

## انتخاب الگوریتم بهینه شبکه عصبی در تحلیل روسازی‌های انعطاف‌پذیر راه‌ها

غلامعلی شفا بخش<sup>۱</sup>، حسین نادرپور<sup>۱</sup>، فاضل فصیحی<sup>۲\*</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>واژگان کلیدی:</b> روسازی‌های انعطاف پذیر، تحلیل، اجزای محدود، شبکه عصبی مصنوعی، انتشار برگشتی.</p>	<p>تحلیل روسازی‌های راه‌ها همواره بدلیل شناخت بهتر رفتار آنان تحت شرایط متفاوت از اهمیت بالایی برخوردار بوده و باعث درک بهتر و در نتیجه طرح روابط دقیق‌تر می‌گردد. در زمینه تحلیل روسازی‌ها، نرم‌افزارهای بسیاری ایجاد شده‌اند که بیشتر آنان بر پایه تئوری چند لایه‌ای و تعداد کمی بر اساس روش اجزای محدود ساخته شده‌اند. مشکل اصلی موجود در تمامی آنان، نیازشان به داده‌های ورودی زیاد، زمان بر بودن فرآیند مدل‌سازی و شبیه‌سازی تنها یک مقطع در هر زمان می‌باشد. از طرف دیگر شبکه‌های عصبی مصنوعی، به عنوان یکی از شاخه‌های علم هوش مصنوعی دارای مزایای زیادی است که از آن جمله می‌توان به محدود نمودن تعداد داده‌های ورودی، سرعت بالای فرآیند مدل‌سازی، توانایی مدل‌سازی همزمان چندین روسازی با شرایط مختلف و ... را نام برد. در این مقاله پس از اطمینان از صحت نحوه مدل‌سازی روسازی‌های انعطاف‌پذیر با استفاده از ۳۸۴ مدل انجام شده، به طرح شبکه عصبی مصنوعی جهت تحلیل روسازی‌های انعطاف‌پذیر پرداخته شده است. در نهایت شبکه بهینه از نوع انتشار برگشتی پیش‌خور با آرایش ۲-۱۰-۸ با تابع انتقال سیگموئید بعنوان شبکه بهینه انتخاب گردیده است.</p>

### ۱- مقدمه

چشمگیری در تحلیل روسازی‌ها به روش مکانیستیک شد [۱ و ۲].

با عمومیت یافتن روش‌های عددی در دهه ۱۹۶۰، مهندسی روسازی نیز از این روش‌ها بی‌بهره نماند. در سال ۱۹۶۲، Scsiffman روش تحلیلی خود را که مبتنی بر استخراج تنش و تغییر مکان در یک سیستم الاستیک چند لایه‌ای بود، عرضه کرد [۳]. پس از آن نظریات پیشنهاد شده توسط دانشمندان علم روسازی بصورت روابط و فرمول‌هایی ارائه گردید که بعدها نرم افزارهای رایانه‌ای بر پایه همین نظریات مبتنی بر نظریه سیستم‌های چند لایه‌ای ساخته شدند [۴-۷].

با شروع ساخت خودرو و افزایش آن در میان مردم، نیاز به وجود راه‌هایی با روسازی، جهت عبور راحت‌تر بیشتر گردید. پس از آن، روش‌های سنتی در تحلیل نیروها و تغییر مکان‌ها در روسازی بر پایه نظریات ارائه شده توسط محققین شکل گرفت. در طی سال‌های ۱۹۴۳ تا ۱۹۴۵، Burmister اولین معادلات تحلیل روسازی‌ها را، ابتدا برای سیستم دو لایه و سپس برای سیستم سه لایه‌ای بدست آورد. معادلات Burmister باعث پیشرفت

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: fazel.pars@gmail.com

۱. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه سمنان

دارای سرعت حدود دو یا سه برابر نرم‌افزارهای مبتنی بر سیستم‌های چند لایه‌ای می‌باشد. این مزیت در مقایسه با نرم‌افزارهای مبتنی بر روش اجزای محدود که تنها پروسه مدل‌سازی روسازی خود نیازمند زمانی طولانی است، به مراتب شدیدتر می‌باشد.

اولین کاربرد شبکه‌های عصبی در مهندسی در زمینه تئوری گراف‌ها و در مهندسی راه و ترابری در زمینه‌های کنترل ترافیک، نگهداری راه، سیستم‌های مدیریت روسازی، برنامه‌ریزی و مدیریت اجرا متمرکز شده بود [۱۲].

در سال ۱۹۹۴ برای نخستین بار از روش شبکه عصبی مصنوعی در محاسبات عددی روسازی‌ها برای محاسبه معکوس مدول لایه‌های روسازی‌هایی که تغییر مکان سطحی آن‌ها با دستگاه افت و خیز سنج (FWD) برداشت شده بود، استفاده گردید که آن را می‌توان انقلابی در ورود علم هوش مصنوعی به شاخه روسازی‌های انعطاف‌پذیر دانست. پس از آن Meier و همکاران در سال ۱۹۹۷ یک شبکه انتشار برگشتی را جانشین برنامه WESLEA کردند و مدول لایه را محاسبه کرده و نشان دادند که سرعت پردازش ۵۰ برابر حالت عادی شده است. انتخاب شبکه‌های عصبی از نوع انتشار برگشتی به این دلیل بود که این نوع شبکه با وجود اینکه دارای فرآیند آموزش نسبتاً مشکلی است، ولی در زمینه تقریب تابع از هر شبکه دیگر دارای عملکرد سریعتری می‌باشد [۱۳] و [۱۴].

لذا در این مقاله در راستای ارائه ابزاری جهت کاهش مدت زمان مدل‌سازی و تحلیل روسازی‌های انعطاف پذیر راه‌ها، پس از اطمینان از نحوه مدل‌سازی روسازی‌های انعطاف‌پذیر در نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS، با استفاده از ۳۸۴ مدل انجام شده به مدل‌سازی و انتخاب الگوریتم بهینه شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شده است.

Duncan در سال ۱۹۶۸، اولین بار از روش المان محدود برای تحلیل روسازی‌های انعطاف پذیر استفاده کرد که بعدها برنامه‌های کامپیوتری زیادی بر اساس آن تهیه شدند [۱۷]. با به روی کار آمدن کامپیوترهای سریع، استفاده از روش المان محدود برای محاسبه تنش و کرنش و تغییر شکل به یک امر معمول تبدیل گردید [۸ و ۹].

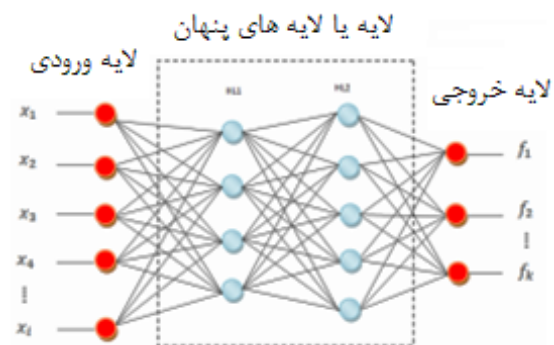
به موازات پیشرفت علم، همواره انسان‌ها از زمان‌های بسیار دور سعی بر آن داشتند که بیوفیزیولوژی مغز را دریابند، چون همواره مسئله هوشمندی انسان و قابلیت یادگیری، تعمیم، خلاقیت، انعطاف‌پذیری و پردازش موازی در مغز برای بشر جالب بوده و بکارگیری این قابلیت‌ها در ماشین‌ها بسیار مطلوب می‌نمود. اما روش‌های مبتنی بر الگوریتم، برای پیاده‌سازی این خصایص در ماشین‌ها مناسب نبود. بنابراین می‌بایست از روش‌های مبتنی بر همان مدل‌های بیولوژیکی بهره می‌گرفتند. از این رو شاخه جدیدی از علم به نام هوش مصنوعی شکل گرفت که خود به چندین الگوریتم تقسیم گردیده‌اند و امروزه با پیشرفت علم توانسته‌اند تقریباً در تمام زمینه‌ها وارد شوند. یکی از این الگوریتم‌های هوشمند، شبکه‌های عصبی مصنوعی است. عنصر کلیدی این الگو، ساختار جدید سیستم پردازش اطلاعات آن می‌باشد که درست مانند انسان‌ها با استفاده از مثال‌ها آموزش دیده و دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند؛ که به این عمل فرآیند یادگیری شبکه می‌گویند. اصولاً توانایی یادگیری، مهمترین ویژگی یک سیستم هوشمند است و سیستم‌های با قابلیت یادگیری، منعطف‌تر بوده و ساده‌تر برنامه‌ریزی می‌شود، بنابراین بهتر می‌تواند در مورد مسایل و معادلات جدید پاسخگو باشد [۱۰ و ۱۱].

با توجه به اینکه روش شبکه‌های عصبی در پردازش سریع حجم انبوهی از اطلاعات دارای عملکرد بسیار خوبی می‌باشد و قادر است بطور همزمان تعداد زیادی از داده‌های ورودی را پردازش نماید، می‌تواند در مدل کردن ساختمان روسازی راه‌ها بسیار مفید و موثر باشد. زیرا

## ۲- معماری شبکه عصبی

همان‌طور که کامپیوتر برای پردازش اطلاعات از روش پردازش اطلاعات در حافظه‌ی انسان مدل برداری کرد، فناوری نوین شبکه‌های عصبی مصنوعی ساختار محاسباتی موازی مغز او را مدل می‌کند. شبکه‌های عصبی که به وسیله الگو برداشتن از بدن انسان به وجود آمده است، همانند بدن انسان از سلول‌هایی که به یکدیگر پیوند خورده‌اند، تشکیل شده است.

یک شبکه عصبی، ارتباط غیرخطی میان داده‌های ورودی و خروجی را نشان می‌دهد. این عمل از طریق اتصال نرون‌های هر گروه به لایه‌های قبلی و بعدی انجام می‌شود. خروجی هر نرون در ضرایب وزنی ضرب و به تابع تحریک غیرخطی به عنوان ورودی داده می‌شود. شکل ۱، یک نمونه از شبکه عصبی را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- نمایش یک نمونه شبکه عصبی

در این فرآیند در مرحله آموزش، اطلاعات آموزشی به شبکه داده شده، سپس وزن‌های شبکه به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که خطای بین خروجی فعلی و هدف حداقل گردند و یا این که تعداد دفعات آموزش به مقداری که از پیش تعیین شده است، برسد. در مدل‌سازی شبکه‌های عصبی، انتخاب تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌ها، فرآیند بسیار مهمی است، چرا که اگر تعداد آن‌ها کم باشد برای حل مسائل غیرخطی و پیچیده با کمبود منابع یادگیری مواجه می‌شود و اگر زیاد باشد علاوه بر اینکه باعث افزایش زمان آموزش می‌شوند، ممکن است رفتاری

غیر از رابطه بین پارامترهای موجود در شبکه را آموزش دیده و در حل مسائل ضعیف عمل نماید. رایج‌ترین استفاده از شبکه‌های عصبی، برنامه ریزی برای تعیین احتمال وقوع می‌باشد. کاربردهای گوناگونی برای مواردی که بتوان به کمک پیش‌بینی، اولویت بندی نمود، وجود دارد. اساساً اغلب کاربردهای شبکه‌های عصبی را می‌توان در ۵ دسته زیر جای داد [۱۵]:

- پیش‌بینی
- دسته‌بندی
- ارتباطدهی داده‌ها
- مفهوم‌سازی داده‌ها
- اصلاح داده‌ها

از انواع شبکه‌های قابل استفاده جهت پیش‌بینی می‌توان به شبکه‌های انتشار برگشتی، پس انتشار، دلتا و ... اشاره نمود که در ادامه به جهت مدل‌سازی روسازی‌ها با استفاده از شبکه پس انتشار برگشتی به تشریح آن پرداخته شده است.

شبکه‌های پس انتشار برگشتی که یکی از معروفترین، موثرترین و آسان‌ترین مدل‌ها برای خواندن متن، پیش‌بینی و پیش‌گویی و ردیابی چندین هدف و ... در میان شبکه‌های پیچیده و چند لایه می‌باشد، در اوایل دهه ۱۹۷۰ منتشر گردید. این شبکه دارای بیشترین میزان استفاده در میان انواع مختلف شبکه‌های عصبی بوده و از کاربردهای بسیار متنوعی برخوردار است [۱۶].

شبکه‌های انتشار برگشتی دارای محدودیت‌هایی هستند. انتشار برگشتی به تعداد زیادی داده‌های آموزش با ناظر با طیف وسیعی از نمونه‌های ورودی-خروجی نیاز دارد. بعلاوه فرآیند داخلی آن بخوبی قابل فهم نبوده و هیچ تضمینی برای همگرا شدن سیستم در یک راه‌حل قابل قبول وجود ندارد. در بعضی از مواقع آموزش نیز، باعث انحراف روند آموزش شبکه و گیر کردن در مینیمم‌های محلی می‌شود که باعث ایجاد خطا شده و شبکه را از یافتن بهترین واکنش باز می‌دارد. این حالت زمانی رخ

رفت یا پیشخور در این مقاله، در ادامه تنها به شرح آن پرداخته شده است [۱۶].

این مسیر با معادلات زیر بیان می‌شود:

$$a = p(k) \quad (1)$$

$$a^{L+1} = F^{L+1} \left( W^{L+1}(k) a^L + b^{L+1}(k) \right) \quad (2)$$

که در آن  $L=0,1,\dots,L-1$  و

$$a(k) = a^L(k) \quad (3)$$

در این مسیر همان‌گونه که مشاهده می‌شود، پارامترهای شبکه در خلال اجرای محاسبات رفت تغییر نمی‌کنند و توابع متحرک، روی تک تک نورون‌ها عمل می‌کند، یعنی:

$$F^{L+L}(n(k)) = \left[ f^{L+L}(n_L(k)) \dots f^{L+L}(n_{S_{L+1}}(k)) \right]^T \quad (4)$$

نهایتاً ماتریس‌های وزن و بردارهای بایاس شبکه چند لایه با روابط زیر تنظیم می‌گردند:

$$W^L(k+1) = W^L(k) - a \delta^L(k) \left( a^{L-1}(k) \right)^T \quad (5)$$

$$b^L(k+1) = b^L(k) - a \delta^L(k) \quad (6)$$

که در آن  $L=1,2,\dots,L$ ؛

همواره بدلیل اینکه پس از اعمال هر زوج ورودی-خروجی به عنوان الگوی یادگیری، بردارهای ورودی (الگوهای ورودی) در خلال سه مرحله فوق تغییر نمی‌کنند، شماره مرحله تکرار  $k$  عملاً با اعمال  $k$  امین الگو به شبکه معادل است.

در نهایت، در فرآیند آموزش شبکه هنگامی که تغییرات دو شاخص میانگین مربعات خطا در هر سیکل و ترم تغییرات گرادیان خطا، از مقدار تعیین شده کمتر باشد، شبکه آموزش را متوقف می‌نمایند.

### ۳- تحلیل روسازی‌های انعطاف‌پذیر راه‌ها با

#### استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

اغلب روسازی‌های طراحی شده دارای چندین لایه می‌باشند که به لحاظ مسائل اقتصادی، همواره از مصالح مرغوبیت و مقاومت بیشتر در لایه‌های فوقانی و از مصالح

می‌دهد که شبکه خطایی را پایین‌تر از احتمالات موجود پیدا می‌کند، در حالیکه کوچکترین خطای ممکن را بدست نیاورده است.

در شبیه‌سازی این نوع شبکه‌ها، پیش از شروع کار، باید داده‌های ورودی را به دو گروه تقسیم نمود:

- داده‌های آموزشی: عمدتاً از میان کل داده‌ها ۶۰ تا ۷۰٪ آن‌ها را به عنوان داده‌های آموزش انتخاب می‌کنند. پس از آنکه شبکه توسط این داده‌ها آموزش دید، وزن‌ها مقدار نهایی خود را یافته‌اند، به نحوی که شبکه برای داده‌های آموزش، کمترین خطا را بدست می‌دهد.

- داده‌های آزمایشی: پس از آن که شبکه توسط داده‌های آموزش تا رسیدن به حداقل خطا آموزش یافت، مابقی داده‌ها (۳۰ تا ۴۰٪ باقی مانده) که در آموزش نقشی نداشته‌اند، به عنوان ورودی به شبکه داده شده و پاسخ شبکه با پاسخ مطلوب مقایسه می‌گردد و بدین ترتیب راندمان شبکه آموزش دیده محک زده می‌شود.

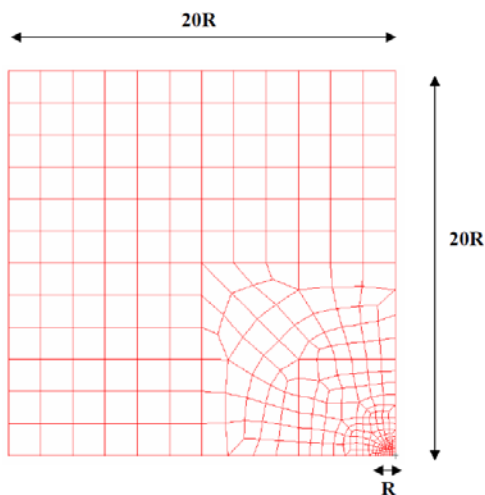
به منظور شبیه‌سازی یک مسأله با استفاده از شبکه‌های عصبی، پس از دسته بندی داده‌ها، اولین کار انتخاب ابعاد شبکه است. در لایه ورودی باید به تعداد ابعاد هر الگوی ورودی، نورون قرار دهیم. بنابراین ابعاد لایه ورودی را بعد داده‌های ورودی تعیین می‌کند. در لایه خروجی نیز به وضوح باید به تعداد داده‌های خروجی، نورون داشته باشیم. در مورد تعداد نورون‌های لایه میانی، مبنای خاصی وجود ندارد و معمولاً با سعی و خطا به نحوی انتخاب می‌گردد که شبکه جواب معقولی در اختیار بگذارد.

قدم بعدی در شبیه‌سازی، انتخاب نوع تابع خروجی نورون است که در شبکه‌های انتشار برگشتی، عموماً تابع سیگموئید استفاده می‌شود. دلیل این امر هم مشتق‌گیری ساده و ارتباط مستقیم مشتق تابع با خود تابع است.

در الگوریتم شبکه‌های انتشار برگشتی دو مسیر محاسباتی موجود است؛ مسیر اول، پیشخور یا رفت و مسیر دوم، پسخور یا برگشت نامیده می‌شود. بعلت استفاده از مسیر

- هوشمند بودن نرم‌افزار در تعیین مقادیر پارامترهای کنترلی حل عددی مساله و نمو بار و نرخ‌های همگرایی و ...

نرم افزار ABAQUS بر پایه روش اجزای محدود، دارای کاربرد عمومی بوده و جهت استفاده اختصاصی در تحلیل روسازی‌ها ایجاد نگردیده است و از طرف دیگر انتخاب نوع المان و خصوصیات مدل‌سازی همواره یکی از تاثیرگذارترین پارامترها در میزان دقت پاسخ مدل در روش اجزای محدود است. لذا قبل از استفاده از داده‌های خروجی آن، باید از صحت مدل‌سازی و نتایج آن با مقایسه خروجی‌های آن با چندین نرم افزار معتبر اطمینان حاصل کرد. این فرآیند در این مقاله با استفاده از نرم‌افزارهای Kenlayer و Mfpds که خود جز نرم‌افزارهای معتبر تحلیل روسازی‌های انعطاف‌پذیر می‌باشند، انجام گردیده است. در ابتدا روسازی‌هایی با خصوصیات متفاوت در نرم‌افزارهای نامبرده مدل‌سازی شده و در مرحله بعد مدل‌سازی آن‌ها در نرم‌افزار ABAQUS انجام گردیده و با تغییر شرایط هندسی و المان‌ها و خصوصیات آن‌ها به نتیجه با دقت مناسب دست یافت. در نهایت، مقطع با المان C3D8R و ابعاد هندسی  $20R \times 20R$  در عمق  $140R$ ، که در آن شعاع بارگذاری می‌باشد، به عنوان مدل بهینه انتخاب گردید. شکل‌های ۲ و ۳ مقطع صحیح مدل‌سازی شده در نرم افزار ABAQUS را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمایش ابعاد طولی بهینه جهت مدل‌سازی روسازی

و مقاومت نسبی کمتر در لایه‌های زیرین روسازی استفاده می‌شود.

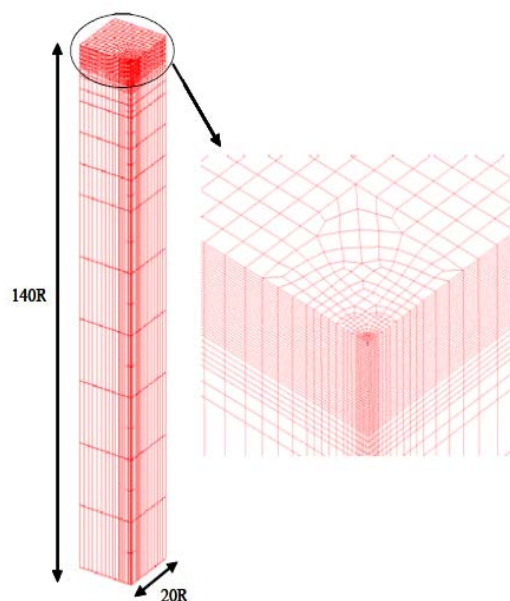
در این مقاله، جهت آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی از مدل‌سازی روسازی‌های انجام شده توسط نرم‌افزار ABAQUS استفاده گردیده است که در ادامه به تفکیک، به تشریح مراحل انجام شده جهت انتخاب الگوریتم بهینه شبکه عصبی پرداخته شده است.

### ۳-۱- تحلیل اجزای محدود جهت آموزش شبکه

از سال ۱۹۶۰ که روش‌های اجزای محدود بوجود آمد، نرم‌افزارهای متفاوتی همچون ANSYS، TNO DIANA، ABAQUS و ... متولد شدند که بر پایه این روش بنا نهاده شده‌اند. از آنجا که نرم‌افزارهای تحلیلی و دیگر نرم‌افزارها بازاری کاملاً رقابتی دارند؛ تقریباً کلیه نرم‌افزارهای تولید شده نرم‌افزارهایی قوی هستند که در مورد هر مدل‌سازی دارای پاسخ‌هایی نزدیک به هم و با دقت بالای هستند. در این مطالعه، نرم‌افزار ABAQUS به عنوان نرم‌افزار مدل‌سازی انتخاب گردید که دلایل انتخاب آن را می‌توان موارد زیر دانست [۱۷ و ۱۸]:

- سهولت در استفاده و مدل‌سازی
- مدل‌سازی قوی
- سرعت بالا در محاسبه و ارائه خروجی
- دارای مجموعه المان‌های بسیار گسترده
- قابلیت مدل‌سازی با هر نوع هندسه
- دارای مدل‌های مواد مهندسی بسیار زیادی با خواص و رفتار گوناگون نظیر فلزات، لاستیک‌ها، پلیمرها، کامپوزیت‌ها، بتن تقویت‌شده، فوم‌های فبری و شکننده و همچنین مواد موجود در زمین نظیر خاک و سنگ
- توانایی تحلیل مسایل مختلف نظیر انتقال حرارت، نفوذ جرم، تحلیل حرارتی اجزاء الکتریکی، اکوستیک، مکانیک خاک و پیزو الکتریک

از فرآیند اعتبارسنجی نرم‌افزار ABAQUS و حصول اطمینان از صحت مدل‌سازی، به طرح و مدل‌سازی ۳۸۴ مقطع روسازی توسط نرم‌افزار Abaqus پرداخته شد. در مدل‌های انجام شده ۴۸ مقطع آن روسازی سه لایه و ۸۰ مقطع چهار لایه در سه سرعت عبوری ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلومتر بر ساعت بوده که همانطور که در جدول ۱ نیز نشان داده شده است، سعی گردیده بازه‌های انتخابی جهت خصوصیات لایه‌های روسازی مدل شده در نرم‌افزار ABAQUS بازه‌هایی نزدیک به واقعیت و روسازی‌های اجرایی در کشور ایران باشد. لازم به ذکر است که بار وارده بر مقطع عبوری، بصورت یک بار گسترده یکنواخت که بر روی سطح دایره‌ای شکل وارد می‌گردد و زمان بارگذاری وابسته به سرعت عبور، در نظر گرفته شده است. جدول ۱ محدوده مشخصات لایه‌های مختلف روسازی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- هندسه روسازی مدل شده در نرم‌افزار ABAQUS

با توجه به اینکه ایجاد یک شبکه عصبی خوب، مستلزم وجود یک بانک اطلاعاتی جامع و دقیق می‌باشد. لذا پس

جدول ۱- محدوده‌های مدل‌سازی روسازی‌ها

سرعت عبور (کیلومتر بر ساعت)	خصوصیات لایه‌ها		لایه‌های روسازی
	ضریب ارتجاعی $\times 10^3$ (پوند بر اینچ مربع)	ضخامت (سانتی‌متر)	
۶۰-۳۰-۱۰	۵۰۰ تا ۱۰۰	۳۰ تا ۱۰	رویه آسفالتی
	۵۰ تا ۱۵	۴۰ تا ۰	اساس
	۲۰ تا ۸	۵۰ تا ۰	زیراساس
۶۰-۳۰-۱۰	۱۵ تا ۵	-	خاک بستر

حداکثر تنش و افت و خیز قائم است و بهترین گزینه در شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تخمین و حدس، شبکه‌های پس انتشار برگشتی می‌باشد، لذا این شبکه جهت مدل‌سازی انتخاب گردیده است. همانطور که گفته شد این شبکه‌ها، دارای یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. تعداد ورودی‌های شبکه معرف تعداد عناصر موجود در بخش ورودی شبکه هستند. لایه یا لایه‌های پنهان هر کدام دارای تعدادی نورون هستند که تعداد این نورون‌ها و نوع توابع رفتاری بکار رفته در هر لایه بر رفتار شبکه

### ۳-۲- فرآیند آموزش شبکه

اولین گام در آموزش شبکه عصبی ارائه الگوهاست که شبکه بتواند با استفاده از آن‌ها آموزش داده شود. به همین منظور ۳۸۴ تحلیل مختلف که توسط نرم‌افزار ABAQUS انجام و در بخش قبلی به توضیح آن پرداخته شده است، جهت مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی بکار گرفته شد.

پس از ایجاد پایگاه داده ویژه آموزش شبکه، باید شبکه بهینه انتخاب شود. از آنجایی که هدف از این مقاله، ارائه شبکه عصبی مناسب برای تخمین و پیش‌بینی میزان

تعداد نرون‌های لایه‌های پنهان بایستی با توجه به حداقل خطای قابل قبول در مرحله آموزش و آزمایش مشخص شود. نرم‌افزارهای متعددی همچون Matlab، Neural Solution، Nnet Sheet و ... جهت مدلسازی شبکه‌های عصبی مصنوعی موجود می باشد که دلیل محیط کاربری آسان، قدرت بالا و در دسترس بودن آن، از Toolbox Standard NN نرم‌افزار Matlab جهت مدل‌سازی و یافتن شبکه بهینه استفاده گردید.

در مرحله آموزش با استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های متناظر با آن‌ها، شبکه با یک ساختار مشخص طوری عمل می‌کند که اندازه تابع عملکرد خطا در آن کمینه شود. تابع عملکرد در شبکه‌های انتشار برگشتی معمولاً تابع میانگین مربعات خطا و یا تابع مجذور مربعات خطا می‌باشد. شبکه باید با ساختارهای مختلف آموزش داده شده و بهترین شبکه، شبکه‌ای می‌باشد که به ازای آن، میزان تابع عملکرد کمتر از بقیه باشد. در این صورت شبکه به وضعیت پایداری رسیده و به اصطلاح آموزش دیده است.

برای این منظور شبکه با آرایش ۲-۵-۸ مدل و تحت آموزش قرار داده شده است و میزان خطای تابع عملکرد نیز ثبت گردیده است که نتایج این مدل‌سازی در جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است.

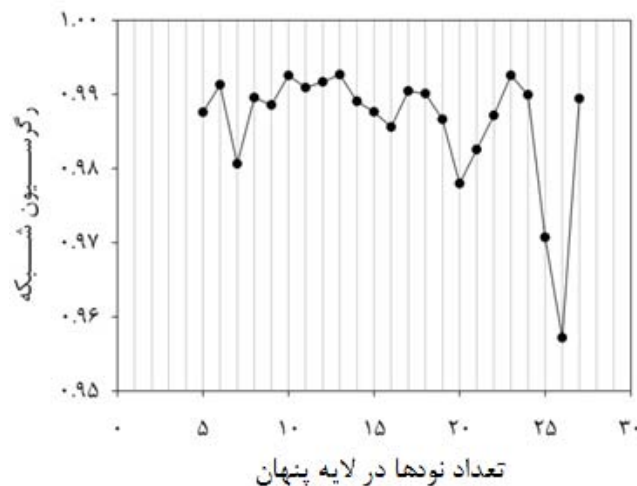
موردنظر تاثیر دارد. لایه خروجی یک شبکه عصبی، نیز دارای یک یا چند نرون بوده که در حقیقت تعداد نرون‌های لایه خروجی بیانگر تعداد مجهولاتی است که شبکه بایستی پاسخ قابل قبولی برای آن‌ها ارائه دهد.

ورودی‌های در نظر گرفته شده برای شبکه عبارتند از: مدول لایه‌های روسازی و خاک بستر، ضخامت لایه‌ها و سرعت عبور بارگذاری.

در تحلیل مقاطع مورد نظر هدف تعیین تنش و افت و خیز حداکثر است، بنابراین شبکه دارای دو خروجی می باشد.

در حالت کلی قاعده مشخصی برای تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌های آن‌ها وجود ندارد. با این وجود در این مقاله، در روند مدل‌سازی شبکه، تعداد لایه‌های پنهان در ابتدا ۱ در نظر گرفته می‌شود و در صورت عدم پاسخگویی این تعداد به ۲ افزایش خواهد یافت.

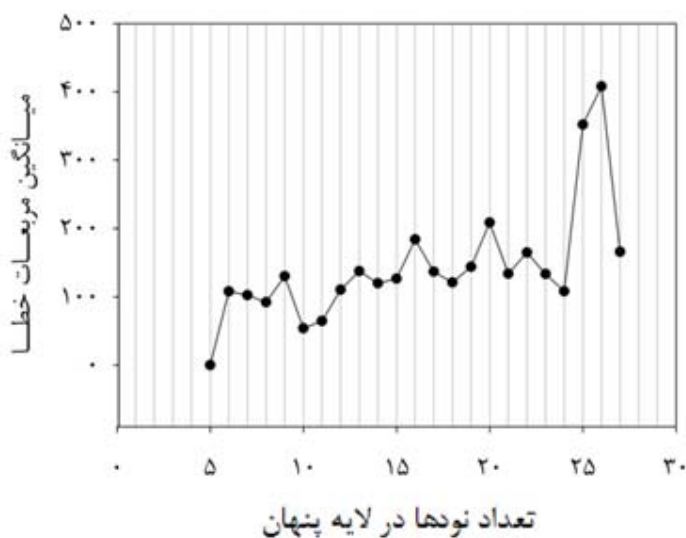
پس از انتخاب تعداد لایه‌های پنهان، باید نوع توابع انتقال بکار رفته در هر لایه تعیین شود. برای انجام یک تقریب تابع مناسب (رگرسیون غیرخطی) می‌توان از شبکه پس انتشار برگشتی که تابع انتقال آن در لایه خروجی از نوع خطی ساده و در لایه‌های پنهان از نوع تانژانت سیگموئید می باشد، استفاده کرد. پس شبکه عصبی انتخاب شده دارای آرایش اولیه ۲ - n - ۸ می باشد. بدین معنی که این شبکه دارای ۸ ورودی، n نرون در لایه پنهان و ۲ خروجی می باشد.



شکل ۴- تغییرات نرون و پیدا نمودن شبکه بهینه براساس رگرسیون

جدول ۲- تغییرات نورون و پیدا نمودن شبکه بهینه

تعداد نودهای لایه پنهان	رگرسیون			رگرسیون کل
	رگرسیون مرحله آموزش	رگرسیون مرحله اعتبارسنجی	رگرسیون مرحله آزمایش	
۵	۰/۹۹۲۰۴	۰/۹۸۰۳۲	۰/۹۸۲۲۳	۰/۹۸۷۵۸
۶	۰/۹۹۶۲۳	۰/۹۸۱۰۵	۰/۹۹۱۱	۰/۹۹۱۲۹
۷	۰/۹۹۵۹	۰/۹۱۳۴	۰/۹۵۲۴۶	۰/۹۸۰۶۳
۸	۰/۹۹۲۹۵	۰/۹۸۵۸۶	۰/۹۸۳۳	۰/۹۸۹۵۷
۹	۰/۹۹۶۴۸	۰/۹۸۰۲۸	۰/۹۷۶۸۳	۰/۹۸۸۵۶
۱۰	۰/۹۹۶۰۷	۰/۹۸۹۴۲	۰/۹۸۴۵۸	۰/۹۹۲۵۴
۱۱	۰/۹۹۷۴۷	۰/۹۸۲۷۶	۰/۹۷۹۰۵	۰/۹۹۰۹۱
۱۲	۰/۹۹۸۵۲	۰/۹۷۹۵۹	۰/۹۸۱۵۸	۰/۹۹۱۶۸
۱۳	۰/۹۹۸۷	۰/۹۷۸۶۴	۰/۹۸۹۹۳	۰/۹۹۲۶۵
۱۴	۰/۹۹۳۸	۰/۹۷۴۳۱	۰/۹۸۸۲۳	۰/۹۸۹۰۶
۱۵	۰/۹۹۵۳۹	۰/۹۷۷۰۹	۰/۹۷۰۴۷	۰/۹۸۷۶۳
۱۶	۰/۹۹۶۷۴	۰/۹۵۹۱۱	۰/۹۷۶۵۴	۰/۹۸۵۵۸
۱۷	۰/۹۹۵۹۱	۰/۹۷۷۰۲	۰/۹۸۷۴۴	۰/۹۹۰۴۴
۱۸	۰/۹۹۳۹	۰/۹۷۵۳۶	۰/۹۹۲۵۵	۰/۹۹۰۱
۱۹	۰/۹۹۸۷۲	۰/۹۶۹۲	۰/۹۷۴۴۹	۰/۹۸۶۶۳
۲۰	۰/۹۹۶۹۲	۰/۹۵۵۹۴	۰/۹۳۹۱۳	۰/۹۷۷۹۶
۲۱	۰/۹۸۸۷۱	۰/۹۷۲۶۷	۰/۹۶۸۴۲	۰/۹۸۲۲۵
۲۲	۰/۹۹۷۸۹	۰/۹۶۹۴۱	۰/۹۷۷۰۲	۰/۹۸۷۱۵
۲۳	۰/۹۹۹۱۸	۰/۹۷۶۹۴	۰/۹۹۰۳۸	۰/۹۹۲۵۵
۲۴	۰/۹۹۹۱	۰/۹۷۴۶۶	۰/۹۷۷۶	۰/۹۸۹۹۳
۲۵	۰/۹۹۲۹	۰/۹۳۱۶۴	۰/۹۴۳۷۸	۰/۹۷۰۷۱
۲۶	۰/۹۸۱۷۹	۰/۹۲۵۸۱	۰/۹۳۲۱۵	۰/۹۵۷۱۷
۲۷	۰/۹۹۷۸	۰/۹۶۸۶۴	۰/۹۸۶۸۳	۰/۹۸۹۴۲



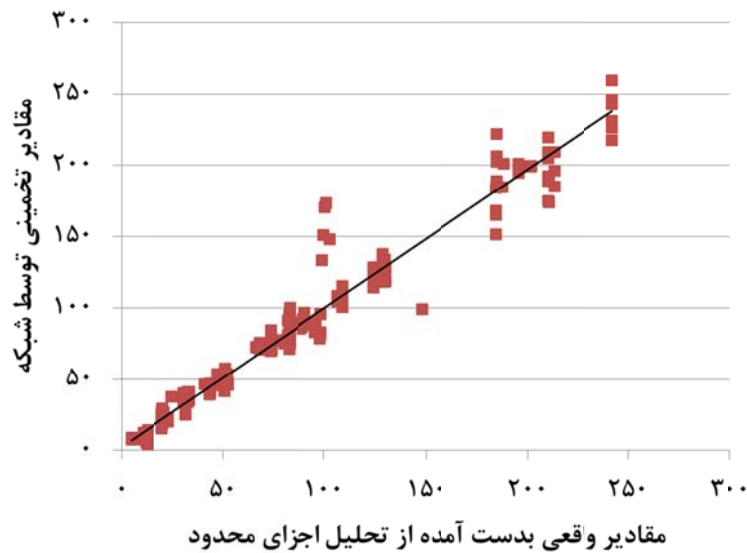
شکل ۵- تغییرات نورون و پیدا نمودن شبکه بهینه براساس میانگین مربعات خطاها



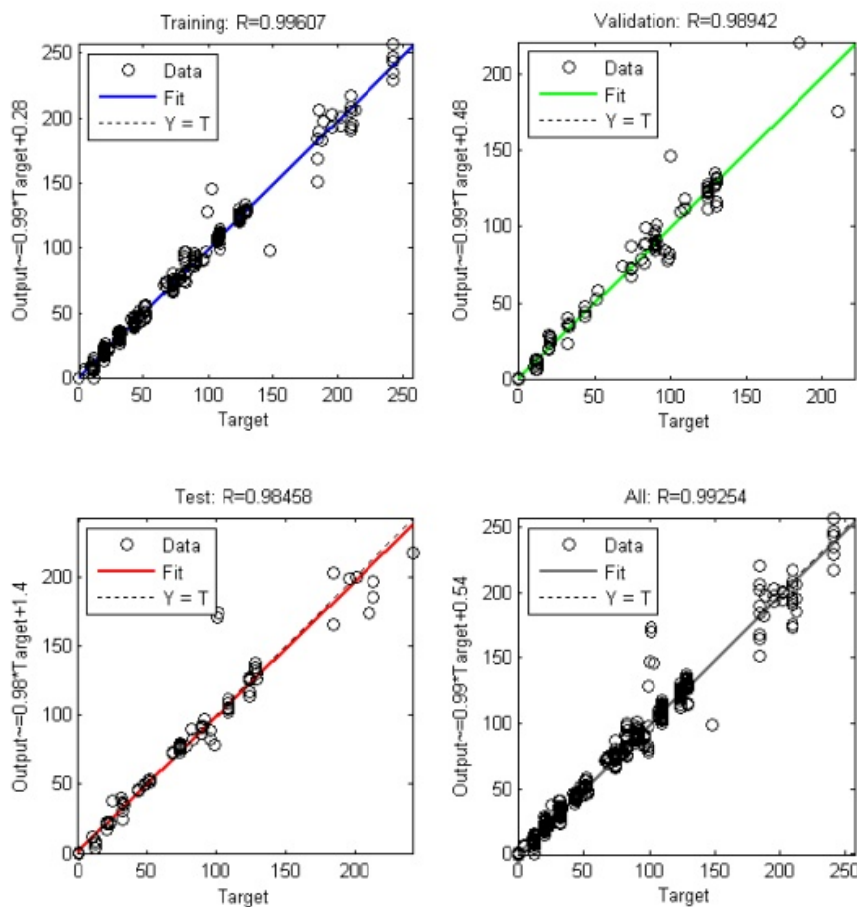
## ۳-۳- معرفی شبکه بهینه

۸ می‌باشد که در اشکال ۶ تا ۹ رگرسیون شبکه و میزان خطای آن، نمایش داده شده است.

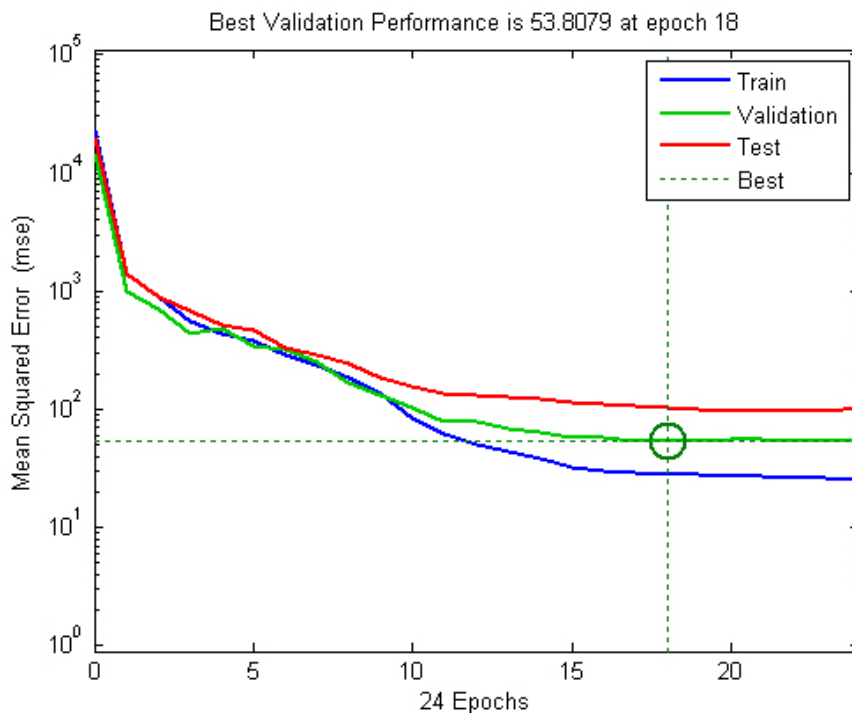
همانطور که در نمودار و جدول فوق مشاهده می‌شود، نمودار دارای تقریب خوبی به خصوص در آرایش ۲-۱۰-



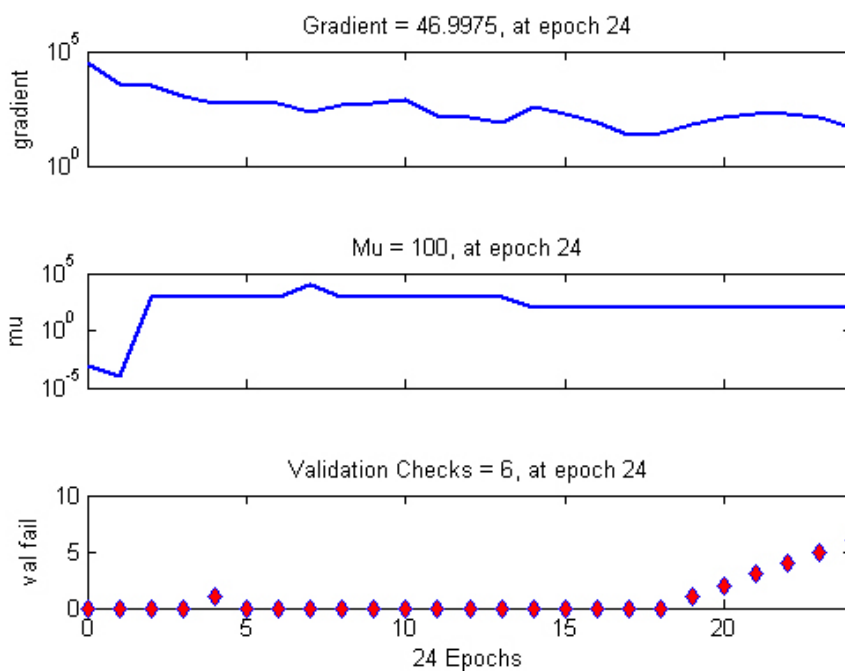
شکل ۶- مقایسه نتایج محاسبه شده توسط نرم افزار ABAQUS و مقادیر تخمینی توسط شبکه



شکل ۷- نمودار رگرسیون شبکه پس از آموزش



شکل ۸- نمودار میانگین مربعات خطا در فرآیند آموزش شبکه



شکل ۹- میزان خطا در طی مراحل آموزش شبکه

#### ۴- نتیجه گیری

مدل‌سازی قرار گرفت. شبکه مدل‌سازی شده دارای یک لایه پنهان بوده که توابع انتقال در لایه پنهان از نوع تانژانت سیگموئید و در لایه خروجی از نوع خطی ساده می‌باشد.

در این مقاله چندین مقطع روسازی ۳ و ۴ لایه ای که از نظر اجرایی در کشور ما عمومیت دارد مورد بررسی و

همانطور که در بخش مدل‌سازی بیان گردید، افزایش تعداد نرون‌ها در شبکه الزاما باعث کاهش میزان خطا و بالا رفتن توانایی شبکه در تخمین خروجی‌ها نمی‌گردد. از مهمترین مزایای شبکه‌های عصبی، کم بودن مدت زمان فرآیند مدل‌سازی و ارائه خروجی‌هاست که در مقابل مدت زمان موردنیاز جهت مدل‌سازی و تحلیل مدل در نرم‌افزارهای اجزای محدود همچون Abaqus بسیار برتر بوده و علاوه بر آن قابلیت دریافت همزمان چندین مساله بصورت ماتریسی و ارائه پاسخ آنان بصورت همزمان می‌باشد که از این مزیت می‌توان در راستای یافتن بهینه‌ترین پاسخ با ایجاد تغییرات در هندسه روسازی مساله بهره جست.

نتایج بدست آمده از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از ۳۸۴ تحلیل انجام شده توسط نرم‌افزار Abaqus نشان می‌دهد که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تحلیل روسازی‌های انعطاف‌پذیر روش مناسبی است که با داده‌های ورودی کمتر، امکان محاسبه و تخمین صریح پارامترهای موردنظر را با سرعت و دقت مناسبی فراهم می‌سازد. شبکه عصبی مناسب تحلیل روسازی‌های انعطاف‌پذیر در این مقاله، شبکه انتشار برگشتی با ساختار ۲-۱۰-۸ می‌باشد که در آن تابع لایه پنهان از نوع سیگموئید و در لایه خروجی از نوع خطی ساده است. تابع عملکرد خطا نیز مجذور مربعات خطا می‌باشد.

## مراجع

- [1] Huang, Y. H. (1993), *Pavement Analysis and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [2] Burmister, Donald M. (1945), *The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems*, *Journal of Applied Physics* 16.
- [3] Hildebrand, G. (2002), *Verification of Flexible Pavement Response from a Field Test*, Report 121, Danish Road Institute, Denmark.
- [4] Croney, D., Croney, P. (1991), *the Design and Performance of Road Pavements*, McGraw-Hill International Series in Civil Engineering, UK.
- [5] Harichandran, R.S., Baladi, G. Y. (2000), *Michpave User Manual*, Michigan State University.
- [6] *EverStress Software for 3D Finite-Element Analysis of Flexible Pavement Structures* (2009), Washington State Department of Transportation, June.
- [7] Hadi, M., Bodhinayake, B.C. (2003), *Non-Linear Finite Element Analysis of Flexible Pavements*, *Advanced in Engineering Software* No.34, pp. 657-662.
- [8] Chen, W.H., Zaman, M., Laguros, J., Soltani, A. (1995), *Assessment of Computer Programs for Analysis of Flexible pavement structure*, *Transportation Research Record 1482*, Transportation research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp. 123-133.
- [9] Kim, M. (2007), *Three-Dimensional Finite Element Analysis of Flexible Pavements Considering Nonlinear Pavement Foundation Behavior*, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [10] Hagan, M.T., Demuth, H.B., Beale, M.H. (2002), *Neural Network Design*, Michigan University.
- [11] Anderson, D., Mcneil, G. (1992), *Artificial Neuro Networks Technology*, New York.
- [12] Adeli, H. (2001), *Neural Network in civil Engineering*, Department of civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, Computer-Aided civil and Infrastructure Engineering.
- [13] Meier R.W., Rix G.J. (1994), *Back calculation of Flexible Pavement Moduli Using Artificial Neural Networks*, *Transportation Research Record 1448*, TRB, National Research Council, Washington D.C.
- [14] Meier R.W., Tutumluer E. (1998), *Uses of Artificial Neural Networks in the Mechanistic-Empirical Design of Flexible Pavements*, *Artificial Intelligence and Mathematical Methods in Pavement and Geomechanical Systems*, Balkama, Rotterdam.

[15] Du, K.L., Swamy M.N.S. (2006), Neural Networks in a Softcomputing Framework, Center for Signal Processing and Communications Department of Electrical and Computer Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec.

[۱۶] منهای، م.ب. (۱۳۸۹)، مبانی شبکه‌های عصبی: هوش محاسباتی، انتشارات صنعتی امیرکبیر، تهران.

[17] Abaqus User Manual (2009), SIMULIA.

[۱۸] سورگی، م.ح. (۱۳۸۴)، راه اندازی و تهیه دستورالعمل کاربری Abaqus، دانشگاه فردوسی مشهد.

## Optimized ANN Algorithm for Analyzing the Road Flexible Pavements

Gh. Shafabakhsh<sup>1</sup>, H. Naderpour<sup>1</sup>, F. Fasihi<sup>2,\*</sup>

1. Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University
2. M.Sc. Student, Highway and Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Semnan University

\*Corresponding Author: fazel.pars@gmail.com

---

### ARTICLE INFO

Keywords:

Flexible Pavements,  
Analysis,  
Finite Elements,  
Artificial Neural  
Networks,  
Back Propagation.

### ABSTRACT

Pavement analysis is an important field in pavement engineering, because of its causes on pavement behavior and obtaining more accurate equations for it. By science developing, many pavement analysis softwares have been developed which most of them are based on Multi-Layer Theory and a few work based on Finite Elements Method (FEM). Lots of input, spending much time in modeling process and to be unable to running more than one pavement modeling in a time are their main deficiencies. Artificial Neural Networks (ANN) as one of artificial intelligence algorithms has a lot of advantages such as low input numbers, reducing considerable time in the modeling process, multi pavement modeling at a time. In this article, after modeling verification, simulated an artificial neural network based on 384 models which were modeled by finite elements software and found a back propagation ANN with 8-10-2 combination with sigmoid transfer function which was the optimum network for the network.

---