

روش های ترکیب شبکه عصبی در پیش بینی نتایج آزمایش های روانی و مقاومتی بتن خودتراکم

محمد مهدی یوسفی^{۱*} و موسی مظلوم^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: بتن خودتراکم، ترکیب شبکه عصبی مصنوعی.</p>	<p>امروزه بتن خودتراکم از جمله بتن های پر کاربرد دنیا می باشد. اما از آنجا که طرح اختلاط بتن خودتراکم به نتایج آزمایش های روانی آن وابسته است، در پروژه های عملی به علت وجود خطای کارگاهی، هزینه بالا، اجرای مشکل بعضی از آزمایش ها و نبودن زمان کافی برای آزمایش نمونه ها، پیمانکاران از این بتن کمتر استفاده کرده اند. به همین منظور برای تسهیل در استفاده اجرایی از بتن خودتراکم، محققان به فکر مدلسازی آن افتادند. یکی از روش های مدلسازی، شبکه های عصبی مصنوعی است. هدف این مقاله ارائه طرح اختلاط، با مصالح ساده و در دسترس پیمانکاران و در نهایت بدست آوردن تخمینی مناسب برای نتایج آزمایش های روانی و مقاومتی بتن خودتراکم می باشد. بدین ترتیب که با انجام آزمایش های ساده بتن خودتراکم بتوان نتایج آزمایش های مشکل و زمان بر را با دقت آزمایشگاه، در محیط کارگاه بدست آورد.</p>

۱- مقدمه

فراهم شود که بعضاً با مشکل همراهند. از سال ۱۹۸۸ به منظور دستیابی به سازه بتنی با دوام، بتن خود تراکم ساخته شد و گام جدیدی در صنعت سازه به وجود آمد. از جمله پروژه های عظیمی که با بتن خود تراکم اجرا شده است می توان به پل معلق Akashi-Kaiko در ژاپن، دیواره مخازن عظیم LNG شرکت گاز اوزاکا در ژاپن، برج Landmark در یوکوهاما ژاپن، بازار بزرگ Midsummer در لندن انگلستان، توسعه حرم حضرت معصومه در قم، تونل رسالت تهران و... اشاره کرد.

بتن خودتراکم یعنی بتنی که تحت اثر وزن خود جاری شود و بدون نیاز به هر گونه لرزاننده به طور کامل قالب ها را پر کرده (حتی در حضور میلگرد های فراوان) و حالت همگن بودن خود را حفظ کند [۱]. این هدف با محدود کردن درصد سنگدانه ها به همراه استفاده از مقادیر زیادی

امروزه بخاطر کاربرد زیاد بتن خودتراکم (Self Compacting Concrete) از آن برای ساخت بسیاری از سازه ها استفاده می شود. چون SCC علاوه بر اینکه هزینه اجرای پروژه های سازه ای را پایین می آورد، به علت روانی و کارایی بالایی که دارد برای سازه های با تراکم آرماتور زیاد و تعداد گوشه های فراوان و سازه های دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. اما از آنجا که طرح اختلاط ثابتی برای بتن خود تراکم وجود ندارد، برای تشخیص آن باید شرایط آزمایش های بتن خودتراکم

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.y.2370@gmail.com

۱. کارشناس ارشد سازه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

۲. استادیار دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

نتایج این تحقیقات نشان داده است که استفاده از ANN در بدست آوردن نتایج آزمایش ها با تخمین مورد قبول، مفید بوده است.

۲- متن اصلی

قبل از ساخت شبکه های عصبی برای بتن خودتراکم، نیازمند بدست آوردن اطلاعات برای ساخت شبکه داریم. که این اطلاعات شامل: بدست آوردن طرح اختلاط، انجام آزمایش های مربوطه، مجموعه آموزش و مجموعه آزمایش می باشد.

۲-۱- بررسی طرح اختلاط

با توجه به دید این مقاله (استفاده از SCC در پروژه ها) طرح اختلاطی با استفاده از مصالحی که عموماً در کارگاه ها موجود است، بدست آورده شد. برای ساخت بتن از آب آشامیدنی، سیمان تیپ I، ماسه طبیعی و شن شکسته با حداکثر قطر ۲۰ میلیمتر، پودر سنگ به عنوان فیلر عمومی و میکروسیلیس به عنوان فیلر کمکی استفاده شده است. برای روان کردن از فوق روان کننده ای با کارایی بالا بر پایه پلی کربوکسیلیک-اتر با نام تجاری Glenium 110p استفاده شده است [6].

برای بدست آوردن طرح اختلاط مناسب بیش از ۶۰ آزمایش انجام شده که در نهایت چهار نوع طرح اختلاط به شرح جدول ۱ بدست آمد. وزن های بیان شده در این جدول برحسب کیلوگرم بوده و برای ساخت یک متر مکعب بتن ارایه شده اند.

پودرهای معدنی و غلظت مناسب فوق روان کننده بدست می آید. برای تشخیص خودتراکمی بتن، باید حداقل پنج آزمایش اساسی مربوط به آن یعنی آزمایش جریان اسلامپ، آزمایش حلقه J، آزمایش قیف V شکل، آزمایش L-Box، آزمایش U-Box را انجام داد. با مقایسه جواب های این آزمایش ها با شرایط بیان شده برای بتن خودتراکم، می توان به خودتراکمی بتن پی برد.

به منظور تسهیل در استفاده اجرایی از SCC، محققان به فکر مدلسازی آن افتادند. یکی از روش های مدلسازی که با ایجاد مدلی منطقی و الهام گرفته از شبکه عصبی بدن جانداران به حل مسایل مهندسی و دیگر رشته ها می پردازد و قدرت زیادی جهت تطبیق با مسایل از خود نشان داده است، شبکه های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network) می باشد. بدین منظور تحقیقات فراوانی برای رسیدن به جواب های آزمایش های روانی و مقاومتی بتن با شبکه های عصبی مصنوعی صورت گرفته است. به عنوان مثال جعفر سبحانی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ مقاله ای با عنوان "تخمین مقاومت فشاری بتن با کمک رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی" به چاپ رساندند [۲] و یا چنگ یه^۱ مقاله ای با عنوان "مدلسازی جریان اسلامپ بتن خودتراکم توسط تابع رگرسیون درجه دوم و شبکه عصبی مصنوعی" در سال ۲۰۰۵ به چاپ رسانده است [۳]. به علاوه در سال ۲۰۱۰ محققان هندی شامل سیدیک و همکارانش^۲ مقاله ای با عنوان پیش بینی مقاومت فشاری بتن خودتراکم دارای خاکستر بادی تهیه نمودند [۴].

همچنین محققان اهل کشور ترکیه با نام های یوسال و تانیزی^۳ در سال ۲۰۱۱ مقاومت فشاری هسته بتن خودتراکم دارای پلی پروپیلن را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند [۵].

¹. I-Cheng Yeh

². Rafat Siddique, Paratibha Aggarwal, Yogesh Aggarwal

³. Mucteba Uysal and Harun Tanyildizi

جدول ۱: طرح اختلاط بتن خودتراکم

شماره طرح اختلاط	نسبت آب به مواد سیمانی	درصد میکروسیلیس نسبت به مواد سیمانی	وزن سیمان (kg)	وزن آب (kg)	پودر سنگ (kg)	شن (kg)	ماسه (kg)
۱	۰/۳۵	۰	۵۰۰	۱۷۵	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۲	۰/۳۵	۱۰	۴۵۰	۱۷۵	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۳	۰/۴۵	۰	۴۰۰	۱۸۰	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲
۴	۰/۴۵	۱۰	۳۶۰	۱۸۰	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲

۲-۲-۲- آزمایش ها

۲-۲-۳- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش های روانی بتن خودتراکم که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته اند، به شرح ذیل می باشد:

۲-۲-۲-۱- آزمایش L-Box

این آزمایش بیانگر قابلیت پرمکنندگی و قابلیت عبور بتن خودتراکم می باشد. همچنین میتوان وجود یا عدم وجود جداشدگی را به صورت چشمی در این آزمایش مشاهده نمود. این آزمایش به منظور بررسی قابلیت جریان بتن تازه و پدیده انسداد ناشی از حضور میلگرد ها طراحی شده است. از روی اختلاف ارتفاع بتن ابتدا و انتهای مسیر می توان میزان عبور بتن را برآورد کرد [7].

برای انجام این آزمایش نیاز به نمونه بتنی با ابعاد استاندارد داریم که طبق آیین نامه های مختلف نمونه می توانند استوانه ای و یا مکعبی باشند. در این آزمایش برای ساخت و عمل آوری نمونه از آیین نامه BS 1881: part 118-1983 استفاده شده است [9]. طبق این استاندارد برای آزمایش مقاومت فشاری نیاز به نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر است. بعد از گذشت ۷ روز، ۲۸ روز و ۹۰ روز (که در این مدت نمونه در آب غوطه ور بود) با کمک جک هیدرولیکی مقاومت فشاری قابل تحمل نمونه محاسبه می شود.

۲-۲-۲-۴- آزمایش مقاومت کششی ۲۸ روزه

برای انجام آزمایش مقاومت کششی حداقل به سه روش: مستقیم، دو نیم کردن نمونه استوانه ای و آزمایش خمش می توان عمل کرد. که شرایط هر کدام در آیین نامه های موجود می باشند.

در این مقاله از روش سوم (آزمایش خمش) طبق استاندارد BS 1881: part 118-1983 استفاده شد [۱۰]. بدین ترتیب که نمونه های با ابعاد ۴۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر ساخته شد و بعد از گذشت ۲۸ روز که در آب غوطه ور بودند در دستگاه خمش دومحوره (چهارنقطه ای) قرار داده شدند. سپس با کمک رابطه ۱ مقاومت کششی محاسبه می شود.

$$f_t = \frac{PL}{bd^3} \quad (1)$$

۲-۲-۲-۲- آزمایش U-Box

این آزمایش برای اندازه گیری قابلیت پر کردن و قابلیت عبور بتن خودتراکم استفاده می شود. در این آزمایش باید میزان اختلاف ارتفاع بین دو مجرا کمتر از ۳۰ میلیمتر باشد. این آزمایش قابلیت عبور و پرشدگی و توانایی شکل پذیری بتن خودتراکم را مدلسازی می کند. این آزمایش از سخت گیرانه ترین آزمایش های بتن خودتراکم می باشد چون به SCC به صورت سیال واقعی نگاه می کند [8].

که در آن P بار وارد به نمونه در هنگام گسیختگی، L فاصله دو تکیه گاه پایین نمونه، b عرض نمونه و d فاصله بین محل اعمال بار تا تکیه گاه می باشد.

جدول ۲ نتایج بدست آمده از آزمایش ها را برای ساخت، طراحی و آزمون شبکه عصبی نشان می دهد

جدول ۲: نتایج آزمایشگاهی برای ساخت شبکه های عصبی مصنوعی

شماره آزمون	نسبت آب به مواد سیمانی	درصد میکروسیلیس نسبت به مواد سیمانی	درصد فوق روان کننده	آزمایش L-Box (نسبت)	آزمایش U-Box (میلیمتر)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری ۹۰ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت کششی ۲۸ روزه (مگاپاسکال)
۱	۰/۳۵	۰/۸	۰	۰/۸۶	۱۲	۵۸	۶۳/۲	۵/۰۵
۲	۰/۳۵	۱/۲	۰	۰/۹	۷	۵۸	۶۲	۵/۰۰
۳	۰/۳۵	۱/۶	۰	۰/۹۵	۳	۵۶	۶۰/۸	۴/۸۷
۴	۰/۳۵	۰/۸	۱۰	۰/۶۲	۳۶	۶۲	۶۷	۵/۱۸
۵	۰/۳۵	۱/۲	۱۰	۰/۸۲	۱۸	۶۰	۶۵/۷	۵/۱۰
۶	۰/۳۵	۱/۶	۱۰	۰/۹	۵	۵۸	۶۳	۵/۰۵
۷	۰/۴۵	۰/۸	۰	۰/۸۸	۸	۴۲	۴۶/۵	۳/۹۶
۸	۰/۴۵	۱/۲	۰	۰/۹۶	۴	۴۰	۴۴	۳/۸۶
۹	۰/۴۵	۱/۶	۰	۰/۹۸	۱	۳۷	۴۱/۲	۳/۶۷
۱۰	۰/۴۵	۰/۸	۱۰	۰/۵۷	۲۴	۴۵	۴۹	۴/۲۲
۱۱	۰/۴۵	۱/۲	۱۰	۰/۸۶	۱۳	۴۶	۴۹/۵	۴/۲۷
۱۲	۰/۴۵	۱/۶	۱۰	۰/۹	۶	۴۱	۴۵/۲	۳/۹۱

بعد از بدست آمدن این نتایج با استفاده از توابع رگرسیون درجه یک، تعداد داده های آموزش در هر طرح اختلاط به ۱۰۰ داده افزایش پیدا کرد و در نهایت برای هر طرح اختلاط دو آزمایش دیگر طراحی شد که نتایج آن را در جدول ۳ ارایه شده اند.

جدول ۳: نتایج آزمایشگاهی برای آزمون شبکه های عصبی مصنوعی

شماره آزمون	نسبت آب به مواد سیمانی	درصد میکروسیلیس نسبت به مواد سیمانی	درصد فوق روان کننده	آزمایش L-Box (نسبت)	آزمایش U-Box (میلیمتر)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری ۹۰ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت کششی ۲۸ روزه (مگاپاسکال)
۱۳	۰/۳۵	۱/۰	۰	۰/۸۸	۹/۵	۵۸	۶۲/۷	۵/۰۲
۱۴	۰/۳۵	۱/۴	۰	۰/۹۲	۵	۵۷	۶۱/۵	۴/۹۴
۱۵	۰/۳۵	۱/۰	۱۰	۰/۷۲	۲۷	۶۱	۶۶	۵/۱۴
۱۶	۰/۳۵	۱/۴	۱۰	۰/۸۶	۱۱/۵	۵۹	۶۴	۵/۰۷
۱۷	۰/۴۵	۱/۰	۰	۰/۹۲	۶	۴۱	۴۵/۵	۳/۹۱
۱۸	۰/۴۵	۱/۴	۰	۰/۹۷	۲/۵	۳۹	۴۲/۵	۳/۷۶
۱۹	۰/۴۵	۱/۰	۱۰	۰/۷۱	۱۸/۵	۴۴/۹	۴۸/۸	۴/۲۵
۲۰	۰/۴۵	۱/۴	۱۰	۰/۸۸	۹/۵	۴۳/۵	۴۷	۴/۰۹

۲-۳- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی پردازنده ای است که دانشی که از راه تجربه کسب شده را برای استفاده های دیگر ذخیره می کند. این پردازنده از دو جهت شبیه مغز انسان است. دانش شبکه از طریق فرآیند آموزش صورت می پذیرد. وزن اتصالات بین نرون ها مشابه سیستم ذخیره اطلاعات شبکه عصبی مغز انسان تعیین می شود [۱۱].

شبکه های عصبی از نظر ساختار به شبکه های تک لایه و چند لایه تقسیم می شوند. شبکه های عصبی چند لایه از سه نوع لایه تشکیل شده اند. وجود این سه لایه برای تشکیل یک شبکه عصبی مصنوعی ضروری است. نرون ها^۱ عناصر تشکیل دهنده لایه ها^۲ در شبکه های عصبی می باشند. عناصر هر لایه با تمام عناصر لایه های دیگر در ارتباط است. ولی با سایر عناصر در همان لایه ارتباطی ندارد [۱۲].

مجموعه داده هایی وارد شده در شبکه عصبی به دو دسته مجموعه آموزشی و مجموعه آزمایشی تقسیم می شوند. مجموعه آزمایشی برای سنجیدن مقدار بدست آمده از شبکه با مقدار واقعی می باشد و به کمک آن می توانیم مقدار خطای نهایی شبکه را صرفنظر از روش آموزش محاسبه کنیم [۱۳].

مجموعه آموزشی برای بالا بردن توان یادگیری، در شبکه مورد استفاده قرار می گیرد. شبکه باید وزن های ارتباطی را از الگوهای آموزشی موجود یاد بگیرد. روش های آموزش به دو دسته با نظارت^۳ و بدون نظارت^۴ تقسیم می شود [۱۴]. روش های آموزش با نظارت هنگامی به کار می رود که بردار خروجی شبکه از قبل تعریف شده باشد. در این صورت وقتی که شبکه در حال آموزش است، بلافاصله پاسخ صحیح به آن برگشت داده می شود. درحقیقت الگوریتم آموزش به دنبال حداقل شدن اختلاف بردار

خروجی صحیح و بردار خروجی حاصله است. در شبکه عصبی چند لایه، تابع خطا نسبت به ضرایب وزنی متغیر است. بنابراین باید مقدار خطا ابتدا در واحدهای لایه خارجی محاسبه شوند و سپس به لایه های قبلی شبکه برای تغییر ضرایب وزنی واحدهای قبلی برگشت داده شود. در آموزش بدون نظارت که برای خوشه بندی استفاده می شود، هیچ گونه بازگشتی وجود ندارد و به شبکه آموزش داده می شود تا شباهت های بین بردارهای ورودی را شناسایی کرده تا شبکه عصبی بتواند نتایج را خوشه بندی کند.

در این مقاله از روش آموزش با نظارت استفاده شده است. همچنین برای ساخت شبکه عصبی از نرم افزار MATLAB استفاده شده است و با استفاده از دو نوع مرسوم توابع شبکه های عصبی مصنوعی به نام Newff (پرسپترون چند لایه)^۵ و Newrb (توابع شعاعی پایه)^۶ شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده است.

طراحی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه شامل انتخاب تعداد لایه(های) پنهان، تعداد نرون برای لایه(های) پنهان، تعداد تکرار مجموعه آموزش، حداکثر خطای ممنتوم، حداکثر طول گام برای توقف آموزش می باشد که همگی یک فرآیند سعی و خطا جهت کسب بهترین نتیجه ممکن برای تولید خروجی می باشد. اما شبکه عصبی توابع شعاعی پایه شامل انتخاب شعاع مناسب برای رسیدن به بهترین تخمین می باشد.

در شبکه های عصبی میزان خطا از رابطه زیر ۲ بدست می آید [۱۵].

$$mse = 1/n \cdot \sum [(target(i) - estimate(i))^2] \quad (2)$$

که در آن:

mse میزان میانگین مربع خطای شبکه.

n تعداد داده های آزمون شبکه.

target(i) جواب واقعی حاصل از آزمایش i ام.

1. Neurons

2. Layers

3. Supervised

4. Unsupervised

5. Multi-Layer Perceptron

6. Radial Basis Function

متحد کردن چند شبکه عصبی که به صورت مجزا کار می کنند.

افزایش دامنه کاربرد

برای ترکیب در این مقاله از سه روش مرسوم برای ترکیب استفاده شده است که در ادامه به شرح آنها پرداخته شده است.

روش اول: ترکیب نتایج [۱۹]

در این روش هر کدام از شبکه های عصبی هر طرح اختلاط به عنوان قسمتی از شبکه کل در نظر گرفته می شود. در واقع داده های ورودی به هر چهار شبکه عصبی وارد شده و در نهایت نتایج هر چهار شبکه عصبی با یکدیگر ترکیب می شوند.

برای این روش نیز از برنامه های Newrb و Newff استفاده شده است. این روش به روش وزن دهی نتایج نیز معروف است.

روش دوم: تعمیم پشته ای^۱

ساختار الگوریتم تعمیم پشته ای برای ترکیب شبکه های عصبی از دو سطح تشکیل شده است. در سطح اول، طبقه بندهایی قرار دارند که روی داده های مجموعه یادگیری آموزش می بینند. پس از اتمام آموزش خروجی طبقه بندهای لایه اول به ازای تمام داده های مجموعه یادگیری جمع آوری شده و در مجموعه ای جدید قرار می گیرند. این مجموعه به عنوان ورودی به طبقه بند سطح دوم داده می شود که برای آموزش این ورودی ها همان بردار آموزش داده های مجموعه یادگیری اصلی به صورت نظیر به نظیر خواهد بود. شکل 1 به صورت شماتیک ساختار روش تعمیم پشته ای برای ترکیب شبکه های عصبی را نشان می دهد [۲۰].

همانطور که از شکل پیداست، در این روش، ابتدا اجتماعی از طبقه بندها ساخته میشود که خروجی آنها به عنوان ورودی فراتطبقه بند لایه بعد به شمار می آید. این فراتطبقه بند، نگاشت میان خروجی های هر یک از طبقه بندهای

estimate(i) نتیجه بدست آمده از آزمایش i ام توسط شبکه عصبی مصنوعی.

دلیل استفاده از توان دوم این رابطه این است که منفی بودن حاصل target(i)-estimate(i) به اشتباه موجب کمتر نشان دادن میزان خطا نشود.

طبق مقالات گذشته [۱۶] شبکه های عصبی مصنوعی طراحی شده بر روی هر کدام از طرح اختلاط ها با تخمین خوبی توانستند نتایج مربوط به آزمایش های بتن خودتراکم را پیش بینی نمایند. اما هدف نهایی طرح پیش بینی نتایج تمام طرح های اختلاط ممکن با کمک مصالح مورد آزمایش بود. بنابراین تصمیم گرفته شد که شبکه های عصبی مربوط به چهار طرح اختلاط با یکدیگر ترکیب شوند.

۲-۴- ترکیب شبکه عصبی مصنوعی [۱۷]

قبل از وارد شدن به بحث ترکیب شبکه عصبی، بهتر است راجع به کاستی های شبکه عصبی مجزا صحبت شود، تا دلایل استفاده از ترکیب مشخص شود.

زیاد بودن تعداد شبکه های عصبی طراحی شده. یعنی برای ارایه به صنعت، کاربر همواره باید از حداقل چهار شبکه عصبی استفاده کند.

شبکه های عصبی به صورت مجزا نمی تواند به پیش بینی نتایج آزمایش نمونه هایی که بین طرح اختلاط آنها باشد بپردازند. یعنی نمی توان با این شبکه نتایج طرح اختلاطی که مثلا دارای ۵ درصد میکروسیلیس نسبت به مواد سیمانی باشد را پیش بینی کرد.

برای حل این مشکلات و مشکلات مشابه و همچنین استفاده از مزایای ترکیب که در ذیل لیست شده اند، شبکه های عصبی با یکدیگر ترکیب شدند.

از جمله مزایای ترکیب شبکه عصبی [۱۸]:

بالا بردن ضریب اطمینان طراحی.

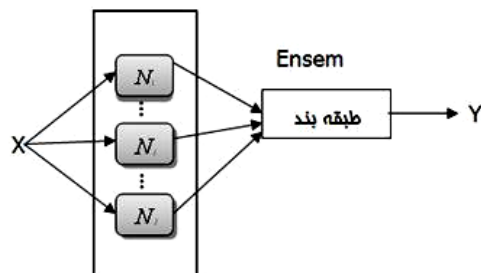
پایین آوردن میزان خطای کلی شبکه.

¹ . Stacked Generalization

برای طراحی این روش نیز از توابع Newrb و Newff استفاده شده است.

بعد از طراحی شبکه های عصبی ترکیبی برای اطمینان از صحت ترکیب ۲۴ نمونه بین طرح اختلاطی با توجه به جدول ۳ ساخته شد که نتایج آن قابل مشاهده است.

معمولی لایه ی اول را با کلاس های خروجی واقعی یاد می گیرد [۲۱].



شکل ۱: شمای کلی روش تعمیم پشته ای

جدول ۳: نتایج آزمایش های بتن خودتراکم برای آزمون ترکیب شبکه های عصبی مصنوعی

شماره آزمون	نسبت آب به مواد سیمانی	درصد میکروسیلیس نسبت به مواد سیمانی	درصد فوق روان کننده	آزمایش L-Box (نسبت)	آزمایش U-Box (میلیمتر)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری ۹۰ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت کششی ۲۸ روزه (مگاپاسکال)
۲۱	۰/۳۷	۱/۶	۰	۰/۹۶	۲/۵	۵۴/۵	۵۹	۴/۸۳
۲۲	۰/۳۷	۱/۶	۱۰	۰/۹	۵	۵۶/۲	۶۱/۵	۵/۰۰
۲۳	۰/۴۰	۱/۲	۰	۰/۹۳	۵	۵۱/۸	۵۴/۵	۴/۶۳
۲۴	۰/۴۰	۱/۲	۱۰	۰/۸۴	۱۱	۵۳	۵۷/۶	۴/۶۹
۲۵	۰/۴۳	۰/۸	۰	۰/۸۸	۹	۴۵/۲	۴۹/۸	۴/۱۸
۲۶	۰/۴۳	۰/۸	۱۰	۰/۶۸	۲۰	۴۸/۴	۵۲/۶	۴/۴۱
۲۷	۰/۳۵	۱/۶	۵	۰/۹۳	۴	۵۷	۶۱/۹	۴/۹۶
۲۸	۰/۳۵	۱/۶	۸	۰/۹۱	۴/۵	۵۷/۶	۶۲/۶	۵/۰۰
۲۹	۰/۳۷	۱/۲	۵	۰/۸۷	۱۰	۵۵/۸	۶۰/۴	۴/۸۵
۳۰	۰/۳۷	۱/۲	۸	۰/۸۴	۱۲	۵۶/۶	۶۱/۶	۴/۹۰
۳۱	۰/۴۰	۱/۲	۵	۰/۸۹	۷/۵	۵۲/۴	۵۷	۴/۸۰
۳۲	۰/۴۰	۱/۲	۸	۰/۸۶	۱۰	۵۳/۲	۵۷/۷	۴/۹۳
۳۳	۰/۴۳	۰/۸	۵	۰/۸۲	۱۴	۴۶/۸	۵۱/۲	۴/۳۰
۳۴	۰/۴۳	۰/۸	۸	۰/۷۱	۱۸	۴۷/۸	۵۲	۴/۳۷
۳۵	۰/۴۵	۰/۸	۵	۰/۸	۱۴	۴۳/۵	۴۷/۸	۴/۱۰
۳۶	۰/۴۵	۰/۸	۸	۰/۶۳	۲۱	۴۵/۸	۵۰	۴/۳۲

اکنون با هر دو روش شبکه های عصبی طراحی شده با یکدیگر ترکیب می شوند که میزان خطای mse هر کدام از شبکه های ارایه شده در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۴: میزان mse ترکیب شبکه های عصبی مصنوعی

مقاومت کششی		مقاومت فشاری		آزمایش روانی		آزمایش
Newrb	Newff	Newrb	Newff	Newrb	Newff	تابع
۰/۰۰۵۷۳	۰/۰۰۴۰۳	۰/۹۷۶۸۲	۱/۵۶۰۵۳	۰/۸۹۰۴۹	۰/۱۸۹۲۰	روش اول
۰/۰۰۶۳۷	۰/۰۰۴۰۳	۱/۰۹۲۷۳	۱/۷۴۱۶۲	۱/۲۱۹۵۳	۰/۵۳۵۵۷	روش دوم

روش سوم: ترکیب داده های خروجی

در روش سوم، داده های خروجی حاصل از دو روش قبل در سطوح مختلف با هم ترکیب می شوند و در نهایت یک جواب به عنوان جواب نهایی ارائه می شود [۲۲].

جدول ۵ میزان mse حاصل از روش سوم را در سطوح مختلف نشان می دهد. سطح اول، ترکیب بر اساس نوع

شبکه می باشد. یعنی Newff ها با یکدیگر و Newrb ها با هم ترکیب شدند.

سطح دوم، ترکیب بر اساس روش است. یعنی روش اول با یکدیگر و روش دوم باهم ترکیب شدند.

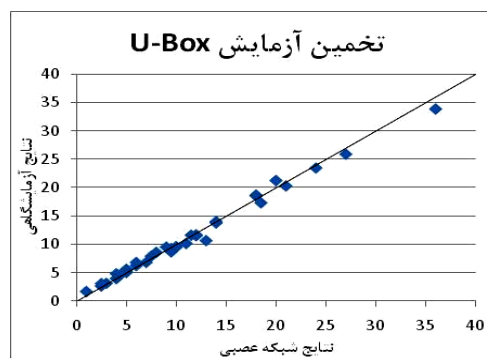
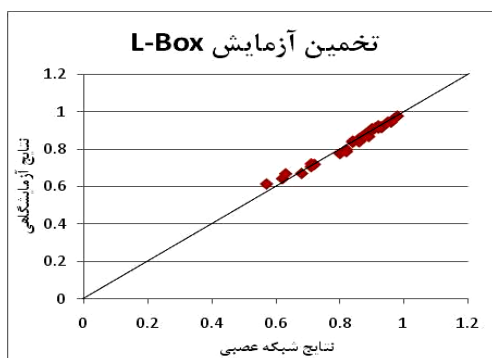
در سطح سوم تمام خروجی حاصل از روش اول و دوم با یکدیگر ترکیب شدند. میزان mse در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: میزان mse در ترکیب سوم

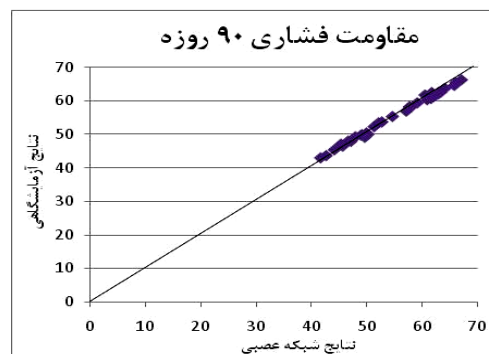
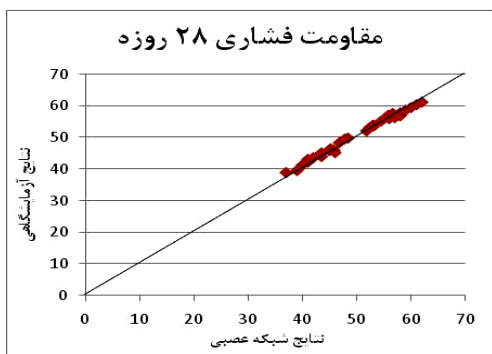
سطح سوم	سطح دوم		سطح اول		سطوح ترکیب سوم
	روش دوم	روش اول	Newrb	Newff	
۰/۲۹۶۹۳	۰/۸۰۷۳۷	۰/۳۷۴۹۵	۰/۹۴۹۳۷	۰/۱۷۲۷۳	آزمایش روانی
۰/۹۲۴۹۹	۱/۰۱۶۰۸	۰/۹۴۹۳۸	۰/۹۹۳۶۴	۱/۶۲۸۶۲	آزمایش مقاومت فشاری
۰/۰۰۳۸۵	۰/۰۰۴۰۷	۰/۰۰۳۸۶	۰/۰۰۶۰۱	۰/۰۰۴۰۳	آزمایش مقاومت کششی

همانطور که ملاحظه می گردد همیشه سطح سوم دارای کمترین mse نیست ولی در مجموع می توان به عنوان بهترین نتیجه برای ارائه به صنعت معرفی گردد.

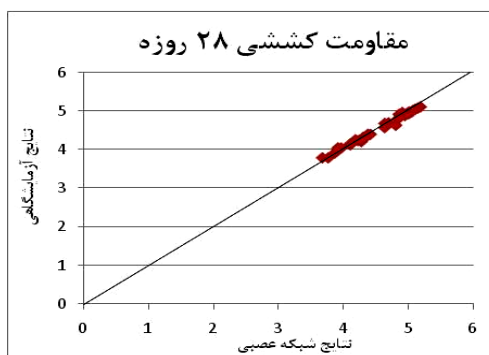
همپوشانی نتایج حاصل از ترکیب سطح سوم شبکه های عصبی مصنوعی و نتایج آزمایشگاهی در شکل های ۲ و ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۲: نمودار نتایج حاصل از ترکیب شبکه عصبی مربوط به آزمایش های روانی



شکل ۳: نمودار نتایج حاصل از ترکیب شبکه عصبی مربوط به آزمایش های مقاومت فشاری



شکل ۴: نمودار نتایج حاصل از ترکیب شبکه عصبی مربوط به آزمایش مقاومت کششی

خلاصه و نتیجه گیری

از جمله نتایج حاصل شده از این پژوهش می توان به موارد زیر اشاره کرد:

رفتار و مهارت اپراتور و همچنین عوامل محیطی در آزمایشگاه تاثیر مستقیمی بر روی نتایج آزمایش ها دارد به طوریکه برخی از نتایج دست خوش این عوامل شده است. اما ترکیب شبکه های عصبی به علت یکپارچه کردن نتایج و نتیجه گیری با کمک روش های گوناگون توانستند تا حدی این خطا را کم کرده و بر اساس داده های دسته بندی شده، نتایج بهتری ارائه دهد.

کلاً شبکه های عصبی توانستند روش کار ساده تری برای رسیدن به نتایج آزمایش های روانی و آزمایش های مقاومتی بتن خودتراکم ارائه دهند و از روشهای عددی مناسب برای تخمین به حساب آمدند.

در صورت جوابگو بودن روش شعاعی، سرعت به جواب رسیدن آن به مراتب بیشتر از روش پرسپترون می باشد و همچنین کار با آن ساده تر می باشد. بنابراین توصیه می شود که برای تخمین نتایج آزمایش های SCC، ابتدا از

طراحی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه شامل انتخاب تعداد لایه(های) پنهان، تعداد نرون برای لایه(های) پنهان، تعداد تکرار مجموعه آموزش، حداکثر خطای ممنوع، حداکثر طول گام برای توقف آموزش می باشد که همگی یک فرآیند سعی و خطا جهت کسب بهترین نتیجه ممکن برای تولید خروجی می باشد. اما شبکه عصبی توابع شعاعی پایه شامل انتخاب شعاع مناسب برای رسیدن به بهترین تخمین می باشد.

برای اینکه مقدار خطای نتایج کمتر شود می توان از شبکه های عصبی ترکیبی استفاده کرد. مثلاً در هر طرح اختلاط بتن، نتایج تابع Newff را با تابع Newrb ترکیب نمود. با این روش مقدار خطا کمتر می شود. همچنین با ترکیب نمودن تمام طرح های اختلاط می توان نتایج آزمایشگاهی برای نسبت های مختلف آب به مواد سیمانی و نسبت های مختلف میکروسیلیس نسبت به مواد سیمانی بدست آورد.

روش شعاعی استفاده شود. در صورت نرسیدن به شبکه مناسب، از MLP استفاده شود. نتیجه رسیدند، حتی نتایج دور از واقعیت شبکه مجزا تعدیل شده و نتایج بهتری حاصل شد. ترکیب شبکه های عصبی علاوه بر کم کردن میزان خطا، موجب افزایش کاربرد شبکه عصبی در طرح اختلاط های مابین طرح اختلاط های موجود شد.

مراجع

- [1] Bartos, P.J.M.Gibbs, J.C. and Zhu,W.Z. "Uniformity of in situ properties of self compacting concrete in full scale structure elements", Cement and Concrete Composites, 2001.
- [2] Sobhani, Jafar. Najimi, Meysam. Pourkhorshidi, Ali Reza. Parhizkar, Tayebbeh. "Prediction of the compressive strength of no-slump concrete: A comparative study of regression, neural network and ANFIS models", Construction and Building Materials, Volume 24, Issue 5, May 2010.
- [3] Cheng Yeh, I., "Modeling slump flow of concrete using second-order regressions and artificial neural networks", Cement and Concrete Composites, Volume 29, Issue 6, July 2007.
- [4] Siddique, Rafat. Aggarwal,Paratibha. and Aggarwal,Yogesh. October 2011, "Prediction of compressive strength of self-compacting concrete containing bottom ash using artificial neural networks", advances in Engineering Software, Volume 42, Issue 10.
- [5] Uysal, Mucteba and Tanyildizi, Harun., November 2011, "Predicting the core compressive strength of self-compacting concrete (SCC) mixtures with mineral additives using artificial neural network", Construction and Building Materials, Volume 25, Issue
- [۶] ایراجیان، محمود. "کاربرد مواد افزودنی در پروژه های سد سازی"، چهارمین کنفرانس بین المللی سد سازی، تهران، ۱۳۸۰.
- [7] Peterson, O. Billberg, P. and Van, B.K. "A model for self-compacting concrete", proceeding of international RILEM conference on production methods and workability of concrete, 1996.
- [8] Haykawa, M. "development and application of super workable concrete", proceeding of international RILEM workshop on special concretes-workability and mixing, 1993.
- [9] BS 1881-part 116, "method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes" 1983.
- [10] BS 1881-part 118, "method for Determination of Tensile Strength of Concrete", April 1987.
- [۱۱] البرزی، محمود. "آشنایی با شبکه های عصبی"، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۳.
- [12] Philip D. Wasserman. "Neural Computing: Theory and Practice." Van No strand Reinhold Co. New York, USA, 1989.
- [13] Bishop, Christopher. M. "Neural Networks for Pattern Recognition", CLARENDON PRESS· OXFORD, 1995.
- [14] Haykin. S. "Neural Network: A comprehensive foundation", NY: Macmillan, 1994.
- [۱۵] کیا، مصطفی. ۱۳۸۹، "شبکه های عصبی در MATLAB"، چاپ سوم.
- [16] Mazloom, Moosa and Yoosefi, M. M. "Estimating the Long-term Strength of Self-Compacting Concrete from Short-term Tests", Journal of Civil Engineering and Architect, January 2011.
- [17] Polikar, Robi."Ensemble based systems in decision making", IEEE CIRCUITS AND SYSTEMS MAGAZINE, 2006.
- [18] Kardos, Mirosław. Kania, Pieter. Budzyna, Pawel. Blachnik, Markin. Wiczorek, Tadeusz. Golak, Sławomir. "Combining the advantages of Neural Networks and decision tree for regression problems in a steel temperature prediction system", HAIS'12 Proceedings of the 7th international conference on Hybrid Artificial Intelligent Systems, 2012.

- [۱۹] حاتمی، نیما. میرزازاده، حجت. ابراهیم پور، رضا. "ترکیب شبکه های عصبی برای پیش بینی قیمت سهام"، پژوهشنامه علوم اقتصادی، ۱۳۸۹.
- [20] Tanaka, H. "Fuzzy data analysis by possibility linear models." *Fuzzy Sets and Systems*, 24(3), PP. 363-375, 1987.
- [۲۱] خاشعی، مهدی و بیجاری، مهدی. "به کارگیری مدل ترکیبی شبکه های عصبی مصنوعی با رگرسیون فازی با هدف پیش بینی قیمت طلا"، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۴، شماره ۱. فروردین ۱۳۸۹.
- [22] Hayashi, Yoichi & Setiono, Rudy. "Combining neural network predictions for medical diagnosis", *Computers in Biology and Medicine*, 2002.