

Studying the Effect of Shrinkage on the Bond Strength of Mortars, Applied to Substrate Concrete, Using “Friction-Transfer” and “Pull-Off” Methods

Mahmood Naderi^{1*}, Ali Saberi Varzaneh²

1- Professor, Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, International Imam Khomeini University, Qazvin, Iran

2- PhD Student in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, International Imam Khomeini University, Qazvin, Iran

ABSTRACT

Considering the differences that exist between the laboratory and site conditions, the in-situ estimation of bond strength of repair mortars is important. Therefore, in this paper, the results obtained from the use of two methods, “Friction-transfer” and “Pull-off”, for measuring the shear and tensile bond strength of repair mortars applied to substrate concrete, are presented. Since the drying shrinkage of the repair mortar has considerable effect on their adhesion, the shrinkage of the mortars is considered. In order to increase the accuracy of the measured bond strength of the repair mortars, substrate concrete with saw cut surface was employed to minimize the interferences occurring between the pure adhesion and the mechanical keying effects of the rough surfaces. The age of the substrate concrete at the time of the application of repair mortar was 90 days and after curing under different conditions, the repair/concrete bond strength was measured at different ages. For measuring the shrinkages of the repair mortars, nine standard shrinkage samples were prepared and their shrinkages were measured. Regarding the effect of the curing process on the drying shrinkage of the repair mortars, two different curing systems of “covering with wet hessian and polythene sheet” and “stored in the laboratory”, for 7 and 90 days were considered. The results tend to show that, the amount of the aggregates and the associated cement paste have substantial effects the shrinkage of the repair mortars. It was also seen that the shrinkage causes reduction on the shear and tensile bond strength at the repair/concrete interface. Furthermore, the reduction of the shear bond strength seemed to be slightly more than the corresponding reduction of the tensile bond strength. A very high correlation was also observed between the related shear and tensile bond strength of the repair mortars.

ARTICLE INFO

Receive Date: 06 July 2019

Revise Date: 09 October 2019

Accept Date: 15 October 2019

Keywords:

Concrete;
Repair mortar;
Shrinkage;
Bond strength;
Friction-Transfer;
Pull-off.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.192946.1896

*Corresponding author: Mahmood Naderi

Email address: profmahmoodnaderi@eng.ikiu.ac.ir

بررسی تاثیر جمع‌شدگی بر چسبندگی ملات‌های اعمالی بر بتن بستر، با به کارگیری روش‌های "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"

محمود نادری^{۱*}، علی صابری ورزنده^۲

۱- استاد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

چکیده

با توجه به تفاوت‌های موجود بین شرایط محیطی سازه‌های بتنی با شرایط آزمایشگاهی، تعیین پارامترهای مهم مصالح در محل سازه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل، در این مقاله نتایج حاصل از کاربرد دو روش درجای "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم" جهت تعیین مقاومت برشی و کششی چسبندگی بین ملات‌های تعمیراتی و بستر بتنی ارائه گردیده است. از آنجا که جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن ملات‌های تعمیراتی می‌تواند تاثیر بسزائی در مقاومت چسبندگی این ملات‌ها داشته باشد، در تحقیقات انجام شده، این پدیده بطور خاص مورد توجه واقع شده است. جهت بررسی دقیق‌تر مقاومت چسبندگی ملات‌های به کار گرفته شده، از بستر بتنی با سطح صاف (برش خورده) استفاده گردیده تا تداخل بین چسبندگی و قفل و بست مکانیکی حاصل از خلل و فرج سطحی به حد اقل برسد. سن بستر بتنی در زمان اعمال لایه تعمیراتی، ۹۰ روزه بوده و پس از اعمال لایه تعمیراتی و عمل‌آوری مورد نظر، در سنین مختلف مقاومت برشی و کششی چسبندگی ملات‌های تعمیراتی با به کارگیری روش‌های ذکر شده در بالا، اندازه‌گیری گردید. جهت تخمین میزان جمع‌شدگی ملات‌ها، ۹ نمونه با ابعاد استاندارد تهیه و در بازه زمانی ۹۰ روزه، جمع‌شدگی آن‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین با توجه به تاثیر عمل‌آوری بر خشک‌شدگی لایه تعمیراتی (جمع‌شدگی)، عمل‌آوری‌های با "پوشش گونی خیس و نایلون" برای مدت ۷ و ۹۰ روز و "رها شده در محیط آزمایشگاه" بعد از مدت ۷ روز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد که مقدار سنگدانه و خمیره سیمان در جمع‌شدگی ملات تعمیراتی موثر بوده و جمع‌شدگی باعث کاهش شدید مقاومت برشی و کششی چسبندگی بین لایه تعمیراتی و بتن بستر می‌گردد. به علاوه مشاهده گردید که افت مقاومت برشی چسبندگی، کمی بیشتر از افت مقاومت کششی چسبندگی می‌باشد. همچنین بین نتایج روش "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"، همبستگی بالایی مشاهده گردید.

کلمات کلیدی: بتن، ملات تعمیراتی، جمع‌شدگی، مقاومت چسبندگی، "انتقال اصطکاک"، "کشش مستقیم"

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/JSCE.2019.192946.1896	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.192946.1896	۱۴۰۰/۰۵/۳۰	۱۳۹۸/۰۷/۲۳	۱۳۹۸/۰۷/۲۳	۱۳۹۸/۰۷/۱۷	۱۳۹۸/۰۴/۱۵
محمود نادری					*نویسنده مسئول:	
Profm Mahmoodnaderi@eng.ikiu.ac.ir					پست الکترونیکی:	

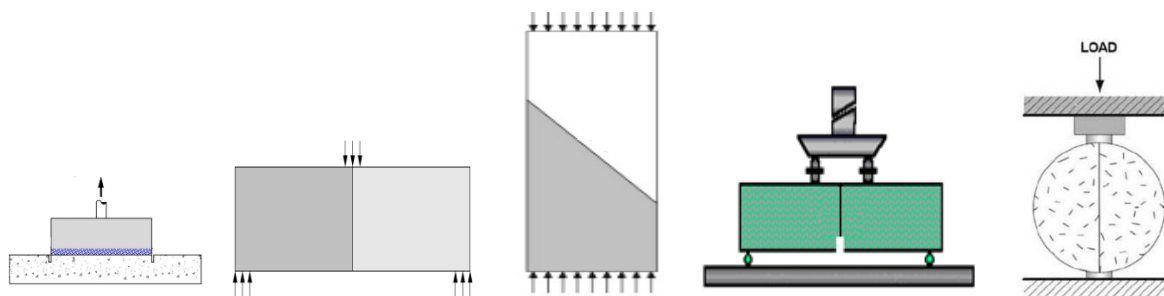
۱- مقدمه

پدیده جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن، در ملات تعمیری، تغییرات حجمی قابل توجهی به وجود می‌آورد که در صورت حجیم بودن قطعات بتنی تعمیری، این تغییرات تاثیر گذار می‌باشند. اگر بتن سخت شده‌ای دچار خشک شدگی شود، آب ژل خمیره سیمان کاهش پیدا کرده و در نتیجه بتن دچار جمع‌شدگی می‌شود که به جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن معروف است. برای مقاطع کوچک می‌توان فرض کرد که پنجاه درصد این جمع‌شدگی در یک سال اول اتفاق می‌افتد [۱]. میزان جمع‌شدگی را می‌توان با استفاده از روش‌های استاندارد مانند استاندارد ملی ایران [۲ و ۳] و استانداردهای ASTM [۴ و ۵] به دست آورد. جمع‌شدگی می‌تواند اثرات مخربی در مقدار چسبندگی لایه ترمیمی به بستر بتنی داشته باشد.

چسبندگی مصالح سیمانی موضوعی است که در دهه‌های گذشته مورد توجه قرار گرفته است. بنا به تحقیقات انجام گرفته شکست‌های زودرس در سیستم‌های چند لایه بتنی عمدتاً مربوط به عدم وجود سازگاری کافی مشخصه‌های لایه‌های تعمیری و بتن بستر می‌باشد [۶]. یکی از این مشخصه‌ها جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن می‌باشد. بنا به گزارشات بعضی محققین تفاوت در مقدار جمع‌شدگی حادث بین لایه تعمیری و بتن قدیم، عامل اصلی اضمحلال چسبندگی بین این دو سیستم می‌گردد [۷]. برای اعضای بتنی که توسط اعضای مجاور محدود شده‌اند، ممکن است به دلیل جمع‌شدگی بیش از حد، ترک‌هایی نیز رخ دهد [۸]. مطالعات انجام شده، بیشتر بر تاثیر پارامترهای مختلف در مقاومت چسبندگی سطوح مشترک بتن بستر و لایه تعمیری مانند سختی سطح بستر، استفاده از عامل چسبندگی بر پایه اپوکسی و مقاومت فشاری لایه تعمیری متمرکز بوده است [۹ و ۱۰]. مقاومت فشاری لایه تعمیری به صورت مستقیم با چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر بتنی در ارتباط است به گونه‌ای که افزایش مقاومت فشاری ملات تعمیری از ۷۰ تا ۱۱۴ مگاپاسکال باعث افزایش مقاومت چسبندگی از ۷/۲ تا ۱۸ مگاپاسکال شده است [۱۱]. برای کاهش تاثیر جمع‌شدگی بر لایه تعمیری، حالت بهینه عمل‌آوری، استفاده از پوشش مرطوب به مدت یک هفته می‌باشد [۱۲]. سطح بستر تاثیر زیادی بر روی چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر بتنی دارد در صورتی که سطح بستر در معرض ماسه پاشی ۱ واقع گردد چسبندگی بین بستر بتنی و لایه تعمیری می‌تواند تا ۱۴/۵ درصد افزایش یابد [۱۳].

روش‌های متفاوتی جهت تعیین چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر بتنی وجود دارد. حالت تنش وارده به سطح مشترک بین بستر و لایه تعمیری می‌تواند به صورت تنش‌های برشی، تنش‌های کششی و یا ترکیبی از تنش‌های برشی و فشاری باشد. یکی از روش‌های تعیین چسبندگی، آزمون دو نیم شدن^۲ می‌باشد [۱۴]. در این آزمون دو نیروی فشاری موازی سطح مشترک اعمال می‌گردد و چسبندگی بین سطوح تعیین می‌گردد (شکل ۱- الف). روش دیگر، استفاده از یک نمونه متقارن می‌باشد که نصف نمونه، لایه تعمیری و نصف دیگر، بتن می‌باشد. [۱۵]. در این آزمایش یک شکاف در میانه دهانه و به اندازه یک سوم ارتفاع مقطع وجود دارد و برای بارگذاری از دو بار نقطه-ای در فاصله یک پنجم دهانه استفاده می‌شود (شکل ۱- ب). آزمون برش مایل^۳ [۱۶]، روش دیگری می‌باشد که سطح مشترک بین لایه تعمیری و بتن بستر تحت ترکیبی از تنش‌های برشی و فشاری قرار می‌گیرد (شکل ۱- ج). در روش تیر مرکب [۱۷] از یک نیروی متمرکز فشاری در میانه دهانه استفاده می‌شود. در این روش، نصف نمونه با لایه تعمیری و نصف نمونه با بتن بستر ساخته شده است (شکل ۱- د). در استاندارد ASTM C1583 [۱۸] روش درجای "کشش مستقیم"^۴ معرفی شده است. در این آزمون، مقاومت کششی چسبندگی لایه تعمیری بر بستر بتنی اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱- ی). ضرورت آگاهی از مقدار چسبندگی بین لایه تعمیری و بتن قدیم، ایجاب می‌نماید تا روشی مناسب برای اندازه‌گیری دقیق و درجای آن انتخاب گردد. تفاوت‌های بسیار زیادی بین شرایط محیطی واقعی با شرایط محدود آزمایشگاهی وجود دارد که می‌تواند تاثیر بسزایی در نتایج به وجود آورد. از جمله آزمون‌های درجا و با خرابی جزئی می‌توان از آزمون "انتقال اصطکاک" [۱۹] نام برد. مزایای استفاده از این روش، کاربرد سریع آن برای تعیین چسبندگی بین لایه تعمیری و بتن بستر می‌باشد که با استفاده از اندازه‌گیری برش خالص بین سطوح به دست می‌آید.

1- Sandblast
2- Splitting Test
3- Slant-Shear Test
4- Pull-off Test



شکل ۱: روش‌های مختلف جهت تعیین چسبندگی بین بتن بستر و لایه تعمیر

از عمده نوآوری‌های این تحقیق، مقایسه تاثیر جمع‌شدگی بر نتایج به دست آمده از روش‌های "کشش مستقیم" و "انتقال اصطکاک" برای تعیین مقاومت چسبندگی کششی و برشی بین لایه تعمیر و بتن بستر می‌باشد.

۲- کارهای آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

سیمان به کار گرفته شده از نوع تیپ ۲ محصول کارخانه سیمان آبیگ قزوین می‌باشد که چگالی آن طبق استاندارد ASTM C188-95 [۲۰] برابر ۳۰۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. در جدول ۱ مشخصات شیمیایی سیمان تیپ ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات شیمیایی سیمان تیپ ۲

مشخصات شیمیایی	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	MgO	LOI	C ₃ A
وزن (درصد)	۳/۸۴	۲۱/۰۵	۴/۸۱	۶۲/۴۴	۰/۷۴	۰/۲۶	۱/۹۹	۲/۲۰	۱/۸۹	۶/۲۵

دانه بندی ماسه مصرفی طبق استاندارد ASTM C136-01 [۲۱] تعیین گردیده و ضریب نرمی برابر ۳/۸۴ می‌باشد. چگالی ماسه مطابق با استاندارد ASTM C128-15 [۲۲] برابر ۲۵۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. چسب مورد استفاده از نوع رزین‌های اپوکسی دو جزئی با نسبت ترکیب حجمی یک به یک است. مشخصات مکانیکی چسب در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲: مشخصات مکانیکی چسب رزین اپوکسی

مقاومت فشاری	مقاومت فشاری ۷ روزه	مدول الاستیسیته	زمان گیرش		زمان عمل‌آوری	
			۳۵°C	۲۵°C	۳۵°C	۲۵°C
۱۵ مگاپاسکال	۷۰ مگاپاسکال	۱۲۷۵۰ مگاپاسکال	۴ ساعت	۱۰ ساعت	۴۵ دقیقه	۹۰ دقیقه

ملات ماسه سیمان به کار رفته، مخلوطی از سیمان و ماسه و آب به نسبت‌های مختلف است که از یک به دو تا یک به شش متغیر می‌باشد [۲۳ و ۲۴]. در این مقاله برای دست یافتن به جمع‌شدگی‌های متفاوت به جهت بررسی تاثیر آن بر چسبندگی بین لایه‌های تعمیر و بستر از سه نوع ملات پایه سیمان استفاده شده است. مقدار وزنی سیمان، ماسه و آب در ملات‌های تعمیر برای ۰/۵ : ۲ : ۱، ۰/۴ : ۲ : ۱ و ۰/۵ : ۲ : ۱ می‌باشد. برای بتن بستر از طرح اختلاط با استفاده از روش گام به گام طرح مخلوط ملی بتن [۲۵] با انتخاب حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلی‌متر استفاده شد (جدول ۳). مقاومت فشاری استوانه‌ای بتن بستر برابر ۵۵ مگاپاسکال به دست آمده است.

جدول ۳: طرح اختلاط بتن بستر (کیلوگرم بر متر مکعب)

سیمان	آب	شن	ماسه	فوق روان کننده	میکرو سیلیس
۵۴۰	۱۹۲/۰۹۹	۹۲۹/۱۳۶	۸۰۷/۹	۳/۲۳۲	۳۲/۳۲۱

مشخصات فوق روان کننده استفاده شده در ساخت بتن بستر در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: مشخصات فوق روان کننده استفاده شده در ساخت بتن بستر

مقدار PH	وزن مخصوص	رنگ	نوع ماده
۵	۱/۱۱ کیلوگرم بر لیتر	قهوه‌ای روشن	پلی کربکسیلات

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- اندازه‌گیری جمع‌شدگی

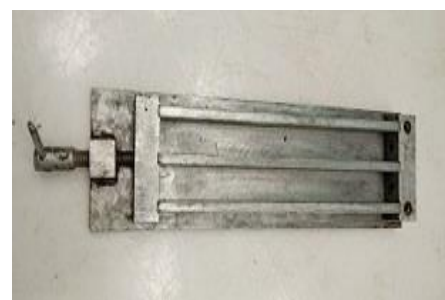
قالب‌های مورد استفاده در تعیین جمع‌شدگی ملات باید منشوری، با ارتفاع ۲۸۵ میلی‌متر، مقطع مربعی ۲۵ میلی‌متر و دارای طول اندازه‌گیر ۲۵۰ میلی‌متر باشد. مقایسه کننده طول، برای تعیین تغییر طول نمونه‌ها باید به شکلی طراحی شده باشد که نمونه بتواند داخل آن جای بگیرد و تماس کامل و مناسبی با گلمیخ‌های آزمون داشته باشد. با توجه به استفاده از سه نوع ملات پایه سیمانی در این مقاله اقدام به ساخت ۹ آزمون جهت اندازه‌گیری جمع‌شدگی ملات‌ها گردید. در شکل ۲ تجهیزات مورد نیاز در آزمایش تعیین جمع‌شدگی قابل مشاهده است.



ج) کمپراتور جمع‌شدگی



ب) میله مرجع و نمونه استاندارد



الف) قالب اندازه‌گیری جمع‌شدگی

شکل ۲: تجهیزات مورد نیاز در آزمایش جمع‌شدگی

برای محاسبه درصد جمع‌شدگی ملات از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

$$L = \frac{L_x - L_i}{G} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، L تغییر طول نمونه، L_x قرائت نمونه منهای قرائت میله مرجع، L_i قرائت اولیه نمونه منهای قرائت میله مرجع و G برابر طول میله مرجع می‌باشد.

برای تعیین مقدار جمع‌شدگی، نمونه‌ها به مدت هفت روز عمل‌آوری شده و سپس در فضای آزاد قرار داده شدند. در استاندارد ASTM C596 [۲۶] که مربوط به جمع‌شدگی ملات‌ها می‌باشد، نمودار درصد جمع‌شدگی یک نمونه ملات حاوی ماسه استاندارد، در سنین مختلف ارائه شده است. در این نوشتار نیز برای مقایسه نتایج جمع‌شدگی با حالت استاندارد، از ASTM C596 استفاده شده است. جمع‌شدگی نمونه‌ها در سنین ۳، ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه با دستگاه کمپراتور (با دقت ۰/۰۰۲ میلی‌متر) تعیین گردید.

۲-۲-۲- روش "انتقال اصطکاک"

از آزمون "انتقال اصطکاک" می‌توان برای تعیین چسبندگی و مقاومت آزمایشگاهی و درجای مواد و مصالح مصرفی در صنعت راه و ساختمان و سازه، با هدف کنترل کیفیت و مطالعات پژوهشی و تحقیقاتی استفاده نمود. برای اندازه‌گیری مقدار چسبندگی موجود بین لایه‌های تعمیراتی اعمال شده به سطوح بتنی با روش "انتقال اصطکاک"، ابتدا باید با به کارگیری مته الماسه، یک مغزه جزئی در سطح لایه تعمیراتی به گونه‌ای ایجاد گردد که عمق آن حدود پنج میلی‌متر به درون بستر بتنی ادامه یابد. پس از تعبیه مغزه جزئی، دستگاه فلزی "انتقال اصطکاک" بر روی مغزه جزئی مذکور قرار داده شده و با استفاده از پیچ‌های کناری دستگاه، بر روی مغزه جزئی تثبیت می‌شود (شکل ۳-الف). سپس با به کارگیری یک پیچش سنج دستی معمولی، به دستگاه فلزی منتقل کننده اصطکاک به مغزه جزئی، لنگر پیچشی وارد می‌گردد (شکل ۳-ب) تا مغزه جزئی دچار شکست گردد (شکل ۳-ج). با توجه به لنگر پیچشی نهائی، با استفاده از رابطه بین تنش برشی و لنگر پیچشی، مقدار چسبندگی لایه تعمیراتی را با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌نماییم.

$$T = \frac{\tau j}{r} \quad (2)$$

که در آن، J ممان قطبی دوم سطح، r قطر مغزه، T لنگر پیچشی و τ تنش برشی می‌باشد.



ج) جدا شدن لایه تعمیراتی از بستر



ب) اعمال لنگر پیچشی



الف) تثبیت دستگاه "انتقال اصطکاک" بر روی مغزه جزئی

شکل ۳: انجام آزمون "انتقال اصطکاک"

۲-۲-۳- روش "کشش مستقیم"

همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، در این روش ابتدا مغزه‌ای جزئی به قطر پنج سانتی‌متر تا داخل لایه بتن بستر انجام می‌گیرد (شکل ۴-الف). سپس یک استوانه فلزی به قطر پنج سانتی‌متر بر روی مغزه جزئی چسبانده شده و با استفاده از دستگاه "کشش مستقیم" کشیده می‌شود تا دچار شکست گردد (شکل ۴-ب). برای محاسبه‌ی تنش کششی ایجاد شده در سطح تماس بین لایه تعمیراتی و بتن بستر (σ)، مطابق رابطه (۳) می‌بایست نیروی کششی (P) به دست آمده از دستگاه را بر مساحت تماس (A) تقسیم نمود.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$



ب) اعمال نیروی کششی



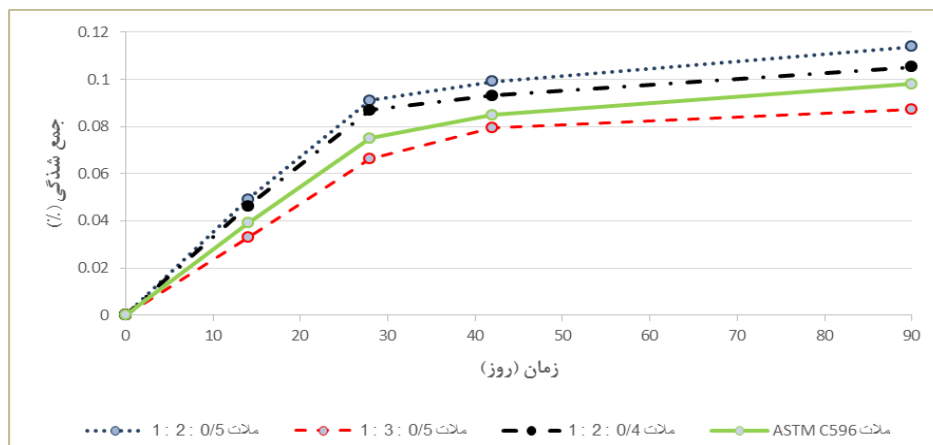
الف) ایجاد مغزه جزئی

شکل ۴: انجام آزمون "کشش مستقیم"

۳- نتایج و تحلیل آنها

۳-۱- جمع‌شدگی

نتایج حاصل از انجام مراحل تعیین جمع‌شدگی ملات‌های تعمیری در شکل ۵ نشان داده شده است. هر نقطه در روی منحنی مربوط به شکل ۵، میانگین سه قرائت می باشد.



شکل ۵: نمودار درصد جمع‌شدگی ملات‌های تعمیری در بازه‌های زمانی مختلف

همانگونه که در شکل ۵ قابل مشاهده است، افزایش میزان سنگدانه نسبت به خمیره سیمان باعث کاهش جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدگی گردیده است، به گونه‌ای که ملات ۰/۵ : ۳ : ۱، دارای جمع‌شدگی ۹۰ روزه برابر ۰/۰۸۷۲۳ درصد می‌باشد در حالیکه جمع‌شدگی متناظر ملات‌های ۰/۵ : ۲ : ۱ و ۰/۴ : ۲ : ۱، برابر ۰/۱۱۳۸۹ و ۰/۱۰۵۳۱ درصد می‌باشد. یعنی در ملات حاوی سنگدانه بیشتر، جمع‌شدگی ۲۰/۴ درصد کاهش داشته است. دلیل این امر آنست که سنگدانه‌ها معمولاً دچار خشک‌شدگی نمی‌شوند. همچنین خمیره سیمان موجود در مخلوط با از دست دادن رطوبت موجود، دچار خشک‌شدگی می‌گردد و لذا ملات‌های دارای خمیره سیمان بیشتر، دارای جمع‌شدگی نهایی بیشتری هستند. همچنین از نمودارهای شکل ۵ مشاهده می‌شود که در سنین کمتر، جمع‌شدگی با سرعت بیشتری رخ داده و با گذشت زمان، سرعت آن کمتر می‌شود. علت این پدیده، وجود رطوبت بیشتر در سنین کمتر، و در نتیجه خشک‌شدگی بیشتر می‌باشد. در یک بازه زمانی ۹۰ روزه، مشاهده می‌شود که در ۲۸ روز ابتدایی، حدود ۷۸ درصد جمع‌شدگی کل رخ داده است. در ملات‌های با نسبت ماسه به سیمان برابر ۲، ملاتی که نسبت آب به سیمان بیشتری دارد، دارای جمع‌شدگی بیشتری می‌باشد زیرا آب باعث افزایش حجم خمیره سیمان شده و همین علت، سبب افزایش جمع‌شدگی می‌گردد.

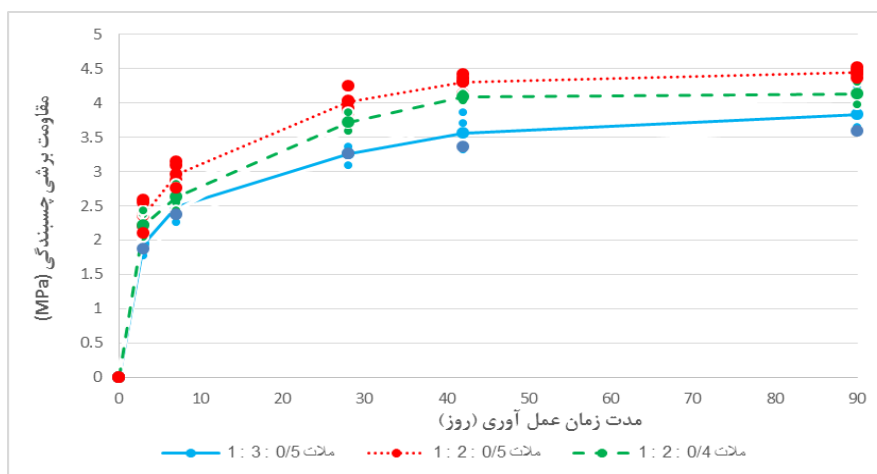
در سال ۲۰۱۷، "زنگی لی" با تحقیقی بر روی تاثیر مقدار ماسه بر جمع‌شدگی ملات [۲۷]، نشان داد که افزایش مقدار ماسه در ملات، باعث کاهش مقدار جمع‌شدگی بر اثر خشک‌شدگی می‌گردد. در این تحقیق جمع‌شدگی ۱۴۷ روزه ملات‌های حاوی ماسه به میزان ۰، ۷۰۷، ۱۲۵۹ و ۱۴۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب به ترتیب برابر ۰/۲۰۲، ۰/۱۰۷، ۰/۰۶۸ و ۰/۰۵۶ درصد بوده است. در این مقاله نیز ملات حاوی سنگدانه بیشتر (ملات ۰/۵ : ۳ : ۱) دارای جمع‌شدگی ۹۰ روزه برابر ۰/۰۸۷ درصد می‌باشد که به مقدار ۲۰/۴ درصد کمتر از جمع‌شدگی ملات‌های حاوی سنگدانه کمتر (ملات‌های ۰/۵ : ۲ : ۱ و ۰/۴ : ۲ : ۱) می‌باشد.

۳-۲- مقاومت برشی چسبندگی به دست آمده از روش "انتقال اصطکاک"

در شکل ۶ تغییرات مقاومت برشی چسبندگی بین بتن بستر و ملات‌های تعمیری در سنین مختلف قابل مشاهده است.

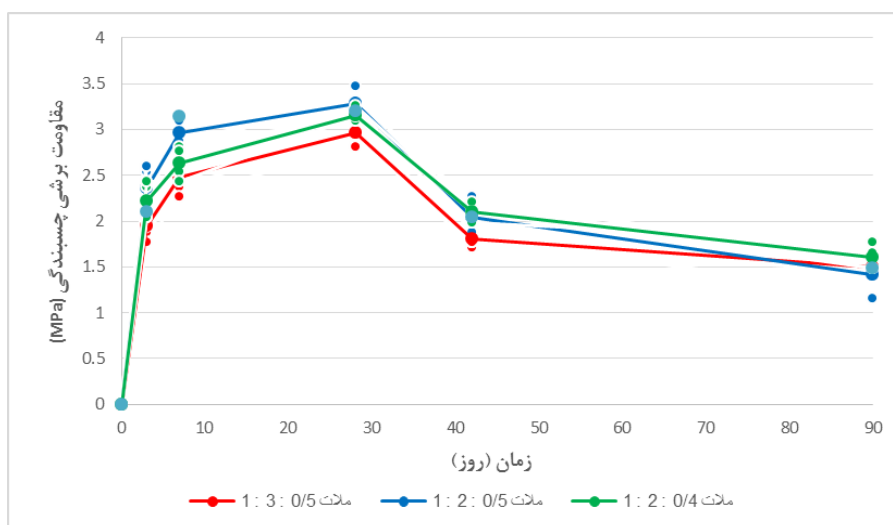
از شکل ۶ مشاهده می‌شود که با گذشت زمان، مقاومت برشی چسبندگی بین لایه‌های تعمیری و بتن بستر افزایش یافته است. مقدار مقاومت برشی چسبندگی ۹۰ روزه برای ملات ۰/۵ : ۳ : ۱، برابر ۳/۸۳۵ مگاپاسکال می‌باشد. این مقدار برای ملات‌های ۰/۵ : ۲ : ۱ و

۰/۴ : ۲ : ۱، برابر ۴/۴۴۲ و ۴/۱۳۸ مگاپاسکال می‌باشد. ملاحظه می‌شود ملات‌های دارای خمیره سیمان بیشتر، حدود ۰/۵ مگاپاسکال مقاومت برشی چسبندگی بالاتری دارند. مطابق شکل ۶ مقدار چسبندگی ۴۲ روزه برای ملات‌های ۰/۵ : ۳ : ۱، ۰/۵ : ۲ : ۱ و ۰/۴ : ۲ : ۱ به ترتیب برابر ۳/۵۵۹، ۴/۳۰۴ و ۴/۰۹۶ مگاپاسکال است. در این بازه زمانی ۴۲ روزه، ملات ۰/۵ : ۳ : ۱ که دارای کمترین مقدار خمیره سیمان است، ۰/۶۴ مگاپاسکال مقاومت برشی چسبندگی کمتری نیز دارد. پس از گذشت ۲۸ روز، مقدار مقاومت برشی چسبندگی برای ملات‌های ۰/۵ : ۳ : ۱، ۰/۵ : ۲ : ۱ و ۰/۴ : ۲ : ۱ به ترتیب برابر ۳/۲۵۵، ۴/۰۱۴ و ۴/۷۲۴ می‌باشد. همچنین از شکل ۶ مشاهده می‌شود که در این بازه زمانی نیز، ملات با سنگدانه بیشتر و خمیره سیمان کمتر، دارای کمترین مقدار مقاومت برشی چسبندگی است. تغییرات افزایش مقاومت برشی چسبندگی در روزهای ابتدایی دارای سرعت بیشتری می‌باشد اما با گذشت زمان، نرخ این افزایش، کاهش یافته است. در بازه زمانی ۹۰ روزه، مشاهده می‌شود که در ۲۸ روز ابتدایی به طور میانگین، ۸۵ درصد مقاومت برشی چسبندگی بین لایه‌های تعمیر و بتن بستر به دست آمده است. ملات با خمیره زیادتر و سنگدانه کمتر، دارای مقاومت برشی چسبندگی ۳ روزه ۲/۳۵۸ مگاپاسکال می‌باشد اما ملات با خمیره سیمان کمتر و سنگدانه بیشتر دارای مقاومت برشی چسبندگی ۳ روزه برابر ۱/۹۴۵ می‌باشد. به عبارتی مقاومت برشی چسبندگی اولیه نمونه با خمیره بیشتر، ۱/۲۱ برابر بزرگتر از نمونه با خمیره کمتر است.



شکل ۶: تاثیر مدت زمان عمل آوری بر مقاومت برشی چسبندگی، حاصل از روش "انتقال اصطکاک"

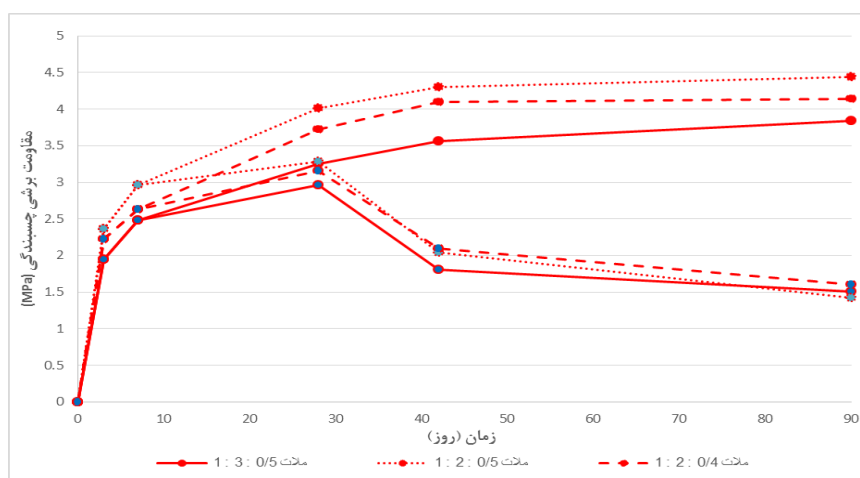
در شکل ۷ تغییرات مقدار مقاومت برشی چسبندگی بین بتن بستر و ملات تعمیری برای نمونه‌های رها شده در آزمایشگاه بعد از ۷ روز عمل آوری در سنین مختلف قابل مشاهده است.



شکل ۷: مقاومت برشی چسبندگی نمونه‌های عمل آوری ۷ روزه حاصل از روش "انتقال اصطکاک" در سنین مختلف

با توجه به شکل ۷ ملاحظه می‌شود در هفت روز ابتدایی که نمونه‌ها تحت عمل‌آوری قرار دارند، میزان مقاومت برشی چسبندگی افزایش یافته است. پس از اینکه نمونه‌ها از عمل‌آوری خارج شده‌اند، مقدار افزایش مقاومت برشی چسبندگی با نرخ بسیار کمتری تا ۲۸ روز ادامه یافته است اما با گذشت زمان، میزان مقاومت برشی چسبندگی کاهش پیدا نموده است که علت این موضوع، به مقدار جمع‌شدگی ملات‌های تعمیری ارتباط دارد. مطابق شکل ۷ ملات ۱ : ۳ : ۰/۵ که دارای سنگدانه بیشتری است، دارای مقاومت برشی چسبندگی ۷ روزه برابر ۲/۴۸۳ مگاپاسکال و ۹۰ روزه برابر ۱/۵۰۳ مگاپاسکال می‌باشد. مشاهده می‌شود جمع‌شدگی در این ملات باعث کاهش مقاومت برشی چسبندگی به میزان ۴۰ درصد گردیده است. ملات ۱ : ۲ : ۰/۵ که حاوی خمیره سیمان بیشتری است، دارای مقاومت برشی چسبندگی ۷ روزه برابر ۲/۹۶۵ مگاپاسکال و ۹۰ روزه برابر ۱/۴۲۰ مگاپاسکال می‌باشد. جمع‌شدگی در این ملات باعث کاهش مقاومت برشی چسبندگی به میزان ۵۲ درصد گردیده است. ملات ۱ : ۲ : ۰/۴، دارای مقاومت برشی چسبندگی ۷ روزه برابر ۲/۶۳۴ مگاپاسکال و ۹۰ روزه برابر ۱/۶۰۰ مگاپاسکال می‌باشد. جمع‌شدگی در این ملات باعث کاهش مقاومت برشی چسبندگی به میزان ۴۰ درصد گردیده است. از شکل ۷ ملاحظه می‌گردد ملات دارای خمیره سیمان بیشتر، بالاترین مقدار کاهش در مقاومت برشی چسبندگی را داشته است زیرا در این ملات به علت وجود آب و سیمان زیاد، مقدار جمع‌شدگی بیشتر بوده و همین عامل سبب نرخ کاهش بیشتر در مقاومت برشی چسبندگی بین دو لایه شده است. ملات دارای سنگدانه بیشتر با اینکه مقاومت برشی چسبندگی ۷ روزه کمتری دارد اما نرخ کاهش مقاومت برشی چسبندگی آن در ۹۰ روز نیز کمتر است. زیرا افزایش سنگدانه باعث کاهش جمع‌شدگی ملات گردیده و همین عامل سبب کاهش نرخ افت مقاومت برشی چسبندگی بین ملات تعمیری و بتن بستر گردیده است.

برای مقایسه مقاومت برشی چسبندگی در نمونه‌های تحت عمل‌آوری ۹۰ روزه با نمونه‌های رها شده در آزمایشگاه بعد از ۷ روز، نتایج در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: مقایسه مقاومت برشی چسبندگی حاصل از روش "انتقال اصطکاک" برای نمونه‌های عمل‌آوری ۷ و ۹۰ روزه

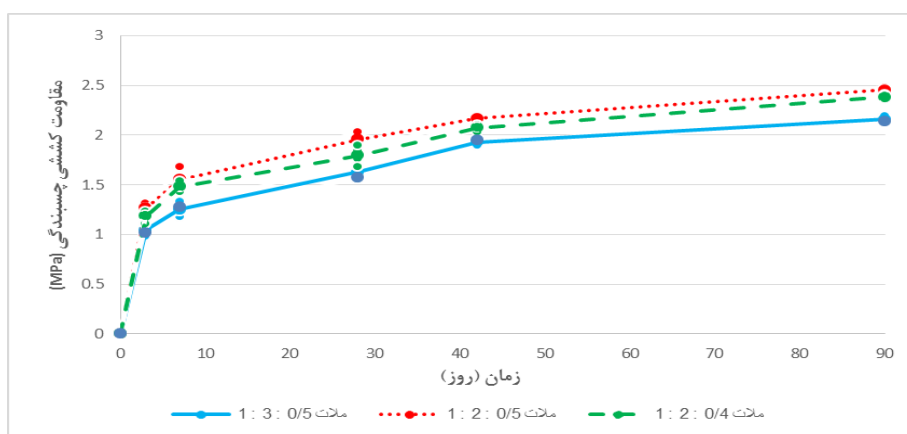
از شکل ۸ ملاحظه می‌شود جمع‌شدگی باعث کاهش شدید مقاومت برشی چسبندگی بین لایه‌های تعمیری و بتن بستر گردیده است. با مقایسه نتایج به دست آمده برای چسبندگی در سن ۹۰ روزه، مشاهده می‌شود که ملات‌های ۱ : ۳ : ۰/۵، ۱ : ۲ : ۰/۵ و ۱ : ۲ : ۰/۴ به ترتیب دچار کاهش چسبندگی ۹۰ روزه به میزان ۶۰، ۶۸ و ۶۱ درصد شده است. برای مقاومت برشی چسبندگی در سن ۴۲ روزه، مشاهده می‌شود که ملات‌های ۱ : ۳ : ۰/۵، ۱ : ۲ : ۰/۵ و ۱ : ۲ : ۰/۴ به ترتیب دچار کاهش چسبندگی ۴۲ روزه به مقدار ۴۹، ۵۳ و ۴۹ درصد شده است. برای مقاومت برشی چسبندگی در سن ۲۸ روزه، مشاهده می‌شود که ملات‌های ۱ : ۳ : ۰/۵، ۱ : ۲ : ۰/۵ و ۱ : ۲ : ۰/۴ به ترتیب دچار کاهش مقاومت برشی چسبندگی ۲۸ روزه به میزان ۹، ۱۸ و ۱۵ درصد شده است. نمونه با سنگدانه بیشتر، دارای کمترین میزان کاهش در مقاومت برشی چسبندگی می‌باشد در صورتی که نمونه با خمیره سیمان بیشتر، دارای بالاترین میزان کاهش مقاومت برشی چسبندگی است. با توجه به شکل ۸ به صورت متوسط، کاهش مقاومت برشی چسبندگی نمونه رها شده در آزمایشگاه بعد از ۷ روز

عمل آوری در مقایسه با نمونه تحت ۹۰ روز عمل آوری، برای ۲۸ روزه برابر ۱۵ درصد، برای ۴۲ روزه برابر ۵۰ درصد و برای ۹۰ روزه برابر ۶۳ درصد می باشد.

در سال ۲۰۱۱، "نادری" بر روی تاثیر نوع عمل آوری بر روی چسبندگی بین ملات تعمیری و بتن بستر با استفاده از روش "انتقال اصطکاک" تحقیقاتی را انجام داد [۲۸]. در این تحقیقات از سه روش عمل آوری مختلف "رها شده فضای آزاد"، "گونی خیس" و "گونی خیس و نایلون" استفاده شده است. با انجام آزمون "انتقال اصطکاک" مشخص گردید عمل آوری ملات تعمیری با گونی خیس و نایلون، دارای تاثیر زیادی بر روی چسبندگی بین بستر بتنی و لایه تعمیری می باشد به گونه ای که مقاومت چسبندگی برشی برای نمونه های رها شده در فضای آزاد به طور میانگین ۷۰ درصد کاهش داشته است. در این تحقیق نیز مشاهده می شود برای ملات های استفاده شده، عدم عمل آوری باعث کاهش مقاومت چسبندگی برشی بین لایه تعمیری و بستر بتنی حدود ۶۰ تا ۶۸ درصد می گردد.

۳-۳- مقاومت کششی چسبندگی به دست آمده از روش "کشش مستقیم"

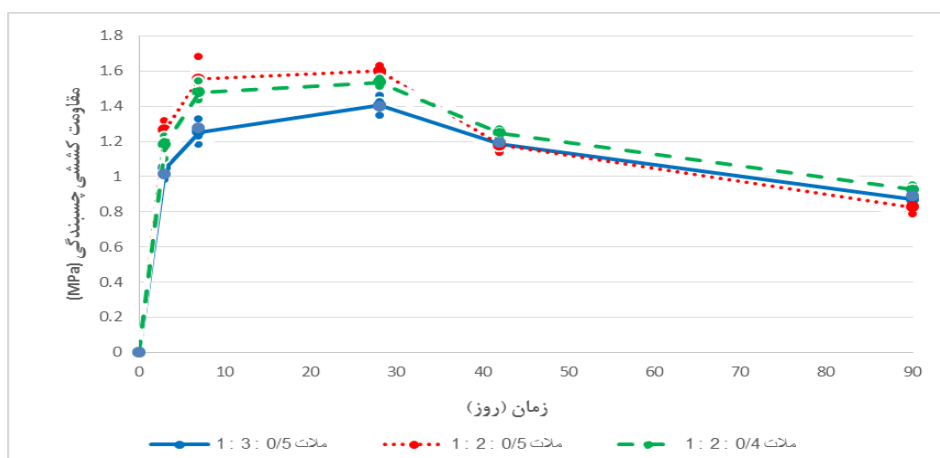
در شکل ۹ تغییرات مقاومت کششی چسبندگی بین بتن بستر و ملات تعمیری در سنین مختلف قابل مشاهده است.



شکل ۹: مقاومت کششی چسبندگی حاصل از روش "کشش مستقیم" برای نمونه های عمل آوری ۹۰ روزه

از شکل ۹ مشاهده می شود که با گذشت زمان، مقاومت کششی چسبندگی بین لایه های تعمیری و بتن بستر افزایش یافته است. مقدار مقاومت کششی چسبندگی ۹۰ روزه برای ملات ۱:۳:۰/۵، برابر ۲/۱۵۸ مگاپاسکال می باشد. این مقدار برای ملات های ۱:۲:۰/۵ و ۱:۲:۰/۴ برابر ۲/۴۵۲ و ۲/۳۸۳ مگاپاسکال می باشد. ملاحظه می شود ملات های دارای خمیره سیمان بیشتر، حدود ۰/۲۶ مگاپاسکال مقاومت کششی چسبندگی بالاتری دارند. مقدار چسبندگی ۴۲ روزه برای ملات های ۱:۳:۰/۵، ۱:۲:۰/۵ و ۱:۲:۰/۴ به ترتیب برابر ۲/۴۵۲، ۲/۰۷۳ و ۲/۰۷۳ مگاپاسکال است. در این بازه ۴۲ روزه، ملات ۱:۳:۰/۵ که دارای کمترین مقدار خمیره سیمان است، ۰/۳۴ مگاپاسکال مقاومت برشی چسبندگی کمتری نیز دارد. پس از گذشت ۲۸ روز، مقدار مقاومت برشی چسبندگی برای ملات های ۱:۳:۰/۵، ۱:۲:۰/۵ و ۱:۲:۰/۴ به ترتیب برابر ۱/۶۲۹، ۱/۹۵۶ و ۱/۷۹۳ می باشد. مشاهده می شود که در این بازه زمانی نیز، ملات با سنگدانه بیشتر و خمیره سیمان کمتر، دارای کمترین مقدار مقاومت برشی چسبندگی است. مطابق شکل ۹ تغییرات افزایش مقاومت کششی چسبندگی در روزهای ابتدایی دارای سرعت بیشتری می باشد اما با گذشت زمان، نرخ این افزایش، کاهش یافته است. در بازه ۹۰ روزه، مشاهده می شود که در ۲۸ روز ابتدایی به طور میانگین، ۸۸ درصد مقاومت کششی چسبندگی بین لایه های تعمیری و بتن بستر به دست آمده است. ملات با خمیره سیمان زیادتر و سنگدانه کمتر، دارای مقاومت کششی چسبندگی ۳ روزه ۱/۲۶۶ مگاپاسکال می باشد اما ملات با خمیره سیمان کمتر و سنگدانه بیشتر دارای مقاومت کششی چسبندگی ۳ روزه برابر ۱/۰۴۷ می باشد. به عبارتی مقاومت کششی چسبندگی اولیه نمونه با خمیره بیشتر، ۱/۲۱ برابر بیشتر از نمونه با خمیره کمتر است.

در شکل ۱۰ تغییرات مقدار مقاومت کششی چسبندگی بین بتن بستر و ملات تعمیری برای نمونه‌های رها شده در آزمایشگاه پس از ۷ روز عمل‌آوری قابل مشاهده است.

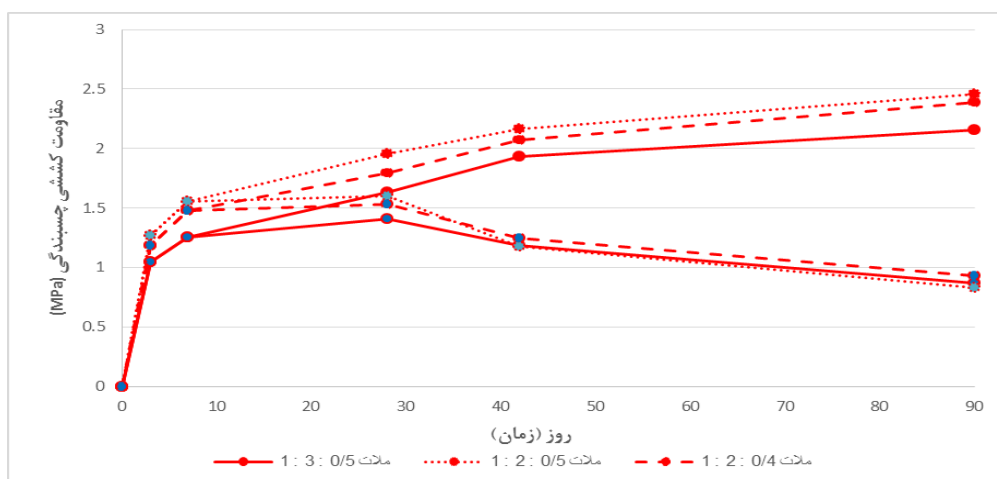


شکل ۱۰: مقاومت کششی چسبندگی حاصل از روش "کشش مستقیم" برای نمونه‌های عمل‌آوری ۷ روزه

از شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود در ۷ روز ابتدایی که نمونه‌ها تحت عمل‌آوری قرار دارند، میزان مقاومت کششی چسبندگی افزایش یافته است. پس از اینکه نمونه‌ها از عمل‌آوری خارج شده‌اند، نرخ افزایش مقاومت کششی چسبندگی با نرخ بسیار کمتری تا ۲۸ روز ادامه یافته است اما با گذشت زمان، میزان مقاومت کششی چسبندگی کاهش پیدا نموده است که علت این موضوع، به مقدار جمع‌شدگی ملات‌های تعمیری ارتباط دارد. مطابق شکل ۱۰ ملات ۱ : ۳ : ۰/۵ که دارای با سنگدانه بیشتری است، دارای مقاومت کششی چسبندگی ۷ روزه برابر ۱/۲۵۳ مگاپاسکال و ۹۰ روزه برابر ۰/۸۷۱ مگاپاسکال می‌باشد. مشاهده می‌شود جمع‌شدگی در این ملات باعث کاهش مقاومت کششی چسبندگی به میزان ۳۱ درصد گردیده است. ملات ۱ : ۲ : ۰/۵ که حاوی خمیره سیمان بیشتری است، دارای مقاومت کششی چسبندگی ۷ روزه برابر ۱/۵۵۴ مگاپاسکال و ۹۰ روزه برابر ۰/۸۲۷ مگاپاسکال می‌باشد. مشاهده می‌شود جمع‌شدگی در این ملات باعث کاهش مقاومت کششی چسبندگی به میزان ۴۷ درصد گردیده است. ملات ۱ : ۲ : ۰/۴ ، دارای مقاومت کششی چسبندگی ۷ روزه برابر ۱/۴۸۰ مگاپاسکال و ۹۰ روزه برابر ۰/۹۲۷ مگاپاسکال می‌باشد. جمع‌شدگی در این ملات باعث کاهش مقاومت کششی چسبندگی به میزان ۳۷ درصد گردیده است. ملاحظه می‌گردد ملات دارای خمیره سیمان بیشتر، بالاترین مقدار کاهش در مقاومت کششی چسبندگی را داشته است زیرا در این ملات به علت وجود آب و سیمان زیاد، مقدار جمع‌شدگی بیشتر بوده و همین عامل سبب نرخ کاهش بیشتر در مقاومت کششی چسبندگی بین دو لایه شده است.

برای مقایسه مقاومت کششی چسبندگی در نمونه‌های تحت عمل‌آوری ۹۰ روزه با نمونه‌های رها شده در آزمایشگاه بعد از ۷ روز، نتایج در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

از شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود جمع‌شدگی باعث کاهش شدید مقاومت کششی چسبندگی بین لایه‌های تعمیری و بتن بستر گردیده است. با مقایسه نتایج به دست آمده برای مقاومت کششی چسبندگی در سن ۹۰ روزه، مشاهده می‌شود که ملات‌های ۱ : ۳ : ۰/۵، ۱ : ۲ : ۰/۵ و ۱ : ۲ : ۰/۴ به ترتیب دچار کاهش مقاومت کششی چسبندگی ۹۰ روزه به میزان ۵۹، ۶۶ و ۶۲ درصد شده است. برای چسبندگی در سن ۴۲ روزه، ملات‌های ۱ : ۳ : ۰/۵، ۱ : ۲ : ۰/۵ و ۱ : ۲ : ۰/۴ به ترتیب دچار کاهش مقاومت کششی چسبندگی ۴۲ روزه به میزان ۳۹، ۴۶ و ۴۰ درصد شده است. برای مقاومت کششی چسبندگی در سن ۲۸ روزه، ملات‌های ۱ : ۳ : ۰/۵، ۱ : ۲ : ۰/۵ و ۱ : ۲ : ۰/۴ : ۱ به ترتیب دچار کاهش مقاومت کششی چسبندگی ۲۸ روزه به میزان ۱۳، ۱۸ و ۱۴ درصد شده است. مشاهده می‌شود که نمونه با سنگدانه بیشتر، دارای کمترین میزان کاهش در مقاومت کششی چسبندگی می‌باشد در صورتی که نمونه با خمیره سیمان بیشتر، دارای بالاترین میزان کاهش مقاومت کششی چسبندگی است. به‌طور متوسط، کاهش مقاومت کششی چسبندگی نمونه عمل‌آوری شده‌ی ۷ روزه در مقایسه با نمونه تحت ۹۰ روز عمل‌آوری، برای بازه‌های زمانی ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۱۶، ۴۲ و ۶۲ درصد می‌باشد.



شکل ۱۱: مقایسه مقاومت کششی چسبندگی حاصل از روش "کشش مستقیم" برای نمونه‌های عمل‌آوری شده‌ی ۷ و ۹۰ روزه

در سال ۲۰۰۸، "نادری" با استفاده از دستگاه "کشش مستقیم" مقدار مقاومت چسبندگی کششی بین لایه تعمیر و بستر بتنی را در شرایط مختلف عمل‌آوری ارزیابی نمود [۲۹]. این نتایج نشان داد که عمل‌آوری تاثیر زیادی بر چسبندگی بین بتن بستر و ملات تعمیر داشته به طوری که مقاومت چسبندگی کششی ملات تعمیری بدون عمل‌آوری، به طور میانگین حدود ۷۴ درصد کمتر از مقاومت چسبندگی کششی ملات با عمل‌آوری مطلوب می‌باشد. در تحقیقات حاضر نیز مشاهده می‌شود که برای ملات‌های مطالعه شده، عدم عمل‌آوری باعث کاهش مقاومت چسبندگی کششی بین لایه تعمیر و بستر بتنی حدود ۶۰ تا ۶۶ درصد گردیده است.

۳-۴- مقایسه نتایج حاصل از روش‌های "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"

روش "انتقال اصطکاک" به صورت مستقیم مقاومت برشی چسبندگی بین سطوح را به ما نشان می‌دهد. روش "کشش مستقیم" نیز مقاومت کششی چسبندگی بین سطوح را می‌دهد. با توجه به اینکه در این مقاله از هر دو روش برای تعیین میزان چسبندگی بین لایه‌های تعمیر و بتن بستر استفاده شده است لذا نتایج حاصل از این دو روش را با هم مقایسه می‌نماییم. در جدول ۵ نسبت نتایج به دست آمده از روش "انتقال اصطکاک" با روش "کشش مستقیم" برای نمونه‌های عمل‌آوری ۹۰ روزه در سنین مختلف قابل مشاهده است.

جدول ۵: نسبت نتایج حاصل از روش "انتقال اصطکاک" به نتایج حاصل از روش "کشش مستقیم"، برای نمونه‌های عمل‌آوری ۹۰ روزه

طرح اختلاط ملات (آب : ماسه : سیمان)	روزه ۳			روزه ۷			روزه ۲۸		
	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$
۱ : ۳ : ۰/۵	۱/۰۴۷۷	۱/۹۴۵۱	۱/۸۵۶	۱/۲۵۳۳	۲/۴۸۳۱	۱/۹۸۱۱	۱/۶۲۹۱	۳/۲۵۵۶	۱/۹۹۸۴
۱ : ۲ : ۰/۵	۱/۲۶۶۶	۲/۳۵۸۹	۱/۸۶۲	۱/۵۵۴۵	۲/۹۶۵۹	۱/۹۰۸۰	۱/۹۵۶۹	۴/۰۱۴۴	۲/۰۵۱۳
۱ : ۲ : ۰/۴	۱/۱۸۳۰	۲/۲۲۱۰	۱/۸۷۷	۱/۴۸۰۷	۲/۶۳۴۹	۱/۷۷۹۴	۱/۷۹۳۷	۳/۷۲۴۷	۲/۰۷۶۵

ادامه جدول ۵: نسبت نتایج حاصل از روش "انتقال اصطکاک" به نتایج حاصل از روش "کشش مستقیم" برای نمونه‌های عمل‌آوری ۹۰ روزه

طرح اختلاط ملات (آب : ماسه : سیمان)	روزه ۴۲			روزه ۹۰		
	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$
۱ : ۳ : ۰/۵	۱/۹۲۸۷	۳/۵۵۹۱	۱/۸۴۵۳	۲/۱۵۷۸	۳/۸۳۵۰	۱/۷۷۶۵
۱ : ۲ : ۰/۵	۲/۱۶۶۱	۴/۳۰۴۱	۱/۹۸۶۹	۲/۴۵۲۹	۴/۴۴۲۰	۱/۸۱۰۹
۱ : ۲ : ۰/۴	۲/۰۷۳۹	۴/۰۶۹۶	۱/۹۶۲۲	۲/۳۸۳۶	۴/۱۳۸۵	۱/۷۳۶۲

طبق جدول ۵ به طور میانگین نسبت مقاومت برشی چسبندگی به دست آمده از روش "انتقال اصطکاک" به مقاومت کششی چسبندگی به دست آمده از روش "کشش مستقیم" برابر ۱/۹ می‌شود. در جدول ۶ نتایج به دست آمده از هر دو روش برای نمونه‌های عمل‌آوری ۷ روزه با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۶: نسبت نتایج حاصل از روش "انتقال اصطکاک" به نتایج حاصل از روش "کشش مستقیم" برای نمونه‌های عمل‌آوری ۷ روزه

طرح اختلاط ملات (آب : ماسه : سیمان)	روزه ۳			روزه ۷			روزه ۲۸		
	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$
۱ : ۳ : ۰/۵	۱/۰۴۷۷	۱/۹۴۵۱	۱/۸۵۶۴	۱/۲۵۳۳	۲/۴۸۳۱	۱/۹۸۱۱	۱/۴۰۵۹	۲/۹۶۵۹	۲/۱۰۹۶
۱ : ۲ : ۰/۵	۱/۲۶۶	۲/۳۵۸۹	۱/۸۶۲۴	۱/۵۵۴۵	۲/۹۶۵۹	۱/۹۰۸۰	۱/۵۹۹۱	۳/۲۸۳۲	۲/۰۵۰۳
۱ : ۲ : ۰/۴	۱/۱۸۳۰	۲/۲۲۱۰	۱/۸۷۷۳	۱/۴۸۰۷	۲/۶۳۴۹	۱/۷۷۹۴	۱/۵۳۵۰	۳/۱۵۹۱	۲/۰۵۸۰

ادامه جدول ۶: نسبت نتایج حاصل از روش "انتقال اصطکاک" به نتایج حاصل از روش "کشش مستقیم" برای نمونه‌های عمل‌آوری ۷ روزه

طرح اختلاط ملات (آب : ماسه : سیمان)	روزه ۴۲			روزه ۹۰		
	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$	σ	τ	$\frac{\tau}{\sigma}$
۱ : ۳ : ۰/۵	۱/۱۸۷۵	۱/۸۰۷۱	۱/۵۲۱۷	۰/۸۷۱۱	۱/۵۰۳۶	۱/۷۲۶۰
۱ : ۲ : ۰/۵	۱/۱۷۹۶	۲/۰۴۱۷	۱/۷۳۰۷	۰/۸۲۷۱	۱/۴۲۰۹	۱/۷۱۷۹
۱ : ۲ : ۰/۴	۱/۲۴۸۶	۲/۰۹۶۸	۱/۶۷۹۳	۰/۹۲۷۳	۱/۶۰۰۲	۱/۷۲۵۷

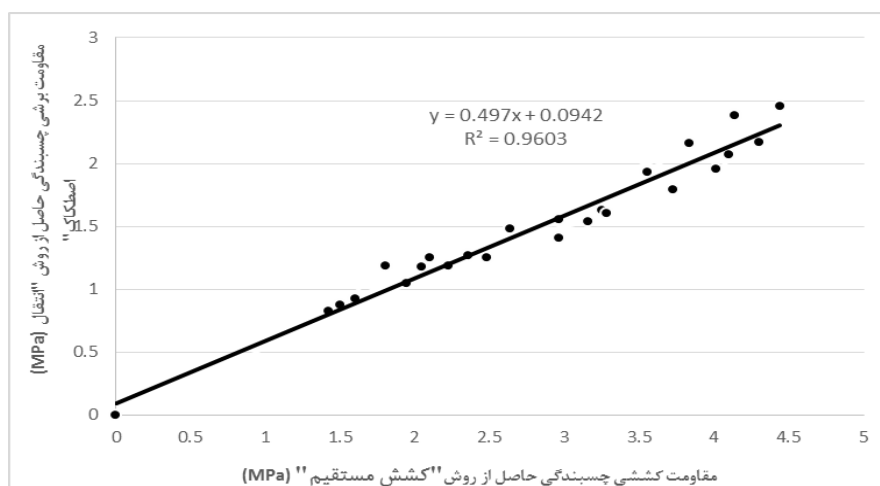
طبق جدول ۶ به طور میانگین نسبت مقاومت برشی چسبندگی به دست آمده از روش "انتقال اصطکاک" به مقاومت کششی چسبندگی به دست آمده از روش "کشش مستقیم" برابر ۱/۸۵ می‌شود. در کل مقدار مقاومت برشی چسبندگی بین سطوح مشترک در نمونه‌های این مقاله ۱/۹ برابر مقاومت کششی چسبندگی بین آن‌ها است. همچنین با توجه به اینکه جمع‌شدگی، تنش‌های ماندگار برشی در مرز بین ملات تعمیر و بستر بتنی ایجاد می‌نماید، تاثیر جمع‌شدگی بر مقاومت برشی چسبندگی، بیش از تاثیر جمع‌شدگی بر مقاومت کششی چسبندگی می‌باشد. در جدول ۷ مقدار افت مقاومت چسبندگی بین لایه‌های تعمیر و بتن بستر، حاصل از جمع‌شدگی، نشان داده شده است.

جدول ۷: مقدار افت در مقاومت برشی و کششی چسبندگی بین لایه‌های تعمیر و بستر بتنی

زمان	مقدار افت مقاومت برشی چسبندگی (%)	مقدار افت مقاومت کششی چسبندگی (%)
روزه ۴۲	۵۰	۴۱
روزه ۹۰	۶۴	۶۲

از جدول ۷ مشاهده می‌گردد که مقدار کاهش مقاومت برشی چسبندگی به میزان اندکی بیشتر از کاهش در مقاومت مقاومت کششی چسبندگی می‌باشد.

برای به دست آوردن ضریب همبستگی و ضریب تعیین بین مقاومت برشی و کششی چسبندگی حاصل از روش‌های "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"، تمامی نتایج در شکل ۱۲ رسم گردیده‌اند.



شکل ۱۲: مقایسه نتایج حاصل از روش "انتقال اصطکاک" به نتایج حاصل از روش "کشش مستقیم"

از شکل ۱۲ ملاحظه می‌گردد که ضریب تعیین بین نتایج حاصل از روش "انتقال اصطکاک" و روش "کشش مستقیم" برابر ۰/۹۶ می‌باشد. همچنین مقدار ضریب همبستگی بین این دو روش برابر ۰/۹۷ است. با توجه به ضریب بالای همبستگی بین نتایج به دست آمده از دو روش "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"، می‌توان به راحتی از نتایج یکی، نتایج معادل دیگری را به دست آورد. بد نیست متذکر شویم که با عنایت به سادگی و ارزانی دستگاه "انتقال اصطکاک" و موجود بودن آن در بازار می‌توان این روش را جایگزین روش "کشش مستقیم" نمود که تجهیزات آن وارداتی، با قیمت گزاف و نیاز به کالیبراسیون متداوم دارد.

در سال ۲۰۰۳، "سیلفوربراند" تحقیقی بر روی مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین ملات‌های تعمیری و بتن بستر انجام داد [۳۰]. در این تحقیق، ملات‌ها به دو صورت "شاتکریت" و "درجا" بر روی بتن بستر قرار گرفتند. نتایج آزمایشات نشان داد که مقاومت چسبندگی برشی بین لایه تعمیری و بستر بتنی به طور قابل توجهی بیشتر از مقاومت کششی چسبندگی بین آن‌ها می‌باشد. برای ملات‌هایی که به صورت درجا بر روی بتن بستر ریخته شده بودند، نسبت بین مقاومت برشی چسبندگی و مقاومت کششی چسبندگی بین ۱/۹ تا ۳/۱ متغیر به دست آمدند. برای ملات‌هایی که به صورت شاتکریت ریخته شده بودند، نسبت مقاومت برشی چسبندگی و مقاومت کششی چسبندگی بین ۲ تا ۷ می‌باشد. در این مقاله نیز نسبت مقاومت برشی چسبندگی به مقاومت کششی چسبندگی بین لایه‌های تعمیری و بستر بتنی برابر ۱/۹ به دست آمده است.

۴- نتیجه گیری

با عنایت به مطالب مندرج در بخش‌های مختلف این مقاله می‌توان نتیجه گرفت:

- ۱- با توجه به حجم بالای سنگدانه در مخلوط ملات تعمیری که حدود ۶۰ درصد آن را تشکیل می‌دهد، افزایش میزان سنگدانه در ملات تعمیری، باعث کاهش جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدگی می‌گردد.
- ۲- با گذشت زمان، سرعت جمع‌شدگی کاهش می‌یابد.
- ۳- به دلیل اینکه جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن، تنش‌های ماندگار برشی در مرز بین ملات تعمیری و بستر بتنی ایجاد می‌نماید، تاثیرش بر مقاومت برشی چسبندگی بیش از تاثیر جمع‌شدگی بر مقاومت کششی چسبندگی می‌باشد.
- ۴- عمل‌آوری تاثیر بسزائی در مقدار چسبندگی برشی و کششی ملات‌های مورد مطالعه داشته به طوری که چسبندگی ملات عمل‌آوری شده با گونی خیس و پوشش نایلونی به مدت ۹۰ روز، میانگین به میزان ۶۳ درصد نسبت به مقادیر متناظر نمونه‌های رها شده در فضای آزاد بعد از ۷ روز، بیشتر بوده است.
- ۵- مقادیر مقاومت چسبندگی برشی به دست آمده از روش "انتقال اصطکاک" حدوداً دو برابر نتایج متناظر حاصل از روش "کشش مستقیم" می‌باشد.

- ۶- با توجه به ضریب بالای همبستگی بین نتایج به دست آمده از دو روش "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"، می توان به راحتی از نتایج یکی، نتایج معادل دیگری را به دست آورد.
- ۷- با عنایت به سادگی و ارزانی دستگاه "انتقال اصطکاک" و موجود بودن آن در بازار، می توان این روش را جایگزین روش "کشش مستقیم" نمود که تجهیزات آن وارداتی با قیمت گزاف و نیاز به کالیبراسیون متداوم دارد.

مراجع

- [1] M., Naderi, "Concrete Technology", Imam Khomeini International University, Ghazvin, 2009. (in Persian)
- [2] INSO 17039, "Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete Test Method", Iranian National Standardization Organization, (2013). (in Persian)
- [3] INSO 17042, "Apparatus for Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar and Concrete", Iranian National Standardization Organization, (2013). (in Persian)
- [4] ASTM C157/C157M, "Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete", American Society for Testing and Materials, (2014).
- [5] ASTM C490/C490M, "Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Vhange of Hardened Cement Paste, Mortar and Concrete", American Society for Testing and Materials, (2011).
- [6] G.P., Tilly, J., Jacobs, "Concrete repairs: Observations on performance in service and current practice". Watford, UK, (2007).
- [7] G., Martinola, H., Sadouki, F., Wittmann, "Numerical model for minimizing the risk of damage in a repair system", J. Mater. Civ. Eng, 13 (2001) 121-129.
- [8] H., Beushausen, M., Alexander, "Localised strain and stress in bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage", Mater. Struct, 40 (2007) 189-199.
- [9] J.S., Wall, N.G., Shrive, "Factors Affecting Bond Between New and Old Concrete", Mater. J. 85 (1988) 117-125.
- [10] E. N. B. S., Julio, D., Dias. F. A. B., Branco, J. M. V., Alfaiate, "Accuracy of design code expressions for estimating longitudinal shear strength of strengthening concrete overlays", Engineering Structures, 32 (2010) 2387-2393.
- [11] P., Posi, P., Kasemsiri, S., Lertnimooolchai, P., Chindaprasirt, "Effect of fly ash fineness on compressive, flexural and shear strengths of high strength-high volume fly ash jointing mortar", International Journal, 16(54) (2019) 36-41.
- [12] H., Beushausen, N., Bester, "The influence of curing on restrained shrinkage cracking of bonded concrete overlays", Cement and concrete research, 87 (2016) 87-96.
- [13] S. A., Sabah, M., Hassan, N. M., Bunnori, M. M., Johari, "Bond strength of the interface between normal concrete substrate and GUSMRC repair material overlay", Construction and Building Materials, 216 (2019) 261-271.
- [14] F., Carneiro, A., Barcellos, "International association of testing and research laboratories for materials and structures", RILEM bull, 13(2) (1953) 99-125.
- [15] M., Kunieda, N., Kurihara, Y., Uchida, K., Rokugo, "Application of tension softening diagrams to evaluation of bond properties at concrete interfaces", Engineering fracture Mechanics, 65(2-3) (2000) 299-315.
- [16] J., Kreigh, "Arizona slant shear test: a method to determine epoxy bond strength", ACI Journal, 73(7) (1976) 372-373.
- [17] Y., Ohama, K., Demura, H., Nagao, T., Ogi, "Adhesion of polymer-modified mortars to ordinary cement mortar by different test methods", Adhesion between polymers and concrete, Springer, (1986), pp. 719-729.
- [18] ASTM C1583/C1583M, "Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)", American Society for Testing and Materials, (2013).

- [19] M., Naderi, "Friction-Transfer Test for the Assessment of in-situ Strength & Adhesion of Cementitious Materials", *Construction & Building Materials*, 19 (6) (2005) 454-459.
- [20] ASTM C188-95, "Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement", American Society for Testing and Materials, (2003).
- [21] ASTM C136-01, "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates", American Society for Testing and Materials, (2001).
- [22] ASTM 128-15, "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate", American Society for Testing and Materials, (2015).
- [23] National Building Regulations, "Building Materials Products", Iran Tosie Publishing, (2017).
- [24] H., Sadeghi, "Building Materials and Laboratory", Imam Hossein University, Fourth Edition, (2013).
- [25] BHRC No.S-479, "The national method for concrete mix design", Building and Housing Research Center, (2008).
- [26] ASTM C596, "Standard test method for drying shrinkage of mortar containing hydraulic cement", American Society for Testing and Materials, (2009).
- [27] Zh., Li. "Predicting the drying shrinkage behaviour of high strength Portland cement mortar under the combined influence of fine aggregate and steel micro fiber" *Materials and Construction*, 67 (326) (2017) 119.
- [28] M., Naderi, "Effect of different curing regime and cementitious materials on the bond strength of self compacting mortars", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5 (12) (2011) 421-528.
- [29] M., Naderi, "Adhesion of different concrete repair systems exposed to different environments", *The Journal of Adhesion*, 84 (2008) 78-104.
- [30] J., Silfwerbrand, "Shear bond strength in repaired concrete structures", *Materials and Structures*, 36 (2003) 419-424.