ارزیابی موانع درون مخزنی برای شناخت تأثیرات آن‌ها بر مطبق شدگی سازندهای دالان و کنگان، بخش مرکزی خلیج فارس

نسرین ابراهیمی*، وحید توکلی، حسین رحیم‌پور بناب؛
دانشگاه تهران، دانشکدهٔ علوم زمین

دریافت ۹۵/۰۸۴/۲۲ پذیرش ۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

در حوضهٔ خلیج فارس، در سازندهای دالان و کنگان که میزبان عمده مخازن گازی هستند به‌دلیل تغییرات رخساره‌ای و دیاژنزی شدید، ناهمگنی سنگ‌شناسی در مقیاس‌های مختلفی دیده می‌شود که موجب ایجاد مطبق‌شدگی[1] در این سازندها شده است، به‌عبارت دیگر تجمع هیدروکربنی با لایه‌های نفوذناپذیری به چندین محفظه سیال/ فشار جداگانه تفکیک شده است. در این پژوهش با بررسی رسوب‌شناسی سازندهای دالان و کنگان در یکی از میادین بخش مرکزی خلیج فارس، ۱۱ ریزرخساره اصلی مربوط به ۶ کمربند رخساره‌ای شناسایی شد. بر اساس بررسی‌های پتروگرافی فرایندهای دیاژنزی سازندهای فوق شامل میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، سیمانی شدن، استیلولیتی شدن، فشردگی و انحلال است. سپس با استفاده از داده‌های رسوب‌شناسی، تخلخل و تراوایی و داده‌های فشار سازندی، موانع درون مخزنی موجود شناسایی شده و پتانسیل ایستا یا پویا بودن آن‌ها بررسی شد. نتیجه این پژوهش‌ها نشان داد که در مجموع ۶ مانع درون مخزنی در این سازندها در بخش مرکزی خلیج فارس وجود دارد که پتانسیل پویا بودن را دارند. عامل اصلی در تشکیل این موانع درون مخزنی پویا، سیمان انیدریتی و فرآیندهای فشردگی شیمیایی است که سبب از بین‌رفتن تخلخل در این لایه‌ها شده است. حضور این موانع درون مخزنی پویا سبب شده تا فشارهای سازندی در بخش بالایی سازند کنگان و بخش پایینی عضو دالان بالایی بیش از سایر بخش‌های این سازندها باشد. این موانع درون مخزنی پویا نقش اساسی در الگوی تولید میدان در افق‌های مختلف دارند.

واژه‌های کلیدی: مخازن کربناته، مطبق‌شدگی، سازند دالان، سازند کنگان، خلیج فارس

مقدمه

مخازن کربناته از مهم‌ترین مخازن هیدروکربنی در دنیا به‌شمار می‌روند. سنگ‌های کربناته ۵۰ درصد مخازن نفت و گاز دنیا و ۹۵ درصد مخازن نفت و گاز ایران را تشکیل می‌دهند [۶]. این مخازن به شدت تحت تأثیر فرآیندهای پیچیده دیاژنزی قرار گرفته و تغییرات سنگ‌شناسی از سنگ آهک به دولومیت و انیدریت سبب تغییرات قائم و جانبی زیادی در آن‌ها شده و اغلب این مخازن مطبق شده[2] هستند [۲۷]. مطبق‌شدگی بدین معنی است که تجمع هیدروکربنی با لایه‌های نفوذناپذیری به چندین محفظه سیال/ فشار جداگانه تفکیک شوند. این موانع به دو نوع اساسی

*نویسنده مسئول nasrinebrahimi1988@yahoo.com

1. Reservoir compartmentalization
2. Compartmentalized

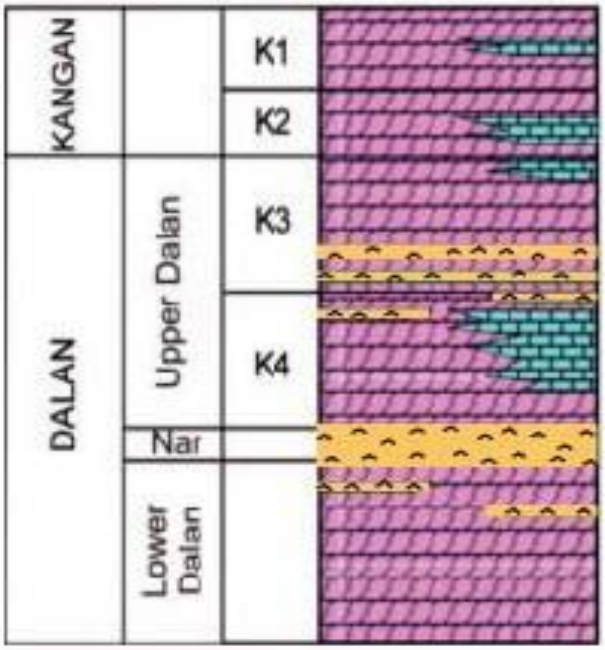
ایستا[1] و پویا[2] تقسیم می‌شوند [۱۶]. موانع ایستا، ستون هیدروکربنی را در طول زمان زمین‌شناسی به دام انداخته و دائمی هستند در حالی که موانع پویا با تراوایی پایین موجب میزان آهسته جریان شده و اجازه می‌دهند تا سیالات و فشار در طول زمان زمین‌شناسی در دو طرف مرز به تعادل برسند اما مدتی پس از تولید به‌عنوان سد[3] عمل کرده و مانع میزان عادی تولید می‌شود. به بیان دیگر تراوایی پایین این واحدها سبب می‌شود تا نتوانند در زمان کوتاه تولید، خصوصیات سیال دوطرف خود را به تعادل برسانند. در نتیجه موانع[4] پویا درون مخزن این پتانسیل را دارند که از همگن‌شدن سیالات جلوگیری کرده و سبب مطبق‌شدگی شوند. شناسایی این موانع گامی مهم در طی ارزیابی مخزن است چرا که این ناهمگنی‌های مخازن کربناته برحجم هیدروکربن قابل تولید در بخش‌های مختلف اثرگذار است و می‌تواند میدان هیدروکربنی را تحت تأثیر قراردهد به‌طوری‌که می‌تواند تأثیر جدی روی سودآوری یک میدان داشته باشد. بنا براین نادیده گرفتن مطبق‌شدگی در طی ارزیابی صحیح موجب می‌شود تا در مورد برنامه تولید و توسعه میدان تجدید نظر شود [۳۲]. از این رو شناسایی و بررسی این موانع امری ضروری است. در حوضهٔ خلیج فارس عمده مخازن گازی سازندهای دالان و کنگان هستند که این سازندها نماینده خوبی از مخازن ناهمگن کربناته-تبخیری در جهان هستند. تاکنون بررسی‌های فراوانی از جمله بررسی دیاژنز، کیفیت مخزن، رخساره‌ها و محیط‌رسوبی روی این سازندها صورت گرفته است [۹]، [۲۳]، [۲۶]، [۲۷]، [۲۹]، [۳۴]،[۳۶]. هدف از این پژوهش شناسایی موانع ایستا و پویا و بررسی نقش آن‌ها در مطبق‌شدگی این سازندها در یکی از میادین بخش مرکزی خلیج فارس است.

زمین‌شناسی منطقه

موقعیت زمین‌شناسی بخش مرکزی خلیج فارس در بررسی‌های مختلف به تفصیل بحث شده است [۱]، [۲]، [۱۴]، [۱۷]، [۱۸]، [۴۰]. توالی کربناتی پرمین- تریاس با گسترش حدود ۲۵۰۰ کیلومتر در خلیج فارس و نواحی اطراف آن گسترش یافته است که به‌صورت نهشته‌های پس از کافت‌شدگی در حاشیهٔ قاره‌ای و غیرفعال در اقیانوس نئوتتیس تازه متولد شده و در دورهٔ آرامش نسبی زمین‌ساختی و فرونشست یک‌نواخت شکل گرفته است [۳۳]. از پرمین میانی به بعد صفحه کوچک ایران مرکزی از بلوک اصلی جدا شده و به‌سمت شمال حرکت می‌کند و بین آن‌ها نیز اقیانوس نئوتتیس به‌وجود می‌آید. در بخش شرقی صفحه عربی حوضه رسوبی خلیج فارس (جنوب نئوتتیس) رسوب‌گذاری دریایی با فوران‌های ضعیف در طول پالئوزویک بالایی، مزوزوئیک و پالئوژن و نئوژن ادامه پیدا کرد [۳۱]. در این بخش‌ها، در طی پرمین میانی تا پسین، شرایط آب و هوایی به‌تدریج گرم‌تر و خشک‌تر شده و با ایجاد پلاتفرم وسیع کربناته تبخیری، توالی‌های ضخیم کربناته-تبخیری سازندهای دالان و کنگان ته‌نشست می‌یابند. در اوایل تریاس وضعیت آب و هوایی گرم و خشک پایداری در تمام منطقه وجود داشته است [۱۵]. سازندهای دالان و کنگان و هم ارز آن (سازند خوف) مهم‌ترین مخزن گازی در خلیج فارس و نواحی مجاور آن هستند [۸]. سازند دالان با بیش از ۶۸۰ متر ضخامت به‌صورت ناپیوسته روی سازند فراقون قرار گرفته است و بر اساس ترکیب سنگی شامل سه بخش دالان بالایی، دالان تحتانی و بخش تبخیری نار است [۷]، [۳۴]. واحدهای K3 و K4 معادل دالان بالایی و K5 معادل دالان

1. Static
2. Dynamic
3. Seal
4. Barriers

پایینی هستند. واحد K5 دولومیت است که فاقد هرگونه پتانسیل مخزنی است و توسط انیدریت نار با حدود ۳۰ متر ضخامت از واحد هیدروکربنی K4 جدا شده است. واحد K4 که دولومیت، آهک و مقداری انیدریت است مخزن اصلی گاز محسوب می‌شود. واحد K4 توسط چند متر لایه انیدریتی از واحد K3 که عمدتاً دولومیت و آهک دولومیتی است جدا می‌شود. واحد K3 به‌همراه زون مخزنی K4 متعلق به پرمین بالایی است که بخش بالایی سازند دالان را تشکیل می‌دهد [۴]. سازند کنگان در خلیج فارس حدود ۱۹۰ متر ضخامت دارد که حد پایینی آن با سازند دالان با ناپیوستگی فرسایشی همراه است[۲۸]، [۳۵] و متشکل از دو واحد K2 K1 است. واحد K1 از لحاظ سنگ‌شناسی بیش‌تر دولومیت انیدریتی، دولومیت و سنگ آهک است. واحد K2 که زیر واحد K1 قرار می‌گیرد و کیفیت مخزنی بهتری نسبت به آن دارد، عمدتاً دولومیتی و در بخش‌هایی آهک دولومیتی است. لایه‌های ستبر انیدریت و سنگ آهک انیدریتی متراکم در بخش قاعده واحد K1، این واحد را از واحد K2 تفکیک کرده است. این سازند توسط سازند دشتک که پوش سنگی کارآمد است پوشیده شده است (شکل ۱).



شکل ۱. ستون چینه‌شناسی منطقهٔ بررسی شده (رفیعی ۱۳۹۴)

مواد و روش‌ها

به‌منظور شناسایی موانع ایستا و پویا در سازندهای دالان و کنگان، داده‌های رسوب‌شناسی یک حلقه چاه بررسی شده است. در این پژوهش ۳۹۵ مقطع میکروسکوپی بررسی شد که یک سوم از هر مقطع نازک با محلول آلیزارین رنگ‌آمیزی شد. هم‌چنین فرآیندهای دیاژنزی مشخص شده است. لاگ تهیه شده از داده‌های رسوب‌شناسی با استفاده از نرم‌افزار GEOLOG نسخه ۷ رسم شده است. برای تشخیص تغییرات فشار سازندی قبل و بعد از تولید مخزن داده‌های فشار اولیه مخزن از ۶ چاه و داده‌های فشار ثانویه (پس از تولید) مخزن از ۱چاه استفاده شد تا تغییرات فشار

مخزن در مقابل عمق مشخص شود. نام‌گذاری رخساره‌های کربناتی بر اساس طبقه‌بندی دانهام [۶] برای تفسیر محیط‌های رسوبی از الگوی فلوگل استفاده شده است[۱۱]. برای تعیین تخلخل نمونه‌ها از روش اندازه‌گیری تخلخل هلیم[1] بر اساس قانون بویل و تراوایی هوا[2] بر اساس قانون دارسی استفاده شده است.

فرآیندهای تأثیرگذار بر موانع درون مخزنی

در مخازن کربناته ویژگی‌های جریان سیال نشان‌گر میزان تخلخل و تراوایی سنگ مخزن است که ناشی از فرآیندهای رسوب‌گذاری و دیاژنزی است. فرآیندهای رسوبی در ابتدا کنترل‌کننده توزیع، هندسه و اندازه منافذ رخساره‌ها هستند اما در مراحل بعدی و تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی اندازه و توزیع منافذ تغییر کرده و دیاژنز کنترل نهایی را بر رخساره نهشته شده دارد [۱۹]، [۲۰]، [۲۱]. تحلیل و بررسی رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی در نهایت پیش‌بینی توزیع کیفیت مخزنی در فواصل بررسی شده را فراهم می‌کند و وسیله‌ای برای شناسایی موانع نفوذناپذیر مرتبط با افق چینه‌شناسی مطبق‌کننده مخزنی است. به‌همین سبب اولین گام در بررسی مطبق‌شدگی مخازن، شناسایی رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی و نقش آن‌ها در این جدایش‌ها است.

رخساره‌ها و محیط رسوبی

رخساره‌های سازندهای کنگان و دالان پیش از این در پژوهش‌های زیادی مورد بحث قرار گرفته است [۱]، [۴]، [۵]، [۷]، [۲۴]. به‌همین سبب در اینجا تنها به ذکر خلاصه‌ای از یافته‌های این پژوهش اکتفا می‌شود. بر اساس بررسی مقاطع نازک ۱۱ ریزرخساره اصلی مربوط به ۶ کمربند رخساره‌ای برای سازندهای دالان و کنگان در میدان بررسی شده شناسایی شد (جدول ۱).

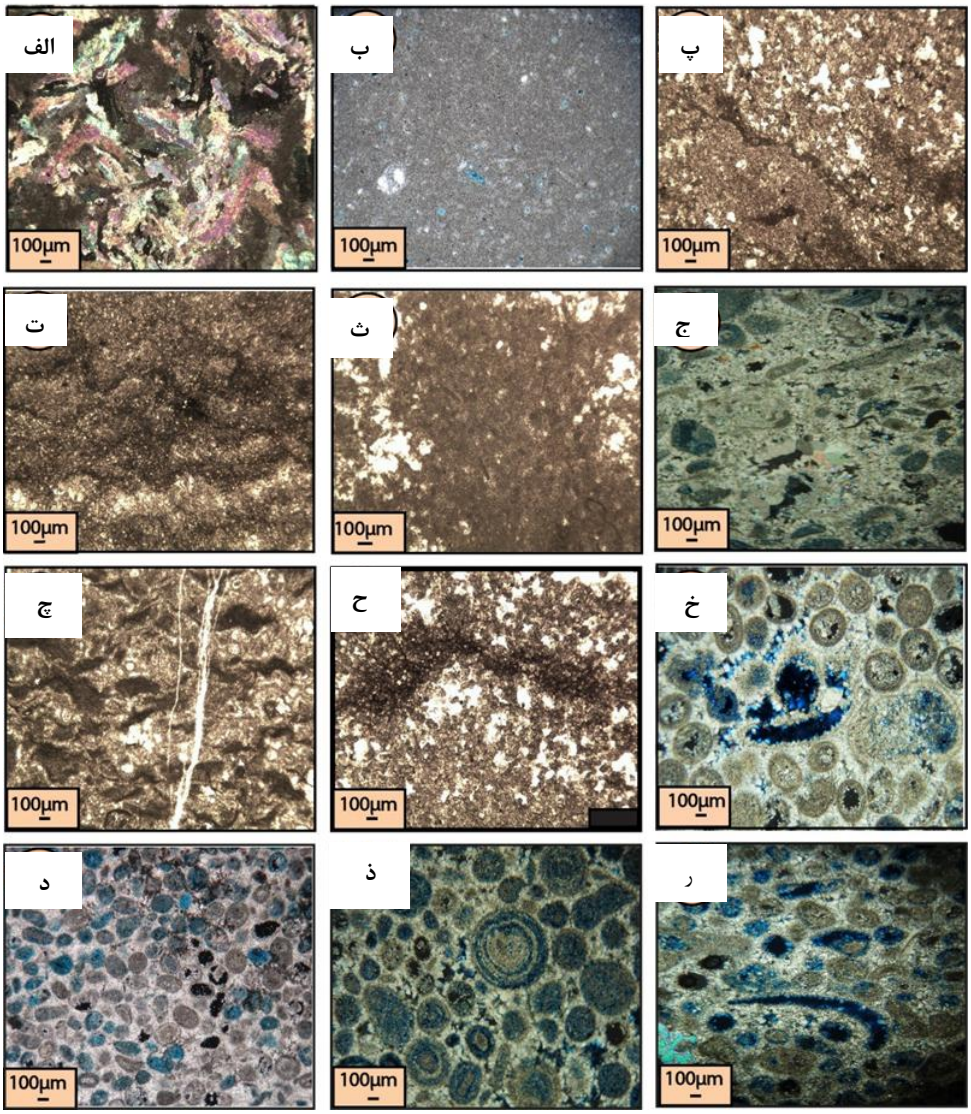
مادستون با فابریک فنسترال، باندستون استروماتولیتی و انیدریت لایه‌ای نشانگر ته‌نشست رسوبات در زیرمحیط پهنه جزر و مدی هستند. به‌دلیل حدواسط بودن پهنه جزر و مدی رسوبات آن به‌طور منظم یا نامنظم از آب خارج شده و ساخت‌های ویژه‌ای در آن‌ها به وجود آمده است که از جمله آن‌ها می‌توان به فابریک چشم پرنده‌ای و ندول‌های انیدریت اشاره کرد. رخساره انیدریت لایه‌ای تا توده‌ای معرف نهشته‌های سبخای پهنه جزر و مدی و شرایط آب و هوایی‌گرم و خشک هستند [۲۴]، [۳۹]، زیر محیط لاگون، به‌دلیل نقش پشته‌های سدی اییدی (شول) در جدایش نسبی آن‌ها از دریای باز، دارای انرژی کمی است و هم‌چنین بر اثر چرخش محدود آب، شوری آن افزایش می‌یابد. بنا براین تنوع گونه‌ها در این منطقه کم و تنها جانوران محدودی که با این شرایط سازگاری دارند، در آن یافت می‌شوند. فقدان تنوع جانوری، نبودن ساختمان‌های خروج از آب رسوبات (ترک‌های گلی، بافت چشم پرنده‌ای و...)، فراوانی گل-کربناته و پلوییید حاکی از تشکیل ریزرخساره وکستون-پکستون بیوکلاستی/ پلوییدی در زیرمحیط لاگون است [۳]، [۳۷]. رخسارۀ پشته سدی (شول) با گرینستون اییدی بیوکلاستی مشخص می‌شود. این ریزرخساره‌ها با توجه به فراوانی دانه‌های اییید در حد ماسه، فقدان گل‌آهکی و جورشدگی خوب در شرایط انرژی بالای پشته سدی و بالای خط اثر امواج نهشته شده‌اند. این رخساره، پرانرژی‌ترین رخساره در ناحیۀ بررسی شده است [۱۰]. عمیق‌ترین رخساره دیده شده گرینستون اییدی بیوکلاستی/ اینتراکلاستی است که به‌نظر می‌رسد به بخش سد (شول) رو به دریای باز مربوط

1. Helium porosity
2. Air permeability

باشد. بافت آن دانه پشتیبان و فاقد گل است، هم‌چنین جورشدگی و اندازه ذرات در آن متوسط است و دولومیتی شدن دانه‌ها نیز در بعضی بخش‌ها دیده می‌شود. با توجه به ریزرخساره‌های مشاهده شده این توالی کربناته بر روی یک پلتفرم کربناته از نوع رمپ هموکلینال نهشته شده است. این موضوع پیش از این نیز در بخش مرکزی خلیج فارس به اثبات رسیده بود [۷]، [۲۸]، [۳۰].

جدول ۱. رخساره‌های مشخص شده در سازندهای دالان و کنگان در میدان بررسی شده

رخساره	خصوصیات مشاهده شده	محیط رسوبی
۱. رخسارهٔ انیدریت ۲. مادستون	۱. به صورت توده‌ای و لایه‌ای همراه با بافت قفس‌مرغی ۲. فاقد آلوکم یا آلوکم‌ها کم‌تر از ۵ درصد، همراه با نودول‌های انیدریتی، یک‌نواخت در برخی موارد همراه با تخلخل‌های فنسترال	۱. بالای جزر و مدی
۳. باندستون استروماتولیتی ۴. باندستون ترومبولیتی	۳. لایه‌بندی مسطح و موجی، دارای قالب‌های تبخیری و ندول‌های انیدریتی، همراه با فابریک فنسترال و ترک‌های‌گلی ۴. دارای بافت لخته‌ای تا توده‌ای، ظاهری مادستونی با فابریک چشم پرنده‌ای	۲. بین جزر و مدی
۵. مادستون تا وکستون بیوکلاستی ۶. وکستون-پکستون بیوکلاستی/ پلوییدی ۷. پکستون بیوکلاستی	۵. زمینه از میکرایت و ذرات اصلی بیش‌تر دانه‌های بیوکلاستی مانند جلبک‌سبز و اکینودرم هستند. تخلخل ناچیز و بیشتر فضاهای خالی با سیمان انیدریتی پر شده، به همراه توسعه فرآیند میکرایتی‌شدن و آشفتگی زیستی. ۶. دانه پشتیبان همراه با مقداری گل، جورشدگی ضعیف، اغلب دولومیتی شده همراه با سیمان انیدریت، به دلیل شرایط آرام سیمان دریایی گسترش چندانی ندارد. ۷. دانه پشتیبان ودارای مقادیر زیادی جلبک‌سبز، آنکویید و اییید میکرایتی‌شده با جورشدگی متوسط	۳. لاگون
۸. گرینستون پلوییدی	۸. دانه غالب و اصلی‌ترین ذرات تشکیل دهنده پلت، دانه‌ریز با جورشدگی نسبتاً خوب و گرد شده تا نیمه‌گرد شده هستند.	۴. سمت ساحل سد
۹. گرینستون اییدی بیوکلاستی ۱۰. گرینستون اییدی	۹. دانه‌غالب و مهم‌ترین دانه‌های تشکیل‌دهنده شامل اییید، پلت، اینتراکلاست و طیف گسترده‌ای از ذرات بیوکلاستی همانند روزنبران کف‌زی، دوکفه‌ای و گاستروپودا است. جورشدگی ضعیف است. ۱۰. اصلی‌ترین رخساره مخزنی و دارای بلوغ بافتی بسیار خوب است. انحلال گسترده در این رخساره سبب افزایش چشم‌گیر تخلخل شده که اغلب تخلخل قالبی شده است.	۵. سد
۱۱. گرینستون اییدی بیوکلاستی اینتراکلاستی	۱۱. بافت دانه‌پشتیبان و تقریبا بدون گل است. دارای قطعات اینتراکلاست همراه با دانه‌های اییید حمل شده از سدکربناته است و به‌دلیل شرایط پرانرژی محیط سیمان دریایی گسترش پیدا کرده است. جورشدگی و اندازه ذرات در آن متوسط است.	۶. سمت دریای سد



شکل۲. ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازندهای دالان و کنگان الف) انیدریت با بافت رشته‌ای(با بلورهای کشیده و درهم فشرده)، ب) مادستون، پ) استروماتولیت باندستون، ت) ترومبولیت باندستون، ث) مادستون تا وکستون بیوکلاستی،ج) وکستون-پکستون بیوکلاستی/پلوییدی، چ) پکستون بیوکلاستی، ح) گرینستون پلوییدی، خ) گرینستون اییدی بیوکلاستی، د) گرینستون اییدی ذ)گرینستون اییدی، ر) گرینستون اییدی بیوکلاستی اینتراکلاستی

فرآیندهای دیاژنزی

دیاژنز سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس مانند رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی، موضوع پژوهش‌های زیادی بوده است [۳]، [۷]، [۹]، [۲۷]، [۲۸]، [۳۶]. در منطقهٔ بررسی شده، فرآیندهای گوناگون دیاژنزی در سنگ‌های کربناتی شناسایی شده است. فرآیندهای دیاژنز از هنگام رسوبگذاری شروع شده و تا مرحلهٔ دفن و بالاآمدگی ادامه داشته است. بر اساس بررسی‌های پتروگرافی فرآیندهای دیاژنزی سازندهای فوق شامل میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، استیلولیتی شدن و تراکم فیزیکی و شیمیایی است. به لحاظ فرآیندهای

دیاژنزی سیمان انیدریتی بعد از پدیده دولومیتی شدن غالب‌ترین فرآیند دیاژنزی است. فرآیند میکرایتی‌شدن بیش‌تر در رخساره‌های لاگون معمول است. این پدیده شاخص محیط‌های رسوبی کم‌انرژی و محدود شده زیر جزر و مدی است. قسمت اعظم لایه‌های سنگی این سازندها از دولومیت تشکیل شده است که از نظر بررسی‌های پتروگرافی دولومیت‌های مشاهده شده عبارت از دولومیت نوع ۱ (دولومیکرایت)، دولومیت نوع ۲ (دولومیکرواسپارایت)، دولومیت نوع ۳ (دولواسپارایت) و دولومیت نوع ۴ (زین اسبی) هستند. سیمان دولومیتی به‌همراه سیمان دروزی بیش‌ترین نوع سیمان در این سازندها را تشکیل می‌دهد و انحلال نیز دراین سازندها در محیط فراتیک آب شیرین و زون مخلوط صورت گرفته است. بر اساس نوع و زمان تشکیل سیمان و هم‌چنین ریزرخساره‌های اصلی، محیط دیاژنز به سه بخش دریایی، جوی و دفنی تقسیم می‌شود که بدین‌شرح هستند:

دیاژنز دریایی

رسوبات پس از نهشته شدن در معرض سیالات دریایی قرار می‌گیرند و دیاژنز دریایی اولین مرحله از عملکرد فرآیندهای دیاژنزی است. فرآیندهای دیاژنز دریایی مشاهده شده در سازند دالان و کنگان به‌طورکلی شامل سیمانی شدن دریایی، میکرایتی‌شدن، سیمان انیدریت و دولومیتی شدن اولیه هستند [۲۹]، [۳۶]. سیمان‌های دریایی با کانی‌شناسی کلسیت به‌صورت هم‌ضخامت و فیبری در اثر پمپاژ آب دریا در اطراف دانه‌ها ایجاد می‌شوند [۱۲]، [۲۵]، [۳۷]. یکی‌دیگر از این فرآیندها میکرایتی‌شدن است که در طی این فرآیند در مناطق کم‌عمق، توسط موجودات حفار در دانه‌ها حفرات ریزی به‌وجود می‌آیند، سپس سیانوباکتری‌ها و قارچ‌ها روی این سطوح کلنی‌زایی کرده و سبب پر شدن حفرات با میکرایت می‌شوند [۱۲]، [۱۳]. پوشش میکرایتی در حاشیه اایدها باعث می‌شود که در طی فرآیندهای دیاژنزی بعدی مانند انحلال و دولومیتی شدن مقاوم شوند. در توالی بررسی شده میکرایتی‌شدن غالباً در رخساره‌های پشته‌سدی و لاگون دیده می‌شود. سیمان انیدریت اولیه به‌صورت پرکننده تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و فراگیر[1] در رخساره‌های زیر محیط لاگون بسته ناشی از شورابه‌های فوق اشباع این قسمت دیده می‌شود. بخش اعظم توالی سازند دالان و کنگان از دولومیت تشکیل شده است. دولومیتی شدن در این سازندها در دو نوع تخریب‌کننده فابریک و حفظ‌کننده فابریک دیده می‌شود [۲۹]. دولومیت‌های اولیه به‌صورت حفظ‌کننده فابریک، با توجه به این‌که به‌وسیلهٔ شکستگی‌ها و استیلولیت‌ها قطع می‌شوند قبل از تدفین عمیق و به‌وسیلهٔ سیالات فوق‌اشباع تشکیل شده و غالباً بلورهای آن ریز و بی‌شکل است.

دیاژنز جوی

رسوبات پس از دیاژنز دریایی ممکن است تدفین شوند و در معرض دیاژنز دفنی قرار گیرند و یا در سطح و در معرض دیاژنز جوی قرار گیرند. به‌طورکلی فرآیندهای دیاژنزی جوی مشاهده شده شامل سیمانی شدن، ترک‌گلی، انحلال و ایجاد تخلخل قالبی هستند [۳]. انحلال به‌وسیلهٔ سیالات تحت اشباع از کربنات کلسیم در طی دیاژنز جوی، توالی بررسی شده را تحت تأثیر قرار داده است. این فرآیند به قابلیت انحلال کانی‌ها بستگی دارد [۲۵]، [۳۸]. در توالی بررسی شده انحلال در ذرات ناپایداری مانند اایید و بیوکلاست رخ داده است. انحلال سبب ایجاد تخلخل کنترل شده

1. Poikilotopic

با فابریک (قالبی) و بدون کنترل فابریک (حفره‌ای) شده است. تخلخل قالبی سبب افزایش تخلخل‌کل در رخساره‌های سازند کنگان و دالان شده است ولی به‌دلیل غیرمرتبط بودن آن‌ها تأثیر چندانی بر افزایش تراوایی، تخلخل مفید و کیفیت مخزنی ندارد. سیمان کلسیت جوی به‌صورت بلوکی و دروزی دیده می‌شوند که همراه با عوارضی مانند انحلال و به‌صورت پرکننده حفرات ثانویه و یا همراه با ساخت‌هایی مانند ژئوپتال دیده می‌شود [۱۲]، [۳۷]. آثار خروج از آب در رسوبات مادستونی پهنه جزر و مدی به‌صورت ترک‌های‌گلی دیده می‌شوند.

دیاژنز تدفینی

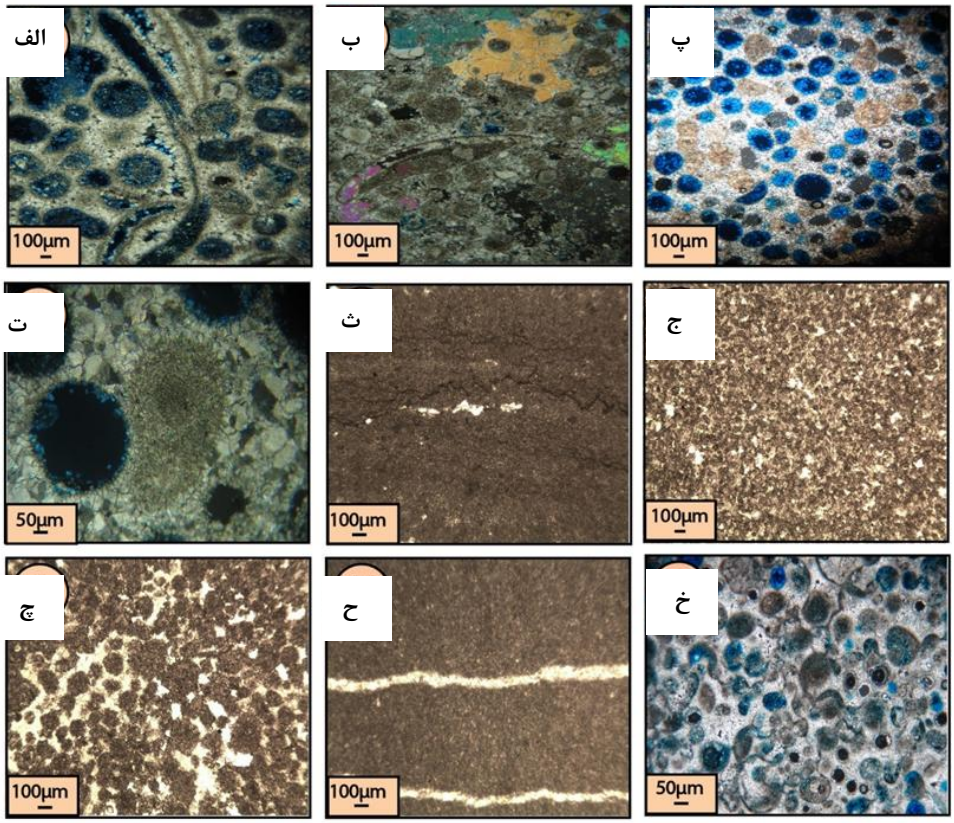
با تدفین، رسوبات در اعماق تحت عملکرد فرآیندهای دیاژنز دفنی قرار می‌گیرند. در این مرحله از دیاژنز فرآیندهای مشاهده شده شامل تراکم، دولومیتی‌شدن تخریب‌کننده فابریک، سیمانی شدن انیدریت و کلسیت هستند [۷]. دولومیت‌های اولیه به‌دلیل ناپایدار بودن با افزایش عمق تدفین بر اثر تبلور مجدد دارای بلورهای بزرگتر و شکل‌دار شده‌اند و تشکیل دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک را می‌دهند. دولومیت ثانویه به‌صورت بلورهای خودشکل مشاهده می‌شود. سیمان‌های کلسیت (به‌صورت بلوکی و دروزی) و انیدریت در صورتی که همراه با عوارض تدفینی یا به‌عبارتی پرکننده حفرات ناشی از استیلولیت‌ها و شکستگی‌ها باشند به دیاژنز تدفینی مربوط هستند [۵]، [۳۷]. فرآیند تراکم ناشی از افزایش فشار طبقات بالایی با افزایش عمق تدفین است. فرآیند تراکم در مقاطع بررسی شده به دو صورت مکانیکی و شیمیایی دیده می‌شود. تراکم مکانیکی در عمق کم و مراحل اولیه دیاژنز تدفینی صورت گرفته و با فشرده شدن و نزدیک شدن دانه‌ها به یک‌دیگر مشخص می‌شود [۲۲]، [۳۷]. در توالی بررسی شده این فرآیند سبب ایجاد تماس محدب-مقعر و مضرسی و گاهی باعث ایجاد فابریک به‌هم فشرده در رخساره‌ها شده است. تراکم شیمیایی در سازندهای کنگان و دالان با ایجاد رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها مشخص می‌شود [۳۸]. رگچه‌های انحلالی ناشی از ناچیز بودن سیمان دریایی بوده است و در رخساره‌های گل‌پشتیبان دیده می‌شوند. سطوح استیلولیت به‌دلیل تجمع مواد نامحلول در سطح خود سبب کاهش کیفیت مخزنی می‌شوند. در برخی موارد سطوح استیلولیتی به‌صورت مجاری عبور سیالات عمل کرده و سبب افزایش کیفیت مخزنی می‌شوند. به‌طورکلی این فرآیند دیاژنزی نقش چشم‌گیری در کاهش فضاهای خالی و کاهش کیفیت مخزنی دارد.

فشارهای سازندی

تحلیل و بررسی فشار مخزن قبل و بعد از تولید می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از مشخصات مخزن و چگونگی تغییرات آتی آن را در اختیار قرار بدهد. در صورتی که از نقاط مختلف مخزن به‌صورت یک‌سان برداشت شود، تغییرات افت فشار می‌تواند نشان‌گر پیوستگی یا مطبق‌شدگی باشد. اگر تغییرات فشارهای ثانویه از روند خطی پیروی نکنند، به احتمال زیاد مخزن مطبق شده است، زیرا موانع درون مخزن از همگن شدن سیالات جلوگیری کرده و مانع به تعادل رسیدن یکنواخت مخزن می‌شوند و در صورت برداشت یک‌سان از نقاط مختلف مخزن افت فشار متفاوتی در هر کدام از نقاط ایجاد خواهد شد.

شکل۴ توزیع داده‌های فشار پیش از تولید مخزن (فشارهای اولیه) را در شش چاه (P1 و به شکل دایره) و توزیع داده‌های فشار را بعد از گذشت ۱۰ سال از تولید (فشارهای ثانویه) در یک چاه (P2 و به شکل مثلث) نشان می‌دهد. چنان‌که در این شکل مشاهده می‌شود، تغییرات فشار در سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس در

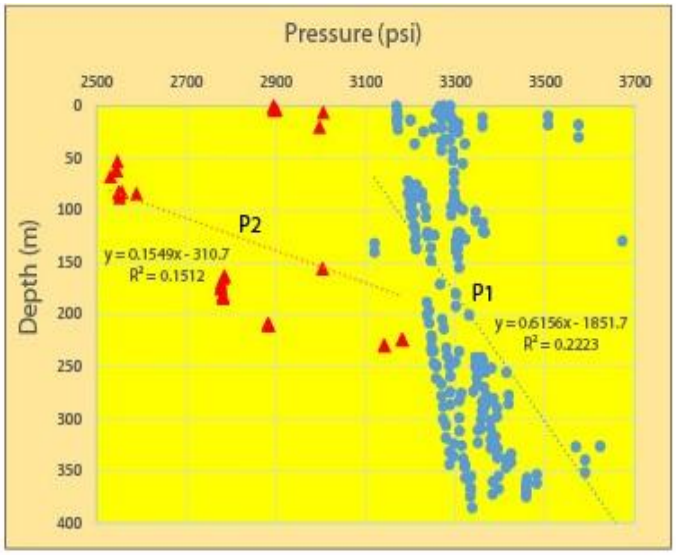
ابتدای تولید، روند خطی داشته است. بدین‌معنی که با افزایش عمق، میزان فشار سازندی نیز افزایش پیدا کرده است. این افزایش فشار به‌سبب افزایش فشار روباره و پاسخ فشار سازندی در مقابل آن ایجاد شده و همواره در مخازن هیدروکربنی مشاهده می‌شود [۴]. تفاوت بین حداقل و حداکثر فشار پیش از تولید نشان‌گر روند عادی افزایش فشار است که دلیلی بر همگن و یک‌پارچه بودن مخزن و تأثیر نداشتن موانع پویا تا پیش از تولید است، اما طی برداشت از مخزن و گذشت مدت زمانی از تولید، تغییرات فشار سازندی از روند عادی خارج شده و برخلاف پیش از تولید از مخزن، فشار سازندی و عمق رابطه مستقیم و مشخصی ندارند. چنان‌که در شکل ۴ مشاهده می‌شود معادلهٔ خط از حالت خطی فاصلهٔ بیش‌تری گرفته است. این امر با کم‌تر شدن ضریب متغیر مستقل در معادله و نیز ضریب برازش مشخص است.



شکل۳. انواع فرآیندهای دیاژنزی مشاهده شده در سازندهای دالان و کنگان، الف) سیمان دریایی ضخیم و کوتاه در اطراف دانه‌های اایید در رخساره اایید گرینستون، ب) دولومیتی شدن دانه‌ها و سیمان انیدریت، پ) تخلخل قالبی و درون دانه‌ای و سیمان کلسیت بین دانه‌ای در اثر آب‌های جوی طی دیاژنز جوی، ت) سیمان کلسیت بلوکی در اثر عملکرد دیاژنز دفنی، ث) فشردگی و استیلولیتی شدن رخساره مادستون طی دیاژنز دفنی، ج) تبلور مجدد طی تدفین، چ) دولومیتی شدن دانه‌ها در رخساره اایید گرینستون، ح) شکستگی‌های پر شده با سیمان انیدریت در رخساره مادستون طی دیاژنز تدفینی، خ) میکرایتی شدن دانه‌های اایید

بحث

در مخازن یک‌پارچه و بدون مطبق‌شدگی، روند تغییرات فشار در ابتدا خطی است و با افزایش عمق، افزایش می‌یابد. چنان‌چه این مخازن دارای موانع درون‌مخزنی پویا باشند، پس از تولید این روند تغییر می‌یابد. بررسی فشارهای پس از تولید در میدان بررسی شده (شکل۴) نشان می‌دهد که جداکننده‌های درون مخزنی پویا در این میدان حضور



شکل۴. روند تغییرات فشارهای اولیه و ثانویه از عمق سرسازند کنگان

دارند. فرآیندهای رسوبی و دیاژنزی به‌ترتیب به‌عنوان کنترل‌کننده بافت اولیه سنگ و عامل ایجاد کننده تغییرات نهایی در آن، ویژگی‌های کنونی مخزن را مشخص کرده و ظرفیت ذخیره و عبوردهی یا رفتار سیالات را درآن کنترل می‌کنند. با توجه به پارامترهای رسوب‌شناسی مانند لیتولوژی، نوع و میزان سیمانی شدن، استیلولیتی شدن، میزان فشردگی، محیط رسوبی، نوع رخساره‌ها و بررسی داده‌های تخلخل و تراوایی و داده‌های فشار سازندی، ۶ واحد سدی پویادر چاه مورد نظر تشخیص داده شد (شکل۵). بررسی پارامترهای ذکر شده شناسایی موانع درون مخزن را امکان‌پذیر می‌کند. خصوصیات این واحدها بدین‌شرح است:

لایهٔ شمارهٔ ۱: اثر فرآیندهای دیاژنزی در مخزن کربناته مهم‌ترین کنترل‌کننده خواص مخزنی است. یکی از مهم‌ترین این فرآیندها که در لایهٔ شمارهٔ ۱ مشاهده می‌شود دولومیتی شدن است که سبب افزایش تخلخل می‌شود اما با توجه به حضور سیمان انیدریتی و پر شدن فضاهای خالی با سیمان، تخلخل و تراوایی در این لایه به شکل چشم‌گیری کاهش یافته است. بالا بودن میزان فشردگی و وجود رخساره مادستونی نیز سبب تراوایی کم این لایه شده است. به‌علاوه افزایش فشار سازندی در این قسمت تأییدی بر عملکرد آن به‌عنوان یک لایه سدی پویا[1] است. نمونه‌های این بخش اغلب در محیط لاگونی و بین جزر و مدی رسوب کرده‌اند و در نتیجه دارای مقادیر چشم‌گیر انیدریت هستند (شکل ۵). فشردگی در این لایه با تماس‌های محدب-مقعر و درهم رفتن دانه‌ها مشخص می‌شود. ته‌نشست این لایه در اثر پایین رفتن سطح آب دریا در انتهای رسوب‌گذاری سازند کنگان [۱۵] رخ داده است.

لایهٔ شمارهٔ ۲: با توجه به وجود لایه انیدریتی، تخلخل و تراوایی اندکی در این لایه دیده می‌شود. بالا بودن میزان فشردگی سبب تراوایی کم در این لایه شده است، هم‌چنین وجود رخساره مادستونی نیز نشان‌دهندهٔ نقش این لایه به‌عنوان مانع درون مخزنی است. فشار سازندی در اعماق کم‌تر از این لایه روند کاهشی نشان می‌دهد که نشان‌گر تأثیر این لایه سدی در ناهمگن کردن فشار مخزن در این عمق است.

1. Dynamic barrier

لایهٔ شمارهٔ ۳: در قاعده سازند کنگان لایه‌ای ترومبولیتی حضور دارد که رخساره باندستون ترومبولیتی مربوط به بخش‌های زیرین و ابتدایی سازندکنگان است و اثری از آن در سازند دالان دیده نمی‌شود. ترومبولیت‌ها به‌دلیل ساختارشان تخلخل و تراوایی پایینی دارند، این مسئله به انضمام رسوب فراوان سیمان‌های درشت کلسیتی سبب کاهش شدید تخلخل و تراوایی شده است. همراهی رخسار ترومبولیتی و سیمان‌های درشت کلسیتی سبب شده تخلخل و تراوایی در این بخش بسیار ناچیز باشد، اما همین تراوایی ناچیز قادر بوده است طی زمان زمین‌شناسی سیال را از خود عبور دهد و عاملی برای مطبق‌شدگی نبوده است اما پس از بهره‌برداری و گذشت مدت زمانی از تولید می‌تواند به‌عنوان لایه سدی پویا عمل کرده و سبب ناهمگنی و مطبق شدن مخزن شود. توکلی (۱۳۹۵) با بررسی نوع گازهای سازندهای دالان و کنگان و ترکیب ایزوتوپ کربن گازها و هم‌چنین تجزیه و تحلیل داده‌های فشار مخزن، نقش این لایه سدی پویا را در مطبق شدن مخزن در زمان تولید نشان داده است.

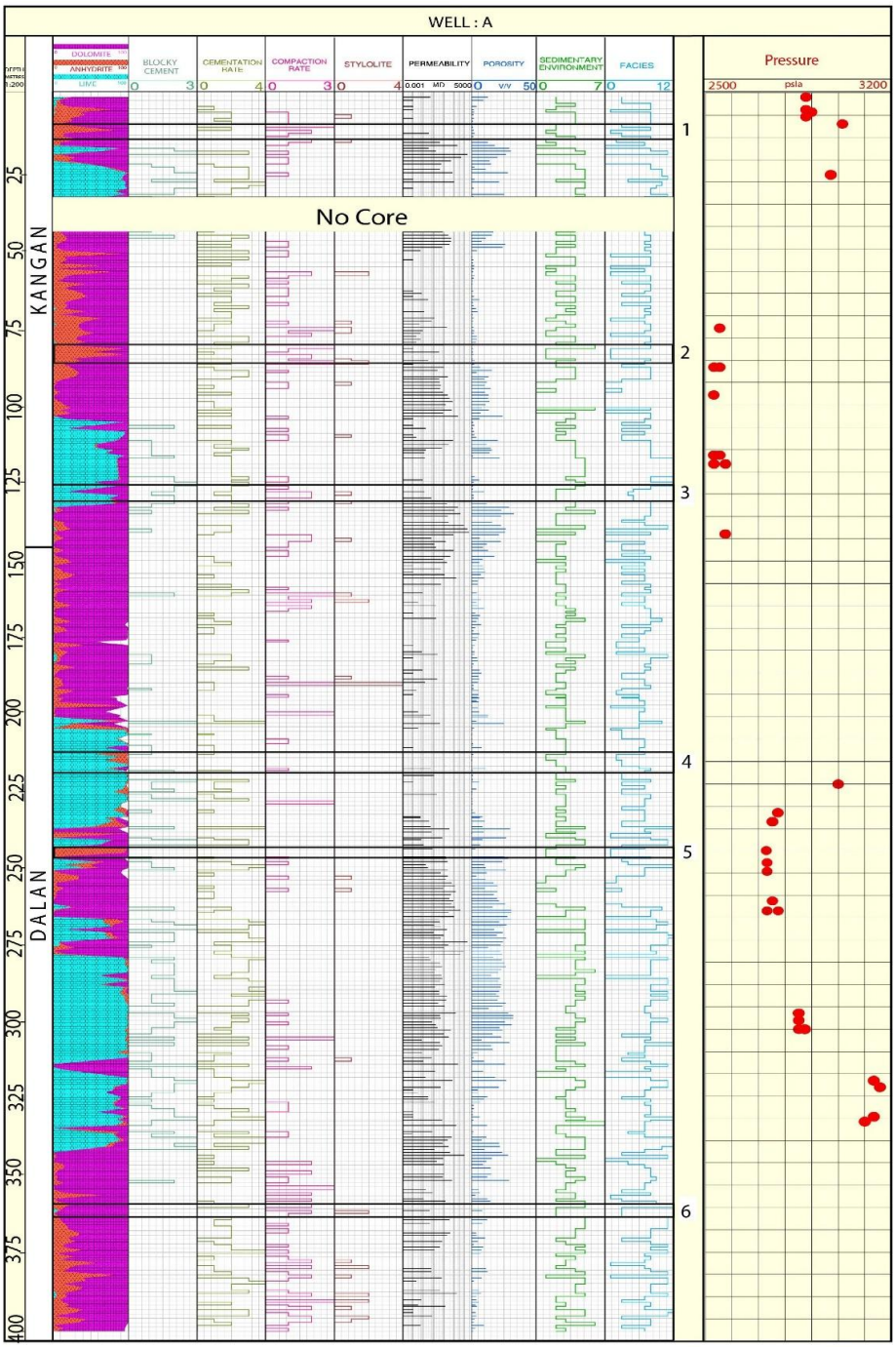
لایهٔ شمارهٔ ۴: با توجه به وجود رخساره مادستونی و تخلخل و تراوایی ناچیز احتمال حضور یک لایه سدی پویا می‌رود. متأسفانه داده‌های فشار در زیر این لایه کامل نیست اما اولین داده موجود پس از این عمق نشان می‌دهد که پایین‌تر از این عمق فشار سازندی افزایش یافته است.

لایهٔ شمارهٔ ۵: رخساره انیدریتی بیش‌تر از نهشته‌های تبخیری تشکیل شده که شاخص محیط بالای جزر و مدی و سبخای ساحلی هستند. این رخساره به‌دلیل تخلخل و تراوایی بسیار پایین می‌تواند به‌عنوان پوش‌سنگ موضعی رفتارکرده و سبب تفکیک واحدهای مخزنی از یک‌دیگر شوند. با توجه به غالب بودن لیتولوژی انیدریتی و تفاوت میزان فشار سازندی در دو طرف این لایه، وجود لایه سدی پویا امکان‌پذیر است.

لایهٔ شمارهٔ ۶: این لایه نیز همانند لایهٔ شمارهٔ ۱ به‌دلیل پر شدن فضاهای خالی دولومیت با سیمان انیدریتی، تخلخل و تراوایی پایینی نشان می‌دهد. به‌علاوه استیلولیتی شدن و بالا بودن میزان فشردگی تأثیر به‌سزایی در کاهش تخلخل بین‌ذره‌ای و درون‌ذره‌ای دارد و کیفیت مخزنی را کاهش داده، بنا براین احتمالاً وجود لایه سدی پویا می‌رود.

با عملکرد این موانع پویا طی برداشت از مخزن و جلوگیری از جریان سیال بین مخازن سبب ناهمگن شدن و تفکیک مخزن به محفظه‌های سیال/ فشار جداگانه شده است. مقایسه روند تغییرات فشارهای اولیه و ثانویه در شکل ۴ میزان افت کلی فشار مخزن را بر اثر تولید نشان می‌دهد. نقش این لایه‌های سدی در ناهمگن کردن مخزن و تأثیرشان بر به تعادل نرسیدن سیالات پس از تولید از مخزن، سبب شده فشار سازندی در بخش‌های مختلف مخزن متفاوت باشد. در بخش‌های بالایی سازند کنگان، فشار افزایش یافته درحالی که در بخش‌های پایینی این سازند افت فشار چشم‌گیری رخ داده است. عکس این حالت در دالان بالایی رخ داده است بدین‌صورت که در بخش‌های بالایی این عضو، فشار کاهش یافته درحالی که بخش‌های پایینی افزایش فشار نشان می‌دهند. در شکل ۴ با توجه به روند تغییرات فشار ثانویه تأثیرگذاری جداکننده‌های پویا بر فشار سازندی مشخص است. با وجود اهمیت مخزنی بالای سازندهای دالان و کنگان، تاکنون پژوهش‌های محدودی بر روی مطبق‌شدگی این دو سازند انجام شده است و جداکننده‌های پویا تاکنون در این سازندها بررسی نشده است. رحیم‌پوربناب و همکاران با ادغام داده‌های پتروگرافی و تجزیهٔ مغزه و با تعیین واحدهای‌جریانی در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی و هم‌چنین کاربرد روش تجزیهٔ نمک باقی‌مانده ایزوتوپ‌های

استرانسیم[1] سه لایه سدی ایستا درون سازندهای دالان وکنگان تشخیص دادند که از این میان لایهٔ شمارهٔ ۳ و لایهٔ شمارهٔ ۵ تطابق نسبی نشان می‌دهند [۳۰]. در این پژوهش علاوه بر تأیید نتایج پیشین، چهار لایه سدی دیگر (لایه‌های شمارهٔ ۱، ۲، ۴ و ۶) نیز تشخیص داده شد (شکل ۵) که به‌عنوان لایه‌های مخزنی پویا در طول عمر مخزن تأثیر دارند.



شکل۵. خصوصیات رسوب‌شناسی و دیاژنزی و روند تغییرات فشار ثانویه به همراه واحدهای سدی در چاه بررسی شده راهنمای رخساره‌ها و محیط‌رسوبی در جدول ۱ آمده است

1. Strontium Isotope Residual Salt Analysis

نتیجه‌گیری

با بررسی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی و بررسی داده‌های فشارسازندی، ۶ لایه سدی پویا در سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس شناسایی شد. لایه‌ها در ابتدا به‌صورت مانع درون مخزنی عمل نکرده و تنها در زمان تولید به‌عنوان لایه سدی عمل خواهند کرد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که این لایه‌ها اغلب به‌دلیل پر شدن فضاهای خالی دولومیت توسط سیمان انیدریت تشکیل شده است. در لایهٔ شمارهٔ ۳ که در نزدیکی مرز دو سازند دالان و کنگان است حضور رخساره ترومبولیتی و سیمان‌های بزرگ کلسیتی پس از انقراض عامل اصلی ایجاد لایه سدی پویا است. تحلیل و بررسی فشار سازندی مخزن قبل و بعد از تولید نیز موید عملکرد لایه‌های سدی پویا و ناهمگن شدن مخزن است. به‌طوری‌که در ابتدای تولید تغییرات فشار از روند خطی پیروی کرده و با افزایش عمق، میزان فشار سازندی نیز افزایش یافته، اما طی برداشت از مخزن و عملکرد موانع پویا، رابطه عمق و فشار سازندی از روند مستقیم و خطی خارج شده و ناهمگنی ناشی از عملکرد لایه‌های سدی پویا، در مخزن مشهود است. بخش‌های بالایی سازند کنگان و پایینی عضو دالان بالایی در حال حاضر فشار بالاتری دارند درحالی که بخش‌های پایینی کنگان و بالایی دالان، فشار کم‌تری را نشان می‌دهند. جداکننده‌های پویا سبب شده‌اند مخزن به چند بخش با فشار و در نتیجه میزان تولید متفاوت تقسیم شود. بنا براین برای پیش‌بینی تغییرات فشار سازندی لازم است وجود و تأثیر جداکننده‌های پویا در نظر گرفته شود. تغییر میزان تولید از بخش‌های مختلف این دو سازند در میدان‌های درحال تولید نیز باید در دستور کار قرار گیرد تا بتوان حداکثر میزان تولید را همراه با صیانت مخازن، از این سازندها به‌دست آورد.

منابع

۱. آل‌علی سیدمحسن، رحیم‌پوربناب حسین، موسوی‌حرمی سیدرضا، جهانی داود، اسدی‌اسکندری اشکان، "محیط رسوبی و چینه نگاری سکانسی سازند کنگان در میدان پارس جنوبی"، نشریهٔ علوم زمین، شمارهٔ ۸۷ (۱۳۹۲) ۶۵-۷۴.

۲. توکلی وحید، "تأثیر رخساره‌های پس از انقراض پرمین- تریاس بر جدایش مخزنی سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس"، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال۳۲، شمارهٔ ۶۴ (۱۳۹۵) ۱-۲۰.

۳. کدخدائی ایلخچی رحیم، رحیم پور بناب حسین، موسوی‌حرمی سیدرضا، کدخدائی ایلخچی علی، "فاکتورهای کنترل کننده گسترش بافت‌های مختلف سیمان انیدریت و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان میدان پارس‌جنوبی"، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال۲۵، شمارهٔ ۴۲ (۱۳۹۰) ۱- ۲۶.

۴. کمالی محمدرضا، پرهام سمیه، فیاضی فرج‌اله، "بررسی رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و دیاژنز کربنات‌های بالای سازند دالان در خلیج فارس"، نشریهٔ علوم زمین، شمارهٔ ۸۶ (۱۳۹۱) ۲۰۳- ۲۱۲.

۵. فتوت مریم، هاشمی حسینی غزل، رحیم‌پوربناب حسین، "محیط رسوبی بخش بالایی سازند دالان بر روی کمان قطر- فارس و حاشیهٔ شرقی آن، میادین پارس جنوبی و سلمان، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی"، سال بیست و هفتم، شماره پیاپی۴۲، شمارهٔ اول، (۱۳۹۰) ۱۱۵-۱۳۶.

۶. مطیعی همایون، "چینه‌شناسی زاگرس"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدن (۱۳۷۲).

۷. پورامینی بزنجانی سجاد، آدابی محمدحسین، حسینی برزی محبوبه، حناچی جاوید، "میکروفاسیس، محیط رسوبی و دیاژنز بخش فوقانی سازندهای دالان و کنگان در ناحیه کوه سورمه"، زاگرس چین‌خورده، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و هشتم، شمارهٔ پیاپی۴۶، شمارهٔ اول (۱۳۹۱) ۵۵-۷۴.

8. Aali J., Rahimpour-Bonab, H., & Kamali, M. R., "Geochemistry and origin of the world's largest gas field from Persian Gulf, Iran", Journal of Petroleum Science and Engineering, 50 (3-4) (2006) 161-175.
9. Alavi M., "Structures of the Zagros Fold-Thrust Belt in Iran", American Journal of Science, 307(9) (2007) 1064-1095.
10. Alsharhan A. S., "Sedimentological character and hydrocarbon parameters of the Middle Permian to Early Triassic Khuff Formation United Arab Emirates", Geo Arabia, 11(3), (2006) 121-158.
11. Bjorlykke K., "Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics", Springer Heidelberg Dordrecht London New York. (2015) 507.
12. Choquette P. W., James N. P., "Diagenesis in Limestones. The deep burial environment: Geoscience Canada", (1987) v. 14(1) 3-35.
13. Dunham R. J., "Classification of carbonate rocks according to depsitional texture, in: classification of carbonate rocks, Ham W. E.", AAPG Memoir, (1962) 108-121.
14. Edgell H. S., "The Permian system as an oil and gas reservoir in Iran, Iraq and Arabia". Proc. Second Iranian Geological symposium, Tehran, (1977) 161-201.
15. Ehrenberg S. N., Nadeau P. H., Aqrawi A. A. M., "A comparison of Khuff and Arab reservoir potential throughout the Middle East", AAPG Bulletin, v. 86, no.10 (2007) 1709-1732.
16. Esrafili-Dizaji B., Rahimpour-Bonab H., "Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars Gas field in the Persian Gulf", Pet. Geosci. 15, (2009) 325-344.
17. Esrafili-Dizaji B., Rahimpour-Bonab H., "Generation and evolution of oolitic shoal reservoirs in the Permo-Triassic carbonates, the South Pars Field, Iran", Facies, 60 (4) (2014) 921-940.
18. Flugel E., "Microfacies of carbonate rocks", (2004) 976.
19. Flugel E., "Microfacies Analysis of Carbonate Rocks, Analyses, Interpretation and Application", Springer Verlag. (2010) 976.
20. Garcia-Pichel F., "Plausible mechanisms for the boring on carbonates by microbial phototrophs", Sedimentary Geology, v. 185, (2006) 205-213.
21. Heydari E., "Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran", Tectonophysics, 451(1-4) (2008) 56-70.
22. Insalaco E. A., Virgone B., Courme J., Gaillot M., Kamali A., Moallemi M., Lotfpour and S., Monibi, "Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains

and offshore Fars, Iran: Depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture", Geo Arabia, v. 11 (2006) 75-176.

23. Jolley S. J., Fisher Q. J., Ainsworth R. B., Vrolijk P. J., Delisle S., "Reservoir Compartmentalization: an introduction", In: Jolley S. J., Fisher Q. J., Ainsworth R. B., Vrolijk P. J. & Delisle S. (Eds), Reservoir Compartmentalization: Geological Society, London, Special Publications, v. 347 (2010) 1-8.
24. Kashfi M. S., "Geology of the Permian ‘supergiant’ gas reservoirs in the greater Persian Gulf area", Journal of Petroleum Geology, v. 15 (1992) 465-480.
25. Konert G., Afifi, A. M., Al-Hajri S. A., de Groot K., Al Naim A. A., Droste H. J., "Paleozoic stratigraphy and hydrocarbon habitat of the Arabian plate", AAPG Memoir, 74, (2001) 483-515.
26. Lucia F. J., "Carbonate Reservoir Models: Facies, Diagenesis, and Flow Characterization", In: Morton-Thompson, D., Woods, A.M. (Eds). Development geology reference manual. American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series, 10 (1992) 541.
27. Lucia F. J., "Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization", American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 79(9) (1995) 1275-1300.
28. Lucia F. J., "Carbonate reservoir characterization: an integrated approach", (2nd ed). Berlin ; New York: Springer. (2007) 336.
29. Machel H. G., "Effects of groundwater flow on mineral diagenesis, with emphasis on carbonate aquifers", Hydrogeology Journal, v. 7 (1999) 94-107.
30. Moradpour M., Zamani Z., Moallemi S. A., "Controls on reservoir quality in the lower Triassic Kangan Formation, Southern Persian Gulf", Journal of Petroleum Geology, v. 31, (2008) 367-385.
31. Mohammadi-Dehcheshmehi S., Adabi M. H., Hejazi S. H. "Depositional facies and geochemistry of the Kangan Formation in the South Pars Field, Persian Gulf (Iran)", Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2013) 297-307.
32. Moore C. H., Wade, "Carbonate Reservoirs: Porosity, evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework: Developments in Sedimentology", Elsevier, Amsterdam, v. 55, (2013) 369.
33. Peyravi M., Kamali M. R., Kalani M., "Depositional environments and sequence stratigeraphy of the early Triassic Kangan Formation in the northern part of the Persian Gulf: implications for reservoir characteristics", Journal of Petroleum Geology (2010) 371-386.

34. Rahimpur-Bonab H., "A procedure for appraisal of a hydrocarbon reservoir continuity and quantification of its heterogeneity", Journal of Petroleum Science and Engineering, 58 (2007) 1-12.
35. Rahimpur-Bonab H., Asadi-Eskandari A., Sonei R., "Effects of the Permian–Triassic boundary on reservoir characteristics of the South Pars gas field, Persian Gulf", Geological Journal. 44 (2009) 341-364.
36. Rahimpour-Bonab H., Esrafili-Dizaji B., Tavakoli V., "Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars gas field, offshore Iran: Controls on reservoir quality", Journal of Petroleum Geology, v. 33(1) (2010) 43-66.
37. Rahimpur-Bonab H., Enayati-Bidgoli A. H., Navidtalab A., Mehrabi H., "Appraisal of intra reservoir barriers in the Permo-Triassic successions of the central persian gulf, offshore iran", Geological Acta, vol.12, No. 1 (2014) 87-107.
38. Sharland P. R., "Arabian plate sequence stratigraphy", Manama, Bahrain: Gulf Petro Link. (2001) 362.
39. Smith P., "Studies of United Kingdom Continental Shelf fields after a decade of production: how does production data affect the estimation of subsurface uncertainty", American Association of Petroleum Geologists. Bulletin, 92 (2008) 1403-1413.
40. Stampfli G., Borel G. D., "A plate tectonic model for the Palaeozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. Earth Planet", (2002) 17-33.
41. Szabo F., Kheradpir A., "Permian and Triassic stratigraphy, Zagros Basin, south-west Iran", Journal of Petroleum Geology, v. 1(2) (1978) 57-82.
42. Tavakoli V., "Chemostratigraphy of the Permian-Triassic Strata of the Offshore Persian Gulf, Iran", In: Ramkumar, M., (Ed.), Chemostratigraphy: Concepts, Techniques, and Applications Elsevier, (2015) 373-393.
43. Tavakoli V., Rahimpour-Bonab H., Esrafili-Dizaji B., "Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars Gas Field, an integrated approach", Comptes Rendus Geoscience, 343(1) (2011) 55-71.
44. Tucker M. E., Wright V. P., "Carbonate sedimentology", Oxford, Blackwell Scientific Publications, (1990) 482.
45. Tucker M. E., "Sedimentary petrology", Third edition, Blackwell, Oxford, (2001) 260.
46. Warren J. K., "Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons", Springer Berlin Heidelberg. (2006) 1035.
47. Ziegler M. A., "Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences", Geo Arabia, 6 (3) (2001) 445-504.