Archive of SID

ارائه مدل ترکیبی حاصل از دو مدل فیزیک سنگ با روش انتگرال فازی سوگنو در یکی از میادین نفتی جنوب غربی ایران

حمید صیفی*[1]، بهزاد تخم چی[2]، علی مرادزاده[3]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
۳- استاد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران
(دریافت: مهر ۱۳۹۷، پذیرش: تیر ۱۳۹۸)

چکیده

با به کارگیری مدل‌های فیزیک سنگی، شناسائی هرچه دقیق‌تر مخزن هیدروکربوری امکان‌پذیر است و به دنبال آن مخاطره اکتشاف و تولید نفت و گاز به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. در مطالعه حاضر، سه مدل فیزیک سنگ خود سازگار-گاسمن، شو-پاین و شو-وایت در یک مخزن کربناته نفتی در جنوب غربی ایران در دو چاه هدف مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از روش‌های ترکیب اطلاعات انتگرال فازی سوگنو و وزن دهی افزایشی ساده، دو مدل ترکیبی مختص مخزن مورد مطالعه، تهیه و ارائه گردیدند. سرعت موج طولی و برشی با کمک نگارهای چاهی و نوع حفرات حاصل از مقاطع نازک و سی‌تی‌اسکن در مخزن مورد مطالعه برآورد و از لحاظ کمی و کیفی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که خطای نسبی در تخمین سرعت موج برشی در چاه A و B به ترتیب از ۲۱ درصد به ۴ درصد و از ۲۴ درصد به ۴/۵ درصد رسید. همچنین خطای نسبی در تخمین سرعت موج طولی در چاه‌های مورد مطالعه از ۱۴ به ۲/۵ درصد در چاه A و از ۲۱ به ۲ درصد در چاه B کاهش یافت. همچنین در بین سه مدل موجود نتایج برآورد شو-وایت و سوگنو در تخمین سرعت‌های طولی و برشی در چاه A به ترتیب از کمترین(۷۹ و ۸۱) و بیشترین ضریب همبستگی (۹۹ و ۹۸) با داده واقعی برخوردار بودند. در واقع نتایج به دست آمده از سه مدل فیزیک سنگی و مدل‌های ترکیبی بیانگرآن است که مدل ترکیب شده با روش سوگنو بهترین برآورد را ارائه نموده است.

کلمات کلیدی

ترکیب اطلاعات، سرعت موج طولی و برشی، مدل خود سازگار-گاسمن، مدل شو-پاین، مدل شو-وایت، مدل وزن دهی افزایشی ساده و مخازن کربناته

* عهده‌دار مکاتبات: hm.seifi@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروزه ثابت شده که داده‌های لرزه‌ای در مطالعات مخزن چه در بخش اکتشاف، چه در حیطه تولید و توسعه و چه در ازدیاد برداشت مخازن هیدروکربوری، نقش به سزایی دارد. همچنین با توجه به اینکه مخازن بزرگ به نیمه دوم عمر خود در تولید رسیده اند و اکتشاف مخازن نفت و گاز بزرگ دنیا از روندی کاهشی برخوردار شده اند، لذا اهمیت استفاده از داده‌های لرزه‌ای روز به روز افزایش می‌یابد. به منظور ارتباط داده لرزه‌ای (پارامترهای الاستیک) به پارامترهای مخزنی از علم فیزیک سنگ استفاده می‌شود. علم فیزیک سنگ در واقع به منظور کمی‌سازی نتایج مطالعات لرزه‌ای به کار می‌رود[۱-۴]. پارامترهای الاستیک شامل سرعت موج فشاری، سرعت موج برشی و چگالی است که روابط فیزیک سنگی به استخراج خواص مخزنی و زمین‌شناسی (از جمله تخلخل، محتوای رس، اشباع سیال و لیتولوژی) از پارامترهای الاستیک کمک شایانی می‌کند. در مطالعات ژئوفیزیکی مخازن هیدروکروبوری، استخراج اطلاعات مناسب از خواص مخزنی منوط به وجود یک مدل معتبر از خصوصیات فیزیکی سنگ است، به عبارت دیگر داشتن بهترین مدل فیزیک سنگ، از اهمیت بسیاری برخوردار است [۵-۷].

یکی دیگر از کاربردهای مدل‌های فیزیک سنگی، تصحیح نگارهای چاهی و تکمیل آنها در چاه‌های فاقد نگار است. همچنین تصحیح و تکمیل نگارهای سرعت امواج فشاری و برشی مورد نیاز در مطالعات لرزه‌ای، از کاربردهای دیگر روابط فیزیک سنگ است [۸]. در سنگ‌های مخازن کربناته با توجه به پیچیدگی‌های آنها و وجود حفرات و تخلخل‌های مختلف، بر خلاف مخازن ماسه سنگی مدل‌های فیزیک سنگی کمتری توسعه یافته است. به عبارت دیگر، با توجه به ماهیت مخازن کربناته که از نظر تخلخل، شکل حفرات، ریز شکستگی‌ها و ارتباط آنها پیچیده هستند، نمی‌توان مدل‌های فیزیک سنگ مخازن ماسه سنگی را برای آنها استفاده کرد [۹-۱۱].

البته تعدای از محققین با تغییر و توسعه برخی از مدل‌های فیزیک سنگ مخازن ماسه سنگی توانستند مدلی را برای مخازن کربناته ارائه دهند. شو و پاین مدل فیزیک سنگی را توسعه دادند که علاوه بر ماسه سنگ‌های شیلی، برای سنگ‌های کربناته نیز قابل استفاده است[۱۲]. مدل دیگری که تا حدودی با شرایط مخازن (سنگ‌های)کربناته نزدیک بوده، مدلی است که توسط بریمن در سال۱۹۹۵ تعمیم یافته و ارائه شده و به مدل خودسازگار معروف است. این مدل فیزیک سنگی از دسته مدل‌های میانباری محسوب می‌شود[۱۴-۱۳]. در مدل‌های فیزیک سنگی مناسب مخازن کربناته، تغییرات در دیاژنتیک و رخساره‌های رسوب گذاری نقش اصلی دارند [۱۵]. همچنین نوع منافذ به شدت بر روابط فیزیک سنگی کربنات‌ها تأثیرگذاراست. مدلسازی تصاویر دیجیتال می‌تواند به درستی این تأثیر را به نمایش درآورد [۱۸-۱۶].

بنابراین با توجه به تأثیر پارامترهای مختلف و پیچیدگی ساختار کربنات‌ها و نیز با توجه به اینکه درصد بالائی از مخازن کشور، کربناته هستند، توسعه و گسترش مدل‌های فیزیک سنگ مخصوص میادین هیدروکربوری ایران، ضروری است. نظر به کمبود اطلاعات در زمینه نوع و شکل حفرات و میزان تأثیر آنها روی پارامترهای الاستیکی در مخازن کربناته ایران و به منظور بهره‌گیری از تمام اطلاعات مفید در دسترس در مدلسازی فیزیک سنگی سنگ‌های کربناته از روش‌های ترکیب اطلاعات که سعی می‌کند از لایه‌های مختلف اطلاعاتی بهره‌مند شود[۱۹]، استفاده می‌شود.

در حوزه‌های مختلفی از علوم‌زمین، از روش‌های ترکیب اطلاعات، از جمله انتگرال‌های فازی و وزن‌دهی افزایشی ساده (SAW) (Simple Additive Weighting) استفاده می‌شود. برای نمونه می‌توان به تحقیقاتی نظیر تعیین رخساره‌های سنگی و تخمین تراوایی درون چاه‌های نفتی با استفاده از روش‌های فازی ترکیب اطلاعات [۲۲-۲۰]؛ قطعه‌بندی مقاطع لرزه‌ای به نواحی مختلف بر اساس ترکیب اطلاعات حاصل از نشانگرهای لرزه‌ای به کمک تکنیک فازی[۲۳]؛ کشف قوانین فازی برای ارزیابی سازند از نظر اشباع نفت با استفاده از ترکیب دو داده سرعت موج و درصد اشباع نفت [۲۴]؛ ترکیب فازی داده‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیک بر اساس سیستم اطلاعات مکانی برای به نقشه در آوردن پتانسیل هیدروکربوری[۲۵]؛ و در نهایت به کاربرد تکنیک‌های منطق فازی در علم ژئوفیزیک و مخصوصاً لرزه‌شناسی در ارزیابی و اکتشاف منابع هیدروکربوری [۲۶]؛ اشاره کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین مطالعاتی جهت تخمین پارامترهای الاستیک سنگ مخزن به ویژه سرعت موج برشی در مخازن هیدروکربوری با روش‌های هوشمند و تلفیقی انجام پذیرفته که می‌توان به نمونه‌های زیر اشاره کرد: پیش‌بینی سرعت موج برشی با استفاده از یک مدل ترکیبی بر اساس معادله گرینبرگ-کاستاگنا [۲۷]، پیش‌بینی سرعت موج برشی با استفاده ا ز مدل بهینه‌سازی شده شو- وایت[۲۸]، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و فیزیک سنگی برای برآورد سرعت موج برشی در یک مخزن بسیار ناهمگن [۲۹]، برآورد سرعت سنگ بر اساس پردازش تصویر سنگ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی[۳۰].

در کنار مدل‌های فیزیک سنگی مذکور روش‌های دیگر نیز جهت توصیف و مدلسازی پارامترهای مختلف مخازن هیدروکربوری از جمله تخلخل سنگ، نفوذپذیری، توزیع اندازه منفاذ، اشباع نسبی انواع مختلف سیالات مخزنی با روش‌های هوشمند، تلفیقی و ترکیبی توسعه یافته است. برای نمونه به مطالعه صورت گرفته توسط مرشدی و فاتحی مرجی که مدلسازی سه‌بُعدی از نوع سیالات مخزن با استفاده ازتلفیق روش رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR) و پارامترهای ترموفیزیکی را انجام داده اند،[۳۱] و همچنین به تحقیق انجام گرفته توسط گوگی و چاترجی در برآورد پارامترهای پتروفیزیک با استفاده ازتلفیق مدل لرزه‌نگاری و مدل شبکه عصبی می‌توان اشاره کرد [۳۲].

از آنجائی که مدل‌های مختلف فیزیک سنگی با توجه به اهداف پروژه و مطالعه مورد نظر به نوعی مختص مخزن مورد مطالعه است، لذا نمی‌توان به سادگی به سایر مخازن و میادین بسط داد، اگر چه برخی از مدل‌های فیزیک سنگی عمومیت بیشتری دارند. در جایی که امکان توسعه مدل برای مخزنی به دلیل کمبود اطلاعات وجود ندارد، سعی می‌شود با تغییراتی در مدل‌های موجود، این قابلیت ایجاد شود. در این بین استفاده از لایه‌های مختلف اطلاعاتی حاصل از چند مدل فیزیک سنگی می‌تواند به شرایط مخزن مورد مطالعه که فاقد مدل فیزیک سنگی مخصوص خود است، نزدیک‌تر شده و نتایج بهتری بدهد. به بیان دیگر، با استفاده از روش‌های نوین ترکیب اطلاعات می‌توان مدل‌های ترکیبی جدیدی را از مدل‌های فیزیک سنگ موجود در مطالعات مخازن هیدروکربوری فاقد مدل فیزیک سنگی، توسعه داد. همان‌گونه که ذکر شد بیشتر مخازن هیدروکربوری ایران کربناته هستند، لازم است در مطالعات مربوط به فیزیک سنگ در سنگ‌های کربناته، از مدل‌های توسعه یافته در مخازن کربناته استفاده کرد و در صورت امکان آنها را برای مخازن خاص ایران توسعه داد. در این مطالعه اعتبار دو مدل خودسازگار-گاسمن و شو-پاین که مخصوص مخازن کربناته بوده و در شرایط مخازن خارج از کشور توسعه یافته اند- در یکی از مخازن کربناته در جنوب ایران مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. بنابراین هدف از انجام این مطالعه تخمین پارامترهای الاستیکی از جمله سرعت‌های طولی و برشی در سنگ‌های کربناته با استفاده مدل‌های فیزیک سنگی و ترکیبی است. در واقع کم کردن نواقص و استفاده از مزایای مدل‌های خودسازگار-گاسمن و شو-پاین با هدف افزایش کارایی آنها، با استفاده از مدل ترکیبی انتگرال فازی سوگنو و ارائه یک مدل ترکیبی فیزیک سنگی جدید یکی دیگر از اهداف اصلی این مطالعه است. از طرفی به منظور بررسی دقت محاسبات، ارزیابی توانمندی وکارایی روش ترکیب اطلاعات انتگرال فازی سوگنو، نتایج با مدل فیزیک سنگی شو-وایت و روش ترکیب اطلاعات وزن‌دهی افزایشی ساده(SAW) مقایسه می‌شوند.

۲- روش و مراحل تحقیق

در این بخش ابتدا دو مدل فیزیک سنگ شو-پاین و خودسازگار-گاسمن برای تعیین پارامترهای الاستیکی سنگ به اختصار توضیح داده می‌شود. این دو مدل در نهایت برای مشخص‌کردن خصوصیات لرزه‌ای مخزن کربناته استفاده می‌گردد. سپس مدل ترکیبی انتگرال فازی سوگنو ارائه خواهد شد و پارامترهای الاستیک به دست آمده از این سه روش و داده واقعی اندازه‌گیری شده با یکدیگر مقایسه شده و مورد بحث قرار خواهند گرفت. قابل ذکر است به منظور ارزیابی نتایج به دست آمده از روش ترکیبی انتگرال فازی سوگنو و تخمین میزان کارایی مدل مذکور، از دو مدل فیزیک سنگ شو-وایت و مدل ترکیبی وزن‌دهی افزایشی ساده، استفاده خواهد شد.

به این منظور ابتدا یکی از مخازن کربناته جنوب‌غربی ایران، که داده‌های چاهی کامل‌تری داشت، انتخاب گردید. بعد از انتخاب مخزن، داده‌های مورد نیاز شامل مجموعه کامل نگارهای پتروفیزیکی از جمله موج برشی، طولی، چگالی در دو چاه و نتایج مطالعات مقاطع نازک

www.SID.ir

Archive of SID

زمین‌شناسی جمع‌آوری شدند و در ادامه با استفاده از تئوری محیط مؤثر دیفرانسیلی(DEM) و وارونسازی، شکل و درصد حفرات موجود در سنگ مخزن (که یکی از داده‌های ورودی برای مدل شو-پاین و خودسازگار-گاسمن است) محاسبه گردید. در نهایت با استفاده از روش ترکیبی انتگرال فازی سوگنو نمودارهای موج فشاری، برشی تخمین زده شدند. لازم به ذکر است به دلیل اینکه به صورت معمول در فرآیند نمودارگیری چاهی، نمودار سرعت موج برشی برداشت نمی‌شود و فقدان این داده از مدل‌های فیزیک سنگی برآورد شده و به نوعی جبران می‌شود، لذا یکی از اهداف مدل‌های فیزیک سنگی تخمین سرعت موج برشی است. در عمل برای به دست آوردن سرعت موج برشی ابتدا در چاه/چاه‌های دارای نگار سرعت‌های طولی و عرضی، این نمودارها با استفاده از مدل‌های مختلف و با پارامترها (ضرایب) مختلف تهیه گردیده و پس از مقایسه آنها با هم و مقادیر اندازه‌گیری شده، بهترین روش با بهینه‌ترین پارامترها انتخاب شده و در سایر چاه‌های میدان که فاقد داده سرعتی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه نیز طبق این فرآیند با استفاده از مدل‌های خودسازگار-گاسمن، شو-پاین، شو-وایت و ترکیبی وزن‌دهی افزایشی ساده و ترکیبی انتگرال فازی سوگنو نمودارهای موج فشاری و برشی تخمین زده شدند و نتایج آنها ضمن مقایسه با هم در ادامه به صورت شکل و جدول ارائه شده اند.

۲-۱- مدل شو- پاین(Xu-Payne)

مدل شو-پاین که بر پایه تئوری کاستر-توکسوز است، پارامترهای الاستیکی سنگ‌های کربناته را طی یک فرآیند با رویکرد محیط مؤثر جزئی (DEM)[1] با افزودن مواد افزودنی و میانبارها به صورت مستقل و افزودن سیال مخزنی با استفاده از معادله گاسمن، مدلسازی می‌کند.

در این مدل حجم حفرات یا تخلخل کل به چهار نوع شامل: الف) تخلخل وابسته به کانی رس ب) تخلخل وابسته به حفرات بین‌ذره‌ای ج) ریزترک‌ها د) حفرات سخت تقسیم شده و با سایر انواع تخلخل‌ها به صورت رابطه (۱) در ارتباط است[۱۲].

$$\Phi_T = \Phi_{clay} + \Phi_{IP} + \Phi_{Crack} + \Phi_{Stiff} \qquad (۱)$$

که آن ϕ_T تخلخل کل، ϕ_{IP} تخلخل بین ذره‌ای، ϕ_{Clay} تخلخل وابسته به رس، ϕ_{Stiff} تخلخل حفرات سخت و ϕ_{Crack} تخلخل ناشی از ریزترک‌ها(شکستگی‌ها) است. فضای حفرات مشابه به حفرات رسی و غیر رسی طبق رابطه (۲) تقسیم می‌شود.

$$\Phi_{Clay} = V_{sh}\Phi_T \qquad (۲)$$

که در آن V_{sh} حجم شیل با توجه به دانه‌بندی زمینه نرمالایزه می‌شود.

مولفه مهم دیگر در مطالعات مخازن کربناته، شکستگی‌ها (تخلخل ناشی از شکستگی، ϕ_{Crack}) است که به شدت به تنش‌ها و فشارهای محیطی حساس بوده و با تنش موثر (σ_e) رابطه زیر (رابطه ۳) را دارد.

$$\Phi_{Crack} = \Phi_{Init} e^{-\beta\sigma_e} \qquad (۳)$$

در این رابطه ϕ_{Init} تخلخل شکستگی اولیه در تنش روباره مؤثر صفر(σ_0) است. β نیز در این رابطه یک مقدار ثابت است. لازم به ذکر است که ϕ_{Init} و β از ارتباط بین سرعت‌های موج فشاری و برشی وابسته به تنش، اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه محاسبه می‌شود و در صورت عدم دسترسی به اطلاعات آزمایشگاهی با فرآیند وارون‌سازی، تخلخل ناشی از شکستگی به دست می‌آید.

پس از محاسبه پارامترهای سنگ خشک با معادله گاسمن پارامترهای سنگ اشباع از سیال طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شوند:

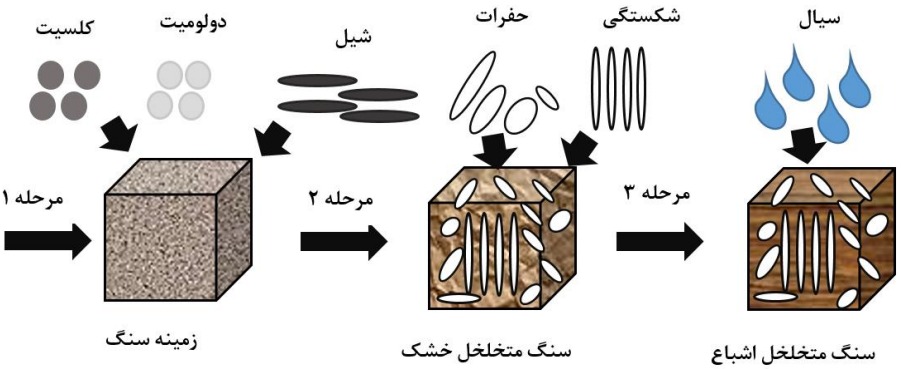
$$\frac{K_{sat}}{K_0 - K_{sat}} = \frac{K_{dry}}{K_0 - K_{dry}} + \frac{K_{fl}}{\Phi(K_0 - K_{fl})}, \mu_{sat} = \mu_{dry} \qquad (۴)$$

که در آن K_{sat} مدول حجمی سنگ حاوی سیال حفره‌ای، K_{dry} مدول حجمی سنگ خشک یا پیکره سنگ ، K_0 مدول حجمی مواد تشکیل‌دهنده سنگ(ترکیب کانی‌شناسی) ،K_{fl} مدول حجمی سیال، ϕ تخلخل، μ_{dry} مدول برشی برای سنگ خشک و μ_{sat} مدول برشی برای سنگ حاوی سیال است.

دیاگرام مدل فیزیک سنگ ارائه شده توسط شو-پاین در شکل ۱ نشان داده شده است. در این دیاگرام تمامی مراحل تشکیل مدل به صورت شماتیک مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: دیاگرام مدل فیزیک سنگ شو-پاین

۲-۲- مدل خودسازگار-گاسمن(SCA-G)

مدل فیزیک سنگی دومی که استفاده شده مدل خوسازگار-گاسمن است. ریشه و اساس مدل خودسازگار (SCA) به تئوری کاستر-توکسوز برمی‌گردد. مدل کاستر-توکسوز از مدل‌های میانباری محسوب می‌شود و در آن فرض بر وجود میانبارهایی در میان محیط پس زمینه است. از محدودیت‌های مدل کاستر-توکسوز، فرض مقدار غلظت‌های کم میانبار در محیط پس زمینه است. اگر محیط پس زمینه توسط بعضی از محیط‌های مؤثر با اندازه‌های جزئی و به صورت تجمعی جایگزین شود، اثرگذاری بین میانبارها می‌تواند تقریباً در مورد غلظت بالایی هم اتفاق بیفتد که محدودیت ذکر شده از بین برود. این مدل را مدل خودسازگار می‌نامند [۱۳، ۱۴]. مدول‌های کشسان در مدل خودسازگار طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{N} x_i (K_i - K_{SC}^*) P^{*i} = 0$$
$$\sum_{i=1}^{N} x_i (\mu_i - \mu_{SC}^*) Q^{*i} = 0 \qquad (۵)$$

K_{SC}^* و μ_{SC}^* به ترتیب مدول‌های حجمی و برشی موثر خودسازگار با شکل فضاهای خالی، K_i و μ_i مدول حجمی و برشی محیط iام درون فضای خالی، x_i حجم تمرکز است. همچنین ضرایب P^{*i} و Q^{*i} فاکتورهای هندسی نظیر تاثیر اینکلوژن ماده i ام در محیط زمینه سنگ را نشان می‌دهند.

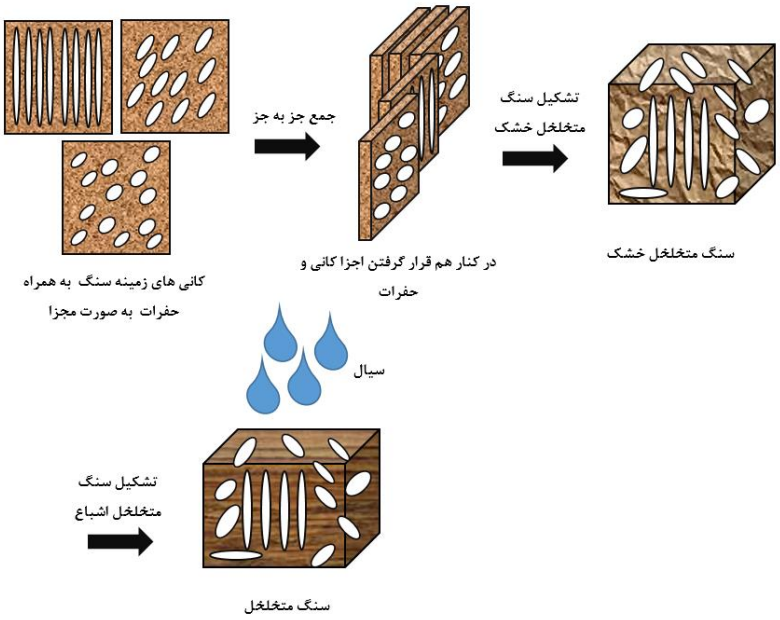
در این مدل، اجزاء تشکیل دهنده سنگ به طور مساوی در مدل خودسازگار توزیع می‌شود؛ بنابراین، ماتریس سنگ، متشکل از بسیاری از کانی‌های مختلف و تخلخل‌های مربوطه است. در این مقاله ابتدا با مدل خودسازگار خواص الاستیک سنگ خشک محاسبه شده، سپس با مدل گاسمن سیال به سنگ خشک اضافه شد و خواص الاستیک سنگ اشباع محاسبه شده که در شکل ۲ نمایش داده شده است. نقطه اشتراک مدل خودسازگار-گاسمن و شو-پاین، استفاده از تئوری گاسمن در جایگزینی سیال است و تفاوت آنها در دیدگاه محیط مؤثر است؛ به طوری که در شو-پاین از دیدگاه محیط موثر جزئی (DEM) و در خودسازگار-گاسمن همان طور که از نامش پیداست از دیدگاه خودسازگار (SCA) استفاده شده است.

۲-۳- مدل ترکیبی سوگنو(Sugeno)

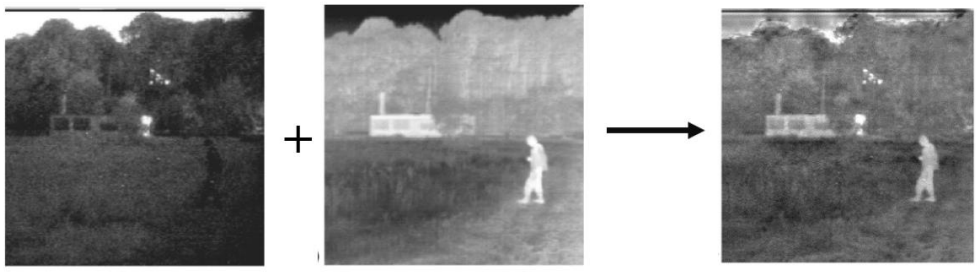
انتگرال فازی به عنوان یکی از قوی‌ترین و انعطاف‌پذیرترین اپراتورهای ترکیب اطلاعات عمل می‌کند. انتگرال فازی سوگنو، به طور خاص، از اپراتورهای تجمعی است که به خوبی شناخته شده است. به طور کلی در علم ترکیب اطلاعات، انتگرال فازی ترکیبی از داده‌ها با منابع مختلف اطلاعات با توجه به اندازه‌گیری فازی را مدلسازی می‌کند[۳۳، ۳۴]. انعطاف‌پذیری چنین مدل‌هایی به شدت با مشکلات استفاده از آنها در برنامه‌های کاربردی عملی مربوط است. برای توضیح و شرح بهتر، چگونگی فرآیند ترکیب اطلاعات با کمک روش‌های مختلف از جمله روش انتگرال فازی سوگنو با توجه با کاربردهای فراوان آن در علوم مختلف به خصوص در علم پردازش تصویر برای نمونه در شکل ۳ آورده شده است. این شکل نشان می‌دهد که چگونه با ترکیب اطلاعات و داده‌ها از منابع مختلف اطلاعاتی، وضوح تصویر بهبود یافته و رخدادها و عوارض به کیفیت بهتر قابل مشاهده می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: دیاگرام مدل فیزیک سنگ خودسازگار-گاسمن



شکل ۳: چگونگی فرآیند ترکیب اطلاعات درعلم پردازش تصویر (اقتباس از [۳۵])

روش‌های ترکیب لایه‌های اطلاعاتی مختلفی توسعه یافته و هر یک دارای مزایا و معایبی هستند و ممکن است برای یک حیطه علمی مناسب بوده و برای حیطه/حیطه‌های دیگر نامناسب باشند. در حوزه فیزیک سنگ مخازن نفتی، روش انتگرال سوگنو از جمله روش‌های ترکیبی است که می‌تواند به صورت وسیع استفاده شود. این روش، یک روش ترکیبی مؤثر بر پایه انتگرال فازی است که توسط سوگنو معرفی شده است. در این روش مجموعه معیارها یا منابع اطلاعاتی با $X=\{x_1,....x_n\}$ مشخص شده و مجموعه توانی X (مجموعه تمام زیرمجموعه‌های X) با $p(x)$ نشان داده شود و پارامتر (ضریب) μ، یک اندازه فازی بر روی مجموعه معیارهای X در بازه، $\mu :: p(X) \to [0,1]$ است. به عبارت دیگر $\mu(x_i)$ تابع درجه اهمیت یا میزان ارزش منبع اطلاعاتی است که میزان ارزش آن در بازه بین صفر و یک قرار می‌گیرد و هر چه مقدار این پارامتر به یک نزدیک باشد، اهمیت این داده بیشتر خواهد بود. شکل گسسته انتگرال فازی سوگنو شامل مقادیر $a_1,a_2,..,a_n$ بوده که در بازه $[0,1]$ قرار داشته و در شرایط زیر صدق می‌کند:

اگر در دو مجموعه اطلاعاتی A و B، شرط $A \subset B$ صادق باشد در این صورت ایجاب می‌کند که

$$A,B \in p(X)\ \mu(A) \le \mu(B)$$
$$\mu(\phi)=0\ \mu(X)=1$$

www.SID.ir

Archive of SID

که $\mu(A)$ به عنوان وزن درجه اهمیت مجموعه معیارهای A در نظر گرفته می‌شود. بنابراین برای محاسبه مقدار عملگر انتگرال سوگنو S_μ به طبق رابطه (۶) عمل می‌شود:

$$S_\mu(a_1, a_2, ..., a_n) = \max_{i=1}(\min(a_{(i)}, \mu(A_{(i)})) \quad (۶)$$

به این ترتیب مجموعه جدیدی ساخته می‌شود که اعضای زیرمجموعه آن به ترتیب از کوچک به بزرگ به صورت زیر مرتب شده اند:

$$A_{(i)} = \{x_{(i)}, ..., x_{(n)}\} \qquad a_{(1)} \le a_{(2)} \le ... \le a_{(n)}$$

که در آن $a_{(i)}, i = 1, ..., n$ یک جایگشت از مقادیر متناظر با مجموعه مرتب‌شده $a_{(i)}$ انتخاب می‌شود.

به عبارت دیگر جهت ترکیب داده‌های مختلف به روش سوگنو، ابتدا، مجموعه‌ای از داده‌های اطلاعاتی ارزش‌گذاری شده است. ارزش ترکیبی این مجموعه داده ها با استفاده از رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$g(a,b) = g(a) + g(b) + \lambda \times g(a) \times g(b) \quad (۷)$$

که در آن g میزان ارزش داده، a و b داده اطلاعاتی و λ ضریب اندازه فازی است که از طریق حل رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$\lambda + 1 = \prod_{i=1}^{n}(1 + \lambda \times g(i)) \quad (۸)$$

اگر مجموع ارزش داده‌ها برابر یک باشد، میزان ارزش‌های داده‌ها مستقل از یکدیگر است و این میزان با احتمال اندازه‌گیری برابری می‌کند. پارامتر دیگری تحت عنوان میزان همبستگی یا انطباق داده‌های مدل شده با داده‌های واقعی در این روش استفاده می‌شود و در نهایت جهت محاسبه داده مورد نظر با استفاده از این روش ابتدا با استفاده از میزان همبستگی داده‌ها، به تعداد داده‌ها مجموعه‌هایی تعریف می‌گردد؛ به گونه‌ای که مجموعه اول شامل داده مرتبط با بیشترین میزان همبستگی است. در مجموعه‌های بعدی، به ترتیب سیر نزولی میزان همبستگی، داده‌های مرتبط با آن اضافه خواهد شد. در نهایت مقدار داده مورد نظر با استفاده از این روش با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S = \bigcup_{i=1}^{n}(\bigcap_{i=1}^{n}(h(Bi), g(Ai))) \quad (۹)$$

که Ai مجموعه iام تشکیل شده از داده‌های اطلاعاتی به صورت مرتب شده بر اساس میزان همبستگی، Bi میزان همبستگی داده اطلاعاتی با در نظر گرفتن سیر نزولی آن، g میزان ارزش عددی داده، h میزان همبستگی، $\bigcup$ بیانگر بیشینه مقادیر و $\bigcap$ بیانگر کمینه مقادیر است.

جهت استفاده از روش انتگرال سوگنو برای ساخت مدل ترکیب اطلاعات به منظور دستیابی به سرعت‌های امواج فشاری و برشی، در ابتدا سرعت‌های امواج فشاری و برشی با استفاده از مدل‌های مختلف فیزیک سنگ محاسبه می‌شود و سپس هرکدام از این سرعت‌ها به عنوان یک منبع اطلاعاتی در نظر گرفته می‌شود. در واقع در این مرحله مجموعه X تعیین می‌گردد. سپس جهت محاسبه اندازه فازی $\mu(x_i)$ یا مقادیر وزنی نظیر هر کدام، مقادیر سرعت‌های مدل فیزیک سنگ با مقادیر واقعی سرعتی اندازه‌گیری شده در هر عمق چاه مقایسه شده و مقادیر وزنی با حداقل خطا، انتخاب شده و جهت محاسبات بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنگاه با استفاده از مقادیر وزنی و الگوریتم انتگرال فازی سوگنو، مقادیر خروجی سرعتی هر مدل فیزیک سنگ با توجه به اندازه فازی وزنشان با مقادیر خروجی سرعتی مدل فیزیک سنگ دیگر تلفیق می‌شود. این مدل فرآیند فازی به عنوان یک انتخاب مدل مطلوب برای ترکیب مدل‌های فیزیک سنگ موجود استفاده می‌شود.

۲-۴- مدل‌های شو-وایت و ترکیبی وزن‌دهی افزایشی ساده

به منظور بررسی کمی و کیفی نتایج حاصل از روش ترکیبی سوگنو، از نظر دقت و صحت، سرعت‌های لرزه‌ای با کمک روابط فیزیک سنگی مدل شو-وایت و روش ترکیبی وزن دهی افزایشی ساده در دو چاه A و B برآورد شده و در بخش بحث و نتیجه با هم مقایسه شدند.

۲-۴-۱- مدل شو-وایت (Xu-White)

مدل فیزیک سنگی شو وایت (Xu-White) مدل توسعه یافته کاستر توکسوز با دیدگاه تئوری محیط موثر با کمک معادله گاسمن است. به عبارت دیگر این مدل ترکیبی از مدل کاستر-توکسوز برای حالت خشک سنگ و مدل گاسمن جهت سنگ اشباع از سیال بوده و در دو مرحله انجام می‌شود: مرحله اول با کمک رابطه کاستر و توکسوز پارامترهای سنگ خشک محاسبه گردیده و در مرحله دوم پارامترهای سنگ اشباع از سیال به دست

www.SID.ir

Archive of SID

می‌آید. در این مدل تخلخل کل سنگ شامل تخلخل موثر که در آن حفرات با هم درارتباط هستند -و تخلخل موجود در رس که در آن حفرات با هم ارتباط ندارند- بوده و طبق رابطه (۱۰) با هم درارتباط هستند:

$$\phi = \phi_s + \phi_c \qquad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰) ϕ تخلخل کل، ϕ_s تخلخل ناشی از ماسه/موثر(غیر رس)، ϕ_c تخلخل ناشی از رس است.

در این پژوهش به منظور استفاده این مدل در سنگ‌های کربناته، تخلخل کل ϕ، به دو بخش تخلخل ناشی از غیر رس ϕ_{nc} و تخلخل ناشی از رس ϕ_c طبق رابطه (۱۱) تقسیم شده است.

$$\phi = \phi_{nc} + \phi_c \qquad (۱۱)$$

۲-۴-۲- مدل ترکیبی وزن‌دهی افزایشی ساده (SAW)

مدل ترکیبی وزن‌دهی افزایشی ساده (Simple Additive Weighting) به صورت خطی و با وزن‌دهی ساده به جواب روش‌ها و مدل‌های مختلف فیزیک سنگی، به افزایش کارائی مدل‌ها کمک می‌کند. در این روش ابتدا ماتریس جواب با استفاده از چند رابطه فیزیک سنگی (در این پژوهش از روش‌های شوپاین و خودسازگار- گاسمن استفاده شده است) تهیه گردیده و سپس با کمک دو روش تبدیل خطی یا روش نرم اقلیدوسی نرمالایز می‌شود و بعد از آن این ماتریس در اوزان شاخص‌ها ضرب گردیده و امتیاز هر جواب (مدل) به دست می‌آید، اولویت‌بندی با مرتب نمودن امتیاز انجام شده و بهترین نتیجه ترکیب (A*) محاسبه می‌شود (رابطه ۱۲).

$$A^* = A_i \left| Max \frac{\sum_j w_j r_{ij}}{\sum_j w_j} \right. \qquad (۱۲)$$

در این رابطه w، وزن مدل یا اهمیت آن، A امتیاز نهایی هر مدل و r مقدار نرمالایز شده ماتریس جواب است.

۳- بحث و تحلیل نتایج

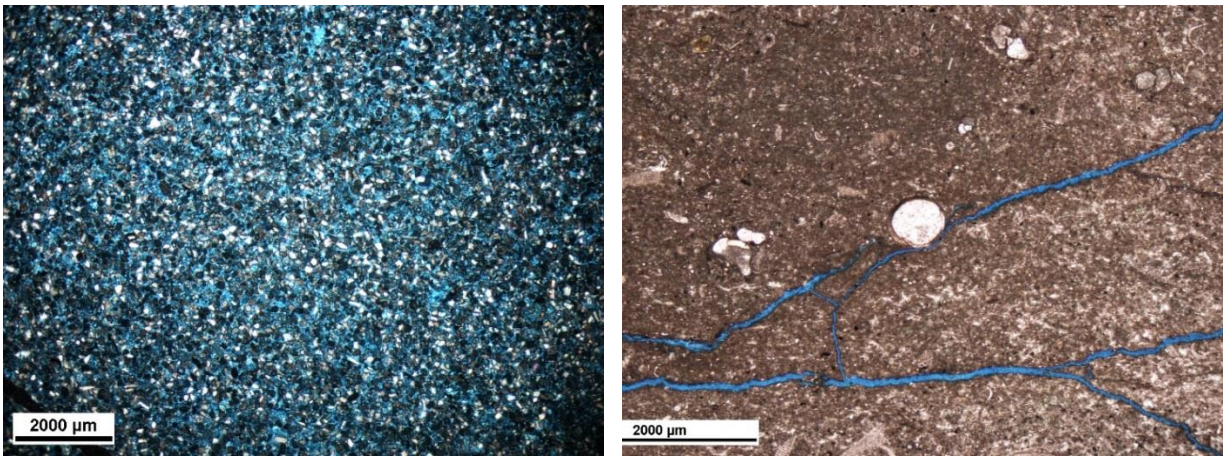
۳-۱- انواع تخلخل و حفرات

در مخازن کربناته به دلیل داشتن تنوع زیادی از انواع تخلخل‌ها (از منظر شکل درصد آنها) ارتباط پارامترهای الاستیکی به مخزنی پیچیده بوده و نیاز به نوع تخلخل دارد. انواع تخلخل به صورت معمول در آزمایشگاه از مطالعات مغزه، سی تی اسکن و مقاطع نازک قابل محاسبه هستند. در مخزن کربناته مورد بررسی، نوع حفراتی که از مطالعات مقطع نازک به دست آمد، شامل حفرات بین دانه‌ای، حفرات منفذی قالبی و شکستگی‌ها هستند (شکل ۴). در طبقه‌بندی فیزیک سنگ، حفرات بین دانه‌ای، حفرات مبنا (منافذ مرجع) محسوب شده و حفرات منفذی قالبی، حفرات سخت محسوب می‌شوند. دسته مهم دیگر از شکل حفرات، شکستگی‌ها هستند که به آنها ترک‌های ریز نیز گفته می‌شود. در شکل ۴ دسته‌بندی فیزیک سنگی در مقاطع نازک زمین‌شناسی اپوکسی شامل حفرات بین دانه‌ای مبنا و شکستگی‌ها قابل ملاحظه است. که شکل ۴-الف شکستگی را در مقطع نازک زمین‌شناسی اپوکسی و شکل۴-ب حفرات مبنا (منافذ مرجع) و حفرات بین دانه‌ای را نمایش می‌دهد. به صورت خلاصه نتایج مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته در تخمین تخلخل و نوع آن در جدول ۱ آورده شده است.

با استفاده از سی تی اسکن پلاگ‌های گرفته شده از مغزه، شکل حفرات و تخلخل در چند نمونه مورد بررسی قرار گرفت و تصویر یکی از آنها برای مثال در شکل ۵، آورده شده است. پلاگ با طول تقریبی ۵ سانتی‌متر و قطر تقریبی ۳/۸ سانتی‌متر تهیه شده است. در این تصاویر منافذ بین دانه‌ای مبنا و ترک قابل مشاهده است. با توجه به اینکه تخمین نگارهای چاهی با استفاده از مدل‌های فیزیک سنگی، نیازمند نقاط اطلاعاتی زیادی با مشخصات تخلخل و حفرات مشخص (شکل و نوع آنها) است و چون تعداد نمونه‌های آزمایشگاهی و سی تی اسکن موجود در این مطالعه برای اندازه‌گیری نوع تخلخل و حفرات کم هستند، به این دلیل از روش وارونسازی برای تعیین این پارامترهای استفاده شد [۳۶].

www.SID.ir

Archive of SID

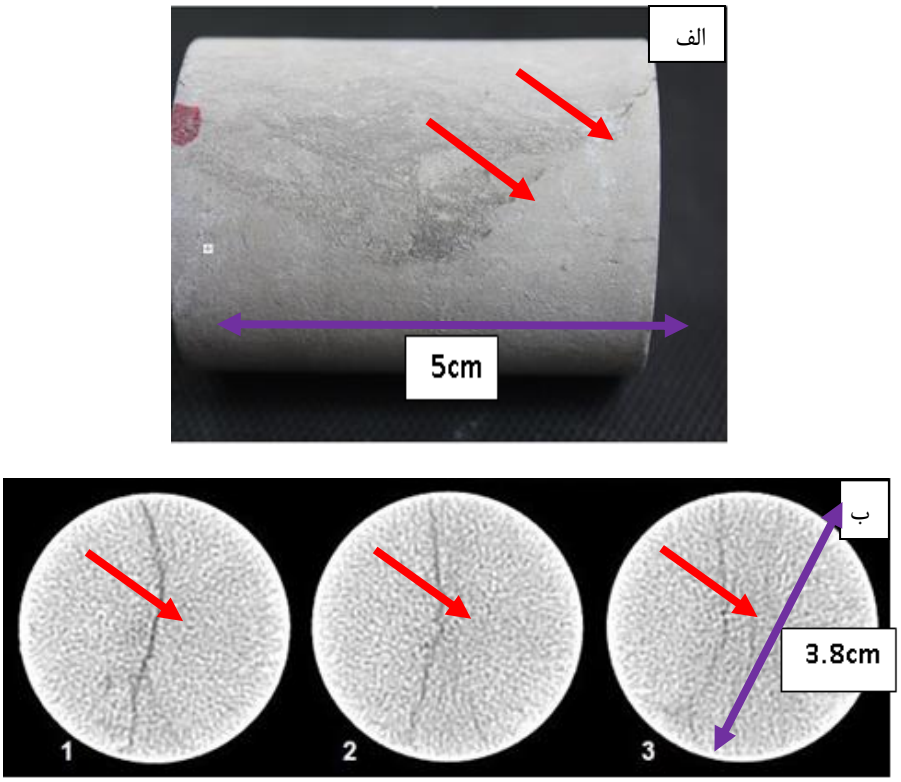


ب الف

شکل ۴: مقطع نازک زمین‌شناسی اپوکسی جهت تفکیک نوع تخلخل؛ الف- شکستگی، ب- حفرات بین دانه‌ای در مخزن کربنات (جنوب غربی ایران)

جدول ۱: تخلخل و نوع آن در دو چاه مورد مطالعه

نوع حفرات (منافذ) غالب	میانگین تخلخل موثر	میانگین تخلخل کل	بازه مورد بررسی
حفرات مبنا (مرجع) وحفرات بین دانه‌ای	۱۰	۱۵	چاه-A رخساره آهکی-شیلی (۱۱۵۰- ۱۱۸۰ متر)
حفرات مبنا (مرجع)، حفرات قالبی سخت و شکستگی	۱۰/۵	۱۲	چاه-A رخساره آهکی (۱۱۸۰-۱۲۱۰متر)
حفرات مبنا (مرجع) و حفرات بین دانه‌ای	۱۲	۱۹	چاه B رخساره آهکی-شیلی (۱۱۵۵-۱۱۸۰متر)
حفرات مبنا (مرجع)، حفرات قالبی سخت و شکستگی	۸	۹	چاه-B رخساره آهکی (۱۱۸۰-۱۱۹۵متر)



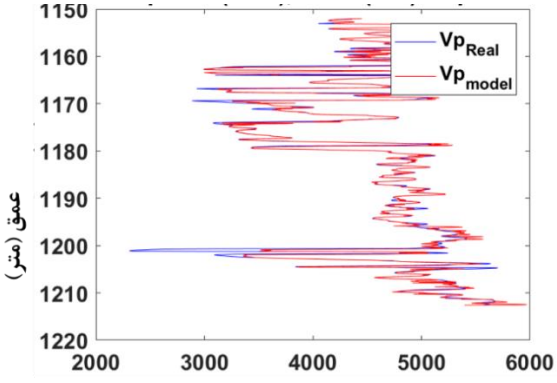
شکل ۵: الف- نمونه پلاگ، ب- مقاطع سی تی اسکن؛ جهت تفکیک شگستگی ها(فلش قرمزرنگ) در مخزن کربناته (جنوب غربی ایران)

www.SID.ir

Archive of SID

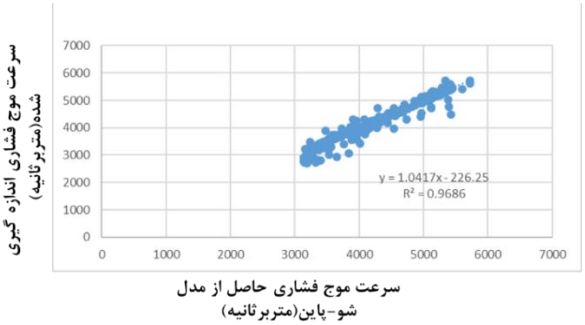
۳-۲- نتایج مدلسازی و تعیین سرعت موج فشاری

معمولاً در نمودارگیری چاه‌ها نگار سرعت موج طولی (سونیک)، به خصوص در لایه هدف برداشت می‌شود. همان گونه که قبلاً اشاره شد، عمدتاً نگار سرعت موج برشی برداشت نشده و برآورد و تخمین زده می‌شود. در فرآیند تخمین سرعت موج برشی، به صورت معمول ابتدا با کمک روابط فیزیک سنگی به منظور دستیابی به ضرایب بهینه، سرعت موج طولی را تخمین زده و با داده واقعی مقایسه می‌شوند تا ضریب بهینه به دست آید. با این هدف سرعت موج طولی با پارامترهای جدول ۱ و روابط فیزیک سنگی برآورده شده و در شکل‌های ۶ (مدل شو-پاین)، ۷ (خودسازگار-گاسمن) و ۸ (مدل ترکیبی سوگنو) آورده شده‌اند؛ به عبارت دیگر سرعت‌های پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برای مخزن کربناته با هدف مقایسه کارایی روش‌ها و بهینه بودن آنها در مخزن مورد مطالعه آورده شده‌اند. در سمت چپ شکل‌های ۶، ۷ و ۸، نمودار متقاطع سرعت موج فشاری واقعی (اندازه‌گیری شده) در مقابل سرعت موج فشاری تخمین زده شده، نشان داده شده است و در سمت راست این شکل‌ها نیز، نگارهای سرعتی برآورد شده و نگارهای اندازه‌گیری شده ارائه گردیده است. نگار قرمز رنگ، سرعت موج فشاری برآورد شده و نگار آبی رنگ، سرعت موج فشاری واقعی هستند. شکل ۶- الف نشان دهنده کارایی مدل شو پاین در چاه A است به نحوی که نگار اندازه‌گیری شده به رنگ آبی و نگار تخمین زده شده به رنگ قرمز نشان داده شده است. به صورت کلی به جز نزدیک عمق ۱۲۰۰ متر برآورد بسیار خوب است. با هدف بررسی بهتر و کمی نتیجه برآورد شده با روش شو-پاین نمودار متقاطع دو نگار برآورد شده و واقعی نیز تهیه گردیده و در شکل ۶- ب نشان داده می‌شوند. این نمودار ضریب همبستگی ۹۸ درصد و جذر میانگین مجذور خطا ۸۱ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد. همچنین متوسط درصد خطای نسبی تخمین در چاه A برابر ۳/۵ درصد است. نگارهای واقعی و تخمین زده شده در چاهB، نیز در شکل ۶- ج آورده شده‌اند. با مقایسه نگار سرعت واقعی و تخمین زده شده در چاه B با استفاده از مدل شو-پاین روند تطابق خوبی بین این دو نگار به صورت کیفی و چشمی قابل مشاهده است. شکل ۶- د نمودار متقاطع، بین سرعت موج فشاری برآورد شده با مدل شو-پاین و داده های واقعی در چاه B را نشان می‌دهد که در این شکل با مقایسه داده‌های آن، همبستگی بسیار خوب است و ضریب هبستگی برابر ۹۶ درصد را نشان می‌دهد و همچنین مقدار عددی جذر میانگین مجذورخطا ۶۶ متر بر ثانیه است، که درمحدوده سرعت‌های موج طولی که در این چاه بین ۳۰۰۰ تا ۵۵۰۰ متر بر ثانیه است، میزان خطا کم بوده و قابل چشم‌پوشی است (شکل ۶-د). با بیان دیگر متوسط درصد خطای نسبی برابر ۳ درصد است. مقایسه نتایج کمی و کیفی مدل شو-پاین در دو چاه ومخزن مورد مطالعه نشان می‌دهد که مدل شو-پاین مدلی مناسب برای برآورد سرعت موج طولی است. محدوده نگارهای تخمینی و مقایسه آنها با نگارهای واقعی نشان می‌دهند که صحت و دقت نتایج مدلسازی شو-پاین بالا است.



سرعت موج فشاری حاصل از مدل شو-پاین (Vp Model)
و اندازه گیری شده(Vp Real) (متربرثانیه)

الف

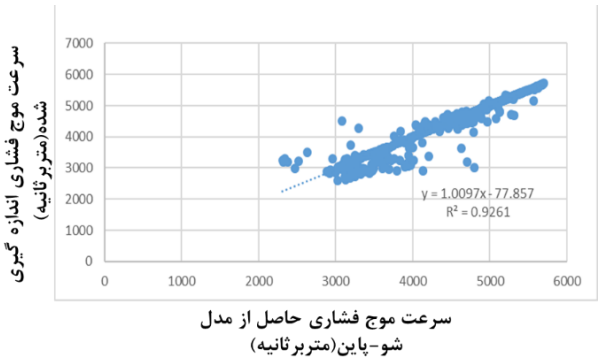


سرعت موج فشاری حاصل از مدل
شو-پاین(متربرثانیه)

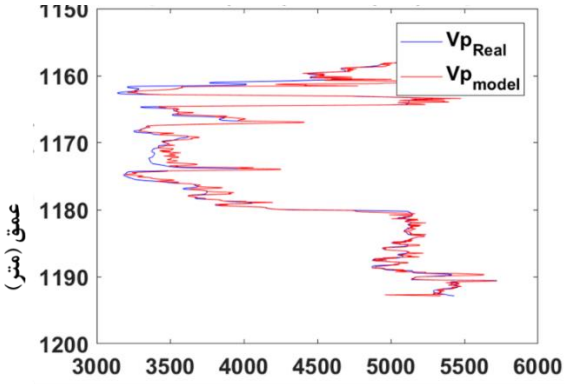
ب

www.SID.ir

Archive of SID



د

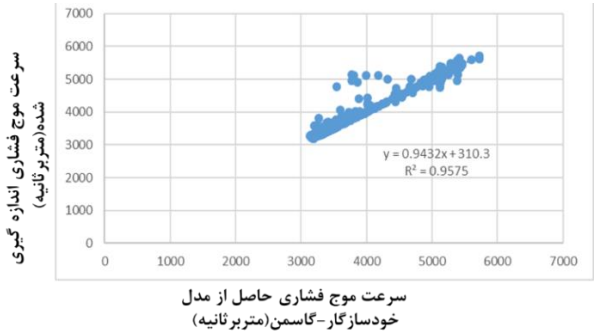


سرعت موج فشاری حاصل از مدل شو-پاین (Vp Model)
و اندازه گیری شده(Vp Real) (متربرثانیه)

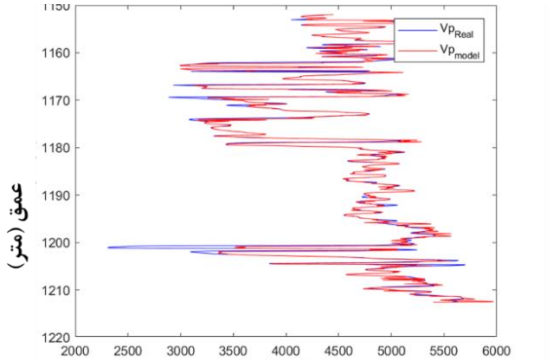
ج

شکل ۶: مقایسه سرعت‌های موج فشاری برآورد شده بامدل شو-پاین و اندازه‌گیری شده در دو چاه *A* و *B*، در مخزن کربنات الف- نگارهای تخمینی و واقعی موج فشاری در چاه *A* ب- نمودار متقاطع نگار سرعت موج فشاری تخمینی در برابر واقعی در چاه *A*. ج- نگارهای تخمینی و واقعی موج فشاری در چاه *B*. د- نمودار متقاطع نگار سرعت موج فشاری تخمینی در برابر واقعی در چاه *B*

مدل بعدی استفاده شده در برآورد سرعت موج طولی، مدل خودسازگار-گاسمن است که در دو چاه A و B استفاده شده است. شکل ۷- الف نگارهای سرعت موج طولی واقعی (نموار آبی) و برآورد شده (نمودار قرمز) را در چاه A نشان می‌دهد. مقایسه چشمی (کیفی) این دو نگار که در یک نمودار روی هم رسم شده اند، نشان می‌دهد که نتایج تخمین مناسب است و با بررسی کمی آنها که با رسم نمودارهای متقاطع مورد بررسی قرار گرفته و در شکل ۷- ب آورده شده است. همان طور که در شکل مذکور مشخص است، این چاه ضریب همبستگی ۹۷ درصدی داشته و مقدار جذر میانگین مجذور خطا ۸۳ متر بر ثانیه محاسبه شده است. متوسط درصد خطای نسبی نیز حدود ۴ درصد است. نتایج حاصل از برآورد سرعت موج طولی با استفاده از مدلسازی خود سازگار-گاسمن نشان می‌دهد که در چاه B نیز نگار سرعت واقعی و تخمینی، از روند و انطباق خوبی برخوردار هستند (شکل۷- ج). شکل۷- ج به صورت کیفی نتایج را نشان می‌دهد و به منظور کمی نشان دادن این تطابق با هدف نمایش میزان دقت و صحت تخمین، از ابزار نمودار متقاطع استفاده گردید(شکل ۷- د). این نمودار متقاطع ضریب همبستگی بین دو نگار واقعی و تخمین زده شده به کمک مدل خودرسازگاز گاسمن را برابر ۹۴ درصد نشان می‌دهد (شکل ۷- د). مقدار جذر میانگین مجذور خطا ۸۷ متر بر ثانیه برای این چاه و نگار موج طولی است. (شکل ۷- د). به صورت درصدی متوسط خطا نسبی حدود ۴ درصد است. با توجه به محدوده عددی سرعت‌های برآورد شده و نزدیکی آنها به سرعت اندازه‌گیری شده موج طولی نشان از صحت و دقت بالای این مدل دارد، اگر چه در مقایسه با روش شو-پاین درصد خطا و دقت و صحت آن به صورت جزئی کاهش یافته است.



ب

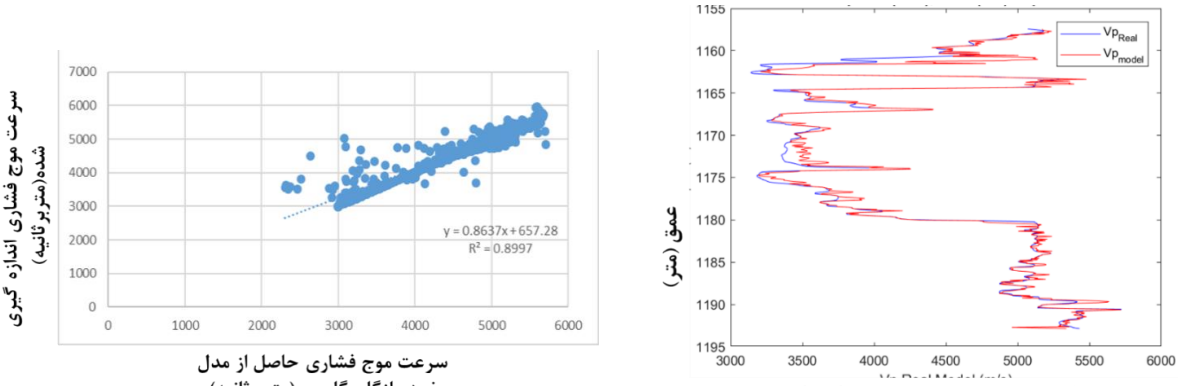


سرعت موج فشاری حاصل از مدل خودسازگار-گاسمن (Vp Model)
و اندازه گیری شده(Vp Real) (متربرثانیه)

الف

www.SID.ir

Archive of SID



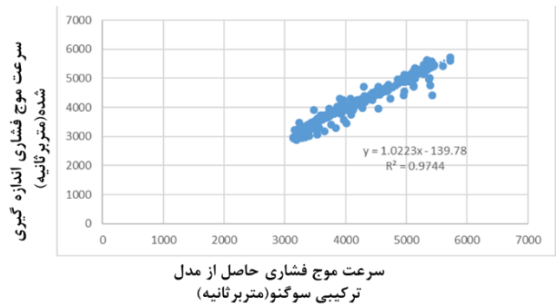
سرعت موج فشاری حاصل از مدل خودسازگار-گاسمن (Vp Model) و اندازه گیری شده(Vp Real) (متربرثانیه)

ج

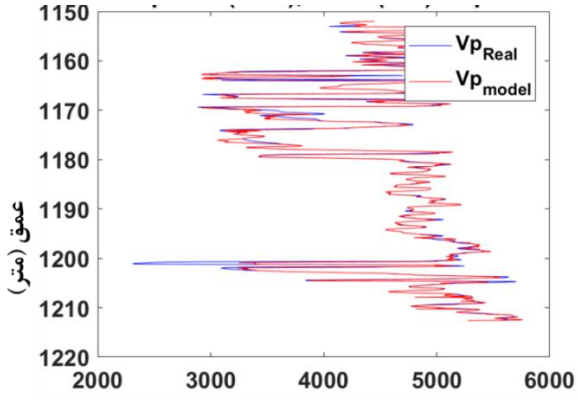
د

شکل ۷: مقایسه سرعت‌های موج فشاری تخمین زده شده با مدل خودسازگار-گاسمن و واقعی دردو چاه *A* و *B*، در مخزن کربنات الف- نگارهای تخمینی و واقعی موج فشاری در چاه *A*. ب- نمودار متقاطع نگار سرعت موج فشاری تخمینی در برابر واقعی در چاه *A*. ج- نگارهای تخمینی و واقعی موج فشاری در چاه *B*. د- نمودار متقاطع نگار سرعت موج فشاری تخمینی در برابر واقعی در چاه *B*

سومین روش استفاده شده برای برآورد سرعت موج طولی در دو چاه A و B، روش ترکیبی سوگنو حاصل از دو مدل شو-پاین و خودسازگار-گاسمن است. نتایج برآورد سرعت موج طولی به دست آمده از این مدل، مربوط به چاه A در شکل ۸- الف آورده شده است. در این شکل، نمودار قرمز، نگار مدل شده سرعت موج طولی و نمودار آبی رنگ، نگار اندازه‌گیری شده این پارامتر را نشان می‌دهند. بررسی کیفی این دو نگار که در یک شکل روی هم رسم شده اند، بیان می‌کند که انطباق دو نگار مناسب است. بررسی کمی کارائی مدل ترکیبی سوگنو در چاه A، با تهیه ضریب همبستگی و مقدار خطای برآورد انجام گرفت، به طوری که مقادیر این دو آیتم به ترتیب برای ضریب همبستگی و مقدار مجذور خطا برابر ۹۹ درصد و ۷۵ متر برثانیه به دست آمد (شکل ۸- ب). متوسط درصدخطای نسبی تخمین برای این چاه با مدل ترکیبی برابر ۲/۵ درصد است. همانند چاه A، نگار سرعت موج طولی در چاه B نیز محاسبه گردیده و برای مقایسه به صورت کمی و کیفی، با داده واقعی در شکل‌های ۸- د و ۸- ج آورده شده اند. با بررسی دیداری و کیفی این شکل‌ها مشاهده می‌شود که روند کلی برآورد دقیق بوده و از روند داده واقعی تبعیت می‌کند و نیز در نمودار متقاطع مشاهده می‌شود که تعداد نقاطی که باعث پراکندگی داده ها شده، کم بوده که می‌تواند به دلیل خطا در تخمین یا ایراد در داده واقعی به دلیل عدم حذف خطاهای برداشت، نیز باشد. ضریب همبستگی بین داده واقعی و مدل شده با روش ترکیبی سوگنو در چاه B برابر ۹۷ درصد و مقدار مجذور خطا برابر ۶۴ متر ثانیه است. متوسط خطای نسبی تخمین نگار سرعت موج طولی در این چاه ۲ درصد است.



ب

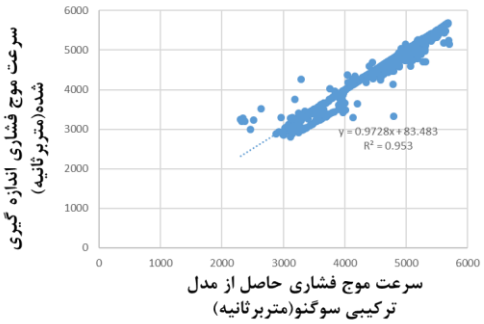


سرعت موج فشاری حاصل از مدل ترکیبی سوگنو (Vp Model) و اندازه گیری شده(Vp Real) (متربرثانیه)

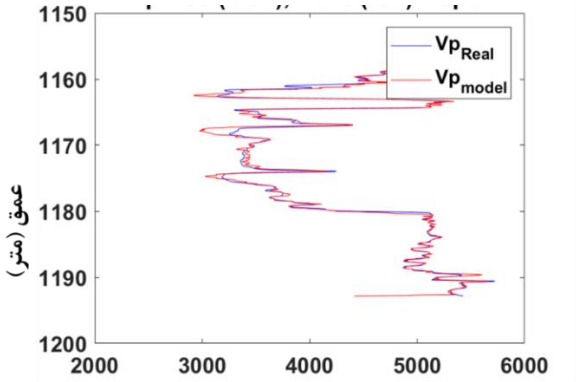
الف

www.SID.ir

Archive of SID



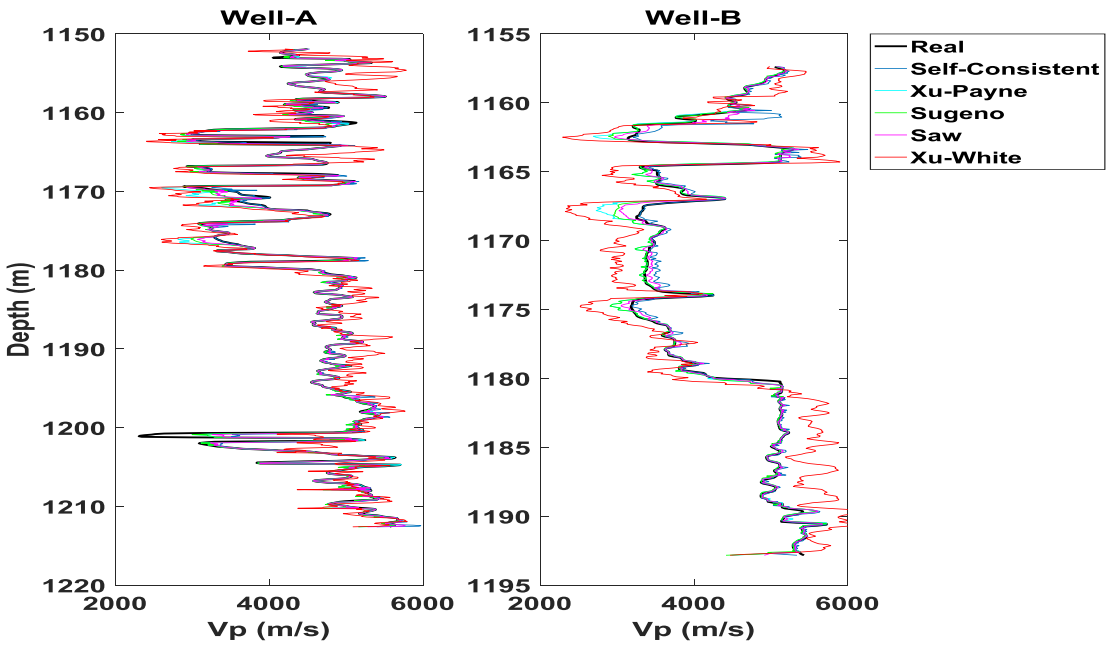
ج



د

شکل ۸: مقایسه سرعت‌های موج فشاری برآورد شده بامدل ترکیبی سوگنو و اندازه‌گیری شده دردو چاه *A* و *B*، در مخزن کربنات الف- نگارهای تخمینی و واقعی موج فشاری در چاه *A* ب- نمودار متقاطع نگار سرعت موج فشاری تخمینی در برابر واقعی در چاه *A* ج- نگارهای تخمینی و واقعی موج فشاری در چاه *B*. د- نمودار متقاطع نگار سرعت موج فشاری تخمینی در برابر واقعی در چاه *B*

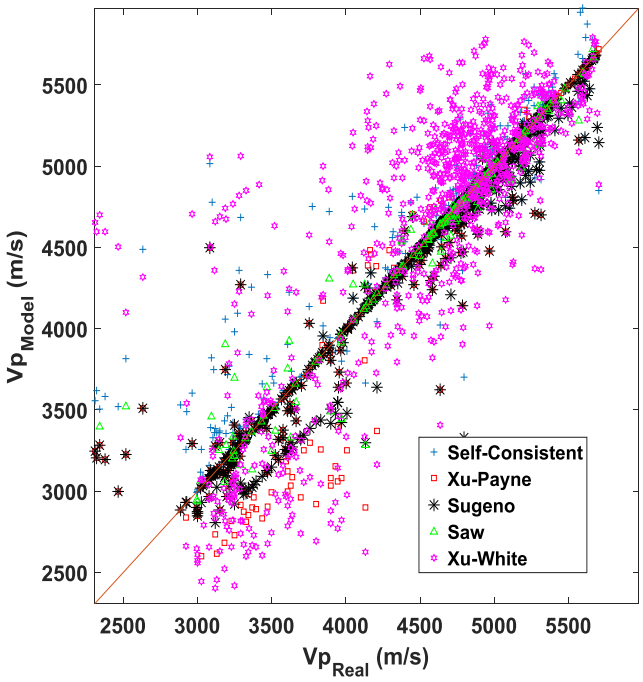
علاوه بر نتایج سه مدل اشاره شده در بالا، نتایج مدل شو-وایت و مدل ترکیبی وزن‌دهی افزایشی ساده به منظور مقایسه نتایج با هم دراین قسمت آورده می‌شوند. شکل ۹ نگارهای سرعت موج طولی در چاه A و B را نشان می‌دهد، همان گونه که مشاهده می‌شود روش ترکیبی سوگنو نتایج بهتری داده است. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب نمودار متقاطع سرعت موج طولی واقعی را در برابر سرعت‌های مدل شده نشان می‌دهند. این شکل‌ها بیانگر آن هستند که روش ترکیبی سوگنو تخمین سرعت موج طولی را در دو چاه بهبود داده است. دلیل خطای بیشتر در روش شو-وایت این است که این مدل برای سنگ‌های ماسه سنگ توسعه یافته است. دراین مخزن مورد مطالعه روش ترکیبی سوگنو نتیجه بهتری نسبت به روش ترکیبی ساو داده است. ممکن است در مخزن کربناته دیگری نتیجه برعکس باشد.



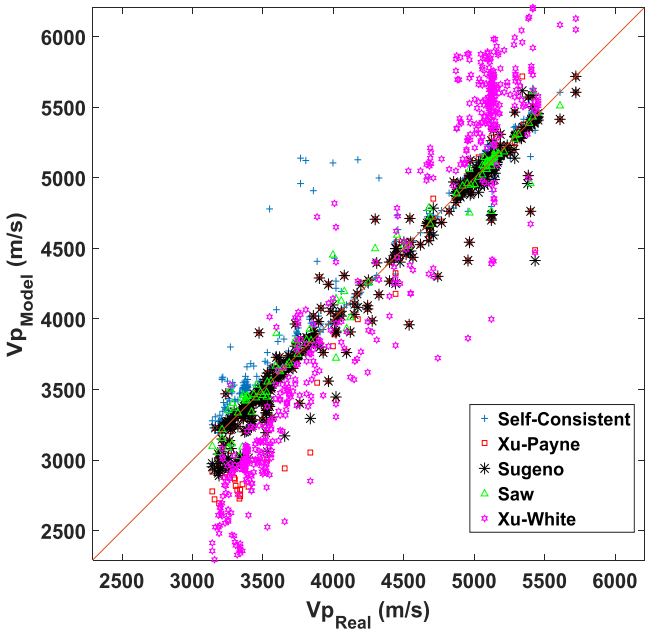
شکل ۹: نگارهای سرعت موج طولی اندازه‌گیری شده و برآورده شده

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰: نمودار متقاطع سرعت موج طولی اندازه‌گیری شده در برابر نگار اندازه‌گیری شده (چاه *A*)



شکل ۱۱: نمودار متقاطع سرعت موج طولی اندازه‌گیری شده در برابر نگار اندازه‌گیری شده در چاه *B*

مقایسه کمی نتایج برآورد شده سرعت موج فشاری حاصل از مدل‌های مختلف فیزیک سنگی نشان می‌دهد که مدل ترکیبی سوگنو، در مقایسه با مدل‌های دیگر نتیجه بهتری دارد و همچنین به منظور مقایسه دقیق تر مدل‌ها، متوسط خطای نسبی، ضریب همبستگی و جذر میانگین مجذور خطا، در جدول ۲ آورده شده است. همان طور که در این جدول ملاحظه می‌شود پس از مقایسه ضریب همبستگی، جذر میانگین مجذور خطا و متوسط درصد خطای نسبی تخمین با روشهای مختلف مدلسازی، بهبود نسبی تخمین به روش سوگنو نسبت به سایر روش‌ها قابل تشخیص است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: ارزیابی و مقایسه دقت و صحت مدل‌های فیزیک سنگ و ترکیبی در تخمین سرعت موج طولی

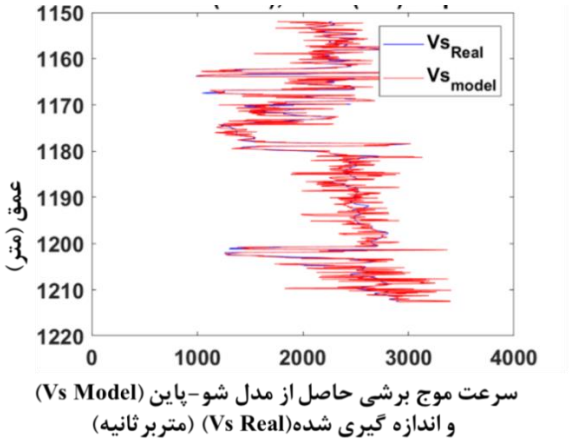
معیار / مدل Vp	ضریب همبستگی(درصد)		جذر میانگین مجذور خطا (متر بر ثانیه)		متوسط خطای نسبی(درصد)	
	چاه B	چاه A	چاه B	چاه A	چاه B	چاه A
خودسازگار-گاسمن	۹۴	۹۷	۸۷	۸۳	۴	۴
شو-پاین	۹۶	۹۸	۶۶	۸۱	۳	۳/۵
شو-وایت	۹۳	۷۹	۳۱۴	۲۶۷	۲۱	۱۴
ترکیبی وزن دهی افزایشی ساده	۹۶	۹۷	۶۸	۷۸	۳	۳/۵
ترکیبی سوگنو	۹۷	۹۹	۶۴	۷۵	۲	۲/۵

۳-۳- تخمین سرعت موج برشی

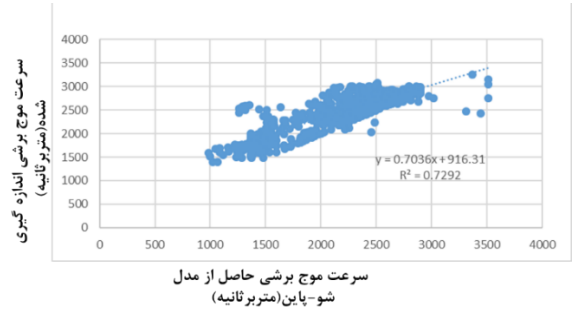
داده‌های سرعت موج طولی و مشتقات وابسته با آن به تنهائی برای بررسی‌ها و مطالعات مخازن هیدروکربری مخصوصاً درحالتی که مخزن پیچیده بوده و کربناته باشد، کافی نبوده و توانائی جدایش و تفکیک سیال و لیتولوژی را ندارند. درصورتی که سرعت موج عرضی مستقل از سیال بوده و تحت تأثیر آن قرار نمی‌گیرد، لذا با داشتن اطلاعات این سرعت و سرعت موج طولی امکان جدایش سیال از سنگ و نیز لیتولوژی‌ها از هم بسیار مفید است. چون از طرفی به صورت معمول سرعت موج برشی در چاه‌ها اندازه‌گیری نمی‌شود و از طرف دیگر به دلیل اهمیت داشتن این نوع داده در مطالعات مخزن، سعی می‌شود این داده ها با کمک روابط مختلف فیزیک سنگی تخمین زده شود. در این مطالعه ابتدا با استفاده از سه مدل فیزیک سنگی (شو-پاین، خودسازگار-گاسمن و شو-وایت) و دو مدل ترکیبی شامل وزن دهی افزایشی ساده و سوگنو، در دو چاه، A و B نگار سرعت موج برشی تخمین زده شده و با نگارهای اندازه‌گیری شده در چاه مقایسه شدند. مقایسه نتایج ۵ مدل فیزیک سنگی و ترکیبی به صورت کیفی و کمی در شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ آورده شده‌اند. شکل‌های سمت چپ، نمودار متقاطع سرعت موج برشی اندازه‌گیری شده در مقابل سرعت موج برشی تخمینی را نشان می‌دهند. نگارسرعتی تخمین زده شده (نگار قرمز رنگ) و نگار سرعت اندازه‌گیری شده (آبی رنگ) در اشکال سمت راست، آورده شده‌اند. اولین مدل استفاده شده برای تخمین و برآورد نگار سرعت موج برشی، مدل شو- پاین بود که نتایج آن همراه با نگار اندازه‌گیری شده در دو چاه A و B در شکل ۱۲ آورده شده است. مقایسه کیفی نتایج سرعت برشی برآورد شده در چاه A با نگار واقعی در شکل ۱۲- الف آورده شده است. با بررسی این اشکال مشاهده می‌شود که انطباق این نگارها در این چاه خوب بوده و برای این مخزن با لیتولوژی کربناته کارائی دارد. مقایسه کمی این نگارهای نیز در شکل ۱۲- ب بصورت نمودار متقاطع دو نگارها نشان داده شده است. همبستگی بین دو نگار تخمینی با مدل شو-پاین و نگار واقعی برابر ۸۵ درصد و جذر میانگین مجذور خطا برابر ۲۵۵ متر بر ثانیه است. همچنین در این چاه درصد خطای نسبی تخمین به صورت متوسط برابر ۱۵ درصد است. همانند چاه A، نگار سرعت موج برشی برای چاه B نیز برآورد شده و نتایج آن در شکل ۱۲- ج آورده شده است. در این شکل نمودار قرمز، واقعی و نمودار آبی، برآورد شده، است. در محدوده عمقی ۱۱۶۰ تا ۱۱۸۰ انطباق دو نمودار کاهش یافته و در بررسی‌های کمی اثر وزن زیادتری خواهد داشت. محدوده خطای بیشتر دارای سرعت متوسط حدود ۱۵۰۰ متر بر ثانیه است. بررسی کمی دقت و صحت این تخمین در چاه B به صورت رسم نمودار متقاطع صورت گرفت. پارامترهای مختلف بررسی از جمله ضریب همبستگی، جذر میانگین مجذور خطا و متوسط درصد خطای نسبی به ترتیب برابر ۹۵ درصد، ۲۳۲ متر برثانیه و ۱۳ درصد به دست آمد.

www.SID.ir

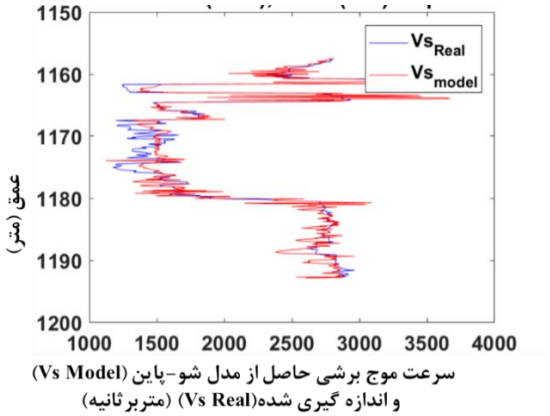
Archive of SID



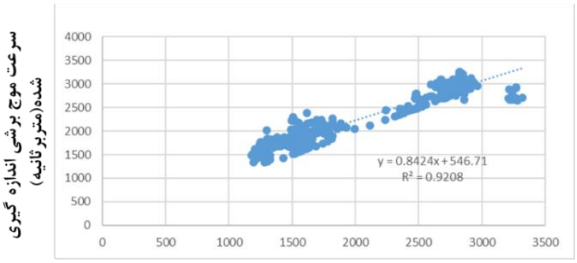
الف



ب



ج



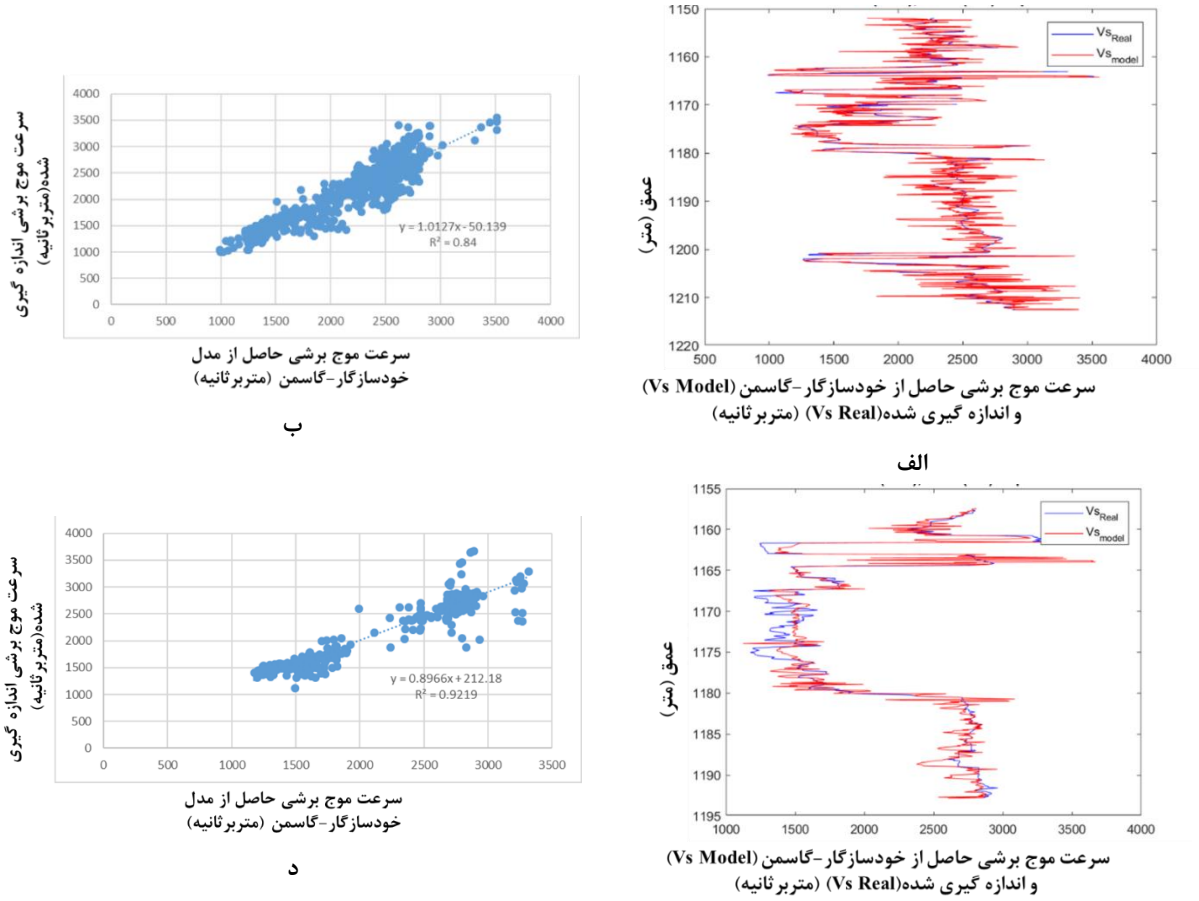
د

شکل ۱۲: مقایسه سرعت‌های موج برشی برآورد شده با مدل شو-پاین و اندازه‌گیری شده دردو چاه *A* و *B*، در مخزن کربنات. الف- نگارهای تخمینی و واقعی موج برشی در چاه *A*. ب- نمودار متقاطع نگار سرعت موج برشی تخمینی در برابر واقعی در چاه *A*. ج- نگارهای تخمینی و واقعی موج برشی در چاه *B*. د- نمودار متقاطع نگار سرعت موج برشی تخمینی در برابر واقعی در چاه *B*

مدل بعدی به کار رفته در سرعت موج برشی دو چاه مدل خودسازگار-گاسمن استفاده شده و مورد بررسی قرار گرفتند. نگار سرعت برشی برآورد شده و تخمینی با کمک مدل خودسازگار-گاسمن در دو چاه A و B به ترتیب در شکل‌های ۱۳- الف و ۱۳- ج نشان داده می‌شوند در این شکل‌ها نمودارهای قرمز، نگار مدل شده و نمودارهای آبی، نگارهای اندازه‌گیری شده هستند. مقایسه چشمی در دو چاه نشان می‌دهد که به غیر از محدوده عمقی ۱۱۶۰ تا ۱۱۸۰ متری در چاه B انطباق نگارها مناسب و قابل قبول است. متوسط سرعت موج برشی در این محدوده برابر ۱۵۰۰متر برثانیه است. مطالعه کمی نتایج تخمینی دو چاه در شکل‌های ۱۳- ب و ۱۳- د آورده شده است. شکل ۱۳- د دو جامعه مختلف را نشان می‌دهد و این به دلیل وجود دو رخساره آهکی تمیز و آهکی شیلی است و علت آن وجود شیل (رس آبدار) است که باعث ایجاد تغییر (اختلاف) در سرعت‌های برشی در دو رخساره مذکور شده است. این موضوع در نگارهای سرعت‌ها هم قابل مشاهده است (شکل ۱۳- ج). ضریب همبستگی برای دو چاه A و B به ترتیب ۹۱ و ۹۵ درصد و جذر میانگین مجذور خطا برای این دو چاه ترتیب ۱۴۰ و ۱۱۷ متر برثانیه به دست می‌آید. همچنین در این دو چاه A و B درصد خطای نسبی تخمین به صورت متوسط به ترتیب برابر ۸ و ۶/۵ درصد است.

www.SID.ir

Archive of SID

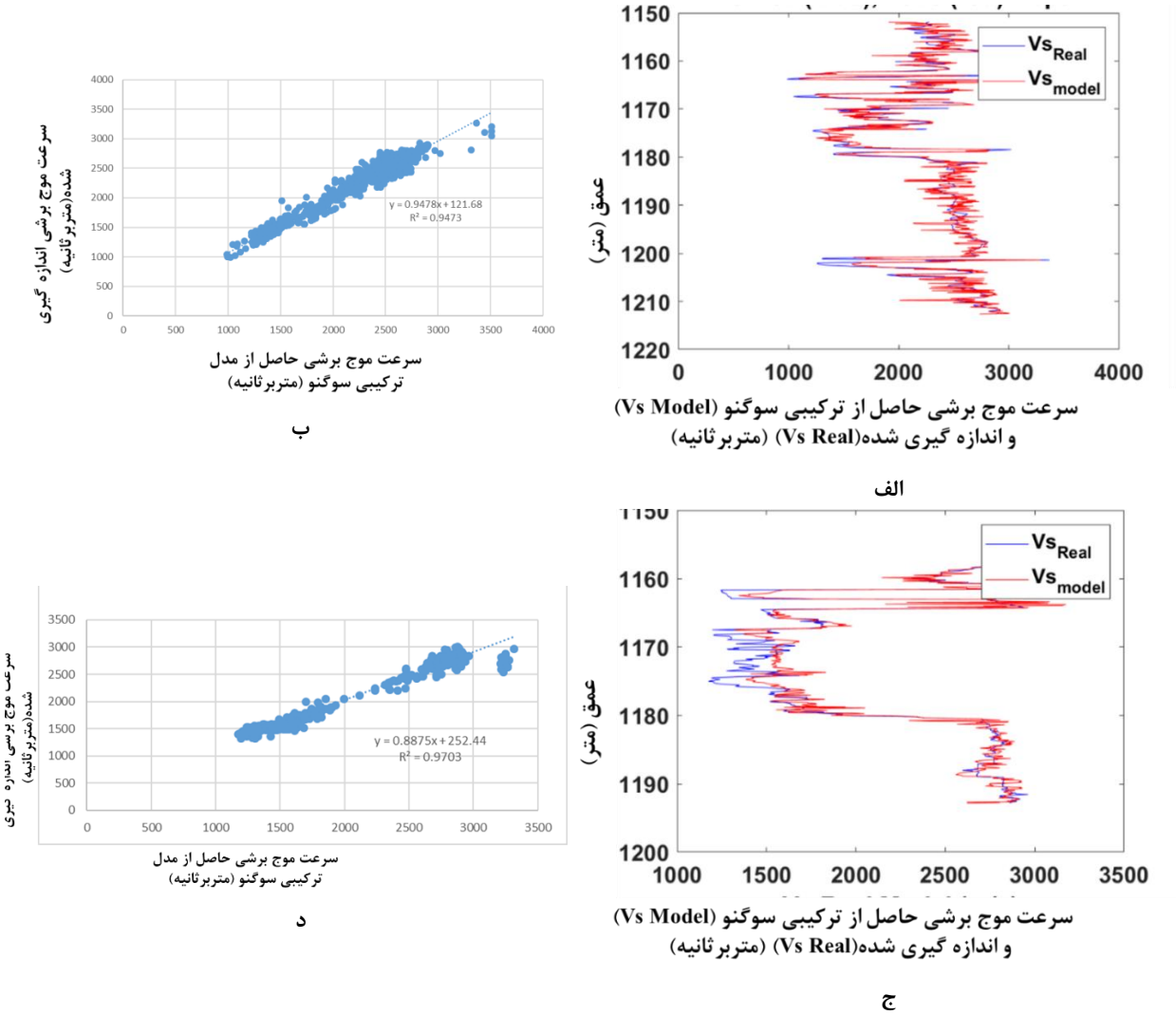


شکل ۱۳: مقایسه سرعتهای موج برشی تخمین زده شده با مدل خودسازگار-گاسمن و واقعی دردو چاه *A*و *B*، در مخزن کربنات. الف- نگارهای تخمینی و واقعی موج برشی در چاه *A*. ب-نمودار متقاطع نگار سرعت موج برشی تخمینی در برابر واقعی در چاه *A*. ج- نگارهای تخمینی و واقعی موج برشی در چاه *B*. د- نمودار متقاطع نگار سرعت موج برشی تخمینی در برابر واقعی در چاه *B*.

مدل سوم استفاده شده در برآورد سرعت موج برشی مدل ترکیبی سوگنو بود که از ترکیب دو مدل فیزیک سنگی شو-پاین و خودسازگار گاسمن به روش انتگرال فازی سوگنو برای مخزن کربناته مورد مطالعه به دست آمد. نتایج برآورد سرعت موج برشی در دو چاه A و B برای بررسی کارائی این روش در شکل ۱۴ آورده شده است. با مقایسه نگار سرعت موج برشی واقعی با سرعت موج برشی تخمین زده شده با استفاده از این مدل در دو چاه به ترتیب در شکل‌های ۱۴- الف و ۱۴- ج از نظرکیفی و دیداری نشان دهنده انطباق خوب و قابل قبول دو نمودار تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده است. البته در بخش میانی شکل ۱۴- ج به دلیل وجود شیل (رس آبدار) تغییر (اختلاف) در سرعت‌های برشی در دو رخساره ایجاد شده است. با تهیه نمودار متقاطع، بین سرعت موج برشی برآورد شده با استفاده از مدل ترکیب شده سوگنو و داده‌های اندازه‌گیری شده در چاه‌های A و B به ترتیب ضریب هبستگی ۹۷درصد و مقدارجذر میانگین مجذورخطا ۷۴ متر بر ثانیه و ضریب هبستگی ۹۸ درصد و جذر میانگین مجذورخطا ۷۹ متر بر ثانیه دیده می‌شود (۱۴- د و۱۴- ب). برای مقایسه بیشتر نتایج برآورد سرعت چاه A و B فاکتور متوسط درصد خطای نسبی تخمین نیز محاسبه شد که به ترتیب برابر ۴ و ۴/۵ درصد است. همان گونه که ملاحظه می‌شود درصد خطای نسبی تخمین با مدل ترکیبی سوگنو کمتر از سایر مدل‌ها به دست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

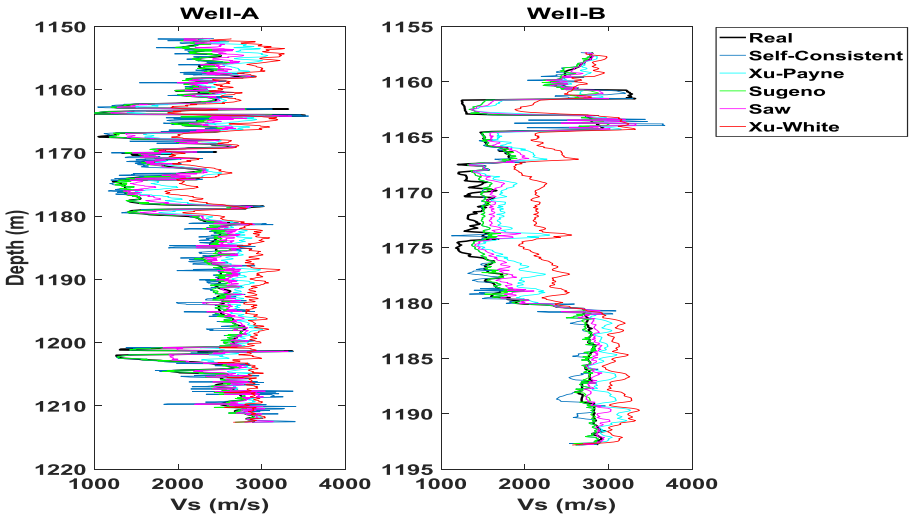


شکل ۱۴: مقایسه سرعت‌های موج برشی برآورد شده بامدل ترکیبی و اندازه‌گیری شده دردو چاه *A* و *B*، در مخزن کربنات

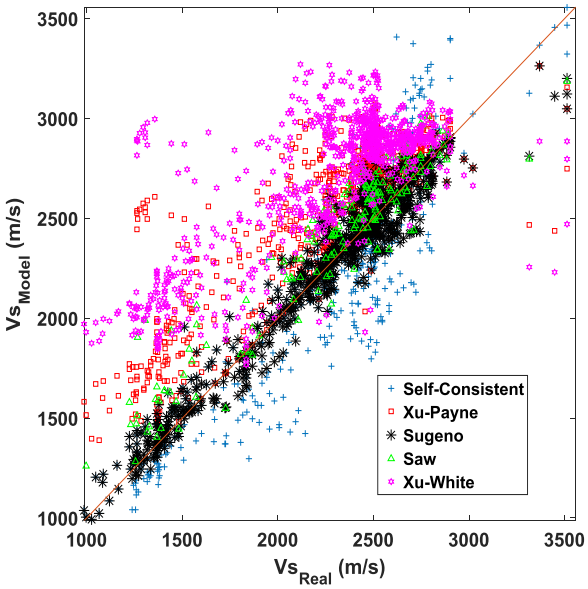
سرعت موج برشی نیز مانند سرعت موج طولی با کمک مدل شو-وایت و مدل ترکیبی وزن‌دهی افزایشی ساده به منظور مقایسه نتایج با هم برآورد شده و برای مقایسه روش‌ها در ادامه آورده خواهند شد. شکل ۱۵ نگارهای سرعت موج برشی در چاه A و چاه B را نشان می‌دهند. همان گونه که در این شکل‌ها قابل مشاهده است، نگار سرعت موج برشی حاصل از سوگنو (منحنی سبز رنگ) به نگار واقعی (مشکی) نزدیک‌ترین منحنی است، به عبارت دیگر این نگار کمترین اختلاف با داده واقعی را دارد. شکل ۱۶ و ۱۷ به ترتیب نمودار متقاطع سرعت موج برشی واقعی را در برابر سرعت‌های مدل شده، نشان می‌دهند. این شکل‌ها نشان می‌دهند که رابطه خطی بین نگار حاصل از روش ترکیبی سوگنو با نگار سرعت موج برشی در مقایسه با سایر نتایج روش‌ها کمترین پراکندگی را داشته و به یک خط راست با عرض از مبدأ صفر نیز نزدیک است. این شکل‌ها به وضوح، بهبود یافتن تخمین سرعت موج برشی را با استفاده از مدل ترکیبی سوگنو نشان می‌دهند. در نمودارهای متقاطع سرعت موج برشی واقعی در برابر نگارهای برآورد شده، بهترین برآورد وقتی اتفاق می‌افتد که به خط با زاویه ۴۵ درجه نزدیک‌تر باشد. همان‌گونه که در این دو نمودار متقاطع مشاهده می‌شود، نقاط مشکی که نمودار متقاطع سرعت موج برشی واقعی در برابر سرعت موج برشی تخمین زده شده با استفاده از روش ترکیبی سوگنو است، نزدیک‌ترین جواب به خط با زاویه ۴۵ است. به بیان دیگر این مدل بهترین جواب را داده است. نتایج سایر روش‌ها در مقایسه با این مدل ترکیبی دارای پراکندگی بیشتر بوده و از خط با زاویه ۴۵ درجه فاصله بیشتری گرفته‌اند.

www.SID.ir

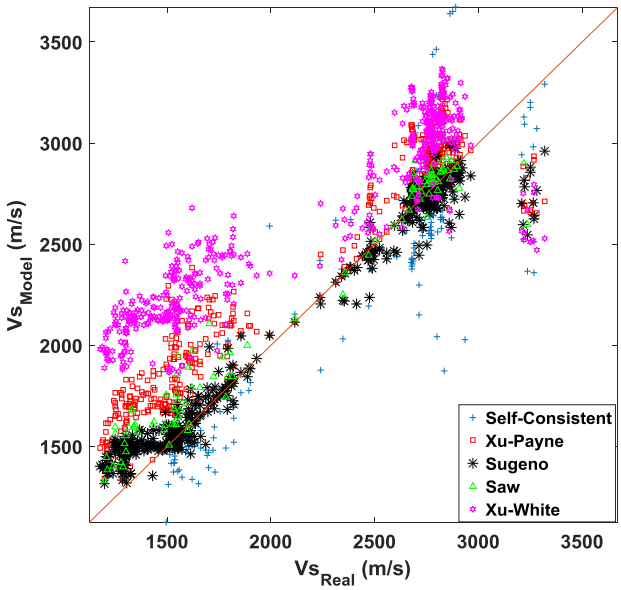
Archive of SID



شکل ۱۵: نمودارهای سرعت موج برشی اندازه‌گیری شده و برآورد شده در چاه‌های *A* و *B*



شکل ۱۶: نمودار متقاطع سرعت موج برشی واقعی در برابر اندازه‌گیری شده با مدل‌های مختلف در چاه *A*



شکل ۱۷: نمودار متقاطع سرعت موج برشی واقعی در برابر اندازه‌گیری شده با مدل‌های مختلف در چاه *B*

www.SID.ir

Archive of SID

به منظور مقایسه کمی روش‌های مختلف استفاده شده، ضرایب همبستگی و خطای تخمین سرعت برشی در جدول ۳ آورده شده است. با بررسی اعداد این جدول مشخص می‌شود که روش های ترکیبی با هدف توسعه مدل فیزیک سنگی در مخزن کربناته مورد مطالعه، منجر به بهبود کمیتی ضریب همبستگی و کاهش درص خطای نسبی شده است (جدول ۳) . قابل ذکر است که مدل ترکیب شده با روش سوگنو حاصل از ترکیب دو مدل فیزیک سنگی خودسازگار-گاسمن و شو-پاین برای مخزن مورد مطالعه مناسب است.

جدول۳: ارزیابی و مقایسه دقت و صحت مدل‌های فیزیک سنگ و ترکیبی در تخمین سرعت موج برشی

معیار / مدلVs	ضریب همبستگی(درصد)		جذر میانگین مجذور خطا (متر بر ثانیه)		متوسط خطای نسبی(درصد)	
	چاهB	چاهA	چاهB	چاهA	چاهB	چاهA
خودسازگار-گاسمن	۹۵	۹۱	۱۱۷	۱۴۰	۶/۵	۸
شو-پاین	۹۵	۸۵	۲۳۲	۲۵۵	۱۳	۱۵
شو-وایت	۹۱	۸۱	۳۹۹	۳۵۹	۲۴	۲۱
ترکیبی وزن دهی افزایشی ساده	۹۷	۹۵	۱۳۵	۱۵۰	۸	۹
ترکیبی سوگنو	۹۸	۹۷	۷۹	۷۴	۴/۵	۴

۴- نتیجه‌گیری

با بررسی دقیق‌تر نتایج نگارهای سرعت موج طولی و برشی با استفاده از دو روش ترکیبی و سه مدل فیزیک سنگی، مشخص می‌شود که روش‌ها و مدل‌های استفاده شده برای سنگ مخزن کربناته مورد مطالعه به غیر از شو-وایت، جواب مناسب و قابل قبولی داده اند ولی مدل ترکیبی سوگنو نتایج را بهبود داده است. نمودارهای متقاطع سرعت موج برشی اندازه‌گیری شده در دو چاه A و B، نسبت به سرعت‌های برآورد شده با مدل‌ها، به میزان قابل توجهی بهبود تخمین با کمک روش سوگنو را در مقایسه با سایر روش‌ها نشان می‌دهد. با توجه به اینکه عموماً اندازه‌گیری‌های نگارها درون سرعتی موج چاه از نوع نمودار سونیک (سرعت موج طولی) بوده و سرعت برشی اندازه‌گیری نمی‌شود و از طرفی چون مدل‌های فیزیک سنگی در میادین/مخازن کشور (به دلیل عدم وجود داده اندازه‌گیری آزمایشگاهی) مخصوصاً در سنگ‌های کربناته توسعه نیافته، لذا مدل‌های فیزیک سنگی موجود را نمی‌توان به راحتی برای مخازن هیدروکربوری ایران استفاده کرد (مانند مدل شو وایت که جواب خوبی نداد). به همین دلیل با ترکیب مدل‌های مختلف موجود با استفاده از روش‌های ترکیبی از جمله سوگنو مدل بهینه برای برآورد پارامترهای مخزنی، الاستیکی و پتروفیزیکی به دست می‌آید.

مراجع

[1] Baaziz, A., & Quoniam, L., (2014). "How to use Big Data technologies to optimize operations in Upstream Petroleum Industry", arXiv:1412.0755.

[2] Wilson, T. H., Smith, V., & Brown, A., (2015). "Developing a model discrete fracture network, drilling, and enhanced oil recovery strategy in an unconventional naturally fractured reservoir using integrated field, image log, and three-dimensional seismic data", AAPG bulletin, 99(4), 735-762.

[3] Irfan, M., Lenn, C. P., & Ghosh, D., (2017). "Seismic Stimulation and Induced Seismicity in Oil Reservoirs: A Review of Applications to Enhanced Oil Recovery (EOR) ", In ICIPEG 2016 (pp. 183-194). Springer, Singapore.

[4] Wei, G., Wang, Y., Liu, H., Yang, H., Kong, Q., & Lv, D., (2018). "Joint method of multiscale geophysical data and its application in reservoir characterization", In SEG Technical Program Expanded Abstracts 2018 (pp. 3125-3129). Society of Exploration Geophysicists.

[5] Lumley, D., (2001). "Time–lapse seismic reservoir monitoring", Geophysics, 66, p.50-53.

[6] Avseth, P., Mukerji, T., Mavko, G., (2008). "Quantitative Seismic Interpretation Applying Rock Physics Tools to Reduce Interpretation Risk", Cambridge University Press, Sixth Edition, Cambridge, UK, p.356.

[7] Yusoff, Y. B. M., Radzi., N. A., Khalil, A., Amadan, A., Hong, C.W., Zeb, J., Ting, J., (2014). "Rock physics modeling in oil and gas field development a methodology for reservoir

www.SID.ir

Archive of SID

[19] Hall, D.L. and Llinas, J., (2001). "Handbook of Multisensor Data Fusion", CRC Press LLC.

[20] Nashawi, I. S., & Malallah, A., (2010). "Permeability prediction from wireline well logs using fuzzy logic and discriminant analysis", In SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.

[21] Abdulaheem, A., Sabakhy, E., Ahmed, M., Vantala, A., Raharja, P. D., & Korvin, G., (2007). "Estimation of permeability from wireline logs in a middle eastern carbonate reservoir using fuzzy logic", In SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference. Society of Petroleum Engineers.

[22] Cuddy, S. J., (2000). "Litho-facies and permeability prediction from electrical logs using fuzzy logic", SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 3(04), 319-324.

[23] Valet, L., Mauris, G., Bolon, P., & Keskes, N., (2001). "Seismic image segmentation by fuzzy fusion of attributes", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 50(4), 1014-1018.

[24] Guo, H. X., Zhu, K. J., Gao, S. W., Li, Y., & Zhou, J. J., (2009). "Extracting fuzzy rules based on fusion of soft computing in oil exploration management, "Expert Systems with Applications, 36(2), 2081-2087.

[25] Ziyong, Z., Hangyu, Y., & Xiaodan, G., (2017). " Fuzzy fusion of geological and geophysical data for mapping hydrocarbon potential based on GIS", Petroleum Geoscience, petgeo2016-100.

[26] Hajian, A., & Styles, P., (2018). "Applications of Fuzzy Logic in Geophysics", In Application of Soft Computing and Intelligent Methods in Geophysics (pp. 301-371). Springer, Cham.

[27] De Sousa, M. C., De Figueiredo, J. J., da Silva, C. B., & Nascimento, M. J. D. S. (2019). "Prediction of S-wave velocity by a hybrid model based on the Greenberg-Castagna equation, Journal of Petroleum Science and Engineering, 172, 303-313.

[28] Yang, Y., Ma, J., Wang, H., & Li, L. (2018). "Shear wave velocity prediction with optimized Xu-White model constrained by varying aspect ratios in tight sandstone reservoir", In International Geophysical Conference, Beijing, China, 24-27 April 2018 (pp. 514-517). Society of Exploration Geophysicists and Chinese Petroleum Society.

[29] Du, Q., Yasin, Q., & Ismail, A. (2018). "A comparative analysis of artificial neural network and rock physics for the estimation of shear wave velocity in a highly heterogeneous reservoir", In characterization below shallow gas", International Petroleum Technology Conference, IPTC-18121-MS, Kuala Lumpur, Malaysia.

[8] Abbey, C. P., Okpogo, E. U., & Atueyi, I. O., (2018). "Application of rock physics parameters for lithology and fluid prediction of 'TN'field of Niger Delta basin, Nigeria", Egyptian Journal of Petroleum.

[9] Ghon, G., Rankey, E. C., Baechle, G. T., Schlaich, M., Ali, S. H., Mokhtar, S., & Poppelreiter, M. C., (2018). "Carbonate Reservoir Characterisation of an Isolated Platform Integrating Sequence Stratigraphy and Rock Physics in Centr", In 80th EAGE Conference and Exhibition 2018.

[10] Li, H., & Zhang, J., (2018). "Well log and seismic data analysis for complex pore-structure carbonate reservoir using 3D rock physics templates", Journal of Applied Geophysics, 151, 175-183.

[11] Luanxiao, Z., Nasser, M., Han, D., (2013). "Quantitative geophysical pore-type characterization and its geological implication in carbonate reservoirs", European Association of Geoscientists & Engineers, Geophysical Prospecting,61, p.827-841.

[12] Xu, S., Payne, M., (2009). "Modelling Elastic Properties in Carbonate Rocks", The leading edge, 28, p.66-74.

[13] Mavko, G., Mukerji, T., Dvorkin, J., (2009). "The Rock Physics Handbook: Tools for Seismic Analysis in Porous Media", Cambridge University Press, Second Edition, Cambridge, UK, p.511.

[14] Berryman, J. G., (1995). "Mixture theories for rock properties", In T. J. Ahrens, (Ed.), "Rock physics and phase relations, A handbook of physics constants", American Geophysical Union, p.205-228.

[15] Bashah, N.S., Pierson, B., (2012). "Quantification of pore structure in a Miocene Carbonate Build-up Central Luconia, Sarawak and its relationship to sonic velocity", IPTC, Thailand.

[16] Wang, Z., Wang, R., Schmitt D.R., Zhou, Y., Wang, F., (2017). "Carbonate rock physics modelling at ultrasonic and seismic frequencies",4th International Workshop on Rock Physics, Trondheim, Norway.

[17] Saenger, E.H., Vialle, S., Lebedev, M., Uribe, D., Osorno, M., Duda, M., Steeb, H., (2016). "Digital carbonate rock physics", Solid Earth, 7, p.1185-1197.

[18] Eberli, G.P., Baechle, G.T., Anselmetti, F.S., Incze, M.L., (2003). "Factors controlling elastic properties in carbonate sediments and rocks", The Leading Edge ,22, p.654-660.

www.SID.ir

Archive of SID

SEG Technical Program Expanded Abstracts 2018 (pp. 2246-2250). Society of Exploration Geophysicists.

[30] Karimpouli, S., & Tahmasebi, P. (2019)."Image-based velocity estimation of rock using Convolutional Neural Networks", Neural Networks, 111, 89-97.

[31] Morshedy, A. H., & Marji, M. F. (2018)."Three-dimensional modelling of reservoir fluid typing by applying nuclear magnetic resonance (NMR) and thermophysical parameters", Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 59(1).

[32] Gogoi, T., & Chatterjee, R. (2019). "Estimation of petrophysical parameters using seismic inversion and neural network modeling in Upper Assam basin, India", Geoscience Frontiers, 10(3), 1113-1124.

[33] Torra, V. and Narukawa, Y., (2006). " The interpretation of fuzzy integrals and their application to fuzzy systems", Internat. J. Approx. Reason. 41, 43–58.

[34] Campos, L. M. D., and Bolafios M. J., (1992). "Characterization and comparison of Sugeno and Choquet integrals, Fuzzy Sets and Systems", North-Holland, 52, 61-

[35] Blum, R. S., & Liu, Z., (2005), "Multi-sensor image fusion and its applications". CRC press.67.

[36] Seifi, H., Tokhmechi, B., & Moradzadeh, A. (2018). Evaluation of Kuster-Toksoz and Xu-Payne Rock Physics Modeling in an Iranian Carbonate Hydrocarbon Reservoir. Journal of research on applied geophysics, online accepted (http://jrag.shahroodut.ac.ir/article_1368.html) in December 2018(In Persian).

[1] Differential Effective Medium

www.SID.ir