

## جدایش زون‌های مخزنی بخش بالایی سازند سروک با بهره‌گیری از نگار انحراف سرعت در میدان نفتی سیری اسفند، خلیج فارس

رحیم کدخدائی ایلخچی<sup>۱\*</sup> و رعنا جدیری آقائی<sup>۲</sup>

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 پژوهش سازند سروک به سن سنومانین- تورونین پیشین در میدان سیری اسفند به منظور شناسایی سامانه منافذ و جدایش زون‌های مخزنی آن با بهره‌گیری از نگار انحراف سرعت مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد که همبستگی مشخص و معنی‌داری میان تغییرات این نگار با ویژگی‌های رخساره‌ای و مقدار تخلخل و تراوایی مغزه سنگ‌های مخزن وجود دارد که بر این پایه ۳ زون مخزنی در این میدان جدا شدند. در این زون‌ها تغییرات در مقدار کمی و کیفی نگار انحراف سرعت می‌تواند با ویژگی سامانه منافذ رخساره‌های مخزن با توجه به بافت اولیه آن‌ها و نیز تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مرتبط شود. مقایسه زون‌های جدا شده نشانگر این است که زون یک در بخش بالای توالی مخزن زیر تاثیر بافت رسوبی و نیز تاثیر فرآیندهای دیاژنزی، مانند انحلال و تا اندازه‌ای شکستگی، از کیفیت مخزنی بالایی برخوردار است. زون سه در بخش پایین توالی سازند زیر تاثیر بافت گل فراوان 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- پیشگفتار

و همکاران، ۲۰۱۱؛ ارنبرگ، ۲۰۰۶). ارائه روش‌ها و تکنیک‌های موثر در بررسی سامانه منافذ سنگ‌های مخزن، جدایش زون‌های مخزنی و نیز شناسایی عوامل کنترل‌کننده ویژگی‌های مخزنی، نقش بسزایی در سرشت نمایی مخزن دارد. هم‌چنین بهره‌گیری از این روش‌ها با توجه به داده‌های موجود و اهداف بررسی متفاوت است. با توجه به اینکه نگاربرداری پتروفیزیکی در تمام چاه‌های میدان انجام گرفته، و این نگارها 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 شمار محدودی از چاه هستند، در بیش‌تر بررسی‌های مخزن در اولویت قرار دارند. بهره‌گیری از داده نگارهای چاه‌پیمایی افزون بر تفسیر کمی پتروفیزیکی، در توصیف کیفی سنگ‌های مخزن نیز معمول است. این داده‌ها، اطلاعات گسترده‌ای در راستای ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌های مخزن مانند رادیواکتیویته طبیعی سنگ (پاسخ نگار گاما)، نوع سنگ (نگارهای لیستولوژی)، پاسخ‌های الکتریکی و فراصوتی (نگارهای الکتریکی) را

در صنعت نفت، بررسی ویژگی‌های پتروفیزیکی مخازن مانند تخلخل و تراوایی از اهداف کلیدی محسوب می‌شود که در راستای ارزیابی توان ذخیره و تولید یک میدان اهمیت دارد. داده‌های برگرفته از اندازه‌گیری این پارامترها برای مهندسان 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 زیر کنترل ویژگی‌های اولیه بافتی (رخساره) و پدیده‌های دیاژنزی است ویژگی‌های مخزنی و رفتار تولید آن‌ها در میدان را کنترل می‌نماید (کدخدائی ایلخچی و نوری، ۱۳۹۵). از این‌رو بررسی سامانه منافذ با توجه به اهمیت آن‌ها در کنترل ویژگی‌های مخزنی جزء موضوعاتی است که امروزه پژوهشگران مختلف با بهره‌گیری از روش‌ها و ابزارهای مختلف در بررسی‌های خود مورد توجه قرار داده‌اند (برای نمونه: رحیم‌پور بناب و علی اکبردوست، ۲۰۱۴؛ چهارزی

ابری و همکاران، ۲۰۰۳). یکی از اهداف این پژوهش، بررسی کمی و کیفی سامانه منافذ درون توالی مخزن با بهره‌گیری از نگار انحراف سرعت است که بر پایه آن زون‌های مخزن توصیف و با ویژگی‌های رخساره، ویژگی‌های دیاژنزی و مقدار تخلخل و تراوایی سنگ‌های مخزن مرتبط می‌شوند.

## ۲- زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

میدان سیری یکی از میدان‌های نفتی خاور حوضه خلیج فارس می‌باشد که در کنار مرز آبی ایران و امارات متحده عربی قرار دارد (شکل ۱). یکی از مهم‌ترین افق‌های مخزنی این میدان، سازند سروک به سن اوایل سنومانین-تورونین پیشین می‌باشد. میدان‌های هیدروکربنی خاور خلیج فارس که سازند سروک به عنوان مخزن اصلی هیدروکربن در آن‌ها است، بیشتر در بالای دیپایره‌های نمکی گسترش یافته‌اند. بخش بالایی سازند سروک در زاگرس را می‌توان هم‌ارز سازند میشریف<sup>۵</sup> در خلیج فارس و کشورهای همسایه در نظر گرفت. این سازند با گسترش بسیار در سرتاسر خلیج فارس، سازنده‌ی یک واحد سنگ‌چینه‌ای مهم به سبب برای 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 گسترش سنگ مخزن میدان‌های نفتی را دارند. شکل ۲ پخش رودیست‌های سازند سروک در خاور خلیج فارس را نشان می‌دهد.

در انجام این پژوهش، از داده‌های حاصل از یک چاه واقع در میدان سیری اسفند بهره‌گیری شده است. میدان سیری اسفند (E) بصورت یک ساختار تاقدیسی در فاصله ۳۵ کیلومتری جزیره ابوموسی و نزدیک 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، پرسیبتر است. بخش ستیغ این ساختار متحمل فرسایش شده و ستبرای سازند سروک به کناره‌ها بیش تر می‌شود.

ثبت و ضبط می‌کنند (الیس و سینگر، ۲۰۰۷). برخی نگارهای پتروفیزیکی برای برآورد تخلخل بکار می‌روند که از میان آن‌ها، نگار نوترون<sup>۱</sup>، چگالی<sup>۲</sup>، زمان انتقال صوت<sup>۳</sup> و نگار NMR رایج‌ترین نگارهای به کار رفته برای این هدف هستند (موتون تامپسون و همکاران، ۱۹۹۳؛ هیلچی، ۱۹۸۲). شناسایی تخلخل با بهره‌گیری از سرعت صوت توسط وایلی و همکاران (۱۹۵۶، ۱۹۵۸، ۱۹۶۲) معرفی گردید و پژوهشگران بعدی در بررسی‌های خود آن را مورد توجه قرار دادند (برای نمونه: 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 میان ساختار و شکل هندسی منافذ با سرعت صوت و کیفیت مخزنی پرداختند (ایزتی بشاه و پیرسون، ۲۰۱۲؛ برگ و همکاران، ۲۰۱۳).

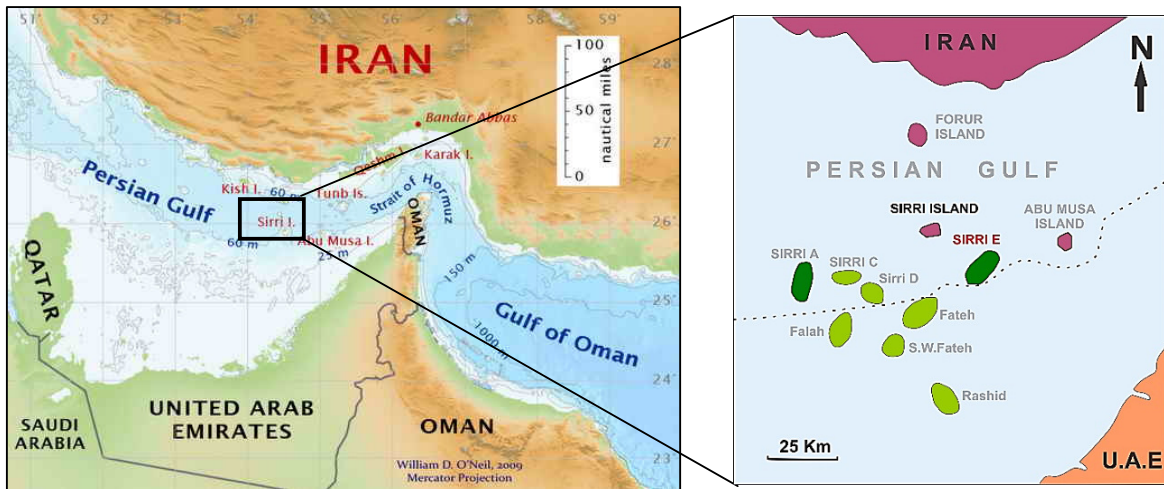
تخلخل در سنگ‌های کربناته توسط هر دو عامل سنگ‌شناسی اولیه و دیاژنز کنترل می‌شود. هر فرآیند دیاژنزی می‌تواند سرعت و امیدانس صوتی (مقاومت ظاهری صوتی) را در مسیر نگار صوتی تغییر دهد (ابری و همکاران، ۲۰۰۳). در رسوبات کربناته، ترکیب اولیه سنگ و نسبت دانه به گل در شناسایی سرعت موج صوتی دارای اهمیت است. در سنگ‌های 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 شناسایی می‌کند (رضایی و چهارزی، ۱۳۸۵). نگار انحراف سرعت<sup>۴</sup> که از تلفیق نگارهای تخلخل (نوترون، چگالی و صوتی) طبق رابطه وایلی و همکاران (۱۹۵۶) به دست می‌آید، در بررسی سامانه منافذ و تیپ منافذ سنگ‌های مخزن درون توالی چاه کمک فراوانی می‌نماید. مقدار حاصل برای این پارامتر (مثبت، منفی و یا صفر) می‌تواند اطلاعات سودمندی راجع به انواع تخلخل چیره و روند پخش تخلخل در کربنات‌ها فراهم نماید. با بهره‌گیری از این نگار می‌توان پخش فضا‌های خالی دیاژنزی و روند تراوایی در طول چاه را شناسایی کرد (فلایو و همکاران، ۱۹۹۹؛

<sup>1</sup>NPHI

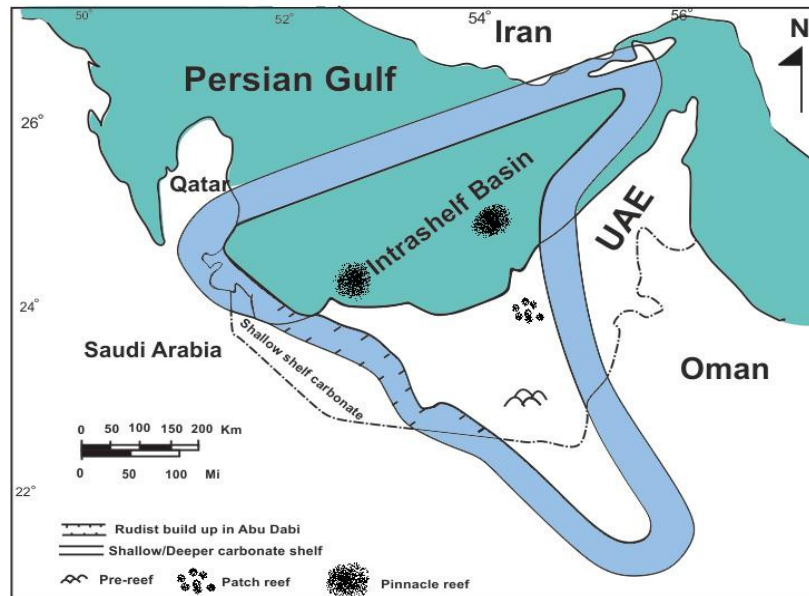
<sup>2</sup>RHOB

<sup>3</sup>DT

<sup>4</sup>Velocity Deviation Log



شکل ۱. جایگاه میدان سیری اسفند (SIRRI E) نسبت به میدان های کناری 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، در آغاز ۳۰۰ بُرش نازک میکروسکوپی از مغزه‌های حفاری یک چاه تهیه شد و انواع رخساره‌ها و زیرمحیط‌های رسوبی سازند سروک با ستبرای نزدیک ۸۰ متر (بازه ژرفایی ۳۵۰۵ تا ۳۵۸۵ متر) شناسایی و توصیف شد (جدیری‌آقایی، ۱۳۹۳). سپس با بهره‌گیری از داده‌های نگارهای چاه‌پیمایی مانند نگار نوترون و صوتی، نمودار انحراف سرعت برای این سازند در چاه مورد بررسی محاسبه شد. از آنجا که می‌توان از نگار صوتی، تخلخل مفید و از نگارهایی مانند چگالی و نوترون، تخلخل کل را برآورد کرد، بدین ترتیب

از تلفیق نگار صوتی با نگار نوترون بر پایه معادله وایلی و همکاران (۱۹۵۶)، برای محاسبه نگار انحراف سرعت بهره‌گیری شد. لازم به یادآوری است در صورت وجود شیل و یا نیاز به دیگر تصحیحات محیطی، در آغاز بایستی این تصحیحات روی نگارها انجام شود. ولی از آنجا که در چاه‌های مورد بررسی نیازی به انجام این تصحیحات نبود، از انجام آن چشم‌پوشی شد. سپس یافته‌های به دست آمده از محاسبات نگار انحراف سرعت، با بهره‌گیری از نرم‌افزار ژئونگار<sup>۱</sup> در طول

<sup>1</sup> Geolog

میکروسکوپی و 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، نشانگر نهشت کربنات‌های سازند سروک در یک پلاتفرم کربناته کم عمق از نوع رمپ هم شیب است. ریف‌های رودیستی سازند سروک زیر تاثیر باد (پلاتفرم سروک از نوع رمپ زیر تاثیر باد است) (بورچت و رایت، ۱۹۹۲) و انرژی امواج در خرد شدن آن‌ها، سدهای ریفی مهمی را تشکیل نداده‌اند (جدیری آقایی، ۱۳۹۳). بررسی پدیده‌های دیاژنزی نشانگر تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مانند میکرایتی‌شدن، سیمانی‌شدن، انحلال، نوشکلی، فشردگی، دولومیتی‌شدن، شکستگی و پیریتی شدن در سه محیط دیاژنز دریایی، جوی (اوتوژن و تلوزن) و محیط تدفینی بر روی سنگ‌های مخزن سروک در میدان مورد بررسی است. برخی از این فرآیندها، مانند انحلال، نقش مهمی در توسعه تخلخل‌های انحلالی در مخزن داشته‌اند (جدیری آقایی، ۱۳۹۳).

توالی چاه ترسیم و بر پایه آن زون‌بندی مخزن انجام شد. در انتها برای بررسی میزان دقت و درستی یافته‌های برگرفته از این روش، زون‌های مخزن جدایش شده، با رخساره‌ها، فرایندهای دیاژنزی و داده‌های تخلخل و تراوایی نمونه مغزه در میدان مورد بررسی منطبق شدند.

### ۳-۱- رخساره‌ها و محیط‌رسوبی

برای شناسایی رخساره‌ها و محیط‌رسوبی آن‌ها، بررسی‌های میکروسکوپی بر روی بُرش‌های نازک تهیه شده از مغزه در میدان مورد بررسی انجام گرفت (جدیری آقایی، ۱۳۹۳). در شناسایی رخساره‌ها و نام‌گذاری بافت آن‌ها از رده‌بندی دانه‌ها (۱۹۶۲) با در نظر گرفتن نوع آلوکم (اجزاء اسکلتی و غیراسکلتی) و زمینه سنگ (سیمان و گل) بهره‌گیری شد. سپس توالی رخساره‌ها با کمربندهای استاندارد فلوگل (۲۰۰۴) منطبق شدند و محیط‌رسوبی آن‌ها تفسیر گردید. در جدول ۱، ویژگی‌های رخساره‌ها و محیط‌رسوبی آن‌ها بطور خلاصه نشان داده شده است. در مجموع هشت رخساره

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

نام رخساره	اجزاء سازنده	زیر محیط	محیط‌رسوبی
پکستون تا گرینستون پلوئیددار بایوکلستی	پلوئید، بایوکلست، خرده‌های رودیست	پشته سدی (Shoal) (RMF1)	رمپ داخلی
وکستون دارای فرامینفرهای بزرگ بنتیک و خرده‌های رودیستی	فرامینفرهای بزرگ بنتیک (میلیولید)، خرده‌های رودیست، بایوکلست‌ها و پلوئید	لاگون دریای باز (RMF2)	
فلوتستون دارای 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 دارای فرامینفرهای پلانکتونیک	فرامینفرهای پلانکتونیک و بایوکلست دانه‌ریز، پیریت، ماده آلی	بخش ژرف حوضه (RMF8)	

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 پایه نگار صوتی به صورتی که در معادله ۲ نشان داده شده است بکار می‌رود.

### ۳-۲- محاسبه نگار انحراف سرعت

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

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

در مرحله بعد، به منظور تفسیر یافته‌های برگرفته از نگار انحراف سرعت، داده‌های حاصل از این نگار در طول توالی مخزن با ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی سازند مورد بررسی تطبیق داده شدند و بر پایه آن زون‌های مخزن تفسیر شد.

#### ۴- بحث

بررسی نمودار انحراف سرعت در طول توالی سازند سروک میدان سیری اسفند نشان می‌دهد که توالی این سازند را می‌توان بر پایه روند تغییرات این نمودار به سه زون مخزنی جدا نمود (شکل ۳). بافت‌نگار پخش تغییرات انحراف سرعت برای سه زون جدا شده در شکل ۴ نشان داده شده است. این زون‌ها در تطابق با مقدار 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. مقدار میانگین تخلخل و تراوایی مغزه برای هر یک از این زون‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

**زون ۱:** این زون که بازه ژرفایی ۳۵۲۰-۳۵۰۵ متر را شامل می‌شود بیش‌تر از رخساره‌های وکستونی و فلوتستونی گل فراوان مرتبط با زیرمحیط لاگون و تالوس جلوی ریف ساخته شده است. نگار انحراف سرعت در این زون تغییرات زیادی از مقدار منفی بالا تا مثبت بالا را نشان می‌دهد (شکل‌های ۳ و ۴). بر پایه شواهد میکروسکوپی، در این زون افزون بر ریزتخلخل‌های مرتبط با ماتریکس، تخلخل‌های ثانویه حاصل از انحلال بویژه در رخساره‌های فلوتستونی و تا حدودی شکستگی دیده می‌شود (شکل ۵- الف، ب). فرایند سیمانی شدن اگر چه در این زون نسبت به زون‌های دیگر قابل‌توجه است، اما بصورت پراکنده بوده و زیر تاثیر انحلال بعدی قرار گرفته است؛ در نتیجه تاثیر بسیاری 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 مقدار تخلخل و تراوایی و بیش‌تر زیر تاثیر دیاژنز از کیفیت مخزنی بالایی برخوردار است.

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

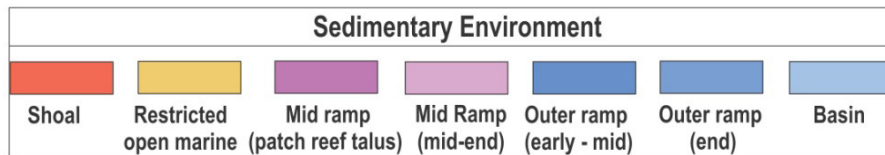
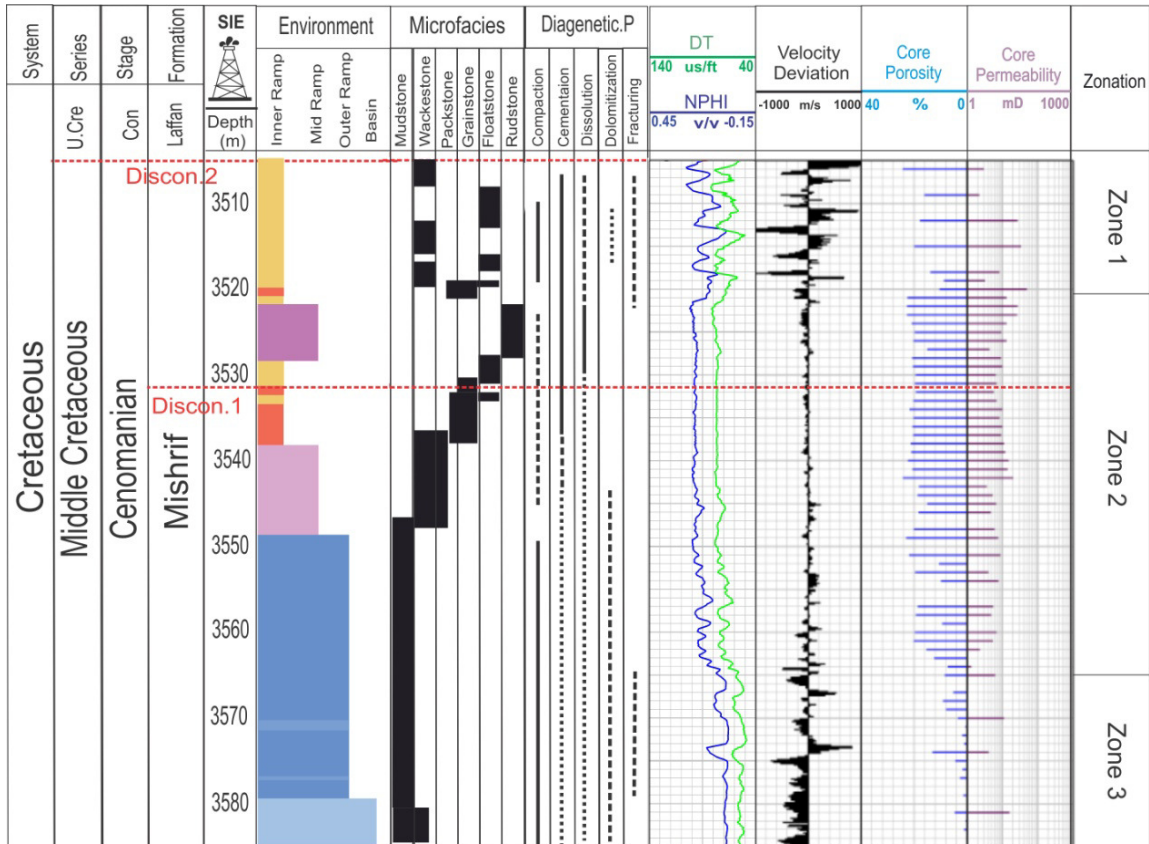
در این معادله  $\phi$  تخلخل و  $V$  سرعت گذر موج صوت از میان سنگ مخزن است.

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

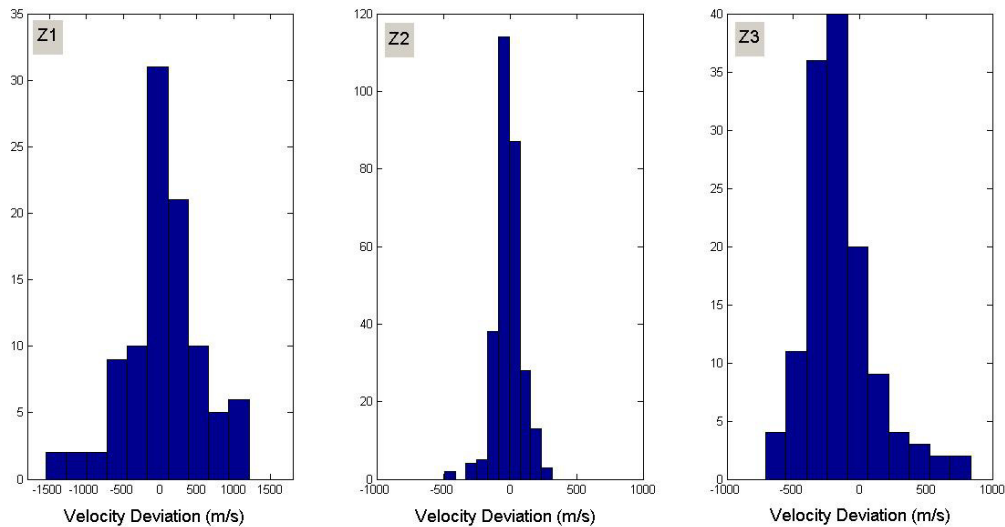
در این معادله،  $\Delta t$  زمان رفت و برگشت موج ثبت شده توسط نگار صوتی (log)، ماتریکس سنگ (ma) و سیال (f) بر حسب میکروثانیه بر فوت است.

بنابراین بر پایه معادله وایلی، همبستگی وارونه‌ای میان سرعت و تخلخل سنگ وجود دارد. با وجود این ارتباط وارونه، آنسلمتی و ابرلی (۱۹۹۹) بر پایه بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی ۳۰۰ نمونه سنگ کربناته دریافتند که پراکندگی در مقدار سرعت بویژه در نمونه‌های با تخلخل بالا دیده می‌شود که آن را به عنوان انحراف از معادله وایلی در قالب نگار انحراف سرعت معرفی نمودند و این پراکندگی را با نوع منافذ سنگ مرتبط ساختند (آنسلمتی و ابرلی، ۱۹۹۹؛ ابرلی و همکاران، ۲۰۰۳). بر پایه یافته‌های آن‌ها، رخساره‌ها یا بخش‌هایی از سنگ مخزن که دارای تخلخل‌های مجزا درون ماتریکس سنگ (قابلی، حفره‌ای مجزا و درون فسیلی) هستند با مقدار انحراف سرعت مثبت ( $\Delta Vp \geq +500$ ) شناخته می‌شوند. رخساره‌ها و زون‌هایی با منافذ بهم مرتبط (میان دانه‌ای و میان بلوری) و نیز ریزتخلخل‌ها دارای انحراف سرعت کم ( $-500 \leq \Delta Vp \leq +500$ ) هستند. همچنین زون‌های با انحراف سرعت منفی ( $\Delta Vp \leq -500$ ) را به حضور شکستگی‌ها، گاز آزاد و یا ریزش دیواره چاه نسبت دادند.

در این بررسی نیز از رابطه وایلی به منظور دستیابی به اهداف پژوهش بهره‌گیری شد. در آغاز بر طبق معادله ۲، زمان گذر سرعت موج بر پایه نگار نوترون و سنگ‌شناسی سازند در چاه مورد بررسی به‌دست آمد. بنابراین، در رابطه ۲،  $\phi$  از تخلخل نگار نوترون و  $\Delta t_{ma}$  و  $\Delta t_f$  بر پایه معادل استاندارد آن‌ها به ترتیب ۴۹ میکروثانیه بر فوت برای سنگ‌آهک و ۱۸۹/۵ میکروثانیه بر فوت برای سیال سازندی اعمال گردید. زمان گذر سرعت بدست آمده، به عنوان زمان گذر سرعت صوت مصنوعی ( $\Delta t_{syn}$ ) در نظر گرفته شد. سپس مقدار نگار انحراف سرعت ( $\Delta Vp$ ) بر حسب متر بر ثانیه طبق معادله ۳ با تفریق سرعت صوت مصنوعی ( $Vp_{syn}$ ) از سرعت صوت واقعی ( $Vp_{preal}$ ) بدست آمد.



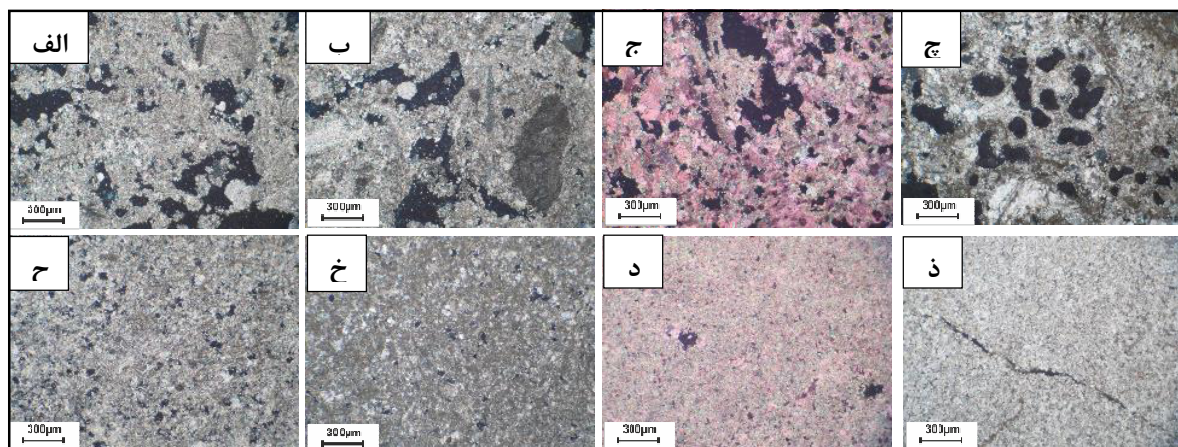
شکل ۳. زون‌بندی سازند سروک بر پایه تغییرات نگار انحراف سرعت (VDL) در میدان سیری اسفند. در هر زون مقدار تخلخل و تراوایی مغزه، به همراه نگارهای نوترون (NPHI) و صوتی (DT) و توالی رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی نشان داده شده است (Discon.1 مرز ناپیوسته سنومانین میانی و Discon.2 ناپیوستگی سنومانین -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



شکل ۴. بافت‌نگار پخش فراوانی مقدار انحراف سرعت در سه زون جدایش شده (Z1, Z2, Z3) سازند سروک در میدان سیری اسفند

انحراف سرعت روند نسبتاً ثابت با مقدار عمدتاً نزدیک به صفر را داراست (شکل‌های ۳ و ۴). در این زون تخلخل‌ها از نوع انحلالی بیش‌تر 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 ستبراً را نسبت به دیگر زون‌های جدایش شده در مخزن دارد و بازه ژرفایی ۳۵۲۰-۳۵۶۵ متر را شامل می‌شود. اگرچه انواع رخساره‌های دانه فراوان و گل فراوان در این زون گسترش دارند اما انواع گل فراوان مادستونی و وکستونی فراوانی بیش‌تری دارد. فرایند انحلال در رخساره‌های این زون با گستردگی کمتری نسبت به زون یک دیده می‌شود. نگار



شکل ۵. تصویرهای رخساره‌های میکروسکوپی شناسایی شده در ارتباط با بخش‌های مختلف جداشده 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 دانه فراوان با تخلخل‌های انحلالی عمدتاً مجزا در زون ۲. رخساره‌های گل فراوان با تخلخل‌های مجزا و ریزتخلخل‌های ماتریکس در زون ۲. د و ذ) رخساره‌های مادستونی / وکستونی با ریزتخلخل‌های ماتریکس مرتبط با زون ۳.

جدول ۲. مقدار میانگین تخلخل و تراوایی مغزه برای هر یک از زون‌های مخزنی جداشده 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

۳/۵ درصد و تراوایی ۲/۰۴ میلی‌داری است. از این رو از کیفیت مخزنی پایین‌تری نسبت به سایر زون‌ها برخوردار است که بیش‌تر متأثر از رخساره‌های گل فراوان آن است. مقایسه سه بخش مخزنی جدا شده در مخزن نشان می‌دهد که زون یک در قسمت بالای توالی مخزن زیر تاثیر بافت رسوبی و نیز تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مانند انحلال که بیش‌تر 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 زیر تاثیر بافت گل فراوان

**زون ۳:** این زون بازه ژرفایی ۳۵۶۵-۳۵۸۵ متر در مخزن را شامل می‌شود. رخساره‌های رسوبی در این زون از نوع گل فراوان مادستون و وکستون مرتبط با بخش رمپ میانی و رمپ بیرونی و بخش ژرف حوضه (Basin) هستند. فرایند دیاژنزی چیره در رخساره‌های این بخش فشرده‌گی بصورت گسترش استیلولیت و رگچه‌های انحلالی است. دامنه تغییرات نگار 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

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.

Chehrizi, 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.

Flugel, E (2004), Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application, Springer, Berlin, 984p.

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 بررسی رخساره‌های رسوبی و نمودار انحراف سرعت در سازند سروک (سنومانین-تورونین پیشین) میدان سیری اسفند نشان می‌دهد که توالی مخزن بر پایه تغییرات این نگار قابل جدایش به زون‌هایی با ویژگی‌های مخزنی و ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی مشخصی از سنگ‌های مخزن است. بدین ترتیب سازند سروک در این میدان به ۳ زون جدا شد. در این زون‌ها تغییرات در مقدار کمی و کیفی نگار انحراف سرعت با ویژگی سامانه منافذ رخساره‌های مخزن با توجه به بافت اولیه آن‌ها و نیز تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مرتبط است. بر پایه نتایج این بررسی، 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.، کدخدائی 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 تراوایی مخزن آسماری در میدان نفتی کیلور کریم. سی و یکمین همایش علوم زمین.



- 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.
- 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.
- Morshedipour, A., Lotfpour, 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.
- Shazly, T (2012) Application of the velocity-deviation log in determining pore types and permeability trends of Nubia S.S Formation.