

تقریب مقادیر ویژه ورق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

علی حیدری^{۱*}، داود توکلی^۲، پویان فخاریان^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: مسئله مشخصه، مقادیر ویژه، شبکه عصبی مصنوعی، انتشار برگشتی.</p>	<p>هدف از این مقاله، تعیین فرکانس زاویه‌ای طبیعی ورق‌ها باتوجه به شرایط مختلف تکیه‌گاهی به‌کمک شبکه عصبی مصنوعی است. یکی از مشهورترین روش‌های آموزش شبکه عصبی، استفاده از الگوریتم انتشار برگشتی است. این الگوریتم برای آموزش شبکه‌های چند لایه قابل کاربرد است. الگوریتم انتشار برگشتی بر مبنای کاهش گرادیان بوده و در آن شیب خطا به تدریج کم شده و وزن‌های شبکه برای رسیدن به حداقل خطا، تعدیل می‌شود. در این تحقیق ابتدا فرکانس واقعی ورق‌ها با استفاده از برنامه ANSYS محاسبه شده و به‌عنوان تابع هدف شبکه عصبی در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده از مقادیر به‌دست آمده در مرحله قبل، دسته‌ای از ورودی‌ها که شامل ابعاد و خصوصیات جنس ورق‌هاست ایجاد شده و یک شبکه عصبی ساخته شده و آموزش داده می‌شود. پس از آموزش شبکه از داده‌های دیگری برای آزمایش شبکه استفاده می‌شود. نتایج تحلیل به‌خوبی بیان‌گر عملکرد شبکه عصبی بوده به‌طوری‌که زمان محاسبه فرکانس به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است.</p>

۱- مقدمه

مهندسی، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی است که در آن سعی می‌شود با آموزش شبکه‌ای پردازشگر و بدون یافتن قانون ریاضی حاکم بر پارامترها، ویژگی‌های ذاتی میان متغیرها، به شبکه آموخته شده و پس از تضمین یادگیری، از آن به‌عنوان نگاشتی میان فضای داده و فضای خواسته بهره‌گیری شود [۱-۳]. از این شیوه در مسائل مختلفی در حیطه دینامیک سازه‌ها استفاده شده و نتایج رضایت بخشی حاصل شده است [۴-۹]. همچنین از شبکه‌های عصبی مصنوعی در رسته‌های مختلف مهندسی عمران استفاده شده است [۱۰-۱۲]. شبکه عصبی مصنوعی شامل مجموعه‌ای از عناصر ساده محاسباتی متصل به هم به نام نرون است که قابلیت یادگیری منحصر به فرد آن به این سیستم توانایی یادگیری روابط پیچیده غیرخطی را می‌دهد [۱۳-۱۵]. این یادگیری به استفاده

معمولاً محاسبه مقادیر و بردارهای ویژه سازه‌های بزرگ کار مشکلی بوده و زمان زیادی را لازم دارد. اگرچه نرم‌افزارهای موجود توان محاسبه فرکانس‌های سازه را دارند، اما به‌دلیل زمان‌بر بودن روند مدل‌سازی و تحلیل، نیاز به روش‌های جدید پردازشی که علاوه بر توانایی در نظر گرفتن تمامی پارامترهای موثر، قدرت تعمیم و یادگیری مستقیم از داده‌های ورودی را داشته باشند، احساس می‌شود. یکی از روش‌های کاربردی در شبیه‌سازی مسائل

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: heidari@eng.sku.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه عمران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی،

تهران، لویزان

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

چند هزار نرون تشکیل شده و اندازه آن‌ها به پیچیدگی مسایل بستگی دارد. نرون‌ها، ورودی‌ها را که به طریقی خاص جمع شده‌اند را پذیرا می‌شوند. از شبکه‌های عصبی در موارد گوناگونی از جمله ذخیره و بازیابی داده‌ها، گروه‌بندی شکل‌های مشابه، انجام نگاشت کلی از مجموعه ورودی به مجموعه خروجی، بهینه‌سازی و تعیین جواب با وجود قیود مختلف استفاده می‌شود. اگر ورودی‌ها به اندازه کافی بزرگ باشند نرون فعال شده و در غیراین‌صورت غیرفعال باقی می‌ماند. در یک لحظه خاص، ورودی‌های جمع شده در یک نرون به یک تابع تحریک^۳ که خروجی مشخصی را محاسبه می‌کند انتقال یافته و علائم خروجی را به لایه دیگری از نرون‌ها و یا به خروجی شبکه می‌فرستد. در حقیقت شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم داده‌پردازی اطلاعات بوده و دارای خصوصیات اجرایی خاصی هستند. هر شبکه عصبی مصنوعی شامل مجموعه‌ای از اجزاء کوچک داده‌پردازی بنام نرون است. اندازه شبکه به پیچیدگی مسئله بستگی دارد. نرون‌ها، ورودی‌هایی را که به طریقی خاص جمع شده‌اند را پذیرا می‌شود. اگر این ورودی‌ها به اندازه کافی بزرگ باشند و مقدار آن‌ها از یک حد از پیش تعیین شده بیشتر شود، در آن صورت نرون فعال شده و در غیراین‌صورت نرون غیرفعال باقی می‌ماند. ورودی‌های جمع شده در یک نرون به یک تابع تحریک که خروجی مشخصی را محاسبه می‌کند وارد شده و خروجی آن به لایه بعدی (یا خروجی سیستم) منتقل می‌شود [۱۸].

هر شبکه عصبی دارای خصوصیات است که آن را از شبکه‌های دیگر متمایز می‌کند. این خصوصیات شامل نحوه ارتباط بین نرون‌ها، روش آموزش^۴ شبکه، نحوه تعیین مقادیر وزن‌های رابط و نوع تابع تحریک هر نرون است. وزن‌های رابط بین نرون‌ها در واقع نشان‌دهنده اطلاعات مورد نیاز شبکه برای حل مسئله است. در یک شبکه عصبی هر نرون وضعیت مشخصی داشته و به

کننده اجازه می‌دهد تا شبکه را با داده‌های تجربی آموزش داده، و نتیجه آموزش را در وزن‌های بین نرون‌ها ذخیره کند. پس از آموزش، شبکه عصبی می‌تواند با سرعت بالا و دقت مناسب رابطه بین متغیرهای مستقل (ورودی) و وابسته (خروجی) را مدل‌سازی و پیش‌بینی کند. برای آموزش شبکه عصبی به تعدادی داده ورودی نیاز است. در این تحقیق ابتدا تعدادی ورق مختلف با روش دقیق با نرم‌افزار ANSYS [۱۶] تحلیل می‌شود. بردار ورودی شامل مشخصات ورق‌ها و بردار هدف شامل فرکانس ورق‌ها است. برای طراحی و شبیه‌سازی شبکه عصبی انتشار برگشتی، برنامه‌ای در محیط MATLAB [۱۷] نوشته شده و از آن برای تحلیل شبکه استفاده می‌شود. پس از آموزش شبکه، بدون نیاز به حل مسئله مشخصه ورق، مقادیر ویژه آن به سادگی محاسبه می‌شود. بدین ترتیب حجم عملیات کامپیوتری به‌نحو چشمگیری کاهش می‌یابد. زمان آموزش و زمان آزمایش شبکه نیز محاسبه می‌شود. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که از شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی مقادیر ویژه این نوع از ورق‌ها می‌توان استفاده نمود.

۲- شبکه چند لایه انتشار برگشتی

با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ سعی می‌شود که ساختار مغز انسان شبیه‌سازی شود. در مغز انسان حدود 10^{10} واحد سازنده بنام نرون^۲ وجود دارد که هر یک از آن‌ها به حدود 10^4 نرون دیگر متصل است. هر یک از این نرون‌ها دارای ورودی و خروجی بوده، مغز انسان را به ماهیچه‌ها مرتبط کرده و علائم را از ارگان‌های حساس به مغز منتقل می‌کند. شبکه‌های عصبی مصنوعی که امروزه در کاربردهای فراوانی ارزش خود را نشان داده‌اند براساس مدل بیولوژیکی مغز انسان به‌وجود آمده، که از چند تا

³ Activation Function

⁴ Training

¹ Artificial Neural Networks

² Neuron

رسیدن به شرایط مشابه یک شبکه عصبی بیولوژیکی مورد نظر نباشد اعمال چنین شرایطی قدرت محاسباتی شبکه را افزایش می‌دهد. در این مقاله از یک شبکه عصبی چند لایه انتشار برگشتی^۱ برای تخمین فرکانس ورق‌های مستطیلی استفاده می‌شود. نمونه‌ای از شبکه چند لایه انتشار برگشتی در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۱- تعیین تعداد نرون‌های ورودی و خروجی

باتوجه به شرایط حاکم بر مسئله بانک اطلاعاتی موجود و عوامل موثر متغیرهای ورودی و خروجی انتخاب می‌شود. معمولاً این متغیرها محدوده تغییرات وسیعی دارند که باتوجه به کارکرد شبکه باید به بازه [۰ و ۱] منتقل شوند. مهم‌ترین هدف از این انتقال، اصلاح توزیع متغیرهای ورودی و خروجی است، به نحوی که خطای مدل‌سازی شبکه کم شود. از این رو می‌بایست متغیرهای ورودی و خروجی را نسبت به مقادیر حداکثر و حداقل آن‌ها نرمال کرد. در هر مسئله‌ای تعداد پارامترهای ورودی و خروجی مشخص بوده و یا توسط کاربر باتوجه به خواسته‌ای که از شبکه مورد نظر است، انتخاب می‌شود. بدیهی است که هر چقدر تعداد متغیرهای ورودی و خروجی بیشتر باشد شبکه بزرگ‌تری برای شبیه‌سازی ارتباط بین ورودی و خروجی مورد نیاز است.

۲-۲- تعیین لایه‌ها و نرون‌های میانی

لایه‌ها و نرون‌های لایه میانی در شبکه چند لایه به‌عنوان یک تشخیص‌دهنده الگو عمل می‌کنند، بنابراین تعداد نرون‌ها در لایه پنهان، نقش عمده‌ای در قدرت شبکه دارد. اگر تعداد نرون‌ها کم باشد، شبکه عصبی نمی‌تواند نگاشت غیرخطی بین ورودی و خروجی را منعکس کند. اگر تعداد لایه میانی بیش از حد لزوم باشد، شبکه نگاشت غیرخطی پیچیده‌ای را که از داده‌های آموزشی یاد گرفته، ممکن است در مقابل داده‌های جدید فراموش کند، و در واقع، شبکه قدرت تعمیم خود را از دست بدهد. برای غلبه بر این

ورودی‌های دریافت شده بستگی دارد. عموماً هر نرون پاسخ خود را به نرون یا نرون‌های دیگر ارسال می‌دارد.

به‌طور کلی خصوصیات یک شبکه عصبی شامل، ساختار شبکه و نحوه ارتباط بین نرون‌ها، روش آموزش شبکه و نحوه تعیین مقادیر وزن‌های رابط، و تابع تحریک هر نرون است. باتوجه به چگونگی انجام هر یک از موارد مذکور شبکه‌های عصبی متعددی ارائه شده است. براساس مشخصات یک نرون بیولوژیکی، خصوصیات یک پردازشگر عصبی مصنوعی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- هر پردازشگر علائم متعددی را دریافت می‌نماید.

۲- علائم دریافتی با اعمال وزن^۱، معین می‌گردند.

۳- ورودی‌هایی که بر آن‌ها وزن اعمال شده در واحد پردازشگر جمع می‌شوند.

۴- در شرایط ویژه‌ای (اگر ورودی‌ها به اندازه کافی بزرگ باشند) واحد پردازشگر علائم را به خارج انتقال می‌دهد.

۵- خروجی یک پردازشگر، به تعدادی واحد پردازشگر دیگر منتقل می‌شود.

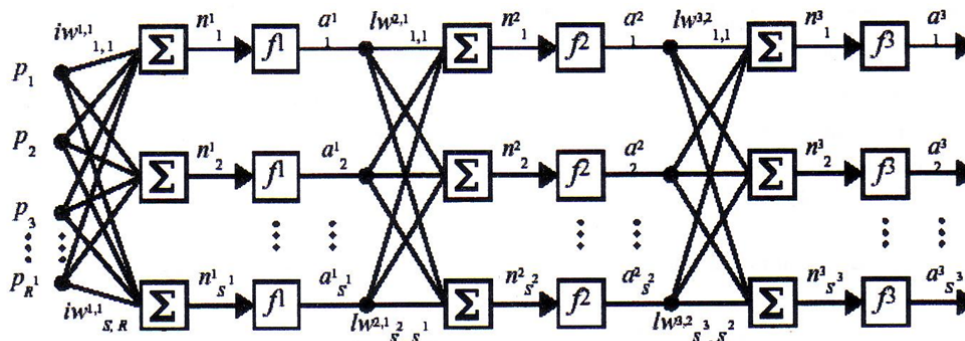
یکی دیگر از خصوصیات مهمی که شبکه‌های عصبی مصنوعی را با شبکه‌های بیولوژیکی شبیه ساخته تحمل خطا و نویز است. به‌عنوان مثال می‌توان اطلاعات جدیدی را که از اطلاعات قبلی متفاوت است تشخیص داد. همچنین انسان با شبکه عصبی مشتمل بر یکصد بیلیون نرون عصبی متولد می‌شود که اکثر آن‌ها در مغز هستند. اکثر این نرون‌ها پس از مرگشان جانشین نمی‌گردند. علیرغم از دست دادن متوالی نرون‌ها، ما به‌طور دائم آموزش می‌بینیم و سایر نرون‌ها می‌توانند در بسیاری از موارد آموزش دیده و جای نرون‌های از بین رفته را پر کنند. یکی از خصوصیات شبکه‌های عصبی مصنوعی این است که نسبت به ضایعات مختصر در شبکه، مثل از بین رفتن بعضی اطلاعات یا بعضی ارتباطات، زیاد حساس نبوده و معمولاً شبکه می‌تواند به‌راحتی به عملکرد خود ادامه دهد. اصولاً حتی اگر در طراحی یک شبکه مصنوعی،

² Back Propagation

¹ Weight

شروع به حفظ کردن (نه یادگیری) داده‌های آموزشی می‌کند، قطع شود.

مشکل یا باید تعداد لایه‌ها و نرون‌ها به‌نحوی انتخاب شوند که شبکه قدرت کافی و نه بیش از حد برای تولید نگاشت غیرخطی داشته باشد یا آموزش در مرحله‌ای که شبکه



شکل ۱- شبکه عصبی چند لایه [۱۷]

عصبی، بدون نیاز به حل مسئله مشخصه ورق، مقادیر ویژه آن محاسبه می‌شود. بدین ترتیب حجم عملیات کامپیوتری به‌نحو چشم‌گیری کاهش یافته است. روش شبکه عصبی روشی تقریبی است که می‌بایست دقت نتایج حاصل از آن برای ورق‌های با مشخصات مختلف بررسی شود، به همین منظور در این مقاله سعی شده تا نتیجه حاصل از حل مسئله مشخصه با استفاده از هوش مصنوعی و روش دقیق برای چندین ورق با شرایط تکیه‌گاهی مختلف بررسی شود. در شبکه‌های عصبی مصنوعی برای محاسبه فرکانس، نیازی به یافتن تابع ریاضی نشان‌دهنده ارتباط متغیرها نبوده و شبکه با استفاده از روابط درونی بین داده‌ها، نگاشت میان آن‌ها را شناسایی کرده و در وزن‌های خود ذخیره می‌کند. سپس با اعمال داده‌های جدید، می‌تواند یادگیری خود را به الگوی جدید تعمیم داده و پاسخ مناسبی را در برابر شرایط جدید از خود نشان دهد.

در این تحقیق بردار ورودی شبکه دارای ۵ متغیر بوده که شامل متغیرهای ابعادی ورق یعنی طول، عرض و ضخامت، شرایط تکیه‌گاهی اطراف ورق و وجود یا عدم وجود سوراخ در وسط ورق است. بردار خروجی نیز شامل

۳- محاسبه فرکانس طبیعی ورق مستطیلی

جهت ایجاد تابع هدف در شبکه عصبی مصنوعی می‌بایست فرکانس‌های ورق با استفاده از تحلیل دقیق محاسبه شوند. برای این کار از نرم‌افزار ANSYS استفاده شده است. برای به‌دست آوردن فرکانس‌های ورق، ابتدا ورق با ابعاد دلخواه ایجاد و با توجه به رفتار ورق، المان مورد نیاز انتخاب شده است. در این مدل‌سازی از المان SHELL93 استفاده شده است. حال می‌بایست خصوصیات جنس ورق را نیز برای برنامه معرفی کرد که با توجه به در نظر گرفتن جنس فولاد، خصوصیات فولاد از جمله مدول الاستیسته، ضریب پواسون و دانسیته آن وارد شده است. پس از انجام مراحل فوق، ورق به‌صورت دستی مش‌بندی شده تا پس از اعمال شرایط مرزی و بارگذاری و انتخاب نوع تحلیل، مسئله حل شده و فرکانس‌های ورق به‌دست آیند.

۴- تبیین مسئله

در این مقاله ابتدا شبکه عصبی برای تقریب مقادیر ویژه ورق ایجاد و آموزش داده شده است، پس از آموزش شبکه

آن‌ها استفاده می‌شود. نتایج حاصل از این بررسی برای ورق‌های مستطیلی با شرایط تکیه‌گاهی مختلف شامل تکیه‌گاه در پیرامون، در دو ضلع مقابل، و در گوشه‌ها بوده و در دو حالت بدون سوراخ و با سوراخ مربعی در مرکز ورق بررسی شده است. در هر حالت از ۴۰ ورق برای آموزش شبکه استفاده شده و از ۶ ورق دیگر که یکی از آن‌ها جزء داده‌های آموزشی بوده و ۵ ورق دیگر جدید است برای آزمایش شبکه استفاده می‌شود. مسئله برای تخمین فرکانس اول ورق و همچنین ۵ فرکانس اول ورق انجام می‌شود. در مثال اول نتایج تخمین یک فرکانس و در مثال دوم نتایج تخمین ۵ فرکانس اول ورق ارائه شده است.

ابعاد ورق‌های استفاده شده جهت آزمایش شبکه در جدول ۱ ارائه شده است. باتوجه به این‌که در شروع بررسی نمی‌توان پیش‌بینی کرد که کدام یک از توابع قادر به ایجاد بهترین جواب خواهند بود، لذا می‌بایست یک شبکه با توابع فرضی در نظر گرفت و پس از تحلیل و ارزیابی نتایج حاصله به بهترین شبکه دست یافت. به‌صورت فرضی و براساس تجربه محققین از تابع آموزش لونیبرگ-مارکودت^۱، تابع یادگیری سریع‌ترین کاهش گرادیان با مومنتم^۲ و تابع حداقل مربع خطا^۳ به‌عنوان توابع پیش فرض استفاده می‌شود. در شبکه‌های انتشار برگشتی از توابع تحریک تانژانت سیگموئید^۴ با علامت $\text{tansig}(n) = [2/1 + \exp(-2n)] - 1$ و فرمول logsig با علامت $\text{logsig}(n) = [1/1 + \exp(-n)]$ و تابع خطی^۶ با علامت $\text{purelin}(n) = n$ و فرمول $\text{purelin}(n) = n$ استفاده کرد. در شروع کار برای لایه‌های پنهان از تابع tansig و برای لایه خروجی از تابع purelin استفاده شده است.

¹ Levenberg-Marquardt

² Gradient Descent With Momentum

³ Mean Square Error

⁴ Hyperbolic Tangent Sigmoid

⁵ Log-Sigmoid

⁶ Linear

فرکانس ورق بوده که در این مقاله یک‌بار بردار خروجی شامل فرکانس اول ورق و در مرتبه بعد شامل ۵ فرکانس اول ورق بوده است.

۵- الگوریتم آموزش شبکه عصبی

منظور از آموزش در شبکه عصبی انتشار برگشتی، تنظیم پارامترهای آزاد شبکه برای دریافت پاسخ مطلوب از آن است. از این رو در فرآیند آموزش، ورودی‌های مربوط به بخشی از بانک اطلاعاتی (مجموعه آموزشی) به شبکه ارائه شده و خروجی شبکه محاسبه می‌شود. سپس خروجی شبکه با مقدار تابع هدف مقایسه شده و باتوجه به مقدار خطا، وزن‌ها اصلاح می‌شود، هر بار ارائه ورودی‌ها و تنظیم وزن‌ها را یک چرخه آموزشی می‌گویند. چرخه‌های آموزشی تا جایی ادامه می‌یابند که خطا به حد قابل‌قبولی برسد. پس از پایان آموزش، مقادیر وزن‌ها ذخیره شده و شبکه برای بخش دیگری از داده‌ها که در فرآیند آموزش استفاده نمی‌شود (مجموعه آموزشی) آزمایش می‌شود. در این تحقیق تعداد چرخه‌های مجاز و خطای قابل‌قبول به ترتیب ۱۰۰۰ و ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شده است.

۶- تخمین فرکانس ورق مستطیلی با شبکه عصبی

برای آموزش شبکه، می‌بایست تعداد الگوی آموزش‌دهنده در اختیار باشد. این الگوها زوج بردارهای ورودی و خروجی متناظر با یکدیگر هستند که با اعمال آن‌ها به شبکه، می‌توان شبکه را آموزش داد. برای این منظور تعدادی ورق با ابعاد مختلف که محدوده تغییرات طول آن‌ها بین ۰/۵ تا ۱۲ متر، عرض آن‌ها بین ۰/۵ تا ۴ متر و ضخامت آن‌ها بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۲۲ متر است، انتخاب شده و از شبکه عصبی انتشار برگشتی برای تقریب فرکانس

۷-۲- بررسی تأثیر تعداد نرون‌ها

عموماً نرون‌های یک لایه به‌طور یکسان عمل می‌کنند. پارامتر اصلی در تعیین رفتار یک نرون، تابع تحریک مربوط به آن و رابط‌های وزن داری است که اطلاعات از طریق آن‌ها دریافت و یا ارسال می‌گردد. در هر لایه، نرون‌ها دارای تابع تحریک یکسانی بوده و طریقه ارتباط آن‌ها به سایر نرون‌ها با هم یکسان است. در شبکه عصبی، نرون‌های یک لایه یا به‌طور کامل با یکدیگر مرتبط بوده و یا این ارتباط وجود ندارد. در نرون‌های لایه ورودی محاسبه‌ای انجام نمی‌گیرد، بنابراین به‌عنوان لایه محسوب نمی‌شوند. تعداد نرون‌ها در لایه‌های پنهان نقش عمده‌ای در قدرت شبکه داشته و با تغییر نرون‌ها در هر لایه، خروجی متفاوتی در شبکه ایجاد می‌گردد. در این قسمت به بررسی تأثیر تعداد نرون‌ها در شبکه برای حصول بهترین نتیجه پرداخته شده و با تغییر تعداد نرون‌ها در لایه‌های پنهان شبکه، نتایج خروجی بررسی و بهترین گزینه که دارای کمترین خطا باشد انتخاب می‌گردد. تعداد نرون‌ها در لایه‌ها اهمیت ویژه‌ای در شبکه دارد، به‌طوری که اگر تعداد نرون‌ها کم باشد، شبکه عصبی نمی‌تواند نگاشت غیرخطی بین ورودی و خروجی را با دقت لازم منعکس کند. از طرف دیگر اگر تعداد نرون‌ها بیش از حد لزوم باشد، شبکه نگاشت غیرخطی پیچیده‌ای تولید کرده و در مقابل داده‌های جدید عملکرد مناسبی ندارد. با توجه به این‌که تعداد نرون‌ها می‌بایست به‌صورت سعی و خطا به‌دست آید، لذا در این بخش به‌صورت جداگانه و با تعداد نرون‌های متفاوت شبکه عصبی سه لایه بررسی شده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داده که شبکه عصبی سه لایه با هشت نرون در دو لایه پنهان کمترین درصد خطا را دارا می‌باشد. گراف کلی شبکه عصبی ایجاد شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- ابعاد ورق‌های استفاده شده برای آزمایش شبکه

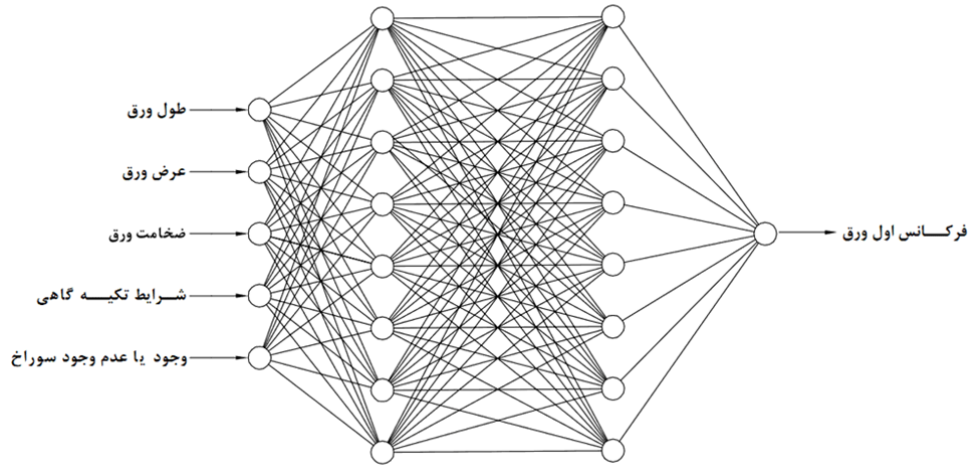
شماره ورق	ابعاد (متر)		
	ضخامت	عرض	طول
۱	۰/۰۰۲	۲۲/۷۳	۰/۵
۲	۰/۰۰۵	۲۵/۰۶	۰/۸
۳	۰/۰۰۸	۱۷/۹۱	۱/۳
۴	۰/۰۱	۱۴/۴۰	۱/۸۰
۵	۰/۰۵	۲۸/۵۶	۲/۵
۶	۰/۱	۲۴/۲۸	۴

۷- تخمین فرکانس اول ورق مستطیلی

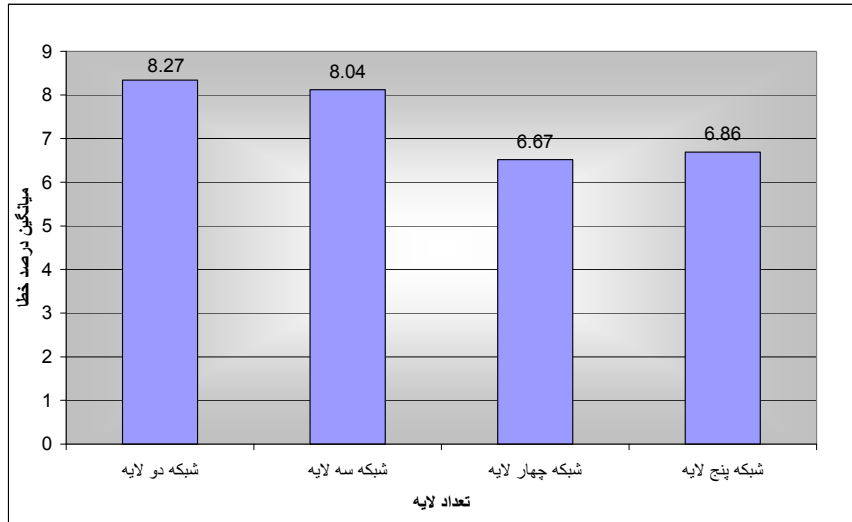
در این قسمت فرکانس اول یک ورق مستطیلی با شبکه عصبی مصنوعی تخمین زده شده است. در این مثال کلیه پارامترهای موثر بر عملکرد شبکه به‌طور جداگانه بررسی شده و نتایج آن‌ها ارائه شده است.

۷-۱- بررسی تأثیر تعداد لایه‌ها

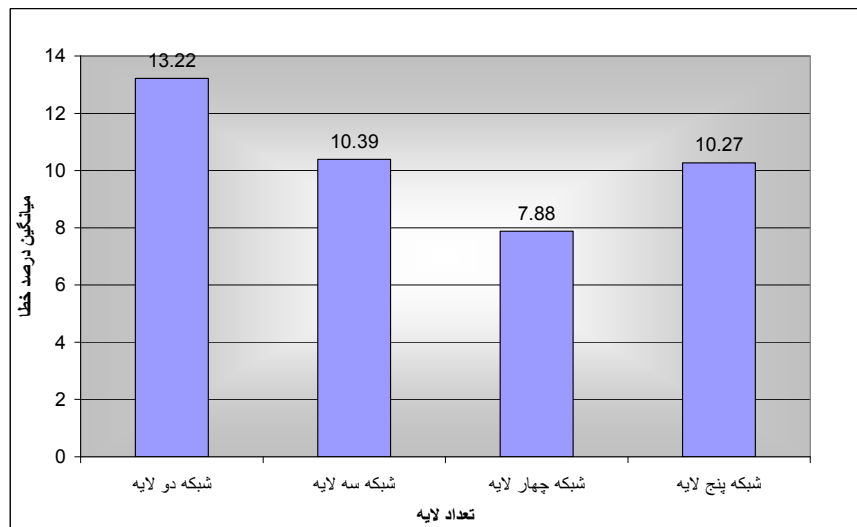
ابتدا به بررسی تأثیر تعداد لایه‌ها در جواب نهایی پرداخته می‌شود. برای این منظور از شبکه‌های عصبی با دو، سه، چهار و پنج لایه پنهان، که در هر یک از لایه‌ها از ۵ تا ۳۰ نرون قرار گرفته، با ساختارهای newcf، newff و newelm [۱۴] استفاده می‌شود. برای هر یک از مجموعه شبکه‌ها تعداد ۲۰ شبکه با نرون‌های مختلف در لایه‌های پنهان ساخته شده و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود. میانگین خطای شبکه‌های فوق در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بهترین نتیجه به‌ازای شبکه newelm سه لایه به‌دست آمده است. با توجه به نتیجه به‌دست آمده در این مرحله، بقیه محاسبات به‌ازای شبکه سه لایه و با شبکه newelm انجام شده است. نتایج تحقیقات نشان داده که بهترین شبکه برای تخمین فرکانس همین شبکه newelm است.



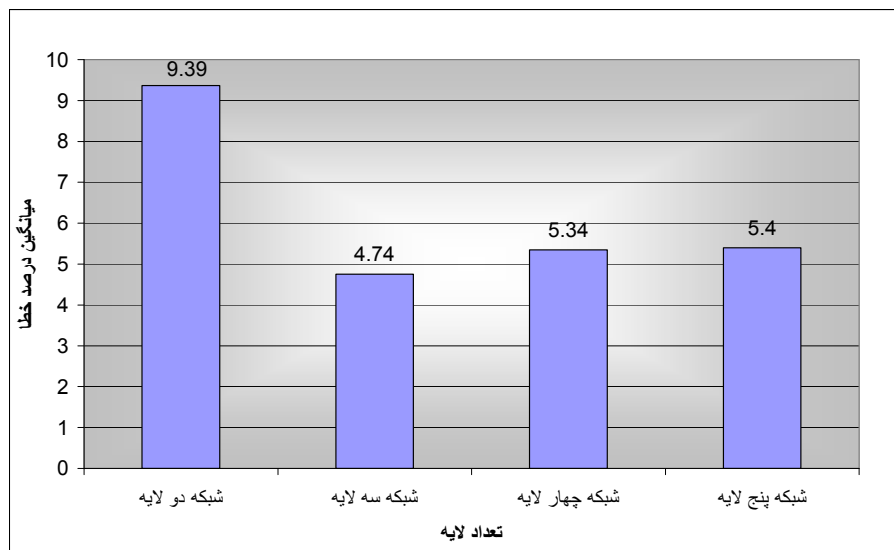
شکل ۲- ساختار کلی شبکه عصبی ایجاد شده



شکل ۳- منحنی میزان خطا در شبکه عصبی newff



شکل ۴- منحنی میزان خطا در شبکه عصبی newcf



شکل ۵- منحنی میزان خطا در شبکه عصبی newelm

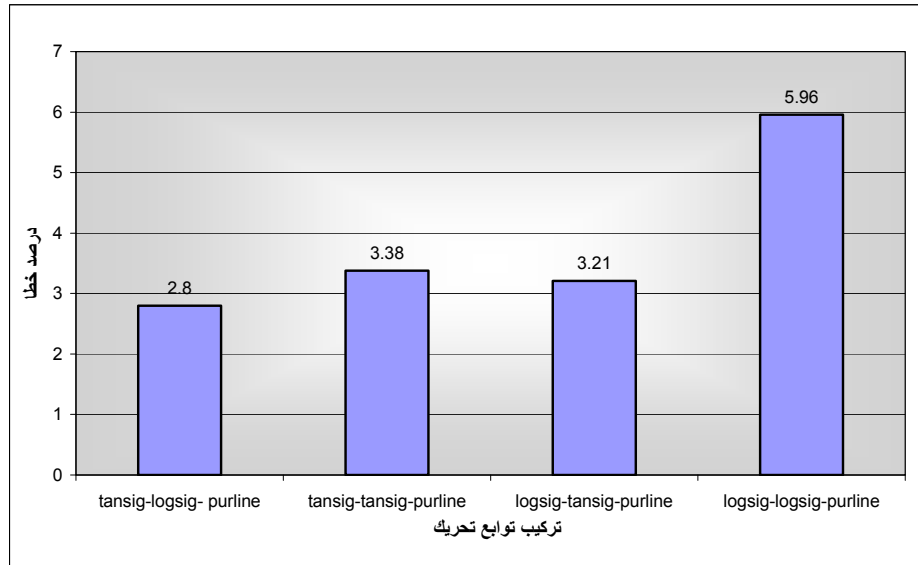
۳-۷- بررسی تأثیر توابع تحریک

معمولاً عمل پردازش در شبکه توسط توابع تحریک انجام می‌شود. علت اصلی استفاده از تابع سیگموئید ارتباط ساده بین مقدار تابع و مشتق تابع در هر نقطه دلخواه است که در آموزش شبکه عصبی برای به حداقل رساندن مقدار خطا به کار گرفته می‌شود. توابع تحریک متعددی وجود دارند که هر کدام دارای شکل هندسی خاصی هستند. اگرچه انتخاب یکسان تابع تحریک تمام نرون‌های یک لایه الزامی نیست، ولیکن معمولاً تابع تحریک نرون‌های یک لایه یکسان انتخاب شده و در اکثر موارد از تابع تحریک غیرخطی استفاده می‌شود، تا شبکه‌های چند لایه دارای بیشترین مشخصات غیرخطی باشند. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد در اینجا از توابع تحریک تانژانت سیگموئید، لوگ سیگموئید و خطی که از توابع مهم در الگوریتم انتشار برگشتی به‌شمار می‌آیند استفاده شده و نتایج حاصل از این بررسی به‌ازای شبکه سه لایه قبل در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بهترین تابع تحریک برای لایه پنهان اول تانژانت سیگموئید، برای لایه پنهان دوم لوگ سیگموئید و برای

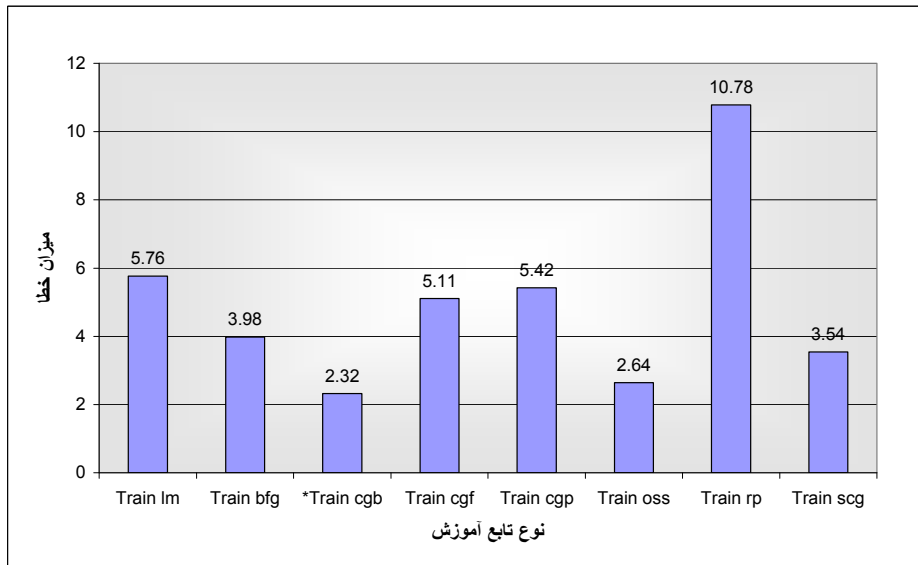
لایه خروجی، تابع خطی بوده که دارای خطایی معادل ۲/۸ درصد است.

۴-۷- بررسی تأثیر توابع آموزش

هدف از آموزش آن است که به‌ازاء دسته مقادیر دلخواه، جواب مورد نظر حاصل شود، به‌طوری که خروجی شبکه، متناظر با جواب واقعی باشد. برای آموزش شبکه هر بردار ورودی با بردار خروجی متناظر آن یک زوج را تشکیل می‌دهد. معمولاً شبکه عصبی با بیش از یک زوج آموزش می‌بیند. در شبکه‌های عصبی، مقادیر اولیه وزن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار بوده و قبل از شروع آموزش، همه مقادیر وزن‌ها به‌طور تصادفی و کوچک انتخاب می‌شوند. شاید در ابتدا مشکل باشد که بگوئیم کدام الگوریتم آموزش برای یک مسئله مشخص جواب بهتری را ارائه می‌دهد، زیرا این مقایسه به عوامل مختلفی از جمله تعداد داده‌های ورودی، تعداد وزن‌ها، پارامتر خطای هدف و اینکه شبکه به چه منظوری استفاده می‌شود، بستگی دارد. در ادامه مقایسه‌ای بین توابع آموزش مختلف انجام شده و نتایج حاصل از این بررسی در شکل ۷ ارائه می‌شود.



شکل ۶ - میزان درصد خطا با توجه به ترکیب توابع تحریک



شکل ۷ - مقایسه درصد خطا با توجه به نوع تابع آموزش

اصلاح می‌شوند، وقتی تمام مجموعه اطلاعات به شبکه داده شد، یک دوره تکمیل شده و مجدداً اطلاعات از اول به شبکه داده می‌شود. برای آموزش یک شبکه ساده، ممکن است تعداد دوره‌های زیادی لازم باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بهترین الگوریتم آموزش در این حالت گرادینان مزدوج با شروع مجدد پاول-بیل^۱ (traincgb) است که دارای خطای ۲/۳۲ درصد است.

نام اختصاری توابع و الگوریتم مشخصه آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است [۱۷]. با اعمال یک بردار ورودی، بردار خروجی شبکه محاسبه می‌شود. خروجی دلخواه که خطا نامیده می‌شود به سمت عقب در سراسر شبکه منتشر شده و سپس وزن‌ها با استفاده از الگوریتمی که تمایل به حداقل رساندن خطا دارند، تنظیم می‌شود، تا خطا برای کل دسته آموزشی به مقدار کوچک قابل قبولی برسد. در این مراحل با ارائه هر مجموعه اطلاعات به شبکه، وزن‌ها

^۱ Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts

جدول ۲- الگوریتم‌های مختلف آموزش

نام عمومی	نوع الگوریتم	توضیح روش
LM	trainlm	لونیبرگ-مارکودت
BFG	trainbfg	شبه نیوتن BFGS
RP	trainrp	انتشار برگشتی انعطاف‌پذیر
SCG	trainscg	گرادیان مزدوج مقیاس شده
CGB	traincgb	گرادیان مزدوج با شروع مجدد پاول-بیل
CFG	traincfg	گرادیان مزدوج فلچر-پاول
CGP	traincgp	گرادیان مزدوج پلاک-ریبر
OSS	trainoss	سکانت تک گامی
GDX	traingdx	انتشار برگشتی با نرخ یادگیری متغیر

۷-۵- بررسی تأثیر توابع یادگیری

در شبکه عصبی، محاسبات لایه به لایه انجام شده و خروجی محاسبه می‌شود. به این صورت که ابتدا خروجی سلول‌های عصبی یک لایه محاسبه شده و این خروجی‌ها به عنوان ورودی برای لایه بعدی به کار برده می‌شوند. سپس از روی این ورودی‌ها، خروجی‌های لایه دوم محاسبه شده و به همین ترتیب روند ادامه می‌یابد تا بردار خروجی شبکه حاصل شود. در این میان توابع یادگیری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. در ادامه کار به بررسی تأثیر توابع یادگیری پرداخته شده و نتایج حاصل از آن در شکل ۸ نشان داده شده است. نام اختصاری توابع یادگیری و الگوریتم مشخصه آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است [۱۷]. با بررسی نتایج حاصله از بررسی توابع یادگیری مشاهده می‌شود که تابع یادگیری پرسپترون^۱ (learn p) دارای عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر توابع بوده و میانگین خطا در این حالت ۲/۳۲ درصد است.

۷-۶- بررسی تأثیر توابع ارزیابی خطا

تابع ارزیابی^۲، تابعی است که با استفاده از آن میزان اختلاف مقادیر واقعی با خروجی شبکه محاسبه و مقایسه می‌شود. میزان یادگیری و عملکرد شبکه از طریق پارامترها و روش‌های مختلفی سنجیده می‌شود که در ادامه هر کدام از توابع عملکرد سنجی به صورت جداگانه

مورد بررسی قرار گرفته و مناسب‌ترین تابع انتخاب می‌شود. نام اختصاری توابع یادگیری و الگوریتم مشخصه آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. در شکل ۹ نتایج استفاده از توابع ارزیابی مختلف نشان داده شده است [۱۸]. با بررسی نتایج حاصل از بررسی توابع ارزیابی مشاهده می‌شود که تابع مجموع مربعات خطا^۳ (sse) دارای عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر توابع بوده و میانگین خطا در این حالت ۳/۸۸ درصد است.

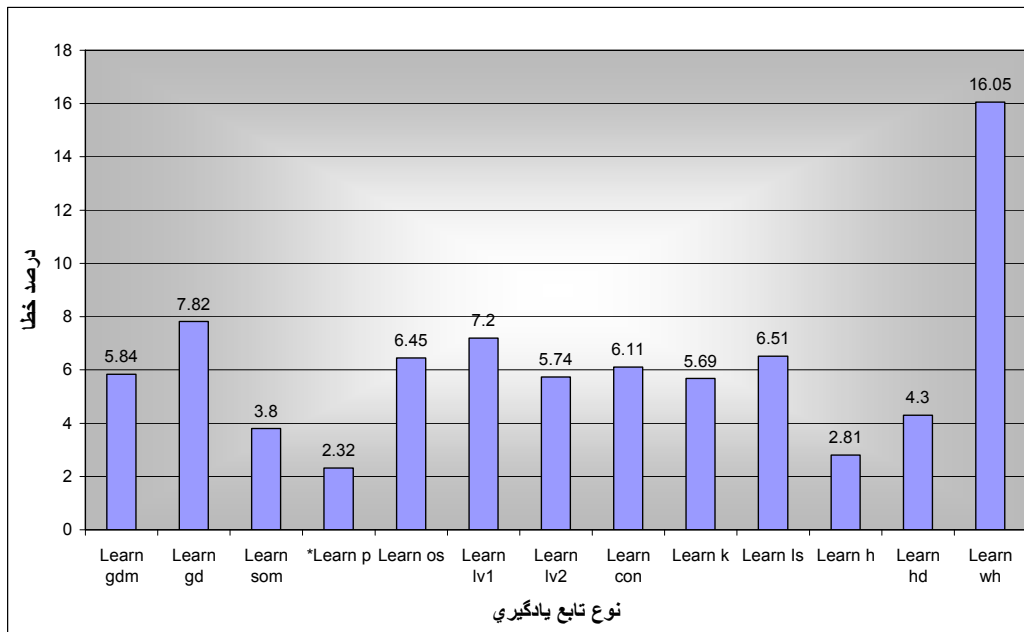
۷-۷- نتایج تخمین فرکانس اول ورق

در جدول ۵ نتایج تخمین فرکانس اول ورق با روش دقیق و استفاده از شبکه عصبی برای ورق‌های با شرایط مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود متوسط میانگین خطا در کلیه حالات ۴/۲۷ درصد بوده که مقدار کمی بوده و زمان محاسبه با شبکه عصبی بسیار ناچیز است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین زمان تحلیل با استفاده از برنامه ANSYS حدود ۷/۸۵ ثانیه و متوسط زمان تحلیل با شبکه عصبی حدود ۰/۱۴ ثانیه است. مشاهده می‌شود که زمان تحلیل به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

^۱ Perceptron

^۲ Performance Function

^۳ Sum Squared Error



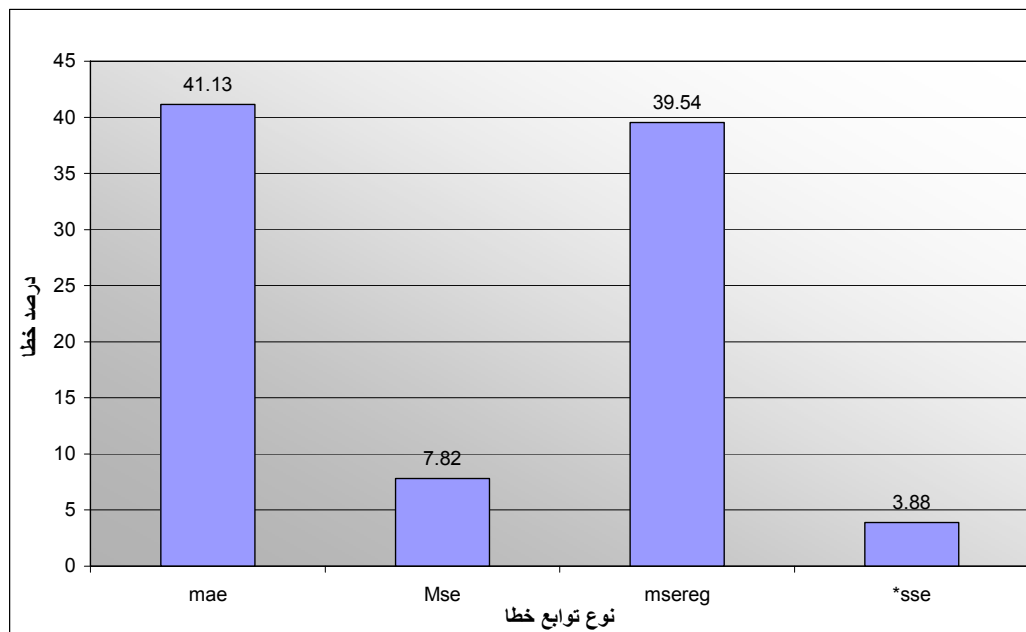
شکل ۸- مقایسه درصد خطا باتوجه به نوع تابع یادگیری

جدول ۳- الگوریتم‌های مختلف یادگیری

نام عمومی	نوع الگوریتم	توضیح روش
GDM	learn gdm	کاهش گرادیان وزن با مومنتم و بایاس
GD	learn gd	کاهش گرادیان وزن با بایاس
SOM	learnsom	خود سازمانی وزن
P	learnp	پرسپترون به همراه وزن و بایاس
OS	learnos	ستاره برون گرا
LV1	learnlv1	آموزش LVQ1
LV2	learnlv2	آموزش LVQ2
CON	learncon	آموزش بایاس
K	learnk	آموزش کوهنون
IS	learnis	آموزش ستاره درون گرا
H	learnh	آموزش هب
HD	learnhd	آموزش هب با کاهش وزن نرخ یادگیری
WH	learnwh	آموزش ویدرو-هاف

جدول ۴- توابع مختلف ارزیابی خطا

نام عمومی	توضیح روش
mae	میانگین قدر مطلق خطا
mse	میانگین مربع خطا
msereg	میانگین مربع خطای اصلاح شده
sse	مجموع مربعات خطا



شکل ۹- مقایسه توابع ارزیابی

جدول ۵- نتایج تخمین فرکانس اول ورق

متوسط درصد خطا	متوسط زمان (ثانیه)		نوع شرایط تکیه‌گاهی ورق
	آزمایش شبکه	تحلیل واقعی	
۳/۸۸	۰/۰۲۱	۸/۸۳	ورق با تکیه‌گاه در پیرامون ورق
۵/۲۱	۰/۰۰۸	۸/۹۲	ورق با تکیه‌گاه در دو ضلع مقابل
۴/۵۵	۰/۰۱۶	۸/۹۹	ورق با تکیه‌گاه در گوشه
۳/۴۲	۰/۰۱۱	۴/۶۷	ورق سوراخ‌دار با تکیه‌گاه دو ضلع مقابل
۴/۲۷	۰/۰۱۴	۷/۸۵	میانگین نتایج تحلیل

استفاده از شبکه عصبی در مقایسه با زمان تحلیل واقعی توسط نرم‌افزار ANSYS بسیار جزئی است. از آنجائی که در بسیاری از محاسبات مهندسی، زمان به‌عنوان یکی از پارامترهای اصلی محسوب می‌شود، لذا به‌کارگیری شبکه‌های عصبی در این گونه مسائل به‌ویژه با حجم تحلیل بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تحقیق به‌خوبی نمایان‌گر عملکرد مطلوب شبکه عصبی چند لایه برای محاسبه فرکانس ورق‌ها با شرایط مختلف تکیه‌گاهی است.

۸- تخمین پنج فرکانس اول یک ورق مستطیلی

در این قسمت باتوجه به شرایط مختلف تکیه‌گاهی ورق‌ها، پنج فرکانس اول ورق تخمین زده می‌شود تا توانایی شبکه پیشنهادی برای تقریب فرکانس‌های بالاتر سنجیده شود. در جدول ۶ نتایج این کار بیان شده است. از جدول مذکور مشخص می‌شود که نتایج حاصل از شبکه در مقایسه با فرکانس‌های واقعی مطلوب بوده و میانگین خطاها ۵/۱۳ درصد است. کاملاً مشخص است که شبکه به‌خوبی از پس یادگیری برآمده و یادگیری خود را به حالت‌های مختلف تعمیم داده است. علاوه بر این، زمان تقریب فرکانس با

جدول ۶- نتایج تخمین پنج فرکانس اول ورق

متوسط درصد خطا	متوسط زمان (ثانیه)		نوع شرایط تکیه‌گاهی ورق
	زمان آزمایش	تحلیل واقعی (ثانیه)	
۴/۲۳	۰/۰۸۹	۸/۸۳	ورق با تکیه‌گاه در پیرامون ورق
۶/۴۱	۰/۰۳۴	۸/۹۲	ورق با تکیه‌گاه در دو ضلع مقابل
۵/۳۶	۰/۰۶۸	۸/۹۹	ورق با تکیه‌گاه در گوشه
۴/۵۲	۰/۰۴۷	۴/۶۷	ورق سوراخ‌دار با تکیه‌گاه دو ضلع مقابل
۵/۱۳	۰/۰۶	۷/۸۵	میانگین نتایج تحلیل

۹- نتیجه‌گیری

توابع تحریک مختلف، بهترین حالت به‌ازای حالتی که تابع تحریک لایه پنهان اول تابع تانژانت سیگموئید، تابع تحریک لایه پنهان دوم، تابع لوگ سیگموئید، و تابع تحریک لایه خروجی، تابع خطی باشد، حاصل شد. همچنین توابع آموزش گرادیان مزدوج با شروع مجدد پاول-بیل، یادگیری پرسپترون و ارزیابی مجموع مربعات خطا بهترین نتایج را ارائه دادند. میانگین خطای شبکه در حالت تخمین یک فرکانس و پنج فرکانس به‌ترتیب ۴/۲۷ و ۵/۱۳ و زمان تخمین مقدار فرکانس در دو حالت مذکور به‌ترتیب ۰/۰۱۴ و ۰/۰۶ ثانیه است. مشاهده می‌شود با خطایی حدود ۵ درصد و زمانی بسیار ناچیز فرکانس‌های یک ورق با دقت بالایی تخمین زده شده‌اند.

در این تحقیق برای مدل‌سازی شبکه عصبی برنامه‌ای در محیط MATLAB نوشته شد و از زیر برنامه‌های آن نیز کمک گرفته شد. شبکه‌های مختلف با تعداد لایه‌های دو تا پنج لایه مورد بررسی قرار گرفت که باتوجه به میزان خطاهای حاصله، شبکه newelm سه لایه به‌عنوان مناسب‌ترین شبکه انتخاب گردید. سپس با تغییر تعداد نرون‌ها در لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌های مطلوب به‌دست آمد. باتوجه به روابط پیچیده ریاضی، جهت تنظیم وزن‌های لایه‌ها، در حالتی که در لایه پنهان اول ۸ نرون و در لایه پنهان دوم نیز ۸ نرون وجود داشته باشد، حالت مطلوب‌تری نسبت به سایر حالات حاصل شد. با انتخاب

فهرست علائم

p	ورودی به شبکه عصبی	n	خروجی نرون
iw	وزن لایه ورودی (لایه پنهان اول)	f	تابع تحریک
lw	وزن لایه‌های پنهان میانی	a	خروجی تابع تحریک

مراجع

- [1] Taylor, J.G., Mannion, CLT. (1992). "Theory and application of neural networks", Springer-Verlag, New York,.
- [2] Freeman, J.A. (1994). "Simulating neural networks". Addison-Wesley Publishing Company, Inc., New York.
- [3] Fausett, L. (1994). "Fundamentals of neural networks". Prentice Hall Company, New York.
- [4] Salajegheh, E., Heidari, A. (2004). "Approximate dynamic analysis of structures against earthquake by discrete wavelet neural network". Proceeding of the Third International Conference on advances in Structural Engineering and Mechanics (ICSCS'04), Ed. Chang-Koon Choi, Seoul, Korea, pp. 775-788.

- [5] Heidari, A., Salajegheh, E. (2006). "Time history analysis of structures for earthquake loading by wavelet networks". *Asian Journal of Civil Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 155-168.
- [6] Heidari, A., Salajegheh, E. (2007). "Approximate dynamic analysis of structures for earthquake loading using FWT", *International Journal of Engineering (IJE)*, I.R.I., Vol. 20, No. 2, pp. 1-11.
- [7] Gholizadeh, S., Sheidaii, M.R., Farajzadeh, M.R. (2012). "Seismic design of double layer grids by neural networks". *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, Vol. 2, pp. 29-45.
- [8] Heidari, A. (2011). "Calculation of frequency of retaining wall by back propagation neural network". *Asian Journal of Civil Engineering*, Vol. 12, No. 3, pp. 267-278.
- [9] Lagaros, N.D., Papadrakakis, M. (2012). "Neural network based prediction schemes of the non-linear seismic response of 3D buildings". *Advances in Engineering Software*, Vol. 44, No. 1, pp. 92-115.
- [10] Naderpour, H., Kheyroddin, A., GhodratiAmiri, G. (2010). "Prediction of FRP-confined compressive strength of concrete using artificial neural networks". *Composite Structures (Elsevier)*, Vol. 92, pp. 2817-2829.
- [۱۱] حسن‌آبادی، م.، حداد، ع.، نادریور، ح. (۱۳۹۰). "استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی واقع بر بسترهای چند لایه چسبیده". *مجله مدل‌سازی در مهندسی، دانشگاه سمنان*، سال ۹، شماره ۲۴.
- [۱۲] مرتضایی، ع.، خیرالدین، ع. (۱۳۹۱). "مدل‌سازی و تخمین طول مفصل پلاستیک ستون‌های بتن‌آرمه به‌کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی". *مجله مدل‌سازی در مهندسی، دانشگاه سمنان*، سال ۱۰، شماره ۲۹.
- [13] Hagan, M.T., Demuth, H.B., Beale, M.H. (1996). "Neural network design". MA: PWS Publishing, Boston.
- [14] Kohonen, T. (1997). "Self-organizing maps". Second Edition, Springer-Verlag, Berlin.
- [15] Medsker, L.R., Jain, L.C. (2000). "Recurrent neural networks: design and applications". Boca Raton, FL: CRC Press.
- [۱۶] معاونی، س. "راهنمای سریع ویژوال ANSYS". تهران، انتشارات ناقوس، ۱۳۸۱.
- [17] Demuth, H., Beale, M. (2006). "Neural network toolbox users guide: for use with MATLAB". The Math. Works.
- [18] Wasserman, PD. (1989). "Neural computing: theory and practice". Van Nostrand Reinhold, New York.