

## مقایسه نتایج سیستم‌های هوشمند و روابط تجربی در تخمین تراوایی: مطالعه موردی در یکی از مخازن کربناته جنوب ایران

الهام عزیز آبادی فراهانی<sup>۱\*</sup>، عزت الله کاظم زاده<sup>۲</sup> و مجتبی رجبی<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه زمین شناسی

۲- پژوهشگاه صنعت نفت تهران ۳- دانشگاه تهران، دانشکده زمین شناسی

eli\_136211@yahoo.com

### چکیده

تخمین تراوایی که یکی از مهم‌ترین پارامترهای پتروفیزیکی مخازن نفت و گاز می‌باشد، همواره یکی از چالش‌های پیش روی محققین صنعت نفت بوده است. دقیق‌ترین روش برای بدست آوردن این پارامتر، آنالیز مغزه می‌باشد اما، مشکلات تهیه مغزه از یک سو و صرف زمان و هزینه بالا از سوی دیگر، محققان را بر آن داشته است که، تراوایی را از روش‌های غیر مستقیم بدست آورند. از جمله روش‌هایی که از دیرباز برای محاسبه این پارامتر مورد استفاده قرار گرفته، روابط تجربی می‌باشد. اگرچه این روابط در بعضی موارد پاسخ قابل قبولی می‌دهد، ولی موارد بسیار زیادی وجود دارد که پاسخ روابط تجربی چندان جالب نیست. از طرفی در سال‌های اخیر سیستم‌های هوشمند به عنوان یک روش جدید در پیش‌بینی و تخمین پارامترهای پتروفیزیکی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه سعی بر این است که توانایی این دو روش (روابط تجربی و سیستم‌های هوشمند) در یکی از مخازن کربناته، با استفاده از داده‌های مربوط به ۴ چاه (۳ چاه مدل و ۱ چاه آزمون) مورد بررسی قرارگیرد. برای نیل به این هدف، در ابتدا تراوایی با استفاده از روابط تجربی (نظیر رابطه تیمور، تیکسر و ...) محاسبه شده، سپس با استفاده از سیستم‌های فازی و عصبی-فازی، مدل تخمین تراوایی در مخزن مورد نظر ساخته می‌شود. در بین روش‌های استفاده شده، نتایج به دست آمده در مورد سیستم فازی (با ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۸) قابل قبول‌تر می‌باشد. همچنین در بین روابط تجربی، رابطه وایلی-رز بالاترین ضریب همبستگی و کمترین میزان میانگین مربعات خطا را نسبت به بقیه روابط تجربی دارد. با مقایسه نتایج بدست آمده، مدل فازی ساخته شده برای تخمین تراوایی در مخزن مورد بررسی پیشنهاد می‌گردد.

کلید واژه: روابط تجربی، مخازن کربناته، منطق فازی، سیستم عصبی-فازی، تراوایی

## ۱- مقدمه

توانایی عبور یک سیال از محیط متخلخل را، تراوایی می نامند. برای این که یک سازند تراوا باشد، لازم است که سازند متخلخل بوده و فضاهای خالی به هم پیوسته باشند [۱]. دقیق ترین روش برای بدست آوردن این پارامتر، آنالیز مغزه می باشد. اما مشکلات تهیه مغزه از یک سو و صرف زمان و هزینه بالا از سوی دیگر، محققان را بر آن داشته است که این پارامتر را از روش های غیر مستقیم بدست آورند. مرسوم ترین روش غیر مستقیم به منظور دستیابی به تراوایی، روابط تجربی است. اگرچه این روابط در برخی موارد پاسخ قابل قبولی می دهند، ولی موارد بسیار زیادی وجود دارد که پاسخ چنین روابطی به دلیل اینکه این روابط مربوط به منطقه و لیتولوژی خاصی بوده، چندان جالب نیست. از طرف دیگر، امروزه سیستم های هوشمند به عنوان روشی سودمند، در تخمین پارامترهای پتروفیزیکی مورد توجه محققین قرار گرفته اند، این روش ها به دلیل ارزان بودن، بهره وری بالا، صرفه جویی در زمان و به دلیل اینکه در حجم بالای اطلاعات کارایی خوبی از خود نشان می دهند، نسبت به سایر روش ها دارای برتری هستند. به همین دلایل، تکنیک های هوشمند به عنوان یک گزینه مناسب جهت تخمین پارامترهای مختلف در علوم زمین به کمک محققین آمده است. تاکنون مطالعات گسترده ای در مورد تخمین پارامترهای مختلف پتروفیزیکی توسط سیستم های هوشمند صورت گرفته است [۲،۳،۴،۵،۶،۷،۸،۹،۱۰].

## ۲- معرفی روش ها

### ۲-۱- منطق فازی

منطق کلاسیک هر چیزی را بر اساس یک سیستم دوتایی نشان می دهد (صفر یا یک). ولی در منطق فازی، هر چیزی با یک عدد که مقدار آن بین صفر و یک است نشان داده می شود. به عبارت دیگر در مجموعه های فازی درستی یا نادرستی هر چیز با درجه عضویت نشان داده می شود [۱۱]. امروزه منطق فازی به عنوان یک ابزار قدرتمند در علوم مختلف جایگزین ریاضیات کلاسیک شده است، که این امر موجب کاهش پیچیدگی روابط ریاضی حاکم بر مدل ها، انعطاف پذیری در مقابل نظر تصمیم گیرنده و نیز صرفه جویی در وقت و هزینه ها می گردد. مهم ترین قسمت در ساخت مدل با استفاده از منطق فازی، فرآیند فرموله کردن نگاشت ورودی داده شده به یک خروجی یا همان استنتاج فازی می باشد. امروزه انواع مختلفی از سیستم های استنتاج فازی وجود دارد که نوع ممدانی [۱۲] و سوگنو [۱۳] دو نوع پرکاربرد آن ها هستند. این دو نوع سیستم در بسیاری موارد شبیه به هم هستند و تنها تفاوت آن ها در خروجی شان است. به طوری که در سیستم ممدانی خروجی بصورت یک مجموعه فازی است که باید دفازی<sup>۱</sup> شوند، ولی در سیستم سوگنو خروجی بصورت خطی یا ثابت است [۱۴].

### ۲-۲- سیستم عصبی-فازی<sup>۲</sup>

رمز موفقیت منطق فازی در امکان توصیف رفتار سیستم مورد نظر به دستورات و روابط ساده شرایطی<sup>۳</sup> است، که در بیشتر کاربردها این امکان راه حل ساده تر با صرف زمان کمتر را برای طراحی سیستم میسر می سازد. به علاوه تمامی اطلاعات و دانش مهندسی مربوط به چگونگی عملکرد سیستم برای بهینه سازی کارایی آن، به طور مستقیم قابل استفاده است. این امکان

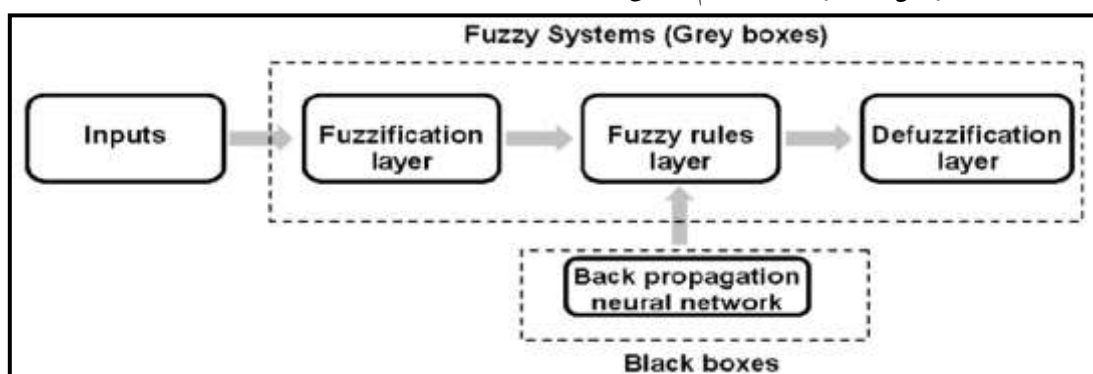
<sup>1</sup> defuzzify

<sup>2</sup> Neuro-Fuzzy

<sup>3</sup> if-then

جالب و قدرتمند منطق فازی در عین حال یک محدودیت بزرگ برای آن محسوب می‌شود. زیرا در بسیاری از کاربردها، دانش مربوط به توصیف رفتار سیستم در خود مجموعه داده‌های آن مستقر می‌باشد، که استخراج اطلاعات آن به صورت دستی، از میان حجم بالای اطلاعات، به زمان بسیار زیاد و دقت بالایی نیاز دارد [۱۵].

تلفیق منطق فازی و شبکه‌های عصبی منجر به ایجاد سیستم عصبی - فازی می‌شود، که حاوی مزیت‌های هر دو سیستم فازی و شبکه عصبی می‌باشد [۱۶، ۱۷]. به عبارت دیگر یک سیستم عصبی - فازی یک سیستم فازی است که برای تعیین پارامتر-هایش (مجموعه‌ها و قوانین فازی) از نمونه آموزشی پردازش شده از الگوریتم آموزش، که بوسیله تئوری شبکه عصبی مشتق-شده و یا الهام گرفته شده، استفاده می‌کند [۲]. در این مطالعه از سیستم استنتاج تطبیقی فازی عصبی (ANFIS) که توسط Jang معرفی گردیده است استفاده شده است [۱۸]. سیستم استنتاج تطبیقی فازی عصبی، یک سیستم استنتاج فازی است که پارامترهای تابع عضویت آن به روش پیش-انتشار به تنهایی و یا همراه با روش حداقل مربعات تعدیل می‌شود [۱۴]. در شکل ۱ بصورت شماتیک، مراحل عملکرد یک سیستم عصبی - فازی نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک نحوه عملکرد یک سیستم عصبی - فازی [۹].

## ۲-۳- روابط تجربی

از جمله روش‌هایی که از گذشته برای محاسبه تراوایی مورد استفاده قرار گرفته، روابط تجربی می‌باشد. به منظور محاسبه تراوایی از روابط تجربی اغلب پارامترهایی نظیر تخلخل موثر، اشباع آب کاهش نیافتنی و فاکتورهای مقاومت سازندی مورد نیاز است. برای بدست آوردن تراوایی در زیر به چند نمونه از این روابط اشاره شده که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

$$\left[ k = \left[ C \cdot \Phi^3 / Swir \right]^2 \right] \quad (1) \quad [19]$$

C: به دلیل کربناته بودن مخزن،  $3 \times 10^6$  در نظر گرفته می‌شود.

$\Phi$ : تخلخل مؤثر بر حسب درصد می‌باشد.

$Swir$ : اشباع آب کاهش نیافتنی که به صورت کسری از یک می‌باشد.

K: تراوایی بر حسب میلی داری می‌باشد.

$$k = (0.136) \cdot \Phi^{4.4} / Swir^2 \quad (2) \quad [20]$$

$\Phi$  و  $Swir$  بر حسب درصد بیان می‌شوند.

$$k = 62500 \Phi^6 / Swir^2 \quad (3) \quad [21]$$

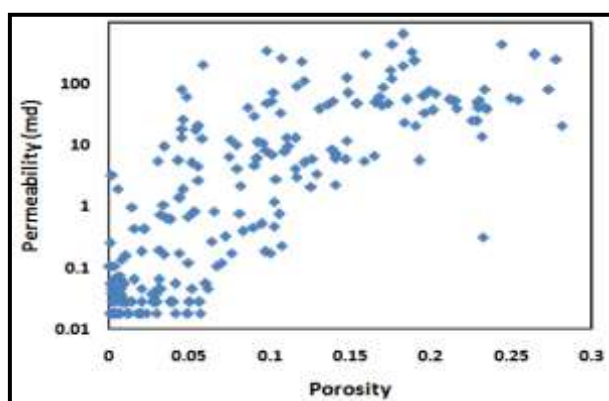
### ۳- تخمین تراوایی با استفاده از منطق فازی، سیستم عصبی - فازی و روابط تجربی

یکی از اهداف مطالعات پتروفیزیکی، تخمین دقیق تراوایی در چاههایی است که، اطلاعات مغزه در آنها به هر دلیلی موجود نمی باشد. در این مطالعه با استفاده از روابط تجربی، منطق فازی و سیستم عصبی - فازی سعی در پیش بینی این پارامتر اساسی شده است. این مطالعه با استفاده از داده های نگارهای چاه پیمایی و مغزه مربوط به ۴ چاه انجام شده است. به این صورت که ابتدا تراوایی توسط منطق فازی و عصبی-فازی و به کمک نگارهای پتروفیزیکی و نرم افزار MATLAB تعیین می شود و در بخش دیگر مطالعه با استفاده از روابط تجربی میزان تراوایی محاسبه و نتایج حاصل از سه روش مذکور با داده های واقعی مغزه مقایسه می شوند.

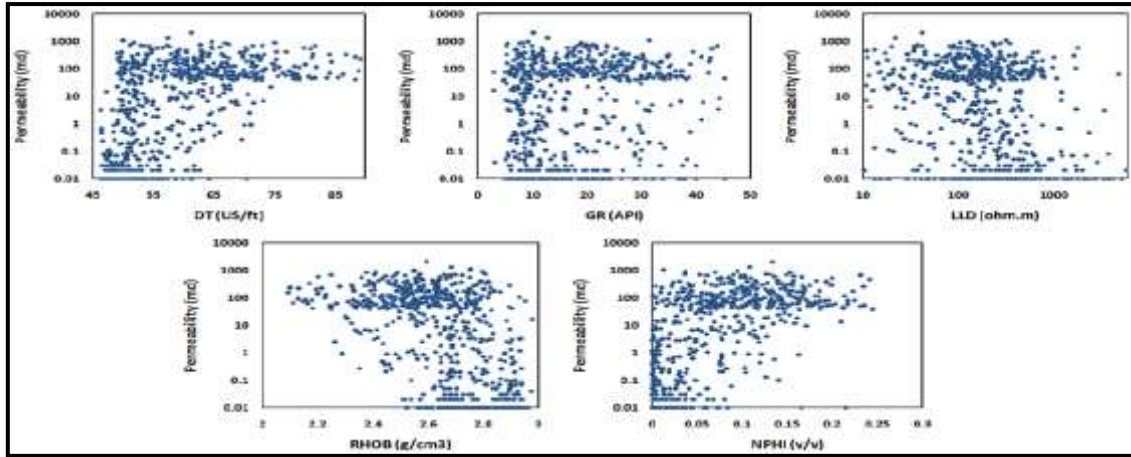
#### ۳-۱- تخمین تراوایی با استفاده از منطق فازی

سیستم فازی طراحی شده دارای پنج ورودی نگار مقاومت (LLD)، نوترون (NPHI)، چگالی (RHOB)، صوتی (DT)، گاما (GR) و یک خروجی (تراوایی) می باشد. در ابتدا داده های مربوط به چهار چاه در یکی از میداین گازی جنوب ایران به دو قسمت، داده های مدل (شامل داده های سه چاه) و داده های آزمون (شامل یک چاه) تقسیم می شوند.

در بین نگارهای موجود، سعی شده است از نگارهایی به عنوان ورودی استفاده شود که بهترین رابطه را با تراوایی داشته باشند. در این مطالعه از نگار کلی گاما، تخلخل و مقاومت به عنوان ورودی استفاده شده است. دلیل استفاده از این نگارها، رابطه منطقی است که، بین نگارهای مذکور و تراوایی وجود دارد. مثلاً نگار گاما بیانگر حجم شیل است و حجم شیل در ارتباط با تراوایی می باشد. همچنین به دلیل رابطه خوب تراوایی با تخلخل در مخزن مورد مطالعه (شکل ۲)، از نگارهای تخلخل (چگالی، نوترون و صوتی) نیز به عنوان ورودی استفاده شده است. نگارهای مقاومت نیز از جمله نگارهایی هستند که، برای شناخت بخش های حاوی هیدروکربن، آب و تشخیص قسمت های تراوا به کار برده می شود. شکل ۳ بیان کننده ارتباط ورودی-ها با تراوایی است.



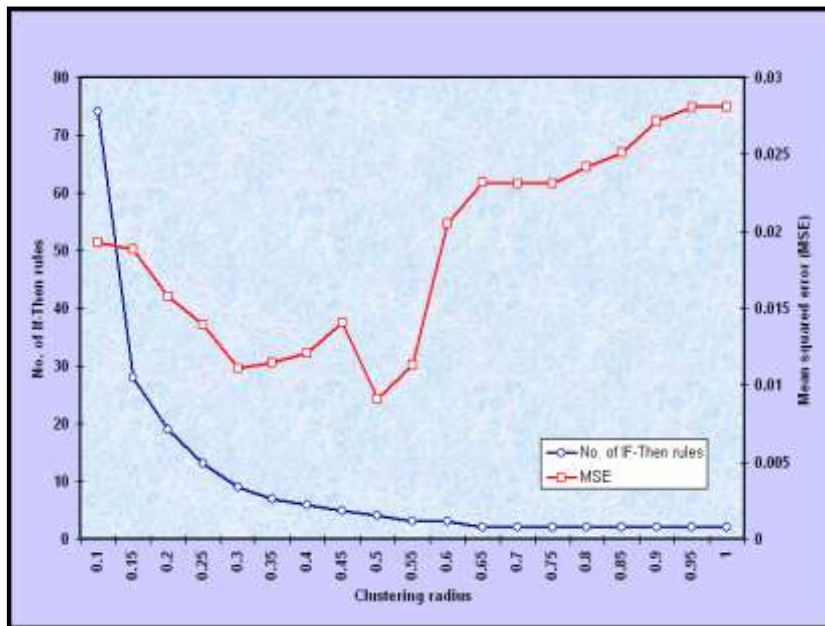
شکل ۲- رابطه تخلخل و تراوایی در یکی از چاه های مورد مطالعه



شکل ۳- ارتباط هر یک از ورودی ها با خروجی مورد نظر (تراوایی).

بعد از مشخص شدن داده‌های ورودی و خروجی، باید توابع عضویت تعریف شوند. برای مشخص کردن تعداد بهینه قوانین و توابع عضویت، ۱۹ مدل فازی بر اساس شعاع دسته‌بندی متفاوت (از ۰/۱ تا ۱) ساخته شده است. برای یافتن کاراترین مدل، تمامی مدل‌ها با داده‌های چاه آزمون (چاهی که به منظور آزمون مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بدین صورت که تراوایی بدست آمده توسط تمام مدل‌ها تخمین زده شده، سپس برای مشخص شدن کاراترین مدل، نتایج مدل‌ها با داده‌های واقعی مقایسه و میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> برای هر مدل محاسبه می‌گردد (شکل ۴ نشان‌دهنده خطای هر مدل و تعداد قوانین روابط ساده شرایطی می‌باشد). بهترین سیستم، سیستمی است که کمترین MSE را داشته باشد (در این مطالعه، سیستم فازی با شعاع ۰/۵ کمترین میزان خطا (۰/۰۰۹۱) را دارد).

در ادامه ویژگی‌های بهترین مدل که کمترین میزان خطا را داشته و به عنوان مدل فازی تخمین زننده تراوایی در این مخزن معرفی شده است آورده می‌شود. در این مدل ابتدا داده‌های دسته‌بندی شده (داده‌های مدل) با استفاده از تابع عضویت نوع گوسی تعریف می‌شود (شکل ۵). بعد از مراحل عنوان شده در بالا نوبت به تعریف قوانین اگر-آنگاه و انتخاب عملگرهای فازی می‌رسد که عملگر انتخاب شده در این سیستم (AND) می‌باشد.

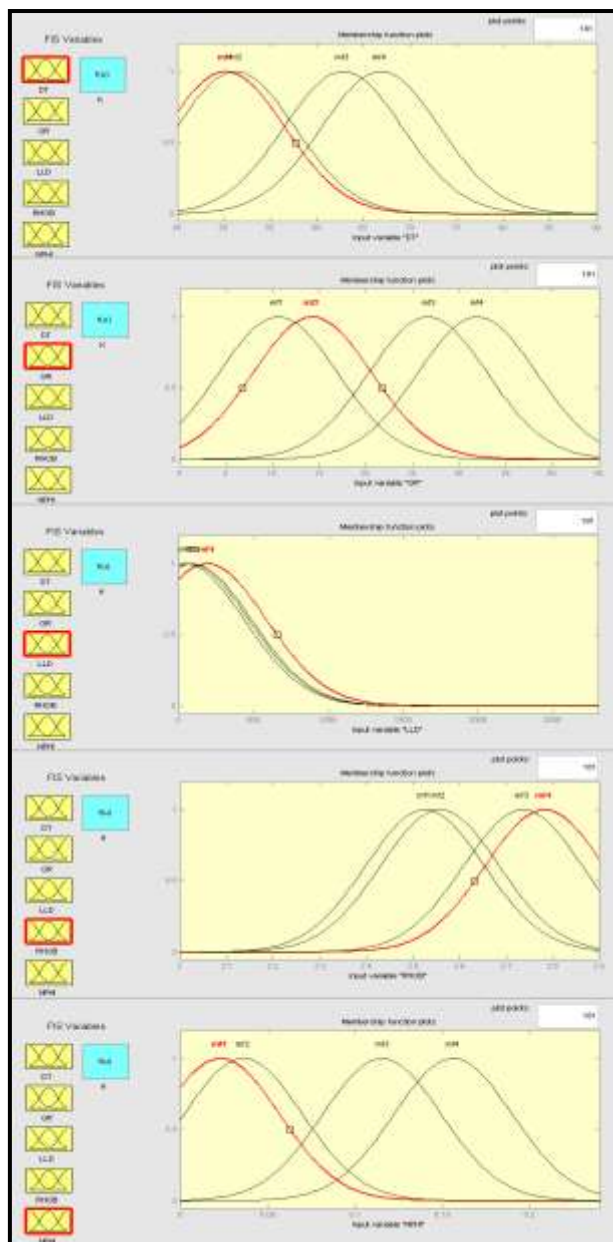


شکل ۴- مقایسه میزان خطا و تعداد قوانین شرطی ۱۹ مدل فازی ساخته شده برای تخمین تراوایی در مخزن مورد مطالعه.

<sup>1</sup> Mean Squared Error

همچنین قوانین موجود به شرح زیر است:

1. If (DT is mf1) and (GR is mf2) and (LLD is mf4) and (RHOB is mf4) and (NPHI is mf1) then (K is mf1)
2. If (DT is mf3) and (GR is mf1) and (LLD is mf3) and (RHOB is mf2) and (NPHI is mf3) then (K is mf2)
3. If (DT is mf2) and (GR is mf4) and (LLD is mf1) and (RHOB is mf3) and (NPHI is mf2) then (K is mf3)
4. If (DT is mf4) and (GR is mf3) and (LLD is mf2) and (RHOB is mf1) and (NPHI is mf4) then (K is mf4)



شکل ۵- توابع عضویت بدست آمده برای داده‌های ورودی با استفاده از دسته‌بندی تفریقی (با شعاع ۰/۵).

همان‌طور که مشخص است، تعداد قوانین به کار رفته در این سیستم چهار قانون می‌باشد که با عملگر AND به هم ارتباط داده شده‌اند.

در نهایت و پس از ساختن سیستم استنتاج فازی (شکل ۶) مراحل زیر و به ترتیب برای داده‌های آزمون به منظور دستیابی به خروجی انجام می‌شود:

۱- فازی سازی ورودی‌ها: در این مرحله، ورودی‌ها توسط توابع عضویت مربوط به مجموعه فازی مناسب، فازی می‌شوند.

۲- اعمال عملگرهای فازی و روش دلالت: در صورتی که مقدمه قوانین شرطی، دارای بیش از یک قسمت باشد، عملگرهای فازی به کار گرفته می شود تا یک عدد که نمایانگر حاصل مقدمه بر آن قانون است بدست آورده شود. سپس این عدد در تابع خروجی به کار گرفته می شود.

۳- اجتماع تمام خروجی ها: روشی است که به وسیله آن تمام مجموعه های خروجی هر قانون را به یک مجموعه فازی واحد ترکیب می کند.

۴- دفازی کردن: ورودی این مرحله نتیجه خروجی مرحله قبل (اجتماع خروجی ها) است که به صورت مجموعه فازی است، در حالی که خروجی نهایی مورد علاقه برای هر متغیر، تنها یک عدد است. پس وظیفه این مرحله تبدیل مجموعه فازی به یک عدد است. در این مطالعه از روش weighted average استفاده شده است.

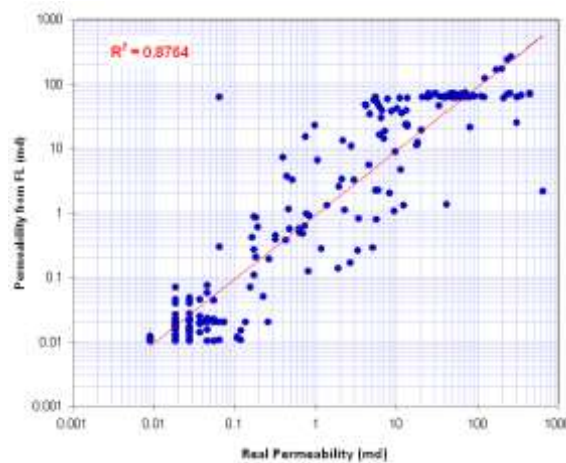
بعد از ساختن سیستم فازی سوگنو نتایج با داده های واقعی مغزه مقایسه گردیده است (شکل ۶).



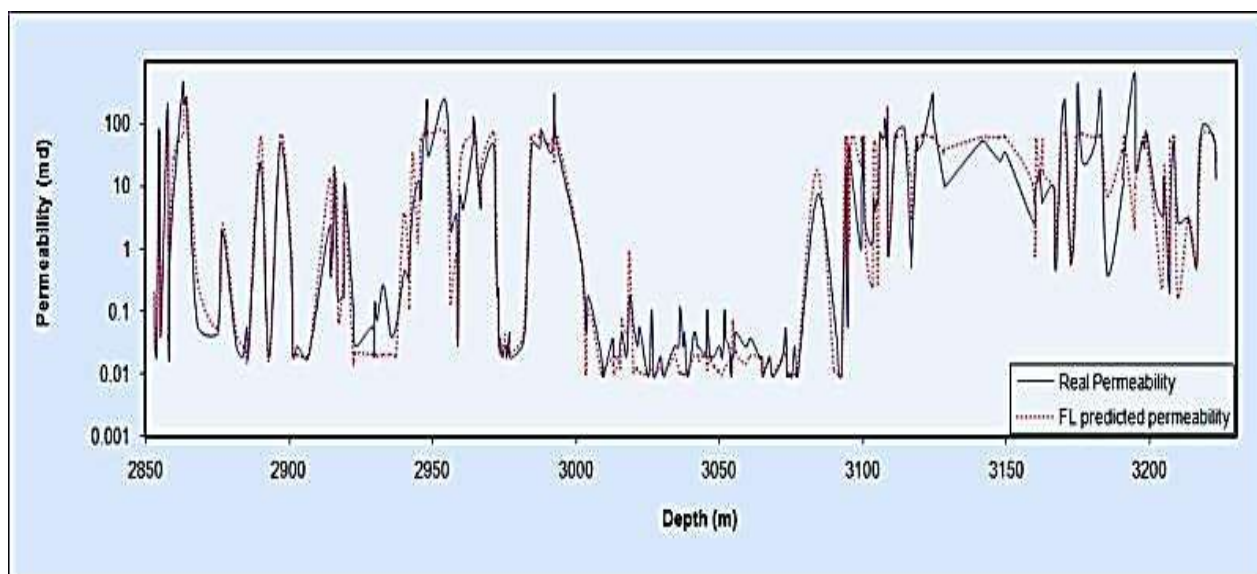
شکل ۶- شمای کلی از سیستم استنتاج فازی ساخته شده در این مطالعه. در این مدل برای ارتباط ورودی ها از عملگر (AND) استفاده شده-

است

ضریب همبستگی بین داده های واقعی و تخمین زده شده از روش فازی ۰/۸۸ می باشد (شکل ۷). همچنین میزان مربعات خطا بین داده های واقعی مغزه و تراوایی بدست آمده از منطق فازی ۰/۰۰۹۱ بدست می آید. مقایسه گرافیکی تراوایی تخمین زده شده توسط سیستم فازی و داده های واقعی مغزه در قابل رویت است (شکل ۸).



شکل ۷- کراس پلات و ضریب همبستگی بین تراوایی واقعی و تراوایی بدست آمده از روش فازی



شکل ۸- مقایسه گرافیکی تراوایی تخمین زده شده توسط مدل فازی و تراوایی مغزه

### ۳-۲- تخمین تراوایی با استفاده از سیستم عصبی-فازی

همانند کار با یک شبکه عصبی مصنوعی، در سیستم عصبی-فازی نیز داده‌ها باید به سه قسمت تقسیم شوند:

۱- داده‌های آموزش: آموزش فرایندی است که شبکه طی آن می‌آموزد تا قانون موجود در ورودی‌های آموزشی را بشناسد.

۲- داده‌های آزمون: به منظور آزمودن مدل

۳- داده‌های اجرا: به منظور اجرای مدل نهایی

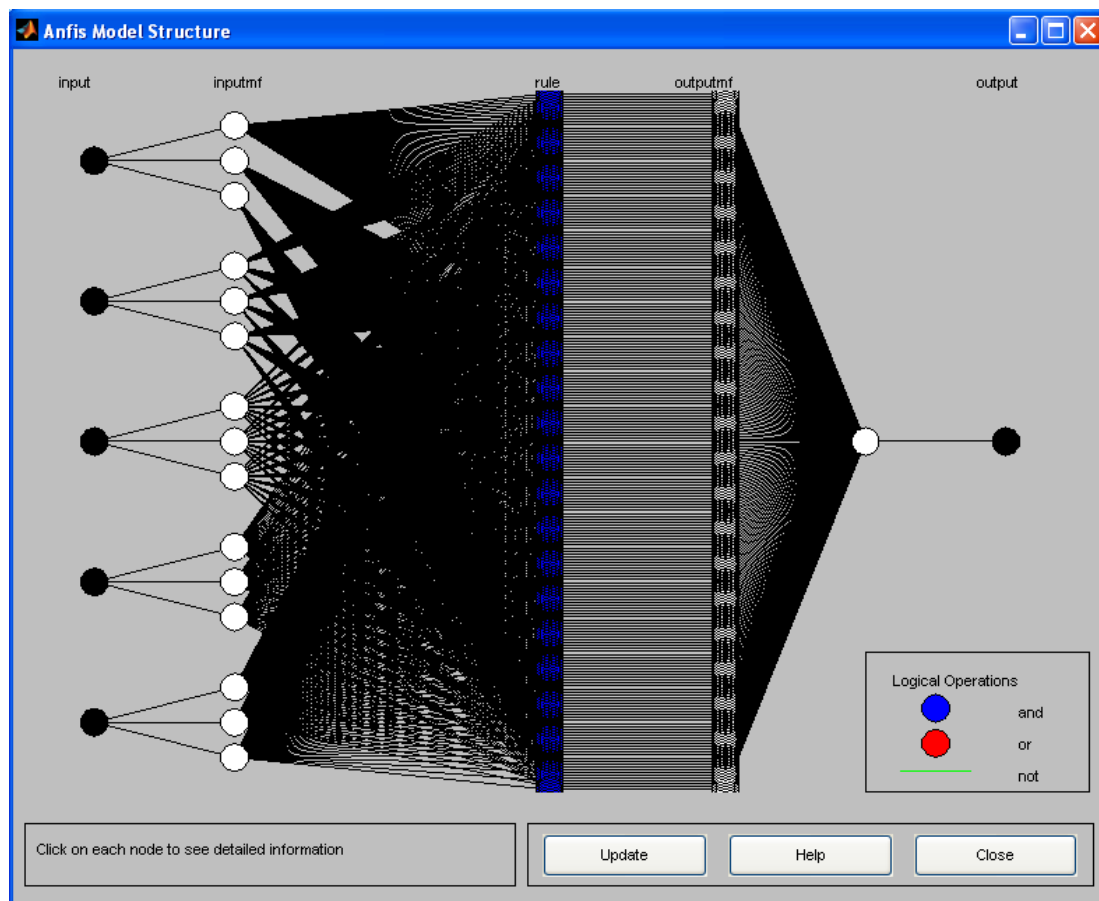
برای انجام این بخش از پژوهش از سیستم استنتاج تطبیقی فازی عصبی در نرم افزار MATLAB استفاده شده است. در این قسمت برای یافتن کاراترین مدل، چندین مدل ANFIS با پارامترهای متفاوت ساخته شده است. از بین مدل‌های ساخته شده، بهترین مدل، مدلی است که، دارای کمترین میانگین خطا باشد. در ادامه ویژگی های بهترین مدل شرح داده می‌شود:

این مدل دارای سه تابع عضویت نوع گوسی است که به وسیله روش قسمت‌بندی شبکه‌ای<sup>۱</sup> برای هر ورودی استخراج شده و پارامترهای بهینه آن‌ها توسط شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشار خطا<sup>۲</sup> محاسبه گردیده‌است. سیستم ساخته شده شامل پنج لایه، ۵۲۴ گره و ۲۴۳ قانون اگر-آنگاه می‌باشد که با عملگر AND با یکدیگر ارتباط داده شده‌اند (شکل ۹).

<sup>1</sup> Grid partitioning

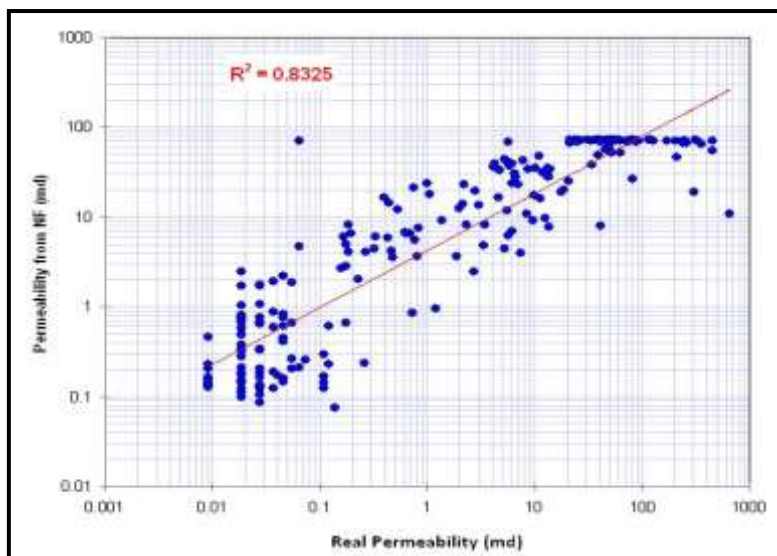
<sup>2</sup> Back propagation





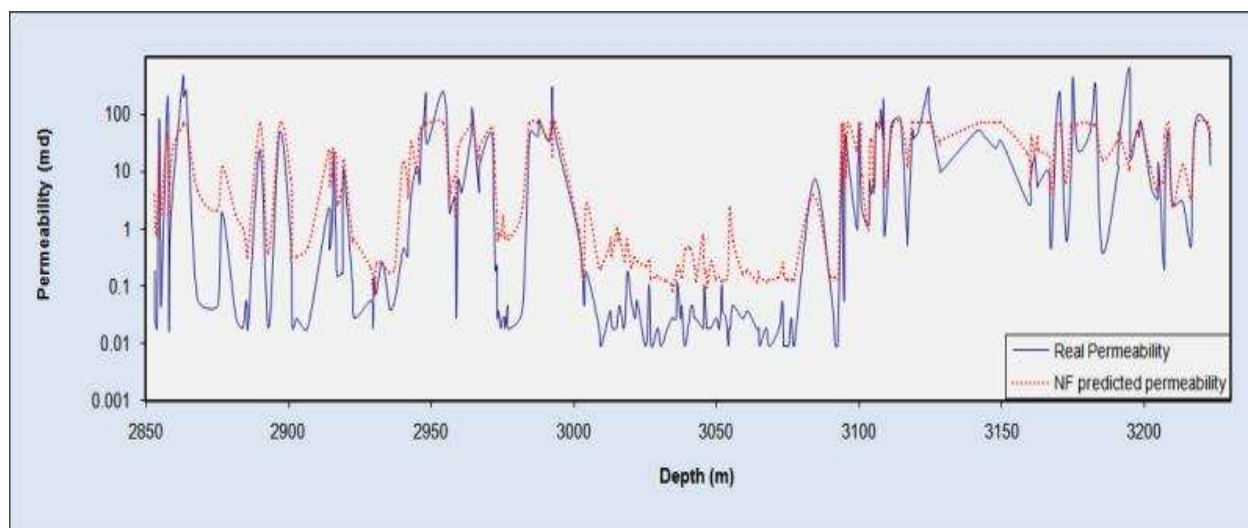
شکل ۹- ساختار سیستم استنتاج تطبیقی فازی عصبی برای فرمولبندی بین داده‌های ورودی و خروجی

پس از ۱۸ دوره آموزشی، خطای مدل به مقدار کمینه خود (۰/۰۳۷) می‌رسد. پس از آموزش سیستم عصبی - فازی، از داده‌های چاه آزمون به منظور تخمین تراوایی استفاده شده، ضریب همبستگی و میزان مربعات خطا، بین تراوایی واقعی و پیش‌بینی شده به ترتیب برابر ۰/۸۳ و ۰/۰۱۱ می‌باشد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- کراس پلات و ضریب همبستگی بین تراوایی واقعی و تراوایی بدست آمده از روش عصبی-فازی.

نمودار مقایسه‌ای تراوایی واقعی و پیش‌بینی شده در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- مقایسه گرافیکی تراوایی تخمین زده شده توسط مدل عصبی - فازی و تراوایی مغزه

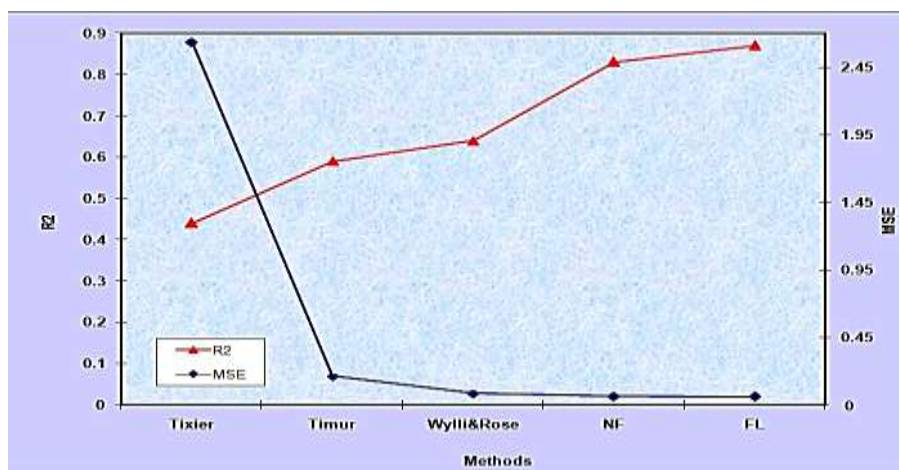
### ۳-۳- تخمین تراوایی با استفاده از روابط تجربی

بیشتر روابط تجربی که برای تعیین تراوایی به کار برده می‌شود، به اشباع شدگی آب کاهش نیافتنی نیاز دارند. در لایه هیدروکربن‌دار که هنوز از آن تولیدی صورت نگرفته باشد اشباع شدگی آب واقعی ( $S_w$ ) به عنوان اشباع شدگی آب کاهش نیافتنی ( $S_{wir}$ ) در نظر گرفته می‌شود [۲۲]. یکی از راه‌های خیلی مفید برای اندازه‌گیری اشباع شدگی آب کاهش نیافتنی، استفاده از ثابت بوکلس است. در این روش، حاصلضرب تخلخل و اشباع شدگی آب ( $\phi \times S_w$ ) در زون‌های هیدروکربنی (بالتر از زون تدریجی) را تعیین کرده و از این پارامتر در زونهای آبی و تدریجی به منظور بدست آوردن اشباع شدگی آب کاهش نیافتنی استفاده می‌گردد [۲۳]. مقدار به دست آمده با استفاده از ثابت بوکلس در این مطالعه برابر با ۰/۰۳۴ می‌باشد.

بعد از محاسبه اشباع شدگی آب کاهش نیافتنی و سایر پارامترهای مورد نیاز در روابط تجربی میزان ضریب همبستگی بین تراوایی واقعی مغزه و رابطه وایلی-رز، تیکسیر و تیمور به ترتیب، ۰/۶۴، ۰/۴۴، ۰/۵۹ بدست آمده است. همچنین میانگین مربعات خطا برای روابط مذکور به ترتیب، ۰/۰۳۴۱، ۲/۶۳۳ و ۰/۱۰۶۱ محاسبه گردیده است.

در شکل ۱۲ نتایج (ضریب همبستگی و میزان مربعات خطا) تمامی روش‌های مورد استفاده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در بین روش‌های استفاده شده، نتایج به دست آمده در مورد سیستم فازی (با ضریب همبستگی ۰/۸۸ و کمترین میزان میانگین مربعات خطا)، نسبت به سایر روش‌ها قابل قبول‌تر می‌باشد.

اگرچه پاسخ روابط تجربی بطور کلی چندان مطلوب نمی‌باشد، ولی رابطه وایلی-رز، بالاترین ضریب همبستگی و کمترین میزان میانگین مربعات خطا را نسبت به بقیه روابط تجربی دارد.



شکل ۱۲- نتایج روش‌های استفاده شده در تخمین تراوایی در مخزن مورد مطالعه

#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از روابط تجربی، سیستم‌های استنتاج فازی سوگنو و عصبی-فازی تراوایی در یکی از مخازن گازی تخمین زده شده است. روش‌های به کار گرفته شده دارای روش‌های کاملاً متفاوتی با یکدیگر بوده‌اند و از این رو پاسخ‌های متفاوتی نیز به همراه داشته‌اند. در بین روش‌های استفاده شده، نتایج به دست آمده در مورد سیستم فازی قابل قبول‌تر می‌باشد. ضریب همبستگی سیستم فازی سوگنو برابر با ۰/۸۸ می‌باشد، که نسبت به سایر روش‌ها بهتر می‌باشد. همچنین میانگین مربعات خطای روش فازی از سایر روش‌ها کمتر است. اگرچه پاسخ روابط تجربی بطور کلی چندان مطلوب نبوده است، ولی رابطه وایلی-رز، بالاترین ضریب همبستگی و کمترین میزان میانگین مربعات خطا را نسبت به بقیه روابط تجربی دارد. دلیل نامطلوب بودن پاسخ روابط تجربی می‌تواند به عوامل زیر ارتباط داده شود:

۱) عمده روابط تجربی سعی دارند که تراوایی را تنها با دو پارامتر تخلخل و آب اشباع شدگی محاسبه کنند. حال آنکه تراوایی پارامتر بسیار پیچیده‌ای است (بخصوص در کربنات‌ها)، که با پارامترهای مختلفی در ارتباط می‌باشد.

۲) روابط تجربی مربوط به یک منطقه یا سنگ مخزن خاص می‌باشد و استفاده از این روابط در مناطق دیگر علی-رغم کالیبره‌سازی، به دلیل اینکه خصوصیات سنگ و سیال تغییر می‌کند پاسخ خوبی نمی‌دهد.

در مورد روش عصبی-فازی باید عنوان کرد که در این روش، داده‌ها به سه قسمت آموزش، آزمون و اجرا تقسیم شده‌اند. به عبارت دیگر از داده‌های دو چاه جهت ساخت مدل عصبی-فازی استفاده شده است و بنابراین نتوانسته آن طور که انتظار می‌رفت کارایی خود را نشان دهد. به نظر می‌رسد با افزایش تعداد چاه‌های آموزش، این مشکل نیز برطرف شود.

تعیین مقادیر تراوایی به عنوان یک ویژگی خاص سنگ همواره با دشواری روبرو بوده و با روش‌های عادی و در حیطه اطلاعات زمین‌شناسی امکان تخمین چندان دقیقی به خصوص در مخازن کربنات‌ها را ندارد، زیرا سیستم ایجاد تخلخل و پارامترهای آن در کربنات‌ها و ماسه‌سنگها بسیار متفاوت است. یک سازند کربنات‌ها پیچیدگی‌های بیشتری از نظر مخزنی و پتروفیزیکی دارد و اصولاً رسوبات کربنات‌ها مستعد دیاژنز سریع هستند، که کانی‌شناسی و ساختمان منافذ درون سنگ‌های کربنات‌ها را تغییر می‌دهد. در نتیجه، محاسبه تراوایی با عدم قطعیت‌های زیادی در مورد کربنات‌ها روبرو می‌باشد. به همین دلیل استفاده از این روش‌ها از جمله منطق فازی در مقایسه با بقیه در چنین مخازنی پیشنهاد می‌گردد.

## منابع

- ۱- رضایی، محمدرضا، چهارزی، علی، ۱۳۸۵، "اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی" انتشارات دانشگاه تهران، ۶۶۹.
- ۲- رجبی، مجتبی، بهلولی، بهمن، موسوی، سیدجلال، ۱۳۸۸، "تخمین سرعت موج استونلی از نگارهای پتروفیزیکی با استفاده از ماشین مشاوره هوشمند در سازند سروک دشت آبادان" مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و پنجم، شماره ۲: ۱-۱۰.
- ۳- حق زاده، روح الله، ۱۳۸۴، "محاسبه و ارزیابی تراوایی از روی داده های لاگ و مغزه با استفاده از روشهای پتروفیزیکی و آنالیز رگرسیونی برای سازند قم در میدان گازی سراج" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم تحقیقات، تهران، ۱۰۰.
- ۴- زهیدی، رضا، ۱۳۷۹، "کاربردهای صنعتی منطق و شبکه های عصبی فازی" انستیتو ایزایران، تهران، ۲۸۸
- 5- Cuddy.S.J; 2000; Litho-facies and permeability prediction form electrical loges using fuzzy logic, paper SPE, 49470, 1-12 Saggaf, M. M; Nebrija, Ed. L; 2003; A fuzzy approach for the estimation of facies from wireline logs, AAPG Bulletin 87, 1233-1240.
- 6- Lim J.S; 2005; Reservoir properties determination using fuzzy logic and neural net works from well data in offshore Korea, Journal of Petroleum Science and Engineering, 49,182-192.
- 7- Rezaee M.R.; Kadkhodaie-Ilkhchi A.; Alizadeh P.M; 2008; Intelligent approaches for the synthesis of petrophysical logs. J. Geophys. Eng. 5, 12-26.
- 8- Rezaee M.R.; Kadkhodaie-Ilkhchi A.; Barabadi A; 2006; Prediction of shear wave velocity from petrophysical data utilizing intelligent systems: An example from a sandstone reservoir of Carnarvon Basin, Australia, Journal of Petroleum Science and Engineering, 55, 201-212.
- 9- Rajabi, M.; Bohloli, B.; Gholampour Ahangar, E; 2010; Intelligent approaches for prediction of compressional, shear and Stoneley wave velocities from conventional well log data: A case study from the Sarvak carbonate reservoir in the Abadan Plain (Southwestern Iran), Computers & Geosciences, 36, 647-664.
- 10- Kadkhodaie Ilkhchi A.; Rahimpour-Bonab, H.; Rezaee, M.R; 2009a; A committee machine with intelligent systems for estimation of total organic carbon content from petrophysical data: An example from Kangan and Dalan reservoirs in South Pars Gas Field, Iran, Computers & Geosciences, 35, 459-474.
- 11- Kadkhodaie-Ilkhchi, A.; Rezaee, M.R.; Rahimpour-Bonab, H.; Chehrazi, A.; 2009b; Petrophysical data prediction from seismic attributes using committee fuzzy inference system, Computers & Geosciences, 35, 2314-2330.
- 12- Zadeh,L.A.; 1965; Fuzzy sets, Information and Control, 8, 338-353.
- 13- Mamdani E.H; Assilian S; 1975; An experimental in linguistic synthesis with a fuzzy logic control, Int.J.man-mach.stud, 7, 1-13.
- 14- Sugeno M.; 1985; Industrial applications of fuzzy control, Elsevier Publication Co. 278pp.
- 15- MATLAB user's guide, 2007; Fuzzy logic Toolbox, MATLAB CD-ROM Mathworks, Inc..
- 16- Jang J.S.R.; Sun C.T; Mizutani E.; 1997; Neuro-Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice Hall, 640pp.
- 17- Srinivasan K; Fisher D; 1995; Machine Learning Approaches to Estimating Software Development Effort, IEEE Transactions on Software Engineering, 21(2), 126-137
- 18- Jang J.S.R; 1993; ANFIS: Adaptive-Network-Based fuzzy inference systems, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(3), 665-585.

- 19- Wyllie M.R; Rose W.D; 1950; Some theoretical considerations related to the quantitative evaluation of the physical characteristics of reservoir rock from electrical log data, Trans. AIME, 189, 105-118.
- 20- Timur A; 1968; An investigation of permeability, porosity and residual water saturation relations for sandstone reservoirs, The Log Analyst, 9, 8-17.
- 21- Tixier M.P; 1949; Evaluation of permeability from electric-log resistivity gradient, Oil and Gas Journal, 48, 113-122.
- 22- Crain E.R. 2004. Crain's Petrophysical Handbook; Permeability, Productivity, Reservoir Volume, and Cash Flow. Rocky Mountain House. Alberta Canada. 530 p

## Comparisons of intelligent systems and empirical equation results in permeability prediction: a case study in one of the southern Iranian carbonate reservoirs

Elham Azizabadi Farahani, Ezatallah Kazemzadeh and Mojtaba Rajabi

### Abstract

Prediction of permeability that is one of the most important parameters in oil and gas reservoirs is probably the most challenging issue geologists, petrophysicists, and reservoir engineers have to deal with. This parameter control fluid flow in production stage. The most reliable data of permeability are taken from laboratory analysis of cores. Since coring is a costly and time consuming operation, researchers have tried to predict this parameter from other methods. Empirical equation is one of these methods, but results of these equations are not satisfied for all lithology and reservoirs.

So far, several studies have been carried out for the estimation of reservoir parameters using intelligent systems. These studies indicate the successful role of these methods such as fuzzy logic, neuro-fuzzy and genetic algorithms for reservoir characterization. In this study, we try to compare results of these two methods (empirical equations and intelligent systems) for permeability prediction in a carbonate reservoir. For this purpose, petrophysical and core data of four well in a carbonate reservoir in the Southern Iran were used. At first, using empirical equations permeability was calculated for the test well; then using data of three wells, intelligent models were constructed. A fourth well (test well) from the field was used to evaluate the models. The results show that fuzzy logic result (with  $R^2 = 0.88$ ) is the best method for prediction of permeability in the studied reservoir. Also between empirical equations, result of Wyllie-Rose equation is better than others. Finally we offer the constructed fuzzy model (as a best predictor) for permeability prediction in the studied reservoir.

Keywords: Carbonate reservoirs, Empirical equations, Fuzzy logic, Neuro-Fuzzy, Permeability