

سرشت نمایی یکی از مخازن کربناته ایران با روش وارون سازی پیش از برانبارش

سپیده یاسمی خیابانی^{۱*} و سید محسن سید علی^۲

۱- مربی پژوهش، پژوهشکده علوم پایه کاربردی

۲- کارشناس ارشد، شرکت نفت فلات قاره ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۷؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۷

* نویسنده مسئول مکاتبات: sepideh_yasami@yahoo.com

چکیده

در این مقاله سعی شده است تا با بهره گیری از روش های تفسیر کمی داده های لرزه ای به شناسایی خواص مخزنی در یک مخزن کربناته پرداخته شود. هدف اصلی این مقاله استفاده از وارون سازی همزمان پیش از برانبارش برای سرشت نمایی یکی از مخازن کربناته خلیج فارس است. با توجه به این که بیش از ۸۰ درصد مخازن نفت و گاز کشور ایران کربناته می باشند؛ که پیچیدگی بیشتری نسبت به مخازن ماسه سنگی دارند و همچنین از آنجایی که بیشتر مطالعات انجام شده در این حوزه به ارزیابی شرایط سنگ و سیال در مخازن آواری که عمدتاً از تلفیق رسوبات ماسه ای و شیلی تشکیل شده اند؛ پرداخته، اهتمام این پژوهش بر بررسی کارآمدی روش های آنالیز داده های لرزه ای پیش از انبارش در تفکیک و شناسایی خواص سنگ و سیالات مخزنی نهاده شده است.

برای بهبود دستیابی به خصوصیات این مخازن، از پارامترهای حاصل از نتیجه این نوع وارون سازی در روابط مربوط به نشانگرهای LMR^۱ استفاده شده است. با استفاده از روش LMR قادر بر $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ استخراج شدند؛ که به ترتیب ماتریکس سنگ و محتوای سیال حساس هستند. همچنین در این مطالعه تحلیل های AVO برای شناسایی رفتار سیالات مخزنی مورد ارزیابی قرار گرفت. در زون کربناته با ترسیم نشانگرهای AVO همگونی مشخصی در قسمت مورد مطالعه مشخص شد؛ که حاکی از آن است که این نشانگرها قابلیت بالایی در تفکیک خواص سنگ و سیال مخزن کربناته از خود بروز ندادند؛ اما تهیه مقاطع $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ و تحلیل تغییرات آنها، گویای این حقیقت است که بهره گیری از روش LMR با موفقیت بیشتری برای تعیین خواص سنگ و سیال مخزن در یک مخزن کربناته قابل بکارگیری است. به ویژه در محدوده مخزن مورد مطالعه، برش حاصله از مکعب $\lambda\rho$ با دقت بالایی قادر به تفکیک فازهای گاز و نفت در مخزن شده است.

ویژگی شاخص این مطالعه، انجام اندازه گیری های آزمایشگاهی برای تخمین دقیق تر رابطه میان سرعت امواج برشی و تراکمی است. از آنجایی که در بیشتر مطالعات از روابط از پیش تعریف شده ای همچون رابطه کاستاگنا برای تخمین سرعت امواج برشی استفاده می شود؛ در این تحقیق از یک رابطه دقیق تر که با استفاده از اندازه گیری های آزمایشگاهی از نمونه های آهکی چاه های مختلف در میدان مورد مطالعه بدست آمد، استفاده شد.

واژگان کلیدی

مخزن کربناته
وارون سازی همزمان پیش از برانبارش
روش LMR
اکتشاف هیدروکربن
سرشت نمایی مخزن

۱- مقدمه

یکی از مهمترین چالش‌هایی که محققین در اکتشاف و توسعه بهره‌برداری از میادین هیدروکربنی با آن مواجه بوده و همواره در رابطه با تخمین آن با عدم قطعیت فراوانی مواجه می‌باشند، تعیین توزیع مکانی ویژگی‌های مخزنی در محدوده میادین هیدروکربنی می‌باشد. همچنین تشخیص دقیق و اطلاعات توزیع خصوصیات مخزنی و بررسی تغییرات این خصوصیات، فراتر از محدوده مخزنی نیز عامل مهمی در ضمن بررسی‌های فنی بوده و راهنمای خوبی در جهت توسعه فازهای بهره‌برداری بعدی از این مخازن است.

در دهه ۱۹۷۰ ژئوفیزیک‌دانان شروع به مطالعاتی برای فهم اطلاعات نهفته در دامنه‌های بازتاب نمودند. این اطلاعات می‌توانست با پارامترهایی نظیر تغییرات تخلخل، تغییرات لیتولوژی و حتی تغییرات توزیع سیالات موجود در سازندها در ارتباط باشند. مطالعات تغییرات دامنه‌های بازتاب‌ها منجر به ظهور روش مطالعات تغییرات دامنه نسبت به دورافت یا AVO گردید؛ که امروزه به عنوان ابزاری در پیش‌بینی بهتر خصوصیات سنگ-شناسی و سیالات مخزنی در دسترس است.

طی انجام تحلیل AVO فرض بر این است که زمین از یک سری لایه‌های همگن و همسانگرد افقی تشکیل شده است. از آنجا که تنها بازتاب موج تراکمی در نظر گرفته می‌شود؛ کاهش انرژی ناشی از انتشار موج، موج‌های تبدیل شده و چندگانه‌ها نیز باید در طی مراحل پردازش اصلاح گردد. هر چه بازتابنده مورد نظر کم‌عمق‌تر باشد، محدوده زاویه تابش وسیع‌تر خواهد بود. از این رو برای بازتابنده‌های کم‌عمق‌تر کارآمد تر هستند (Yilmaz, 2001). از طرفی اگر چه 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؛ ولی در ارتباط با انجام این مطالعات موارد زیر را نیز باید در نظر داشت:

- ۱- پردازش با حفظ دامنه صحیح داده‌های پیش از برانبارش
 - ۲- استفاده از نشانگرهای AVO در تفسیر داده‌های پردازش شده
- که در عمل هر دو مورد، استفاده از این روش را محدود می‌کند (Li et al., 2003). از سوی دیگر، به دلیل عدم یکتایی تبدیلات خصوصیات کشسان به خصوصیات سنگ‌شناسی و محتویات سیال، خالی از ابهام نیستند. اخیراً، ژئوفیزیک‌دانان از نشانگرهای لرزه‌ای که شامل همه کمیت‌های بدست آمده از داده‌های لرزه‌ای می‌باشند و از روش‌های وارون سازی لرزه‌ای استخراج می‌شوند؛ بهره می‌گیرند (Taner, 2001).

در وارون سازی لرزه‌ای یک رد لرزه با باند محدود، به یک شبه رد لرزه مقاومت صوتی تبدیل می‌شود (Francis, 2014). کاربرد داده‌های مقاومت صوتی نیز از ارزیابی کیفی اهداف به توصیف کمی خصوصیات مخزنی که برای مدل سازی مخزن ضروری هستند، ارتقا یافته است. از یک دیدگاه، وارون سازی داده‌های لرزه‌ای را می‌توان به عنوان مدل سازی وارون در نظر گرفت. در این حالت ایجاد مدل زمین بر اساس پاسخ ثبت شده مد نظر می‌باشد (Misra, 2008).

برای وارون سازی داده‌های لرزه‌ای و رسیدن به مدل زمین، روش‌های مختلفی وجود دارد؛ که هر روش این مدل را از منظر خاصی مورد بررسی قرار می‌دهد. علی‌رغم این که هر روش جزییات جداگانه‌ای دارد، ولی به صورت کلی وارون سازی لرزه‌ای به دو دسته روش‌های وارون سازی لرزه‌ای پیش از برانبارش و پس از برانبارش تقسیم‌بندی شده است. در این مقاله از روش وارون سازی پیش از برانبارش استفاده شده است. از طرفی وارون سازی لرزه‌ای پیش از برانبارش با نام وارون سازی همزمان نیز خوانده می‌شود. زیرا دو یا چند حجم از پارامترهای پتروفیزیکی به طور همزمان تولید می‌شوند. الگوریتم وارون سازی همزمان با اختصاص دادن مجموعه‌ای از رد لرزه‌ها در محدوده‌های زاویه‌ای یکسان و موجک‌هایی برای هر محدوده، مدل‌هایی برای مقاومت تراکمی، مقاومت صوتی برشی و چگالی تولید می‌کند (Martins, 2006). تلفیق این مدل‌ها با اطلاعات زمین‌شناسی و داده‌های چاه برای شناسایی رخساره‌های مخزنی مورد استفاده قرار می‌گیرند (chopra and castagna, 2014). فرآیند دو مرحله‌ای 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 می‌شود (Simm and Bacon, 2014).

مونکایو و همکاران در سال ۲۰۱۲ از مزایای وارون سازی پیش از برانبارش به برآورد سرعت موج برشی که به اشباع سیال حساس است، اشاره نمودند (Moncayo et al., 2012). همچنین غلامی در سال ۲۰۱۶ اظهار نمود که وارون سازی لرزه‌ای پیش از برانبارش نسبت به سایر روش‌های وارون لرزه‌ای برای مثال وارون سازی پس از برانبارش اطلاعات بیشتری را به منظور تمایز بین اثرات لیتولوژی و سیال در اختیار قرار می‌دهد (Gholami, 2016). نتایج روش وارون سازی همزمان پیش از برانبارش می‌توانند در روابطی با عنوان نشانگرهای LMR گنجانده شده و اطلاعات بیشتری را در قالب $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ که ضرایب لامه نامیده می‌شوند و به ترتیب به محتویات سیال و ماتریکس سنگ حساسند؛ در اختیار قرار دهند. این دو ضریب به خوبی می‌توانند اثرات سیال را از اثرات لیتولوژی تفکیک نمایند (Srivastava and Maultzsch, 2018).

در این مقاله از رابطه‌ی آکی-ریچاردز که در واقع رابطه‌ی ساده سازی شده ژئوپریتر است؛ برای انجام وارون سازی استفاده شده است (Aki and Richards, 2002). این الگوریتم مبتنی بر سه فرض است. اولین مورد این است که فرضیه‌ی خطی بودن برای ضرایب بازتابش را حفظ می‌نماید. دوم این که ضرایب بازتابش PP و PS به عنوان تابعی از زاویه‌ی بازتابش هستند، که می‌توانند با معادلات آکی-ریچاردز ارائه شوند. سوم این که بین لگاریتم امپدانس موج تراکمی و لگاریتم امپدانس موج برشی و چگالی رابطه خطی وجود دارد (Hampson et al., 2005). با بهره‌گیری از این سه فرضیه، می‌توان مدل نهایی امپدانس P و S و چگالی را با بهینه نمودن یک مدل اولیه‌ی امپدانس P محاسبه نمود.

از زاویه می‌تواند از معادلات اکی و ریچاردز (۲۰۰۲) بیان شود و یک رابطه خطی بین لگاریتم مقاومت لرزه‌ای موج P با مقاومت لرزه‌ای موج S و چگالی وجود دارد. هدف وارون‌سازی پیش از برانبارش، بدست آوردن تخمین‌های قابل اطمینان از سرعت موج‌های P و S و چگالی است؛ که با استفاده از آنها خصوصیات سنگ‌شناسی و سیال زیر سطح زمین را تعیین می‌کنند (Aki and Richards, 2002).

بولاند و اومره (۲۰۰۳) سه جمله $\frac{\Delta V_p}{V_p}$ ، $\frac{\Delta V_s}{V_s}$ ، $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ را با تقریب‌های زیر به V_p و V_s نسبت دادند (Buland and Omre, 2003).

$$\frac{\Delta V_p}{V_p} \approx \Delta \ln V_p \quad (۱)$$

$$\frac{\Delta V_s}{V_s} \approx \Delta \ln V_s \quad (۲)$$

$$\Delta \rho \approx \Delta \ln \rho \quad (۳)$$

هامپسون و همکاران (۲۰۰۵) با بسط کار بولاند و اومره، روشی جدید برای وارون‌سازی لرزه‌ای به منظور تعیین مقاومت تراکمی، مقاومت برشی و چگالی ارائه دادند. آنها با ترکیب بازتابندگی موج تراکمی با معادله (۱) رابطه آتی را تعریف کردند (Hampson et al., 2005):

$$R_{pi} \approx \frac{1}{2} \Delta \ln Z_{pi} = [\ln Z_{pi+1} - \ln Z_{pi}] \quad (۴)$$

روابطی مشابه برای بازتابندگی‌های موج برشی و چگالی نیز بیان می‌شوند. برای یک رد لرزه با N نمونه، معادله (۴) در شکل ماتریسی به صورت رابطه (۵) نوشته می‌شود:

$$\begin{bmatrix} R_{p1} \\ R_{p2} \\ \vdots \\ R_{pN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{p1} \\ L_{p2} \\ \vdots \\ L_{pN} \end{bmatrix} \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & K \\ 0 & -1 & 1 & O \\ 0 & 0 & -1 & O \\ M & O & O & O \end{bmatrix} \quad (۵)$$

که در این رابطه $[L_{pi} = \ln(Z_{pi})]$ است. از همایخت موجک لرزه‌ای با سری ضرایب بازتاب زمین، رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{p1} \\ L_{p2} \\ \vdots \\ L_{pN} \end{bmatrix} \frac{1}{2} \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 & \Lambda \\ W_2 & W_1 & 0 & O \end{bmatrix} = \quad (۶)$$

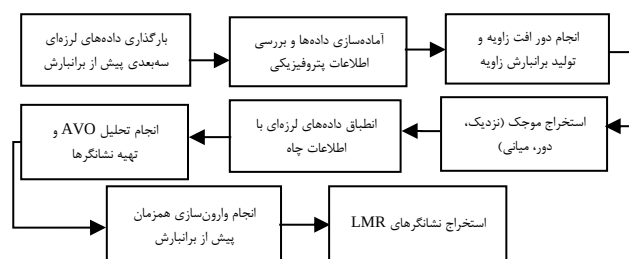
با ترکیب معادلات (۵) و (۶) می‌توان به صورت زیر، رد لرزه را به لگاریتم مقاومت تراکمی مرتبط ساخت:

$$T = \frac{1}{2} WDL_p \quad (۷)$$

که W ماتریس موجک است. از ترکیب این رابطه با تقریب فاتی و همکاران معادله زیر حاصل می‌شود:

$$T(\theta) = a\left(\frac{1}{2}\right)W(\theta)DL_{p+} + b\left(\frac{1}{2}\right)W(\theta)DL_{s+} + c\left(\frac{1}{2}\right)W(\theta)DL_D \quad (۸)$$

هدف این مقاله سرشت نمایی یکی از مخازن کربناته واقع در شمال غرب خلیج فارس با استفاده از روش وارون‌سازی پیش از برانبارش است. لذا پس از آماده‌سازی اولیه داده‌ها و بارگذاری آنها در نرم‌افزار، 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 وارون‌سازی ایفای نقش نماید. پس از انجام این مراحل و آماده‌سازی تمامی داده‌های مورد نیاز، الگوریتم وارون‌سازی همزمان بر روی داده‌های لرزه‌ای اعمال شد؛ تا پارامترهای ژئوفیزیکی اصلی شامل سرعت امواج برشی و تراکمی و چگالی محیط موثر استخراج گردد. این پارامترها، پایه محاسبه ضرایب لایه و یا سایر پارامترهای ژئومکانیکی مخزن می‌باشند. در کنار این روش، آنالیز دامنه بر اساس دورافت (AVO) نیز بر روی داده‌های لرزه‌ای انجام گرفت و ضرایب شیب و عرض از مبدا در مکعب لرزه‌ای مورد مطالعه استخراج گردید. خروجی این داده‌ها نیز در گستره مخزنی مورد مطالعه در کنار نتایج حاصل از روش وارون‌سازی پیش از برانبارش مورد ارزیابی قرار گرفت؛ تا کارآمدی هر یک از روش‌ها در جهت نیل به اهداف مطالعه که شناسایی خواص سنگ و سیال مخزن است؛ مشخص گردد. در شکل ۱ این مراحل به طور خلاصه نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱: مراحل انجام کار در این مطالعه

۲- وارون‌سازی پیش از برانبارش همزمان

وارون‌سازی پیش از برانبارش می‌تواند از همه اطلاعات ثبت شده استفاده کند و اطلاعات مهمی از توصیف لرزه‌ای مخازن پیچیده و با صحت بیشتر فراهم آورد. وارون‌سازی پیش از برانبارش به عنوان یک فناوری اصلی برای توصیف مخازن با استفاده از داده‌های لرزه‌ای نقش مهمی در اکتشاف هیدروکربنی دارد. از آنجایی که وارون‌سازی پیش از برانبارش هم اطلاعات امواج برشی و هم اطلاعات امواج تراکمی در مورد سنگ را می‌دهد؛ لذا استفاده از این دو پارامتر الاستیکی تخمین زده شده نقش مهمی در کاهش ابهامات در بسیاری از اکتشافات بر عهده دارد. روش وارون‌سازی پیش از برانبارش همزمان بر این فرض استوار است که بازتاب‌پذیری به عنوان تابعی

$$[L_P \Delta L_S \Delta L_P]^T = [\log(Z_{P0}) \ 0 \ 0]^T \quad (15)$$

که در آن، Z_P مدل اولیه مقاومت است. با حل این معادله مقادیر نهایی Z_P ، Z_S و ρ طبق معادلات زیر محاسبه می‌شوند:

$$Z_P = \exp(L_P) \quad (16)$$

$$Z_S = \exp(kL_P + k_c + \Delta L_S) \quad (17)$$

$$\rho = \exp(mL_P + m_c + \Delta L_D) \quad (18)$$

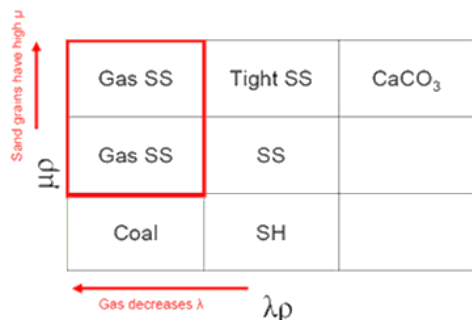
۳- نشانگرهای LMR

نشانگرهای لرزه‌ای توابع ریاضی مشتق شده از اطلاعات لرزه‌ای هستند؛ که در حوزه زمان و فرکانس از داده‌های لرزه‌ای استخراج می‌گردند. نشانگرهای LMR که شامل $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ می‌باشند، از جمله نشانگرهای کاربردی هستند که در مراحل پیش از برانبارش از اطلاعات لرزه‌ای استخراج می‌شوند و برای تفکیک لیتولوژی و سیال کاربرد دارند. رخساره‌های مختلفی در ترسیم متقاطع این دو نشانگر قابل تشخیص می‌باشند. هر لیتولوژی بسته به کانی‌شناسی و محتوای سیال داخل آن، خواص فیزیکی متفاوتی دارد. مجموع تفاوتها در تراکم‌پذیری سیال، خواص کانی‌ها و اندازه دانه‌ها نتایج LMR متفاوتی بدست می‌دهد. شکل ۲ ترسیم متقاطعی از نشانگرهای LMR می‌باشد؛ که جدایش سنگ‌شناسی‌های مختلف در آن مشهود است. با توجه به معادلات مربوط به سرعت‌های امواج تراکمی و برشی و همچنین تعریف مقاومت لرزه‌ای می‌توان روابطی برای نشانگرهای LMR بدست آورد.

$$\mu\rho = IS^2 \quad \text{و} \quad \lambda\rho = IP^2 - 2IS^2 \quad (19)$$

مفاهیم تراکم ناپذیری و ضریب برشی در درک پاسخ‌های LMR اساسی هستند. به طور کلی می‌توان گفت پارامتر μ به ماتریکس سنگ حساسیت دارد (Gassmann, 1951) و معیاری از سختی آن می‌باشد و پارامتر λ به سیال درون حفره‌ها حساسیت نشان می‌دهد و میزان تراکم ناپذیری آن را بیان می‌کند (Assefa et al., 2003).

LMR INTERPRETATION



شکل ۲: ترسیم متقاطع $\mu\rho$ نسبت به $\lambda\rho$ که مرز بین سنگ‌شناسی‌های مختلف را به صورت مرزهای عمودی نشان می‌دهد. عبارات داخل شکل بدین معنی هستند. Coal، زغال؛ SSG، ماسه گازدار؛ SH، شیل؛ SS، ماسه سنگ؛ SST، ماسه سنگ سیمانی و CO₃، آهک (Gray, and Andersen, 2001).

معادله (۸) می‌تواند برای وارون سازی استفاده شود؛ ولی رابطه‌ای بین Z_P ، Z_S و چگالی بیان نمی‌کند. در وارون سازی همزمان هامپسون- راسل دو رابطه خطی در جهت تعریف روابطی بین آنها فرض می‌شود. اولین رابطه با فرض ثابت بودن نسبت سرعت موج تراکمی به سرعت موج برشی در یک لایه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\ln(Z_S) = \ln(Z_P) + \ln\left(\frac{V_S}{V_P}\right) \quad (9)$$

در اینجا رابطه خطی زیر بین مقاومت برشی و مقاومت تراکمی فرض می‌شود:

$$\ln(Z_S) = k \ln(Z_P) + k_c + \ln\left(\frac{V_S}{V_P}\right) + \Delta L_S \quad (10)$$

دومین رابطه از معادله گاردنر و همکاران (۱۹۷۴) بدست می‌آید. این معادله رابطه بین چگالی و سرعت موج تراکمی را به صورت زیر بیان می‌کند (Gardner et al., 1974):

$$\rho = aV_P^b \quad (11)$$

رابطه دوم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\ln \rho = \frac{b}{1+b} \ln(Z_P) + k_c + \frac{\ln(a)}{1+b} \quad (12)$$

در اینجا نیز رابطه خطی زیر فرض می‌شود:

$$\ln \rho = m \ln(Z_P) m_c + \Delta L_D \quad (13)$$

که در آن m شیب و m_c عرض از مبدا خطی است؛ که از نگارهای چاه بدست می‌آید. ΔL_D تاثیر عاملی است؛ که ناشی از وجود هیدروکربن در سازند بوده و در صورت عدم وجود هیدروکربن و یا در صورت حضور آب مقدار آن صفر است. به طور کلی موضوع بر این فرض استوار است که روند اصلی به صورت خطی بوده و قسمت غیرخطی نشانگر حضور هیدروکربن است. با ترکیب معادلات ۸، ۱۰ و ۱۳ خواهیم داشت:

$$T(\theta) = C_1 w(\theta) D L_P + C_2 w(\theta) D L_S + C_3 w(\theta) D L_D \quad (14)$$

که در آن

$$C_1 = \frac{1}{2} [1 + \tan^2 \theta] - \frac{1}{2} k \left[8 \left(\frac{V_S}{V_P} \right)^2 \sin^2 \theta \right] - m \left[\frac{1}{2} \tan^2 \theta - 2 \left(\frac{V_S}{V_P} \right)^2 \sin^2 \theta \right]$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left[8 \left(\frac{V_S}{V_P} \right)^2 \sin^2 \theta \right]$$

$$C_3 = - \left[\frac{1}{2} \tan^2 \theta + 2 \left(\frac{V_S}{V_P} \right)^2 \sin^2 \theta \right]$$

بنابراین الگوریتم این وارون سازی با اختصاص دادن مجموعه‌ای از رد لرزه‌ها در محدوده‌های زاویه‌ای یکسان و موجک‌هایی برای هر محدوده، مدل‌های اولیه برای مقاومت تراکمی، مقاومت برشی و چگالی را تولید می‌کند. برای هر محدوده زاویه‌ای باید یک موجک اختصاص داده شود. در عمل سه موجک برای زوایای نزدیک، میانی و دور استخراج می‌شود و برای زوایای بین این زاویه‌ها، موجک‌ها درون‌یابی می‌شوند. سپس با استفاده از نگارهای چاه مقادیر بهینه برای m ، k ، k_c ، m_c محاسبه شده و تخمین اولیه‌ای برای معادله زیر ساخته خواهد شد:

واقع شده‌اند؛ 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؛ درحالی 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 (Fugro-Jason, 2006).

۵- روش کار در این پژوهش

به طور کلی داده‌های موجود در این مطالعه به دو دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند: دسته اول مربوط به داده‌های چاه و نگاره‌های پتروفیزیکی و افق‌های استفاده شده و دسته دوم مربوط به داده‌های پیش از برانبارش لرزه‌ای می‌باشند.

در این قسمت، مراحل به کار گرفته شده برای تهیه و آماده‌سازی داده‌های مورد استفاده در تفسیرهای کمی لرزه‌ای شامل مطالعات AVO و وارون‌سازی پیش از برانبارش تشریح می‌گردد. سپس به بررسی نتایج بدست آمده از تحلیل‌های کمی پرداخته می‌شود.

شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب اطلاعات لرزه‌ای پیش از برانبارش را در کنار اطلاعات چاه‌نگاری و تطابق اطلاعات چاه‌های مختلف را در کنار سازندهای درون چاهی نشان می‌دهند. پس از بررسی داده‌ها، نیاز به اعمال تصحیحاتی بر روی داده‌های لرزه‌ای می‌باشد، که به موجب آن میزان سیگنال به نوفه افزایش پیدا کرده و نیز داده‌های پیش از برانبارش از حیطه دورافت به حیطه زاویه منتقل شوند. دلیل این امر این است که برای انجام وارون‌سازی همزمان یک فرض اولیه وجود دارد و آن این است که داده‌ها باید با زاویه فرود یکسان باشند. زیرا وارون‌سازی پیش از برانبارش در حوزه زاویه تابش عمل می‌کند. 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 بهره‌گیری از یک مدل سرعتی مقادیر دورافت به زاویه قابل تبدیل می‌باشند (Chopra and Castagna, 2014).

در واقع بیان صحیح‌تر مطالعات AVO که به بررسی تغییرات دامنه بر اساس دورافت می‌پردازد، عبارت AVO همان تغییرات دامنه بر اساس زاویه است؛ که به بررسی تغییرات دامنه لرزه‌ای بر اساس زاویه تابش موج به فصل مشترک دو محیط می‌پردازد.

در این مطالعه از داده‌های مربوط به سرعت پردازش داده‌های لرزه‌ای استفاده شده است. اطلاعات سه بعدی سرعت پس از کالیبراسیون با داده‌های چاه، به عنوان مدل سرعت قابل قبول برای تبدیل دورافت به زاویه بازتابش مورد استفاده قرار گرفت.

لی و همکاران (۲۰۰۳)، نتیجه گرفتند که معمولاً در سنگ‌های کربناته مقدار ρ به تغییر نوع سیال حساس است (Li et al., 2003)؛ در حالی که $\mu\rho$ بیشتر به سنگ‌شناسی حساس است، به این صورت که در این



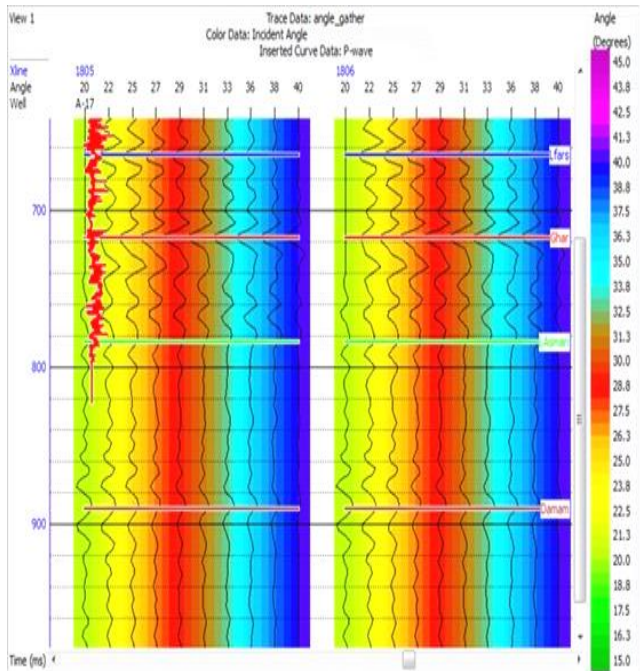
شکل ۳: موقعیت جغرافیایی میدان ابوذر در خلیج فارس (Fugro-Jason, 2006)

مخازن ρ به علت حضور هیدروکربن افزایش می‌یابد؛ ولی $\mu\rho$ به علت مدول بالای سنگ‌های کربناته مقدار کمتری افزایش می‌یابد. بنابراین تهیه مقاطع این دو نشانگر و ترسیم متقاطع آنها ابزار مناسبی برای تفکیک رخساره‌های مختلف یک مخزن بوده و می‌تواند در ارزیابی مخازن مورد استفاده قرار گیرد.

۴- منطقه مورد بررسی

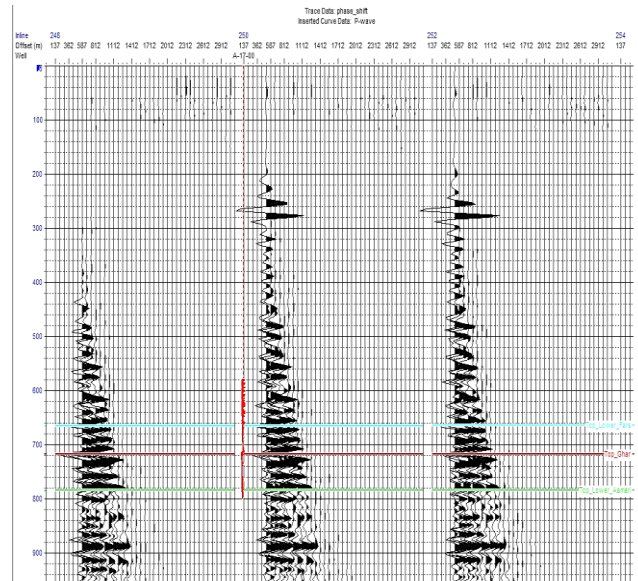
منطقه مورد بررسی در این مقاله، میدان ابوذر می‌باشد. میدان ابوذر (اردشیر) در شمال غرب خلیج فارس در فاصله ۷۶ کیلومتری غرب جزیره خارک واقع شده و موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۳ نمایش داده شده است. منشأ هیدروکربن در این میدان متعلق به سازند ماسه‌سنگی غار با سن الیگومیوسن می‌باشد. این میدان به صورت یک طاق‌دیس 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 ابوذر شامل ۳ واحد می‌باشد: آسماری کربناته زیرین، ماسه غار (معادل بخش اهواز) و آسماری بالایی کربناته (فارس زیرین). این توالی یک چرخه پیشروی-پسروی رسوبگذاری را تحت شرایط دریایی کم عمق و حاشیه‌ای کم عمق لاگونی که در یک جایگاه پسونده

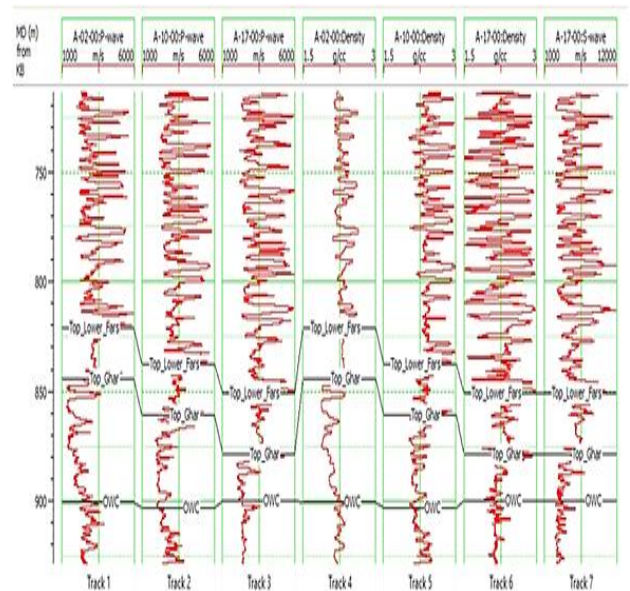


شکل ۶: نقطه میانی مشترک اطراف یکی از چاهها پس از تبدیل به حیطه زاویه بازتابش

پس از آماده سازی لرزه های چاه، نوبت به استخراج موجک می رسد؛ که نقش بسیار مهمی را در تضمین کیفیت نتایج نهایی ایفا می نماید. فرایند استخراج موجک به صورت همزمان با بروز رسانی روابط زمان-عمق انجام می پذیرد. تطابق نگارهای چاه با داده های لرزه ای نه تنها یک مرحله اولیه مهم در تفسیر لرزه ای می باشد، بلکه یک اولویت بسیار مهم در انجام وارون سازی است. این مرحله، انطباق بین وقایع لرزه نگاشت مصنوعی حاصل از نگارهای چاه و داده های لرزه ای را بهبود می دهد. از نگارهای صوتی و چگالی، ضرایب بازتاب حاصل می شوند و با هم آمیختن این ضرایب با یک موجک استخراج شده از داده های لرزه ای، نگاشت مصنوعی حاصل می شود؛ که اگر موجک استخراج شده مناسب باشد این لرزه نگاشت مصنوعی تطابق خوبی با داده های لرزه ای خواهد داشت. لذا در این قسمت، برای کالیبره کردن چاهها با اطلاعات لرزه نگاری، ابتدا رابطه زمان-عمق نمودارهای صوتی^۱ به کمک اطلاعات سرعتی^۲ تصحیح گردید. در مرحله بعد لرزه نگاشت مصنوعی به کمک موجک استخراج شده از اطلاعات لرزه ای (Stical Waveletatist) با فاز صفر ساخته شد. بعد از مقایسه با رد لرزه ای های مجاور در اطلاعات لرزه نگاری با اعمال جابجایی، تطابق اولیه بین لرزه نگاشت مصنوعی و اطلاعات لرزه نگاری انجام پذیرفت. پس از استخراج موجک آماری که تنها دارای اطلاعات لرزه ای است، موجک لرزه ای نهایی در محدوده مخزن با تلفیق داده های چاه و داده های لرزه ای استخراج گردید. دلیل این کار ماهیت تغییر پذیر موجک لرزه ای در طول سیر خود در لایه های زمین است. اگرچه چند در مطالعات لرزه ای، فرضیه پایایی موجک در نظر گرفته می شود؛ با این حال موجک لرزه ای در اثر عبور از لایه های

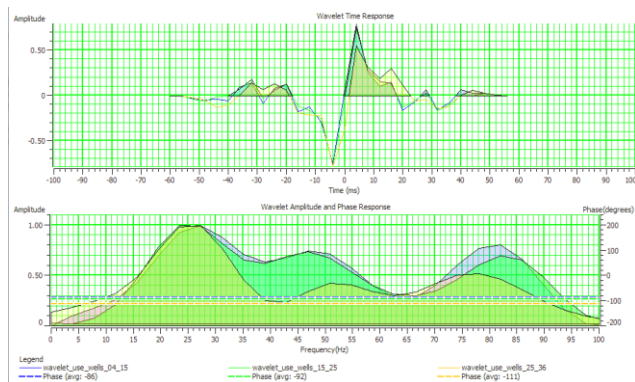


شکل ۴: داده های لرزه ای پیش از برانبارش در کنار داده های چاه



شکل ۵: تطابق اطلاعات چاهها

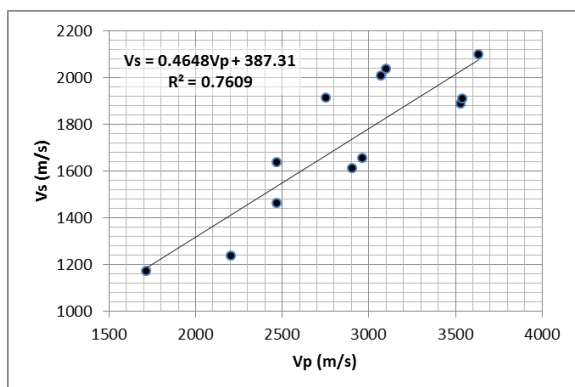
در شکل ۶ تصویر یکی از نقاط میانی مشترک پس از انتقال به حیطه زاویه نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، هر زاویه تقریباً معرف یک محدوده سرعت مشخص است؛ که این مساله بیانگر وجود ناهمسانگردی در محیطی است، که موج در آن انتشار یافته است. یکی از مزیت های بکارگیری داده های سه بعدی سرعت در تبدیل دورافت به زاویه، تشخیص و مشخصه سازی بهتر تغییرات سرعتی در محدوده سرعتی از نقطه نظر ناهمگونی و ناهمسانگردی است.



شکل ۸: سه موجک لرزه‌ای استخراج شده در زوایای ۱۵-۲۵، ۲۵-۳۶ و ۳۶-۴۵

یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار در کیفیت نتایج وارون‌سازی 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 وارون‌سازی‌های لرزه‌ای با واقعیت‌های زمین‌شناسی موجود در مناطق مورد مطالعه همخوانی ندارد. از این رو در این مطالعه با انجام اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی بر روی مغزه‌های چاه‌های مختلف در سازند کربناته این میدان، رابطه دقیق‌تری برای ارتباط میان سرعت انتشار امواج برشی و تراکمی بدست آمد. این رابطه به نرم‌افزار مورد استفاده معرفی گردید، تا نتایج حاصله از صحت بالاتری برخوردار باشند.

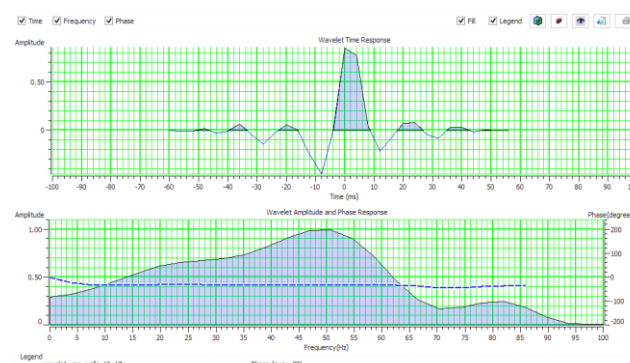
در شکل ۹، نمودار متقاطع بدست آمده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی نمایش داده شده است. این نمودار پس از انجام تصحیحاتی از قبیل حذف نمونه‌های فاقد تراکم کافی و خارج نمودن نمونه‌های مربوط به سازندهای غیر آهکی بدست آمده است.



شکل ۹: رابطه‌ی استفاده شده برای ارتباط سرعت امواج برشی و تراکمی

ضریب همبستگی بالای بدست آمده نشان دهنده صحت و دقت قابل قبول داده‌های استفاده شده برای ترسیم این رابطه خطی است. این رابطه قابلیت تعمیم‌پذیری در زون‌های آهکی سازند آسماری را در محدوده خلیج فارس دارا می‌باشد. زیرا برای ترسیم آن نمونه‌های متعددی از اعماق مختلف این سازند در چاه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است.

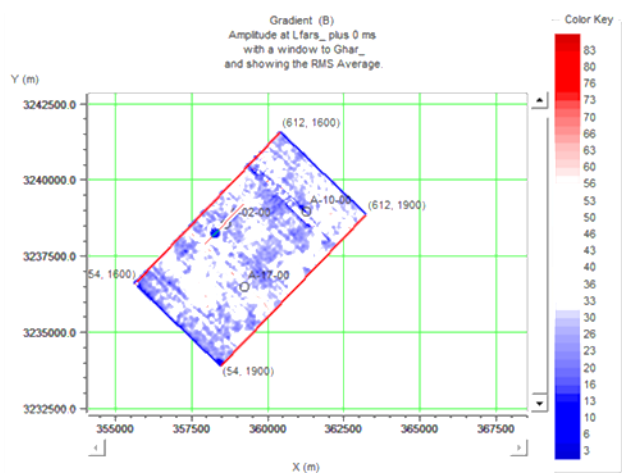
زمین، بخشی از فرکانس‌های اولیه خود را از دست می‌دهد و عموماً با تغییر فاز روبرو می‌شود. بعد از این که تطابق همه چاه‌ها با موجک مربوط به خود انجام گرفت، برای بهبود کیفیت مطالعات ژئوفیزیک مخزنی، در مرحله بعد استخراج موجک لرزه‌ای با استفاده از اطلاعات لرزه‌ای و اطلاعات چاه صورت گرفت (Stratigraphic Wavelet Extraction). سپس از اطلاعات چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه برای استخراج موجک نهایی استفاده شد؛ تا اطلاعات مناسبی از فاز موجک لرزه‌ای بدست آید و مدل‌های حاصل از صحت بیشتری در محدوده مخزن بهره‌مند گردند. شکل ۷ موجک نهایی استخراج شده برای انجام تفسیرهای عددی را نشان می‌دهد؛ که از لحاظ طیفی شباهت زیادی به موجک آماری استخراج شده دارد. بعد از استخراج موجک نهایی، تطابق کلیه چاه‌ها با اطلاعات لرزه نگاری با استفاده از این موجک مجدداً انجام گرفت.



شکل ۷: موجک نهایی استخراج شده با استفاده از داده‌های چاه

شایان ذکر است در برخی از روش‌های وارون‌سازی داده‌های پیش از برانبارش، نیاز به استفاده از موجک معرف برای هر دسته از زوایای مورد وارون‌سازی است. یکی از پارامترهایی که حساسیت‌سنجی نتایج وارون‌سازی بر اساس آن صورت گرفت، موجک لرزه‌ای مورد استفاده بود. در این مطالعه، موجک لرزه‌ای در زوایای نزدیک، میانه و دور استخراج گردید. در شکل ۸ نتیجه استخراج سه موجک لرزه‌ای در زوایای ۱۵-۲۵، ۲۵-۳۶ و ۳۶-۴۵ از داده‌های لرزه‌ای نمایش داده شده است. فاز متوسط این داده‌ها در حدود منفی ۹۰ درجه بوده و موجک‌های استخراج شده از تطابق قابل قبولی نسبت به یکدیگر برخوردارند؛ که این مساله امکان بکارگیری یک موجک معرف را مطابق با موجک نشان داده شده در شکل ۶، برای وارون‌سازی داده‌های پیش از برانبارش امکان‌پذیر می‌سازد. بر اساس حساسیت‌سنجی انجام شده در این مورد، علی‌رغم شباهت زیاد این سه موجک به یکدیگر، بهره‌گیری از سه موجک متفاوت در فرایند وارون‌سازی قابلیت پیشگویی مدل را کاهش می‌دهد. به نحوی که در آزمایش‌های انجام شده با حذف یک چاه، نتیجه‌ی بدست آمده در محل چاه حذف شده با بکارگیری موجک معرف بهتر از استفاده از موجک‌های متفاوت می‌باشد.

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 سازند آسماری بالایی در شکل ۱۱ 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. بنابراین روش‌های وارون‌سازی مبتنی بر مدل اولیه، شانس بیشتری را برای شناسایی نحوه تغییرات سیال فراهم می‌آورند. همان‌طور که در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نیز مشاهده می‌شوند، تغییرات معناداری میان چاه‌های مختلف در گستره‌ی مورد مطالعه قابل رویت نیست، که بتوان آن را به عنوان تغییرات خواص سیالات مخزنی تفسیر نمود.



شکل ۱۰: نقشه میانگین گرادین AVO در زون مخزنی

به علاوه، نکته‌ی حائز اهمیت در این منطقه این است که داده‌های لرزه‌ای موجود در زمان پردازش از روش‌های نگهداشت دامنه^۱ بهره نبرده‌اند؛ که این مساله در بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی این داده‌ها در مطالعات پیشین لحاظ نشده، که منجر به تفسیر نوفه‌های ژئوفیزیکی به عنوان تغییرات خواص سنگ و سیال علی‌الخصوص در بخش ماسه‌ای این میدان شده است. از این‌رو در این مقاله، با تهیه‌ی نقشه‌های میانگین از نتایج وارون‌سازی در زون کربناته، سعی شده تا اثر نوفه‌های موجود در داده‌های لرزه‌ای به کمترین میزان ممکن در تفسیرهای کیفی کاهش داده شود.

علاوه بر موارد ذکر شده، عدم قطعیت نتایج بدست آمده بواسطه‌ی تعداد لرزه نگاشت‌های استفاده شده در فرایند وارون‌سازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Jeet Singh, 2012). بر این اساس، عدم قطعیت بدست آمده برای وارون‌سازی هر یک از پارامترهای هدف محاسبه شد و بهترین مدل حاصل از میان مقاطع سه، چهار و پنج لرزه نگاشت انتخاب گردید. به نتایج بدست آمده در جدول ۱ اشاره شده است.

جدول ۱: تحلیل عدم قطعیت برای تعداد لرزه نگاشت‌های متفاوت

۳- لرزه نگاشت - زوای ۳-۷		Error Z_p	Error Z_s	Error ρ	Corr
	A02	۶۷۴/۹۲۵	۴۹۵/۴۲۱	۰/۱۱۹۱۷۷	۰/۹۴۱۷۰۲
	A10	۱۰۰۲/۹۳	۲۴۷۵/۱۷	۰/۱۲۴۸۷۴	۰/۸۸۱۳۱۷
	A17	۱۴۰۳/۸۸	۲۹۴۳/۹۸	۰/۱۴۴۴۴۱	۰/۹۶۲۲۴۴
	تطابق کلی				۰/۹۵
۴- لرزه نگاشت - زوای ۵-۳۵		Error Z_p	Error Z_s	Error ρ	Corr
	A02	۷۲۰/۰۹۶	۵۳۹/۱۸۱	۰/۱۳۰۰۳۹	۰/۹۳۷۴۴۴
	A10	۹۸۱/۱۵	۲۵۴۵/۹۲	۰/۱۲۲۴۰۷	۰/۸۱۹۸۸۶
	A17	۱۲۵۷/۵۲	۲۰۷۰/۸۳	۰/۱۱۳۵۶۶	۰/۹۶۲۴۰۳
	تطابق کلی				۰/۹۶
۵- لرزه نگاشت - زوای ۴-۳۶		Error Z_p	Error Z_s	Error ρ	Corr
	A02	۷۸۷/۰۸۱	۵۲۰/۰۷۷	۰/۱۳۰۱۳۱	۰/۹۳۱۲۶۹
	A10	۱۰۶۰/۶۵	۲۵۶۲/۸۸	۰/۱۰۱۸۴۳	۰/۸۵۹۸۴۱
	A17	۱۳۰۷/۱	۲۰۹۳/۰۳	۰/۱۲۶۴۹۴	۰/۸۸۵۳۰۳
	تطابق کلی				۰/۹۳

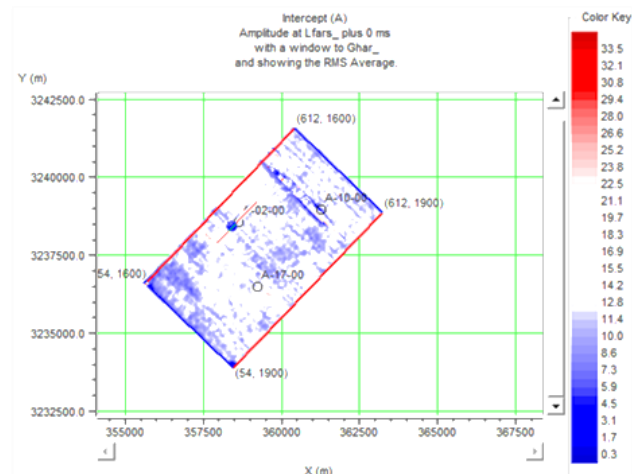
بر اساس حساسیت‌سنجی انجام شده، کمترین عدم قطعیت در بهره‌گیری از نقاط میانی مشترک با ۴ لرزه‌نگاشت است که مبنای محاسبات این تحقیق قرار گرفت.

با توجه به تعدد اشکال مرتبط با این تحلیل‌ها و به منظور درک بیشتر خواننده از این مطلب همه نمودارها در پیوست این مقاله آمده است.

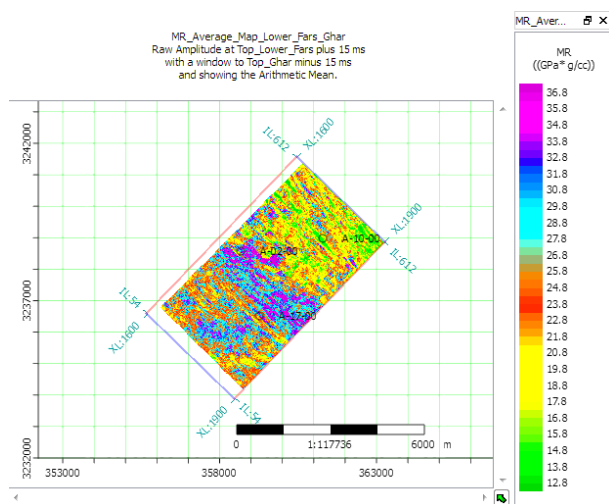
۶- تفسیرهای کمی لرزه‌ای و بحث در مورد آنها

به طور معمول اولین نشانگرهایی که در تحلیل AVO مورد استفاده قرار می‌گیرند، عرض از مبدأ و شیب می‌باشند. 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. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب برشی از نشانگرهای گرادین و شیب مقیاس شده را نشان می‌دهند. این برش‌ها در امتداد سازند آسماری بالایی تهیه شده‌اند. در این شکل‌ها مقیاس رنگی نمایشگر زمان است. نشانگر $A \times B$ همیشه برای تشخیص هیدروکربن مناسب نیست؛ چرا که این نشانگر تنها وقتی که عرض از مبدأ و شیب هر

شکل‌های ۱۳ و ۱۴ به ترتیب برشی از بخش کربناته مخزن را برای پارامترهای $\mu\rho$ و $\lambda\rho$ نشان می‌دهند. از آنجایی که هدف نهایی این مطالعه تشخیص خواص سیالات مخزن است، برش حاصله از مکعب $\lambda\rho$ با دقت بالایی قادر به 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.

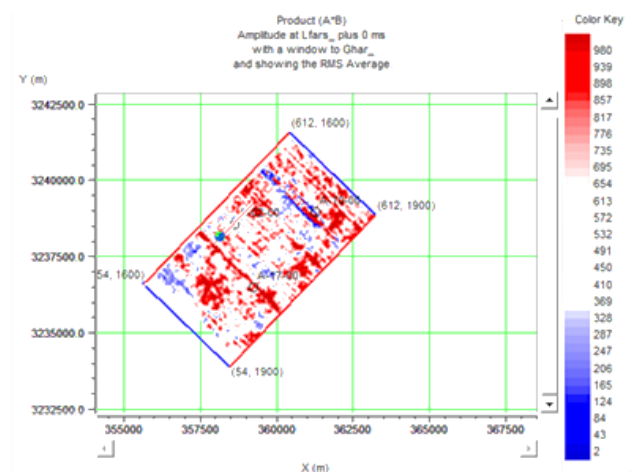


شکل ۱۱: نقشه میانگین Intercept (شیب) در تحلیل AVO در زون مخزنی



شکل ۱۳: نقشه متوسط $\mu\rho$ در بخش کربناته

در شکل ۱۴، 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 ابودر مطرح بوده است، از این‌رو نتایج حاصل از این مطالعه موید فرضیه تغییرات 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 شده‌اند و تغییرات بدست آمده برای پارامتر $\lambda\rho$ بسیار بالاست، لذا نتیجه‌گیری در مورد بروز تغییر 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 ۱۲: نقشه میانگین حاصل ضرب ضرایب AVO در زون مخزنی

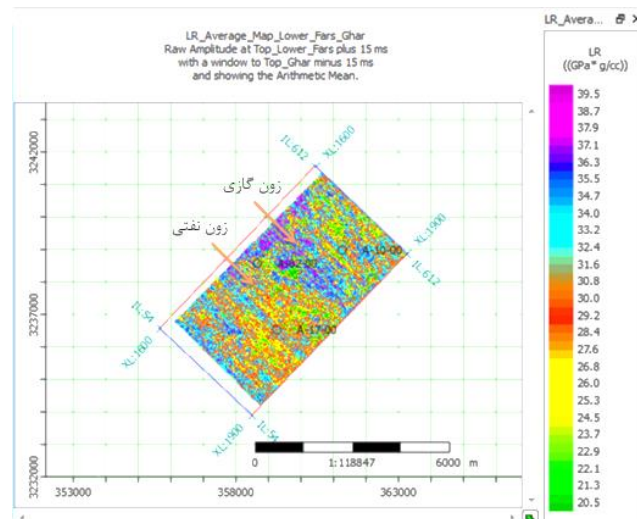
پس از عدم نتیجه‌گیری از انجام آنالیزهای دامنه بر اساس دورافت، روش وارون‌سازی همزمان مورد استفاده قرار گرفت. در این وارون‌سازی از رابطه‌ی ذکر شده در شکل ۹ برای ایجاد ارتباط میان سرعت امواج برشی و تراکمی استفاده شد. خروجی این وارون‌سازی مقاطع مقاومت تراکمی، مقاومت برشی و چگالی، نسبت سرعت موج تراکمی و سرعت 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 برانبارش قابل استخراج می‌باشند. $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ نیز از جمله نشانگرهای کاربردی برای تفکیک لیتولوژی و خواص مخزنی هستند، که از وارون‌سازی داده‌های پیش از برانبارش استخراج می‌شوند. این نشانگرها به اختصار نشانگرهای LMR نامیده می‌شوند.

۸- فهرست نمادها

مخفف‌ها	شرح
AVO	تغییرات دامنه با دور افت
AVA	تغییرات دامنه با زاویه
R_p	بازتابندگی موج تراکمی
$A \times B$	حاصل ضرب شیب و گرادیان
حروف یونانی	شرح
ρ	چگالی
λ	فاکتور تراکم ناپذیری
μ	ضریب برشی

۹- منابع:

- Aki, K., Richards, P. G., 2002, Quantitative seismology; theory and methods: W. H. Freeman and Company.
- Assefa, S., McCann, C. and Sothcott, J., 2003, Velocity of compressional and shear waves in limestones, Geophysical Prospecting, 51 (1), 1-13.
- Buland, A and Omre, H., 2003, Joint AVO inversion, wavelet estimation and noise-level estimation using a spatially coupled hierarchical Bayesian model, Geophysical Prospecting, 51, 531-550.
- Chopra, S., and Castagna J. P., 2014, AVO: SEG Investigations in Geophysics, 16.
- Francis, A., 2014, A Simple Guide to Seismic Inversion. Retrieved from GEO EXPRO.
- Fugro-Jason (UK) Ltd., 2006, Aboozar field geostatistical inversion report, in IOOC.
- Gardner, G. H. F., Gardner, L.W., and Gregory, A. R., 1974, Formation velocity and density - The diagnostic basics for stratigraphic traps: Geophysics, 39, 770- 780.
- Gassmann, F., 1951, Elastic wave through a packing of spheres, Geophysics, 16, 673-685.
- Gray, D. and Andersen, E., 2001, The application of AVO and inversion to the estimation of rock properties, Recorder, 26 (5), 36-40.
- Gholami, A., 2016. A fast automatic multichannel blind seismic inversion for high-resolution impedance recovery, Geophysics, 81 (5), 357-364.
- Hampson D. P., Russell, B. H., and Bankhead B., 2005, Simultaneous inversion of pre-stack seismic data, SEG Technical Program Expanded Abstracts 2005.
- Jeet Singh, J., 2012, Sensitivity Analysis for simultaneous Inversion of Angle limited seismic stacks, 9th Biennial International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics.



شکل ۱۴: نقشه متوسط λp در بخش کربناته

۷- نتیجه گیری:

نتایج بدست آمده از تجزیه تحلیل روش‌های مختلف تفسیرهای کمی داده‌های لرزه‌ای، نشان داد که در مخزن کربناته مورد مطالعه، نشانگرهای AVO از قدرت کافی برای شناسایی خواص سنگ و سیال مخزن برخوردار نیستند و امکان تشخیص تغییرات جانبی سیال با تفسیرهای نشانگرهای مربوطه میسر نمی‌باشد. هر چند این مساله به معنی عدم توانایی داده‌های لرزه‌ای در تشخیص تغییرات جانبی خواص سنگ و سیالات مخزن نبوده و بهره‌گیری از روش‌های پیشرفته‌تر و مناسب‌تر در مخازن کربناته قادر به حل این مساله خواهد بود. از این رو در این مطالعه، با بهره‌گیری از روش وارون سازی همزمان و تهیه نشانگرهای LMR امکان شناخت تغییرات جانبی سیال مخزن میسر گردید. برای انجام این کار، ضمن بهینه‌سازی تمامی پارامترهای دخیل در فرایند وارون سازی از قبیل موجک، مدل سرعت و روابط زمان عمق، با هدف افزایش صحت نتایج بدست آمده، رابطه جدیدی برای برقراری ارتباط میان سرعت امواج برشی و تراکمی معرفی شد. این رابطه که با استفاده از اندازه‌گیری مستقیم نمونه‌های سنگ از عمق‌های مختلف این سازند کربناته بدست آمد؛ صحت فرایند وارون سازی را تا حد زیادی ارتقا داد. این مساله منجر به افزایش قطعیت نتایج بدست آمده از وارون سازی شد؛ که به موجب آن تغییرات فاز سیال در زون مخزن کربناته توسط پارامتر λp شناسایی گردید. بنابراین اهمیت بالای تخمین سرعت امواج برشی را در وارون سازی‌های پیش از برانبارش نمایان می‌کند. لازم به ذکر است از جمله تحلیل‌های انجام شده در این مطالعه، آنالیز حساسیت و عدم قطعیت بر روی موجک لرزه‌ای و تعداد زوایای مورد استفاده برای انجام وارون سازی بود. بر اساس حساسیت‌سنجی انجام شده، کمترین عدم قطعیت در بهره‌گیری از نقاط میانی مشترک با ۴ لرزه‌نگاشت است؛ که مبنای محاسبات این تحقیق قرار گرفت.

4(5), 5-20

Simm, R., and Bacon, M., 2014, Seismic Amplitude an Interpreter's Handbook, ISBN: 9781107011502

Srivastava, R., and Maultzsch, S., 2018. Integration of results from two seismic inversion methods – A Case Study. In 80th EAGE Conference and Exhibition, 11th-14th

Taner, M. T., 2001, Seismic attributes. CSEG Recorder, September, 48-56.

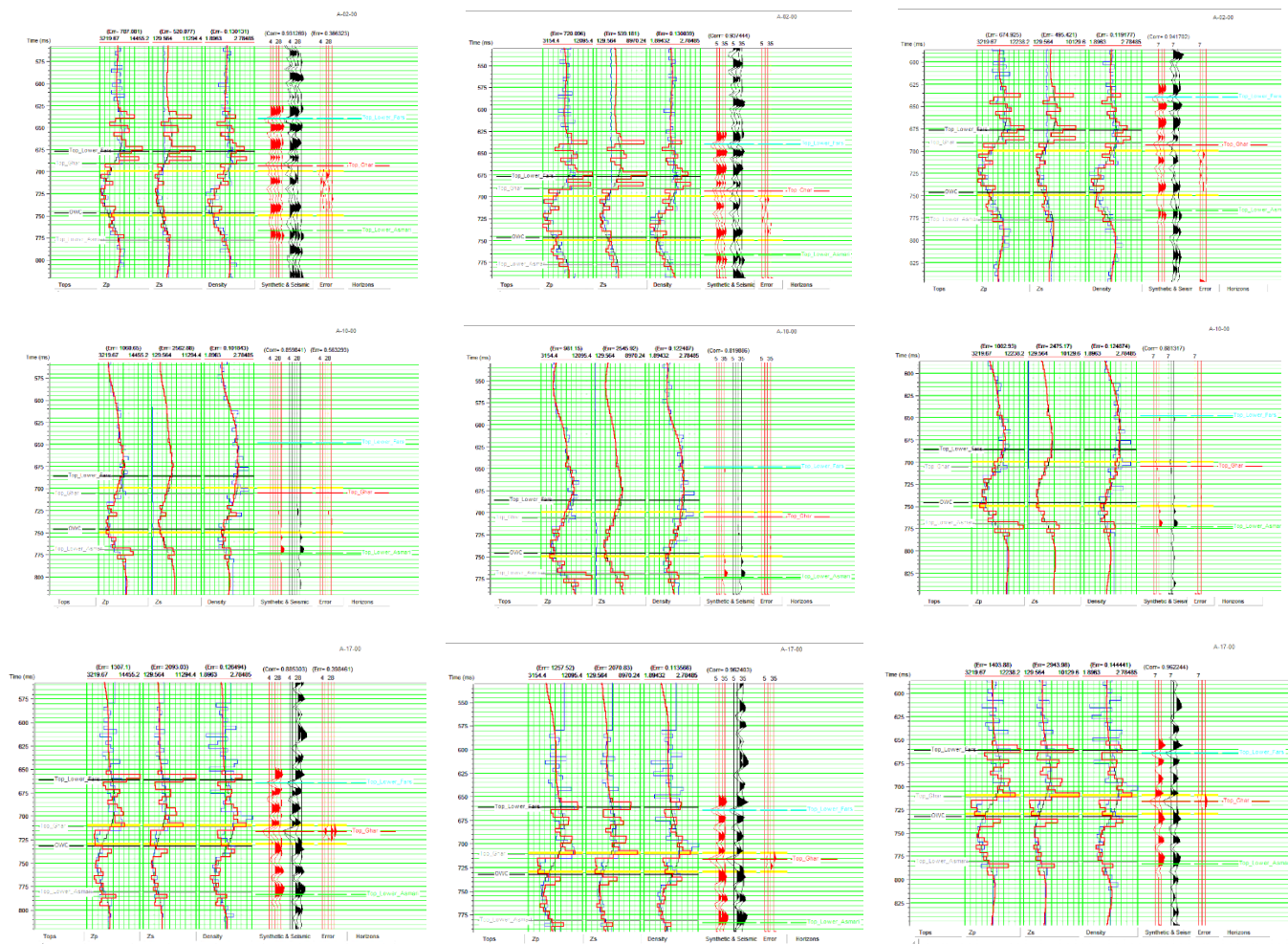
Li, Y., G., Goodway, B., and Downton, G., 2003, Recent applications of AVO to carbonate reservoir in the western Canadian sedimentary basin, The Leading Edge, 22 (8), 670-674.

Martins, J. L., 2006, Elastic impedance in weakly anisotropic media, Geophysics, 71 (3), 73- 83.

Misra, S., 2008, Global optimization with applications to geophysics, Ph. D. thesis, University of Alberta, Canada.

Moncayo, E., Tchegliakova, N., and Montes, L., 2012, Pre-stack seismic inversion based on a genetic algorithm: A case from the Llanos Basin (Colombia) in the absence of well information. CT and F-Ciencia Tecnología y Futuro,

۱۰- پیوست:



شکل پ-۳: تجزیه و تحلیل فرایند وارون سازی در محل چاه‌ها با پنج لرزه نگاشت

شکل پ-۲: تجزیه و تحلیل فرایند وارون سازی در محل چاه‌ها با چهار لرزه نگاشت

شکل پ-۱: تجزیه و تحلیل فرایند وارون سازی در محل چاه‌ها با سه لرزه نگاشت



Reservoir characterization using pre-stack inversion in one of the carbonate reservoirs of Iran

Sepideh Yasami Khiabani^{1*} and Seyed Mohsen Seyedali²

1. M. Sc., Research Institute of Applied science (ACECR), Tehran, Iran

2. M. Sc., Iranian Offshore Oil Company (IOOC), Tehran, Iran

Received: 29 July 2019; Accepted: 26 February 2020

Corresponding author: sepideh_yasami@yahoo.com

Keywords

Seismic reservoir characterization
AVO analysis
Simultaneous inversion
LMR inversion

Extended Abstract

Summary

The main goal of this study is to identify different phases of existing fluids in a carbonate reservoir using seismic reservoir characterization techniques. Seismic reservoir characterization helps to find more information about reservoir rock and fluid properties in hydrocarbon exploration. The most common methods of seismic reservoir characterization are post stack, pre-stack and AVO (amplitude versus offset) analysis techniques. Pre-stack seismic inversion techniques produce more reliable results than post-stack inversion approaches. Pre-stack inversion methods utilize CMP gathers for inversion of seismic data. These methods invert several terms including V_p ,

V_s and density simultaneously. In this study, simultaneous inversion and AVO inversion were applied on pre-stack seismic data to characterize fluid distribution in the reservoir. From the AVO inversion, the intercept and gradient values were obtained, and from simultaneous inversion, Lamé parameters were extracted throughout the carbonate reservoir. The obtained results were then analyzed to identify lateral fluid variations in the reservoir. After analysis of the obtained results from AVO and simultaneous inversions, it was concluded that AVO inversion was not as applicable as LMR inversion in the carbonate reservoirs.

Introduction

Identification of rock and fluid properties of hydrocarbon reservoirs is one of the most important parts of reservoir characterization projects. Seismic inversion algorithms play crucial roles in quantitative reservoir interpretation jobs. Seismic inversion increases the resolution of seismic data by integration of low frequency and high frequency data from seismic and well data. The obtained models provide a higher quality data for interpretation and identification of lithology and fluid in the reservoir.

AVO analysis is another aspect of quantitative seismic interpretation, which delivers an effective tool as a direct hydrocarbon indicator for detection of fluid content and analysis of reservoir quality. AVO analysis is very effective in clastic reservoirs.

Simultaneous inversion is a generalized version of post-stack inversion to invert pre-stack CDP gathers (angle gathers) to calculate P-impedance, S-impedance, and density (Hampson, 2005). It is more stable than a post-stack inversion because pre-stack inversion in brine-saturated rocks incorporates P-wave velocity, S-wave velocity, and density that should be related linearly. Several authors (e.g. Gardner, 1974, and Castagna, 1985) have given this relation. Any deviation from the background trend can be interpreted as fluid-saturated rock. Simultaneous inversion algorithm solves the Fatti equation, which is the simplified version of the Zoeppritz equation.

LMR inversion was proposed by Goodway (1997) as a lithology and fluid indicator using Lamé parameters λ (incompressibility), μ (rigidity) and density (ρ). $\mu\rho$ (MR) gives information regarding rock matrix, and $\lambda\rho$ (LR) reflects the fluid information of the rock.

Methodology and Approaches

In this study, AVO analysis and LMR inversion methods were utilized to delineate the boundary of fluid content variations in the reservoir. The applied methodology is summarized as follows:

1. Data loading including well and seismic data
2. Quality control of loaded data and enhancing them by applying relevant corrections
3. Converting pre-stack seismic data into the angle domain by an appropriate velocity model
4. Wavelet extraction and well to seismic tie
5. AVO analysis
6. Initial mode building for inversion
7. Inversion analysis at well locations
8. Performing pre-stack simultaneous inversion on seismic data to obtain V_p , V_s and density for calculation of Lamé parameters
9. Preparing LMR attributes
10. Interpretation of LMR attributes for identification of lateral fluid variations in the reservoir

Results and Conclusions

The results obtained from the analysis of different methods of quantitative interpretation of seismic data showed that in the studied carbonate reservoir, the AVO attributes are not capable of discriminating rock and reservoir fluid properties. However, this does not mean that seismic data are inadequate in identification of lateral variations of the reservoir properties, and utilization of more advanced and more suitable techniques in carbonate reservoirs solves this problem. Therefore, in this study, simultaneous inversion and LMR attributes were analyzed to delineate oil and gas distribution in the reservoir.
