

# تعیین عوامل اصلی کنترل کننده کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان نفت سفید، فروافتادگی دزفول شمالی

عایشه سلمانی<sup>۱</sup>، حسین رحیم پوربناب<sup>۲</sup>، محسن رنجبران<sup>۳</sup> و سیده محسن آل علی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دکترا، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup>استاد، دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup>استادیار، دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۴</sup>استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۸

## چکیده

سازند آسماری، به سن الیگومیوسن اولین سنگ مخزن کربناتی شناخته شده در دنیا و اصلی ترین سنگ مخزن هیدروکربوری در ایران است که عمده تولید نفت در فروافتادگی دزفول از این سازند صورت می گیرد. در این مطالعه به منظور درک عوامل کنترل کننده کیفیت مخزنی این سازند مطالعات تفصیلی سنگ نگاری در میدان نفتی سفید صورت گرفته است. مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی این سازند در جاهای مورد مطالعه، منجر به شناسایی ۸ ریزرخساره شده که در یک رمپ کربناتی هموکلینال شامل زیرمحیط های رمپ داخلی، میانی و خارجی نهشته شده اند. همچنین بر اساس یافته های این مطالعه، مهم ترین فرایندهای دیاژنزی شامل میکربیتی شدن، تجدید تبلور، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، تراکم مکانیکی و شیمیایی و شکستگی است که در مراحل دیاژنزی انوژنز، مزوژنز و تلوزنز رسوبات سازند آسماری در میدان نفتی مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده اند. بررسی های چینه نگاری سکانشی منجر به شناسایی ۳ سکانس رسوبی رده سوم شده است. نتایج این پژوهش نشان می دهد که سه فرایند دولومیتی شدن، انحلال، و سیمانی شدن مهم ترین فاکتورهای مؤثر بر کیفیت مخزن در میدان مورد مطالعه هستند. سیمانی شدن با تشکیل سیمان کلسیتی و سیمان انیدریتی با فابریک های مختلف موجب کاهش انواع حفرات در رخساره های مختلف و در نتیجه کاهش کیفیت مخزن شده است. دولومیتی شدن از طریق تخریب فابریک های اولیه و ایجاد حفره های بین بلوری در رخساره های مادستونی و انحلال از طریق ایجاد حفرات ثانویه (به خصوص حفرات به هم مرتبط) در اکثر رخساره ها موجب افزایش کیفیت مخزنی شده است. البته به دلیل گسترش و تأثیر بیشتر انحلال در ایجاد تخلخل نسبت به سایر فرایندها، این فرایند را می توان اصلی ترین عامل افزایش دهنده کیفیت مخزنی در میدان مورد مطالعه دانست. برخلاف دیگر میدان های هیدروکربوری حوضه زاگرس، که در آنها شکستگی ها عامل اصلی ایجاد و بهبود خواص مخزنی هستند، در میدان نفت سفید بیشتر شکستگی ها توسط سیمان کلسیتی پر شده و نقش چندانی در این مورد ندارند و سایر پدیده های دیاژنزی نقش مؤثرتری در افزایش کیفیت مخزن داشته اند.

**کلیدواژه ها:** سازند آسماری، میدان نفتی سفید، دیاژنز، محیط رسوبی، چینه نگاری سکانشی

\*نویسنده مسئول: حسین رحیم پوربناب

E-mail: rahimpor@ut.ac.ir

## ۱- پیش نوشتار

پیش بینی بهتری نسبت به محل و نحوه گسترش شکل هندسی رخساره های رسوبی و تحلیل حوضه رسوب گذاری رسوبات سازند آسماری در زاگرس انجام داد.

خاورمیانه میزبان عظیم ترین ذخایر نفت و گاز جهان بوده که بخش اصلی آن در صفحه عربی واقع شده است. اغلب این ذخایر هیدروکربوری، میدان های بزرگ و گسترده ای را در منطقه ایجاد کرده اند و این مسئله، صفحه عربی را به یکی از اصلی ترین ایالات هیدروکربوری جهان مبدل ساخته است (Sharland et al., 2001). درک محیط رسوبی و تاریخچه دیاژنزی سازندهای مخزنی کربناته با استفاده از بررسی دقیق رخساره ها، مطالعه فرایندهای دیاژنزی (به عنوان مهم ترین عامل کنترل کننده تخلخل و نفوذپذیری در اغلب مخازن کربناته دنیا) کاملاً ضروری است. هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر رخساره ها و فرایندهای دیاژنزی در کیفیت مخزنی سازند آسماری است که به شناخت بهتر این مخزن کربناته در ناحیه فروافتادگی دزفول منجر خواهد شد که یک منطقه مهم از دیدگاه اکتشاف و توسعه مخازن هیدروکربونی است.

## ۲- روش مطالعه

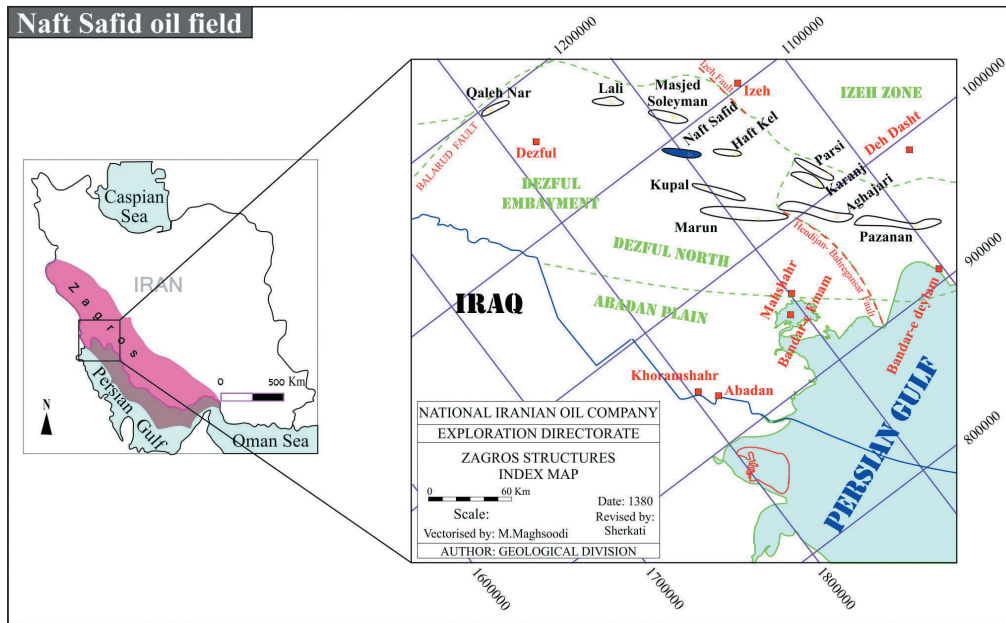
این مطالعه بر اساس ۳۰۰ متر مغزه، ۳۰۰ عدد مقطع نازک تهیه شده از مغزه ها و ۲۰۰ مقطع نازک تهیه شده از خرده های حفاری از بخش مخزنی سازند آسماری، در سه چاه میدان نفت سفید انجام شده است. برای نام گذاری بافتی ریزرخساره ها از روش تقسیم بندی (Dunham (1962) نام گذاری ریزرخساره های شناسایی شده از تقسیم بندی فلوگل (Flügel (2010) استفاده شده و همچنین ریزرخساره های معرفی شده با (Buxton and Pedley (1989) نیز تطبیق داده شده است. برای ترسیم ستون های سنگ شناسی از نمودارهای ترسیمی سرچاه و بررسی مغزه های حفاری استفاده شد. منحنی تغییرات سطح آب دریا بر اساس تغییرات رخساره های رسوبی ترسیم و با منحنی تغییرات جهانی سطح آب دریا (Sharland et al., 2001) مقایسه شده است.

## ۲- موقعیت جغرافیایی و چینه شناسی منطقه مورد مطالعه

میدان نفت سفید در ۶۵ کیلومتری شمال خاوری اهواز و در ۱۶ کیلومتری شمال باختری میدان هفتکل و همچنین جنوب میدان مسجد سلیمان، تقریباً بر روی امتداد محور حداکثر فرونشست فروافتادگی دزفول قرار دارد (شکل ۱؛ Alsharhan, 1997). مرز پایینی سازند آسماری در فروافتادگی دزفول سازند شیلی پایده به صورت همشیب و پیوسته و مرز فوقانی این سازند با سازند تبخیری گچساران به صورت همساز و در برخی مناطق ناهمساز است. با بررسی رخساره ها و چگونگی گسترش آنها بازسازی محیط های رسوبی دیرینه، ارائه مدل رخساره ای و آنالیز چینه نگاری سکانشی می توان

## ۴- بررسی ریزرخساره ها و محیط رسوبی

بر اساس مطالعه مقطع نازک میکروسکوپی متعلق به سازند آسماری در میدان مورد مطالعه ۸ ریزرخساره شناسایی شده است که در محیط های رمپ داخلی (پهنه جزرومدی، تالاب و پشته زیر آبی)، رمپ میانی و رمپ خارجی نهشته شده اند. در ادامه این ریزرخساره ها مورد توصیف و تفسیر قرار گرفته اند.



شکل ۱- نقشه جغرافیایی ایران به همراه موقعیت میدان نفتی سفید در فروافتادگی دزفول.

#### ۴-۱. کمریند رمپ داخلی

– ریزرخساره شماره ۱- مادستون/ دولستون: این ریزرخساره از گل آهکی، گل آهکی دولومیتی شده و دولومیت‌های ریزبلور تشکیل شده است. دانه‌های کوارتز آواری به میزان کمتر از ۵ درصد به صورت جورشده و نیمه گرد شده در آن پراکنده‌اند. از مشخصات این رخساره عدم حضور خرده‌های فسیلی و توسعه خوب فابریک روزنه‌ای است (Flügel, 2010) که در بعضی موارد وجود انیدریت در داخل حفرات و یا در زمینه میکریتی مشاهده شده است. با توجه به شواهد موجود، این ریزرخساره متعلق به منطقه بالای جزرومدی است (شکل ۲- الف).

– ریزرخساره شماره ۲- مادستون (حاوی دانه‌های کوارتز): گل آهکی به میزان ۷۰ تا ۸۰ درصد و دانه‌های کوارتز آواری به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد در این ریزرخساره مشاهده شده است. افزایش میزان دانه‌های کوارتز در حدود ۲۵٪ این ریزرخساره را در ردیف رخساره‌های مختلط قرار می‌دهد (Tucker, 1991). دانه‌های کربناتی و فسیل (میلیولید) به ندرت در آن یافت می‌شود. در مقایسه با محیط‌های کربناتی امروزی نظیر خلیج فارس (Friedman, 1995) این ریزرخساره می‌تواند در محیط سیخا و قسمت‌های بالای پهنه جزرومدی تشکیل شده باشد (شکل ۲- ب).

– ریزرخساره شماره ۳- وگستون/ پگستون (حاوی روزن‌داران بدون منفذ): این ریزرخساره از انواع مختلفی از روزن‌داران بدون منفذ نظیر میلیولید، میوزیسنیوید، بورلیس، دندرتینا با فراوانی ۲۰ تا ۳۰ درصد تشکیل شده است. شرایط محدود به دلیل حضور نادر یا عدم حضور موجودات شرایط نرمال دریایی و فراوانی اسکلت‌های موجودات محیط محدود است (Hakimzadeh and Seyrafiyan, 2008) در نتیجه این ریزرخساره در تالاب محدود نهشته شده است و بیشترین درصد فراوانی را در چاه‌های مورد مطالعه دارد (شکل ۲- پ).

– ریزرخساره شماره ۴- پگستون/ گریستون (حاوی روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ): دانه‌های اصلی شامل مجموعه‌ای از روزن‌داران کفزی بدون منفذ نظیر میلیولید (۵ تا ۱۰ درصد) و روزن‌داران منفذدار نظیر میوزیسنیوید، نئوروتالیا، آمفیستزینا به میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد به همراه خرده‌های اکتیوید، جلبک قرمز و دو کف‌های به میزان کمتر از ۱۵ درصد هستند. اینتراکلت در اندازه ۰/۴ میلی متر زاویه‌دار با فراوانی ۵ درصد از اجزای غیر اسکلتی این ریزرخساره است. حضور همزمان موجودات تالاب به همراه موجودات دریایی در این رخساره نشان می‌دهد که این ریزرخساره در شرایط محیط تالاب باز مرتبط با دریای باز نهشته شده است (Pomar et al., 2014). بعد از

ریزرخساره شماره ۳، این رخساره بیشترین درصد فراوانی را از نظر ضخامت در چاه‌های مورد مطالعه دارد (شکل ۲- ت).

– ریزرخساره شماره ۵- گریستون آئیدی: آئیدها در این ریزرخساره با فراوانی ۵۰ تا ۶۰ درصد همراه با پلیویدها با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد در یک زمینه سیمان اسپاری قرار گرفته‌اند. آئیدها عمدتاً بیضی تا گرد، متحدالمرکز و در اندازه ۱ تا ۱/۵ میلی متر با جورشدگی خوب هستند. اغلب آنها در اثر فرایند دیاژنزی ساختمان داخلی ندارند (فابریک اولیه آنها مشخص نیست) و یا هسته آنها بر اثر عمل انحلال از بین رفته است. به نظر می‌رسد منشأ برخی از پلیویدهای این ریزرخساره از میکریتی شدن آئیدها باشد. در این رخساره وجود آئیدهای با جورشدگی خوب و نبود زمینه گلی، نشان دهنده تشکیل در یک محیط پرانرژی و در بالای خط امواج عادی است (Vaziri Moghaddam et al., 2006). این ریزرخساره کمترین فراوانی را در چاه‌های مورد مطالعه دارد (شکل ۲- ث).

#### ۴-۲. رمپ میانی

– ریزرخساره شماره ۶- فلوتستون/ باندستون (حاوی مرجان و جلبک قرمز): اجزای اصلی این ریزرخساره قطعات مرجانی با فراوانی ۳۰ درصد و جلبک قرمز با فراوانی ۱۵ درصد است که حجرات آنها توسط سیمان کلسیتی دروزی و تا حدی میکرایت پر شده‌اند. خرده‌های اکتیوید و بریوزوئر نیز به میزان ۵ تا ۱۰ درصد در این ریزرخساره حضور دارند. این ریزرخساره نشان‌دهنده بالاترین میزان انرژی در محیط بوده که سیمانی شدن همزمان با رشد اجتماعات مرجان‌ها باعث استحکام چارچوب مرجانی در مقابل انرژی شده است (Tucker and Wright 1990). فراوانی جلبک قرمز به همراه خرده‌های خارپوست، بریوزوئر و روزن‌بران کفزی، رسوب‌گذاری در ناحیه کم‌نور ابتدای رمپ میانی را نشان می‌دهد (Brandano et al., 2009). همچنین وجود زمینه سیمانی در بعضی از مقاطع نمایانگر نهشت این ریزرخساره در بخش رو به دریای باز (Seaward shoal) است (شکل‌های ۲- ج و ح).

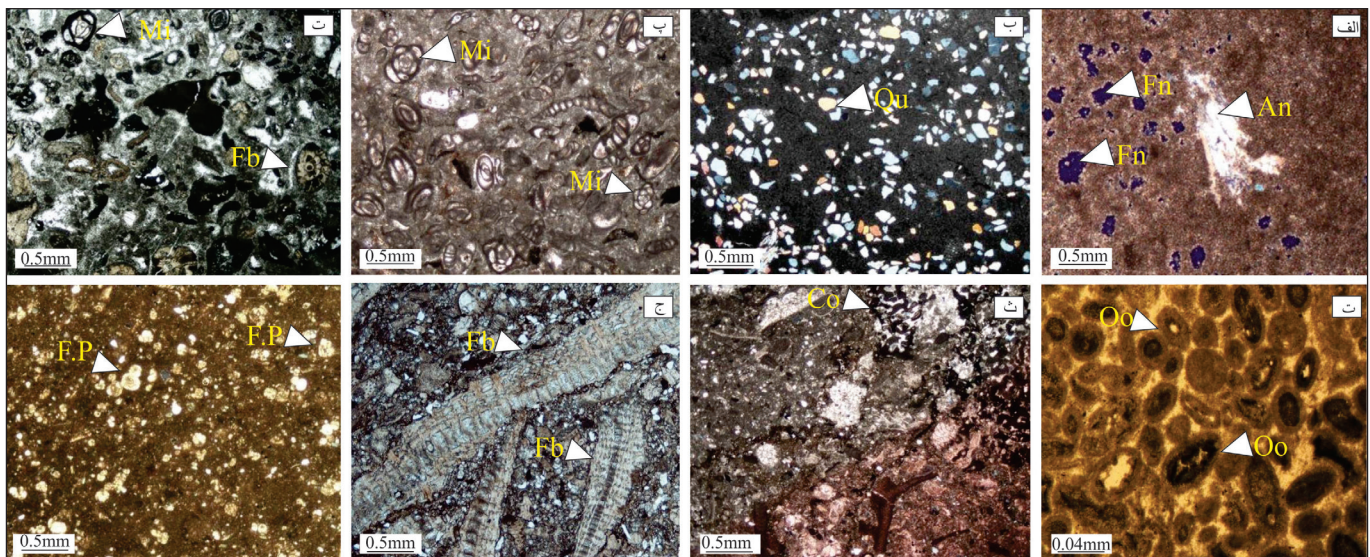
– ریزرخساره شماره ۷- پگستون (حاوی روزن‌بران کفزی بزرگ): روزن‌بران کفزی بزرگ نظیر میوزیسنیوید، لپیدوسیکلینا، روتالیا و نومولیت‌های دوکی تیبیک (با نسبت عرض به طول تقریباً برابر) از اجزای مهم این ریزرخساره هستند که با فراوانی ۲۰ تا ۲۵ درصد در یک زمینه میکریتی قرار گرفته‌اند. از اجزای دیگر این ریزرخساره خرده‌های خارپوست، مرجان، جلبک قرمز، نرم‌تنان و بریوزوئر در مجموع با فراوانی ۱۰ تا ۱۵ درصد است. پلیویدهای ریز (۰/۲ میلی متر) و اینتراکلت‌های گرد شده (۰/۳)

تا ۲۰ درصد است. پلییدها از اجزای غیر اسکلتی در اندازه ۰/۲ میلی متر و کمتر از ۱۰ مشاهده می‌شوند. این ریزرخساره در قسمت آسماری پایینی (قاعده سازند آسماری)، مرز تدریجی بین سازندهای آسماری و پابده و قسمت‌های فوقانی سازند پابده مشاهده شده است. حضور روزن بران پلانکتونیک در متن گلی تقریباً تیره رنگ همراه با خرده‌های فسیلی پراکنده از قبیل میوزپسینوئید، کریئوئید و جلبک قرمز حاکی از نهشت رسوبات مذکور در ابتدای رمپ خارجی است. به‌طور کلی شواهدی نظیر دانه ریز بودن و حضور پوسته‌های سالم روزن‌داران پلانکتون نمایانگر نهشت این ریزرخساره در محیطی آرام، عمیق، با شوری نرمال آب دریا و زیر خط اثر امواج حالت طوفانی است (Geel, 2000; Cosovic et al., 2004) (شکل ۲-خ).

میلی متر) به‌صورت پراکنده در این ریزرخساره مشاهده شده است. حضور نومولیت با مورفولوژی دوکی شکل تا بیضوی همراه با تجمع روزن‌بران بنتیک بزرگ از قبیل میوزپسینوئید و آمفیستزینا حاکی از نهشت رسوبات مذکور در ابتدای رمپ میانی، تحت شرایط شوری نرمال آب دریا، با گردش آزاد آب و انرژی هیدرودینامیکی متوسط است (Amirshahkarami et al., 2007) (شکل ۲-ح).

#### ۴-۳. رمپ خارجی

– ریزرخساره شماره ۸ – وکستون/پکستون (حاوی روزن‌داران پلانکتون): بافت این ریزرخساره از وکستون تا پکستون متغیر است. از مهم‌ترین اجزای اصلی تشکیل دهنده آن روزن‌بران پلانکتونیک مانند گلوبوزرینا در حدود ۱۵ درصد هستند و اجزای فرعی آن شامل خرده‌های خارپوست، جلبک قرمز، دوکفه‌ای با فراوانی ۱۵

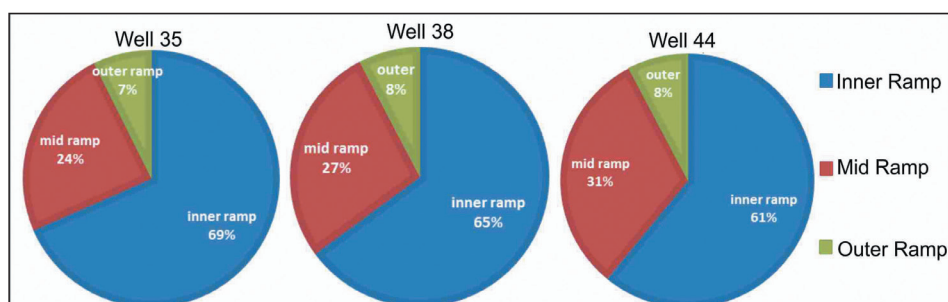


شکل ۲- الف) مادستون/ دولستون؛ ب) مادستون دارای دانه‌های کوارتز؛ پ) وکستون/ پکستون دارای روزن‌داران بدون منفذ؛ ت) پکستون/ گریستون دارای روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ؛ ث) گریستون آئیدی؛ ج) فلوتستون/ باندستون دارای مرجان و جلبک قرمز؛ چ) فلوتستون/ باندستون دارای مرجان و جلبک قرمز؛ ح) پکستون دارای روزن‌بران کف‌زی بزرگ؛ خ) وکستون/ پکستون حاوی روزن‌داران پلانکتون. تمام تصاویر در نور PPL تهیه شده است. علائم اختصاری: Qu: کوارتز، An: انیدریت، Fn: فابریک فنسترال، Mi: میولید، Fb: روزن‌بران بنتیک، Oo: آئید، Co: مرجان، F.P: روزن بران پلانکتونیک.

خلیج فارس امروزی بوده است) برای محیط رسوبی آسماری در این میدان در نظر گرفت. با توجه به اینکه گسترش نهشته‌های رسوبی عمدتاً در رمپ داخلی و میانی مشاهده شده، رمپ کربناتی از نوع همشیب و احتمالاً مشابه خلیج فارس امروزی بوده است. در زمان نهشت سازند آسماری (الیگو- میوسن) شرایط محیطی از رمپ خارجی تا رمپ میانی و داخلی در تغییر بوده، اما بیشتر شرایط رمپ داخلی حاکم بوده است (آورجانی و همکاران، ۱۳۹۰). تغییرات درصد فراوانی ریزرخساره‌ها در چاه‌های مورد مطالعه گسترش و غلبه ریزرخساره‌های رمپ داخلی را نشان می‌دهد (شکل‌های ۳ و ۴).

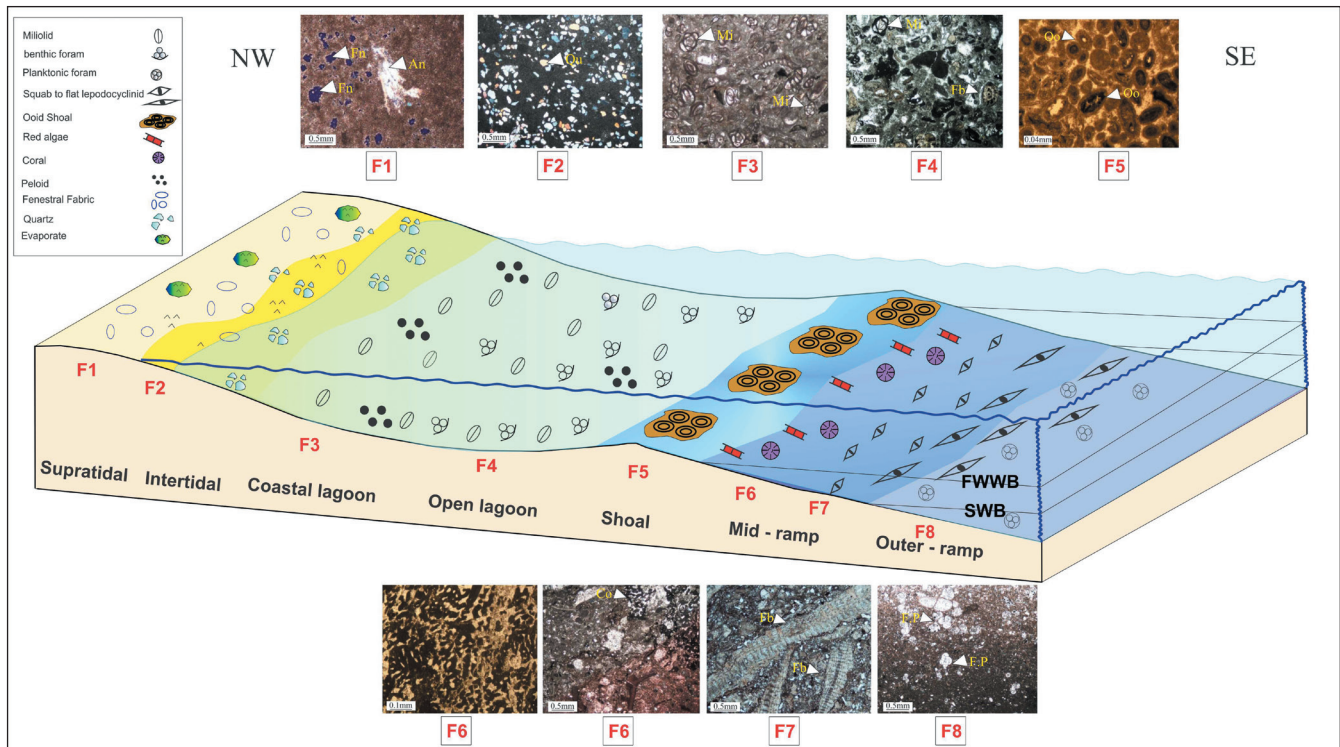
#### ۴-۴. بررسی چگونگی گسترش ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند آسماری

با توجه به نبود رسوبات طوفانی (Tempestites) و توریدیتی، احتمالاً عدم گسترش ریف سدی پیوسته (Ahmad et al., 2006) و تنوع کم رخصاره‌ای و تبدیل تدریجی رخصاره‌ها به یکدیگر (شکل ۳) احتمالاً محیط رسوب‌گذاری سازند آسماری در منطقه مورد مطالعه رمپ کربناتی بوده است. از طرفی با توجه به عدم تمرکز نهشته‌های رسوبی در قسمت‌های انتهایی رمپ و گسترش آنها به ویژه در رمپ داخلی و میانی، می‌توان رمپ کربناتی را از نوع همشیب (Pomar, 2001) (که احتمالاً مشابه



شکل ۳- درصد فراوانی نسبی کربندهای رخصاره‌ای شناسایی شده در چاه‌های مورد مطالعه.





شکل ۴- مدل رسوبی مفهومی سازند آسماری در میدان نفتی سفید.

## ۵- فرایندهای دیاژنزی

پر می‌کند؛ اغلب در رخساره‌های دانه غالب دیده می‌شود و نقش مهمی در کاهش کیفیت مخزنی دارد (شکل ۵-ث).

• **سیمان کلسیتی دروزی:** در این سیمان اندازه بلورها از دیواره حفره به سمت مرکز حفره افزایش می‌یابد. در نمونه‌های مطالعه شده بعد از سیمان هم‌بعد، این سیمان فراوان‌ترین نوع سیمان بوده که عمدتاً تخلخل شبکه‌ای مرجان‌ها و تخلخل درون دانه‌ای را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۵-ج).

• **سیمان هم‌ضخامت حاشیه‌ای:** این نوع سیمان به‌طور عمده در رخساره‌های شول و در اطراف اجزای پلیویدی و خیلی کم درون حفرات درون دانه‌ای مشاهده می‌شود. این نوع سیمان گسترش کمی دارد و به عنوان سیمان نسل اول در بعضی نمونه‌ها، همراه با سیمان‌های نسل‌های بعدی (سیمان هم‌بعد) دیده می‌شود (شکل ۵-چ).

• **سیمان کلسیتی رو رشدی:** در سازند آسماری سیمان رو رشدی هم‌محور در رخساره‌های غنی از خارپوست وجود دارد. اندازه بلورهای این سیمان گاه تا ۲۰۰ میکرون می‌رسد و عمدتاً در رخساره‌های پکستونی و گریستونی رمپ داخلی و میانی به‌صورت شفاف و بدون اینکلوزیون دیده شده است. در مواردی که ساقه خارپوست پوشش میکربیتی دارد، این نوع سیمان تشکیل نشده است (Wilson and Evans, 2002) (شکل ۵-ح).

• **سیمان‌های تیخیری:** سیمان انیدریتی متداول‌ترین سیمان در رخساره‌های مورد مطالعه است که به شکل‌های مختلف در بیشتر رخساره‌ها دیده می‌شود، ولی در رخساره‌های منطقه جزرومدی و تالاب (وکستون/ پکستون دارای روزن‌داران بدون منفذ) فراوان تر است. در این ریزرخساره‌ها انیدریت به‌صورت بین ذره‌ای، پر شده در فضاها و انحلالی و بین بلوری وجود دارد. گسترش این سیمان به‌صورت تکه‌های پراکنده در متن گل آهکی (شکل ۵-خ)، حضور اولیه ژیس در گل و همزمان با رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد (شکل ۵-خ). این سیمان در برخی رخساره‌ها به‌صورت پرکننده شکستگی دیده می‌شود (شکل ۵-د). سیمان انیدریتی گاهی به‌صورت سیمان فراگیر (پویکیلو تیپیک) دانه‌ها یا بلورهای دولومیت را در برمی‌گیرد (شکل ۵-ذ). در مجموع سیمانی شدن سبب کاهش کیفیت مخزن شده است.

دیاژنز سنگ‌های کربناتی در محیط‌های دریایی، متوریک نزدیک سطح و دفرمی رخ می‌دهد که هر کدام از این محیط‌ها را می‌توان با مشخصات بافتی و فابریک سیمان ایجاد شده در سنگ‌ها شناسایی کرد (El-Saiy and Jordan, 2007). مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی بخش مخزنی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه به شرح زیر است:

### ۵-۱. آشفتنگی زیستی (Bioturbation)

در نمونه‌های مورد مطالعه آشفتنگی زیستی به دو صورت حفاری در رسوبات نرم (burrowing) و سخت (boring) دیده شده است. یکی از مهم‌ترین خصوصیات این فرایند در نمونه‌های مورد مطالعه ایجاد ساخت لکه‌لکه و بافت میکربیتی ناهمگن است (Flügel, 2010; Wanas and Soliman, 2014) (شکل‌های ۵-الف و ب).

### ۵-۲. میکربیتی شدن (Micritization)

در ریزرخساره تالاب حاشیه بیشتر دانه‌های اسکلتی میکربیتی شده و بعضی از آنها در اثر فعالیت شدید موجودات به‌طور کامل میکربیتی شده‌اند و در نتیجه تشخیص ماهیت دانه اسکلتی اولیه، اغلب مشکل شده است. این بررسی به وضوح نقش میکربیتی شدن را در جلوگیری از انحلال و گسترش تخلخل انحلالی در بخش‌های کربناته نشان می‌دهد (شکل ۵-پ).

### ۵-۳. تجدید تبلور (Recrystallization)

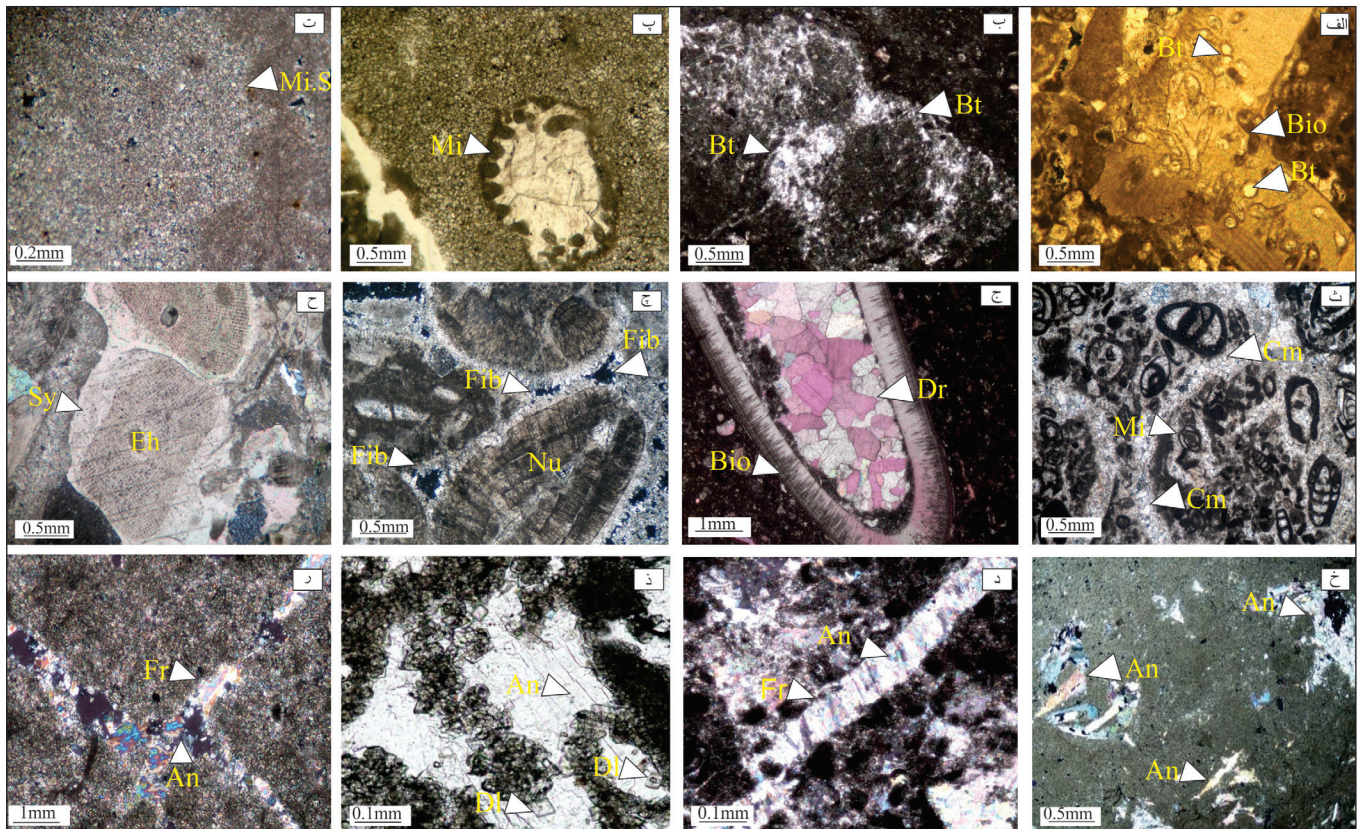
در رخساره‌های کربناتی سازند آسماری، تجدید تبلور افزایشی با فراوانی قابل توجهی مشاهده می‌شود. این فرایند باعث تبدیل زمینه میکربیتی به میکرواسپار و سوداسپار در مادستون‌ها و وکستون‌های محیط تالاب شده است (شکل ۵-ت).

### ۵-۴. سیمانی شدن (Cementation)

بر پایه بررسی‌های انجام شده بر روی مقاطع نازک میکروسکوپی، ۵ نوع سیمان در کربنات‌های سازند آسماری شناسایی شده است که عبارتند از: سیمان کلسیتی هم‌بعد، سیمان رو رشدی، سیمان دروزی، سیمان هم‌ضخامت حاشیه‌ای و سیمان انیدریتی.

• **سیمان کلسیتی هم‌بعد:** این سیمان فراوان‌ترین نوع سیمان کربناتی مشاهده شده در ریزرخساره‌های سازند آسماری است. این نوع سیمان تخلخل‌های قالبی و انحلالی را





شکل ۵- الف و ب) زیست آشفته‌گی؛ پ) میکربیتی شدن بایوکلیست (قطعات لاله وش)؛ ت) تبدیل میکربیت به میکرواسپارایت؛ ث) سیمان کلسیتی هم‌بعد؛ ج) سیمان کلسیتی دروزی در داخل یک دوکفه‌ای؛ ح) سیمان کلسیتی هم‌ضخامت حاشیه‌ای در اطراف فسیل نومولیت؛ خ) سیمان انیدریتی بصورت تکه‌های پراکنده در متن گل آهکی؛ د) سیمان انیدریتی پرکننده شکستگی؛ ذ) سیمان انیدریت در برگیرنده بلور دولومیت؛ ر) شکستگی پر شده توسط انیدریت. تمام تصاویر در نور PPL تهیه شده‌اند. علائم اختصاری: Bt: آشفته‌گی زیستی، Mi: میکربیتی شدن، Mi.S: میکرواسپارایت، Cm: سیمان، Dr: سیمان دروزی، Sy: سیمان سین تکسیال، An: انیدریت، Fr: شکستگی، DI: دولومیت، Nu: نومولیت، Eh: اکتیو درم.

#### ۵-۵. انحلال (Dissolution)

انحلال متداول‌ترین فرایند دیاژنزی است که در نمونه‌های مورد مطالعه قابل مشاهده است. انحلال باعث ایجاد تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای مجزا شده است. این فرایند به دو گروه عمده شامل انحلال‌های تبعیت‌کننده از فابریک که از جمله تخلخل قالبی، بین دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، بین بلوری (شکل‌های ۶- الف، ب، پ و ت) و انحلال‌های غیر تبعیت‌کننده از فابریک تقسیم شده (شکل‌های ۶- ث و ج) و رخساره‌های مختلف را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. در سازند آسماری در منطقه مورد مطالعه تخلخل بین ذره‌ای و تخلخل حفره‌ای در مقایسه با سایر انواع تخلخل کمتر تحت تأثیر سیمانی شدن قرار گرفته‌اند، لذا با توجه به اینکه دارای گسترش نسبتاً زیادی در این سازند هستند باعث ایجاد شرایط مخزنی خوبی شده‌اند. توسعه خوب تخلخل حفره‌ای در سازند آسماری در جاه‌های مورد مطالعه موجب افزایش کیفیت مخزن شده است.

#### ۵-۶. دولومیتی شدن (Dolomitization)

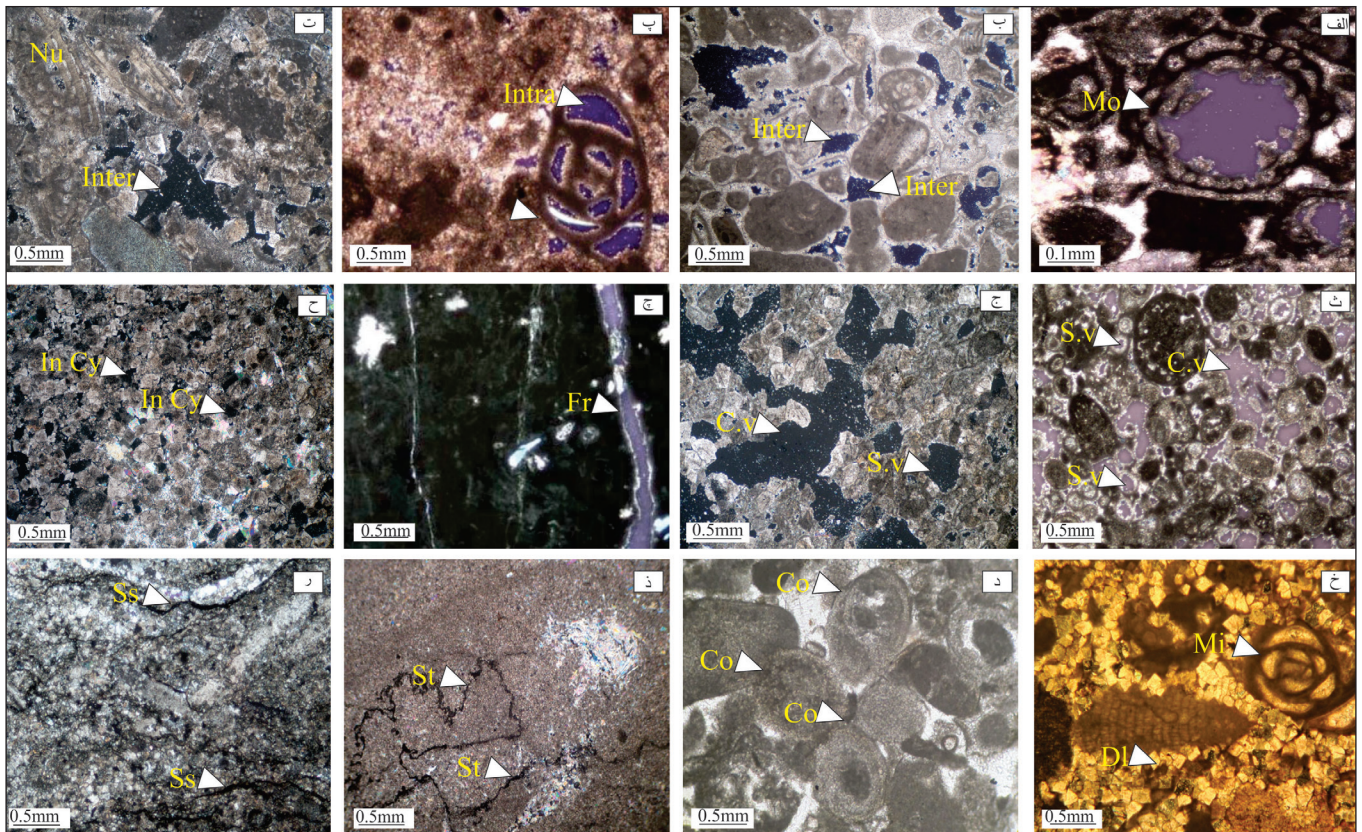
دولومیتی شدن یکی از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی مشاهده شده در سنگ‌های کربناتی سازند آسماری بوده که با ایجاد تخلخل بین بلوری نقش با ارزشی در افزایش کیفیت مخزنی این سازند داشته است. این فرایند به دو صورت اصلی مشاهده شده است: ۱) دولومیت اولیه که دارای بلورهای ریز و نازک لایه است و به‌طور عمده در بخش فوقانی آسماری بالایی و در مجاورت سازند تبخیری گچساران مشاهده می‌شود. ۲) دولومیت ثانویه که به‌صورت جانشینی تشکیل شده، دارای ابعاد بزرگتری است (Aqrabi et al., 2006; Al-Aasm et al., 2009) و در بخش‌های مختلف سازند گسترش دارد. منشأ سیالات دولومیت‌ساز در این مطالعه، یا از آب تبخیر شده دریا (با نشانه وجود ندول‌های انیدریتی با بافت ریز بلور درون دولومیکرایت‌ها؛

Ehrenberg et al., 2006) و یا توسط برگشتگی سیال تبخیری از سازند بالایی گچساران (در چند ده متر بالایی ستون رسوبی (Agrawi et al., 2006) بوده است. نوع و میزان دولومیتی شدن در نهشته‌ها متفاوت بوده و در برخی رخساره‌ها دولومیتی شدن به‌صورت بخشی و انتخابی رخ داده ولی در مواردی نیز یک رخساره به‌طور کامل دولومیتی شده است. دولومیتی شدن کامل یا فراگیر (pervasive dolomitization) (شکل ۶- ح) به دو حالت دیده می‌شود؛ در حالت اول فابریک اولیه سنگ تخریب و دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک (Fabric Destructive Dolomite) تشکیل شده است. در حالت دوم فابریک اولیه سنگ حفظ و دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک (Fabric Retentive Dolomite) تشکیل شده که اجزای مشخصی از سنگ در اثر دولومیتی شدن انتخابی، دولومیتی شده‌اند (شکل ۶- خ). این فرایند باعث افزایش کیفیت مخزنی در میدان مورد مطالعه شده است.

#### ۵-۷. فشردگی (Compaction)

در نمونه‌های مورد مطالعه، فشردگی مکانیکی باعث شکستگی، دگرشکلی و خرد شدن دانه‌های اسکلتی شده و بافت فشرده‌ای را در ریزرخساره‌های تالاب ایجاد کرده است. بر اثر این فرایندها ذرات به یکدیگر فشرده شده و باعث ایجاد مرز محدد-مقعر و یا مرز مضرس شده‌اند (شکل ۶- د). فشردگی شیمیایی در نمونه‌های گل غالب که همراه با تبخیری‌ها هستند، بیشتر مشاهده شده است. استیلولیت‌ها، ندول‌های تبخیری (انیدریت) را احاطه کرده‌اند و رگچه‌های انحلالی نیز به‌طور عمده در ریزرخساره‌های محیط جزرومدی و تالاب مشاهده شده است. مجرای استیلولیت‌ها و رگچه‌های انحلالی با ماده آلی و به میزان کمتر توسط سیمان اکسید آهن پر شده است (شکل‌های ۶- ذ و ر).



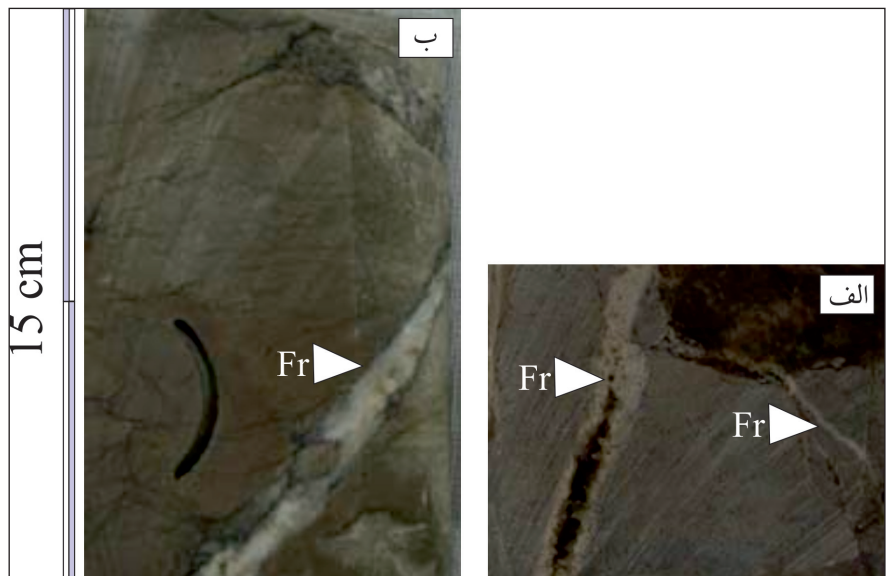


شکل ۶- الف) تخلخل قالبی در داخل فسیل بورلیس؛ ب) تخلخل بین دانه‌ای؛ پ) تخلخل درون دانه‌ای درون میلیولید؛ ت) تخلخل بین بلوری در بین بلورهای دولومیت؛ ث و ج) تخلخل حفره‌ای مجزا در داخل آلیید و تخلخل حفره‌ای مرتبط؛ چ) تخلخل شکستگی؛ ح) دولومیت غیر انتخاب کننده فابریک؛ خ) دولومیت غیر انتخاب کننده فابریک؛ د) تراکم مکانیکی در دانه‌های آلیید؛ ذ) استیلولیت؛ ر) دستجات انحلالی. تصاویر الف، ب، پ، ت، ث، ج، ح، خ، ذ و ر در نور PPL و تصویر د در نور XPL تهیه شده‌اند. علائم اختصاری: Mo: تخلخل قالبی، Intra: تخلخل درون دانه‌ای، Inter: تخلخل بین دانه‌ای، In Cy: تخلخل بین بلوری، S.V: تخلخل حفره‌ای مجزا، C.V: تخلخل حفره‌ای مرتبط، Fr: شکستگی، St: استیلولیت، Ss، دستجات انحلالی، DI: دولومیت، Co: تراکم مکانیکی، Nu: نومولیت.

#### ۵-۸. شکستگی (Fracturing)

شکستگی‌ها توسط سیمان کلسیتی پر شده‌اند و نقش چندانی در این خصوص ندارند و سایر پدیده‌های دیاژنزی نقش مؤثرتری در افزایش کیفیت مخزن داشته‌اند (شکل‌های ۵-۷ و الف و ب).

برخلاف دیگر میدان‌های هیدرکربوری حوضه زاگرس، که در آنها شکستگی‌ها عامل اصلی ایجاد و بهبود خواص مخزنی هستند، در میدان نفت سفید اغلب



شکل ۷- الف) پرشدگی شکستگی‌ها توسط سیمان کلسیتی (بلورهای درشت و اتومورف کلسیت) که منجر به ایجاد رگچه کلسیتی در مغزه‌های سازند آسماری شده است؛ ب) رگچه‌های کلسیتی که در شکستگی‌های سازند آسماری توسعه یافته‌اند.

## ۶- توالی پاراژنری فرایندهای دیازنری

در مطالعات دیازنری تعیین ترتیب وقوع انواع فرایندهای دیازنری از اهمیت خاصی برخوردار است. سنگ‌های کربناتی سازند آسماری در طی سه مرحله انوژن، مزوژن و تولوژن تحت تأثیر فرایندهای دیازنری قرار گرفته‌اند. در مرحله انوژن فرایندهای دیازنری عمدتاً تابع محیط رسوب گذاری هستند و گسترش آنها از محیط رسوبی تبعیت می‌کند. در حالی که در مرحله مزوژن در محیط دیازنری تدفینی پدیده‌های دیازنری در رخساره‌های مربوط به محیط‌های مختلف رسوبی یکنواختی خاصی را نشان می‌دهند که به خوبی عدم تأثیر شرایط محیطی در گسترش آنها را آشکار می‌سازد و گویای شرایط دیازنری مزوژنتیک است. فرایندهای میکربیتی شدن، تئومورفیزم، آشفستگی زیستی، انحلال، بخش مهمی از سیمانی شدن، دولومیتی شدن و فشردگی مکانیکی در مرحله انوژن رخ داده‌اند (Seyrafian et al., 2011; Madden and Wilson, 2013). میکربیتی شدن، دانه‌های مختلف کربناتی نظیر خرده‌های خارپوست، دوکفه‌ای و آئیدها را تحت تأثیر قرار داده است که به صورت حاشیه میکربیتی و میکربیتی شدن کامل مشاهده می‌شود. سیمان هم‌ضخامت حاشیه‌ای پس از میکربیتی شدن در اطراف دانه‌ها یا بر روی دیواره داخلی حفرات تشکیل شده است. آشفستگی زیستی بلافاصله بعد از رسوب گذاری رخ می‌دهد (Shull, 2001). فرایند تجدید تبلور به صورت تشکیل میکرواسپار و اسپاریت دروغین نیز از فرایندهای دیازنری مرحله انوژن است که امکان دارد تا مرحله تدفین کم عمق ادامه یابد (Mackenzie, 2003). دولومیت‌ها نیز بر اساس مشخصات بافتی و تشکیل سیمان انیدریتی (که خود محصول دیازنر انوژن است) در تخلخل‌های بین بلوری، در مرحله انوژن تشکیل شده‌اند (Al-Aasm et al., 2009; Bo et al., 2012). تغییر شکل و آرایش نزدیک تر دانه‌های کربناتی نیز که حاصل فرایند فشردگی مکانیکی هستند و قبل از سنگ‌شدگی رسوبات رخ می‌دهند (Ronchi et al., 2011; Madden and Wilson, 2013)، در این مرحله اتفاق افتاده‌اند. انحلال گسترده قطعات ناپایدار آراگونیتی و ایجاد فضاهای خالی انحلالی و سیمانی شدن برخی از این فضاها توسط سیمان هم‌بعد متئوریک و دروزی بیانگر شرایط محیط دیازنری متئوریک در مرحله انوژن است (Miller et al., 2012). همچنین وجود رخساره‌های پهنه جزرومدی مانند مادستون دولومیتی شده بیانگر خارج شدن رمب کربناتی از آب و حاکم شدن شرایط محیط سبخایی است. این فرایندها نیز در محیط‌های انوژنری تشکیل شده‌اند. در رخساره‌های سبخایی و پهنه جزرومدی به دلیل تغییرات نسبی سطح آب دریا، فرایند انحلال رخ داده و توسعه تخلخل در این رخساره‌ها را سبب شده است. در این رخساره‌ها همچنین برخی از تخلخل‌ها توسط سیمان انیدریتی پر شده‌اند. شکستگی‌هایی که توسط سیمان‌های تبخیری یا کلسیتی پر شده‌اند ممکن است مربوط به این مرحله از دیازنر باشند (Vandeginste et al., 2013). فرایندهای دیازنری سیمانی شدن با فابریک‌های بلوکی، هم‌بعد، دروزی، رورشدی و پویکیلوپتییک، فشردگی مکانیکی و شیمیایی شامل فابریک درهم، رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها و بالاخره انحلال انتخابی در امتداد سطوح استیلولیتی در مرحله مزوژن اتفاق افتاده‌اند (Seyrafian et al., 2011; Madden and Wilson, 2013). پر شدن حفرات انحلالی ایجاد شده در مرحله انوژن توسط انواع مختلف سیمان‌های تدفینی در این مرحله رخ داده است. این سیمان‌ها در نمونه‌های دارای سیمان اولیه دریایی (هم‌ضخامت حاشیه‌ای) بر روی آن رشد کرده‌اند و مشخصه نسل دوم هستند (Madden and Wilson, 2013). سیمان رورشدی شفاف که مشخصه دیازنر تدفینی و مرحله مزوژن بوده (Boggs and Krinsley, 2006) در اطراف خرده‌های خارپوست در این مرحله تشکیل شده است. فرایند فشردگی مکانیکی که با تغییر شکل دانه‌ها از مرحله انوژن شروع شده بود با شکستگی دانه‌ها ادامه پیدا کرده (Ronchi et al., 2011) و در ادامه با تغییر نوع تماس دانه‌ها از نقطه‌ای و محدب-مقعر به حالت مضرس و انحلال در مرز دانه‌ها به فشردگی شیمیایی تبدیل شده است. شکستگی‌های بزرگ مقیاسی که بر روی مغزه‌های مورد مطالعه مشاهده شده و بافت سنگ را قطع کرده و همچنین توسط مطالعات نمودارهای تصویری و هرزروی

گل حفاری شناسایی شده‌اند (نورایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰)، در مرحله تولوژن رخ داده‌اند.

## ۷- کیفیت مخزنی و نقش فرایندهای دیازنری در توسعه آنها

در این مطالعه، فرایندهای دیازنری به همراه ویژگی‌های بافتی و رخساره‌ای بر کیفیت مخزنی مؤثر بوده‌اند. مقایسه کیفیت مخزنی با رخساره‌های رسوبی، فرایندهای دیازنری و سکناس‌های رسوبی مشخص شده در سنگ‌های کربناتی بهترین کیفیت مخزنی را در دسته‌رخساره‌های تراز بالا نشان می‌دهد که عمدتاً تحت تأثیر فرایندهای دیازنری انحلال و دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند و تخلخل‌های حفره‌ای و بین بلوری در آنها گسترش خوبی دارد. همچنین پایین‌ترین کیفیت مخزنی هم مربوط به دسته‌رخساره‌های پیشرونده است که در آنها، رخساره‌های دارای گل آهکی فراوان غلبه دارند و در آنها تخلخل‌های ثانویه مشاهده نمی‌شود. تخلخل‌های بین بلوری و حفره‌ای ناشی از فرایند دولومیتی شدن و انحلال اصلی‌ترین تخلخل‌های مؤثر در افزایش کیفیت مخزنی هستند. همچنین سیمان‌های هم‌ضخامت، که بلافاصله بعد از رسوب گذاری به وقوع پیوسته‌اند، مانع فرایند و از بین رفتن فضاهای تخلخلی در رخساره‌ها شده و در نتیجه نقش مؤثری در حفظ کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه داشته‌اند.

## ۸- چینه‌نگاری سکناسی

با توجه به تغییرات مشاهده شده در ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی و روند تغییرات نگار پرتو گاما، سه سکناس رسوبی درجه سوم در چاه‌های مورد مطالعه در میدان آسماری تشخیص داده شده است. مرزهای شناسایی شده شامل مرزهای فرسایشی یا نوع اول (SB1) و مرزهای غیر فرسایشی یا نوع دوم (SB2) هستند. در این میدان سکناس‌های سازند آسماری از دسته رخساره‌های TST، LST و HST تشکیل شده‌اند. نبود زمانی (روپلین- شاتین) در این میدان و قرارگیری رسوبات تبخیری سازند گچساران بر روی سازند آسماری به عنوان شواهد شناسایی مرز سکناسی نوع اول و تغییرات الگوی نهشته شدن رخساره‌ها به عنوان شواهد مرز سکناسی نوع دوم مورد استفاده قرار گرفته است.

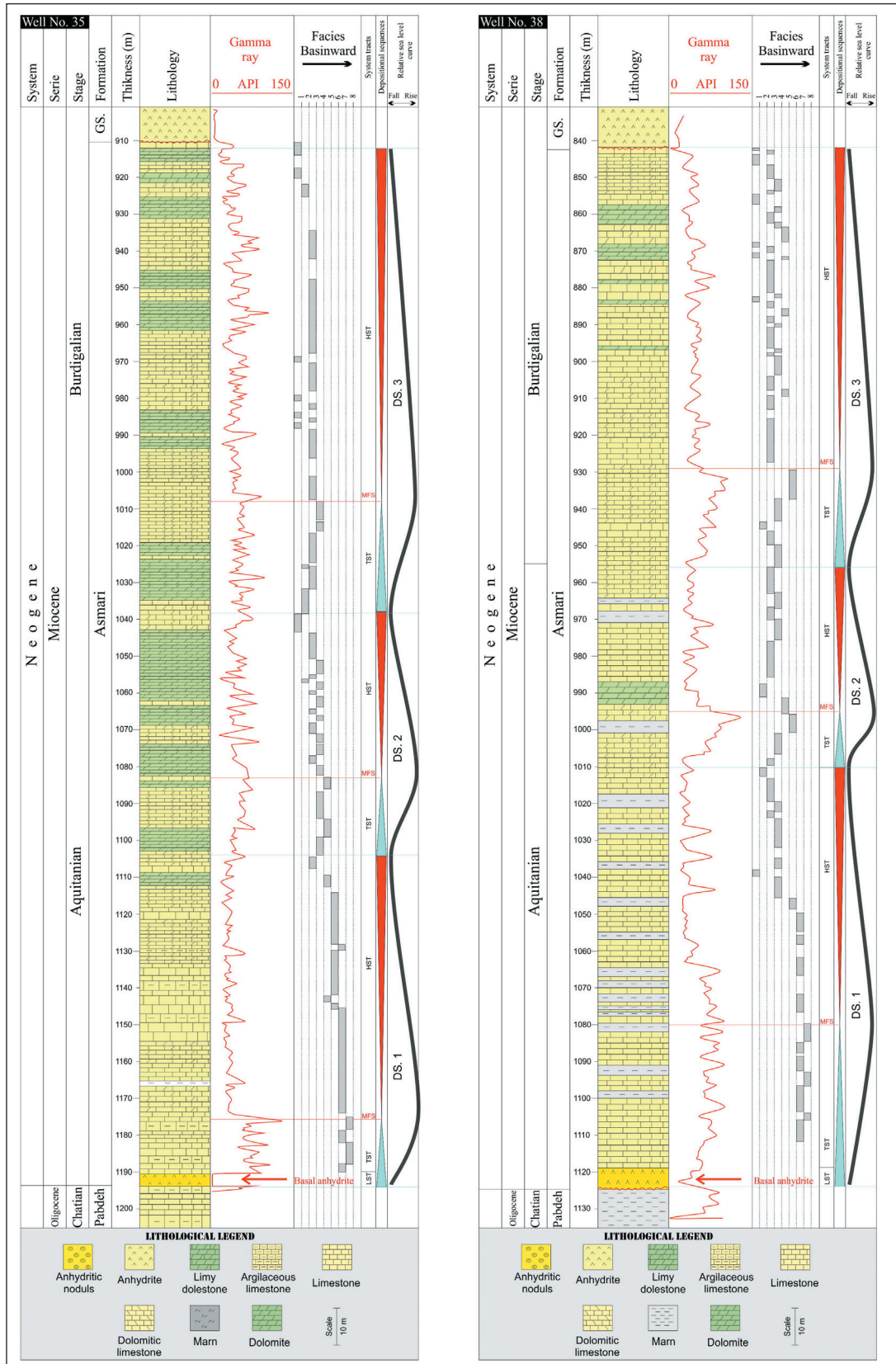
### ۸-۱. سکناس ۱

این سکناس از دسته‌رخساره‌های TST، LST و HST تشکیل شده است. شرایط محیطی در زمان نهشته شدن این سکناس از رمپ خارجی تا داخلی تغییر می‌کند. مرز زیرین این سکناس انیدریت قاعده آسماری است که در شرایط افت سطح آب دریا در یک محیط هیپرسالین با عمق ۱۰ تا ۱۵ متر (بسته به مورفولوژی کف حوضه) تشکیل شده است (Van-Buchem et al., 2010). با توجه به قرارگیری ریزرخساره ۸ از رمپ خارجی بر روی انیدریت قاعده‌ای، مرز زیرین این سکناس از نوع SB1 بوده و انیدریت قاعده‌ای به عنوان دسته‌رخساره‌های تراز پایین این سکناس در نظر گرفته شده است. ریزرخساره‌های ۷ از رمپ میانی و ۸ از رمپ خارجی دسته‌رخساره‌های پیشرونده این سکناس را تشکیل می‌دهند که همراه با بالا آمدن سریع سطح آب دریا نهشته شده‌اند. مقادیر لاگ گاما در محدوده دسته‌رخساره‌های تراز پایین این سکناس کم (میانگین ۴ در واحد API) و در محدوده TST با میانگین ۹۳ در واحد API بالاست و روندی افزایشی دارد. رخساره ۸ عمیق‌ترین رخساره این سکناس (و البته تمام سکناس‌ها) و بیانگر حداکثر پیشروی سطح آب دریا در این سکناس است و بعد از نهشته شدن آن رخساره‌های کم‌عمق‌تر رمپ میانی تشکیل شده‌اند. افزایش لاگ گاما به دلیل تناوب لیتولوژی (شیل و آهک) (به‌طور میانگین در چاه‌های این میدان ۱۰۶ در واحد API) در انتهای روند عمیق‌شوندگی رخساره‌ها، مؤید MFS این سکناس است. دسته‌رخساره‌های تراز بالای این سکناس تغییر شرایط محیطی از رمپ میانی به رمپ داخلی نشان می‌دهند. ریزرخساره‌های ۷ و ۶ از رمپ میانی با ضخامت نسبتاً زیاد شرایط ثابت سطح آب (early HST) را نشان می‌دهند و



زون‌های ۶ و ۵ در چاه ۳۵ و با زون‌های ۷، ۶ و ۵ (زون‌بندی مخزنی منطقه مورد مطالعه) در چاه ۳۸ مطابقت دارد. شرایط محیط رسوبی نظیر گسترش شیل‌ها و حجم بالای گل آهکی در رخساره‌های رمپ میانی و رمپ خارجی و گسترش سیمان‌های انیدریتی و کربناتی در رخساره‌های رمپ داخلی، کیفیت مخزنی این سکانس را کاهش داده‌اند (شکل ۸).

ریزرخساره‌های ۵، ۴، ۳ و ۲ از رمپ داخلی که ضخامت کمتری از دست‌رخساره‌های تراز بالا به خود اختصاص داده‌اند و روند کم‌عمق‌شوندگی سریعی نشان می‌دهند، به‌عنوان مرحله انتهایی (late HST) در نظر گرفته شدند (Zinke et al., 2003). مرز بالایی آن با روند کم‌عمق‌شدن رخساره‌ها و در نهایت منتهی شدن به رخساره‌های کم‌عمق رمپ داخلی (۱ در چاه ۳۸ و ۳ در چاه ۳۵) مشخص می‌شود. این سکانس با



شکل ۸- نمودارهای روند تغییر رخساره‌های رسوبی، عوارض دیاژنزی و سکانس‌های شناسایی شده سازند آسماری در چاه‌های ۳۸ و ۳۵ میدان نفت سفید.

## ۸-۲. سکانس ۲

HST را نشان می‌دهند (Khalifa et al., 2013). در مرحله early HST رخساره‌های تالاب با الگوی برافزایی (aggradational) و با ضخامت زیاد ته‌نشست شده‌اند و در انتهای این مرحله، روند کم‌عمق‌شدگی شروع می‌شود و در نهایت با نهشته شدن رخساره ۱ رسوب‌گذاری سازند آسماری به اتمام می‌رسد. این کم‌عمق‌شدگی منطبق بر انتهای رسوب‌گذاری سازند آسماری و مرز بین این سازند با سازند گچساران است که مرز بالایی این سکانس را به وجود آورده است. در قسمت HST این سکانس که با انتهای زون ۱ و ابتدای زون ۲ (زون‌بندی مخزنی منطقه مورد مطالعه) مطابقت دارد. به علت فرایند انحلال که منجر به تخلخل حفره‌ای شده و دولومیتی شدن که تخلخل بین بلوری را به وجود آورده، کیفیت مخزنی افزایش یافته است. فرایند انحلال گسترش بیشتری نسبت به دولومیتی شدن داشته است. در انتهای TST این سکانس که با انتهای زون ۲ مطابقت دارد به علت کاهش مقادیر انواع تخلخل به ویژه در نتیجه بافت گل‌پشتیبان رخساره رمپ میانی در چاه ۳۸ و تأثیر فرایند سیمان‌های کربناته و انیدریتی در چاه ۳۵ کیفیت مخزن کاهش یافته است. در این میدان بر اساس تغییرات سنگ‌شناسی و خواص پتروفیزیکی با استفاده از نمودارهای ترسیمی سرچاهی نمودارهای الکتریکی و پالئولاگ مخزن آسماری برای اولین بار به هفت زون مخزنی و انیدریت قاعده‌ای تقسیم‌بندی شده است (پاکدامن، ۱۳۸۲؛ شکل ۸).

## ۹- نتیجه‌گیری

مطالعات انجام شده بر روی مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری سازند آسماری در میدان نفتی نفت سفید منجر به شناسایی ۸ ریزرخساره شده که در محیط‌های رمپ داخلی (پهنه جزرومدی، تالاب و پشته زیر آبی)، رمپ میانی و رمپ خارجی نهشته شده‌اند.

بر اساس انواع رخساره‌ها، تغییرات آنها در توالی‌های عمودی و جانبی و درصد فراوانی رخساره‌ها، محیط رسوبی سازند آسماری بررسی شد. با توجه به عدم گسترش ریف سدی پیوسته، تبدیل تدریجی رخساره‌ها به یکدیگر و عدم حضور کورتوئیدها، آنکوئیدها، پیروئیدها و دانه‌های آگرگات که خاص پلنفرم‌های کربناتی نوع شلف هستند، محیط رسوب‌گذاری سازند آسماری در منطقه مورد مطالعه، پلانفرم کربناتی از نوع رمپ بوده است. با توجه به اینکه گسترش نهشته‌های رسوبی عمدتاً در رمپ داخلی و میانی مشاهده شده، رمپ کربناتی از نوع همشیب و احتمالاً مشابه خلیج فارس امروزی بوده است.

مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی شامل میکریتی شدن، تجدید تبلور، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، تراکم مکانیکی و شیمیایی و شکستگی در مراحل دیاژنزی انوژن، مزوژن و تلوزن رسوبات سازند آسماری در میدان نفتی مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده‌اند.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که فرایندهایی همچون دولومیتی شدن و انحلال سبب افزایش کیفیت مخزنی شده‌اند. دولومیتی شدن با ایجاد تخلخل بین بلوری و انحلال با ایجاد تخلخل قالبی و حفره‌ای نقش با ارزشی در افزایش کیفیت مخزنی این سازند داشته‌اند. از بین انواع مختلف سیمان‌های کلسیتی به نظر می‌رسد تنها سیمان هم‌ضخامت نقش مثبت در نگهداشت کیفیت مخزنی داشته است.

بررسی چینه‌نگاری سکانسی منجر به شناسایی سه سکانس رسوبی رده سوم در سازند آسماری شد. سکانس ۱ با مرز سکانسی نوع اول آغاز شده است که عوارضی همچون انیدریت قاعده‌ای در این بخش تشخیص داده شد. مرز بالایی سکانس سوم منطبق بر ناپیوستگی مرز سازند آسماری با سازند گچساران است. سکانس رسوبی اول و دوم سن اکتیانین و سکانس سوم سن بوردیگالین دارند.

شرایط محیط رسوبی نظیر گسترش شیل‌ها و حجم بالای گل آهکی در رخساره‌های رمپ میانی و رمپ خارجی و گسترش سیمان‌های انیدریتی و کربناتی در رخساره‌های رمپ داخلی، کیفیت مخزنی سکانس ۱ را کاهش داده‌اند.

در انتهای سکانس ۲ (انتهای HST) که با انتهای زون ۳ و ابتدای زون ۴ (زون‌بندی مخزنی منطقه مورد مطالعه) مطابقت دارد به علت فرایند انحلال که منجر به تخلخل

این سکانس از دسته رخساره‌های TST و HST تشکیل شده است. روند کم‌عمق‌شدگی در سکانس اول منجر به نهشته شدن ریزرخساره ۱ در چاه ۳۸ و ریزرخساره ۳ در چاه ۳۵ شده است. با تغییر الگوی رخساره‌ها از کم‌عمق‌شدگی به عمیق‌شدگی، در چاه ۳۸ ریزرخساره ۴ که شرایط محیطی تالاب باز را نشان می‌دهد بر روی ریزرخساره ۳ (تالاب محدود) و در چاه ۳۵ ریزرخساره ۳ بر روی ریزرخساره ۱ نهشته شده است. این تغییر روند در سکانس دوم ادامه می‌یابد. از این رو مرز زیرین سکانس دوم با توجه به تغییر الگوی رسوب‌گذاری و عدم وجود شواهد خروج از آب، از نوع SB2 است. دسته‌رخساره‌های TST شامل رخساره‌های تالاب و دریای باز از ابتدای رمپ میانی در چاه ۳۸ و تالاب و پشته زیر آبی در چاه ۳۵ هستند که به‌طور مشخص در هر ۲ چاه روند عمیق‌شونده با بالا آمدن سریع سطح آب نشان می‌دهند، که همراه با روند افزایشی مقادیر لاگ گاما (به‌طور میانگین در چاه‌های این میدان ۷۵ در واحد API) تأیید می‌شود. ریزرخساره پشته زیر آبی ۵ در چاه ۳۵ و ۶ در چاه ۳۸ عمیق‌ترین رخساره‌های TST در این سکانس، و مؤید حداکثر پیشروی سطح آب دریا MFS هستند. دسته‌رخساره‌های HST در این سکانس صرفاً شرایط محیطی رمپ داخلی دارند. در چاه ۳۸ ریزرخساره پشته زیر آبی ۵، تالاب باز ۴، تالاب محدود ۳ و ساب‌تایدال کم‌عمق ۱ و در چاه ۵۵ رخساره‌های تالاب باز ۳، تالاب محدود ۳، ساب‌تایدال کم‌عمق ۱ و پهنه‌های جزرومدی ۱ با توجه به محتوای فیسیلی که اغلب روزن‌داران کف‌زی تالاب دارند (Hfaiedh et al., 2013) و با توجه به کم‌عمق شدن آنها در توالی رخساره‌ای، مشخصات دسته‌رخساره‌های تراز بالا را نشان می‌دهند. در انتهای این سکانس ریزرخساره ۱ در پهنه‌های جزرومدی در چاه ۳۵ و ریزرخساره ۳ در چاه ۳۸ نهشته شده‌اند که حداکثر کم‌عمق‌شدگی را در این سکانس نشان می‌دهند. اما با توجه به نبود شواهد خروج از آب، مرز بالایی این سکانس SB2 در نظر گرفته می‌شود. بر اساس سکانس‌های (Van-Buchem et al., 2010) سن آکی‌تاین پسین برای این سکانس مورد تأیید است. در انتهای این سکانس (انتهای HST) که با انتهای زون ۳ و ابتدای زون ۴ (زون‌بندی مخزنی منطقه مورد مطالعه) مطابقت دارد، به علت فرایند انحلال که منجر به تخلخل حفره‌ای شده و دولومیتی شدن که تخلخل بین بلوری را به وجود آورده، کیفیت مخزنی افزایش یافته است. لازم به ذکر است که در این بخش فرایند دولومیتی شدن گسترش بیشتری نسبت به انحلال داشته است. در چاه ۲۸ آغشتگی مغزه‌ها به نفت در محدوده رخساره A5 خوب و در سایر قسمت‌ها متوسط و در چاه ۳۵ در محدوده رخساره A5 متوسط تا ضعیف است. این تفاوت می‌تواند احتمالاً به این دلیل باشد که رخساره A5 در چاه ۳۸ در شرایط تراز بالای سطح آب دریا و در چاه ۳۵ در TST و قبل از سطح حداکثر پیشروی سطح آب دریا نهشته شده است. به گونه‌ای که این رخساره در چاه ۳۸ گریستون آئیددار است و در چاه ۳۵ به پکستون تا گریستون آئیددار تغییر می‌کند. در مجموع کیفیت مخزنی زون ۴ در چاه ۲۸ بهتر از چاه ۳۵ و عمدتاً متأثر از شرایط محیط رسوبی و باقی ماندن تخلخل‌های بین دانه‌ای اولیه است (شکل ۸).

## ۸-۳. سکانس ۳

این سکانس نیز از دسته‌رخساره‌های TST و HST تشکیل شده است. بالا آمدن سریع سطح آب در ابتدای این سکانس شرایط رمپ داخلی تا میانی را حکمفرما می‌کند. در این شرایط ابتدا رخساره‌های تالاب محدود، تالاب باز و سپس رخساره دریای باز از رمپ میانی نهشته می‌شوند که دسته‌رخساره‌های TST این سکانس را تشکیل می‌دهند. این روند افزایش عمق محیط رسوبی همراه با افزایش مقادیر لاگ گاما (به‌طور میانگین در چاه‌های این میدان ۹۰ در واحد API) است. در چاه ۳۵ ریزرخساره ۴ و در چاه ۳۸ ریزرخساره ۶ مبین سطح حداکثر پیشروی آب دریا در این سکانس هستند که پس از نهشته شدن آنها الگوی رخساره‌ها کم‌عمق‌شونده می‌شود. رخساره‌های سدی، لاگونی و پهنه‌های جزرومدی، دسته‌رخساره‌های تراز بالای این سکانس را تشکیل می‌دهند. دسته‌رخساره‌های تراز بالا مشخصات ۲ مرحله

رمپ میانی و تأثیر فرایند سیمان‌های کربناته و انیدریتی، کیفیت مخزن کاهش یافته است.

از مقایسه کیفیت مخزنی با رخساره‌های رسوبی، فرایندهای دیاژنزی و سکانس‌های رسوبی مشخص شده در سنگ‌های کربناتی، بهترین کیفیت مخزنی در دسته‌رخساره‌های تراز بالا دیده می‌شود که عمدتاً تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی انحلال و دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند، تخلخل‌های حفره‌ای و بین بلوری در آنها گسترش خوبی دارند و کمترین کیفیت مخزنی هم مربوط به دسته‌رخساره‌های پیشرونده است که رخساره‌های دارای گل آهکی فراوان همراه با عدم توسعه تخلخل‌های ثانویه غلبه دارند.

حفره‌ای شده و دولومیتی شدن که تخلخل بین بلوری را به وجود آورده، کیفیت مخزنی افزایش یافته است. لازم به ذکر است که در این بخش فرایند دولومیتی شدن گسترش بیشتری نسبت به انحلال داشته است. در قسمت HST سکانس ۳ که با انتهای زون ۱ و ابتدای زون ۲ (زون‌بندی مخزنی منطقه مورد مطالعه) مطابقت دارد به علت فرایند انحلال که منجر به تخلخل حفره‌ای شده و دولومیتی شدن که تخلخل بین بلوری را به وجود آورده، کیفیت مخزنی افزایش یافته است. لازم به ذکر است که فرایند انحلال گسترش بیشتری نسبت به دولومیتی شدن داشته است. در انتهای TST این سکانس که با انتهای زون ۲ مطابقت دارد به علت کاهش مقادیر انواع تخلخل به ویژه در نتیجه بافت گل‌پشتیبان رخساره

## کتابنگاری

- آورجانی، ش.، محبوبی، ا. و موسوی حرمی، ر.، ۱۳۹۰- ریزرخساره، محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی رسوبات الیگو-میوسن (سازند آسماری) در میدان نفتی کوپال، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، صص. ۴۵ تا ۶۰.
- پاکدامن، ع.، ۱۳۸۲- زون‌بندی چاه‌های ۳۰ و ۳۱ میدان نفت سفید آسماری گزارش پ-۵۹۶۵، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب.
- نورایی‌نژاد، خ.، امیری‌بختیار، ح.، محمدیان، ر. و ساعدی، ق.، ۱۳۹۰- تعیین غیر مستقیم گسترش شکستگی‌ها در مخزن آسماری میدان مارون، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۸۰، صص. ۵۲ تا ۵۶.

## References

- Ahmad, A. H. M., Bhat, G. M. and Azim Khan, M. H., 2006- Depositional environments and diagenesis of the Kuldhar and Keera Dome Carbonates (Late Bathonian-Early Callovian) of Western India, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 765- 778.
- Al-Aasm, I. S., Ghazban, F. and Ranjbaran, M., 2009- Dolomitization and related fluid evolution in the Oligocene – Miocene Asmari Formation, Gachsaran Area, SW Iran: petrographic and isotopic evidence, *Journal of Petroleum Geology*, 32 (3), 287- 304.
- Alsharhan, A. S., 1997- Depositional setting, diagenesis and reservoir properties of the Maastrichtian platform carbonate sequences of the Southern Arabian Gulf. Conference on Jurassic-Cretaceous Carbonate Platform - Basin Systems Middle East Models, December 7-9, Al Ain, UAE.
- Amirshahkarami, M., Vaziri-Moghaddam, H. and Taheri, A., 2007- Paleoenvironmental model and sequence stratigraphy of the Asmari Formation in southwest Iran, *Historical Biology*, 19 (2), 173- 183.
- Aqrabi, A. A. M., Keramati, M., Ehrenberg, S. N., Pickard, N., Moallemi, A., Svånå, T., Darke, G., Dickson, J. A. D. and Oxtoby, A., 2006- Origin of dolomite in the Asmari Formation (Oligocene-lower Miocene), Dezful Embayment, SW Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 29, 381- 402.
- Bo, Z., Ming, L., Shufu, D., Changjian, Z., Guanghui, W., Changmin, Z. and Li, G., 2012- Dolomitization mechanism of Cambrian carbonates in the Bachu area, Tarim Basin, NW China, *Petroleum Exploration and Development*, 39 (2): 212- 217.
- Boggs, S. Jr. and Krinsley, D., 2006- Application of Cathodoluminescence Imaging to Study of Sedimentary Rocks, Cambridge University Press, Cambridge, 165 p.
- Brandano, M., Frezza, V., Tomassetti, L. and Pedley, M., 2009- Facies analysis and palaeoenvironmental interpretation of the Late Oligocene Attard Member (Lower Coralline Limestone Formation), Malta: *Sedimentology*, 56, 1138- 1158.
- Buxton, M. W. N. and Pedley, H. M., 1989- Short paper: a standardized model for Tethyan Tertiary carbonates ramps, *Journal of the Geological Society of London*, 146 (5), 746- 748.
- Cosovic, V., Drobne, K. and Moro, A., 2004- Paleoenvironmental model for Eocene foraminiferal limestones of the Adriatic carbonate platform (Istrian Peninsula), *Facies*, 50, 61- 75.



- Dunham, R. J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W. E., ed., Classification of Carbonate rocks: AAPG-Publ-Memoris 1, Tulsa, Oklahoma, pp. 108- 121.
- Ehrenberg, S. N., Eberli, G. P., Keramati, M. and Moallemi, S. A., 2006- Porosity-permeability relationships in interlayered limestone-dolostone reservoirs, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 90 (1), 91- 114.
- El-Saiy, A. K. and Jordan, B. R., 2007- Diagenetic aspects of tertiary carbonates west of the Northern Oman Mountains, United Arab Emirates, Journal of Asian Earth Sciences, 31, 35- 43.
- Flügel, E., 2010- Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application (2th edition), Springer, Heidelberg, 976 p.
- Friedman, G. M., 1965- Terminology of crystallization textures and fabrics in sedimentary rocks, Journal of Sedimentary Petrology, 35, 643- 655.
- Geel, T., 2000- Recognition of Stratigraphic sequence in carbonate platform and slope deposits: empirical models based on microfacies analyses of Paleogene deposits in southeastern Spain: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 155, 211- 238.
- Hakimzadeh, S. and Seyrafian, A., 2008- Late Oligocene-Early Miocene benthic foraminifera and biostratigraphy the Asmari Formation, south Yasuj, north-central Zagros basin, Iran: Carbonates and Evaporites, 23 (1), 1- 10.
- Hfaiedh, R., Arnaud Vanneau, A., Godet, A., Arnaud, A., Zghal, I., Ouali, J., Latil, J.L. and Jallali, H., 2013- Biostratigraphy, palaeoenvironments and sequence stratigraphy of the Aptian sedimentary succession at Jebel Bir Oum Ali (Northern Chain of Chotts, South Tunisia): Comparison with contemporaneous Tethyan series, Cretaceous Research, 46, 177- 207.
- Khalifa, M. A., Abu El-Ghar, M. S., Helal, S. A. and Hussein, A. W., 2013- Sequence stratigraphy of the Cenomanian Gualala Formation, north eastern desert, Egypt, Journal of African Earth Sciences, doi:10.1016/j.jafrearsci.2013.09.005.
- Mackenzie, F. T., 2003- Carbonate Mineralogy and Geochemistry. In: Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks (Ed. Middleton, G. V.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 91- 100.
- Miller, C. R., James, N. P. and Bone, Y., 2012- Prolonged carbonate diagenesis under an evolving Late Cenozoic climate; Nullarbor Plain, southern Australia, Sedimentary Geology, 261-262, 33- 49.
- Pomar, L., 2001- Ecological control at sedimentary accommodation: evolution from a carbonate ramp to rimmed shelf, Upper Miocene, Balearic Island: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 175 (1), 249- 272.
- Pomar, L., Mateu-Vicens, G., Morsilli, M. and Brandano, M., 2014- Carbonate ramp evolution during Late Oligocene ( Chattian), Salento Peninsula, southern Italy, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, doi: 10.1016/j.palaeo.2014.03.023.
- Ronchi, P., Jadoul, F., Ceriani, A., Giulio, A. D., Scotti, P., Ortenzi, A. and Massara, E. P., 2011- Multistage dolomitization and distribution of dolomitized bodies in Early Jurassic carbonate platforms (Southern Alps, Italy), Sedimentology, 58, 532- 565.
- Seyrafian, A., Vaziri-Moghaddam, H., Arzani, N. and Taheri, A., 2011- Facies analysis of the Asmari Formation in central and north-central Zagros basin southwest Iran: Biostratigraphy, paleoecology and diagenesis, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 28 (3), 439- 458.
- 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, Oriental Press, Manama Bahrain, 2, 371 p.
- Shull, D. H., 2001- Transition-matrix model of bioturbation and radionuclide diagenesis, Limnology and Oceanography, 46 (4), 905- 916.
- Tucker, M. E. and Wright, V. P., 1990- Carbonate Sedimentology, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482 p.
- Tucker, M. E., 1991- Sedimentary Petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks, Blackwell Scientific Publication, England, 260 p.
- Van-Buchem, F. S. P., Allan, T. L., Laursen, G. V., Lotfpour, M., Moallemi, A., Monibi, S., Motiei, H., Pickard, N. A. H., Tahmasbi, A. R., Vedrenne, V. and Vincent, B., 2010- Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran, Geological Society of London, Special Publications, 329, 219- 263.
- Vandeginste, V., John, C. and Manning, Ch., 2013- Interplay between depositional facies, diagenesis and early fractures in the Early Cretaceous Habshan Formation, Jebel Madar, Oman, Marine and Petroleum Geology, 43, 489- 503.
- Vaziri-Moghaddam, H., Kimiagari, M. and Taheri, A., 2006- Depositional environment and sequence stratigraphy of the Oligocene-Miocene Asmari Formation in SW Iran: Facies, 52, 41- 51.
- Wanas, H. A. and Soliman, H. E., 2014- Calcretes and palustrine carbonates in the Oligo-Miocene clastic-carbonate unit of the Farafra Oasis, Western Desert, Egypt: Their origin and palaeoenvironmental significance, Journal of African Earth Sciences, 95, 145- 154.

- Wilson, M. E. J., and Evans, M. E. J., 2002- Sedimentology and diagenesis of Tertiary carbonates on the Mangkalahat Penninsula, Boreneo: implications for subsurface reservoir quality, *Marine and Petroleum Geology*, 19, 873- 900.
- Zinke, J., Reijmer, J. J. G. and Thomassin, B. A., 2003- Systems tracts sedimentology in the lagoon of Mayotte associated with the Holocene transgression, *Sedimentary Geology*, 160, 57- 79.

# Determination of main reservoir controlling factors of Asmari Formation in Naft-Sefid oil field, Northern Dezful Embayment

A. Salmani<sup>1</sup>, H. Rahimpour-Bonab<sup>2\*</sup>, M. Ranjbaran<sup>3</sup> and S. M. Aleali<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>4</sup>Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2017 February 14

Accepted: 2017 August 09

## Abstract

Asmari Formation (Oligocene - Miocene) is the first fractured prolific carbonate reservoir that ever known in the world and is the most important hydrocarbon reservoir in Iran. The large quantity of the produced oil in Dezful Embayment is from this formation. Thin section studies in this formation lead to identification of eight microfacies related to the homoclinal ramp with three subdivisions (inner ramp, middle ramp and outer ramp). Many diagenetic processes such as; micritization, neomorphism, bioturbation, dolomitization, dissolution, cementation, mechanical and chemical compaction, fracturing have affected the Asmari carbonates in studied oil field during eogenesis, mesogenesis and telogenesis processes. Three sequences (third order) have been identified based on sequence stratigraphy studies. Based on all results from this study it could be pointed out that; dolomitization, dissolution and cementation are the most important factors that controlled the reservoir quality in this field. Cementation (calcite and anhydrite cements with different fabrics) reduced reservoir quality in different facies. Seemingly, fabric destructive dolomitization increased reservoir quality with creating intercrystalline porosity in mudstone facies and connecting isolated pores (via dissolution) in most of facies. Dissolution has prime importance where occurred and increased reservoir quality. Contrasting to the other Asmari hydrocarbon fields in Zagros which fracturing is the most important factor in increasing reservoir quality, in Naft-Safid oil field, most of fractures have been filled by calcite cement. Thus, diagenetic imprints (such as dissolution and dolomitization) have more effects on increasing reservoir quality than fracturing.

**Keywords:** Asmari Formation, Naft-e sefid oil field, Diagenesis, Sedimentary environment, Sequence stratigraphy

For Persian Version see pages 215 to 226

\*Corresponding author: H. Rahimpour-Bonab; E-mail: rahimpor@ut.ac.ir