

## پتروگرافی، محیط‌رسوبی و ارزیابی پتانسیل مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی کیلورکریم در چهارچوب چینه‌نگاری سکانشی

رضا میرزایی محمودآبادی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد استهبان، استهبان، ایران

نویسنده مسئول: r\_mirzaem@iauest.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

به منظور مطالعه پتروگرافی، محیط‌رسوبی، چینه‌نگاری سکانشی و ارزیابی پتانسیل مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی کیلورکریم تعداد ۵ چاه از این میدان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس مطالعه ۸۰۰ برش نازک تهیه‌شده از خرده‌های حفاری و مغزه‌ها تعداد ۱۵ ریزرخساره شناسایی گردید که در یک رمپ کربناته هم‌شیب رسوب‌گذاری شده‌اند. فرایندهای دیاژنزی عمده که بر روی سازند آسماری تأثیرگذار بوده‌اند شامل میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، فشردگی، پیریتی شدن، هماتیتی شدن و شکستگی هستند. فرایندهای دیاژنتیکی شناسایی‌شده محصول دیاژنز کم‌ژرفای دریایی و جوی<sup>۱</sup> تا عمیق هستند. مجموع مطالعات پتروگرافیکی و پتروفیزیکی نشان داد که می‌توان مخزن آسماری را در ناحیه مورد مطالعه به تعداد ۵ زون مخزنی تفکیک کرد که در میان زون‌های مخزنی معرفی‌شده تنها زون‌های شماره ۱ و تا حدی زون شماره ۴ پتانسیل مخزنی قابل قبولی از خود نشان می‌دهند. با توجه به تغییرات سنگ‌شناسی، تغییرات لاگ گاما، تغییرات عمودی ریزرخساره‌ها چینه‌نگاری سکانشی مخزن آسماری در چاه شماره ۵ میدان مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت و تعداد ۵ سکانش رسوبی درجه سوم تشخیص داده شد. به‌طور کلی سیستم تراکت تراز پیشرونده در توالی مورد مطالعه با افزایش کمی مقدار لاگ گاما در هر ۵ سکانش مشخص می‌شود. سیستم تراکت تراز بالا در طول ضخامت مخزن در هر پنج سکانش رسوبی تفکیک شده با کاهش و یا ثابت ماندن مقادیر لاگ گاما مشخص می‌شود. نکته مهم در مورد این سیستم تراکت هم ارزی این سیستم تراکت با افزایش پتانسیل مخزنی در طول مخزن است. گسترش رخساره‌های دانه‌پشتیان متأثر از محیط رسوب‌گذاری و فرایندهای دیاژنتیکی از قبیل انحلال، دولومیتی شدن و شکستگی‌ها از عوامل بالا بودن پتانسیل مخزنی در دسته رخساره‌های HST است.

واژگان کلیدی: پتروگرافی، دیاژنز، سازند آسماری، سیستم تراکت، لاگ گاما

### پیشگفتار

گسترش دارد (مطیعی، ۱۳۷۲ و ۱۳۷۴). کمربند چین‌خورده زاگرس در امتداد لبه شمالی - شمال خاوری صفحه عربی از جنوب-خاور ترکیه، سوریه و عراق تا نزدیکی گسل میناب در جنوب ایران ادامه دارد (بهرودی و کویی، ۲۰۰۴). سازند آسماری (الیگومیوسن) مهم‌ترین سازند مخزنی حوضه رسوبی پیش‌بوم زاگرس است (مطیعی، ۱۳۷۴). ارزیابی پتروفیزیکی علم تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل از نمودارهای چاه‌پیمایی است که از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین ویژگی‌های سنگ مخزن هیدروکربوری استفاده می‌کند. نگارهای چاه‌پیمایی به‌صورت یک ثبت پیوسته از خواص سنگ‌های درون چاه

مناسب‌ترین حوضه‌های رسوبی جهت تجمع مواد هیدروکربوری حوضه‌های رسوبی کم‌ژرفا یا پیش‌بوم<sup>۱</sup> هستند (بردناو و هگری، ۲۰۱۰). حوضه رسوبی زاگرس به‌عنوان بخشی از سیستم کوهزایی آلپ - هیمالیا در جنوب باختر ایران یکی از غنی‌ترین کمربندهای چین‌خورده - رانده<sup>۲</sup> جهان بوده که به‌صورت یک حوضه پیش‌ژرفا دارای ذخیره بیش از ۸۱ بیلیون بشکه نفت است. این کمربند چین‌خورده - رانده با توالی ضخیم ۷ تا ۱۴ کیلومتری از رسوبات ته‌نشین شده در منطقه‌ای با طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و عرض ۳۰۰-۱۰۰ کیلومتر

<sup>1</sup> Meteoric

<sup>1</sup> Forland

<sup>2</sup> Trust Belt Zone

۱۳۹۹)، تفکیک ۳ سکانس رسوبی درجه سوم در سازند آسماری میدان کارون با استفاده از ریخت‌شناسی لاگ گاما (اکبرزاده و همکاران، ۱۳۹۹)، چینه‌نگاری سکانسی سازند سروک با استفاده از داده‌های لاگ گاما (مرادی و همکاران، ۲۰۱۹) و ارزیابی ویژگی‌های مخزنی بر اساس شواهد چینه‌نگاری سکانسی و ارزیابی مقدار تخلخل، اشباع آب و حجم شیل در هر سیستم تراکت و آنالیز سکانس‌های رسوبی سازند آسماری دریکی از میادین نفتی خلیج فارس توسط (هزاریان و همکاران، ۱۴۰۰) اشاره کرد که در این مطالعه مشخص کردند که سیستم تراکت ترازبالا کیفیت مخزنی بهتری نسبت به سیستم تراکت ترازپایین دارد از دیگر مطالعات مشابه قبلی صورت گرفته بر روی سازند آسماری می‌توان به بررسی پتروفیزیکی و تعیین گونه سنگی مخزن آسماری به روش احتمالی و قطعی توسط حیدری و همکاران (۲۰۲۰) و بررسی ریزرخساره‌های میکروسکوپی، ارزیابی رابطه بین رخصاره‌های میکروسکوپی و پتانسیل مخزنی سازند آسماری در جنوب باختری ایران توسط میرزایی محمودآبادی (۲۰۱۷) و (۲۰۲۰) اشاره کرد.

هدف از این مطالعه بررسی هم‌زمان خصوصیات پتروگرافی و پتروفیزیکی مخزن آسماری و تعیین فرایندهای دیاژنتیکی و انطباق داده‌های چینه‌نگاری سکانسی (بخصوص انطباق سیستم تراکت‌ها با پتانسیل مخزنی) این سازند در میدان نفتی کیلورکریم است تا بتوان با استفاده از مقایسه داده‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه را زون‌بندی کرد. توصیف اختصاصات سنگ‌های مخازن زمینه‌ساز اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز است. در این راستا، تفکیک مناسب زون‌های مخزنی از غیرمخزنی در شناخت واحدهای جریان‌ی، تهیه مدل‌های استاتیک، بررسی پویایی مخازن هیدروکربنی و توسعه میادین نفتی از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

#### موقعیت جغرافیایی میدان نفتی کیلورکریم

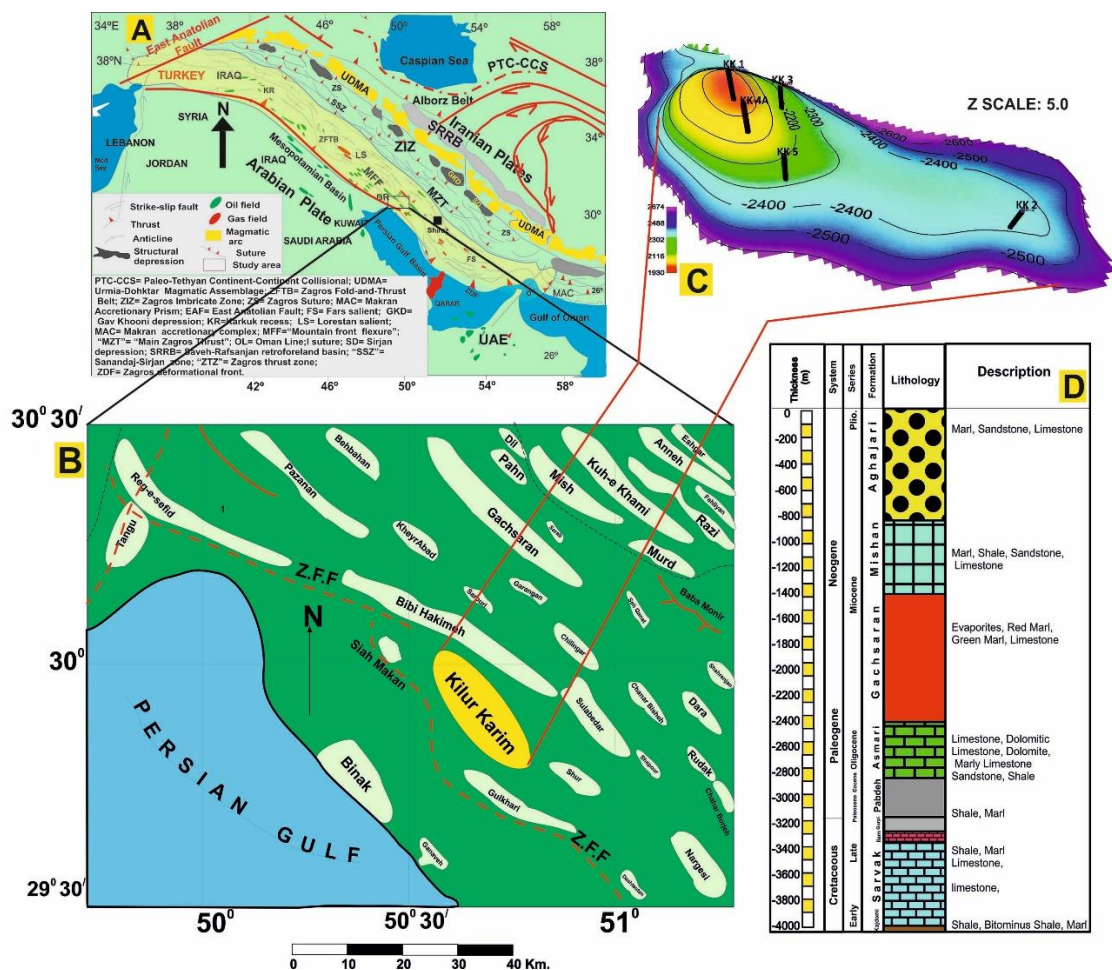
میدان نفتی کیلورکریم با طول ۲۸ و عرض بین ۶ تا ۷ کیلومتری در ۳۰ کیلومتری شمال خلیج فارس، جنوب شهرستان دزفول در امتداد ساختمان‌های شور و سیاه مکان قرار گرفته است. این میدان از طرف شمال توسط یک راندگی از ساختمان کشیده بی‌بی‌حکیمه جدا می‌گردد. بررسی وضعیت منحنی‌های هم‌تراز واقع در

هستند که به علت ارزان‌تر بودن بر به‌کارگیری مغزه ارجحیت دارند. تعیین پارامترهای پتروفیزیکی و بررسی توزیع آن‌ها در فواصل مخزنی، می‌تواند منجر به زون‌بندی جدید و تغییر ستبرای تولیدی میدان‌ها شود. تخلخل و تراوایی سنگ‌های مخزنی از مهم‌ترین خواص پتروفیزیکی مربوط به ذخیره‌سازی و انتقال سیالات در مخزن هستند. آگاهی دقیق از این دو ویژگی برای هر مخزن به همراه خواص سیال جهت پیش‌بینی عملکرد آینده نفتی میدان لازم است (تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴). نمودارهای پتروفیزیکی مهم که برای تعیین تخلخل به کار می‌روند شامل داده‌های نوترون، چگالی و صوتی هستند. تعیین تراوایی توسط نمودارهای پتروفیزیکی با دقت پایینی همراه است. به همین دلیل می‌توان برای بررسی تعیین تراوایی از داده‌های مغزه و برای مطالعات پتروگرافی شناسایی انواع تخلخل و بررسی فرایند دیاژنتی و ارتباط آن‌ها با میزان تخلخل و تراوایی می‌توان از برش‌های نازک استفاده کرد (بورای، ۱۹۸۷). به‌طور کلی آگاهی دقیق از پارامترهای مخزنی می‌تواند در شناسایی زون‌های مخزنی با بهره‌دهی بالا، دینامیک سیالات مخزن، تولید بهینه و نگهداشت توان تولید مخازن نقش مهمی را ایفا کند (پرینگل و همکاران، ۲۰۰۸). بررسی پتروگرافی، محیط‌رسوبی و زون‌بندی مخازن نفتی در چهارچوب چینه‌نگاری سکانسی جهت مدیریت و صیانت از مخازن هیدروکربوری بسیار مفید واقع می‌شود و در پیش‌بینی رفتار مخزن و مدیریت اصولی مخازن می‌تواند به کار گرفته شود.

به‌طور کلی تاکنون مطالعه مستقیمی بر روی سازند آسماری در میدان نفتی کیلورکریم انجام نشده است. از مطالعات مشابه استفاده از تغییرات لاگ گاما در تشخیص مرزها و آنالیز سکانس‌های رسوبی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. تشخیص یک سکانس رسوبی رده سوم و یک دسته رخصاره ترازبالا در سازند داریان در میدان گازی پارس جنوبی (امیری و همکاران، ۱۳۹۰)، تشخیص دو سکانس رسوبی درجه سوم با استفاده از پیک لاگ گاما و آنالیز MESA در میدان نفتی کوپال (عباساکی و همکاران، ۱۳۹۴). تشخیص دو سکانس رسوبی درجه سوم در سازند کنگان میدان تابناک توسط آنالیز لاگ گاما (نیک‌بین و همکاران، ۱۳۹۸). تشخیص ۳ سکانس رسوبی درجه سوم در سازند داریان با استفاده از روش انحراف معیار لاگ گاما و محاسبه مقدار تجمعی انحراف معیار (داودی و همکاران،

مکان شده است. موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه همراه با تقسیم‌بندی تکتونیکی ایران (علوی، ۲۰۰۷) به همراه ستون سنگ‌چینه‌ای چاه شماره ۵ در شکل ۱ آمده است.

سطح فوقانی مخزن آسماری ناحیه کیلور کریم، بی‌بی حکیمه و سیاه مکان نشان از عدم هماهنگی در وضع ظاهری تاقدیس‌ها و نحوه قرار گرفتن آن‌ها در دو سمت گسل دارد. عملکرد گسل در طی زمان باعث انحنای قسمت جنوبی محورهای دو ساختار کیلور کریم و سیاه



شکل ۱. A- تقسیم‌بندی تکتونیکی ایران (با تغییرات از علوی، ۲۰۰۷) - B- موقعیت جغرافیایی میدان نفتی کیلور کریم (با تغییرات از مقصودی و شرکتی، ۱۳۸۰) - C- نمای سه‌بعدی از میدان نفتی کیلور کریم و موقعیت چاه‌های حفاری شده (اقتباس از شفیع، ۱۳۸۹). D- ستون سنگ‌چینه‌ای چاه شماره ۵ میدان نفتی کیلور کریم (اقتباس از شفیع، ۱۳۸۹).

از دولومیت از پودر آلیزارین قرمز به روش دیکسون (۱۹۶۵) استفاده شده است. طبقه‌بندی و نام‌گذاری سنگ‌ها براساس طبقه‌بندی دانه‌ام (۱۹۶۲) صورت گرفته است. بررسی و تحلیل ریزرخساره‌ها و تفسیر محیط‌های رسوب‌گذاری براساس رخصاره‌های استاندارد فلوگل (۲۰۱۰) و مدل ویلسون (۱۹۷۵) مستند شده‌اند. جهت تقسیم‌بندی و مطالعه کمی و کیفی دولومیت‌ها بر اساس شکل و اندازه بلورها با استفاده از روش‌های سیبلی و گرگ (۱۹۸۷) و وارن (۲۰۰۶) استفاده شد. جهت نام‌گذاری دقیق‌تر ریزرخساره‌ها، فرایندهای دپازنتیکی و

### مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی و مطالعه خواص مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی کیلور کریم تعداد ۵ حلقه چاه انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل پتروفیزیکی و میکروسکوپی قرار گرفت. در این مطالعه برای تعیین رخصاره‌های میکروسکوپی و فرایندهای دپازنتیکی از تعداد ۸۰۰ برش نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری و مغزه‌ها استفاده شده است. جهت مطالعه پتروگرافیکی ریزرخساره‌ها از میکروسکوپ پلاریزان استفاده شده است. جهت تشخیص تخلخل از رنگ بلودای اپوکسی و جهت تشخیص کلسیت

(۱۹۷۵) و فلوگل (۲۰۱۰) و زیرمحیط رسوبی آمده است. اشکال رخساره‌های میکروسکوپی شناسایی شده در شکل ۲ آمده است.

### تفسیر رخساره‌های میکروسکوپی و محیط‌رسوبی

جهت ارزیابی محیط رسوبی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه ابتدا از روش سلی (۱۹۷۸) و قانون والتر الگوی برهم نهش ریزرخساره‌ها مشخص و مجموعه‌های رخساره‌ای تعیین شدند، سپس با مقایسه خصوصیات ریزرخساره‌ها با کمربندهای رخساره‌ای استاندارد نظیر ویلسون (۱۹۷۵) و فلوگل (۲۰۱۰) مدل رسوبی پیشنهادی سازند آسماری در محدوده میدان نفتی مورد مطالعه پیشنهاد گردید. رخساره‌های سازند آسماری در میدان مورد مطالعه در چهار کمربند پهنه جزرومدی، سد (شول)، لاگون و دریای باز در یک پلاتفرم رمپ هموکلینال نهشته شده‌اند (شکل ۷).

### ریزرخساره‌های کمربند رخساره‌ای دریای باز<sup>۴</sup> (A)

**A1:** وکستون-پکستون روزندار بیوکلاستی پلاژیک<sup>۵</sup>: بافت این ریزرخساره گل‌پشتیبان و درصد روزنداران پلانکتونیک بین ۵ تا ۳۰ درصد متغیر است. دانه‌های اسکلتی بیشتر شامل بیوکلاست‌های مشتق شده از اکتینوئیدها، پوسته دوکفه‌ای‌ها و روزنداران پلانکتونیک است. وجود مقادیر بالای میکرایت و نبود فونای کم‌عمق نشان از رسوب‌گذاری این ریزرخساره در شرایط هیدرودینامیکی آرام و آب‌های عمیق با شوری طبیعی در رمپ خارجی دارد (ویلسون ۱۹۷۵؛ کاروزی ۱۹۸۹؛ فلوگل ۲۰۱۰). رخساره A1 به همراه سایر ریزرخساره‌های رمپ خارجی در چاه‌های شماره ۱، ۳ و چاه شماره ۵ بخصوص در دسته رخساره‌های تراز پیشرونده مشاهده می‌شوند. از عمده فرایندهای دیاژنتیکی در این رخساره انحلال و استیلولیتی شدن را می‌توان نام برد. (شکل A2).

**A2:** پکستون بیوکلاستی نومولیت‌دار<sup>۶</sup>: اجزای اصلی این ریزرخساره شامل روزنبران پلانکتونیک مانند خانواده گلوبیژنیده و نومولیتیده است. سوزن اسفنج، خرده‌های اکتینوئید و پلوئیدهای ریز از دیگر سازنده‌های این ریزرخساره هستند. فراوانی فونای پلاژیک، بافت

شکستگی‌های مخزن از مغزه‌های تهیه شده از چاه شماره ۵ به ضخامت ۵۳ متر استفاده شده است. به منظور مطالعه پتروفیزیکی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه از نرم‌افزار ژئولاگ (۷۰۱) استفاده شده است. نمودارهای موجود در چاه مورد مطالعه شامل نمودارهای نوترون (NPHI)، چگالی (RHOB)، صوتی (DT)، قطرسنج (CAL)، پرتوگاما (GR, CGR, SGR) و فتوالکتریک (PEF) هستند. جهت مطالعات چینه‌نگاری سکansı از تغییرات ریخت‌شناسی لاگ گاما در طول ضخامت سازند استفاده شده است. سیستم تراکت‌ها به صورت فواصل مشخص با روند کاهشی، افزایشی و ثابت در روی منحنی تغییرات لاگ گاما پدیدار می‌شوند. کاهش، افزایش یا ثابت ماندن به ترتیب نشان‌دهنده سیستم تراکت پیشرونده، پسرونده و افزایشی است (میچلسن و دانلیسن، ۱۹۹۶). در سیستم تراکت<sup>۱</sup> TST افزایش مقدار اشعه گاما مشاهده شده که در حداکثر سطح غرقابی<sup>۲</sup> MFS<sup>۲</sup> بیشترین میزان گاما مشاهده می‌شود؛ که دلیل آن وجود کانی‌های نظیر گلوکونیت، کانی‌های رسی و مواد آلی حین پیشروی سریع آب دریا و افزایش ماتریکس سنگ است. در سیستم تراکت HST<sup>۳</sup> کاهش گاما بسته به طرح برانبارش به صورت محسوس کاهشی و یا ثابت می‌ماند (آیگنر، ۱۹۹۵؛ کاستنر و همکاران، ۲۰۰۸؛ کاتونینو، ۲۰۰۶).

### پتروگرافی

#### ریزرخساره‌ها و محیط‌رسوبی

در بررسی‌های پتروگرافیکی مقاطع مورد مطالعه، طیف وسیعی از ریزرخساره‌های کربناته، تبخیری و آواری شناسایی گردید. برای تفکیک و شناسایی آن‌ها از مواردی نظیر نوع اجزای تشکیل‌دهنده سنگ‌های کربناته اعم از ارتوکم، آلوکم، نوع دانه‌های اسکلتی و غیراسکلتی، اندازه دانه و درصد فراوانی آن‌ها استفاده شده است. بیشترین دانه‌های اسکلتی مشاهده شده در رخساره‌های میکروسکوپی از خانواده میلیولیده، نومولیتیده، پنروپلیده و جلبک‌ها هستند. اینتراکلاست، ایید و پلت عمده دانه‌های غیراسکلتی رخساره‌های میکروسکوپی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. در جدول ۱ ریزرخساره‌های شناسایی شده همراه با معادل کمربندهای رخساره‌ای ویلسون

<sup>۴</sup> Open Marine

<sup>۵</sup> Pelagic bioclast foraminifera wackestone

<sup>۶</sup> Nummulites bioclast packstone

<sup>۱</sup> Transgressive Systems Tract

<sup>۲</sup> Maximum Flooding Surface

<sup>۳</sup> Highstand Systems Tract

و کمربند رخساره‌های FZ3 و یلسون (۱۹۷۵) می‌تواند نهشته شود. رخساره A2 به همراه سایر ریزرخساره‌های رمپ خارجی در همه چاه‌ها بخصوص بخش بالایی چاه شماره ۳ در دسته رخساره‌های تراز پیشرونده مشاهده می‌شود. از عمده فرایندهای دیاژنتیکی در این رخساره انحلال و سیمانی شدن را می‌توان نام برد (شکل B۲).

گل‌پشتیان، فراوانی ناچیز موجودات کفزی و نبود ذرات درشت نشان‌دهنده محیط ژرف و کم انرژی و نهشته شدن این رخساره در زیر خط اثر امواج دانست. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF2 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF3 و یلسون (۱۹۷۵) است. ریزرخساره A2 در کمربند رخساره‌های FZ1<sup>۷</sup> و FZ2

جدول ۱. رخساره‌های میکروسکوپی شناسایی شده سازند آسماری در میدان مورد مطالعه به همراه رخساره‌های استاندارد، کمربندهای رخساره‌ای و محیط رسوب‌گذاری

ردیف	کد	ریزرخساره	رخساره استاندارد فلوگل (۲۰۱۰) ویلسون (۱۹۷۵)	کمربند رخساره‌ای فلوگل (۲۰۱۰) ویلسون (۱۹۷۵)	کمربند محیط رسوبی	زیر محیط رسوبی	محیط رسوبی
۱	A1	وکستون-پکستون روزندار بیوکلاستی	RMF2 SMF3	FZ1, FZ2, FZ3	دریای باز	رمپ ژرف	جز
۲	A2	پکستون بیوکلاستی نومولیت‌دار	RMF2 SMF3	FZ1, FZ2, FZ3			
۳	A3	پکستون بیوکلاستی نومولیت و اوپرکولینادار	RMF5 SMF4	FZ1, FZ2, FZ3			
۴	B1	گرینستون روزندار بیوکلاستی	RMF28 SME20	FZ5, FZ6	سد اشول	رمپ میانی	
۵	B2	گرینستون روزندار بیوکلاستی میلیولیددار	RMF27 SMF11	FZ6			
۶	B3	گرینستون روزندار بیوکلاستی آرکیاس و آلئولینادار	RMF27 SMF11	FZ6			
۷	B4	گرینستون روزندار بیوکلاستی پلویید و اینتراکست‌دار	RMF27 SMF11	FZ6			
۸	B5	ماسه‌سنگ آهکی فسیل دار	-	-			
۹	C1	پکستون بیوکلاستی روزندار دندریتینا و آستروتروپیلینادار	RMF18 SMF8	FZ7 FZ8	لاگون	رمپ داخلی	
۱۰	C2	پکستون بیوکلاستی آلئولینادار	RMF18 SMF8	FZ7 FZ8			
۱۱	C3	پکستون بیوکلاستی اینتراکست و پلت‌دار	RMF27 SMF18	FZ7 FZ8			
۱۲	C4	وکستون-پکستون روزندار بیوکلاستی	RMF27 SMF18	FZ7 FZ8			
۱۳	D1	دولومادستون	RMF21 SMF21	FZ9	پهنه کشندی		
۱۴	D2	استروماتولیت باندستون	RMF22 SMF20	FZ9			
۱۵	D3	انیدریت	-	FZ9			

پلانکتون و بافت دانه‌ریز نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محیط آرام و ژرف با شوری نرمال دارد (کاسوویک و همکاران، ۲۰۰۴). نبود جلبک قرمز گواه بر رسوب‌گذاری این ریزرخساره در زیر ناحیه نور و بخش انتهایی رمپ

**A3:** پکستون بیوکلاستی نومولیت و اوپرکولینادار<sup>۱</sup>: این ریزرخساره با همراهی فرامینیفرهای پلانکتون و بیوکلاست‌های دوباره حمل شده نظیر اوپرکولینا در یک بافت گل‌پشتیان مشخص می‌شود. حضور فرامینیفرهای

<sup>1</sup> Nummulites Operculina bioclast packstone

<sup>7</sup> Facies Belt Zone

خوب مشاهده می‌شود. این ریزرخساره معادل ریزرخساره شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF11 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمریند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل E۲).

**B3: گرینستون روزندار بیوکلاستی آرکیاس و آلئولینادار<sup>۴</sup>:** بافت ریزرخساره B3 تقریباً مشابه ریزرخساره B2 است، با این تفاوت که عمده دانه‌های اسکلتی در این ریزرخساره از خانواده آلئولینیده و سوریتیده تشکیل می‌دهند. رخساره B3 به همراه سایر رخساره‌های گروه سد در توالی مورد مطالعه در سیستم تراز بالا در تمامی چاه‌ها مشاهده می‌شود. این ریزرخساره نیز معادل ریزرخساره شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF11 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمریند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل F۲).

**B4: گرینستون روزندار بیوکلاستی پلوئید و اینتراکلاست‌دار<sup>۵</sup>:** این ریزرخساره شباهت زیادی به رخساره B2 داشته ولی حاوی دانه‌های غیراسکلتی شاخصی نظیر اینتراکلاست در حدود ۲۰ درصد است. اندازه دانه‌های اینتراکلاست بین ۰/۲ تا ۱/۵ میلی‌متر متغیر است. وجود بافت گرینستونی و سیمان اسپارایتی در این ریزرخساره نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در یک محیط پرانرژی است. گسترش کمی و کیفی ریزرخساره B4 در چاه‌های مورد مطالعه همانند ریزرخساره B3 است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF11 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمریند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل G۲).

**B5: ماسه‌سنگ آهکی فسیل‌دار:** این ریزرخساره از حدود ۶۰ درصد دانه‌های آواری از جنس کوارتز و خرده‌سنگ در یک زمینه آهکی دانه‌ریز تشکیل شده است. جورشدگی دانه‌ها متوسط و در برخی نمونه‌های قطعاتی از خرده‌های اسکلتی نیز مشاهده می‌شود. این ریزرخساره در محدوده کمریند سدهای ماسه‌ای تشکیل می‌شود. ریزرخساره B5 در چاه شماره ۵ در سیستم تراکت تراز بالا بخصوص در زون شماره ۱ مشاهده می‌شود. (شکل H۲).

بیرونی دارد (پومار، ۲۰۰۱؛ پومار و همکاران، ۲۰۰۲). این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF5 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF4 ویلسون (۱۹۷۵) است. ریزرخساره A3 در کمریند رخساره‌ای FZ3 ویلسون (۱۹۷۵) نهشته شده است. رخساره A3 به همراه سایر ریزرخساره‌های رمپ خارجی در همه چاه‌ها بخصوص در چاه‌های شماره ۳ و ۵ در دسته ریزرخساره‌های تراز پیشرونده مشاهده می‌شود. از عمده فرایندهای دیاژنتیکی در این رخساره انحلال و سیمانی شدن را می‌توان نام برد (شکل C۲).

### ریزرخساره‌های کمریند رخساره‌ای سدی/شول (B)

**B1: گرینستون روزندار بیوکلاستی اییددار<sup>۶</sup>:** در این ریزرخساره بین ۱۰ تا ۲۰ درصد آلومک اسکلتی شامل روزنداران بنتیک و به مقدار کمتر از ۱۰ درصد خرده‌های اسکلتی و پلت مشاهده می‌شود. از ویژگی‌های شاخص این ریزرخساره مشاهده آلومک غیراسکلتی ایید در اندازه حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد در زمینه اسپارایتی به همراه سایر آلومک‌هاست. وجود سیمان اسپارایتی، نبود گل‌آهکی و جورشدگی و گردشدگی تقریباً خوب دانه‌ها نشان از محیط رسوب‌گذاری این ریزرخساره در محیط پرانرژی است. رخساره B1 تقریباً در تمامی چاه‌ها بخصوص در چاه شماره ۵ در دسته رخساره‌های سیستم تراکت تراز بالا با پتانسیل مخزنی خوب مشاهده می‌شود. این ریزرخساره معادل ریزرخساره شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF11 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمریند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل D۲).

**B2: گرینستون روزندار بیوکلاستی میلیولیددار<sup>۷</sup>:** اجزا اسکلتی اصلی این ریزرخساره را خرده‌های اسکلتی نظیر اکینید، جلبک قرمز، آمفیستزینا، خرده‌های دوکفه‌ای و جورشدگی و گردشدگی گاستروپود و به مقدار کمتر میلیولید، پنروپلیس و دندریتینا تشکیل می‌دهند. گردشدگی نسبتاً خوب دانه‌ها و بافت دانه‌پشتیبان این ریزرخساره نشان از رسوب‌گذاری این ریزرخساره در بالای سطح اثر امواج در محیط سدی و شول دارد. رخساره B2 در تمامی چاه‌ها بخصوص در چاه شماره ۵ در دسته رخساره‌های سیستم تراکت تراز بالا با پتانسیل مخزنی

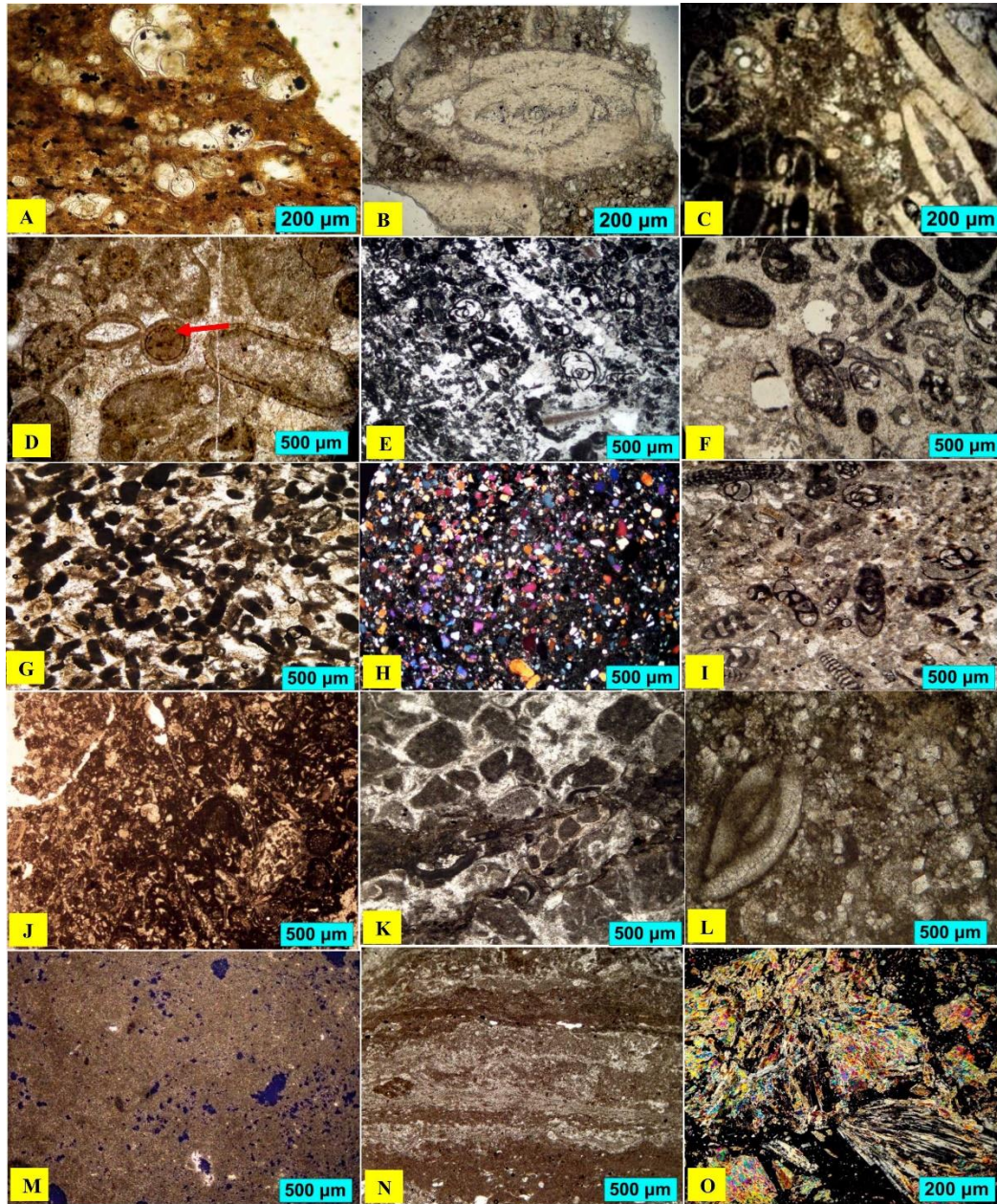
<sup>4</sup> Archias, Alveolina, bioclast foraminifera grainstone

<sup>5</sup> Intraclast, pelloid, bioclast, foraminifera grainstone

<sup>6</sup> Ooid bioclast foraminifera grainstone

<sup>7</sup> Miliolid bioclast foraminifera grainstone





شکل ۲. (A) وکستون-پکستون روزندار بیوکلاستی پلاژیک، چاه شماره ۱، عمق ۲۴۵۰ متر، نور PPL (B) پکستون بیوکلاستی نومولیت‌دار، چاه شماره ۵، عمق ۲۶۷۰ متر، نور PPL (C) پکستون بیوکلاستی نومولیت و اوپرکولینادار، چاه شماره ۵، عمق ۲۵۸۰ متر، نور PPL (D) گرینستون روزندار بیوکلاستی ایپیدار، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۹۲ متر، نور PPL (E) گرینستون روزندار بیوکلاستی میلیولیدار، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۸۲ متر، نور PPL (F) گرینستون روزندار بیوکلاستی آرکیاس و آلئولینادار، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۶۵ متر، نور PPL (G) گرینستون روزندار بیوکلاستی پلوئید و اینتراکلاست‌دار، چاه شماره ۵، عمق ۲۸۲۳ متر، نور PPL (H) ماسه‌سنگ آهکی فسیل‌دار، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۶۵ متر، نور XPL (I) پکستون بیوکلاستی روزندار دندریتینا و آستروتریلینادار، چاه شماره ۵، عمق ۲۸۸۴ متر، نور PPL (J) پکستون روزندار بیوکلاستی آلئولینادار، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۱۹ متر، نور PPL (K) پکستون بیوکلاستی اینتراکلاست و پلت‌دار، چاه شماره ۵، عمق ۲۶۵۵ متر، نور PPL (L) وکستون-پکستون بیوکلاستی دولومیتی شده، چاه شماره ۵، عمق ۲۸۸۵ متر، نور PPL (M) دولومادستون، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۲۱ متر، نور PPL (N) استروماتولیت باندستون، چاه شماره ۵، عمق ۲۸۲۱ متری (O) انیدریت، چاه شماره ۵، عمق ۲۶۶۲ متر، نور XPL

آلومک اسکلتی از روزندانار بنتیک نظیر خانواده سوری تیده و میلیولیده به همراه خرده‌های اسکلتی و حدود ۲۰ درصد پلت در یک زمینه گل آهکی مشاهده می‌شود. وجود

ریزرخساره‌های کمربند رخصاره‌ای لاگون<sup>۱</sup> (C)  
 C1: پکستون روزندار بیوکلاستی دندریتینا و آستروتریلینادار<sup>۲</sup>: در این ریزرخساره بیش از ۵۵ درصد

<sup>2</sup> Dentritina Austrotrillina bioclast foraminifera packstone

<sup>1</sup> Lagoon

**C4:** وکستون-پکستون بیوکلاستی دولومیتی شده<sup>۵</sup>: این ریزرخساره بین ۱۵ تا ۲۵ درصد دولومیتی شده است. بلورهای دولومیت به صورت شناور به همراه سایر دانه‌ها در یک زمینه ماتریکس میکرایتی قرار دارند. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF18 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمر بند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل L۲).

**ریزرخساره‌های کمر بند رخساره‌ای پهنه کشندی<sup>۶</sup> (D):**  
**D1: دولومادستون<sup>۷</sup>:** این رخساره دربرگیرنده پلویید در یک زمینه میکرایتی دولومیتی شده است. اندازه بلورهای دولومیت ریز و بافت موزاییکی آن گزنوتوپیک است. از عناصر فرعی می‌توان به اکسید آهن اشاره کرد که در برخی نمونه‌ها میزان آن به ۱۵ درصد می‌رسد. تخلخل حفره‌ای (فابریک فنسترال) از ویژگی‌های مهم این ریزرخساره است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF21 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF21 ویلسون (۱۹۷۵) است. این ریزرخساره در کمر بند رخساره‌ای شماره FZ9 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل M۲).

**D2: استروماتولیت باندستون<sup>۸</sup>:** این رخساره به صورت لامینه‌های تیره و روشن مشخص می‌شود و از به دام افتادن رسوب و یا چسبیدن آن به سیانوباکتری‌ها (جلبک‌های سبزی) پدید آمده است. قالب کانی‌های تبخیری و فابریک چشم‌پرنده‌ای از ویژگی‌های بارز این رخساره است. استروماتولیت با دولومیت ریزبلور به همراه قالب کانی‌های تبخیری در محیط‌های هیپرسالین تشکیل می‌شوند. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF22 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF20 ویلسون (۱۹۷۵) است. این ریزرخساره در کمر بند رخساره‌ای شماره FZ9 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل N۲).

**D3: انیدریت<sup>۹</sup>:** فراوانی انیدریت نشان‌دهنده تشکیل در شرایط آب و هوایی خشک تا نیمه‌خشک مانند سیخای ساحلی جنوب خلیج فارس است (فلوگل، ۲۰۱۰). در هنگام

روزندانان بنتیک مانند خانواده میلیولیده در یک زمینه میکرایتی نشان از رسوب‌گذاری این ریزرخساره در شرایط لاگون دارد (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۱۰). آستروتریلیناها همراه با خانواده میلیولیده در محیط‌های نسبتاً پرانرژی آب‌های کم عمق کمتر از ۳۰ متر در بخش داخلی پلاتفرم در محیط لاگون زندگی می‌کنند (جیل، ۲۰۰۰). این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF18 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF8 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمر بندهای رخساره‌ای شماره FZ7 و FZ8 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل I۲).

**C2: پکستون روزندار بیوکلاستی آلئولینادار<sup>۳</sup>:** خصوصیات این ریزرخساره شباهت زیادی به رخساره C1 داشته ولی عمده تشکیل‌دهنده دانه‌های اسکلتی از خانواده میلیولیده و بخصوص جنس بورلیس در یک زمینه میکرایتی است. قطر بعضی از دانه‌های اسکلتی به حدود نیم میلی‌متر نیز می‌رسد. فابریک دانه‌پشتیبان این رخساره در حین دیاژنز به صورت پوشش هماتی مشاهد می‌شود. این ریزرخساره در محیط رسوبی لاگون به سمت پشته‌های کربناته و شول رسوب‌گذاری شده است. ریزرخساره C2 معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF18 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمر بند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل J۲).

**C3: پکستون بیوکلاستی اینتراکلاست و پلت‌دار<sup>۴</sup>:** این ریزرخساره از حدود ۳۵ درصد پلت، حدود ۱۰ درصد اینتراکلاست و بیش از ۱۵ درصد بیوکلاست در یک زمینه دانه‌پشتیبان تشکیل شده است. برخی از پلت‌ها به صورت پلویید با ظاهر مبهم در زمینه رخساره مشاهده می‌شوند. در برخی نمونه‌های مشابه حضور خرده‌های اسکلتی نظیر میلیولید، آلئولینا، بربوزوئر و جلبک قرمز نشان از فونای خاص محیط لاگونی دارد. ریزرخساره C3 معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF18 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمر بند رخساره‌ای شماره FZ7 و FZ8 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل K۲).

<sup>7</sup> Dolomudstone

<sup>8</sup> Stromatolite boundstone

<sup>9</sup> Anhydrite

<sup>3</sup> Alveolina bioclast foraminifera packstone

<sup>4</sup> Intraclast pellet bioclast foraminifera packstone

<sup>5</sup> Dolomitized bioclast wackestone-packstone

<sup>6</sup> Tidal Flat



## فرایندهای دیاژنتیکی شناسایی شده در میدان مورد

### مطالعه

از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتی مؤثر بر توالی مورد مطالعه می‌توان به میکرایتی‌شدن، سیمانی‌شدن، انحلال، فشردگی مکانیکی، استیلولیتی‌شدن، پیریتی‌شدن، هماتیتی‌شدن، دولومیتی‌شدن و شکستگی‌ها اشاره کرد که به تفکیک در محیط‌های دیاژنتیکی دریایی، جوی و دفنی آمده است. در بین فرایندهای دیاژنتیکی مؤثر بر توالی مخزن مورد مطالعه برخی باعث کاهش پتانسیل مخزنی و برخی باعث افزایش پتانسیل مخزنی شده‌اند.

### محیط دیاژنتیکی دریایی

**میکرایتی‌شدن:** اولین فاز دیاژنتیکی در محیط‌های دیاژنتیکی دریایی است که به دو فرم پوشش میکرایتی در اطراف آلوکم‌های اسکلتی بخصوص فرامینیفرهای بنتیک و میکرایتی‌شدن کامل بیوکلاست‌ها صورت می‌گیرد. این فرایند بیشتر در محیط‌های آرام و کم انرژی مانند لاگون مشاهده شده و با ایجاد پوشش میکرایتی در اطراف آلوکم تا بخصوص دانه‌های اسکلتی باعث حفظ ساختار اولیه و قالب دانه‌ها شده و در نتیجه حفظ تخلخل اولیه رسوب را باعث می‌شود (شکل A۳).

**سیمانی‌شدن:** از انواع سیمان‌های محیط دیاژنتیکی دریایی در رسوبات مورد مطالعه می‌توان به سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت و سیمان سین‌تکسیال اشاره کرد. از ویژگی‌های سیمانی‌شدن می‌توان به اشغال بخشی از تخلخل میان‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای واقع در حجرات گاستروپودها و روزنبران بخصوص در رخساره‌های دانه پشتیبان توسط سیمان کلسیتی هم‌بعد اشاره کرد.

**سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت:** این نوع سیمان‌ها عمود بر سطح تماس دانه‌ها در نسل اول سیمانی‌شدن تشکیل می‌شوند. سیمان‌های هم‌ضخامت با ایجاد چهارچوب محکم در اطراف دانه‌ها و ایجاد مقاومت در برابر تراکم نقش مهم در حفظ تخلخل ایفا می‌کنند. مقاومت سیمان‌های هم‌ضخامت در برابر سیالات شیمیایی پایین بوده و اغلب به دولومیت تبدیل می‌شوند. سیمان‌های ایزوپک محصول محیط دیاژنتیکی فرآتیک دریایی هستند (لانگمن، ۱۹۸۰؛ فلوگل، ۲۰۱۰). این نوع سیمان در محیط‌های دریایی به صورت پوششی از بلورهای هم‌اندازه و کشیده کربنات

تدفین تا اعماق بیش از چند صدمتر، تمام سولفات کلسیم موجود به صورت انیدریت است. در برش میکروسکوپی انیدریت دارای بیرفرزئانس متوسط، برجستگی بالا و سیستم بلوری آن ارتورومبیک بوده و تنوع بافتی زیاد از ویژگی‌های این کانی محسوب می‌گردد. از بافت‌های شاخص انیدریت می‌توان به بافت توری قفس‌مرغی، اندرولیتیک و نودولی اشاره کرد. معمولاً بلورهای انیدریت موجود در داخل نودول‌ها عمدتاً بصورت دانه ریز و یا سوزنی هستند و اندازه آن‌ها بندرت از چند میلی‌متر تجاوز می‌کند. محیط تشکیل این نوع بافت سبخا است. چنانچه انیدریت به صورت بافت توده‌ای نودولی ریزبلور به صورت جانیشینی تشکیل شود دارای منشأ دیاژنتیکی بوده و نباید در تفسیر محیط‌رسوبی مورد استفاده قرار گیرد (لوسیا، ۲۰۰۷). همراهی نودول‌ها با رخساره‌های استروماتولیتی، دولومادستون‌ها و شکستگی و قطع شدن آن‌ها توسط استیلولیت، همگی بیانگر تشکیل آن‌ها در طی مراحل اولیه دیاژنتی است (وارن، ۲۰۰۶)، (شکل O۲).

### محیط رسوبی

به طور کلی رمپ‌های کربناته به سه محیط رمپ داخلی، میانی و خارجی تقسیم‌بندی می‌شوند (بورچت و رایت، ۱۹۹۲). به طور کلی عدم وجود رخساره‌های ریفی قابل توجه و نیز عدم حضور قطعات و بایوکلاست‌های مناطق کم عمق در مناطق عمیق که در شلف‌های لبه‌دار معمول هست، بیانگر نهشت توالی‌های کربناته سازنده‌های مورد مطالعه در یک رمپ کربناته است (تاگر و رایت، ۱۹۹۰؛ فلوگل، ۲۰۱۰). با توجه به مطالعه دقیق برش‌های نازک میکروسکوپی و تعیین ریزرخساره‌ها و ارتباط عمودی آن‌ها بر اساس روند توزیع کمی و کیفی آن‌ها، و شواهدی نظیر: تبدیل تدریجی ریزرخساره‌ها به یکدیگر، عدم وجود ساختارهای لغزشی و ریزشی، عدم وجود ریف واقعی، گسترش ریزرخساره‌های پلوییدار و مقایسه ریزرخساره‌های با مدل‌های استاندارد نظیر ویلسون (۱۹۷۵) و فلوگل (۲۰۱۰) مدل رسوبی سازند آسماری در میدان نفتی مورد مطالعه یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ هم‌شیب معرفی می‌شود. ریزرخساره‌های شناسایی شده سازند مورد مطالعه در زیر محیط‌های رسوبی پهنه کشندی، لاگون، سد (شول) و دریای باز نهشته شده‌اند (شکل ۸).

درون حفره‌ای نسبت به فاز سیمان به حد فوق‌اشباع برسد انجام می‌شود. به طور کلی کانی‌شناسی سیمان‌ها به شیمی آب، فشار دی‌اکسیدکربن، نسبت کلسیم به منیزیم و نرخ تأمین کربنات بستگی دارد. زمانی که اشباع سیالات درون حفره‌ای نسبت به فاز سیمان‌های کلسیت‌دار بدون آهن یا آهن‌دار، سیلیس، دولومیت و انیدریت‌دار بیشتر باشد، اشباع به مرز فوق‌اشباع رسیده و این‌گونه سیمان‌ها رسوب می‌کنند (تاگر و رایت، ۱۹۹۰). سیمانی شدن به عنوان یک مکانیسم غالب در از بین بردن تخلخل در مخازن کربناته محسوب می‌شود. محدوده‌های دریایی، جوی و دفنی سیمان‌های خاص خود را دارا هستند.

**سیمان هم‌بعد پرکننده تخلخل قالبی:** این نوع سیمان از بلورهای شفاف و تقریباً یک اندازه کلسیت تشکیل شده و عمدتاً محصول تبلور سیمان‌های نسل‌های قبلی هستند. سیمان‌های هم‌بعد پرکننده تخلخل قالبی در محیط‌های جوی تشکیل می‌شوند (فلوگل، ۲۰۱۰). این نوع سیمان معمولاً کاهنده پتانسیل مخزنی است زیرا تخلخل درون دانه‌ای و بین‌دانه‌ای رخساره‌های دانه‌پشتیبان را کاهش می‌دهد (شکل E۳).

**سیمان دروزی:** این نوع سیمان در نمونه‌های مورد مطالعه با افزایش اندازه بلورهای سیمان به سمت مرکز حفره مشاهده می‌شود. سیمان کلسیت‌دروزی عمدتاً در محیط فرآتیک آب شیرین تشکیل می‌شوند ولی در محیط‌های دفنی عمیق (جیمز و چوک، ۱۹۹۰) و همچنین محیط‌های جوی نزدیک به سطح نیز تشکیل می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰)، (شکل F۳).

#### محیط دیاژنتیکی دفنی

**انحلال دفنی:** به طور کلی فرایند دیاژنتیکی انحلال عمدتاً در محیط‌های دیاژنتیکی جوی صورت می‌گیرد (فلوگل، ۲۰۱۰؛ تاگر، ۲۰۰۳). ولی در مراحل پیشرفته‌تر دیاژنز در محیط دیاژنتیکی دفنی کم عمق و عمیق نیز انحلال صورت می‌گیرد. فابریک فرایند دیاژنتیکی انحلال در محیط دیاژنزی دفنی مخرب بوده و دانه‌ها، ماتریکس و سیمان رسوبات را تحت تاثیر قرار داده و محصول آن به صورت تخلخل حفره‌ای نمایان می‌شود. در محیط‌های دیاژنتیکی دفنی فرایند انحلال به عواملی نظیر عمق تدفین، ترکیب شیمیایی آب‌های حفره‌ای، ورود هیدروکربن و از همه

کلسیم با منیزیم بالا ( $HMC^{10}$ ) در اطراف دانه‌های کربناته تشکیل می‌شود. این نوع سیمان بیشتر در رخساره‌های دانه پشتیبان در ریزرخساره‌های شناسایی شدن توالی مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل B۳).

**سیمان سین‌تکسیال:** سیمان رورشدی هم‌محور یا سین تکسیال عموماً در اطراف دانه‌های اسکلتی بخصوص خرده‌های اکینودرم به صورت رشد اضافی هم‌محور با پیوستگی نوری و یکنواخت تشکیل می‌شوند. جذب یون‌های کربنات کلسیم بیشتر توسط خرده‌های اکینویید تک‌دانه‌ای و افزایش رشد سیمان در اطراف خرده‌های اکینودرم و ایجاد سیمان اسپارایت شفاف باعث ایجاد این نوع سیمان می‌شود. چنانچه بلورهای این نوع سیمان شفاف باشد، محصول محیط دیاژنتیکی دفنی و جوی و چنانچه بلورهای این نوع سیمان کدر و ابری باشد، محصول محیط دیاژنتیکی دریایی هستند (تاگر، ۲۰۰۱؛ فلوگل، ۲۰۱۰)، (شکل C۳).

#### محیط دیاژنتیکی جوی

**انحلال:** این فرایند دیاژنتیکی به صورت انتخابی و غیرانتخابی در مراحل مختلف محیط دیاژنتیکی جوی صورت می‌گیرد. فرایند دیاژنتیکی انحلال مهم‌ترین فرایند محیط دیاژنتیکی جوی است که به صورت تخریبی باعث تحلیل و از بین رفتن دانه‌های ناپایدار اسکلتی و غیراسکلتی می‌شود. شرایطی مانند تحت‌اشباع بودن سیالات منفذی نسبت به غلظت کربنات کلسیم و بالای آمدگی سنگ‌های کربناته در محیط‌های تلوژنیک باعث ایجاد این فرایند دیاژنتیکی می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰؛ تاگر، ۲۰۰۱). فرایند دیاژنتیکی انحلال در میدان مورد مطالعه معمولاً در طی دو مرحله بر روی رسوبات سازند آسماری تاثیرگذار بوده است، به نحوی که فاز اول انحلال به صورت انتخاب‌کننده فابریک در محیط جوی و فاز نهایی در حین دیاژنز دفنی صورت گرفته است. به طور کلی در شرایط مشابه فرایند دیاژنتیکی انحلال به صورت انتخاب‌کننده فابریک یا در کنترل فابریک به صورت گسترده صورت می‌گیرد (جیمز و چوک، ۱۹۹۰؛ اهر، ۲۰۰۸)، (شکل D۳).

**سیمانی شدن جوی:** سیمانی شدن فرایند اصلی دیاژنتیکی است که یک سنگ‌آهک سخت را از یک رسوب سست بوجود می‌آورد و اساساً در جایی که مقدار زیادی از سیال

<sup>10</sup> High Magnesium Calcite

فراگیر و پرکننده شکستگی‌ها مشاهده می‌شود. فرایند انیدریتی شدن در سازند آسماری بخصوص بر تخلخل‌های نوع شکستگی، بین‌دانه‌ای و حفره‌ای آسیب جدی وارد نموده است این فرایند در بخش فوقانی گسترش بیشتری دارد. در مغزه‌های مورد مطالعه نودول‌ها عموماً بصورت بیضوی یا کروی بوده و در حد چند میلی‌متر تا سانتی‌متر و حتی بزرگ‌تر می‌باشند. در اثر رشد نودول‌های انیدریت، نودول‌ها درهم آمیخته شده و مواد کربناته اولیه باقیمانده به بخش‌های نازکی رانده می‌شوند که باعث جدا شدن نودول‌ها می‌گردند. در چنین حالتی نمای کلی فابریک شبیه به بافت توری قفس‌مرغ می‌شود. این بافت نتیجه مرحله پیشرفته دیاژنز می‌باشد و از بافت‌های تیپیک در اکثر رسوبات سولفاته‌ی قدیمی است. این بافت در محیط‌های نزدیک سطح تا تدفین در اعماق صدها متر تشکیل می‌گردد. بافت نودولی تنوع زیادی را در اندازه و شکل از خود نشان می‌دهند و نشان‌دهنده الگوهای انترالیتیک<sup>۱۳</sup>، قفس‌مرغی<sup>۱۴</sup> و سایر ویژگی‌های رشد جانیشینی در رسوبات میزبان می‌باشند. تشکیل بافت درون سنگی یا انترولیتیک<sup>۱۴</sup> که بطور مواج و چین‌خورده دیده می‌شود، بطور مستقیم به فرایندهای دیاژنزی ناشی از هیدراسیون و دهیدراسیون مربوط می‌شود (وارن، ۲۰۰۶)، (شکل ۱۳). سیمان سلسیت: کانی سلسیت در بسیاری از سنگ‌های کربناته‌ای که همراه با تبخیری‌ها هستند بصورت ثانویه تشکیل شده و منشا آن احتمالاً انحلال آراگونیت، آزاد شدن یون استرانسیوم و نهشت توسط سیالات فوق‌اشباع از این یون است (رحیم‌پو بناب، ۱۳۸۴). به طور کلی سلسیت به فرم سیمان پرکننده شکستگی‌ها، دربرگیرنده و بعضاً جایگزینی مشاهده می‌شود. در نمونه‌های مورد مطالعه این سلسیت به صورت سیمان پرکننده تخلخل مشاهده می‌شود. لایه‌های ضخیم تبخیری سازند گچساران بر روی سازند آسماری منشا اصلی تشکیل شورابه‌های غنی از سولفات و تامین کننده اصلی عنصر استرانسیم به شمار می‌روند (هنرمند و همکاران، ۱۳۹۳). به طور کلی تبدیل کلسیت به دولومیت کلسیم مورد نیاز برای تشکیل انیدریت، تبدیل آراگونیت یا کلسیت به دولومیت و یا تبدیل آراگونیت به ژپس باعث آزادسازی عنصر استرانسیم شده و سیمان سلسیتی تشکیل می‌شود. این مهم

مهمتر عمق موازنه کربنات کلسیم<sup>۱۱</sup> بستگی دارد. اصولاً با کاهش دما و افزایش فشار گاز دی‌اکسیدکربن بخصوص در عرض‌های جغرافیایی بالا شرایط پایداری کربنات کلسیم کاهش یافته و فرایند انحلال صورت می‌گیرد (تاگر، ۲۰۰۱). همچنین فرایند انحلال دفنی در امتداد استیلولیت‌ها در حین دیاژنز دفنی باعث ایجاد تخلخل شده که عمدتاً از مواد آلی بیتومن‌دار و یا بلورهای دولومیت پر می‌شوند (فلوگل، ۲۰۱۰).

**سیمانی شدن دفنی:** انواع سیمان‌های دفنی موجود در سازند آسماری شامل سیمان کلسیت بلوکی، انیدریتی، سلسیتی و سیلیسی است که در این میان سیمان انیدریتی، سلسیت و کلسیتی فراوان‌ترین نوع سیمان می‌باشد که به ترتیب در آسماری فوقانی سیمان انیدریتی، در آسماری میانی سیمان سلسیت و در آسماری پایینی سیمان کلسیتی بیشترین تأثیر را داشته‌اند.

**سیمان بلوکی:** از بلورهای کسیت متوسط تا درشت بلور تشکیل شده و سیمان‌های نسل‌های دوم و سوم محسوب می‌شوند (محسنی و همکاران، ۲۰۱۶). این نوع سیمان معمولاً پرکننده حفرات ایجاد شده حین شکستگی و استیلولیتی شدن هستند (شکل H۳).

**سیمان انیدریتی:** فرایند دیاژنتیکی انیدریتی شدن عمدتاً در رخساره‌های گل‌پشتیان مانند مادستون و وکستون مشاهده می‌شود. همچنین این فرایند به صورت نودول در رخساره‌های دولومیتی شده نیز دیده می‌شود. فرایند انیدریتی شدن باعث کاهش تخلخل و پتانسیل مخزنی می‌شود. بافت ژپس و انیدریت بطور قابل ملاحظه‌ای متغیر است و به محیط رسوب‌گذاری و تاریخچه دیاژنتیکی آن‌ها وابسته است. بلورهای انیدریت موجود در داخل نودول‌ها عمدتاً بصورت دانه‌ریز و یا سوزنی هستند و اندازه آن‌ها بندرت از چند میلی‌متر تجاوز می‌کند. محیط تشکیل این نوع بافت در محیط سبختا و در رسوبات دانه‌ریز مانند دولومادستون‌ها فراوان دیده می‌شوند (کینزمن، ۲۰۰۶). انیدریتی شدن در بخش فوقانی آسماری میدان مورد مطالعه فرایند شایع‌تری است که دلیل آن وجود افق‌های بیشتر انیدریتی در این بخش از سازند و همچنین نزدیکی بیشتر به رسوبات تبخیری سازند گچساران است. فرایند دیاژنتیکی انیدریتی شدن در این سازند به اشکال نودولی،

<sup>13</sup> Chicken wire

<sup>14</sup> Enterolithic

<sup>11</sup> CCD: Carbonate Compensation Depth

<sup>12</sup> Enterolithic

فشرده‌گی شیمیایی (استیلولیتی شدن): مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتیکی در حین دیاژنز دفنی استیلولیتی شدن است. این فرایند عمدتاً در رخساره‌های گل‌پشتیبان مشاهده می‌شود. در امتداد استیلولیت‌ها معمولاً فرایند دولومیتی شدن مشاهده می‌شود. این فرایند سبب ایجاد کانال و مجرا برای عبور سیالات دولومیت‌ساز می‌شود. وجود آثار هیدروکربور در امتداد استیلولیت‌ها و قطع کردن فابریک، سیمان و دانه‌ها از سایر ویژگی‌های این فرایند محسوب می‌شود. دلیل تشکیل این فرایند اختلاف انحلال نسبی ذرات سازنده سنگ طی افزایش فشار حین دیاژنز دفنی با عمق متوسط و عمیق است (شکل M۳).

**پیریتی شدن:** پیریت فراوان‌ترین کانی سولفید آهن در سنگ‌های کربناته با منشأ همزمان با رسوب‌گذاری، آواری و دیاژنتیکی است. تشکیل پیریت دیاژنتیک از احیای مواد آلی در محیط‌های دریایی نرمال کم اکسیژن و آب‌های شیرین است و به فرم جاننشینی درون حجرات دانه‌های اسکلتی و دانه تمشکی به صورت آگرگات‌های کروی و به فرم خودشکل مشاهده می‌شود. این فرایند دیاژنتیکی بیشتر در رخساره‌های گل‌پشتیبان مشاهده می‌شود (شکل‌های N۳ و O۳).

**هماتیته شدن:** این فرایند دیاژنتیکی به صورت پراکنده در نمونه‌های مورد مطالعه، به فرم آغستگی دانه‌ها، ماتریکس و پرکننده حجرات روزنبران مشاهده می‌شود. همچنین در برخی نمونه‌ها منشأ احتمالی آن انحلال کانی‌های رسی و یا انتقال توسط آب‌های جوی فرورو در بازه زمانی دیاژنز دفنی و یا در هنگام مرحله تلوزنز در زمان بالآمدگی باشد (تاکر، ۲۰۰۴؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۸)، (شکل P۳).

**دولومیتی شدن:** مهم‌ترین فرایند دیاژنتیکی در نمونه‌های مورد مطالعه فرایند دولومیتی شدن است که به فرم اولیه و ثانویه در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود. فرایند دولومیتی شدن به صورت شکل‌گیری اولیه در طی فرایندهای دیاژنتیکی اولیه (ائوژنیک) و همچنین در حین دیاژنز تاخیری صورت گرفته و به اشکال لوزی شکل شناور و گاه‌ها هسته مه‌آلود و حاشیه شفاف مشاهده می‌شوند. این فرایند باعث ایجاد تخلخل بین‌بلوری شده و باعث تشکیل مخازن هیدروکربوری با پتانسیل مخزنی بالا در کنار شکستگی‌ها می‌شود. فرایند دیاژنتیکی دولومیتی شدن در میدان مورد مطالعه بخصوص در رخساره‌های گل‌پشتیبان و در مواردی بر روی دانه‌های اسکلتی و بعضاً غیراسکلتی

بخصوص در رخساره‌های دولومیتی در حین دیاژنز تکمیلی صورت می‌گیرد (سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷؛ گرگ و سیبلی، ۱۹۸۴؛ یاکوپسن و همکاران، ۱۹۹۸). همراهی سیمان سلسیتی با استیلولیت‌ها نشان از تشکیل سیمان سلسیتی در محیط دیاژنز دفنی بوده و بیشتر در رخساره‌های رمپ خارجی مشاهده می‌شود (مراد و همکاران، ۲۰۱۷). سیمان سلسیتی به صورت پرکننده فضاهای خالی و بعضاً به صورت دربرگیرنده به رنگ خاکستری پررنگ متمایل به آبی در کنار نودول‌های انیدریت مشاهده می‌شود. به طور کلی بیشترین میزان استرانسیم در نمونه‌های کربناته حاره‌ای عهد حاضر حدود ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام است که مقدار آن با افزایش میزان آراگونیت افزایش و با افزایش میزان کلسیت، کاهش می‌یابد. همچنین میزان استرانسیم در طی دیاژنز جوی کاهش می‌یابد (رائو و آدابی، ۱۹۹۲). در سازند مورد مطالعه سلسیت در میانه سازند گسترش زیادی دارد که ناشی از وجود زیاد فرامینفرهای است که جنس پوسته آن‌ها از آراگونیت است. انحلال آراگونیت در طی فرایند دیاژنز باعث آزاد شدن یون استرانسیم شده و در نتیجه سلسیت رسوب می‌کند (شکل J۳).

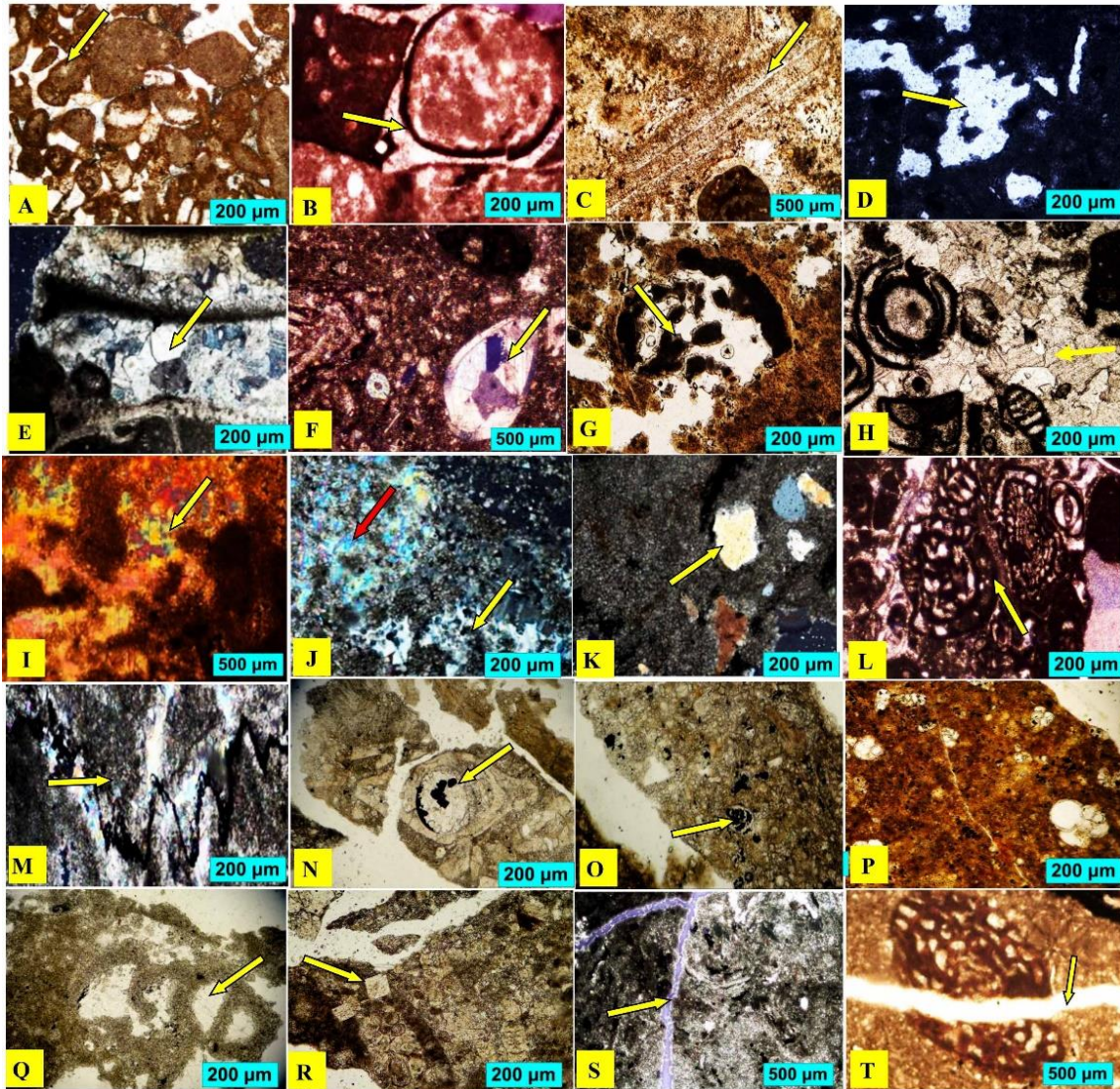
**سیمان سیلیسی:** سیلیسی شدن، مانند دولومیتی شدن، می‌تواند در طی دیاژنز اولیه یا نهایی انجام شود. سیلیسی شدن به فرم جاننشینی انتخابی در فسیل‌ها یا گسترش نودول‌ها و لایه‌های چرتی انجام می‌شود. همچنین سیلیس به صورت یک سیمان در برخی سنگ‌های آهکی یافت می‌شود (تاکر، ۲۰۰۴). انواع مهم سیلیس دیاژنتیکی در سنگ‌های آهکی شامل بلورهای کوارتز شکل‌دار، میکروکوارتز و کلسدونی مشاهده می‌شود. در توالی مورد مطالعه به صورت مخرب عمل کرده و تخلخل تخلخل حفره‌ای آسماری میانی و بصورت ناچیز شکستگی‌های میانه سازند مورد مطالعه را پر کرده است (شکل K۳).

**فشرده‌گی مکانیکی:** این فرایند در حین دیاژنز باعث شکستگی و تغییر شکل دانه‌های اسکلتی و غیراسکلتی، آرایش فشرده‌تر، ایجاد مرز محدب-مقعر و یا مضرس شده و در نهایت کاهش تخلخل و تراوایی را سبب می‌شود. از ویژگی‌های دیگر این فرایند می‌توان به کاهش ضخامت رسوبات، آبدهی، شکستن و جهت‌یابی مجدد دانه‌ها اشاره کرد. این فرایند شاخصه محیط دیاژنزی دفنی کم عمق است (شکل L۳).



داشته است. این فرایند دیاژنتیکی در مخزن مورد مطالعه بیشتر بر روی بخش‌های بالایی میدان منطبق بر سکانس‌های رسوبی ۱، ۲، ۳ و ۴ تاثیرگذار بوده است (شکل‌های Q۳ و R۳).

اثر کرده و باعث تغییر در درصد تخلخل شده است. دولومیت به خاطر پایداری شیمیایی بالاتر و مقاومت بیشتر در مقابل انحلال فشاری در حین دیاژنز دفنی تخلخل و نفوذپذیری خود را بهتر حفظ کرده و در مجموع در کنار فرایند شکستگی بیشترین تاثیر را در روند پتانسیل مخزنی



شکل ۳. فرایندهای دیاژنتیکی مشاهده در میدان مورد مطالعه: (A) میکرایتی شدن، ایجاد پوشش میکرایتی در اطراف آلوکم‌ها، چاه شماره ۵، عمق ۲۶۵۰ متر، نور PPL، (B) سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۸۵ متر، نور XPL، (C) سیمان سین تکسیال با پیوستگی نوری در اطراف آلوکم اسکلتی، چاه شماره ۲، عمق ۲۶۶۰ متر، نور PPL، (D) انحلال و ایجاد تخلخل‌های حفره‌ای، چاه شماره ۵، عمق ۲۶۹۲ متر، نور PPL، (E) سیمان هم‌بعد پرکننده تخلخل قالبی، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۵۲ متر، نور XPL، (F) سیمان کلسیت دروزی پرکننده تخلخل قالبی، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۱۸ متر، نور XPL، (G) انحلال دفنی و تخریب دانه، ماتریکس و سیمان‌ها نسل قبل، چاه شماره ۵، عمق ۲۶۰۱ متر، نور PPL، (H) سیمان بلوکی در بین دانه‌های اسکلتی، چاه شماره ۵، عمق ۲۸۰۰ متر، نور PPL، (I) سیمان انیدریتی، پرکننده تخلخل، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۰۰ متر، نور XPL، (J) سیمانی شدن سلستیتی (پیکان زرد)، پرکننده تخلخل، سیمان انیدریتی (پیکان قرمز) چاه شماره ۵، عمق ۲۵۸۹ متر، نور XPL، (K) سیمان سیلیسی، چاه شماره ۵، عمق ۲۶۲۰ متر، نور XPL، (L) تراکم مکانیکی و تماس محدد-مقعر آلوکم اسکلتی، چاه شماره ۵، عمق ۲۸۴۵ متر، نور PPL، (M) استیلولیتی شدن، پر شدن استیلولیت‌ها توسط مواد آلی و بیتومین و سیمان انیدریتی، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۲۰ متر، نور XPL، (N) و (O) پیریتی شدن درون حرات روزندار پلاژیک در حین دیاژنز دفنی تاخیری، چاه شماره ۵، عمق ۲۶۷۲ متر، نور PL، (P) هماتیتی شدن، چاه شماره ۵، عمق ۲۸۹۲ متر، نور PPL، (Q) دولومیتی شدن با فابریک مغرب، چاه شماره ۵، عمق ۲۸۲۲ متر، نور PPL، (R) دولومیتی شدن، بلورهای لوزی شکل دولومیت شناور در ماتریکس میکرایتی، دیاژنز دفنی، چاه شماره ۵، عمق ۲۷۹۸ متر، نور PPL، (S) شکستگی و ایجاد تخلخل کانالی در حین دیاژنز دفنی، چاه شماره ۵، عمق ۲۶۸۸ متر، نور XPL، (T) شکستگی دانه اسکلتی در حین دیاژنز دفنی، چاه شماره ۲، عمق ۲۷۲۱ متر، نور PPL



در نهایت مغزه‌ها به سه بخش فوقانی (تراکم شکستگی‌ها متوسط تا بالا، فشردگی ضعیف، شکستگی ضعیف تا متوسط، استیلولیت‌ها به موازات لایه‌بندی)، بخش میانی (مشابه بخش فوقانی، شکستگی‌های موئین و بخشی از استیلولیت‌ها مایل یا عمود بر سطح لایه‌بندی) و بخش زیرین (تراکم شکستگی‌ها پایین، پرشدگی شکستگی‌ها توسط انیدریت و استیلولیت‌ها به موازات لایه‌بندی) تقسیم‌بندی شده‌اند. مبنای تقسیم‌بندی عوارض مورفولوژیکی ناشی از فرایندهای تکتونیکی است:

**بخش فوقانی:** بخش فوقانی از عمق ۲۵۶۶ تا ۲۵۸۴ متری می‌باشد که قسمت بالایی آن (از عمق ۲۵۶۶ تا ۲۵۷۰ متری)، دارای فشردگی ضعیف، همراه با نودول‌های انیدریت شکسته شده<sup>۳</sup> است. در این بخش شدت یا میزان شکستگی متوسط تا بالا، فشردگی ضعیف و رگه‌ها و استیلولیت‌ها، معمولاً موازی لایه‌بندی هستند (شکل ۴-۱).  
**بخش میانی:** قسمت عمده بخش میانی مغزه‌های چاه شماره ۵ کیلورکریم (از عمق ۲۵۸۴ تا ۲۶۰۸ متری) فشردگی ضعیفی را نشان می‌دهند (شاخص‌های فشردگی وجود استیلولیت‌ها و رگه‌های انحلالی هستند) فواصل کمی در بخش میانی (به عنوان مثال از عمق ۲۶۰۳ تا ۲۶۰۸ متری) دچار دگرشکلی نشده و بیشتر استیلولیت‌ها نیز موازی لایه‌بندی هستند و فقط تعداد کمی از آن‌ها به صورت مایل یا عمود بر لایه‌بندی مشاهده می‌شوند. در تمامی بخش میانی شکستگی‌ها ضعیف و بیشتر موئین هستند (شکل ۴-۲).

**بخش زیرین:** در بخش زیرین (از عمق ۲۶۰۸ تا ۲۶۱۹ متری) فشردگی قابل‌ملاحظه‌تر از شکستگی است و به طور کلی شکستگی‌ها در این فاصله تراکم کمی داشته و اغلب از انیدریت پر شده‌اند. انحلال فشاری اساساً به وسیله رگه‌های انحلالی چینه‌ای مشخص می‌گردد. تقریباً همه رگه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها در این بخش موازی سطح لایه‌بندی هستند (شکل ۴-۳).

### توالی پاراژنتیکی

سازند آسماری در میدان مورد مطالعه تاریخچه دیاژنتیکی پیچیده‌ای شامل دیاژنز دریایی اولیه، جوی و دفنی را متحمل شده است. در مرحله ابتدایی دیاژنز رسوبات

شکستگی‌ها: بیشتر در رخساره‌های گل‌پشتیبان در گروه‌های ریزرخساره‌های لاگون و رمپ خارجی در مراحل آخر دیاژنز مشاهده می‌شوند. برخی از شکستگی‌ها به فرم باز و برخی نیز پرشده توسط سیمان به خصوص انیدریت مشاهده می‌شوند. این فرایند تأثیر مستقیم بر تخلخل، تراوایی، مهاجرت و رفتار مخزن دارد. به طور کلی یکی از مهم‌ترین عوامل در روند تغییرات پتانسیل مخزنی سازند آسماری بخصوص تراوایی گسترش کمی و کیفی شکستگی‌ها است. جهت مطالعه خواص مخزنی در چاه‌های فاقد مغزه مطالعه و ارزیابی دقیق شکستگی با استفاده از نمودارهای تصویرگر و یا نمودارهای پتروفیزیکی می‌تواند مفید واقع شود (عقلی و همکاران، ۲۰۲۰)، (شکل‌های S۳ و T۳). یکی از اساسی‌ترین نکات در هنگام مطالعه مغزه‌ها تشخیص شکستگی‌های طبیعی از شکستگی‌های ایجاد شده در اثر عملیات حفاری یا شکستگی‌های مصنوعی است. به طور کلی علائمی نظیر سیمان‌شدگی در سطح شکستگی، شکستگی‌های صفحه‌ای، محصور شدن شکستگی‌ها در مغزه، مشاهده گروه‌های موازی از درزه‌ها در نمونه‌ها، وجود خش‌لغزش‌ها<sup>۱</sup> یا شیارهای اصطکاکی<sup>۲</sup> در سطح شکستگی نشان از طبیعی بودن ایجاد شکستگی‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه است. همچنین علائمی نظیر شکستگی‌های قائم سیمان نشده زاویه‌دار با لبه مغزه، شکستگی صدفی و شکستگی‌های خیلی نامنظم نشان از منشا مصنوعی و تشکیل حین حفاری مغزه‌ها دارد. در چاه شماره ۵ فقط از عمق ۲۵۶۶ تا ۲۶۱۹ متری یعنی معادل ۵۳ متر از مغزه‌های سازند آسماری مورد مطالعه قرار گرفت. مغزه‌های مورد مطالعه تنها قسمتی از یکی از زون شماره ۲ مخزن آسماری را در بر می‌گیرد. از این رو داده‌های به دست آمده از مطالعات مغزه بدون در نظر گرفتن زون‌بندی مخزنی مورد تحلیل قرار گرفته است. بررسی مغزه‌های گرفته شده در چاه شماره ۵ میدان کیلورکریم نشان می‌دهد که می‌توان آن‌ها را به ۳ بخش تقسیم نمود. شکستگی‌های موجود در مغزه‌های مورد مطالعه (مغزه‌های در دسترس) بر اساس میزان تراکم شکستگی‌ها از لحاظ کمی و کیفی، میزان فشردگی، طرز قرارگیری و مختصات استیلولیت‌ها و رگچه‌های انحلالی نسبت به جهت لایه‌بندی مورد تفکیک قرار گرفتند که

<sup>3</sup> Fractured

<sup>1</sup>Slacken sides

<sup>2</sup> Friction grooves

دیاژنتیکی از کنترل‌کننده‌های اصلی کیفیت مخزنی محسوب می‌شوند (لوسیا، ۲۰۰۷؛ دو و همکاران، ۲۰۱۱؛ مور، ۲۰۰۱، مور، ۲۰۱۳). در ادامه در حین دیاژنز دفنی و تاخیری سیمان‌هایی مانند پویی کیلوتوپیک و فرایندهایی مانند تراکم، شکستگی و استیلولیتی شدن صورت می‌گیرد که برخی از آن‌ها باعث کاهش پتانسیل مخزنی می‌شوند تاریخچه دیاژنتیکی به همراه فازهای دیاژنز صورت گرفته بر روی مخزن آسماری در میدان مورد مطالعه در شکل شماره ۵ آمده است.

دریایی همزمان با رسوب‌گذاری تحت تأثیر فرایندهای دیاژنتیکی قرار می‌گیرند. افزایش تبخیر باعث تشکیل دولومیت و انیدریت شده و تخلخل‌های اولیه در این مرحله ایجاد می‌شوند. در ادامه در حین خروج از آب و حاکم شدن دیاژنز جویی انحلال و همچنین فرایندهای مانند دولومیتی شدن و انیدریتی شدن صورت می‌گیرد. این فرایندها معمولاً باعث کاهش پتانسیل مخزنی بخصوص در رخساره‌های لاگونی و شول می‌شوند. به طور کلی گسترش کمی و کیفی رخساره‌ها و تغییرات



شکل ۴. انواع شکستگی‌ها در مغزه‌های مورد مطالعه، ۱- شکستگی در بخش فوقانی (تراکم شکستگی بالا به همراه نودول‌های انیدریت شکسته شده، ۲- شکستگی در بخش میانی (استیلولیت‌ها مایل بر جهت لایه‌بندی با پرشدگی توسط انیدریت) و ۳- شکستگی در بخش زیرین (تراکم شکستگی پایین و استیلولیت‌ها به موازات لایه‌بندی)

فاز دیاژنتیکی	دیاژنز اولیه		دیاژنز تاخیری
	دیاژنز دریایی	دیاژنز متئوریک (جوی)	دیاژنز دفنی
نوشکلی			
زیست آشفته‌گی			
میکریتی شدن			
انحلال			
سیمانی شدن			
سیمانی شدن سیلیسی			
سیمان کلسیتی سین تکسیال			
سیمان سلستیتی			
فشرده‌گی			
استیلولیتی شدن			
پیریتی شدن			
دولومیتی شدن			
هماتی شدن			
انیدریتی شدن			
شکستگی			

شکل ۵. تاریخچه دیاژنتیکی به همراه فازهای دیاژنز صورت گرفته بر روی مخزن آسماری در میدان مورد مطالعه

است. به طور کلی بر پایه ویژگی‌های پتروفیزیکی و تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی، مخزن آسماری به ۵ زون تقسیم گردیده است. تعیین عمق زون‌های شناسایی شده و زون‌بندی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه بر اساس تغییرات لاگ‌های چاه‌پیمایی از جمله لاگ گاما و لاگ نوترون، درصد اشباع نفت، حجم شیل، تعیین ریزرخساره‌ها و درصد تخلخل آن‌ها (مطالعه برش

## زون‌بندی

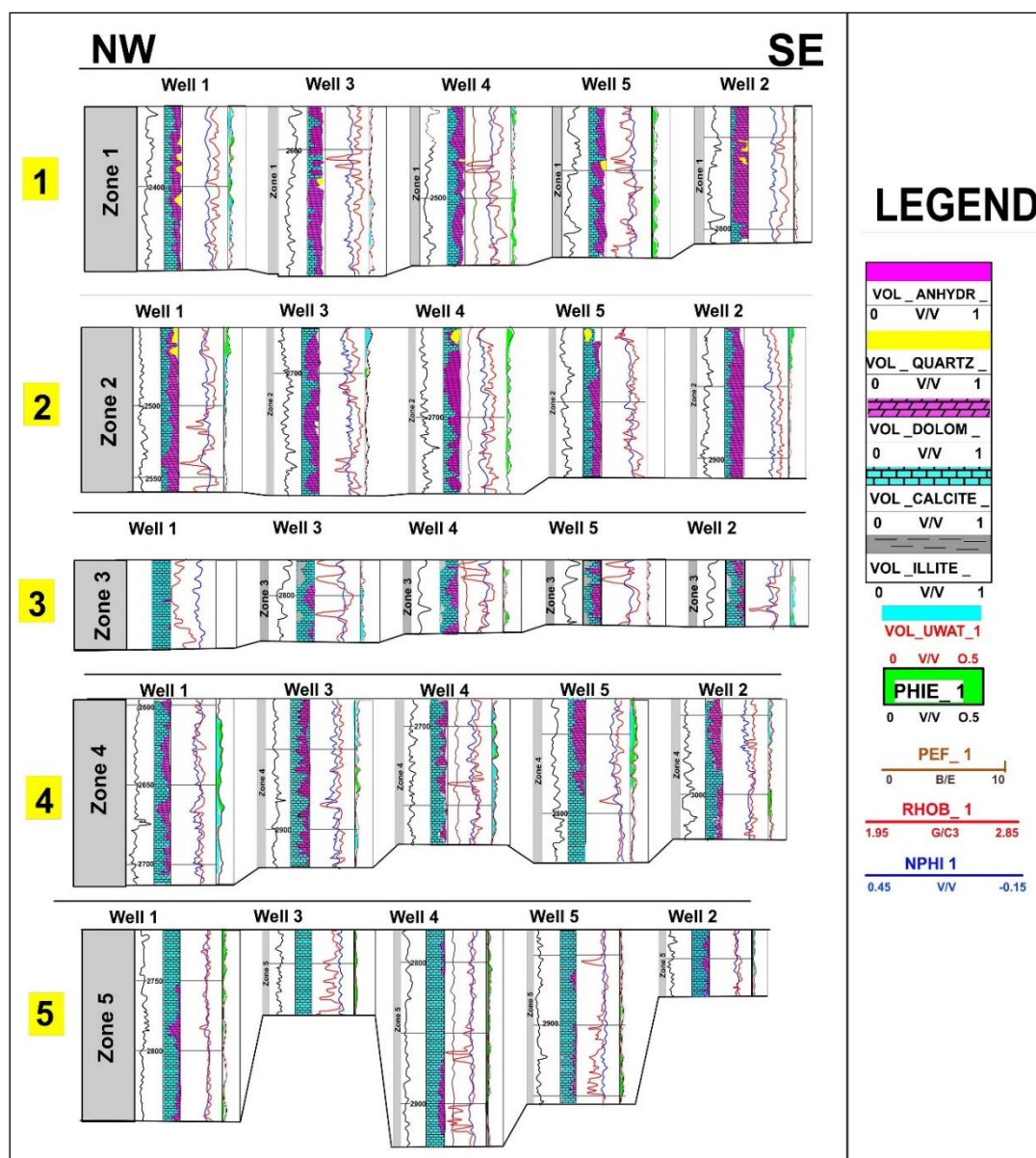
تعیین عمق زون‌های شناسایی شده و زون‌بندی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه بر اساس تغییرات لاگ‌های چاه‌پیمایی از جمله لاگ گاما و لاگ نوترون، درصد اشباع آب، درصد اشباع نفت، حجم شیل، تعیین ریزرخساره‌ها و درصد تخلخل آن‌ها (مطالعه برش‌نازک میکروسکوپی) و هم‌ارزی داده‌های پتروگرافی با پتروفیزیکی صورت گرفته

اساس کیفیت مخزنی به کیفیت پایین، متوسط و بالا تفکیک نمود (رحیمی‌بهار و حسین‌پور صیامی، ۱۳۹۱). بر این اساس مخزن آسماری به ۵ زون تقسیم گردیده است. در جدول ۲ خصوصیات کامل زون‌های ارایه شده در پنج چاه مورد مطالعه آمده است. تطابق زون‌های تفکیک شده مخزن آسماری در پنج چاه مورد مطالعه در شکل ۶ آمده است.

نازک میکروسکوپی) و هم‌ارزی داده‌های پتروگرافی با پتروفیزیکی صورت گرفته است. اصولاً تفکیک کیفیت مخزنی بر اساس نوع سنگ‌شناسی، حجم شیل، درصد تخلخل، اشباع آب و نفت صورت می‌گیرد (لوسیا، ۲۰۰۷). به طور کلی بر پایه ویژگی‌های پتروفیزیکی و تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی و بخصوص پراکندگی تخلخل در طول ضخامت سازند می‌توان مخازن هیدروکربنی را بر

جدول ۲. زون‌بندی چاه‌های مورد مطالعه بر اساس خصوصیات پتروفیزیکی در میدان مورد مطالعه

چاه شماره ۱					
زون	ضخامت (متر)	سنگ‌شناسی غالب	تخلخل (درصد)	کیفیت مخزنی	ملاحظات
۱	۸۹/۵	آهک، دولومیت، دولومیت ماسه‌ای	۵-۱۸	پایین	
۲	۱۱۴/۵	دولومیت ماسه‌ای	۵-۱۸ در نوزده متر ابتدایی، ۵-۱۵ بخش پایینی	پایین	در نوزده متر بالایی خوب، در ۹۵/۵ متر زیرین پایین
۳	۳۷	آهک	۳-۱۵	-	
۴	۱۱۵/۵	آهک، دولومیت	۳-۲۴	متوسط	بخشی از تخلخل از آب پر شده است.
۵	۱۳۷/۵	آهک، دولومیت	۳-۱۲	پایین	
چاه شماره ۲					
۱	۷۶	دولومیت، آهک، کمی ماسه و شیل	۵-۱۸	پایین	
۲	۱۰۴	دولومیت، آهک، کمی ماسه و شیل	۳-۱۸	پایین	۸ متر ابتدایی خوب
۳	۲۸	آهک، دولومیت، شیل	۳-۱۸	پایین	
۴	۸۸	آهک، دولومیت، کمی شیل	۱-۲۱	پایین تا متوسط	از ۲۹۴۱-۲۹۶۷ متر خوب، از ۳۰۱۴-۲۹۹۸ متر خوب، از ۳۰۱۷-۳۰۲۲ متر خوب
۵	۴۹	آهک، دولومیت، کمی شیل	۳-۱۱	پایین	از ۳۰۳۱-۳۰۴۷ متر خوب
چاه شماره ۳					
۱	۹۲	آهک، دولومیت، کمی شیل	۴-۲۱	پایین	
۲	۱۱۷	آهک، دولومیت، کمی شیل	۳-۲۱	پایین	۱۳ متر ابتدایی خوب، پر شده توسط آب
۳	۳۴	آهک، دولومیت، کمی شیل	۳-۱۸	پایین	۶ متر ابتدایی خوب، پر شده توسط آب
۴	۱۰۶	آهک، دولومیت، کمی شیل	۰-۲۵	پایین	
۵	۶۲	آهک	۰-۱۰	پایین	
چاه شماره ۴					
۱	۸۷/۵	دولومیت، آهک، کمی شیل، انیدریت و ماسه	۳-۱۸	متوسط	از ۲۴۵۰-۲۴۶۰ متر خوب، از ۲۵۱۶-۲۴۹۵ متر خوب
۲	۱۱۵/۵	دولومیت، آهک، کمی شیل و ماسه	۳-۱۸	پایین	۹ متر ابتدایی خوب
۳	۳۱	دولومیت، آهک، کمی شیل	۳-۱۸	پایین	
۴	۹۱/۵	دولومیت، آهک، کمی شیل	۰-۲۱	متوسط	از ۲۷۱۲-۲۷۲۱ متر خوب، از ۲۷۲۴-۲۷۴۰ متر خوب، از ۲۷۷۵-۲۷۶۷ متر خوب
۵	۱۵۴/۵	آهک، کمی دولومیت و شیل	۳-۱۰	پایین	
چاه شماره ۵					
۱	۸۳	دولومیت، آهک، کمی شیل، انیدریت و ماسه	۰-۱۸	خوب	از ۲۵۱۹ تا ۲۵۳۸ متر خوب، از ۲۵۶۳-۲۵۷۲ متر خوب، از ۲۵۸۲-۲۵۷۷ متر خوب، از ۲۵۸۸-۲۵۹۵ متر خوب
۲	۱۰۴	دولومیت، آهک، کمی شیل، انیدریت و ماسه	۲-۱۸	پایین	۱۰ متر ابتدایی خوب
۳	۲۷	دولومیت، آهک، شیل	۰-۱۸	پایین	
۴	۱۰۲	آهک، دولومیت، کمی شیل	۳-۲۰	متوسط	از ۲۷۱۹-۲۷۵۹ متر خوب، از ۲۷۶۲ تا ۲۷۶۷ متر خوب، از ۲۷۷۸-۲۷۸۴ متر خوب
۵	۱۲۶	آهک، کمی دولومیت و شیل	۳-۱۲	ضعیف	



شکل ۶. تطابق زون‌های تفکیک شده مخزن آسماری در پنج چاه مورد مطالعه

می‌ماند (کاستنر و همکاران، ۲۰۰۸؛ آیگنر، ۱۹۹۵؛ کاتونینو، ۲۰۰۶). در این مطالعه از تغییرات مورفولوژیکی نگاره گاما به همراه تغییرات ریزرخساره‌ها، محیط‌رسوبی و پتروگرافی در طول ضخامت مخزن آسماری جهت شناسایی سطوح سکانشی و سکانش‌های رسوبی استفاده شده است. با توجه به تغییرات سنگ‌شناسی، تغییرات لاگ گاما، تغییرات عمودی ریزرخساره‌ها چینه‌نگاری سکانشی مخزن آسماری در چاه شماره ۵ از میدان مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت و تعداد ۵ سکانش رسوبی درجه سوم تشخیص داده شد. مشخصات سکانش‌های رسوبی تشخیص داده شده بر اساس نوسانات لاگ گاما و انطباق با زون‌بندی پتروفیزیکی به همراه فرایندهای دیاژنتیکی غالب

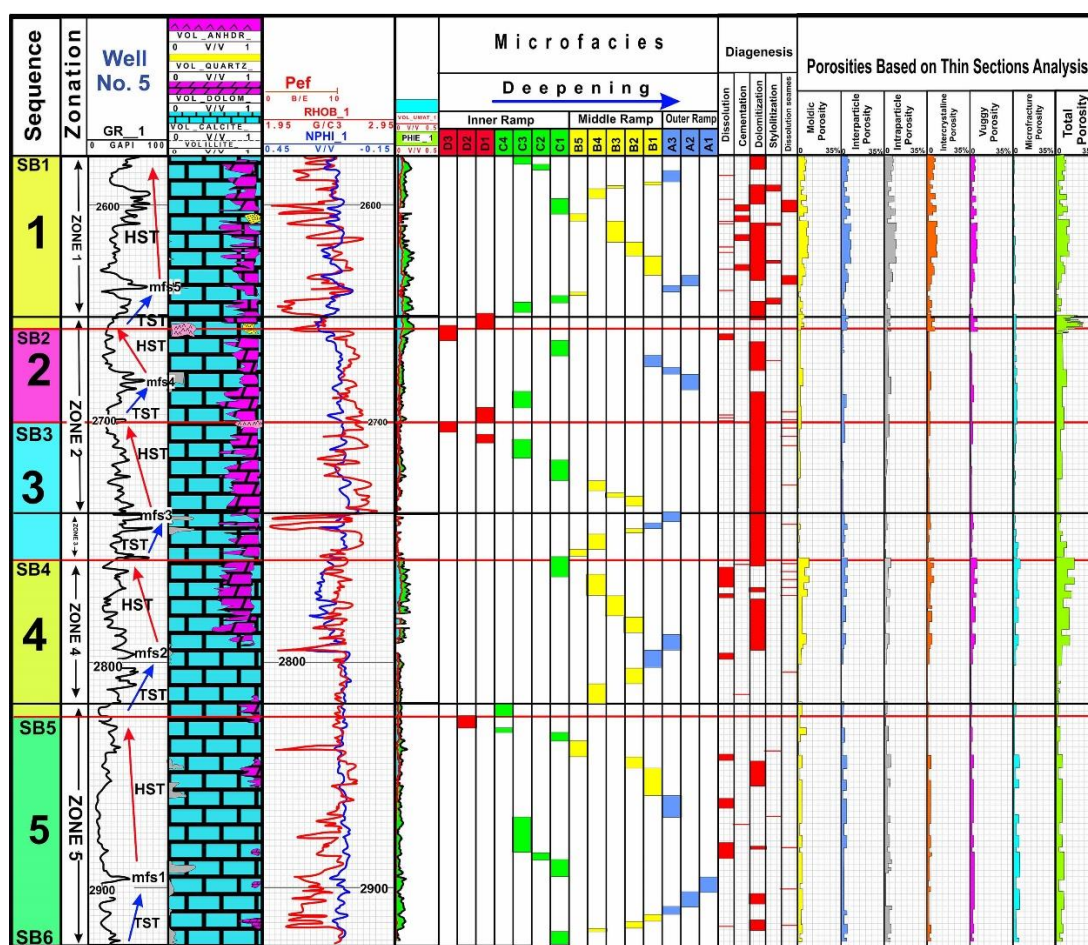
### چینه‌نگاری سکانشی

سیستم تراکت‌ها به صورت فواصل مشخص با روند کاهشی، افزایشی یا ثابت در روی منحنی تغییرات لاگ گاما پدیدار می‌شوند. کاهش، افزایش یا ثابت ماندن نمودار گاما به ترتیب نشان‌دهنده سیستم تراکت پیشرونده، پسرونده و افزایشی است. در سیستم تراکت پیشرونده افزایش مقدار اشعه گاما مشاهده شده که در حداکثر سطح غرقابی بیشترین میزان گاما مشاهده می‌شود. دلیل نوسانات نمودار گاما وجود کانی‌های نظیر گلوکونیت، کانی‌های رسی و مواد آلی حین پیشروی سریع آب دریا و افزایش ماتریکس سنگ می‌باشد. در سیستم تراکت تراز بالا کاهش گاما بسته به طرح برآبراش به صورت محسوس کاهشی و یا ثابت



تراز بالا سکانس رسوبی چهارم مشاهده می‌شود. سکانس‌های رسوبی با حداکثر توان مخزنی به ترتیب منطبق بر زون ۲ و بخش بالایی زون ۳، زون ۳ و بخش بالایی زون ۴ و بخش پایینی زون ۴ و بخش بالایی زون ۵ می‌باشد. در چاه شماره ۵ به ترتیب بیشترین پتانسیل مخزنی منطبق بر سیستم تراکت تراز بالا مربوط به سکانس رسوبی ۱، سکانس رسوبی ۴ و سکانس رسوبی ۵ است. این سکانس‌ها به ترتیب بر زون ۱ و بخش بالایی زون ۲، زون ۴ و بخش انتهایی زون ۵ و زون ۵ منطبق هستند (شکل ۷).

در میدان مورد مطالعه در جدول ۳ آمده است. به طور کلی سیستم تراکت تراز پیشرونده در توالی مورد مطالعه با افزایش کمی مقدار لاگ گاما در هر ۵ سکانس مشخص می‌شود. سیستم تراکت تراز بالا در طول ضخامت مخزن در هر پنج سکانس رسوبی تفکیک شده با کاهش و یا ثابت ماندن مقادیر لاگ گاما مشخص می‌شود. نکته مهم در مورد این سیستم تراکت هم‌ارزی این سیستم تراکت با افزایش پتانسیل مخزنی در طول مخزن است. به عنوان مثال در چاه شماره ۱ بیشترین پتانسیل مخزنی به ترتیب در سیستم تراکت تراز بالا سکانس رسوبی دوم، سیستم تراکت تراز بالا سکانس رسوبی سوم و بخش بالایی سیستم تراکت



شکل ۷. چینه‌نگاری سکانسی و زون‌بندی مخزن آسماری در میدان نفتی کیلورکریم در چاه شماره ۵

پراکندگی آن‌ها در هر زون مخزنی کاملاً مشخص است. در شکل ۴ پراکندگی تغییرات فرایندهای دیاژنزی و انواع اصلی تخلخل مربوط به سازند آسماری در محدوده پهنه‌های مخزنی آورده شده است. در مطالعات دیاژنز و پتانسیل مخزنی در چهارچوب چینه‌نگاری سکانسی از منابعی نظیر (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۱؛ خانجانی و

ارتباط فرایندهای دیاژنزی و انواع تخلخل با زون‌های مخزنی در چهارچوب چینه‌نگاری سکانسی

در این مطالعه پس از مطالعه برش‌های نازک میکروسکوپی و بررسی فرایندهای دیاژنزی غالب در سازند آسماری، تغییرات آن‌ها به‌طور عمودی در برابر ژرفای مربوط به خود از قاعده چاه به سمت بالا ترسیم شده است، بطوریکه



همکاران، ۲۰۱۲؛ مراد و همکاران، ۲۰۱۷؛ میرزایی محمودآبادی، ۲۰۱۷ و میرزایی محمودآبادی و ظهیری، ۲۰۲۲) استفاده شده است.

همکاران، ۱۳۹۳؛ محسنی و همکاران، ۱۳۹۴؛ حسنوند و همکاران، ۱۳۹۵، آزادشهرکی و همکاران، ۱۳۹۶؛ فلاح بکتاش و همکاران، ۱۴۰۰؛ مور، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳؛ رینهولد و کوفمن، ۲۰۱۰؛ توفیک و همکاران، ۲۰۱۷؛ مراد و

جدول ۳. مشخصات سکنس‌های رسوبی شناسایی شده و انطباق با زون‌بندی پتروفیزیکی به همراه فرایندهای دیاژنتیکی غالب در میدان مورد مطالعه، چاه شماره ۵

فرایندهای دیاژنتیکی غالب	پتانسیل مخزنی	انطباق با زون بندی پتروفیزیکی	سیستم تراکت متر		نسبت (S <sub>1</sub> ):(S <sub>2</sub> ):(S <sub>3</sub> )	نسبت سکنس
			TST	HST		
سیمانی شدن	پایین	زون ۱ و بخش بالایی زون ۲	۱۹/۷	TST	۷۱	۱
دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن، شکستگی	متوسط تا بالا		۵۱/۲۷	HST		
سیمانی شدن	پایین	بخش بالایی زون ۲	۱۷/۳۵	TST	۴۰/۷	۲
دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن، شکستگی	پایین		۲۳/۳۴	HST		
سیمانی شدن	پایین	بخش پایینی زون ۲ و زون ۳	۱۸/۴۱	TST	۶۰/۵	۳
دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن، شکستگی	پایین		۴۲/۰۹	HST		
سیمانی شدن	پایین	زون ۴ و بخش انتهایی زون ۵	۲۷/۶	TST	۶۸/۳	۴
دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن، شکستگی	بالا		۴۰/۶	HST		
سیمانی شدن، دولومیتی شدن	پایین	منطبق بر زون ۵ به غیر از بخش انتهایی	۳۱/۵۶	TST	۱۰۳/۸۸	۵
دولومیتی شدن، انحلال، استیلولیتی شدن، شکستگی	بالا		۷۲/۳۳	HST		

و کیفی بر تخلخل خواهد داشت. در بازه زمانی LST مهم‌ترین فرایند دیاژنتیکی انحلال بخصوص بر روی رسوبات گرینستونی تشکیل شده در زمان سیستم تراکت بالای HST سکنس قبلی است. در محیط‌های وادوز سیمان‌های ثقلی و منیسکاس تشکیل می‌شوند. در این بازه زمانی معمولاً تخلخل بین دانه‌ای حفظ شده و به مقدار کم تخلخل قالبی به وجود می‌آید. در محیط فراتیک سیمان کلسیت بین‌دانه‌ای و تبدیل آراگونیت به کلسیت صورت می‌گیرد (تاگر، ۲۰۰۴ و مور، ۲۰۰۱). لازم به ذکر است که محصولات دیاژنتیکی در اقلیم مرطوب و خشک متفاوت است به نحوی که در محیط خشک به علت کمبود آب قدرت مانور واکنش‌های دیاژنتیکی کاهش می‌یابد و عمده محصولات کارست و کالیچ است. تشکیل سیمان اکسید آهن از محصولات جانبی این سیستم تراکت است (کاتونینو، ۲۰۰۶). از آنجایی که دسته رخساره‌های سیستم تراکت تراز پایین LST در همه بخش‌های حوضه رسوبی پدیدار نمی‌شوند. هر سکنس رسوبی معمولاً از دسته

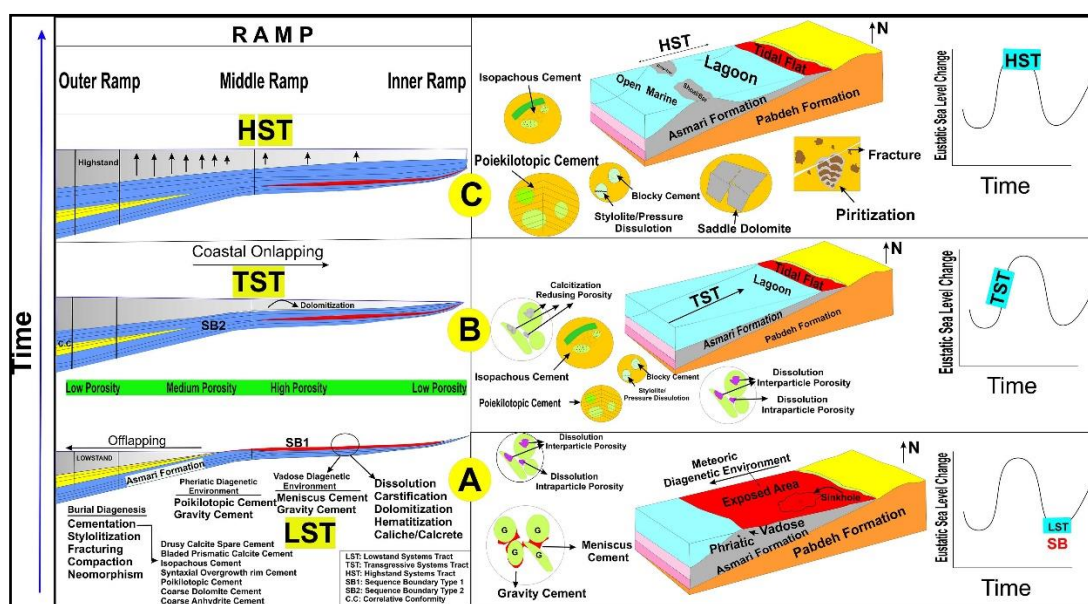
فرایندهای دیاژنتیکی و بررسی تکامل تخلخل در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه در چهارچوب چینه نگاری سکنسی: در این بخش ارتباط بین فرایندهای دیاژنتیکی و پتانسیل مخزنی در چهارچوب چینه‌نگاری سکنسی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به طور کلی تغییرات نسبی سطح آب دریا باعث تغییر در ترکیب شیمیایی سیالات حفره‌ای شده که در ادامه پتانسیل مخزنی را از لحاظ کمی و کیفی کنترل خواهد کرد. فرایندهای دیاژنتیکی ارتباط تنگاتنگی با تغییرات نسبی سطح آب دریا دارد به نحوی که تغییرات دیاژنز تحت تأثیر الگوی انباشتگی رسوبات در زمان پسروری و پیشروی آب دریا است.

فرایندهای دیاژنتیکی و بررسی تکامل تخلخل در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه در سیستم تراکت تراز پایین LST: در بین سیستم تراکت‌ها، سیستم تراکت تراز پایین مهم‌ترین و بیشترین تأثیر را بر روی فرایندهای دیاژنتیکی دارد. در حین سیستم تراکت تراز پایین محیط دیاژنتیکی جوی غالب شده و تغییرات زیادی از لحاظ کمی

هستند. در بازه زمانی TST با پیشروی رسوبات عمیق بر روی رسوبات کم عمق و پیشروی رخساره‌ها به سمت خشکی<sup>۱</sup> رسوبات سیستم تراکت HST سکانس رسوبی قبلی به صورت یک سیستم بسته عمل کرده و فرایندهای دیاژنتیک از قبیل انحلال و سیمانی شدن به مقدار کم و دولومیتی شدن صورت می‌گیرد. در رخساره‌های پشته سدی انحلال و در لاگون و پهنه‌های جزرومدی دولومیتی شدن، سیمان انیدریتی و نودول‌های انیدریت تشکیل می‌شوند (شکل B۸).

رخساره‌های TST و HST تشکیل می‌شوند. در توالی‌های مورد مطالعه سکانس‌های رسوبی مورد مطالعه دسته رخساره‌های TST و HST مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل A۸).

فرایندهای دیاژنتیکی و بررسی تکامل تخلخل در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه در سیستم تراکت تراز پیشرونده TST: به طور کلی در زمان پیشروی آب دریا و تشکیل دسته رخساره‌های مربوط به سیستم تراکت تراز پیشرونده فرایندهای دیاژنتیکی تحت کنترل آب دریا



شکل ۸. دیاگرام فرایندهای دیاژنتیکی غالب در محیط‌های رسوبی و تغییرات نسبی آب دریا، فرایندهای دیاژنتیکی غالب در مخزن آسماری در سیستم تراکت‌های تراز پایین، تراز پیشرونده و تراز بالا در میدان مورد مطالعه

کاهنده تخلخل، کاهش نفوذپذیری بر اساس فرایند سیمانی شدن و دولومیتی شدن را می‌توان نام برد. محصولات دیاژنتیکی در اقلیم مرطوب کارست و ایجاد تخلخل‌های قالبی و در اقلیم خشک تشکیل کالچ و دولومیت‌های حاصل از تبخیر است. به طور کلی در دیاژنز جوی انحلال دانه‌های ناپایدار مانند بیوکلاست‌ها، تخلخل قالبی، سیمان کلسیت‌دروزی و پرکننده حفرات از محصولات دیاژنتیکی خواهد بود. در حین دیاژنز دفنی نیز دولومیتی شدن با فابریک مخرب، تراکم، سیمان انیدریت، سیمان کلسیتی، تشکیل دولواسپاریت از دولومیکریت و تشکیل سیمان‌های انیدریتی، سلسیتی و کلسیتی پرکننده شکستگی‌ها و استیلولیت‌ها صورت می‌گیرد. فرایند دیاژنتیکی غالب در زمان سیستم تراکت تراز بالا در

فرایندهای دیاژنتیکی و بررسی تکامل تخلخل در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه در سیستم تراکت تراز بالا HST: فرایندهای دیاژنتیکی در سیستم تراکت تراز بالا با توجه به نوع اقلیم، شرایط رسوب‌گذاری و نرخ ایجاد فضای رسوب‌گذاری تنوع فراوانی دارد. به طور کلی در زمان LST نرخ ایجاد فضای جدید برای انباشت رسوب کم و در زمان TST این نرخ افزایشی و تا MFS ادامه می‌یابد. در زمان HST نرخ ایجاد فضای جدید برای انباشت رسوب نزولی شده و چنانچه نرخ تولید کربنات بالا باشد، تولید رسوبات به سمت دریا<sup>۱</sup> صورت گرفته و فرایندهای دیاژنتیکی میکروبی و تشکیل میکروبیال موند مشاهده می‌شود (تاکر، ۲۰۰۵، مور، ۲۰۰۱، مراد و همکاران، ۲۰۱۲). سایر فرایندهای دیاژنتیکی در این بازه زمانی سیمانی شدن

<sup>1</sup> Progradation

<sup>1</sup> Onlapping

ریزرخساره‌ها چینه‌نگاری سکانسی مخزن آسماری در چاه‌های شماره ۱ و ۵ از میدان مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت و تعداد ۵ سکانس رسوبی درجه سوم تشخیص داده شد. سیستم تراکت تراز پیشرونده TST در توالی مورد مطالعه با افزایش کمی مقدار لاگ گاما در هر ۵ سکانس مشخص می‌شود. سیستم تراکت تراز بالا HST در طول ضخامت مخزن در هر پنج سکانس رسوبی تفکیک شده با کاهش و یا ثابت ماندن مقادیر لاگ گاما مشخص می‌شود. در چاه شماره ۱ بیشترین پتانسیل مخزنی به ترتیب در سیستم تراکت تراز بالا HST سکانس رسوبی دوم، سیستم تراکت تراز بالا HST سکانس رسوبی سوم و بخش بالایی سیستم تراکت تراز بالا HST سکانس رسوبی چهارم مشاهده می‌شود. سکانس‌های رسوبی با حداکثر توان مخزنی به ترتیب منطبق بر زون ۲ و بخش بالایی زون ۳، زون ۳ و بخش بالایی زون ۴ و بخش پایینی زون ۴ و بخش بالایی زون ۵ است. در چاه شماره ۵ به ترتیب بیشترین پتانسیل مخزنی منطبق بر سیستم تراکت تراز بالا مربوط به سکانس رسوبی ۱، سکانس رسوبی ۴ و سکانس رسوبی ۵ است. این سکانس‌ها به ترتیب بر زون ۱ و بخش بالایی زون ۲، زون ۴ و بخش انتهایی زون ۵ و زون ۵ منطبق هستند. گسترش رخساره‌های دانه‌پشتیبان متأثر از محیط رسوب‌گذاری و فرایندهای دیاژنتیکی از قبیل انحلال، دولومیتی شدن و شکستگی‌ها از عوامل بالا بودن پتانسیل مخزنی در دسته رخساره‌های HST است.

#### منابع

آزادشهرکی، ل.، رحیم‌پوربناب، ح.، رنجبران، م (۱۳۹۶) محیط رسوبی، دیاژنز و چینه‌نگاری سکانسی سازند فهلیان در چاه B میدان نفتی کیلورکریم، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۵، شماره ۱۰، ص ۶۴-۸۰.

اکبرزاده، س.، امینی، ع.، توکلی، و.، حیدری، خ (۱۳۹۹) کاربرد ریخت‌شناسی و توزیع عناصر نگاره گاما در بررسی شرایط محیطی و چینه‌نگاری سکانسی سازند آسماری، میدان کارون، نشریه علوم زمین، ۲۹ (۱۱۶)، ص ۱۹۳-۲۰۲.

امیری، م.، رحیم‌پوربناب، ح.، اسدی، ا.، صرفی، م (۱۳۹۰) محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند داریان در میدان گازی پارس جنوبی، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دوره ۲۷ (۲)، ص ۶۳-۸۶.

حسنوند، و.، محسنی، ح.، همایی، م (۱۳۹۵) دیاژنز و ارزیابی نقش تغییرات تخلخل بر توان مخزنی آسماری جهرم در

منطقه مورد مطالعه دولومیتی شدن و شکستگی‌های پر شده توسط انیدریت و کلسیت است. در توالی‌های مورد مطالعه پتانسیل مخزنی در زمان رسوب‌گذاری دسته رخساره‌های مربوط به تراز بالای آب دریا HST بیشترین پتانسیل مخزنی را دارا هستند، به نحوی که بالاترین پتانسیل مخزنی در طول سیستم تراکت تراز بالای HST سکانس رسوبی سوم اتفاق افتاده است. گسترش رخساره‌های دانه‌پشتیبان متأثر از محیط رسوب‌گذاری و فرایندهای دیاژنتیکی از قبیل انحلال، دولومیتی شدن و شکستگی‌ها از عوامل بالا بودن پتانسیل مخزنی در دسته رخساره‌های HST است (شکل ۸C).

#### نتیجه‌گیری

مطالعه هم‌زمان خصوصیات پتروگرافیکی، فرایندهای دیاژنتیکی و داده‌های پتروفیزیکی مخزن آسماری در میدان مورد مطالعه منجر به نتایج زیر گردید.

بر اساس مطالعه برش‌های نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری و مغزه‌ها تعداد ۱۵ رخساره کربناته، آواری و تبخیری در یک رمپ کربناته هم‌شیب رسوب‌گذاری شده‌اند. از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتزی مؤثر بر سازند آسماری در چاه مورد مطالعه می‌توان به تفکیک در محیط دیاژنتیکی دریایی (میکرایتی شدن، سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت، سیمان سین‌تکسیال)، محیط دیاژنتیکی جوی (انحلال، سیمان کلسیت هم‌بعد پرکننده تخلخل قالبی، سیمان کلسیت‌دروزی)، و محیط دیاژنتیکی دفنی (انحلال دفنی، سیمان بلوکی، سیمان انیدریتی، سیمان سلسیت، سیمان سیلیسی، فشردگی مکانیکی، استیلولیتی شدن، پیریتی شدن، هماتیتی شدن، دولومیتی شدن، شکستگی‌ها) اشاره کرد. فرایندهای دیاژنتزی هم نقش منفی و هم مثبت در کیفیت مخزنی سازند آسماری داشته‌اند. بر پایه ویژگی‌های پتروفیزیکی و تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی، مخزن آسماری در میدان مورد مطالعه به ۵ زون تقسیم گردید که زون‌های شماره ۲ و ۴ پتانسیل مخزنی بهتری نسبت به سایر زون‌ها از خود نشان می‌دهند. تغییرات مورفولوژیکی نگاره گاما به همراه تغییرات ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی و پتروگرافی در طول ضخامت مخزن آسماری جهت شناسایی سطوح سکانسی و سکانس‌های رسوبی استفاده شده است. با توجه به تغییرات سنگ‌شناسی، تغییرات لاگ گاما، تغییرات عمودی

- چاه‌های شماره ۲، ۱۰ و ۱۱ میدان نفتی گلخاری، پژوهش‌های دانش زمین، ۷(۲۷)، ص ۸۳-۱۰۷.
- خانجانی، م.، موسوی‌حرمی، ر.، رحیم‌پوریناب، ح.، کمالی، م. ر (۱۳۹۳) محیط رسوبی، دیاژنز و چینه‌نگاری سکانسی بخش بالایی سازند سروک (معادل میشریف) در میدان نفتی سیری، علوم زمین، ۲۴(۹۴)، ص ۲۶۳-۲۷۴.
- داودی، س.، توکلی، و.، رحیم‌پوریناب، ح (۱۳۹۹) بررسی ضریب اطمینان استفاده از نگاره انحراف معیار گاما در مطالعه‌های چینه‌نگاری سکانسی سازند داریان، بخش مرکزی خلیج فارس، نشریه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۳۶(۳)، شماره ۸۰، ص ۱-۱۶.
- رحیم‌پوریناب، ح (۱۳۸۴) سنگ‌شناسی کربناته، ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ ص.
- رحیمی‌بهار، ع.، حسین‌پور صیامی، ح (۱۳۹۱) تفکیک زون‌های مختلف مخزن هیدروکربنی با کمک رخساره‌های الکتریکی، نشریه پژوهش نفت، ۲۲(۷۲)، ص ۱۴۴-۱۵۳.
- شفیعی، ق (۱۳۸۹) مطالعه زمین‌شناسی و تهیه مدل استاتیک مخزن آسماری میدان نفتی کیلورکریم، گزارش شماره پ-۶۸۱۴، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب.
- عباساقتی، ف.، محبوبی، ا.، موسوی‌حرمی، ر.، آورجانی، ش (۱۳۹۴) کاربرد آنالیز طیفی در چینه‌نگاری سکانسی و تعیین چرخه‌های میلانکوویچ در سازند سروک در میدان کوپال، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۳، شماره ۵، ص ۵۴-۷۰.
- فلاح‌بکنتاش، ر.، آدابی، م.، ح.، صادقی، ع.، امیدپور، آ (۱۴۰۰) مطالعه ریزرخساره‌ها و فرایندهای دیاژنزی سازند آسماری در میدان نفتی خشت با تأکید بر خصوصیات مخزنی مطالعه‌موردی: حوضه رسوبی زاگرس، فارس، جنوب غرب ایران، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی سال ۳۷(۳)، شماره ۸۴، ص ۱-۳۴.
- مطیعی، ه (۱۳۷۲) زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۸۲ ص.
- مطیعی، ه (۱۳۷۴) زمین‌شناسی نفت زاگرس ۱ و ۲، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۲۴ ص.
- مقصودی، م.، شرکتی، ش (۱۳۸۰) نقشه راه‌های ساختاری زاگرس، گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران، منتشر نشده.
- مهرابی، ح.، رحیم‌پوریناب، ح.، امیدوار، ح.، حاجی‌مشهدی، ح (۱۳۹۱) مطالعه محیط رسوبی، دیاژنز و چینه‌نگاری سکانسی سازند سروک در میدان نفتی آب تیمور در بخش
- غربی ناحیه فروافتادگی دزفول، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۲۸(۴۴)، ص ۲۵-۵۰.
- نیک‌بین، م.، خانه‌باد، م.، موسوی‌حرمی، ر.، محبوبی، ا.، خدای، م.، غفرانی، ا (۱۳۹۸) ارزیابی محیط‌رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی، تعیین کیفیت و گسترش زون‌های مخزنی سازند کنگان، واقع در تاقدیس تابناک (زاگرس جنوبی)، نشریه پژوهش نفت، شماره ۱۰۷، ص ۳-۲۱.
- هزاربان، ح.، کردی، م.، ضیایی، م.، سلیمانی‌منفرد، م.، یحیایی، م. (۱۴۰۰) ارزیابی ویژگی‌های مخزنی براساس چینه‌نگاری سکانسی: مطالعه موردی سازند آسماری در یکی از میدان‌های نفتی خلیج فارس، نشریه علوم‌زمین، ۳۱(۲)، ص ۱۱۱-۱۲۲.
- هنرمند، ج.، امینی، ع.، کمالی، م. ر (۱۳۹۴) کنایه تبخیری (انیدریت و سلسیت) و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی زون‌های دولومیتی سازند آسماری، بخش شمالی فروافتادگی دزفول، جنوب غرب ایران، پژوهش نفت، ۲۵(۸۳)، ص ۱۷۱-۱۸۵.
- Ahr, W. M (2008) *Geology of Carbonate Reservoirs, the Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*, John Wiley & Sons, Inc., Pub., New Jersey. 277 p.
- Aigner, T. M., Schauer, W. D., Janghanns and Reinhardt, L (1995) *Outcrop gamma-ray logging and its applications: example from the German Triassic: Sedimentary Geology*, 100: 47-61.
- Alavi, M (2007) *Structures of the Zagros Fold-Thrust Belt in Iran*. *American Journal of Science*, 307: 1064-1095.
- Bahroudi, A., and Koyi, H. A (2004) *Tectono-Sedimentary Framework of the Gachsaran Formation in the Zagros Foreland Basin, Marine and Petroleum Geology*, 21: 1295-1310.
- Burchette, T. P., Wright, V. P (1992) *Carbonate ramp depositional system*. *Journal of Sedimentary Geology*, 79: 3-57.
- Borai, A (1987) *A new correlation for the cementation factor in low-porosity carbonates*, *J. SPE Formation Evaluation*, 2 (4): 495.
- Bordenave, M., Hegre, M (2010) *Current distribution of oil and gas fields in the Zagros Fold Belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems*. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 330: 291-353.
- Burchette, T. P. and Wright, V. P (1992) *Carbonate ramp depositional systems*. In: B. W. Seliwood (Editor), *Ramps and Reefs*. *Sedimentary Geology*, 79: 3-57.
- Carozzi, A. V (1989) *Carbonate rocks depositional models: A microfacies approach*. Prentice- Hall, New Jersey, 604 p.

- <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2022.01.009>. (In press).
- Michelsen, O., and M., Danielsen (1996) Sequence and systems tract interpretation of the epicontinental Oligocene deposits in the Danish stratigraphy: part 2: key definitions of sequence stratigraphy, in: Atlas of Seismic Stratigraphy (A.W. Bally, Editor): American Association of Petrologists and Geologists Student Geology, 27: 11-14.
- Moore, C. H (2001) Carbonate reservoir; Porosity Evolution and Diagenesis In a Sequence Stratigraphic Framework, Elsevier, 444 p.
- Moore, C. H (2013) Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework. Elsevier, Amsterdam, 370 p.
- Morad, S. Al-Aasm, I. S., Fadi, H. N., Ceriani, A., Gasparini, M., Mansuebeg, 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, *GeoArabia*, 17(3): 17-56.
- Morad, D., Fadi, N., Gasparini, M., Morad, S., Al Darmaki, F., Martines, M (2017) Comparison if the diagenetic and reservoir quality evolution between the anticline crest and flank of an Jurassic carbonate reservoir, Abu Dhabi, United Arab Emirates, *Society of Petroleum Engineering (SPE)*, SPE-188938-MS.
- Moradi, M., Tokhmechi, B., Kordi, M., Masoudi, P (2019) Gamma-clustering sequence stratigraphy, case study of the carbonate Sarvak Formation, Southwest Iran *SN Applied Sciences*, A Springer Nature Journal, 1: 1369.
- Pomar, L (2001) Types of carbonate platforms: a genetic approach. *Basin Research*, 313-334.
- Pomar, L., Obrador, A. and Westphal, H (2002) Sub-wave- base cross-bedded grainstones on a distally steepened carbonate ramp, Upper Miocene, Menorca, Spain. *Sedimentology*, in press, 90- 110.
- Pringle, J. K., Howell, J. A., Hodgett, D., Westerman, A. R., and Hodgson, D. M (2008) Virtual outcrop models of petroleum reservoir analogues: A review of the current state of the art, *EAGE, First Breaks Volume*, Technical Article. pp.189.
- Rao, C. P., Adabi, M. H (1992) Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia, *Marine Geology*, 103: 249-272.
- Reinhold, C., Kaufman, B (2010) Sea-level changes as controlling factor of early diagenesis: the reefal limestones of Adnet (Late Triassic, Northern Calcareous Alps, Austria), *Facies*, 56: 231-248.
- Catuneanu, O (2006) Principles of sequence stratigraphy. Elsevier, Amsterdam, 386 p.
- Dickson, J (1965) Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Sedimentary Geology*, 205: 491-505.
- Dou, Q. Sun, Y. and Sullivan, C (2011) Rock-physics-based carbonate pore type characterization and reservoir permeability heterogeneity evaluation, Upper San Andres reservoir, Permian Basin, west Texas. *Journal of Applied Geophysics*, 74(1): 8-18.
- Dunham, R (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: *Classification of Carbonate Rocks*. American Association Petroleum Geology. 121 p.
- Flügel, E (2010) Microfacies analysis of Limestones, Analysis Interpretation and Application. Springer Berlin, 976 p.
- Geel, T (2000) Recognition of Stratigraphic Sequence in Carbonate Platform and Slope: empirical models based on microfacies analysis of Paleogene deposit in Southern Spain, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 155: 211.
- Gregg, J., M., Sibley, D., F (1984) Epigenetic dolomitization the origin of xenotopic dolomite texture, *Journal of sedimentary petrology*, 54: 907-931.
- Kastner, M., I., Schulke, J., Winsemann (2008) Facies architecture of a Late Jurassic carbonate ramp: The Korallenoolith of the Lower Saxony Basin: *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 97: 991-1011.
- Longman, M. W (1980) Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. *AAPG Bulletin*, 64(4): 461-487.
- Lucia, F. J (2007) Carbonate reservoir characterization: An integrated approach. Springer Berlin. 366 p.
- Mirzaee Mahmoodabadi, R (2021) Properties Reservoirs Assessment of Sarvak Formation in Yadavaran Oil Field Based on petrographical and Petrophysical data, *Applied Sedimentology*, 9(18).
- Mirzaee Mahmoodabadi, R (2017) The Assessment of microfacies and reservoir potential relationship (porosity and pore size) of the Sarvak Formation in SW Iran, *Geosciences Journal*, 22 (5): 793-805.
- Mirzaee Mahmoodabadi, R (2020) Facies analysis, sedimentary environments and correlative sequence stratigraphy of Gachsaran formation in SW Iran, *Carbonate and Evaporites*, 35- 25.
- Mirzaee Mahmoodabadi, R., Zahiri, S (2022) Formation evaluation and Rock Type Classification of Asmari Formation based on petrophysical- petrographic data: A case study in one of super fields in Iran southwest, *Petroleum* (2022), doi:



- Selley, R. C (1978) Concepts and methods of subsurface facies analysis, American Association of Petroleum Geologists, Contin Educ Course Notes, 9: 82.
- Sibley, D. F. and Gregg, J. M (1987) Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Research*, 57(6): 967-975.
- Scholle, P. A. and Ulmer-Scholle, D. S (2006) A guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, and diagenesis. AAPG Memoir. 77.
- Tiab, D., Donaldson, E. C (2004) *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*. Amsterdam: Elsevier, 889 pp.
- Tucker, M (2001) *Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in Sequence Stratigraphic Framework-By Clyde Moore*, Published by Elsevier, Amsterdam, *Developments in Sedimentology Volume 55*, 444. *US Organic Geochemistry*, 11(32): 1373.
- Towfik, K., M., EL-Sorogy, Abdelbaset S., Moussa, M (2017) Relationships between sequence stratigraphy and diagenesis of corals and foraminifers in the Middle Eocene, northern Egypt, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26: 147-169
- Tucker, M. E. and Wright V. P (1990) *Carbonate Sedimentology*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, London, England, 404 p.
- Wilson, J (1975) *Carbonate Facies in Geological History*. Springer, Berlin. 471 p.
- Warren, J. K (2006) *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*. Springer Science & Business Media, 1035 p.