

تخمین سرعت موج برشی، توسط روابط فیزیک سنگ و شبکه‌های عصبی مصنوعی، در یکی از میداین هیدروکربوری جنوب ایران

بهزاد مهرگینی^۱، حسین معاریان^۲

۱. کارشناسی ارشد اکتشاف نفت؛ دانشکده معدن، دانشگاه تهران: mehrgini@ut.ac.ir

۲. استاد دانشکده معدن، دانشگاه تهران: memarian@ut.ac.ir

چکیده

بر پایه مطالعات گسترده‌ای که تاکنون صورت گرفته است، بدون تردید، نقش داده‌های سرعت موج برشی در ارزیابی مخازن هیدروکربوری حیاتی است. استفاده از اطلاعات سرعت موج برشی، این امکان را فراهم می‌سازد که، بتوان اثرات لرزه‌ای پارامترهایی چون سنگ‌شناسی، نوع سیال منفذی و فشار منفذی را شناسایی کرد. متاسفانه داده‌های سرعت موج برشی در بسیاری از میداین موجود نیستند، باید آن را به روش‌های دیگر برآورد نمود. مطالعه حاضر که بر روی چاهی در یک میدان نفتی در جنوب کشور صورت گرفته در آن سرعت موج برشی در طول چاه اندازه‌گیری شده است. در این بررسی، سرعت موج برشی از دو روش روابط فیزیک سنگ و شبکه‌های عصبی تخمین زده شد. نتایج با مقدار واقعی سرعت موج برشی، که در همان چاه اندازه‌گیری شده بود، مقایسه گردید. با استفاده از روابط فیزیک سنگ، همبستگی مقادیر تخمینی سرعت موج برشی و مقادیر اندازه‌گیری شده، حدود ۰/۹۱ به دست آمده است. در حالی که این همبستگی در صورت استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به حدود ۰/۹۵ می‌رسد. نتایج به دست آمده مناسب بودن استفاده از هر یک از این دو روش را برای تخمین سرعت موج برشی در چاه‌های دیگر این میدان، تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سرعت موج برشی، سرعت موج فشاری، فیزیک سنگ، شبکه‌های عصبی، روابط گرینبرگ و کاستانگا، روابط گاسمن، مخازن هیدروکربوری و ایران.

••• مقدمه

- روش‌های فیزیک سنگ؛ که با ارائه روابط تجربی، وابسته به نوع سنگ‌شناسی و داده‌های سرعت موج فشاری، سرعت موج برشی را برآورد می‌کنند.
 - روش‌های هوشمند؛ که با به کارگیری روش‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق فازی و الگوریتم ژنتیک، سرعت موج برشی را تخمین می‌زنند.
- در مقاله حاضر، ابتدا پس از اعمال تصحیحات مربوط به اثر شرایط مخزن (دما و فشار) بر روی سیالات منفذی و تصحیح اثر سیال بر روی سنگ، با استفاده از روش فیزیک سنگ سرعت موج برشی تخمین زده شده و با داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده در چاه مرجع مقایسه شده است. در مرحله دوم، به کمک یک شبکه عصبی مصنوعی سه لایه، با استفاده از داده‌های چاه نمودارهای چگالی و سرعت موج فشاری، به تخمین سرعت موج برشی پرداخته شده است

سرعت موج برشی در به دست آوردن دید روشن‌تری از مخزن، و در نتیجه اخذ تصمیم‌گیری‌های درست در فازهای مختلف اکتشاف، سرشت‌نمایی و تولید، نقش کلیدی دارد. با توجه به این که سرعت موج برشی از پارامترهای مختلف سنگ مثل: سرعت موج فشاری، حضور و عدم حضور سیالات منفذی، تخلخل و ... تأثیر می‌پذیرد، می‌تواند بیانگر خصوصیات فیزیکی سنگ باشد [۱].

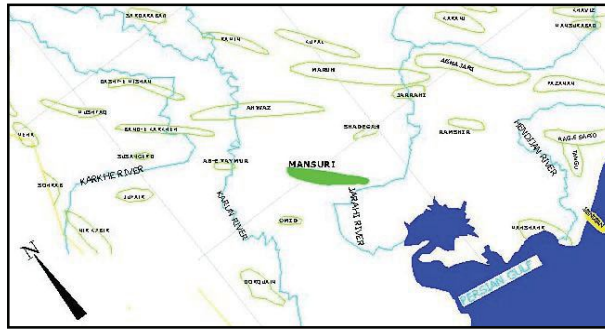
متاسفانه داده‌های این پارامتر با ارزش به دو دلیل در میداین و مخازن هیدروکربوری وجود ندارد: یکی مشکلات فناوری و دیگری هزینه بالای اندازه‌گیری. برای رفع این کاستی مطالعات بسیاری برای ابداع روش‌هایی برای برآورد سرعت موج برشی صورت گرفته است که، می‌توان آنها را به دو دسته عمده تقسیم کرد:

آسماری، بنگستان و خامی است که، مطالعه حاضر بر روی مخزن آسماری آن انجام شده است. میدان مورد مطالعه در افق آسماری حدود ۴۱/۹ کیلومتر طول و ۵/۹ کیلومتر عرض دارد. ضخامت سازند آسماری در این میدان، بین ۴۵۰ تا ۵۱۵ متر متغیر است. از دید سنگ شناسی، سازند مخزنی آسماری در این میدان غالباً از ماسه سنگ و سنگ های کربناته تشکیل شده است. ساختار این میدان نیز مانند بسیاری از میداین این ناحیه از روند عمومی زاگرس، (شمال غرب- جنوب شرق) تبعیت می کند. (شکل ۱)

و، در پایان نتایج به دست آمده از این دو روش با هم مقایسه شده اند.

••• زمین شناسی و اطلاعات مخزن مورد مطالعه

میدان نفتی مورد مطالعه در دشت خوزستان، در ناحیه فروافتادگی دزفول شمالی واقع شده است. این میدان هیچ رخنمونی در سطح نداشته و از طریق اکتشافات زیرزمینی و به کمک عملیات لرزه نگاری، در سال ۱۹۶۲ کشف شده است. این میدان دارای سه مخزن: نفتی



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه.

۲. حذف اثر سیالات مخزن، با استفاده از آنالیز جایگزینی سیال مرجع به جای سیالات مخزن، با استفاده از روابط گاسمن. [۱]

با توجه به اینکه شرایط فیزیکی مخزن، خصوصیات فیزیکی سیالات منفذی نظیر: سرعت موج فشاری و مدول ظاهری را تحت تاثیر قرار می دهد، ابتدا باید این خصوصیات در شرایط مخزن (دما، فشار، ...) محاسبه شده و سپس در روابط نهایی وارد شوند. بتزل و ونگ (۱۹۹۲) روابطی را به منظور محاسبه خصوصیات مورد نظر در سیال آب شور، نفت و گاز ارائه داده اند. شرایط فیزیکی و مشخصات سیالات موجود در مخزن بررسی شده، قبل از اعمال شرایط مخزن مطابق جدول (۱) است.

در این میدان، سازند آسماری بر اساس تغییرات لیتولوژی و تخلخل، به طور قائم به هشت زون و نوزده زیر زون متمایز، به سنگ های: آهکی، ماسه سنگی و رسی، تقسیم شده است که لایه های ماسه سنگی به دلیل تخلخل و تراوایی بیشتر و اشباع آب کمتر، قسمت اعظم نفت موجود در مخزن را در خود نگهداری می کنند. زون های دو و سه مهمترین قسمت مخزن آسماری هستند و بخش اعظم نفت از این زون ها استخراج می شود. این بخش ها از ماسه سنگ تشکیل شده است. زون یک، از سنگ دولومیت همراه با مقدار قابل توجهی از انیدریت تشکیل شده است. به طور کلی سه زون یک، دو و سه بخش مخزنی سازند آسماری را در این میدان تشکیل می دهد و حاوی هیدروکربن هستند. از مجموع ۶۰ چاه حفر شده در میدان بررسی شده، تنها از یک چاه، با ابزار نمودارگیری DSI، چاه نمودار زمان گذر موج برشی تهیه شده و در دیگر چاه ها، فقط زمان گذر موج فشاری موجود است. این چاه، در مطالعه حاضر، چاه مرجع نامیده می شود. داده های این چاه متعلق به زون مخزنی و حاوی نفت است. همچنین چاه نمودارهای تخلخل، مقاومت ویژه، پرتوزایی گاما، قطرسنجی، درجه اشباع و چاه نمودارهای زمین شناسی نیز از این میدان در دست است.

جدول (۱): شرایط فیزیکی مخزن و مشخصات سیالات منفذی موجود در مخزن بررسی شده

دما (درجه سانتیگراد)	فشار (مگا پاسکال)	چگالی نفت (گرم بر سانتیمتر مکعب)	درجه شوری آب (بخش در میلیون)
۸۰	۲۲/۴	۰/۸۸	۲۰۰۰۰

با توجه به حضور شایع دو سیال نفت و آب شور در مخزن، در جدول (۲) نتیجه اعمال شرایط مخزن بر روی این دو سیال، با استفاده از روابط بتزل و ونگ، نشان داده شده است.

جدول (۲): مشخصات سیالات مخزن پس از اعمال شرایط فیزیکی مخزن

سیال نفت	چگالی (گرم بر سانتیمتر مکعب)	سرعت موج فشاری (متر بر ثانیه)
سیال آب شور	۱/۱۲۶۳	۱۷۳۱/۵
سیال نفت	۰/۸۶۳۶	۱۳۴۹/۸

••• تخمین سرعت موج برشی

به منظور تخمین سرعت موج برشی، ابتدا باید اثر سیالات مختلف در مخزن را برای تمامی داده های چاه نمودارها، یکسان سازی نمود. زیرا سیالات بر روی برخی خصوصیات سنگ نظیر سرعت موج فشاری، که تخمین سرعت موج برشی از روی آن صورت می پذیرد، تاثیر گذار هستند. یکسان سازی اثر سیالات دارای دو مرحله است:

۱. محاسبه مشخصات سیالات مخزن (چگالی، سرعت) در شرایط مخزن با استفاده از روابط بتزل و ونگ (۱۹۹۲) [۲].

تک‌کانه‌ای خالص و اشباع کامل از آب به دست آمده است: [۵]

$$V_s = a_{i2}V_p^2 + a_{i1}V_p + a_{i0} \quad (6)$$

ضرایب رگرسیون (a_{ij}) برای لیتولوژی‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول (۳): ضرایب رگرسیون (a_{ij}) برای لیتولوژی خالص ارائه شده توسط گرینبرگ-کاستاگنا [۵].

لیتولوژی	a_{i2}	a_{i1}	a_{i0}
ماسه سنگ	۰	۰/۸۰۴۱۶	-۰/۸۵۵۸۸
آهک	-۰/۰۵۵۰۸	۰/۰۱۶۷۷	-۱/۰۳۰۴۹
دولومیت	۰	۰/۵۸۳۲۱	-۰/۰۷۷۷۵
شیل	۰	۰/۷۶۹۶۹	-۰/۸۶۷۳۵

رابطه تخمین سرعت موج برشی، ارائه شده، از گرینبرگ-کاستاگنا، برای یک نمونه چند کانه‌ای در حالت اشباع از آب شور، با استفاده از یک میانگین ساده از متوسط حسابی و همساز سرعت‌های برشی در لیتولوژی‌های خالص، به دست آمده است [۵].

$$V_s = \frac{1}{2} \left\{ \left[\sum_{i=1}^L X_i \sum_{j=0}^{N_i} a_{ij} V_p^j \right] + \left[\sum_{i=1}^L X_i \left(\sum_{j=0}^{N_i} a_{ij} V_p^j \right)^{-1} \right]^{-1} \right\} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^L X_i = 1$$

در این فرمول، L تعداد لیتولوژی‌های موجود در سازندهای مخزنی، X_i درصد حجمی لیتولوژی مورد نظر، a_{ij} ضرایب رگرسیون، N_i درجه چند جمله‌ای رگرسیون برای لیتولوژی مورد نظر، V_p و V_s سرعت موج فشاری و برشی است. نتیجه تخمین سرعت موج برشی با استفاده از روابط گرینبرگ و کاستاگنا در مقایسه با مقادیر واقعی این سرعت در چاه مورد نظر در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنان‌که در این شکل دیده می‌شود، همبستگی این داده‌ها در حدود ۰/۹۱ می‌باشد. با توجه به اینکه فرمول مورد استفاده کاملاً از طریق تجربی بدست آمده و مطابق شرایط مخزنی و سنگ‌های این میدان نیست، خط رگرسیون کاملاً ۴۵ درجه نبوده و، به عبارت دیگر تخمین سرعت موج برشی تا حدودی ازیب است (بایاس دارد). به نظر می‌رسد برای دسترسی به تخمین نا ازیب با روش فیزیک سنگ، بایستی برخی از ضرایب روابط را متناسب با سنگ‌های مخازن ایران تعدیل نمود.

فرایند جایگزینی سیال بر اساس رابطه گاسمن که متکی بر مدول حجمی سیال، سنگ اشباع و کانی است [۱]. همچنین با توجه به اینکه در بسیاری از موارد، داده‌های سرعت موج برشی وجود ندارد می‌توان از نسخه‌ای از روابط گاسمن، که متکی به مدول موج طولی است، استفاده کرد [۳]. مدول موج طولی (M_{log}) از چاه‌نمودارها، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۴]:

$$M_{log} = \rho_b V_p^2 \quad (1)$$

که در آن ρ_b چگالی حجمی و V_p سرعت موج فشاری سنگ، در عمق مورد مطالعه است. مدول موج طولی مربوط به سنگ خشک (M_{dry}) نیز با استفاده از مدول موج طولی کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$M_{dry} = M_{mineral} \frac{1 - (1 - \phi) M_{log} / M_{mineral} - \phi M_{log} / \bar{K}_{fluid}}{1 + \phi - \phi M_{mineral} / \bar{K}_{fluid} - M_{log} / K_{mineral}} \quad (2)$$

$$M_{mineral} = K_{mineral} + 4\mu_{mineral} / 3 \quad (3)$$

که در آن ϕ تخلخل، $\mu_{mineral}$ مدول موج برشی و $K_{mineral}$ مدول ظاهری در فاز کانی است. در ادامه مدول موج طولی سنگ اشباع شده از سیال متعارف، (M_{common}) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$M_{common} = M_{mineral} \frac{\phi M_{dry} - (1 + \phi) K_{cf} M_{dry} / M_{mineral} + K_{cf}}{(1 - \phi) K_{cf} + \phi M_{mineral} - K_{cf} M_{dry} / K_{mineral}} \quad (4)$$

که در آن K_{cf} مدول حجمی سیال متعارف است. در نهایت برای به دست آوردن سرعت موج فشاری پس از حذف اثر سیال و جایگزین نمودن سیال متعارف، باید از رابطه زیر استفاده می‌شود:

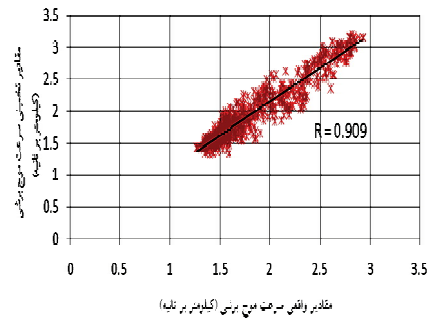
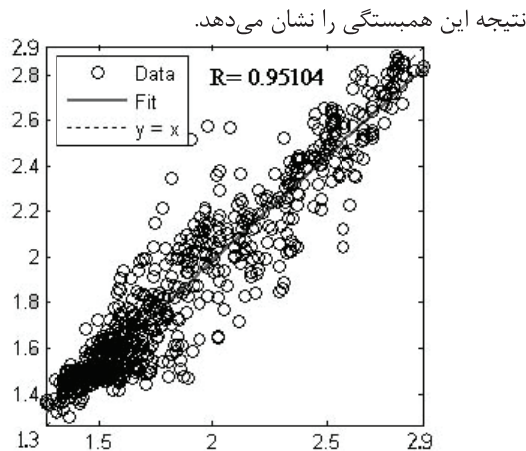
$$V_p' = \sqrt{M_{common} / \rho_b} \quad (5)$$

در این مرحله پس از اعمال دو تصحیح نامبرده، اثر سیالات مختلف مخزن بر روی داده‌های چاه نمودارها، یکسان سازی شده و این داده‌ها تحت تاثیر متفاوت از سیالات مختلف مخزن نیستند. در حالی که این داده‌ها برای تخمین سرعت موج برشی مناسب هستند. درصد اختلاف بین مقادیر اصلاح شده سرعت موج فشاری و مقادیر اولیه آن، کمتر از ۱ درصد تا ۲۷ درصد است که، نشان از تاثیر عمده این اصلاحات دارد.

••••• تخمین سرعت موج برشی با استفاده از روابط فیزیک سنگ

محققین بسیاری نظیر پیکت (۱۹۶۳)، هان (۱۹۸۶)، کریف (۱۹۹۰)، کاستاگنا (۱۹۸۵) و گرینبرگ و کاستاگنا (۱۹۹۲) از روش‌های فیزیک سنگ به عنوان مبنای تخمین سرعت موج برشی، در مطالعات خود استفاده کرده‌اند [۴].

از مهمترین روابط تجربی، رابطه جامع گرینبرگ و کاستاگنا (۱۹۹۲) است که بر مبنای رابطه سرعت موج فشاری و لیتولوژی‌های مختلف استوار است. با توجه به جامعیت رابطه گرینبرگ-کاستاگنا، از این رابطه برای تخمین سرعت موج برشی استفاده شده است. این مولفین یک رابطه تجربی برای سنگ چندکانه‌ای و اشباع از آب شور، ارائه کرده‌اند. این رابطه بر مبنای روابط تجربی چند جمله‌ای سنگ‌های



شکل (۲): نمودار پراکندگی سرعت موج برشی اندازه‌گیری شده، بر حسب مقادیر تخمینی این سرعت، با استفاده از روش فیزیک سنگ، مقدار همبستگی ۰/۹۱ است.

شکل (۳): نمودار پراکندگی سرعت موج برشی اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر تخمینی این سرعت با استفاده از روش شبکه عصبی، مقدار همبستگی ۰/۹۵ است.

تخمین سرعت موج برشی با استفاده از شبکه عصبی

بحث و نتیجه‌گیری

از بین دو روش فیزیک سنگ و شبکه عصبی، که برای تخمین سرعت موج برشی ارائه شده است، روابط فیزیک سنگ بر اساس لیتولوژی‌های مختلف و سرعت موج فشاری تعریف شده‌اند و در زمانی که سری کاملی از داده‌های چاه‌نمودار در دست نباشد، کاربرد شایسته‌تری دارند. با وجود این، این روش دارای نقاط ضعفی است که مهم‌ترین آن، عدم کارایی در روابط غیرخطی و پیچیده است، بنابراین، این روش در مخازن ناهمگن کارایی ندارد. با توجه به این محدودیت‌ها، وجود یک روش قدرتمند برای تخمین سرعت موج برشی، که بتواند بر این کاستی‌ها چیره شود، ضروری است. در این راستا، روش‌های هوشمند، به‌خصوص شبکه‌های عصبی مصنوعی، با موفقیت‌های چشمگیری در زمینه تخمین پارامترهای ژئوفیزیکی، نظیر سرعت موج برشی همراه بوده است.

در این مقاله از هر دو روش فیزیک سنگ و شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تخمین سرعت موج برشی استفاده شده است که نتیجه همبستگی مقادیر تخمینی با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در چاه مرجع، به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۵ می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، لیتولوژی مخزن در این میدان از ناهمگنی زیادی برخوردار بوده و محدوده مخزنی مجموعه‌ای از سنگ آهک تا ماسه‌سنگ است. در نتیجه روش فیزیک سنگ نتایج ضعیف‌تری را به همراه داشته و استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تخمین سرعت موج برشی نتایج بهتری در پی داشته است. همچنین روش فیزیک سنگ که عمدتاً بر روابط تجربی استوار است، تا حدودی در تخمین به صورت اریب عمل کرده است که این مطلب در مورد تخمین شبکه عصبی دیده نمی‌شود و این یکی دیگر از مزایای استفاده از شبکه‌های عصبی در تخمین سرعت موج برشی است. با وجود این این مقاله همچنین نشان داد که این دو روش می‌توانند در چاه‌هایی که سرعت موج برشی اندازه‌گیری نشده است، با همبستگی بیش از ۰/۹۰، سرعت موج برشی را برآورد کنند.

امروزه استفاده از روش‌های هوشمند و به‌خصوص شبکه‌های عصبی مصنوعی، به ابزاری رایج در تخمین بسیاری از پارامترهای پتروفیزیکی تبدیل شده است [۶].

شبکه‌های عصبی ساختار لایه‌ای دارند. نوع معماری شبکه در آموزش و عملکرد آن نقش بسزایی دارد. یک شبکه عصبی چند لایه، دارای یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک یا چند لایه میانی یا پنهان است. تعیین تعداد لایه‌های شبکه عصبی و همچنین تعداد نرون‌های موجود در آن، باید به‌نحو بهینه‌ای انتخاب شود. از آنجایی که معمولاً تعداد نرون‌های لایه‌های ورودی (برابر با تعداد ورودی شبکه) و خروجی (برابر با تعداد خروجی شبکه) به وسیله‌ی خود مسئله دیکته می‌شود، بهینه‌سازی ساختار شبکه به تعیین تعداد نرون‌های لایه میانی محدود می‌شود. باید در نظر داشت که لایه‌های میانی، عنصری کلیدی در ساختار یک شبکه عصبی هستند و نقش مهمی را در قابلیت تخمین نگاشت و تشخیص الگوی داده‌های ورودی، بازی می‌کنند [۷].

با توجه به اینکه دو پارامتر سرعت موج فشاری و چگالی، از عوامل اصلی موثر در میزان سرعت موج برشی در سنگ هستند، از این دو پارامتر برای تخمین سرعت موج برشی با استفاده از شبکه‌های عصبی، استفاده شده است. در بررسی حاضر یک شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشار خطا با سه لایه طراحی شد که با توجه به ورودی‌ها و خروجی (سرعت موج برشی) شبکه، تعداد نرون‌های ورودی و خروجی به ترتیب، دو و یک است. همچنین تعداد نرون‌های لایه میانی با توجه بررسی‌های انجام شده ۳۰ نرون در نظر گرفته شده است. عامل با اهمیت دیگر در فرایند آموزش شبکه، درصد داده‌های آموزشی از کل داده‌های آزمایشی ورودی به شبکه است. با توجه به ناهمگنی موجود در داده‌های ورودی، ۸۰ درصد از داده‌های آزمایشی جهت آموزش شبکه، استفاده شد. همچنین به‌منظور آزمایش و اعتبار سنجی شبکه برای هر کدام، ۱۰ درصد از داده‌های آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است برای لایه خروجی و لایه میانی به ترتیب از تابع خطی و تابع تانژانت سیگموئیدی به‌عنوان تابع تحریک استفاده شده است. در نهایت همبستگی داده‌های تخمینی، سرعت موج برشی و داده‌های واقعی این پارامتر در چاه مورد نظر در حدود ۰/۹۵ به‌دست آمد. شکل (۳)

••• مراجع

[5] Greenberg, M., L.; Castagna, J., P.; "Shear wave velocity estimation in porous rocks: theoretical formulation, preliminary verification and applications", Geophys. Prospect. vol. 40, p.p. 195-209, 1992.
 [6] Helle, H., B.; Bhatt, A., I.; Ursin, B.; "Porosity and permeability prediction from wireline logs using artificial neural networks: a North Sea case study", Geophysical Prospecting, vol. 49, p.p. 431- 444, 2001.
 [7] Mohaghegh, S., D.; "Virtual Intelligence and its Applications in Petroleum Engineering, 1. Artificial Neural Networks", Journal of Petroleum Technology, Distinguished Author Series, 2000.

[1] Avseth, P.; Mukerji, T.; Mavko, G.; "Quantitative seismic Interpretation", Cambridge university press, 2005.
 [2] Batzle, M.; Wang, Z.; "Seismic properties of pore fluids", Geophysics, vol. 57, p.p. 1396-1408, 1992.
 [3] Dvorkin, J.; Mavko, G.; Gurevich, B.; "Fluid substitution in shaley sediment using effective porosity", Geophysics, vol. 72, p.p. O1-O8, 2007.
 [4] Mavko, G.; Mukerji, T.; Dvorkin, J.; "The Rock Physics Handbook", Cambridge University Press, 1998.

Evaluation of shear wave velocity prediction by rock physics and artificial neural networks, in one of the south Iranian oil reservoirs

B. Mehrgini¹ & H. Memarian²

ABSTRACT

Based on the extensive studies, undoubtedly, the role of the shear wave data in hydrocarbon reservoir evaluation is vital. Using shear wave along with P-wave data often allows us to identify the seismic signatures of lithology, pore fluid type and pore pressure, efficiently. Unfortunately shear wave data is not available in all reservoirs and it is necessary to predict it. This study has done on a well in one of the oil reservoirs in south of Iran that has shear wave velocity measurements. In this study shear wave velocity had predicted by rock physics relations and neural networks and then the results compared with real shear wave velocity measurements. Regression between predicted shear wave velocity by using rock physics relations and measured shear wave velocity is about 0.91, whereas it is about 0.95 by using neural networks. Results confirm that both methods are suitable for predicting shear wave velocity in other wells in this reservoir.

Keywords: Shear wave, P-wave, Rock Physics, Greenberg and Castagna relation, Gasman relation, Artificial neural network, Hydrocarbon reservoir, Iran.

¹ M.Sc student of petroleum exploration, School of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, mehrgini@ut.ac.ir.

² Professor of GeoEngineering, School of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, memarian@ut.ac.ir.