



مقاله پژوهشی

تعیین موقعیت حلقه نفتی در مخازن با نفت رانده شده به جوانب، با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و نگارهای پتروفیزیکی - مطالعه موردی در یکی از میادین نفتی جنوب ایران

کریم خرسندپور<sup>۱</sup>؛ علی میثاقی<sup>۱\*</sup>؛ محسن سید علی<sup>۲</sup>  
۱- گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی  
۲- اداره ژئوفیزیک، شرکت نفت فلات قاره ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹  
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/jpg.2024.464663.1236

چکیده

معمولاً در ساختارهای تاقدیسی که وجود هیدروکربن آنها اثبات شده است، گاز و نفت به صورت جانبی در کنار یکدیگر می‌باشند که به دلیل تفاوت در چگالی، لایه گازی در قسمت بالایی (قله) و سیال نفت در لایه زیرین ساختار تاقدیسی قرار می‌گیرد. حفاری در نقاطی انجام می‌شود که بیشترین ارتفاع ستون نفت را شامل شود و معمولاً این نقاط در راس ساختار می‌باشند. ولی در برخی موارد خاص دیده شده است که ستون نفت در یال‌های ساختار تاقدیسی در کنار لایه گازی در قسمت بالایی قرار دارد، اما به دلیل این که حفاری در مرکز این ساختار صورت گرفته و چاه با عبور از لایه گاز وارد لایه زیرین شده است، نفت موجود در یال‌های ساختار بدون استخراج در مکان خود باقی مانده است. در این پدیده نفت به شکل حلقه (*Doughnut*) در مخزن شکل می‌گیرد و بنظر می‌رسد که توسط کلاهک گازی و سایر شرایط ترمودینامیکی مخزن ستون نفت از مراکز به جوانب رانده شده است. این شرایط تأثیر عمیقی در تشخیص و میزان نفت در جای مخزن ایجاد می‌نماید که حلقه نفتی (*Oil Ring*) نامیده می‌شود. در این پژوهش به کمک نگارهای چاه پیمائی و داده‌های لرزه‌ای، حلقه نفتی به جامانده از میدان نفتی ابوذر در افق مخزن آسماری فوقانی با استفاده از تحلیل تغییرات دامنه بر حسب دورافت تعیین و همچنین رفتار و مرز سیالات تشکیل دهنده مخزن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از نتایج مدل سازی مستقیم می‌توان برای ترسیم منحنی‌های *AVO* و تعیین کلاس بندی ناهنجاری‌های *AVO* استفاده کرد. با وارونسازی پیش از برانبارش، استفاده از نشانگرهای مختلف *AVO* و پارامترهای لامه، نوع سیال و سنگ شناسی افق بالای مخزن غار (افق آسماری فوقانی) قابل شناسایی خواهد بود. نتایج بدست آمده حاکی از وجود سیال نفتی در همسایگی گاز در افق آسماری فوقانی بصورت حلقه نفتی به جا مانده است که ارزش اقتصادی آن میلیون‌ها دلار است.

واژگان کلیدی

تغییرات دامنه بازتاب در مقابل دورافت، وارونسازی پیش از برانبارش، تحلیل *AVO*، نشانگرهای *AVO*، پارامترهای لامه

۱. مقدمه

به جای کاربرد کیفی این نوع اطلاعات در مراحل اکتشاف تا تولید، روش‌های کمی تفسیر داده‌های لرزه‌ای به تدریج جای خود را در صنعت بالادستی نفت پیدا کرده است. قدرت تفکیک بالای داده‌ها، هزینه کمتر نسبت به حفاری و نمونه گیری پیوسته، این روش را به یک قسمت ضروری در اکتشاف نفت و گاز تبدیل ساخته است. یکی از مهم‌ترین روش‌های کیفی، بررسی نحوه تغییر ضرائب بازتاب امواج لرزه‌ای بر حسب تغییر دورافت گیرنده و چشمه است. این روش با استفاده از داده‌های پیش از برانبارش، وجود

از سال ۱۹۳۰ روش بازتاب لرزه‌ای در بررسی مخازن هیدروکربنی مورد استفاده بوده است. در روش بازتاب لرزه‌ای با ثبت موج کشسان حاصل از بازتاب از سطوح با مقاومت لرزه‌ای متفاوت، مطالعه ساختارهای درونی زمین انجام می‌شود. ژئوفیزیک اکتشافی، در مقیاس وسیع علم شناخت ناهنجاری‌ها (آنومالی‌ها) است و بیشترین مقدار هیدروکربن‌های شناخته شده در ۵۰ سال گذشته توسط آنومالی‌های شناخته شده در علم ژئوفیزیک کشف شده‌اند.

فرستنده و گیرنده بدست می‌آیند. این روش که تحت عنوان تغییرات دامنه با دور افت معروف می‌باشد، در ابتدا توسط استراندر<sup>۱</sup> (۱۹۸۴) ارائه شد [۱]. او نشان داد که حضور گاز در ماسه‌سنگ احاطه شده توسط شیل بدلیل تغییر نسبت پواسون موجب تغییر قابل ملاحظه دامنه موج بازتابیده لرزه‌ای در داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش می‌گردد. به تدریج  $AVO$  به عنوان ابزاری در پیش بینی دقیق‌تر خصوصیات سنگ‌شناسی و سیالات مخزنی معرفی شد. استراندر (۱۹۸۴)، فتی<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۴) [۲]، آلن و پدی<sup>۳</sup> (۱۹۹۲) [۳] چگونگی استفاده از  $AVO$  در شناسایی هیدروکربن را نشان دادند. ورم و هیلترمن<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) [۴]، گودوی<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۷) [۵] و آوست<sup>۶</sup> (۲۰۰۰) [۶] از آن در تشخیص سنگ‌شناسی و میزان تخلخل سنگ های آواری استفاده کردند. لی<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۳) [۷] کاربرد  $AVO$  را در اکتشاف کربنات ها شرح دادند. همچنین از آنجا که  $AVO$  قادر به پیش بینی فشار منفذی است می‌تواند در طرح‌ریزی برنامه‌های حفاری مورد استفاده قرار گیرد (کارسیون و گانگی<sup>۸</sup>، ۲۰۰۰) [۸].

تحلیل پتروفیزیکی و  $AVO$  مرسوم، به بررسی تغییرات غیرمعمول سرعت موج تراکمی ( $Vp$ ) و سرعت موج برشی ( $Vs$ ) به منظور تعیین تغییرات نوع سیال و همچنین خصوصیات سنگ‌شناسی می‌پردازد (گسمن<sup>۹</sup>، ۱۹۵۱ [۹]؛ تاتام<sup>۱۰</sup>، ۱۹۸۲ [۱۰]؛ کاستاگنا<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۳ [۱۱]). روش های تحلیلی دیگر از اندازه‌گیری های لرزه‌ای به منظور تعیین ضرایب بازتاب موج تراکمی و ضریب بازتاب موج برشی [۲] یا تعیین مقدار [۱] استفاده می‌کند. با در نظر گرفتن شرایط مرزی (پیوستگی جابه‌جایی ذره و تنش در یک سطح بازتابنده) به کمک معادلات زوپریتس<sup>۱۲</sup> (۱۹۱۹) [۱۲] و نات<sup>۱۴</sup> (۱۸۹۹) [۱۳] دامنه موج بازتاب و دامنه موج عبوری حاصل از برخورد موج تراکمی به یک بازتابنده تخت و در نهایت چگالی و سرعت لرزه‌ای بدست می‌آید. از نشانگرهای  $AVO$

هیدروکربن در مخزن را مشخص می‌کند و می‌تواند به عنوان نشانگر مستقیم هیدروکربنی در سنگ های آواری استفاده شود.

با توجه به خصوصیات مختلف امواج تراکمی و برشی و اثرات متفاوت خصوصیات کشسان زمین بر روی این امواج، نیاز به اطلاع از رفتار و تغییرات موج برشی علاوه بر موج تراکمی به منظور مطالعات کمی و کسب اطلاعاتی در مورد سیالات مختلف و جنس مواد تشکیل دهنده سنگ احساس می‌شود. در سال های اخیر به کمک گیرنده‌های چند مؤلفه‌ای اقدام به برداشت موج برشی شده است، که البته از معایب این کار هزینه بالای برداشت و پردازش این اطلاعات می‌باشد. بنابراین سعی می‌شود که با توجه به اطلاعات لرزه‌ای معمول به استخراج موج برشی پرداخته شود. بررسی تغییرات دامنه موج تراکمی با تغییر دورافت بین چشمه و گیرنده می‌تواند اطلاعاتی در مورد تغییرات موج برشی در بازتابنده فراهم آورد. هنگامی که موج تراکمی به صورت عمود (زاویه تابش صفر) به بازتابنده برخورد کند امواج برشی بازتابی و عبوری تشکیل نمی‌شود ولی در صورتی که موج با زاویه تابش غیر صفر به بازتابنده برخورد نماید علاوه بر امواج تراکمی عبوری و بازتابی، امواج برشی عبوری و بازتابی نیز با رعایت قانون اسنل تشکیل می‌شود. با آگاهی از این مورد می‌توان به کمک موج تراکمی، خواص موج برشی را نیز به منظور انجام مطالعات کمی بدست آورد.

در مطالعات کمی لرزه‌ای که به منظور تخمین خصوصیات مخزن از جمله ضخامت، نوع سنگ‌شناسی، نوع سیالات مخزنی و درجه اشباع آنها، مقدار تخلخل و سایر خصوصیات مورد نیاز می‌پردازد، نشانگرهای زیادی وجود دارند. نشانگرهای لرزه‌ای به دو گروه عمده نشانگرهای لرزه‌ای پیش از برانبارش و بعد از برانبارش تقسیم می‌شوند. یک دسته از نشانگرهای پیش از برانبارش آنها می‌باشند که با توجه به تغییرات دامنه و فاز بازتاب های لرزه‌ای با توجه به فاصله

Li<sup>۸</sup>  
Carcione & Gangi<sup>۹</sup>  
Gassmann<sup>۱۰</sup>  
Tatham<sup>۱۱</sup>  
Castagna<sup>۱۲</sup>  
Zoeppritz<sup>۱۳</sup>  
Knott<sup>۱۴</sup>

Strander<sup>۱</sup>  
Amplitude Versus Offset<sup>۲</sup>  
Fatti<sup>۳</sup>  
Allen and Paddy<sup>۴</sup>  
Verm and Hilterman<sup>۵</sup>  
Goodway<sup>۶</sup>  
Awest<sup>۷</sup>

نشانگرهای  $AVO$  در تفکیک خصوصیات زمین‌شناسی و تعیین ماهیت سیال کاربرد دارند. نشانگرهای  $AVO$  می‌توانند به- عنوان نشانگرهای مستقیم هیدروکربن استفاده شوند.

برای وارون سازی داده های لرزه ای و رسیدن به مدل زمین، روش های مختلفی وجود دارد؛ که هر روش این مدل را از منظر خاصی مورد بررسی قرار می دهد. با اینکه هر روش جزییات جداگانه ای دارد، ولی به صورت کلی وارون سازی لرزه ای به دو دسته روش های وارون سازی لرزه ای پیش از برانبارش و پس از برانبارش تقسیم بندی شده است. در این مقاله از روش وارون سازی پیش از برانبارش استفاده شده است. از طرفی وارون سازی لرزه ای پیش از برانبارش با نام وارون سازی همزمان نیز خوانده می شود. زیرا دو یا چند حجم از پارامترهای پتروفیزیکی به طور همزمان تولید می شوند. الگوریتم وارون سازی همزمان با اختصاص دادن مجموعه ای از رد لرزه ها در محدوده های زاویه ای یکسان و موجکهای برای هر محدوده، مدل هایی برای مقاومت تراکمی، مقاومت صوتی برشی و چگالی تولید می کند.

تلفیق این مدل ها با اطلاعات زمین شناسی و داده های چاه برای شناسایی رخساره های مخزنی مورد استفاده قرار می گیرند. چپرا<sup>۲۵</sup> و کاستانا،<sup>۲۰۱۴</sup> [۲۶] فرآیند دو مرحله ای تخمین ضریب بازتاب با وارون سازی بر مبنای مدل، در این نوع وارون سازی با استخراج مستقیم و همزمان مقاومت صوتی تراکمی، مقاومت صوتی برشی و چگالی به یک مرحله تبدیل می شود [۲۷].

مناطق جنوب غرب کشور دارای مهم ترین ذخایر هیدروکربنی جهان می باشند، مطالعه بیشتر این مخازن و اکتشاف دقیق تر با روش های نوین از اهمیت بالایی برخوردار است. شناخت خصوصیات مخزنی و ویژگی های پتروفیزیکی مخزن یا به- عبارتی ساخت مدل هر یک از پارامترهای مخزنی می تواند به تصمیمات بعدی نظیر تعیین موقعیت محل حفاری چاه های تولیدی و تزریقی و به دست آوردن مدل دینامیکی مخزنی کمک بسیاری نماید. هدف از این پژوهش

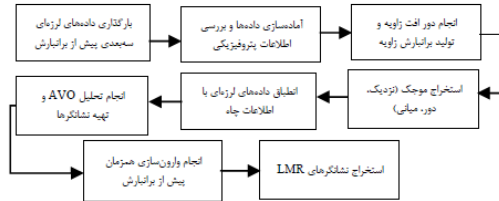
می توان به شیب  $AVO$ ، عرض از مبدأ  $AVO$  و یا ترکیبات آنها، و نیز مطالعه همزمان نشانگرهای مختلف تحت عنوان روش ترسیم متقاطع (کاستاگنا و اسمیت<sup>۱۵</sup>، ۱۹۹۴ [۱۶]؛ فوستر<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۱۹۹۳ [۱۵] و کاستاگنا و سوان<sup>۱۷</sup>، ۱۹۹۷ [۱۶])، همچنین برانبارش های جزئی (برانبارش نزدیک و دور) اشاره کرد. وارون سازی  $AVO$  نیز می تواند با استخراج ضرایب لانه و همچنین محاسبه مقاومت کشسان بینش جدیدی را در کسب خصوصیات سنگ شناسی و مخزنی مناطق هیدروکربنی ارائه دهد. چگونگی استخراج پارامترهای لانه توسط گودوی و همکاران (۱۹۹۷) عنوان گردید. آنها نشان دادند که رفتار مستقل از نوع سیال منفذی بوده در حالیکه نسبت به تغییر سیال حساسیت بالایی دارد. مطالعات ضریب کشسان توسط گودوی (۲۰۰۱) [۱۷]، بوریانیک<sup>۱۸</sup> (۲۰۰۰) [۱۸]، دافورد<sup>۱۹</sup> و همکاران (۲۰۰۲) [۱۹]، لی و همکاران (۲۰۰۳)، گودوی و همکاران (۲۰۰۶) [۲۰] ادامه یافت. مفهوم مقاومت کشسان ( $EI$ ) در تفسیر و تحلیل سنگ شناسی بسیار مورد استفاده است (ساویک<sup>۲۰</sup> و همکاران، ۲۰۰۰ [۲۱] و مالیک<sup>۲۱</sup>، ۲۰۰۱ [۲۲]). کونولی<sup>۲۲</sup> (۱۹۹۹) [۲۳] رابطه بین سرعت امواج تراکمی و برشی و چگالی را با مقاومت کشسان فرمول بندی کرد. بعنوان مثال مطالعات نشان می دهد که لایه های حاوی گاز مقدار  $EI$  نسبتاً پایینی دارند که مقدار آن با زاویه فرود تغییر می کند (شائومینگ لو و مک مکان<sup>۲۳</sup>، ۲۰۰۴ [۲۴]).

البته در طی انجام تحلیل  $AVO$  فرض بر این است که زمین از یک سری لایه های همگن و همسانگرد افقی تشکیل شده است. از آنجا که تنها بازتاب موج تراکمی در نظر گرفته می شود، کاهش انرژی ناشی از انتشار موج، موج های تبدیل شده و چندگانه ها نیز باید در طی مراحل پردازش اصلاح گردد. هر چه بازتابنده مورد نظر کم عمق تر باشد، محدوده زاویه تابش وسیع تر می گردد. از این رو نشانگرهای  $AVO$  برای بازتابنده های کم عمق تر کارآمدتر هستند (ایلماز<sup>۲۴</sup>، ۲۰۰۱) [۲۵].

Mallick<sup>۲۱</sup>  
Connolly<sup>۲۲</sup>  
Lu, S., & McMechan<sup>۲۳</sup>  
Yilmaz<sup>۲۴</sup>  
Chopra<sup>۲۵</sup>

Smith<sup>۱۵</sup>  
Foster<sup>۱۶</sup>  
Swan<sup>۱۷</sup>  
Burianyk<sup>۱۸</sup>  
Dufford<sup>۱۹</sup>  
Savic<sup>۲۰</sup>

در تشخیص سیال در افق بالای مخزن غار و بدست آوردن ضریب همبستگی بالا انجام می شود (شکل ۱).



شکل ۱. مراحل انجام کار در این مطالعه

### ۱.۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در این مقاله، میدان ابوذریه می‌باشد. میدان ابوذریه (اردشیر) در شمال غرب خلیج فارس در فاصله ۷۶ کیلومتری غرب جزیره خارک واقع شده و موقعیت جغرافیایی آن در شکل (۲) نمایش داده شده است. منشأ هیدروکربن در این میدان متعلق به سازند ماسه سنگی غار با سن الیگومیوسن می‌باشد. این میدان به صورت یک طاق‌دیس با روند NW-SE و پلانژ ۱ تا ۱/۵ درجه بوده و از نقطه رأس طاق‌دیس دارای ستون هیدروکربنی در حدود ۶۲ متر است. این مخزن شامل ستون نفت در حدود ۴۴ متر و یک کلاهک گازی حداکثر ۱۸ متری است. مخزن غار آسماری در میدان ابوذریه شامل ۳ واحد می‌باشد: آسماری کربناته زیرین، ماسه غار (معادل بخش اهواز) و آسماری بالایی کربناته (فارس زیرین). این توالی یک چرخه پیشروی-پسروی رسوب گذاری را تحت شرایط دریایی کم عمق و حاشیه ای کم عمق لاگونی که در یک جایگاه پسروده واقع شده اند؛ نشان می‌دهد. واحدهای کربناته یک کشیدگی به سمت غرب در سازند آسماری را نشان می‌دهند. آسماری بالایی دارای پتانسیل مخزنی بوده و بخش قابل توجهی از این سازند دولومیتی شده است؛ در حالی که آسماری زیرین کاملاً متراکم و بدون تخلخل می‌باشد. لایه‌هایی که آسماری بالایی را از غار جدا می‌کنند، شامل شش بخش بین لایه‌های انیدریتی، شیل و دولومیت می‌باشند [۲۸].

مطالعه و بررسی تئوری تحلیل، روش‌های تفسیر AVO استفاده از پارامترهای لامه و کاربرد نتایج این روش در مرز ابتدایی کربناته فوقانی (فارس زیرین) تا مرز ابتدایی مخزن ماسه‌ای غار جهت تعیین حلقه نفتی، سیال غالب و هم‌چنین انطباق چینه‌شناسی و پتروفیزیکی لایه‌های میدان نفتی ابوذریه می‌باشد.

### ۲. روش تحقیق

در این مطالعه با کمک داده‌های لرزه‌ای سه حلقه چاه میدان نفتی ابوذریه و هم‌چنین نگاره‌های پتروفیزیکی آنها، اقدام به تحلیل AVO، اعمال نشانگرهای AVO، وارون‌سازی پیش از برانبارش برای استخراج پارامترهای لامه جهت تعیین حلقه نفتی در محدوده افق فارس زیرین تا افق مخزنی غار خواهیم کرد.

پس از آماده‌سازی اولیه داده‌ها و بارگذاری آنها در نرم افزار، روشهای بهبود کیفیت داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش مورد استفاده قرار گرفت. هدف از بکارگیری این روشها ارتقا کیفی سیگنالهای لرزه‌ای برای بهبود کیفیت نتایج حاصل از تفسیرهای کمی بود. در گام بعدی، اطلاعات موجود پتروفیزیکی مورد بررسی قرار گرفتند و ارتباط آنها با دادههای لرزه‌ای از طریق محاسبه روابط زمان-عمق معتبر مورد ارزیابی قرار گرفت. در حین محاسبه روابط زمان-عمق، موجک لرزه‌ای معرف در محدوده مخزنی استخراج شد؛ تا در فرایند تحلیل و آنالیز AVO و وارون‌سازی AVO ایفای نقش نماید.

با ترکیب اطلاعات موج تراکمی، موج برشی و چگالی مقاطع لرزه‌ای مقاومت صوتی موج تراکمی، مقاومت صوتی موج برشی و مقطع لرزه‌ای چگالی بدست آمده شد. پس از بدست آوردن مقاطع مقاومت صوتی با استفاده از نگاره‌های چاه آنالیز AVO جهت تعیین نوع سیال تشکیل دهنده و تعیین حلقه نفتی بر روی مقاطع لرزه‌ای استخراج می‌شوند. مقاطع دوبعدی و سه بعدی مقاومت صوتی برپایه مدل و هم‌چنین نمودارهای تقاطعی امواج تراکمی، برشی و چگالی نسبت به نمودارهای حاصل از چاه پیمایی به نمایش گذاشته شد. در آخر با استفاده از ترسیم کراس پلات نشانگرهای AVO، بهترین نشانگرها استخراج و ترسیم می‌شوند. سپس وارون‌سازی بر کل حجم داده‌ها جهت استخراج پارامترهای لامه در محل چاه جهت تعیین ماهیت و تایید صحت تحلیل AVO

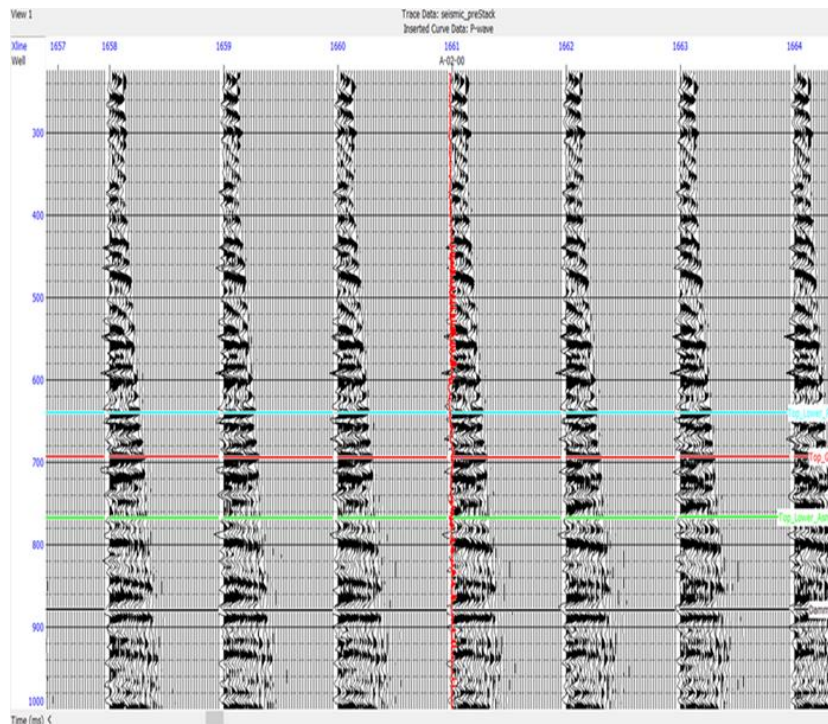
شکل های ۳ و ۴ به ترتیب اطلاعات لرزه ای پیش از برانبارش را در کنار اطلاعات چاه نگاری و تطابق اطلاعات چاه های مختلف را در کنار سرسازندهای درون چاهی نشان می دهند. پس از بررسی داده ها، نیاز به اعمال تصحیحاتی بر روی داده های لرزه ای می باشد، که به موجب آن میزان سیگنال به نوفه افزایش پیدا کرده و نیز داده های پیش از برانبارش از حیطه دورافت به حیطه زاویه منتقل شوند. دلیل این امر این است که برای انجام وارون سازی همزمان یک فرض اولیه وجود دارد و آن این است که دادهها باید با زاویه فرود یکسان باشند. زیرا وارون سازی پیش از برانبارش در حوزه زاویه تابش عمل می کند. از این رو پیش از انجام مطالعات، نیاز به تبدیل مقادیر دورافت به زاویه و تولید برانبارش زاویه ضروری است. برای نیل به این هدف، با بهره گیری از یک مدل سرعتی مقادیر دورافت به زاویه قابل تبدیل می باشند [۲۶].



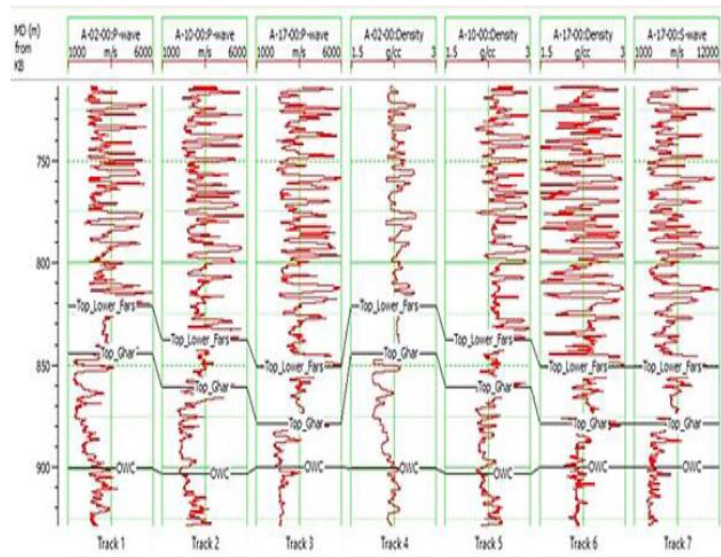
شکل ۲. موقعیت جغرافیایی میدان ابوزر در خلیج فارس

## ۲.۲. ساخت موجک لرزه ای و تولید لرزه نگاشت

مصنوعی



شکل ۳. داده های لرزه ای پیش از برانبارش



شکل ۴. تطابق اطلاعات چاه‌ها

AVO و وارون سازی است. این مرحله، انطباق بین وقایع لرزه نگاشت مصنوعی حاصل از نگارهای چاه و داده‌های لرزه ای را بهبود می دهد. از نگارهای صوتی و چگالی، ضرایب بازتاب حاصل می شوند و با هم‌میخت این ضرایب با یک موجک استخراج شده از داده‌های لرزه ای، نگاشت مصنوعی حاصل می‌شود؛ اگر موجک استخراجی دقت کافی داشته باشد، لرزه نگاشت مصنوعی تطابق خوبی با داده های لرزه ای خواهد داشت. لذا در این مرحله برای ایجاد همبستگی میان اطلاعات چاه ها و داده های لرزه ای، ابتدا رابطه زمان-عمق نمودارهای صوتی به کمک اطلاعات سرعتی تصحیح شد.

پس از آماده سازی داده های لرزه ای، نوبت به استخراج موجک می رسد. موجک لرزه ای با استفاده از داده های نمودار مقاومت کشسان تخمین زده می شود. تخمین طیف دامنه و فاز موجک فقط با استفاده از داده های لرزه ای و یا با استفاده از کنترل چاه امکان پذیر است، این داده ها با روش های آماری مورد مطالعه قرار می گیرد. وجود یک یا چند چاه دارای نگاره های صوتی و چگالی امکان تخمین بهتر موجک را فراهم می آورد. فرایند استخراج موجک به صورت همزمان با بروز رسانی روابط زمان-عمق انجام می پذیرد. تطابق نگارهای چاه با داده‌های لرزه ای نه تنها یک مرحله اولیه مهم در تفسیر لرزه ای می باشد، بلکه یک اولویت بسیار مهم در انجام تحلیل



شکل ۵. موجک استخراجی از تطابق اطلاعات چاه و داده‌های لرزه‌ای

### ۳.۲. محاسبه مقاومت صوتی

در مرحله دوم موجک ساخته شده برای ساختن مدل بازتاب لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نهایت، مقاومت صوتی محاسبه شده از مدل بازتاب لرزه‌ای با واقعیت سنجیده می‌شود؛ در صورتی که تخمین موجک اشتباه باشد، تفاوت زیادی مشاهده می‌شود و موجک دیگری انتخاب خواهد شد. این فرآیند تا زمان انتخاب بهترین موجک ادامه خواهد داشت. در داده‌های لرزه‌ای آنچه باعث به وجود آمدن بازتاب‌ها می‌شود، اختلاف در تغییر خواص فیزیکی سنگها از جمله سرعت موج تراکمی، موج برشی و چگالی است. لذا پارامتری به نام مقاومت صوتی (امپدانس صوتی) تعریف می‌شود که حاصل ضرب چگالی و سرعت می‌باشد. بازتاب لرزه‌ای (RC) به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$RC = (\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1) / (\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1) \quad (1)$$

در معادله بالا  $\rho$  ضریب چگالی و  $V$  سرعت موج در لایه بالایی و پایینی می‌باشد.

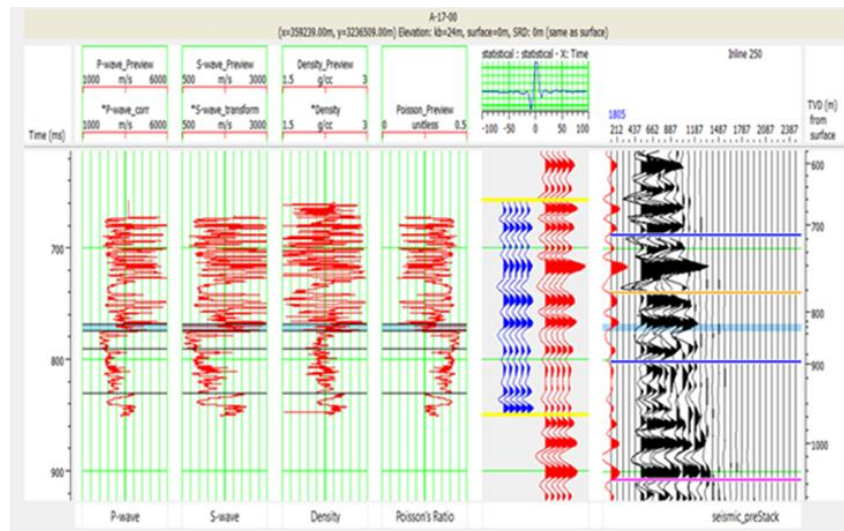
$$R(\theta) = RP + G \sin 2\theta \quad (2)$$

در معادله بالا  $R$  ضریب بازتاب،  $\theta$  زاویه برخورد،  $RP$  عرض از مبدا  $AVO$  و  $G$  گرادیان  $AVO$  می‌باشد. این معادله بر اساس زاویه بازتابش تعریف شده است، ثبت داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش در یک دورافت ثابت می‌باید و لازم است داده‌ها

از حوزه دورافت به حوزه زاویه تبدیل شوند. این تبدیل با استفاده از معادله زیر انجام می‌شود.

$$\sin(\theta) = Xv_{int} / TV2r_{ms} \quad (3)$$

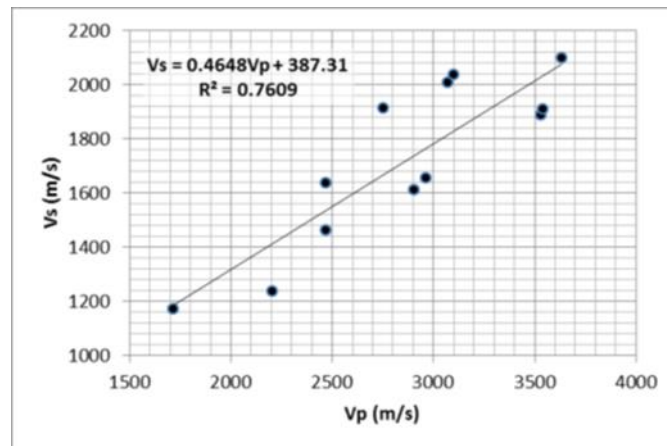
در رابطه بالا  $X$  افست،  $T$  زمان بازتاب دوطرفه،  $v_{int}$  سرعت فاصله‌ای و  $v_{rms}$  سرعت ریشه میانگین مربع می‌باشد. سپس با استفاده از حل معادلات، مقادیر سرعت موج‌های تراکمی، برشی و چگالی به دست می‌آید. این خروجی  $AVO$  برای انجام وارون سازی  $AVO$  به کار می‌رود و برای کل میدان در هر عمق، سرعت امواج لرزه‌ای و چگالی مشخص می‌شود. اکنون نوبت به استخراج لرزه نگاشت مصنوعی به کمک موجک استخراج شده از سری اطلاعات لرزه‌ای با فاز صفر است. بعد از مقایسه با ردلرزه‌های مجاور در اطلاعات لرزه نگاری با اعمال جابجایی تطابق اولیه بین لرزه نگاشت مصنوعی و اطلاعات لرزه نگاری انجام پذیرفت. یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار در کیفیت نتایج تحلیل  $AVO$  و وارون سازی داده‌های پیش از برانبارش، برقراری ارتباط صحیح میان سرعت موج تراکمی و موج برشی است. از آنجایی که در بیشتر مطالعات انجام شده در ایران، دسترسی کافی به این داده‌ها وجود ندارد؛ لذا در بسیاری از موارد مشاهده می‌شود که نتایج بدست آمده از وارون سازی‌های لرزه‌ای با واقعیت‌های زمین‌شناسی موجود در مناطق مورد مطالعه همخوانی ندارد.



شکل ۶. استفاده از موجک لرزه‌ای به منظور افزایش تطابق با ضریب همبستگی ۸۱٪

میدان، رابطه دقیقتری برای ارتباط میان سرعت انتشار امواج برشی و تراکمی بدست آمد.

از این رو در این مطالعه با انجام اندازه گیریهای آزمایشگاهی بر روی مغزه‌های چاههای مختلف در سازند کربناته این



شکل ۷. رابطه خطی بین سرعت موج تراکمی و موج برشی

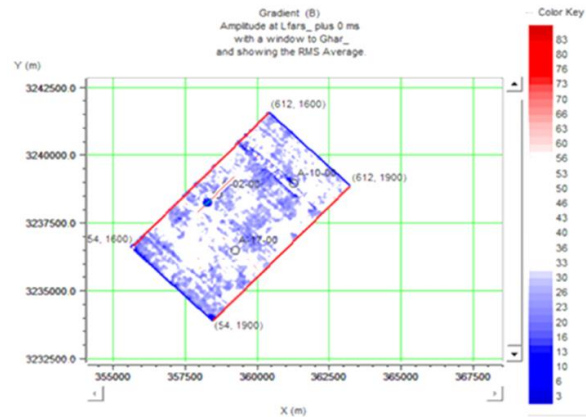
به قلمرو زاویه، محاسبه خط رگرسیون حاصل از کراس پلات داده ها، طبقه بندی  $AVO$ ، کراس پلات نشانگر  $AVO$ ، کراس پلات اطلاعات چاه، کراس پلات اطلاعات لرزه ای، مقاطع عرضی حاصل از کراس پلات ها، برانبارش در بازه محدود، مدل سازی رو به جلو  $AVO$ ، مدل سازی اولیه امواج، ردیابی پرتو، برگردان  $AVO$  و عملگر فاکتور سیال که میزان انحراف از خط سیال (مودراک) جهت تحلیل  $AVO$  را نمایش می دهند بدست می آیند (شکل ۸). تحلیل  $AVO$  روی داده های واقعی می تواند منجر به تعیین نوع سیال از طریق امواج لرزه ای، محاسبه ضرائب بازتاب نرمال امواج تراکمی و برشی، استخراج پارامترهای لامه، کراس پلات  $\lambda\rho$  و  $\mu\rho$ ، تولید لرزه نگاشت مصنوعی، استخراج موجک، پیک کردن افقها و وارون سازی  $AVO$  گردد.

به طور معمول اولین نشانگرهایی که در تحلیل  $AVO$  مورد استفاده قرار می گیرند، عرض از مبدأ و شیب می باشند. لذا با انتخاب نشانگر عرض از مبدأ و شیب در این پژوهش به عنوان نشانگرهایی که پتانسیل شناخت رفتار سیال مخزنی را در ناحیه مورد مطالعه دارند، اقدام به تهیه مکعب این نشانگرها در محدوده مورد مطالعه شده است. شکل های ۹ و ۱۰ به ترتیب برشی از نشانگرهای گرادیان و تقاطع مقیاس شده را نشان می دهند. این برشها در امتداد سازند کربناته فوقانی تا ابتدای افق مخزنی ماسه سنگی غار تهیه شده اند.

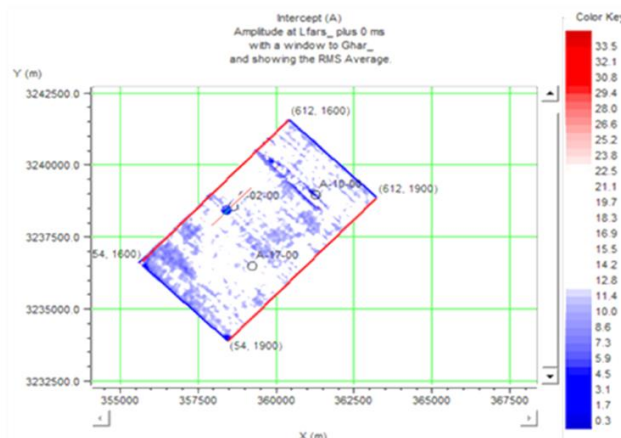
این رابطه به نرم افزار مورد استفاده معرفی گردید، تا نتایج حاصله از صحت بالاتری برخوردار باشند. در شکل ۷، نمودار مقاطع بدست آمده از اندازه گیریهای آزمایشگاهی نمایش داده شده است. این نمودار پس از انجام تصحیحاتی از قبیل حذف نمونه های فاقد تراکم کافی و خارج نمودن نمونه های مربوط به سازندهای غیر آهکی بدست آمده است. بین داده های استفاده شده برای ترسیم این نمودار رابطه خطی وجود داشته و به نظر میرسد این رابطه قابلیت تعمیم پذیری در زون های آهکی سازند آسماری را در محدوده خلیج فارس دارا باشد، زیرا برای ترسیم آن نمونه های متعددی از اعماق مختلف این سازند در چاه های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است.

#### ۴.۲. تحلیل و تفسیر $AVO$

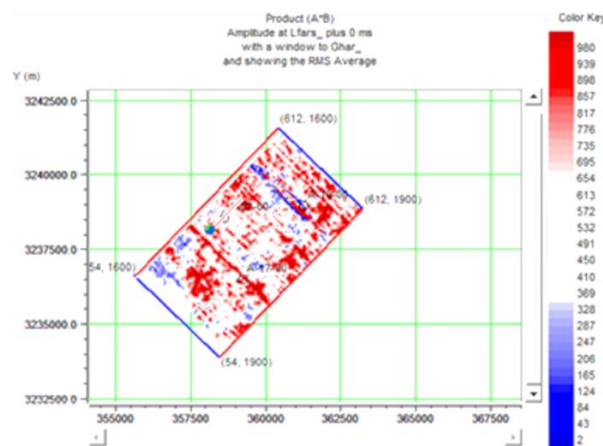
هدف اصلی تحلیل  $AVO$  به دست آوردن چگالی، سرعت موج  $P$  و سرعت موج  $S$  است. با استفاده از روابط فیزیک سنگ، سرعت موج  $P$  و  $S$  مقدار نسبت پواسون محاسبه می شود. اکنون نوبت به استفاده از تحلیل های  $AVO$  می رسد که شامل اطلاعات لرزه ای و نگاره های پتروفیزیکی جهت تحلیل  $AVO$  می باشد، سپس استفاده از عملگرهای  $AVO$  که میتوان به عملگر تقاطع، گرادیان و ترکیبی از این دو نشانگر بصورت حاصل ضرب تقاطع در گرادیان، تقاطع در حاصل ضرب تقاطع در گرادیان، فاکتور سیال و غیره اشاره کرد. نحوه محاسبه این عملگرها از طریق رابطه زئوپریتس و تقریب های حاصل از آن و فرایندهایی چون: انتقال از قلمرو دور افت



شکل ۹. نقشه اعمال نشانگر گرادیان بر روی مرز ابتدایی افق فارس زیرین تا مرز ابتدایی افق مخزن غار



شکل ۱۰. نقشه اعمال نشانگر تقاطع بر روی مرز ابتدایی افق فارس زیرین تا مرز ابتدایی افق مخزن غار



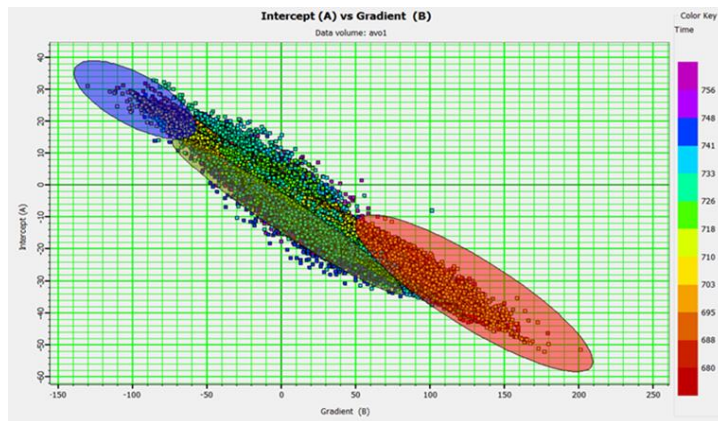
شکل ۱۱. اعمال نشانگر حاصل ضرب تقاطع در علامت گرادیان بر روی مرز ابتدایی افق فارس زیرین تا مرز ابتدایی افق مخزن غار

نشانگر حاصل ضرب تقاطع در گرادیان همیشه برای تشخیص هیدروکربن مناسب نیست؛ چرا که این نشانگر تنها در صورتی

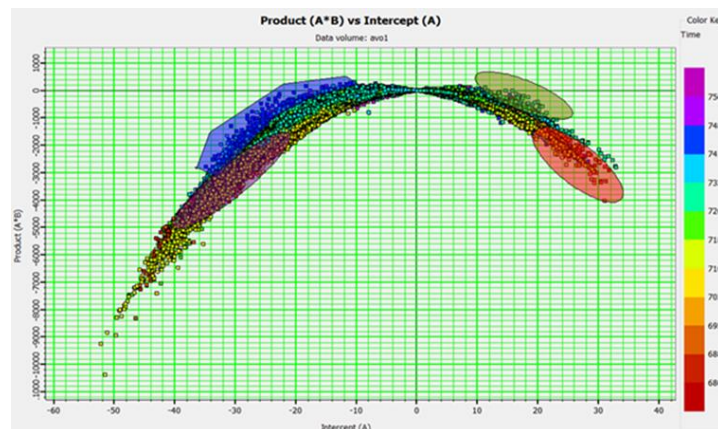
بنابراین روش‌های وارون‌سازی مبتنی بر مدل اولیه، شانس بیشتری را برای شناسایی نحوه‌ی تغییرات سیال فراهم می‌آورد. همانطور که در شکل ۱۱ نیز مشاهده می‌شود، تغییرات معناداری میان چاه‌های مختلف در گستره‌ی مورد مطالعه قابل رویت نیست، که بتوان آنرا به عنوان تغییرات خواص سیالات مخزنی تفسیر نمود.

یکی از کراس‌پلات‌هایی که محدوده مخزن را به خوبی نمایش می‌دهد کراس‌پلات تقاطع نسبت به گرادیان می‌باشد. در شکل ۱۲ کراس‌پلات نشانگر تقاطع نسبت به گرادیان ترسیم شده و زون‌های تفکیک شده بر روی مقطع به نمایش گذاشته شده‌اند. این زون‌ها شامل زون آبدار (زون زرد رنگ) که در وسط مقطع و زون‌های هیدروکربنی (قرمز و آبی) در انتهای روند می‌باشند.

که عرض از مبدأ و شیب هر دو منفی باشند، کارآمد است. بنابراین اغلب در تشخیص آنومالی نوع سوم بکار می‌رود. با این حال برشی از حاصل ضرب این دو نشانگر در امتداد سازندکربناته فوقانی در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در زون کربناته، به طور کلی همگونی مشخصی در قسمت مورد مطالعه از مخزن کربناته مشاهده می‌شود؛ که این مساله می‌تواند بیانگر عدم کارایی نشانگرهای *AVO* در تفکیک سیالات مخزنی می‌باشد. یکی از دلایل قابل ذکر در این مورد، حساسیت پایین سازندهای کربناته به تغییر فاز سیال است. چرا که به دلیل بالا بودن مدول حجمی این سازندها، تغییرات سیال درون مخزن تاثیر چشمگیری در تغییرات دامنه نسبت به دورافت ایجاد نمی‌نماید. از اینرو شناسایی تغییرات فاز سیالات مخزنی در سازندهای کربناته از طریق نشانگرهای *AVO* در بسیاری از موارد ممکن نیست.



شکل ۱۲. کراس پلات تقاطع نسبت به گرادیان



شکل ۱۳. کراس پلات تقاطع نسبت به حاصل ضرب تقاطع در گرادیان

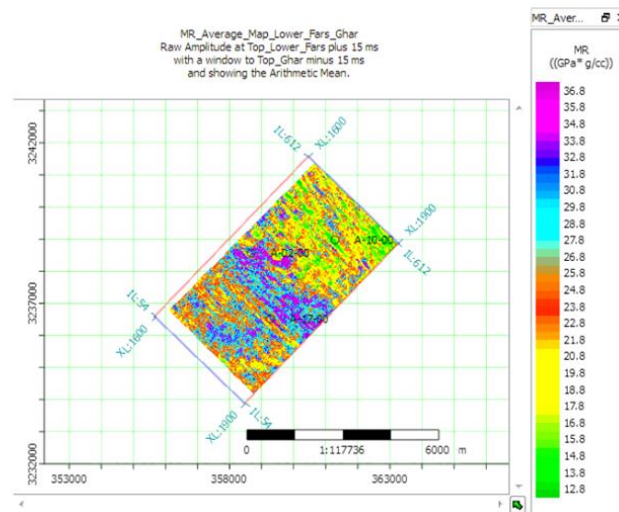
کراس پلات نشانگر تقاطع نسبت به حاصل ضرب تقاطع در گرادیان یکی از نشانگرهایی است که در تعیین محدوده و نوع

هستند، که از وارون‌سازی داده‌های پیش از برنبارش استخراج می‌شوند. این نشانگرها به اختصار نشانگرهای  $LMR$  نامیده می‌شوند. شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب برشی از بخش کربناته مخزن را برای پارامترهای  $\lambda\rho$  و  $\mu\rho$  نشان می‌دهند. از آنجایی که هدف نهایی این مطالعه تشخیص خواص سیالات مخزن است، برش حاصله از مکعب  $\lambda\rho$  با دقت بالایی در تفکیک فازهای گاز و نفت در مخزن شده است. بر اساس تئوری، نقشه‌ی بدست آمده از  $\mu\rho$  بیانگر چگونگی تغییرات لیتولوژی در سازند مخزنی است. با توجه به موارد ذکر شده در ارتباط با عدم کیفیت مناسب داده‌های لرزه‌ای و مشاهدات انجام شده در تفسیرهای لرزه‌ای چاه‌های مختلف، تغییرات لیتولوژی چشمگیری در این سازند در محدوده‌ی مورد مطالعه انتظار نمی‌رود. از اینرو نتایج بدست آمده از نقشه‌ی  $\mu\rho$  اطلاعات قابل اتکایی را در زمینه‌ی تغییرات لیتولوژی در این سازند کربناته فراهم نمی‌آورد. با این حال، نشانگر  $\lambda\rho$  که قابلیت نشان دادن تغییرات خواص سیال در مخزن را داراست، شواهد قابل قبولی را از چگونگی توزیع سیالات مخزنی نمایش می‌دهد.

سیالات تشکیل دهنده مخزن دقت بالایی دارد. زون‌های مختلف در شکل ۱۳ کراس‌پلات تقاطع نسبت به حاصل‌ضرب تقاطع در گرادیان نشان داده شده اند که زون‌های قرمز و بنفش سیالات هیدروکربن و زون‌های زرد و آبی شیل و زون آبدار محدوده را به تصویر می‌کشند.

## ۵.۲. وارون‌سازی AVO

برای اثبات و افزایش دقت انجام آنالیزهای دامنه بر اساس دورافت، روش وارون‌سازی همزمان مورد استفاده قرار گرفت. در این وارون‌سازی از رابطه ذکر شده در شکل ۷ برای ایجاد ارتباط میان سرعت امواج برشی و تراکمی استفاده شد. خروجی این وارون‌سازی مقاطع مقاومت تراکمی، مقاومت برشی و چگالی، نسبت سرعت موج تراکمی و سرعت موج برشی است، که به طور همزمان بدست آمده است. همان گونه که قبلاً اشاره شد، با بهره‌گیری از نتایج بدست آمده از وارون‌سازی همزمان، نشانگرهای  $LMR$  از وارون‌سازی پیش از برنبارش قابل استخراج می‌باشند.  $\lambda\rho$  و  $\mu\rho$  از جمله نشانگرهای کاربردی برای تفکیک لیتولوژی و خواص مخزنی



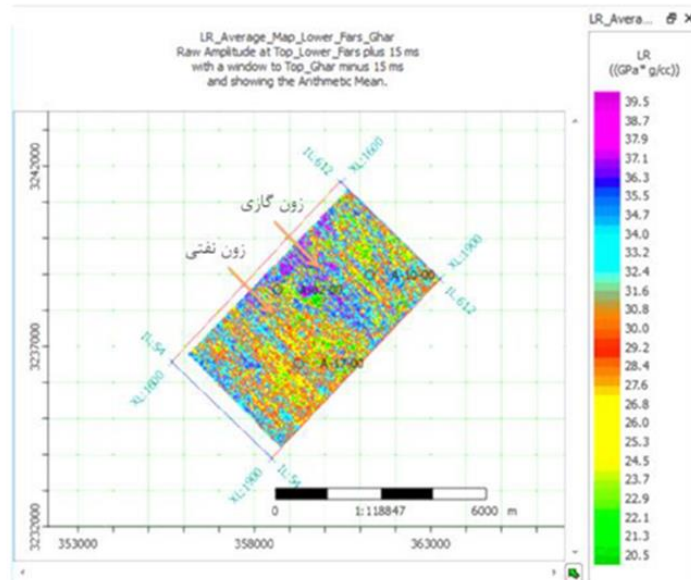
شکل ۱۴. نشانگر  $\mu\rho$  جهت تعیین نوع سنگ شناسی محدوده مورد مطالعه

فاز سیال مخزن در این محدوده است. به منظور اعتبارسنجی این نتایج، نیاز به حفاری یک چاه جدید در این میدان است. با این حال، با در نظر گرفتن این که این مشاهدات بر روی نقشه‌های میانگین حاصل شده اند و تغییرات بدست آمده برای پارامتر  $\lambda\rho$  بسیار بالاست، لذا نتیجه گیری در مورد بروز تغییر

در شکل ۱۵، افت مقادیر  $\lambda\rho$  معرف تغییرات فاز سیالات مخزنی در این قسمت از سازند است. از آنجایی که بر اساس شواهد حفاری در این ناحیه، همواره احتمال وجود نفت در قسمت‌های تست نشده سازند آهکی میدان ابوذر مطرح بوده است، از اینرو نتایج حاصل از این مطالعه موید فرضیه تغییرات

فاز سیال بر اساس مشاهدات بدست آمده، بر اساس تئوری‌های مربوط به تفسیر مقادیر  $\lambda\rho$  و شواهد موجود در میدان مورد

مطالعه، قطعیت بالایی دارد.



شکل ۱۵. نشانگر  $\lambda\rho$  جهت تعیین نوع سیالات تشکیل دهنده محدوده مورد مطالعه

### ۳. بحث

در شکل ۱۶ مقطع عرضی زمین شناسی و سیالات تشکیل دهنده آن نمایش داده شده است. وجود هیدروکربن در مخزن غار و کربناته فوقانی (سیال غالب گاز)، میدان ابودر به کمک تحلیل تغییرات دامنه برحسب دورافت داده‌های لرزه‌ای و نگارهای پتروفیزیکی اثبات شد. بررسی بیشتر نوع سیال مخزن کربناته فوقانی (کم عمق‌ترین) لایه هیدروکربنی از وجود گاز در آن ناحیه حکایت داشت. برای بررسی ارتباط بین سازندهای غار و کربناته فوقانی پس از تحلیل و پردازش داده‌های لرزه‌ای و نگارهای پتروفیزیکی، وجود نفت احتمالی در مخزن کربناته فوقانی را به صورت حلقه نفتی با گنبد گازی نشان داد. معمولاً در ساختارهای تاقدیسی که وجود هیدروکربن آنها اثبات شده است، گاز و نفت به صورت جانبی در کنار یکدیگر می‌باشند که به دلیل تفاوت در چگالی، لایه گازی در قسمت بالایی (قله) و سیال نفتی در لایه زیرین ساختار تاقدیسی قرار می‌گیرد. حفاری در نقاطی انجام می‌شود که بیشترین ارتفاع ستون نفت را شامل شود و معمولاً این نقاط در راس ساختار می‌باشند. ولی در برخی موارد خاص دیده شده است که ستون نفت در یال‌های ساختار تاقدیسی

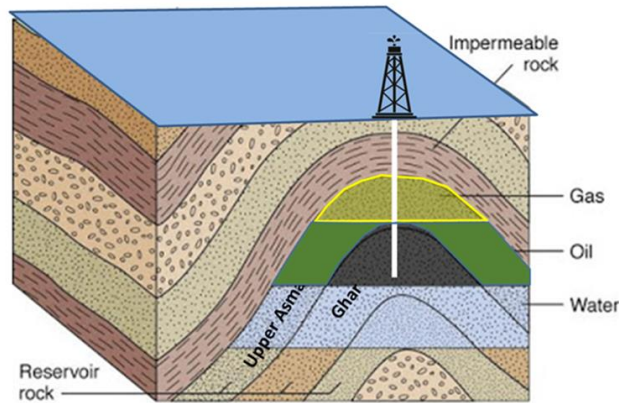
در کنار لایه گازی در قسمت بالایی قرار دارد، اما به دلیل این که حفاری در مرکز این ساختار صورت گرفته و چاه با عبور از لایه گاز وارد لایه زیرین شده است، نفت موجود در یال‌های ساختار بدون استخراج در مکان خود باقی مانده است. در این پژوهش موارد زیر بصورت ویژه مد نظر قرار گرفت:

- مقاطع لرزه‌ای مقاومت صوتی موج تراکمی، مقاومت صوتی موج برشی و مقاومت لرزه‌ای برحسب چگالی به دست آمده نشان می‌دهند که در ناحیه مورد نظر مقادیر آن‌ها نسبت به لایه‌های بالا و پایین مخزن شاهد تغییرات بوده، که نشان‌دهنده تغییرات سیال و لیتولوژی می‌باشد.
- در مطالعه افق بالای مخزن غار (آسماری فوقانی)، با استفاده از مدل‌سازی مستقیم، لرزه‌نگاشت مصنوعی حاصل از نگارهای چاه‌پیمایی ایجاد شد و به کمک آن علت ناهنجاری مشاهده شده، بر روی داده‌های لرزه‌ای پیش‌از برانبارش مشخص شد. با تولید منحنی‌های  $AVO$ ، نوع ناهنجاری در افق مطالعاتی نوع اول تشخیص داده شد. این ناهنجاری در کلاس نوع اول دارای تقاطع مثبت، گرادیان منفی است.
- در این مطالعه از روش پیشرفته وارون‌سازی پیش از برانبارش استفاده شد و مقاطع امپدانس صوتی موج تراکمی

نمایش داد.

- مدل‌سازی مستقیم به کمک نمودارهای چاه پیمائی به منظور تشخیص ناهنجاری‌های مشاهده شده روی داده‌های لرزه‌ای انجام می‌گیرد و نیز قبل از انجام عمل وارون‌سازی برای تصحیح نمودارهای چاه پیمائی و بدست آوردن حدس اولیه برای مدل زمین‌شناسی در مرحله وارون‌سازی از اهمیت بالایی برخوردار است.
- در تحلیل AVO پردازش داده‌ها بسیار مهم است چرا که یک پردازش نادرست ممکن است ناهنجاری AVO را از بین ببرد و یا این که سبب یک ناهنجاری کاذب شود.
- بر اثر عبور امواج تراکمی و برشی از یک ماسه سنگ مرطوب به یک ماسه سنگ‌گازدار قطبیت موج تراکمی تغییر می‌کند ولی قطبیت موج برشی بدون تغییر می‌ماند. با این تفاوت در عملکرد امواج می‌توان به حضور گاز در مخزن پی برد.

- و برشی استخراج گردید و محدوده‌های حاوی سیال هیدروکربنی کمترین مقدار را نسبت به سایر نواحی داشتند.
- در مطالعه نشانگرهای AVO، بر روی اطلاعات لرزه‌نگاری با توجه به این که نوع ناهنجاری‌های AVO در محدوده مورد مطالعه از نوع اول است، کیفیت پائین اطلاعات لرزه‌نگاری و محدود بودن حجم داده‌های مطالعاتی، نشانگرهای AVO تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهند و امکان جداسازی زون‌های هیدروکربنی با دقت بالا وجود ندارد.
- از بین نشانگرهای استخراج شده، تنها نشانگرهای تقاطع نسبت به گرادیان و نشانگر تقاطع نسبت به حاصل ضرب تقاطع در گرادیان در محدوده مورد مطالعه مناسب تشخیص داده شد. بر روی کراس‌پلات به دست آمده امکان جداکردن زون‌های مختلف وجود داشت که می‌توان بر روی لرزه نگاشت مصنوعی نیز محدوده‌های تفکیک شده را



شکل ۱۶. نمایش سیالات و حلقه نفتی (بخش سبز رنگ) محدوده مورد مطالعه

شناخته شده است، اما در این تحقیق با کمک این روش و شناسایی و استفاده از ترکیب نشانگرهای تأثیر گذار، امکان تشخیص حلقه نفتی برای اولین بار در آسماری فوقانی در کشور مطرح شده است که ارزش افزوده زیادی را برای نفت‌های پنهان و کشف نشده باقی مانده از میادین نفتی کشور ایجاد میکند بطوری که طبق گزارشهای شرکت نفت فلات قاره ایران، در میدان مورد مطالعه منجر به برآورد اولیه از وجود حدود ۷۰۰ میلیون بشکه نفت درجا شده است.

افزون بر نتایج فوق به نتایج فنی ذیل نیز میتوان اشاره نمود:

- با توجه به تحلیل تغییرات دامنه بر حسب دورافت، پاسخ‌ها و اعمال نشانگرهای مختلف بر روی محدوده بالای مخزن غار تغییرات در سیال تشکیل دهنده این افق مشاهده شد. این

#### ۴. نتیجه گیری

مطالعاتی که در گذشته بر روی این میدان صورت گرفته (چون اصغرزاده، م، ۱۳۸۴ [۲۹] و حاجی جمهوری و دیگران، ۱۳۹۰ [۳۰])، عمدتاً برای شناسایی خصوصیات مخزن ماسه سنگی غار این میدان صورت گرفته که هم اکنون نیز بهره برداری و استخراج نفت از مخزن غار این میدان در جریان است، اما این مطالعه که بر روی افق بالای مخزن غار، افق آسماری فوقانی صورت گرفته نشان داد که در حین استخراج از مخزن ماسه سنگی غار، به دلیل نوع ساختار تاقدیسی این میدان در یال‌های این ساختار و در لایه آسماری فوقانی سیال هیدروکربن وجود دارد که به صورت نفت برجا در این میدان باقی مانده است.

اگرچه تحلیل تغییرات دامنه بر حسب دورافت بحثی

Geophysics, 57(6), 684-694.  
<https://doi.org/10.1190/1.1443281>

[4] Verm, R., & Hilterman, F. (1995). Lithology color-coded seismic sections: The calibration of AVO crossplotting to rock properties. *The Leading Edge*, 14(8), 847-853. <https://doi.org/10.1190/1.1437170>

[5] Goodway, B., Chen, T., & Downton, J. (1997). Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé petrophysical parameters; “ $\lambda\rho$ ”, “ $\mu\rho$ ”, & “ $\lambda/\mu$  fluid stack”, from P and S inversions. *CREWES Research Report*, 9, 1-22. <https://www.crewes.org/Documents/ResearchReports/1997/1997-09.pdf>

[6] Awest, R., Feng, H., & Bancroft, J. C. (2000). AVO principles, processing and inversion. *CREWES Research Report*, 12, 1-12. <https://www.crewes.org/Documents/ResearchReports/2000/2000-12.pdf>

[7] Li, Y., Castagna, J. P., & Sun, S. (2003). Carbonate reservoir characterization using AVO and rock physics. *The Leading Edge*, 22(8), 730-735. <https://doi.org/10.1190/1.1599695>

[8] Carcione, J. M., & Gangi, A. F. (2000). Gas generation and overpressure: Effects on seismic attributes. *Geophysics*, 65(6), 1769-1779. <https://doi.org/10.1190/1.1444866>

[9] Gassmann, F. (1951). Elastic waves through a packing of spheres. *Geophysics*, 16(4), 673-685. <https://doi.org/10.1190/1.1437718>

[10] Tatham, R. H. (1982). Vp/Vs and lithology. *Geophysics*, 47(3), 336-344. <https://doi.org/10.1190/1.1441339>

[11] Castagna, J. P., Batzle, M. L., & Eastwood, R. L. (1993). Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks. *Geophysics*, 50(4), 571-581. <https://doi.org/10.1190/1.1441933>

[12] Zoeppritz, K. (1919). *Erdbebenwellen VIII B*. Göttinger Nachrichten, 66-84.

[13] Knott, C. G. (1899). Reflexion and refraction of elastic waves with seismological applications. *Philosophical Magazine*, 48(5), 64-97. <https://doi.org/10.1080/14786449908621299>

[14] Castagna, J. P., & Smith, S. W. (1994). Comparison of AVO indicators: A modeling study. *Geophysics*, 59(12), 1849-1855. <https://doi.org/10.1190/1.1443571>

[15] Foster, D. J., Keys, R. G., & Lane, F. D. (1993). Interpretation of AVO anomalies. *Geophysics*, 58(3), 367-382. <https://doi.org/10.1190/1.1443426>

[16] Castagna, J. P., & Swan, H. W. (1997). Principles

تغییرات در نزدیکی چاه A-02 و چاه A-17 به صورت ناهنجاری های کلاس بندی AVO و تغییرات در نشانگرهای AVO، وجود سیال هیدروکربن را به صورت غالب و محیط شیلی به صورت جزئی نمایش داد. در اطراف چاه A-10 تغییرات محسوسی در کلاس بندی و همچنین تغییرات در نشانگرهای AVO مشاهده نشد، که دلیل آن می تواند کیفیت پائین داده های لرزه ای برداشت شده در این چاه باشد.

- نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل روش های مختلف تفسیرهای کمی داده های لرزه ای، نشان داد که در مخزن کربناته مورد مطالعه، نشانگرهای تقاطع و گرادیان AVO از قدرت کافی برای شناسایی خواص سنگ و سیال مخزن برخوردار نیستند، اما با ترکیب این نشانگرها با یکدیگر و استخراج نشانگرهایی همچون، نشانگر تقاطع نسبت به گرادیان و نشانگر تقاطع نسبت به حاصل ضرب تقاطع در گرادیان، امکان تشخیص تغییرات جانبی سیال با تفسیرهای نشانگرهای مربوطه تا حدودی میسر می باشد.

در پایان و به عنوان یک پیشنهاد برای تکمیل این پژوهش باید اشاره داشت که با بهره گیری از سایر روشهای ارزیابی ویژگیهای مخزنی چون تحلیل رخساره ها و نشانگرها به روشهای نوین و با بهره گیری از الگوریتم های مبتنی بر منطق فازی، شبکه عصبی و ابزارهای هوش مصنوعی چون امپدانس کشسان توسعه یافته [۳۱] می توان در تخمین و تعمیم ویژگیهای مخزنی بهره جست.

## ۵. سپاس گذاری

در این لازم است از همکاری شرکت نفت فلات قاره ایران در طی انجام مراحل مختلف این پژوهش صمیمانه قدردانی نمود.

## ۶. مراجع

[1] Ostrander, W. J. (1984). Plane-wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence. *Geophysics*, 49(10), 1637-1648. <https://doi.org/10.1190/1.1441571>

[2] Fatti, J. L., Smith, G. C., Vail, P. J., Strauss, P. J., & Levitt, P. R. (1994). Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: A 3D seismic case history using the Geostack technique. *Geophysics*, 59(9), 1362-1376. <https://doi.org/10.1190/1.1443695>

[3] Allen, J. L., & Peddy, C. P. (1992). Amplitude variation with offset: Gulf Coast case studies.

۳۷، شماره ۴، ۱۳۹۰، صفحه ۱۷۸-۱۶۵.

- [31] Mirzakhani, M., Hashemi, H., 2022, Semisupervised fuzzy clustering for facies analysis using extended elastic impedance seismic attributes, *Geophysics*, V 87,4, Pages :N75-N84.
- of AVO crossplotting. *The Leading Edge*, 16(4), 337-344. <https://doi.org/10.1190/1.1437626>.
- [17] Goodway, B. (2001). Elastic impedance and its application in AVO analysis. *The Leading Edge*, 20(10), 1118-1129. <https://doi.org/10.1190/1.1487301>
- [18] Buriannyk, M. J. A. (2000). Amplitude variation with offset in anisotropic media. *CREWES Research Report*, 12, 1-20. <https://www.crewes.org/Documents/ResearchReports/2000/2000-12.pdf>
- [19] Dufford, R., Keys, R. G., & Lane, F. D. (2002). Elastic impedance inversion. *Geophysics*, 67(3), 731-739. <https://doi.org/10.1190/1.1487302>
- [20] Goodway, B., Chen, T., & Downton, J. (2006). Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé petrophysical parameters; “ $\lambda\rho$ ”, “ $\mu\rho$ ”, & “ $\lambda/\mu$  fluid stack”, from P and S inversions. *CREWES Research Report*, 18, 1-22. <https://www.crewes.org/Documents/ResearchReports/2006/2006-18.pdf>
- [21] Savic, B., & Smith, T. (2000). Elastic impedance and its application in AVO analysis. *The Leading Edge*, 19(10), 1118-1129. <https://doi.org/10.1190/1.1487303>
- [22] Mallick, S. (2001). AVO and elastic impedance. *Geophysics*, 66(3), 731-739. <https://doi.org/10.1190/1.1487304>
- [23] Connolly, P. (1999). Elastic impedance. *The Leading Edge*, 18(4), 438-452. <https://doi.org/10.1190/1.1438307>
- [24] Lu, S., & McMechan, G. A. (2004). Elastic impedance inversion. *Geophysics*, 69(3), 731-739. <https://doi.org/10.1190/1.1487305>
- [25] Yilmaz, O. (2001). *Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data*. Society of Exploration Geophysicists.
- [26] Chopra, S., & Castagna, J. P. (2014). AVO crossplotting and its applications. *The Leading Edge*, 33(4), 438-452. <https://doi.org/10.1190/1.1438308>
- [27] Simm, R., & Bacon, M. (2014). *Seismic amplitude: An interpreter's handbook*. Cambridge University Press.
- [28] Fugro-Jason (UK) Ltd., 2006, Aboozar field geostatistical inversion report, IOOC.
- [۲۹] اصغرزاده، م.، ۱۳۸۴، گزارش مطالعات انجام شده بر روی سازند غار میدان ابودر، شرکت نفت فلات قاره ایران.
- [۳۰] حاجی جمهوری، ه.، ریاحی، م. ع.، نوروزی، غ. ح.، شمس، ا.، ۱۳۹۰، تحلیل AVO روی مخزن ماسه سنگی غار در میدان ابودر واقع در شمال غرب خلیج فارس، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره