

## تحلیل پتروفیزیکی و پیش‌بینی تابع تخلخل در یکی از مخازن نفتی جنوب باختر ایران

عباس عباس‌زاده شهری<sup>۱\*</sup>، رسا حسینی<sup>۲</sup>، فریدون رضایی<sup>۳</sup>، کامبیز مهدی‌زاده فرساد<sup>۲</sup> و نعیم پنائی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، تهران، ایران

<sup>۲</sup>کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دماوند، تهران، ایران

<sup>۳</sup>استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۹

### چکیده

شبکه‌های عصبی روش‌های محاسباتی یادگیرنده هستند که به کمک آنها می‌توان یک نگاهت خاص را برآورد کرده یا داده‌های مختلفی را دسته‌بندی کرد. یک شبکه عصبی بر خلاف کامپیوترهای رقومی که نیازمند دستورات کاملاً صریح و مشخص هستند، به مدل ریاضی محض نیاز ندارد، بلکه مانند مغز انسان قابلیت یادگیری به وسیله تعدادی مثال مشخص را دارد. هدف مقاله حاضر، اثبات تابع تخلخلی و تحلیل به عنوان یک رهیافت نیرومند در برآورد تخلخل سنگ مخزن با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی است که در آن با ارائه راه‌حلی مناسب بر پایه تحلیل پتروفیزیکی می‌توان تخلخل را با استفاده از داده‌های نمودارهای چاه‌نگاری متداول تا حد بسیار خوبی برآورد کرد. روش پیشنهادی بر پایه داده‌های پتروفیزیکی موجود در یکی از میادین نفتی جنوب باختر ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از تجزیه شبکه مشروط بر اعتماد به داده‌ها با آزمون‌های مختلف در بررسی تابع از جمله رگرسیون، جذر میانگین مربعات و SPLine نشان دادند که میزان خطای شبکه بر حسب داده‌های موجود در محدوده مهندسی با ضریب اطمینان بالایی قابل قبول هستند و می‌تواند برای برآورد تخلخل مورد استفاده قرار گیرند. این روش افزون بر کاهش هزینه‌ها و اقتصادی کردن طرح، می‌تواند راهگشای انجام پژوهش‌های مختلفی در این زمینه در مقاطع بعدی شود.

**کلیدواژه‌ها:** تحلیل پتروفیزیکی، تخلخل، داده‌های چاه‌نگاری، شبکه‌های عصبی، نگار صوتی، نگار گاما.

\***نویسنده مسئول:** عباس عباس‌زاده شهری

E-mail: a\_abbaszadeh@iauh.ac.ir

### ۱- پیش‌گفتار

اعتماد نیست، پیش‌بینی میزان اشباع آب، میزان تخلخل و چگونگی پخش سیال در سازند که از اهداف اصلی نمودارگیری است از مباحث مورد توجه مهندسی نفت در شبکه عصبی است (Al-Bulushi et al., 2009; Jamialahmadi & Javadpour, 2000; Ilc aFischetti & Andrade, 2002; Richardson et al., 1998; Katz et al., 2000; Mohaghegh et al., 1999). موضوعات مربوط به فرایندهای ازدیاد برداشت و پیش‌بینی امتزاج‌پذیری سیال‌ها از دیگر بخش‌های مهندسی نفت است که می‌توان از آن به‌عنوان یکی از جدیدترین موضوعات پیشنهادی در زمینه شبکه‌های عصبی یاد کرد (Huang et al., 2003; William et al., 2005). بدون هیچ گونه شکی می‌توان طراحی پروژه‌های تولیدی همچون میزان آب شور تولیدی، مباحث مربوط به رسوبات آسفالتین و بهینه کردن میزان میعانات تولیدی را یکی از مهم‌ترین بخش‌های مهندسی نفت دانست که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران شبکه‌های عصبی قرار گرفته است (Al-Farhan, et al., 2006; Zahedi et al., 2009; Shirvany et al., 2010). از دیگر کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی می‌توان به مواردی از جمله برآورد تراوایی سنگ مخزن، شناسایی و پیش‌بینی رخساره‌های سنگی، شناسایی گونه‌های سنگی، برآورد حجم در جای هیدروکربور، برآورد مقدار کربن آلی موجود در سنگ منشأ، پیش‌بینی ویژگی‌های فیزیکی سیال‌های مخزن، برآورد گرانیوی نفت خام، برآورد فشار نقطه حباب نفت خام، شناخت مخازن شکاف‌دار، پیش‌بینی مقدار هرزروی سیال، پیش‌بینی گیر رشته‌های حفاری، شناسایی رخساره‌های لرزه‌ای، کسب اطلاعات سرعت صوت در لایه‌ها، پیش‌بینی سرعت موج برشی از نمودار تخلخل، برآورد ضریب الاستیک در مخازن و شبیه‌سازی نمودار فتوالکتریک سازندهای نفتی اشاره کرد.

هدف نمودار صوتی، اندازه‌گیری زمان عبور موج صوتی در یک فاصله معین از سازند است و برای این منظور از یک فرستنده و یک گیرنده که با فاصله مشخص از همدیگر روی دستگاه نصب می‌شوند، استفاده می‌شود؛ گاه از دو گیرنده و یک فرستنده استفاده می‌شود. نمودار صوتی برای اولین بار در سال ۱۹۵۴ به عنوان

در صنعت نفت تعیین ویژگی‌های پتروفیزیکی مخزن، یکی از مهم‌ترین متغیرهای کلیدی در مدیریت، تولید، توسعه و برآورد ویژگی‌های مهندسی مخازن هیدروکربوری به‌شمار می‌رود. راهبرد لازم برای یک مدیریت مؤثر، تنها پس از به‌دست آوردن تصویری دقیق از ویژگی‌های سنگ مخزن به‌دست می‌آید (Honarpour et al., 2006). دلایلی همچون صرف زمان و هزینه گزاف و قابلیت انجام محدود آن در شمار کمی از چاه‌ها از یک سو و نبود مغزه‌های کافی و تغییرات سنگ‌شناسی و ناهمگنی سنگ مخزن از سوی دیگر سبب شده که تعیین این متغیرها با روش‌های معمول از دقت چندانی برخوردار نباشد. همچنین در پاره‌ای از موارد به‌دلیل آسیب دیدگی نمودارهای دیرین و یا نبود نمودارهای پیشرفته جدید در برخی از چاه‌ها، امکان ارزیابی دقیق پتروفیزیکی یک چاه میسر نیست.

شبکه‌های عصبی برای حل مسائلی به کار می‌روند که فرمول آنها ناشناخته است؛ مدل علت و معلولی یا برای آنها وجود ندارد و یا با ابهامات قابل ملاحظه‌ای همراه است (Chi et al., 1984). این شبکه‌ها می‌توانند بدون صرف هزینه، زمان و بدون نیاز به داده‌های تکمیلی در ارزیابی ویژگی‌های پتروفیزیکی مورد استفاده قرار گیرند. امروزه روش‌های هوشمند قابلیت بسیار بالایی در جهت برآورد و پیش‌بینی ویژگی‌های مخزنی دارند و نشان داده‌اند که با وجود ناهمسانگردی‌های فراوان و نبود یکساختی سنگ‌ها در جهات عمودی و افقی می‌توانند در جایی که به‌دلایل مختلف، نمودارهای چاه و به‌ویژه مغزه‌های حفاری وجود ندارد بهترین و قابل اعتمادترین روش برای پیش‌بینی ویژگی‌های مخزن باشند. توصیف ویژگی‌های سنگ و سیال مخزن به‌دلیل محدودیت شرایط آزمایشگاهی، طبیعی و فنی، از جذاب‌ترین موضوعات برای پژوهشگران نفتی که روی هوش مصنوعی و به‌ویژه شبکه‌های عصبی مصنوعی کار می‌کنند، است (Mohaghegh et al., 1996; Nikravesh & Aminzadeh, 2001; Moradi et al., 2011; Jeirani & Mohebbi, 2010; SaritDutta & Gupta, 2006). موضوعات پتروفیزیکی و نمودارگیری در بخشی از سازند که امکان راندن سوند در آن نیست و یا نمودار به‌دست آمده قابل

سری داده بر پایه مقدار ژرفا از روی هر دو نگار موجود خوانده شد که نمونه آن در جدول ۱ ارائه شده است.

پس از آنکه شبکه به‌طور کامل طراحی شد می‌توان با استفاده از نگار گاما که برای سراسر بازه بدون نگار صوتی موجود است و همچنین به کمک شبکه مورد نظر، میزان نگار صوتی را برای این بازه برآورد کرد. به همین دلیل ۱۹۸ سری داده برای این بازه گردآوری شد که نمونه آن در جدول ۲ است.

### ۵- طراحی و توسعه شبکه عصبی

مطابق شکل ۳ در مرحله اولیه، ابتدا بهترین نوع شبکه از راه سعی و خطا انتخاب و طراحی می‌شود که در آن ۶۰٪ از داده‌ها برای آموزش شبکه، ۲۰٪ برای ارزیابی و ۲۰٪ برای آزمون شبکه تخصیص یافتند. برای به‌دست آوردن بهترین مدل متناسب با داده‌های گردآوری شده از روی نگارهای موجود مدل‌های مختلفی از شبکه‌های عصبی مورد ارزیابی قرار گرفت که برای ارزیابی هر شبکه از معیار رگرسیون استفاده و بهترین جواب از راه الگوریتم پس انتشار حاصل شد. از دید شمار نرون‌ها و لایه‌های مخفی، شبکه‌ای با دو لایه مخفی و هر کدام دارای ۵ نرون که این نرون‌ها از راه تابع تانژانت هیپربولیک به سیگنال‌های ورودی پاسخ می‌دهند، دارای بهترین جواب بود. در پایان فرایند آموزش مطابق شکل ۴، خطای محاسبه شده رگرسیون برای داده‌های آموزش و ارزیابی به ترتیب ۰/۸۶۳۳۷ و ۰/۸۷۵۸۲ به دست آمد.

در مرحله بعدی برای تعیین بهترین نوع شبکه از راه سعی و خطا، بر پایه ارزیابی هر شبکه از معیار R-square استفاده شد و همانند کار انجام شده برای رگرسیون، در زمینه این نوع از مسائل چاه‌نگاری، در این مقاله نیز بهترین جواب از راه الگوریتم پس انتشار به دست آمد؛ ولی از دید شمار نرون‌ها و لایه‌های مخفی، شبکه‌ای با سه لایه مخفی و هر کدام دارای ۵ نرون که این نرون‌ها از طریق تابع تانژانت هیپربولیک به سیگنال‌های ورودی پاسخ می‌دهند، دارای بهترین جواب بود. این موضوع در شکل ۵ نشان داده شده است و در پایان با توجه شکل ۶ و با پایان فرایند آموزش، خطای محاسبه شده R-square برای داده‌های آموزش و ارزیابی به دست آمدند.

مطابق شکل ۷، در هنگام گردآوری داده‌های مورد نظر از روی ۲ نگار موجود صوتی و گاما بر حسب ژرفا ملاحظه شد که برای بازه‌ای حدود ۳۰ متری به دلیل مشکلات فنی ناشی از لوله‌های جداری، دستگاه‌های مورد نظر توانایی ثبت نگار صوتی را برای بازه مورد نظر نداشته‌اند و بنابراین پس از آنکه شبکه مورد نظر در مراحل پیش به‌طور نسبی از خود عملکرد قابل قبولی نمایش داد، با استفاده از روش ANN به تولید نمودار برای این بخش از چاه پرداخته شد. برای انجام این مورد حساس در وهله اول باید داده‌هایی قابل اعتماد را از روی نمودارهای موجود گردآوری کرد. بنابراین جمعاً ۱۹۸ سری داده که شامل میزان نگار گاما و ژرفا برای بازه بدون نگار صوتی بود گردآوری شد که شماری از آنها در جدول ۳ به نمایش در آمده‌اند و نتیجه حاصل از آن در بازسازی نمودار صوتی در شکل ۸ نشان داده شده است.

در پایان سعی بر آن شد تا با استفاده از مجموع داده‌های تولید و استخراج شده از هر دو نگار، دو معادله خط استنتاج شود که نگاشتی جامع بین نگار صوتی و گاما و همچنین نگار صوتی و ژرفی برقرار کند. در هر دو معادله، تابع خط به دست آمده از نوع Smoothing Spline است. در معادله اول ورودی تابع، میزان ژرفا و خروجی آن میزان نگار صوتی و در تابع دوم ورودی، میزان نگار گاما و خروجی، میزان نگار صوتی هستند. پس از انجام این عملیات ریاضی ۲۲۰ سری داده به‌طور تصادفی انتخاب و در این دو معادله آزمایش شدند که نتایج آنها در شکل ۹ دیده می‌شوند. علت استفاده از این نوع تابع، را می‌توان آن دانست که تابع تولیدی دارای R-square بسیار بالایی است. در معادله اول ورودی تابع، میزان ژرفا و خروجی آن

ابزار اندازه‌گیری تخلخل شناخته شد. این نمودار ابتدا به عنوان وسیله‌ای برای تفسیر اطلاعات اکتشاف لرزه‌ای استفاده می‌شد که بازتابی از سرعت صوت در سنگ‌هاست. اندازه‌گیری نمودار صوتی بر پایه ثبت، مدت زمانی ( $\Delta T$ ) است که امواج صوتی فشارشی (p) در یک فوت از ستبرای سازندگی می‌کنند. بازتاب نمودار نه بر پایه سرعت بلکه بر پایه زمان عبور مقیاس‌بندی شده و واحد آن میکروثانیه بر فوت بوده که محدوده تغییرات آن در نمودارگیری‌های معمولی از ۴۰ تا ۱۴۰ میکروثانیه بر فوت متغیر است. این نمودار بیشتر در تشخیص سنگ‌شناسی و تعیین تخلخل، شکستگی سنگ‌ها و تطابق کاربرد دارد. برای تعیین تخلخل از نمودار صوتی، باید آهستگی زمان را با تخلخل ارتباط داد، اگر سنگ دارای شیل باشد در اندازه‌گیری زمان عبور ( $\Delta T$ ) مؤثر خواهد بود. در صورت وجود حفره و یا شکستگی در سازند، موج صوتی تمایل به نادیده گرفتن آنها دارد و آن را به صورت تخلخل ثانویه در نظر می‌گیرد. بنابراین تخلخل حاصل از نمودار صوتی معمولاً کمتر از تخلخل واقعی کل است.

### ۲- منطقه مورد مطالعه

میدان نفتی مورد مطالعه که در شکل ۱ نشان داده شده است، یکی از میدانی مشترک نفتی بین ایران و عراق است که سوی عراقی آن میدان جبل فوقی نام دارد. این میدان دارای کلاهیگ گازی و نفتی با سولفور ۵/۱٪ است. درجه سبکی نفت در لایه آسماری آن ۱۷/۹ درجه و در لایه پنگستان آن ۲۱/۴ درجه است. از آنجا که نفت این منطقه از نوع سنگین است و فشار طبیعی مخزن به تنهایی جوابگوی استمرار تولید نفت نیست، بنابراین برای آسان کردن استخراج نفت از این میدان لازم است از تلمبه‌های نفت بر سر چاه‌ها استفاده شود.

میزان نفت خام در جای میدان نفتی یادشده بیش از ۱۹۵۶ میلیون بشکه برآورد شده است. البته ذخیره نفت خام این میدان که در بخش عراقی با نام میدان نفتی جبل فوقی یا فکه شناخته می‌شود ۷/۵ میلیارد بشکه است که تنها بخشی از آن قابل استحصال است.

### ۳- طراحی شبکه عصبی

دلیل اصلی برای طراحی این شبکه تولید نمودار صوتی است که به واسطه کاربردهای فراوان مانند برآورد تخلخل، تعیین سنگ‌شناسی به کمک نمودارهای دیگر، بررسی کیفیت سیمانکاری پشت لوله جداری، شناسایی پهنه‌های خرد شده، شناسایی لایه‌های شیلی تحت فشار، برآورد مدول‌های الاستیکی و برآورد جرم مخصوص از یک سو و همچنین داشتن هزینه‌های بسیار گزاف از سوی دیگر، تصمیم بر آن شد که با برنامه‌ریزی در زمینه سازو کاری قوی و انعطاف‌پذیر در قالب شبکه‌های عصبی به طراحی شبکه‌ای پرداخته شود که با داشتن کمترین اطلاعات، توانایی برآورد این نمودار ارزشمند را با دقتی بالا داشته باشد. شکل ۲ روند انجام مقاله و شکل ۳ طراحی این شبکه را نشان می‌دهند.

### ۴- گردآوری داده‌ها

با تعیین ستبرای ناحیه تولیدی در چاه مورد مطالعه، نوبت به گردآوری داده‌ها برای ساختن یک مرکز داده می‌رسد که مهم‌ترین بخش طراحی شبکه است؛ چرا که دقت شبکه‌های عصبی به شدت تحت تأثیر کیفیت داده‌های گردآوری شده است. دلیل اصلی برای طراحی این شبکه تولید نگار صوتی برای یک بازه ژرفی مخصوص است که به دلیل مشکلات مربوط به لوله‌های جداری توانایی ثبت این نمودار برای دستگاه موجود نبوده است. بنابراین در طراحی تصمیم بر آن شد که میزان نگار گاما به همراه ژرفای خوانش و به عنوان فاکتورهای ورودی و میزان خوانده شده از روی نگار صوتی به عنوان فاکتور خروجی برای شبکه تعیین شوند. در طول این مرحله ۲۰۹۲

برابر با  $0/87175$  به دست آمد. میزان قابل قبول برای R – square برای این گونه از مسائل برابر با  $0/7$  و به بالاست. همچنین با توجه به شکل نمودار R – square برای کل داده ها می توان این نکته را برداشت کرد که شبکه در همه طول بازه قابلیت برآورد میزان نگار صوتی را با دقتی بالا دارد.

– با تأیید قابلیت اعتماد مقادیر R – square نگار صوتی برای دسته دوم داده ها که ۱۹۸ سری هستند و تنها میزان نگار گاما و ژرفای آنها مشخص بود به عنوان ورودی شبکه مدنظر قرار گرفت و میزان نگار صوتی توسط شبکه برآورد شد. با طراحی و آزمایش کامل شبکه، برای محدوده ای که نگار صوتی موجود نبود مدل سازی انجام و شبکه ای با ورودی نگار صوتی و ژرفی و خروجی نگار گاما طراحی شد تا بتواند میزان گامای خروجی را با گامای نمودار برای آن بخش از نمودار صوتی که تولید شده بود، مقایسه کند. در پایان میزان R – square به دست آمده برابر با  $0/6489$  شد که قابل قبول نیست. در مرحله دوم این داده ها به شبکه خوراندن شدند و عکس العمل و خروجی شبکه برای این داده ها ثبت و نتیجه آن بازسازی محدوده فقدان نمودار صوتی در عمق نشان داده شده در نگار ثبت شده بود.

– با توجه به مقادیر R – square به دست آمده و همچنین نتایج کار پیشین می توان این گونه استدلال کرد که نتایج مبتنی بر ژرفا به مراتب دقیق تر از نتایج مبتنی بر نگار گاما هستند.

مقدار نگار صوتی و در تابع دوم ورودی، میزان نگار گاما و خروجی مقدار نگار صوتی هستند. شکل ۱۰ خروجی حاصل از تابع یاد شده را بر پایه داده های استخراج شده نشان می دهد.

پس از انجام این عملیات ریاضی ۲۲۰ سری داده به طور تصادفی انتخاب و در این دو معادله آزمایش شدند که نتایج آنها در شکل ۱۱ دیده می شود.

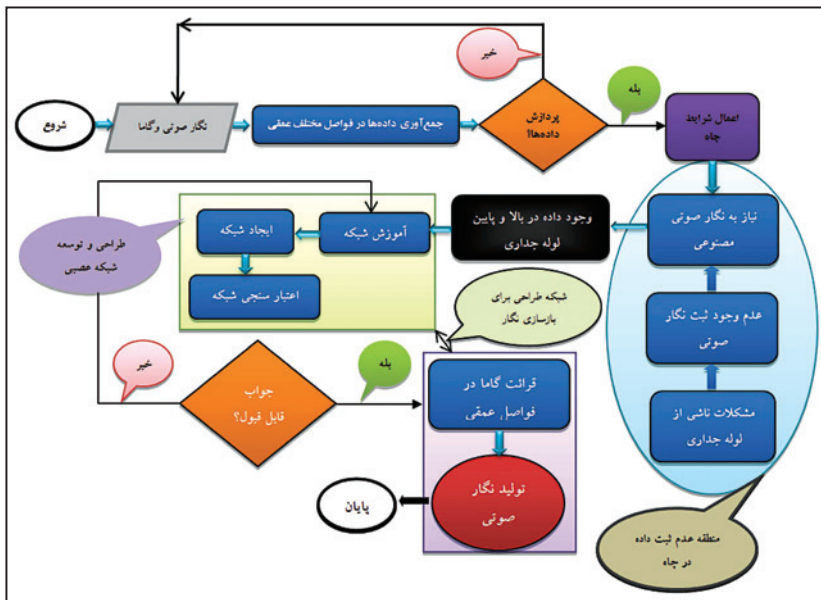
### ۶- نتیجه گیری

بر پایه کارها و ارزیابی های انجام شده در این زمینه می توان موارد زیر را به عنوان نتایج حاصل از این مقاله ارایه کرد:

– مقدار رگرسیون برای داده های آزمون برابر با  $0/88211$  به دست آمد. میزان قابل قبول رگرسیون برای این گونه از مسائل  $0/7$  و به بالاست.

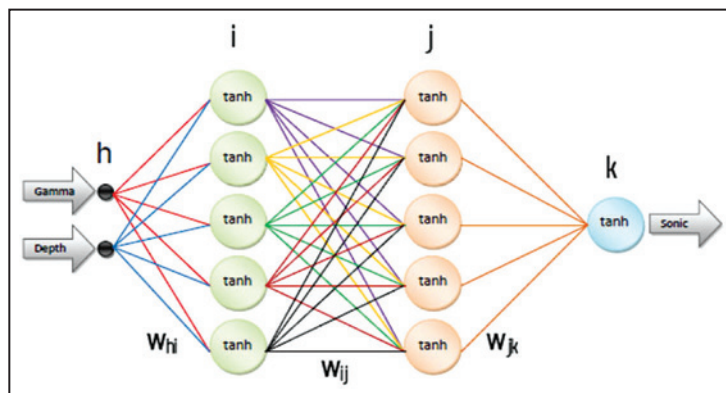
– پس از آنکه شبکه به طور کامل طراحی و آزمایش شد، شبکه ای با ورودی نگار صوتی و ژرفا و خروجی نگار گاما طراحی شد تا بتواند میزان گامای خروجی را با گامای واقعی مقایسه و به نوعی شبکه اول را به شکلی دیگر آزمایش کند. اما به دلیل کمبود داده های مختلف و مسائل فنی این بخش با خطای زیادی رو به رو شد و در پایان میزان رگرسیون به دست آمده برابر با  $0/5289$  شد که قابل قبول نیست.

– مقدار R – square برای داده های آزمون برابر با  $0/88211$  و برای کل داده ها نیز



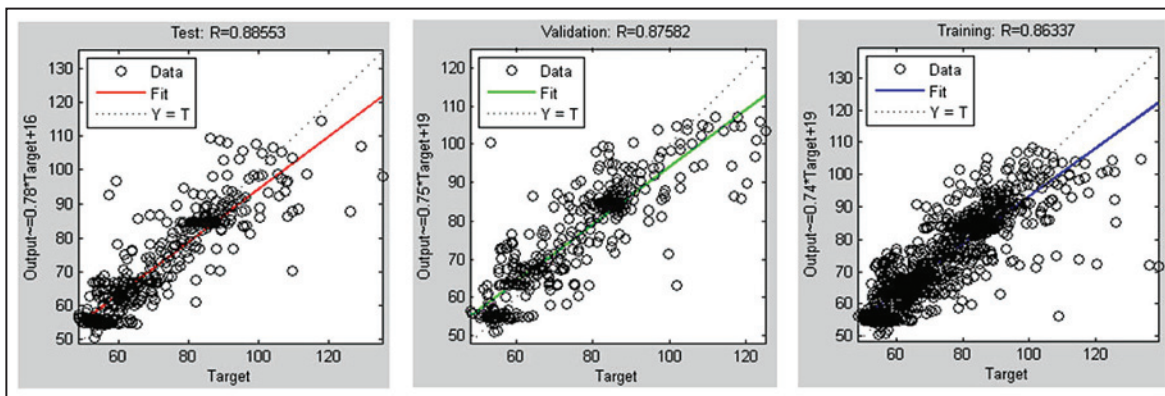
شکل ۱- میدان نفتی مورد مطالعه.

شکل ۲- ساختار قالبی روش انجام طراحی شبکه.

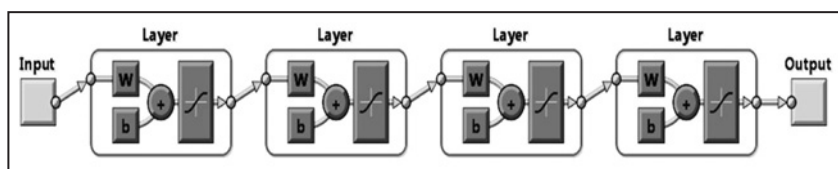


شکل ۳- ساختار نمادین شبکه طراحی شده.

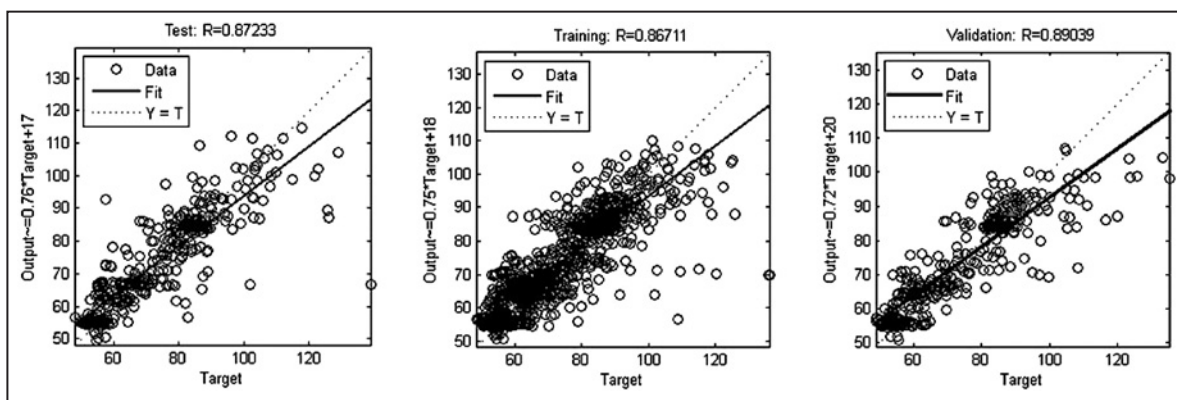




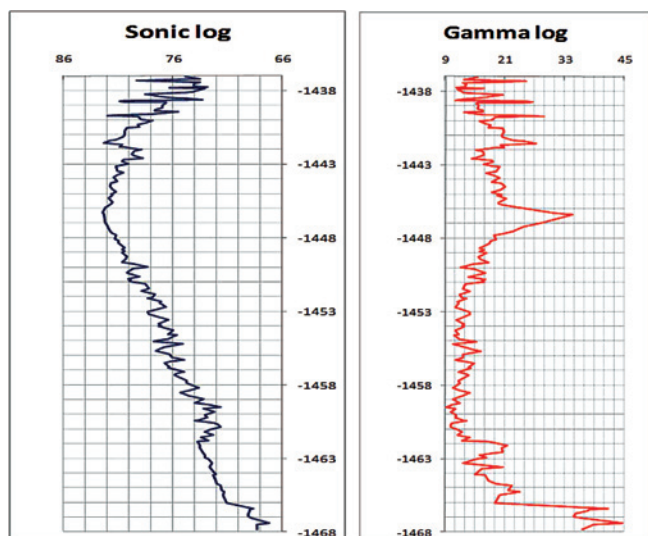
شکل ۴- میزان ضریب رگرسیون برای داده‌های مربوط به آموزش و ارزیابی.



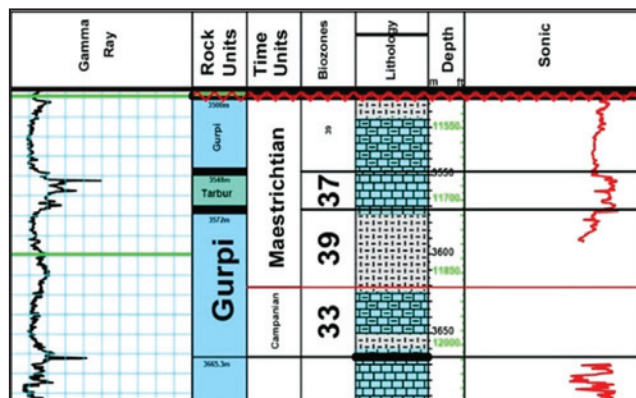
شکل ۵- ساختار شبکه طراحی شده در MATLAB.



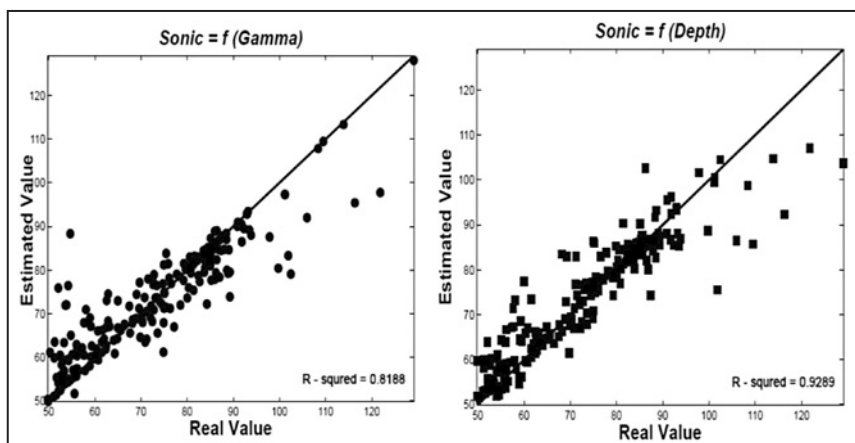
شکل ۶- میزان R-square برای داده‌های مربوط به آموزش و ارزیابی.



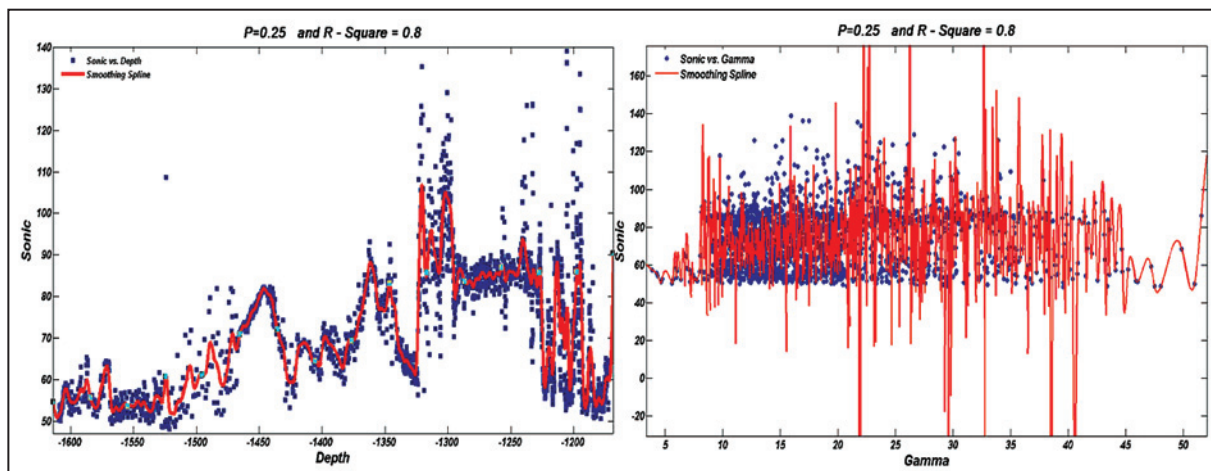
شکل ۸- بازسازی نمودار صوتی از روی نگار گاما.



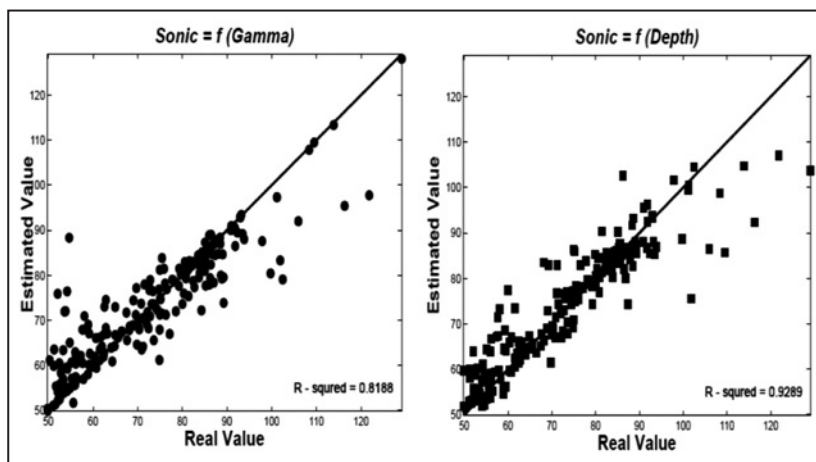
شکل ۷- محدوده نبود نمودار صوتی ثبت شده در ژرفای چاه.



شکل ۹- برآورد مقدار نگار صوتی بر حسب داده های گاما.



شکل ۱۰- خروجی های حاصل از تابع Spiline.



شکل ۱۱- نتایج حاصل از آزمون معادله.

جدول ۳- داده‌های استخراج شده گاما بر حسب ژرفا برای تعیین نگار صوتی.

No.	Input	
	Depth	Gamma
1	-1464.2	8.5
2	-1464.5	8.9
3	-1465.5	10.0
4	-1470.1	9.5
5	-1476.4	20.8

جدول ۲- نمونه‌ای از خوانش داده‌های نمودار گاما بر حسب ژرفا.

No.	Input	
	Depth	Gamma
1	-1464.2	8.5
2	-1464.5	8.9
3	-1465.5	10.0
4	-1466.1	9.5
5	-1466.4	20.8

جدول ۱- داده‌های خوانش شده از روی نگارهای موجود برای منطقه مورد مطالعه.

No.	Input		Output
	Depth	Gamma	Sonic
1	-1380.6	7.3	67.5
2	-1381.8	7.5	60.1
3	-1425.1	6.5	66.3
4	-1468.2	9.2	60.4
5	-1538.9	8.9	59.3

## References

- Al-Bulushi, N., King, P. R., Blunt, M. J. & Kraaijveld, M., 2009- "Development of artificial neural network models for predicting water saturation and fluid distribution", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 68, Issues 3-4, pp 197-208.
- Al-Farhan, A. F., Luis, F. & Ayala, H., 2006- "Optimization of surface condensate production from natural gases using artificial intelligence", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 53, Issue (s1-2), pp 135-147, DOI: 10.1016/j.petrol.2006.05.001.
- Chi, C. Y., Mendel, J. M. & Hampson, D., 1984- A computationally fast approach to maximum- likelihood deconvolution: *Geophysics*, 49, NO.05, 550-565
- Honarpour, M. M., Nagarajan, N. R. & Sampath, K., 2006- "Rock/Fluid Characterization and Their Integration- Implications on Reservoir Management", *Journal of Petroleum Technology*, Vol. 58 (9):120-130.
- Huang, Y. F., Huang, G. H., Dong M. Z. & Feng, G. M., 2003- "Development of an artificial neural network model for predicting minimum miscibility pressure in CO2 flooding", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 37, Issues 1-2, pp 83-95.
- IlcéaFischetti, A. & Andrade, A., 2002- "Porosity images from well logs", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 36, Issues 3-4, pp 149-158.
- Jamialahmadi, M. & Javadpour, F. G., 2000- "Relationship of permeability, porosity and depth using an artificial neural network", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 26, Issues 1-4, pp 235-239.
- Jeirani, Z. & Mohebbi, A., 2006- "Estimating the initial pressure, permeability and skin factor of oil reservoirs using artificial neural networks", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 50, Issue 1, 16, pp 11-20.
- Katz, S. A., Vernik, L. & Chilingar, G. V., 1999- "Prediction of porosity and lithology in siliciclastic sedimentary rock using cascade neural assemblies", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 22, Issues 1-3, pp 141-150.
- Mohaghegh, S. D., Goddard, C., Popa, A., Ameri, S. & Bhuiyan, M., 2000- "Reservoir Characterization Through Synthetic Logs", West Virginia University, 65675-MS, SPE Eastern Regional Meeting, 17-19 October 2000, Morgantown, West Virginia.
- Mohaghegh, S., Arefi, R., Ameri, S., KhashayarAminiand, K. & Nutter, R., 1996- "Petroleum reservoir characterization with the aid of artificial neural networks", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 16, Issue 4, pp 263-274.
- Moradi, G. R., Khoshmaram, A. A. & Riazi, M. R., 2011- "Estimation of properties distribution of C7+ by using artificial neural networks", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 76, Issues 1-2, pp 57-62.
- Nikraves, M. & Aminzadeh, F., 2001- "Past, present and future intelligent reservoir characterization trends", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 31, Issues 2-4, pp 67-79.
- Richardson, S., Ameri, M. & Mohaghegh, S., 1998- "Virtual Magnetic Imaging Logs: Generation of Synthetic MRI Logs from Conventional Well Logs", West Virginia University, 51075-MS, SPE Eastern Regional Meeting, 9-11 November 1998, Pittsburgh, Pennsylvania.
- SaritDutta, J. P. & Gupta, P. 2010- "PVT correlations for Indian crude using artificial neural networks", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 72, Issues 1-2, pp93-109.
- Shirvany, Y., Zahedi, G. & Bashiri, M., 2010- "Estimation of sour natural gas water content", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 73, Issues 1-2, pp156-160.
- William, W., Weiss, B., Jason W. W., Visveswaran V. S. & Xina, X., 2005- "AI applied to evaluate waterflood response, gas behind pipe, and imbibitions stimulation treatments", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 49, Issues 3-4, 15, pp110-121.
- Zahedi, G., Fazlali, A. R., Hosseini, S. M., Pazuki, G. R. & Sheikhattar, L., 2009- "Prediction of asphaltene precipitation in crude oil", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 68, Issues 3-4, pp218-222.
- Al-Farhan, F. A., Luis, F. & Ayala, H., 2006- "Optimization of surface condensate production from natural gases using artificial intelligence", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 53, Issues 1-2, pp135-147.