

مقاله پژوهشی

تحلیل کمی رخساره‌های لرزه‌ای با استفاده از کدگذاری همبستگی متقابل و انطباق با
رخساره‌های رسوبی (مطالعه موردی منطقه پوسایدن استرالیا)

حسین رسول زاده^۱؛ حسین هاشمی^{۲*}؛ سعید هادیلو^۳
۱- دانش آموخته مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
۲- هیئت علمی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
۳- دانش آموخته پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی، تهران

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/jpg.2022.342744.1165

واژگان کلیدی	چکیده
رخساره لرزه‌ای، رخساره رسوبی، تحلیل کمی، نشانگر شکل موج، افق جانسون، منطقه پوسایدن	هدف اصلی لرزه‌نگاری بازتابی، پیگیری پدیده‌های زیرسطحی به کمک ردلرزه‌ها است؛ اما چالش‌های گوناگونی در رسیدن به این هدف وجود دارد. تشخیص لایه‌ها یا پدیده‌های زمین‌شناسی با ضخامت کم، یکی از این چالش‌ها است. زمانی که اهداف، مخازن هیدروکربنی باشند، مشکل دو چندان خواهد شد زیرا علاوه بر تشخیص لایه نازک، باید لایه نازک مخزنی از لایه نازک غیر مخزنی تفکیک شود. پس نیاز به وضوح بالایی هم در راستای افقی و هم در راستای قائم می‌باشد. داده‌های لرزه‌ای مناطق وسیعی از محدوده رسوبی در راستای افقی و نواحی بین چاه‌ها را پوشش می‌دهند و داده‌های حاصل از چاه اطلاعاتی از خواص مخزنی را در اختیار ما می‌گذارد که قدرت تفکیک بالایی در راستای قائم دارد. بنابراین استفاده از داده‌های لرزه‌ای انطباقی با داده‌های چاه، نتایج همه جانبه در تحلیل رخساره‌ها، ارائه می‌دهد. ما برآنیم تا با ایجاد یک الگوی کمی، به تحلیل و طبقه‌بندی مناسبی از رخساره‌های لرزه‌ای در یک سکانس کم ضخامت دست یابیم. این کار با استفاده از داده‌های لرزه‌ای سه بعدی واقعی و داده‌های چاه انجام شده و در صورت امکان با رخساره‌های رسوبی که با کمک اطلاعات زمین‌شناسی و چاه‌های منطقه به دست می‌آیند، انطباق داده می‌شوند. رویکرد تشخیص رخساره‌های لرزه‌ای بر اساس نشانگر شکل موج است که به محاسبه بیشترین شباهت شکل موج ردلرزه‌ها با ردلرزه معلم در محل چاه می‌پردازد. در نتیجه، یک روش ساده برای شناخت ویژگی‌های ظریف و نامحسوس زمین شناختی و ژئوفیزیکی توالی‌های زیرسطحی به کار گرفته می‌شود که مبتنی بر ضریب همبستگی متقابل ردلرزه‌ها است. این ضریب کمی بوده و اعدادی پیوسته بین ۱- تا ۱ را نتیجه می‌دهد. نزدیک بودن به عدد یک بیشترین میزان شباهت را دارد، پس رخساره‌های نزدیک به ردلرزه معلم را نشان می‌دهد در روند کار، روش‌های غیرنظارتی و نظارتی به صورت توأمان برقرار هستند. کدگذاری همبستگی متقابل با استفاده از داده‌های واقعی افق جانسون از اطلاعات لرزه‌ای سه بعدی پوسایدن استرالیا آزموده خواهد شد.

۱. پیش‌گفتار
شناختی سازندهای سنگی-چینه‌ای در اکتشافات زیرسطحی به ویژه شناسایی مخازن هیدروکربنی با ضخامت کم از اهمیت بالایی برخوردار است. جهت مطالعه سازندها و رخساره‌های رسوبی یک منطقه نیاز به شناخت ویژگی‌های رسوبی و سنگ‌شناسی آن است [۱]. یکی از راه‌های پی بردن به این ویژگی‌ها، دستیابی به خصوصیات فیزیکی منطقه مطالعه می‌باشد [۲]. استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری و داده‌های چاه، یکی از بهترین روش‌ها برای دستیابی به خصوصیات فیزیکی است. می‌توان نتیجه گرفت که با دستیابی به ویژگی‌های لرزه‌ای و انطباق آن با ویژگی‌های رسوبی این امکان فراهم می‌شود تا انواع پدیده‌های زمین‌شناسی مانند مخازن هیدروکربنی، تغییر محسوس در سنگ‌شناسی و نوع نهشته‌ها

۱. پیش‌گفتار
شناختی سازندهای سنگی-چینه‌ای در اکتشافات زیرسطحی به ویژه شناسایی مخازن هیدروکربنی با ضخامت کم از اهمیت بالایی برخوردار است. جهت مطالعه سازندها و رخساره‌های رسوبی یک منطقه نیاز به شناخت ویژگی‌های رسوبی و سنگ‌شناسی آن است [۱]. یکی از راه‌های پی بردن به این ویژگی‌ها، دستیابی به خصوصیات فیزیکی منطقه مطالعه می‌باشد [۲]. استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری و داده‌های چاه، یکی از بهترین روش‌ها برای دستیابی به خصوصیات فیزیکی است. می‌توان نتیجه گرفت که با دستیابی به ویژگی‌های لرزه‌ای و انطباق آن با ویژگی‌های رسوبی این امکان فراهم می‌شود تا انواع پدیده‌های زمین‌شناسی مانند مخازن هیدروکربنی، تغییر محسوس در سنگ‌شناسی و نوع نهشته‌ها

زمین‌شناسی (رسوبی)، بر آنیم تا با استفاده از ابزار تحلیل کمی رخساره‌های لرزه‌ای دید بهتری از یک محدوده مخزنی و یا مستعد مخزن به دست آوریم.

هدف اصلی این مطالعه تحلیل کمی رخساره‌های لرزه‌ای به کمک الگوریتم همبستگی متقابل (کدگذاری پیوسته) می‌باشد. با استفاده از این کدگذاری پیوسته، ردلرزه‌های^۲ مختلف را بررسی کرده و با کمک نشانگر شکل موج مقایسه کمی آنها صورت می‌گیرد. در نهایت، ارتباط بین رخساره‌های لرزه‌ای با رخساره‌های رسوبی متناظرشان بررسی می‌شود. این فرآیند به صورت یک روندنمای در شکل ۱ نشان داده شده است. برای این کار به داده‌های مبتنی برچاه، داده‌های لرزه‌ای و اطلاعات زمین‌شناسی نیاز است و مقایسه نتایج حاصل از تحلیل این داده‌ها با یکدیگر، به دقیق‌تر شدن تحلیل کمی حاصل از کدگذاری پیوسته کمک می‌کند. از دیگر اهداف می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. تشخیص آسان مدل‌ها و الگوهای ردلرزه‌ها
۲. ارائه مقادیر ضریب همبستگی پیوسته
۳. تصحیح و بازگردانی افقی که دچار عدم پیوستگی شده است (فاقد پیوستگی در برخی پنجره‌های زمانی)
۴. تشخیص تغییرات پنهانی و نامحسوس توالی‌ها در الگوی ردلرزه‌ها
۵. ترکیب و پیوست دادن نتایج حاصل از تحلیل کمی الگوی ردلرزه‌های چندگانه برای کاهش ابهام در رخساره

و کانال‌های رسوبی با وضوح بالا و هزینه‌های کمی تشخیص داده شوند [۱]. اما این کار در عمل به آسانی تئوری آن نخواهد بود. زیرا کار با رخساره‌های رسوبی و لرزه‌ای چالش‌های زیر را به همراه دارد:

۱. عدم شناسایی گسترده رخساره‌های رسوبی زیرسطحی به پشتوانه اعتماد به چاه‌های در منطقه با تعداد محدود
۲. مشکلات انطباق رخساره‌های رسوبی با رخساره‌های لرزه‌ای به دلیل تفاوت در مولفه‌های پایه‌ای در آنها
۳. تفکیک رخساره‌ها، پدیده‌ها و لایه‌های نازک اعم از لایه‌های مخزنی و غیرمخزنی

با اینکه داده‌های لرزه‌ای مناطق وسیعی از محدوده مخزنی و به طور کلی رسوبی و نواحی بین چاه‌ها^۱ را پوشش می‌دهند اما کیفیت تفکیک قائم کمتری نسبت به داده‌های چاه دارند. در این صورت استفاده از داده‌های مرتبط با چاه پیشنهاد می‌شود. اما داده‌های حاصل از چاه، اطلاعاتی از خواص مخزنی را در اختیار ما می‌گذارد که قدرت تفکیک بالایی در راستای قائم دارد و توزیع و پراکندگی جانبی داده‌ها کم خواهد بود بدین معنی که حد تفکیک افقی پایین است [۲] و [۳]. در صورتی که برای ارائه یک مدل همه جانبه از رخساره‌های رسوبی یک منطقه، به اطلاعات جانبی گسترده‌ای نیز نیاز داریم. بنابراین استفاده از داده‌های لرزه‌ای انطباقی با داده‌های چاه، می‌تواند نتایج مناسبی در تحلیل رخساره‌ها ارائه دهد.

اما به دلیل وجود مشکلات مطرح شده و همچنین دشواری در انطباق بین رخساره‌های لرزه‌ای و رخساره‌های



شکل ۱. روندنمای مراحل مطالعه

² Traces

¹ Wells

۲. تحلیل کمی^۳ رخساره‌های لرزه‌ای

به طور کلی تحلیل و تفسیر لرزه‌ای و داده‌های آن می‌تواند دستیابی به اطلاعات محیط (به خصوص در مخازن هیدروکربنی) را آسان‌تر و دقیق‌تر کند. هر دو روش تحلیل کمی و کیفی به شناخت رخساره‌های لرزه‌ای، خصوصیات پتروفیزیکی و رخساره‌های رسوبی کمک خواهند کرد [۴]. تحلیل کمی رخساره‌های لرزه‌ای از تفکیک و درجه‌بندی آماری-عددی داده‌ها حاصل می‌شود [۵]. تحلیل کمی لرزه‌ای نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از فیزیک سنگ برای پیش بینی پارامترهای مخزن، مانند لیتولوژی‌ها و سیال منافذ، به کمک نشانگرهای لرزه‌ای استفاده کرد. یا این که چگونه، ترکیبی از داده‌های مدل‌های فیزیک سنگ با داده‌های لرزه‌ای و اطلاعات رسوبی و دیگر تکنیک‌ها می‌تواند به نتایج قدرتمندتری از آنچه از یک تکنیک به دست می‌آید منجر شود [۶]. در سال‌های اخیر متخصصان ژئوفیزیک روش‌های یکپارچه و ابزارهای عملی برای تفسیر کمی، ارزیابی عدم قطعیت و توصیف مخازن زیرسطحی با استفاده از برداشت و ثبت داده‌های لرزه‌ای ارائه داده‌اند. آنها ضمن ارائه نظراتی در مورد محدودیت روش‌های سنتی، مزایای روش‌های جدید کمی را بیان کرده‌اند. تفسیر لرزه‌ای کمی بهتر است هنگام اجرای تحلیل‌های یکپارچه داده‌های ژئوفیزیکی، چاه، زمین‌شناسی و مخزن انجام شود. در اکتشافات مخزن و نظارت بر مخازن، داده‌های فوق برای توصیف کمی ضروری هستند [۴]. روش‌های تحلیل کمی می‌توانند، به کاهش هزینه‌های مالی عملیات و بهبود زمان عملکرد کمک کنند.

مایعات اشباع، تخلخل، مقدار رس، مواد معدنی موجود، فشار منفذی، شکل منافذ و دما بر خصوصیات الاستیک سنگ تأثیر می‌گذارد. اصلاح پارامترهای الاستیک موثر منجر به تغییر در پاسخ لرزه‌ای می‌شود [۷]. فیزیک سنگ ابزاری مهم برای برقراری ارتباط بین پارامترهای الاستیک با تغییرات پتروفیزیکی، سیال و رخساره، جهت توصیف مخزن است [۸]. مسلماً، این باعث می‌شود که فیزیک سنگ بستری باشد که تفسیر کمی بر اساس آن انجام می‌شود. تجزیه و تحلیل فیزیک سنگ ممکن است در مقیاس‌های مختلفی انجام شود؛ از تحلیل مغزه‌ها در موارد آزمایشگاهی گرفته تا خروجی

نگارهای چاه و ارتباط آنها با مقیاس لرزه‌ای. با شروع مرحله اکتشاف مخزن (یا رسوبات مورد نظر)، باید رفتار مخزن را پیش بینی کرده و بهترین روش تحلیل و تفسیر انتخاب شود. در این مرحله، دامنه لرزه‌ای از مهمترین داده‌ها برای ارزیابی کیفیت مخزن یا رسوبات منطقه است. تفسیر لرزه‌ای کمی بر اساس داده‌های لرزه‌ای، مانند تغییر دامنه با دورافت (AVO)، تغییرات مطلق دامنه موج (شکل و اندازه) و یا تغییرات نسبی دامنه موج (شکل) خواهد توانست اطلاعاتی در مورد سنگ‌شناسی، سیال در محیط متخلخل و برخی اطلاعات از عوارض ساختاری و چینه‌ای به دست آورد [۹]. شاید بتوان به طور کلی نتیجه گرفت که در شناسایی رخساره رسوبی محیط به ما یاری می‌رساند.

در تحلیل کمی رخساره‌ها نقش داده‌های چاه و منابع غیرلرزه‌ای بسیار مهم است. تحلیل داده‌های چاه و خصوصیات پتروفیزیکی منطقه، همراه با دانش زمین‌شناسی به ویژگی‌های الاستیک لرزه‌ای اعتبار می‌بخشد و احتمال تعیین دقیق رخساره‌ها برای تفسیر کمی هرچه بهتر را فراهم می‌آورد. داده‌ها و اطلاعات از منابع غیر لرزه‌ای عدم اطمینان در پاسخ‌های لرزه‌ای را کاهش می‌دهد و به ویژه در افزایش قدرت تفکیک عمودی رخساره‌ها به مفسر کمک می‌کند [۴]. این به معنی نبود عدم قطعیت در این روش نیست. باید تأکید کرد که اطلاعات کیفی نیز نقش مهمی در تفسیر رخساره‌ها دارد. دو واژه "کیفی" و "کمی" از یکدیگر جدا نیستند. با توجه به وسعت منطقه مطالعه، وجود چاه‌های متعدد (در صورت امکان حفر و تخصیص هزینه) به نتایج دقیق‌تر منجر می‌شود.

همچنین داشتن دانش کافی از سیستم‌های رسوبی، تفسیر خصوصیات مخزن و زمین‌شناسی منطقه را افزایش می‌دهد. رابطه تخلخل و نفوذ پذیری ممکن است حاکی از نوعی رخساره خاص باشد. اما طبقه‌بندی‌های ساده، مخزنی و غیر مخزنی، ممکن است برای دستیابی به خصوصیات کمی کافی نباشد. در این حالت، ما باید فراتر برویم و از نشانگرهای لرزه‌ای نیز بهره ببریم.

³ Quantitative analysis

۳. نشانگر شکل موج

طبقه‌بندی بر اساس شکل موج روشی برای تشخیص خودکار الگوهای لرزه‌ایست. مناطق دارای شکل موج مشابه در امتداد یک افق شناسایی می‌شوند [۱۰]. این مناطق می‌توانند علاوه بر افق، شامل یک محدوده یا پنجره نیز باشند. در مجموع نتیجه این روش بیان کننده این است که شکل موج‌های مشابه، زمین‌شناسی مشابه را نشان بدهد. نقشه‌های شکل موج ویژگی‌های چینه‌شناسی مانند کانال‌ها، دشت‌های سیلابی و مناطق مختلف آن را با دقت خوبی نشان می‌دهند. همچنین اغلب ویژگی‌هایی را آشکار می‌کنند که نمی‌توان آنها را روی نقشه‌های نشانگرهای رقابتی دیگر تشخیص داد.

شکل موج لرزه‌ای قسمت کوچکی از کل یک ردلرزه است که یک یا چند قله یا قعر را تشکیل می‌دهد. شکل موج نشان‌دهنده یک بازتاب منفرد یا الگویی از بازتاب‌های تداخلی است و دامنه، فرکانس و فاز مشخص دارد. شکل موج‌های منفرد بدون توجه به اطلاعات چاه در همان محل، فاقد معنای ذاتی زمین‌شناسی است. با استفاده از مدل‌سازی بازتاب‌ها، می‌توانیم آنها را به زمین‌شناسی شناخته شده‌ای ارتباط دهیم که این کار به آنها معنا می‌بخشد [۱۱].

در طبقه‌بندی شکل موج در هر بازه یک شماره کلاس به هر شکل موج اختصاص داده می‌شود. بازه‌ها از یک افق پیروی می‌کنند و معمولاً دارای طول زمانی ثابت هستند زیرا یک طول غیرثابت مقایسه‌ها را پیچیده می‌کند. هر کلاس با یک شکل موج نماینده یا الگو مشخص می‌شود. به این ترتیب نقشه‌های شکل موج به شکل تعدادی از کلاس‌های رخساره‌ای در می‌آیند. در نشانگر شکل موج لبه‌ها و مناطق انتهایی برخلاف الگوهای فازی مشاهده شده در نقشه‌های دامنه یا فرکانس، واضح و شفاف به نظر می‌رسند [۱۱]. در تفسیرهای کیفی، یک کلاس شکل موج اغلب به عنوان رخساره لرزه‌ای توصیف می‌شود، اما اهمیت آن بیشتر ژئوفیزیکی است تا زمین‌شناسی. طبقه‌بندی شکل موج را می‌توان به روش با نظارت یا بدون نظارت انجام داد. طبقه‌بندی تحت نظارت مستلزم این است که ژئوفیزیکدان شکل موج الگو را تهیه کند. شکل موج به طور معمول در مکان‌هایی که زمین‌شناسی شناخته شده‌ای دارد، به دست می‌آید و از این طریق الگوها معنای زمین‌شناسی پیدا می‌کنند. طبقه‌بندی تحت نظارت پتانسیل بالایی دارد، اما اعمال آن مشکلاتی نیز دارد [۱۲]؛

زیرا دانش قبلی و تلاش قابل توجهی را می‌طلبد. یعنی علاوه بر داده‌های چاه به اطلاعات زمین‌شناسی مفسر و زمین‌شناس نیاز دارد که خود اینها زمانبر و هزینه‌زا هستند. طبقه‌بندی شکل موج گاهی بیش از حد تحت تأثیر دامنه قرار می‌گیرد. این مورد با بازیابی همه شکل موج‌های مشاهده‌ای برای داشتن دامنه *RMS* مشابه اصلاح می‌شود [۱۱].

پس از تعریف شکل موج الگو، هر شکل موج مشاهده‌ای در یک بازه در امتداد یک افق با مجموعه الگو شده شکل موج مقایسه می‌شود و شماره کلاس الگویی که بیشترین تطابق را دارد برای آن شکل موج مشاهده‌ای انتخاب می‌شود (شکل ۲). افزایش تعداد کلاس‌ها وضوح نقشه شکل موج را افزایش می‌دهد اما از توانایی آن برای تعمیم داده‌ها (کلیت بخشیدن به تمام داده‌ها) می‌کاهد. تعداد مناسب کلاسها به هدف و اولویت کار بستگی دارد. برخی از پیاده‌سازی‌های طبقه‌بندی شکل موج محدودیت‌هایی را در شکل موج الگو ایجاد می‌کنند تا هنگام تغییر تعداد کلاس‌ها، از ترتیب مناسب اطمینان حاصل شود. ترتیب شکل موج الگو می‌تواند با تعداد کلاس‌ها تغییر کند.

۴. تحلیل کمی رخساره‌های لرزه‌ای با استفاده از

نشانگر شکل موج به وسیله کدگذاری همبستگی

متقابل

تحلیل کمی رخساره‌های لرزه‌ای با استفاده از نشانگر شکل موج به وسیله ضریب همبستگی متقابل، یک روش تشخیصی با الگو و مدلی ساده می‌باشد که برای شناسایی ویژگی‌های ظریف زمین شناختی و ژئوفیزیکی یک توالی کم ضخامت و پیش بینی مخازن نازک لایه توسعه داده شده است. می‌توان رویکردهای موجود را برای تحلیل رخساره‌ها با استفاده از داده‌های لرزه‌ای بررسی نمود؛ سپس نتایج را با یک مدل رسوبی که با استفاده از داده‌های چاه ایجاد شده، مقایسه نمود. رویکردهایی مثل تشخیص بیشترین شباهت شکل موج تمامی ردلرزه‌ها با ردلرزه در محل چاه (شکل ۲) و دسته‌بندی آنها که یک روش ساده جدید برای شناخت ویژگی‌های ظریف و نامحسوس زمین شناختی و ژئوفیزیکی توالی‌ها می‌باشد و مبتنی است بر همبستگی متقابل ردلرزه‌ها با یک یا چند ردلرزه دیگر (ردلرزه معلم) که شاید بتواند محیط‌های رسوبی خاصی را نشان دهد (ردلرزه‌هایی که گمان می‌رود معرف

تفاوت مقادیر در شکل را بسنجد. حالت بهبود یافته از ضریب همبستگی متقابل به نحوه دیگری در زیر آمده است (رابطه ۲) که شباهت دامنه بر روی یک مقدار مطلق را محاسبه می‌کند.

$$R = \left(\frac{\sum_i^N [(X(i) - X_m)(Y(i-d) - Y_m)]}{\sqrt{\sum_i^N (X(i) - X_m)^2} \sqrt{\sum_i^N (Y(i-d) - Y_m)^2}} \right) \left(\frac{\sum_i^N |Y(i)|}{\sum_i^N |X(i)|} \right) \quad (2)$$

این الگوریتم همچنین می‌تواند با جستجوی مقداری از زمان، از دست رفتن و نبود احتمالی قسمتی از افق را تصحیح کند. مقادیر خروجی برای R در هر ردلرزه به صورت پیوسته و شامل دارای مقادیری از -۱ تا ۱ است. ضریب R بر اساس ضریب همبستگی شکل گرفته است. انواع مختلفی از محاسبه ضریب همبستگی معرفی شده است. ضریب همبستگی R مانند ضریب پیرسون است و به واحد اندازه‌گیری داده‌ها بستگی ندارد. یعنی شاخصی بدون واحد است. حتی گاهی آن را به صورت درصدی نیز بیان می‌کنند. هر چه مقدار ضریب همبستگی به ۱ یا -۱ نزدیک شود، وجود رابطه خطی بین دو متغیر بیشتر می‌شود. ضریب‌های همبستگی، رابطه بین دو متغیر کمی را بررسی می‌کند. خروجی این مقایسه مقداری عددی است که میزان و نوع ارتباط بین دو متغیر را مشخص می‌سازد. میزان مولفه‌ای برای اندازه ارتباط می‌باشد و نوع مولفه‌ای برای نسبت ارتباط (مستقیم یا معکوس) می‌باشد. متغیرهای مورد آزمایش می‌توانند دو سری سیگنال باشند.

سیگنال‌هایی که معرف شکل موج‌های ردلرزه‌ها هستند. خروجی‌های نزدیک به یک (۱)، بیشترین مقدار شباهت دو سری سیگنال با نسبت مستقیم را نشان می‌دهد. خروجی‌های حول صفر (۰)، یعنی هیچگونه شباهتی بین دو سری سیگنال وجود ندارد. خروجی‌های نزدیک به منفی یک (-۱)، بیشترین مقدار شباهت دو سری سیگنال با نسبت معکوس می‌باشد. با بیان این که مقادیر خروجی، اعدادی پیوسته هستند. باید به همین دلیل خروجی‌های بین اعداد -۱ و ۰ نیز در دسته‌بندی قرار گیرند. به طور کلی بر تمامی تقسیم‌بندی‌های انواع ضریب‌های همبستگی، الگوی کلی زیر حاکم است. خروجی‌های بالای ۰/۸ بخشی از بیشینه شباهت مستقیم به شمار می‌آیند. خروجی‌های بین ۰/۴ تا ۰/۸ شباهت نسبی را نشان می‌دهند. خروجی‌های بین ۰/۴- تا ۰/۴ مبنی بر عدم

محیط‌های رسوبی خاصی هستند). این روش در مقایسه با سایر تکنیک‌های الگویی ردلرزه‌ای، مانند همدوسی لرزه‌ای و دسته‌بندی کیفی ردلرزه‌ها، دارای مزایایی است [۱]:

- ۱- تصحیح برای از دست رفتن احتمالی افق‌های مرجع (در بالای نمونه‌ها) به وسیله جستجو در یک پنجره زمانی مشخص
- ۲- ارائه رخصاره‌های لرزه‌ای به عنوان مقادیر پیوسته به وسیله معرفی الگوریتم همبستگی متقابل^۵ اصلاح شده
- ۳- آسان تر شدن تحلیل یک یا چند الگوی ردلرزه‌ای کنترل شده تحت نظارت و ترکیب هر یک از آنها در رخصاره‌های لرزه‌ای.
- ۴- نتیجه گرفتن با حداقل تعداد چاه؛ بنابراین نسبت به روش‌های نیازمند به چاه‌های بسیار زیاد در محیط، مانند مناطق اکتشافی آبهای عمیق، بسیار مناسب تر و سازگارتر است.

۵- ارائه دادن مقادیر خروجی پیوسته

- ۶- ترکیب و پیوست دادن نتایج حاصل از تحلیل مدل لرزه‌ای چندگانه برای کاهش ابهام در رخصاره‌ها
- الگوریتم پیشنهادی (رابطه ۱)، یک مدل همبستگی متقابل بهبود یافته می‌باشد که روشی است استاندارد برای تخمین و برآورد میزان همبستگی که دو سری (سیگنال) با یکدیگر دارند.

دو سری سیگنال $X(i)$ و $Y(i)$ را در نظر بگیرید که:

$$i = 1, 2, 3, \dots$$

ضریب همبستگی متقابل R ، در تأخیر d به این صورت تعریف می‌شود:

$$R = \frac{\sum_i^N [(X(i) - X_m)(Y(i-d) - Y_m)]}{\sqrt{\sum_i^N (X(i) - X_m)^2} \sqrt{\sum_i^N (Y(i-d) - Y_m)^2}} \quad (1)$$

به طوریکه که $X(m)$ و $Y(m)$ میانگینی برای سری مربوطه هستند و d نشان دهنده پنجره زمانی برای از دست رفتن احتمالی قسمتی از افق است [۱].

بدیهی است این همبستگی متقابل به جای شباهت و تطابق مطلق (شکل و اندازه آنها)، بر تشابه و تطابق نسبی (شکل آنها) الگوهای بین دو سری زمانی، متمرکز است (شکل ۳). از این رو، این حالت به گونه‌ای اصلاح شده که می‌تواند به خوبی

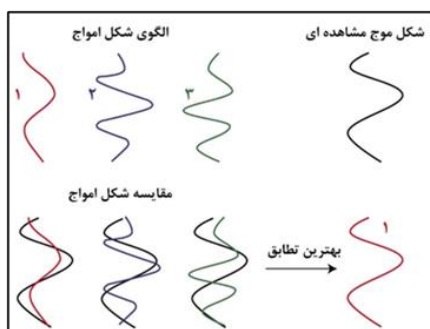
⁵ Cross-correlation algorithm

⁴ Samples

$$R = i * \max(R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n) \quad (3)$$

که در آن "i" مرتبه ردلرزه انتخاب شده، جهت انجام پردازش است. "n" عدد یا شماره انتخاب ردلرزه هاست. "R_i" ضریب همبستگی است که براساس ردلرزه انتخاب شده با مرتبه "i" می‌باشد. یعنی R₁ می‌تواند ضریب همبستگی برای نمونه ردلرزه‌ای باشد که رخساره اصلی یا محدوده چاه مینا را نشان می‌دهد. در حالی که R₂ نمایانگر رخساره دوم یا محدوده چاه دو، R₃ نماینده رخساره سوم یا محدوده چاه شماره سه است. مقدار R که از رابطه (۳) به دست آمده طوری انتخاب شده است که در بین همبستگی‌های ایجاد شده بزرگترین می‌باشد. یک مقدار مشخصی به "i" اختصاص داده شده است که نشان دهنده رخساره‌های آن می‌باشد. در تعیین رخساره‌های لرزه‌ای از لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی ظریف و پیش بینی مخازن نازک لایه، قوی و امیدوار کننده است.

مشابه هر خروجی ژئوفیزیکی و مفاهیم و معانی زمین‌شناسی آن باید توسط اطلاعات زمین‌شناسی تعریف یا تأیید شود. مقادیر همبستگی یکسان ممکن است نمایانگر رخساره‌های رسوبی یکسانی نباشند و اختصاص دادن به رخساره‌های رسوبی، به اعتماد و تکیه ما بر زمین‌شناسی بستگی دارد. در مطالعه پیش‌رو سعی شده تا این الگوریتم با داده‌های واقعی به آزمایش گذاشته شود. مطالعه موردی داده‌های سه بعدی پیرامون افق لرزه‌ای سازند جانسون از منطقه پوسایدن استرالیا، برای این سنجش انتخاب شده است.

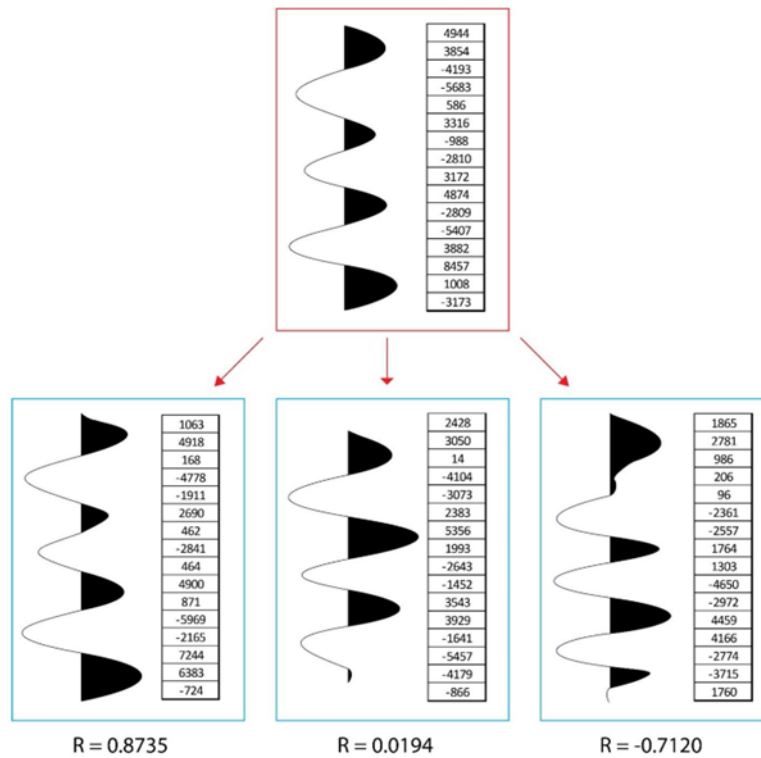


شکل ۲. طبقه‌بندی بر اساس مقایسه شکل موج؛ بهترین تطابق شکل موج ردلرزه مشاهده‌ای با الگوی‌های شکل موج (بارنز [۱۰])

شبهات، محاسبه شده‌اند. خروجی‌های بین ۰/۸- تا ۰/۴- شبهات نسبی معکوس را نشان می‌دهند. خروجی‌های کمتر از ۰/۸- جزئی از بیشینه شبهات معکوس هستند. در مطالعه رخساره‌های لرزه‌ای، ضریب همبستگی بالای ۰/۷ نشان دهنده شبهات و ارتباط خوب بین ردلرزه‌ها خواهد بود. همچنین اعدادی نزدیک به صفر و منفی عدم شبهات مورد نیاز برای تفکیک رخساره‌ای را نشان می‌دهد.

ورودی این مدل، از داده‌های لرزه‌ای و یک افق مرجع تشکیل شده است. ما باید احتمال از دست رفتن و نبود پنجره زمانی را مشخص کنیم که به اطمینان از ردیابی و توالی افق بستگی دارد. یک ردلرزه در موقعیت یک چاه با رخساره‌های رسوبی شناخته شده، قسمتی دیگری از داده‌های به کار گرفته شده، می‌باشد. نتایج پردازش الگو نشان دهنده شبهات همه ردلرزه‌های دیگر با یک ردلرزه در محل چاه است. در صورتی که ویژگی‌های زمین‌شناسی در محل هر چاه، متفاوت از دیگر چاه‌ها باشد، این روش قادر است تا حول هر چاه رخساره مربوط به آن را تشخیص داده و نمایش دهد. پنجره زمانی که برای پردازش این الگو استفاده می‌شود، متغیر است. بازه زمانی باید به گونه‌ای انتخاب شود که پردازش و تحلیل را با کمترین پیچیدگی انجام دهد؛ در ضمن بتواند ضخامت قابل توجهی از رسوبات را نیز پوشش دهد. به طوری که بتواند توالی پیرامون یک افق را در برگیرد. ردلرزه‌های مختلفی در موقعیت‌های مختلف چاه جهت انجام پردازش الگوی شکل ردلرزه‌ها جهت ایجاد رخساره‌های مختلف رسوبی انتخاب شده است. می‌توان یک چاه و ردلرزه حول آن را مینا قرار دهیم. اما نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های انجام شده در تمام مناطق دیگر چاه‌ها، باید سازگاری با نقشه رخساره‌های چاه مینا را نشان دهد. بدین معنی که با در نظر گرفتن هریک از چاه‌ها به عنوان چاه مینا، رخساره‌های حاصل شده، نقشه‌های تقریباً مشابهی را نشان دهد.

اگرچه این روش جدید قادر است نقشه‌های رخساره‌ای لرزه‌ای قابل اطمینانی را جهت پردازش الگوها با استفاده از تنها یک ردلرزه ایجاد کند، برای کاهش ابهام می‌توان، نتایج حاصل از پردازش الگوی ردلرزه‌های مختلف به کاررفته را ادغام نمود (رابطه ۳). عبارت زیر برای رفع این نیاز استفاده می‌شود.



شکل ۳. کمی سازی شکل موج ردلرزه؛ اعمال رابطه ضریب همبستگی متقابل (R) بر روی ردلرزه‌ها و مقادیر به دست آمده از مقایسه میزان شباهت شکل موج یک ردلرزه با سه ردلرزه دیگر

تعدادی از ویژگی‌های ساختاری توسعه یافته و به بخش‌هایی تقسیم شده است. این بخش‌ها در مساحت تقریبی ۱۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع گسترش یافته و حاوی بیش از ۱۵ کیلومتر رسوب است. چارچوب زمین‌ساخت-چینه‌ای برای حوضه براوز توسط استروکمایر و همکاران [۱۲] شکل گرفته است. اطلاعات تکمیلی توسط شرکت کونکوفیلیپس^۹ [۱۳] تفسیر و تدوین شده است.

۱.۵. زمین‌شناسی منطقه پوسایدن

گسترش حوضه به شش فاز اصلی تقسیم می‌شود [۱۳]. این مراحل نمایانگر الگویی از گسترش شامل فرونشست حرارتی و وارونگی است که در طول تکامل حوضه دو بار تکرار شده است [۱۴]. سازندهایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند، از حدود پرمین آغاز شده است و تا دوران ژوراسیک

۵. افق جانسون^۶ از داده پوسایدن استرالیا

بررسی‌های لرزه‌نگاری دریایی منطقه پوسایدن استرالیا در حوضه براوز^۷ طی دوره اکتبر ۲۰۰۹ تا مارس ۲۰۱۰ انجام شده است. برداشت‌ها به صورت سه بعدی و منطقه بررسی تقریباً در ۳۵۰ کیلومتری ساحل شمال بروم در استرالیای غربی قرار دارد (شکل ۴). مساحت برداشت ۲۸۲۸ کیلومتر مربع است. هدف اصلی لرزه‌نگاری سه بعدی پوسایدن، تمرکز جمع‌آوری اطلاعات زیرسطحی دریایی در قسمت شمالی آب‌های غربی استرالیا بود، جایی که چشم‌اندازهای بالقوه اکتشافی در سازندهای آن، در برداشت‌های دو بعدی و سه بعدی قبلی به ثبت رسیده بود. حوضه براوز دارای روند شمال شرقی-جنوب غربی است با سن پالئوزوئیک تا سنوزوئیک که به طور کامل در منطقه دریایی تیمر^۸ در سواحل استرالیای غربی واقع شده است. حوضه به وسیله

⁸ Timor Sea

⁹ ConocoPhillips

⁶ Johnson Horizon

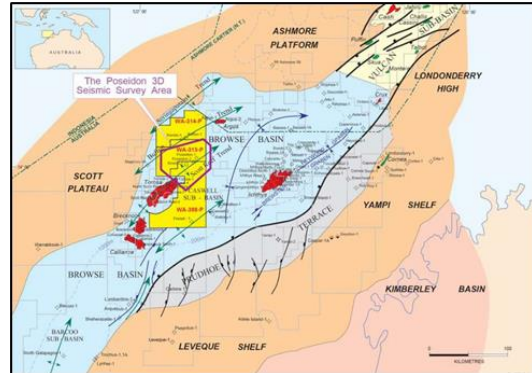
⁷ Browse Basin

پولارد، چالیس و نوم رسوب کردند. با آغاز تجزیه استرالیا از آرگوندا، یک دوره افزایش تکتونیسم در اواخر تریاس آغاز شد. گسلش بلوک با روند جنوب غربی-شمال شرقی غالب و بسیاری از عناصر حوضه امروزی را تولید می‌کند. از جمله یک روند کمانی و روند تاقدیسی اسکات ریف - برکنوک^{۲۲}. رویداد کششی ژوراسیک آغازین تا میانی منجر به گسلش گسترده و مقیاس کوچک و فروپاشی تاقدیسی‌های تریاس شد. گسلش گسترده در قسمت شمال شرقی، حوضه فرعی کاسول^{۲۳} و در امتداد حاشیه خارجی تراس پرودهو را به وجود آورد (استروکمایر و همکاران، ۱۹۹۸). این رویداد همچنین در تعریف عناصر سیستم‌های بالقوه نفتی ژوراسیک و تریاس در حوضه فرعی کاسول بسیار موثر است (بلاوین و همکاران، ۱۹۹۸). در طول این چرخه توسعه حوضه تا ۱/۵ کیلومتر از بخش زیرین حوضه کاسول مرکزی را پوشش می‌دهد. این بخش از ماسه‌های دریایی از یک توالی شامل رسوبات رودخانه‌ای دلتایی و کم عمق انباشته شده، شیل‌ها و سیلت‌ها، با کربنات و آتشفشان‌های جزئی تشکیل شده است که سازند پلوور را تشکیل می‌دهد. این قسمت از حوضه، هدف اکتشاف مخازن اولیه در حوضه براوز است و احتمالاً یکی از منابع اولیه گاز حوضه باشد. قسمت بالای توالی ژوراسیک پایانی توسط مجموعه کف حوضه کم آب بریاسین تعریف شده است. سیستم فن کف حوضه بریاسین، مخزن اولیه برای کشف گاز / میعانات ایچتیس^{۲۴} در حوضه براوز را تشکیل می‌دهد.

۲.۵. افق‌های لرزه‌ای

پوسایدن سه بعدی، مجموعه داده‌های اصلی مورد استفاده در تفسیر این منطقه است. داده‌های دو بعدی در منطقه برای ارتباط (کورولیشن) به چاه‌های اطراف و برای اهداف نقشه برداری منطقه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. ده افق لرزه‌ای در طول شبکه لرزه‌ای سه بعدی وجود دارند. افق‌های تعیین شده

و تریاس ادامه دارد (شکل ۵). سازندهایی مانند، الیور^{۱۰}، هیبرنیا^{۱۱}، جانسون^{۱۲}، پرودهو^{۱۳}، گیسون^{۱۴}، وولاستون^{۱۵}، جمیسون^{۱۶}، پلوور^{۱۷}، اوسپری^{۱۸}، پولارد^{۱۹}، چالیس^{۲۰} و نوم^{۲۱} که به شرح خصوصیات سنگی، زمین‌ساختی و مخزنی این سازندها پرداخته می‌شود.



شکل ۴. نقشه‌های موقعیت مکانی داده‌های لرزه‌ای سه بعدی

پوسایدن [۱۳]

حوضه براوز از زمان کربنیفر پایانی تا اواسط پرمین به عنوان نتیجه‌ای از یک مرحله کششی از شمال غربی استرالیا تشکیل شده است. این منجر به شکل‌گیری یک سری گرابن‌های کششی داخلی می‌شود. پر کردن حوضه اولیه توسط رسوبات دلتایی رودخانه‌ای در کربونیفر فعالیت غالب بوده که به مرور و با درجه بندی به شیل‌های دریایی و سنگ‌های آهکی در پرمین آغازین تبدیل می‌شود. حوضه تحت یک مرحله از فرونشست حرارتی در اواخر پرمین ادامه می‌یابد تا به تریاس می‌رسد. فاز فرونشست پرمین تا تریاس میانی منجر به رسوب شیل، شن و کربنات سازند خلیج هایلند و شیل‌های دریایی سازند ام تی گودوین شده است. فرونشست حاصل از پسروی در دوران تریاس میانه تا پایانی نشانگر ماسه‌های دریایی کم عمق و کربنات‌هایی است که به عنوان بخشی از سازندهای اوسپری،

¹⁸ osprey

¹⁹ pollard

²⁰ challis

²¹ nome

²² Scott Reef – Brecknock

²³ Caswell Sub-basin

²⁴ Ichthys

¹⁰ oliver

¹¹ hibemia

¹² johnson

¹³ prudhoe

¹⁴ gibson

¹⁵ woolaston

¹⁶ jamieson

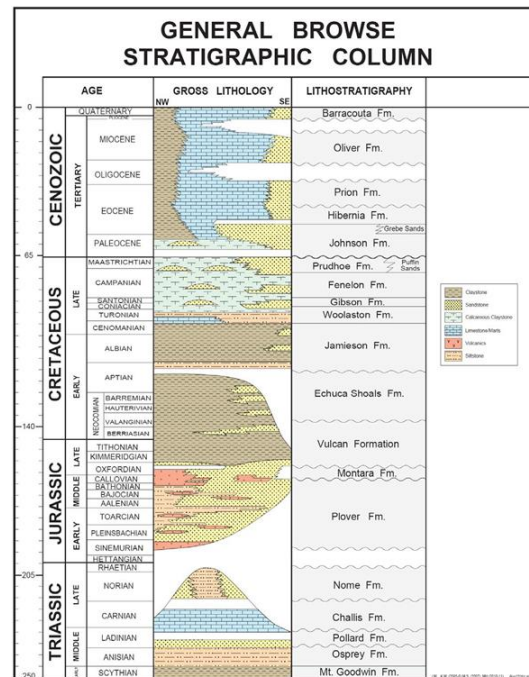
¹⁷ plover

ریف‌های عهد حاضر به دلیل وارونگی لبه‌های صفحه فلات قاره در میوسن، پس از رسوب عضو سنگ آهک تشکیل شده است. این ویژگی مهم توانسته به عنوان مانعی بزرگ با روند شمال شرقی به جنوب غربی، منجر به بالازدگی در قسمت فوقانی سازند الیور شود. این بازه از نظر سنگ‌شناسی توسط کربنات‌های فلات قاره (مارن، کلسیت و...) پر شده است. در خارج از منطقه ریف‌ها، نهشته‌هایی پیش از ریف‌ها وجود دارد که در سازند الیور پیشرفت زیادی به سمت شمال غربی نشان داشته‌اند. این مجموعه به نام سازند جانسون شناخته می‌شود. این سازند تغییرات شدید سطح آب دریا در منطقه را نشان می‌دهد. این تغییرات که شرایط حاکم بر محیط در دوره تشکیل سازند بوده است، شامل تکرار پیشروی و پسروی‌های شدید سطح دریا بوده است. سطح دریا با دوره‌های پیشرفت و تشدید و پسرفت به سمت لبه صفحه حاشیه‌ای حوضه (لبه فلات قاره)، دلیل نمایش چنین سیستمی شده است. موقعیت این صفحه حاشیه‌ای حوضه، دارای روند شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشد که موافق با روند گسلی ژوراسیک است. با حرکت به سمت شمال غربی این سیستم شاهد یک تراکم یا نازک‌شدگی خواهیم بود [۱۲]. سازند جانسون اغلب حاوی شیل و ماسه سنگ است و نشان دهنده تغییر از نهشته‌های کربناتی به نهشته‌های آواری با کلین فرمهای کم‌زاویه است. رسوبات بطور قابل توجهی به سمت شمال غربی نازک می‌شود. پایین سازند جانسون کانال‌هایی وجود دارد و به سازند کولاسه و ولاستون می‌رسد.

۴.۵. چاه‌های موجود در منطقه

در داده‌های لرزه‌ای سه بعدی پوسایدن هشت چاه وجود دارد. چهار عدد چاه به نام‌های پوسایدن^{۳۵} و بوریس^{۳۶} و پروتئوس^{۳۷} و فاروس^{۳۸} (جدول ۱ و شکل ۶) در مکعب سه بعدی لرزه‌ای پیرامون افق جانسون (شکل ۷) بررسی خواهند شد. اطلاعات چاه‌های هدف در این منطقه حاکی از تغییرات

به شرح زیر است: کف آب^{۲۵}، بالای سازند الیور^{۲۶}، بالای عضو سنگ آهک^{۲۷}، نشانگر درون الیگوسن^{۲۸}، بالای عضو سنگ آهک دامپیر^{۲۹}، بالای عضو سنگ هیوود^{۳۰}، بالای سازند جانسون^{۳۱}، بالای سازند ولاستون^{۳۲}، بالای سازند جمیسون^{۳۳}، بالای سازند پلوور^{۳۴}.



شکل ۵. توالی ستون‌های سنگ-چینه‌ای حوضه براوز،

منطقه پوسایدن [۱۳]

۳.۵. افق جانسون

زمان ترشیری در منطقه پوسایدن یک قسمت به ضخامت تقریبی ۳ کیلومتر است. این ضخامت زیر سطحی از سیلت و رس قرار گرفته که به وسیله صخره‌های کربناته و تجمعات آواری و کربناتی احاطه شده‌اند. بخش پلیوسن و میوسن توسط کربنات‌های تجزیه‌ای فلات قاره نشان داده شده است که بر اثر برخورد ورقه تیمور با استرالیا شکل گرفته است.

32 Top Woolaston Formation

33 Top Jamieson Formation

34 Near Top Plover Formation

35 Poseidon2

36 Boreas1

37 Proteus

38 Pharos

25 Water bottom

26 Top Oliver Fm

27 Top Read Limestone Member

28 Intra Oligocene Marker

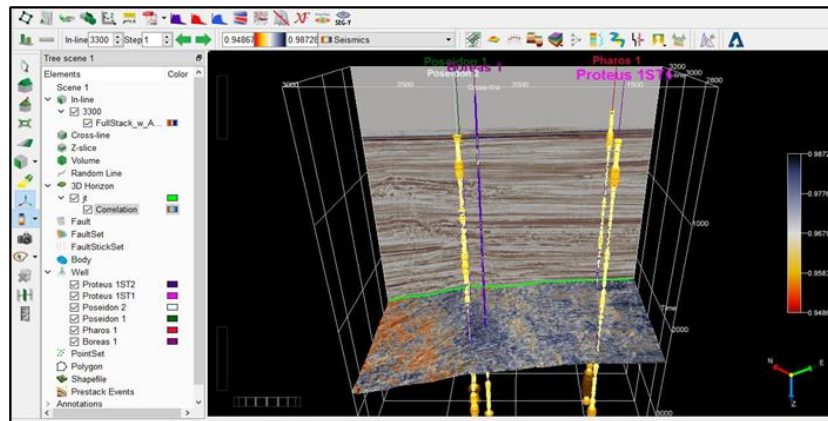
29 Top Dampier Limestone Member

30 Top Heywood Limestone Member

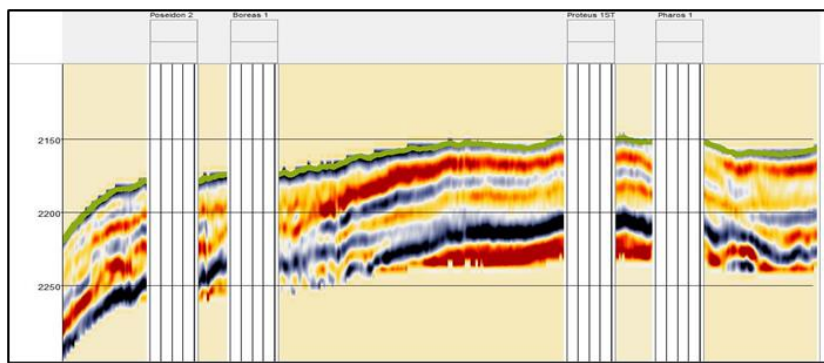
31 Top Johnson Formation

سازند تا انتهای جنوب شرقی ماسه سنگ‌ها افزایش می‌یابند. در طول این سازند با لنزهای ماسه‌ای و رس‌های آغشته به آهک نیز مواجه می‌شویم. برش لرزه‌ای مورد بررسی، از میانه‌های این سازند شروع می‌شود؛ به همین دلیل نهشته‌های رس کمتر بوده و سنگ آهک نهشته‌های غالب شمال غربی خواهند بود. در ادامه با همان روند قبلی، در قسمت جنوب شرقی به نهشته‌های ماسه‌ای می‌رسیم.

تدریجی سنگ‌شناسی از سمت شمال غرب به طرف جنوب شرق است. دانستیم که نهشته‌های دانه ریز، شیل‌ها و ماسه‌های توربیدایت^{۳۹} که با رس سنگ‌های آهکی و دیگر کربنات‌ها در هم آمیخته‌اند، بر شرایط محیطی سازند جانسون حاکم هستند. در طول این سازند سه تغییر عمده سنگی را داریم. محدوده شمال غرب سازند جانسون با رسوبات رس و کربنات‌ها به ویژه سنگ آهک شروع می‌شود. در ادامه تغییرات، سنگ آهک بر محیط غالب می‌شود. از میانه این



شکل ۶. افق جانسون و چاه‌های پیرامونی



شکل ۷. پنجره انتخابی پایین افق جانسون و چاه‌های درون آن

حاضر در افق جانسون، تغییرات زمین‌شناسی این سازند را تا حدودی در این منطقه تأیید می‌کند. چاه فاروس در قسمت شرقی از کلسیلوتایت^{۴۰} تیره با اندازه ذرات متوسط، گلوکونایت^{۴۱} دانه‌ریز فراوان و مارن‌های آهکی تیره و روشن

نگارهای به دست آمده از چاه‌های منطقه، حاکی از وجود نهشته‌های متنوع آهکی، رسی و مقدار کمتر ماسه‌ای است. نهشته‌های موجود، در رنگ، اندازه ذرات، وجود مواد آلی و... متفاوت هستند. نتایج حاصل از نگارهای مختلف در چاه‌های

⁴¹ Glauconite

³⁹ Turbidite

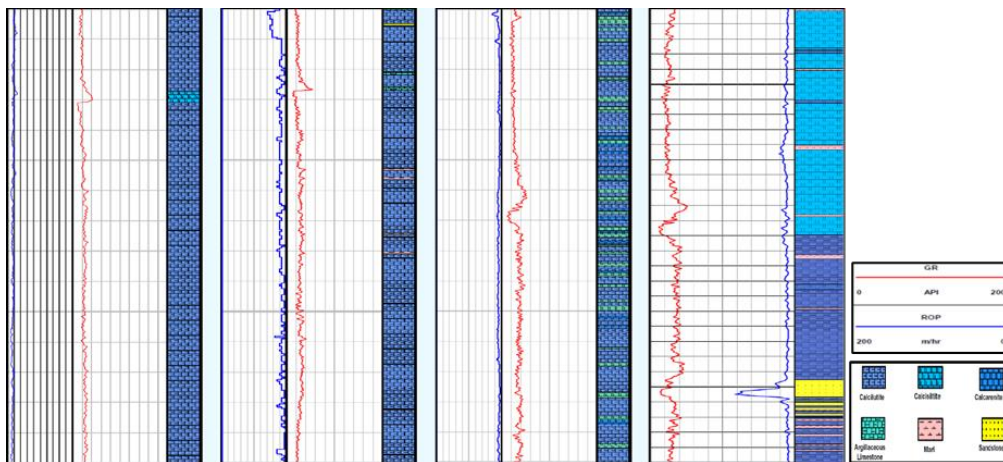
⁴⁰ Calcilutite

سنگ آهک ریزدانه تا متوسط‌دانه فراوان است که کلسیلوتایت روشن نیز در آن یافت می‌شود (شکل ۸).

جدول ۱) موقعیت چاه‌های انتخابی در محدوده داده لرزه‌ای پوسایدن

Well	Inline	Crossline
Poseidon2	2855	2280
Boreas1	2992	2200
Pharos	3253	1400
Proteus	2768	1485

تشکیل شده است. چرت‌ها و ماسه‌های ریزدانه سیمانی شده از نهشته‌های دیگر این چاه در قسمت سازند جانسون است. در چاه پروتئوس، مارن‌های آهکی تیره و روشن دانه‌متوسط همراه با گلوکونایت فراوان وجود دارد. کلسیروایت^{۴۲} روشن سیمانی شده از دیگر نهشته‌ها است. ضمن اینکه آثاری از ماسه و چرت نیز دیده می‌شود. در چاه بوریس مارن‌های آهکی روشن همراه با میکرایت^{۴۳} در این بخش از سازند جانسون فراوانند. گلوکونایت با دانه‌بندی خوب و چرت‌ها در این منطقه به ندرت یافت می‌شوند. پوسایدن ۲ نیز عمدتاً دارای



شکل ۸. توالی رسوبی به دست آمده از نگارهای الکتریکی در محل چاه‌ها [۱۳]

کمی رخساره‌های لرزه‌ای است که ضریب همبستگی (R) را بر حسب اینلاین و کراس لاین نمایش می‌دهد. در هر کدام از شکل‌ها، یکی از چاه‌ها به عنوان مبنا در نظر گرفته شده و متعاقب آن ردلرزه موجود در محل آن چاه ردلرزه اصلی خواهد بود. تغییرات رخساره‌ای (لرزه‌ای) در تمام شکل‌ها یک روند کلی مشابه را نشان می‌دهد. تعداد ردلرزه‌های استخراجی از پنجره جانسون ۸۴۲۰۰۱ مورد است. بیست نمونه (سمپل) برای هر ردلرزه در نظر گرفته شده است تا شکل هر دلرزه در عمق پنجره به خوبی مشخص شود. در نتیجه با استفاده از مقادیر دامنه در راستای افزایش زمان، شکل موج هر ردلرزه را برای ما مشخص می‌کند. تا اینجا پیداست که نشانگر شکل موج که یک نشانگر دوگانه از ترکیب دامنه و فرکانس می‌باشد، برای ردلرزه‌های کل مجموعه استخراج شده است. با استفاده

۶- تحلیل کمی رخساره‌های لرزه‌ای در پنجره افق جانسون

داده‌های سه بعدی پوسایدن در نرم افزار *OpendTect* فاقد افق از پیش تشکیل شده هستند. لذا ابتدا باید به تشکیل و ترسیم افق جانسون در این داده‌ها پرداخت. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان به ساخت یک افق جدید اقدام کرد (شکل ۶). افق جانسون در گزارش‌های مختلف زمان سنجی و ترسیم شده است. به کمک این محدوده زمانی تشکیل این افق انجام می‌گیرد.

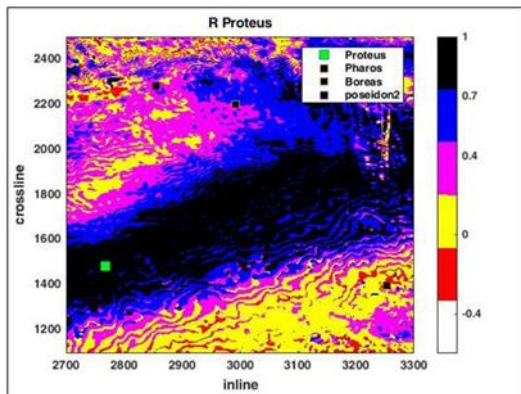
بعد از ساخت افق جانسون، پردازش‌های مربوط به ساخت پنجره متصل به افق را ادامه می‌دهیم. خروجی حاوی داده‌های *SEG Y* است که اطلاعات دامنه و فرکانس ردلرزه‌ها در پنجره افق جانسون را با خود به همراه دارد. شکل (۹) نتایج تحلیل

⁴³ Micrite

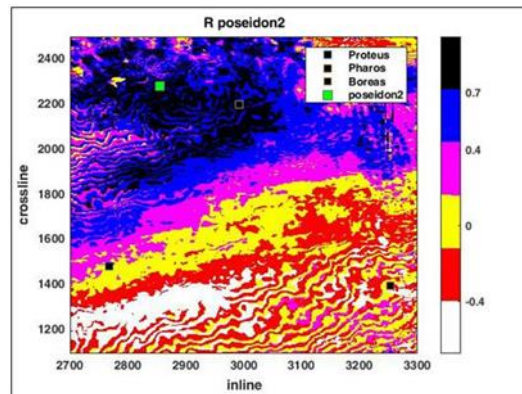
⁴² Calcirudite

متفاوتی را به این مقادیر اختصاص می‌دهیم. یعنی نقشه ضرایب همبستگی به دست آمده را، با رخساره‌های لرزه‌ای متفاوت مرتبط دانستیم. در نهایت ایجاد ارتباط بین رخساره‌های لرزه‌ای در اطراف چاه با رخساره رسوبی موجود، با قطعیت بیشتری صورت می‌گیرد. اما می‌توان تغییر تدریجی نهشته‌ها و رخساره‌های رسوبی را بررسی نمود و با تغییرات رخساره‌های لرزه‌ای مقایسه کرد.

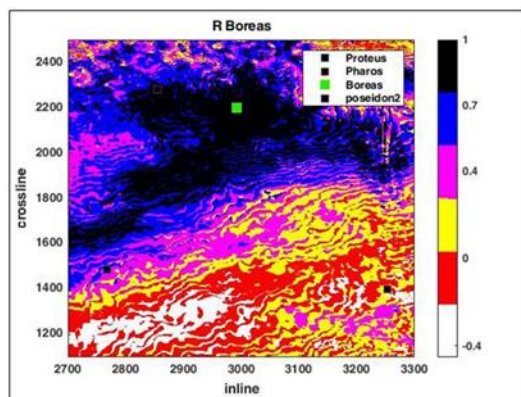
از رابطه ضریب همبستگی متقابل میزان شباهت هر یک از این ردلرزه‌ها با یک ردلرزه مینا مقایسه می‌شود. ردلرزه‌های مینا از محل چاه‌ها استخراج می‌شوند. در نتیجه پیرامون چاه‌ها به تعیین رخساره‌های لرزه‌ای پرداخته می‌شود. برای هر اینلاین و کراس لاین یک کمیت به نام ضریب همبستگی به دست می‌آید که مقداری بین ۱- تا ۱ را شامل می‌شود. بر اساس مقادیر متفاوت ضرایب به دست آمده، رخساره‌های لرزه‌ای



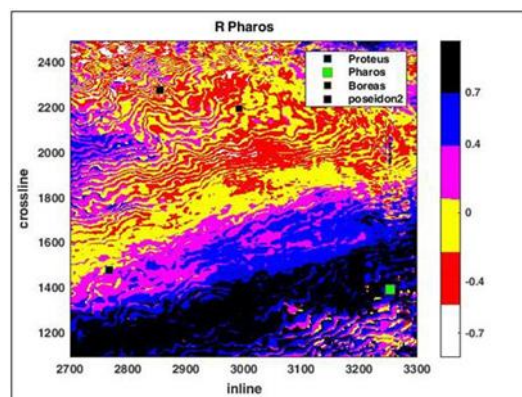
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

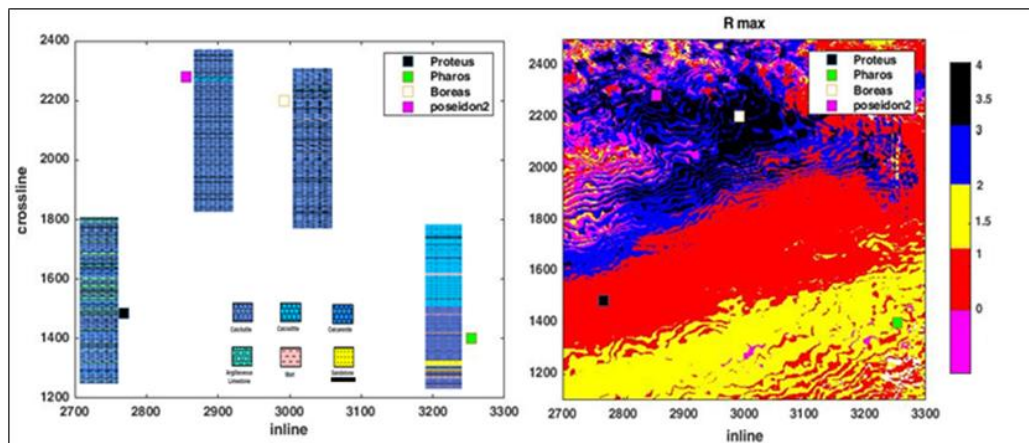
شکل ۹. نقشه ضرایب همبستگی؛ بر مبنای ردلرزه معلم در چاه الف (پوسایدن ۲، ب) پروتئوس، ج) فاروس و د) بوریس

و نزدیک به هم است. پس شاهد یک نوع رخساره لرزه‌ای و یک نوع رخساره رسوبی پیرامون این دو چاه هستیم. اما در قسمت جنوب شرقی و نزدیک به چاه‌های پروتئوس و فاروس (اینلاین و کراس لاین پایین) شاهد رخساره لرزه‌ای متفاوتی نسبت به مناطق شمال غربی هستیم. شاید بتوان دلیلی بر تفاوت رخساره رسوبی در این قسمت بیان کرد و آن هم افزایش مقدار ماسه سنگ‌ها با دور شدن

با مطالعه نتایج نگاره‌های چاه‌های منطقه و اطلاعات زمین‌شناسی، می‌توان تا حدودی تغییرات رسوبی را همگام با تغییرات لرزه‌ای در پنجره افق جانسون نشان داد. بدین گونه که سنگ‌شناسی غالب قسمت شمال غربی، سنگ آهک یا سنگ آهک همراه با نهشته‌های رسی است. این قسمت یعنی بخش شمال غربی جایی است که چاه‌های پوسایدن ۲ و بوریس در آن قرار دارد. رخساره لرزه‌ای اطراف این دو چاه نیز مشابه

همچنین بر اساس رابطه (۳) پنج کدرخساره برای این محدوده استخراج شده است. نقشه این کدرخساره‌ها در شکل (۱۰) و ویژگی‌های این کدرخساره‌ها در جدول (۲) مشاهده می‌شود. با توجه به شکل (۱۰) تغییر کلی نهشته‌ها از جنوب شرق (چاه‌های فاروس و پروتئوس) به شمال غرب (چاه‌های پوسایدن ۲ و بوریس) نمایان است که با همین روند، تغییر در رخساره‌های لرزه‌ای رخ می‌دهد.

از قسمت شمال غربی و نزدیک شدن به قسمت جنوب شرقی است. در انتهای جنوب شرقی یعنی پیرامون چاه فاروس، بیشترین میزان ماسه را وجود دارد که رخساره لرزه‌ای این محدوده نیز، تأیید کننده این تغییر می‌باشد. اما در کل تفکیک بین رخساره‌های رسوبی پیرامون این افق و به خصوص در مناطقی دور از چاه‌ها کار آسانی نخواهد بود. زیرا جنس و اندازه ذرات در این منطقه بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و سنگ آهک در این قسمت بیشترین میزان را دارد.



شکل ۱۰. بیشترین مقدار ضریب همبستگی برای هر ردلرزه استخراج شده از پنجره چاه‌های افق جانسون و مقایسه با توالی رسوبی در آن پنجره، بر اساس رابطه شماره (۳)

جدول ۲. ویژگی‌های لرزه‌ای و رسوبی کدرخساره‌ها

کدرخساره	توصیف ویژگی‌های رسوبی، لرزه‌ای و مخزنی
۱	این کدرخساره مقادیر بسیار کمی از منطقه را در بر می‌گیرد و در اطراف هیچکدام از چاه‌های موجود مشاهده نمی‌شود. لذا اطلاعات مناسبی از وضعیت رسوبی و لرزه‌ای آن استخراج نمی‌گردد.
۲	در انتهای جنوب شرقی یعنی پیرامون چاه فاروس، بیشترین میزان ماسه وجود دارد که رخساره لرزه‌ای این محدوده نیز، تأیید کننده این تغییر می‌باشد قسمت‌هایی از این محدوده شامل مقادیر بالایی از سنگ آهک بدون وجود کلسیلوتایت می‌باشد اما در نواحی عمیق‌تر کماکان شاهد حضور کلسیلوتایت هستیم. کیفیت مخزنی این کدرخساره از بقیه کدرخساره‌ها بالاتر می‌باشد وجود مقادیر بالایی از ماسه‌سنگ‌ها تأیید کننده این موضوع است.
۳	در اینلاین و کراس لاین پایین‌تر، خصوصیات لرزه‌ای و رسوبی متفاوتی را می‌بینیم. رخساره لرزه‌ای با بازتاب‌های واضحی را مشاهده می‌کنیم. از لحاظ رسوب‌شناسی افزایش مقدار ماسه سنگ‌ها با دور از قسمت شمال غربی و نزدیک شدن به قسمت جنوب شرقی نمایان است. همچنین در این قسمت آرژیلیت و سنگ آهک جایگزین کلسیلوتایت‌های سابق شده‌اند.
۴	این قسمت یعنی بخش شمال-شمال غربی جایی است که چاه بوریس در آن قرار دارد. رخساره لرزه‌ای اطراف این چاه نیز مشابه و نزدیک به منطقه چاه پوسایدن ۲ است. همچنین شاهد رخساره لرزه‌ای خواهیم بود که اندک تفاوتی با رخساره کد ۴ دارد. رخساره رسوبی این محدوده دارای سنگ‌شناسی کلسیلوتایت به اضافه میان لایه‌هایی از مارن و سنگ آهک می‌باشد.
۵	این کدرخساره‌ای خصوصیات لرزه‌ای مشابه با ردلرزه‌های حول چاه پوسایدن ۲ را دارا می‌باشد از دید رسوب‌شناسی، سنگ آهک کلسیلوتایت نهشته‌های غالب این محدوده است.

Worth Basin, North-central Texas. SEG Int'l Exposition. 74: 10-15.

[2] Nivlet, P. (2007). Uncertainties in seismic facies analysis for reservoir characterisation or monitoring: causes and consequences. Oil & Gas Science and Technology. 225-235.

[3] Chopra, S., & Marfurt, K. (2007). Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization. SEG. 11. 2-13.

[4] Avseth, P., Mukerji, T., & Mavko, G. (2005). Quantitative seismic interpretation, Cambridge university press. 70-122, 162-180.

[5] Yuan, C., Li, J., Chen, X., & Rao, Y. (2016) Quantitative uncertainty evaluation of seismic facies classification: A case study from northeast China, Geophysics, v. 81.

[6] Zhao, T., Jayaram, V., Roy, A., & Marfurt, K. (2015). A comparison of classification techniques for seismic facies recognition, Interpretation, v. 3, No. 4.

[7] Hadiloo, S., Hashemi, H., Mirzaei, S., & Beiranvand, B. (2017). SeisART software: seismic facies analysis by contributing interpreter and computer, Arabian Journal of Geosciences, v.10, p.1-9.

[8] Nanda, N. C. (2016). Seismic data interpretation and evaluation for hydrocarbon exploration and production. Springer.

[9] Simm, R., & Bacon, M. (2014). Seismic Amplitude. Cambridge university press. 83-116

[10] Barnes, A. (2016). Handbook of Poststack Seismic Attributes. SEG. 21. 128-132.

[11] Brown, A. (2011). Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. Seventh Edition. AAPG. Me. 42 and SEG. 9.

[12] Struckmeyer, H.I.M. (1998). Structural Evolution of the Browse Basin. North West Shelf. New Concepts from Deep-seismic Data. In PURCELL. P.G. & R.R.

[13] ConocoPhillips. (2012). Poseidon 3D Marine Surface Seismic Survey. Interpretation Report. Browse Basin. Western Australia. WA-315-P & WA-398-P.

[14] Blevin, J.E., Struckmeyer, H.I.M., Cathro, D.L., Totterdell, J.M., Boreham, C.J., Romine, K.K., Loutit T.S., & Sayers, J. (1998). Tectonostratigraphic Framework and Petroleum Systems of the Browse Basin. North West Shelf. In PURCELL P.G. & R.R.

۷. نتیجه‌گیری

تحلیل و تفسیر داده‌های لرزه‌ای می‌تواند به شکل ابزار کمکی، دستیابی به خصوصیات پتروفیزیکی یک سکانس نازک به خصوص مخازن را فراهم کند. افزون بر روش‌های تحلیلی نظارتی، غیرنظارتی و شبه نظارتی، دسته‌بندی دیگری از تحلیل داده‌های لرزه‌ای با عنوان تحلیل کمی و کیفی ارائه شد. در استفاده از نشانگر شکل موج می‌توان از هر دو روش تحلیل کمی و کیفی بهره برد. روش کیفی نیاز به ایجاد الگوی شکل موج دارد. ضعف روش کیفی بروز برخی تغییرات در پارامترهای ایجاد الگو و تصمیم‌های مفسر است که می‌تواند منجر به تغییر در الگوها شده و در نتیجه مرزهای رخساره‌ها را به اشتباه جابجا کند. این نقطه ضعف در روش کمی وجود ندارد. زیرا به صورت پیوسته و نقطه به نقطه (برای هر اینلاین و کراس لاین متناظر) مقداری عددی وجود دارد و مرزهای دقیقی شکل می‌گیرند. اما این روش به تنهایی نشان‌دهنده پدیده خاص زمین‌شناسی نخواهد بود. می‌توان به کمک داده‌های چاه و ردلرزه منطبق بر آن (ردلرزه معلم)، به الگوهای معتبری از زمین‌شناسی منطقه دست یافت.

در روش تحلیل کمی از یک ضریب همبستگی متقابل استفاده شد. به طور کلی مقادیر ضریب همبستگی یکسان که انسجام و پیوستگی خوبی داشتند، رخساره‌های لرزه‌ای مشابهی را نشان دادند اما ممکن است نمایانگر رخساره‌های رسوبی یکسانی نباشند. اختصاص ضرایب همبستگی یکسان به عنوان رخساره‌های رسوبی مشابه، به اعتماد و تکیه ما بر دانش و درک زمین‌شناسی بستگی دارد. مشابه هر خروجی ژئوفیزیکی، باید مفاهیم رسوبی توسط اطلاعات زمین‌شناسی و چاه تعریف یا تأیید شود. این موضوع در رخساره‌های رسوبی نازک و نزدیک به یکدیگر پیچیده‌تر می‌شود. برای تشخیص رخساره‌های رسوبی ظریف می‌توان از روش دسته‌بندی ردلرزه بر اساس شبکه عصبی نیز کمک گرفت و به مقایسه نتایج حاصل از این روش‌ها پرداخت. پیشنهاد دیگر، به کارگیری هر دو روش تحلیل کمی و تحلیل کیفی رخساره‌ها با استفاده از نشانگر شکل موج است.

۸. مراجع

[1] Xie, D., Wood, J., & Pennington, W. (2004). Quantitative seismic facies analysis for thin-bed reservoirs, a case study of the central Boonsville, Fort