مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره بیست و دوم، شماره۴، سال ۱۴۰۱

بکارگیری آزمون انتقال اصطکاک برای بررسی مقاومت فشاری ملات های تعمیری و تأثیر پیش فشار بر چسبندگی بین ملات و بتن پایه

علی صابری ورزنه[۱]، محمود نادری[۲]

۱- دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین
۲- استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

profmahmoodnaderi@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۱۳ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۰**

چکیده

با توجه به آسیب های وارد شده به سازه‌های بتنی که ممکن است به دلیل عوامل مختلفی پدید آید، موادی برای تعمیر و تقویت این سازه‌ها مورد نیاز است. معمولاً برای ترمیم و تعمیر سازه‌های بتنی از ملات‌های پایه سیمانی استفاده می‌شود. جمع‌شدگی و تراکم نامناسب ملات‌های تعمیری می تواند باعث کاهش مقاومت چسبندگی بین ملات و بستر بتنی شود. فصل مشترک ملات و بستر دارای اهمیت فراوانی است، زیرا عدم تراکم مناسب باعث ایجاد حفرات ریز بین سطح مشترک شده و یکی از عوامل اصلی در کاهش مقاومت چسبندگی است. پس در این پژوهش با اعمال پیش فشارهای متفاوت روی ملات تعمیری، تاثیر آن بر مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین ملات تعمیری و بستر بتنی با استفاده از آزمون های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" مورد بررسی قرار گرفته است. برای ساخت ملات‌های تعمیری از نسبت سیمان به ماسه برابر ۱ به ۳ و نسبت آب به سیمان نیز برابر ۰/۵ استفاده شده است. همچنین تاثیر عمل آوری بر کاهش جمع‌شدگی ملات‌ها ارائه شده است. در ادامه نیز برای ارزیابی مقاومت فشاری درجای ملات‌های سیمانی از آزمون‌های نیمه‌مخرب "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" استفاده شده و با اندازه‌گیری ضریب همبستگی و رسم نمودارهای کالیبراسیون، معادلات تبدیل قرائت‌های حاصل از آزمون‌های نیمه مخرب به مقاومت فشاری ملات‌ها ارائه شده است. در انتها نیز با استفاده از نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS ترک¬ها و تنش¬های بوجود آمده در نمونه ها ارائه شدند. نتایج به دست آمده بیانگر این است که اعمال فشار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی مربع باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین لایه تعمیری و بتنی در سن ۹۰ روز به ترتیب برابر ۳۰/۱ و ۳۱/۴ درصد شده است. با استفاده از معادلات $y=10x-0.805$ و $y=17.32x+1.83$ به ترتیب می‌توان با جایگذاری نتایج حاصل از آزمون‌های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" در معادله به جای عبارت x، مقاومت فشاری ملات تعمیری را تعیین نمود.

واژگان کلیدی: انتقال اصطکاک، پیش فشار، چسبندگی، ملات.

۱- مقدمه

با توجه به استفاده فوق‌العاده زیاد از بتن آرمه در ساخت بسیاری از سازه‌ها، پس عواملی از جمله آب و هوا، رطوبت، حجوم سولفات‌ها، اشتباهات اجرایی و بسیاری دیگر از موارد وجود دارد که می‌تواند باعث خرابی قسمتی از المان بتنی شود. در نتیجه همواره احتیاج به ترمیم و بهسازی سازه‌های بتنی امری اجتناب ناپذیر است. یکی از مشکلات موجود پس از اعمال لایه تعمیری روی بتن، چسبندگی بین ملات تعمیری و بستر

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

بتنی است. وجود مواردی از جمله جمع‌شدگی لایه‌های تعمیری و خروج رطوبت از آن‌ها باعث کاهش مقاومت چسبندگی بین ملات و بستر شده و در نتیجه در طولانی مدت، آسیب‌های جدی به سازه و قسمت تعمیر شده وارد می‌شود. پس استفاده از مصالح و روش‌هایی که بتوان از جمع‌شدگی بیش از حد ملات تعمیری در طولانی مدت جلوگیری نمود و همچنین مانع از افت چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر شد، الزامی است. در کل مقاومت چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر به سه قسمت چسبندگی شیمیایی، اصطکاکی و تداخل مکانیکی تقسیم می شود [1]. به طور خلاصه، چسبندگی مربوط به فعل و انفعالات شیمیایی بوده و اصطکاک و اتصال مکانیکی به ترتیب مربوط به حرکت بین سطوح و ناصافی های آن ها است.

همان‌گونه که ذکر شد، جمع‌شدگی یکی از مشکلات مهم است که تاثیر منفی روی مقدار چسبندگی ملات تعمیری و بستر بتنی می گذارد. جمع‌شدگی باعث ایجاد تنش کششی در داخل ملات می‌شود که با توجه به اینکه ملات‌ها دارای مقاومت کششی پایینی هستند پس دچار ترک خوردگی می‌شوند. جمع شدگی حاصل از خشک‌شدگی به دلیل از دست رفتن رطوبت داخل ملات است. با توجه به اینکه خمیر سیمان هیدراته شده دارای منافذ و تخلخل‌های بسیار ریزی است که حاوی مقداری آب هستند، بعد از خارج شدن این رطوبت از منافذ، جمع شدگی اتفاق می‌افتد [2]. بنا به تحقیقات انجام گرفته شکست‌های زودرس در سیستم‌های چند لایه بتنی بیشتر مربوط به عدم وجود سازگاری کافی مشخصه‌های لایه‌های تعمیری و بتن بستر است [3]. یکی از این مشخصه‌ها جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن است. بنا به گزارشات بعضی پژوهشگران تفاوت در مقدار جمع‌شدگی حادث بین لایه تعمیری و بتن قدیم، عامل اصلی نابودی چسبندگی بین این دو سیستم می‌شود [4]. با توجه به اینکه مخلوط‌های سیمانی تمایل به جمع‌شدگی دارند [5]، پس خشک‌شدگی زود هنگام بتن، باعث به وجود آمدن جمع‌شدگی و ترک‌های ریز در سطح بتن می‌شود [6]. برای اعضای بتنی که توسط اعضای مجاور محدود شده‌اند، ممکن است به دلیل جمع‌شدگی بیش از حد، ترک‌هایی نیز رخ دهد [7]. استفاده از روش‌های عمل آوری مرطوب می تواند موثر بوده و از خروج رطوبت از داخل ملات جلوگیری نماید. در تحقیق مشخص شد که چسبندگی بین بتن و ملات بدون عمل آوری حدود ۳/۵ برابر کاهش پیدا می‌نماید [8]. البته با توجه به اینکه جمع‌شدگی ملات‌ها برای مدت زمان طولانی ادامه دارد و عمل آوری حداکثر برای ۱۰ روز بیشتر انجام نمی‌پذیرد پس باید از راه حل های اضافی برای حفظ چسبندگی بین ملات و بستر استفاده نمود .

یکی از عوامل موثر در افزایش چسبندگی بین ملات و بتن، تراکم مناسب ملات تعمیری در هنگام اعمال آن روی بستر بتنی است. فصل مشترک ملات و بستر دارای اهمیت فراوانی است، زیرا عدم تراکم مناسب باعث ایجاد حفرات ریز بین سطح مشترک شده و یکی از عوامل اصلی در کاهش مقاومت چسبندگی است.

در مطالعه‌ای در مورد تأثیر عملیات تراکم بر مقاومت بتن خود متراکم مشاهده شد که فشردگی مناسب، مقاومت فشاری بتن را حدود ۵ درصد افزایش می‌دهد [9]. در مطالعه دیگری که مقاومت بتن‌های مختلف متراکم شده را ارزیابی کرد، به این نتیجه رسید که نتایج مقاومت فشاری آزمایشات اشمیت، اولتراسونیک و چکش به شدت تحت تأثیر روش تراکم است [10]. همچنین در مطالعه دیگری در مورد تأثیر فشار بر مقاومت فشاری بتن‌های معمولی مشخص شد که چگالی مناسب باعث افزایش مقاومت فشاری بین ۴ تا ۸ مگاپاسکال می‌شود [11].

پس در این تحقیق با اعمال پیش فشارهای متفاوت روی ملات تعمیری، تاثیر آن بر مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین ملات تعمیری و بستر بتنی با استفاده از آزمون‌های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در ادامه برای ارزیابی مقاومت فشاری ملات های تعمیری، از آزمون‌های درجا و نیمه مخرب استفاده شده است. بیشتر تحقیقات انجام شده برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری ملات‌های تعمیری، با روش‌های مخرب و محدود آزمایشگاهی است. در صورتی‌که آزمون‌های آزمایشگاهی برای شرایط خاص بوده و عواملی از جمله شرایط واقعی سازه، عدم توجه

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

به نوع عمل آوری، رطوبت و تفاوت دما نمی‌تواند در این آزمون‌ها معرف ملات به کار رفته در قسمت‌های مختلف سازه باشد. با استفاده از روش‌های مخرب، نیمه مخرب و غیر مخرب می‌توان مقاومت ملات‌ها را تعیین نمود. از آزمون‌های غیر مخرب می‌توان به چکش اشمیت [12] و روش اولتراسونیک [13] اشاره نمود اما این روش‌ها به صورت غیر مستقیم، مقاومت را تعیین می‌نمایند. آزمون‌های مخرب نیز مانند مغزه گیری [14] و بیرون کشیدن [15] به دلیل خساراتی که به سازه وارد نموده و عدم قابلیت تکرار دارای محدودیت است. البته در تحقیقات مشخص شده که مقاومت فشاری مغزه‌های گرفته شده از سازه، کمتر از مقاومت فشاری واقعی سازه است [16]. آزمون‌های نیمه مخرب مانند انتقال اصطکاک [17]، پیچش [18] و کشیدن از سطح [19]، با توجه به اینکه شکست در خود جسم مورد آزمایش اتفاق می افتد پس نتایج آن‌ها نسبت به آزمون‌های غیر مخرب دارای اعتبار بالاتری است.

در برخی از تحقیقات از آزمون‌های انتقال اصطکاک و کشیدن از سطح برای بررسی مقاومت چسبندگی برشی و کشیی و مقایسه مقاومت فشاری ملات های تقویت شده با الیاف و ملات های اصلاح شده با پلیمر با نتایج آزمایشات فوق استفاده شده است که ضریب همبستگی بسیار بالایی بین نتایج بدست آمده است.

در تحقیقی با استفاده از عمل آوری‌های مختلف، اقدام به بررسی چسبندگی بین ملات‌های معمولی با بتن بستر شد و مشاهده شد که یک هفته عمل آوری تاثیر مثبت اندکی در مقاومت چسبندگی طولانی مدت دارد [20]. در تحقیقی دیگر روی تاثیر پلیمر SBR بر چسبندگی بین ملات ها و بتن مشخص شد که افزودن ۱۵ درصد پلیمر باعث افزایش حدود ۲٫۵ برابری چسبندگی در سن ۹۰ روز می‌شود [21-22]. در یک پژوهش با استفاده از آزمون انتقال اصطکاک مشخص شد که در سنین بالا، عدم عمل‌آوری باعث جدا شدن ملات‌های تعمیری از بتن بستر می‌شود [23-24]. با استفاده از آزمون‌های مختلف مشخص شد که افزودن الیاف پلی پروپیلن به ملات‌های تعمیری باعث افزایش حدود ۹۰ درصدی چسبندگی بین ملات‌های تعمیری و فولاد می شود [25-27]. در تحقیقی با استفاده از آزمون انتقال اصطکاک مشخص شد که افزودن الیاف باعث افزایش حدود ۵۰ درصدی چسبندگی بین ملات و بستر بتنی می‌شود [28]. همچنین در پژوهشهای زیادی برای درستی‌آزمایی آزمون‌های نوین پیچش و انتقال اصطکاک، اقدام به مدل‌سازی این روش‌ها توسط نرم افزارهای اجزا محدود شده و همچنین نتایج به دست آمده با نتایج روش‌های استاندارد مورد مقایسه قرار گرفته است که نشان از دقت بالای آزمون های فوق است [29-34].

در این تحقیق در قسمت اول با استفاده از آزمون‌های انتقال اصطکاک و کشیدن از سطح تاثیر پیش فشار بر چسبندگی بین ملات‌های تعمیری و بستر بتنی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین جمع‌شدگی ملات تعیین و تاثیر آن بر مقاومت چسبندگی ارائه شده است. در ادامه با استفاده از آزمون‌های نیمه مخرب، مقاومت فشاری ملات‌ها در سنین مخرب و به صورت درجا ارزیابی شده است. با اندازه‌گیری ضریب همبستگی و رسم نمودارهای کالیبراسیون، معادلات تبدیل نتایج آزمون‌های درجا به آزمون‌های آزمایشگاهی ارائه شده است. برای درستی‌آزمایی نتایج نیز با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS توزیع تنش‌ها و ترک‌ها در اعمال آزمون‌های انتقال اصطکاک و کشیدن از سطح روی ملات ها نشان داده شده است.

۲- کارهای آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

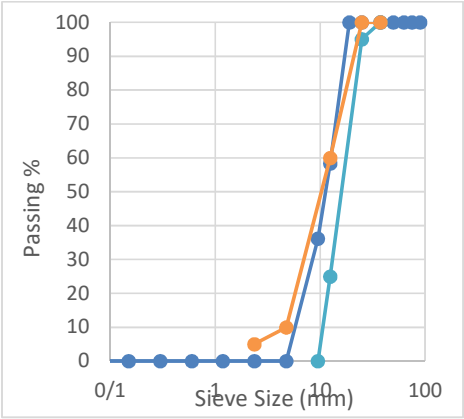
مواد و مصالح مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: سیمان تیپ ۲ محصول کارخانه سیمان آبیک، ماسه از معادن شهریار، آب آشامیدنی شهر قزوین، شن از معادن قزوین، چسب دو جزئی از نوع رزین‌های اپوکسی با ترکیب حجمی یک به یک و مواد عمل‌آورنده از نوع پلی‌اولفین. دانه‌بندی سنگدانه‌ها طبق استاندارد ASTM C136 [35] انجام پذیرفت. میزان جذب آب شن و ماسه بر اساس استانداردهای ASTM C127 [36] و ASTM C128 [37] به ترتیب برابر ۳/۲ و ۲/۶ درصد بدست آمد. چگالی شن و ماسه در حالت اشباع با سطح خشک به ترتیب برابر ۲۳۳۰ و ۲۵۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. نمودار دانه‌بندی شن و ماسه در شکل (۱) نشان داده شده است.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

شکل ۱: دانه‌بندی سنگدانه‌ای مصرفی

الف)دانه‌بندی شن



ب)دانه‌بندی ماسه

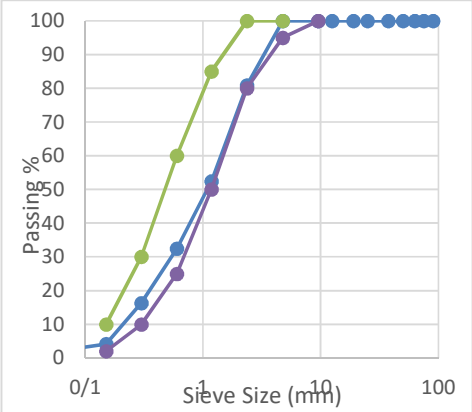


Fig. 1. The grain size distribution of the used aggregates

مشخصات مکانیکی چسب رزین اپوکسی در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات مکانیکی چسب رزین اپوکسی دو جزئی

Modulus of Elasticity	7-Day Compressive Strength	Shear Strength	Setting Time	
			35°C	25°C
12750 MPa	70 MPa	15 MPa	4 h	10 h

Table 1. The mechanical properties of the two-part resin epoxy paste

مشخصات شیمیایی سیمان در جدول (۲) قابل مشاهده است.

جدول ۲. مشخصات شیمیایی سیمان

Chemical properties	Fe2O3	SiO2	Al2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	MgO	LOI	C3A
Weight (%)	3.84	21.05	4.81	62.44	0.74	0.26	1.99	3.20	1.89	6.25

Table 2. The cement chemical properties

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

طرح اختلاط بتن بستر نیز در جدول (۳) نشان داده شده است [38].

جدول ۳. نسبت‌های وزنی بتن بستر (کیلوگرم بر متر مکعب)

Cement	Gravel	Sand	Water	W/C Ratio	Super plasticizer
534	664	835	187	0.35	2.61

Table 3. Weight ratios of the substrate concrete (kg/m3)

مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن بستر برابر ۵۷ مگاپاسکال به دست آمده است. برای ساخت ملات‌های تعمیری اعمال شده بر بستر بتنی از نسبت سیمان به ماسه برابر ۱ به ۳ استفاده شده است. نسبت آب به سیمان نیز برابر ۰/۵ است. مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات‌ها برابر ۴۷/۶ مگاپاسکال محاسبه شد. به علت ثابت نبودن رطوبت سنگدانه‌ها در فضای آزاد، ابتدا شن و ماسه به مدت هفتاد و دو ساعت در فضای آزمایشگاه قرار گرفتند و سپس همانطور که ذکر شد میزان جذب آب آن‌ها برای رسیدن به حالت اشباع محاسبه شد و سپس به آب اختلاط افزوده شد.

۲-۲- ساخت نمونه‌ها

نمونه‌های استاندارد آزمایشگاهی برای تعیین مقاومت فشاری ملات‌های تعمیری تهیه و به مدت ۲۴ ساعت در قالب قرار گرفتند. سپس از قالب خارج و تا زمان آزمایش داخل آب گذاشته شدند. هم زمان نمونه‌های مورد نیاز برای ارزیابی مقاومت فشاری ملات‌ها با به کارگیری آزمون‌های نیمه مخرب تهیه و داخل آب قرار گرفتند. برای تعیین مقاومت چسبندگی بین ملات های تعمیری و بستر بتنی، ملات‌ها به ضخامت ۲۵ میلی‌متر روی بستر بتنی 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 همزمان نمونه‌های منشوری استاندارد برای اندازه‌گیری جمع‌شدگی ملات‌ها تهیه و به مدت یک هفته در عمل آوری با آب گذاشته شدند. برای اعمال پیش فشار روی ملات‌های تعمیری، ابتدا ملات‌های تعمیری روی بستر بتنی اعمال شد، سپس فشارهای مختلف به مدت ۲۴ ساعت روی ملات اعمال شد. فشارهای وارد شده برابر ۰/۱، ۰/۵، ۵ و ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است. به عبارتی به ترتیب حدود ۲۵، ۱۰۰، ۱۱۰۰ و ۲۲۵۰ کیلوگرم وزنه روی ملات‌ها قرار گرفت. وزنه‌های ۲۵ و ۱۰۰ کیلوگرمی به صورت دستی روی ملات‌ها قرار گرفت و وزنه های ۱۱۰۰ و ۲۲۵۰ توسط جک فشاری بتن شکن اعمال شد. ملات‌ها به مدت ۷ روز در عمل آوری داخل آب قرار گرفته و سپس تا زمان آزمایش در محوطه آزمایشگاه نگهداری شدند. آزمایش‌ها در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز انجام پذیرفت.

۳-۲- روش‌ها

برای به دست آوردن میزان جمع‌شدگی نمونه‌ها از استانداردهای ASTM C157 [39] و ASTM C490 [40] استفاده شده است. قالب‌های جمع‌شدگی ملات به صورت منشوری با مقطع مربعی ۲۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۸۵ میلی متر است (شکل ۲). مقایسه کننده طول برای تعیین تغییرات طول نمونه‌های ساخته شده در قالب‌ها باید مجهز به یک اندازه‌گیر عقربه‌ای یا هر وسیله اندازه‌گیری مدرج دیگری برای قرائت ۰/۰۰۲ میلی‌متر یا کمتر باشد. مطابق با استاندارد، باید برای هر نمونه حداقل ۳ آزمونه ساخته شود. برای اندازه‌گیری مقدار جمع‌شدگی بر حسب درصد از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

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

که در آن، L تغییر طول نمونه، Lx قرائت نمونه منهای قرائت میله مرجع، Li قرائت اولیه نمونه منهای قرائت میله مرجع و G برابر طول میله مرجع است.

شکل ۲: قالب منشوری جمع‌شدگی

Fig. 2. The prismatic specimen of shrinkage

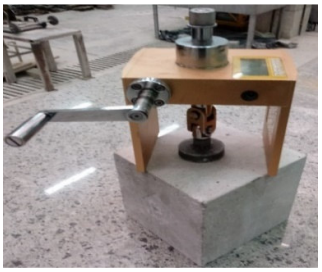
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

برای ارزیابی مقاومت فشاری ملات‌ها 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 ترکمتر معمولی، به دستگاه مذکور لنگر پیچشی اعمال می شود تا مغزه جزئی دچار شکست شود (شکل ۳- الف). برای ارزیابی مقاومت فشاری ملات‌ها توسط آزمون "کشیدن از سطح" نیز یک استوانه فولادی به قطر ۵۰ میلی متر روی سطح ملات چسبانده می‌شود، سپس با استفاده از دستگاه به استوانه نیروی کششی اعمال می‌شود تا استوانه از سطح ملات جدا شود (شکل ۳- ب) .

شکل ۳. ارزیابی مقاومت فشاری ملات‌ها

الف) روش "انتقال اصطکاک"



ب) روش "کشیدن از سطح"

Fig. 3. Evaluation of the compressive strength of mortars

برای اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی برشی بین لایه‌های تعمیری و سطوح بتنی با روش "انتقال اصطکاک"، ابتدا باید مغزه جزئی در سطح لایه تعمیری به گونه‌ای ایجاد کرد که عمق مغزه جزئی حدود پنج میلی‌متر به درون بستر بتنی ادامه یابد. پس از تعبیه مغزه جزئی، دستگاه فلزی "انتقال اصطکاک" روی مغزه جزئی مذکور قرار داده می‌شود. سپس با بکارگیری یک پیچش‌سنج دستی معمولی، به دستگاه فلزی، لنگر پیچشی وارد می‌شود تا مغزه جزئی دچار شکست شود (شکل ۴- الف). با توجه به لنگر پیچشی نهائی، با استفاده از رابطه بین تنش برشی (τ) و لنگر پیچشی (T)، مقدار چسبندگی لایه تعمیری را محاسبه می‌نماییم (رابطه ۲).

$$\tau = \frac{Tc}{J} \qquad (۲)$$

که در آن r شعاع مغزه جزئی و J ممان قطبی دوم سطح است .برای اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی کششی با روش "کشش مستقیم" ابتدا مغزه‌ای جزئی به قطر پنج سانتی‌متر تا داخل لایه بتن بستر انجام می‌گیرد. سپس یک استوانه فلزی به قطر پنج سانتی‌متر بر روی محل چسبانده شده و با استفاده از دستگاه کشیده می‌شود تا دچار شکست شود (شکل ۴- ب).

شکل ۴. اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی برشی و کششی بین ملات و بتن

الف) روش "انتقال اصطکاک"

ب) روش "کشش مستقیم"

Fig. 4. Measurement of the shear and tensile bond strength between the mortar and concrete

۳- نتایج بدست آمده و تحلیل آن‌ها

۳-۱- تاثیر پیش فشار بر مقاومت چسبندگی برشی

در این بخش با اعمال پیش فشار به ملات‌های تعمیری اعمالی روی بستر بتنی، تاثیر آن را بر مقاومت چسبندگی برشی و کششی ارزیابی می‌نماییم. ابتدا ملات‌های تعمیری روی بستر بتنی اعمال شده، سپس فشارهای مختلف به مدت ۲۴ ساعت روی ملات اعمال شد. فشارهای وارد شده برابر ۰/۱، ۰/۵، ۵ و ۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. به عبارتی به ترتیب

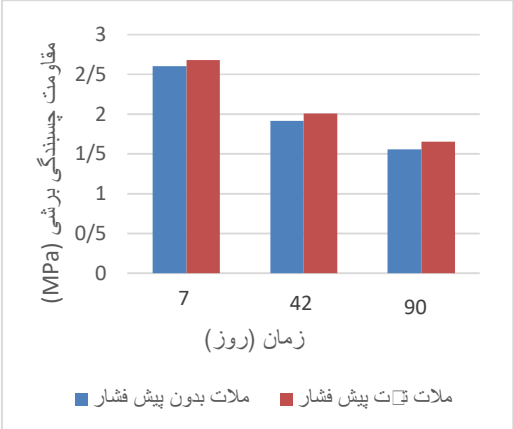
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

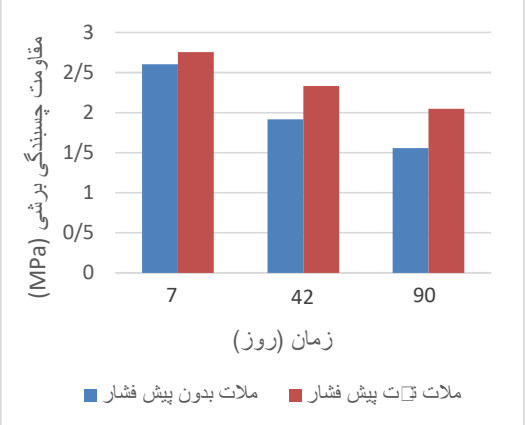
حدود ۲۵، ۱۰۰، ۱۱۰۰ و ۲۲۵۰ کیلوگرم وزنه روی ملات‌ها قرار گرفت. وزنه‌های ۲۵ و ۱۰۰ کیلوگرمی به صورت دستی روی ملات‌ها قرار گرفت و وزنه‌های ۱۱۰۰ و ۲۲۵۰ توسط جک فشاری بتن شکن اعمال شد. ملات‌ها به مدت ۷ روز در عمل آوری داخل آب قرار گرفته و سپس تا زمان آزمایش در محوطه آزمایشگاه نگهداری شدند. آزمایش‌ها در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز انجام پذیرفت.

در شکل (۵) نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" برای تعیین مقاومت چسبندگی برشی برای ملات تحت فشارهای متفاوت نشان داده شده است.

شکل ۵: نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" برای ملات تحت پیش فشارهای متفاوت



الف) فشار ۰/۱ کیلو گرم بر سانتی متر مربع



ب) فشار ۰/۵ کیلو گرم بر سانتی متر مربع

Fig. 5. The results of the friction-transfer tests on mortars under different prestresses

از شکل (۵–الف) ملاحظه می‌شود که اعمال پیش فشار ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع روی ملات باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی بین ملات تعمیری و بستر بتنی حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" در سنین مختلف شده است. البته مقدار افزایش مقاومت چسبندگی برشی، چشمگیر نیست. مقاومت چسبندگی برشی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز برای ملات بدون پیش فشار به ترتیب برابر ۲/۶۱، ۱/۹۲ و ۱/۵۶ مگاپاسکال است در حالیکه برای ملات تحت پیش فشار ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در سنین مذکور به ترتیب برابر ۲/۶۸، ۲/۰۱ و ۱/۶۵ مگاپاسکال است. ملاحظه می‌شود که اعمال ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی مربع باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز به ترتیب برابر ۲/۷، ۴/۶ و ۵/۸ درصد است.

از شکل (۵–ب) ملاحظه می‌شود که اعمال پیش فشار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع روی ملات باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی بین ملات تعمیری و بستر بتنی حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" در سنین مختلف شده است. مقاومت چسبندگی برشی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز برای ملات بدون پیش فشار به ترتیب برابر ۲/۶۱، ۱/۹۲ و ۱/۵۶ مگاپاسکال است در حالیکه برای ملات تحت پیش فشار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در سنین مذکور به ترتیب برابر ۲/۷۶، ۲/۳۳ و ۲/۰۵ مگاپاسکال است. ملاحظه می‌شود که اعمال ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی مربع باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز به ترتیب برابر ۵/۷، ۲۱/۳ و ۳۱/۴ درصد است.

ملاحظه می‌شود که اعمال پیش فشار روی ملات باعث افزایش چسبندگی بین ملات تعمیری و بستر بتنی شده است. البته در فشار ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، مقدار افزایش، چشمگیر نیست اما در فشار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، مقدار افزایش مقاومت چسبندگی بیشتر است به ویژه در سنین بالا این افزایش بیشتر به چشم می‌آید. دلیل افزایش مقاومت چسبندگی بین ملات و بتن بستر تحت پیش فشار می‌تواند به دلیل تراکم بیشتر ملات در فشار باشد زیرا یکی از عوامل مهم بر مقدار چسبندگی، میزان فشردگی لایه تعمیری است. همچنین با اعمال پیش فشار، امکان تماس ذرات تشکیل دهنده ملات با

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]
[DOI: 10.22034/22.4.12]

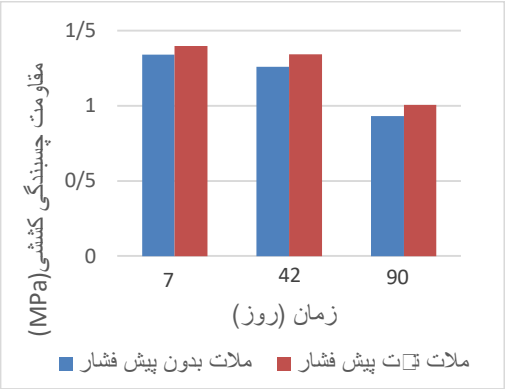
سطح بتن بستر بیشتر شده و همین امر سبب افزایش مقاومت چسبندگی می‌شود. در پیش فشارهای بالا (۵ و ۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) تاثیر مثبتی روی چسبندگی مشاهده نشده و پس نتایج ذکر نشد. البته یکی از دلایل آن به علت خروج دوغاب داخل ملات در هنگام اعمال فشار بود که علاوه بر تلاش هایی که انجام شد برای حفظ دوغاب، اما این اتفاق رخ داد.

ملاحظه می‌شود که اعمال پیش فشار روی ملات باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی بین ملات تعمیری و بستر بتنی شده است. البته در فشار ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، مقدار افزایش، چشمگیر نیست اما در فشار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، مقدار افزایش مقاومت چسبندگی برشی بیشتر است به ویژه در سنین بالا این افزایش بیشتر به چشم می‌آید. دلیل افزایش مقاومت چسبندگی برشی بین ملات و بتن بستر تحت پیش فشار می‌تواند به دلیل تراکم بیشتر ملات در فشار باشد زیرا یکی از عوامل مهم بر مقدار چسبندگی، میزان فشردگی لایه تعمیری است. همچنین با اعمال پیش فشار، امکان تماس ذرات تشکیل دهنده ملات با سطح بتن بستر بیشتر شده و همین امر سبب افزایش مقاومت چسبندگی می‌شود. در پیش فشارهای بالا (۵ و ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) تاثیر مثبتی روی چسبندگی مشاهده نشد و پس نتایج ذکر نشد. البته یکی از دلایل آن به علت خروج دوغاب داخل ملات در هنگام اعمال فشار بود که علاوه بر تلاش‌هایی که انجام شد برای حفظ دوغاب، اما این اتفاق رخ داد.

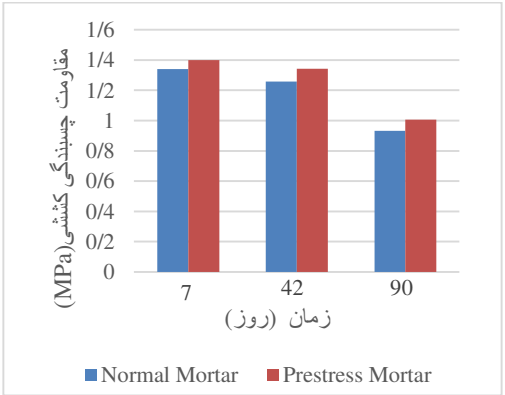
۲-۳ -تاثیر پیش فشار بر مقاومت چسبندگی کششی

در شکل (۶) نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" برای تعیین مقاومت چسبندگی کششی برای ملات تحت فشارهای مختلف نشان داده شده است. از شکل (۶-الف) ملاحظه می شود که اعمال پیش فشار ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع روی ملات باعث افزایش مقاومت چسبندگی کششی بین ملات تعمیری و بستر بتنی حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" در سنین مختلف شده است. البته مقدار افزایش مقاومت چسبندگی برشی، چشمگیر نیست. مقاومت چسبندگی کششی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز برای ملات بدون پیش فشار به ترتیب برابر ۱/۳۴، ۱/۲۶ و ۰/۹۳ مگاپاسکال است در حالی‌که برای ملات تحت پیش فشار ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در سنین مذکور به ترتیب برابر ۱/۴، ۱/۳۴ و ۱ مگاپاسکال است. ملاحظه می‌شود که اعمال ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باعث افزایش مقاومت چسبندگی کششی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز به ترتیب برابر ۴/۵، ۶/۳ و ۷/۵ درصد می باشد.

شکل ۶: نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" برای ملات تحت پیش فشارهای متفاوت



الف) فشار ۰/۱ کیلو گرم بر سانتی متر مربع



ب) فشار ۰/۵ کیلو گرم بر سانتی متر مربع

Fig. 6. The results of the pull-off tests on mortars under different prestresses

از شکل (۶-ب) ملاحظه می‌شود که اعمال پیش فشار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع روی ملات باعث افزایش مقاومت چسبندگی کششی بین ملات تعمیری و بستر بتنی حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" در سنین مختلف شده است. مقاومت چسبندگی کششی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز برای ملات بدون

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

پیش فشار به ترتیب برابر ۱/۳۴، ۱/۲۶ و ۰/۹۳ مگاپاسکال است در حالیکه برای ملات تحت پیش فشار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در سنین مذکور به ترتیب برابر ۱/۴۳، ۱/۴ و ۱/۲۱ مگاپاسکال است. ملاحظه می‌شود که اعمال ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی مربع باعث افزایش مقاومت چسبندگی کششی در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روز به ترتیب برابر ۶/۷، ۱۱/۲ و ۳۰/۱ درصد است.

مانند قسمت قبل ملاحظه می‌شود که اعمال پیش فشار روی ملات باعث افزایش مقاومت چسبندگی کششی بین ملات تعمیری و بستر بتنی شده است. البته در فشار ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، مقدار افزایش، چشمگیر نیست اما در فشار ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، مقدار افزایش مقاومت چسبندگی کششی بیشتر است به ویژه در سنین بالا این افزایش بیشتر به چشم می آید. دلیل افزایش مقاومت چسبندگی کششی بین ملات و بتن بستر تحت پیش فشار می تواند به دلیل تراکم بیشتر ملات در فشار باشد زیرا یکی از عوامل مهم بر مقدار چسبندگی، میزان فشردگی لایه تعمیری است. همچنین با اعمال پیش فشار، امکان تماس ذرات تشکیل دهنده ملات با سطح بتن بستر بیشتر شده و همین امر سبب افزایش مقاومت چسبندگی می‌شود. در پیش فشارهای بالا (۵ و ۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) تاثیر مثبتی روی چسبندگی مشاهده نشده و پس نتایج ذکر نشد. البته یکی از دلایل آن به علت خروج دوغاب داخل ملات در هنگام اعمال فشار بود که علاوه بر تلاش‌هایی که انجام شد برای حفظ دوغاب، اما این اتفاق رخ داد.

۳-۳ -جمع‌شدگی ملات‌ها حاصل از خشک شدن

نتایج به دست آمده از تعیین جمع‌شدگی ملات‌ها در ادامه نشان داده شده است. در شکل (۷) نمودار مربوط به جمع‌شدگی ملات در سنین مختلف و تحت ۷ روز عمل‌آوری نشان داده شده است. از شکل (۷) مشاهده می‌شود مقدار جمع‌شدگی ۹۰ روزه برای ملات تحت عمل‌آوری به صورت غرقاب داخل آب و رها شده در فضای آزاد به ترتیب برابر ۰/۰۸۲۲ و ۰/۲۱۹۶ درصد است. مقدار جمع‌شدگی، برای ملات قرار داده شده در فضای آزاد، به میزان ۶۲ درصد بیشتر از جمع‌شدگی ملات تحت عمل‌آوری در آب است. در سن ۴۲ روز، مقدار جمع‌شدگی این ملات در دو عمل‌آوری ذکر شده به ترتیب برابر ۰/۰۷۳۸ و ۰/۲۰۸۸ درصد می‌باشد. مشاهده می‌شود که قرار دادن نمونه در فضای آزاد باعث افزایش جمع‌شدگی به مقدار ۶۴ درصد نسبت به جمع‌شدگی نمونه تحت عمل‌آوری آب است

شکل ۷. نمودار جمع‌شدگی ملات

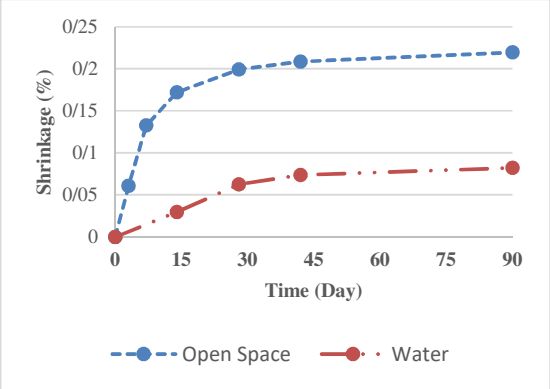


Fig. 7. Mortar shrinkage curve

۴-۳ -ارزیابی مقاومت فشاری ملات تعمیری

در این قسمت مقاومت فشاری ملات تعمیری در سنین ۷، ۴۲ و ۹۰ روزه که تا زمان آزمایش تحت عمل آوری های داخل آب و قرار گرفته در فضای آزاد قرار داشته اند بررسی شده است. در شکل ۸ رابطه بین مقاومت فشاری ملات تعمیری و نتایج حاصل از آزمون های "انتقال اصطکاک" نشان داده شده است.

شکل ۸. رابطه مقاومت فشاری ملات تعمیری با نتایج حاصل از آزمون‌های "انتقال اصطکاک"

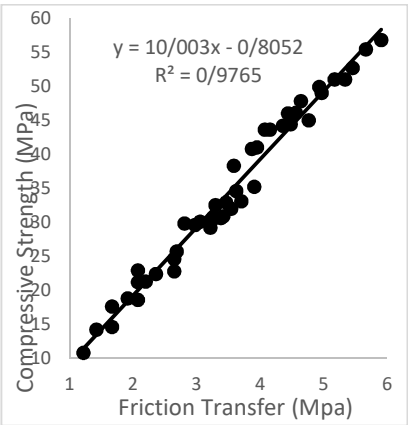


Fig. 8. The relationship between the compressive strength and the friction-transfer test results

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]
[DOI: 10.22034/22.4.12]

از شکل (۸) مشاهده می شود که نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" با مقاومت فشاری ملات تعمیری دارای ضریب تعیین ۰/۹۷ و ضریب همبستگی ۰/۹۸ است. با توجه به ضریب همبستگی بالای بین مقاومت فشاری ملات تعمیری با نتایج حاصل از روش های مذکور، به راحتی می‌توان با استفاده از آزمون درجای "انتقال اصطکاک"، مقاومت فشاری ملات را تعیین نمود. با توجه به نمودار شکل (۸) با استفاده از معادله y=10x-0.805 می‌توان با جایگذاری نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" در معادله به جای عبارتx ، مقاومت فشاری ملات تعمیری را تعیین نمود .در شکل (۹) رابطه بین مقاومت فشاری ملات تعمیری و نتایج حاصل از آزمون های "کشیدن از سطح" نشان داده شده است.

شکل ۹. رابطه مقاومت فشاری ملات تعمیری با نتایج حاصل از آزمون های "کشیدن از سطح"

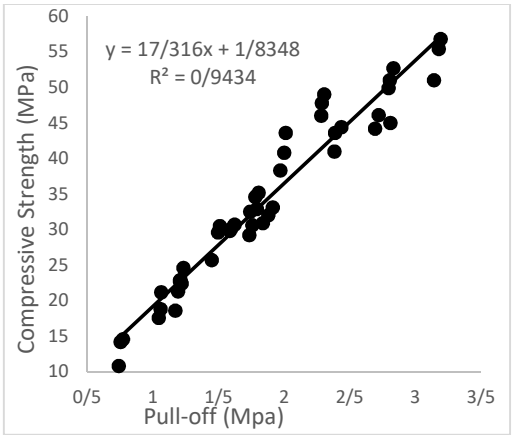


Fig. 9. The relationship between the compressive strength and the Pull-off test results

با توجه به شکل (۹) نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" با مقاومت فشاری ملات دارای ضریب تعیین و ضریب همبستگی به ترتیب برابر ۰/۹۴ و ۰/۹۷ است. با توجه به ضریب همبستگی بالای بین مقاومت فشاری ملات تعمیری با نتایج حاصل از روش های مذکور، به راحتی می‌توان با استفاده از آزمون درجای "کشیدن از سطح"، مقاومت فشاری ملات را تعیین نمود. با توجه به نمودار شکل (۹) با استفاده از معادله y=17.32x+1.83 می‌توان با جایگذاری نتایج حاصل از آزمون "کشیدن از سطح" در معادله به جای عبارت x، مقاومت فشاری ملات تعمیری را تعیین نمود.

۵-۳ -مدل‌سازی و تحلیل غیر خطی آزمون‌های نیمه مخرب

در نرم‌افزار آباکوس به صورت کاملا مجزا، ویژگی‌های رفتاری غیرالاستیک مصالح سیمانی توضیح داده شده است. یکی از مدل‌های موجود در برنامه آباکوس برای تحلیل و آنالیز بتن، مدل آسیب پلاستیک بتن (CDP) است که در این قسمت از تحقیق از آن استفاده شده است.

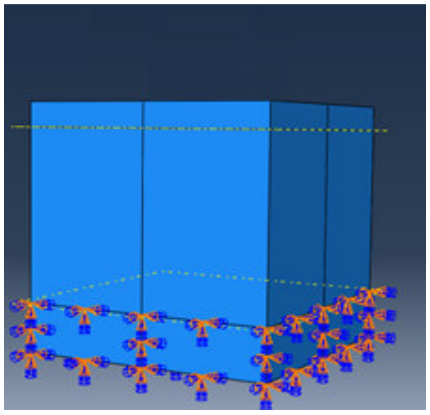
در تعریف رفتار بتن بعد از ترک‌خوردگی در کشش، طبق پیش فرض نرم افزار، مقدار احیای سخت شوندگی فشاری ضریب wc برابر یک در نظر گرفته شد. مقدار ضریب wt برابر صفر در نظر گرفته شده است تا از احیای سخت شوندگی کششی صرف‌نظر شود. برای معرفی مواد و منحنی تنش کرنش و مقادیر مورد نیاز از دستور Create Material استفاده شد. برای تعریف تکیه¬گاه¬ها در آزمون‌های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح"، با توجه به حالت مشابه در آزمایشگاه، شرایط مرزی در نرم افزار معرفی شدند. مطابق شکل (۱۰) برای آزمون "انتقال اصطکاک" قسمت پایینی نمونه گیردار شد و برای آزمون "کشیدن از سطح" بالای نمونه گیردار شد.

یکی از نکات مهم در مش‌بندی نمونه¬ها، همگرایی است. نتایج به دست آمده از حل یک مسئله در روش المان محدود همواره به سایز مش¬ها و اندازه¬های المان‌ها وابسته می¬باشد. با کاهش دادن ابعاد المان¬ها، می‌توان حل مساله را به یک جواب واحد همگرا نمود. در آزمون "انتقال اصطکاک" المان بندی در قطعه بتن به صورت ترکیبی از دو نوع المان C3D8R و C3D4 المان‌بندی شده است. بخش اصلی قطعه که تحت فشار یا کشش قرار می گیرد با المان مکعبی ۸ گرهی با انتگرال کاهش یافته C3D8R المان‌بندی شدند. اندازه المان در این بخش ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شده است که پس از همگرایی بین اندازه‌های و ۲ و ۱ و ۰/۵ میلی‌متر انتخاب شد.

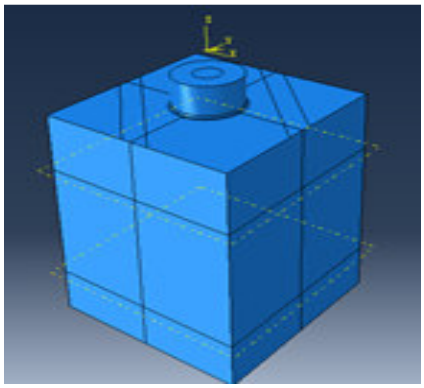
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

شکل ۱۰. تعریف شرایط مرزی



الف: آزمون "انتقال اصطکاک"

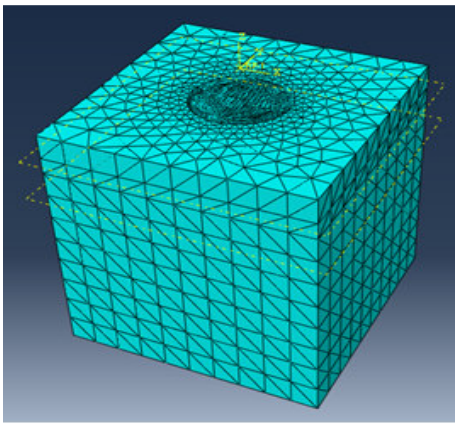


ب: آزمون "کشیدن از سطح"

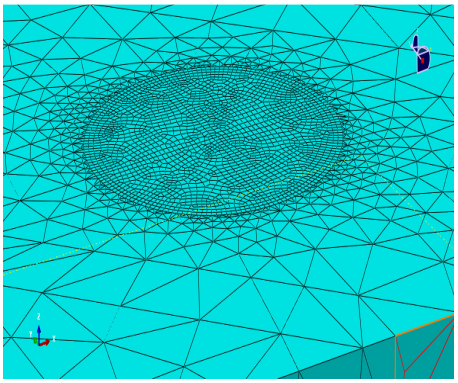
Fig. 10. Boundary conditions

بخش‌های کناری که با نوع المان تتراگونال ۴ گرهی پیوسته المان‌بندی شده‌اند با حداکثر اندازه المان ۱۵ میلی‌متر در کناره ها و حداقل اندازه المان ۱ میلی‌متر در محل‌های متصل به المان های اصلی المان‌بندی شدند. در آزمون "کشیدن از سطح" المان بندی در قطعه بتن به صورت ترکیبی از دو نوع المان C3D8R و C3D4 المان‌بندی شده است. بخش اصلی قطعه که تحت پیچش یا کشش قرار می‌گیرد با المان مکعبی ۸ گرهی با انتگرال کاهش یافته C3D8R المان‌بندی شدند. اندازه المان در این بخش ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شده است که پس از همگرایی بین اندازه های و ۲ و ۱ و ۰٫۵ میلی‌متر انتخاب شد. بخش‌های کناری که با نوع المان تتراگونال ۴ گرهی پیوسته المان‌بندی شده‌اند با حداکثر اندازه المان ۱۵ میلی‌متر در کنارها و حداقل اندازه المان ۱ میلی‌متر در محل‌های متصل به المان‌های اصلی المان‌بندی شدند. قطعه چسب نیز با اندازه المان ۲ میلی‌متر با نوع المان C3D8R و قطعه فولادی نیز با اندازه المان کلی ۲ میلی‌متر المان‌بندی شد. در قطعه فولادی المان‌ها در راستای محوری ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شدند (شکل ۱۱).

شکل ۱۱: المان بندی نمونه‌ها



الف: آزمون "انتقال اصطکاک"



ب: آزمون "کشیدن از سطح"

Fig. 11. Sample elementation

یک نمونه ملات آزمایش شده در آزمایشگاه با مقاومت فشاری مکعبی ۴۷/۶ مگاپاسکال که در آزمون "انتقال اصطکاک" در لنگر پیچشی ۱۱۵ نیوتن متر و در آزمون "کشیدن از سطح" در نیروی ۴۵۰۰ نیوتن دچار شکست شده بود، برای مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس مورد استفاده قرار گردید .نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در آزمون "انتقال اصطکاک" مقدار لنگر نهایی که عامل شکست مغزه شده است برابر ۱۰۷ نیوتن متر است که با مقایسه نتیجه حاصل از آزمایشگاه روی همین نمونه که برابر ۱۱۵ نیوتن متر است همخوانی بالایی دارد. همچنین در آزمون "کشیدن از سطح" شکست در نیروی کششی برابر ۴۵۵۵ نیوتن اتفاق می‌افتد که با مقایسه با نتیجه

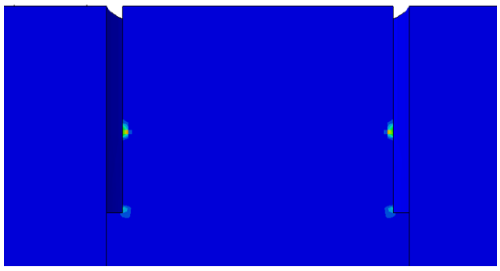
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

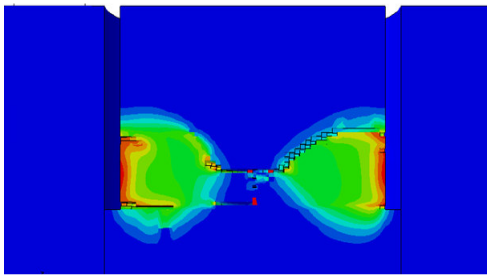
حاصل از آزمایشگاه روی همین نمونه که برابر ۴۵۰۰ نیوتن است همخوانی بالایی دارد .

در آزمون "انتقال اصطکاک"، نتایج حاصله بیان می کند که ماکزیمم گشتاوری که مدل تحمل می کند ۱۰۷ نیوتن متر است. اولین ترک ها در ملات در گشتاور ۵۴ نیوتن متری در کناره ها ی نمونه شروع می شود. گشتاور با افزایش دوران افزایش پیدا می کند تا اینکه به میزان ۱۰۷ نیوتن متر برسد که در این لحظه ترک ها به یکدیگر رسیده و خرابی در المان ها رخ می دهد. از این لحظه به بعد سرعت خرابی ها به دلیل کاهش سطح مقطع و کاهش مقاومت مغزه بیشتر می شود و در انتها شکست کامل در نمونه اتفاق می افتد (شکل ۱۲).

شکل ۱۲: شکست مغزه در آزمون "انتقال اصطکاک"



الف: لحظه شروع ترک‌ها

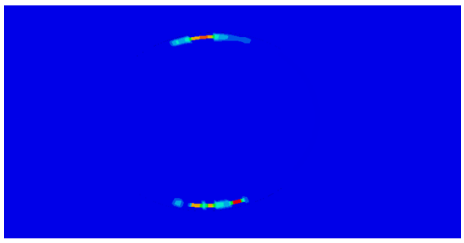


ب: لحظه شکست مغزه

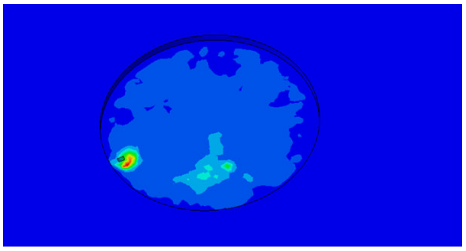
Fig. 12. The core failure in friction transfer test

در آزمون "کشیدن از سطح"، در نیروی ۲۴۴۸ نیتون، ترک های اولیه در کناره های محل اتصال استوانه فولادی به نمونه ملات شروع می شود. در نیروی ۳۸۱۴ نیتونی ترک به صورت چشم گیری رشد پیدا کرده و نهایتا 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 نمونه به شکست کامل برسد (شکل ۱۳).

شکل ۱۳: شکست نمونه در آزمون "کشش مستقیم"



الف: لحظه شروع ترک‌ها



ب: لحظه شکست مغزه

Fig. 13. The core failure in pull-off test

۴ -نتیجه‌گیری

– با توجه به ضریب همبستگی بالا بین آزمون انتقال اصطکاک با مقاومت فشاری ملات‌ها، پس می‌توان با استفاده از معادله y=10x-0.805 و با جایگذاری نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک در معادله مذکور به جای عبارت x ، مقاومت فشاری ملات تعمیری را تعیین نمود.

– همچنین برای ارزیابی مقاومت فشاری ملات‌ها با استفاده از آزمون کشیدن از سطح می‌توان از معادله y=17.32x+1.83 استفاده نمود.

– اعمال فشارهای ۰/۱ و ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی مربع باعث افزایش مقاومت چسبندگی برشی ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۷/۵ و ۳۰/۱ درصد شده است.

– اعمال فشارهای ۰/۱ و ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باعث افزایش مقاومت چسبندگی کششی ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۵/۸ و ۳۱/۴ درصد شده است.

– همخوانی بالایی بین نتایج عددی حاصل از تحلیل اجزا محدود با نرم افزار آباکوس و نتایج به دست آمده از آزمون های درجای "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" مشاهده شد.

مراجع

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

[1] Araujo, D.L. Danin, A.R. Melo, M.B. and Rodrigues, P.F. Influence of steel fibers on the reinforcement bond of straight steel. Revista IBRACON de Estruturas e Materriais - RIEM, v.6, n.2, (2013).
[2] Neville, A.M. Properties of concrete, fifth ed., Harlow, United Kingdom, (2012).
[3] G.P., Tilly, J., Jacobs, "Concrete repairs: Observations on performance in service and current practice". Watford, UK, (2007).
[4] G., Martinola, H., Sadouki, F., Wittmann, "Numerical model for minimizing the risk of damage in a repair system", J. Mater. Civ. Eng, 13, 121–129, (2011).
[5] W. Zhang, M. Zakaria, Y. Hama, Influence of aggregate materials characteristics on the drying shrinkage properties of mortar and concrete, Construction and Building Materials, 49, 500-510 (2013).
[6] M.F.bin, .H.M. Zain, The study on the physical properties of surface layer concrete under the influence of medium temperature environments, Kyushu university, Ph.D thesis, (1996).
[7] H., Beushausen, M., Alexander, "Localised strain and stress in bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage", Mater. Struct, 40, 189–199 (2007).
[8] Naderi, M. Adhesion of Different Concrete Repair Systems Exposed to Different Environments, J. Adhesion. 84 78-104. https://doi.org/10.1080/00218460801888433, (2008).
[9] Maryoto, A. The Effect of Compaction Method on Compressive Strength of Self Compacting Concrete in Laboratory. 1st International Conference on Material Science and Engineering for Sustainable Rural Development, AIP Conf. Proc. 2094, 020002-1 – 020002-7, (2019).
[10] Tuncan, M., Arioz, O., Ramyar, K., and Karasu, B. Effect of Compaction on Assessed Concrete Strength. pp. 847-853, (2014).
[11] Junior, R. A., Lima, M. G., and Oliveira, A. Influence of different compacting method on concrete compressive strength. Journal of Materials, Rio de Janeiro, vol. 23, no.3, (2018).
[12] ASTM C808/C805M-18. Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2018).
[13] ASTM C597-16. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2016).
[14] ACI Committee 214, Report 214.4R-03. Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results, American Concrete Institute, (2003).
[15] ASTM C900-15. Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2015).
[16] Masi. A., Digrisolo. A., Santarsieo. G. 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, (2013).
[17] Naderi, M. "Friction-Transfer Test for the Assessment of in-situ Strength & Adhesion of Cementitious Materials", Construction & Building Materials, 19 (6) 454-459, (2005).
[18] Naderi M. New Twist-Off Method for the Evaluation of In-Situ Strength of Concrete, Journal of Testing and Evaluation. 35(6). ISSN: 0090-3973, (2007).
[19] 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).
[20] Varzaneh, Ali Saberi, and Mahmood Naderi. "Determination of Shrinkage, Tensile and Compressive Strength of Repair Mortars and Their Adhesion on the Concrete Substrate Using" Twist-off" and" Pull-off" Methods." Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering (2020): 1-19.
[21] Varzaneh, Ali Saberi, and Mahmood Naderi. "NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF SEMI-DESTRUCTIVE TESTS TO EVALUATE THE COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTH OF POLYMER-MODIFIED MORTARS AND THEIR ADHESION TO THE CONCRETE SUBSTRATE." Revista Română de Materiale/Romanian Journal of Materials 50.4 (2020): 537-544.
[22] Saberi Varzaneh, Ali, and Mahmood Naderi. "Study of bond strength between polymer-modified mortars/concrete and their mechanical properties using "friction-

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]
[DOI: 10.22034/22.4.12]

transfer" and "pull-off" methods." Mechanics of Advanced Composite Structures (2021).

[23] Saberi Varzaneh, Ali, and Mahmood Naderi. "Experimental and Finite Element Study to Determine the Mechanical Properties and Bond Between Repair Mortars and Concrete Substrates." Journal of Applied and Computational Mechanics (2020).

[24] Naderi, Mahmood, and Ali Saberi Varzaneh. "Studying the effect of shrinkage on the bond strength of mortars, applied to substrate concrete, using "Friction-transfer" and "Pull-off" methods." Journal of Structural and Construction Engineering (2021).

[25] VARZANEH, ALI SABERI, and MAHMOOD NADERI. "STUDY OF BOND STRENGTH BETWEEN FIBER-REINFORCED-MORTAR/STEEL AND THEIR MECHANICAL PROPERTIES USING PUSH-OUT, TWIST-OFF AND PULL-OFF METHODS." Revista Română de Materiale/Romanian Journal of Materials 51.2 (2021): 228-238.

[26] Saberi Varzaneh. A., and Naderi. M. Finite Element and Experimental Investigation of In-situ compressive strength of Fiber-Reinforced Mortar and the Effect of Fibers on the Adhesion of Mortar/Steel. advanced design and manufacturing technology. Accepted article. (2021).

[27] Saberi, Varzaneh Ali, and Mahmood Naderi. "Investigation of In-Situ Compressive Strength of Fiber-Reinforced Mortar and the Effect of Fibers on the Adhesion of Mortar/Steel." INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED DESIGN AND MANUFACTURING TECHNOLOGY (2021): 37-48.

[28] Saberi Vaezaneh, Ali, and Mahmood Naderi. "Analyzing the Effect of Polypropylene Fibers on Compressive Behavior, Shrinkage and Bond Strength of Repair Mortars/Concrete Substrate." Journal of Structural and Construction Engineering (2021).

[29] Naderi, Mahmood, and Ali Saberi Varzaneh. "Determination of Compressive and Flexural Strengths of In-situ Pozzolanic Concrete Containing Polypropylene and Glass Fibers Using" Twist-off" Method." Modares Civil Engineering journal 20.5 (2020).

[30] VARZANEH, ALI SABERI, and MAHMOUD NADERI. "COMPARING THE RESULTS OBTAINED FROM IN-SITU METHODS FOR DETERMINING THE STRENGTH OF THE CEMENT MORTARS." Journal of Critical Reviews 7.4 (2020): 555-564.

[31] Varzaneh, Ali Saberi, and Mahmoud Naderi. "Determination of mechanical properties of repair mortars using in situ methods under different curings." EUREKA: Physics and Engineering, (1) (2020): 3-18.

[32] Naderi, Mahmood, Ali Saberi Varzaneh, and Alireza Esmaeli. " Assessment of the application "twist-off" method for determining the in situ compressive and flexural strengths in the fiber concrete." Journal of Structural and Construction Engineering (2021).

[33] Saberi Varzaneh, Ali, and Mahmoud Naderi. "Numerical and experimental study of in-situ methods to evaluate the mechanical properties of fiber-reinforced mortars." AUT Journal of Civil Engineering (2021).

[34] Saberi Varzaneh, Ali, and Mahmoud Naderi. "Numerical and experimental study of in-situ methods to evaluate the mechanical properties of fiber-reinforced mortars." AUT Journal of Civil Engineering (2021).

[35] ASTM C136, Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials (2006).

[36] ASTM C127, Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate, West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials (2012).

[37] ASTM C128, Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate, West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials (2015).

[38] BHRC, The National Method for Concrete Mix Design, Building and Housing Research Center, BHRC Publication No.S-47, (2008).

[39] C. ASTM C157, Test method for length change of hardened hydraulic cement mortar and concrete, West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials (2008).

[40] ASTM C490, 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 (2011).

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]

Using Friction-Transfer test to Study the Compressive Strength of Repair Mortars and the Effect of Prestress on the Adhesion between Mortar and Concrete

Ali Saberi Varzaneh[1*], Mahmood Naderi[2]

1. Ph.D, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2. Professor, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

profmahmoodnaderi@edu.ikiu.ac.ir

Abstract

Given the damages to concrete structures caused by different factors, some materials should be used to repair and strengthen them. In general, cement-based mortars are used to repair concrete structures. The shrinkage and inappropriate compaction of repair mortars can reduce the bond strength between mortar and concrete substrate. the shrinkage is an important problem that has an adverse effect on the adhesion between repair mortar and concrete substrate. The shrinkage can create tensile stress inside mortars, leading to cracking due to their low tensile strength. The mortar-substrate interface is of great importance since the improper compaction can create fine pores and lower the bond strength.The suitable compaction of repair mortar while applying it on the concrete substrate is an effective factor in increasing the adhesion between the mortar and concrete. The mortar-substrate interface is of great importance since the improper compaction can create fine pores and lower the bond strength. Therefore, in this study, different prestresses were imposed on repair mortar to evaluate their effects on the shear and tensile bond strength between repair mortar and concrete substrate using friction-transfer and pull-off tests. The role of curing in reducing the shrinkage of mortars was also evaluated. The semi-destructive friction-transfer and pull-off tests were then used to assess the in-situ compressive strength of cement-based mortars. By calculating the correlation coefficient and plotting the calibration curves, relationships were provided to convert the measurements obtained from the semi-destructive tests to the compressive strength of the mortars. Eventually, the cracks and stresses that appeared in the specimens were presented using finite element ABAQUS software. The obtained results indicated the effect of prestress on increasing the shear and tensile bond strength between the concrete substrate and repair layers. Moreover, a high correlation coefficient was found between the measurements of the in-situ and laboratory tests. A good agreement was also observed between the finite element modeling and the experimental results. In some researches, friction transfer and pull-off tests have been used to compare the compressive strength of fiber-reinforced mortars and polymer-modified mortars with the results of the above tests, which has resulted in a very high correlation coefficient between the results.

Imposing a prestress of 0.5 kg/cm^2 resulted in an increase of 30.1% and 31.4%, respectively, in the shear and tensile bond strength between the repair mortar and the concrete substrate at the age of 90 days. Imposing a prestress of 0.1 kg/cm^2 resulted in an increase by 7.5% and 5.8%, respectively, in the shear and tensile bond strength between the repair mortar and the concrete substrate at the age of 90 days. Keeping the specimen in the free space resulted in 64% more shrinkage compared to the one cured in water. The friction-transfer and pull-off test results had a correlation coefficient of more than 0.98 with the repair mortar's compressive strength. Therefore, these tests can be used to evaluate the in-situ compressive strength of mortars. The compressive strength of repair mortar can be calculated by substituting x for the friction-transfer and pull-off test results, respectively, in the equations y=10x-0.805 and y=17.32x+1.83.

Keywords: Friction Transfer, Prestress, Bond, Mortar.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOI: 10.22034/22.4.12]