل ۴- تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u) از انواع فرایندهای (a) میکرایتی شدن، (b-p) زیست‌آشفستگی، (c) تراکم فیزیکی، (d) استیلولیتی شدن، (e-g) تبلور مجدد، (f) کوارتز درج‌ازا، (g-h) سیمان هم‌ضخامت، (i) سیمان هم‌بعد، (j) سیمان دروزی، (k) سیمان بلوکی (l) سیمان انیدریتی، (m-q) دولومیت‌های تدفینی، (n) دولومیتی شدن، (s-t-u) کارستی شدن و توسعه تخلخل‌های حفره‌ای، نشانه‌های اختصاری: Mi: میکرایتی شدن، Bi: زیست‌آشفستگی، Pc: تراکم فیزیکی، St: استیلولیتی شدن، Sd: دولومیت زین‌اسبی، Dd: دولومیتی شدن، Ic: سیمان هم‌ضخامت، Eq: سیمان هم‌بعد، Dc: سیمان دروزی، Bc: سیمان بلوکی، An: انیدریت، Re: تبلور مجدد، Qr: کوارتز، Fr: شکستگی، Ka: کارستی شدن.

تأثیر بر تخلخل	محیط دیاژنزی				دریایی	متئوریک	فرآیندهای دیاژنزی
	تدفینی		عمیق	کم عمق			
	مثبت	منفی					
							میکرایتی شدن
							زیست آشفستگی
							تبلور مجدد
							سیمان هم ضخامت
							تراکم فیزیکی
							انحلال و کارستی شدن
							دولومیتی شدن
							تراکم شیمیایی (استیلولیت-رگچه‌های انحلالی)
							سیمان دوروزی، هم بعد-آویزه‌ای
							سیمان بلوکی-هم بعد
							سیمان انیدریتی
							ددولومیتی شدن
							برش‌های ریزشی-انحلالی
							شکستگی

شکل ۵- سکانس دیاژنزی بخش منیفا و رخداد فرایندهای دیاژنزی مختلف در سه محیط دریایی، متئوریک و تدفینی همراه با تأثیر آنها بر تخلخل؛ فرایندهای مرتبط با دیاژنز متئوریک تأثیر عمده‌ای بر ویژگی‌های مخزنی اعمال کرده‌اند.

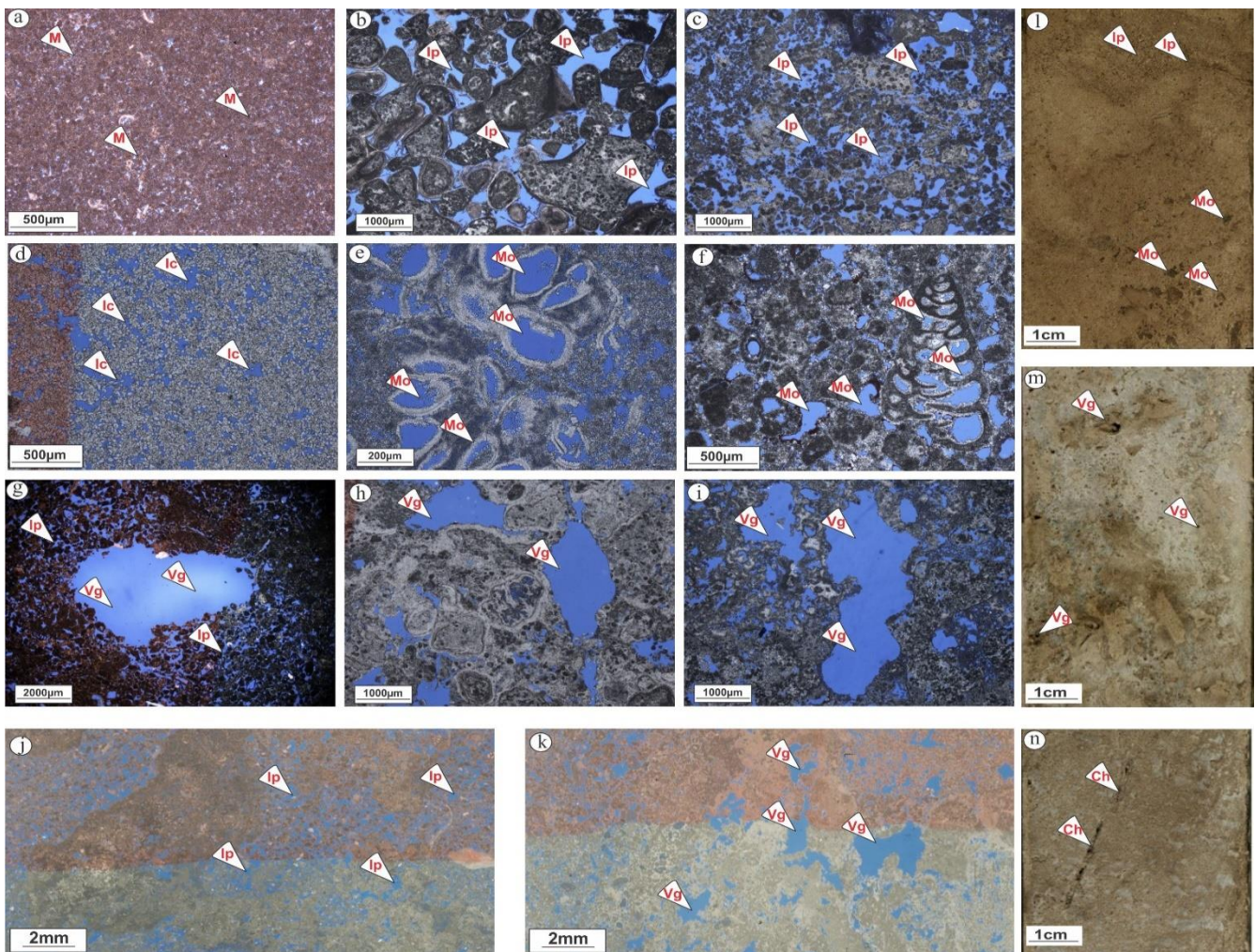
### سیستم منافذ

مخازن کربناته به‌علت نوع و هندسه منافذ در مقایسه با آواری‌ها ناهمگن‌ترند؛ این پیچیدگی در سیستم منافذ از تنوع رخساره‌ای و تأثیر فرایندهای دیاژنزی ناشی می‌شود (Hollis et al. 2010; Skalinski and Kenter 2015). مطالعه سیستم منافذ بر اساس مطالعه‌های پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها نشان می‌دهد تخلخل‌های حفره‌ای و بین‌دانه‌ای انحلالی نقش اصلی تولیدی را در بخش منیفا داشته‌اند. انواع منافذ شناسایی شده عبارتند از: بین‌دانه‌ای، بین‌بلوری، درون‌دانه‌ای، قالبی، حفره‌ای، کانالی، ریزشکستگی و ریزتخلخل (شکل ۶). بر اساس ویژگی‌های

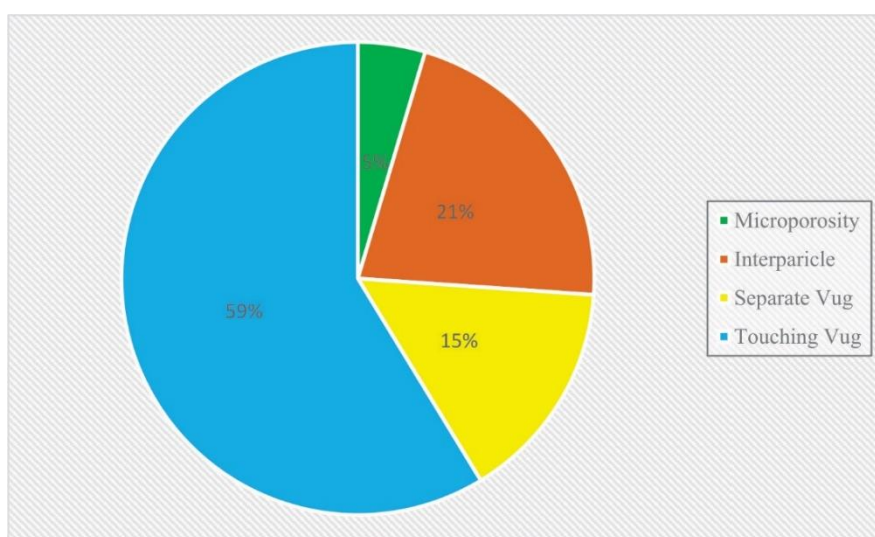
پتروفیزیکی، منافذ در چهار گروه ریزتخلخل (ماتریکس)، بین‌دانه‌ای (بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری)، حفره‌ای مجزا (قالبی، درون‌بلوری، درون‌دانه‌ای و حفره‌ای مجزا) و حفره‌ای مرتبط (ریزشکستگی، کانالی و حفره‌ای مرتبط) تقسیم‌بندی شده‌اند (Lucia 1983; 1995). در بخش منیفا، شکل‌گیری تخلخل‌های بین‌بلوری ارتباطی با توسعه دولومیت‌ها ندارد و این تخلخل‌ها طی فرایند تبلور مجدد و تبدیل میکرایت به میکرواسپارایت شکل گرفته‌اند. در شکل ۷ به‌منظور درک بهتر سیستم منافذ، فراوانی منافذ از دیدگاه پتروفیزیکی در چهار گروه ریزتخلخل، حفره‌ای مرتبط، حفره‌ای غیرمرتبط و بین‌دانه‌ای

میکرون) و کوچک (کوچک‌تر از ۰/۵ میکرون) طبقه‌بندی شده‌اند (Chehrizi et al. 2011)؛ توزیع منافذ نشان می‌دهد منافذ با گلوگاه‌های بزرگ بیشترین فراوانی و گسترش را در توالی مطالعه شده دارند. عموماً نمونه‌های با اندازه گلوگاه‌های بزرگ‌تر، تراوایی بیشتری دارند که این حالت در توالی مینفا نیز مشاهده می‌شود.

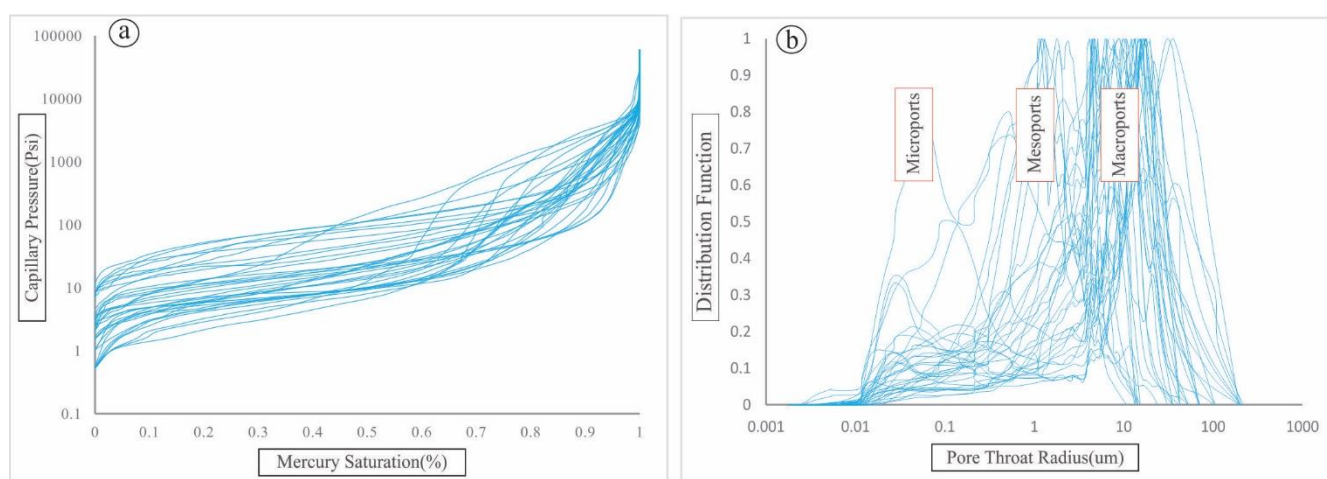
نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند تخلخل‌های حفره‌ای حدود ۷۵ درصد منافذ را شامل می‌شوند؛ در مقابل، ریزتخلخل‌ها کمترین فراوانی و اهمیت را دارند. با توجه به فراهم بودن نمودارهای فشار موئینه تزریق جیوه، توزیع گلوگاه‌های تخلخل در توالی مطالعه شده بررسی شد. منافذ بر اساس اندازه گلوگاه‌های تخلخل در سه گروه منافذ بزرگ (بزرگ‌تر از ۱/۵ میکرون)، متوسط (۰/۵ تا ۱/۵



شکل ۶- تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k) و مغزه (d, m, n) از انواع تخلخل و سیستم منافذ (a): ریزتخلخل، (b-c-j): تخلخل بین دانه‌ای، (d): بین بلوری، (e-f-h): قالبی، (g-l): بین دانه‌ای - حفره‌ای، (h-k-i-m): حفره‌ای، (n): کانالی. نشانه‌های اختصاری: Mi: ریزتخلخل، Ip: بین دانه‌ای، It: بین بلوری، Mo: قالبی، Vg: حفره‌ای، Ch: کانالی



شکل ۷- فراوانی گروه‌های منفذی مختلف در کربنات‌های منیفا؛ نتایج نشان می‌دهند تخلخل‌های حفره‌ای بیشترین فراوانی را دارند و در مجموع، حدود ۷۵ درصد منافذ را شامل می‌شوند.



شکل ۸- نمودار فشار موئینه تزریق جیوه و توزیع گلوگاه‌های تخلخل؛ منافذ بزرگ بیشترین گسترش را نشان می‌دهند.

### چینه‌نگاری سکansı

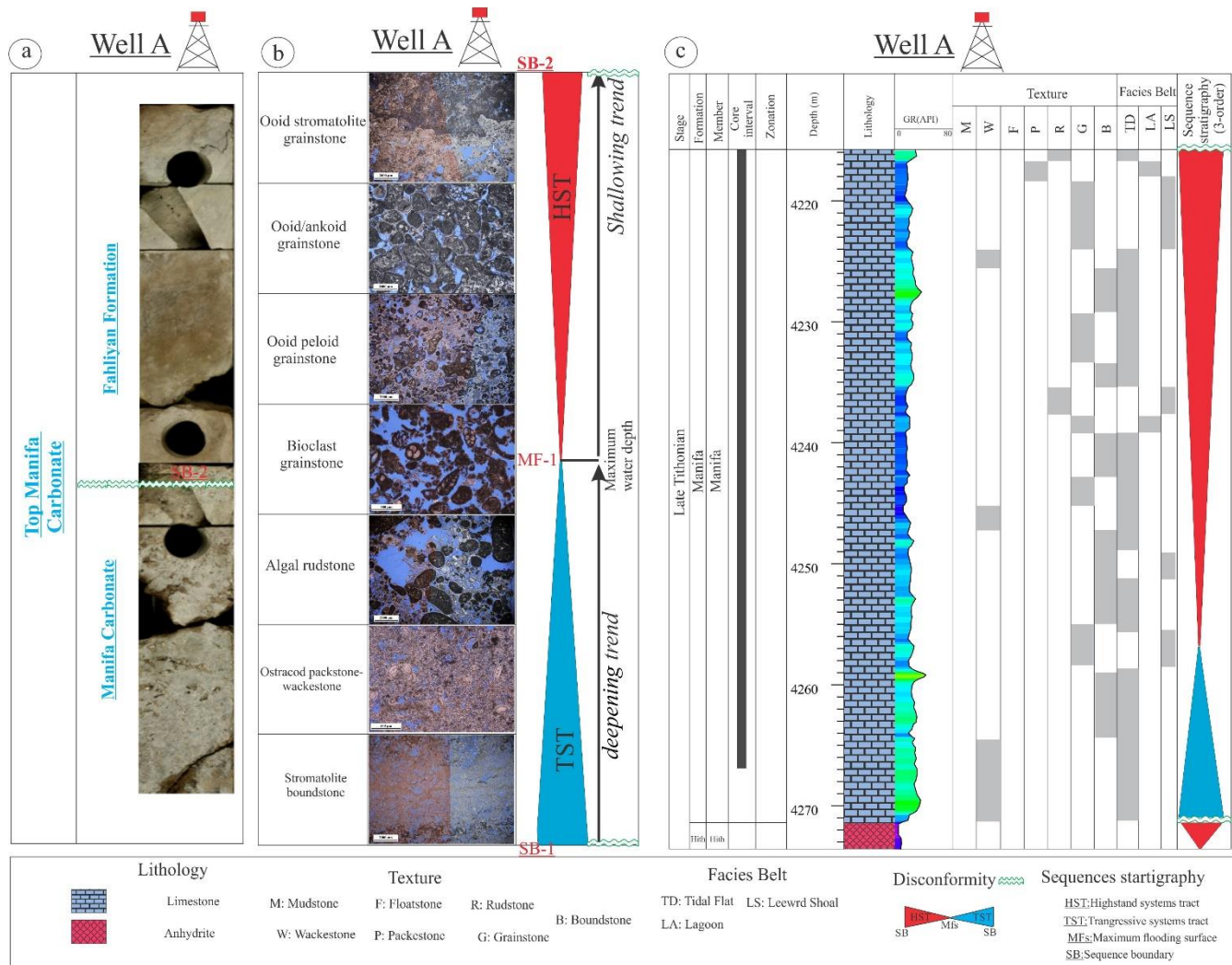
از تلفیق نتایج مطالعه‌های رخساره‌ای و دیاژنزی برای شناسایی و تفکیک سکانس‌ها در بخش منیفا استفاده شد. در مطالعه حاضر، با توجه به داده‌های در دسترس و برای سهولت انجام مطالعه از مدل سکansı پیش‌رونده-پس‌رونده<sup>۱</sup> (Vail 1991) استفاده شد. بر اساس چارچوب چینه‌شناسی سکansı توالی پرکامبرین تا عهد حاضر صفحه عربی (Sharland et al. 2001)، یک سکانس رده سوم با سطح حداکثر غرقابی J110

در کربنات‌های استرماتولیتی منیفا شناسایی می‌شود. سطح J110 در بیشتر بخش‌های صفحه عربی به علت تأثیر ناپیوستگی تیتونین پیشین و رخنمون تحت‌الجوی مشاهده نمی‌شود؛ این سطح کلیدی می‌تواند در کویت، درون شیل‌های آهکی سازند ماکول و نیز درون کربنات‌های سازند سولایی در جنوب عراق تفسیر شود (Sharland et al. 2001). مرز سکansı رأس بخش منیفا با شواهدی از جمله کارستی‌شدن و توسعه تخلخل‌های حفره‌ای مشخص می‌شود. در شکل ۹، a تصاویر مغزه از این مرز در چاه A نشان داده شده‌اند. بر اساس

<sup>۱</sup> Transgressive-Regressive

سکانسی گسترش دارند؛ به‌طور مشابه در مطالعه‌های گذشته (Hughes & Nassir 2008)، یک سکانس رده سوم در کربنات‌های منیفا در یکی از میداین نفتی شرق عربستان شناسایی شده است. در شکل ۹، c تغییرات رخساره‌ای همراه با موقعیت سطوح کلیدی سکانسی در سکانس‌های رده سوم و بالاتر نشان داده شده است.

تغییرات رخساره‌ای و نتایج مطالعه‌های دیاژنزی، چارچوب چینه‌شناسی سکانسی بخش منیفا به‌طور شماتیک در شکل ۹، b نشان داده شده است. عمیق‌ترین رخساره‌های شناسایی شده که سطوح حداکثر غرقابی در نظر گرفته می‌شوند با گرینستون‌های فرامینفردار مرتبط با زیرمحیط شول رو به خشکی ارتباط دارند؛ در مقابل، رخساره‌های باندستون استروماتولیتی و وکستون‌های استراکوددار عموماً در مرزهای



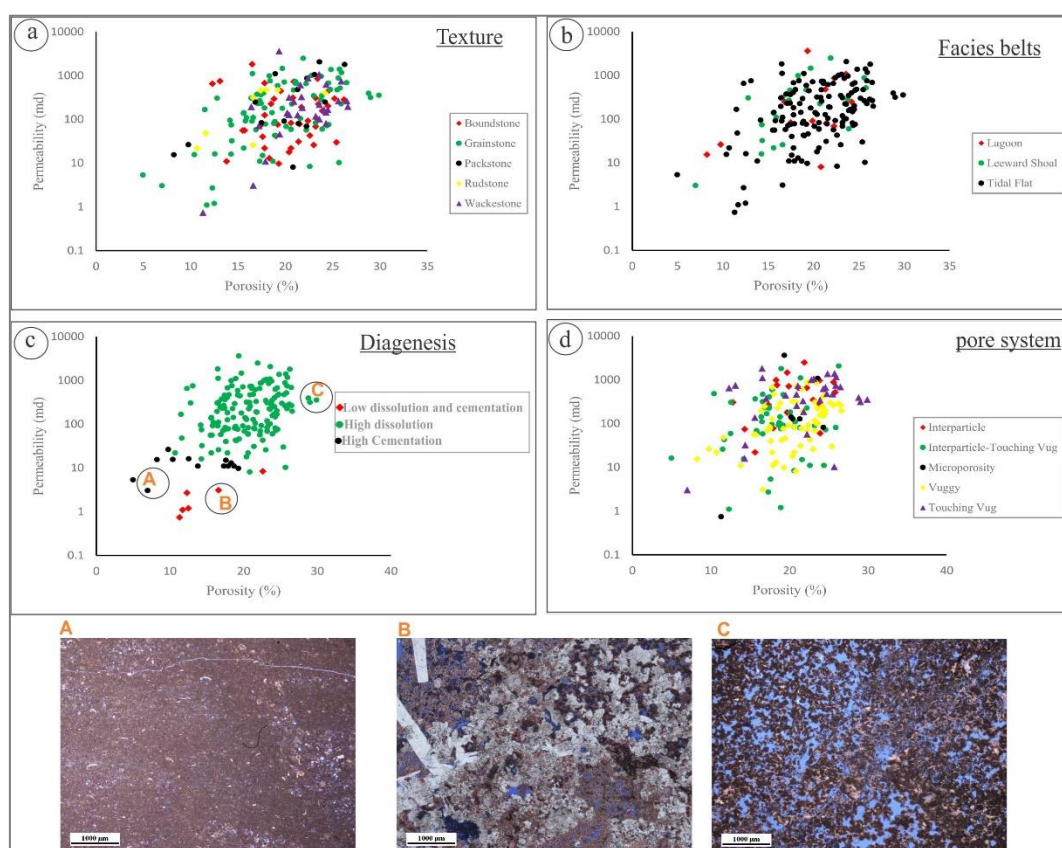
شکل ۹- a. تصاویر مغزه و رخداد کارستی شدن در مرز دو توالی کربنات منیفا و فهایان در میدان مطالعه شده، b. شکل شماتیکی از تغییرات رخساره‌ای و چارچوب چینه‌شناسی سکانسی بخش منیفا در چاه A، c. لاگ رسوب‌شناسی چاه A و سکانس رده سوم شناسایی شده

تأثیر رخساره‌ها، دیاژنز و سیستم منافذ با تلفیق نتایج

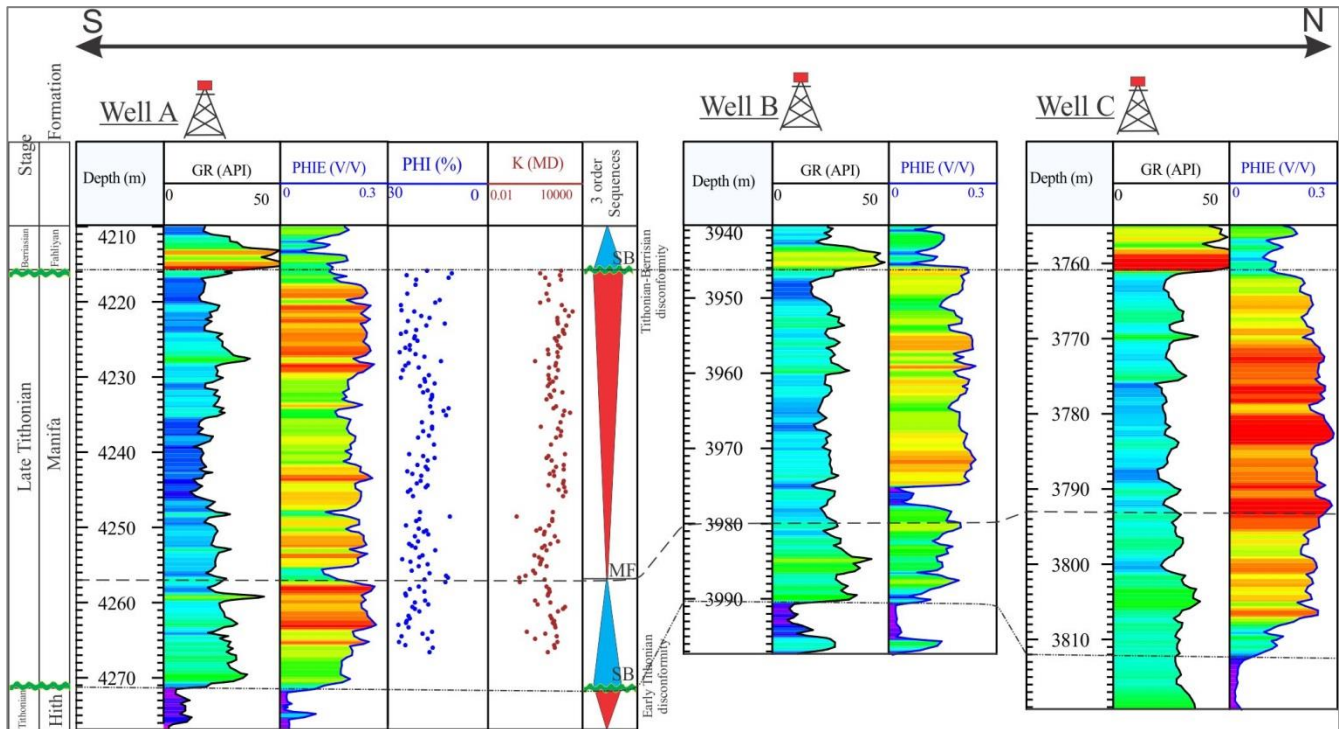
کیفیت مخزنی

تأثیر عمده فرایند انحلال، بیشترین تخلخل - تراوایی را دارند و این توالی‌ها بیشترین فراوانی و گستردگی را در بخش منیفا نشان می‌دهند. از دیدگاه چینه‌شناسی سکansı و تأثیر آن بر ویژگی‌های مخزنی، نتایج نشان می‌دهند سیستم تراکت تراز بالا تا حدودی تخلخل - تراوایی بیشتری را نشان می‌دهد؛ باوجوداین، هر دو سیستم تراکت تحت تأثیر ناپیوستگی رأس بخش منیفا تخلخل - تراوایی زیادی دارند؛ به عبارتی، در اثر سطح رخنمون تحت‌الجوی رأس بخش منیفا، تمام این توالی کربناته تحت تأثیر دیاژنز متئوریک قرار گرفته است. در شکل ۱۱، انطباق بخش منیفا در سه چاه کلیدی در میدان مطالعه شده در روند شمالی - جنوبی نشان داده شده است.

مطالعه‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی بررسی شد. در این کربنات‌ها، تخلخل از ۱۰/۷۲ تا ۲۶/۶ درصد و تراوایی از ۰/۷۴ تا ۲۴۹۶ میلی‌داری متغیر است؛ باوجوداین، مقادیر میانگین حسابی دو شاخص تخلخل - تراوایی به ترتیب ۱۹/۶ درصد و ۲۶۰/۴۵ میلی‌داری است؛ این تخلخل - تراوایی زیاد نشان می‌دهد بخش منیفا از نظر مخزنی، زون تولیدی مناسبی است. به منظور بررسی تأثیر چهار شاخص بافت رسوبی، رخساره، دیاژنز و سیستم منافذ، پلات‌های تخلخل - تراوایی بر اساس شاخص‌های مختلف ترسیم شدند (شکل ۱۰، a, b, c, d) و همان‌طور که مشخص است بیشترین تفکیک از نظر تخلخل - تراوایی بر اساس تأثیر فرایندهای دیاژنزی انجام شده است؛ به این مفهوم که رخساره‌های با



شکل ۱۰ - a-b-c-d: تأثیر بافت، رخساره‌های رسوبی، فرایندهای دیاژنزی و سیستم منافذ بر توزیع تخلخل - تراوایی؛ همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند عموماً بیشترین تخلخل - تراوایی در توالی‌های با انحلال زیاد مشاهده می‌شود که بیشترین گسترش و فراوانی را نیز دارند.



شکل ۱۱- انطباق بخش مخزنی منیفا در چارچوب چینه‌شناسی اسکاسی از طریق نمودارهای پتروفیزیکی در روند شمالی- جنوبی در سه چاه کلیدی مطالعه شده

کارستی شدن مرتبط با دیاژنز متئوریک با بیشترین فراوانی و گستردگی از رخداد ناپیوستگی رأس بخش منیفا ناشی می‌شود. با وجود رخداد فرایندهای کاهش‌دهنده کیفیت مخزنی از جمله سیمانی شدن و تراکم و به‌علت تأثیر عمده فرایندهای انحلال و کارستی شدن، تخلخل موجود در این توالی کربناته درخور توجه (حدود ۲۰ درصد) است.

توزیع سیستم منافذ نشان می‌دهد تخلخل‌های حفره‌ای و بین‌دانه‌ای انحلال‌یافته بیشترین سهم را در تولید نفت بر عهده داشته‌اند. سیستم منافذ به میزان زیادی تحت تأثیر انحلال متئوریک شکل گرفته است. توسعه تخلخل‌های بین‌بلوری در این توالی کربناته از فرایند تبلور مجدد و تبدیل میکرایت به میکرواسپارایت ناشی شده است.

از دیدگاه چینه‌نگاری اسکاسی، بخش منیفا به یک اسکانس رده سوم منطبق بر اسکانس‌های ناحیه‌ای صفحه عربی تقسیم می‌شود. هر دو مرز زیرین و بالایی بخش منیفا به شکل

### خلاصه و نتیجه

به‌منظور بررسی کیفیت مخزنی بخش کربناته منیفا در یکی از میادین نفتی خلیج فارس، از تلفیق نتایج مطالعه‌های پتروگرافی، توصیف مغزه‌ها، داده‌های تخلخل- تراوایی مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی در مطالعه حاضر استفاده شد.

ریزرخساره شناسایی شده در توالی کربناته منیفا با سن تیتونین پسین در بخش‌های داخلی رمپ کربناته هم‌شیب نهشته شده‌اند. در این پلت‌فرم کربناته، رخساره‌های مرتبط با زیرمحیط پهنه جزرومدی بیشترین توسعه را دارند و باندستون‌های استروماتولیتی و گرینستون‌ها بیشترین فراوانی را نشان می‌دهند.

فرایندهای دیاژنزی مختلفی شامل زیست‌آشفتگی، تبلور مجدد، سیمانی شدن، دولومیتی شدن، تراکم فیزیکی، انحلال و شکستگی کربنات‌های منیفا را پس از نهشته شدن تحت تأثیر قرار داده‌اند. توزیع فرایندهای دیاژنزی نشان می‌دهد انحلال و

- typing methodologies. *Marine and Petroleum Geology*, 27(4): 772-793.
- Hughes G. W. and Nassir N. A. J. I. 2008. Sedimentological and micropalaeontological evidence to elucidate post-evaporitic carbonate palaeoenvironments of the Saudi Arabian latest Jurassic. *Volumina Jurassica*, 6(6): 61-73.
- Konyuhov A. I. and Maleki B. 2006. The Persian Gulf Basin: geological history, sedimentary formations, and petroleum potential. *Lithology and Mineral Resources*, 41(4): 344-361.
- Lucia F. J. 1983. Petrophysical parameters estimated from visual descriptions of carbonate rocks: a field classification of carbonate pore space. *Journal of Petroleum Technology*, 35(03), 629-637.
- Lucia F. J. 1995. Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization. *AAPG Bulletin*, 79(9): 1275-1300.
- Lucia F.J. 2007. Carbonate reservoir characterization: an integrated approach. Springer-Verlag, Berlin. 341 p.
- Mazzullo S. J. 1994. Diagenesis in a sequence-stratigraphic setting: porosity evolution in periplatform carbonate reservoirs, Permian Basin, Texas and New Mexico. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 11(4): 311-322.
- Mazzullo S. J. and Chilingarian G. V. 1996. Hydrocarbon reservoirs in karsted carbonate rocks. In *Developments in Petroleum Science*, Elsevier. 44: 797-865.
- Moore C. and Wade W. 2013. Carbonate reservoirs: porosity, evolution & diagenesis in a sequence stratigraphic framework: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework, Elsevier 67, 369 p.
- Murris R. J. 1984 Middle East: stratigraphic evolution and oil habitat. 353-372.
- Perotti C. R. Carruba S. Rinaldi M. Bertozzi G. Feltre L. and Rahimi M. 2011. The Qatar-South Fars arch development (Arabian Platform, Persian Gulf): insights from seismic interpretation and analogue modelling. *New Frontiers in Tectonic Research-At the Midst of Plate Convergence*, 325-352.
- Perotti C. Chiariotti L. Bresciani I. Cattaneo L. and Toscani G. 2016. Evolution and timing of salt diapirism in the Iranian sector of the Persian Gulf. *Tectonophysics*, 679, 180-198.
- Rahimpour-Bonab H. Mehrabi H. Navidtalab A. Omidvar M. Enayati-Bidgoli A. H. Sonei R. and Izadi-Mazidi E. 2013. Palaeo-exposure surfaces in Cenomanian-Santonian carbonate reservoirs in the Dezful embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 36(4): 335-362.
- نایپوسته‌اند؛ مرز زیرین بر نایپوستگی ناحیه‌ای تیتونین پیشین منطبق است و مرز بالایی با نایپوستگی مرز تیتونین- بریازین مشخص می‌شود. از دیدگاه چینه‌شناسی سکانسی و تأثیر آن بر ویژگی‌های مخزنی، نتایج نشان می‌دهند سیستم تراکت تراز بالا تا حدودی تخلخل- تراوایی بیشتری را نشان می‌دهد.
- بررسی کیفیت مخزنی نشان می‌دهد انحلال و کارستی شدن مرتبط با دیاژنز متوریک ناشی از نایپوستگی رأس منیفا عامل کنترل‌کننده کیفیت مخزنی و تخلخل- تراوایی زیاد این زون است؛ در مجموع، مخزن منیفا در میدان مطالعه‌شده، توالی کربناته وابسته به دیاژنز معرفی می‌شود

## References

- Ahr W. 2008. *Geology of Carbonate Reservoirs*. John Wiley and Sons, Chichester, 296 p.
- Al-Husseini M. I. 2007. Iran's crude oil reserves and production. *Geo-Arabia*, 12(2): 69-94.
- Alsharhan A. and Nairn A. 1997. *Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East*. Elsevier, Amsterdam, 843 p.
- Catuneanu O. 2006. *Principles of sequence stratigraphy*. Elsevier. 386 p.
- Catuneanu O. Martins-Neto M. A. and Eriksson P. G. 2012. Sequence stratigraphic framework and application to the Precambrian. *Marine and Petroleum Geology*, 33(1): 26-33.
- Chehrizi A. Rezaee R. and Rahimpour H. 2011. Pore-facies as a tool for incorporation of small-scale dynamic information in integrated reservoir studies. *Journal of Geophysics and Engineering*, 8(2): 202-224.
- Dickson J. A. D. 1966. Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of Sedimentary Research*, 36(2): 491-505.
- Edgell H. S. 1996. *Salt tectonism in the Persian Gulf basin*. Geological Society, London, Special Publications, 100(1): 129-151.
- Farzadi P. 2006. The development of Middle Cretaceous carbonate platforms, Persian Gulf, Iran: constraints from seismic stratigraphy, well and biostratigraphy. *Petroleum Geoscience*, 12(1): 59-68.
- Flügel E. 2010. *Microfacies Analysis of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*. Springer Verlag, 976 p.
- Hollis C. Vahrenkamp V. Tull S. Mookerjee A. Taberner C. and Huang Y. 2010. Pore system characterization in heterogeneous carbonates: An alternative approach to widely-used rock-

- Sedimentology review. Blackwell, Blackwell Scientific Publications Oxford, 51–72.
- Vail P. 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology: an overview. Springer, Berlin, 617–659.
- Van Buchem F. S. P. Simmons M. D. Droste H. J. and Davies R. B. 2011. Late Aptian to Turonian stratigraphy of the eastern Arabian Plate—depositional sequences and lithostratigraphic nomenclature. *Petroleum Geoscience*, 17(3): 211-222.
- Wilson J.L. 1975. Carbonate Facies in Geologic History. Springer, New York, 471 p.
- Van Wagoner J. Mitchum R. Campion K. and Rahmanian V. 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *American Association of Petroleum Geologists Special Series 7*: 1-27.
- Ziegler M. 2001. Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *Geo–Arabia*, 6 (3): 445-504.
- Razin P. Taati F. and Van Buchem F. S. P. 2010. Sequence stratigraphy of Cenomanian–Turonian carbonate platform margins (Sarvak Formation) in the High Zagros, SW Iran: an outcrop reference model for the Arabian Plate. *Geological Society, London, Special Publications*, 329(1): 187-218.
- Sharland P.R. Archer R. Casey D.M. Davies R.B. Hall S.H. Heyward A.P. Horbury A.D. and Simmons M.D. 2001. Arabian Plate sequence stratigraphy *Geo-Arabia*, Special Publication 2, 371 p.
- Skalinski M. and Kenter J. A. 2015. Carbonate petrophysical rock typing: integrating geological attributes and petrophysical properties while linking with dynamic behavior. *Geological Society, London, Special Publications*, 406(1): 229-259.
- Taghavi A. A. Mørk A. and Emadi M. A. 2006. Sequence Stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehloran Field, southwest Iran. *Petroleum Geoscience*, 12(2): 115-126.
- Tucker M. 1993. Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy. In: Wright VP (Ed.)