

تعیین مرز گاز و نفت با انجام مطالعات بررسی تغییرات دامنه لرزه‌ای بر پایه دورافت در یکی از مخازن ماسه‌ای جنوبی کشور

سهیلا روشن ضمیر^{۱*} و کامیار احمدی^۲

^۱ کارشناسی ارشد، گروه نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

^۲ مربی، گروه نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۳

چکیده

مطالعات ژئوفیزیک مخزن در سال‌های گذشته نقش بسیار مهمی در فعالیت‌های اکتشافی و تولیدی داشته‌اند. این روش‌ها بیشتر در صدد شناسایی سنگ و سیال مخزن با تحلیل داده‌های پیش از برانبارش هستند. کارکرد اصلی این روش‌ها عموماً روی مخازن ماسه‌ای است و وجود هر چه بیشتر نگاره‌های سرعت برشی، سطح کیفی نتایج این مطالعات را در حد چشمگیری بالا می‌برد. در این مطالعه، یکی از مخازن ماسه‌سنگی در خلیج فارس مورد تجزیه و تحلیل تغییرات دامنه بر پایه دورافت قرار گرفته است. روش استفاده شده در این مطالعه بر پایه مطالعات فیزیک سنگی با هدف شناخت رفتار مخزن در اثر اشباع‌شدگی فازهای مختلف سیال در چاه‌های بدون نگاره برشی است. برای دستیابی به این هدف، تفسیرهای پتروفیزیکی و اطلاعات مخزنی در یک مدل فیزیک سنگی ادغام و سرانجام نشانگرهای حساس مربوط به شناخت سیال مخزن مشخص شده‌اند. همچنین، با محاسبه نشانگرهای به دست آمده در گستره مخزن، مرز گاز و نفت با دقت بسیار بالایی مشخص و نتایج آن با تفسیرهای پتروفیزیکی مقایسه شد. نتایج حاصل گویای درستی بالای مطالعات انجام گرفته در زمینه ارزیابی تغییرات دامنه بر پایه دورافت در ناحیه مورد مطالعه است.

کلیدواژه‌ها: دامنه در برابر دورافت، ویژگی‌های کشسان سنگ، موج تراکمی، موج برشی، نسبت پواسون.

E-mail: Soheila.rosanzamir@gmail.com

* نویسنده مسئول: سهیلا روشن ضمیر

۱- پیش‌نوشتار

در تفسیر داده‌های پردازش شده، که هر دو استفاده از AVO را محدود می‌کنند (Downton, 2005). داده‌های لرزه‌ای نوفه‌دار است و گاه مراحل پردازش سبب حضور تغییرات دروغین دامنه می‌شود. همچنین ویژگی‌هایی که به کمک این روش تقریب زده می‌شوند، به دلیل یکتا نبودن تبدیلات ویژگی‌های کشسان به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و محتویات سیالی خالی از ابهام نیست.

زوایای برخورد، بازتاب و عبور پرتوها طبق قانون اسنل عبارتند از:

$$P = \frac{\sin \theta_i}{V_{p1}} = \frac{\sin \theta_r}{V_{p2}} = \frac{\sin \phi_i}{V_{s1}} = \frac{\sin \phi_r}{V_{s2}}$$

که در آن P متغیر پرتو است. ضریب بازتاب موج تراکمی به عنوان تابع زاویه برخورد (Rpp(θ))، عبارت است از نسبت دامنه موج P بازتابی به دامنه موج P ورودی. (Dufour et al. (2002) اولین کسانی بودند که تغییرات ضرایب بازتاب نسبت به زاویه فرود را ناشی از تفاوت نسبت Vp/Vs یا نسبت پواسون در بازتابنده دانستند. اگر چه ایشان پیش‌بینی کردند که تغییرات ضرایب بازتاب با زاویه فرود ممکن است برای پیش‌بینی سنگ‌شناسی استفاده شود؛ ولی تصور نمی‌کردند که کار آنها رهیافتی برای اکتشاف مستقیم هیدروکربور باشد. کارهای ایشان نشان داد که تغییرات نسبت پواسون، سبب تغییرات بزرگ در ضرایب بازتاب موج تراکمی نسبت به زاویه فرود می‌شود، که در ارتباط با آن پنج نتیجه زیر حاصل شد:

- هنگامی که لایه زیرین دارای سرعت موج تراکمی بالاتر و دیگر ویژگی‌ها در دو محیط مشابه باشد، افزایش نسبت پواسون در محیط دوم سبب افزایش ضریب بازتاب در زوایای تابش بزرگ‌تر می‌شود.
- افزایش نسبت پواسون در محیط اول سبب کاهش ضریب بازتاب در زوایای تابش بزرگ‌تر می‌شود.
- افزایش نسبت پواسون برای هر دو محیط در حالی که مقدار آن برای هر دو برابر باشد، سبب افزایش ضریب بازتاب در زوایای تابش بزرگ‌تر می‌شود.
- مورد اول زمانی که تفاوت سرعت‌ها کمتر باشد مشهودتر است.
- جابه‌جایی دو محیط بالایی و پایینی دست کم در زوایای تا حدود ۳۰ درجه تنها روی شکل منحنی‌ها تأثیر می‌گذارد.

از اواخر سال ۱۹۲۰، روش لرزه‌ای بازتابی به عنوان یک ابزار قدرتمند برای شناسایی هندسه ساختارهای زیرسطحی در اکتشاف تله‌های هیدروکربوری مورد استفاده قرار گرفت. تفسیر ساختمانی مقاطع لرزه‌ای همچنان به عنوان یکی از روش‌های مرسوم در اکتشاف منابع هیدروکربوری در صنعت نفت مطرح است. امروزه پیشرفت‌های شگرفی که در برداشت و پردازش داده‌های لرزه‌ای به وجود آمده سبب شده است تا بتوان از لرزه‌نگاشت‌ها اطلاعات بیشتری افزودن بر هندسه و موقعیت بازتابنده‌های لرزه‌ای به دست آورد. به همین منظور روش‌های مبتنی بر تفسیرهای کمی افزون بر تفسیرهای کیفی در اکتشاف مخازن هیدروکربوری رواج یافت.

یکی از نشانگرهای بر پایه تغییرات دامنه و فاز بازتاب‌های لرزه‌ای با توجه به فاصله فرستنده و گیرنده به دست می‌آید. این روش که به نام تغییرات دامنه با دورافت (Amplitude Versus Offset (AVO)) معروف است، در ابتدا توسط Ostrander (1984) ارائه شد. او نشان داد که حضور گاز در ماسه‌سنگ دربر گرفته شده با شیل به دلیل تغییر نسبت پواسون موجب تغییر قابل ملاحظه دامنه موج بازتابیده لرزه‌ای در داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش می‌شود. به تدریج AVO به عنوان ابزاری در پیش‌بینی دقیق‌تر ویژگی‌های سنگ‌شناسی و سیال‌های مخزنی معرفی شد.

در بسیاری از موارد نیمرخ‌های بازتاب لرزه‌ای برای شناسایی ساختارهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که پتانسیل تله هیدروکربوری دارند. در دهه ۱۹۶۰ نشان داده شد که وجود گاز، بیشتر در بازتاب‌هایی با دامنه بالا خود را نشان می‌دهند که لکه روشن (bright spot) نامیده شده‌اند. ارزیابی لکه روشن نیز دارای محدودیت‌هایی است؛ چرا که عامل‌هایی به جز گاز از جمله نفوذی‌های آذرین، کربنات‌ها، ماسه‌های آب‌دار و حتی نمک می‌تواند لکه روشن تولید کند. بنابراین اکتشافی مؤثرتر خواهد بود که بتواند هیدروکربورها را به‌طور مستقیم از مقاطع لرزه‌ای شناسایی کند.

تغییرات دامنه در برابر دورافت موج تراکمی اطلاعات مضاعفی را بدون نیاز به هزینه‌های اضافی برداشت که در برداشت موج برشی ضروری است، در اختیار قرار می‌دهد. دو کار که در ارتباط با مطالعات AVO باید انجام داد عبارتند از: (۱) پردازش با حفظ دامنه صحیح داده‌های پیش از برانبارش و (۲) استفاده از نشانگرهای AVO

۲- تئوری مدل‌سازی تغییرات دامنه بر پایه دورافت (AVO)

لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی که برای ساخت مدل رفتاری تغییر دامنه‌ها نسبت به دورافت به کار می‌روند شامل یک سری از ردلرزه‌ها هستند که پاسخ لرزه‌ای مدلی از زمین را نشان می‌دهند. درستی یک مدل وابسته به جزئیات و متغیرهایی است که در مدل وارد شده‌اند.

به‌طور خلاصه مدل‌سازی AVO شامل سه مرحله اصلی است: (۱) تعیین مسیر قابل قبول از چشمه تا گیرنده‌ها؛ (۲) محاسبه ضریب بازتاب برای هر مسیر؛ (۳) محاسبه زمان سیر برای هر مسیر پرتو. اولین و سومین مرحله نیاز به حل معادله موج یا تعقیب پرتو (ray tracing) دارد و مرحله دوم با استفاده از معادله زوپرتیس یا ساده‌سازی‌های آن به دست می‌آید.

۳- روش‌های تفسیر AVO

روش‌های تفسیر AVO، را می‌توان به‌صورت زیر رده‌بندی کرد.

- ارزیابی بصری AVO، به عنوان یک روش کهن و کیفی

- تقریب نشانگرهای AVO، (عرض از مبدأ و شیب) به عنوان یک روش کمی. ترکیب این دو نشانگر، نشانگرهای جدیدی تولید می‌کند که هر یک می‌تواند جنبه خاصی از پاسخ‌های AVO را آشکار سازد.

روش‌های ابتدایی بر پایه ارزیابی بصری AVO، روی گروه‌های نقطه میانی مشترک (CMP) و یا مقاطع برانبارش نزدیک- دور و برانبارش زاویه‌ای صورت می‌گیرد. برانبارش جزئی دورافت‌های نزدیک، میانه و دور به خوبی توانایی نمایش تغییرات AVO را به شکل قابل تفسیر دارد (Ostrander, 1984). با توجه به مدل‌سازی AVO که توسط Simm (2000) انجام شد، معادله (Shuey 1985) با توجه به عرض از مبدأ و شیب، در زوایای کمتر از ۳۰ درجه به‌صورت معادله ۱ تغییر می‌کند.

$$R(\theta) = A + B \sin^2 \theta \quad (1)$$

در این معادله A همان ضریب بازتاب عادی است که به وسیله معادله ۲ تعریف می‌شود.

$$A = R_{p_0} = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta V_p}{V_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right] \quad (2)$$

که ΔV_p و $\Delta \rho$ تغییرات سرعت موج تراکمی و چگالی در سطح بازتابنده و V_p و ρ میانگین سرعت موج تراکمی و چگالی هستند.

از آنجا که تفاوت میان بازتاب‌های موج برشی و تراکمی با نسبت پواسون ارتباط دارد (Smith and Gidlow 1987) و از آنجا که تفاوت میان بازتاب‌های موج تراکمی (معادله ۳- الف) و همچنین نسبت سرعت امواج لرزه‌ای (معادله ۳- ب) به‌صورت زیر ارائه دادند:

$$\frac{\Delta \bar{\sigma}}{\bar{\sigma}} = \frac{\Delta V_p}{V_p} - \frac{\Delta V_s}{V_s} \quad (3- الف)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{V_p}{V_s} \quad (3- ب)$$

مفهوم عامل سیال توسط Smith and Gidlow (1987) به منظور تشخیص ماسه‌های گازدار ارائه شد. ماسه‌ها و سیلت‌ستون‌های اشباع از آب و شیل در مقطع رسم متقاطع V_p و V_s تقریباً روی خط گِل - سنگ قرار می‌گیرند. در حالی که ماسه‌های اشباع از گاز سرعت موج تراکمی کمتر و تا حدودی سرعت موج برشی بالاتری دارند و از این رو در پهنه گازدار قرار می‌گیرند. ماسه‌های با تخلخل بالا در بخش سرعت پایین و ماسه‌های با تخلخل پایین در بخش سرعت بالا قرار می‌گیرند. (Castagna, 1985) به‌طور تجربی معادله خط گِل - سنگ و مشتق آن را برای ماسه‌های اشباع از آب به‌صورت زیر ارائه دادند.

$$V_p = 1360 + 1.16 V_s \quad (4)$$

$$\Delta V_p = 1.16 \Delta V_s \quad (5)$$

که می‌تواند به‌صورت زیر تغییر کند:

$$(\Delta V_p / 2V_p) = 1.16 (V_s / V_p) (\Delta V_s / 2V_s) \quad (6)$$

$$R_p - 1.16 (V_s / V_p) R_s = 0 \quad (7)$$

۴- بررسی داده‌ها

داده‌های موجود در این مطالعه به سه دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته اول مربوط به داده‌های چاه و نگاره‌های پتروفیزیکی چاه، دسته دوم مربوط به داده‌های پیش از برانبارش لرزه‌ای و دسته سوم داده‌های لرزه‌ای برانبارش شده هستند. گفتنی است که روی داده‌های پیش از برانبارش همه مراحل پردازشی تا انتهای PSTM صورت پذیرفته است. شکل ۱ محدوده داده‌های موجود در مطالعه را به همراه سطوح تماس آب- نفت و نفت- گاز نشان می‌دهد. بر پایه اطلاعات موجود، هر دو چاه موجود در محدوده نفتی حفاری شده‌اند.

به دلیل نبود داده‌های پتروفیزیکی در چاه W2، مدل‌سازی‌های صورت گرفته در این پروژه تنها در چاه W1 صورت پذیرفت. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود هر دو چاه W1 و W2 در محدوده نفتی حفاری شده‌اند و انتظار می‌رود تا نتایج به دست آمده از مطالعات AVO بتواند این مسئله را بیان و سطح گاز- نفت را در پیرامون این چاه‌ها نمایان‌سازی کند.

داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش موجود در این مطالعه که محدوده آن نسبت به کل مخزن در شکل ۱ با مستطیل سیاه رنگ مشخص شده است به عنوان مبنای مطالعات AVO در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

چاه W1 در یال جنوبی ساختمان حفاری شده است و دارای نگاره‌های پتروفیزیکی مورد نیاز برای انجام مطالعات مربوطه است. این نگاره‌ها شامل چگالی، سرعت امواج فشاری و برشی، تخلخل مؤثر، اشباع‌شدگی آب و حجم ترکیب سنگی‌های تفسیر شده است. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش شامل سازند ماسه‌سنگی مخزنی می‌شود که بخش نفتی آن در بالای مرز آب- نفت قرار می‌گیرد. این سازند در این ناحیه از ترکیب سنگی‌های مختلفی تشکیل شده که مقادیر میانگین آنها در جدول ۱ آورده شده است. این مقادیر در مدل‌سازی‌های فیزیک سنگی مورد استفاده قرار گرفته است.

مخزن مورد مطالعه افزون بر اینکه در ژرفا کمی نسبت به سطح دریا قرار گرفته است، تخلخل بالایی دارد که این امر نیز امکان انجام مطالعات ژئوفیزیک مخزنی را با درستی کافی فراهم می‌سازد. همچنین، وجود نگاره سرعت موج برشی در این چاه سبب بهبود کیفیت نتایج حاصل می‌شود. در بسیاری از موارد، برآورد سرعت امواج برشی با بهره‌گیری از امواج فشاری و روابط مربوط سبب بروز خطاهایی در نتایج پایانی می‌شود. شکل ۲ نگاره‌های اصلی را در کنار تفسیر سنگ‌شناسی انجام شده در این چاه نشان می‌دهد.

۵- تطابق داده‌های چاه و لرزه

در این مرحله با تلفیق اطلاعات نگاره‌های پتروفیزیکی شامل سونیک و چگالی، شوت‌های کنترلی، مارکرهای حفاری، داده‌های لرزه‌ای در محل چاه و موجک لرزه‌ای استخراج شده در محدوده چاه یک رابطه زمان- ژرفای معتبر ساخته می‌شود که می‌تواند به‌طور قابل قبولی اطلاعات لرزه‌ای را با ردلرزه‌ای مصنوعی تطابق دهد. مراحل انجام شده برای دستیابی به این هدف در این مطالعه شامل موارد زیر است:

۵-۱. برآورد یک رابطه زمان- ژرفای اولیه با استفاده از نگاره سونیک و شوت‌های کنترلی موجود

در این مرحله مقادیر نگاره سونیک که در واحد میکروثانیه بر فوت هستند؛ از سطح تا انتهای چاه با یکدیگر جمع می‌شوند و تشکیل یک رابطه زمان- ژرفا را می‌دهند. با توجه به اینکه این نگاره بیشتر در محدوده مخزن برداشت می‌شود، مقادیر مورد نیاز از سطح تا ابتدای مخزن به‌صورت تقریبی برآورد می‌شوند که سبب نبود دقت در این رابطه زمان- ژرفا در طول مسیر چاه می‌شود. از این رو، برای تصحیح این رابطه در بخش‌های بالایی چاه، اطلاعات شوت‌های کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا رابطه زمان- ژرفای حاصل داده‌های چاه متعلق به محدوده مخزنی را با تقریب قابل قبولی در کنار داده‌های لرزه‌ای محدوده مخزن قرار دهد. سپس تطابق این داده‌ها با مارکرهای حفاری که به حیطه زمان آورده شده‌اند در کنار تفسیرهای زمانی لرزه‌ای سنجیده می‌شود تا کیفیت رابطه زمان- ژرفا تا این مرحله مورد تأیید قرار گیرد.

۵-۲. تطابق اطلاعات چاه و لوزه با استخراج موجک لرزه‌ای

برای این کار، در ابتدا یک موجک معرف از محدوده مخزنی به روش آماری استخراج می‌شود. روش آماری را می‌توان به صورت زیر پیاده‌سازی کرد: شکل ۳ موجک لرزه‌ای آماری استخراج شده را در بازه ۶۰۰ تا ۹۰۰ میلی ثانیه از روی داده‌های برانبارش شده لرزه‌ای (برانبارش داده‌های پیش از برانبارش) در پیرامون چاه W1 نشان می‌دهد. طول این موجک معادل ۱۲۰ میلی ثانیه بوده و معرف رفتار داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده از نقطه نظر لرزه‌ای است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، داده‌های موجود لرزه‌ای در محدوده مورد مطالعه دارای طیف بسامدی گسترده‌ای دارند که سبب بهبود کیفیت نتایج حاصل می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، نگاره‌های سونیک و چگالی برای ساخت سری بازتابش لرزه‌ای چاه بلوکی شده‌اند. این فرایند موجب بهبود کیفیت ردلرزه مصنوعی ساخته شده در محل چاه می‌شود. ردلرزه مصنوعی به دست آمده در این شرایط نوفه‌های کمتری دارد که تطابق بهتری را با داده‌های لرزه‌ای نشان خواهد داد.

پس از انجام این مرحله، ردلرزه مصنوعی به دست آمده با داده‌های چاه مقایسه می‌شود و برای بهبود تطابق میان داده‌های چاه و لرزه، رابطه زمان-ژرفا به روزرسانی می‌شود. فرایند به روزرسانی رابطه زمان-ژرفا با همسان‌سازی رخداد‌های لرزه‌ای دیده شده میان داده‌های لرزه‌ای واقعی و مصنوعی در محل چاه انجام می‌پذیرد. شکل ۵ نتیجه تطابق پایانی به دست آمده در چاه W1 را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، مقادیر سرعت پایانی تصحیح شده و سرعت اولیه داده‌های چاه پس از اعمال تغییرات جزئی در رابطه زمان-ژرفا تطابق بالایی نسبت به هم دارند (پانل سمت چپ). مقایسه تفسیرهای زمانی نشان داده شده روی داده لرزه‌ای با مارکرهای حفاری در حیطه زمان نیز گویای تطابق قابل قبول اطلاعات چاه و لرزه در حیطه زمان است؛ که این امر ادامه روند مطالعات ژئوفیزیک مخزنی را با دقت بالایی فراهم می‌سازد. تطابق به دست آمده میان ردلرزه مصنوعی و واقعی در این فرایند در طول پنجره نمایش داده شده برابر ۶۵ درصد است.

شکل ۶ موجک پایانی استخراج شده برای انجام مدل‌سازی‌های AVO را در این مطالعه نشان می‌دهد. فاز متوسط این موجک برابر ۱۴ درجه است و از دید طیفی همانندی زیادی با موجک آماری استخراج شده دارد.

۶- مدل‌سازی AVO

با استفاده از روابط فیزیک سنگی و بهره‌گیری از داده‌ها، با استفاده از نمودار اشباع‌شدگی آب حاضر در مخزن به برآورد نگاره‌های سرعت امواج فشاری و برشی و چگالی در محدوده مخزنی پرداخته شده است. در این مرحله، تطابق نگاره‌های برآورد شده و نگاره‌های موجود نشان‌دهنده شناخت رفتار صحیح فعلی مخزن از دید ترکیب سنگ‌شناسی و سیال‌های موجود در آن است. نکته قابل توجه در این مدل‌سازی این است که با توجه به این حقیقت که ویژگی‌های سنگ‌شناسی مخزن به صورت میانگین در نظر گرفته شده‌اند، نگاره‌های به دست آمده الزاماً دارای تطابق صد در صد با نگاره‌های اولیه نیستند. این مسئله در نواحی‌ای که یک کانی از دید حجمی چیره شده است (نبود نسبت‌های میانگین فرض شده) با وضوح بیشتری دیده می‌شود. می‌توان گفت که سرعت موج فشاری و چگالی در برآوردهای مربوط به اشباع‌شدگی کامل آب به مراتب بیشتر از مقادیر به دست آمده از برآوردهای صورت گرفته برای اشباع‌شدگی کامل گاز است. نکته قابل توجه همانندی زیاد سناریوی اشباع کامل آب با سناریوی شرایط واقعی مخزن است. از این رو انتظار می‌رود رفتارهای دیده شده در نمودارهای AVO در سناریوی اشباع کامل همانندی زیادی با رفتار داده‌های لرزه‌ای واقعی نشان دهد.

لرزه‌نگاشت‌های تولید شده در محل چاه W1 با استفاده از معادله ژئوپریتمس در سناریوهای مطرح شده مشهود است و به مقایسه رفتارهای لرزه‌ای و پاسخ AVO به دست آمده در سناریوهای شرایط مخزنی و اشباع‌شدگی کامل آب می‌پردازد.

رفتارهای بسیار مشابهی از دید پاسخ AVO در نتایج به دست آمده از مدل‌سازی‌های انجام شده برای سناریوهای اشباع کامل آب و شرایط مخزنی دیده می‌شود (شکل ۷). این مسئله به دلیل همانندی ویژگی‌های پتروفیزیکی نفت و آب است. این در حالیست که همانندی زیادی میان پاسخ‌های AVO در سناریوهای اشباع کامل گاز (با در نظر گرفتن اشباع آب همراه مخزن) و شرایط مخزنی دیده نمی‌شود. با این وجود رفتار بازتابشی دیده شده برای هر دو سناریو معرف تپ چهار رفتار AVO است. البته با این حال همانندی‌های رفتاری دیده شده گویای این مطلب است که نشانگرهای AVO می‌توانند مرز سیال‌ها را در محدوده‌های دور از چاه تمایز دهند. همچنین بررسی شیب نمودارهای به دست آمده برای پاسخ AVO گویای این مطلب است که نشانگر گرادیان کاندیدای خوبی برای تفکیک سیال‌های مخزنی به ویژه در مرز گاز و نفت است. از این رو، برای شناسایی مرز گاز و نفت این نشانگر در کل محدوده داده لرزه‌ای به دست آمد و نتایج حاصل از آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

۷- تهیه نشانگرهای AVO با هدف تعیین مرز گاز و نفت

پس از انجام تحلیل‌های مربوط به نشانگرهای اصلی AVO در پیرامون چاه W1 و انتخاب نشانگر گرادیان به عنوان نشانگری که پتانسیل شناخت رفتار سیال مخزنی را در ناحیه مورد مطالعه دارد، مکعب نشانگرهای AVO در محدوده مورد مطالعه تهیه شد. شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب برشی از نشانگرهای گرادیان و ضریب پواسون مقیاس شده را نشان می‌دهند. این برش‌ها در امتداد سازند مخزنی با ستبرای ۱۰ میلی ثانیه تهیه شده‌اند. محدوده‌ای که پیرامون آن با منحنی سیاه رنگ مشخص شده است، مرز گاز و نفت را در بخش بالایی این مخزن نشان می‌دهد. برای مقایسه بهتر، مرز گاز و نفت تفسیر شده با نگاره‌های پتروفیزیکی که به صورت یک سطح افقی در مخزن پیاده‌سازی شده است، در شکل ۸ نمایان است و موقعیت چاه W1 و W2 که هر دو در ناحیه نفتی و در مجاورت محدوده گازی حفاری شده‌اند. همان‌گونه که در این شکل‌ها دیده می‌شود، نتایج به دست آمده از نشانگرهای AVO با دقت بالایی محدوده گازی مخزن را مشخص می‌کند که این امر در اثر تفاوت‌های رفتاری داده‌های لرزه‌ای در اثر اشباع‌شدگی با گاز و نفت است.

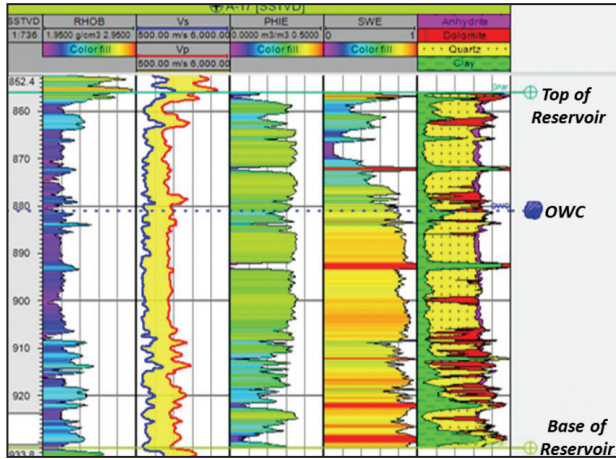
شکل ۱۰ مقطع امتدادی از نشانگر گرادیان را که از چاه W1 نیز عبور می‌کند نشان می‌دهد. در این مقطع نیز می‌توان محدوده گازی را به روشنی دید که جدایش گاز و نفت روی آن صورت گرفته است.

۸- نتیجه گیری

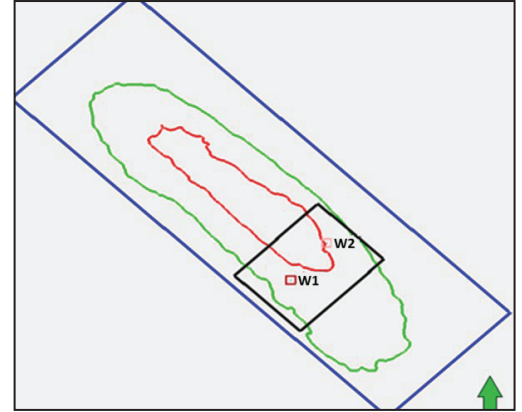
بر پایه مطالعه صورت گرفته در مخزن مورد مطالعه، با در نظر گرفتن روش استفاده شده و داده‌های موجود، نتایج و پیشنهادات زیر ارائه می‌شود: در انجام مطالعات ژئوفیزیک مخزن، کالیبراسیون داده‌های چاه و لرزه اهمیت بسیار بالایی دارد و هر گونه خطا در این مرحله سبب دست نیافتن به نتایج پایانی در پروژه می‌شود. از این رو، در این مطالعه، این مرحله از کار با دقت بسیار بالایی صورت گرفت. با وجود وجود فرضیه پایایی موجک در تئوری‌های ژئوفیزیک لرزه‌ای، موجک لرزه‌ای با عبور از لایه‌های زمین دچار تغییر ماهیت می‌شود که این مسئله در این مطالعه مورد ارزیابی و مدل‌سازی قرار گرفت. همچنین، استفاده از موجک معرف برای هر مخزن، سبب بهبود کیفیت نتایج پایانی در مطالعات ژئوفیزیک مخزنی می‌شود. بهره‌گیری صحیح از مطالعات و روش‌های فیزیک سنگی امکان ایجاد شناخت گسترده از رفتار مخزن را در اثر تغییرات به وجود آمده در سیال مخزن در فواصل دور از چاه فراهم می‌کند که داده‌های کافی چاه ندارند. در این پژوهش نیز با بهره‌گیری از روابط فیزیک سنگی مناسب و تفسیرهای پتروفیزیکی دقیق، تأثیر اشباع‌شدگی سنگ مخزن با فازهای مختلف سیال مورد بررسی قرار گرفت و نتایج قابل قبولی به دست آمد. مدل سرعت ساخته شده در این مطالعه مشخص کننده بازه زوایای بازتابش موجود در مخزن مورد مطالعه بود. بر این اساس، در محدوده مورد بررسی، زوایای بازتابش میان ۲۰ تا ۴۰ درجه قرار گرفتند

مطالعه انتخاب شد که در بررسی‌های آتی می‌تواند با موفقیت مرز گاز و نفت را در مخزن مورد مطالعه تفکیک کند. مقایسه نتایج به دست آمده با تفسیرهای پتروفیزیکی برای تعیین مرز گاز-نفت تطابق بالایی دارد و همچنین وجود موج برشی در چاه‌ها امکان افزایش درستی مطالعات را در گستره مخزن افزایش می‌دهد.

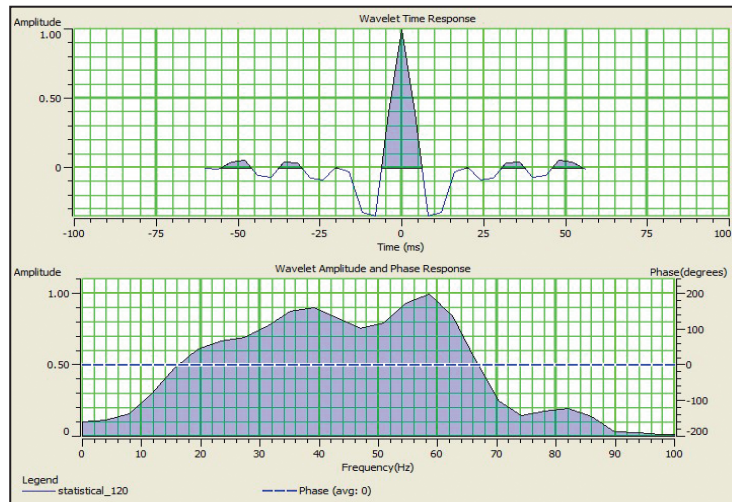
که استفاده از روابط دو جمله‌ای Aki را فراهم می‌سازند. مدل‌سازی‌های AVO با استفاده از روابط دو جمله‌ای Aki در سناریوهای مختلف سبب شناخت نشانگر اصلی معرف لرزه‌ای مخزن در فواصل دور از چاه شد. بر پایه بررسی‌های انجام شده، نشانگر گرادیان به عنوان نشانگر معرف تعیین کننده مرز سیال‌های در مخزن مورد



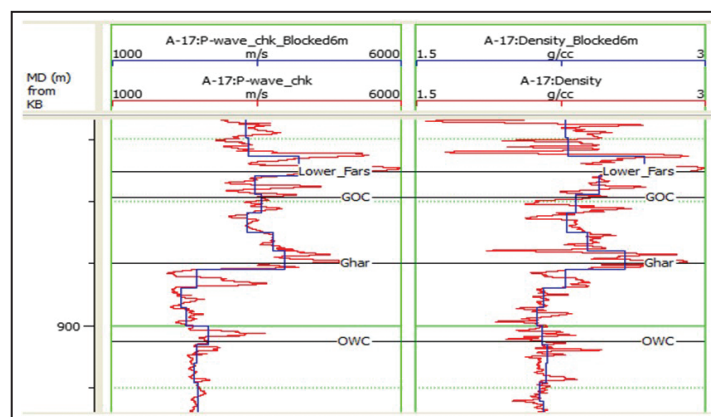
شکل ۲- نمایش نگاره‌های موجود در چاه W1.



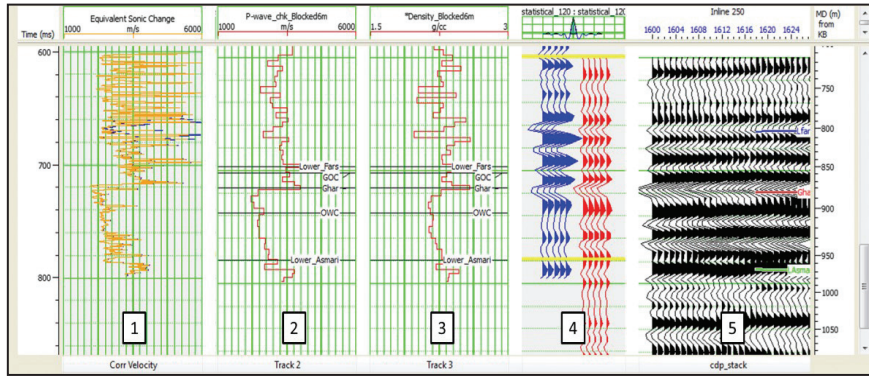
شکل ۱- داده‌های موجود در مطالعه؛ مستطیل آبی رنگ: محدوده داده‌های لرزه‌ای پس از برانبارش؛ مستطیل سیاه رنگ: محدوده داده‌های پیش از برانبارش لرزه‌ای؛ محدوده سبز رنگ: خط تراز سطح تماس آب و نفت؛ محدوده سرخ رنگ: خط تراز سطح تماس گاز و نفت.



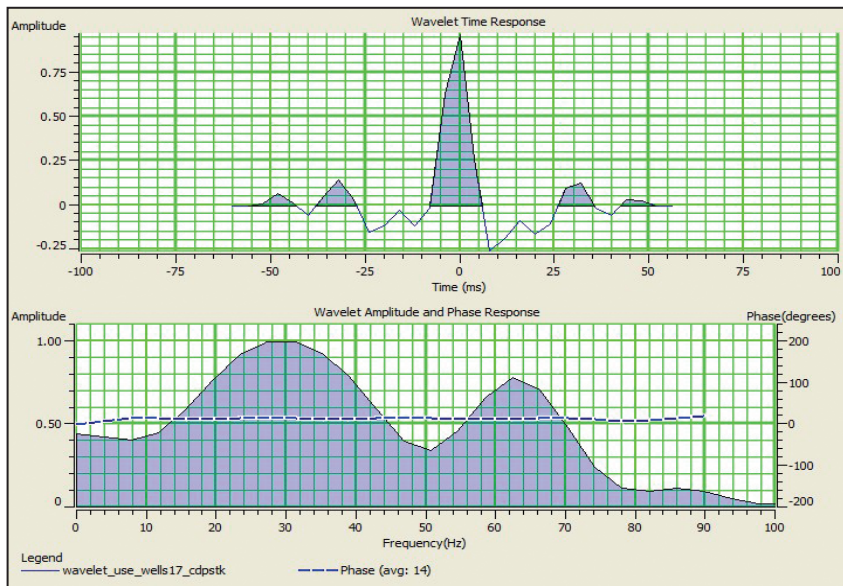
شکل ۳- موجک استخراج شده با روش آماری (فاز صفر) به طول ۱۲۰ میلی ثانیه؛ شکل بالا مربوط به رفتار زمانی موجک است و شکل پایین طیف بسامدی آن را مشخص می‌کند.



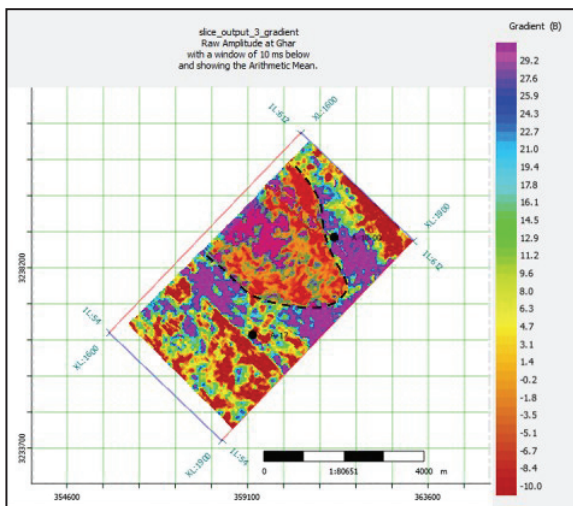
شکل ۴- بلوکی کردن نگاره‌های چاه برای حذف تغییرات کوچک مقیاس با هدف همسان‌سازی بسامد نگاره‌های پتروفیزیکی و داده‌های لرزه‌ای.



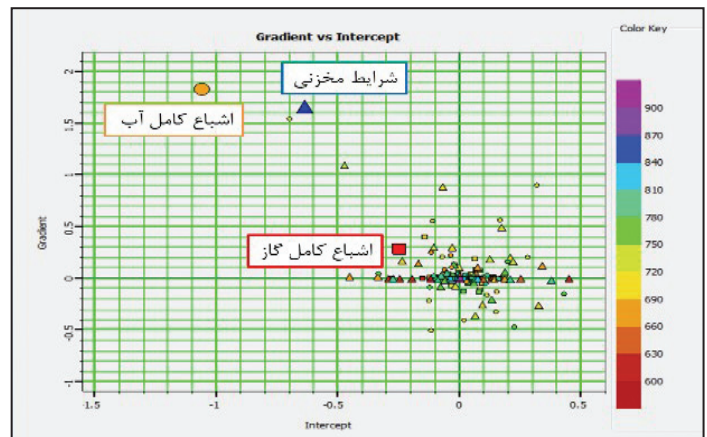
شکل ۵- تطابق رد لرزه واقعی و مصنوعی در محل چاه با اعمال تغییرات جزئی در رابطه زمان- ژرفا. (۱) تطابق داده‌های سرعت موج سونیک پیش و پس از اعمال تغییرات رابطه زمان- ژرفا؛ (۲) سرعت بلوکی شده؛ (۳) چگالی بلوکی شده؛ (۴) تطابق رد لرزه مصنوعی (نمودار آبی رنگ) و رد لرزه واقعی (سرخ رنگ) در محل چاه؛ (۵) داده‌های لرزه‌ای برانبارش شده در محل چاه به همراه تفسیرهای لرزه‌ای.



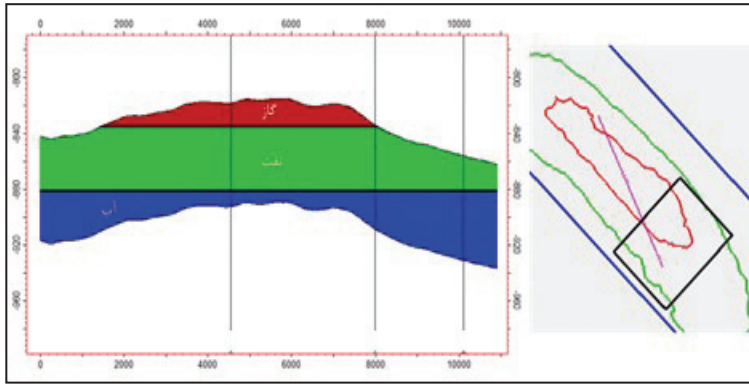
شکل ۶- موجک پایانی استخراج شده با تلفیق داده‌های چاه با فاز متوسط ۱۴ درجه.



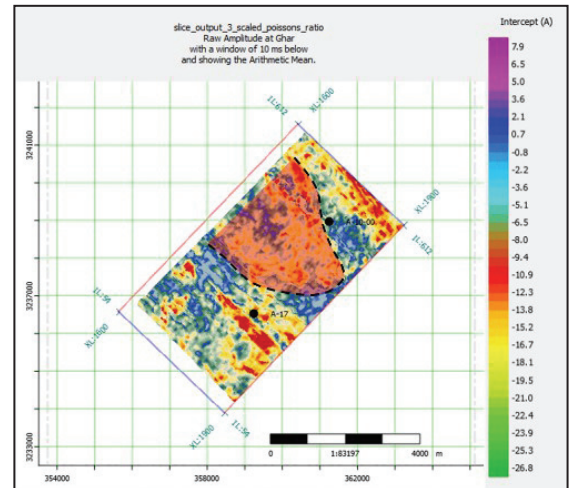
شکل ۸- محدوده سطح تماس گاز و نفت روی برشی از مکعب گرادیان AVO.



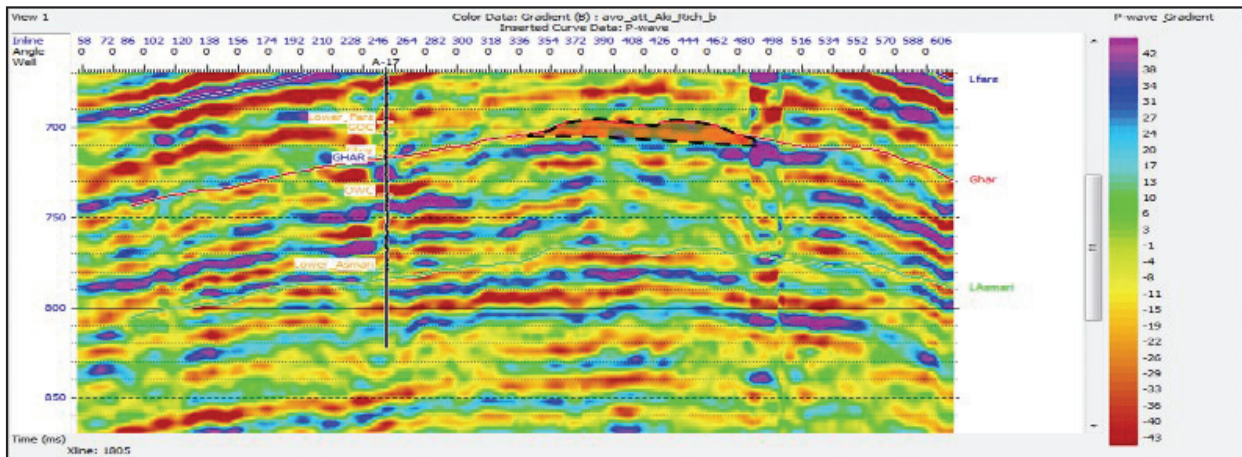
شکل ۷- نمودار مقاطع عرض از مبدأ- گرادیان به دست آمده برای سناریوهای مختلف اشباع سیالها در بخش بالایی مخزن مورد مطالعه.



شکل ۱۰- برشی گذرا از مرز آب و نفت تفسیر شده توسط داده‌های پتروفیزیکی در امتداد مقطع نشان داده شده.



شکل ۹- محدوده سطح تماس گاز و نفت روی برشی از مکعب نسبت پواسون مقیاس شده AVO.



شکل ۱۱- تعیین مرز گاز و نفت در مقطعی از گرادیان AVO.

جدول ۱- درصد ترکیب سنگی‌های موجود در سازند مخزنی در چاه WI.

| درصد کوارتز | درصد شیل | درصد دولومیت | درصد انیدریت |
|-------------|----------|--------------|--------------|
| ۵۵ | ۲۷ | ۱۵ | ۳ |

References

- Castagna, J. P., 1985- Petrophysical Imaging using AVO: The Leading Edge, 12 (3), 172-179.
- Downton, J., 2005- Linearized AVO inversion with supercritical angle: CSEG National Convention Expanded Abstracts, 32-35.
- Dufour, J., Squires, J., Goodway, W. N., Edmunds, A. and Shook, I., 2002- Integrated geological and geophysical interpretation case study, and Lamé's rock parameter extraction using AVO analysis on the Blackfoot 3C-3D seismic data, southern Alberta, Canada: Geophysics, 67, 27-37.
- Ostrander, W. J., 1984- Plane-wave reflection coefficients for gas sands at non-normal angles of incident: Geophysics, 49, 1637-1648.
- Shuey, R. T., 1985- A simplification of the Zoeppritz equations: Geophysics, 50, 609-614.
- Simm, R., 2000- The anatomy of AVO crossplots, in Kassouri, A. and Djaffer, H., 2003, Lithology and gas detection by AVO crossplot polarization and intercept inversion, EAGE 65th Conference and Exhibition, Stavanger, Norway, 2-5 June.
- Smith, G. C. and Gidlow, P. M., 1987- Weighted stacking for rock property estimation and detection of gas: Geophys. Prosp., 35, 993-1014.

Determining the oil-gas contact using Amplitude Versus Offset (AVO) technique in a sandstone reservoir of the southern Iran

S. Roshanzamir^{1*} and K. Ahmadi²

¹M.Sc., Department of Oil, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

²Instructor, Department of Oil, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 2016 June 28

Accepted: 2016 September 24

Abstract

Reservoir geophysics studies have played a significant role in exploration and production activities during the last decades. These techniques often try to identify the lithology and fluid content of the reservoir by utilization of pre-stack seismic data. The most effective type of these studies is performed in sandstone reservoirs, in which shear sonic logs increase the quality of the results. In this study, Amplitude Versus Offset (AVO) technique is applied in one of the sandstone reservoirs in the Persian Gulf. The applied methodology is based on modeling of seismic responses with different scenarios of fluid saturations in order to identify, using rock physics models, the seismic behavior of the reservoir in wells lacking shear logs. To achieve this goal, petrophysical interpretations of well data and reservoir parameters were integrated into a rock physics model, which eventually helped to recognize the seismic attributes sensitive to fluid content of the reservoir. In addition, calculation of pre-stack seismic attributes data led us to discriminate accurately the gas-oil contact. The comparison of the AVO study results with petrophysical evaluation results shows that AVO method results are very reliable and precise in the study area.

Keywords: Amplitude Versus Offset (AVO), Rock Physics, P-Wave, shear wave, Poisson's ratio

For Persian Version see pages 135 to 140

*Corresponding author: S. Roshanzamir; E-mail: Soheila.roshanzamir@gmail.com