

ارزیابی کیفیت مخزنی سازند فهلپان در یکی از میادین نفتی شمال باختر خلیج فارس

علی اسعدی^۱، علی ایمن دوست^۲، مهدی صرفی^۳ و مهدی قانع عزآبادی^۴

^۱ دکتر، بخش علوم زمین، شرکت مشاوران انرژی تهران، تهران، ایران

^۲ کارشناس ارشد، بخش علوم زمین، شرکت خدمات مهندسی نفت کیش، تهران، ایران

^۳ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

^۴ کارشناس ارشد، بخش علوم زمین، شرکت مشاوران انرژی تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:

سازند فهلپان

خلیج فارس

رخساره

دیاژنز

چینه‌نگاری سکانسی

کیفیت مخزنی

چکیده

سازند فهلپان با سن کرتاسه زیرین یکی از مخازن نفتی مهم در خلیج فارس است. در این مطالعه به منظور بررسی ویژگی‌های رخساره‌ای، محیط رسوب‌گذاری، دیاژنز، چینه‌نگاری سکانسی و شناسایی فرایندهای کنترل‌کننده کیفیت مخزنی، تلفیق نتایج حاصل از توصیف مغزه‌ها، سنگ‌نگاری مقاطع نازک و داده‌های پتروفیزیکی استفاده شده است. ۹ ریزرخساره شناسایی و در چهار کمربند رخساره‌ای لاگون، شول، ریف‌های پراکنده و بخش کم‌رغای دریای باز معرفی و در یک رمپ کربناته تفسیر گردید. فرایندهای دیاژنزی مختلفی، رخساره‌های رسوبی را در ۳ محیط دریایی، جوی و تدفینی تحت تأثیر قرار داده‌اند. ۴ سیستم منفذی اصلی شامل بین دانه‌ای، قالبی، حفره‌ای و ریز تخلخل در مخزن شناسایی شده‌اند. از دیدگاه چینه‌نگاری سکانسی، ۳ سکانس رده سوم قابل انطباق در محدوده میدان، مشخص گردید. توسعه رخساره‌های گرینستونی و رودستون-فلوتستون‌های جلبکی مرتبط با زیرمحیط شول و ریف‌های پراکنده، نقش مهمی در توسعه زون‌های با کیفیت مخزنی بالا در میدان مورد مطالعه داشته‌اند. از دیدگاه تأثیر بر کیفیت مخزنی، فرایندهای دیاژنزی می‌تواند در دو گروه ۱- فرایندهای با تأثیر مثبت شامل انحلال و شکستگی و ۲- فرایندهای با تأثیر منفی بر کیفیت مخزنی شامل سیمانی شدن و تراکم طبقه‌بندی گردند. نتایج نشان داد که تحت تأثیر ناهمگنی‌های حاصل از ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی، سازند فهلپان پیچیدگی زیادی در ویژگی‌های مخزنی و سیستم منافذ نشان می‌دهد.

۱- پیش‌نوشتار

تعیین توزیع ویژگی‌های سنگ‌نگاری در فضای سه‌بعدی مخزن و شناسایی روند تغییرات به صورت ناحیه‌ای، یکی از مهم‌ترین اهداف مطالعات جامع زمین‌شناسی مخزن است (Lucia, 2007; Ahr, 2008; Moore and Wade, 2013). سیستم منافذ در مخازن کربناته بر خلاف ماسه‌سنگ‌ها، تحت تأثیر ناهمگنی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی، در نوع و هندسه منافذ پیچیدگی‌های زیادی نشان می‌دهد (Skalinski and Kenter, 2015; Falahat and Farrokhnia, 2020). به ترکیب کانی‌شناسی اولیه (آراگونینی در مقابل کلسیتی)، اقلیم و آب و هوا، زمین‌ساخت و محیط دیاژنزی، توزیع و شدت تأثیر فرایندهای دیاژنزی متفاوت می‌باشد (Ehrenberg et al., 2007). مطالعات چینه‌نگاری سکانسی می‌تواند به منظور پیش‌بینی توزیع رخساره، فرایندهای دیاژنزی مرتبط به رخساره و بررسی و انطباق ویژگی‌های مخزنی در مقیاس محلی و ناحیه‌ای استفاده شود (Morad et al., 2012). Borgomano et al., 2020). سیستم منافذ و ناهمگنی‌های مرتبط با آن یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر جریان سیال، مقادیر تراوایی و نیز ویژگی‌های فیزیک سنگ (Rock Physic) به‌شمار می‌رود (Chehrizi et al., 2011).

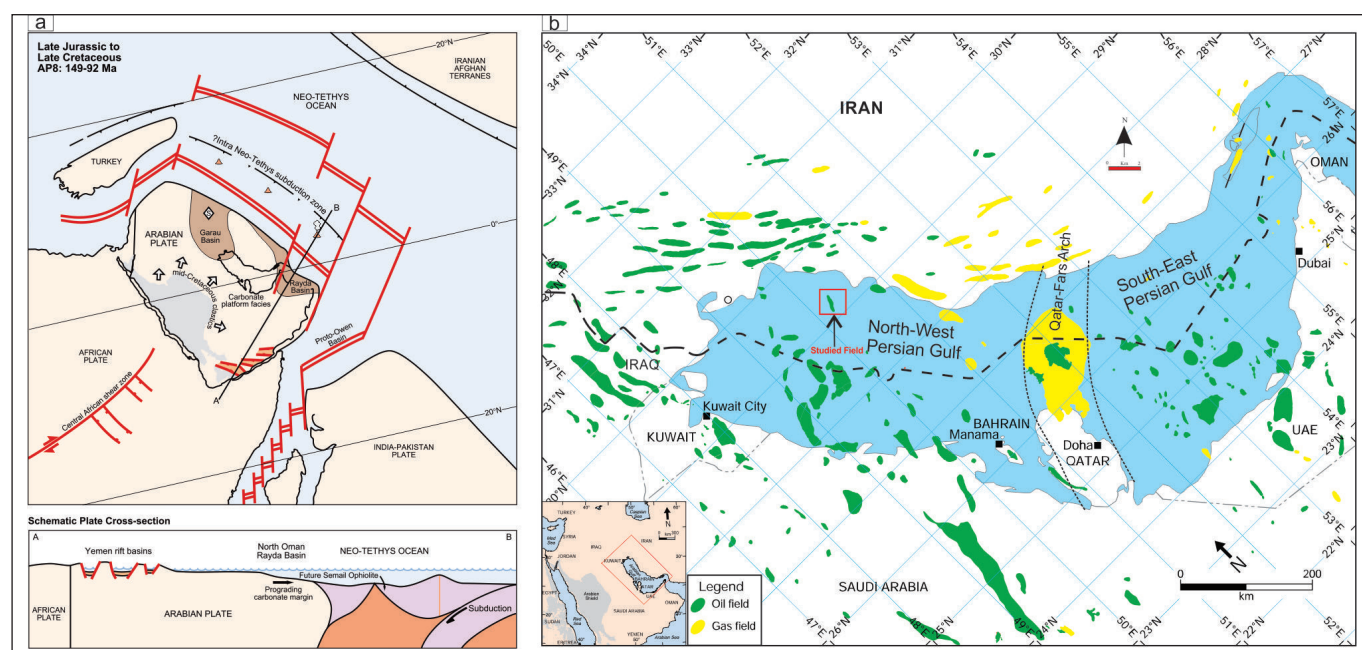
کربنات‌های سازند فهلپان با سن بریازین-والانژین، و معادل‌های آن از مهم‌ترین افق‌های مخزنی از نظر تولید نفت در میادین مختلف زاگرس، خلیج فارس و صفحه عربی می‌باشند (Sadooni, 1993; van-Buchem et al., 2006; Adabi et al., 2010; Jamalian et al., 2011; Chehrizi et al., 2011, 2013; Jamalian and Adabi, 2015; Noori et al., 2019; Hosseini et al., 2016, 2021; Esrafi Dizaji et al., 2020). به دلیل اهمیت مخزنی این سازند در خلیج فارس و به ویژه میادین واقع در بخش شمال باختری آن، ارزیابی جامع زمین‌شناسی مخزن سازند فهلپان، می‌تواند به شناخت بهتر رخساره‌های مخزنی و نیز زون‌های کارآمد بیانجامد. هدف اصلی این مطالعه بررسی رخساره‌ها، محیط رسوب‌گذاری، دیاژنز و بازسازی سکانس دیاژنزی، شناسایی سیستم منافذ و بررسی تأثیر پارامترهای کنترل‌کننده کیفیت مخزنی می‌باشد. به این منظور تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی و پتروفیزیکی شامل نتایج توصیف مغزه‌ها، مقاطع نازک میکروسکوپی، داده‌های تخلخل-تراوایی مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی استفاده شده است.

۲- زمین شناسی منطقه

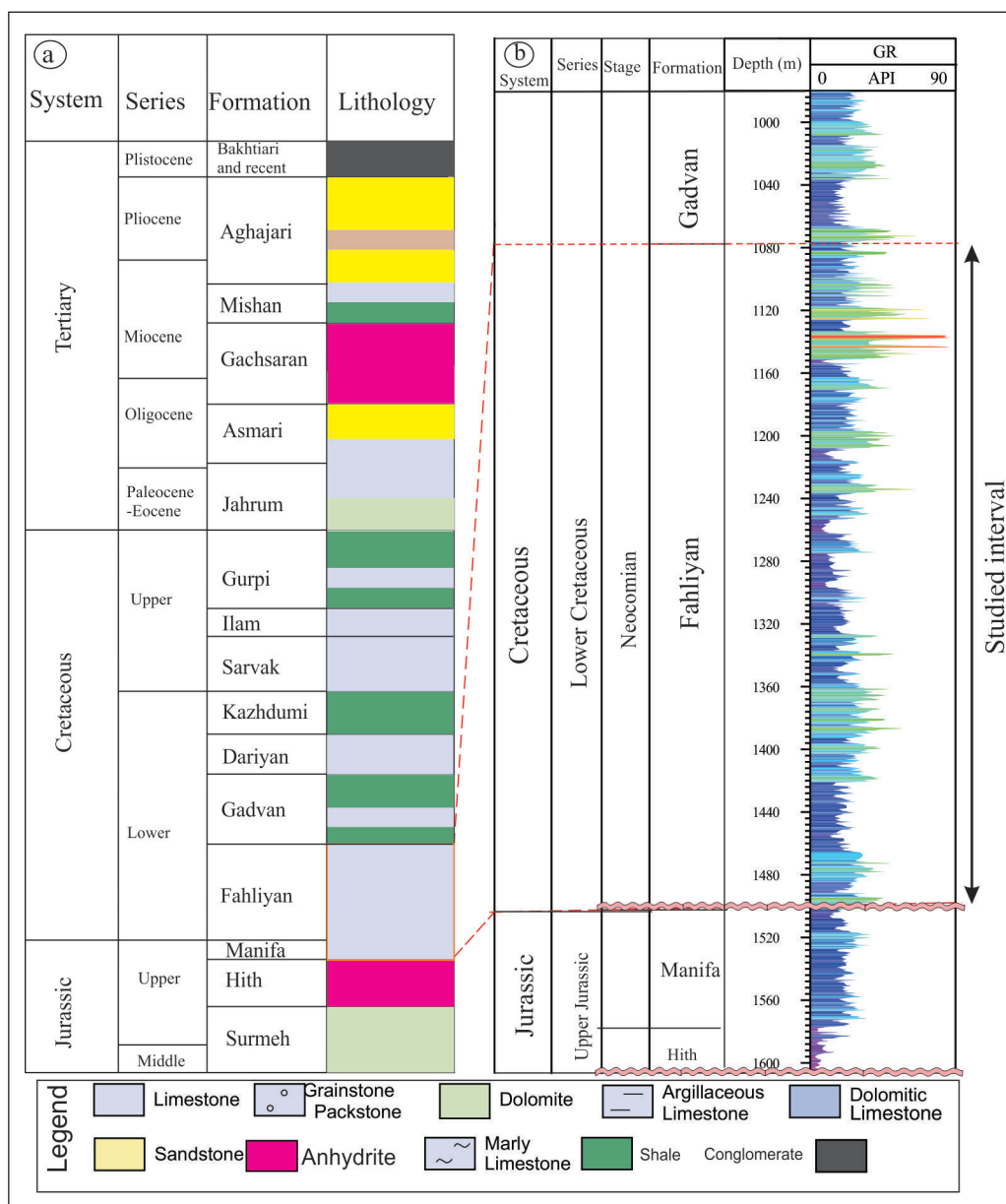
خلیج فارس به عنوان یکی از مهم ترین ایالت های هیدروکربنی دنیا به عنوان یک حوضه پیش بوم (فورلندی) حاشیه ای در بخش جنوب باختری زاگرس قرار گرفته است (Alavi, 2004; Pirouz et al., 2017). از زمان پرمین پسین تا انتهای کرتاسه، ناحیه خلیج فارس بخشی از حاشیه غیرفعال صفحه عربی بوده است (Sharland et al., 2001; Sepehr and Cosgrove, 2004). این حوضه توسط بلندای قطر-فارس (Qatar-Fars Arch) به دو بخش شمال باختری و جنوب خاوری تقسیم می شود. میدان مورد مطالعه در بخش شمال باختری خلیج فارس واقع است و روند تقریبی شمالی-جنوبی را نشان می دهد (شکل ۱-ب). سازند فهلان به عنوان یکی از سازندهای گروه خامی، در برش الگو با ستبرای ۳۶۵ متر در کوه دال واقع در نزدیکی روستای فهلان مطالعه شده است (James and Wynd, 1965). بررسی چینه شناسی ژوراسیک و کرتاسه خلیج فارس و نواحی مجاور نشان می دهد که در طی کرتاسه پیشین (بریاژین-والانژینین) یک پلاتفرم کربناته یکنواخت در تمام بخش های خلیج فارس توسعه داشته است. ستبرای سازند فهلان در بخش شمال باختری و جنوب خاوری خلیج فارس به حدود ۴۰۰ متر و در مقابل در محدوده بلندای قطر-فارس به کمتر از ۱۵۰ متر می رسد. این تغییرات ستبرا به دلیل تأثیر زمین ساخت در زمان کرتاسه زیرین بوده است (Setudehnia, 1978). بررسی ستون حفاری در میدان مورد بررسی، نشان می دهد که سازند فهلان ۴۰۰ متر ستبرا دارد و ژرف ترین سازند حفاری شده سازند سورمه است (شکل ۲-ا) در این میدان مخزن اصلی سازند فهلان است که معادل با بخشی از سازندهای یاماما-سولای (Yamama-Sulaiy)، میناگیش (Minagish) و هبشان (Habshan) در کشورهای مختلف حاشیه خلیج فارس است. در برش زیر سطحی مورد مطالعه، این سازند به صورت ناپیوسته بالای سازند منیفا و هیث قرار گرفته و توسط آهک های آرژیلیتی سازند گدوان پوشیده می شود (شکل ۲-ب). در میدان مورد مطالعه، یک توالی آهکی متخلخل (منیفا) با ستبرای حدود ۶۰ متر سازندهای فهلان و هیث را از هم جدا می کند که مرز سازند فهلان با آهک منیفا به عنوان مرز ژوراسیک-کرتاسه در نظر گرفته می شود.

۳- داده ها و روش مطالعه

با هدف بررسی ویژگی های مخزنی سازند فهلان در یکی از میادین شمال باختری خلیج فارس، تلفیق نتایج توصیف ۵۶۰ متر مغزه، سنگ نگاری ۸۵۴ مقطع نازک میکروسکوپی، ۶۴۸ داده تخلخل-تراوایی مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی مرسوم در ۴ چاه کلیدی (A-B-C-D) استفاده شده است. به منظور تعیین کانی شناسی (تفکیک کلسیت از دولومیت) تمام نمونه ها با محلول آلزاین قرمز (Alizarin red S) با استفاده از روش Dickson (1965) رنگ آمیزی شده اند. برای توصیف بافت رسوبی از روش Dunham (1962) استفاده شده است. در نهایت، برای آنالیز رخساره ها و نام گذاری، از مدل های استاندارد رخساره ای (Wilson, 1975; Burchette and Wright, 1992;) و مطالعات کلیدی انجام شده بر روی سازند فهلان در حوضه زاگرس و خلیج فارس (Jamalian and Adabi, 2015; Hosseini et al., 2016, 2021;) استفاده شده است. پس از شناسایی و معرفی رخساره ها، هندسه پلاتفرم بر اساس توزیع رخساره ها تفسیر گردیده است. به منظور بازسازی سکانس دیاژنزی و شناسایی زیرمحیط های مختلف دیاژنزی، توصیف مغزه ها و سنگ نگاری مقاطع نازک استفاده شد. با هدف ارزیابی بهتر سیستم منافذ و تفکیک تخلخل و انواع آن، به حدود ۸۰ مقطع نازک چسب اپوکسی آبی رنگ (Blue-Dyed Epoxy) تزریق گردید. انواع تخلخل شناسایی و فراوانی آنها به صورت چشمی در هر نمونه مشخص شد. از تقسیم بندی ژنتیکی Ahr (2008) به منظور ارزیابی ماهیت منافذ و تأثیر ویژگی های رخساره ای و دیاژنزی استفاده شده است. در این مطالعه با توجه به داده های در دسترس و سهولت بیشتر از مدل van Wagoner et al. (1990) و Vail (1991) استفاده شده است. در این روش، یک سکانس با شناسایی دو سطح کلیدی سکانسی (SB) (Sequence boundary) و حداکثر غرقابی (MFS) (Maximum flooding surface) مشخص و با دو سیستم تراکت پیشرونده (Transgressive system tract) (TST) و تراز بالا (HST) (Highstand system tract) معرفی می شود. شناسایی این سطوح کلیدی از طریق تلفیق نتایج مطالعات سنگ نگاری و دیاژنزی و نمودارهای پتروفیزیکی صورت گرفته است. در نهایت بر اساس پلات های تخلخل-تراوایی مغزه عوامل کنترل کننده رخساره ای و دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند فهلان مشخص شده است.



شکل ۱- نقشه جغرافیای دیرینه صفحه عربی و نواحی مجاور در طی زمان ژوراسیک بالایی-کرتاسه (Sharland et al., 2001). موقعیت میدان مورد مطالعه در بخش شمال باختری خلیج فارس مشخص گردیده است (Modified from Al-Husseini, 2007).



شکل ۲- (a) ستون حفاری چاه B در میدان مورد بررسی مشخص گردیده است. قدیمی ترین و جدیدترین سازندهای حفاری شده به ترتیب سازندهای سورمه و بختری است. (b) ستبرای سازند فهلپان و تغییرات آن بر اساس نمودار گاما مشخص شده است.

۴- رخساره ها و محیط رسوبی

بر اساس سنگ‌نگاری مقاطع نازک میکروسکوپی و توصیف مغزه‌ها، ۹ ریز رخساره در سازند فهلپان گردید. جلبک‌ها و خرده‌های آنها، دو کفه‌ای، جلبک سبز، مرجان، بریوزوئ، روزنبران کفزی، شکم‌پایان، اکتینودرم و اسپیکول اسفنج، اجزای اسکلتی مهم در رخساره‌های سازند فهلپان می‌باشند. اجزای غیراسکلتی عمده شامل آئیدها، پلوئیدها، اینتراکلت‌ها و آنکوئیدها هستند. در ادامه این ریز رخساره‌ها به صورت خلاصه توصیف و تفسیر شده‌اند.

۴-۱. دریای باز کم‌ژرفا

– **ریز رخساره مادستون-وگستون دارای اسپیکول اسفنج (MF-1)**
(Sponge spicule mudstone-wackestone): این ریز رخساره با فراوانی اسپیکول اسفنج با فراوانی حدود ۱۰ درصد و خرده‌های اکتینودرم با فراوانی حدود ۵ درصد مشخص می‌شود (شکل ۳-۵). فراوانی قطعات اکتینودرم و اسپیکول اسفنج همراه با وجود قطعات جلبک سبز، دو کفه‌ای، برخی از روزنبران کفزی و به صورت پراکنده

بلورهای پیریت، نشان می‌دهد که این ریز رخساره در زیر محیط دریای باز کم‌ژرفا نهشته شده است (Flügel, 2010).

– **ریز رخساره وگستون-پکستون اکتینودرم‌دار (MF-2)**
(Echinoderm wackestone-packstone): این ریز رخساره با ۱۵ درصد خرده‌های اکتینودرم و حضور اجزای اسکلتی حمل شده از قبیل روزنبران کفزی و جلبک سبز با فراوانی حدود ۸ درصد شناسایی می‌شود (شکل ۳-۵). توسعه فراوان خرده‌های اکتینودرم همراه با اسپیکول‌های اسفنج و نیز برخی از روزنبران کفزی حمل شده نشان می‌دهد که این ریز رخساره نیز در بخش کم‌ژرفای دریای باز نهشته شده است (Esraflizaji et al., 2020).

۴-۲. ریف‌های پراکنده و شول

– **ریز رخساره باندستون جلبکی-مرجانی (MF-3)**
(Algae-coral boundstone): این ریز رخساره با فراوانی ۲۰ درصد مرجان و ۱۵ درصد جلبک لیتوکودیوم (Lithocodium)

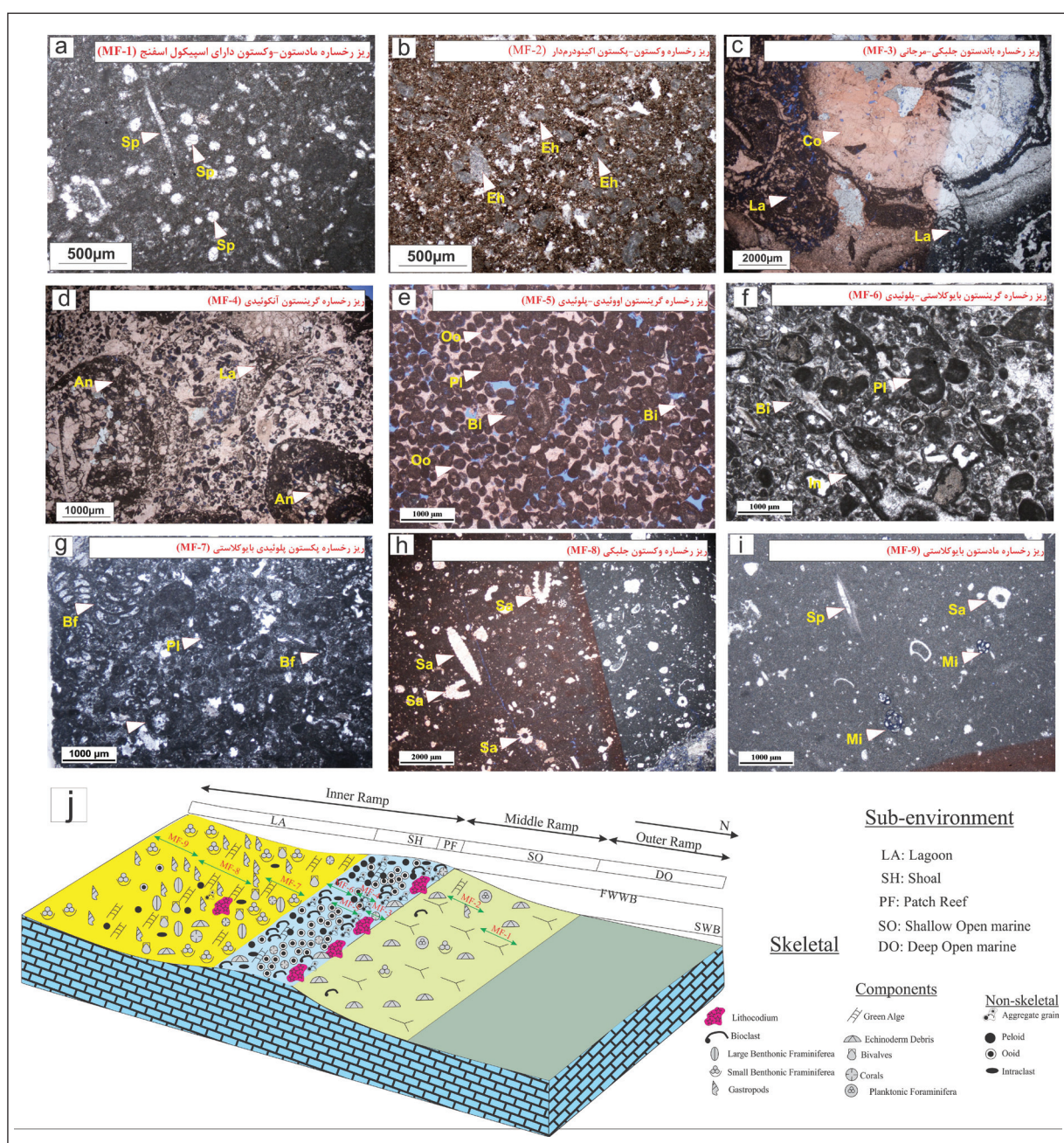
بخش رو به دریای آن تشکیل شده است (Esrafliz Dizaji et al., 2020).

– **ریز رخساره گریستون آنیدی – پلوئیدی (MF-5):** این ریز رخساره با فراوانی آنوئید با حدود ۲۰ درصد و پلوئید ۱۸ درصد و با جورشدگی بالا شناسایی می گردد (شکل ۳-ع). بر اساس اجزای سازنده، بافت و ریز رخساره های همراه، این رخساره در بخش های مرکزی تر شول نهشته شده است.

– **ریز رخساره گریستون بایو کلاستی – پلوئیدی (MF-6):** این ریز رخساره با فراوانی اجزای مختلف بایو کلاستی مانند دو کفه ای، جلبک سبز، شکم پایان و خرده های پلوئیدها با فراوانی حدود ۴۰ درصد مشخص می شود. بر اساس اجزای چیره و بافت دانه غالب گریستونی این ریز رخساره می تواند در بخش های پر انرژی شول و در بخش شول رو به خشکی نهشته شده باشد (Jamalian et al., 2011; Adabi et al., 2010).

و سایر اجزای اسکلتی شامل روزن بران کفزی، دو کفه ای و شکم پایان با فراوانی ۵ درصد در یک بافت بایندستونی مشخص می شود (شکل ۳-ع). اجزای غیر اسکلتی چیره، پلوئید و اینتراکلت می باشند. جلبک های لیتوکودیومی عموماً ریف های کومه ای را تشکیل می دهند و نمی توان آنها را به عنوان اجزای ریف ساز سدی در نظر گرفت (Flügel, 2010). ریف های کومه ای سازند فلهیان می تواند در حاشیه پلاتفرم و نیز محیط لاگون (Esrafliz Dizaji et al., 2020) مشاهده شوند.

– **ریز رخساره گریستون آنکوئیدی (MF-4):** اجزای اصلی این ریز رخساره جلبک لیتوکودیم و آنکوئید است که حدوداً ۳۶ درصد سنگ را تشکیل می دهد. اینتراکلت هم با حدود ۱۰ درصد از اجزای مهم دیگر در این رخساره است (شکل ۳-د). فراوانی آنکوئیدهای بزرگ با اندازه حدود ۱/۵ سانتی متر نشان می دهد که در یک محیط با گردش مناسب آب در حاشیه پلاتفرم و زیر محیط شول و در



شکل ۳- (a-i) تصاویر مقاطع نازک از ۹ ریز رخساره شناسایی شده در سازند فلهیان در میدان مورد مطالعه، (j) مدل رسوبی رمپ کریناته معرفی شده بر اساس توزیع رخساره ها مشخص گردیده است. علائم اختصاری، اسپیکول اسفنج (Sp)، اکتینودرم (Eh)، مرجان (Co)، جلبک لیتوکودیم (La)، آنکوئید (An)، آنوئید (Oo)، بایو کلاست (Bi)، اینتراکلت (In)، جلبک سالیینگوپورلا (Sa)، روزن بران کفزی (Bf)، دو کفه ای (Bv)، میلیوئید (Mi).

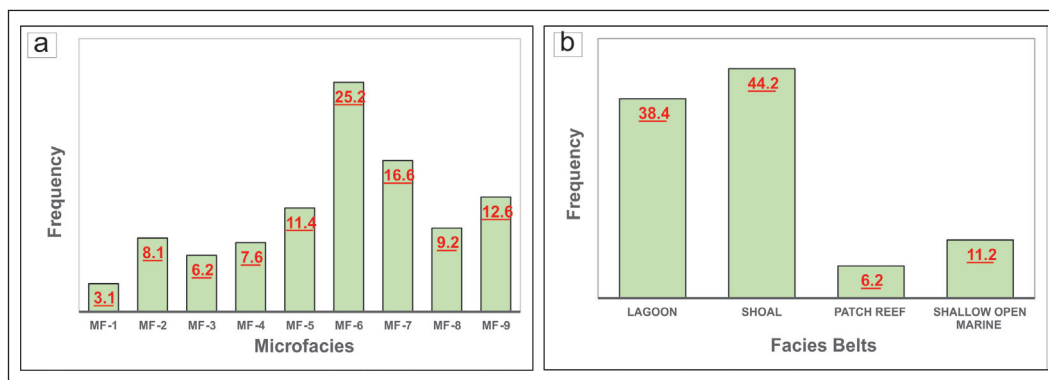
۳-۴. لاگون

حدود ۶ درصد در یک بافت رسوبی گل غالب مشخص می شود (شکل ۳-۱). زیست آشفتنگی مهم ترین ساخت رسوبی است و تنوع اندک فیسیلی همراه با بافت گل غالب نشان می دهد که در یک شرایط محدود و در شرایط با استرس بالای محیطی، نهشته شده اند (Flugel, 2010; Jamalian et al., 2011; Esrafi Dizaji et al., 2020). در این مطالعه یک پلاتفرم رمپ کربناته برای نهشت سازند فهلپان معرفی و توزیع ریز رخساره های مختلف نشان داده شده است (شکل ۳-۲). این تفسیر بر اساس عدم توسعه رخساره های ریف ساز با ایجاد یک لبه و سد پیوسته در حاشیه پلاتفرم، عدم وجود رخساره های دوباره رسوب گذاری شده توسط توفان (Reworking by Storms) و فراوانی زیاد رخساره های گریستونی تفسیر گردیده است. در مطالعات کلیدی پیشین (Adabi et al., 2010; Jamalian et al., 2010; Noori et al., 2019; Hosseini et al., 2021) نیز نهشت سازند فهلپان در یک پلاتفرم رمپ کربناته در نظر گرفته شده بود. بررسی فراوانی ریز رخساره ها و کمربندهای رخساره ای، نشان می دهد که ریز رخساره های مرتبط با زیر محیط شول و لاگون بیشترین فراوانی و در مقابل زیر محیط ریف های پراکنده کمترین گسترش و فراوانی را دارد. به عبارت دیگر، سازند فهلپان در میدان مورد مطالعه عمدتاً در بخش های داخلی یک رمپ کربناته نهشته شده است (شکل ۴).

– **ریز رخساره پکستون پلوئیدی بایوکلستی (MF-7):** اجزای اسکلتی چیره در این ریز رخساره دو کفه ای ها، روزن بران کفزی، شکم پایان، اسپیکول اسفنج و جلبک سبز با فراوانی حدود ۳۰ درصد هستند که در یک بافت پکستونی قرار گرفته اند (شکل ۳-۳). پلوئیدها به عنوان مهم ترین اجزای غیر اسکلتی بوده و بر اساس اجزای چیره اسکلتی، زیر محیط لاگون برای نهشته شدن این ریز رخساره در نظر گرفته می شود (Adabi et al., 2010; Jamalian et al., 2011; Noori et al., 2019).

– **ریز رخساره وکستون جلبکی (MF-8):** جلبک های سبز به ویژه سالپینگوپورلا (*Salpingoporella* sp.) و لیتوکودیم با فراوانی حدود ۲۰ درصد اجزای اصلی این ریز رخساره می باشند. سایر اجزای اسکلتی شکم پایان و دو کفه ای ها همراه با روزن بران کفزی مختلف مانند میلیولید، تروکولینا (*Trocholina* sp.) و سودوساکلامینا لیتوس (*Pseudocyclammina lituus*) می باشد (شکل ۳-۴). نوع قطعات و دانه های رسوبی مانند جلبک سبز، شکم پایان و روزن بران کفزی در کنار بافت گل غالب نشان می دهد که این رخساره به احتمال زیاد در یک محیط لاگونی نهشته شده است (Jamalian et al., 2011; Noori et al., 2019; Hosseini et al., 2021).

– **ریز رخساره مادستون بایوکلستی (MF-9):** این رخساره توسط پراکندگی روزن بران کفزی کوچک از قبیل میلیولید و اسپیکول اسفنج با فراوانی



شکل ۴- فراوانی ریز رخساره ها (a) و مجموعه های رخساره ای (b) در سازند فهلپان در میدان مورد مطالعه نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که رخساره های مرتبط با زیر محیط شول و لاگون بیشترین فراوانی را نشان می دهند.

۵- دیاژنز و پیشینه دیاژنز

سازند فهلپان به عنوان یک توالی کربناته با سنگ شناسی عمدتاً آهکی، پس از نهشته شدن تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی میکربیتی شدن، زیست آشفتنگی، تبلور مجدد و پایداری کانی شناسی، دولومیتی شدن، پیریتی شدن، سیلیسی شدن، انحلال، تراکم فیزیکی و شیمیایی، سیمانی شدن و شکستگی قرار گرفته اند (شکل ۵-۱). به دلیل گستردگی بحث دیاژنز از شرح فرایندهای میکربیتی شدن، زیست آشفتنگی، تبلور مجدد، دولومیتی شدن و دولومیت زدایی، پیریتی شدن و شکل گیری کوارتزهای درجا زاصرف نظر و تنها تصاویر مقاطع نازک و مغزه از این فرایندها ارائه می گردد (شکل ۵). در مقابل فرایندهای انحلال، سیمانی شدن، تراکم و شکستگی، به دلیل تأثیر عمده بر سیستم منافذ و ویژگی های مخزنی به صورت خلاصه در زیر توصیف شده اند.

– **انحلال:** انحلال مهم ترین فرایند بهبود دهنده کیفیت مخزنی و عامل تشکیل منافذ دیاژنزی شامل تخلخل های قالبی، حفره ای و تخلخل های بین دانه ای انحلالی بوده است (شکل ۵-۲). اجزای اسکلتی از قبیل جلبک ها، دو کفه ای ها و روزن بران کفزی به دلیل آراگونیتی بودن تحت تأثیر انحلال زیادی قرار گرفته اند.

– **تراکم:** این فرایند دیاژنزی به دو صورت فیزیکی و شیمیایی، کربنات های سازند

فهلپان را تحت تأثیر قرار داده است. تراکم فیزیکی با خردشدگی مکانیکی ذرات و دگرشکلی اجزای بایوکلستی به روزن بران کفزی، جلبک های سبز، دو کفه ای ها و اریزه های اکینودرمی شناسایی می شود (شکل ۵-۳). در مقابل، در طی تراکم شیمیایی استیلولیت ها به صورت دندانه دندانه و طول موج بالا مشاهده می شود (شکل ۵-۴). تراکم شیمیایی عمدتاً محدود به رخساره های گل غالب مادستونی-وکستونی بوده است. فرایند تراکم فیزیکی با توجه به گستردگی رخساره های دانه غالب در سازند فهلپان تأثیر بیشتری در کاهش کیفیت مخزنی داشته است.

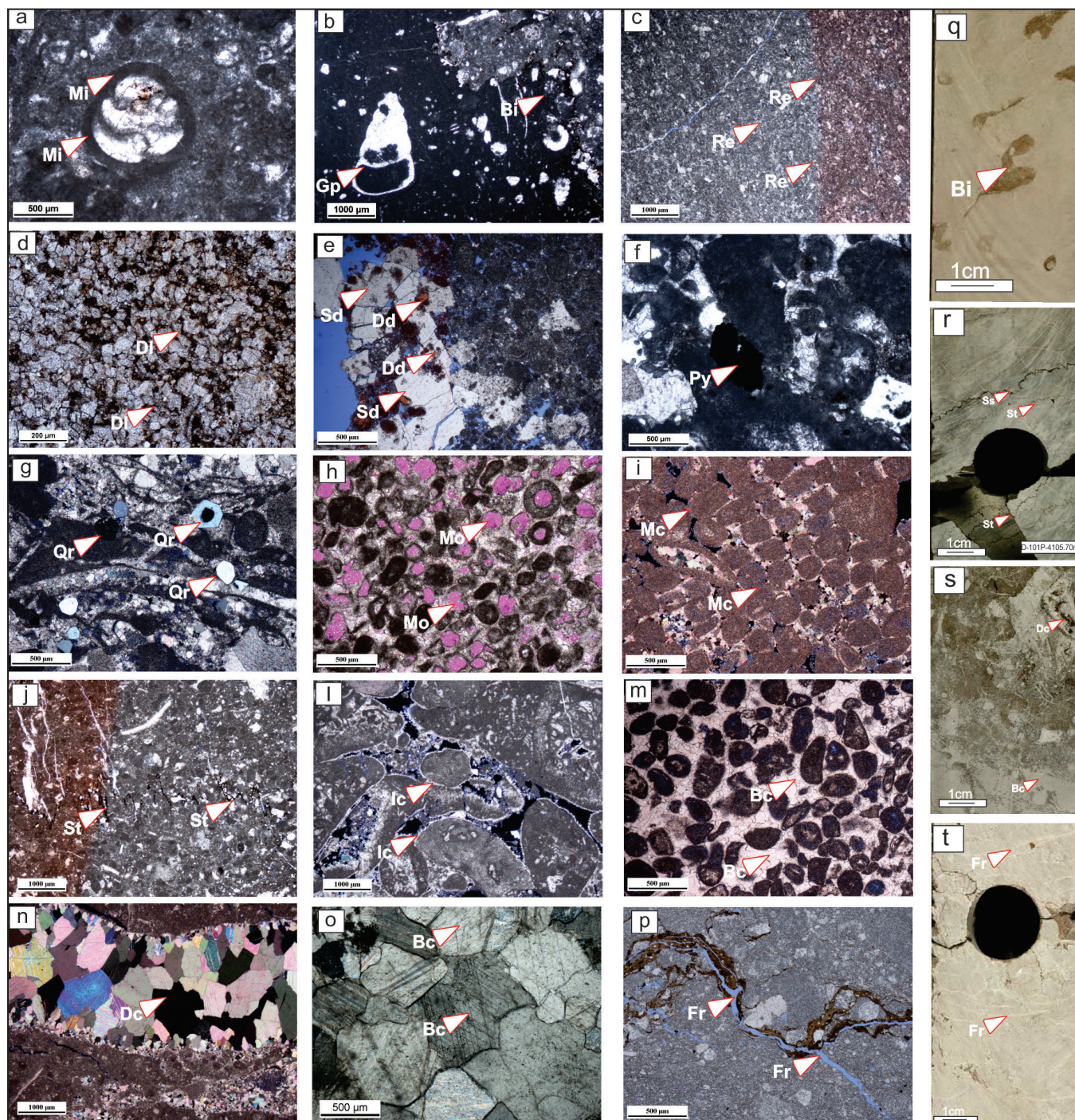
– **سیمانی شدن:** سیمانی شدن مهم ترین فرایند کاهش تخلخل-تراوایی در سازند فهلپان می باشد. سیمان های کربناته شناسایی شده به صورت هم ستیرا (Isopachous)، هم بعد (Equant)، دروزی (Drusy) و بلوکی (Blocky) می باشند. بررسی سیمان ها بر اساس مطالعات سنگ نگاری، نشان می دهد که انواع دریاپی و جوی بیشترین تأثیر را بر سیستم منافذ و ویژگی های مخزنی داشته اند (شکل ۵-۵). (Jamalian et al., 2011; Noori et al., 2019; Hosseini et al., 2021).

– **شکستگی:** شکستگی ها در سازند فهلپان در توصیف مغزه ها و مطالعات سنگ نگاری با شیب متفاوت، به صورت افقی و عمودی، باز، پر شده و نیمه پر شده قابل شناسایی

مرتبط با محیط جوی، انحلال، سیمان‌های جوی فریاتیکی و آب شیرین، پایداری کانی‌شناسی و شکل‌گیری بلورهای لوزی وجهی دولومیت است. پس از نهشته شدن و تحمل دیاژنز جوی، کربنات‌های سازند فهلپان تحت تأثیر دیاژنز تدفینی کم‌زرفا و ژرف قرار گرفته‌اند. فرایندهای مرتبط با این قلمرو دیاژنری تراکم شیمیایی و توسعه استیلولیت‌ها، برخی از اشکال سیمان به ویژه انواع بلوکی با رخ مشخص، دولومیت‌های مرتبط با استیلولیت‌ها و انواع زین آسی، دولومیت‌زدایی، پیریت‌های مکعبی، شکل‌گیری کوارتزهای درج‌ازا و رخداد شکستگی‌ها است.

می‌باشند. بخش عمده شکستگی‌های باز با سیمان کلسیتی عمدتاً مرتبط با محیط دیاژنری تدفینی پر شده است (شکل ۵-۵، p, t).

بر اساس نتایج توصیف مغزه‌ها، مطالعات سنگ‌نگاری و روابط بافتی، فرایندهای دیاژنری شناسایی شده در سازند فهلپان می‌تواند در سه محیط دریایی، جوی و تدفینی تفسیر شود. در طی دیاژنز دریایی فرایندهای میکرایتی شدن اجزای اسکلتی و غیراسکلتی، زیست آشفتنگی و توسعه سیمان‌های دریایی با فابریک هم‌ستبر، به عنوان فرایندهای دیاژنری اولیه تفسیر شده‌اند. مهم‌ترین فرایندهای دیاژنری

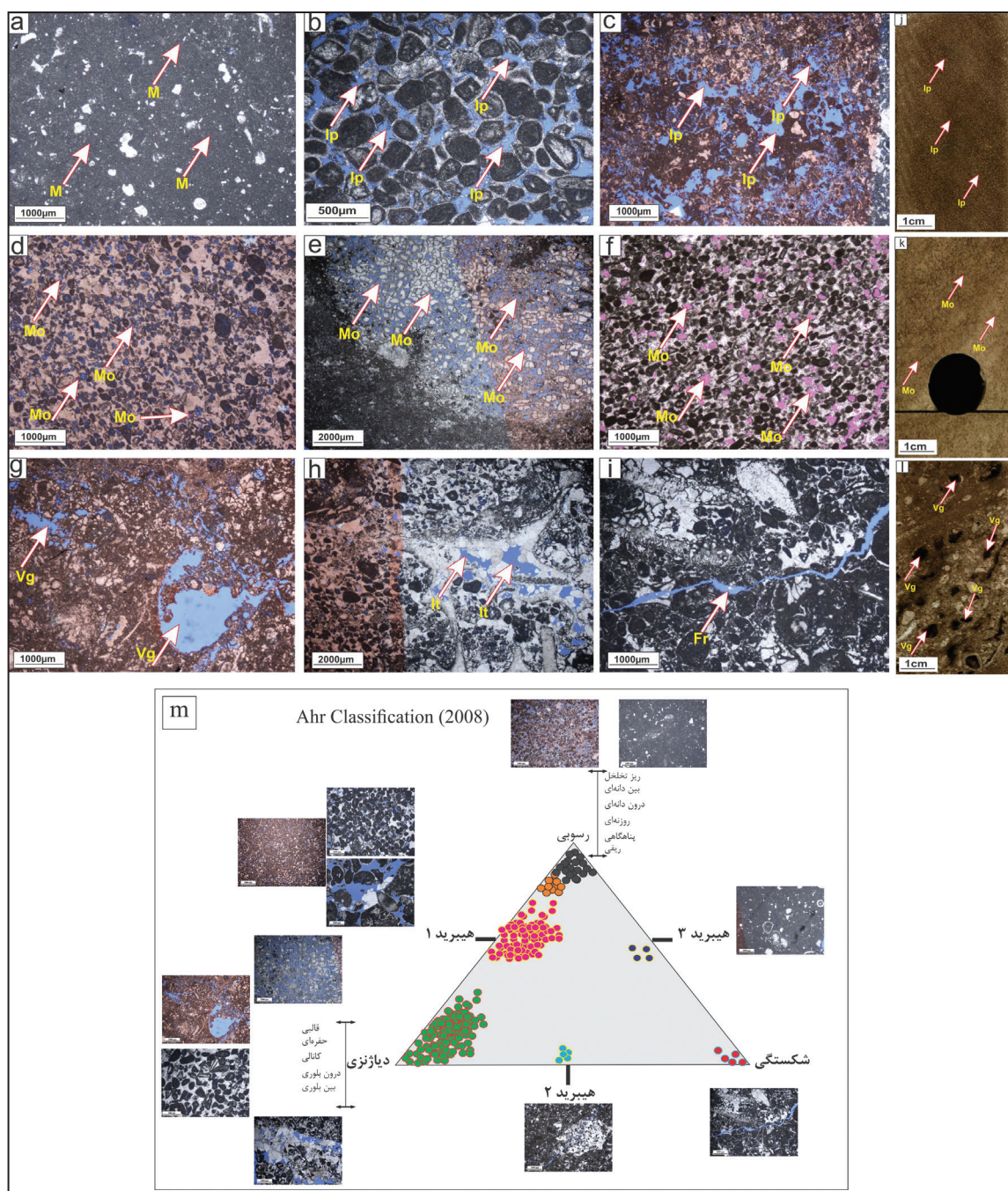


شکل ۵- تصاویر مقاطع نازک و مغزه از انواع فرایندهای دیاژنری شناسایی شده در سازند فهلپان. (a) میکرایتی شدن (Mi)، (b, q) فابریک ژئوبیتال (Gp) و زیست آشفتنگی (Bi)، (c) تبلور مجدد (Re)، (d) دولومیتی شدن (Di)، (e) دولومیت زین آسی (Sd) و دولومیت زدایی (Dd)، (f) پیریتی شدن (Py)، (g) کوارتز آتونیکی (Qr)، (h) تخلخل قالبی (Mo)، (i) تراکم فیزیکی (Mc)، (j, r) استیلولیتی شدن (St)، (l) سیمان هم‌ضخامت (Ic)، (m) سیمان هم بعد (Bc)، (n) سیمان دروزی (Dc)، (o, s) سیمان بلوکی (Bc)، (p, t) شکستگی (Fr).

۶- سیستم منافذ

ریز تخلخل‌ها و در مقابل منافذ حفره‌ای و قالبی در گروه دیاژنزی و نیز شکستگی‌ها به عنوان یک گروه منافذ مجزا در نظر گرفته می‌شوند. در مخازن کربناته به دلیل تأثیر عمده ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی بر سیستم منافذ و ناهمگنی‌ها، منافذ ترکیبی به ویژه انواع رخساره‌ای-دیاژنزی نیز مشاهده می‌شوند. در سازند فهلیان تخلخل‌های دیاژنزی، رسوبی و ترکیبی دیاژنزی-رسوبی بیشترین اهمیت را دارند. این توزیع ژنتیکی منافذ، اهمیت فرایندهای دیاژنزی را بر شکل‌گیری سیستم منافذ و ویژگی‌های مخزنی نشان می‌دهد. تخلخل‌های ترکیبی دیاژنزی-رسوبی به دلیل انحلال‌های گسترده سبب شکل‌گیری تخلخل‌های بین دانه‌ای عمده‌ای گردیده است که نقش مهمی در بهبود خواص مخزنی سازند فهلیان در میدان مورد مطالعه داشته است.

مطالعه سیستم منافذ بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری و توصیف مغزه‌ها، به شناسایی انواع منافذ شامل ریز تخلخل، بین دانه‌ای، قالبی، حفره‌ای-درون بلوری و شکستگی انجامید (شکل ۶-۱a). فراوانی منافذ به صورت چشمی در مقاطع نازک مورد بررسی در سازند فهلیان نشان می‌دهد که تخلخل‌های قالبی و ریز تخلخل‌ها بیشترین فراوانی را دارند. تخلخل‌های قالبی و ریز تخلخل‌ها به ترتیب در رخساره‌های دانه غالب و گل غالب بیشترین گسترش را دارند. با هدف درک بهتر سیستم منافذ از دیدگاه ژنتیکی، به صورت شماتیک توزیع سیستم منافذ بر اساس طبقه‌بندی (Ahr, 2008) نشان داده شده است (شکل ۶-m). در این روش تقسیم‌بندی، سیستم منافذ به ترتیب انواع مرتبط با دیاژنزی، رسوبی و شکستگی تقسیم می‌شود. منافذ رسوبی شامل بین دانه‌ای و



شکل ۶- تصاویر مقاطع نازک (a, b, c, d, e, f, g, h, i) و مغزه (j, k, l) از انواع مختلف منافذ در سازند فهلیان. (a) ریز تخلخل (M)، (b, c, j, l) بین دانه‌ای بزرگ شده توسط انحلال (Ip)، (d, e, f, k, l) قالبی (Mo)، (g, h) حفره‌ای (Vg)، (h) درون بلوری (It)، شکستگی (Fr)، (m) تقسیم‌بندی سیستم منافذ در سازند فهلیان بر مبنای ماهیت ژنتیکی (Ahr, 2008).

۷- چینه‌نگاری سکانسی

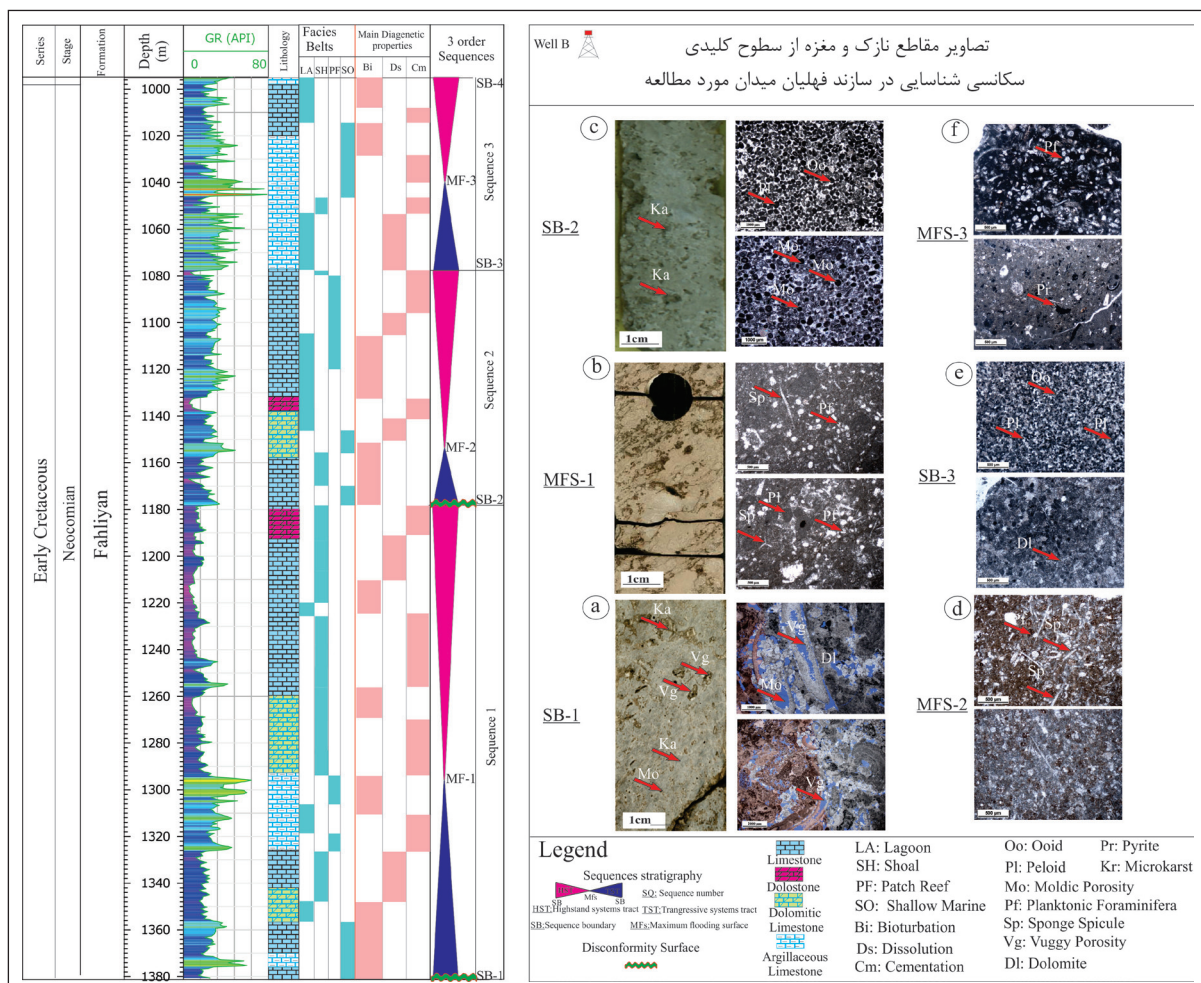
شواهدی از ناپوستگی مشخص می‌گردد (شکل ۷-۷a). سطوح حداکثر غرقابی این سکانس با توسعه رخساره‌های مادستونی-و کستونی دارای اکتینودرم، اسپیکول اسفنج و روزن‌بران کفزی مشخص می‌شود (شکل ۷-۷b).

سکانس ۲: این سکانس با ستبرای حدود ۱۰۰ متر بخش میانی سازند فلهیان را شامل می‌دهد. سیستم تراکت پیشرونده این سکانس حدود ۳۵ متر و سیستم تراکت تراز بالا حدود ۶۵ متر ستبرای دارد. مرز سکانسی قاعده این سکانس با شواهدی از رخداد ناپوستگی ریز کارست‌ها (شکل ۷-۷c) و سطح حداکثر غرقابی مرتبط با رخساره‌های دریای باز کم ژرفا مشخص می‌شود (شکل ۷-۷d). مرز سکانسی بالایی توسط سطوح پیوستگی‌های قابل انطباق مشخص می‌گردد (شکل ۷-۷e). بر خلاف سکانس ۱، سکانس ۲ با فراوانی عمده رخساره‌های لاگونی و به میزان کمتر دریای باز مشخص می‌شود.

سکانس ۳: این سکانس با ستبرای حدود ۸۰ متر محدود به بخش بالایی سازند فلهیان می‌شود و سیستم تراکت پیشرونده حدود ۳۵ متر و سیستم تراکت تراز بالا حدود ۶۵ متر ستبرای دارد. هر دو مرز محدود از نوع مرزهای سکانسی نوع ۲ و منطبق بر پیوستگی‌های قابل انطباق می‌باشد. سطح حداکثر غرقابی منطبق بر یک توالی با گامای بالا می‌باشد (شکل ۷-۷f). بررسی و شناسایی این سکانس منحصر بر اساس نتایج بررسی خرده‌های حفاری صورت گرفته است. عموماً سکانس ۳ سازند فلهیان با توسعه عمده رخساره‌های گل غالب و فراوانی آهک‌های آرزلیتی مشخص می‌شود.

چارچوب چینه‌شناسی سکانسی کربنات‌های سازند فلهیان با استفاده از نتایج الگوی تغییرات قائم رخساره‌ای، نوع رخساره‌ها و محیط رسوب‌گذاری معین و ۳ سکانس رده سوم شناسایی گردید. عموماً سیستم تراکت پیشرونده (TST) با توسعه رخساره‌های لاگونی و دریای باز مشخص می‌شود که ژرف‌ترین رخساره‌ها منطبق بر سطوح حداکثر غرقابی هستند. در مقابل، سیستم تراکت تراز بالا (SB) بیشتر با توسعه رخساره‌های گریستونی شول مشخص می‌شود. تصاویر مغزه و مقاطع نازک از مرزهای سکانسی و سطوح حداکثر غرقابی شناسایی شده نشان داده شده است. در ارتباط با مرزهای سکانسی معرفی شده در سازند فلهیان، ذکر این نکته ضروری است که تنها مرز قاعده‌ای و رأس سکانس ۱ از نوع رخنمون تحت الجوی (SB Type 1) می‌باشد و بقیه سطوح کلیدی مرز سکانسی از نوع پیوستگی‌های قابل انطباق (SB type 2) می‌باشند.

سکانس ۱: این سکانس با ستبرای حدود ۲۲۰ متر بخش پایینی سازند فلهیان را شامل می‌دهد. سیستم تراکت پیشرونده این سکانس حدود ۸۵ متر و سیستم تراکت تراز بالا حدود ۱۳۵ متر ستبرای دارد. این سکانس توسط توسعه عمده رخساره‌های گریستونی مشخص می‌گردد. مرز سکانسی قاعده آن با ناپوستگی مرز کوتاه-ژوراسیک (مرز سازند فلهیان و کربنات‌های استروماتولیتی منیفا) به صورت ناپوسته و مرز بالایی به با شواهدی از کارستی شدن و توسعه تخلخل‌های قالبی مشخص می‌شود. به عبارت دیگر هر دو مرز سکانسی قاعده و رأس این سکانس از نوع ۱ و با

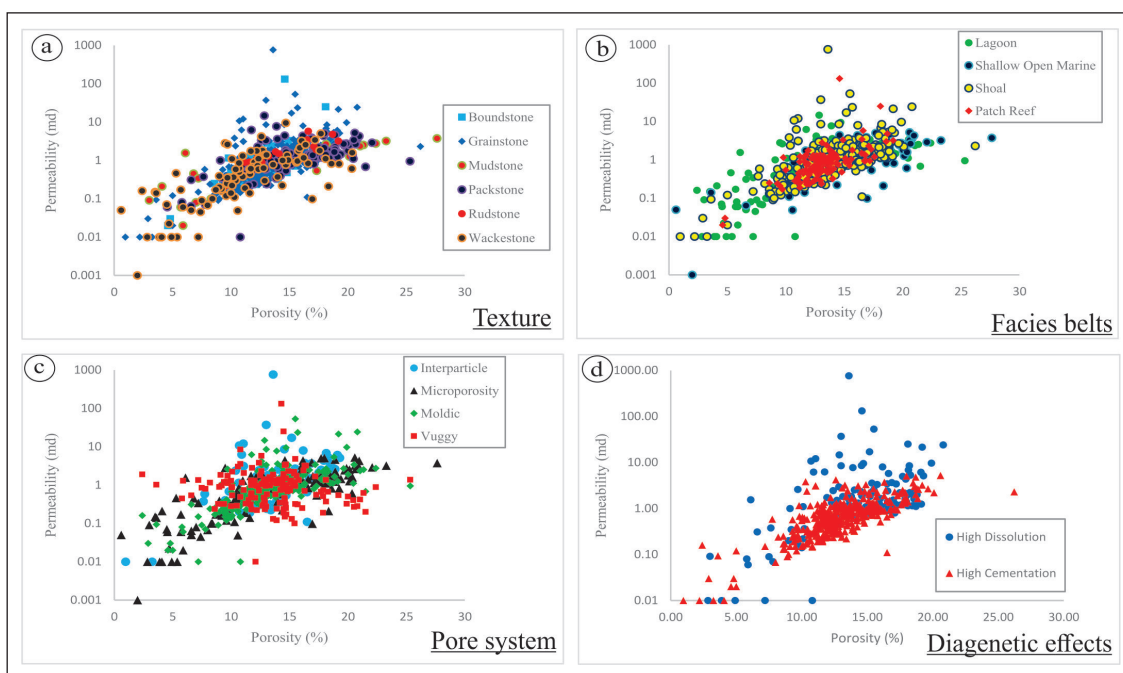


شکل ۷- توزیع ویژگی‌های رخساره‌ای -دیاژنی در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی چاه کلیدی B نشان داده شده است. تصاویر مقاطع نازک و مغزه از مرزهای کلیدی سکانسی و سطوح حداکثر غرقابی شناسایی شده (SB-MFS)، برای درک بهتر سکانس‌های سازند فلهیان در میدان مورد مطالعه نشان داده شده است. مرزهای سکانسی SB-1 و SB-2 شواهدی از ناپوستگی و توسعه ریز کارست‌ها نشان می‌دهند.

۸- کیفیت مخزنی

رخساره‌های مخزنی سازند فهلپان، مشاهده می‌شود که تخلخل‌های بین دانه‌ای در مقایسه با انواع حفره‌ای و ریز تخلخل‌ها، کیفیت مخزنی بالاتری دارند (شکل ۸-۸). حفرات قالبی با وجود تخلخل بالا به دلیل عدم ارتباط مناسب سیستم منافذ، مقادیر تراوایی پایینی نشان می‌دهند. در ارتباط با تأثیر فرایندهای دیاژنزی، بر سیستم منافذ و ویژگی‌های مخزنی، مشاهده می‌شود که انحلال و سیمانی شدن، به ترتیب بیشترین تأثیر را بر توزیع تخلخل-تراوایی اعمال نموده‌اند (شکل ۸-۸d). در این ارتباط بهترین زون‌های مخزنی سازند فهلپان، منطبق بر توالی‌های با انحلال بالا می‌باشد. نتایج ارزیابی کیفیت مخزنی نشان می‌دهد که توزیع تخلخل-تراوایی توسط هر دو پارامتر رخساره‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی کنترل شده است. با این وجود سهم دیاژنز در کیفیت مخزنی قابل ملاحظه بوده است و حتی تخلخل‌های بین دانه‌ای نیز تحت تأثیر انحلال بخشی قرار گرفته‌اند. به عبارت دیگر، اگرچه ژنز و ماهیت شکل‌گیری این تخلخل‌ها در ارتباط با محیط رسوب‌گذاری بوده است، ولی بخشی از کیفیت مخزنی خوب آنها متأثر از دیاژنز است.

عموماً پس از مطالعات دقیق رخساره‌ای و دیاژنزی و بررسی سیستم منافذ، به منظور بررسی تأثیر این پارامترها بر کیفیت مخزنی، از پلات‌های تخلخل در برابر تراوایی استفاده می‌شود. تأثیر بافت، محیط رسوبی، سیستم منافذ و فرایندهای دیاژنزی بر توزیع تخلخل-تراوایی سازند فهلپان در میدان مورد مطالعه در شکل ۷ بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که عموماً رخساره‌های دانه غالب گریستونی-رودستونی در مقایسه با وکستون و مادستون‌های گل غالب مقادیر تخلخل-تراوایی بالاتری را نشان می‌دهند (شکل ۸-۸a). با توجه به شرایط زمین‌ساختی پایدار در زمان نهشت سازند فهلپان و انرژی نسبتاً بالای محیط رسوب‌گذاری، رخساره‌های گریستونی بیشترین فراوانی را نشان می‌دهند و به عنوان زون‌های مخزنی کارآمد در تولید نفت در نظر گرفته می‌شوند. توزیع تخلخل-تراوایی در زیرمحیط‌های رسوبی مختلف شامل لاگون، شول، ریف‌های پراکنده و بخش کم‌ژرفای دریای باز نشان می‌دهد که رخساره‌های زیرمحیط شول به دلیل توسعه گریستون‌ها مقادیر تخلخل-تراوایی بالاتری را نشان می‌دهند (شکل ۸-۸b). در ارتباط با تأثیر سیستم منافذ در انواع



شکل ۸- توزیع تخلخل تراوایی بر اساس تغییرات بافت رسوبی (a)، زیرمحیط‌های رسوبی (b)، سیستم منافذ (c) و تأثیر فرایندهای دیاژنزی انحلال و سیمانی شدن (d)، در سازند فهلپان میدان مورد مطالعه نشان می‌دهد که تأثیر ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی کیفیت مخزنی را کنترل کرده‌اند.

۹- نتیجه‌گیری

شدن و انحلال با گستردگی زیاد در مخزن به ترتیب با بیشترین تأثیر منفی و مثبت بر ویژگی‌های مخزنی شناخته می‌شوند. - بررسی سیستم منافذ منجر به شناسایی انواع تخلخل شامل ریز تخلخل، بین دانه‌ای، قالبی، حفره‌ای-درون بلوری و شکستگی گردید. فراوانی منافذ نشان می‌دهد که تخلخل‌های قالبی و ریز تخلخل‌ها بیشترین فراوانی را دارند. با هدف درک بهتر سیستم منافذ از دیدگاه ژنتیکی، به صورت شماتیک توزیع سیستم منافذ بررسی و مشخص گردید که تخلخل‌های دیاژنزی، رسوبی و ترکیبی دیاژنزی-رسوبی بیشترین اهمیت را دارند. - از دیدگاه چینه‌نگاری سکانسی، سازند فهلپان می‌تواند به سه سکانس رده سوم تقسیم شود. تنها مرزهای محدود کننده سکانس ۱ از نوع مرزهای فرسایشی

ارزیابی کیفیت مخزنی سازند فهلپان در یکی از میادین نفتی واقع در شمال باختری خلیج فارس، منجر به نتایج زیر گردید: - سازند فهلپان به عنوان یک توالی کربناته با سنگ‌شناسی عمدتاً آهکی، در یک محیط رمپ کربناته و در بخش‌های داخلی آن نهشته شده است. مطالعات رخساره‌ای به شناسایی ۹ ریز رخساره در زیر محیط‌های لاگون، شول، ریف‌های پراکنده و بخش کم‌ژرفای دریای باز انجامید. - فرایندهای دیاژنزی میکرایتی شدن، زیست آشفستگی، تبلور مجدد، انحلال، سیمانی‌شدن، پیریتی شدن، سیلیسی شدن، دولومیتی شدن و شکستگی کربنات‌های سازند فهلپان را پس از نهشته شدن تحت تأثیر قرار داده است. فرایندهای سیمانی

زیادی ناهمگنی ایجاد نموده‌اند. زون‌های با انحلال بالا به عنوان بهترین زون‌های مخزنی بیشترین گسترش را در رخساره‌های دانه غالب نشان می‌دهند. تخلخل‌های بین دانه‌ای به دلیل ماهیت پتروفیزیکی دارای رابطه تقریباً مستقیم تخلخل-تراوایی هستند. در مقابل تخلخل‌های قالبی با وجود تخلخل بالا، به دلیل غیر مرتبط بودن گلوگاه‌های تخلخل، تراوایی پایینی نشان می‌دهند.

بوده است. بهترین سکانس از نظر ویژگی‌های مخزنی سکانس ۱ با توسعه عمده رخساره‌های گریستونی و مرتبط با زیر محیط شول می‌باشد. در مقابل سکانس‌های ۲ و ۳ از نظر ویژگی‌های مخزنی ضعیف می‌باشند. -ارزیابی کیفیت مخزنی نشان داد که، رخساره‌های دانه غالب خواص مخزنی بهتری نشان می‌دهند. با این وجود فرایندهای دیانرژی به ویژه انحلال و سیمانی شدن تا حدود

References

- Adabi, M. H., Salehi, M. A., and Ghabeishavi, A., 2010- Depositional environment, sequence stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Formation), south-west Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39(3), 148-160. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2010.03.011>.
- Ahr, W., 2008- *Geology of carbonate reservoirs: the identification, description and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks*. Wiley, New York, 296 p. DOI:10.1002/9780470370650.
- Alavi, M. 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American journal of Science*, 304(1), 1-20. DOI: <https://doi.org/10.2475/ajs.304.1.1>.
- Al-Husseini, M. I. 2007- Iran's crude oil reserves and production. *GeoArabia*, 12(2), 69-94. <https://pubs.geoscienceworld.org/geoarabia/article/12/2/69/567100/Iran-s-crude-oil-reserves-and-production>.
- Assadi, A., Rahimpour-Bonab, H., and Kadkhodaie-Ilkhchi, R., 2018- Integrated rock typing of the grainstone facies in a sequence framework: a case from the Jurassic Arab formation in the Persian Gulf. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 92(4), 1432-1450. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13636>.
- Borgomano, J., Lanteaume, C., Leonide, P., Fournier, F., Montaggioni, L. F., and Masse, J. P., 2020- Quantitative carbonate sequence stratigraphy: Insights from stratigraphic forward models. *AAPG Bulletin*, 104(5), 1115-1142. <https://doi.org/10.1306/11111917396>.
- Burchette, T. P., and Wright, V. P., 1992- Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary geology*, 79(1-4), 3-57. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-A](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-A).
- Chehrizi, A., Rahimpour-Bonab, H., and Rezaee, M. R., 2013- Seismic data conditioning and neural network-based attribute selection for enhanced fault detection. *Petroleum Geoscience*, 19(2), 169-183. <https://www.earthdoc.org/content/journals/10.1144/petgeo2011-001>.
- 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. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/8/2/008>.
- Dickson, J. A. D., 1965- A modified staining technique for carbonates in thin section. *Nature*, 205, 587-587. <https://www.nature.com/articles/205587a0>.
- Dunham, R.J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E. (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, vol. 1. AAPG Mem, pp. 108-121. <https://archives.datapages.com/data/specpubs/carbona2/data/a038/a038/0001/0100/0108.htm>
- Ehrenberg, S. N., Nadeau, P. H., and Aqrabi, A. A. M., 2007- A comparison of Khuff and Arab reservoir potential throughout the Middle East. *AAPG bulletin*, 91(3), 275-286. <https://doi.org/10.1306/09140606054>.
- Esrafil-Dizaji, B., Hajikazemi, E., Dalvand, M., Nemati, M. H., and Swennen, R., 2020- Diagenesis and reservoir characteristics of the Lithocodium-Bacinella facies in a Lower Cretaceous reservoir, eastern Persian Gulf Basin. *Facies*, 66(4), 1-24. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10347-020-00608-7>.
- Falahat, R., and Farrokhnia, F., 2020- Rock physics modelling of the carbonate reservoirs: A log-based algorithm to determine the pore aspect ratio. *Journal of Applied Geophysics*, 173, 103930. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103930>.
- Flügel, F., 2010- *Microfacies of carbonate rocks, analysis interpretation and application* (2nd edition). Springer, New York, 976 p. <https://www.springer.com/gp/book/9783642037955>.
- Hosseini, S., Conrad, M. A., and Kindler, P., 2021- Sequence stratigraphy, depositional setting and evolution of the Fahliyan carbonate platform (Zagros fold-thrust belt, SW Iran) in the Early Cretaceous. *Marine and Petroleum Geology*, 128, 105062. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105062>.
- Hosseini, S., Conrad, M. A., Clavel, B., and Carras, N., 2016- Berriasian-Aptian shallow water carbonates in the Zagros fold-thrust belt, SW Iran: Integrated Sr-isotope dating and biostratigraphy. *Cretaceous Research*, 57, 257-288. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2015.09.007>.
- Jamalian, M., Adabi, M. H., Moussavi, M. R., Sadeghi, A., Baghbani, D., and Ariyafar, B., 2011- Facies characteristic and paleoenvironmental reconstruction of the Fahliyan Formation, Lower Cretaceous, in the Kuh-e Siah area, Zagros Basin, southern Iran. *Facies*, 57(1), 101-122. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10347-010-0231-3>.

- Jamalian, M., and Adabi, M. H., 2015- Geochemistry, microfacies and diagenetic evidences for original aragonite mineralogy and open diagenetic system of Lower Cretaceous carbonates Fahliyan Formation (Kuh-e Siah area, Zagros Basin, South Iran). *Carbonates and Evaporites*, 30(1), 77-98. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13146-014-0211-8>.
- James, G. A., and Wynd, J. G., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *AAPG bulletin*, 49(12), 2182-2245. <https://doi.org/10.1306/A663388A-16C0-11D7-8645000102C1865D>.
- Lucia, F.J., 2007- Carbonate reservoir characterization: an integrated approach. Springer, Berlin, New York. 341 p. <https://www.springer.com/gp/book/9783540727408>.
- Moore, C.H., and Wade, W.J., 2013- Carbonate reservoirs: porosity, evolution & diagenesis in a sequence stratigraphic framework: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework, Elsevier 67, 369 p. <https://www.elsevier.com/books/carbonate-reservoirs-porosity-evolution-and-diagenesis-in-a-sequence-stratigraphic-framework/moore/978-0-444-50838-6>.
- Morad, S., Al-Aasm, I.S., Nader, F.H., Ceriani, A., Gasparrini, M., and Mansurbeg, H., 2012- Impact of diagenesis on the spatial and temporal distribution of reservoir quality in the Jurassic Arab D and C members, offshore Abu Dhabi oilfield, United Arab Emirates. *Geo-Arabia* 17:17-56. <https://pubs.geoscienceworld.org/geoarabia/article/17/3/17/567052/Impact-of-diagenesis-on-the-spatial-and-temporal>.
- Noori, H., Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., and Faghih, A., 2019- Tectono-sedimentary controls on Lower Cretaceous carbonate platforms of the central Zagros, Iran: An example of rift-basin carbonate systems. *Marine and Petroleum Geology*, 110, 91-111. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.07.008>.
- Pirouz, M., Avouac, J. P., Hassanzadeh, J., Kirschvink, J. L., and Bahroudi, A., 2017- Early Neogene foreland of the Zagros, implications for the initial closure of the Neo-Tethys and kinematics of crustal shortening. *Earth and Planetary Science Letters*, 477, 168-182. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.07.046>.
- Sadooni, F. N., 1993- Stratigraphic Sequence, Microfacies, and Petroleum Prospects of the Yamama Formation, Lower Cretaceous, Southern Iraq. *AAPG bulletin*, 77(11), 1971-1988. <https://doi.org/10.1306/BDFF8F92-1718-11D7-8645000102C1865D>.
- Salifou, I. A. M., Zhang, H., Boukari, I. O., Harouna, M., and Cai, Z., 2021- New vuggy porosity models-based interpretation methodology for reliable pore system characterization, ordovician carbonate reservoirs in Tahe Oilfield, North Tarim Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 196, 1077-1100. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107700>.
- Sepehr, M., and Cosgrove, J. W., 2004- Structural framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum geology*, 21(7), 829-843. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.07.006>.
- Setudehnia, A., 1978- The mesozoic sequence in south-west Iran and adjacent areas. *Journal of Petroleum Geology*, 1(1), 3-42. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1978.tb00599.x>.
- Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D., and Simmon, M.D., 2001- Arabian Plate Sequence Stratigraphy. *GeoArabia Special Publication* 2, 371 p. <https://pubs.geoscienceworld.org/geoarabia/article/9/1/199/566966/Arabian-Plate-Sequence-Stratigraphy-revisions-to>.
- Skalinski, M., and Kenter, J. A., 2015- Carbonate petrophysical rock typing: integrating geological attributes and petrophysical properties while linking with dynamic behaviour. *Geological Society, London, Special Publications*, 406(1), 229-259.
- Vail, P., 1991- The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology: an overview. Springer, Berlin, pp 617-659. <https://www.semanticscholar.org/paper/>.
- van Buchem, F.S.P., Gaumet, F., Vedrenne, V., and Vincent, B., 2006- Middle East Cretaceous Sequence Stratigraphy Study, SW Iran. National Iranian Oil Company (NIOC) internal report, 167p.
- Van Wagoner, J., Mitchum, R., Campion, K., 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. <https://pubs.geoscienceworld.org/aapg/books>
- Wilson, J.L., 1975- Carbonate Facies in Geologic History. Springer-Verlag, New York, p. 471. <https://books.google.com/books>.

Original Research Paper

Reservoir quality assessment of the Fahliyan Formation in one oil field, Northwestern Persian Gulf

Ali Asaadi¹, Ali Imandoust², Mahdi Sarfi^{3*} and Mahdi Ghane Ezabadi⁴

¹ Ph.D., Department of Earth Sciences, Tehran Energy Consultants (TEC), Tehran, Iran

² MSc., Department of Earth Sciences, Kish Petroleum Engineering (KPE), Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geology, University of Damghan, Damghan, Iran

⁴ MSc., Department of Earth Sciences, Tehran Energy Consultants (TEC), Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2021 May 16

Accepted: 2021 July 31

Available online: 2022 March 21

Keywords:

Fahliyan Formation

Persian Gulf

Facies

Diagenesis

Pore systems

Sequence stratigraphy

Reservoir quality

ABSTRACT

The Lower Cretaceous Fahliyan Formation is one of the main oil reservoirs in the Persian Gulf. In this study, for investigating facies characteristics, depositional environment, diagenetic features, sequence stratigraphy and describing factors controlling reservoir quality, the integration of the results from core description, petrographic studies, and petrophysical data was utilized. Nine main facies were recognized and grouped in four facies belts of lagoon, shoal, patch reef and shallow open marine, indicating deposition of the formation in a carbonate ramp platform. Various diagenetic processes that influenced facies, occurred in marine, meteoric, and burial diagenetic realms. Four main pore types have been identified in the reservoir that include interparticle, moldic, vuggy, and microporosity. From the sequence stratigraphy point of view, three third-order sequences which are correlatable within the Fahliyan Formation were identified. The development of grainstone and algal rudstone/floatstone in shoal/ patch reef sub-environment played an important role in developing the high reservoir. In view of their controls on reservoir quality and pore system, diagenetic features can be categorized into two classes: (1) diagenetic processes enhancing reservoir quality that include dissolution and fracturing, and (2) diagenetic processes reducing reservoir quality that include cementation and compaction. The result has shown that under the effect of widespread heterogeneity stemming from depositional and diagenetic properties, the Fahliyan Formation display complexities in reservoir characteristics and pore systems.

* Corresponding author: Mehdi Sarfi; E-mail: m.sarfi@du.ac.ir

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

doi: 10.22071/GSJ.2021.286429.1906

dor: 20.1001.1.10237429.1400.32.1.10.0

