

تفکیک رخساره‌های لرزه‌ای با استفاده از نشانگرهای حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای پیش از

برانبارش دریکی از میادین نفتی جنوب ایران

فاطمه یاری حسن‌آبادی^{۱*}، کاظم کاظمی^۲، مجتبی غریبی^۳

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

چکیده

امروزه ارزیابی و تفسیر کمی داده‌های لرزه‌ای به منظور شناخت بهتر ویژگی‌های مخزنی میادین نفت و گاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از مراحل مهم ارزیابی یک مخزن، توصیف رخساره‌های مخزن و تفکیک سنگ‌شناسی‌های مختلف ناحیه مورد مطالعه است. تجزیه و تحلیل دامنه در مقابل دورافت (AVO) یکی از مهم‌ترین روش‌های پیشرفته برای تفکیک، تجزیه و تحلیل رخساره‌های زمین‌شناسی، لیتولوژی و تشخیص سیال می‌باشد. در این مطالعه وارون‌سازی لرزه‌ای پیش از برانبارش همزمان، بر روی سازند آسماری دریکی از میادین نفتی جنوب ایران، باهدف نشان دادن کاربرد نشانگرهای حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای پیش از برانبارش از جمله مقاومت صوتی (I_p)، مقاومت برشی (I_s)، نسبت سرعت موج تراکمی به سرعت موج برشی ($\frac{v_p}{v_s}$) و نشانگرهای LMR برای جداسازی رخساره‌ها انجام شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد در صورت کیفیت مطلوب داده‌ها و همچنین دقت بالای وارون‌سازی همزمان، امکان تفکیک رخساره‌های لرزه‌ای با استفاده از تحلیل نشانگرهای لرزه‌ای پیش از برانبارش با وضوح بالایی وجود دارد. در این مطالعه ترسیم نمودارهای متقاطع حاصل از نشانگرهای وارون‌سازی همزمان از جمله نسبت سرعت موج تراکمی به سرعت موج برشی در مقابل امپدانس صوتی و همچنین نشانگرهای LMR به منظور تفکیک رخساره‌های لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. ترسیم نمودارهای متقاطع حاصل از نشانگرهای مختلف نشان می‌دهد که ترکیب نشانگرهای $I_p - \frac{v_p}{v_s}$ در مقایسه با ترکیب نشانگرهای MR-LR قابلیت بهتری در تفکیک لیتولوژی و سنگ‌شناسی از خود نشان می‌دهد. یافته‌های این مطالعه در برنامه‌ریزی و مطالعات قبل حفاری در میادین نفتی مختلف قابل کاربرد می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تغییرات دامنه بازتاب در مقابل دورافت (AVO)، وارون‌سازی پیش از برانبارش، نشانگرهای لرزه‌ای پیش از برانبارش، مقاومت لرزه‌ای امواج تراکمی و برشی، تفکیک رخساره‌های لرزه‌ای

^۱ . دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران، yari.fateme71@gmail.com

^۲ . شرکت ژئوفیزیک پارس پترو زاگرس (PPZG) تهران

^۳ . شرکت ژئوفیزیک پارس پترو زاگرس (PPZG) تهران

۱. مقدمه

تحقیقات بر روی داده‌های پیش از برنبارش و تحلیل AVO گونگ باولی در سال ۲۰۰۶ با استفاده از پارامترهای لایه روی داده‌های پیش از برنبارش طبقه‌بندی لیتولوژی مخزن را استنباط کرد. همچنین به منظور توصیف خواص فیزیکی، لیتولوژی و خواص سیال مطالعاتی توسط یین و همکاران در سال ۲۰۱۵ و زونگ و یین در سال ۲۰۱۶ بر روی تجزیه و تحلیل تغییرات دامنه در مقابل دورافت (AVO) و وارون‌سازی پیش از برنبارش انجام شده است (Yin and Zong, 2015; Zong and Yin, 2016; Zong and Yin, 2015). همچنین بررسی نقاط روشن به عنوان شواهد قوی برای شناسایی مناطق گازی توسط اسماعیل و همکاران در سال ۲۰۲۰ با ایجاد یک مدل مصنوعی انجام شده است (Ismail et al., 2020).

در این مطالعه با استفاده از روش وارون‌سازی همزمان داده‌های لرزه‌ای و بدست آوردن نشانگرهای مقاومت صوتی و نسبت سرعت موج تراکمی به سرعت موج برشی و همچنین ترسیم نمودارهای تقاطعی این نشانگرها، تفکیک رخساره‌های زمین‌شناسی بررسی می‌شود.

۲. روش مطالعه

۲-۱. وارون‌سازی پیش از برنبارش همزمان

روش وارون‌سازی پیش از برنبارش همزمان، بر این فرض استوار است که ضریب بازتاب، تابعی از زاویه تابش است و می‌تواند به وسیله معادلات آکی ریچارد (۱۹۸۰) بیان شود. هدف این روش، به دست آوردن تخمین‌های قابل اطمینان از متغیرهای سرعت موج تراکمی P، موج برشی S و چگالی برای تعیین خصوصیات سنگ‌شناسی و سیال زیر سطح است (Russell and Bankhead, 2005). در تئوری الگوریتم همپسون (۲۰۰۵)، ایجاد ارتباط منطقی بین این متغیرها، از اهداف وارون‌سازی همزمان است به خصوص زمانی که به دلایل حساسیت بالا به نوفه، داده‌ها نامطلوب باشند (Russell and Bankhead, 2005). همپسون و همکاران (۲۰۰۵) روش وارون‌سازی همزمان را بر اساس دو رابطه خطی

لرزه‌شناسی بازتابی به عنوان روشی قابل تأمل برای تعیین محدوده مخزنی از سال ۱۹۳۰ مورد استفاده قرار گرفته است. در میان روش‌های مختلفی که برای تعیین محدوده ویژگی‌های مخازن هیدروکربنی معرفی شده است، روش وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای را می‌توان از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین آن‌ها دانست. وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای را به طور کلی می‌توان به دودسته روش‌های پیش از برنبارش و پس از برنبارش تقسیم نمود.

نحوه تغییرات ضرایب بازتاب لرزه‌ای بر حسب دورافت (AVO) بین چشمه و گیرنده یکی از روش‌های کمی است که در دسته پیش از برنبارش مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش ابتدا توسط استراندر سال ۱۹۸۴ میلادی ارائه شد (Downton and Ursenbach, 2005). استراندر نشان داد که حضور گاز در ماسه‌سنگی که با شیل احاطه شده است، به دلیل تغییرات نسبت پواسون، موجب تغییرات قابل ملاحظه‌ای در دامنه امواج بازتابی در داده‌های پیش از برنبارش می‌گردد. در این روش برای تعیین محدوده مخزنی با بهره‌گیری از ارتباط دامنه با دورافت، روابط زئوپریتمس و تقریب‌های آن می‌توان نشانگرهای مختلفی را برای تعیین محدوده مخزنی از لحاظ سیال و سنگ‌شناسی استخراج کرد. از این روش تحلیل دامنه با دورافت (AVO) ابزاری ارزشمند در پیش‌بینی دقیق‌تر خصوصیات سنگ‌شناسی و سیالات مخزنی محسوب می‌گردد (Downton and Ursenbach, 2005).

فریزر و رنگل در سال ۲۰۰۰ نسبت سرعت موج طولی به سرعت موج عرضی را با استفاده از بازتاب‌های P-P-P-SV فیزیک سنگ و AVO، محاسبه و نتایج این محاسبات را با لیتولوژی‌های شناخته‌شده از میدین تولیدی مقایسه کردند. راسل در سال ۲۰۰۳ با استفاده از تحلیل AVO با بدست آوردن سرعت امواج طولی، عرضی و چگالی توانست فاکتور سیال را محاسبه کند. در ادامه این

$$I_p = \ln z_p \quad (5)$$

$$I_s = \ln z_s \quad (6)$$

$$I_D = \ln \rho \quad (7)$$

۲-۲. نشانگرهای پیش از برانبارش

نشانگرهای I_p و I_s حاصل از وارون‌سازی پیش از برانبارش در تمایز بین اثرات ناشی از سنگ مخزن،

لیتولوژی و Δl_d سیالیت k و k_c عبارتند از $\ln z_p = k \ln z_p + k_c + \Delta l_d$ (Goodway et al., 1997) با استفاده از نشانگرهای

مقاومت صوتی I_p ، مقاومت برشی I_s حاصل از وارون‌سازی پیش از برانبارش همزمان داده‌های لرزه‌ای و رابطه آن‌ها با ثابت‌های لامه، دو نشانگر LR و MR را معرفی کرد (Yilmaz, 2001). با جایگزینی رابطه سرعت

موج تراکمی $v_p = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}}$ در $Z_p = \rho V_p$ و جایگزینی

رابطه سرعت موج برشی $v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ در $Z_s = \rho V_s$ و تبدیل

معادله‌های ۸ و ۹ به دست می‌آیند:

$$\frac{z_p^2}{\ln \rho} = \frac{(\lambda + 2\mu)\rho}{m \ln z_p} + m_c + \Delta l_d \quad (8)$$

$$z_s^2 = \mu \rho \quad (9)$$

در نتیجه معادله ۱۰ حاصل می‌شود:

$$\lambda_\rho = z_p^2 - 2z_s^2 \quad (10)$$

در ترسیم نمودارهای متقاطع $\rho\lambda$ و $\rho\mu$ بین پاسخ‌های شن و ماسه جدایش وجود دارد و همچنین با استفاده از این نمودار تقاطعی، رخساره‌های مختلفی قابل تشخیص است (شکل). هر لیتولوژی بسته به کانی‌شناسی و محتوای سیال داخل آن دارای خواص فیزیکی متفاوتی است. به‌عنوان مثال در یک ماسه گازدار، تراکم‌پذیری زیاد و سختی بالای دانه‌های کروی باعث می‌شود که مقدار کمی برای $\rho\lambda$ و مقدار زیادی برای $\rho\mu$ ایجاد شود (Gray and Andersen, 2000).

بیان می‌کنند. رابطه اول با فرض اینکه نسبت سرعت موج P به نسبت سرعت موج S در یک لایه ثابت است به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\ln z_s = \ln z_p + \ln \frac{v_s}{v_p} \quad (1)$$

و رابطه خطی بین z_p و z_s به‌صورت معادله زیر تعریف می‌شود:

$$\ln z_s = k \ln z_p + k_c + \Delta l_s \quad (2)$$

که در این معادله k شیب، k_c عرض از مبدأ خطی است که از اطلاعات نگاره‌های چاه به دست می‌آید و Δl_s برای مواردی است که سیال سنگ هیدروکربن بوده و اثری از آب نباشد در نتیجه برای سنگ آبدار صفر است (Ma, 2002).

رابطه بین چگالی و سرعت موج تراکمی از معادله گاردنر (۱۹۷۴) تعریف می‌شود:

$$\rho = \alpha v_p^b \quad (3)$$

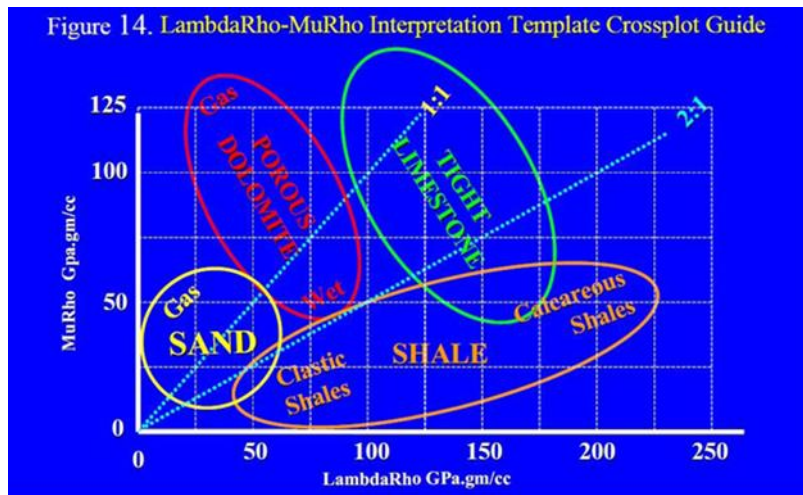
می‌توان رابطه خطی بین چگالی و مقاومت صوتی تراکمی z_p را به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\ln \rho = m \ln z_p + m_c + \Delta l_d \quad (4)$$

که در این رابطه m شیب، m_c عرض از مبدأ خطی است که از اطلاعات نگاره‌های چاه به دست می‌آید و Δl_d ناشی از وجود هیدروکربن در سازند بوده و در صورت عدم وجود هیدروکربن و آب، این مقدار صفر است.

در الگوریتم وارون‌سازی همزمان با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از رد لرزه‌ها در محدوده‌های زاویه‌ای یکسان و اختصاص موجک‌هایی برای هر محدوده، مدل‌های اولیه برای مقاومت تراکمی، مقاومت برشی و چگالی ایجاد می‌شود. در این روش سه موجک برای زوایای نزدیک، میانی و دور استخراج می‌شود. سپس با استفاده از نگاره‌های چاه مقادیر بهینه k ، k_c ، m و m_c محاسبه می‌شود و با حل تخمین اولیه برای مدل اولیه، مقاومت صوتی محاسبه می‌گردد (Ma, 2002).

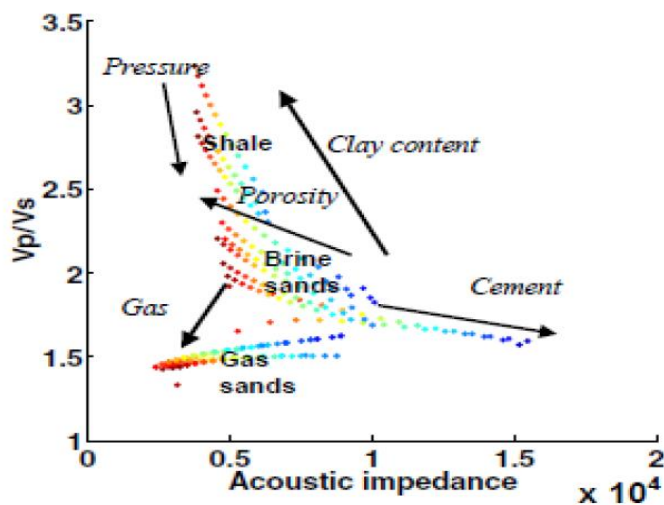
I_p ، I_s و I_D به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:



شکل ۱- بررسی تغییرات سنگ‌شناسی و پتروفیزیکی با استفاده از ترسیم مقاطع $\lambda\rho - \mu\rho$ تغییر تراکم‌پذیری با تغییر نوع سیال نشان داده شده است (Goodway et al., 1997).

است و به‌عنوان یک نشانگر تفکیک‌کننده رخساره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Veeken, 2006). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با رسم نمودارهای مقاطع این نشانگر در مقابل مقاومت صوتی $(I_p - \frac{v_p}{v_s})$ می‌توان تمایز بین سنگ‌شناسی رخساره‌ها را تخمین زد.

همچنین سرعت موج تراکمی به‌سرعت موج برشی یکی از نشانگرهای بسیار مهم در تعیین لیتولوژی است. از آنجایی که سرعت موج برشی تحت تأثیر سیال نبوده و با تغییرات سنگ‌شناسی تغییر می‌کند اما سرعت موج تراکمی به تغییرات سیال حساس است، مقادیر این نسبت برای سنگ‌های مختلف با اشباع‌شدگی‌های مختلف، متفاوت



شکل ۱- تفکیک زون مخزنی با استفاده از ترسیم مقاطع $I_p - \frac{v_p}{v_s}$ و همچنین تفاوت در مقاومت سنگ‌ها (Veeken, 2006)

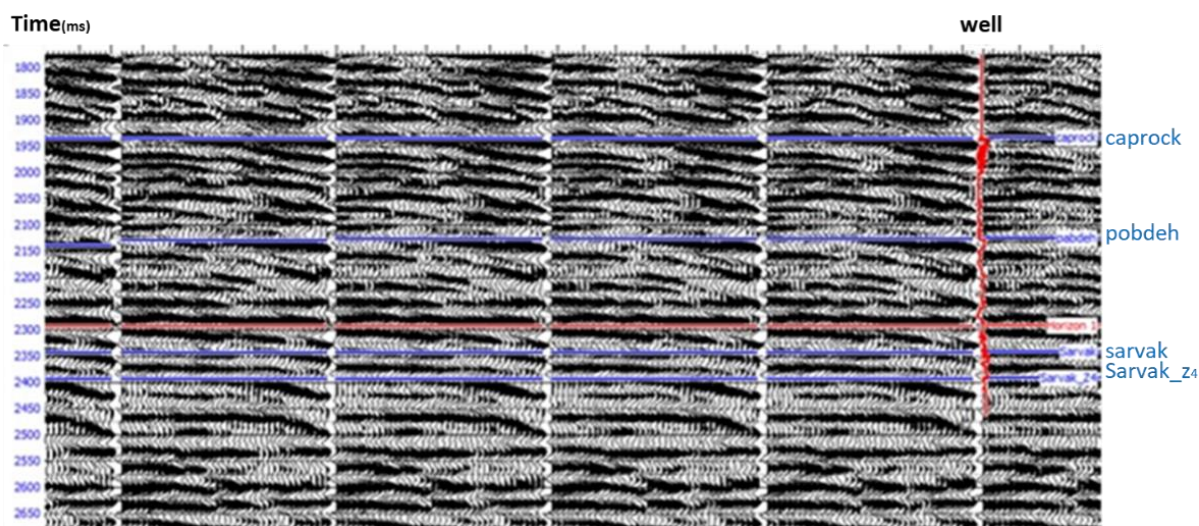
۳. نتایج و بحث

۳-۱. وارون‌سازی همزمان پیش از برانبارش بر روی

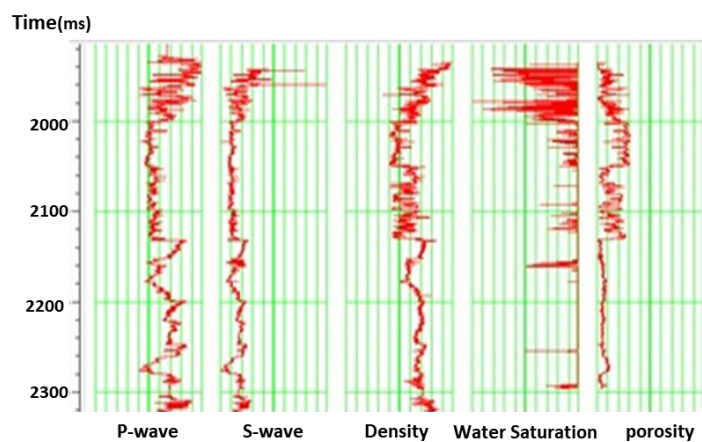
میدان مورد مطالعه

بارگذاری داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش، نگارهای چاه، سر سازندها، اعمال چکشات و همچنین تفسیر سر سازندها بر روی مقاطع لرزه‌ای از اولین اقدامات برای انجام وارون‌سازی لرزه‌ای می‌باشد. شکل ۲ داده‌های بارگذاری شده را به همراه افق‌های تفسیر شده (شکل ۲). الف) و نگارهای چاه موجود (شکل ۲. ب)، در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. برای ارتباط بین نگارهای چاه

که بر اساس عمق و داده‌های لرزه‌ای بر اساس زمان است از داده‌های چکشات استفاده شده است. در وارون‌سازی همزمان پیش از برانبارش، داده‌های لرزه‌ای به صورت دسته زاویه (Angle gather) مورد نیاز است. داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش با استفاده از مدل سرعتی چاه و افق‌های تفسیر شده از حوزه دورافت به حوزه زاویه منتقل شده است (شکل ۳).

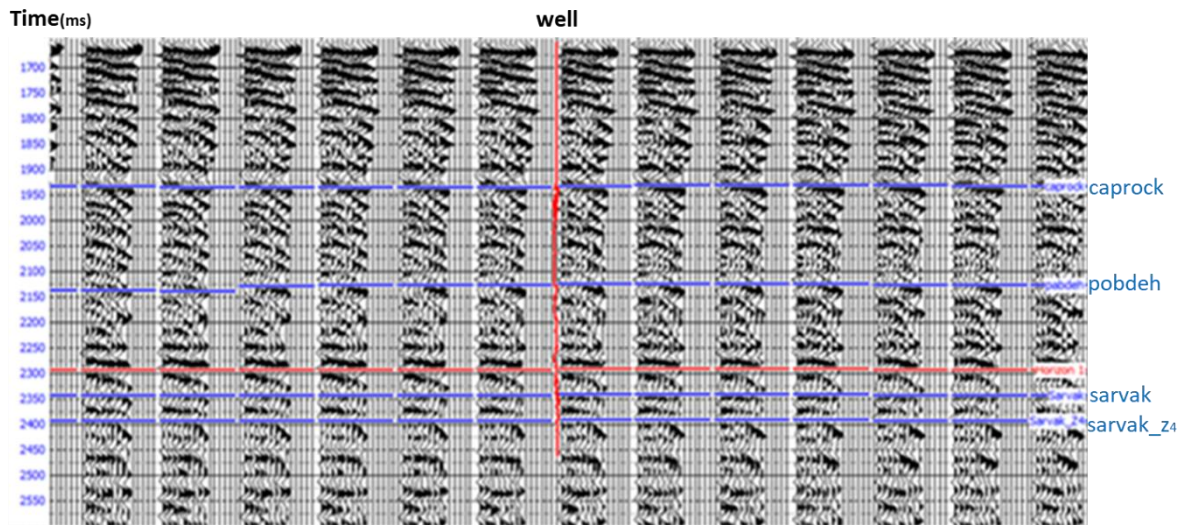


الف



ب

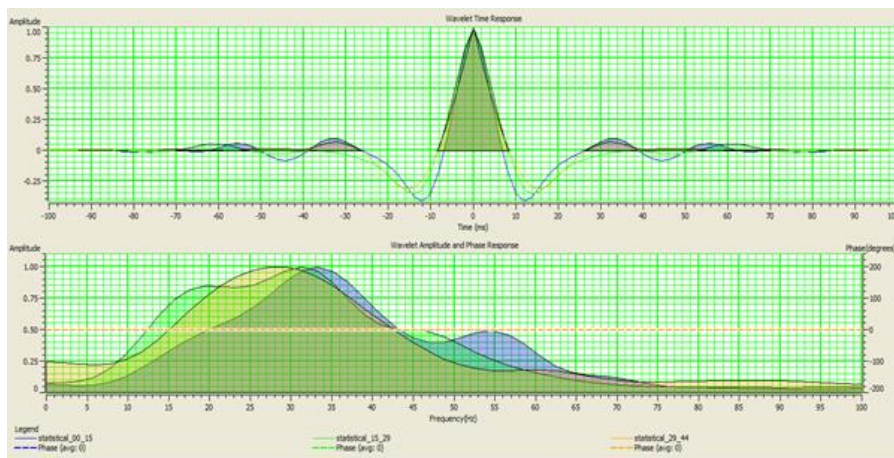
شکل ۲- بارگذاری داده‌های لرزه‌ای و افق‌های پیک شده بر روی مقطع لرزه‌ای (الف) و نگارهای موجود در چاه (ب).



شکل ۳- نمایش دسته زوایا با استفاده از مدل سرعتی ساخته شده با نگارهای چاه.

میانی و زاویه ۲۶ درجه به عنوان موجک دور تخمین زده شده اند (شکل ۴). فاز هر سه موجک وابسته به زاویه استخراج شده برابر با صفر درجه و طول این موجک ها ۲۰۰ میلی ثانیه می باشد.

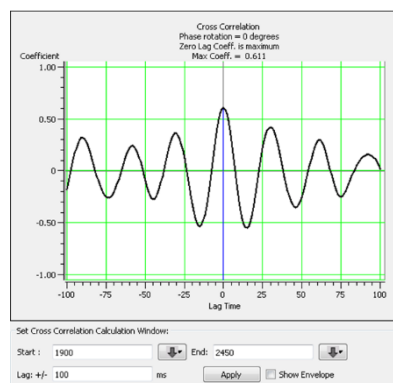
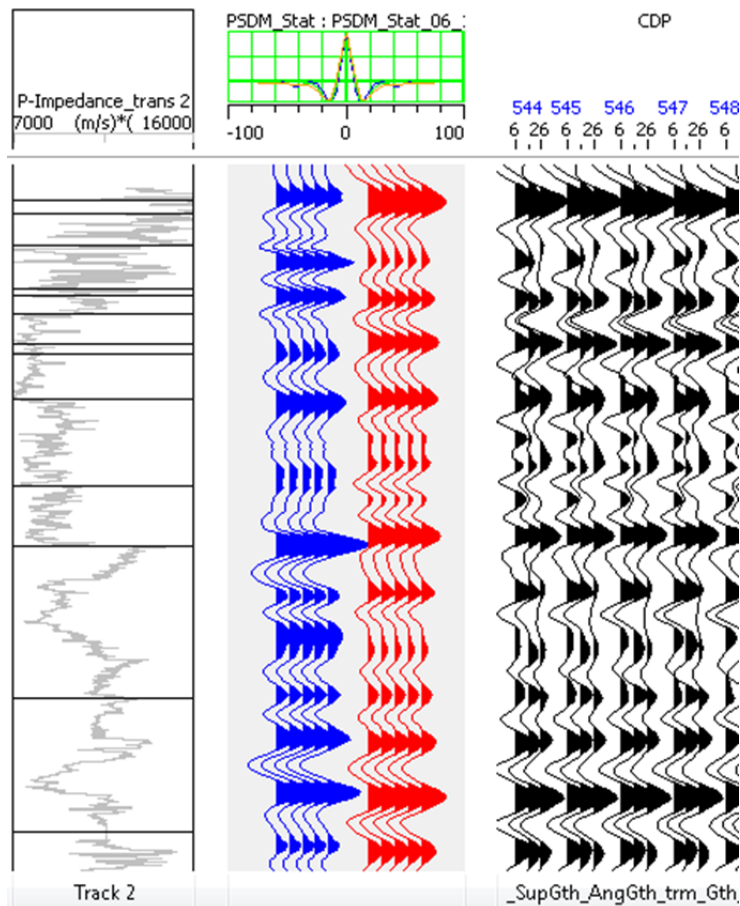
در این مطالعه پس از ساخت دسته زوایا، موجک ها به روش آماری در محدوده مخزن استخراج شده است. موجک های استخراج شده به ترتیب برای زاویه ۶ درجه به عنوان موجک نزدیک، زاویه ۱۶ درجه به عنوان موجک



شکل ۴- نمایش همزمان سه موجک استخراج شده به روش آماری. فاز هر سه موجک استخراج شده برابر صفر می باشد.

مشاهده می شود تطابق لرزه نگاشت مصنوعی (لرزه نگاشت آبی) مربوط به نگارهای چاه و موجک تخمین زده شده و داده های واقعی (لرزه نگاشت قرمز) بیش از ۶۱ درصد است.

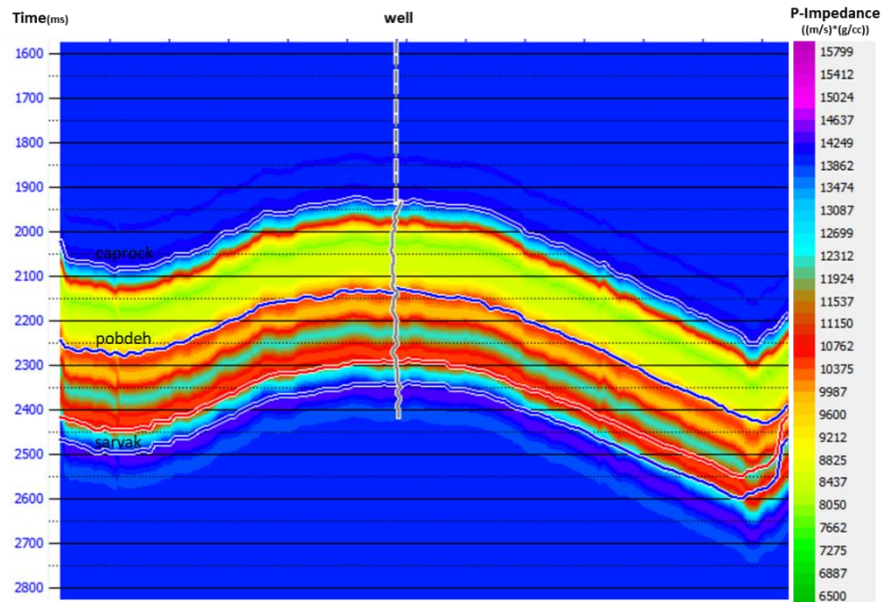
در مرحله بعد، لرزه نگاشت مصنوعی ایجاد شده توسط داده های چاه و موجک تخمین زده شده، با داده های لرزه ای مطابقت داده شده است. در این مطالعه تنها از اطلاعات یک چاه استفاده گردید. همان طور که در شکل ۵



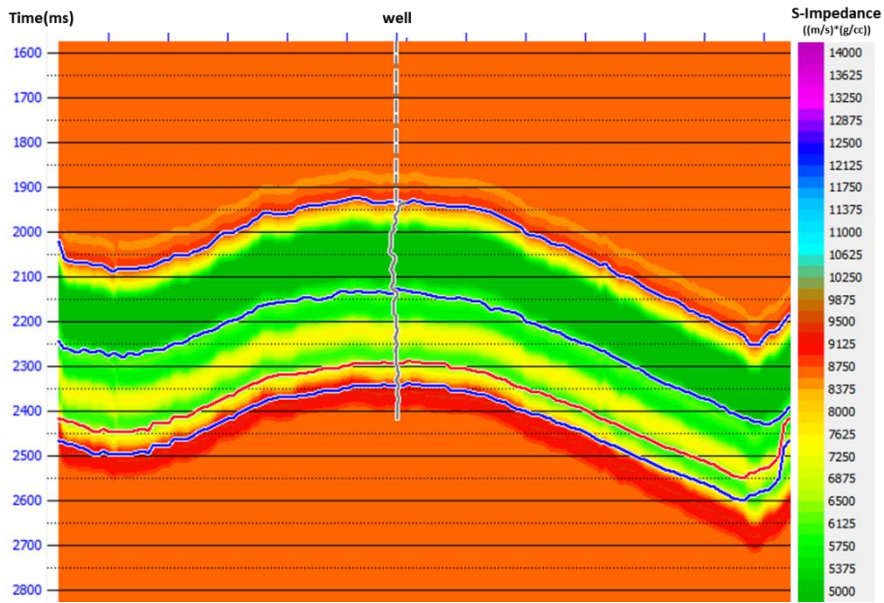
شکل ۵- پنجره مربوط به تطابق داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه. لرزه‌نگاشت آبی مربوط به لرزه‌نگاشت مصنوعی به‌دست‌آمده از نگارهای چاه و موجک تخمین زده‌شده و لرزه‌نگاشت قرمز مربوط به داده‌های واقعی است.

نمودارهای تقاطعی لگاریتم امپدانس تراکمی در مقابل امپدانس برشی و همچنین نمودار تقاطعی لگاریتم امپدانس تراکمی در مقابل چگالی با استفاده از نگارهای چاه به‌دست‌آمده است (شکل).

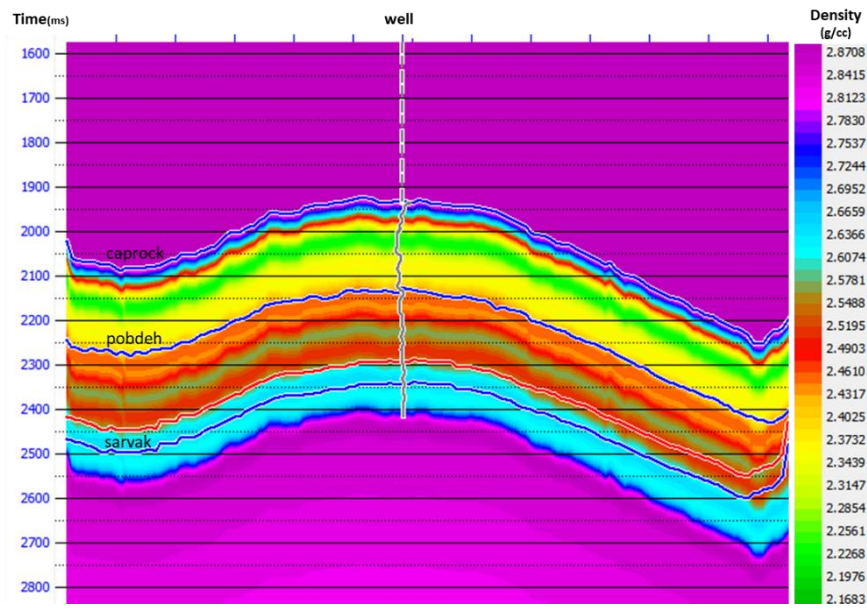
برای ساخت مدل‌های اولیه از داده‌های چاه و افق‌های تفسیر شده در داده‌های لرزه‌ای استفاده شده است. در شکل ۶، مدل اولیه امپدانس موج تراکمی (الف)، امپدانس برشی (ب) و چگالی (ج) به‌دست‌آمده از نگارهای چاه نشان داده شده است. مقادیر kc ، k ، mc ، m با استفاده از



الف



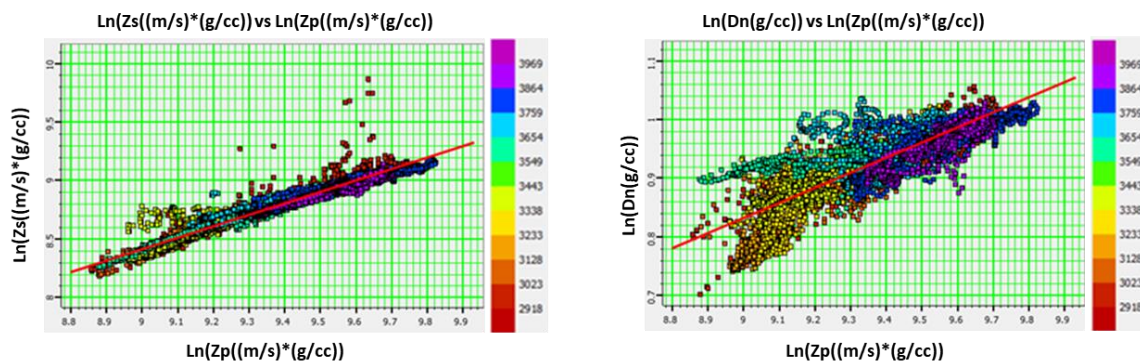
ب



ج

شکل ۶- مدل اولیه مقاومت صوتی (امپدانس تراکمی) (الف)، مدل اولیه برشی (ب) و مدل اولیه چگالی (ج) به دست آمده از

اطلاعات چاه.



شکل ۸- بدست آوردن مقادیر k , kc , m , mc با استفاده از نمودارهای تقاطعی لگاریتم امپدانس تراکمی در مقابل امپدانس

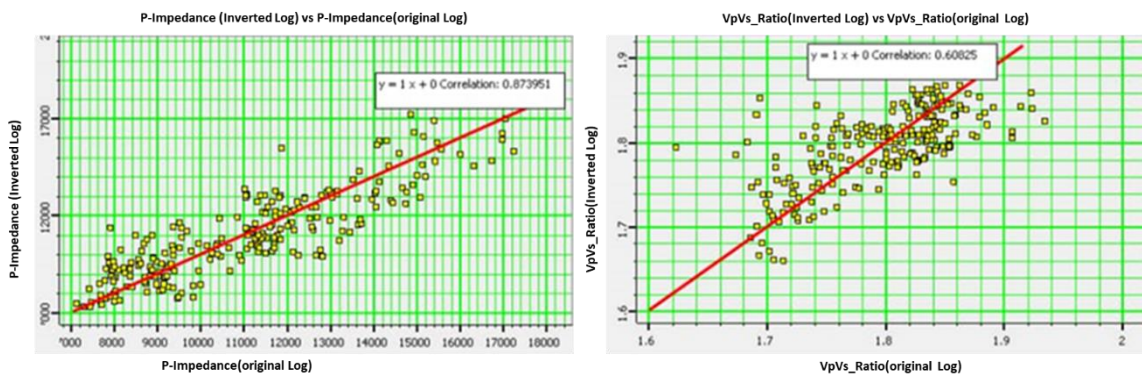
برشی و همچنین نمودار تقاطعی لگاریتم امپدانس تراکمی در مقابل چگالی با استفاده از نگرهای چاه.

جدول ۱- ضرایب حاصل از نمودارهای تقاطعی لگاریتم امپدانس تراکمی در مقابل امپدانس برشی

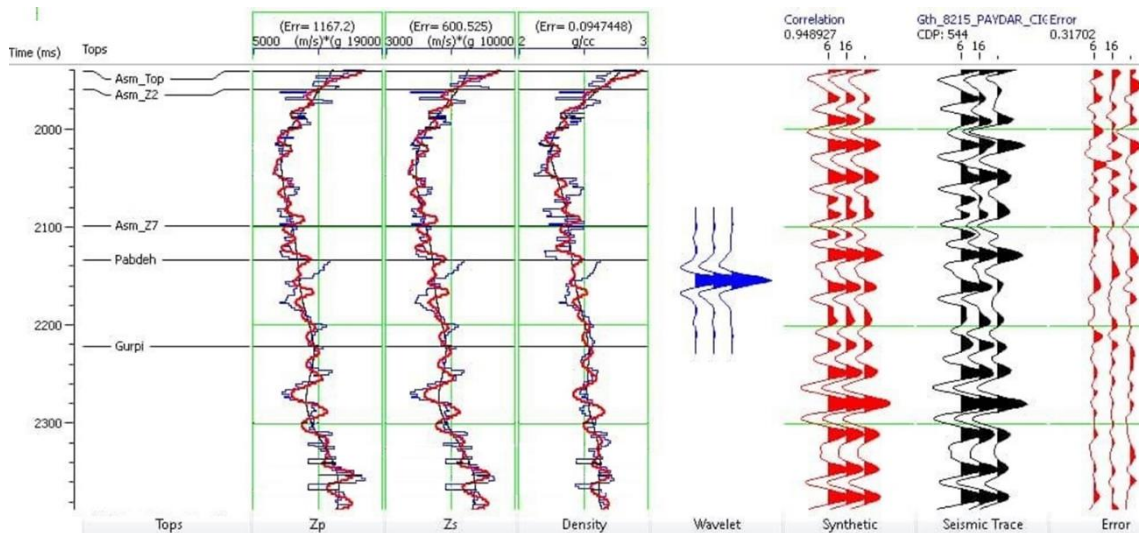
K	0.977
Kc	-0.390
M	0.257
Mc	-1.436

چاه مقایسه شده، سپس ضریب همبستگی آن‌ها مشخص گردیده است (شکل ۷). در شکل ۸ نگارهای مربوط به مقاومت صوتی اولیه چاه (منحنی آبی) و مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی در محل چاه (منحنی قرمز) نشان داده شده است که ضریب همبستگی بیش از ۹۴ درصد است.

در این مرحله یک وارون‌سازی در محل چاه به منظور بهینه‌سازی پارامترهای وارون‌سازی انجام و سپس وارون‌سازی بر کل مقطع لرزه‌ای اعمال گردیده است. به منظور صحت‌سنجی وارون‌سازی در محل چاه، نتایج به دست آمده بررسی و مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی، چاه و $\frac{v_p}{v_s}$ به دست آمده از نتایج وارون‌سازی و



شکل ۷- ترسیم مقاومت صوتی به دست آمده از وارون‌سازی و چاه مورد مطالعه (شکل چپ)، و ترسیم $\frac{v_p}{v_s}$ به دست آمده از وارون‌سازی و چاه مورد مطالعه (شکل راست).



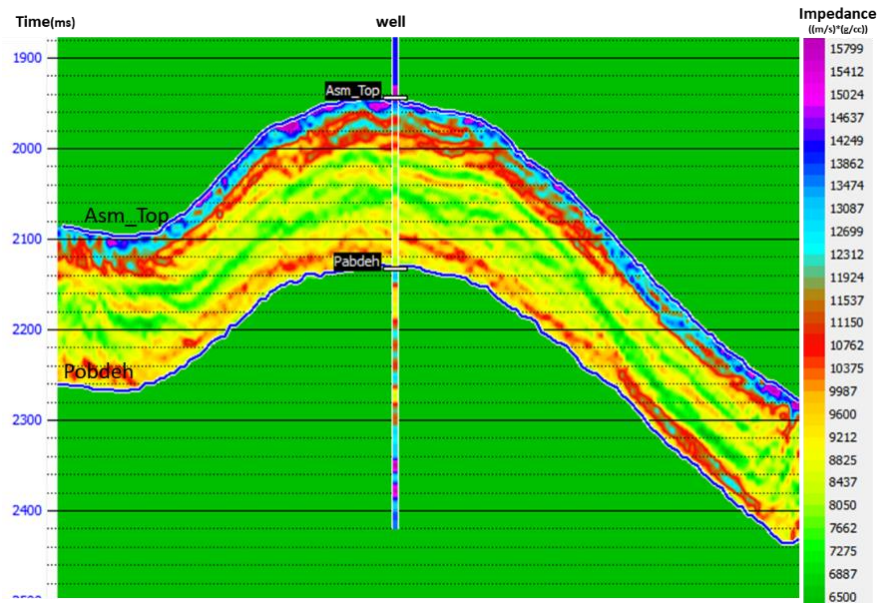
شکل ۸- تحلیل وارون‌سازی در محل چاه به منظور ارزیابی مقادیر امپدانس صوتی، امپدانس برشی، چگالی به دست آمده از وارون‌سازی. نگارهای آبی، حاصل از نگارهای چاه می‌باشد و نگارهای قرمز رنگ، نگارهای به دست آمده از وارون‌سازی است.

لرزه‌ای مقاومت صوتی، مقاومت برشی و چگالی می‌باشد که در شکل ۹ نشان داده شده است. در این شکل در بخش (الف) و (ب) به ترتیب مقطع لرزه‌ای مقاومت

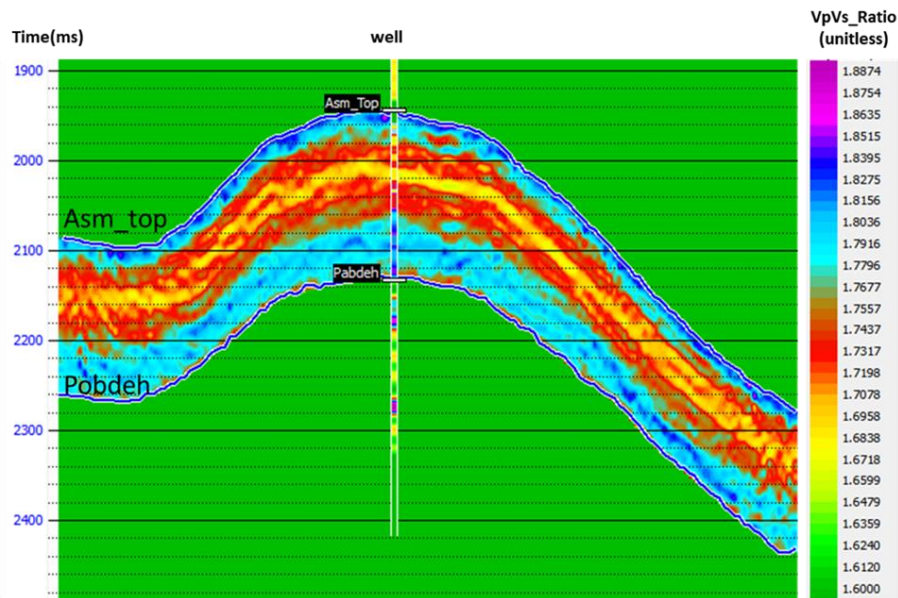
پس از انجام وارون‌سازی در محل چاه و انتخاب مقادیر بهینه برای پارامترها، وارون‌سازی بر کل حجم داده‌های لرزه‌ای اعمال شده است. نتایج نهایی شامل سه مقطع

مشاهده می‌شود مقاومت صوتی در سازند آسماری به علت وارد شدن به محیط کربناته افزایش می‌یابد، ولی در قسمت‌هایی به دلیل تغییرات لیتولوژی کاهش یافته است.

صوتی و مقطع لرزه‌ای نسبت سرعت موج تراکمی به سرعت موج برشی به دست آمده از وارون‌سازی همزمان پیش از برانبارش آورده شده است. در این شکل مقیاس رنگی نیز نشان‌دهنده میزان تغییرات است. همان‌طور که



الف



ب

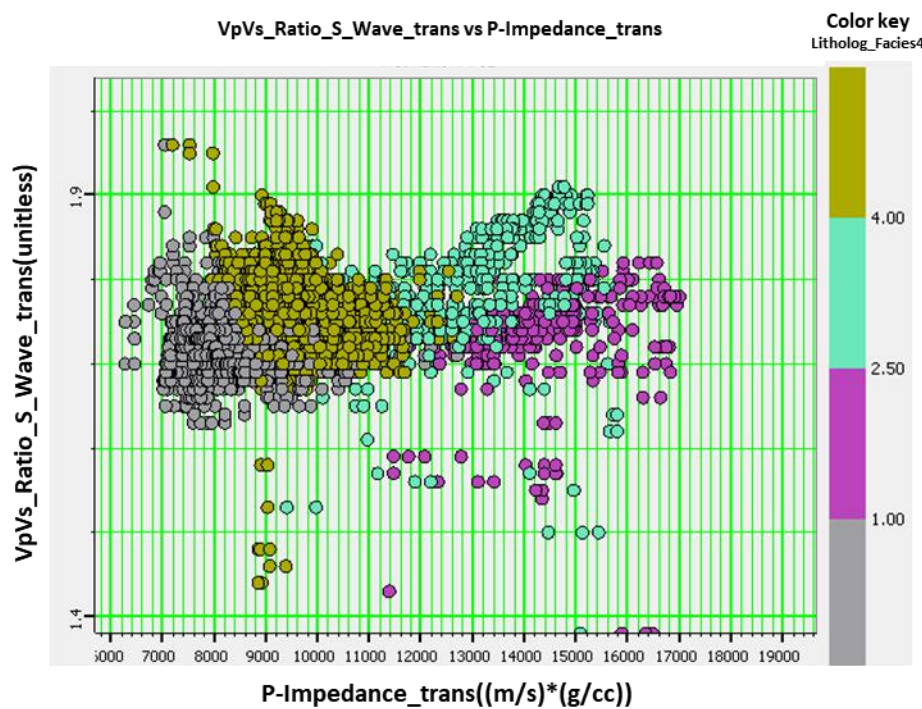
شکل ۹- مقطع لرزه‌ای امپدانس صوتی سرعت موج تراکمی (الف) و مقطع لرزه‌ای نسبت سرعت تراکمی به سرعت برشی

(ب) به دست آمده از وارون‌سازی همزمان پیش از برانبارش.

۲-۳. ترسیم نمودارهای تقاطعی نشانگرهای پیش از برانبارش

شکل ۱۰ و شکل ۱۱ نمودارهای تقاطعی به دست آمده از نتایج حاصل از وارون سازی همزمان در محدوده مخزن را نشان می دهند. این نمودارهای تقاطع، به ترتیب مقاومت صوتی در مقابل نسبت سرعت موج تراکمی به سرعت موج برشی و لاندارو (LR) در مقابل میورو (MR) را نشان می دهد. سپس نگارهای حجمی سنگ شناسی در چاه مورد مطالعه ترسیم و با استفاده از رنگ ها سنگ شناسی های مختلف از یکدیگر تفکیک شده است. همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود با به کار بردن مقاومت تراکمی و $\frac{v_p}{v_s}$ سنگ آهک از دولومیت و ماسه متمایز شده است.

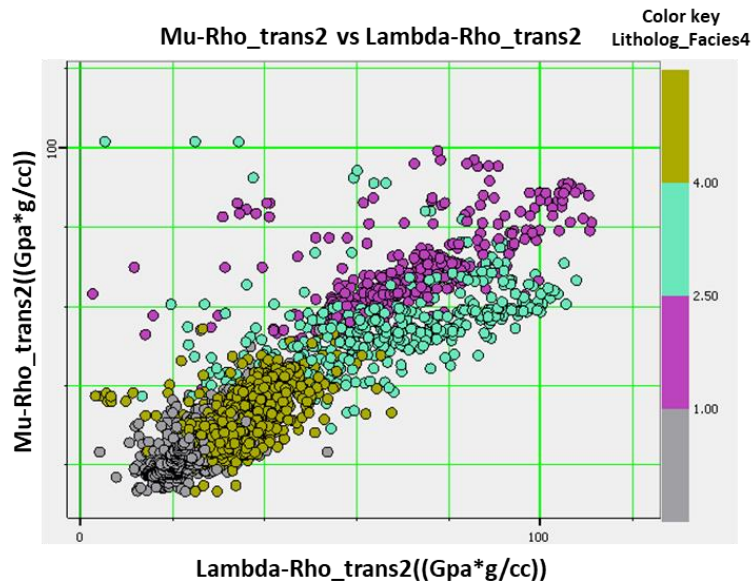
استفاده از ترسیم این نمودار متقاطع چهار رخساره قابل تفکیک است. رخساره اول و دوم به ترتیب مربوط به ناحیه دولومیتی بارنگ بنفش و ناحیه سنگ آهک با رنگ آبی نسبت داده شده است. رخساره سوم و چهارم نیز مربوط به ماسه سنگ دارای کوارتز با رنگ زرد و شیل با رنگ خاکستری با مقاومت تراکمی پایین می باشد. در این نمودار قسمت های غیرخطی که در آن ها نسبت $\frac{v_p}{v_s}$ کاهش یافته و از روند اصلی جدا شده است می تواند به دلیل تخلخل بالا باشد و همچنین بالا بودن مقاومت صوتی در این نواحی به دلیل کربناته بودن ناحیه مخزن است.



شکل ۱۰- ترسیم متقاطع $Ip - \frac{v_p}{v_s}$ حاصل از وارون سازی.

ترسیم نمودار متقاطع LR-MR برای مقادیر لیتولوژی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در این نمودار همان طور که مشاهده می گردد جداسازی رخساره ها با تفکیک خوبی صورت گرفته است. در MR و LR پایین ناحیه شیلی با

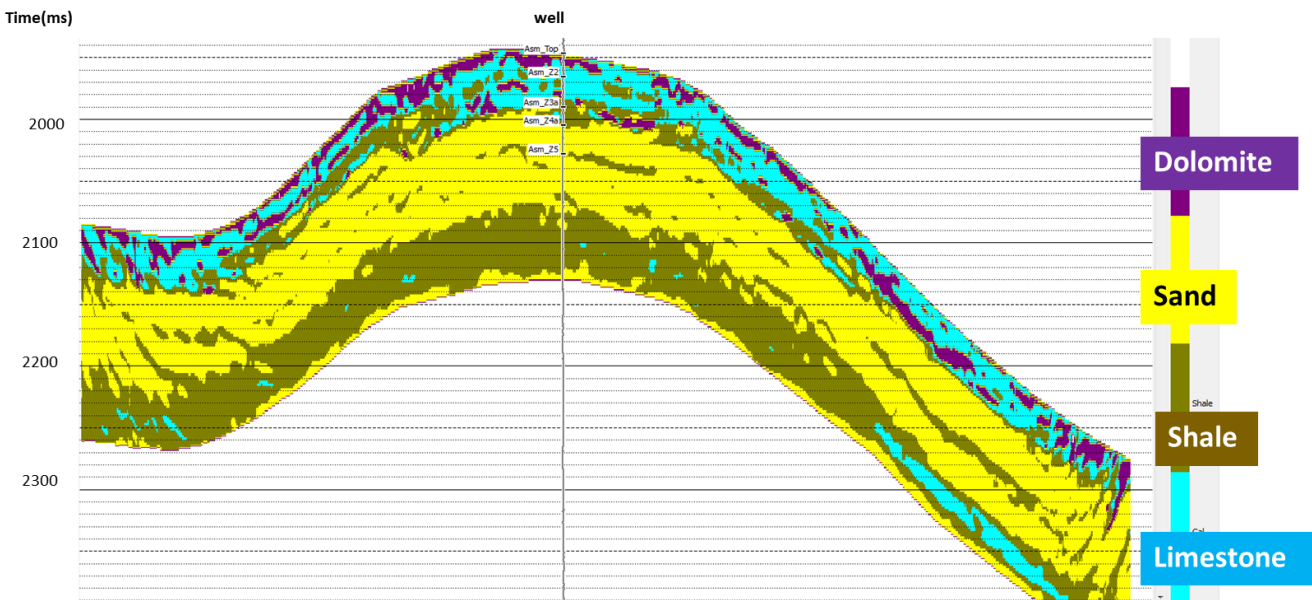
رنگ طوسی، ناحیه ماسه سنگ بارنگ زرد، ناحیه سنگ آهک با رنگ سبز و ناحیه دولومیتی بارنگ بنفش مشخص شده است.



شکل ۱۱- ترسیم‌های مقاطع LR-MR برای مقادیر لیتولوژی حاصل از وارون‌سازی.

نتیجه جدایش رخساره‌های کربناته در امتداد خط لرزه‌ای با عبور از محل چاه با نگار حجم‌های دولومیت، کلسیت، ایلیت و کوارتز می‌باشد.

در این مطالعه همان‌طور که مشاهده می‌شود نشانگرهای $Ip-\frac{v_p}{v_s}$ برای تمایز رخساره‌ای، تفکیک بالاتری را نسبت به نشانگرهای LMR نشان می‌دهد، شکل ۱۲



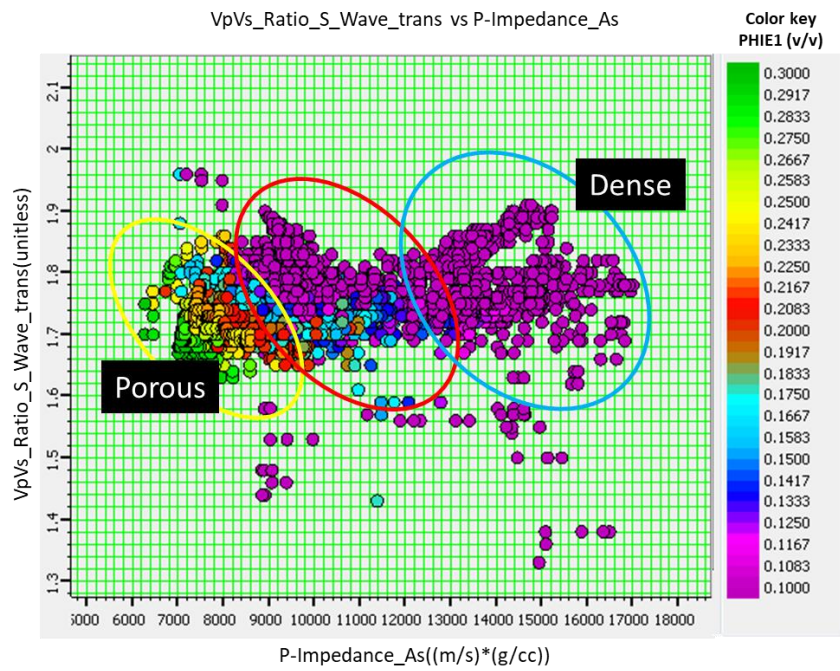
شکل ۱۲- مقطع به‌دست آمده از ترسیم مقاطع $Ip-\frac{v_p}{v_s}$ حاصل از وارون‌سازی. نتایج جدایش رخساره‌های کربناته در امتداد خط لرزه‌ای عبوری از محل چاه.

رخساره‌ای تفکیک بهتری را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تخلخل به مقاومت تراکمی حساس می‌باشد، با

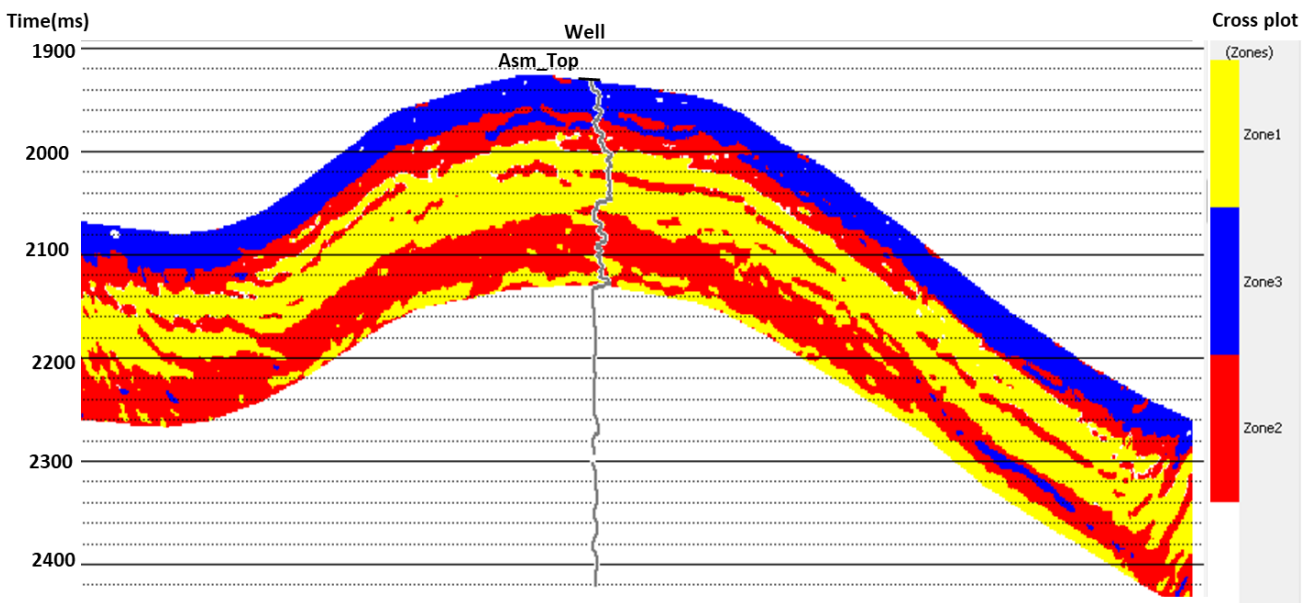
ترسیم نمودار مقاطع $Ip-\frac{v_p}{v_s}$ برای مقادیر تخلخل در شکل ۱۳ آورده شده است زیرا نشانگرهای $Ip-\frac{v_p}{v_s}$ برای تمایز

Unknown switch argument. مشاهده می‌شود دایره زرد نواحی با تخلخل بالا، دایره قرمز نواحی با تخلخل متوسط و دایره آبی نشان‌دهنده رخساره‌های کم تخلخل و متراکم می‌باشد. همچنین در شکل ۱۴ می‌توان نواحی مخزن را به رنگ‌های قرمز و زرد که نشان‌دهنده تخلخل بالا می‌باشد مشاهده کرد.

افزایش مقاومت تراکمی در سنگ‌آهک سازند آسماری تخلخل کاهش می‌یابد. بدین ترتیب می‌توان سنگ‌آهک با مقاومت تراکمی بالا را از سنگ آهک با مقاومت تراکمی پایین و متخلخل تشخیص داد. در شکل ۱۴ نتایج حاصل از ترسیم نمودار متقاطع $Ip-\frac{v_p}{v_s}$ براساس مقادیر تخلخل ارائه شده است. همان‌طور که در **Error!**



شکل ۱۳- ترسیم متقاطع $Ip-\frac{v_p}{v_s}$ براساس مقادیر تخلخل.



شکل ۱۴- مقطع به دست آمده از ترسیم مقاطع $I_p - \frac{v_p}{v_s}$ بر اساس مقادیر تخلخل، رنگ زرد نواحی متخلخل، رنگ قرمز نواحی با تخلخل متوسط و رنگ آبی نواحی کم تخلخل و متراکم.

۴. نتیجه گیری

طور که ذکر شد، ناحیه متخلخل با استفاده از نمودار تقاطعی $I_p - \frac{v_p}{v_s}$ مشخص شده است. با توجه به اینکه با افزایش مقاومت تراکمی تخلخل کاهش می‌یابد به این ترتیب می‌توان سنگ آهک با مقاومت تراکمی بالا را از سنگ آهک با مقاومت تراکمی پایین و متخلخل متمایز نمود.

در پایان لازم به ذکر است، تطابق نسبتاً بالای نتایج وارون‌سازی همزمان و داده‌های واقعی نشان‌دهنده صحت و دقت مدل‌سازی است و اعتبار بیشتری به نتایج این مطالعه داده است. یافته‌های این مطالعه برای مطالعات اکتشاف هیدروکربن قبل از حفاری در سازندهای موجود در این ناحیه کاربرد دارد.

با استفاده از وارون‌سازی پیش از برانبارش همزمان داده‌های لرزه‌ای، مقاطع مقاومت صوتی، مقاومت برشی و نسبت سرعت موج تراکمی به سرعت موج برشی استخراج و با استفاده از این نشانگرهای لرزه‌ای، نشانگرهای LMR در سازند آسماری در یکی از میداین جنوب غرب ایران محاسبه شده است. نتایج به دست آمده از ترسیم نمودارهای مقاطع نشانگرهای حاصل از وارون‌سازی همزمان نشان می‌دهد که به کمک نمودارهای مقاطع حاصل از این نشانگرها می‌توان رخساره‌های لرزه‌ای مختلف را متمایز نمود. مقایسه نمودارهای مقاطع در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب نشانگرهای $I_p - \frac{v_p}{v_s}$ در مقایسه با ترکیب نشانگرهای MR-LR قابلیت بهتری در تفکیک رخساره‌ها از خود نشان می‌دهد. همان

منابع

- Downton, J. and Ursenbach, C., 2005. Linearized AVO inversion with supercritical angle: CSEG National Convention Expanded Abstracts, 32-35
- Goodway, B., Chen, T., Downton, J. 1997. Improved AVO fluid Detection and lithology Discrimination using lame petrophysical parameters, 67 th Annual International meeting, SEG, pp: 183-186
- Gray, D., Veritas D.G.C., 2002. Inc. Elastic Inversion for Lamé Parameters. SEG Technical Program Expanded Abstracts. 213-216
- Gray, F.D. Andersen, E.A., 2000, The application of AVO and inversion to formation properties, World Oil, Vol. 221, No. 7.
- Hampson, D.P., Russell B.H., Bankhead, B. 2005. Simultaneous inversion of pre-stack seismic data, 75th Annual Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 1633-1637.
- Ismail A., Ewida, H.F., Al-Ibiary, M.G., Gammaldi, S., Zollo, A. 2020. Identification of Gas Zones and Chimneys Using Seismic Attributes Analysis at the Scarab Field, Offshore, Nile Delta, Egypt. Petroleum Research, 5, pp. 59-69
- Ma, X., 2002. Simultaneous inversion of prestack seismic data for rock properties using simulated annealing. Geophysics, 67, 1877-18 85.
- Russell, H.B., 1988. Introduction to Seismic Inversion Methods, Tulsa, OK: SEG.
- Veeken, P. C. H., 2006. Seismic Stratigraphy, basin analysis and reservoir characterization. 1st edition, Elsevier Science, Vol. 37, pp. 522
- Yilmaz, O., 2001. Seismic data analysis, Volume 1 and 2, Society of Exploration Geophysicists, Investigations in geophysics, 10, Tulsa, SEG, 2001, 20-27.
- Yin X. Y., Zong Z.Y. Wu G.C. 2015. Research on seismic fluid identification driven by rock physics. Sci China Earth Sci.; 58(2): 159-71.
- Zong, Z. Y., Yin, X.Y., Wu, G.C., 2015. Geofluid discrimination incorporating poroelasticity and seismic reflection inversion. Surv Geophysics. 36(5): 659-81.
- Zong, Z.Y., Yin, X.Y., 2016. Direct inversion of yours and Poisson impedances for fluid discrimination. Geofluids. 16(5): 1006-16.