

تفکیک زون‌های مخزنی بخش بالایی سازند سروک با استفاده از لاگ انحراف سرعت در میدان نفتی سیری اسفند واقع در خلیج فارس

رحیم کدخدائی ایلخچی^{۱*} و رعنا جدیری آقائی^۲

۱- ساختمان اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

۲- دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

نویسنده مسئول: rahimkakhodae2005@gmail.com

دریافت: ۹۷/۱۰/۲ پذیرش: ۹۸/۸/۴

چکیده

در این تحقیق سازند سروک به سن سنومانین- تورونین پیشین در میدان سیری اسفند به منظور بررسی سامانه منافذ و تفکیک زون‌های مخزنی آن با استفاده از لاگ انحراف سرعت مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که انطباق مشخص و معنی‌داری بین تغییرات این لاگ با مشخصه‌های رخساره‌ای و مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه سنگ‌های مخزن وجود دارد که بر این اساس ۳ زون مخزنی در این میدان تفکیک شدند. در این زون‌ها تغییرات در مقادیر کمی و کیفی لاگ انحراف سرعت می‌تواند با ویژگی سامانه منافذ رخساره‌های مخزن با توجه به بافت اولیه آن‌ها و نیز تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مرتبط شود. مقایسه زون‌های تفکیک شده بیانگر این است که زون یک در قسمت بالای توالی مخزن تحت تاثیر بافت رسوبی و نیز تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مانند انحلال و تاحدودی شکستگی از کیفیت مخزنی بالایی برخوردار است. زون سه در قسمت پایین توالی سازند تحت تاثیر بافت گل غالب رخساره‌ای کیفیت مخزنی پایینی دارد. زون دوم نیز حالت حدواسطی را به لحاظ کیفیت مخزنی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: انحراف سرعت، سامانه منافذ، بافت رسوبی، دیاژنز

۱- مقدمه

همکاران، ۲۰۱۱؛ ارنبرگ، ۲۰۰۶). ارائه روش‌ها و تکنیک‌های موثر در بررسی سیستم منافذ سنگ‌های مخزن، تفکیک زون‌های مخزنی و نیز شناسایی عوامل کنترل‌کننده ویژگی‌های مخزنی، نقش بسزایی در سرشت نمایی مخزن دارد. هم‌چنین استفاده از این روش‌ها با توجه به داده‌های موجود و اهداف مطالعه متفاوت است. لاگ‌های پتروفیزیکی با توجه به اینکه تقریباً در تمام چاه‌های میدان وجود دارند و نیز بصورت پیوسته بوده و کل توالی مخزن را پوشش می‌دهند نسبت به داده‌های مغزه که پرهزینه هستند و مربوط به بخش‌های خاصی از مخزن و تعداد محدودی چاه هستند در اکثر مطالعات مخزن در اولویت قرار دارند. استفاده از داده لاگ‌های چاه پیمایی علاوه بر تفاسیر کمی پتروفیزیکی، در توصیف کیفی سنگ‌های مخزن نیز معمول است. این داده‌ها، اطلاعات گسترده‌ای در ارتباط با خصوصیات فیزیکی سنگ‌های مخزن مانند رادیواکتیویته طبیعی سنگ (پاسخ لاگ گاما)، نوع سنگ (لاگ‌های لیتولوژی)، پاسخ‌های الکتریکی و فراصوتی (لاگ‌های الکتریکی) را

در صنعت نفت، بررسی خصوصیات پتروفیزیکی مخازن مانند تخلخل و تراوایی از اهداف کلیدی محسوب می‌شود که به منظور ارزیابی توان ذخیره و تولید یک میدان حائز اهمیت است. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری این پارامترها برای مهندسی نفت از این جهت اهمیت دارد که به آن‌ها در درک زمین‌شناسی مخازن و اهداف توسعه میدان و تصمیم‌گیری در مورد چگونگی نحوه تولید از آن کمک می‌نماید (تیاب و دونالدسون، ۲۰۱۵). سیستم منافذ سنگ‌های مخزن که خود تحت کنترل مشخصه‌های اولیه بافتی (رخساره) و عوارض دیاژنزی است ویژگی‌های مخزنی و رفتار تولید آن‌ها در میدان را کنترل می‌نماید (کدخدائی ایلخچی و نوری، ۱۳۹۵). از این‌رو بررسی سیستم منافذ با توجه به اهمیت آن‌ها در کنترل ویژگی‌های مخزنی جزء موضوعاتی است که امروزه محققین مختلف با استفاده از متدها و ابزارهای مختلف در مطالعات خود مورد توجه قرار داده‌اند (برای مثال: رحیم‌پور بناب و علی اکبردوست، ۲۰۱۴؛ چهارزی و

همکاران، ۲۰۰۳). یکی از اهداف این پژوهش، بررسی کمی و کیفی سامانه منافذ درون توالی مخزن طبق لاگ انحراف سرعت است که بر اساس آن زون‌های مخزن توصیف و با مشخصه‌های رخساره، عوارض دیاژنزی و مقادیر تخلخل و تراوایی سنگ‌های مخزن مرتبط می‌شوند.

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

میدان سیری یکی از میدادین نفتی خاور حوضه خلیج فارس می‌باشد که در مجاورت با مرز آبی ایران و امارات متحده عربی واقع شده است (شکل ۱). یکی از مهم‌ترین افق‌های مخزنی این میدان سازند سروک به سن اوایل سنومانین- تورونین پیشین می‌باشد. میدادین هیدروکربنی خاور خلیج فارس که سازند سروک به عنوان مخزن اصلی هیدروکربن در آن‌ها می‌باشد، اغلب در بالای دیابیرهای نمکی توسعه یافته‌اند. بخش فوقانی سازند سروک در زاگرس را می‌توان معادل سازند میشریف^۵ در خلیج فارس و کشورهای همجوار در نظر گرفت. این سازند با گسترش قابل توجه در سرتاسر خلیج فارس، تشکیل‌دهنده‌ی یک واحد سنگ‌چینه‌ای مهم به ستبرای بیش از ۶۰۰ متر است که توسط دو ناپیوستگی مهم در زیر و بالا محدود شده است (هریس و همکاران، ۱۹۸۴). ریف‌های رودیستی سازند سروک نقش مهمی در توسعه سنگ مخزن میدادین نفتی را دارند. شکل ۲ توزیع رودیست‌های سازند سروک در خاور خلیج فارس را نشان می‌دهد. در انجام این تحقیق، از داده‌های حاصل از یک چاه واقع در میدان سیری اسفند بهره گرفته شده است. میدان سیری اسفند (E) بصورت یک ساختار طاق‌دیسکی در فاصله ۳۵ کیلومتری جزیره ابوموسی و حدود ۵۰ کیلومتری جنوب خاور جزیره فارور در بخش خاور خلیج فارس واقع شده است. این ساختار به صورت ملایم در طول محور NNE-SSW کشیده شده است و یال خاوری آن بدلیل تاثیر فعالیت سه گسل اصلی و یک گسل فرعی، پرشیب‌تر است. بخش ستیغ این ساختار متحمل فرسایش شده و ستبرای سازند سروک به سمت جوانب بیش‌تر می‌شود.

ثبت و ضبط می‌کنند (الیس و سینگر، ۲۰۰۷). برخی لاگ‌های پتروفیزیکی برای تخمین تخلخل بکار می‌روند که از میان آن‌ها، لاگ نوترون^۱، چگالی^۲، زمان انتقال صوت^۳ و لاگ NMR رایج‌ترین لاگ‌های مورد استفاده برای این هدف هستند (موتون تامپسون و همکاران، ۱۹۹۳؛ هیلچی، ۱۹۸۲). تعیین تخلخل با استفاده از سرعت صوت توسط وایلی و همکاران (۱۹۵۶، ۱۹۵۸، ۱۹۶۲) معرفی گردید و محققین بعدی در مطالعات خود آن را مورد توجه قرار دادند (برای مثال: رضایی‌پرتو و همکاران، ۱۳۸۶؛ نجاری و همکاران، ۱۳۸۸؛ حسینی و همکاران؛ اصلانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ شازلی، ۲۰۱۲؛ مرشدی‌پور و همکاران، ۲۰۱۰؛ ریمر و همکاران، ۱۹۸۰؛ گاردنر و همکاران، ۱۹۷۴). برخی پژوهشگران نیز به بررسی ارتباط بین ساختار و شکل هندسی منافذ با سرعت صوت و کیفیت مخزنی پرداختند (ایزتی بشاه و پیرسون، ۲۰۱۲؛ برگ و همکاران، ۲۰۱۳).

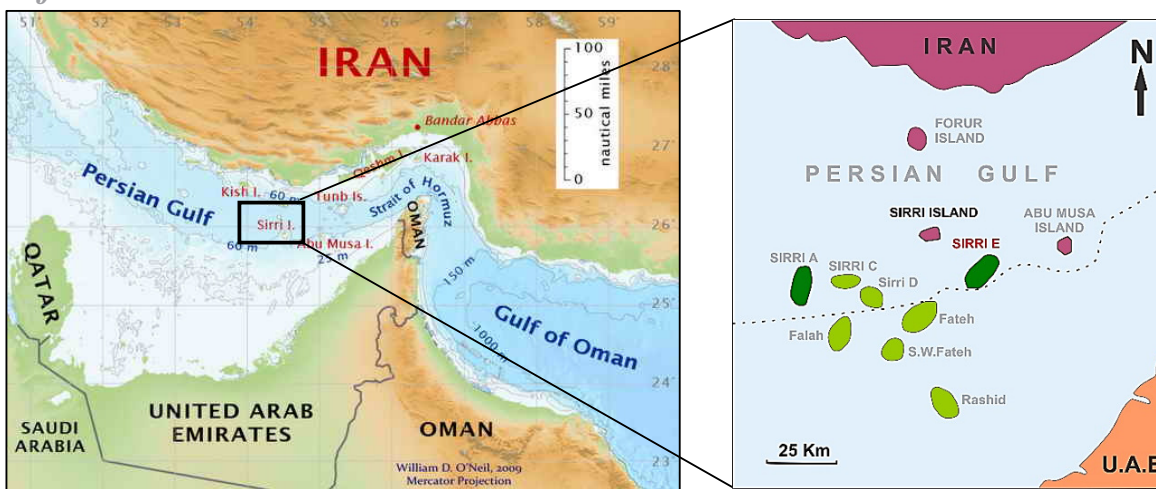
تخلخل در سنگ‌های کربناته توسط هر دو عامل سنگ‌شناسی اولیه و دیاژنز کنترل می‌شود. هر فرآیند دیاژنزی قادر است سرعت و امپدانس صوتی (مقاومت ظاهری صوتی) را در مسیر لاگ صوتی تغییر دهد (ابری و همکاران، ۲۰۰۳). در رسوبات کربناته، ترکیب اولیه سنگ و نسبت دانه به گل در تعیین سرعت موج صوتی حائز اهمیت است. در سنگ‌های کربناته جوان‌تر، سیمان‌ها بطور مشخصی رفتار کشسانی سنگ‌ها را تغییر می‌دهند. اما نوع سیمان بیش‌تر از میزان آن، درجه سختی سنگ و در نتیجه سرعت را تعیین می‌کند (رضایی و چهارزی، ۱۳۸۵). لاگ انحراف سرعت^۴ که از تلفیق لاگ‌های تخلخل (نوترون، چگالی و صوتی) طبق رابطه وایلی و همکاران (۱۹۵۶) بدست می‌آید، در بررسی سیستم منافذ و تیپ منافذ سنگ‌های مخزن درون توالی چاه کمک فراوانی می‌نماید. مقادیر حاصل برای این پارامتر (مثبت، منفی و یا صفر) می‌تواند اطلاعات مفیدی راجع به انواع تخلخل غالب و روند توزیع تخلخل در کربنات‌ها فراهم نماید. با استفاده از این لاگ می‌توان توزیع فضاهای خالی دیاژنزی و روند تراوایی در طول چاه را مشخص نمود (فلاویو و همکاران، ۱۹۹۹؛ ابرلی و

^۱NPHI

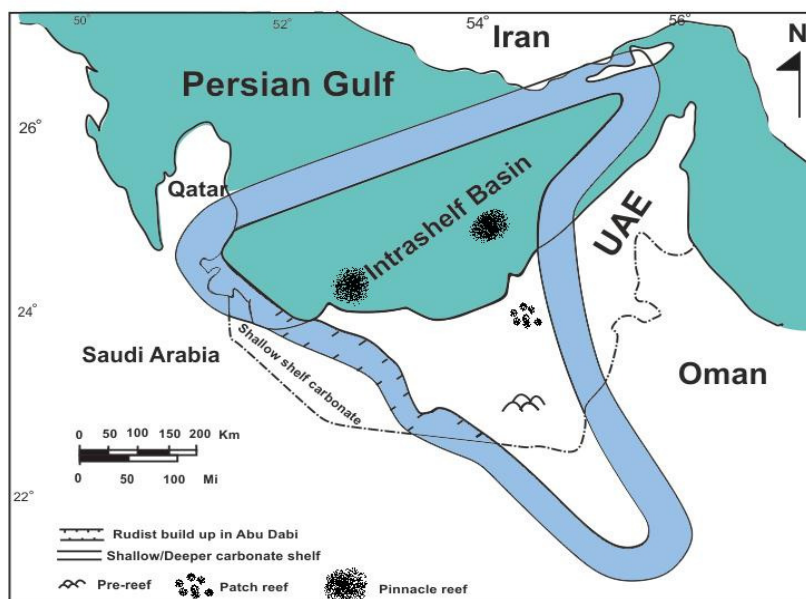
^۲RHOB

^۳DT

^۴Velocity Deviation Log



شکل ۱. موقعیت میدان سیری اسفند (SIRRI E) نسبت به میدانی مجاور در خلیج فارس



شکل ۲. روند تقریبی ساختمان‌های رودیستی در بخش خاور و جنوب خلیج فارس (برگرفته از فورست و همکاران، ۱۹۸۳)

۳- مواد و روش‌ها

در راستای اهداف این پژوهش، ابتدا بر اساس ۳۰۰ مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از مغزه‌های حفاری یک چاه واقع در میدان سیری اسفند، انواع رخساره‌ها و زیرمحیط‌های رسوبی سازند سروک با ضخامت حدود ۸۰ متر (بازه عمقی ۳۵۰۵ تا ۳۵۸۵ متر) تعیین و توصیف شدند (جدیری‌آقایی، ۱۳۹۳). سپس با استفاده از داده‌های لاگ‌های چاه‌پیمایی نظیر لاگ نوترون و صوتی، نمودار انحراف سرعت برای این سازند در چاه مورد مطالعه محاسبه گردید. از آنجا که می‌توان از لاگ صوتی، تخلخل مفید و از لاگ‌هایی نظیر چگالی و نوترون،

تخلخل کل را تخمین زد، بدین ترتیب از تلفیق لاگ صوتی با لاگ نوترون بر اساس معادله وایلی و همکاران (۱۹۵۶)، برای محاسبه لاگ انحراف سرعت استفاده می‌شود. لازم بذکر است در صورت وجود شیل و یا نیاز به دیگر تصحیحات محیطی، ابتدا بایستی این تصحیحات روی لاگ‌ها اعمال شود. ولی از آنجا که در چاه‌های مورد مطالعه نیازی به انجام این تصحیحات نبود از انجام آن صرف‌نظر گردید. سپس نتایج حاصل از محاسبات لاگ انحراف سرعت، با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ^۱ در طول

¹ Geolog

هفت کمر بند رخساره‌ای برای سازند سروک در میدان سیری اسفند شناسایی شد. نبود تغییرات رخساره‌ای مهم و وجود یک روند تدریجی در تغییرات رخساره‌ای، بیانگر نهشت کربنات‌های سازند سروک در یک پلاتفرم کربناته کم عمق از نوع رمپ هم شیب است. ریف‌های رودیستی سازند سروک تحت تاثیر باد (پلاتفرم سروک از نوع رمپ تحت تاثیر باد است) (بورچت و رایب، ۱۹۹۲) و انرژی امواج در خرد شدن آن‌ها، سدهای ریفی مهمی را تشکیل نداده‌اند (جدیری آقایی، ۱۳۹۳).

بررسی عوارض دیاژنزی بیانگر تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مانند میکرایتی‌شدن، سیمانی‌شدن، انحلال، نوشکلی، تراکم، دولومیتی‌شدن، شکستگی و پیریتی‌شدن در سه محیط دیاژنز دریایی، متئوریک (اژونز و تلوزن) و محیط تدفینی بر روی سنگ‌های مخزن سروک در میدان مورد مطالعه است. برخی از این فرآیندها مانند انحلال نقش مهمی در توسعه تخلخل‌های انحلالی در مخزن داشته‌اند (جدیری آقایی، ۱۳۹۳).

توالی چاه ترسیم و بر اساس آن زون‌بندی مخزن انجام شد. در انتها برای بررسی میزان دقت و صحت نتایج حاصل از این روش، زون‌های مخزن تفکیک شده، با رخساره‌ها، فرایندهای دیاژنزی و داده‌های تخلخل و تراوایی نمونه مغزه در میدان مورد مطالعه منطبق شدند.

۳-۱- رخساره‌ها و محیط‌رسوبی

به منظور شناسایی رخساره‌ها و محیط‌رسوبی آن‌ها، مطالعات میکروسکوپی بر روی مقاطع نازک تهیه شده از مغزه در میدان مورد مطالعه صورت گرفت (جدیری آقایی، ۱۳۹۳). در شناسایی رخساره‌ها و نام‌گذاری بافت آن‌ها از طبقه‌بندی دانه‌ام (۱۹۶۲) با در نظر گرفتن نوع آلوکم (اجزاء اسکلتی و غیراسکلتی) و زمینه سنگ (سیمان و گل) استفاده گردید. سپس توالی رخساره‌ها با کمربندهای استاندارد فلوگل (۲۰۰۴) منطبق شدند و محیط‌رسوبی آن‌ها تفسیر گردید. در جدول ۱، مشخصات رخساره‌ها و محیط‌رسوبی آن‌ها بطور خلاصه نشان داده شده است. در مجموع هشت رخساره میکروسکوپی و

جدول ۱. مشخصات رخساره‌های میکروسکوپی و محیط‌رسوبی آن‌ها در سازند سروک میدان سیری اسفند (جدیری آقایی، ۱۳۹۳)

نام رخساره	اجزاء تشکیل‌دهنده	زیر محیط	محیط‌رسوبی
پکستون تا گرینستون پلوئیددار بایوکلستی	پلوئید، بایوکلست، خرده‌های رودیست	پشته سدی (Shoal) (RMF1)	رمپ داخلی
وکستون حاوی فرامینفرهای بزرگ بنتیک و خرده‌های رودیستی	فرامینفرهای بزرگ بنتیک (میلیولید)، خرده‌های رودیست، بایوکلست‌ها و پلوئید	لاگون دریای باز (RMF2)	
فلوتستون حاوی خرده‌های رودیستی	خرده‌های رودیست، پلوئید، فرامینفر بنتیک و بایوکلست	لاگون دریای باز (RMF3)	
رودستون رودیستی	خرده‌های رودیست، دانه‌های کورتوئید و بایوکلست	ابتدای محیط رمپ میانی (تالوس ریف‌های کومه‌ای) (RMF4)	رمپ میانی
پکستون تا وکستون پلوئیددار بایوکلستی	دانه‌های پلوئید و بایوکلست، خرده‌های رودیست و اکینوئید	بخش میانی تا انتهای رمپ میانی (RMF5)	
وکستون تا مادستون پلوئیددار بایوکلستی	دانه‌های پلوئید و بایوکلست، خرده‌های رودیست ریز دانه و خرده‌های اکینوئید	اوایل رمپ بیرونی تا اواسط رمپ بیرونی (RMF6)	رمپ بیرونی
مادستون	خرده‌های اکینوئید و بایوکلست در اندازه ماسه ریز، پیریت	بخش انتهایی رمپ بیرونی (RMF7)	
وکستون تا مادستون حاوی فرامینفرهای پلانکتونیک	فرامینفرهای پلانکتونیک و بایوکلست دانه‌ریز، پیریت، ماده آلی	بخش عمیق حوضه (RMF8)	

زمان عبور آن از فاز جامد یا ماتریکس سنگ است. از این رو این رابطه که سرعت صوت را با ماتریکس و منافذ سنگ مرتبط می‌سازد بطور معمول در صنعت نفت برای محاسبه تخلخل بر اساس لاگ صوتی بصورتی که در معادله ۲ نشان داده شده است بکار می‌رود.

۳-۲- محاسبه لاگ انحراف سرعت

اساس محاسبه لاگ انحراف سرعت، رابطه وایلی و همکاران (۱۹۵۶) طبق معادله ۱ است که بیان می‌دارد زمان عبور موج صوتی از درون یک سنگ تابعی از مجموع زمان عبور صوت از منافذ سنگ پر شده با سیال و

$$\Delta Vp = Vp_{real} - Vp_{syn} = \left(\frac{304.8}{DT_{log}} \right) \times 1000 \text{ (m/s)} \quad (3)$$

در مرحله بعد، به منظور تفسیر نتایج حاصل از لاگ انحراف سرعت، داده‌های حاصل از این لاگ در طول توالی مخزن با مشخصه‌های رخساره‌ای و دیاژنزی سازند مورد مطالعه تطبیق داده شدند و بر اساس آن زون‌های مخزن تعبیر و تفسیر گردید.

۴- بحث

بررسی نمودار انحراف سرعت در طول توالی سازند سروک میدان سیری اسفند نشان می‌دهد که توالی این سازند را می‌توان بر اساس روند تغییرات این نمودار به سه زون مخزنی تفکیک نمود (شکل ۳). هیستوگرام توزیع تغییرات انحراف سرعت برای سه زون تفکیک شده در شکل ۴ نشان داده شده است. این زون‌ها در تطابق با مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه و نیز رخساره‌های کربناته مخزن و سامانه منافذ آن‌ها به ترتیب از بالا به پایین توالی مخزن بصورت زیر توصیف می‌شوند. مقادیر میانگین تخلخل و تراوایی مغزه برای هر یک از این زون‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

زون ۱: این زون که بازه عمقی ۳۵۲۰-۳۵۰۵ متر را شامل می‌شود عمدتاً از رخساره‌های وکستونی و فلوتستونی گل‌غالب مرتبط با زیرمحیط لاگون و تالوس جلوی ریف تشکیل شده است. لاگ انحراف سرعت در این زون تغییرات زیادی از مقادیر منفی بالا تا مثبت بالا را نشان می‌دهد (شکل‌های ۳ و ۴). بر اساس شواهد میکروسکوپی، در این زون علاوه بر ریزتخلخل‌های مرتبط با ماتریکس، تخلخل‌های ثانویه حاصل از انحلال بویژه در رخساره‌های فلوتستونی و تا حدودی شکستگی مشاهده می‌شود (شکل ۵-الف، ب). فرایند سیمانی شدن اگر چه در این زون نسبت به زون‌های دیگر قابل‌توجه است اما بصورت پراکنده بوده و تحت تاثیر انحلال بعدی قرار گرفته است در نتیجه تاثیر قابل‌توجهی بر کیفیت مخزنی نداشته است. میانگین تخلخل و تراوایی در این زون به ترتیب ۱۵/۵ درصد و ۱۶/۱۷ میلی‌داری است. بنابراین این زون با توجه به مقادیر تخلخل و تراوایی و عمدتاً تحت تاثیر دیاژنزی از کیفیت مخزنی بالایی برخوردار است.

$$\frac{1}{V_{rock}} = \frac{\phi}{V_{fluid}} + \frac{1-\phi}{V_{matrix}} \quad (1)$$

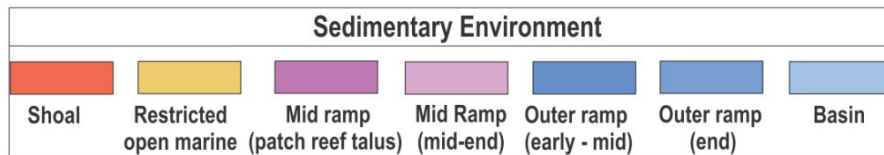
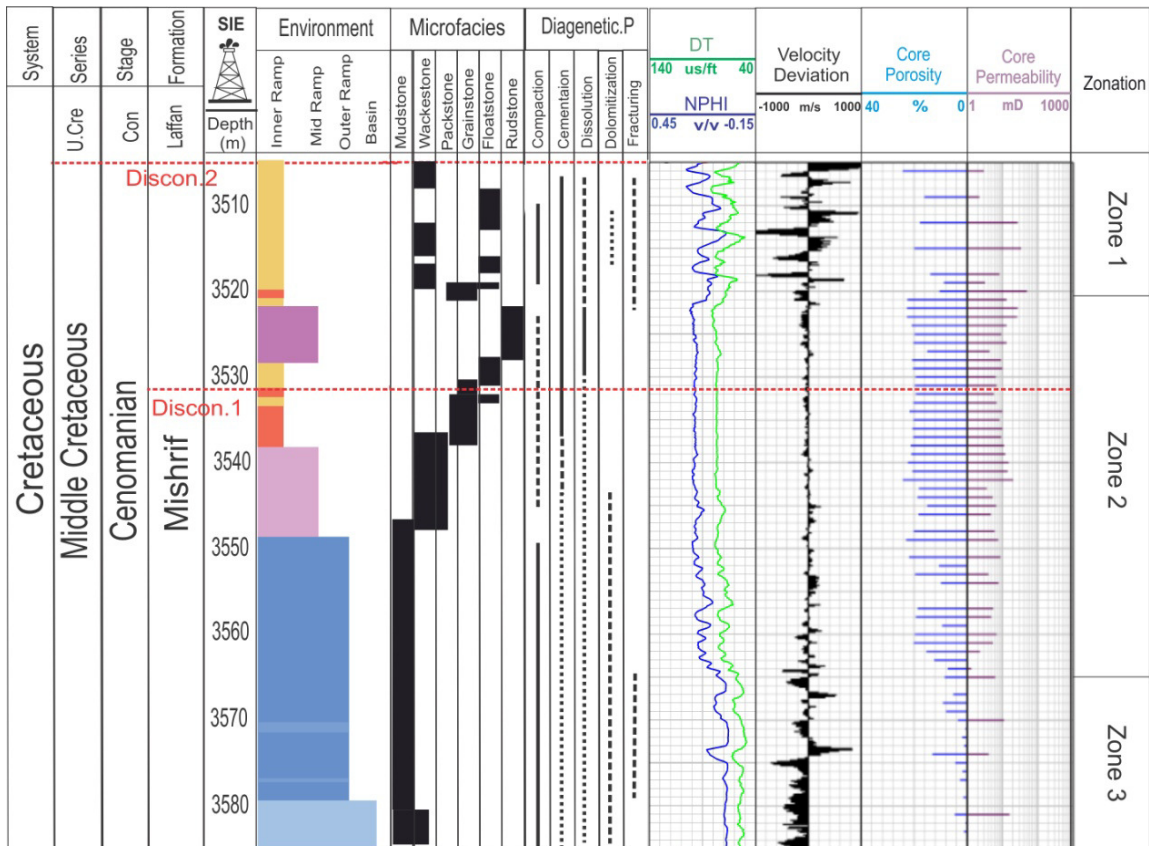
در این معادله ϕ تخلخل و V سرعت عبور موج صوت از میان سنگ مخزن است.

$$\phi_s = \frac{\Delta t_{log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \quad (2)$$

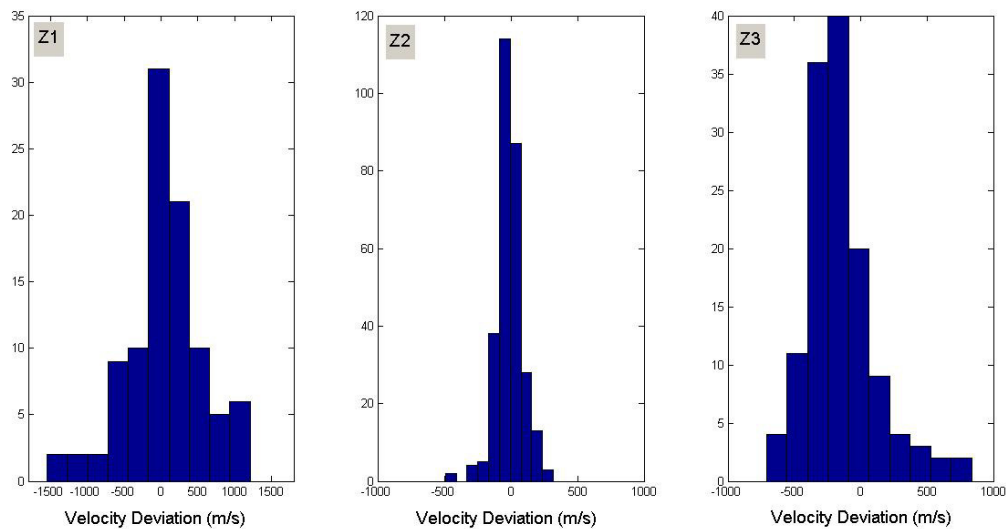
در این معادله، Δt زمان رفت و برگشت موج ثبت شده توسط لاگ صوتی (log)، ماتریکس سنگ (ma) و سیال (f) بر حسب میکروثانیه بر فوت است.

بنابراین طبق معادله وایلی، ارتباط معکوسی بین سرعت و تخلخل سنگ وجود دارد. اما علیرغم این ارتباط معکوس، آنسلمتی و ابرلی (۱۹۹۹) بر اساس مطالعات آزمایشگاهی بر روی ۳۰۰ نمونه سنگ کربناته دریافتند که پراکندگی در مقادیر سرعت بویژه در نمونه‌های با تخلخل بالا مشاهده می‌شود که آن را به عنوان انحراف از معادله وایلی در قالب لاگ انحراف سرعت معرفی نمودند و این پراکندگی را با نوع منافذ سنگ مرتبط ساختند (آنسلمتی و ابرلی، ۱۹۹۹؛ ابرلی و همکاران، ۲۰۰۳). طبق نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها، رخساره‌ها یا بخش‌هایی از سنگ مخزن که دارای تخلخل‌های مجزا درون ماتریکس سنگ (قابلی، حفره‌ای مجزا و درون فسیلی) هستند با مقادیر انحراف سرعت مثبت ($\Delta Vp > +500$) مشخص می‌شوند. رخساره‌ها و زون‌هایی با منافذ بهم مرتبط (بین ذره‌ای و بین بلوری) و نیز ریزتخلخل‌ها دارای انحراف سرعت کم ($-500 < \Delta Vp < +500$) هستند. همچنین زون‌های با انحراف سرعت منفی ($\Delta Vp < -500$) را به حضور شکستگی‌ها، گاز آزاد و یا ریزش دیواره چاه نسبت دادند.

در این مطالعه نیز از رابطه وایلی به منظور دستیابی به اهداف تحقیق استفاده گردید. بدین ترتیب ابتدا طبق معادله ۲، زمان عبور سرعت موج بر اساس لاگ نوترون و سنگ‌شناسی سازند در چاه مورد مطالعه بدست آمد. بنابراین در رابطه ۲، ϕ از تخلخل لاگ نوترون و Δt_{ma} و Δt_f طبق معادل استاندارد آن‌ها به ترتیب ۴۹ میکروثانیه بر فوت برای سنگ‌آهک و ۱۸۹/۵ میکروثانیه بر فوت برای سیال سازندی اعمال گردید. زمان عبور سرعت بدست آمده، به عنوان زمان عبور سرعت صوت مصنوعی (Δt_{syn}) در نظر گرفته شد. سپس مقادیر لاگ انحراف سرعت (ΔVp) بر حسب متر بر ثانیه طبق معادله ۳ با تفریق سرعت صوت مصنوعی (Vp_{syn}) از سرعت صوت واقعی (Vp_{real}) بدست آمد.



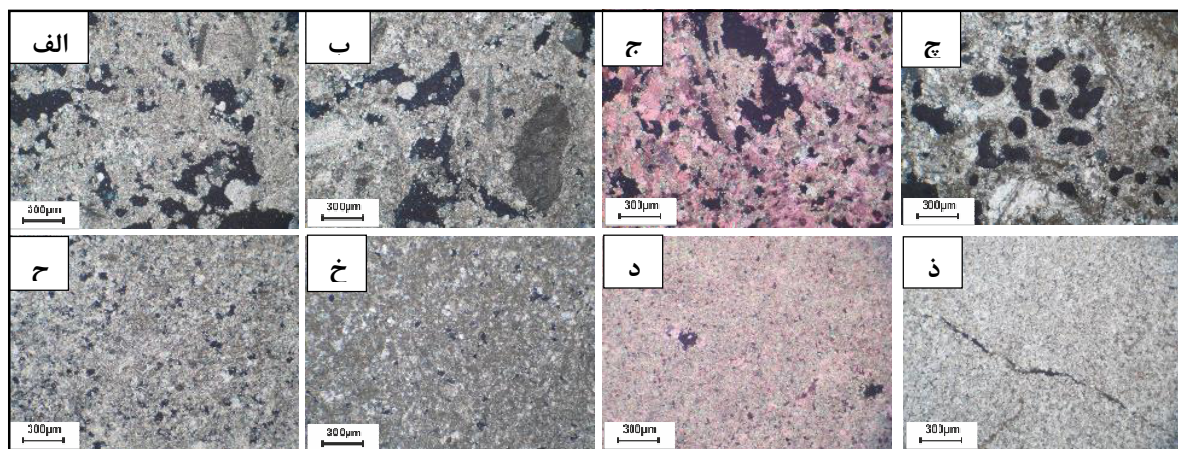
شکل ۳. زون‌بندی سازند سروک بر اساس تغییرات لاگ انحراف سرعت (VDL) در میدان سیری اسفند. در هر زون مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه، به همراه لاگ‌های نوترون (NPHI) و صوتی (DT) و توالی رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی نشان داده شده است (Discon.1 مرز ناپیوسته سنومانین میانی و Discon.2 ناپیوستگی سنومانین- تورورین می‌باشند).



شکل ۴. هیستوگرام توزیع فراوانی مقادیر انحراف سرعت در سه زون تفکیک شده (Z1, Z2, Z3) سازند سروک در میدان سیری اسفند

می‌شود. لاگ انحراف سرعت روند نسبتاً ثابت با مقادیر عمدتاً نزدیک به صفر را داراست (شکل‌های ۳ و ۴). در این زون تخلخل‌ها از نوع انحلالی عمدتاً مجزا به همراه ریزتخلخل‌های ماتریکس هستند (شکل ۵-ج، چ، ح، خ). میانگین تخلخل و تراوایی به ترتیب ۱۸/۵ درصد و ۸/۵ میلی‌داری است. از این رو رخساره‌های مرتبط با آن از تراوایی کمتری نسبت به زون یک برخوردار هستند.

زون ۲: این زون بیش‌ترین ستبرای نسبت به دیگر زون‌های تفکیک شده در مخزن دارد و بازه عمقی ۳۵۶۵-۳۵۲۰ متر را شامل می‌شود. اگرچه انواع رخساره‌های دانه‌غالب و گل‌غالب در این زون گسترش دارند اما انواع گل‌غالب مادستونی و وکستونی فراوانی بیش‌تری را به خود اختصاص می‌دهند. فرایند انحلال در رخساره‌های این زون با گستردگی کمتری نسبت به زون یک مشاهده



شکل ۵. تصاویر رخساره‌های میکروسکوپی شناسایی شده در ارتباط با زون‌های مختلف تفکیک شده در سازند سروک و انواع تخلخل‌های مرتبط با آن‌ها در میدان سیری اسفند. الف و ب) رخساره‌های فلوئستونی با تخلخل‌های انحلالی مجزا و بهم مرتبط در زون ۱. ج و چ) رخساره‌های دانه‌غالب با تخلخل‌های انحلالی عمدتاً مجزا در زون ۲. رخساره‌های گل‌غالب با تخلخل‌های مجزا و ریزتخلخل‌های ماتریکس در زون ۲. د و ذ) رخساره‌های مادستونی / وکستونی با ریزتخلخل‌های ماتریکس مرتبط با زون ۳.

جدول ۲. مقادیر میانگین تخلخل و تراوایی مغزه برای هر یک از زون‌های مخزنی تفکیک شده سازند سروک در میدان سیری اسفند

سازند	زون مخزنی	میانگین تخلخل (درصد)	میانگین تراوایی (میلی‌داری)
سروک	Z1	۱۵/۵	۱۶/۱۷
	Z2	۱۸/۵	۸/۵
	Z3	۳/۵	۲/۰۴

تراوایی ۲/۰۴ میلی‌داری است. از این رو از کیفیت مخزنی پایین‌تری نسبت به سایر زون‌ها برخوردار است که عمدتاً متأثر از رخساره‌های گل‌غالب آن است. مقایسه سه زون مخزنی تفکیک شده در مخزن نشان می‌دهد که زون یک در قسمت بالای توالی مخزن تحت تاثیر بافت رسوبی و نیز تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مانند انحلال که عمدتاً همراه با گسترش منافذ انحلالی بهم مرتبط در آن بوده است و نیز تا حدودی شکستگی از کیفیت مخزنی بالایی برخوردار می‌باشد. زون سه در قسمت پایین توالی سازند تحت تاثیر بافت

زون ۳: این زون بازه عمقی ۳۵۸۵-۳۵۶۵ متر در مخزن را شامل می‌شود. رخساره‌های رسوبی در این زون از نوع گل‌غالب مادستون و وکستون مرتبط با بخش رمپ میانی و رمپ بیرونی و بخش عمیق حوضه (Basin) هستند. فرایند دیاژنزی غالب در رخساره‌های این زون تراکم بصورت گسترش استیلولیت و رگچه‌های انحلالی است. دامنه تغییرات لاگ انحراف سرعت در این زون نسبت به زون ۲ بیش‌تر است (شکل‌های ۳ و ۴) و ریزتخلخل‌های درون ماتریکس از فراوان‌ترین نوع تخلخل هستند (شکل ۵، د، ذ). این زون دارای میانگین تخلخل ۳/۵ درصد و

تراوایی مخزن آسماری در میدان نفتی کیلور کریم. سی و یکمین همایش علوم زمین.

رضایی، م. ر.، چهارزی، ع (۱۳۸۵) اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه‌پیمایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۲۲ ص.

رضایی‌پرتو، ک.، کمالی، محمدرضا، محمدنیا، محمد، لطف‌پور، م (۱۳۸۶) کاربرد لاگ انحراف سرعت در تشخیص نوع تخلخل و روند تراوایی مخزن آسماری. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

کدخدائی ایلخچی، ر.؛ نوری، ب (۱۳۹۵) بررسی سامانه روزنه‌ها در ارتباط با ویژگی‌های مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان در میدان لاوان واقع در جنوب خاوری خلیج فارس. دوفصل‌نامه رسوب‌شناسی کاربردی، ۴ (۸)، ۱۰-۱.

نجاری، س.، علیزاده، ب.، کدخدائی، ع (۱۳۸۸) تخمین نگار مقاومت و نوع تخلخل با شبکه‌های عصبی و نمودار انحراف سرعت. بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین.

Anselmetti, F. S., Eberli, G. P (1999) The velocity-deviation log: A tool to predict pore type and permeability trends in carbonate drill holes from sonic and porosity or density logs. AAPG Bulletin, 83 (3): 450-466.

Berg, B. V., Grammer, M., Eberli, G., Weger, R (2013) Combining Pore Architecture and Sonic Velocity Response to Predict Reservoir Quality: An Example from a Mid-Continent Mississippian Carbonate, Adapted from an oral presentation given at AAPG Mid-Continent Section Meeting, Wichita, Kansas.

Burchette, T. P., Wright, V. P (1992) Carbonate ramp depositional systems. Sedimentary Geology, 79 (1): 3-57.

Chehrazai, A., Rezaee, R., Rahimpour-Bonab, H (2011) Pore-facies as a tool for incorporation of small-scale dynamic information in integrated reservoir studies. Journal of Geophysics and Engineering, 8: 202-224.

Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1: 108-121.

Eberli, G., Anselmetti, F., Incze, M (2003) Factors controlling elastic properties in carbonate sediments and rocks. The Leading Edge, 22: 654-660.

Ehrenberg, S. N (2006) Porosity destruction in carbonate platforms. Journal of Petroleum Geology, 29: 41-52.

Ellis, D. V., Singer, J. M (2007) Well logging for earth scientists. Dordrecht: Springer, V. 692.

Flavio, S. Anselmetti, F., Eberli, G (1999) The velocity deviation log: a tool to predict pore type and permeability trends in carbonate drill holes from sonic and porosity or density logs. AAPG Bulletin, 83: 450-466.

گل‌غالب رخساره‌ای کیفیت مخزنی پایینی دارد. در این زون تاثیر دیاژنز در کیفیت مخزنی قابل توجه نیست. زون دوم نیز حالت حدواسطی را به لحاظ کیفیت مخزنی نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

بررسی نتایج حاصل از مطالعه‌ی رخساره‌های رسوبی و نمودار انحراف سرعت در سازند سروک (سنومانین-تورونین پیشین) میدان سیری اسفند نشان می‌دهد که توالی مخزن بر اساس تغییرات این لاگ قابل تفکیک به زون‌هایی با ویژگی‌های مخزنی و مشخصه‌های رخساره‌ای و دیاژنزی مشخصی از سنگ‌های مخزن است. بدین ترتیب سازند سروک در این میدان به ۳ زون تفکیک گردید. در این زون‌ها تغییرات در مقادیر کمی و کیفی لاگ انحراف سرعت با ویژگی سامانه منافذ رخساره‌های مخزن با توجه به بافت اولیه آن‌ها و نیز تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مرتبط است. بر اساس نتایج این مطالعه، تطابق زون‌های مخزنی در مقیاس میدان با توجه به ویژگی منافذ و کیفیت مخزنی آن‌ها با دقت بیش‌تری امکان‌پذیر است.

منابع

اصلانی، ر.، کدخدائی، ع.، مهاری، ر.، اسدی، ا (۱۳۹۲) تعیین نوع تخلخل با استفاده از لاگ انحراف سرعت در سازند داریان میدان گازی پارس جنوبی. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۱، ۹-۱.

جدیری‌آقایی، ر (۱۳۹۳) مطالعه رخساره‌های رسوبی و تعیین واحدهای جریان‌ی در بخش بالایی سازند سروک (بخش میشریف) در میدان‌های نفتی سیری C، D و E در خلیج فارس. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، ۱۷۲ ص.

جدیری‌آقایی، ر.، رحیم‌پوریناب، ح.، توکلی، و.، کدخدایی ایلخچی، ر.، یوسف‌پور، م. ر (۱۳۹۶) بررسی واحدهای جریان‌ی و رخساره‌های الکتریکی در سازند میشریف (بخش بالایی سازند سروک) و برآورد ستبرای زون مخزنی در میدان نفتی سیری (خلیج فارس)، دوفصل‌نامه رسوب‌شناسی کاربردی، ۵ (۹)، ۸۶-۹۸.

حسینی، ه.، کمالی، محمدرضا، عرفانی‌نیا، ع (۱۳۹۱) کاربرد لاگ انحراف سرعت در تشخیص نوع تخلخل و روند

- Shazly, T (2012) Application of the velocity-deviation log in determining pore types and permeability trends of Nubia S.S Formation. 74th EAGE Conference and Exhibition incorporating EUROPEC.
- Tiab, D., Donaldson, E. C (2015) Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. Gulf professional publishing, 880 p.
- Wyllie, M. R., Gregory, A. R., Gardner, L.W (1956) Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. *Geophysics*, 21: 41-70.
- Wyllie, M. R. J., Gregory, A. R., Gardner, G. H. F (1958) An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. *Geophysics*, 23 (3): 459-493.
- Wyllie, M. R. J., Gardner, G. H. F., Gregory, A. R (1962) Studies of elastic wave attenuation in porous media. *Geophysics*, 27 (5): 569-589.
- Flugel, E (2004), *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*, Springer, Berlin, 984p.
- Frost, S. H., Bliefnick, D. M., Harris, P. M (1983) Deposition and porosity evolution of a Lower Cretaceous rudist buildup, Shuaiba Formation of eastern Arabian Peninsula. *Carbonate buildups- a core workshop, SEPM Core Workshop*, 4: 381-410.
- Gardner, G. H. F., Gardner, L. W., Gregory, A. R (1974) *Formation Velocity and Density: The Diagnostic Basics for Stratigraphic Traps*. *Geophysics*, 39 (6): 770-780.
- Harris, P. M., Frost, S. H., Seiglie, G. A., Schneidermann, N (1984) Regional unconformities and depositional cycles, Cretaceous of the Arabian Peninsula. In: Schlee, J.S. (Ed.), *Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 36: 67-80.
- Hilchie, D. W (1982) *Applied open hole log interpretation (for geologists and engineers)*. DW Hilchie, 350 p.
- Izzatti Bashah, N. S., Pierson, B (2012) The Impact of pore geometry and microporosity on velocity porosity relationship in carbonates of central Luconia, Sarawak, Adapted from extended abstract prepared in conjunction with oral presentation at AAPG International Conference and Exhibition, Singapore, September, 16-1.
- Morshedi-pour, A., Lotf-pour, M., Enayati, A (2010) The usage of velocity deviation log (VDL) in order to recognize porosity types and trends in permeability of the Asmari and Jahrum reservoirs units in the KHESHT oil field (Kazeroon). *Geophysical Research Abstracts*, 12: EGU2010-392.
- Morton-Thompson, D., Woods, A. M (1993) *Development Geology Reference Manual: AAPG Methods in Exploration Series*, 10: 550 p.
- Rahimpour-Bonab, H, Aliakbardoust, E (2014) Pore facies analysis: incorporation of rock properties into pore geometry based classes in a Permo-Triassic carbonate reservoir in the Persian Gulf. *Journal of Geophysics and Engineering*, 11 (3): 1-20.
- Raymer, L. L., Hunt, E. R., Gardner, J. S (1980) An Improved Sonic Transit Time to Porosity Transform, In: 21st Annual Society of Professional Well Log Analysts Logging Symposium, Transactions, 8-11 July, Lafayette.
- Ross, D. J., Skelton, P. W (1993) Rudist formations of the Cretaceous: a palaeoecological, sedimentological and stratigraphical review. *Sedimentology Review*, 1: 73-91.