

مطالعه عمل آوری، جمع شدگی در چسبندگی ملات اصلاح شده پلیمری با بتن، با اعمال "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"

مقاله علمی - پژوهشی

محمود نادری^(۱)

علی صابری ورزانه^(۲)

چکیده بهبود چسبندگی بین ملات تعمیری و بستر قدیم بستگی به عواملی از جمله کاهش جمع شدگی، عمل آوری مناسب و استفاده از پلیمرهای اصلاح کننده دارد. لذا در این مقاله، مقاومت چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر بتنی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای تعیین مقاومت چسبندگی از روش های "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم" استفاده شده که به ترتیب مقاومت چسبندگی برشی و کششی را تعیین می نمایند. ملات های استفاده شده حاوی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر از نوع استایرن بوتادین رابر، نسبت به وزن سیمان هستند که نتایج با ملات ساده مقایسه شده است. سه نوع عمل آوری به کار گرفته شد و جمع شدگی ملات ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر تأثیر زیاد پلیمر بر چسبندگی و جمع شدگی ملات ها است. همچنین ضریب همبستگی بالا بین روش های "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم" مشاهده شد.

واژه های کلیدی چسبندگی، ملات تعمیری، جمع شدگی، پلیمر اصلاح کننده، انتقال اصطکاک، کشش مستقیم.

Curing and Shrinkage Effect on the PMM/Concrete Bond, Using "Friction-transfer" and "Pull-off" Methods

M. Naderi

A. Saberi Varzaneh

Abstract The adhesion between the mortar and the substrate concrete depends on a number of factors including shrinkage, curing and use of modifying polymers. The methods of "Friction-transfer" and "Pull-off" are used to determine the mortar/concrete bond strength. The mortars used contained 10%, 15% and 20% styrene butadiene polymer, (related to cement weight). The results are compared with mortar with no added polymer. Three types of curing were employed. Mortars shrinkage was also investigated. The results tend to show the high impact of the polymer on the adhesion and shrinkage of the mortar. It was also seen that, a high correlation coefficient existed between the corresponding "Friction-transfer" and "Pull-off" results.

Key Words Bond Strength, Repair Mortar, Shrinkage, Modifying polymer, Friction-Transfer, Pull-off.

* تاریخ دریافت مقاله ۹۸/۶/۳ و تاریخ پذیرش آن ۹۹/۲/۲۳ می باشد.

(۱) استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره).

(۲) نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره).

مقدمه

امروزه به‌منظور بهبود برخی خواص ملات‌های سیمانی، از پلیمرها به‌عنوان اصلاح‌کننده استفاده می‌گردد. کاربرد پلیمرها در تعمیرات سازه‌های بتنی روزبه‌روز در حال افزایش بوده و باعث پیشرفت در دنیای سیمان و بتن شده است [1]. تحقیقات فراوانی در خصوص تأثیر پلیمر بر ملات‌های سیمانی صورت پذیرفته است. بعضی از پلیمرهای اصلاح‌کننده عبارت‌اند از لاتکس استایرن بوتادین رابر (SBR)، پلی‌آکرلیک استر (PAA) و وینیل اتیلن استات (VAA). همچنین پلیمرها روی مقاومت مکانیکی و دوام مصالح سیمانی تأثیر به‌سزایی می‌گذارند [2-3]. در تحقیق دیگری که روی خواص ملات‌های اصلاح‌شده با پلیمرهای فوق انجام پذیرفته، مشخص گردید که پلیمر استایرن بوتادین رابر در مقایسه با دو نوع دیگر، عملکرد بهتری در بهبود مشخصات ملات و بتن دارد [4]. در تحقیق حاضر نیز از لاتکس استایرن بوتادین رابر استفاده شده است. یکی از خواص مهم این نوع پلیمر، بهبود چسبندگی بین ملات تعمیری و بستر بتنی است به‌گونه‌ای که ملات اصلاح‌شده با SBR دارای مقاومت چسبندگی بسیار بیشتری نسبت به ملات معمولی است [5]. همچنین لاتکس SBR باعث کاهش چگالی [6] و کاهش نفوذپذیری [7] شده اما یکی از معایب استفاده از این نوع لاتکس، افزایش حباب هوا و حفره در داخل ملات است که باعث کاهش مقاومت فشاری ملات‌ها می‌گردد [8-10].

بنا به تحقیقات انجام گرفته شکست‌های زودرس در سیستم‌های چندلایه بتنی عمدتاً مربوط به عدم وجود سازگاری کافی مشخصه‌های لایه‌های تعمیری و بتن بستر است [11]. یکی از مهم‌ترین این مشخصه‌ها، می‌توان جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن اشاره نمود. بنا به گزارش‌های بعضی محققان تفاوت در مقدار جمع‌شدگی حادث بین لایه تعمیری و بتن قدیم، عامل اصلی اضمحلال چسبندگی بین این دو سیستم است [12]. با توجه به اینکه مخلوط‌های سیمانی تمایل به جمع‌شدگی

دارند [13]، لذا خشک‌شدگی زودهنگام بتن، باعث به وجود آمدن جمع‌شدگی و ترک‌های ریز در سطح بتن می‌گردد [14]. ملات‌های اصلاح‌شده با پلیمر، علاوه بر چسبندگی بیشتر با بستر بتنی دارای جمع‌شدگی کمتری نسبت به ملات‌های معمولی نیز هستند [15] که همین موضوع باعث عدم کاهش مقاومت چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر بتنی می‌گردد.

برای اندازه‌گیری چسبندگی بین بستر بتنی و لایه تعمیری، می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده نمود. ارزیابی مقاومت چسبندگی بین لایه‌ها، بسته به حالت تنش وارده به نمونه‌ها، می‌تواند به‌صورت تنش‌های کششی، تنش‌های برشی و ترکیبی از تنش‌های فشاری و برشی باشد. در سال ۱۹۵۳، کارنیو و همکاران آزمون دو نیم شدن را مطرح نمودند. در این آزمایش، با اعمال دو نیروی فشاری متضاد در راستای موازی سطح مشترک، چسبندگی بین سطوح تعیین می‌شود [16]. در سال ۱۹۷۶، کریگ آزمون برش مایل را پیشنهاد داد که سطح مشترک در معرض ترکیبی از تنش فشاری با برشی قرار می‌گیرد [17] البته نادری در سال ۲۰۱۲ [18] به‌صورت تئوری و عملی، نتایج حاصل از آزمون‌های دارای تنش مرکب فشار و برش را غیرقابل‌اعتماد دانسته است. در سال ۱۹۸۶، اوهاما و همکاران از یک تیر مرکب استفاده نمودند که نصف نمونه با بتن بستر و نصف دیگر با ملات تعمیری ساخته شده بود. در این آزمایش از یک نیروی متمرکز در وسط دهانه استفاده می‌شود [19]. در سال ۱۹۹۵، چن و همکاران از صفحه برشی دابل استفاده نمودند [20]. در سال ۱۹۹۶، ابوتایر و همکاران یک تست خمش پیشنهاد دادند که در آن ملات تعمیری در بین دو نیمه بتن قرار دارد و نمونه با اعمال دو بار متمرکز در یک‌چهارم دهانه، آزمایش می‌شود [21]. در سال ۲۰۰۰، کانیدا و همکاران از یک نمونه متقارن دارای شکاف در وسط دهانه به اندازه یک‌سوم ارتفاع مقطع از پایین استفاده کردند. نصف نمونه، بتن و نصف دیگر ملات تعمیری است. در این آزمایش از دو بار متمرکز در

همچنین سبب کاهش مقدار جمع شدگی ملات می‌گردد. عمل‌آوری نیز از دلایل اصلی در کاهش مقدار جمع‌شدگی و افزایش چسبندگی بین لایه‌ها است. همچنین با توجه به ضریب همبستگی بالا بین نتایج حاصل از آزمون‌های "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"، می‌توان به‌جای استفاده از دستگاه گران‌قیمت و وارداتی "کشش مستقیم"، از دستگاه ساده، ارزان و داخلی "انتقال اصطکاک" جهت تعیین چسبندگی بین ملات تعمیر و بستر بتنی استفاده نمود.

کارهای آزمایشگاهی

مصالح مصرفی

سیمان مصرفی از نوع تپ ۲ و محصول کارخانه سیمان آبیک است. شن از معادن قزوین و ماسه از معادن شهریار تهیه و دانه‌بندی آنها طبق استاندارد ASTM C136-01 [31] تعیین گردید. چگالی شن و ماسه در حالت اشباع با سطح خشک به ترتیب برابر ۲۳۳۰ و ۲۵۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب و میزان جذب آب شن و ماسه به ترتیب برابر ۳/۲ و ۲/۶ درصد به‌دست‌آمده آمد [32,33]. پلیمر استفاده شده در ملات از نوع استایرن بوتادین رابر (SBR-Styrene Butadiene Rubber) به‌صورت محلول در آب، با جرم حجمی ۱/۰۱ کیلوگرم بر لیتر و با رنگ سفید شیری و چسب از نوع رزین اپوکسی و به‌صورت دوجزئی با ترکیب نسبت حجمی یک‌به‌یک استفاده گردید.

برای دستیابی به یک طرح اختلاط ثابت برای ملات و بتن بستر، در ابتدا سنگ‌دانه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آزمایشگاه خشک و سپس در مخلوط استفاده شدند. نسبت‌های مصالح به کار رفته برای طرح اختلاط بتن بستر در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول «۱»: طرح اختلاط بتن بستر (کیلوگرم بر مترمکعب)

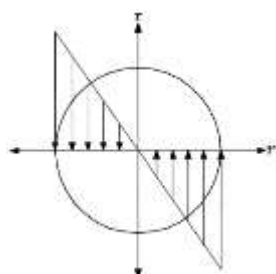
آب	ماسه	شن	سیمان	فوق روان کننده
۱۸۷	۸۳۵	۶۶۴	۵۳۴	۲/۶۱

یک‌پنجم دهانه استفاده شده است [22]. در استاندارد ASTM C1583 [23] آزمون "کشش مستقیم" معرفی شده است. در این روش، با دستگاه کششی به مغزه جزئی، نیروی کششی وارد می‌گردد تا شکست صورت پذیرد.

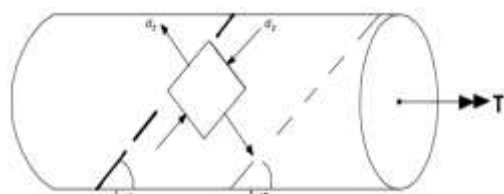
در این تحقیق از آزمون‌های "کشش مستقیم" و "انتقال اصطکاک" [24] جهت اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی برشی و کششی ملات‌های اصلاح‌شده با پلیمر SBR بر بستر بتنی استفاده می‌گردد. آزمون "انتقال اصطکاک" در سال ۲۰۰۵ توسط نادری برای تعیین مقاومت و چسبندگی مصالح سیمانی و غیر سیمانی اختراع گردید. در تحقیقات گذشته از آزمون "انتقال اصطکاک" برای ارزیابی مقاومت بتن [25]، صخره سنگ [26]، رویه آسفالتی [27] و چسبندگی ملات به بستر بتنی [28-30] استفاده شده است. از آنجاکه برای مقبولیت هر آزمون جدیدی لازم است نتایج آن آزمون با نتایج متناظر به‌دست‌آمده از آزمون‌های رایج استاندارد و شناخته‌شده مقایسه گردد، لذا در این مقاله، این مقایسه انجام و نتایج حاصله ارائه گردیده است.

برای تعیین چسبندگی، ابتدا تعداد ۲۸۸ نمونه بستر بتنی تهیه و سپس ملات تعمیر بر روی آنها اعمال شد. ملات‌های تعمیر از نوع ملات اصلاح‌شده با پلیمر استایرن بوتادین رابر است که با نسبت‌های ۰، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی سیمان در ملات استفاده شده است. ملات‌ها پس از اعمال، در عمل‌آوری‌های "غرقاب در آب"، "مواد عمل‌آورنده" و رها شده در فضای آزاد" قرار گرفتند و نتایج با یکدیگر مقایسه گردیدند. همچنین با ساخت تعداد ۳۶ نمونه منشوری، مقدار جمع‌شدگی ملات‌ها با استفاده از روش استاندارد، اندازه‌گیری شد. در انتها نیز با استفاده از تحلیلی رگرسیون خطی، رابطه بین نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم" تعیین و ضریب همبستگی به دست آمد. نتایج حاصله بیانگر تأثیر فراوان لانکس SBR روی مقاومت چسبندگی برشی و کششی ملات تعمیر با بستر بوده و

شکست در این حالت، عمود بر راستای تنش کششی ظاهر می‌شوند. در برخی نمونه‌های آزمایش شده در این تحقیق، شکست بین ملات تعمیری و بستر بتنی در سطح مشترک رخ نداد. در این نمونه‌ها، به دلیل چسبندگی بالا بین ملات تعمیری با بستر بتنی، شکست به صورت ترکیبی اتفاق افتاد. به‌عنوان مثال در شکل (۲-ج) یک نمونه از شکست ترکیبی نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲-ج) مشاهده می‌شود که اطراف ملات تعمیری دچار شکست شده که علت آن به دلیل بالا بودن تنش برشی در تارهای دور از مرکز است.



(الف) تنش حداکثر



(ب) زاویه شکست



(ج) شکست در سطح مشترک + ملات تعمیری

شکل «۲»: تئوری آزمون "انتقال اصطکاک"

روش "کشش مستقیم"

برای انجام آزمون "کشش مستقیم" از استاندارد ASTM C1583 [23] استفاده گردیده است. در این آزمون، ابتدا

نحوه انجام آزمایش‌های

روش "انتقال اصطکاک"

آزمون "انتقال اصطکاک" در سال ۲۰۰۵ به منظور اندازه‌گیری چسبندگی و مقاومت درجای مصالح سیمانی و غیر سیمانی، توسط نادری اختراع گردید [24]. در روش "انتقال اصطکاک"، ابتدا می‌بایست مغزه‌ای جزئی در سطح لایه تعمیری به گونه‌ای ایجاد نمود که عمق مغزه جزئی حدود پنج میلی‌متر به درون بستر بتنی ادامه یابد. پس از تعبیه مغزه جزئی، دستگاه فلزی "انتقال اصطکاک" بر روی مغزه جزئی قرار داده شده و با استفاده از پیچ‌های کناری دستگاه، تثبیت می‌شود. سپس با به‌کارگیری یک پیچش‌سنج دستی معمولی، به دستگاه فلزی، لنگر پیچشی وارد می‌گردد تا مغزه جزئی دچار شکست گردد. (شکل ۱).



شکل «۱»: انجام آزمون "انتقال اصطکاک"

در روش "انتقال اصطکاک"، مغزه‌ای که دچار شکست می‌گردد به صورت یک استوانه با سطح مقطع دایره است. لذا مطابق شکل (۲-الف) با اعمال لنگر پیچشی به مغزه استوانه‌ای، بیشترین تنش برشی روی محیط دایره که بیشترین فاصله از مرکز را دارد رخ می‌دهد. در این حالت مقدار حداکثر تنش برشی ایجاد شده تحت اثر پیچش از رابطه (۱) قابل تعیین است:

$$\tau_{E-\max} = \frac{T r}{J}, J = \frac{\pi r^4}{2} \rightarrow \tau_{E-\max} = \frac{2T}{\pi r^3} \quad (1)$$

که در آن r شعاع مغزه و J ممان قطبی دوم سطح است. با استفاده از دایره موه‌ر، نتیجه می‌گردد که تنش‌های اصلی فشاری و کششی، با افق زاویه ۴۵ درجه می‌سازند. با توجه به اینکه مواد ترد مانند ملات دارای شکست کششی هستند لذا همانند شکل (۲-ب) صفحات

جدول «۲»: جمع شدگی ملات‌های عمل‌آوری شده در آب

نوع ملات	جمع شدگی (%)			
	۱۴ روزه	۲۸ روزه	۴۲ روزه	۹۰ روزه
SBR/۰	۰/۰۳۳۲	۰/۰۶۶۲	۰/۰۷۹۳	۰/۰۸۷۲
SBR/۱۰	۰/۰۲۲۳	۰/۰۴۴۹	۰/۰۵۱۳	۰/۰۵۶۴
SBR/۱۵	۰/۰۲۱۲	۰/۰۴۰۶	۰/۰۴۷۴	۰/۰۵۱۲
SBR/۲۰	۰/۰۱۹۲	۰/۰۳۸۴	۰/۰۴۳۸	۰/۰۴۷۶

از جدول (۲) مشاهده می‌گردد افزودن لاتکس SBR به ملات تحت عمل‌آوری با آب، باعث کاهش مقدار جمع‌شدگی در سنین مختلف شده است. به‌عنوان مثال افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد لاتکس باعث کاهش مقدار جمع‌شدگی ملات تعمیری در سن ۹۰ روز به ترتیب برابر ۳/۳۵، ۲/۴۱ و ۴/۴۵ درصد گردیده است. همچنین افزایش درصد پلیمر، باعث کاهش بیشتر در جمع‌شدگی شده به‌گونه‌ای که جمع‌شدگی ۹۰ روزه برای ملات‌های حاوی ۲۰ درصد SBR، نسبت به ملات‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد SBR به ترتیب به مقدار ۱۵/۶ و ۷ درصد کمتر است.

مقاومت چسبندگی برشی حاصل از روش "انتقال اصطکاک". در شکل (۴) مقاومت چسبندگی برشی حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک"، بین ملات تعمیری عمل‌آوری شده در آب و بستر بتنی نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد بیشترین چسبندگی برای ملات حاوی ۱۵ درصد لاتکس SBR، به‌دست‌آمده به‌طوری‌که با مقایسه ملات معمولی و ملات اصلاح‌شده با پلیمر حاوی ۱۵ درصد لاتکس در سنین ۷، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه، مقاومت برشی ملات اصلاح‌شده به ترتیب ۷/۵۸، ۷/۶۴، ۸/۱۸ و ۹/۲۶۹ درصد افزایش داشته است.

استوانه فلزی روی مغزه جزئی چسبانده شده و سپس دستگاه "کشش مستقیم"، استوانه فلزی را با اعمال نیروی کششی تحت کشش قرار داده تا مغزه جزئی دچار شکست گردد. پس از شکست مغزه جزئی، با تقسیم نیروی کششی وارده بر سطح مقطع استوانه فلزی می‌توان مقاومت چسبندگی کششی بین ملات تعمیری و بستر بتنی را تعیین نمود (شکل ۳).



شکل «۳»: روش "کشش مستقیم"

روش تعیین جمع‌شدگی

استانداردهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری مقدار جمع‌شدگی عبارت‌اند از ASTM C157 [34] و ASTM C490 [35] و استانداردهای شماره ۱۷۰۳۹ [36] و ۱۷۰۴۲ [37] سازمان استاندارد ملی ایران. قالب‌های استاندارد با ارتفاع ۲۸۵ میلی‌متر و مقطع مربعی با ابعاد ۲۵ میلی‌متر استفاده شده است. ملات‌ها به مدت ۷ روز تحت عمل‌آوری قرار گرفته سپس در فضای آزاد رها شدند. همچنین یک سری از نمونه‌ها از ابتدا بدون هیچ‌گونه عمل‌آوری‌ای در فضای آزاد قرار گرفتند.

نتایج به‌دست‌آمده و تحلیل آنها

ملات‌های عمل‌آوری شده در آب

جمع‌شدگی. جمع‌شدگی ملات‌های تعمیری که به مدت ۷ روز تحت عمل‌آوری با آب بوده‌اند در جدول (۲) نشان داده شده است.

در صورتی که ملات اصلاح شده پلیمری حاوی ۱۵ درصد لاتکس، در سنین ۷، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه نسبت به ملات پایه سیمانی دارای چسبندگی کششی بیشتر به ترتیب به مقدار ۵۶/۷، ۷۵/۲، ۱۲۵/۷ و ۲۲۰/۳ درصد است. مقاومت چسبندگی کششی حاصل از روش "کشش مستقیم" برای ملات اصلاح شده حاوی ۱۵ درصد پلیمر نسبت به ملات‌های حاوی ۱۰ و ۲۰ درصد پلیمر در سن ۹۰ روزه به مقدار ۱۸/۵ و ۶/۳ درصد افزایش داشته است.

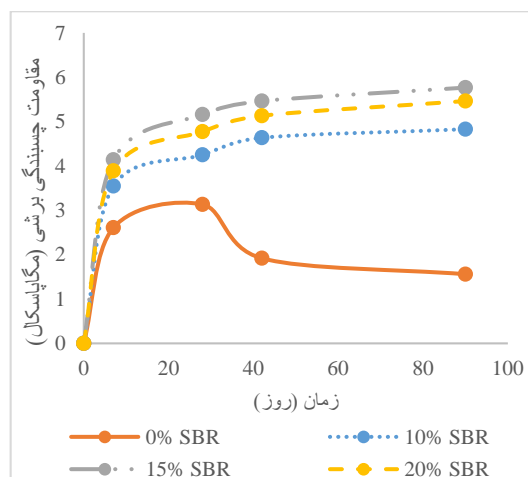
ملات‌های عمل‌آوری شده با مواد عمل‌آورنده

جمع‌شدگی. جمع‌شدگی ملات‌های تعمیراتی که به مدت ۷ روز با مواد عمل‌آورنده، تحت عمل‌آوری بوده‌اند در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول «۳»: جمع‌شدگی ملات‌های عمل‌آوری شده با مواد عمل‌آورنده

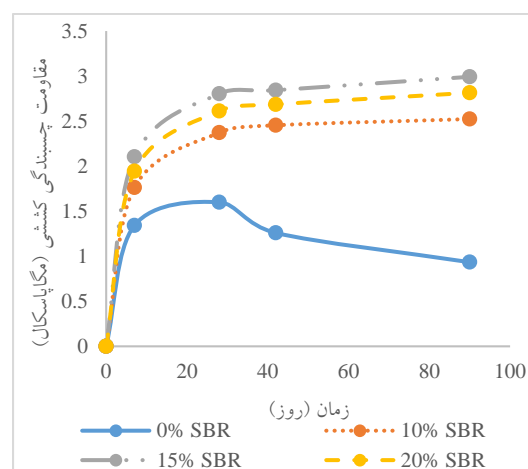
نوع ملات	جمع‌شدگی (%)			
	روزه ۱۴	روزه ۲۸	روزه ۴۲	روزه ۹۰
SBR/۰	۰/۰۴۴۲	۰/۰۹۹۸	۰/۱۰۹۱	۰/۱۱۹۵
SBR/۱۰	۰/۰۲۹۱	۰/۰۶۶۲	۰/۰۷۴۳	۰/۰۸۴۲
SBR/۱۵	۰/۰۲۷۱	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۸۰	۰/۰۷۹۵
SBR/۲۰	۰/۰۲۴۸	۰/۰۵۷۴	۰/۰۶۳۲	۰/۰۷۳۲

با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول (۳) مشاهده می‌گردد افزودن لاتکس SBR به ملات تحت عمل‌آوری با مواد عمل‌آورنده، باعث کاهش مقدار جمع‌شدگی گردیده است. به‌عنوان مثال افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد لاتکس باعث کاهش مقدار جمع‌شدگی ملات تعمیراتی در سن ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۲۹/۵، ۳۳/۴ و ۳۸/۷ درصد گردیده است. همچنین افزایش درصد پلیمر، باعث کاهش بیشتر در جمع‌شدگی شده به‌گونه‌ای که جمع‌شدگی ۹۰ روزه برای ملات‌های حاوی ۲۰ درصد SBR، نسبت به ملات‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد SBR به ترتیب به مقدار ۱۴/۱ و ۹ درصد کمتر است.



شکل «۴»: مقاومت چسبندگی برشی

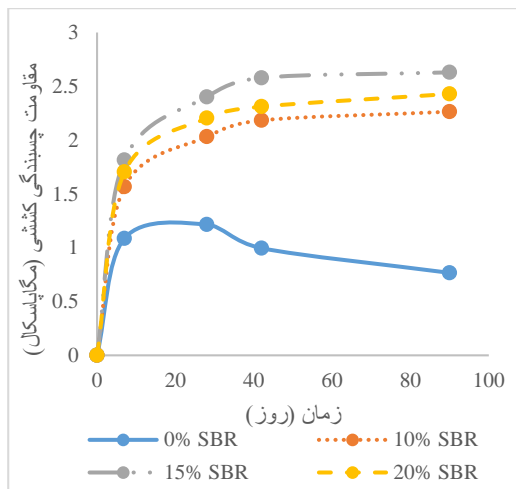
مقاومت چسبندگی کششی حاصل از روش "کشش مستقیم". در شکل (۵) مقاومت چسبندگی کششی بین ملات تعمیراتی عمل‌آوری شده در آب و بستر بتنی نشان داده شده است.



شکل «۵»: مقاومت چسبندگی کششی

همانند حالت قبل، در شکل (۵) نیز مشاهده می‌شود که افزودن پلیمر به ملات تعمیراتی باعث افزایش مقدار مقاومت چسبندگی کششی حاصل از روش "کشش مستقیم" شده است. در سنین ۷، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه، مقاومت چسبندگی کششی برای ملات پایه سیمانی برابر ۱/۳۴، ۱/۵۹، ۱/۲۵ و ۰/۹۳ مگاپاسکال به‌دست‌آمده

بستر بتنی نشان داده شده است.



شکل «۷»: مقاومت چسبندگی کششی

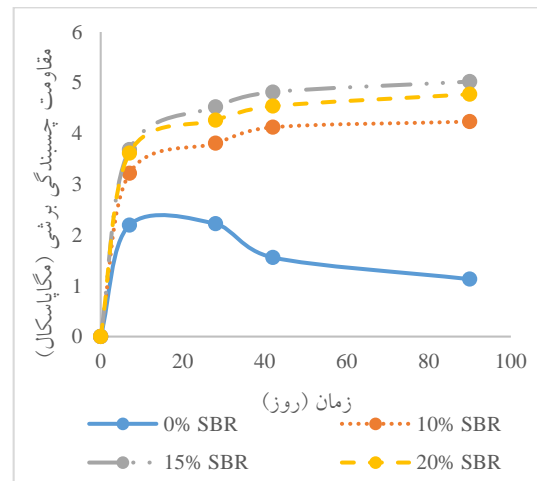
در سنین ۷، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روز، مقاومت چسبندگی کششی برای ملات پایه سیمانی برابر ۱/۰۸، ۱/۲۱، ۰/۹۹ و ۰/۷۶ مگاپاسکال به دست آمده در صورتی که ملات اصلاح شده پلیمری حاوی ۱۵ درصد لاتکس، در سنین مذکور، نسبت به ملات پایه سیمانی دارای چسبندگی کششی بیشتر به ترتیب به مقدار ۶۷/۹، ۹۷/۷، ۱۵۵ و ۲۴۳ درصد است. مقاومت چسبندگی کششی حاصل از روش "کشش مستقیم" برای ملات اصلاح شده حاوی ۱۵ درصد پلیمر نسبت به ملات‌های حاوی ۱۰ و ۲۰ درصد پلیمر در سن ۹۰ روز به مقدار ۱۶/۱ و ۸/۲ درصد افزایش داشته است.

ملات‌های رها شده در فضای آزاد

جمع‌شدگی. جمع‌شدگی ملات‌های تعمیراتی که از ابتدا در فضای آزاد رها شده‌اند در جدول (۴) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول (۴) مشاهده می‌گردد افزودن لاتکس SBR به ملات رها شده در فضای آزاد، باعث کاهش مقدار جمع‌شدگی شده

مقاومت چسبندگی برشی حاصل از روش "انتقال اصطکاک". در شکل (۶) مقاومت چسبندگی برشی بین ملات تعمیراتی عمل‌آوری شده با مواد عمل‌آورنده و بستر بتنی قابل مشاهده است.



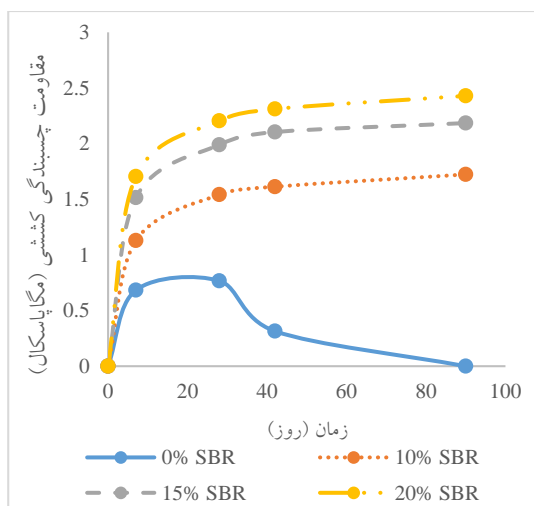
شکل «۶»: مقاومت چسبندگی برشی

از شکل (۶) ملاحظه می‌گردد که برای ملات‌های عمل‌آوری شده با مواد عمل‌آورنده، بیشترین چسبندگی برای ملات حاوی ۱۵ درصد لاتکس SBR به دست آمده به طوری که با مقایسه ملات معمولی و ملات اصلاح شده با پلیمر حاوی ۱۵ درصد لاتکس مشاهده می‌شود که در سنین ۷، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روز، مقاومت برشی ملات اصلاح شده به ترتیب ۶۷/۹، ۱۰۳/۶، ۲۰۸/۸ و ۳۴۳/۸ درصد افزایش داشته است. همچنین برای ملات‌های عمل‌آوری شده با مواد عمل‌آورنده، چسبندگی برشی برای ملات اصلاح شده حاوی ۱۵ درصد پلیمر نسبت به ملات‌های حاوی ۱۰ و ۲۰ درصد پلیمر در سن ۹۰ روز به مقدار ۱۸/۵ و ۵/۱ درصد افزایش داشته است.

مقاومت چسبندگی کششی حاصل از روش "کشش مستقیم". در شکل (۷) مقاومت چسبندگی کششی بین ملات تعمیراتی عمل‌آوری شده با مواد عمل‌آورنده و

۲۸ و ۴۲ روزه، مقاومت برشی ملات اصلاح شده به ترتیب ۱۷۷/۲، ۲۱۲/۸ و ۷۱۴/۱ درصد افزایش داشته است. همچنین برای ملات‌های رها شده در فضای آزاد، چسبندگی برشی برای ملات اصلاح شده حاوی ۱۵ درصد پلیمر نسبت به ملات‌های حاوی ۱۰ و ۲۰ درصد پلیمر در سن ۹۰ روزه به مقدار ۲۹ و ۴/۶ درصد افزایش داشته است.

مقاومت چسبندگی کششی حاصل از روش "کشش مستقیم". در شکل (۹) مقاومت چسبندگی کششی بین ملات تعمیری بدون عمل‌آوری و بستر بتنی نشان داده شده است.



شکل «۹»: مقاومت چسبندگی کششی

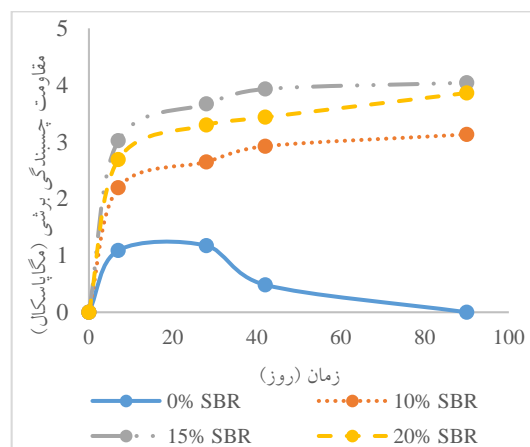
از شکل (۹) مشاهده می‌شود افزودن پلیمر به ملات تعمیری باعث افزایش مقدار مقاومت چسبندگی کششی ملات‌های رها شده در فضای آزاد شده است. در سنین ۷، ۲۸ و ۴۲ روزه، مقاومت چسبندگی کششی برای ملات پایه سیمانی برابر ۰/۶۸، ۰/۷۶ و ۰/۳۱ مگاپاسکال است در صورتی که افزودن ۱۵ درصد پلیمر در سنین ۷، ۲۸ و ۴۲ روزه نسبت به ملات پایه سیمانی دارای مقاومت چسبندگی کششی بیشتر به ترتیب به میزان ۱۲۱/۸،

است. به‌عنوان مثال افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد لاتکس باعث کاهش مقدار جمع‌شدگی ملات تعمیری در سن ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۴۰/۱، ۴۴/۵ و ۵۱/۰۳ درصد گردیده است.

جدول «۴»: جمع‌شدگی ملات‌های بدون عمل‌آوری

نوع ملات	جمع‌شدگی (%)			
	۱۴ روزه	۲۸ روزه	۴۲ روزه	۹۰ روزه
SBR/۰	۰/۱۷۲۳	۰/۱۹۹۳	۰/۲۰۸۸	۰/۲۱۹۶
SBR/۱۰	۰/۱۱۸۶	۰/۱۲۲۲	۰/۱۲۶۷	۰/۱۲۹۹
SBR/۱۵	۰/۱۰۸۷	۰/۱۱۰۰	۰/۱۱۳۸	۰/۱۲۰۴
SBR/۲۰	۰/۰۹۶۴	۰/۱۰۰۳	۰/۱۰۲۵	۰/۱۰۶۲

مقاومت چسبندگی برشی حاصل از روش "انتقال اصطکاک". در شکل (۸) مقاومت چسبندگی برشی بین ملات تعمیری بدون عمل‌آوری و بستر بتنی نشان داده شده است.



شکل «۸»: مقاومت چسبندگی برشی

از شکل (۸) ملاحظه می‌گردد که برای ملات‌های رها شده در فضای آزاد، بیشترین چسبندگی برای ملات حاوی ۱۵ درصد لاتکس SBR به دست آمده به طوری که با مقایسه ملات معمولی و ملات اصلاح شده با پلیمر حاوی ۱۵ درصد لاتکس مشاهده می‌شود که در سنین ۷،

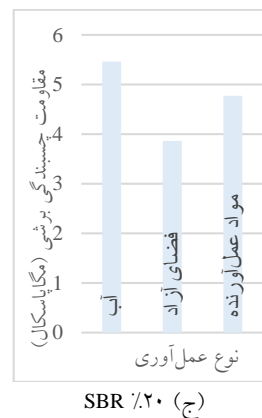
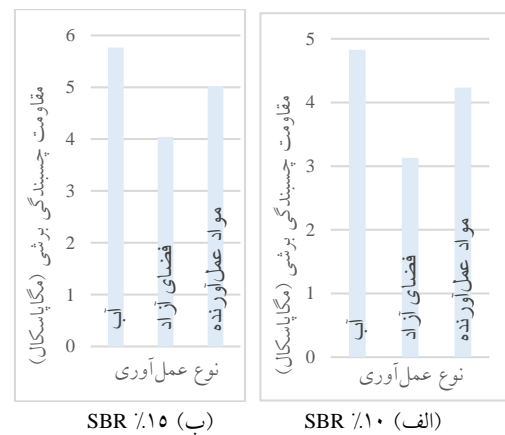
چسبندگی برشی می‌باشند و نمونه‌های بدون عمل‌آوری، کمترین مقدار مقاومت چسبندگی برشی را دارا هستند. مقاومت چسبندگی برشی ۹۰ روزه برای نمونه‌های تحت عمل‌آوری در آب، به‌دست‌آمده از روش "انتقال اصطکاک" برای ملات‌های اصلاح‌شده با پلیمر با نسبت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر به ترتیب برابر ۴/۸۲، ۵/۷۶ و ۵/۴۶ مگاپاسکال بوده که در مقایسه با مقاومت چسبندگی برشی ۹۰ روزه نمونه‌های بدون عمل‌آوری به ترتیب به مقدار ۱/۵۴، ۲/۴۱ و ۴/۱۱ درصد افزایش داشته است. در شکل (۱۱) مقاومت چسبندگی برشی ۴۲ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری‌های مختلف برای ملات‌های اصلاح‌شده پلیمری نشان داده شده است. از شکل (۱۱) مشاهده می‌گردد که نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب دارای بیشترین مقدار مقاومت چسبندگی برشی می‌باشند و نمونه‌های بدون عمل‌آوری، کمترین مقدار مقاومت چسبندگی برشی را دارا هستند.

مقاومت چسبندگی برشی ۴۲ روزه برای نمونه‌های تحت عمل‌آوری در آب، به‌دست‌آمده از روش "انتقال اصطکاک" برای ملات‌های اصلاح‌شده با پلیمر با نسبت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر به ترتیب برابر ۴/۶۳، ۵/۴۶ و ۵/۱۳ مگاپاسکال می‌باشند که در مقایسه با مقاومت چسبندگی برشی ۴۲ روزه نمونه‌های بدون عمل‌آوری به ترتیب به مقدار ۱/۵۸، ۳۸/۹ و ۴۹/۳ درصد افزایش داشته است. افزایش مقاومت چسبندگی برشی ۴۲ روزه نمونه‌های عمل‌آوری شده در مواد عمل‌آورنده، کمتر از نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب است اما در مقایسه با نمونه‌های بدون عمل‌آوری، به ترتیب در ملات‌های حاوی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر دارای افزایش ۴۱، ۲۲/۴ و ۳۲/۱ درصدی هستند.

۱۵۹/۶ و ۵۶۸/۹ درصد است. همچنین مقاومت چسبندگی کششی حاصل از روش "کشش مستقیم" برای ملات اصلاح‌شده حاوی ۱۵ درصد پلیمر نسبت به ملات‌های حاوی ۱۰ و ۲۰ درصد پلیمر در سن ۹۰ روز به مقدار ۲۶/۸ و ۷/۴ درصد افزایش داشته است.

تأثیر عمل‌آوری بر مقاومت چسبندگی

در شکل (۱۰) مقاومت چسبندگی برشی ۹۰ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری‌های مختلف برای ملات‌های اصلاح‌شده پلیمری نشان داده شده است.

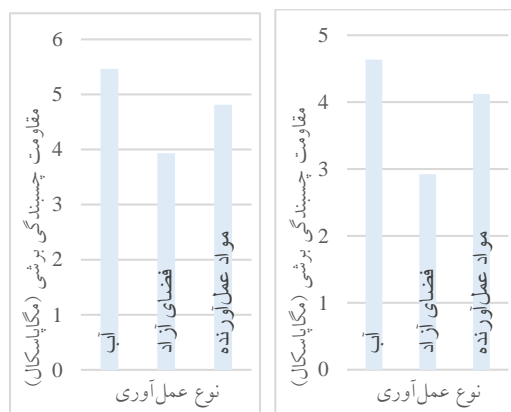


شکل «۱۰»: مقاومت چسبندگی برشی ۹۰ روزه در عمل‌آوری‌های مختلف حاصل از روش "انتقال اصطکاک"

از شکل (۱۰) مشاهده می‌گردد که نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب دارای بیشترین مقدار مقاومت

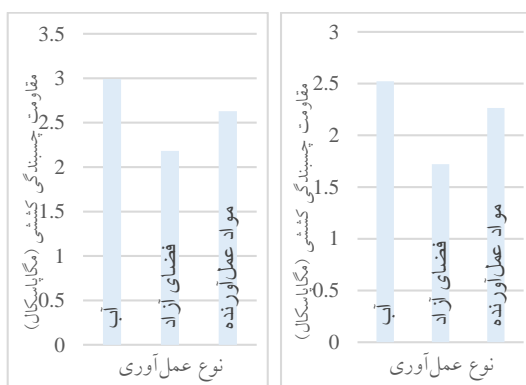
افزایش داشته است.

افزایش مقاومت چسبندگی کششی ۹۰ روزه نمونه‌های عمل‌آوری شده در مواد عمل‌آورنده، کمتر از نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب است اما در مقایسه با نمونه‌های بدون عمل‌آوری، به ترتیب در ملات‌های حاوی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر دارای افزایش ۳۱/۴، ۲۰/۴ و ۱۹/۵ درصدی می‌باشند.



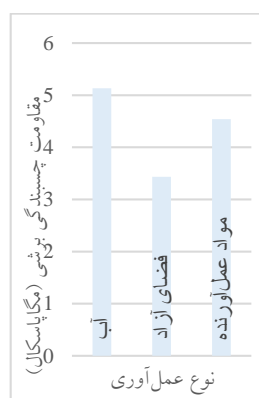
SBR %۱۵ (ب)

SBR %۱۰ (الف)



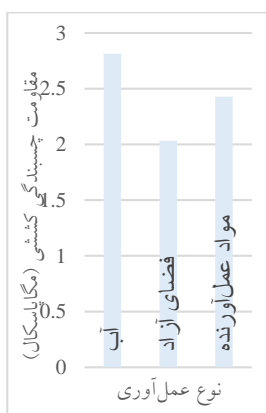
SBR %۱۵ (ب)

SBR %۱۰ (الف)



SBR %۲۰ (ج)

شکل «۱۱»: مقاومت چسبندگی برشی ۴۲ روزه در عمل‌آوری‌های مختلف حاصل از روش "انتقال اصطکاک"



SBR %۲۰ (ج)

شکل «۱۲»: مقاومت چسبندگی کششی ۹۰ روزه در عمل‌آوری‌های مختلف حاصل از روش "کشش مستقیم"

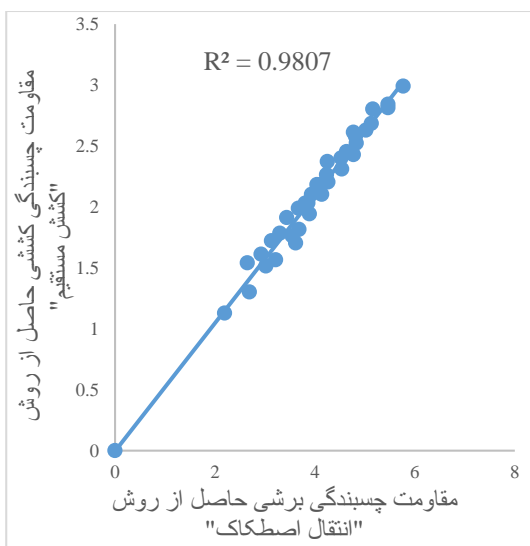
در شکل (۱۳) مقاومت چسبندگی کششی ۴۲ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری‌های مختلف نشان داده شده است. از شکل (۱۳) مشاهده می‌گردد که نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب دارای بیشترین مقدار مقاومت چسبندگی کششی می‌باشند و نمونه‌های بدون عمل‌آوری، کمترین مقدار مقاومت چسبندگی کششی را

در شکل (۱۲) مقاومت چسبندگی کششی ۹۰ روزه نمونه‌های تحت عمل‌آوری‌های مختلف نشان داده شده است. از شکل (۱۲) مشاهده می‌گردد که نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب دارای بیشترین مقدار مقاومت چسبندگی کششی می‌باشند و نمونه‌های بدون عمل‌آوری، کمترین مقدار مقاومت چسبندگی کششی را دارا هستند. مقاومت چسبندگی کششی ۹۰ روزه برای نمونه‌های تحت عمل‌آوری در آب، به‌دست‌آمده از روش "کشش مستقیم" برای ملات‌های اصلاح‌شده با پلیمر با نسبت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر به ترتیب برابر ۲/۵۲، ۲/۹۹ و ۲/۸۱ مگاپاسکال می‌باشند که در مقایسه با مقاومت چسبندگی کششی ۹۰ روزه نمونه‌های بدون عمل‌آوری به ترتیب به مقدار ۴/۶۷، ۳۷ و ۳۸/۴ درصد

حاوی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر دارای افزایش ۳۵/۴، ۲۲/۵ و ۲۰/۸ درصدی می‌باشند.

همبستگی بین نتایج حاصل از روش‌های "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"

در شکل (۱۴)، نتایج مقاومت چسبندگی برشی حاصل از روش "انتقال اصطکاک" با نتایج مقاومت چسبندگی کششی حاصل از روش "کشش مستقیم" نشان داده شده است.



شکل «۱۴»: همبستگی بین نتایج حاصل از روش‌های "کشش مستقیم" و "انتقال اصطکاک" بر حسب مگاپاسکال

از شکل (۱۴) ملاحظه می‌گردد که مقدار ضریب تعیین بین نتایج به دست آمده از روش "کشش مستقیم" و روش "انتقال اصطکاک" برابر ۰/۹۸ شده است. مقدار ضریب همبستگی نیز بین دو روش مذکور برابر ۰/۹۹ است. با توجه به ضریب همبستگی بالا بین نتایج حاصل از روش‌های "کشش مستقیم" و "انتقال اصطکاک"، می‌توان به راحتی از نتایج یکی، نتایج معادل دیگری را به دست آورد.

دارا هستند. مقاومت چسبندگی کششی ۴۲ روزه برای نمونه‌های تحت عمل‌آوری در آب، به دست آمده از روش "کشش مستقیم" برای ملات‌های اصلاح شده با پلیمر با نسبت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر به ترتیب برابر ۲/۴۵، ۲/۸۴ و ۲/۶۸ مگاپاسکال بوده که در مقایسه با مقاومت چسبندگی کششی ۴۲ روزه نمونه‌های بدون عمل‌آوری به ترتیب به مقدار ۵۲/۲، ۳۵/۱ و ۴۰/۳ درصد افزایش داشته است.



شکل «۱۳»: مقاومت چسبندگی کششی ۴۲ روزه در عمل‌آوری‌های مختلف حاصل از روش "کشش مستقیم"

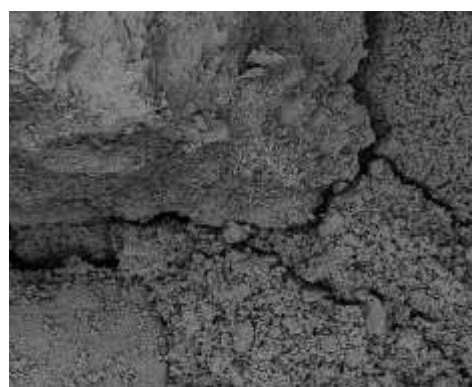
افزایش مقاومت چسبندگی کششی ۴۲ روزه نمونه‌های عمل‌آوری شده در مواد عمل‌آورنده، کمتر از نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب است اما در مقایسه با نمونه‌های بدون عمل‌آوری، به ترتیب در ملات‌های

تحلیل و بررسی نتایج

جهت نشان دادن ترک‌های به وجود آمده در داخل ملات‌ها بعد از خروج از عمل‌آوری، با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (scanning electron microscope) از ملات‌ها عکس‌برداری صورت پذیرفت. در شکل (۱۵-الف)، ملات تحت عمل‌آوری داخل آب نشان داده شده است. مشاهده می‌شود تا زمانی که ملات تحت عمل‌آوری قرار دارد، هنوز جمع‌شدگی اتفاق نیفتاده و ملات دچار ترک‌خوردگی نشده است؛ اما مطابق با شکل (۱۵-ب) که مربوط به ملاتی است که مدتی در فضای آزاد رها شده است مشاهده می‌گردد که به دلیل خروج آب از منافذ موئینه داخل ملات و همچنین از دست رفتن آب جذب سطحی شده، جمع‌شدگی به وجود آمده که نتیجه آن ایجاد ترک در داخل ملات است.



(الف) ملات بدون ترک‌خوردگی



(ب) ملات دارای ترک

شکل «۱۵»: عکس‌برداری از ملات توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی

همان‌طور که نشان داده شد، افزودن پلیمر به ملات باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین لایه تعمیر و بستر بتنی می‌گردد. علت افزایش مقاومت چسبندگی بین ملات‌های اصلاح‌شده با پلیمر و بستر بتنی به دلیل تشکیل فیلم‌های پلیمر در ملات است. هنگامی که پلیمر و خمیر سیمان پرتلند با یکدیگر در ارتباط باشند، از طریق پیوندهای شیمیایی کووالانسی یا یونی کووالانسی قوی، انسجام بیشتری به کل ماتریس داده و باعث بهبود خواص می‌شود [38]. در تحقیقات دیگر نیز مشاهده شده که افزودن پلیمر باعث افزایش چسبندگی بین ملات تعمیر و بستر بتنی می‌گردد [39]. همچنین مشاهده گردید که ملات‌های اصلاح‌شده با پلیمر دارای جمع‌شدگی کمتری نسبت به ملات‌های معمولی هستند. یکی از دلایل اصلی در کاهش جمع‌شدگی ملات‌های اصلاح‌شده با پلیمر به خاطر خاصیت آب‌بندی لاتکس‌ها است که از خروج رطوبت از داخل ماتریس سیمان جلوگیری می‌نماید [40,41]. در تحقیقی دیگر نیز روی تأثیر لاتکس SBR روی جمع‌شدگی بیان شده است که افزودن پلیمر باعث کاهش جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن می‌شود [15].

عمل‌آوری مناسب نیز از جمع‌شدگی بیش‌ازحد ملات‌ها جلوگیری نموده و همین امر سبب افزایش چسبندگی بین ملات تعمیر و بستر بتنی می‌گردد. همچنین جمع‌شدگی ملات‌های عمل‌آوری شده در آب کمتر از جمع‌شدگی ملات‌های عمل‌آوری شده با مواد عمل‌آورنده می‌باشند. با توجه به اینکه سیمان هیدراته شده، حاوی منافذ موئینه است لذا داخل این منافذ، آب وجود دارد. البته از دست رفتن آب داخل منافذ باعث جمع‌شدگی نمی‌شود اما به محض اینکه آب منافذ موئینه از دست می‌رود، باعث از بین رفتن آبی که جذب سطحی شده، می‌گردد و جمع‌شدگی رخ می‌دهد. با توجه به اینکه مواد عمل‌آورنده، به‌طور کامل از خروج رطوبت داخل ملات جلوگیری نمی‌نماید لذا همین موضوع سبب افزایش جمع‌شدگی ملات‌ها در عمل‌آوری با مواد عمل‌آورنده نسبت به عمل‌آوری در آب شده است.

نتیجه گیری

۴- عدم عمل آوری باعث افزایش جمع شدگی ملات‌های تعمیر می‌شود که این موضوع سبب به وجود آمدن تنش‌های برشی در سطح مشترک ملات تعمیر و بتن بستر شده و موجب کاهش مقاومت چسبندگی برشی و کششی حاصل از روش‌های "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم" می‌گردد.

۵- مقاومت چسبندگی ۹۰ روزه ملات‌های پلیمری با بتن بتنی به طور میانگین بیش از ۲ برابر مقاومت چسبندگی ملات‌های معمولی به دست آمد.

۶- افزایش مقدار لاتکس، باعث کاهش مقدار جمع شدگی ملات شده به گونه‌ای که جمع شدگی ۹۰ روزه ملات‌های اصلاح شده حاوی ۲۰ درصد پلیمر به طور میانگین ۵۴ درصد کمتر از جمع شدگی ملات‌های معمولی است که همین موضوع از افت مقاومت چسبندگی جلوگیری می‌نماید.

۱- با توجه به همبستگی بالا بین روش‌های "انتقال اصطکاک" و "کشش مستقیم"، می‌توان به جای استفاده از دستگاه گران قیمت "کشش مستقیم"، از دستگاه ساده، ارزان و داخلی "انتقال اصطکاک" استفاده نمود.

۲- با توجه به اینکه در آزمون "انتقال اصطکاک"، تمامی وسایل استفاده شده به صورت مکانیکی است لذا قابل استفاده در هر شرایط محیطی و دمایی، هم در خشکی و هم در داخل آب است. بر خلاف آزمون "کشش مستقیم" که مجبور به استفاده از چسب‌های شیمیایی هستیم.

۳- افزودن لاتکس SBR باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین ملات تعمیر و بتن بتنی شده که بیشترین افزایش در مقدار ۱۵ درصد لاتکس نسبت به وزن سیمان مشاهده گردید.

مراجع

1. Van Gemert, D., Czarnecki, L., Maultzsch, M., et al. "Cement concrete and concrete- polymer composites: two merging worlds". *Cement & Concrete Composites*. Vol. 27, Issue. 9, pp. 926-933, (2005).
2. Beushausen, H. and Gillmer, M., "The use of superabsorbent polymers to reduce cracking of bonded mortar overlays", *Cement & Concrete Composites*, Vol. 52, No. 1, pp. 1-8, (2014).
3. Hwang, E. H., and Jeon, J. K. "Effect of polymer cement modifiers on mechanical and physical properties of polymer-modified mortar using recycled artificial marble waste fine aggregate". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. 14, No. 2, pp. 265-271, (2008).
4. Hassan, K. E., Brooks, J. J., and Al- Alawi, L. "Compatibility of repair mortars with concrete in a hot-dry environment". *Cement & Concrete Composites*. Vol. 23, No. 1, pp. 93-101, (2003).
5. Afridi, M. U. K., Ohama, Y., Zafar Iqbal, M. and Demura, K. "Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars". *Cement And Concrete Composites*, Vol. 17, No. 2, pp. 113-118, (1995).
6. Çavdar, A., Sevin, S., Kaya, Y. and Bingöl, Ş. "The Effects of Cure Conditions on Mechanical Properties of Polymer Modified Cement Mortars". *Balkan Journal of Electrical & Computer*

- Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 79-85, (2014).
7. Doğan, M. and Bideci, A. "Effect of Styrene Butadiene Copolymer (SBR) admixture on high strength concrete". *Construction and Building Materials*, Vol.112, No. 1, pp. 378-385, (2016).
 8. Knapen, E. and Van Gemert, D. "Polymer film formation in cement mortars modified with water-soluble polymers". *Cement and Concrete Composites*, Vol. 58, No. 1, pp. 23-28, (2015).
 9. Ahmed, S. A., Hawraa, S.J. and Inas, S. M. "Improvement the Properties of Cement Mortar by Using Styrene Butadiene Rubber Polymer". *Engineering and Development*, Vol. 16, No. 3, pp. 61-72, (2012).
 10. Shuyi, Y. and Yong, G. "Effect of Styrene Butadiene Rubber Latex on Mortar and Concrete Properties", *Advanced Engineering Forum*, Vol. 5, No. 1, pp. 283-288, (2012).
 11. Tilly, G. P. and Jacobs, J. "Concrete repairs: Observations on performance in service and current practice", Watford, UK, (2007).
 12. Martinola, G., Sadouki, H. and Wittmann, F. "Numerical model for minimizing the risk of damage in a repair system", *J. Mater. Civ. Eng*, Vol. 13, No. 2, pp. 121-129, (2001).
 13. Zhang, W., Zakaria, M. and Hama, Y. "Influence of aggregate materials characteristics on the drying shrinkage properties of mortar and concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 49, No. 1, pp. 500-510, (2013).
 14. Bin, M. F. and Zain, H. M. "The study on the physical properties of surface layer concrete under the influence of medium temperature environments", Kyushu university, Ph.D thesis, (1996).
 15. Diab, A. M., Elyamany, H. E. and Ali, A. H. "Experimental investigation of the effect of latex solid/water ratio on latex modified co-matrix mechanical properties", *Alexandria Engineering Journal*. Vol. 52, No. 1, pp. 83-98, (2013).
 16. Carneiro, F. and Barcellos, A. "International association of testing and research laboratories for materials and structures", RILEM bull, Vol. 13, No. 2, pp. 99-125, (1953).
 17. Kreigh, J. "Arizona slant shear test: a method to determine epoxy bond strength", *ACI Journal*, Vol. 73, No. 7, pp. 372-373, (1976).
 18. Posi, P., Kasemsiri, P., Lertnimoolchai, S. and Chindapasirt, P. "Effect of fly ash fineness on compressive, flexural and shear strengths of high strength-high volume fly ash jointing mortar", *International Journal*, Vol. 16, Issue. 54, pp. 36-41, (2019).
 19. Beushausen, H. and Bester, N. "The influence of curing on restrained shrinkage cracking of bonded concrete overlays", *Cement and concrete research*, Vol. 87, No. 1, pp. 87-96, (2016).
 20. Sabah, S. A., Hassan, M., Bunnori, N. M. and Johari, M. "Bond strength of the interface between normal concrete substrate and GUSMRC repair material overlay", *Construction and Building Materials*, Vol. 216, No. 1, pp. 261-271, (2019).

21. Abu-Tair, A., Rigden, S. and Burley, E. "Testing the bond between repair materials and concrete substrate", *Materials Journal*, Vol. 93, No. 6, pp. 553-558, (1996).
22. Kunieda, M., Kurihara, N., Uchida, Y. and Rokugo, K. "Application of tension softening diagrams to evaluation of bond properties at concrete interfaces", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 65, No. 2, pp. 299-315, (2000).
23. ASTM C1583, "Standard test method for tensile strength of concrete surfaces and the bond strength or tensile strength of concrete repair and overlay materials by direct tension (pull-off method)", West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials (2004).
24. Naderi, M. "Friction-Transfer Test for the Assessment of in-situ Strength & Adhesion of Cementitious Materials", *Construction & Building Materials*, Vol. 19, No. 6, pp. 454-459, (2005).
25. Naderi, M. and Shibani, R. "New Method for Nondestructive Evaluation of Concrete Strength". *Australian Journal of Basic Applied Sciences*. Vol. 7, No. 2, pp. 438-447, (2013).
26. Naderi, M. "An alternative method for in situ determination of rock strength", *Can. Geotech. J.* Vol. 48, No. 12, pp. 1901-1905, (2011).
27. Naderi, M. "Evaluating in situ shear strength of bituminous pavements", *Proceedings of the institution of Civil Engineering*, Vol. 159, No. 2, pp 61-65, (2006).
28. Naderi, M. "Adhesion of different concrete repair systems exposed to different environments", *J. Adhes*, Vol. 84, No. 1, pp. 78-104, (2008).
29. Naderi, M. and Ghodousian, O. "Adhesion of Self-Compacting Overlays Applied to Different Concrete Substrates and Its Prediction by Fuzzy Logic", *The Journal of Adhesion*, Vol. 88, No. 10, pp. 848-865, (2012).
30. Naderi, M. "Effects of Cyclic Loading, Freeze-Thaw and Temperature Changes on Shear Bond Strengths of Different Concrete Repair Systems", *The Journal of Adhesion*, Vol. 84, No. 9, pp. 743-763, (2008).
31. ASTM C136-01, "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates", American Society for Testing and Materials, (2001).
32. ASTM C127-15. "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate", ASTM International, West Conshohocken, PA, (2015).
33. ASTM C128-15. "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate", ASTM International, West Conshohocken, PA, (2015).
34. ASTM C157/C157M, "Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete", American Society for Testing and Materials, (2014).
35. ASTM C490/C490M, "Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar and Concrete", American Society for Testing and Materials, (2011).

36. INSO 17039, "Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete Test Method", Iranian National Standardization Organization, (2013).
37. INSO 17042, "Apparatus for Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar and Concrete", Iranian National Standardization Organization, (2013).
38. Czarnecki, L. and Sokołowska, J. J. "Material model and revealing the truth", Bull. Pol. Ac.: Tech. Vol. 63, No. 1, pp. 7–14, (2015).
39. Ohama, Y. "Polymer Modified Concrete Mortars- Properties and Process Technology". Noyes, United States of America. (1995).
40. Baoshan, H., Wu, H., Shu, X. and Burdette, E. G. "Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete", Construction and Building Materials, Vol. 24, No. 5, pp. 818–823, (2010).
41. Jiang, H. Y. and Liu, Z. X. "Research of Polymer Cement Concrete", *Journal of Wu Han University of Technology*, Vol. 18, No. 2, pp. 37-38, (1996).