

## استفاده از سیستم هوش مصنوعی شبکه‌های عصبی برای شبیه‌سازی داده‌های تخلخل مخزن آسماری

حبیب آخوندی (دانشگاه پیام نور)، محمدرضا کمالی (پژوهشگاه صنعت نفت)، علی کدخدائی (دانشگاه تهران)

### چکیده:

تعیین دقیق تخلخل برای ارزیابی مخازن هیدروکربوری، برای مهندسين نفت از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. معمولاً برای تعیین تخلخل مخازن از دوروش مسقیم (آنالیز مغزه) و غیر مسقیم (ارزیابی داده‌های نمودارهای چاه پیمایی) استفاده می‌شود. تعیین تخلخل با هر یک از این روشها محدودیت‌هایی دارد. هر چند نمودارگیری ژئوفیزیکی در اکثر چاه‌های یک میدان انجام می‌گیرد ولی داده‌های نمودارهای چاه پیمایی تنها قسمتی از تخلخل را نشان می‌دهند. همچنین به دلایل اقتصادی و ناممکن بودن مغزه‌گیری از چاه‌های افقی فقط تعداد محدودی از چاه‌های یک میدان دارای مغزه هستند. در مطالعه حاضر از روش محاسباتی هوشمند شبکه‌های عصبی برای تعیین دقیقتر تخلخل بهره‌گرفته و به همین منظور از داده‌های مغزه و چاه پیمایی دو چاه از مخزن آسماری در یکی از میدان جنوب غرب کشور برای طراحی یک شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشار خطا استفاده شده است. پس از مقایسه نتایج حاصل از شبکه و نتایج مغزه، پارامترهای موثر در شبکه طوری تنظیم گردید تا یک نتیجه مطلوب بدست آید. در نهایت از نتایج این شبکه مطلوب برای پیش‌بینی تخلخل چاه شماره ۳ که فاقد داده‌های مغزه بود، استفاده به عمل آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که تخلخل محاسبه شده از مدل هوشمند شبکه‌های عصبی رضایتبخش است.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه‌های عصبی، الگوریتم پس انتشار خطا، تخلخل، مغزه، نمودارهای چاه پیمایی.

## مقدمه:

تخلخل یکی از مهم ترین پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری است. با تعیین دقیق این پارامتر می توان در مدیریت و ارزیابی مخازن بطور منطقی و صحیح عمل کرد. تخلخل را می توان در آزمایشگاه از طریق آنالیز مغزه و یا با استفاده از داده های نمودارهای نوترون، صوتی، چگالی یا تلفیقی از آنها محاسبه کرد. تخلخل محاسبه شده از طریق داده های این نمودارها دقیق نبوده و تخلخل واقعی را نشان نمی دهند. هر چند تخلخل بدست آمده از طریق آنالیز مغزه از صحت بیشتری برخوردار است، ولی این روش نیز مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می باشد و در چاه های افقی عملاً امکان مغزه گیری وجود ندارد. ولی برعکس مغزه گیری، نمودارگیری ژئوفیزیکی تقریباً در تمام چاه های یک میدان امکان پذیر است. امروزه در صنعت نفت سیستم های هوشمند بعنوان ابزاری قدرتمند برای مدلسازی و تخمین پارامترهای پتروفیزیکی مخازن مانند تخلخل و تراوایی بکار گرفته می شوند. در میان مدل های مختلف هوش مصنوعی، تکنیک شبکه های عصبی جایگاه ویژه ای را کسب نموده است. در این روش نرون های مصنوعی همانند سلولهای مغز انسان توانایی آموزش، یادگیری و پردازش داشته و بصورت موازی عمل می نمایند [۱]. شبکه های عصبی برای آنالیز خصوصیات مخزن از روی داده های چاه پیمایی در کاربردهای علمی استفاده شده اند و مشخص گردیده که این روش ساده، دقیق و کم هزینه است. با توجه به این ویژگی های ممتاز در این مقاله نیز برای تخمین تخلخل از شبکه های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Networks - ANNs) برای تخمین تخلخل مخزن آسماری استفاده شده است [۳].

## بحث:

## شبکه های عصبی مصنوعی (ANN)

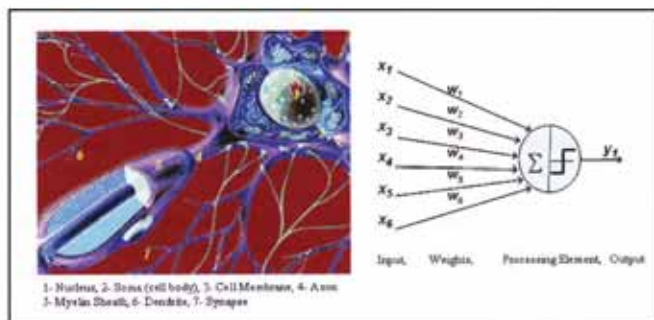
شبکه های عصبی مصنوعی، نوعی شبیه سازی ساختار مغز انسان در قالب یک سیستم مصنوعی می باشد. یک شبکه عصبی برخلاف کامپیوتر، به مدل های ریاضی محض نیازی ندارد، بلکه مانند انسان تجربه کسب کرده و نتیجه این تجربیات را تعمیم می دهد. امروزه این شبکه ها تبدیل به ابزار قدرتمندی

شده اند که برای حل مسائل بسیار پیچیده از قبیل تخمین، تشخیص الگو و طبقه بندی بکار می روند [۴]. این علم در صنعت نفت نیز در حل مسائل تفسیر لاگ های چاه پیمایی، ویژگی های مخزن، بازیافت هیدروکربور و... کاربرد دارد.

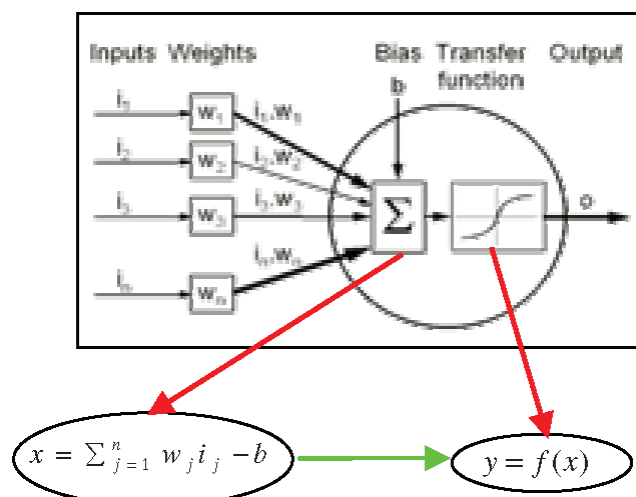
شکل (۱) مدل ریاضی یک سلول را به همراه یک نرون بیولوژیک نشان می دهد. مهم ترین قسمت این سلول عناصر پردازشگر (Processing Elements) می باشد که از یک تابع ترکیب و یک تابع انتقال تشکیل شده است. تابع ترکیب ورودی های مختلف را در اوزان مربوط به خود ضرب می کند و سپس آنها را با هم ترکیب کرده و یک عدد تولید می کند. بعلاوه عناصر پردازشگر دارای یک تابع غیر خطی هستند که تابع تحریک یا تابع انتقال نامیده می شود. ورودی تابع تحریک همان خروجی تابع ترکیب می باشد. برخی از توابع انتقال عبارتند از: Logsig, Purelin, Tansig. بین نرونهای مصنوعی و بیولوژیک یک رابطه نسبی برقرار است که در معادله (۱) بصورت ریاضی بیان شده که از یک تابع ترکیب و یک تابع انتقال (a) تشکیل شده است [۱].

$$y = a \left[ \sum (w_i x_i) \right] \quad (1)$$

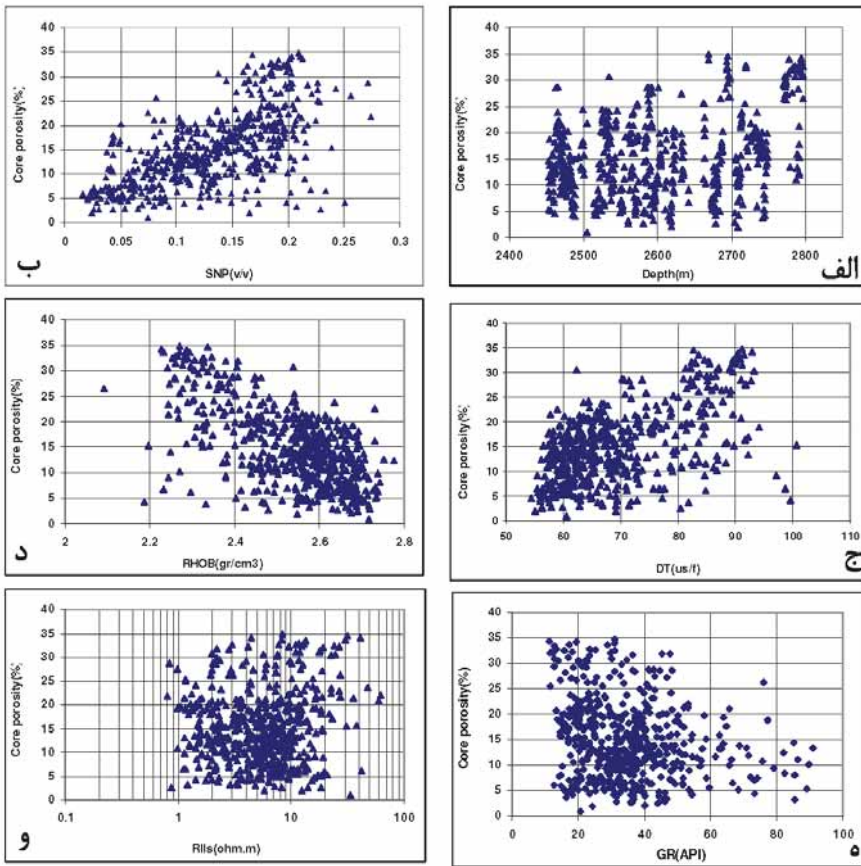
اکثر مواقع سلول عصبی دارای یک ورودی اضافی است که به آن بایاس (Bias)



شکل ۱- نرون بیولوژیک (سمت چپ) به همراه یک نرون مصنوعی شبیه سازی از آن شده (سمت راست)



شکل ۲- مدل ریاضی سلول عصبی به همراه توابع انتقال



شکل ۳- کراس پلات های مختلف نشان دهنده رابطه تخیل مغزه با عمق (الف)، نوترن (ب)، سرعت صوت (ج)، چگالی (د)، پرتو گاما (ه) و مقاومت منطقه کم عمق (و) در چاه شماره ۲ می باشد.

جدول ۱- ضرایب همبستگی (R) به دست آمده در مراحل آموزش و تست برای ورودی های مختلف، توابع انتقال لایه ها و تعداد نرون های لایه میانی

Inputs	No. of hidden layer neurons	Transferfunction 1 → 2	Transferfunction 2 → 3	Epoch	Test	Train
					R	R
SNP,DT RHOB,GR	4	Tansig	Purelin	154	0.69	0.78
Depth,SNP,DT, RHOB	5	Tansig	Purelin	28	0.86	0.89
Depth,SNP, DTRHOB,GR, LLS	5	Tansig	Purelin	198	0.92	0.94
SNP,RHOB LLS,LLD	6	Tansig	Purelin	250	0.90	0.93
Depth,SNP, DTRHOB,GR, PML,LLD	3	Tansig	Purelin	154	0.76	0.80

گویند. شکل (۲) مدل ریاضی سلول عصبی را به صورتی قابل فهم تر نشان می دهد که در آن تابع ترکیب، تابع انتقال (Transfer function)، وزن های (w) مربوط به هر ورودی (i) و بایاس (b) نشان داده شده است. W و b پارامترهای قابل تنظیم شبکه هستند و بر اساس اینکه ورودی - خروجی نرون با هدف خاصی مطابقت کند، تنظیم می شوند و به شبکه کمک می کنند تا الگوهای موجود را بهتر بشناسد. اگر مجموع وزن های سیگنال های ورودی بیش از b باشد، نرون تحریک خواهد شد.

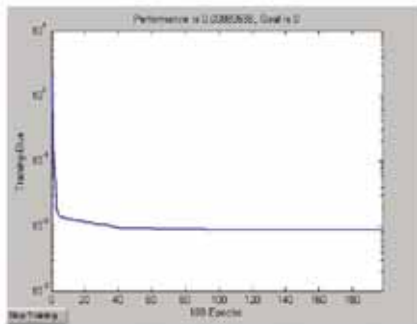
$$x = \sum w_i x_i - b \quad (2)$$

$$y = f(x) \quad (3)$$

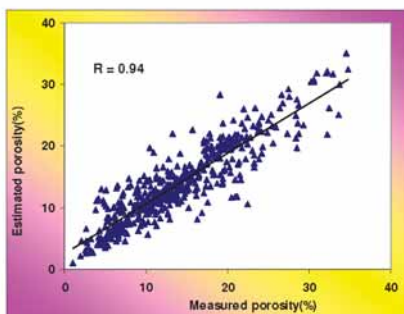
بر اساس نحوه اتصال گره ها به یکدیگر شبکه های عصبی به دو گروه شبکه های عصبی پیشخور (Feed-forward networks) و شبکه های عصبی پسخور (Feed-back networks) تقسیم می شوند. در صنعت نفت برای تعیین خواص پتروفیزیکی مخزن معمولاً از شبکه های پیشخور با الگوریتم پس انتشار خطا (BP) استفاده می شود. الگوریتم پس انتشار خطا یکی از الگوریتم های یادگیری تحت نظارتی است. قانون یادگیری پس انتشار خطا، شامل ارسال مقادیر ورودی به شبکه و محاسبه اختلاف بین خروجی محاسبه شده از شبکه و خروجی مطلوب است. این خطا به شبکه برگشت داده می شود و بر اساس آن پارامترهای شبکه تنظیم می شوند.

### مطالعه موردی:

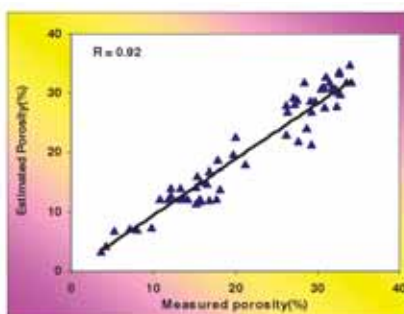
در این مطالعه از اطلاعات مربوط به سازند آسماری استفاده شده است. به طور کلی سازند آسماری با مشخصات سنگ چینه ای، محیط رسوبی و محدوده زمانی الیگوسن تا میوسن زیرین تنها در ناحیه فروافتادگی دیده می شود و از نظر سنگ شناسی به طور اعم کربناتی و شامل آهک رسی و شیل است. در میدان مورد مطالعه سازند آسماری دارای ساختمان تاقدیسی، ۶۷ km طول و ۴-۶ km عرض و شیب ۵ تا ۱۰ درجه می باشد. مخزن آسماری جزو مخازن ساختمانی، دولومیت و شکسته محسوب می شود و به دلیل شکستگی فراوان دارای اهمیت فراوانی است



شکل ۴- منحنی میانگین مربعات خطا بر حسب تعداد دوره در مرحله آموزش



شکل ۵- کراس پلات تخلخل مغزه و تخلخل پیش بینی شده از ANN برای مجموعه آموزش



شکل ۶- کراس پلات تخلخل مغزه و تخلخل پیش بینی شده از ANN برای مجموعه تست با ضریب همبستگی ۰.۹۴.

چاه پیمایی بانمودار داده‌های مغزه، مشخص شد. عمق نمودارهای چاه پیمایی حدود ۱/۱۳ متر بیشتر از داده‌های مغزه می‌باشد که از طریق روابط (۵) و (۶) تصحیح شد.

(۵)

$$Matched\ Depth = Core\ Depth + 1.13$$

(۶)

$$Matched\ Depth = Log\ Depth - 1.13$$

و افق اصلی تولید کننده نفت در نواحی نفت خیز جنوب غرب ایران محسوب می‌شود [۲].

### ارتباط پارامترهای ورودی شبکه (نمودار نوترون، صوتی، چگالی، اشعه گاما، مقاومت و عمق) با پارامتر خروجی مطلوب شبکه (تخلخل)

مهم ترین عوامل تعیین کننده مقدار تخلخل، جورشدگی، گردشدگی، کرویت، آرایش ذرات، فشردگی، سیمان شدن و انحلال هستند [۱]. تعیین مستقیم این پارامترها از روی داده‌های نمودارهای چاه پیمایی غیر ممکن است. برای تشکیل یک شبکه توانمند و مطلوب ارتباط هر یک از پارامترهای ورودی شبکه با تخلخل مورد بررسی قرار گرفت.

تخلخل در همه رسوبات بصورت پیش بینی شده‌ای با افزایش عمق کاهش می‌یابد. در این مطالعه به دلیل استفاده از داده‌های فواصل مخزنی ارتباط عمق با تخلخل مغزه در چاه شماره ۲ مبهم می‌باشد (شکل ۳-الف). در ابزارهای نوترون وجود هیدروژن بیشتر نشانه تخلخل زیاد و برعکس هیدروژن کمتر نشانه تخلخل کمتر است. شکل (۳-ب) نشان می‌دهد که داده‌های نوترون با تخلخل مغزه در چاه ۲ رابطه تقریباً خطی و مستقیم دارد. در شرایط یکسان هر چه تخلخل بیشتر شود، زمان عبور موج صوتی (DT) از سازند بیشتر می‌گردد و برعکس. در این مطالعه ارتباط تخلخل مغزه با DT در چاه شماره ۲ تقریباً خطی و مستقیم است (شکل ۳-ج). مقدار تخلخل با چگالی سازند ارتباط دارد، بطوری که با افزایش چگالی سازند، تخلخل کاهش می‌یابد و برعکس. شکل (۳-د) نشان می‌دهد که رابطه چگالی با تخلخل مغزه در چاه شماره ۲ بصورت خطی و معکوس است، یعنی با کاهش چگالی تخلخل افزایش می‌یابد. نمودار پرتو گاما تا حدی بیانگر حجم رس سازند است. کانی‌های رسی نیز بر تخلخل تاثیر گذاشته و موجب تغییر در نوع و مقدار آنها می‌شوند. شکل (۳-۵) نشان می‌دهد که در چاه شماره ۲ تخلخل مغزه با GR رابطه مبهمی دارد.

عوامل زمین شناسی مختلفی مانند ترکیب سنگ شناسی، مقدار تخلخل و بافت سنگ بر نمودارهای مقاومت و ویژه تاثیر دارند. این پارامترها بطور مستقیم یا غیر مستقیم بر روی تخلخل تاثیر گذار هستند. با توجه به شکل (۳) که ارتباط بین تخلخل مغزه و نمودار مقاومت کم عمق در چاه شماره ۲ بصورت مبهم و پیچیده مشاهده می‌شود.

### آماده سازی داده‌ها برای ورود به شبکه:

برای اطمینان از نتایج حاصل از شبکه، باید یک سری تصحیحات و پردازش‌های مقدماتی روی داده‌ها صورت گیرد. در برخی از فواصل چاه ممکن است ریختگی (wash out) وجود داشته باشد. برای حذف اطلاعات مربوط به این فواصل از رابطه (۴) استفاده کردیم. اگر حاصل این رابطه بیش از ۱/۵ اینچ (برای کرناتها) باشد، این فواصل را جزو پرچم ریختگی چاه محسوب (badhold flag) و داده‌های مربوط به آنها را حذف کردیم.

$$CALIPER - BS)1.5in \quad (4)$$

BS قطر سرته، CALIPER داده‌های مربوط به لاگ کالیپر می‌باشد.

سپس عمل تطابق عمق بین نمودارهای چاه پیمایی (Depth shifting) صورت گرفت. در مطالعه حاضر کراس پلات هر یک از لاگ‌ها را در مقابل عمق ترسیم کرده و با انطباق پیک‌های شاخص آنها مشخص شد که اختلاف عمق بین این لاگ‌ها زیاد نیست و قابل اغماض می‌باشد. همین عمل را برای تطابق عمق بین نمودارهای چاه پیمایی و داده‌های مغزه (Depth matching) نیز انجام دادیم، بعد از انطباق پیک‌های شاخص هر یک از نمودارهای

آموزش و آزمون به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۴ است. شکل (۷) ساختار شبکه استفاده شده در این مطالعه را نشان می دهد. تعداد نرون هادر لایه ورودی برابر باشش و تعداد متغیرهایی است که به عنوان ورودی در نظر گرفته شده اند. برای تعیین نرونهای لایه میانی قانون خاصی وجود ندارد و باید تا حد امکان، سلول های زیادی نداشته باشد. بهترین شبکه انتخاب شده با بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا، در لایه پنهان خود پنج نرون دارد. همچنان که در شکل (۷) دیده می شود تابع انتقال از لایه ورودی به لایه میانی تابع غیر خطی (Tansig) و از لایه میانی به لایه خروجی تابع خطی Purelin می باشد. جدول (۱) ضرایب همبستگی (R) به دست آمده در مراحل آموزش و آزمون را برای ورودی های مختلف، توابع انتقال لایه ها و تعداد نرون های لایه میانی را در شبکه های مختلف نشان می دهد. در شکل های (۸) تا (۱۰) نتایج شبکه تخلخل مطلوب مشاهده می گردد، همانطور که ملاحظه می شود، تخلخل مغزه و تخلخل محاسبه شده از ANN بسیار نزدیک هستند، به همین دلیل نتایج این شبکه به چاه شماره ۳ که فاقد تخلخل مغزه بود، تعمیم داده شد (شکل ۱۰). جدول (۱) ضرایب همبستگی (R) به دست آمده در مراحل آموزش و آزمون را برای توابع انتقال لایه ها، ورودی های مختلف و تعداد نرون های لایه میانی را در شبکه های مختلف تشکیل شده نشان می دهد.

### نتیجه گیری:

۱- نتایج این مطالعه نشان می دهد که شبکه های عصبی، به نوع و ترتیب ورودیها بسیار حساس هستند و باید به ترتیب اهمیت در ماتریس ورودی قرار گیرند. شبکه تخلخل با ورودی های Depth, SNP, DT, RHOB, GR, LLS نتایج بسیار خوبی سرادر دسترس نهاد.

۲- با تجربه ثابت شد انتخاب تعداد نرون های لایه میانی بسیار مهم است که از روش آزمون و خطا به دست می آید. در این مطالعه شبکه تخلخل با ۵ نرون در لایه میانی بهترین نتایج را ارائه کردند.

۳- نتایج این مطالعه نشان می دهد که تطابق خوبی بین تخلخل سنگ

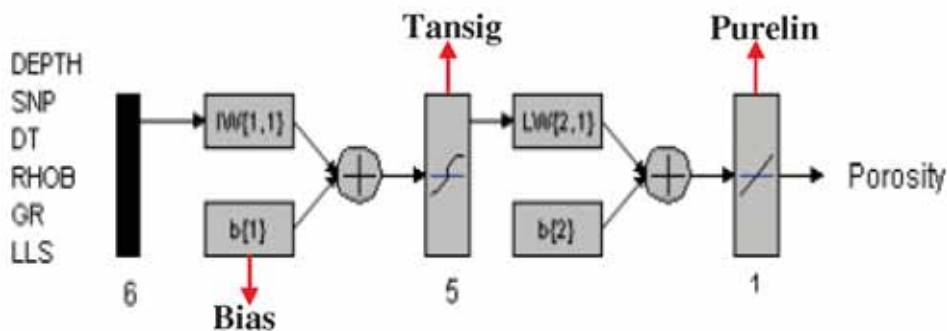
همچنین بهترین حالت برای شبکه های عصبی حالتی است که تمام ورودی ها و خروجی ها بین صفر و یک باشند. به همین دلیل داده های ورودی (داده های نمودارهای چاه پیمایی) و داده های خروجی (داده های مغزه) را از طریق رابطه (۷) در محدوده صفر و یک نرمالایز کردیم تا آموزش شبکه به بهترین شکل ممکن انجام گیرد.

$$A = \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad (7)$$

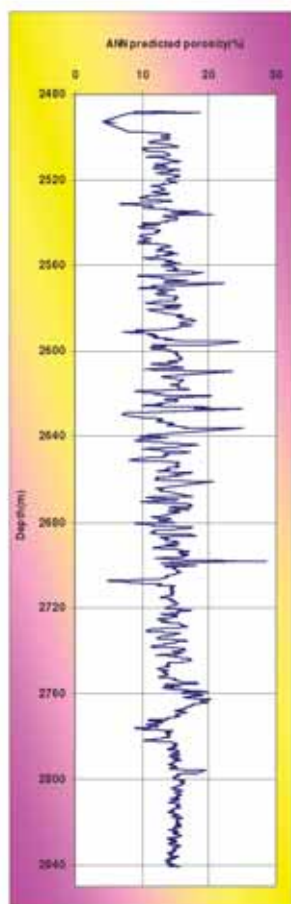
X متغیری است که باید نرمالایز شود، Xmax, Xmin به ترتیب مینیمم و ماکزیمم متغیر X هستند، A نیز مقدار نرمالایز شده متغیر X است که بین صفر و یک قرار دارد.

### تخمین تخلخل با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

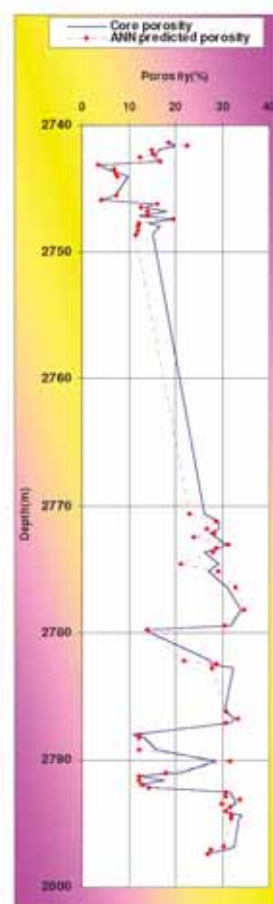
در این مطالعه از سیستم شبکه های عصبی مصنوعی برای تشکیل سلول عصبی تخلخل استفاده شد و با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا (BP) و شبکه پیشخور (Feed-forward) با تابع آموزشی TrainLM نوشته شد. برای یافتن مناسب ترین ورودی ها که شبکه بتواند با استفاده از آنها بهترین جواب را پیش بینی کند از روش آزمون و خطا استفاده شد. با این عمل مشخص گردید که اگر از داده های نمودارهای Depth, SNP, DT, RHOB, GR, LLS به عنوان ورودی استفاده کنیم، ضریب همبستگی (R) خوبی بین تخلخل مغزه و تخلخل پیش بینی شده از شبکه عصبی به دست خواهد آمد. شکل (۴) منحنی میانگین مربعات خطا بر حسب تعداد دوره های آموزشی (Epoch) را برای داده های آموزش نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود، شبکه پس از ۱۹۸ دور به بهترین یادگیری و کمترین خطا رسیده، آستانه خطایی مطلوب صفر و خطای شبکه در حد بسیار ناچیز ۰/۰۰۸۸۰۵۳۹ می باشد. اشکال (۵) و (۶) به ترتیب کراس پلات تخلخل مغزه و تخلخل پیش بینی شده از ANN را در مراحل آموزش و آزمون نشان می دهند. با توجه به این شکلها مشاهده می شود که ضریب همبستگی مجموعه



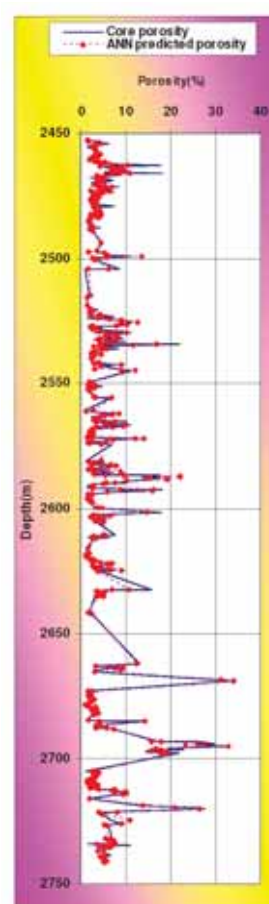
شکل ۷- ساختار شبکه تخلخل، به همراه نرون های لایه ورودی، لایه پنهان، لایه خروجی و توابع انتقال



شکل ۱۰- نمودار تعمیم شبکه تخلخل روی داده‌های چاه شماره ۳



شکل ۹- نمودار مقایسه تغییرات تخلخل مغزه و تخلخل تخمین زده شده از ANN با افزایش عمق



شکل ۸- نمودار مقایسه تغییرات تخلخل مغزه و تخلخل تخمین زده شده از ANN با افزایش عمق

### منابع:

- 1- Aminzade, F., de Groot, P., 2006. Neural networks and other soft Computing Techniques with application in the oil industry. EAGE Publications.
- 2- Bhatt, A., Hell, H.B., 2002. committee neural networks for porosity and permeability prediction from well logs. Geophysical prospecting, 50, 645-660.
- 3- Mohaghegh, S., Ameri, S., 1995. Artificial Neural Network as a valuable Tool for Petroleum Engineer. SPE, 29220.
- 4- Mohaghegh, S., Arefi, R., Bilgesu, H.I., Ameri, S., Rose, D., 1994. Design and development of an artificial neural network for estimation of formation permeability. 28237, proceeding of SPE petroleum computer conference, Dallas TX.

، فشار مو بینگی، در صد اشباع آب، حجم ذخیره و... استفاده گردد.

### منابع فارسی:

- ۱- رضایی، محمدرضا، چهارزی، علی، ۱۳۸۵، اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- مطیعی، همایون، ۱۳۷۲، زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس، سازمان زمین شناسی کشور.
- ۳- منهاج، محمد باقر، ۱۳۸۱، هوش محاسباتی (جلد اول)، مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

مخزن آسماری حاصل از آنالیز مغزه و تخلخل بدست آمده از شبکه عصبی طراحی شده در این مطالعه وجود دارد. لذا این شبکه قادر به تخمین قابل قبول تخلخل در سایر چاه‌های میدان مورد مطالعه، که از آنها داده‌های مغزه در دست نیست، می باشد.

### پیشنهادهات:

با توجه به دقت بالا و نتایج قابل قبولی که از این مطالعه با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی برای تخمین پارامتر مخزنی تخلخل به دست آمد، پیشنهاد می شود که از این روش در ساخت مدل‌های هوشمند از مخزن مورد مطالعه برای تخمین سایر پارامترهای مخزنی مانند تراوایی، شعاع گلوگاه‌های تخلخل