

## مطالعه چسبندگی بتن خود متراکم به بتن قدیم

محمود نادری – احسان غفاری

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین

E-mail: [naderi-m@ikiu.ac.ir](mailto:naderi-m@ikiu.ac.ir)

### چکیده

برای اینکه یک لایه تعمیراتی اعمال شده به سطح بتن قدیم عملکرد مرکب موفق با بتن قدیم داشته باشد، وجود چسبندگی کافی بین بتن قدیم و لایه تعمیراتی امری الزامی است. از جمله عوامل موثر بر میزان چسبندگی لایه تعمیراتی، میزان فشردگی لایه تعمیراتی می باشد، چون با فشردگی بیشتر، امکان تماس ذرات تشکیل دهنده لایه تعمیراتی با سطوح بیشتری از خلل و فرج موجود در سطح بتن قدیم نه تنها سطح تماس بین لایه تعمیراتی و بتن قدیم را افزایش می دهد بلکه بدلیل نفوذ بیشتر لایه تعمیراتی در خلل و فرج سطح قدیم، قفل و بست مکانیکی بین آن دو نیز افزایش می یابد. لذا با توجه به اینکه ضخامت و حجم بتن لایه تعمیراتی از یکسو و شیبه رایج اعمال آن در اکثر موارد از سوی دیگر، ایجاد فشردگی لازم را با مشکلات همراه می سازد که در نتیجه میزان چسبندگی بین لایه تعمیراتی و بتن قدیم کاهش می یابد، انتخاب بتن خود متراکم بعنوان بتن تعمیراتی میتواند از اهمیت بسزائی برخوردار باشد. در این مقاله میزان چسبندگی بین بتن خود متراکم و بستر بتنی قدیمی که با بکار گیری روش "انتقال اصطکاک" صورت گرفته است ارائه گردیده است که با عنایت به برشی بودن طبیعت این اندازه گیریها و اینکه اغلب در کارهای اجرائی، تنشهای برشی حاصل از انقباض و انقباض عامل شکست چسبندگی مذکور می باشد، این نتایج می تواند در انتخاب بهینه بتن خود متراکم برای مصرف در تعمیر سازه های بتنی، مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه های کلیدی:** بتن خود متراکم، تعمیرات بتنی، چسبندگی لایه تعمیراتی، انتقال اصطکاک.

## مقدمه:

در سالهای اخیر تعداد زیادی از سازه های بتنی در کشورهای مختلف جهان و از جمله ایران دچار آسیب دیدگی یا خرابی زودرس در اثر ضعف داخلی بتن و یا عوامل محیطی گشته اند. این موضوع بخصوص در نواحی ساحلی جنوب که در برابر تهاجم یونهای کلر و سولفات می باشد حادث می باشد. همچنین علاوه بر مسأله تعمیر و نگهداری، تعداد زیادی از سازه های بتنی موجود در کشور، به علت عدم طراحی مناسب طبق ضوابط آیین نامه ای و یا اصلاحات و تغییرات به وجود آمده در آیین نامه های طراحی، دارای ضعفهای عمده ای در برابر نیروهای وارده، (زلزله، باد و غیره) می باشند. این امر خود مؤید ضرورت تقویت و مقاوم سازی سازه های موجود می باشد. اگر چه در زمینه صنعت تعمیرات بتنی، توسعه مواد جدید سیمانی و غیر سیمانی، و همچنین ظهور روشهای جدید تعمیراتی دستی و ماشینی در سال های اخیر چشمگیر بوده است، ولی صرف نظر از نوع مصالح و روش های به کار گرفته شده، برای این که لایه تعمیراتی اعمال شده به بستر بتنی، عملکرد قابل قبولی داشته باشد، باید در سطح تماس خود با سطح بتن، از چسبندگی لازم و کافی برای مقابله با تنش های به وجود آمده به هنگام بهره برداری، بر خوردار باشد.

از جمله عوامل موثر بر میزان چسبندگی لایه تعمیراتی، میزان فشردگی لایه تعمیراتی می باشد، چون با فشردگی بیشتر، امکان تماس ذرات تشکیل دهنده لایه تعمیراتی با سطوح بیشتری از خلل و فرج موجود در سطح بتن قدیم نه تنها سطح تماس بین لایه تعمیراتی و بتن قدیم را افزایش می دهد بلکه بدلیل نفوذ بیشتر لایه تعمیراتی در خلل و فرج سطح قدیم، قفل و بست مکانیکی بین آن دو نیز افزایش می یابد. در سال های اخیر ملاتهای خود متراکم (SCRM)، به عنوان یک تکنولوژی جدید به منظور تعمیرات و بهسازی سازه های بتنی مطرح شده اند. تعمیرات سازه هایی که دارای فضای محدود و شبکه آرماتور متراکمی هستند (علی الاخصاص پلها) و امکان و بهره مناسب و بالطبع فشردگی لازم وجود ندارد ضرورت استفاده از بتن خود متراکم را بیش از پیش آشکار می نماید. [1],[2],[3],[4],[5]

## برنامه انجام آزمایش ها:

در این پروژه مقاومت پیوستگی سه نوع ملات تعمیراتی خود متراکم و یک نوع ملات بتنی عادی بر روی سطح بریده شده با اره الماسه مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است.

همچنین با توجه به اهمیت شرایط سطحی و شرایط عمل آوری در این پروژه از پنج حالت سطحی و سه حالت عمل آوری مختلف برای بررسی اثر شرایط سطحی و عمل آوری بر روی مقاومت پیوستگی استفاده شده است.

بر روی نمونه های ساخته شده از ملاتهای مختلف، آزمایشهای مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و مقاومت پیوستگی (با استفاده از آزمایش انتقال اصطکاک)، در سنین 7، 14 و 28 روزه انجام پذیرفته است.

## تهیه نمونه ها:

در تمام مراحل تحقیق، از قطعات بتنی با ابعاد  $150 \times 150$  میلی متر با ضخامت 150 میلی متر و با مقاومت فشاری 28 روزه حدود 65 مگاپاسکال جهت اعمال لایه تعمیراتی به کار گرفته شده است. برای به دست آوردن سطح صاف و مقاوم، نمونه های یاد شده به گونه ای با اره الماسه بریده شدند که قطعات با سطح صاف اره ای  $150 \times 150$  میلی متری با ضخامت 50 میلی متری به دست آمد. شکست مخلوط، اندازه گیری دقیق مقدار چسبندگی را مشکل می سازد که با انتخاب سطح صاف اره ای با مقاومت بالا این مشکل تا حد زیادی بر طرف می گردد. اگر چه در عمل سطح بتنی که باید تعمیر شود شباهتی به سطح بریده شده با اره بتن بر ندارد ولی استفاده از سطح صاف مقدار چسبندگی واقعی را نتیجه می دهد.

## قالب بندی و اعمال لایه تعمیراتی:

برای اعمال لایه های تعمیراتی، قالب های چوبی در اطراف قطعات بتن بستر قرار داده شده و سپس لایه تعمیراتی مورد نظر با ضخامت 15 میلی متری، به صورت دستی اعمال گردید.

اعمال لایه های تعمیری بر روی پنج بستر مختلف به شرح زیر انجام گرفت:

### جدول 1- شرایط سطحی برای اعمال لایه تعمیری

حالت	بتن پایه	سطح بتن پایه	توضیح	علامت
1	اشباع	خشک	اشباع با سطح خشک	SSD
2	اشباع	اشباع	اشباع با سطح خیس	SSW
3	اشباع	دوغاب سیمان	اشباع با دوغاب سیمان	SSC
4	خشک	اشباع	خشک با سطح خیس	ASW
5	خشک	خشک	خشک با سطح خشک	ASD

همچنین سه حالت عمل آوری مختلف به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت:

### جدول 2- شرایط عمل آوری

حالت	نوع عمل آوری	علامت
1	هوای آزاد	A
2	گونی خیس	B
3	گونی خیس با نایلون	C

### روش انجام آزمایش:

اهمیت اطلاع از مقدار چسبندگی موجود بین لایه تعمیری و بتن قدیم، ایجاب می نماید تا روشی مناسب برای اندازه گیری دقیق و در جای آن انتخاب کرد.

از جمله روش های درجا که برای تعیین مقدار چسبندگی لایه های تعمیری در صنعت بتن مورد استفاده قرار می گیرد، روش "PULL OFF" می باشد. در این روش، یک استوانه فلزی به قطر 50 میلی متر بر روی نیم مغزه تعبیه شده که باید تا بتن بستر ادامه یابد، چسبانده شده و پس از گیرش و سفت شدن چسب به کار رفته با استفاده از نیروی کششی، مقاومت چسبندگی لایه تعمیری را به دست می آورند. [6]، [7]، [8]

علیرغم بررسی های زیادی انجام شده و پیشنهادهای ارائه شده، به نظر می رسد که این روش بنا به دلایلی از قبیل:

1- نیاز به محوری بودن نیروی کششی

2- تأثیر سختی دستگاه و شیوه اعمال نیروی کششی

3- عدم عملکرد مناسب چسب به کار گرفته شده در شرایط مختلف محیطی مخصوصاً رطوبت، دما و آلودگی های سطحی

4- حداقل قطر نیم مغزه

5- تأثیر ضخامت لایه تعمیری بر نتایج

قادر به فراگیر بودن در حد انتظار نمی باشد. 66

با در نظر گرفتن ضعف های "PULL OFF" که در بالا به بعضی از آنها اشاره گردید، تصمیم گرفته شد از روش انتقال اصطکاک برای اندازه گیری چسبندگی مواد تعمیری استفاده گردد.

## روش انتقال اصطکاک:

در این روش نیم مغزه ای با قطر داخلی 50 میلی متر در قسمتی از لایه تعمیری که قرار است مقاومت چسبندگی در آنجا اندازه گیری شود، چنان تعبیه می شود که تا بتن قدیم (یا بستری که لایه تعمیری روی آن اعمال گردیده است) ادامه یابد.

سپس با قرار دادن و تثبیت یک قطعه فلزی بر روی نیم مغزه یاد شده، با استفاده از یک ترکمتر معمولی، گشتاور پیچشی را که برای شکستن نیم مغزه لازم است، از طریق قطعه فلزی یاد شده، اعمال و تنش برشی حداکثر محاسبه می گردد. (شکل 1)

از جمله امتیازات این روش ابداعی می توان به ساده بودن، سرعت عمل بالا، قابلیت کاربرد در شرایط مختلف محل بهره برداری سازه (زیر آب، محیط مزطوب، دماهای بسیار بالا و بسیار پایین و ...) تعبیر قابل فهم نتایج، دستگاه ارزان قیمت، دقت بالا و عدم نیاز به تکنسین ماهر اشاره نمود. [9]



(الف)



(ب)



(ج)

شکل 1- (الف) - تجهیزات دستگاه انتقال اصطکاک، (ب) تثبیت قطعه فلزی، (ج) اعمال لنگر پیچشی توسط ترکمتر

## ملات های مورد بررسی:

در این تحقیق از 4 ملات که 3 تا از آنها خود متراکم و دیگری ملات عادی می باشد، استفاده شده است.

جدول 3- انواع ملات

حالت	توضیحات	علامت
1	ملات خود متراکم	SCRM1
2	ملات خود متراکم	SCRM2
3	ملات خود متراکم حاوی پلی پروپیلن	SCRMP
4	ملات عادی	NM

## آزمایش های بتن خود متراکم:

آزمایش های بتن خود متراکم به منظور بررسی و کنترل سه خاصیت قابلیت عبور، خاصیت پرکنندگی، و قابلیت پایداری طبقه بندی شده اند.

### قابلیت جریان عبور: توانایی جاری شدن بتن خود متراکم تحت وزن خود

**قابلیت پرکنندگی:** توانایی بتن خود متراکم در داشتن تغییر شکل عالی در هنگام عبور از میان آرماتورها که به واسطه آن می تواند تمام سطح قالب را به ور همگن و یکنواخت پر کند و سطحی هم تراز با افق بسازد.

**قابلیت پایداری:** مقاومت بتن خود متراکم در برابر وقوع انواع جداشدگی و حفظ همگنی خود در تمام مراحل ساخت و اجرا و بتن ریزی. بر خلاف بتن خود متراکم برای ملات خود متراکم تنها قابلیت پرکنندگی مورد بررسی قرار می گیرد.

بدین منظور از دو آزمایش جریان اسلامپ و قیف V استفاده می گردد.

## آزمایش جریان اسلامپ:

صفحه زیرین و سطح داخلی مخروط اسلامپ را مرطوب می کنیم. صفحه زیرین را در یک جای مسطح گذاشته مخروط اسلامپ را بر روی آن و در مرکز قرار می دهیم. مخروط را با چمچه پر می کنیم. از ضربه زدن و تکان دادن مخروط خودداری کرده و سطح بتن را به کمک ماله لب به لب مخروط تراز می کنیم. بتن ریخته اطراف مخروط را پاک می کنیم. مخروط اسلامپ را به صورت قائم بالا می کشیم و به بتن اجازه می دهیم که جریان پیدا کند.

قطر دایره را در دو جهت عمود بر هم اندازه می گیریم. میانگین دو قطر اندازه گیری شده را محاسبه می کنیم.

$$d = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) \quad (1)$$

d: میانگین دو قطر d1 و d2

سیس با توجه به قطر میانگین به دست آمده پارامتر جریان نسبی را از فرمول زیر محاسبه می کنیم:

$$R_a = \left( \frac{d}{d_0} \right)^2 - 1 \quad (2)$$

طبق استاندارد[10]EFNARC محدوده مجاز برای جریان نسبی به شرح زیر است:

$$4 \leq R_a \leq 7$$

آزمایش قیف V :

بتن را بدون ویبره و یا ضربه به داخل قیف ریخته سطح بتن را تا لبه بالایی قیف بالا می آوریم. ده ثانیه پس از پر کردن قیف دریاچه را باز می کنیم تا بتن تحت وزن خود جریان پیدا کند. کرنومتر را هم زمان با باز کردن دریاچه می زنیم و زمان تخلیه کامل بتن را اندازه گیری می کنیم، سپس با توجه به زمان به دست آمده پارامتر سرعت نسبی رامحاسبه می کنیم.

$$R_m = \left( \frac{10}{t} \right) \quad (3)$$

طبق استاندارد[10]EFNARC محدوده مجاز برای سرعت نسبی به شرح زیر است:

$$1.5 \leq R_m \leq 3$$

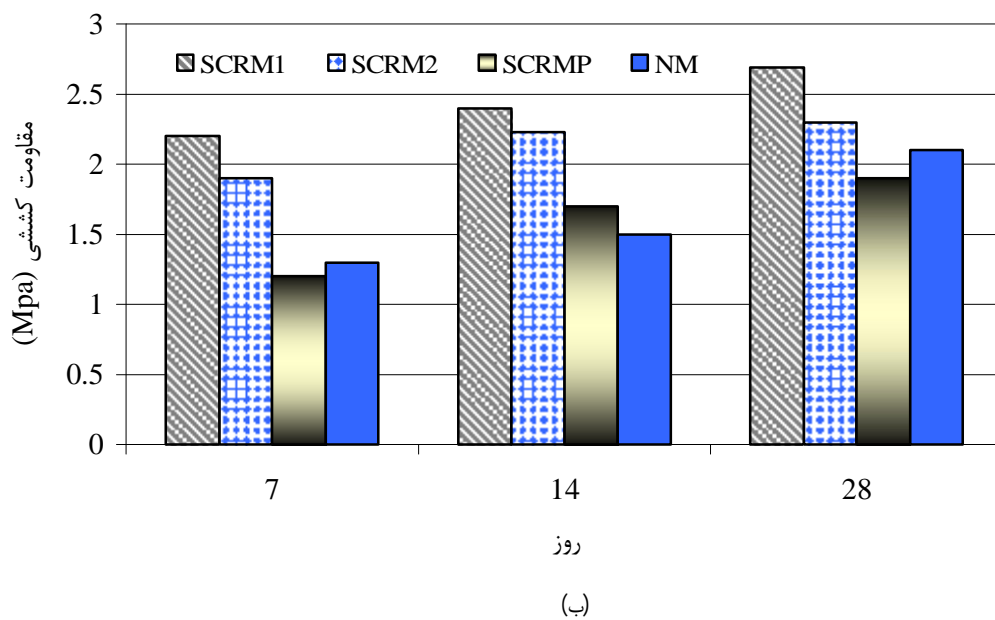
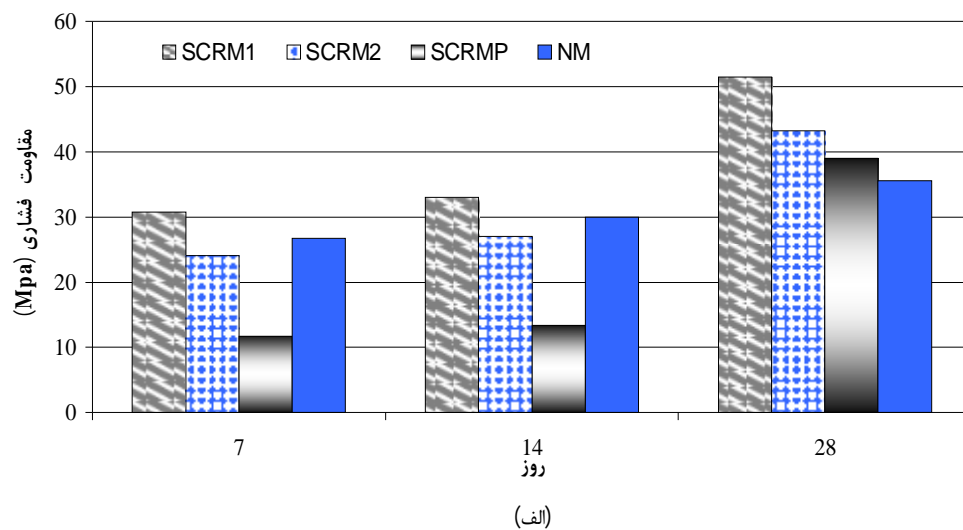
نتایج:

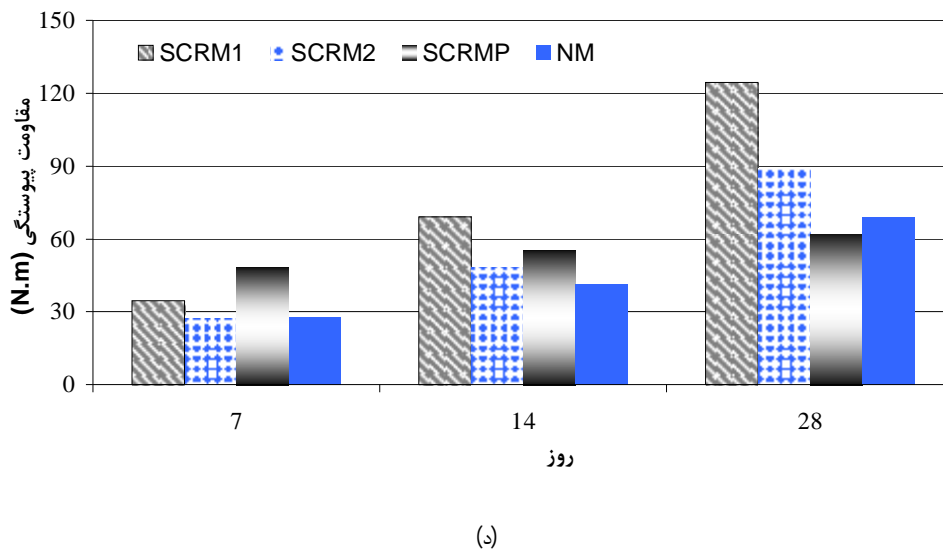
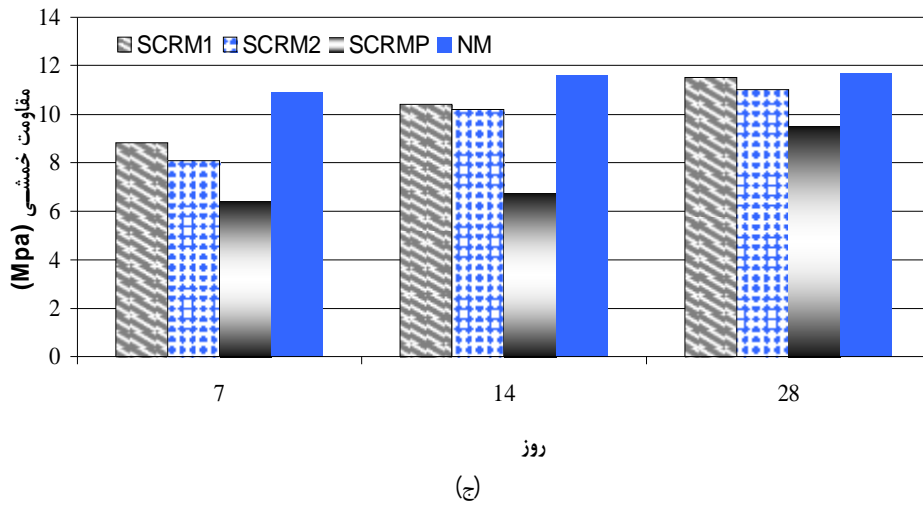
نتایج تست های مربوط به ملات های خود متراکم به شرح زیر است :

جدول 4- نتایج تست های مربوط به ملات های خود متراکم

$R_m$	$t$	$R_a$	$d$	ملات
2.4	4.15	5	24.5	SCRM1
3	3.3	6	26.5	SCRM2
2.5	4	4.76	24	SCRMP

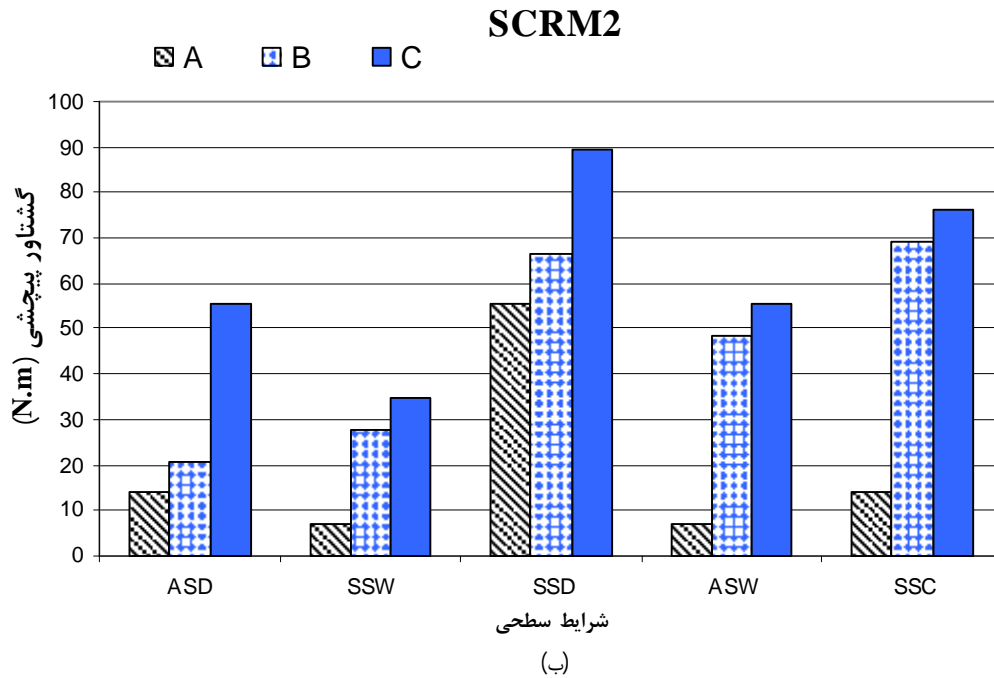
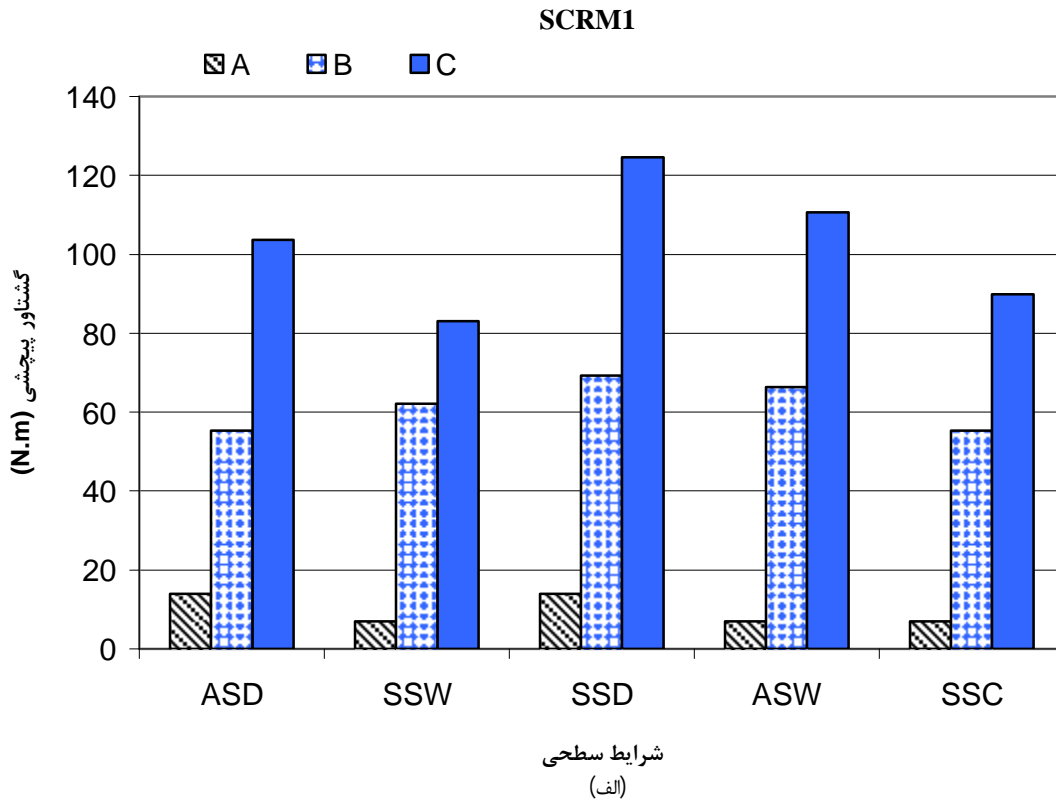
نتایج آزمایشهای مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و مقاومت پیوستگی (با استفاده از آزمایش انتقال اصطکاک)، در سنین 7، 14 و 28 روزه در شکل (1) آورده شده است.

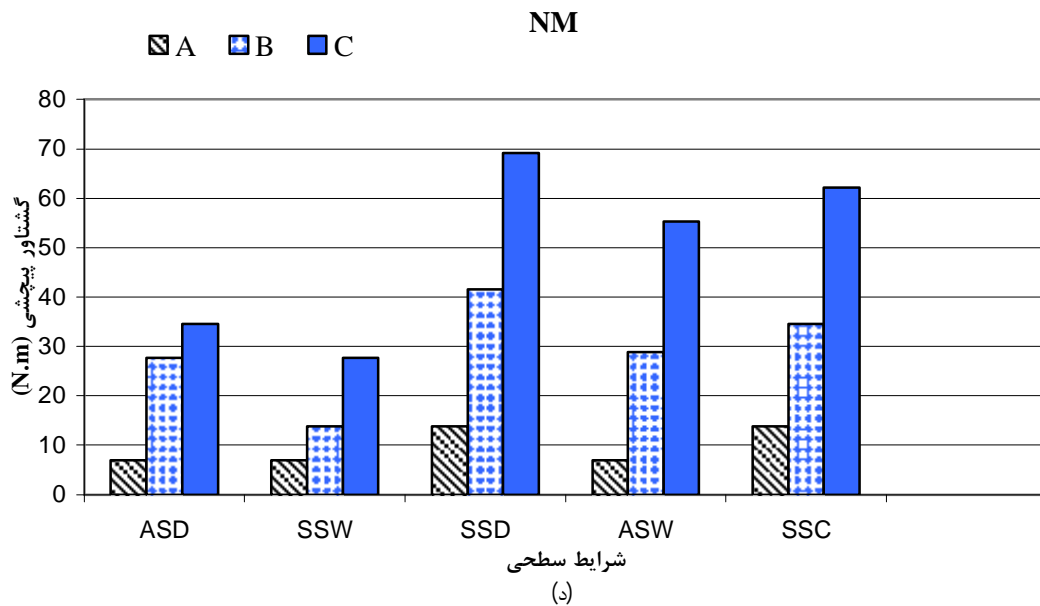
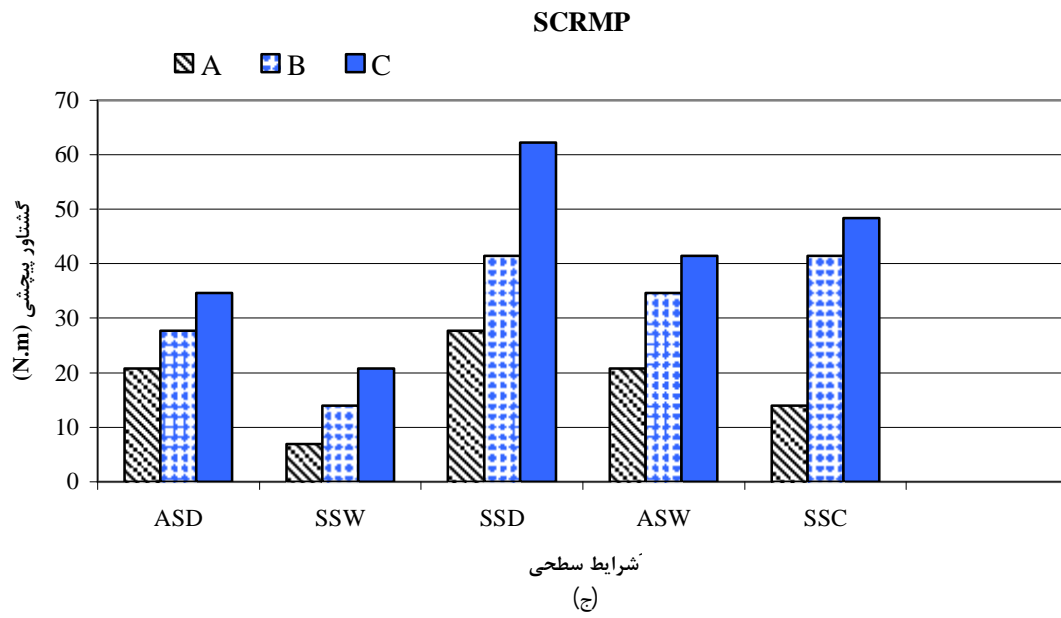




شکل (2) - نمودارهای (الف) مقاومت فشاری، (ب) مقاومت کششی، (ج) مقاومت خمشی، (د) مقاومت پیوستگی

نتایج مقاومت پیوستگی بر روی نمونه ها از روش انتقال اصطکاک در سن 28 روز در شکل (2) آورده شده است::





شکل (3) - نمودارهای ملات (الف) SCRMP، (ب) ملات SCRMP2، (ج) ملات SCRMP، (د) ملات NM

## نتیجه گیری:

- 1- استفاده از پلی پروپیلن باعث کاهش مقاومت فشاری و خمشی در ملات های تعمیر می گردد.
- 2- بررسی نتایج مقاومت کششی نشان می دهد که با افزایش مقاومت کششی مقاومت پیوستگی زیاد می شود. بنا بر این یکی از مهمترین شاخص های انتخاب ملات تعمیر، داشتن مقاومت کششی بالا می باشد.
- 3- بررسی نتایج مقاومت فشاری نشان می دهد که در سنین اولیه ارتباط مستقیمی بسن مقاومت فشاری و پیوستگی وجود دارد که البته در سنین بالاتر ملات این موضوع کمتر مشهود است.
- 3- تمام ملات ها در حالت عمل آوری گونی با نایلون بهترین نتایج مقاومت پیوستگی را داشته اند. تقریباً در تمام موارد عمل آوری در هوای آزاد لایه تعمیر با مقاومت بسیار پایین از سطح مشترک دو لایه جدا شد.
- 4- نتایج به خوبی بیانگر اهمیت شرایط سطحی در محل تعمیر می باشد. بیشترین مقاومت پیوستگی مربوط به شرایط سطحی ASW و SSD می باشد. در حالت اشباع با سطح خشک به علت این که بتن پایه آب ملات تعمیر را جذب نمی کند و خشک بودن سطح باعث بهم خوردن نسبت آب به سیمان ملات تعمیر نمی گردد به عنوان بهترین حالت سطحی شناخته شد.
- 5- کمترین مقاومت پیوستگی مربوط به شرایط سطحی ASD و SSW می باشد. علت پایین بودن مقاومت پیوستگی در حالت اشباع با سطح خیس رامی توان بالا رفتن نسبت آب به سیمان را در مرز لایه تعمیر دانست که البته بیشترین آمار مربوط به گسیختگی مربوط به همین حالت می شود.
- 7- در شرایط سطحی مربوط به اشباع با خمیره سیمان به عنوان لایه چسباننده در کوتاه مدت باعث تقلیل در مقاومت پیوستگی شد، زیرا احتمال دارد که تنش های ناشی از جمعشدهی در اوایل سن ملات تعمیر سبب جدا شدن ملات از بتن پایه می شود.
- 8- استفاده از پلی پروپیلن باعث افزایش مقاومت پیوستگی در سنین اولیه ملات گردید که این موضوع را می توان به کاهش مقدار جمعشدهی در سنین اولیه مربوط دانست.
- 9- در بین تمام ملات ها، ملات SCRMI بیشترین نتایج مقاومت پیوستگی را دارا می باشد.
- 10- از روش انتقال اصطکاک می توان برای تعیین چسبندگی بین لایه های تعمیر و بتن پایه استفاده نمود. با عنایت به برشی بودن طبیعت این اندازه گیریها و اینکه اغلب در کارهای اجرائی، تنشهای برشی حاصل از انبساط و انقباض عامل شکست چسبندگی مذکور می باشد، این نتایج می تواند در انتخاب بهینه بتن خود متراکم برای مصرف در تعمیر سازه های بتنی، مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع:

- [1] American Concrete Insitute, "Durabiliuty of concrete", Publication SP-47 , (1975)
- [2] Courard L, Darimont A, Willem X, Geers C, Degeimbre R. Repairing concrete with self compacting concrete: testing methodology assessment. In: Proceeding of the first North American conference on the design of self comopacting concrete. 2002. p. 267-64
- [3] Khayat KH, Morin R. Performance of self compacting concrete used to repair parapet wall in montreal. In: Proceeding of the north American conference on the design and of self compacting. 2002. p 475-81
- [4] Okamura H, Ozawa K. Mix design for self compacting concrete. Concr Liber JSCE 19 of self comopacting concrete and use 95;25:107-20
- [5] Khayat KH. Workability, testing and performance of self compacting concrete. ACI Mater 1999;96(3):346-53
- [6] Naderi, M., Cleland, D. j. and Long, A. E., " In situ test method for repaired concrete structures", Proc. International Symposium on Adhesion between polymers and concrete, Aix-en-Provence, France,

Pp 707-718.,(1986)

[7] Cleland, D.J., Naderi, M. & Long, A.E., " In situ of repair mortars for concrete structures".

Proceedings of Research Seminar, Cement and concrete Association, pp 315-317., (1987)

[8] Everaldo Bonaldo, Joaquim A.O. Barros, Paulo B. Lourenco, "Bond characterization between concrete substrate and repairing SFRC using pull-off testing", International Journal of Adhesion and Adhesives 25., 463-474., (2005)

[9] نادری، محمود، ایده و روش "انتقال اصطکاک" اداره ثبت مالکیت های صنعتی جمهوری اسلامی ایران، ثبت اختراع به شماره 23936 تهران.

[10] EFNARC, specification and guidelines for self-compacting concrete. European Federation for specialist construction chemical and concrete system, Nolfork, UK, Englishn ed., February 2002