

## تعیین مقاومت درجای بتن و ملات تعمیری خود تراکم بر بسترهای مختلف بتنی با استفاده از روش‌های پیچش، منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی

محمود نادری  
دانشیار دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)  
اویس قدوسیان\*  
دانشجوی دکتری سازه دانشگاه گیلان

### چکیده

از آنجا که بتن و ملات خودتراکم، خود ترازند و نیازی به تراکم ندارند، محبوبیت زیادی به عنوان مصالح تعمیری در صنعت تعمیر سازه‌های بتنی پیدا کرده‌اند. در این مقاله، مقاومت درجای بتن و ملات تعمیری خودتراکم - که نقش مهمی در چسبندگی این لایه به بتن بستر دارد- بر بسترهای مختلف بتنی با بکارگیری روش پیچش تعیین شده است. اثرات پنج شرط مختلف سطحی روی مقاومت درجای لایه تعمیری مورد مطالعه قرار گرفته و همچنین نتایج آزمایشگاهی با مقادیر پیش بینی شده توسط منطق فازی و شبکه‌های عصبی مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: مقاومت درجا، بتن و ملات تعمیری خودتراکم، روش پیچش، منطق فازی، شبکه‌های عصبی.

## ۱. مقدمه

به عنوان بتن پایه برای لایه‌های ترمیمی استفاده شده است. این بتن‌های پایه در ۵ حالت خشک با سطح خشک، خشک با سطح دوغابی، اشباع با سطح خشک، اشباع با سطح خیس و اشباع با سطح دوغابی آماده شده‌اند. پس از اجرای لایه ترمیمی بر روی این بتن‌ها و عمل‌آوری آن‌ها در حالت عمل‌آوری در گونی و پلاستیک، با استفاده از روش پیچش به بررسی مقاومت درجای این لایه‌ها به بستر بتنی خود در سن ۲۸ روزه پرداخته شده است. در نهایت با استفاده از تحلیل آماری (رگرسیون خطی) به کمک نرم افزار SPSS 17 درجه اهمیت هر پارامتر تعیین و فرمولی برای تعیین لنگر پیچشی به دست آمده از روش پیچش برای تعیین مقاومت درجای لایه تعمیری با توجه به پارامترهای تأثیرگذار ارائه شده است. در انتها به کمک منطق فازی و با استفاده از نرم افزار MATLAB 2009 و نیز شبکه‌های عصبی و به کمک نرم افزار SPSS 17 نتایج آزمایش‌ها پیش‌بینی شده و با نتایج حاصل از آزمایش‌ها و رگرسیون خطی مقایسه شده است.

## ۲. نتایج آزمایش‌های بتن و ملات خودتراکم تعمیری

در جدول ۱ طرح اختلاط بتن‌ها و ملات‌های خودتراکم استفاده شده، در جدول ۲ نسبت‌های مهم در طرح اختلاط و در جدول ۳ نتایج آزمایش‌های انجام شده روی بتن و ملات تازه آورده شده است.

## ۳. روش پیچش

این روش که در زمره آزمون‌های نیمه مخرب با خرابی جزئی قرار دارد، دارای مزایای زیادی است؛ از قبیل سرعت، دقت، هزینه کم، سادگی و کاربرد وسیع هم در آزمایشگاه و هم در محل. در مورد سادگی کار همین بس که برای انواع سطوح افقی، عمودی و... اجرا شده بتن، به سادگی و بدون نیاز به آموزش‌های قبلی برای پرسنل می‌توان این آزمایش را انجام داد [۱۷]. محل انجام تست باید صاف و مسطح باشد. ناصافی و آلودگی سطح بتن باعث جلوگیری از عملکرد مطلوب چسب می‌شود. ابتدا باید دو جزء چسب را به‌طور دقیق به نسبت ۱ به ۳ کاملاً مخلوط کرد تا ترکیب همگن و یک‌رنگی تشکیل شود. سپس استوانه‌ها توسط این مخلوط به سطح نمونه چسبانده می‌شوند. پس از چند دقیقه بایستی اضافات چسب را که از اطراف استوانه بیرون زده، تمیز نمود تا انتقال تنش به بتن در

بتن خودتراکم (SCC) پیشرفت مهم در تکنولوژی بتن است که تأثیر زیادی بر صنعت بتن گذارده است. این نوع بتن در ژاپن معرفی، و در اوایل دهه ۹۰ میلادی اولین کاربردهای مهم آن انجام شد. از آن به بعد کاربرد بتن خودتراکم به سرعت در تمام دنیا گسترش یافت [۱ و ۲]. این بتن به علت اینکه می‌تواند سطحی صاف و بدون حفره ایجاد نماید و نیازی به ویریه ندارد در کارهای تعمیراتی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه می‌توان به پل Rainbow و پل MTO Madawaska River اشاره نمود [۳]. با این که تعمیر و مرمت سازه‌های بتنی با ملات و بتن سیمان پرتلندی از دیرباز رایج بوده است، ولی بررسی منابع موجود بیانگر آن است که توجه تخصصی و سیستماتیک به آسیب شناسی و بهسازی این نوع سازه‌ها تنها به حدود دو دهه گذشته برمی‌گردد، که به خاطر آسیب‌های جدی وارده به سازه‌های بتنی بوده است [۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹]. از این‌رو، گستردگی خرابی‌های وارده باعث گردیده است تا دست‌اندرکاران صنعت بتن، اقدامات قابل توجهی را در خصوص روشن شدن علل و نحوه شکل‌گیری آسیب‌های وارده، تولید مواد و روش‌های جدید تعمیر و مرمت و نحوه آزمایش مواد و روش‌ها به انجام رسانده‌اند. برای اطمینان از عملکرد مصالح مصرفی و روش‌های به کار گرفته شده، روش‌هایی ارایه گردیده است که تأکید آن‌ها بر تعیین چسبندگی بین لایه تعمیری و بتن قدیم می‌باشد [۱۰]. اهمیت اطلاع از مقدار چسبندگی موجود بین لایه تعمیری و بتن قدیم، ایجاب می‌نماید تا روشی مناسب برای اندازه‌گیری دقیق و درجای آن انتخاب گردد. برخی تکنیک‌های تعمیر و یا مقاوم‌سازی سازه‌ها شامل اعمال بتن جدید به عنوان لایه تعمیری به بستر بتنی موجود است. سطح بتن بستر در مقدار چسبندگی بتن جدید به بتن موجود تأثیرگذار خواهد بود. تحقیقات متعددی در زمینه تأثیر زبری سطح بتن بستر بر میزان چسبندگی بتن به بتن انجام شده است [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶]. همچنین کیفیت لایه تعمیری نیز به وضوح بر این چسبندگی تأثیرگذار خواهد بود.

در این مطالعه سه طرح اختلاط بتن خودتراکم و سه طرح اختلاط ملات خودتراکم به عنوان لایه ترمیمی به کار گرفته شده است. از بتن‌های معمولی با ابعاد ۱۵×۱۵×۵ سانتی‌متر و با سطحی صاف

CS: مقاومت فشاری لایه تعمیری (بر حسب MPa). ترتیب اهمیت عوامل تأثیرگذار بر مقدار مقاومت درجا نیز به صورت زیر است: مقاومت فشاری (۳۰.۲)، اشباع یا خشک بودن بتن بستر (۱۰.۷۷)، شرایط سطحی بتن بستر (۱.۷۷) و بتن یا ملات بودن لایه تعمیری (۱). اعداد داخل پرانتز نشان دهنده ضریب اهمیت حاصل از تحلیل آماری است. می توان دید که شرایط سطحی بتن بستر و بتن یا ملات بودن لایه تعمیری اثر ناچیزی در کیفیت لایه تعمیری دارند. به همین دلیل برای پیش بینی نتایج به روش منطقی فازی از اثر این دو عامل صرف نظر شده است. مقدار  $R^2$  نیز برابر ۰.۹۱۳ به دست آمد که بیانگر ارتباط مناسب نتایج حاصل از پیش بینی رگرسیون خطی و نتایج آزمایشگاهی دارد.

#### ۶. تحلیل فازی

تئوری مجموعه‌های فازی را اولین بار، در سال ۱۹۶۵ پروفیسور لطفی عسکرزاده پایه‌گذاری کرد. پس از چند سال و در اوایل دهه هفتاد، با مطرح شدن منطق فازی، اولین کاربردهای این تئوری در علوم مهندسی ارائه گردید. از آن زمان به بعد شاهد گسترش روزافزون جنبه‌های تئوری و عملی آن توسط دانشمندان علوم مختلف بوده‌ایم به طوری که امروزه تقریباً در تمام عرصه‌های صنعت و دانش، از این تئوری استفاده می‌گردد. مهم‌ترین ویژگی منطق فازی در مقایسه با منطق کلاسیک این است که دانش و تجربه بشر را می‌تواند در قالب روابط ریاضی بیان نماید. این مهم باعث گردیده است که مسائلی موجود در دنیای واقعی را به خوبی بتوان با استفاده از آن مدل‌سازی نمود. سیستم استنتاج فازی (FIS) براساس قواعد اگر- آن‌گاه بنا نهاده شده است، به طوری که با استفاده از قواعد مزبور می‌توان ارتباط بین تعدادی متغیر ورودی و خروجی را به دست آورد. بنابراین از FIS می‌توان به عنوان یک مدل پیش‌بینی برای شرایطی که داده‌های ورودی و/یا خروجی دارای عدم قطعیت بالایی باشند استفاده نمود؛ چرا که در چنین شرایطی روش‌های کلاسیک پیش‌بینی نظیر رگرسیون نمی‌توانند به خوبی عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها را در نظر بگیرند. برای توسعه سیستم استنتاج فازی از عملگرهای استلزام فازی و ترکیب روابط فازی استفاده می‌گردد [۱۹]. استفاده از سیستم استنتاج فازی در پژوهش‌های مربوط به بتن و پیش‌بینی نتایج حاصل از آزمایش‌ها در موارد

سطحی به اندازه قاعده استوانه صورت گیرد. سپس نمونه‌ها به مدت یک روز در هوای آزاد رها می‌شوند تا گیرش کامل چسب انجام شود. بعد از گیرش چسب، به این سیستم، توسط ترکمر به طور پیوسته و تدریجی، گشتاور پیچشی وارد می‌شود تا بتن زیر استوانه گسیخته شود. لنگر قرائت شده به عنوان لنگر گسیختگی ثبت می‌شود. لازم به تذکر است چنانچه شکست از ناحیه چسب صورت بگیرد، تست مردود است. البته اگر چسب به‌طور مناسب مخلوط شده باشد و پس از چسباندن کاملاً خشک شود، این اتفاق کمتر رخ می‌دهد [۱۸].

#### ۴. آماده سازی بتن بستر، اجرای لایه تعمیری و انجام آزمایش پیچش روی نمونه‌ها

قطعات بتنی  $15 \times 15 \times 15$  سانتی‌متر با مقاومت فشاری بالا با استفاده از اره الماسه به سه قسمت  $15 \times 15 \times 5$  سانتی‌متر تقسیم شد. پس از بریدن، بتن‌های بستر را با برس زدن و شستن با آب از هر گونه گل و لای و گرد و خاک تمیز کرده و در ۵ حالت آن‌ها را آماده کردیم: بتن خشک با سطح خشک، بتن خشک با سطح دوغابی، بتن اشباع با سطح خشک، بتن اشباع با سطح خیس و بتن اشباع با سطح دوغابی. سپس بتن و ملات خودتراکم ساخته شده، بر روی بسترهای بتنی که از قبل آماده و قالب‌بندی شده بودند ریخته شد (شکل ۱). پس از عمل‌آوری نمونه ترکیبی به مدت ۲۸ روز، آزمایش پیچش روی نمونه‌ها انجام شد. (شکل ۱).

#### ۵. تحلیل آماری

پارامترهای تأثیرگذار در مقدار مقاومت درجای لایه تعمیری عبارت‌اند از: شرایط سطحی بتن بستر، بتن یا ملات بودن لایه تعمیری، اشباع یا خشک بودن بتن بستر، مقاومت فشاری لایه تعمیری. با استفاده از رگرسیون خطی فرمول زیر برای تعیین مقاومت چسبندگی بتن لایه تعمیری خودتراکم و بتن بستر پیشنهاد می‌شود:

$$T = 1.3558(27.644 - 1.167(SC) - 1.006(CorM) + 11.556(SorD) + 2.658(CS))$$

در این رابطه T: لنگر پیچشی حاصله (بر حسب N.m)، SC: شرایط سطحی بتن بستر؛ خشک = ۱، دوغابی = ۲ و خیس = ۳، CorM: بتن یا ملات بودن لایه تعمیری؛ ملات = ۱ و بتن = ۲، SorD: اشباع یا خشک بودن بتن بستر؛ خشک = ۱ و اشباع = ۲،

متعددی با موفقیت انجام پذیرفته است [۲۰ و ۲۱].

در این مطالعه از سیستم استنتاج فازی با رابطه فازی مینیم-ماکسیمم به صورت زیر استفاده شده است:

$$\sim_{\bar{B}}(y) = \max_{x \in X} \{ \min(\sim_{\bar{A}}(x), \sim_{\bar{R}}(x, y)) \}$$

برای غیر فازی کردن نتایج نیز از روش مرکز سطح با رابطه زیر استفاده شده است:

$$z^* = \frac{\int \sim_{\bar{c}}(z).z.dz}{\int \sim_{\bar{c}}(z).dz}$$

همچنین روش استلزام فازی ممدانی به کار گرفته شده است.

در شکل های ۲ و ۳ ورودی ها و خروجی سیستم فازی به کار گرفته شده نشان داده شده است. در شکل ۴ نیز ارتباط بین نتایج حاصل از منطق فازی و نتایج آزمایشگاهی نشان داده شده است. می توان مشاهده نمود که ارتباط بهتری نسبت به تحلیل رگرسیون خطی بین پیش بینی مدل فازی و نتایج آزمایشگاهی وجود دارد.

## ۷. شبکه های عصبی

شبکه عصبی مصنوعی نامی نوین در علوم مهندسی است. به طور ابتدایی و آغازین، در سال ۱۹۶۲، فرانک روزن بلات و در شکل جدی و تأثیر گذار، در سال ۱۹۸۶ رومل هارت و مک کلند با ابداع و ارائه مدل پرسپترون بهبود یافته آن را به جهان معرفی کردند. این شیوه از ساختاری نرونی و هوشمند با الگوبرداری مناسب از نرون های موجود در مغز انسان سعی می کند تا از طریق توابع تعریف شده ریاضی رفتار درون سلولی نرون های مغز را شبیه سازی کند و از طریق وزن های محاسباتی موجود در خطوط ارتباطی نرون های مصنوعی، عملکرد سیناپسی را در نرون های طبیعی به مدل در آورد. ماهیت و ذات تجربی و منعطف این روش باعث می شود تا در مسائلی مانند مقوله پیش بینی که یک چنین نگرشی در ساختار آن ها مشاهده می شود و از رفتاری غیر خطی و لجام گسیخته برخوردار هستند، به خوبی قابل استفاده باشد [۲۲].

یک شبکه عصبی می تواند بازه وسیعی از مدل های آماری را بدون نیاز به فرض رابطه مشخص بین متغیرهای وابسته و مستقل، تخمین بزند. در عوض، نوع ارتباط حین فرایند یادگیری مشخص می شود [۲۳].

با استفاده از روش MLP و به کمک نرم افزار SPSS نتایج حاصل از کارهای آزمایشگاهی پیش بینی شد. تابع فعال کننده لایه پنهان تابع تانژانت هیپربولیک و تابع فعال کننده لایه خروجی تابع همانی اند که به ترتیب در زیر نشان داده شده است. تابع فعال کننده بین حاصل جمع وزن دهی شده واحدها در یک لایه و مقادیر واحدهای لایه بعدی رابطه برقرار می کند.

$$x(c) = \tanh(c) = \frac{e^c - e^{-c}}{e^c + e^{-c}}$$

$$x(c) = c$$

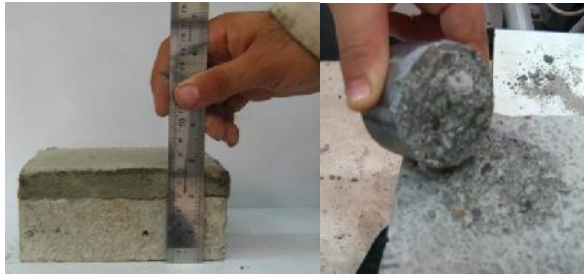
در شکل ۵ مدل طراحی شده و انطباق نتایج مدل شبکه های عصبی با قرائت آزمایشگاهی نشان داده شده است. چهار ورودی و تنها خروجی مدل، مانند مدل رگرسیون خطی ساخته شده تعریف شده است. در شکل ۸ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود نتایج حاصل از روش MLP به نتایج آزمایشگاهی نزدیک است ( $R^2 = 0.951$ ).

## ۸. نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی

در جداول ۴ و ۵ نتایج حاصل از آزمایش ها، تحلیل رگرسیون خطی و تحلیل فازی و همچنین درصد خطای هر یک از دو روش پیش بینی نتایج (رگرسیون خطی و فازی) نسبت به نتایج حاصل از آزمایش ها آورده شده است.

## ۹. نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از شبکه های عصبی

در جداول ۶ و ۷ نتایج حاصل از شبکه های عصبی و مقدار خطا در هر مورد آورده شده است.



شکل ۱- چپ: لایه خودتراکم تعمیری اعمال شده به ضخامت ۲ سانتی متر روی بتن بستر با ضخامت ۵ سانتی متر، راست: سطح شکست در روش پیچش

جدول ۱- طرح اختلاط بتن ها و ملات های خودتراکم استفاده شده

W: مقدار آب، G: شن، S: ماسه، FA: مقدار خاکستر بادی، P: مقدار پودر (سیمان + خاکستر بادی)، C: مقدار سیمان (همه به Kg)

	C	FA	W	SP	G4.75	S2.36	S1.18	S0.6	S0.3	S0.15
SCC1	۳۶۸/۸	۱۸۵/۵	۲۳۸/۷۵	۴/۶۲	۳۲۹/۰۲	۳۵۹/۸۷	۲۲۶/۲۰	۱۵۴/۲۳	۱۵۴/۲۳	۹۲/۵۴
SCC2	۷۲۷/۷۷	۹۵/۰۶	۱۹۸/۷۵	۴/۵	۳۹۳/۸۲	۳۲۵/۹۲	۲۸۵/۱۸	۱۶۲/۹۶	۱۶۲/۹۶	۱۳۸/۸
SCC3	۴۳۵/۰۸	۹۰/۶۴	۲۲۳/۷۹	۳/۸۸	۳۴۹/۲۸	۳۲۳/۹	۲۸۵/۶۳	۱۵۵/۹۱	۱۵۵/۹۱	۱۲۹/۳۲
SCM1	۳۴۷/۸	۱۸۸	۲۱۲/۵	۵	-	۳۹۴/۸	۳۵۷/۲	۲۱۶/۲	۲۱۶/۲	۱۴۱
SCM2	۴۱۹/۰۴	۱۲۱/۰۶	۲۳۷/۵	۶/۳۸	-	۳۴۴/۵۴	۳۴۴/۵۴	۲۷۹/۳۶	۲۷۹/۳۶	۱۸۶/۲۴
SCM3	۴۷۰	۱۴۱	۲۱۲/۱	۴/۶۳	-	۳۶۶/۴	۳۲۹	۲۰۶/۸	۲۰۶/۸	۱۴۱

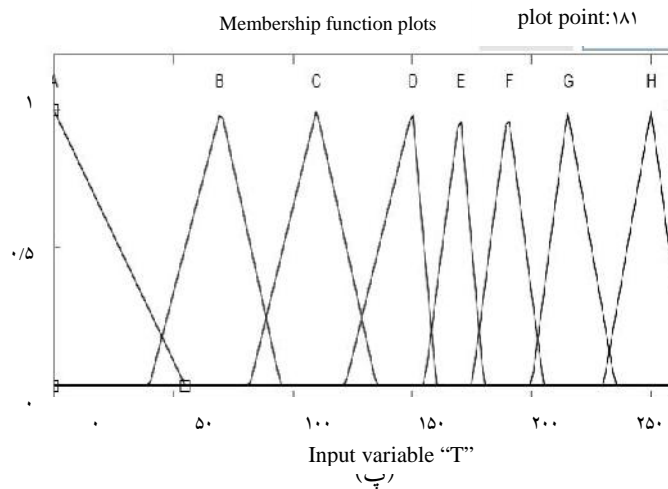
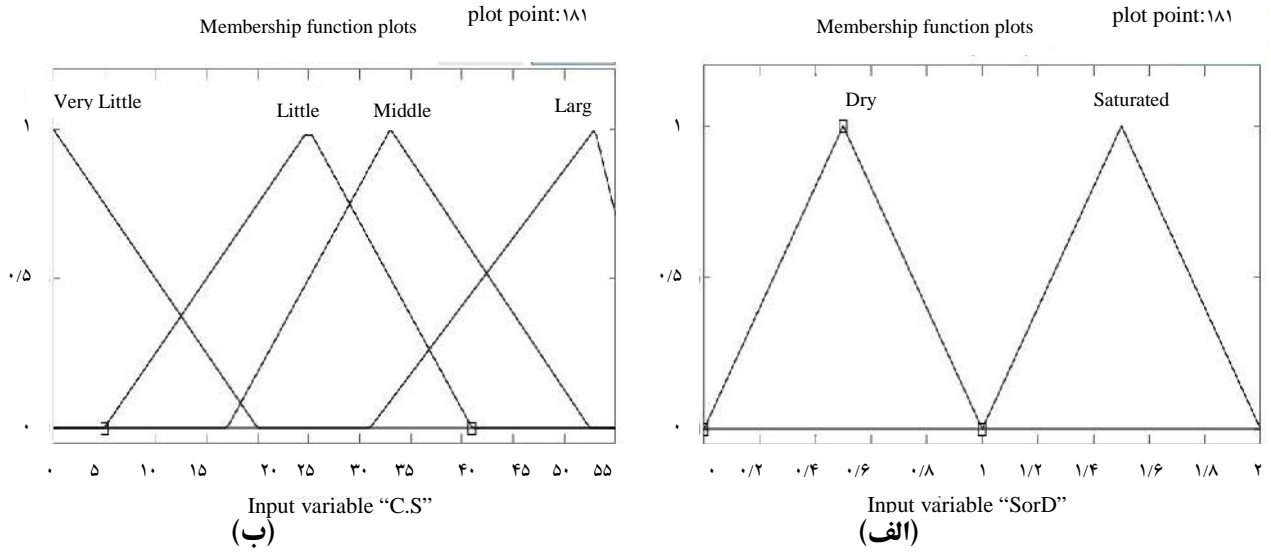
جدول ۲- نسبت های مهم در طرح اختلاط بتن ها و ملات های خودتراکم استفاده شده

( $f'_c$ : مقاومت فشاری نمونه مکعبی  $10 \times 10 \times 10$  در سن ۲۸ روزه بر حسب MPa، A: مقدار سنگدانه)

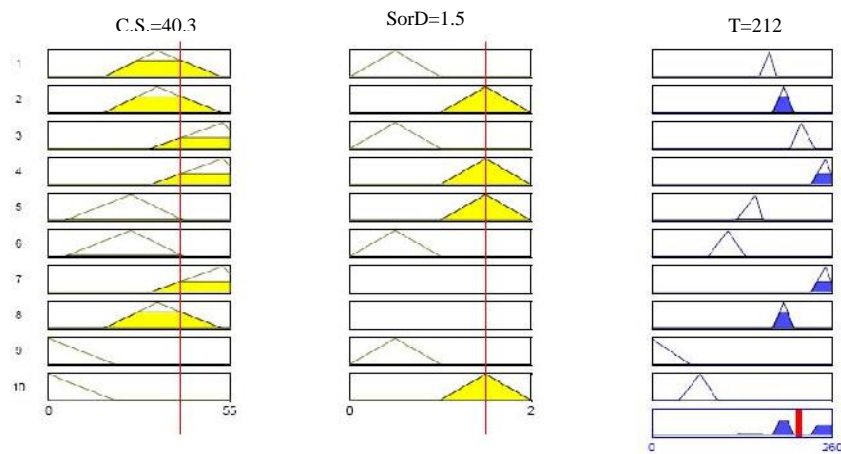
	SF (mm)	T <sub>500</sub> (sec)	V-Funnel (sec)	V <sub>5</sub> -Funnel (sec)
SCC1	۷۱۰	۴	۸/۹	۱۴/۱
SCC2	۶۱۰	۴/۹	۱۸/۶	۲۳/۳
SCC3	۶۷۰	۴/۸	۲۲/۴	۲۴/۹
SCM1	۵۶۰	۵/۱	۲۱/۷	۲۵/۲
SCM2	۶۸۰	۳/۹	۱۴/۷	۱۸/۸
SCM3	۷۰۰	۳/۳	۱۰/۵	۱۴/۳

جدول ۳- نتایج آزمایش های بتن خود تراکم در حالت تازه

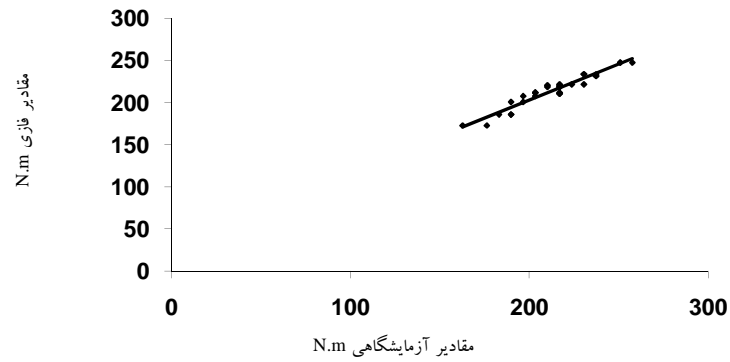
	W/P	A/P	$f'_c$	A	P	FA/C
SCC1	۰/۴۳	۲/۷۱	۳۵/۷۵	۱۵۰۱/۱۷	۵۵۳/۳	۰/۶۹
SCC2	۰/۳۸	۳/۰۱	۵۲/۶۳	۱۵۷۵/۲۸	۵۲۲/۸۳	۰/۲۲
SCC3	۰/۴۲	۲/۸۶	۴۱/۷۷	۱۵۰۲/۲۶	۵۲۵/۷۲	۰/۲۱
SCM1	۰/۴۰	۲/۸۶	۴۰/۲۷	۱۵۳۲/۲	۵۳۵/۸	۰/۵۴
SCM2	۰/۴۳	۲/۷۹	۴۳/۳۷	۱۵۰۸/۵۴	۵۴۰/۱	۰/۲۹
SCM3	۰/۳۵	۲/۳۲	۴۸/۷۶	۱۴۱۹/۲	۶۱۱	۰/۳



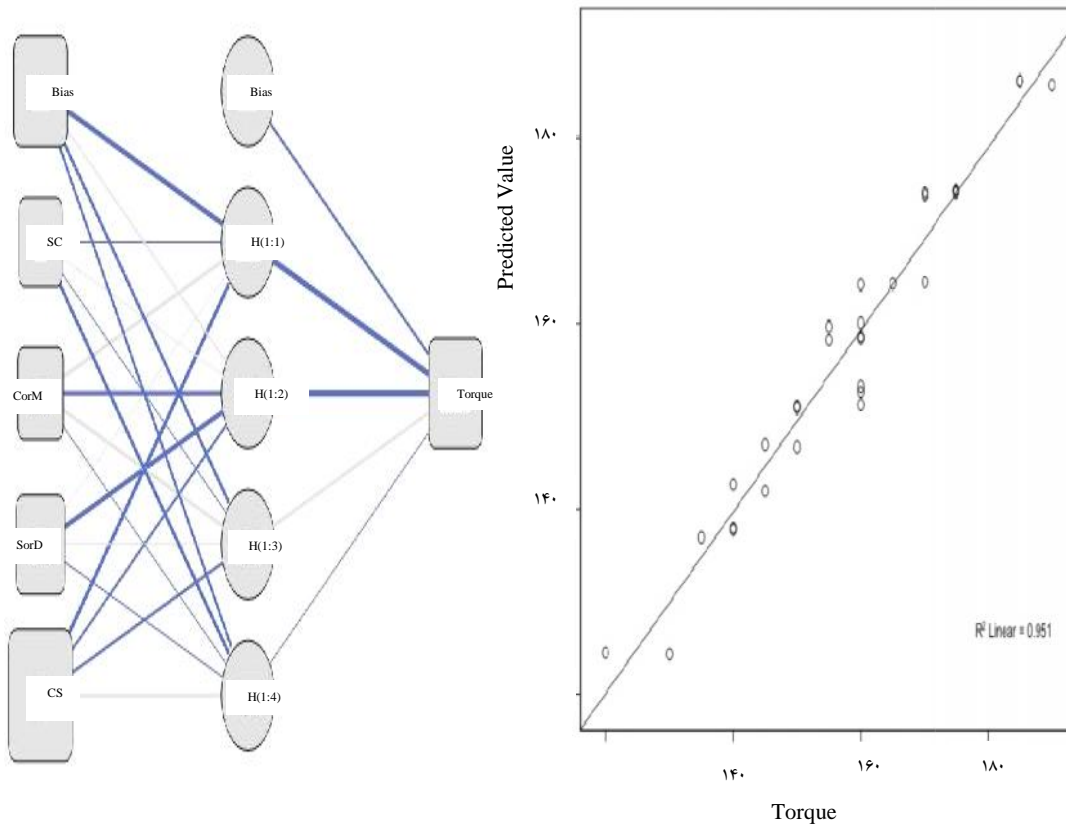
شکل ۲- توابع عضویت؛ الف- مقاومت فشاری لایه تعمیر، ب- خشک یا اشباع بودن بتن بستر، پ- لنگر پیچشی حاصله



شکل ۳- تعیین نتایج حاصل از منطق فازی



شکل ۴- ارتباط بین نتایج آزمایشگاهی و مدل فازی برای مقاومت درجای لایه تعمیری حاصل از روش پیشچس



شکل ۵- چپ: مشخصات شبکه عصبی طراحی شده MLP برای تعیین مقاومت درجای لایه تعمیری با استفاده از روش پیشچس، راست: مقایسه نتایج حاصل از شبکه عصبی MLP و نتایج آزمایشگاهی

جدول ۴- نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل فازی و رگرسیون خطی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی مقاومت

درجای بتن تعمیری حاصل از روش پیچش

نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی	عدد رگرسیون	عدد FUZZY	درصد خطای رگرسیون	درصد خطای FUZZY
SCC1	خشک با سطح خشک	۱۷۶/۲۵	۱۷۷/۶۷	۱۷۳	۰/۸۱	۲/۰۸
	خشک با سطح دوغابی	۱۶۲/۷۰	۱۷۶/۰۹	۱۷۳	۸/۲۳	۲/۰۸
	اشباع با سطح خشک	۱۸۹/۸۱	۱۹۳/۳۴	۱۸۶	۱/۸۶	۰/۸۳
	اشباع با سطح خیس	۱۸۳/۰۳	۱۹۰/۱۷	۱۸۶	۳/۹۰	۰/۸۳
	اشباع با سطح دوغابی	۱۸۹/۸۱	۱۹۱/۷۶	۱۸۶	۱/۰۳	۰/۸۳
SCC2	خشک با سطح خشک	۲۳۷/۲۷	۲۳۸/۵۰	۲۳۲	۰/۵۲	/۲
	خشک با سطح دوغابی	۲۳۷/۲۷	۲۳۶/۹۲	۲۳۲	۰/۱۵	۲/۲۷
	اشباع با سطح خشک	۲۵۷/۶۰	۲۵۴/۱۷	۲۴۸	۱/۳۳	۲/۰۱
	اشباع با سطح خیس	۲۵۰/۸۲	۲۵۱/۰۰	۲۴۸	۰/۰۷	۲/۰۱
	اشباع با سطح دوغابی	۲۵۰/۸۲	۲۵۲/۵۹	۲۴۸	۰/۷۱	۲/۰۱
SCC3	خشک با سطح خشک	۲۰۳/۳۷	۱۹۹/۳۶	۲۰۸	۱/۹۷	۲/۲۸
	خشک با سطح دوغابی	۱۹۶/۵۹	۱۹۷/۷۸	۲۰۸	۰/۴۶	۲/۲۸
	اشباع با سطح خشک	۲۱۶/۹۳	۲۱۵/۰۳	۲۱۹	۰/۸۸	۲/۰۲
	اشباع با سطح خیس	۲۱۰/۱۵	۲۱۱/۸۷	۲۱۹	۰/۸۲	۲/۰۲
	اشباع با سطح دوغابی	۲۱۶/۹۳	۲۱۳/۴۵	۲۱۹	۱/۶	۲/۰۲

جدول ۵- نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل فازی و رگرسیون خطی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی مقاومت

درجای ملات تعمیری حاصل از روش پیچش

نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی	عدد رگرسیون	عدد FUZZY	درصد خطای رگرسیون	درصد خطای FUZZY
SCM1	خشک با سطح خشک	۱۹۶/۵۹	۱۹۵/۳۲	۲۰۱	۰/۶۵	۴/۰۴
	خشک با سطح دوغابی	۱۸۹/۸۱	۱۹۳/۷۴	۲۰۱	۲/۰۷	۴/۰۴
	اشباع با سطح خشک	۲۰۳/۳۷	۲۱۰/۹۹	۲۱۲	۳/۰۳	۱/۹۸
	اشباع با سطح خیس	۲۰۳/۳۷	۲۰۷/۸۲	۲۱۲	۱/۴۷	۱/۹۸
	اشباع با سطح دوغابی	۲۱۶/۹۳	۲۰۹/۴۱	۲۱۲	۱/۴۷	۱/۹۸
SCM2	خشک با سطح خشک	۲۱۶/۹۳	۲۰۶/۴۹	۲۱۱	۴/۸۱	۲/۷۳
	خشک با سطح دوغابی	۲۱۶/۹۳	۲۰۴/۹۱	۲۱۱	۵/۵۴	۲/۷۳
	اشباع با سطح خشک	۲۱۶/۹۳	۲۲۲/۱۶	۲۲۲	۲/۴۱	۰/۷۶
	اشباع با سطح خیس	۲۲۳/۷۱	۲۱۹/۰۰	۲۲۲	۲/۱۱	۰/۷۶
	اشباع با سطح دوغابی	۲۳۰/۴۹	۲۲۰/۵۸	۲۲۲	۴/۳۰	۰/۷۶
SCM3	خشک با سطح خشک	۲۱۰/۱۵	۲۲۵/۹۲	۲۲۱	۷/۵۰	۲/۱۶
	خشک با سطح دوغابی	۲۱۶/۹۳	۲۲۴/۳۴	۲۲۱	۳/۴۲	۲/۱۶
	اشباع با سطح خشک	۲۳۰/۴۹	۲۴۱/۵۹	۲۳۴	۴/۸۲	۰/۵۴
	اشباع با سطح خیس	۲۳۰/۴۹	۲۳۸/۴۲	۲۳۴	۳/۴۴	۰/۵۴
	اشباع با سطح دوغابی	۲۳۷/۲۷	۲۴۰/۰۰	۲۳۴	۱/۱۵	۰/۵۴



جدول ۶- نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از شبکه عصبی MLP و نیز مقدار خطای آن‌ها برای مقاومت درجای بتن تعمیری حاصل

از روش پیچش

نمونه	شرایط بتن بستر	MLP	RBF	درصد خطای MLP
SCC1	خشک با سطح خشک	۱۷۱/۴۵	۱۸۷/۵۳	۲/۷۲
	خشک با سطح دوغابی	۱۶۹/۳۸	۱۸۷/۹۳	۴/۱۱
	اشباع با سطح خشک	۱۸۷/۳۳	۲۰۱/۸۴	۱/۳۱
	اشباع با سطح خیس	۱۹۰/۳۰	۲۰۱/۸۸	۳/۹۸
	اشباع با سطح دوغابی	۱۸۸/۲۴	۲۰۱/۸۵	۰/۸۳
SCC2	خشک با سطح خشک	۲۳۵/۴۹	۲۴۷/۳۵	۰/۷۵
	خشک با سطح دوغابی	۲۳۹/۳۷	۲۴۷/۴۷	۰/۸۹
	اشباع با سطح خشک	۲۵۲/۵۴	۲۴۶/۴۴	۱/۹۶
	اشباع با سطح خیس	۲۵۳/۲۸	۲۴۷/۳۱	۰/۹۸
	اشباع با سطح دوغابی	۲۵۳/۵۸	۲۴۷/۰۴	۱/۱۰
SCC3	خشک با سطح خشک	۱۹۶/۹۸	۱۸۷/۴۹	۳/۱۴
	خشک با سطح دوغابی	۱۹۲/۶۹	۱۸۸/۱۶	۱/۹۹
	اشباع با سطح خشک	۲۱۶/۶۲	۲۰۲/۴۹	۰/۱۴
	اشباع با سطح خیس	۲۱۲/۴۰	۲۰۴/۲۸	۱/۰۷
	اشباع با سطح دوغابی	۲۱۴/۷۷	۲۰۳/۰۳	۰/۹۹

جدول ۷- نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از شبکه عصبی MLP و نیز مقدار خطای آن‌ها برای مقاومت درجای ملات تعمیری

حاصل از روش پیچش

نمونه	شرایط بتن بستر	MLP	RBF	درصد خطای MLP
SCM1	خشک با سطح خشک	۱۹۶/۳۲	۲۱۰/۰۰	۰/۱۴
	خشک با سطح دوغابی	۱۹۲/۹۳	۲۰۹/۴۴	۱/۶۴
	اشباع با سطح خشک	۲۰۸/۶۰	۲۲۲/۱۱	۲/۵۷
	اشباع با سطح خیس	۲۰۵/۴۶	۲۱۸/۳۴	۱/۰۳
	اشباع با سطح دوغابی	۲۰۶/۸۵	۲۱۷/۷۰	۴/۶۴
SCM2	خشک با سطح خشک	۲۰۳/۸۴	۲۱۰/۰۸	۶/۰۳
	خشک با سطح دوغابی	۲۰۲/۲۳	۲۱۰/۱۲	۶/۷۸
	اشباع با سطح خشک	۲۲۰/۵۱	۲۲۳/۴۱	۱/۶۵
	اشباع با سطح خیس	۲۲۱/۶۶	۲۱۹/۱۰	۰/۹۲
	اشباع با سطح دوغابی	۲۲۱/۴۰	۲۲۱/۸۹	۳/۹۴
SCM3	خشک با سطح خشک	۲۱۴/۶۵	۲۱۰/۳۵	۲/۱۴
	خشک با سطح دوغابی	۲۱۵/۱۲	۲۱۴/۹۱	۰/۸۳
	اشباع با سطح خشک	۲۳۶/۰۴	۲۲۳/۹۶	۲/۴۱
	اشباع با سطح خیس	۲۴۰/۰۴	۲۲۱/۲۸	۴/۴۹
	اشباع با سطح دوغابی	۲۳۹/۱۸	۲۲۵/۵۲	۰/۸۱

## ۱۰. نتیجه گیری

(۱) با اشباع کردن بستر بتنی پیش از اعمال لایه تعمیری، لایه تعمیری کیفیت بهتری خواهد داشت.

(۲) ترتیب اثر گذاری عوامل مؤثر در مقاومت در جای لایه تعمیری خود تراکم بر بستر بتنی و درجه اهمیت هر یک به صورت زیر است: مقاومت فشاری (۳۰.۲)، اشباع یا خشک بودن بتن بستر (۱۰.۷۷)، شرایط سطحی بتن بستر (۱.۷۷)، بتن یا ملات بودن لایه تعمیری (۱). مشخص است که شرایط سطحی بتن بستر و بتن یا ملات بودن لایه تعمیری تأثیر چندانی در نتایج حاصل از روش پیچش و در نتیجه در کیفیت لایه تعمیری اعمالی ندارد.

(۳) شرایط سطحی بتن و اینکه لایه تعمیری خود تراکم بتن باشد یا ملات تأثیر چندانی بر مقاومت در جای لایه تعمیری ندارد و دو عامل مؤثر در این زمینه مقاومت فشاری لایه تعمیری و اشباع یا خشک بودن بتن بستر است.

(۴) با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی به فرمول زیر برای تعیین مقاومت در جای لایه تعمیری خود تراکم بر بستر بتنی می رسیم:

$$T = 1.3558(27.644 - 1.167(SC) - 1.006(CorM) + 11.556(SorD) + 2.658(CS))$$

(۵) با مقایسه نتایج حاصل از رگرسیون خطی، مدل فازی و شبکه عصبی برای تعیین مقاومت در جای لایه تعمیری بر روی بستر بتنی، مشاهده می شود که با استفاده از شبکه عصبی می توان نتایج با تطابق بیشتر با نتایج آزمایشگاهی به دست آورد. مدل فازی نیز نسبت به مدل رگرسیون خطی دقت بالاتری دارد.

## ۱۱. مراجع

- [6]. American Concrete Institute, Committee 222, "Corrosion of metals in concrete", ACI Journal, January-February 1985.
- [7]. American Concrete Institute, ACI Forum, "Influence of chlorides in reinforced concrete", Concrete International, Sep 1985.
- [8]. Becket, D., "Influence of carbonation and chloride on concrete durability", Concrete, p. 16., Feb 1983.
- [9]. Building Research Establishment, "Sulphate attack causing movement and cracking", Building technical File, No. 6, p. 61., July 1984.
- [۱۰]. نادری محمود، "تعیین چسبندگی واقعی سیستم های مختلف تعمیرات بتنی با به کارگیری روش جدید انتقال اصطکاک"، نشریه دانشکده مهندسی، سال نوزدهم، شماره یک، ۱۳۸۶.
- [11]. Eduardo N. B. S. Julio, Fernando A.B. Branco, Vitor D. Silva, "Concrete-to-concrete bond strength. Influence of roughness of the substrate surface", Construction and Building Materials 18, 675-681, 2004.
- [12]. Pedro M. D. Santos, Eduardo N. B. S. Julio, Vitor D. Silva, "Correlation between concrete-to-concrete bond strength and the roughness of the substrate surface", Construction and Building Materials 21, 2007, 1688-1695.
- [13]. Julio ES, Branco F, Silva VD., "Structural rehabilitation of columns using reinforced concrete jacking", Prog Struct Engng Mater, 2003,29-37
- [14]. Bett BJ, Klingner RE, Jirsa JO., "Lateral load response of strengthened and repaired reinforced concrete columns", ACI Struct J, 85,499-508,1988.
- [15]. hommelerwerke GmbH, "Mummery L.Surface texture analysis-the handbook", Thyssen, 2000
- [16]. Santos PMD., "Influence of the surface roughness of the interface concrete/concrete in its longitudinal shear resistance", MSc Thesis, University of Combra, 2005.
- [17]. Naderi M, New Twist-Off Method for the Evaluation of In-Situ Strength of Concrete, ASTM Journal of Testing and Evaluation, Volume 35, Issue 6, November 2007.
- [۱۸]. نادری محمود، تکنولوژی بتن: روش های بهبود و تعیین آزمایشگاهی و در جای مقاومت بتن، تهران، انتشارات روزبهان، صفحه ۱۷۴، زمستان ۱۳۸۸.
- [19]. Fuzzy Control Toolbox, Matlab Software 2009.
- [1]. Pade Clans, Thrane Lars Nyholm, V. Nielsen Claus, Guidelines for Execution of SCC, Danish Technological Institute, May 2008.
- [2]. Pade Clans, Thrane Lars Nyholm, V. Nielsen Claus, Guidelines for Mix Design of SCC, Danish Technological Institute, May 2008.
- [3]. Baton Ronge River Center, Lousiana Transportation Engineering Conference, Feb 12, 2007.
- [4]. American Concrete Institute, "Durability of concrete", Publication SP-47, 1975.
- [5]. American Concrete Institute, Committee 224, "Cracking in concrete structures", Concrete International, January 1985.

- [22]. Nataraja MC, Jayaram MA, Ravikumar CN (2006). A Fuzzy-Neuro Model for Normal Concrete Mix Design, Engineering Letters, Special issue on Hybrid Intelligent Systemd using Neural Networks, Fuzzy Logic, and Genetic Algorithms 13(2): 98-107.
- [23]. SPSS Neural Networks 17, Marija Norusis (SPSS Company).
- [20]. Sedat, A. Gokmen T, Sever C. Fuzzy Model for the Prediction of Cement Compressive Strength. Cem. Concr. Res. 35(8): 1429- 1433, 2004.
- [21]. M. C. Nataraja, M.A. Jayaram and C.N. Ravikumar, Prediction of Strength of Concrete: A Fuzzy Inference System Model, International Journal of Physical Scieces Vol. 1 (2), pp. 047-056, October, 2006.

## **Estimation of in-situ strength of self-compacting concrete and mortars on different concrete substrate conditions using twist off method, fuzzy logic and artificial neural networks**

M. Naderi

Associate Professor, Imam Khomeini International University

O. Qodousian \*

PhD student, University of Guilan

( Received: 2012/4/13, Accepted: 2012/7/7)

### **Abstract**

Since, self-compacting concrete and mortar are self-levelling and do not need any compaction during its application, are receiving more popularity as repair materials in concrete structures repair industry. This paper presents the results obtained using the in-situ twist off method for assessing the in-situ strength- that it has an important role on bond strength between this layer and concrete substrate- of self-compacting concrete and mortars applied to different concrete substrate. The effects of five different substrate conditions on the in-situ strength of repair layer were studied and the results were also compared with the predicted values obtained from the fuzzy logic and neural networks.

**keywords:** in-situ strength, self-compacting concrete and mortar, twist off method, fuzzy logic, neural networks.

---

\*Corresponding author: qodousian@gmail.com