

ارزیابی مشخصات مکانیکی ملات های اصلاح شده با پلیمر و چسبندگی آن ها با فولاد

علی صابری ورزنه^{۱*}، محمود نادری^۲

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲. ستاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

*ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir

تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۴/۰۹

تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۰۱/۱۵

چکیده

با توجه به آسیب های وارد شده به سازه های بتنی، لزوم استفاده از لایه های تعمیراتی مناسب امری ضروری است. در ساختمان های بتن آرمه، بتن و فولاد در ارتباط با یکدیگر بوده و در اکثر موارد نیز لایه های تعمیراتی در ارتباط مستقیم با فولاد اعمال می شود. پس در این پژوهش با بکارگیری آزمون های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" اقدام به اندازه گیری مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین ملات های اصلاح شده با پلیمر و فولاد شده است. همچنین تاثیر پلیمر بر جمع شدگی ملات ها و تاثیر آن بر مقاومت چسبندگی بررسی شده است. تاثیر پلیمر بر ملات ها با استفاده از عکسبرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی و نرم افزارهای Image J و Origin مطالعه شد. در ادامه نیز برای ارزیابی مشخصات مکانیکی ملات ها، با استفاده از آزمون های فوق، مقاومت فشاری و خمشی درجای ملات ها تعیین و ضمن مقایسه با آزمون های استاندارد آزمایشگاهی، نمودارهای کالیبراسیون رسم شدند. سپس معادلات تبدیل نتایج آزمون های درجا به مقاومت فشاری و خمشی ملات های اصلاح شده با پلیمر ارائه ، در انتها نیز با استفاده از نرم افزار ABAQUS ترک ها و تنش های بوجود آمده در ملات ها ارائه شدند. لایه تعمیراتی اعمال شده روی بستر فولادی حاوی نسبت ماسه به سیمان برابر ۳ و نسبت آب به سیمان برابر ۰/۵ است. برای ارزیابی مشخصات مکانیکی ملات های تعمیراتی، پلیمر استایرن بوتادین رابر با نسبت های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزن سیمان به ملات اضافه شد. نتایج به دست آمده بیانگر تاثیر پلیمر بر کاهش جمع شدگی ملات ها و افزایش مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین فولاد و ملات است به گونه ای که افزودن پلیمر به میزان ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد باعث کاهش جمع شدگی ملات ها به ترتیب به مقدار ۳۵/۳، ۴۱/۲ و ۴۵/۴ درصد در سن ۹۰ روز شده است. مقاومت چسبندگی برشی و کششی ۹۰ روزه بین ملات و فولاد نیز با افزودن پلیمر، به ترتیب به مقدار ۳۰۳/۱ و ۲۹۱/۲ درصد افزایش داشته است. همچنین ضریب همبستگی بالایی بین قرائت های بدست آمده از آزمون های درجا با آزمون های آزمایشگاهی مشاهده شد به گونه ای که می توان با بکارگیری آزمون های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" به ترتیب با استفاده از معادلات $y=0.063x$ و $y=0.113x$ مقاومت فشاری ملات های اصلاح شده با پلیمر را تعیین نمود. در ضمن همخوانی بالایی بین نتایج عددی و نتایج آزمایشگاهی بدست آمد.

واژگان کلیدی: استایرن بوتادین رابر، ملات، فولاد، ABAQUS، انتقال اصطکاک، کشیدن از سطح.

۱- مقدمه

امروزه استفاده از انواع مختلف پلیمر به عنوان اصلاح کننده رو به افزایش است. استفاده از پلیمر استایرن بوتادین رابر باعث افزایش تحمل شده و از طرفی افزایش مقدار پلیمر به سیمان باعث کاهش مقدار نفوذپذیری نمونه در برابر آب می شود [1]. البته لاتکس استایرن بوتادین رابر باعث کاهش مقاومت فشاری ملات ها می شود اما افزایش زیادی در مقاومت خمشی ملات ها را به همراه دارد [2,3]. علت کاهش مقاومت فشاری ملات های اصلاح شده با پلیمر به دلیل تاثیر پلیمر در ایجاد حفرات در ملات های اصلاح شده با پلیمر است [4]. افزودن SBR به ملات باعث کاهش مقدار چگالی می شود که بیشترین تاثیر در نسبت ۵ درصد پلیمر به وزن سیمان مشاهده شده است [5]. یکی از آثار مهم پلیمر استایرن بوتادین رابر روی ملات تعمیری، افزایش چسبندگی بین ملات و بتن است [6].

در این پژوهش برای ارزیابی مشخصات مکانیکی ملات های اصلاح شده با پلیمر استایرن بوتادین رابر از آزمون های درجا و نیمه مخرب استفاده شده است. از آزمون های غیر مخرب می توان به چکش اشمیت [7] و روش اولتراسونیک [8] اشاره نمود اما این روش ها به صورت غیر مستقیم، مقاومت را تعیین می نمایند. آزمون های مخرب نیز مانند مغزه گیری [9] و بیرون کشیدن [10] به دلیل خساراتی که به سازه وارد نموده و عدم قابلیت تکرار دارای محدودیت هستند. البته در این پژوهش مشخص شد که مقاومت فشاری مغزه های گرفته شده از سازه، کمتر از مقاومت فشاری واقعی سازه است [11]. آزمون های نیمه مخرب مانند انتقال اصطکاک^۱ [12]، پیچش [13] و کشیدن از سطح [14]، با توجه به اینکه شکست در خود جسم مورد آزمایش اتفاق می افتد بنابراین، نتایج آن ها نسبت به آزمون های غیر مخرب دارای اعتبار بالاتری هستند.

در خصوص ارزیابی مشخصات مکانیکی ملات ها و بتن ها با آزمون های نیمه مخرب و مقایسه با آزمون های آزمایشگاهی در گذشته نیز تحقیقاتی انجام پذیرفته است.

در تحقیقاتی از آزمون های انتقال اصطکاک و کشیدن از سطح برای مقایسه مقاومت فشاری ملات های معمولی و مسلح به الیاف با نتایج حاصل از آزمون های فوق استفاده شده، که نتیجه آن ضریب همبستگی بسیار بالایی بین نتایج وجود دارد [15-18]. برای آزمون پیچش نیز پژوهش هایی انجام شده است. نتایج حاصل از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری نمونه های بتنی مکعبی و مغزه های گرفته شده از همان نمونه به ترتیب برابر ۹۷ و ۹۰ درصد به دست آمده است [19]. در پژوهش دیگری برای مقایسه نتایج حاصل از آزمون "پیچش" و مقاومت فشاری نمونه های مکعبی بتنی با مقاومت های مختلف، ضریب همبستگی ۹۵ درصد بین نتایج به دست آمد [20]. نتایج قرائت شده از آزمون "پیچش" با مقاومت فشاری بتن های ساخته شده تحت عمل آوری های مختلف نیز دارای ضریب همبستگی بالایی هستند به گونه ای که در یک تحقیق مقدار ضریب همبستگی حدود ۹۹ درصد به دست آمده است [21].

یکی از مشکلات موجود پس از اعمال لایه تعمیر روی بتن و همچنین روی آرماتورهایی که نمایان شده اند، چسبندگی بین ملات تعمیری و بستر بتنی یا فولادی است. وجود مواردی از جمله جمع شدگی لایه های تعمیری و خروج رطوبت از آن ها باعث کاهش مقاومت چسبندگی بین ملات و بستر شده و در نتیجه در طولانی مدت، آسیب های جدید به سازه و قسمت تعمیر شده وارد می شود. در کل مقاومت چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر به سه قسمت چسبندگی شیمیایی، اصطکاکی و تداخل مکانیکی تقسیم می شود [22]. در چسبندگی بین ملات و فولاد، وجود مقدار کمی زنگ زدگی روی آرماتورها می تواند باعث افزایش تداخل مکانیکی بین دو لایه شود [23]. همان گونه که گفته شد، جمع شدگی یکی از مشکلات مهم است که تاثیر منفی روی مقدار چسبندگی ملات تعمیری و فولاد می گذارد. با توجه به اینکه خمیر سیمان هیدراته شده دارای منافذ مویرگی ای است که حاوی مقداری آب هستند، بعد از خارج شدن این رطوبت از منافذ، جمع شدگی اتفاق می افتد

جمع شدگی و ترک خوردگی لایه تعمیر و آسیب دیدگی فولاد جلوگیری نمود.

در این پژوهش به بررسی تاثیر پلیمر استایرن بوتادین رابر بر مشخصات مکانیکی و جمع شدگی ملات های تعمیر و همچنین مقاومت چسبندگی بین آن ها و بستر فولادی با به کارگیری آزمون های درجا و نیمه مخرب پرداخته شده است.

۲- مطالعات آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

سیمان استفاده شده برای ساخت ملات های تعمیر از نوع پرتلند تیپ ۲ با چگالی ۳۰۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب تهیه شده از کارخانه سیمان آبیگ است. ماسه استفاده شده برای ساخت ملات ها نیز از معادن شهریار (تهران) تهیه شد. مقدار چگالی ماسه در حالت اشباع با سطح خشک برابر ۲۵۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. دانه بندی ماسه بر اساس استاندارد ASTM C136 [34] مطابق شکل (۱) است. جذب آب ماسه مطابق با استاندارد ASTM C127 [35] برابر ۳/۲ درصد تعیین شد. همچنین از آب شرب شهر قزوین برای ساخت ملات ها استفاده شد.

شکل ۱. نمودار دانه بندی ریز دانه ها

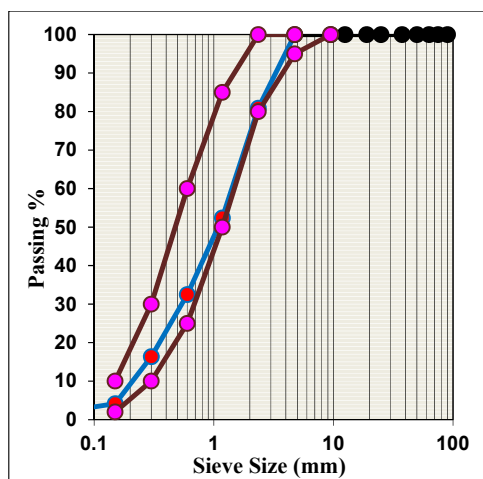


Fig. 1. Sieve Analysis of Fine Aggregates.

برای ارزیابی مشخصات مکانیکی ملات های تعمیر، پلیمر استایرن بوتادین رابر با نسبت های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزن سیمان به ملات اضافه شد. برای تعیین مقاومت چسبندگی بین

[24]. در پژوهشی مشخص شد که چسبندگی بین بتن و ملات بدون عمل آوری حدود ۳/۵ برابر کاهش پیدا می نماید [25]. در خصوص چسبندگی بین مصالح سیمانی و فولاد، تحقیقات فراوانی انجام شده است. در تحقیقی در خصوص تاثیر ترک خوردگی بتن و خوردگی فولاد بر چسبندگی بین بتن و آرماتور ذکر شده است که عوامل فوق باعث کاهش حدود ۶۰ درصدی چسبندگی بین بتن و آرماتور فولادی می شود [26]. در پژوهش دیگر برای جلوگیری از افت چسبندگی بین بتن و آرماتورهای فولادی به دلیل ترک خوردگی بتن و خوردگی فولاد، از یک لایه رزین اپوکسی روی سطح آرماتورهای فولادی استفاده شده است [27]. در پژوهشی روی تاثیر تنش های موجود بر چسبندگی بین بتن و آرماتورهای فولادی مشخص شد که چسبندگی برای المان بتنی تحت تنش، حدود ۶۳ درصد کمتر از المان آزاد بدون تنش است [28]. در پژوهش دیگری گفته شده است که افزودن الیاف به بتن باعث افزایش چسبندگی بین بتن و آرماتور فولادی می شود [29-30]. در پژوهشی روی تاثیر شرایط مختلف دمایی بر چسبندگی بین بتن و آرماتور فولادی، نتیجه گرفتند که در دماهای بالا، چسبندگی بین بتن و آرماتور معمولی بیشتر از چسبندگی بین بتن و آرماتورهای کامپوزیت است [31-32]. در یک پژوهش که با روش پوش-اوت برای اندازه گیری چسبندگی بین ملات و فولاد انجام شده است مشخص شده است که استفاده از چسب باعث افزایش مقاومت چسبندگی تا مقدار ۳/۴ مگاپاسکال شده در صورتی که لایه تعمیری بدون چسب دارای مقاومت چسبندگی اندکی با فولاد در حدود ۰/۸ مگاپاسکال است [33].

با توجه به پژوهش های انجام شده ملاحظه می شود عوامل مختلف می تواند تاثیر منفی روی چسبندگی داشته باشد. برای کارهای تعمیراتی نیز که در برخی موارد احتیاج به حذف لایه آسیب دیده هستیم و امکان دارد حذف لایه رویی تا سطح آرماتورها ادامه یابد پس باید در اعمال لایه تعمیری دقت کافی صورت پذیرد. زیرا با گذشت زمان و پدیده جمع شدگی و عوامل دیگر باعث تاثیر منفی روی چسبندگی می شود. بنابراین در هنگام اعمال لایه تعمیری باید تدبیری اندیشیده شود که از



شکل ۲-ب. مغزه شکسته شده



Fig. 2. Friction-transfer method.

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

که در آن r شعاع مغزه و J ممان اینرسی پیچشی است. برای ارزیابی مشخصات مکانیکی ملات ها توسط آزمون "کشیدن از سطح" نیز یک استوانه فولادی به قطر ۵۰ میلی متر روی سطح ملات چسبانده می شود، سپس با استفاده از دستگاه به استوانه نیروی کششی اعمال می شود تا استوانه از سطح ملات جدا شود (شکل ۳).

شکل ۳. ارزیابی مشخصات مکانیکی با آزمون "کشیدن از سطح"



Fig. 3. Pull-off method.

برای اندازه گیری مقاومت چسبندگی برشی بین ملات و فولاد، ابتدا با استفاده از دستگاه کرگیری، یک مغزه جزئی به قطر ۵۰ میلی متر روی ملات تا سطح فولاد ایجاد می نماییم. سپس استوانه فلزی آزمون "انتقال اصطکاک" روی مغزه تثبیت شده

ملات و فولاد با توجه به نتایج به دست آمده، ملات اصلاح شده با ۱۵ درصد لاتکس استاتیرن بوتادین رابر استفاده شد. لایه تعمیراتی اعمال شده روی بستر فولادی حاوی نسبت ماسه به سیمان برابر ۳ و نسبت آب به سیمان برابر ۰/۵ است. بستر فولادی دارای ضخامت ۴ میلی متر و ابعاد ۲۰۰ در ۲۰۰ میلی متر است.

۲-۲- ساخت نمونه ها

نمونه های استاندارد آزمایشگاهی برای تعیین مقاومت فشاری و خمشی ملات های تعمیراتی تهیه و به مدت ۲۴ ساعت در قالب قرار گرفتند. سپس از قالب خارج و تا زمان آزمایش داخل آب گذاشته شدند. هم زمان نمونه های مورد نیاز برای ارزیابی مقاومت فشاری و خمشی ملات ها با به کارگیری آزمون های نیمه مخرب تهیه و داخل آب قرار گرفتند. برای تعیین مقاومت چسبندگی بین ملات های اصلاح شده با پلیمر و فولاد، ملات ها به ضخامت ۲۵ میلی متر روی بستر فولادی اعمال شدند و پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و به مدت ۷ روز تحت عمل آوری با آب قرار داده شدند و سپس از آب خارج و در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز تحت آزمایش قرار گرفتند. همچنین هم زمان نمونه های منشوری استاندارد برای اندازه گیری جمع شدگی ملات ها تهیه و به مدت یک هفته در عمل آوری با آب گذاشته شدند.

۲-۳- روند انجام آزمون ها

برای ارزیابی مشخصات مکانیکی ملات ها با استفاده از آزمون "انتقال اصطکاک" ابتدا با به کارگیری دستگاه کرگیری، یک مغزه جزئی به قطر ۵۰ میلی متر و ارتفاع ۲۵ میلی متر روی سطح محل آزمون ایجاد نموده و سپس دستگاه فلزی مربوط به آزمون "انتقال اصطکاک" روی مغزه قرار گرفته و با استفاده از یک پیچش سنج معمولی، به دستگاه مذکور لنگر پیچشی اعمال می شود تا مغزه جزئی دچار شکست شود (شکل ۲). در آزمون انتقال اصطکاک مقدار تنش ایجاد شده تحت اثر پیچش روی سطح مغزه برابر است با (رابطه ۱):

شکل ۲-الف. ارزیابی مشخصات مکانیکی با آزمون "انتقال اصطکاک"

نمونه‌ها باید به شکلی طراحی شده باشد که نمونه بتواند داخل آن جای بگیرد و تماس کامل و مناسبی با گلمیخ‌های آزمون داشته باشد. در شکل (۵) تجهیزات مورد نیاز در آزمایش تعیین جمع‌شدگی قابل مشاهده است. برای محاسبه درصد جمع‌شدگی ملات از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

$$L = \frac{L_x - L_i}{G} \times 100 \quad (۱)$$

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 است.

شکل ۵-الف. قالب اندازه‌گیری جمع‌شدگی

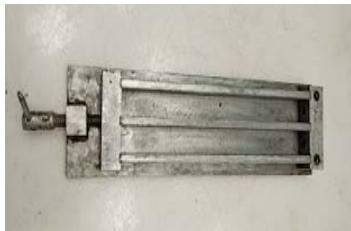


Fig. 5.a. Shrinkage measurement forms.

شکل ۵-ب. دستگاه جمع‌شدگی



Fig. 5.b. Shrinkage device.

برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری ملات‌ها طبق استاندارد ASTM C109 [38]، نمونه مکعبی ۵۰ میلی‌متری ساخته شد. همچنین برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی ملات‌ها، نمونه‌های منشوری با ابعاد ۴۰ در ۴۰ در ۱۶۰ میلی‌متر ساخته و مطابق استاندارد ASTM C348 [39] آزمایش شدند.

۴- نتایج و تحلیل آن‌ها

۴-۱- مقاومت چسبندگی برشی و کششی

در شکل (۶) مقاومت چسبندگی برشی بین ملات تعمیری (با و بدون لاتکس) و بستر فولادی حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" نشان داده شده است. همانطور که از شکل (۶) ملاحظه می‌شود افزودن لاتکس SBR به ملات تعمیری تاثیر

و با استفاده از یک پیچش سنج معمولی، به دستگاه فلزی، لنگر پیچشی وارد می‌شود تا ملات از فولاد جدا شود (شکل ۴-الف). همچنین برای اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی کششی در آزمون کشیدن از سطح نیز مانند روش قبل ابتدا کرگیری انجام شده، سپس استوانه فلزی روی مغزه چسبانده شده و در انتها با استفاده از دستگاه کشش، به استوانه فولادی نیروی کششی وارد می‌شود تا ملات از سطح فولاد جدا شود (شکل ۴-ب).

شکل ۴-الف. اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی برشی



Fig. 4.a. Evaluation of shear bond strength.

شکل ۴-ب. اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی کششی



Fig. 4.b. Evaluation of tensile bond strength.

برای تعیین جمع‌شدگی از استانداردهای ASTM C157 [36] و ASTM C490 [37] استفاده شده است. قالب‌های استفاده شده برای تعیین جمع‌شدگی ملات باید منشوری، با ارتفاع ۲۸۵ میلی‌متر، مقطع مربعی ۲۵ میلی‌متر و دارای طول اندازه‌گیر ۲۵۰ میلی‌متر باشد. مقایسه‌کننده طول، برای اندازه‌گیری تغییر طول

SBR به ملات تعمیری باعث افزایش مقاومت چسبندگی کششی حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز به ترتیب برابر ۵۸/۷، ۱۸۳/۴ و ۲۹۱/۲ درصد شده است.

شکل ۷. مقاومت چسبندگی کششی

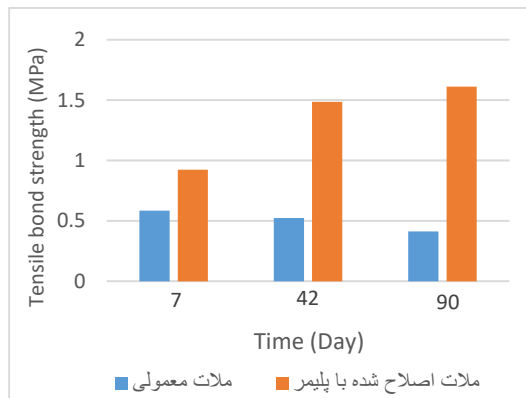


Fig. 7. Tensile bond strength.

در کل مشاهده شد که افزودن پلیمر استایرن بوتادین رابر باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین ملات تعمیری و فولاد حاصل از آزمون های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" می شود. علت افزایش چسبندگی به دلیل کاهش جمع شدگی ملات های اصلاح شده با پلیمر نسبت به ملات های معمولی و همچنین به دلیل وجود مواد آلی در این نوع ملات ها است. در شکل (۸) تصاویر میکروسکوپی مربوط به ملات حاوی SBR نشان داده شده است.

همان گونه که در شکل (۸) نشان داده شده است، وجود پلیمر SBR در ساختار ملات کاملاً باعث دوخته شدن ترک ها شده و از عریض تر شدن آن جلوگیری نموده است.

به منظور بررسی دقیق تر، توزیع اندازه قطر پلیمرهای SBR در ملات مورد استفاده، اندازه گیری و رسم هیستوگرام این توزیع اندازه به ترتیب توسط نرم افزارهای [Image و Origin انجام شده و نتیجه در شکل (۹) نشان داده شده است.

همان گونه که از شکل (۹) قابل مشاهده است، بیشترین تعداد تکرار اندازه قطر پلیمر در حدود ۰/۱ میکرومتر بوده است. در جدول (۱) پارامترهای آماری حاصل از این اندازه گیری آمده است.

قابل توجهی در افزایش مقاومت چسبندگی برشی بین ملات تعمیری و بستر فولادی حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" دارد. مقاومت چسبندگی برشی حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" بین ملات تعمیری معمولی و بستر بتنی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز برابر ۱/۰۰۱، ۰/۸۰۹ و ۰/۶۱۷ مگاپاسکال به دست آمده است در صورتی که برای ملات های اصلاح شده با پلیمر، مقاومت چسبندگی برشی در سنین مذکور به ترتیب برابر ۱/۴۴۸، ۲/۲۵۱ و ۲/۴۸۷ مگاپاسکال شده است. افزودن لاتکس SBR به ملات تعمیری باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز به ترتیب برابر ۴۴/۷، ۱۷۸/۲ و ۳۰۳/۱ درصد شده است.

شکل ۶. مقاومت چسبندگی برشی

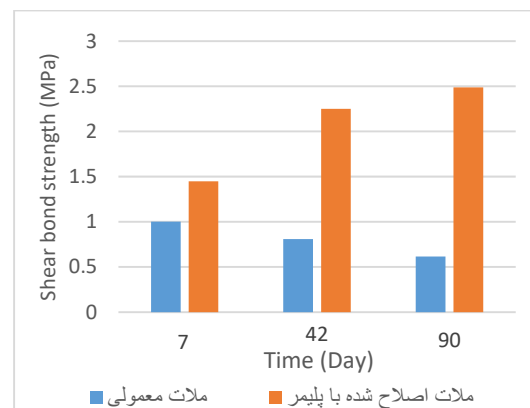


Fig. 6. Shear bond strength.

در شکل (۷) مقاومت چسبندگی کششی بین ملات تعمیری (با و بدون لاتکس) و بستر فولادی حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" نشان داده شده است.

همانطور که از شکل (۷) ملاحظه می شود افزودن لاتکس SBR به ملات تعمیری تاثیر قابل توجهی در افزایش مقاومت چسبندگی کششی دارد. مقاومت چسبندگی کششی حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" بین ملات تعمیری معمولی و بستر بتنی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز برابر ۰/۵۸۳، ۰/۵۲۴ و ۰/۴۱۲ مگاپاسکال به دست آمده است در صورتی که برای ملات های اصلاح شده با پلیمر، چسبندگی در سنین مذکور به ترتیب برابر ۱/۴۸۵، ۱/۶۱۲ و ۱/۹۲۵ مگاپاسکال است. افزودن لاتکس

شکل ۸. تصاویر میکروسکوپی مربوط به ملات حاوی SBR

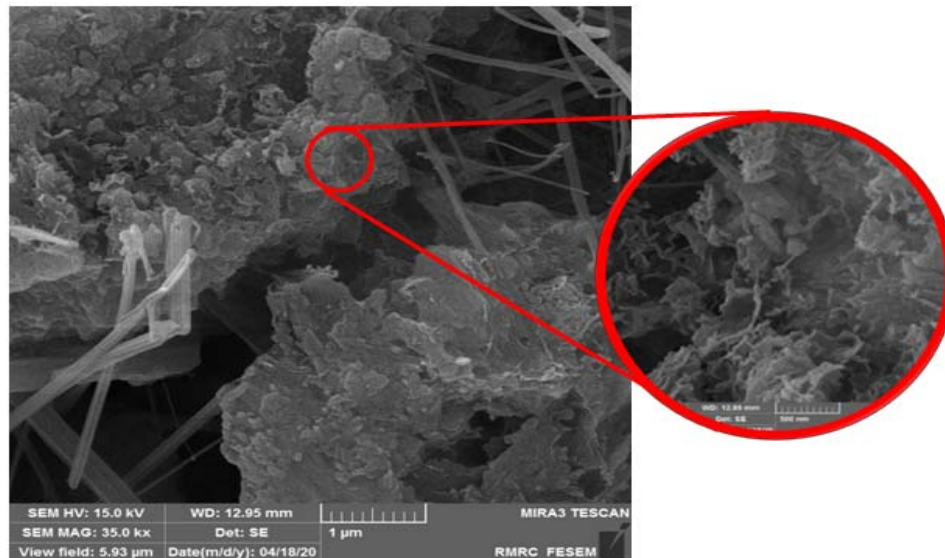


Fig. 8. SEM image.

قطر اندازه‌گیری شده به ترتیب برابر با ۵۳ و ۲۰۱ نانومتر بوده است.

پیشتر ذکر شد که یکی از دلایل افزایش چسبندگی بین ملات اصلاح شده پلیمری با بستر، تاثیر مثبت پلیمر بر جمع شدگی است. در شکل (۱۰)، جمع شدگی ملات‌های اصلاح شده با درصد‌های مختلف پلیمر نشان داده شده است. ملات‌ها به مدت ۷ روز در آب عمل آوری شده و سپس از آب خارج و مقدار جمع شدگی آن‌ها محاسبه شده است. از شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که افزودن پلیمر استایرن بوتادین رابر باعث کاهش جمع شدگی ملات شده است. همچنین افزایش درصد پلیمر، باعث کاهش بیشتر در جمع شدگی می‌شود به گونه‌ای که جمع شدگی ۹۰ روزه برای ملات حاوی ۲۰ درصد SBR، نسبت به ملات‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد SBR به ترتیب به مقدار ۱۵/۶ و ۷ درصد کمتر شده است. با مقایسه ملات‌های اصلاح شده با پلیمر و ملات معمولی مشاهده می‌شود که در سن ۱۴ روز، افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد SBR به ترتیب باعث کاهش جمع شدگی به مقدار ۳۲/۸، ۳۶/۱ و ۴۲/۱ درصد شده است.

شکل ۹. هیستوگرام توزیع اندازه قطر پلیمر SBR در ملات

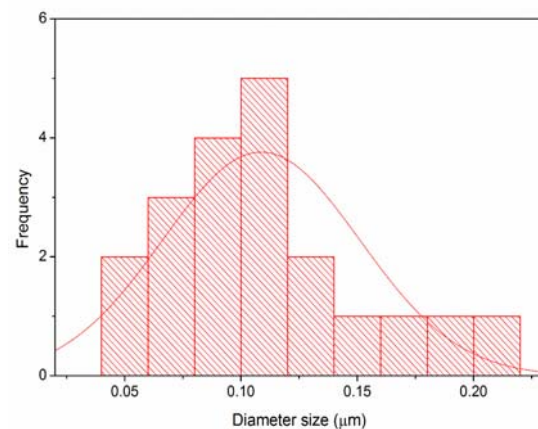


Fig. 9. Diagram of diameter size distribution.

مطابق جدول (۱) مشاهده می‌شود که مقدار میانگین اندازه قطر پلیمر حدود ۹۸ نانومتر بوده است که با توجه به اینکه ذرات با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر به عنوان نانوذرات در نظر گرفته می‌شود، بنابراین می‌توان پلیمر SBR پخش شده در ملات را نانوالیاف در نظر گرفت. همچنین کمترین و بیشترین

اصلی در کاهش جمع شدگی ملات های اصلاح شده با پلیمر به خاطر خاصیت آب بندی لاتکس ها است که از خروج آب از داخل ماتریس سیمان جلوگیری می نماید [41-42].

همین روند کاهش جمع شدگی در سنین دیگر نیز مشاهده می شود. در پژوهشی دیگر نیز روی تاثیر لاتکس SBR روی جمع شدگی ذکر شده است که افزودن پلیمر باعث کاهش جمع شدگی حاصل از خشک شدن می شود [40]. یکی از دلایل

جدول ۱. پارامترهای آماری حاصل از اندازه گیری توزیع اندازه قطر الیاف SBR در ملات

اندازه وسط (میکرومتر)	بزرگترین قطر اندازه گیری شده (میکرومتر)	کوچکترین قطر اندازه گیری شده (میکرومتر)	انحراف از معیار (میکرومتر)	اندازه میانگین (میکرومتر)	تعداد اندازه گیری	نمونه
0.092	0.201	0.053	0.042	0.098	20	SBR

Table 1. Statistical parameters

با توجه به جدول (۲) مشاهده می شود که افزودن لاتکس استایرن بوتادین رابر باعث کاهش مقاومت فشاری ملات های پایه سیمانی می شود. و افزایش مقدار درصد پلیمر باعث کاهش بیشتر مقاومت فشاری می شود. افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد لاتکس SBR باعث کاهش مقاومت فشاری ۷ روزه ملات تعمیری به ترتیب برابر ۲۴/۹، ۳۰/۲ و ۳۳/۱ درصد شده است. در سن ۴۲ و ۹۰ روز نیز شاهد همین کاهش هستیم به گونه ای که مقاومت فشاری ۹۰ روزه ملات های اصلاح شده با ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد لاتکس SBR به ترتیب باعث کاهش ۲۲/۴، ۲۵ و ۲۷/۹ درصد شده است. در تمامی نمونه ها نیز مشاهده می شود که با گذشت زمان، مقاومت فشاری نمونه ها افزایش داشته است که به دلیل کامل تر شدن فرآیند هیدراسیون سیمان است. یکی از دلایل اصلی در کاهش مقاومت فشاری ملات اصلاح شده با پلیمر به دلیل این است که لاتکس استایرن بوتادین رابر باعث ایجاد حباب هوا در ساختار مصالح سیمانی شده و همین امر سبب به وجود آمدن تخلخل بیشتر در ملات شده پس باعث کاهش مقاومت فشاری می شود.

در جدول (۳) مقاومت خمشی ملات اصلاح شده با پلیمر و ملات معمولی نشان داده شده است.

جدول ۳. مقاومت خمشی ملات ها

	7 days	42 days	90 days
0% SBR	8.6	9.71	10.11
10% SBR	10.51	12.02	12.55
15% SBR	11.92	13.52	14.19
20% SBR	12.46	14.54	15.2

شکل ۱۰. جمع شدگی ملات ها

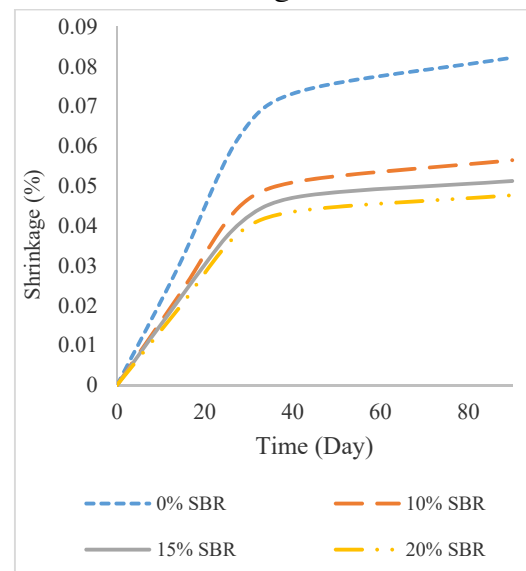


Fig. 10. Dry shrinkage.

۴-۲- تاثیر SBR بر مقاومت فشاری و خمشی ملات ها

در جدول (۲) مقاومت فشاری ملات اصلاح شده با پلیمر و ملات معمولی نشان داده شده است.

جدول ۲. مقاومت فشاری ملات ها

	7 days	42 days	90 days
0% SBR	34.1	51.2	54.4
10% SBR	25.6	38.8	42.2
15% SBR	23.8	37.6	40.8
20% SBR	22.8	36.1	39.2

Table 2. Compressive strength.

Table 3. Flexural strength.

از جدول (۳) مشاهده می‌شود که افزودن لاتکس استایرن بوتادین رابر باعث افزایش مقاومت خمشی ملات پایه سیمانی شده است. در سن ۹۰ روز، افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد لاتکس SBR به ملات به ترتیب باعث افزایش مقاومت خمشی به مقدار ۲/۴، ۳/۴ و ۸/۶ درصد شده است. در سنین ۷ و ۴۲ روز نیز شاهد افزایش مقاومت خمشی ملات‌های اصلاح شده با پلیمر نسبت به ملات معمولی هستیم.

۳-۴- ارزیابی مشخصات مکانیکی با استفاده از آزمون‌های درجا

۳-۴-۱- نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک"

در این بخش با تحلیل رگرسیون به صورت خطی و توانی، رابطه بین مقاومت فشاری و خمشی ملات‌های اصلاح شده پلیمری با آزمون‌های نیمه مخرب "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" ارائه شده است. ابتدا با انجام تحلیل رگرسیون به صورت خطی، ضریب تعیین بین قرائت‌های به دست آمده از آزمون‌های فوق با مقاومت فشاری ملات‌ها مشخص شده و در ادامه با توجه به "فرضیه تحقیق" که بیان می‌کند "نمودار رگرسیون باید از محور مختصات عبور کرده باشد و معادله کالیبراسیون آن به صورت $y=ax$ انتخاب شود و سپس تحلیل رگرسیون انجام شود"، دوباره ضریب تعیین در این حالت نیز محاسبه می‌شود. در انتها اگر بین ضرایب تعیین به دست آمده از تحلیل‌های فوق با یکدیگر اختلافی داشته باشند، می‌توان از تحلیل رگرسیون به صورت توانی استفاده نمود. در ضمن با توجه به اینکه رابطه بین مقاومت خمشی و فشاری، معمولاً به صورت توانی است پس در این بخش نیز برای اندازه‌گیری ضریب تعیین بین مقاومت خمشی با آزمون‌های درجا، از رگرسیون به صورت توانی استفاده می‌شود.

۳-۴-۲- نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک"

در شکل (۱۱) رابطه مقاومت فشاری ملات‌های اصلاح شده با پلیمر با نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۱) که مربوط به تحلیل رگرسیون

بین مقاومت فشاری و نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" است مشاهده می‌شود که ضریب تعیین در حالت خطی برابر ۰/۹۵۱۸ است. اما با توجه به "فرضیه تحقیق"، اگر معادله رگرسیون در حالت خطی و به صورت $y=ax$ انتخاب و تحلیل رگرسیون مجدد انجام گیرد، ضریب تعیین برابر ۰/۹۵۱۷ است. با توجه به اختلاف کم بین ضرایب تعیین به دست آمده، بنابراین می‌توان برای ارزیابی مقاومت فشاری ملات‌های اصلاح شده با پلیمر SBR، با به کارگیری آزمون نیمه مخرب "انتقال اصطکاک" و استفاده از منحنی کالیبراسیون خطی شکل (۱۱) با معادله $y = 0.113x$ و در محدوده اطمینان بالا مقدار مقاومت فشاری ملات‌های اصلاح شده با پلیمر را تعیین نمود.

شکل ۱۱. مقاومت فشاری-انتقال اصطکاک (MPa)

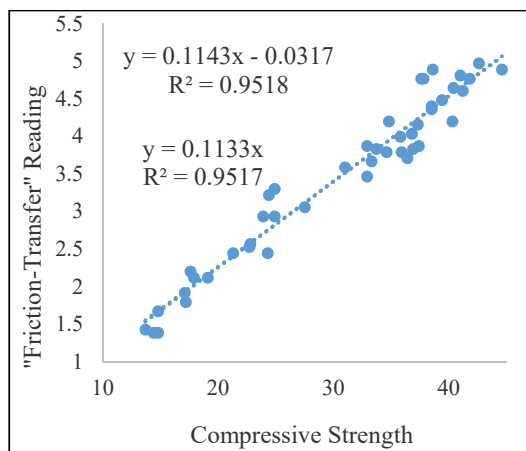


Fig. 11. Compressive strength-friction transfer (MPa).

در شکل (۱۲) رابطه مقاومت خمشی ملات‌ها با نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" نشان داده شده است.

شکل ۱۲. مقاومت خمشی-انتقال اصطکاک (MPa)

شکل ۱۳. مقاومت فشاری-کشیدن از سطح (MPa)

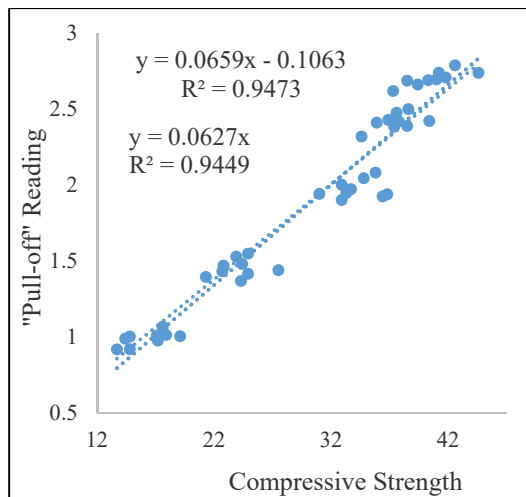


Fig. 13. Compressive strength-pull off (MPa).

در شکل (۱۴) رابطه مقاومت خمشی ملات ها با نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۴) مشاهده می شود که با انجام تحلیل رگرسیون به صورت توانی بین مقاومت خمشی و نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح"، ضریب تعیین و همبستگی به ترتیب برابر ۰/۷۳ و ۰/۸۵ به دست می آید. بنابراین می توان با استفاده از منحنی کالیبراسیون شکل (۱۴) و معادله $y = 0.025x^{1.72}$ و با اطمینان ۸۵ درصد، نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" را برای تبدیل به مقاومت خمشی ملات های اصلاح شده با پلیمر SBR به کار برد.

شکل ۱۴. مقاومت خمشی-کشیدن از سطح (MPa)

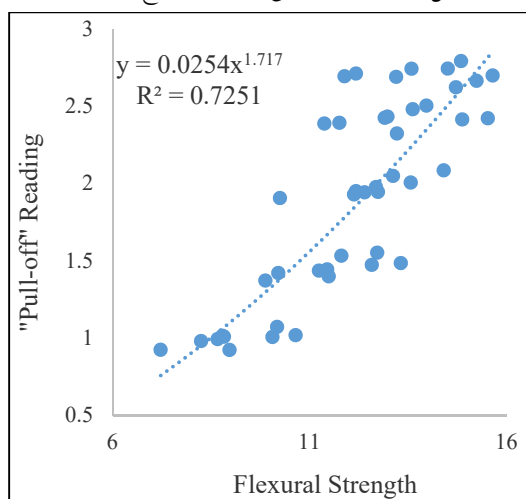


Fig. 14. Flexural strength-pull off (MPa).

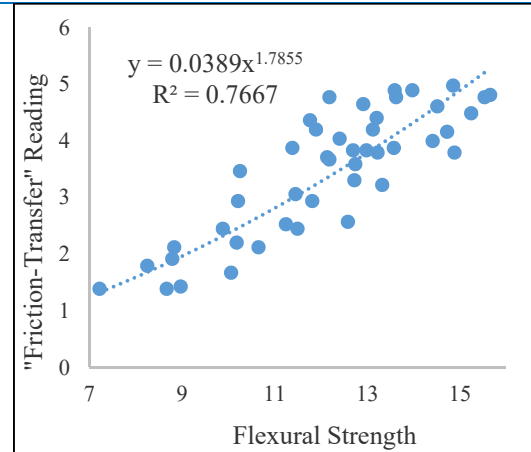


Fig. 12. Flexural strength-friction transfer (MPa).

با توجه به شکل (۱۲) مشاهده می شود که با انجام تحلیل رگرسیون به صورت توانی بین مقاومت خمشی و نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک"، ضریب تعیین و همبستگی به ترتیب برابر ۰/۷۷ و ۰/۸۸ به دست می آید. پس می توان با استفاده از منحنی کالیبراسیون شکل (۱۲) و معادله $y = 0.039x^{1.79}$ و با اطمینان ۸۸ درصد، نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" را برای تبدیل به مقاومت خمشی ملات های اصلاح شده با پلیمر SBR به کار برد.

۲-۳-۴- نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح"

در شکل (۱۳) رابطه مقاومت فشاری ملات ها با نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۱۳) که مربوط به تحلیل رگرسیون بین مقاومت فشاری و نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" است مشاهده می شود که ضریب تعیین در حالت خطی برابر ۰/۹۴۷ است. اما با توجه به "فرضیه تحقیق"، اگر معادله رگرسیون در حالت خطی و به صورت $y=ax$ انتخاب و تحلیل رگرسیون مجدد انجام گیرد، ضریب تعیین برابر ۰/۹۴۴ است. با توجه به اختلاف کم بین ضرایب تعیین به دست آمده، می توان برای ارزیابی مقاومت فشاری ملات های اصلاح شده با پلیمر SBR، با به کارگیری آزمون نیمه مخرب "کشیدن از سطح" و استفاده از منحنی کالیبراسیون خطی شکل (۱۳) با معادله $y = 0.063x$ و در محدوده اطمینان بالا مقدار مقاومت فشاری ملات های اصلاح شده با پلیمر را تعیین نمود.

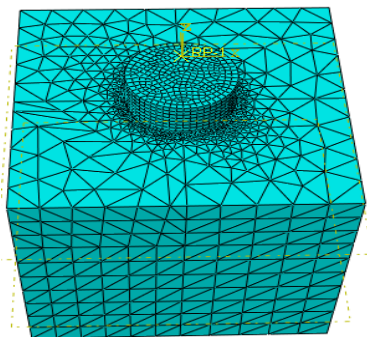


Fig. 15.b. Pull-off meshing.

یک نمونه ملات که دارای مقاومت فشاری ۴۷/۶ مگاپاسکال است برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. در روش اجزا محدود برای آزمون "انتقال اصطکاک"، بیشترین گشتاوری که باعث شکست شد برابر ۱۰۷ نیوتن متر به دست آمد. مطابق شکل (۱۶-الف)، اولین ترک‌ها در نمونه در گشتاور ۵۴ نیوتن متری در کناره‌های نمونه و از گوشه‌ها که تحت بیشترین گشتاور هستند شروع می‌شود. سپس مطابق شکل (۱۶-ب)، گشتاور با افزایش دوران افزایش پیدا می‌کند تا اینکه به میزان ۱۰۷ نیوتن برسد که در این لحظه ترک‌ها به یکدیگر رسیده و خرابی رخ می‌دهد.

شکل ۱۶-الف. لحظه شروع ترک‌ها در آزمون انتقال اصطکاک

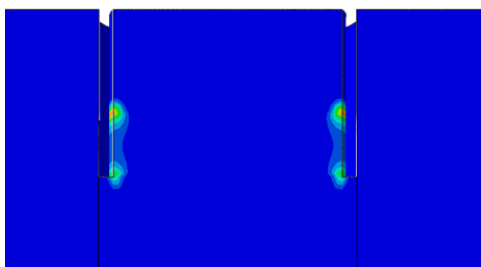


Fig. 16.a. Crack initiation.

شکل ۱۶-ب. لحظه شکست مغزه در آزمون انتقال اصطکاک

۴-۴- مدل‌سازی آزمون‌های درجای "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح"

در تحلیل‌های اجزا محدود، نوع مش‌بندی و همگرایی آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. با کاهش دادن ابعاد المان‌ها، حل مساله به یک جواب واحد همگرا می‌شود. در آزمون‌های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح"، مش‌بندی در قطعه مکعبی ملات به صورت ترکیبی از دو نوع المان C3D8R و C3D4 است. بخش اصلی در مدل‌سازی که تحت کشش یا فشار قرار می‌گیرد با المان مکعبی ۸ گرهی و با انتگرال کاهش یافته C3D8R المان‌بندی شدند. در ابتدا، همگرایی مش‌بندی بین اندازه‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌متر انجام پذیرفت که المان ۱ میلی‌متر استفاده شد. همچنین بخش‌های کناری که با نوع المان تتراگونال ۴ گرهی پیوسته المان‌بندی شده‌اند با کمترین اندازه المان ۱ میلی‌متر در نواحی متصل به المان‌های اصلی و بیشترین اندازه المان ۱۵ میلی‌متر در کناره‌ها، المان‌بندی شدند. همچنین در آزمون "کشیدن از سطح"، قطعه چسب با اندازه المان ۲ میلی‌متر با نوع المان C3D8R و قطعه فولادی با اندازه المان ۲ میلی‌متر المان‌بندی شد. المان‌ها در راستای محوری برای قطعه فولادی برابر ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شدند (شکل ۱۵).

شکل ۱۵-الف. مش‌بندی نمونه انتقال اصطکاک

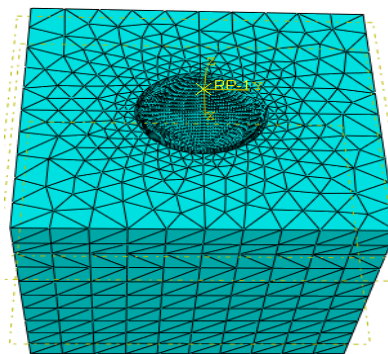


Fig. 15.a. Friction transfer meshing.

شکل ۱۵-ب. مش‌بندی نمونه کشیدن از سطح

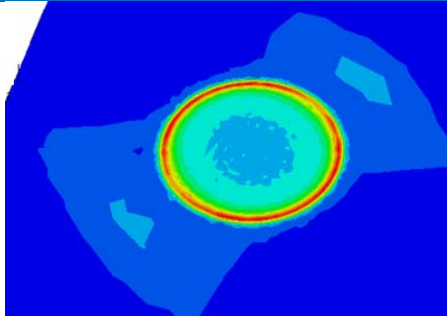


Fig. 17.b. Failure initiation.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش اقدام به ارزیابی مقاومت درجای ملات های اصلاح شده با پلیمر توسط آزمون های نیمه مخرب در سنین مختلف شده است. همچنین تاثیر پلیمر بر مقاومت خمشی، مقاومت فشاری، جمع شدگی ملات ها و چسبندگی بین ملات با فولاد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده در ادامه در دو قسمت ارائه شده است.

تاثیر پلیمر بر مقاومت ملات ها:

لا تفس SBR باعث افزایش مقاومت خمشی ملات ها شده اما تاثیر منفی روی مقاومت فشاری گذاشته است.

افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر به ملات ها باعث کاهش مقاومت فشاری ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۲۲/۴، ۲۵ و ۲۷/۹ درصد شده است.

افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پلیمر به ملات ها باعث افزایش مقاومت خمشی ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۲۴/۱، ۴۰/۳ و ۴۸/۶ درصد شده است.

با توجه به ضریب همبستگی بالا بین آزمون های درجا با آزمون های آزمایشگاهی، می توان برای ارزیابی مقاومت فشاری ملات های اصلاح شده با SBR، از آزمون های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" و به ترتیب با معادلات $y=0.063x$ و $y=0.113x$ استفاده نمود.

با انجام آنالیز اجزا محدود با نرم افزار ABAQUS مشاهده شد که همخوانی بالایی بین نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مدل سازی آزمون های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" با نرم افزار وجود دارد.

تاثیر پلیمر بر چسبندگی:

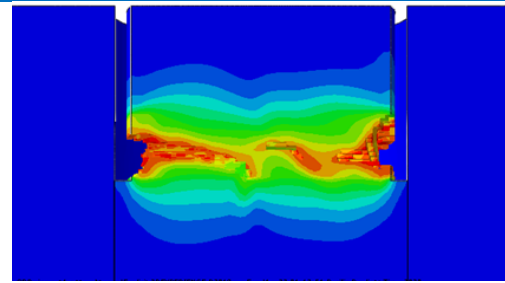


Fig. 16.b. Failure initiation.

در آزمون "کشیدن از سطح"، مطابق شکل (۱۷-الف)، در نیروی ۲۴۴۸ نیوتن، ترک های اولیه در کناره های محل اتصال استوانه فولادی به ملات شروع می شود. در نیروی ۳۸۱۴ نیوتن ترک به صورت چشم گیری رشد پیدا کرده است. در نهایت مطابق شکل (۱۷-ب)، در نیروی ۴۵۵۵ نیوتن، مدل به نیروی بحرانی رسیده و پس از آن، رشد ترک افزایش پیدا کرده و نیروی فرایند کاهش پیدا می کند تا زمانی که مدل به شکست کامل برسد.

با مقایسه نتایج حاصل از آزمایشگاه با نتایج به دست آمده از روش اجزا محدود مشاهده می شود که نتایج دارای هم خوانی بالایی هستند. در آزمون "کشیدن از سطح"، نیروی نهایی وارد به مغزه برابر ۴۵۰۰ نیوتن به دست آمد که بسیار نزدیک به نیروی به دست آمده از روش اجزا محدود برابر ۴۵۰۰ نیوتن است. همچنین در روش "انتقال اصطکاک"، گشتاور آزمایشگاهی و اجزا محدود به ترتیب برابر ۱۱۵ و ۱۰۷ نیوتن متر است که دارای اختلاف ناچیزی هستند.

شکل ۱۷-الف. لحظه شروع ترک ها در آزمون کشیدن از سطح

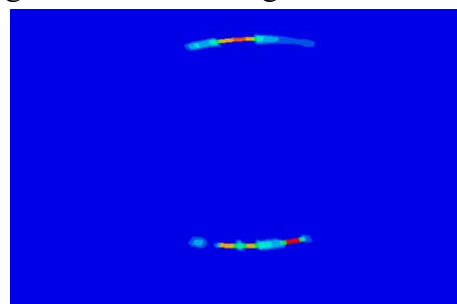


Fig. 17.a. Crack initiation.

شکل ۱۷-ب. لحظه شکست مغزه در آزمون کشیدن از سطح

- [8] ASTM C597-16. (2016) Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [9] ACI Committee 214, Report 214.4R-03. (2003) Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results, American Concrete Institute.
- [10] ASTM C900-15. (2015) Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [11] Masi. A., Digrisolo. A., Santarsieo. G. (2013). arsiero, "Experimental evaluation of drilling damage on the strength of cores extracted from RC buildings. in Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 7(7). p. 749.
- [12] Naderi, M. (2005). "Friction-Transfer Test for the Assessment of in-situ Strength & Adhesion of Cementitious Materials", Construction & Building Materials, 19 (6) 454-459.
- [13] Naderi M. (2007) New Twist-Off Method for the Evaluation of In-Situ Strength of Concrete, Journal of Testing and Evaluation. 35(6). ISSN: 0090-3973.
- [14] ASTM C1583, (2004). 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.
- [15] Saberi Varzaneh. A., and Naderi. M. (2021) The Effect of Precompression on Adhesion between Concrete and Fiber-Reinforced Mortars and Assessment of Compressive Strength of Mortars Using In-Situ Tests. Sharif Journal of Civil Engineering. Article in press.
- [16] Saberi Varzaneh. A., and Naderi. M. (2021) Numerical and experimental study of in-situ methods to evaluate the mechanical properties of fiber-reinforced mortars. Amir Kabir Journal of Civil Engineering. 10.22060/ajce.2020.18319.5672.
- [17] Saberi Varzaneh. A., and Naderi. M. (2020) DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF REPAIR MORTARS USING IN SITU METHODS UNDER DIFFERENT CURINGS. EUREKA: Physics and Engineering. Number 2. 10.21303/2461-4262.2020.001190.

- افزودن استایرن بوتادین رابر به ملات تعمیری باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" بین ملات و فولاد در سنین ۷، ۲۴ و ۹۰ روز به ترتیب برابر ۴۴/۴، ۱۷۸/۲ و ۳۰۳/۱ درصد شده است.

افزودن SBR به ملات تعمیری باعث افزایش مقاومت چسبندگی کششی حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" بین ملات و فولاد در سنین ۷، ۲۴ و ۹۰ روز به ترتیب برابر ۵۸/۷، ۱۸۳/۴ و ۲۹۱/۲ درصد شده است.

- با مقایسه ملات‌های اصلاح شده با پلیمر و ملات معمولی مشاهده می‌شود که در سن ۹۰ روز، افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد SBR به ترتیب باعث کاهش مقدار جمع‌شدگی به مقدار ۳۵/۳، ۴۱/۲ و ۴۵/۴ درصد شده است.

مراجع

- [1] Doğan, M., & Bideci, A. (2016). "Effect of Styrene Butadiene Copolymer (SBR) admixture on high strength concrete". Construction and Building Materials, Vol. 112. pp 378-385.
- [2] Ahmed, S.A., Hawraa, S.J., Inas, S.M. (2012). "Improvement the Properties of Cement Mortar by Using Styrene Butadiene Rubber Polymer". Engineering and Development, Vol. 16(3), pp. 61-72.
- [3] Shuyi, Y., Yong, G. (2012). "Effect of Styrene Butadiene Rubber Latex on Mortar and Concrete Properties". Advanced Engineering Forum, Vol. 5, pp. 283-288.
- [4] Knapen, E., & Van Gemert, D. (2015). "Polymer film formation in cement mortars modified with water-soluble polymers". Cement and Concrete Composites, 58, 23-28.
- [5] Çavdar, A., Sevin, S., Kaya, Y., Bingöl, Ş. (2014). "The Effects of Cure Conditions on Mechanical Properties of Polymer Modified Cement Mortars". Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering, Vol. 2(2), pp. 79-85.
- [6] Afridi, M.U.K., Ohama, Y., Zafar Iqbal, M., Demura, K. (1995). "Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars". Cement And Concrete Composites, Vol. 17, pp. 113-118.
- [7] ASTM C808/C805M-18. (2018) Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.

- <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103405>.
- [30] Huang. L., Lihua. X., Chi. Y., Deng. F., Zhang. A. (2019) Bond strength of deformed bar embedded in steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*. Volume 218, Pages 176-192.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.096>.
- [31] Alok. A.D., Dhpande. D., and Kumar. R. (2020) Temperature effects on the bond behavior between deformed steel reinforcing bars and hybrid fiber-reinforced strain-hardening cementitious composite. *Cement and Concrete Composites*. Volume 233, 117337.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117337>.
- [32] Wanjie. Z., Jiongfeng. L., Dawei. L., and Guangwu. Zh. (2020) Bond Behavior between Steel Rebar and RCA Concrete after Exposure to Elevated Temperatures. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2020, Article ID 5230295, 10 pages.
<https://doi.org/10.1155/2020/5230295>.
- [33] Berthet, J.F. Yurtdas, I. Delmas, Y. Li n, A. (2011) Evaluation of the adhesion resistance between steel and concrete by push out test *International Journal of Adhesion & Adhesives* 31 75–83
- [34] ASTM 127-15. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [35] ASTM C136-01. (2001). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [36] C. ASTM C157. (2008). Test method for length change of hardened hydraulic cement mortar and concrete, West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials.
- [37] ASTM C490. (2011). Standard practice for use of apparatus for the determination of length change of hardened cement paste, mortar, and concrete, West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials.
- [38] ASTM C109, (2013). Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens), American Society for Testing and Materials.
- [18] Saberi Varzaneh. A., and Naderi. M. (2021) Experimental and Finite Element Study to Determine the Mechanical Properties and Bond Between Repair Mortars and Concrete Substrates. *J. Appl. Comput. Mech.*, 7(1). 10.22055/JACM.2020.32921.2101.
- [19] Naderi, M. (2006) “Assessing the Insitu Strength of Concrete, Using new Twist-off Method”, *Interntional Journal of Civil Engineering*, Vol.4, No. 2, 146-155.
- [20] Naderi, M. (2013) “New Method for Nondestructive Evaluation of Concrete Strength”, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(2): 438-447.
- [21] Naderi, M. (2011) “Using Twist-Off Method for Measuring Surface Strength of Concretes Cured under Different Environments”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23: 385-392.
- [22] Araujo, D.L. Danin, A.R. Melo, M.B. and Rodrigues, P.F. (2013) Influence of steel fibers on the reinforcement bond of straight steel. *Revista IBRACON de Estruturas e Materriais - RIEM*, v.6, n.2.
- [23] Neville, A.M., and J. J. Brooks. (2013) *Tecnologia do concreto*. Porto Alegre: Bookman.
- [24] Neville, A.M. (2012) *Properties of concrete*, fifth ed., Harlow, United Kingdom.
- [25] Naderi, M. (2008) Adhesion of Different Concrete Repair Systems Exposed to Different Environments, *J. Adhesion*. 84 78-104.
<https://doi.org/10.1080/00218460801888433>.
- [26] Koulouris, K., and Apostolopoulos, Ch. (2020) An Experimental Study on Effects of Corrosion and Stirrups Spacing on Bond Behavior of Reinforced Concrete. *Metals* 2020, 10, 1327; doi: 10.3390/met10101327.
- [27] Lin, H.; Zhao, Y.; Yang, J.-Q.; Feng, P.; Ozbolt, J.; Ye, H. (2019) Effects of the corrosion of main bar and stirrups on the bond behavior of reinforcing steel bar. *Constr. Build. Mater.* 225, 13–28.
- [28] Yousef, R.A., Mahmoud. G., Aref. A.A., and Mohamed. K. (2020) Bond behavior between concrete and steel rebars for stressed elements. *Ain Shams Engineering Journal*. Article in press.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.10.001>.
- [29] Chu. S.H., and Kwan, A.K.H. (2019) A new bond model for reinforcing bars in steel fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*. Volume 104, 103405.

- [39] ASTM C348-19. (2012). Standard test method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars. West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials.
- [40] A. M. Diab., H. E. Elyamany., A. H. Ali. Experimental investigation of the effect of latex solid/water ratio on latex modified co-matrix mechanical properties. Alexandria Engineering Journal. (2013) 52, 83-98.
- [41] Baoshan Huang, Hao Wu, Xiang Shu, E.G. Burdette, Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete, Construction and Building Materials 24 (5) (2010) 818-823.
- [42] H. Y. Jiang, Z. X. Liu, Research of Polymer Cement Concrete, J. Journal of Wu Han University of Technology, 18 (1996): 37-38.

Evaluation of mechanical properties of polymer modified mortars and their bond strength to steel

Ali Saberi Varzaneh^{1*}, Mahmood Naderi²

1- PhD, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- Professor, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Abstract

Today, the use of different kinds of polymer, as the modifier of some repair mortars properties, is growing. Given the damages to concrete structures, it is necessary to use appropriate repair layers. In concrete structures, concrete and steel are connected, and in most cases, repair layers are applied in direct connections with steel. Therefore, in this research, the shear and tensile bond strength between steel and styrene-butadiene rubber polymer modified mortars was measured using semi-destructive friction-transfer and pull-off tests. In the "pull-off" test, to determine the bond between the mortar and the steel, a core with a 50mm diameter and is first mounted on the test surface using a diamond drill bit and a metal cylinder with a diameter of 50 mm and a thickness of 20 mm is attached to the partial core. Then, the tensile force is applied to the cylinder by means of a "pull-off" device to make the partial core fail. To measure adhesion with friction transfer method, first a small core was created from the mortar surface to the steel substrate surface using the coring machine. Thereafter, the friction transfer metal device was fixed onto the core and the torsional moment was applied using a typical torque wrench in order to cause failure in the core. Moreover, the effect of polymer on the shrinkage of mortar was evaluated. Shrinkage is one of the important problems that negatively affects the adhesion of repair mortar and steel. Due to the fact that hydrated cement paste has capillary pores that contain some water, shrinkage occurs after this moisture leaves the pores. The effect of polymer on mortars was investigated by taking images with a scanning electron microscope and using the "Image-J" and "Origin" software programs. Afterward, in order to evaluate the mechanical properties of mortars, the in-situ compressive and flexural strengths of the mortars were determined, and the calibration curves were plotted by comparing them with standard laboratory tests. Then, relationships were proposed to convert the results of in-situ tests to the compressive and flexural strength of the polymer modified mortars. Eventually, the cracks and stresses that appeared in the mortars were provided using ABAQUS software. The obtained results indicated the effect of polymer in reducing the shrinkage of mortars and increasing the shear and tensile bond strength between steel and mortar, along with a high correlation coefficient between the measurements in the in-situ and laboratory tests. Comparing the modified mortars with polymer and ordinary mortar, it is observed that at the age of 90 days, adding 10, 15 and 20% of SBR reduced the amount of shrinkage to 35.3%, 4.2% and 45.4%, respectively. Addition of styrene butadiene rubber to the repair mortar increased the shear bond strength obtained from the "friction transfer" test between the mortar and steel at the ages of 7, 42 and 90 days by 44.4, 178.2 and 303.1%, respectively. Adding SBR to the repair mortar increased the tensile strength of the "pull-off" test between the mortar and the steel at the ages of 7, 42 and 90 days by 58.7, 183.4 and 291.2%, respectively. A good agreement was also observed between the numerical and experimental results.

Keywords: SBR, Mortar, Steel, ABAQUS, Friction transfer, Pull-off.