

تعیین چسبندگی بتن و ملات تعمیر خود متراکم بر بسترهای مختلف بتنی با به کارگیری روش های "پیچش"، "انتقال اصطکاک" و تخمین آن با روش "منطق فازی"*

محمود نادری^(۱)اویس قدوسیان^(۲)

چکیده ابداع بتن خود متراکم تحول عظیمی در صنعت بتن در دو دهه گذشته می باشد. در مقایسه با بتن سنتی، این نوع بتن نیازی به لرزانیدن ندارد و می تواند بتنی با فشردگی کافی و سطحی صاف و بدون حفره ایجاد نماید. از آنجا که به دلیل ابعاد و شرایط خاص لایه های تعمیر بتنی، متراکم نمودن این لایه ها بسیار دشوار می باشد، و به دلیل تاثیر مستقیم میزان تراکم بر چسبندگی بین لایه تعمیر و بتن قدیم، می توان از بتن خود متراکم که نیازی به عوامل خارجی تراکم کردن ندارد، به گستردگی در کارهای تعمیری در سازه های مختلف استفاده نمود. در این مقاله بررسی میزان چسبندگی بتن و ملات خود متراکم به عنوان لایه تعمیری با بستر بتنی دارای شرایط سطوحی مختلف ارائه گردیده است. این بررسی ها با به کارگیری روش های "پیچش" و "انتقال اصطکاک" انجام و پیش بینی نتایج با استفاده از منطق فازی نیز ارائه شده است. نتایج به دست آمده بیانگر آنست که شرایط سطحی بتن بستر، نسبت سنگدانه به خمیر در لایه تعمیری، مقاومت فشاری لایه تعمیری، بتن یا ملات بودن لایه تعمیری و اشیاع یا خشک بودن بتن بستر بر چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر بتنی تاثیر می گذارد. همچنین مشاهده گردید که برای پیش بینی مقدار چسبندگی، می توان از منطق فازی استفاده نموده و نسبت به روش های آماری نتایج دقیق تری به دست آورد.

واژه های کلیدی چسبندگی بتن و ملات تعمیری خود متراکم - روش پیچش - روش انتقال اصطکاک - منطق فازی

Assessing the Adhesion of Self-Compacting Concrete and Mortar Applied to Different Concrete surfaces, using twist-off and Friction-Transfer Methods, and its Estimation By Fuzzy Logic

M. Naderi

O. Ghoddosian

Abstract Invention of the self-compacting concrete has caused dramatic changes in the concrete industry within the past twenty years. Compared with the ordinary concrete, self-compacting concrete does not need any compaction and by itself can produce concrete with sufficient compaction and smooth surfaces with no voids or honeycombing. Since the compaction has great influence on the adhesion of the concrete repair layers and due to the fact that the compaction of any repair layer is a very difficult task, it seems that SCC can be used with wide spread application as concrete repair materials. In this paper results of studies on the adhesion of self-compacting concrete applied to different concrete surfaces are presented. These studies are undertaken by the use of "twist-off" and "friction-transfer" methods and the prediction of the results by fuzzy logic, is also presented. The results tend to show that surface conditions of the substrate, aggregate to cement ratio of the repair layer, compressive strength of the repair layer, nature of the repair layer (concrete or mortar) and the degree of the moisture of the substrate concrete affect the adhesion along the repair/concrete interface. It is also realized that compared with statistical methods, fuzzy logic can be used for the prediction of the adhesion, with higher accuracy.

Key Words Self-Compacting Concrete/Concrete Adhesion; Twist-off Method; Friction-Transfer Method; Fuzzy Logic

* نسخه ی اول مقاله در تاریخ ۱۳۸۹/۷/۲۹ و نسخه ی نهایی آن در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۵ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) دانشیار، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

(۲) نویسنده ی مسئول، کارشناس ارشد سازه، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

مقدمه

بتن خود متراکم (SCC) پیشرفت مهمی در تکنولوژی بتن بود و تأثیر زیادی بر روی صنعت بتن گذارد. این نوع بتن برای اولین بار در ژاپن معرفی و در اوایل دهه ۹۰ میلادی اولین کاربردهای مهم آن انجام شد. از آن به بعد کاربرد بتن خود متراکم به سرعت در تمام دنیا گسترش یافت [1,2]. این بتن به علت این که می تواند سطحی صاف و بدون حفره ایجاد نماید و نیازی به لرزاندن ندارد در کارهای تعمیراتی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان نمونه می توان به پل Rainbow و پل MTO Madawaska River اشاره نمود [3]. با اینکه تعمیر و مرمت سازه های 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 سازه ها تنها به حدود دو دهه گذشته برمی گردد، که به خاطر آسیب های جدی وارده به سازه های بتنی بوده است. از این رو، گسترده گی خرابی های وارده باعث گردید تا دست اندرکاران صنعت بتن، اقدامات قابل توجهی را در خصوص روشن شدن علل و نحوه شکل گیری آسیب های وارده، تولید مواد و روش های جدید تعمیر و مرمت و نحوه آزمایش مواد و روش ها به انجام برسانند. برای اطمینان از عملکرد مصالح مصرفی و روش های به کار گرفته شده، روش هایی ارایه گردیده است که تأکید آن ها بر تعیین چسبندگی بین لایه تعمیر و بتن قدیم می باشد [4]. اهمیت اطلاع از مقدار چسبندگی موجود بین لایه تعمیر و بتن قدیم، ایجاب می نماید تا روشی مناسب برای اندازه گیری دقیق و در جای آن انتخاب گردد. برخی تکنیک های تعمیر و یا مقاوم سازی سازه ها شامل اعمال بتن جدید به عنوان لایه تعمیری به بستر بتنی موجود می باشد. سطح بتن بستر در مقدار چسبندگی بتن جدید به بتن موجود، تأثیر گذار خواهد بود. تحقیقات متعددی در زمینه تأثیر زبری

سطح بتن بستر بر میزان چسبندگی بتن به بتن، انجام شده است [5,6,7,8,9,10].

در این مطالعه سه طرح اختلاط بتن خود متراکم و سه طرح اختلاط ملات خود متراکم به عنوان لایه ترمیمی به کار گرفته شده است. از بتن های معمولی با ابعاد $15 \times 15 \times 5$ سانتی متر و با سطحی صاف به عنوان بتن پایه برای لایه های ترمیمی استفاده شده است. این بتن های 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 شده اند. پس از ریختن لایه ترمیمی بر روی این بتن ها و عمل آوری آنها در حالت عمل آوری در گونی و پلاستیک با استفاده از روش پیچش و انتقال اصطکاک به بررسی چسبندگی این لایه ها به بستر بتنی خود در سن ۲۸ روزه پرداخته شده است. سپس با استفاده از تحلیل آماری (رگرسیون خطی) به کمک نرم افزار SPSS 17 درجه اهمیت هر پارامتر تعیین شده است و فرمولی برای تعیین لنگر پیچشی به دست آمده از روش های پیچش و انتقال اصطکاک برای تعیین چسبندگی دو لایه با توجه به پارامترهای تأثیر گذار ارایه شده است. در نهایت به کمک مدل فازی و با استفاده از نرم افزار MATLAB 2009 مقدار چسبندگی پیش بینی شده و با نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی مقایسه شده است.

مخلوط های تر و نتایج آزمایش های مربوطه

طرح اختلاط بتن ها و ملات های خود متراکم استفاده شده در این تحقیق ها در جدول (۱)، نسبت های مهم در طرح اختلاط در جدول (۲) و نتایج آزمایش های انجام شده روی بتن و ملات تر در جدول (۳) ارایه گردیده است. آزمایش های انجام شده شامل آزمایش های جریان اسلامپ، T_{500} ، قیف V شکل و V_5 می باشد؛ زیرا حداکثر اندازه سنگدانه های مصرفی، $9/15$ میلی متر می باشد.

جدول ۱ طرح اختلاط بتن ها و ملات های خود متراکم استفاده شده

نمونه	C	FA	W	SP	G4.75	S2.36	S1.18	S0.6	S0.3	S0.15
SCC1	۳۶۸/۸	۱۸۴/۵	۲۳۸/۷۵	۴/۶۲	۳۲۹/۰۲	۳۵۹/۸۷	۳۳۹/۳۱	۲۲۶/۲۰	۲۵۴/۲۳	۹۲/۵۴
SCC2	۴۲۷/۷۷	۹۵/۰۶	۱۹۸/۷۵	۴/۵	۳۹۳/۸۲	۳۲۵/۹۲	۲۷۱/۶۰	۲۸۵/۱۸	۱۶۲/۹۶	۱۳۸/۸
SCC3	۴۳۵/۸	۹۰/۶۴	۲۲۳/۷۹	۳/۸۸	۳۴۹/۲۸	۳۲۳/۹	۲۸۵/۲۲	۲۵۸/۶۳	۱۵۵/۹۱	۱۹۲/۳۲
SCM1	۳۴۷/۸	۱۸۸	۲۱۲/۵	۵	-	۳۹۴/۸	۴۲۳	۳۵۷/۲	۲۱۶/۲	۱۴۱
SCM2	۴۱۹/۰۴	۱۲۱/۰۶	۲۳۷/۵	۶/۳۸	-	۳۴۴/۵۴	۳۵۳/۸۶	۳۴۴/۵۴	۲۷۹/۳۶	۱۸۶/۲۴
SCM3	۴۷۰	۱۴۱	۲۱۲/۱	۴/۶۳	-	۳۶۶/۴	۳۷۶	۳۲۹	۲۰۶/۸	۱۴۱

مقدار آب، G: شن، S: ماسه، FA: مقدار خاکستر بادی، C: مقدار سیمان، SP: مقدار فوق روان کننده (همه به Kg/m^3)، اعداد نوشته شده در مقابل S و G مربوط به اندازه آن ها به میلی متر می باشد.

جدول ۲ نسبت های مهم در طرح اختلاط بتن ها و ملات های خود متراکم به کار گرفته شده

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

f'_c : مقاومت فشاری نمونه مکعبی $10 \times 10 \times 10$ سانتی متر، در سن ۲۸ روزه بر حسب MPa، A: مقدار سنگدانه بر حسب Kg/m^3

جدول ۳ نتایج آزمایش های بتن خود متراکم در حالت تازه (جریان اسلامپ، T_{500} ، قیف V شکل و V_5)

نمونه	SF (mm)	T_{500} (sec)	V-Funnel (sec)	V_5 -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	۵۲/۲
SCM2	۶۸۰	۳/۹	۱۴/۷	۱۸/۸
SCM3	۷۰۰	۳/۳	۱۰/۵	۱۴/۳

به کار گرفته شده است. همان گونه که در جدول (۲) درج گردیده است، مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده بین ۳۵ تا ۵۲ مگا پاسکال قرار دارد که در محدوده بالای مقاومتی است. با توجه به این مقاومت ها باید توجه شود که اگر بتن بستر دارای مقاومتی کمتر از این مقاومت ها

چون در استاندارد خاص دانه بندی، قید و بند مشخصی پیشنهاد نگردیده است، دانه بندی به گونه ای انتخاب گردیده است تا مشخصات بتن خود متراکم تر، در محدوده قابل قبول قرار گیرد. در جدول های مربوطه، G برای درشت دانه و S برای نشان دادن ماسه

قرائت شده به عنوان لنگر گسیختگی ثبت می گردد. لازم به تذکر است چنانچه شکست از ناحیه چسب صورت بگیرد، تست مردود است. البته اگر چسب به طور مناسب مخلوط شده باشد و پس از چسباندن کاملاً خشک شود، این اتفاق، کمتر رخ می دهد [۱۲].

روش انتقال اصطکاک

این روش نیز در زمره آزمون های نیمه مخرب با خرابی جزئی می باشد و شامل تعبیه مغزه جزئی با قطر ۵۰ میلی متر و تا عمق ۲۵ میلی متر از سطح بتن و سپس نصب گیره فلزی بر روی این مغزه و تثبیت آن توسط پیچ های طرفین می باشد. اعمال نیروی پیچشی با یک پیچش سنج معمولی به صورت یکنواخت که تا مرز گسیخته شدن مغزه جزئی ادامه یافته و لنگری که باعث گسیخته شدن شده است ثبت می گردد [13].

تعیین چسبندگی بین بتن و لایه تعمیر

با استفاده از اره الماسه، مکعب های بتنی $15 \times 15 \times 15$ سانتی متر با مقاومت فشاری بالا به سه منشور $5 \times 15 \times 15$ سانتی متر تقسیم گردیدند. برخلاف سطوح به دست آمده از قلم و چکش و مته های بادی و برقی، سطح بریده شده با اره الماسه، به دلیل عدم آسیب (یا آسیب بسیار ناچیز) به چسبندگی بین سنگدانه ها و خمیره سیمان، دارای مقاومت بسیار بالاست و به هنگام اندازه گیری چسبندگی لایه تعمیر اعمال شده به چنین سطحی، از عدم وقوع شکست در بتن (به جز در موارد خاص) اطمینان حاصل می گردد. پس از بریدن، بتن های بستر را با برس زدن و شستن با آب از هر گونه گل و لای و گرد و خاک تمیز کرده و شرایط سطوح آماده می گردد. شرایط سطوح عبارتند از: 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 خود متراکم ساخته شده، بر روی سطح بتنی که از قبل آماده و قالب بندی شده بودند ریخته می شود

باشد، در حین انجام آزمایش ها، شکست در لایه تعمیر اتفاق افتاده و عملاً نمی توان چسبندگی بین لایه تعمیر و بستر بتن قدیم را به دست آورد.

همچنین برای ساخت نمونه ها از سیمان پرتلند تیپ ۲ آبیک و از فوق روان کننده Super Viscos1 نامیکاران استفاده گردید. سنگدانه های استفاده شده در این تحقیقات نیز از معدن قسم استان قزوین تهیه گردید و دانه بندی آن ها مطابق جداول (۴) و (۵) می باشد.

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۳)، می توان مشاهده نمود که مخلوط های انتخابی، ویژگی های بتن خود متراکم را داراست.

روش پیچش

این روش که در زمره آزمون های نیمه مخرب با خرابی جزئی می باشد، دارای مزایای زیادی است: از قبیل: سرعت، دقت، هزینه کم، سادگی و کاربرد وسیع، هم در آزمایشگاه و هم در کارگاه. در مورد سادگی کار همین بس که برای انواع سطوح افقی، عمودی و... اجرا شده بتن، به سادگی و بدون نیاز به آموزش های قبلی پرسنل، می توان این آزمایش را انجام داد [11]. محل انجام تست باید صاف و مسطح باشد. ناصافی و آلودگی سطح بتن باعث جلوگیری از عملکرد مطلوب چسب می شود. ابتدا باید دو جزء چسب را به طور دقیق به نسبت ۱ به ۳ مخلوط کرد تا ترکیب همگن و یک رنگی به دست آید. سپس استوانه ها توسط این مخلوط به سطح نمونه که قبلاً مغزه جزئی با قطر ۵۰ میلی متر و تا عمق ۲۵ میلی متر از سطح بتن در آن ایجاد شده چسبانده می شوند. پس از چند دقیقه بایستی اضافات چسب را که از اطراف استوانه بیرون زده، تمیز نمود تا انتقال تنش به بتن در سطحی به اندازه قاعده استوانه صورت گیرد. سپس نمونه ها به مدت یک روز در هوای آزاد قرار داده می شوند تا گیرش کامل چسب انجام شود. بعد از گیرش چسب به این سیستم، توسط ترکمتر به طور پیوسته و تدریجی، گشتاور پیچشی وارد می شود تا بتن زیر استوانه گسیخته شود. لنگر



ج) لایه تعمیر پس از انجام آزمون
شکل ۲ انجام آزمون انتقال اصطکاک



الف) چسباندن استوانه های فلزی روش پیچش به نیم مغزه ها



ب) لایه تعمیر پس از انجام آزمون
شکل ۳ نحوه انجام آزمون پیچش

در روش پیچش به علت ایجاد تنش کششی ناشی از پیچش خالص در مغزه، نمونه، با زاویه ۴۵ درجه گسیخته می شود، ولی در روش انتقال اصطکاک به علت ایجاد یک نیروی فشاری ناشی از محکم کردن پیچ های گیره فلزی، قسمتی از این تنش کششی، خنثی شده و لذا درصد شکست از مرز، در روش انتقال اصطکاک نسبت به روش پیچش بیشتر است.

(شکل (۱)). این بسترها دارای مقاومت فشاری بالایی هستند تا شکست در بتن پایه به حداقل برسد. پس از عمل آوری نمونه ترکیبی به مدت ۲۸ روز، مغزه گیری به قطر ۵ سانتی متر از نمونه ها انجام شد. این مغزه گیری طوری صورت گرفت که در بتن بستر نیز وارد شود. در نهایت، با استفاده از روش های انتقال اصطکاک و پیچش، چسبندگی بین لایه تعمیر و بستر بتنی تعیین شد (شکل های (۲) و (۳)). نمونه هایی که گسیختگی در آنها تنها در بتن پایه یا لایه تعمیر اتفاق افتاد در تعیین چسبندگی مورد استفاده قرار نگرفته است.



شکل ۱ لایه خود متراکم تعمیری اعمال شده به ضخامت ۲ سانتی متر روی بتن بستر با ضخامت ۵ سانتی متر.



الف) نصب گیره فلزی



ب) اعمال لنگر پیچشی

تحلیل آماری

با در نظر گرفتن عواملی که در نتایج به دست آمده تأثیر گذار می باشند، با استفاده از تحلیل آماری (رگرسیون خطی)، به کمک نرم افزار SPSS 17 درجه اهمیت هر پارامتر موثر، مورد بررسی قرار گرفت. به نظر می رسد اهم پارامترهای تأثیر گذار در مقدار چسبندگی عبارتند از: شرایط سطحی بتن بستر، نوع (بتن یا ملات) لایه تعمیراتی، اشباع یا خشک بودن بتن بستر، مقاومت فشاری لایه تعمیراتی و نسبت سنگدانه به خمیره در لایه تعمیراتی. تحلیل های انجام گرفته با استفاده از رگرسیون خطی فرمول زیر را برای تخمین چسبندگی بین لایه تعمیراتی خود متراکم و بتن بستر حاصل نمود:

$$T = 1.3558 (-144.193 + 12.808(SC) + 7.389(SorD) + 1.411(CS) + 2.823(CorM) + 18.756(Method) + 35.646(AtoP))$$

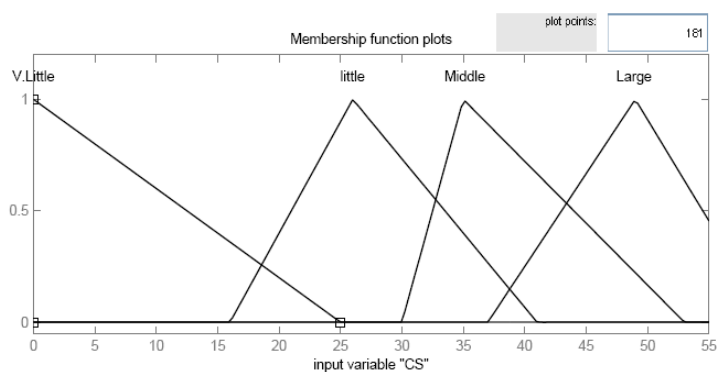
در رابطه فوق، T: لنگر پیچشی حاصله (بر حسب Nm)، SC: شرایط سطحی بتن بستر (خشک = ۱، دوغابی = ۲ و خیس = ۳)، CorM: بتن یا ملات بودن لایه تعمیراتی (ملات = ۱ و بتن = ۲)، SorD: اشباع یا خشک بودن بتن بستر (خشک = ۱ و اشباع = ۲)، CS: مقاومت فشاری لایه تعمیراتی (بر حسب MPa)، AtoP: نسبت سنگدانه به خمیره و Method: روش انجام تست (انتقال اصطکاک = ۱ و پیچش = ۲) می باشند.

مدل فازی

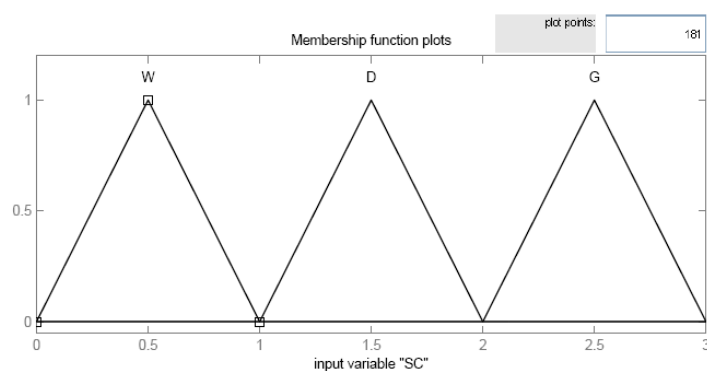
تئوری مجموعه های فازی، اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور لطفی عسکرزاده پایه گذاری شد. پس از چند سال و در اوایل دهه هفتاد، با مطرح شدن منطق فازی، اولین کاربردهای این تئوری در علوم مهندسی ارایه گردید. از آن زمان به بعد شاهد گسترش روزافزون

جنبه های تئوری و عملی آن توسط دانشمندان علوم مختلف بوده ایم به طوری که امروزه تقریباً در تمام عرصه های صنعت و دانش، از این تئوری استفاده می گردد. مهمترین ویژگی منطق فازی در مقایسه با منطق کلاسیک این است که دانش و تجربه بشر را می تواند در قالب روابط ریاضی بیان نماید. این مهم باعث گردیده است که مسایل موجود در دنیای واقعی را به خوبی بتوان با استفاده از آن مدل سازی نمود. سیستم استنتاج فازی (FIS) براساس قواعد "اگر-آن گاه" بنا نهاده شده است، به طوری که با استفاده از قواعد مزبور می توان ارتباط بین تعدادی متغیر ورودی و خروجی را به دست آورد. بنابراین از FIS می توان به عنوان یک مدل پیش بینی برای شرایطی که داده های ورودی و یا خروجی که دارای عدم قطعیت بالایی باشند استفاده نمود؛ چرا که در چنین شرایطی روش های کلاسیک پیش بینی، نظیر رگرسیون نمی تواند به خوبی عدم قطعیت های موجود در داده ها را در نظر بگیرد. برای توسعه سیستم استنتاج فازی از عملگرهای استلزام فازی و ترکیب روابط فازی استفاده می گردد [14]. در موارد متعددی استفاده از سیستم استنتاج فازی در پژوهش های مربوط به بتن و پیش بینی نتایج حاصل از آزمایش ها، با موفقیت انجام پذیرفته است [15,16].

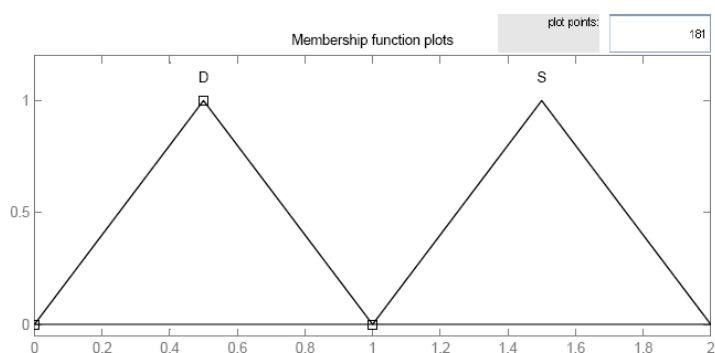
در این مطالعه از سیستم استنتاج فازی با رابطه فازی مینیم-ماکزیمم استفاده شده است. برای غیر فازی کردن نتایج نیز از روش مرکز سطح، استفاده شده است. همچنین روش استلزام فازی ممدانی به کار گرفته شده است. در شکل های (۴) تا (۹) تابع عضویت ورودی ها و خروجی سیستم فازی به کار گرفته شده، نشان داده شده است. در شکل (۱۰) نیز استفاده از ۹۷ قانون "اگر-آن گاه" ساخته شده در مدل برای ارتباط دادن ورودی ها با خروجی مدل و تعیین نتایج ملاحظه می شود.



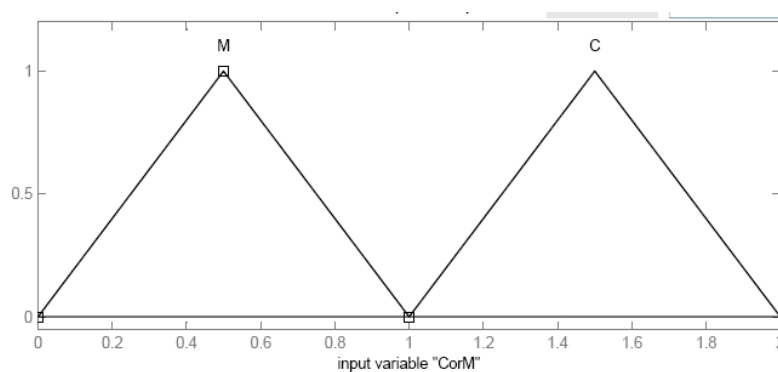
شکل ۴ تابع عضویت ورودی اول مدل فازی: مقاومت فشاری لایه خود متراکم تعمیر



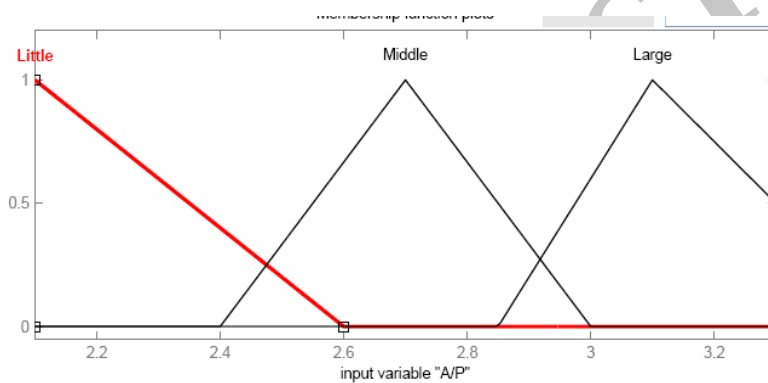
شکل ۵ تابع عضویت ورودی دوم مدل فازی: شرایط سطحی بتن بستر
W: مرطوب، D: خشک و G: دوغابی



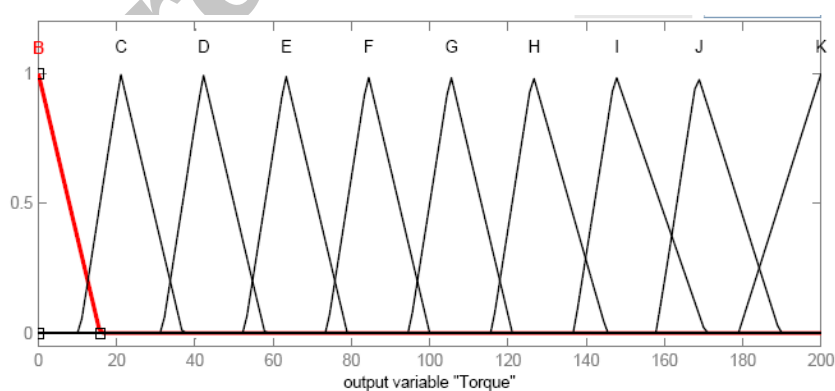
شکل ۶ تابع عضویت ورودی سوم مدل فازی: اشباع یا خشک بودن بتن بستر
D: خشک و S: اشباع



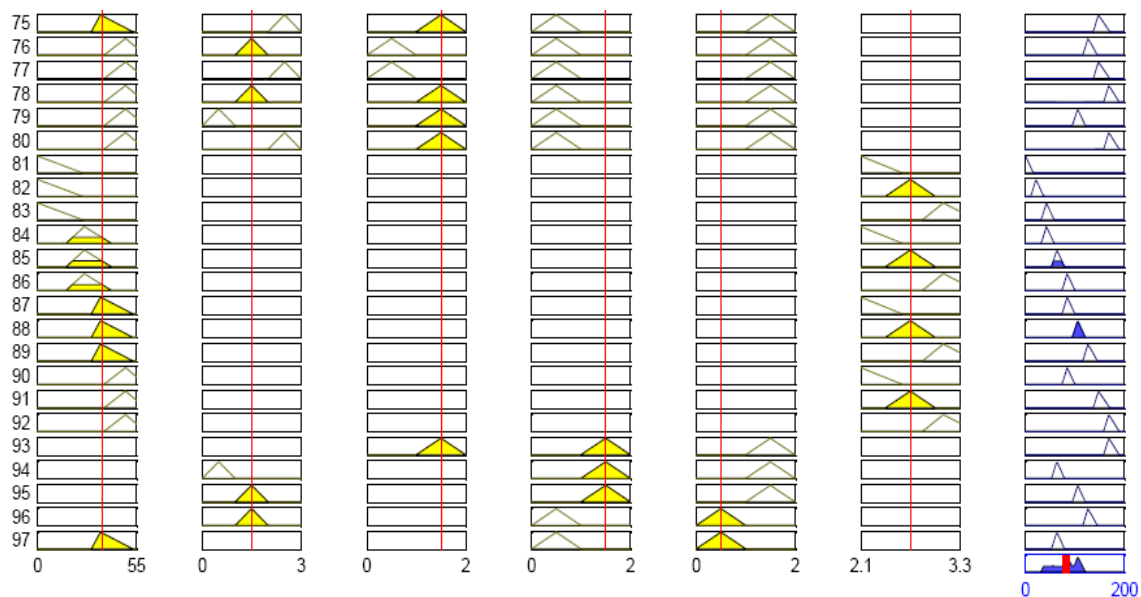
شکل ۷ تابع عضویت ورودی چهارم مدل فازی: بتن یا ملات بودن لایه خود متراکم تعمیراتی
M: ملات و C: بتن



شکل ۸ تابع عضویت ورودی پنجم مدل فازی: نسبت سنگدانه به خمیره در لایه خود متراکم تعمیراتی



شکل ۹ تابع عضویت تنها خروجی مدل فازی: لنگر پیچشی حاصله



شکل ۱۰ تعیین نتایج حاصل از منطق فازی با استفاده از ۹۷ قانون اگر- آنگاه

نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از رگرسیون خطی و منطق فازی

در جدول‌های (۴) تا (۷) نتایج حاصل از آزمایش‌ها، تحلیل رگرسیون خطی و مدل فازی و همچنین درصد خطای اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی نسبت به نتایج حاصل از آزمایش‌ها آورده شده است. نمودار شکل (۱۱) ارتباط بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل فازی را نشان می‌دهد.

بررسی نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که در بین سطوح مختلف به کار گرفته شده در این تحقیقات، چسبندگی بتن‌های خود متراکمی که به سطح بتنی اشباع خیس و سطح خشک خشک اعمال شده‌اند، کمترین مقدار را دارا می‌باشند. با توجه به این نتایج، شاید بتوان گفت که عدم وجود رطوبت کافی به اندازه وجود رطوبت زیاد برای کسب چسبندگی مضر می‌باشد.

البته فرق اساسی در این است که با سطح خشک، رطوبت موجود در لایه تعمیر توسط سطح خشک جذب شده و لذا رطوبتی برای عمل هیدراسیون کافی باقی نمی‌ماند و همین امر باعث کاهش چسبندگی می‌گردد.

هنگامی که سطح بتن بستر دارای رطوبت زیاد باشد، تأثیر منفی در مقاومت لایه تعمیر و در نتیجه تأثیر منفی در مقدار چسبندگی لایه تعمیر خواهد داشت.

نکته قابل توجه دیگری که می‌توان از نتایج جدول (۴) مشاهده نمود، چسبندگی بالای بتن خود متراکم به سطح بتنی اشباع با دوغاب اعمال شده می‌باشد. علت عمومی این امر را می‌توان در نفوذ دوغاب به سطح بتنی دانست که باعث قفل و بست مکانیکی بالا، بین لایه تعمیر و بستر می‌گردد.

جدول ۴ نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی چسبندگی بتن تعمیری حاصل از روش پیش‌پیش

نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی گشتاور (Nm)	حاصل رگرسیون خطی (Nm)	حاصل فازی (Nm)	درصد خطای رگرسیون خطی	درصد خطای فازی
SCC1	خشک با سطح خشک	۱۱۵/۲۴	۱۰۷/۱۳	۱۱۳	۷/۰۴	۱/۹۴
	خشک با سطح دوغابی	۱۲۳/۳۸	۱۲۴/۴۹	۱۲۵	۰/۹۰	۱/۳۱
	اشباع با سطح خشک	۱۲۲/۰۲	۱۱۷/۱۵	۱۲۱	۳/۹۹	۰/۸۰
	اشباع با سطح خیس	۸۶/۳۲	۹۹/۷۸	۹۹/۵	۱۵/۵۹	۱۵/۲۷
	اشباع با سطح دوغابی	۱۳۲/۸۷	۱۳۴/۵۱	۱۳۳	۱/۲۳	۰/۱۰
SCC2	خشک با سطح خشک	۱۴۴/۶۲	۱۵۳/۵۲	۱۴۲	۶/۴۳	۱/۸۱
	خشک با سطح دوغابی	۱۷۳/۵۴	۱۷۱/۲۸	۱۷۳	۱/۳۰	۰/۳۱
	اشباع با سطح خشک	۱۶۴/۹۶	۱۶۳/۹۸	۱۵۷	۰/۶۲	۴/۸۳
	اشباع با سطح خیس	۱۴۵/۹۸	۱۴۶/۵۷	۱۳۶	۰/۴۰	۶/۸۴
	اشباع با سطح دوغابی	۱۸۲/۵۹	۱۸۱/۳۰	۱۷۹	۰/۷۱	۱/۹۷
SCC3	خشک با سطح خشک	۱۲۳/۳۸	۱۲۵/۸۹	۱۳۳	۲/۰۳	۷/۹۸
	خشک با سطح دوغابی	۱۵۹/۹۸	۱۴۳/۲۶	۱۵۴	۱۰/۴۵	۳/۷۴
	اشباع با سطح خشک	۱۳۲/۱۹	۱۳۵/۹۱	۱۴۳	۲/۸۱	۸/۱۸
	اشباع با سطح خیس	۱۳۲/۸۷	۱۱۸/۵۵	۱۲۲	۱۰/۷۸	۸/۱۸
	اشباع با سطح دوغابی	۱۶۲/۷۲	۱۵۳/۲۸	۱۵۷	۵/۷۹	۳/۵۰

جدول ۵ نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی چسبندگی ملات تعمیری حاصل از روش پیش‌پیش

نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی گشتاور (Nm)	حاصل رگرسیون خطی (Nm)	حاصل فازی (Nm)	درصد خطای رگرسیون خطی	درصد خطای فازی
SCM1	خشک با سطح خشک	۱۱۶/۶۰	۱۱۹/۲۰	۱۱۲	۲/۲۳	۳/۹۵
	خشک با سطح دوغابی	۱۲۸/۱۸	۱۳۶/۵۶	۱۳۶	۹/۰۹	۸/۶۴
	اشباع با سطح خشک	۱۲۰/۶۷	۱۲۹/۲۱	۱۱۹	۷/۰۸	۱/۳۸
	اشباع با سطح خیس	۱۱۲/۵۳	۱۱۱/۸۵	۱۰۸	۰/۶۰	۴/۰۳
	اشباع با سطح دوغابی	۱۴۱/۴۵	۱۴۶/۵۸	۱۳۹	۳/۶۳	۱/۷۳
SCM2	خشک با سطح خشک	۱۱۲/۹۸	۱۲۱/۷۴	۱۲۶	۷/۷۵	۱۱/۵۲
	خشک با سطح دوغابی	۱۴۵/۰۷	۱۳۹/۱۱	۱۴۱	۴/۱۱	۲/۸۱
	اشباع با سطح خشک	۱۳۸/۷۴	۱۳۱/۷۶	۱۳۹	۵/۰۳	۰/۱۹
	اشباع با سطح خیس	۱۳۲/۸۷	۱۱۴/۴۰	۱۲۲	۱۳/۹۰	۸/۱۸
	اشباع با سطح دوغابی	۱۴۹/۱۴	۱۴۹/۱۳	۱۴۸	۰/۰۱	۰/۷۶
SCM3	خشک با سطح خشک	۸۴/۰۶	۱۰۹/۳۴	۱۰۹	۳۰/۰۷	۲۹/۶۷
	خشک با سطح دوغابی	۱۳۰/۶۰	۱۲۶/۷۱	۱۲۷	۲/۹۸	۲/۷۶
	اشباع با سطح خشک	۱۳۰/۸۳	۱۱۹/۳۶	۱۳۰	۸/۷۷	۰/۶۳
	اشباع با سطح خیس	۹۴/۹۱	۱۰۱/۹۹	۹۸/۱	۷/۴۶	۳/۳۶
	اشباع با سطح دوغابی	۱۳۱/۵۱	۱۳۳/۷۲	۱۳۷	۳/۹۶	۴/۱۷

بررسی نتایج جدول (۵) بیانگر آن است که مانند نتایج به دست آمده از به کار گیری بتن به عنوان ماده تعمیری، سطح بتنی خشک خشک و سطح بتنی اشباع خیس، کمترین مقدار چسبندگی را عاید نموده اند. همچنین می توان مشاهده نمود که سطوح بتنی اشباع با دوغاب اعمال شده بر آن، بیشترین مقدار چسبندگی را تولید نموده اند. دلایل ارایه شده در ارتباط با نتایج جدول (۴) را می توان به نتایج جدول (۵) نیز تعمیم داد.

مقایسه نتایج مندرج در جداول (۶) و (۷) با نتایج جداول (۴) و (۵)، بیانگر آن است که بین نتایج به دست آمده از دو روش "پیچش" و "انتقال اصطکاک"، همبستگی بسیار خوبی وجود دارد. نتایج به دست آمده

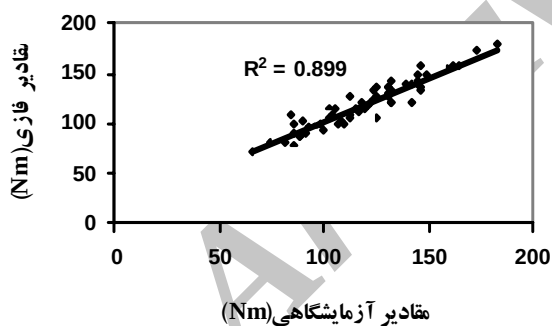
از روش انتقال اصطکاک نشان می دهد که بالا بودن مقادیر چسبندگی سطوح اشباع با دوغاب اعمال شده بر آن ها بیش از سایر سطوح می باشد. این نتایج همچنین نشان دهنده چسبندگی کم سطوح خشک خشک و اشباع خیس می باشد. مقایسه مقادیر چسبندگی ملات های مصرفی با مقادیر چسبندگی بتن های به کار گرفته شده نیز حاکی از روند مقادیر چسبندگی مشابه برای سطوح با شرایط مختلف می باشد. همچنین از نتیجه این جدول ها می توان مشاهده نمود که اعمال دوغاب قبل از اعمال لایه تعمیری باعث افزایش مقاومت چسبندگی لایه تعمیری می گردد.

جدول ۶ نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی چسبندگی بتن تعمیری حاصل از روش انتقال اصطکاک

نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی گشتاور (Nm)	حاصل رگرسیون خطی (Nm)	حاصل فازی (Nm)	درصد خطای رگرسیون خطی	درصد خطای فازی
SCC1	خشک با سطح خشک	۸۱/۳۵	۸۱/۷۰	۸۱/۴	۰/۴۳	۰/۰۶
	خشک با سطح دوغابی	۸۵/۸۶	۹۹/۰۶	۹۸/۸	۱۵/۳۷	۴/۵۹
	اشباع با سطح خشک	۷۳/۶۶	۹۱/۷۲	۸۱/۴	۲۴/۵۲	۱۰/۵۱
	اشباع با سطح خیس	۶۵/۰۸	۷۴/۳۸	۷۱/۴	۱۴/۲۴	۹/۷۱
	اشباع با سطح دوغابی	۸۹/۴۸	۱۰۹/۰۸	۱۰۲	۲۱/۹۰	۱۳/۹۹
SCC2	خشک با سطح خشک	۱۲۵/۱۸	۱۲۸/۴۹	۱۲۷	۲/۶۴	۱/۴۵
	خشک با سطح دوغابی	۱۴۵/۵۲	۱۴۵/۸۵	۱۴۸	۰/۲۳	۱/۷۰
	اشباع با سطح خشک	۱۳۱/۰۷	۱۳۸/۵۱	۱۳۷	۵/۶۸	۴/۵۲
	اشباع با سطح خیس	۱۰۳/۰۴	۱۲۱/۱۴	۱۱۶	۱۷/۵۷	۱۲/۵۸
	اشباع با سطح دوغابی	۱۴۶/۴۳	۱۵۵/۸۷	۱۵۹	۶/۴۵	۸/۵۸
SCC3	خشک با سطح خشک	۱۰۸/۴۶	۱۰۰/۴۶	۱۰۴	۷/۳۸	۴/۱۱
	خشک با سطح دوغابی	۱۴۱/۹۱	۱۱۷/۸۳	۱۲۲	۱۶/۹۷	۱۳/۳۹
	اشباع با سطح خشک	۱۲۶/۰۹	۱۱۰/۴۸	۱۰۷	۱۲/۳۸	۱۵/۱۴
	اشباع با سطح خیس	۹۹/۸۸	۹۳/۱۲	۹۲/۷	۶/۷۷	۷/۱۹
	اشباع با سطح دوغابی	۱۴۵/۹۸	۱۲۷/۸۵	۱۳۴	۱۲/۴۲	۸/۲۱

جدول ۷ نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی چسبندگی ملات تعمیری حاصل از روش انتقال اصطکاک

نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی (گشتاور (Nm)	حاصل رگرسیون خطی (Nm)	حاصل فازی (Nm)	درصد خطای رگرسیون خطی	درصد خطای فازی
SCM1	خشک با سطح خشک	۹۰/۸۴	۹۳/۷۷	۸۹/۷	۳/۲۳	۱/۲۵
	خشک با سطح دوغابی	۱۱۲/۹۸	۱۱۱/۱۳	۱۰۷	۱/۶۴	۵/۲۹
	اشباع با سطح خشک	۱۰۶/۲۰	۱۰۳/۷۸	۹۹/۹	۲/۲۸	۵/۹۳
	اشباع با سطح خیس	۸۸/۱۳	۸۶/۴۲	۸۸	۱/۹۴	۰/۱۵
	اشباع با سطح دوغابی	۱۱۹/۷۶	۱۲۱/۱۵	۱۱۵	۱/۱۶	۳/۹۷
SCM2	خشک با سطح خشک	۹۸/۹۷	۹۶/۳۱	۹۸/۲	۲/۶۹	۰/۷۸
	خشک با سطح دوغابی	۱۱۴/۸۰	۱۱۳/۶۸	۱۱۶	۰/۹۸	۱/۰۵
	اشباع با سطح خشک	۱۰۳/۴۹	۱۰۶/۳۳	۱۰۸	۲/۷۴	۴/۳۶
	اشباع با سطح خیس	۹۲/۸۷	۸۸/۹۷	۹۸	۴/۲۰	۵/۵۲
	اشباع با سطح دوغابی	۱۱۸/۴۰	۱۲۳/۷۰	۱۲۱	۴/۴۸	۲/۲۰
SCM3	خشک با سطح خشک	۸۸/۸۰	۸۳/۹۱	۸۸/۱	۵/۵۱	۴/۰۵
	خشک با سطح دوغابی	۱۰۲/۱۳	۱۰۱/۲۸	۱۰۵	۰/۸۳	۲/۸۱
	اشباع با سطح خشک	۱۰۹/۸۲	۹۳/۹۳	۹۹/۶	۱۴/۴۷	۹/۳۱
	اشباع با سطح خیس	۸۵/۴۲	۷۶/۵۶	۷۹/۱	۱۰/۳۷	۷/۴۰
	اشباع با سطح دوغابی	۱۰۵/۳۰	۱۱۱/۲۹	۱۱۴	۵/۶۹	۸/۲۶



شکل ۱۱ ارتباط بین نتایج آزمایشگاهی و مدل فازی

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.923 ^a	.851	.835	7.68536

a. Predictors: (Constant), AtoP, METHOD, SorD, CS, SC, CorM

شکل ۱۲ مقدار R^2 تحلیل رگرسیون خطی

همانطور که از شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشهود

بررسی نتایج مندرج در جدول‌های (۴-۷) و نسبت‌های طرح‌های اختلاط بیانگر آن است که با افزایش نسبت سنگدانه به خمیره در لایه تعمیری خود متراکم، چسبندگی این لایه به بستر بتنی افزایش می‌یابد. همچنین بررسی‌های بیشتر نشان می‌دهد که چسبندگی بتن خود متراکم به بتن بستر به مقدار بسیار کمی بیشتر از ملات خود متراکم می‌باشد.

مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش "پیچش" و "انتقال اصطکاک" نشان می‌دهد که در روش پیچش به علت ایجاد تنش کششی ناشی از پیچش خالص در مغزه، نمونه، با زاویه ۴۵ درجه گسیخته می‌شود، ولی در روش انتقال اصطکاک به علت ایجاد یک نیروی فشاری ناشی از محکم کردن پیچ‌های گیره فلزی، قسمتی از این تنش کششی، خنثی شده و لذا درصد شکست از مرز در روش انتقال اصطکاک نسبت به روش پیچش بیشتر می‌گردد.

سپس بستر خشک با سطح دوغابی، بستر اشباع با سطح خشک، بستر خشک با سطح خشک و کمترین چسبندگی را بستر اشباع با سطح خیس تولید نمودند. این ترتیب نشان دهنده تأثیر مثبت زیاد سطح دوغابی و تأثیر منفی زیاد سطح خیس بر چسبندگی می باشد.

۵. به کمک ضریبی به نام بتا که نشان دهنده میزان تغییر متغیر پاسخ به ازای تغییری به اندازه یک انحراف معیار در متغیر مستقل است، عوامل تأثیر گذار بر مقاومت لایه تعمیری خود متراکم بر بستر بتنی و ضرایب اهمیت آنها به ترتیب زیر می باشد:

شرایط سطحی بتن بستر (۶/۸۳)، مقاومت فشاری لایه تعمیری (۵/۵۶)، نسبت سنگدانه به خمیره (۵/۸۴)، اشباع یا خشک بودن بتن بستر (۲/۵۷)، بتن یا ملات بودن لایه تعمیری (۱).

۶. با مقایسه مقدار درصد خطا و ضریب R^2 نتایج مدل فازی نسبت به مدل رگرسیون خطی می توان دریافت که مدل فازی، پیش بینی بهتری از نتایج آزمایشگاهی دارد.

۷. با افزایش نسبت سنگدانه به خمیره در لایه تعمیری خود متراکم، چسبندگی این لایه به بستر بتنی افزایش می یابد.

۸. چسبندگی بتن خود متراکم به بتن بستر به مقدار بسیار کمی بیشتر از ملات خود متراکم است.

۹. در روش پیچش به علت ایجاد تنش کششی ناشی از پیچش خالص در مغزه، نمونه، با زاویه ۴۵ درجه گسیخته می شود، ولی در روش انتقال اصطکاک به علت ایجاد یک نیروی فشاری ناشی از محکم کردن پیچ های گیره فلزی، قسمتی از این تنش کششی، خنثی شده و لذا درصد شکست از مرز در روش انتقال اصطکاک نسبت به روش پیچش بیشتر است.

است، مدل فازی، مدل مناسبی برای آزمایش های انجام گرفته است. با توجه به R^2 مدل رگرسیون خطی (برابر ۰/۸۵۱) و R^2 مدل فازی (برابر ۰/۸۹۹) می توان نتیجه گرفت که مدل به دست آمده از منطق فازی با نتایج آزمایشگاهی، هماهنگی بیشتری دارد.

در حین انجام آزمایش ها مشخص شد که در صورتی که دوغاب اعمال شده به سطح بستر بتنی قبل از اعمال لایه تعمیری بتنی خشک شود، نه تنها اثر مثبتی در چسبندگی ندارد بلکه باعث کاهش شدید چسبندگی دو لایه خواهد شد. بنابراین در این تحقیق هر جا که سطح لایه بستر اندود شده با دوغاب باشد، پیش از خشک شدن آن، لایه تعمیری روی آن اعمال شده است. می توان دریافت که تأثیر دوغابی بودن سطح (به شرط اینکه تا این دوغاب خشک نشده لایه تعمیری اعمال گردد) بسیار بالا است و حتی وقتی بتن بستر خشک می باشد، در صورت اعمال دوغاب بر روی آن، چسبندگی به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد (حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد).

نتیجه گیری

۱. با افزایش مقاومت فشاری بتن و ملات خود متراکم به عنوان لایه تعمیری، چسبندگی این لایه به بتن بستر بیشتر می گردد.

۲. با اشباع کردن بستر بتنی پیش از اعمال لایه تعمیری، چسبندگی لایه تعمیری به بتن بستر افزایش می یابد.

۳. حالت سطح بتن بستر تأثیر زیادی بر چسبندگی لایه تعمیری بر بتن بستر دارد. با این که سطح اندود شده به دوغاب سیمان بهترین چسبندگی را ایجاد می نماید، سطح خشک و خشک، و سطح خیس، کمترین چسبندگی را تولید می نماید.

۴. براساس نتایج به دست آمده، به ترتیب بیشترین مقدار چسبندگی برای حالت بستر اشباع با سطح دوغابی،

مراجع

1. Pade Clans, Thrane Lars Nyholm, V. Nielsen Claus, Guidelines for Execution of SCC, Danish Technological Institute, (2008).

2. Pade Clans, Thrane Lars Nyholm, V. Nielsen Claus, Guidelines for Mix Design of SCC, Danish Technological Institute, (2008).
3. Baton Ronge River Center, *Lousiana Transportation Engineering Conference*, (2007).
۴. نادری، محمود، "تعیین چسبندگی واقعی سیستم های مختلف تعمیرات بتنی با به کارگیری روش جدید انتقال اصطکاک"، نشریه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، سال نوزدهم، شماره یک، (۱۳۸۶).
5. 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, pp. 675-681, (2004).
6. 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, pp. 1688-1695, (2007).
7. Julio, E.S., Branco, F., Silva, V.D., "Strctural rehabilitation of columns using reinforced concrete jacking", *Prog Struct Engng Mater*, pp. 29-37, (2003).
8. Bett, B. J., Klingner, R. E., Jirsa, J. O., "Lateral load rersponse of strengthened and repaired reinforced concrete columns", *ACI Struct J*, 85, pp. 499-508, (1988).
9. Hommelwerke, Gmb,H., "Mummery L.Surface texture analysis-the handbook", Thyssen, (2000).
10. Santos, PMD., "Influence of the surface roughness of the interface concrete/concrete in its longitudinal shear resistance", MSc. Thesis, University of Combra, (2005).
11. 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 (2007).
۱۲. نادری، محمود، "تکنولوژی بتن: روش های بهبود و تعیین آزمایشگاهی و درجای مقاومت بتن"، تهران، انتشارات روزبهان، صفحه ۱۷۴، (۱۳۸۸).
13. Naderi, M, "Friction- transfer test for the assessment of in-situ stresgth & adhesion of cementitious materials, *construction & Building Materials*", Volume 19, Issue 6, pp. 454- 459, (2005).
14. Fuzzy Control Toolbox, Matlab Software, (2009).
15. Sedat, A. Gokmen, T, Sever, C. Fuzzy Model for the Prediction of Cement Compressive Strength. *Cem. Concr. Res.* 35(8): pp. 1429- 1433, (2004).
16. 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).