

# تأثیر چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن بر چسبندگی بین بتن جدید و قدیم با متغیرهای موثر متفاوت

میثم صدیقی<sup>۱</sup>، محمدعلی لطف الهی یقین<sup>۲\*</sup>، محمد نقوی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- سازه، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه.

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

۳- پژوهشگر پسادکتری مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه.

Email: lotfollahi@tabrizu.ac.ir\*

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۱۲/۱۳]

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۶/۲۱]

## چکیده

اضافه کردن بتن تازه به روی بتن قدیمی یک روش معمول برای تعمیر یا تقویت سازه‌ها می‌باشد. در این پژوهش برای ارزیابی مقاومت برشی و کششی محل اتصال بتن قدیم و جدید تحت چرخه‌های متوالی یخ‌زدن و آب شدن از بتن جدید با مقدار سیمان ۳۵۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و سه نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ و مواد حباب‌ساز با مقادیر ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ وزن سیمان مصرفی استفاده شده است. در ادامه ۳۰۰ چرخه متوالی یخ‌زدن و آب شدن پس از ۷، ۳ و ۲۸ روز عمل‌آوری روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. دوره‌های یخ‌زدن و آب شدن شامل پائین آوردن دمای نمونه‌ها از ۴ درجه سانتیگراد به ۱۸- درجه سانتیگراد و بالا بردن آن از ۱۸- درجه سانتیگراد به ۴ درجه سانتیگراد می‌باشد که این امر به طور متناوب و در مدت زمان ۴ ساعت برای هر چرخه آب‌شدن و یخ‌زدن صورت گرفت. نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت به حالت یخ‌زدن و ۱ ساعت در داخل آب برای طی فرآیند آب‌شدن قرار داده شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تأثیر چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن بر مقاومت برشی بیش از مقاومت کششی باند اتصال می‌باشد و افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز، بیشترین تأثیر را در دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه روی تنش برشی دارد و با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴، اختلاف مقدار تنش برشی در شرایط با و بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن کم می‌شود. بیشترین کاهش مقاومت برشی باند اتصال پس از اعمال چرخه دمایی در میزان مواد حباب‌ساز صفر می‌باشد به طوری که برای نمونه ۲۸ روزه بتن در نسبت آب به سیمان و مقدار سیمان‌های مختلف، میزان مقاومت برشی به طور متوسط ۹۳ درصد کاهش می‌یابد. مطابق نتایج این تحقیق، با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴، برای بتن با مقدار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، میزان تنش برشی برای نسبت آب به سیمان‌ها و دوره‌های عمل‌آوری مختلف به طور متوسط به ترتیب ۱۵، ۱۴ و ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. برای شرایط آزمایشگاهی با چرخه یخ‌زدن و آب شدن، میزان تنش برشی با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز به طور چشمگیری افزایش می‌یابد به طوری که برای بتن با مقدار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴ میزان تنش برشی از مقدار بسیار ناچیز ۰/۴۲، ۰/۴۵ و ۰/۴۷ به ۲/۵۹، ۲/۹۱ و ۲/۹۹ مگاپاسکال می‌رسد. با افزایش نسبت آب به سیمان در شرایط بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن، میزان مقاومت برشی روند کاهشی دارد ولی در شرایط با چرخه یخ‌زدن و آب شدن، مقاومت برشی ابتدا روند افزایشی و سپس کاهشی دارد به طوری که بیشترین مقدار مقاومت برشی در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ رخ می‌دهد. همچنین بیشترین مقاومت اتصال پس از اعمال چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن در نمونه‌ها، پس از ۳ روز عمل‌آوری در نسبت آب به سیمان ۰/۴، مقدار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و استفاده از ۰/۴ درصد وزن سیمان مصرفی به عنوان حباب‌ساز رخ می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** مقاومت برشی، نقطه اتصال، بتن جدید و قدیم، چرخه یخ‌زدن و آب شدن.

## ۱- مقدمه

در زمان ترمیم و یا مقاوم‌سازی بتن قدیم با استفاده از بتن تازه، در لایه‌های تعمیری بتن حتی با وجود مقاومت کافی در هر دو لایه بتن قدیم و جدید، سطح اتصال هنوز هم در خطر خرابی است و می‌توان آن را حساس‌ترین بخش این سیستم در نظر گرفت. دو لایه مدول‌های الاستیسیته‌ی متفاوتی دارند پس حتی با وجود یکسان بودن تنش وارده، کرنش‌های متفاوتی خواهند کرد. سطح اتصال باید بتواند این تفاوت را تحمل کند. این مسئله شامل تفاوت کرنش‌های مربوط به دما نیز می‌شود. از طرف دیگر در صورت اضافه کردن بتن تازه، این بتن جمع شدگی (انقباض) نیز دارد که یکی دیگر از نقاط ضعف سطح اتصال است. در مورد ارزیابی اتصال بتن قدیم و جدید و همچنین اثر چرخه یخ‌زدن و آب شدن روی مقاومت بتن تحقیقات متعددی انجام شده است. اولین پژوهش‌ها در رابطه با تأثیر یخ‌زدن بر بتن، فرضیاتی در زمینه سازوکار یخ‌زدن بتن بود. این فرضیات نشان می‌دهد که خمیر سیمان سخت شده و سنگ‌دانه، هنگامی که در معرض چرخه‌های یخ و آب شدن قرار می‌گیرند، رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند که مهم‌ترین علت تخریب بتن در اثر یخبندان، تنش‌های ایجاد شده در خلل و فرج خمیر سیمان در اثر فشار هیدرولیکی است. شین و همکاران (۲۰۱۰) [1] در یک تحقیق، به بررسی چسبندگی بین سطوح بتنی جدید و قدیم پرداختند. مکعب‌های بتنی قدیمی با دو شرایط رطوبت متفاوت (سطح خشک اشباع شده<sup>1</sup> SSD و خشک) انتخاب شدند. سه ماده مختلف با دو نسبت آب به سیمان (w/c) و علاوه بر این از دوده سیلیس برای بتن پوشاننده جدید استفاده شد. نتایج آزمایش‌های برشی نشان می‌دهد که دوده سیلیس در بتن جدید نه تنها مقاومت فشاری بتن جدید بلکه مقاومت باند برشی را نیز افزایش می‌دهد. همچنین برای همه بتن‌ها مشخص شد که شرایط سطح SSD منجر به استحکام بیشتر باند اتصال می‌شود. نشوادیان (۲۰۱۰) [2] در یک تحقیق با تمرکز روی پیوند بین لایه و زیرلایه به بررسی میزان استحکام پیوند بین مواد تعمیر و بستر در سطح رابط پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد عوامل زیادی از

جمله زبری سطح، وجود ترک‌های خرد، تراکم، عمل آوری و غیره بر استحکام باند تأثیر می‌گذارد و با توجه به روش‌های بارگذاری، استحکام باند تعیین می‌شود. وان (۲۰۱۱) [3] در تحقیقی اتصال برشی بین بتن‌های قدیم و جدید را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه، افزودنی دوده سیلیس با دو نسبت w/c، ۰/۴۵ و ۰/۶ برای بتن پوششی جدید استفاده شد و نتایج نشان داد که دوده سیلیس، مقاومت فشاری بتن جدید و استحکام باند برشی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد و بتن جدید با نسبت وزنی ۰/۴۵ منجر به مقاومت فشاری بالاتر و استحکام باند برشی کمتر می‌شود. تایه و همکاران (۲۰۱۳) [4] با بررسی استحکام باند اتصال بتن با کارایی فوق‌العاده بالا<sup>۲</sup> (UHPC) و بتن معمولی<sup>۳</sup> (NC) نشان دادند که بتن UHPC اتصال عالی با سطح بستر بتن NC دارد و به علت اینکه بیشتر شکستگی‌ها در آزمایش‌ها در بستر بتن معمولی صورت می‌پذیرد نتیجه‌گیری می‌شود که حتی استحکام باند از قدرت بستر بتن NC هم بیشتر است. ال حلاق (۲۰۱۴) [5] از چندین ماده ترکیب با زبری سطحی مختلف بستر، برای بررسی استحکام باند اتصال در بتن‌ها استفاده کرده است. در این تحقیق، بتن با کارایی فوق‌العاده بالا (UHPC)، به عنوان ماده ترمیم‌کننده مورد استفاده قرار گرفته و تأثیر آن بر استحکام باند بررسی شده است. دو آزمایش برش مایل<sup>۴</sup> و تقسیم کردن<sup>۵</sup> برای بررسی استحکام باند اتصال با استفاده از ۲۱ نمونه انجام شده است. به طور کلی، آماده سازی سطح به صورت زبر منجر به استحکام بیشتر باند می‌شود. با این وجود، سطح زبری به تنهایی همیشه عامل اصلی نیست. سرانجام، نتایج نشان داد که استحکام کششی نسبت به زبری سطح حساسیت کمتری دارد و متناسب با مقاومت مواد ترمیم‌کننده است. دونجوان (۲۰۱۴) [6] در یک تحقیق از گروت‌های سیمانی، اپوکسی، لاتکس آکرلیک و پلی‌وینیل استات به عنوان عوامل پیونددهنده استفاده کرد. بتن سیمان پرتلند و مواد تعمیر بتن سیمان پرتلند با شرایط سطح خشک و سطح اشباع شده و سه ماده سیمانی

2 Ultra high performance concrete

3 Normal Concrete

4 Slant Shear

5 Splitting

1 Saturated Surface Dry

در رابط می‌تواند جابه‌جایی افقی را کنترل کند. بدین ترتیب اصطکاک بین دو طرف رابط حفظ می‌شود. روزن (۲۰۱۶) [9] در یک تحقیقی روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مقاومت برشی در سطح واسط بین یک بستر بتنی و یک پوشش بتنی را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه از شش سطح که هر یک از سطوح ترمیم منحصر به فرد خود را دارد، در معرض چهار نوع آزمایش قرار گرفتند. در آزمایش‌های مختلف، مقاومت برشی در رابط پیوندی اندازه‌گیری شده است. تجزیه و تحلیل با توجه به تغییرات در ترمیم سطحی و روش‌های آزمایش ارائه شده است و سازوکار مرتبط با آزمایش‌های مختلف بحث شده است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که نتایج به روش آزمایش که برای ارزیابی مقاومت برشی استفاده می‌شود بستگی دارد و اهمیت ترمیم سطح یک بستر در استحکام برشی برای روکش پیوندی را نشان می‌دهد. وندهیان و همکاران (۲۰۱۷) [10] در یک مطالعه تجربی به بررسی استحکام پیوند بین لایه‌های بتنی قدیمی و جدید، با استفاده ماده پیوند دهنده بر پایه اپوکسی پرداختند. تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که استفاده از یک عامل پیوند دهنده مبتنی بر اپوکسی منجر به بهبود استحکام باند است. کابای و همکاران (۲۰۱۸) [11] در یک تحقیق به ارزیابی استحکام پیوند بین بتن بستر با مقاومت عادی و انواع مختلف بتن با مقاومت بالا پرداختند. به منظور به دست آوردن ویژگی‌های مختلف در بتن پوشش، از دوده سیلیس و الیاف فولادی استفاده شده و برای تعیین مقدار تأثیر ترکیبات مختلف بتنی با استحکام بالا بر استحکام باند، آزمایش‌های برشی و برش دو سطحی انجام شد. خواص مکانیکی کامپوزیت‌های بتنی روکش-بستر نیز روی نمونه‌های استوانه‌ای تحت بار فشاری تک محوره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که استحکام پوشش نقش مهمی در سازوکار پیوند بازی می‌کند و استحکام باند وابسته به سازوکار آزمایش است. نتایج آزمون نشان داد که استحکام باند در آزمایش برشی شیب در حدود ۶ الی ۱۲ برابر بیشتر از آزمایش برشی دو سطح است. تابه و همکاران (۲۰۱۹) [12] با هدف بررسی کارایی ترمیم ستون‌های بتنی آسیب دیده با استفاده از لایه‌های بتنی نازک در دو نوع بتن معمولی و بتن خود فشرده

ترمیم سریع برای بررسی اهداف استفاده شد و سپس استحکام باند با استفاده از آزمون برشی مستقیم اندازه‌گیری شد. آزمایش‌های میدانی انجام شده و آزمایش تنش مستقیم هفت روزه و ۵ ماهه در طول آزمایش انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با قرار دادن بتن تعمیر روی بستر در شرایط سطح اشباع، استحکام باند کافی برای بسیاری از تعمیرات می‌تواند بدست آید. همچنین در این تحقیق هنگام مقایسه داده‌ها با یکدیگر مشخص شد، داده‌های میدانی برای نمونه‌های با شرایط سطح خشک اشباع شده (SSD) استحکام کششی بالاتری از نمونه بستر خشک خواهد داشت. همچنین اگر قرار است گروت‌های سیمانی پرتلند به عنوان یک عامل پیوند دهنده استفاده شود، گروت با  $w/c$  کمتر از یک می‌تواند افزایش استحکام باند را فراهم کند و در صورت اصلاح، گروت از مقاومت برشی و کششی بالاتری برخوردار است. همچنین در نمونه‌هایی که بدون چرخه حرارتی تحت چرخه یخ‌زدایی قرار گرفتند نشان داد که منیزیم فسفات بالاترین استحکام باند را داشت. کریبل و همکاران (۲۰۱۴) [7] در یک تحقیق به بررسی سازگاری بتن با کارایی فوق‌العاده بالا (UHPC) و سازه‌های بتنی با مقاومت عادی موجود و استحکام باند بین این دو ماده پرداختند. بتن با کارایی فوق‌العاده بالا (UHPC) ماده‌ای بسیار قویتر از بتن معمولی است و از استحکام بسیار بالایی برخوردار است و هزینه تولید آن گران‌تر است. اما از لحاظ نظری چرخه عمر طولانی‌تری خواهد داشت، بنابراین هزینه کل چرخه عمر پایین‌تر خواهد بود. همچنین با انجام آزمایش‌هایی نشان دادند که افزودن الیاف باعث بهبود رفتار شکستگی در هر دو ماده ترمیم کننده و بستر رابط تعمیر می‌شود. هبوح (۲۰۱۵) [8] در یک تحقیق، استحکام برشی بین دولایه بتنی را به صورت آزمایشگاهی و تحلیلی مورد بررسی قرار داد و نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تحت بارگذاری برشی که موازی با رابط اتصال برشی است، تنش کششی در سراسر رابط منجر به ایجاد جدایی جانبی می‌شود که منجر به کاهش استحکام برشی می‌شود و همچنین شرایط مرزی بر مقاومت برشی تأثیر می‌گذارد. ارائه پشتیبانی جانبی در چنین مواردی به منظور جلوگیری از جدایی

## ۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای بررسی اثر چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن بر چسبندگی بین دو بتن جدید و قدیم آزمایش‌هایی در مجتمع آزمایشگاهی سهند تبریز انجام شده است. برای این منظور از ماسه با منحنی دانه‌بندی مطابق شکل (۱) استفاده شد که مدول نرمی ماسه برابر  $3/05$  و بزرگترین اندازه سنگدانه نیز برابر ۲۵ میلی‌متر می‌باشد.

برای تعیین نسبت‌های مخلوط، با توجه به معلوم بودن مقدار سیمان و نسبت آب به سیمان، مقدار آب و سیمان در هر مخلوط محاسبه می‌شود و نمونه‌های آزمایشگاهی با توجه به این مقادیر مطابق جدول (۱) ساخته می‌شوند.

شکل ۱. منحنی دانه‌بندی

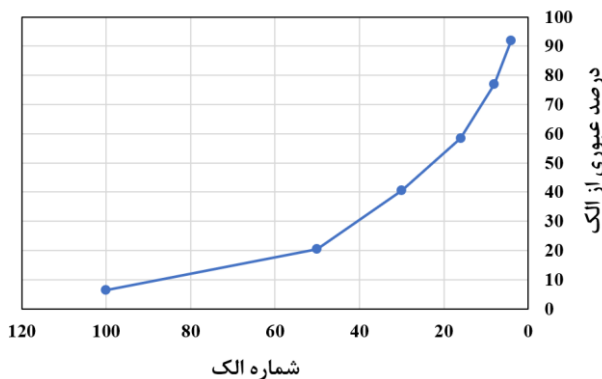


Fig. 1. Granulation curve

### ۲-۱- چگونگی ساخت نمونه‌ها

در این مطالعه برای بتن قدیمی از بتن با همان دانه‌بندی بتن جدید با عمر حداقل ۹۰ روزه با مقدار سیمان ۳۵۰ و نسبت آب به سیمان  $0/4$  استفاده شد. در اتصال ایجاد شده بین بتن قدیم و جدید از هیچ‌گونه عامل دیگری نظیر چسب، الیاف یا عناصر رابط مانند میلگرد و غیره استفاده نشد. متغیرهای مورد نظر در این تحقیق که در دو آزمایش تعیین مقاومت برشی و تعیین مقاومت کششی سطح اتصال از آن برای ساخت نمونه‌ها استفاده شده است ترکیبی از شرایط ذیل می‌باشد:

الف- مقدار سیمان مصرفی در سه حالت ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب

تحقیقاتی را انجام داده اند و نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ترمیم و تقویت با استفاده از UHPFRSCC و کاپشن‌های NSC-4.75 به طور قابل توجهی ظرفیت حمل بار و جابه‌جایی‌های محوری نهایی نمونه‌ها را افزایش می‌دهد. کروس (۲۰۱۹) [13]، تأثیر پارامترهای موثر بر رفتار برشی بین سطح رابط بتن به بتن (به صورت غیر مسلح) را مورد بررسی قرارداد. در این تحقیق نظریه‌های فعلی در مورد مقاومت برشی سطح رابط با رفتار برشی نمونه‌ها که در آزمایش‌های تجربی یافت می‌شود، ارزیابی و مقایسه شده است. نتایج آزمایش مقاومت برشی سطح رابط، همبستگی کمی با Fib Model Code 2010 و Eurocode2 را نشان می‌دهد. Fib Model Code 2010 مقادیر کمی بزرگتری نسبت به نتایج آزمون نشان را داده است. این مسئله نشان می‌دهد که ضوابط Eurocode 2 و Fib Model Code 2010 محافظه‌کارانه هستند و به اندازه کافی ایمن می‌باشد. کروس (۲۰۱۹) [13]، همچنین تأثیر تفاوت مدول‌های الاستیسیته بین این دو بتن بررسی نمود و نشان داد که تفاوت زیاد مدول‌های الاستیسیته، ممکن است مقاومت برشی رابط را کاهش دهد. شارما و همکاران (۲۰۱۹) [14] در یک تحقیق تجربی متشکل از ۱۰ نمونه آزمایشگاهی به بررسی رفتار مقاومت برشی در سطح رابط NSC-UHPC پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش عمق زبری در ناحیه تقویت کننده، تأثیر مثبتی در ظرفیت برشی رابط دارد. در این تحقیق نتایج با دستورالعمل‌های طراحی AASHTO LRFD ، ACI و PCI مقایسه شدند و نتایج نشان داد که ضوابط طراحی محافظه کارانه بوده و در پیش‌بینی مقاومت برشی سطح رابط دقیق نیستند. با توجه به مطالعات انجام شده و اهمیت اتصال بتن قدیم و جدید، در این مقاله به تأثیر چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن بر چسبندگی بین دو بتن جدید و قدیم با فاکتورهای ثانویه متفاوت تأثیر گذار در اتصال باند پرداخته شده است. برای این منظور برای ارزیابی چسبندگی بتن قدیم و جدید و بررسی استحکام باند اتصال از دو سری آزمایش تعیین مقاومت برشی و کششی استفاده شد.

جدول ۱. نسبت‌های مخلوط بتن

نسبت آب به سیمان (w/c)	سیمان (Kg)	شن (Kg)	ماسه (Kg)	وزن حباب ساز (Kg)
0.4	300	850.62	1164.84	0
0.45	300	851.85	1147.80	0
0.5	300	853.08	1130.76	0
0.4	300	858.00	1062.59	0.3
0.45	300	859.23	1045.55	0.3
0.5	300	860.46	1028.51	0.3
0.4	300	858.00	1062.59	0.6
0.45	300	859.23	1045.55	0.6
0.5	300	860.46	1028.51	0.6
0.4	300	858.00	1062.59	0.9
0.45	300	859.23	1045.55	0.9
0.5	300	860.46	1028.51	0.9
0.4	300	858.00	1062.59	1.2
0.45	300	859.23	1045.55	1.2
0.5	300	860.46	1028.51	1.2
0.4	350	856.36	1085.31	0
0.45	350	857.80	1065.43	0
0.5	350	859.23	1045.55	0
0.4	350	863.74	983.06	0.35
0.45	350	865.18	963.18	0.35
0.5	350	866.61	943.30	0.35
0.4	350	863.74	983.06	0.7
0.45	350	865.18	963.18	0.7
0.5	350	866.61	943.30	0.7
0.4	350	863.74	983.06	1.05
0.45	350	865.18	963.18	1.05
0.5	350	866.61	943.30	1.05
0.4	350	863.74	983.06	1.4
0.45	350	865.18	963.18	1.4
0.5	350	866.61	943.30	1.4
0.4	400	862.10	1005.78	0
0.45	400	863.74	983.06	0
0.5	400	865.38	960.34	0
0.4	400	869.48	903.54	0.4
0.45	400	871.12	880.81	0.4
0.5	400	872.76	858.09	0.4
0.4	400	869.48	903.54	0.8
0.45	400	871.12	880.81	0.8
0.5	400	872.76	858.09	0.8
0.4	400	869.48	903.54	1.2
0.45	400	871.12	880.81	1.2
0.5	400	872.76	858.09	1.2
0.4	400	869.48	903.54	1.6
0.45	400	871.12	880.81	1.6
0.5	400	872.76	858.09	1.6

Table 1. Concrete mixing ratios

د- شروع ۳۰۰ چرخه یخ‌زدن و آب شدن در سه حالت پس از ۳، ۷ و ۲۸ روز عمل‌آوری بتن جدید برای مقایسه، آزمایش‌های فوق روی ترکیبات مورد اشاره یک بار هم بدون اعمال چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن در تمامی حالت‌ها صورت گرفته است. یعنی تعداد کل حالات آزمایش

ب- استفاده از مواد حباب ساز در پنج سطح صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد وزنی سیمان مصرفی مطابق استاندارد ASTM C666 [15] ج- استفاده از سه نسبت آب به سیمان (W/C) ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵

سانتی‌گراد می‌باشد که این امر به طور متناوب و در مدت زمانی که کمتر از ۲ ساعت و بیشتر از ۵ ساعت نباشد انجام می‌پذیرد. در روش الف زمان لازم برای افزایش دمای نمونه‌ها نباید از ۲۵٪ زمان لازم برای سرد شدن نمونه‌ها کمتر باشد. هیچگاه دمای نمونه‌ها نباید کمتر از ۱۹- درجه سانتیگراد و بیشتر از ۶ درجه سانتیگراد شود. شروع آزمایش با قرار دادن نمونه‌ها در آب گرم در ابتدای چرخه آب شدن می‌باشد. آزمایش روی نمونه‌ها تا آنجا ادامه دارد که نمونه‌ها در معرض حداقل ۳۰۰ چرخه یخ‌زدن و آب شدن قرار گیرند. هر چرخه یخ‌زدن-آب شدن به مدت ۴ ساعت در نظر گرفته شد که نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت به حالت یخ‌زدن و ۱ ساعت در داخل آب برای طی فرآیند آب شدن قرار داده شد. در شکل (۲) چگونگی قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه اعمال چرخه یخ‌زدن و آب شدن نشان داده شده است.

شکل ۲. قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه اعمال چرخه یخ‌زدن و آب

شدن

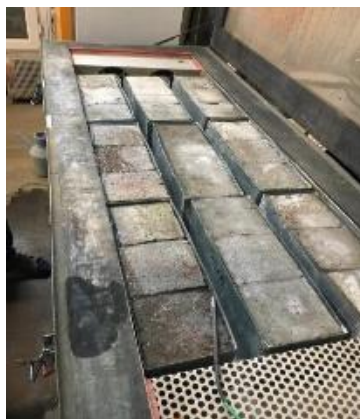


Fig. 2. Placing the samples in the freezing and thawing cycle device

### ۲-۳-۲- چگونگی انجام آزمایش‌ها

برای ارزیابی چسبندگی بتن قدیم و جدید و بررسی استحکام باند اتصال از دو سری آزمایش استفاده شد که در ادامه شرح داده می‌شود.

#### ۲-۳-۱-۱- آزمایش تعیین مقاومت برشی

برای تهیه نمونه‌ها از یک قالب به ابعاد داخلی ۱۵×۱۵×۴۵ سانتی‌متر (طول ۴۵ سانتی‌متر، عرض و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) استفاده شده است به گونه‌ای که طرفین قالب را با قراردادن

در مورد است. در مورد از قبل خیس کردن سطح بتن قدیم نظرهای مختلفی برای فراهم آوردن بهترین شرایط وجود دارد. کمیته AASHTO-AGC-ARTBA به جز در روزهای خشک و گرم تابستان یک سطح خشک را توصیه می‌کند [16]. درحالی که مؤسسه استاندارد کانادا توصیه می‌کند ۲۴ ساعت قبل از ریختن بتن جدید سطح خیس شود. مؤسسه ملی راه سوئیس توصیه می‌کند که بتن قدیمی را برای ۴۸ ساعت خیس کرده اما در هنگام بتن‌ریزی سطح خشک داشته باشد که در اینجا به همین شکل اقدام شد. ضمناً سایر شرایط محیطی اعم از دمای محیط، مدت زمان مخلوط و غیره در تمامی نمونه‌ها تقریباً یکسان می‌باشد.

در این تحقیق سیمان مصرفی در تمامی نمونه‌ها از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ (سیمان صوفیان) می‌باشد. حباب ساز مصرفی از نوع S-2000 محصول شرکت سراپوش می‌باشد.

### ۲-۲- مراحل اعمال چرخه یخ‌زدن و آب شدن

برای سنجش تأثیر چرخه‌های آب شدن و یخ‌زدن بر چسبندگی بین بتن‌های قدیم و جدید، نمونه‌ها را در دستگاه مخصوص این آزمایش (ساخت شرکت آزمون) با عملکردی مطابق با استاندارد ASTM C666 قرار داده شد. استاندارد ASTM C666 برای بررسی چرخه‌های آب شدن و یخ‌زدن بتن دو روش پیشنهاد داده است:

الف- هردو فرایند یخ‌زدن و آب شدن نمونه‌ها در داخل آب انجام می‌شود.

ب- فرایند یخ‌زدن در هوا و فرایند آب شدن در آب صورت می‌گیرد.

روش الف متداول‌ترین روش است و عموماً به عنوان روشی شدیدتر شناخته می‌شود که قابلیت بیشتری در یافتن مصالح ضعیف دارد به طوری که هر دو استاندارد ASTM C233 و ASTM C494 روش الف را تجویز می‌کنند پس در این تحقیق از همین روش استفاده شد [17, 18].

دوره‌های یخ‌زدن و آب شدن برای هر دو روش شامل پائین آوردن دمای نمونه‌ها از ۴ درجه سانتی‌گراد به ۱۸- درجه سانتیگراد و بالا بردن آن از ۱۸- درجه سانتی‌گراد به ۴ درجه

اگرچه معمولاً بتن به گونه‌ای طراحی نمی‌شود که تنش کششی مستقیم را تحمل نماید، ولی دانستن مقاومت کششی بتن در تخمین باری که ترک‌ها در آن توسعه می‌یابند، با ارزش است. عدم وجود ترک در حفظ تداوم سازه‌های بتنی و در بسیاری موارد در جلوگیری از خوردگی میلگردهای فولادی حائز اهمیت است. مقاومت در کشش همچنین در سازه‌های بتنی غیر مسلح مانند سدها تحت شرایط زلزله مورد توجه می‌باشد.

آزمایش مقاومت کششی روی نمونه‌های مکعبی در استاندارد ASTM C496 شرح داده شده است.

برای بررسی مقاومت کششی، نمونه‌ها به این صورت ساخته می‌شود که ابتدا نیمی از مکعب بتن ریزی و عمل‌آوری می‌شود سپس نیمه دیگر بتن ریزی و عمل‌آوری می‌شود. نمونه‌ها که پیشتر هنگام چرخه‌های متوالی یخ‌زدن و آب شدن قرار گرفته‌اند، طوری بین صفحات دستگاه جک بتن شکن قرار می‌گیرد که محور آن افقی باشد و سپس بار افزایش می‌یابد تا گسیختگی به صورت دو نیم شدن در صفحه شامل قطر قائم نمونه به وجود آید.

برای جلوگیری از تنش‌های فشاری موضعی خیلی بالا در خطوط بارگذاری، از نوارهای تخته فیبری به ضخامت ۴ میلی‌متر و عرض ۱۵ میلی‌متر و طولی برابر با طول قالب استفاده شده است. در این آزمایش‌ها بار با سرعت ثابت بین ۰/۲ الی ۰/۴ مگاپاسکال در ثانیه اعمال می‌شود و مقدار تنش کششی مطابق رابطه ۲ محاسبه می‌شود که در این رابطه  $\tau_b$  تنش کششی برحسب مگاپاسکال و  $a$  اندازه ضلع مقطع برحسب میلی‌متر است.

$$\tau_b = \frac{2P}{\pi \times a \times a} \quad (2)$$

در شکل (۵) چگونگی قرارگیری نمونه‌ها برای تعیین مقاومت کششی نشان داده شده است. مطابق این شکل تنها بتن واقع شده در داخل استوانه محاط در مکعب در مقابل بار وارده مقاومت خواهد نمود. در شکل (۶) نیز مراحل انجام آزمایش مقاومت کششی نمایش داده شده است.

مکعب بتنی قدیمی (پس از عمل‌آوری) و وسط قالب از بتن جدید پرکرده و عمل‌آوری می‌شود. در ادامه نسبت به عمل‌آوری این نمونه‌ها اقدام شد. در شکل (۳) نمایی از بتن‌های جدید و قدیم و چگونگی اتصال آنها ارائه شده است.

شکل ۳. جانمایی نمونه‌ها برای تعیین مقاومت برشی

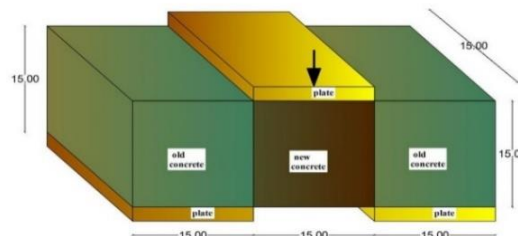


Fig. 3. Placement of samples to determine shear strength

در این آزمایش، نمونه‌ها پیشتر در معرض چرخه‌های آب شدن و یخ‌زدن قرار گرفته و با ثابت نگه داشتن بتن قدیمی، نسبت به اعمال بار  $P$  روی بتن جدید اقدام شد. مقدار تنش برشی مطابق رابطه ۱ محاسبه می‌شود که در این رابطه،  $\tau_a$  تنش برشی برحسب مگاپاسکال و  $a$  اندازه ضلع مقطع برحسب میلی‌متر می‌باشد. در شکل (۴) چگونگی انجام آزمایش مقاومت برشی نشان داده شده است.

$$\tau_a = \frac{P}{2 \times a \times a} \quad (1)$$

شکل ۴. آزمایش مقاومت برشی



Fig. 4. Shear strength test

## ۲-۳-۲- آزمایش تعیین مقاومت کششی

آزمایش مقاومت کششی بتن به روش دو نیم کردن<sup>۶</sup> یا تست برزیلی در استاندارد ملی ایران ۶۰۴۷ و ASTM C496 شرح داده شده است [19, 20].

### 6 splitting tensile strength

ترتیب مربوط به نمونه‌های بتنی با مقدار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تحت شرایط آزمایش بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن می‌باشد و A-C300، A-C350 و A-C400 نیز به ترتیب مربوط به نمونه‌های بتنی با مقدار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تحت شرایط آزمایش با چرخه یخ‌زدن و آب شدن می‌باشد (N برای حالت بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن و A برای حالت با چرخه یخ‌زدن و آب شدن).

مطابق شکل‌های (۷، ۸ و ۹) برای حالت با چرخه یخ‌زدن و آب شدن، تنش برشی با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز روند افزایشی دارد ولی در آزمایش‌های بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن، میزان تنش برشی با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز کاهش می‌یابد به طوری که در شرایط بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن، با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴، برای بتن با مقدار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، میزان تنش برشی برای نسبت آب به سیمان‌ها و دوره‌های عمل‌آوری مختلف به طور متوسط به ترتیب، ۱۵، ۱۴ و ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. ولی برای شرایط آزمایشگاهی با چرخه یخ‌زدن و آب شدن، میزان تنش برشی با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز به طور چشمگیری افزایش می‌یابد به طوری که برای بتن با مقدار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴ میزان تنش برشی به ترتیب ۵۱۷، ۵۴۷ و ۵۳۶ درصد افزایش می‌یابد (میزان تنش برشی از مقدار بسیار ناچیز ۰/۴۲، ۰/۴۵ و ۰/۴۷ به ۲/۵۹، ۲/۹۱ و ۲/۹۹ مگاپاسکال می‌رسد).

همانطور که در شکل‌های (۷، ۸ و ۹) مشاهده می‌شود در شرایط آزمایشگاهی با چرخه یخ‌زدن و آب شدن، افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز، بیشترین تأثیر را در دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه روی تنش برشی دارد و با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز به ۰/۴، اختلاف مقدار تنش برشی در شرایط با و بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن کم می‌شود. بیشترین کاهش مقاومت برشی باند اتصال پس اعمال چرخه

شکل ۵. قرارگیری نمونه‌ها برای تعیین مقاومت کششی

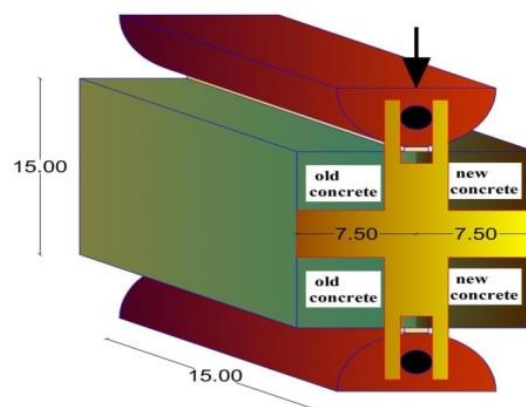


Fig. 5. Placement of samples to determine tensile strength

شکل ۶. آزمایش مقاومت کششی



Fig. 6. Tensile strength test

### ۳- نتایج و بحث

در این قسمت نتایج مقاومت برشی و کششی باند اتصال بتن جدید و قدیم تحت اثر تغییر پارامترهای مختلف پس از ۳، ۷ و ۲۸ روز عمل‌آوری و ۳۰۰ چرخه یخ‌زدن و آب شدن مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه به تفصیل بیان می‌شود.

#### ۳-۱- تأثیر میزان مواد حباب‌ساز روی مقاومت برشی و کششی

برای بررسی اثر مواد حباب‌ساز روی چسبندگی بین بتن قدیم و جدید و بررسی استحکام باند اتصال از پنج سطح مواد حباب ساز (۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴) بر حسب درصد وزنی سیمان مصرفی در آزمایش‌ها استفاده شد. در شکل‌های (۷، ۸ و ۹) میزان تغییرات مقاومت برشی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز در سه دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای نسبت آب به سیمان‌های ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ نشان داده شده است. در این شکل‌ها N-C300، N-C350 و N-C400 به



هنگام افزایش فشار هیدرولیکی ناشی از یخ‌زدن در حفرات، آب موجود در حفره راحت‌تر خود را به حفره‌های هوای اطراف رسانده و این فشار را کاهش دهد. به همین دلیل این نوع بتن دوام بیشتری در برابر چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن از خود نشان می‌دهد.

دمایی در میزان حباب ساز مصرفی صفر می‌باشد، به طوری که برای نمونه ۲۸ روزه بتن، در نسبت آب به سیمان و مقدار سیمان‌های مختلف، میزان مقاومت برشی به طور متوسط ۹۳ درصد کاهش می‌یابد. در شرایط با چرخه یخ‌زدن و آب شدن، برای بتن با درصد بالایی از مواد حباب ساز، هوای موجود در بتن باعث می‌شود

شکل ۷. میزان تغییرات مقاومت برشی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز در سه دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ۰/۴

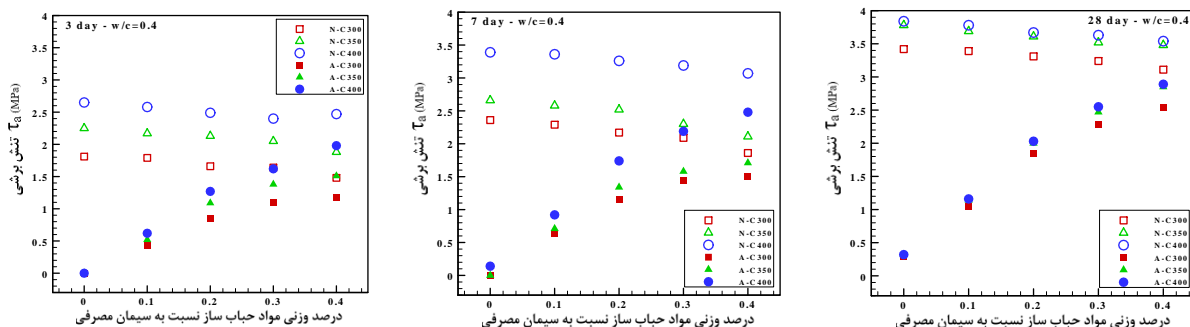


Fig. 7. The amount of changes in shear strength compared to the change in the weight percentage of bubble-making materials in three processing periods of 3, 7 and 28 days in the water-cement ratio of 0.4

شکل ۸. میزان تغییرات مقاومت برشی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز در سه دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵

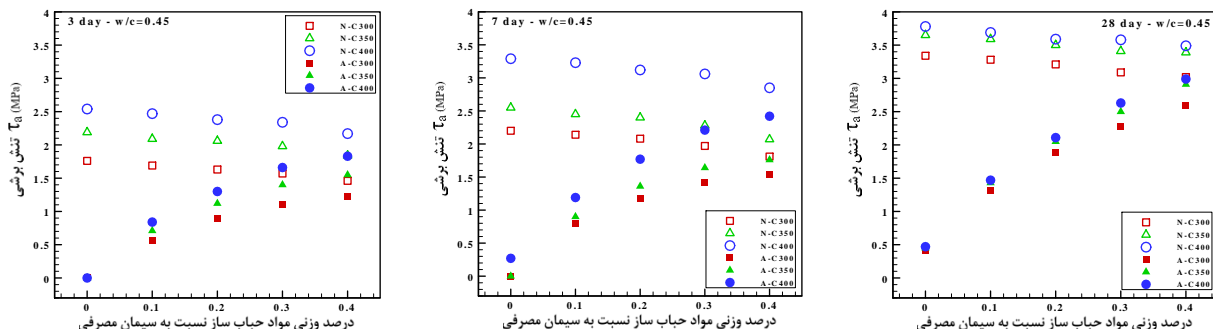


Fig. 8. The amount of changes in shear strength compared to the change in the weight percentage of bubble-making materials in three processing periods of 3, 7 and 28 days in the water-cement ratio of 0.45

شکل ۹. میزان تغییرات مقاومت برشی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز در سه دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ۰/۵

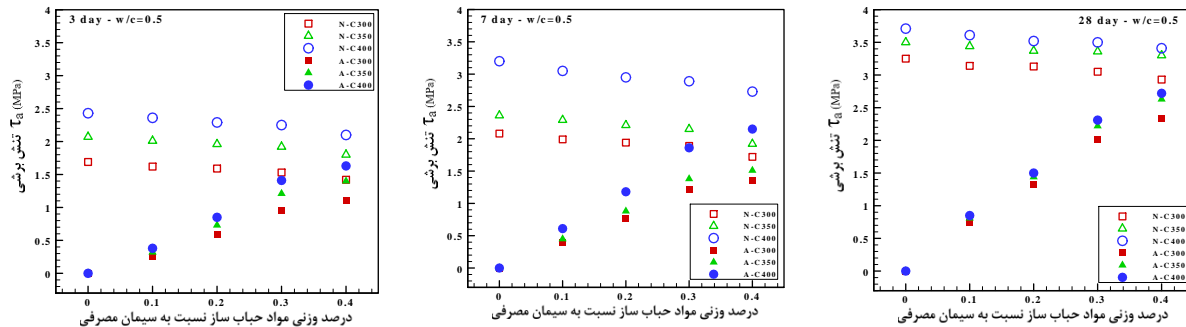


Fig. 9. The amount of changes in shear strength compared to the change in the weight percentage of bubble-making materials in three processing periods of 3, 7 and 28 days in the water-cement ratio of 0.5

با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴، برای بتن با مقدار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، میزان تنش کششی برای نسبت آب به سیمان‌ها و دوره‌های عمل‌آوری مختلف به طور متوسط به ترتیب، ۱۲، ۱۲ و ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل‌های (۱۰، ۱۱ و ۱۲) مشاهده می‌شود با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز به ۰/۴، اختلاف مقدار تنش کششی در شرایط با و بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن کم می‌شود و بیشترین کاهش مقاومت کششی باندا اتصال پس اعمال چرخه دمایی در میزان حباب ساز مصرفی صفر می‌باشد.

در شکل‌های (۱۰، ۱۱ و ۱۲) میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز در سه دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای نسبت آب به سیمان‌های ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود تأثیر چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن بر مقاومت کششی کمتر از مقاومت برشی باندا اتصال می‌باشد. مطابق این شکل‌ها برای حالت با چرخه یخ‌زدن و آب شدن، تنش کششی با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز روند افزایشی دارد ولی در آزمایش‌های بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن، میزان تنش کششی با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز کاهش می‌یابد. در شرایط بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن،

شکل ۱۰. میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز در سه دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ۰/۴

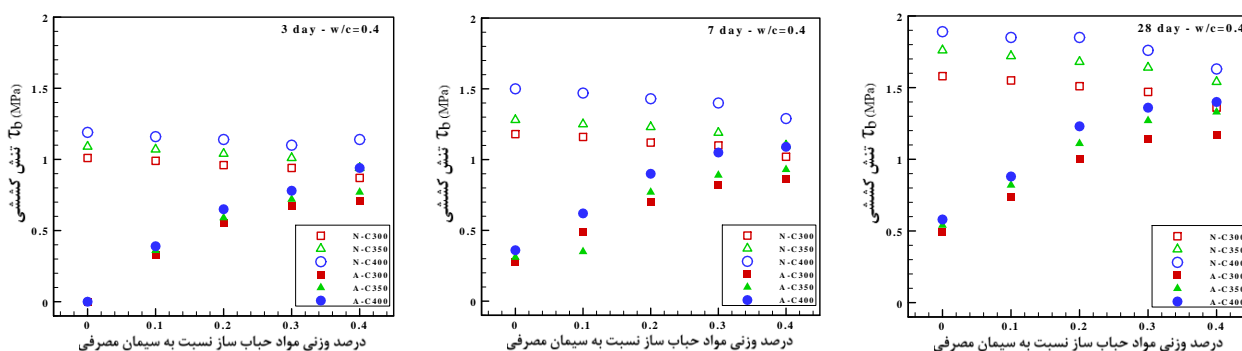


Fig. 10. The amount of changes in tensile strength compared to the change in the weight percentage of bubble-making materials in three processing periods of 3, 7 and 28 days in the water-cement ratio of 0.4

شکل ۱۱. میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز در سه دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵

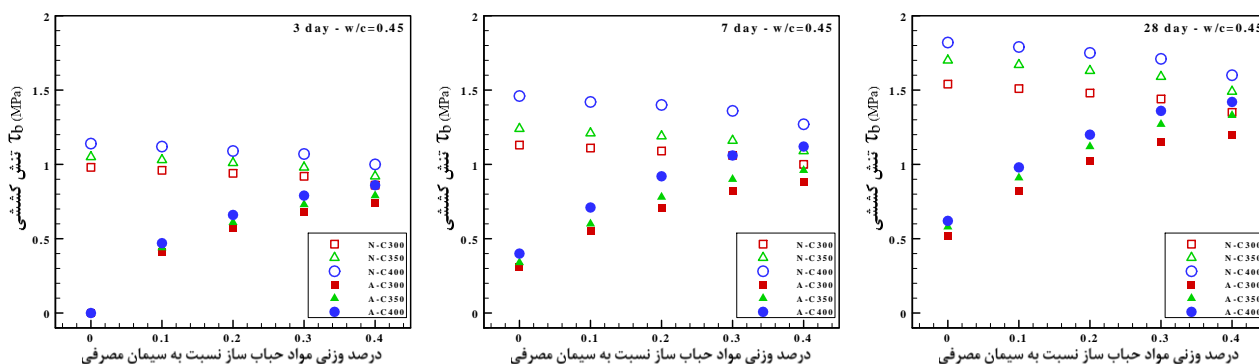


Fig. 11. The amount of changes in tensile strength compared to the change in the weight percentage of bubble-making materials in three processing periods of 3, 7 and 28 days in the water-cement ratio of 0.45

شکل ۱۲. میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز در سه دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ۰/۵

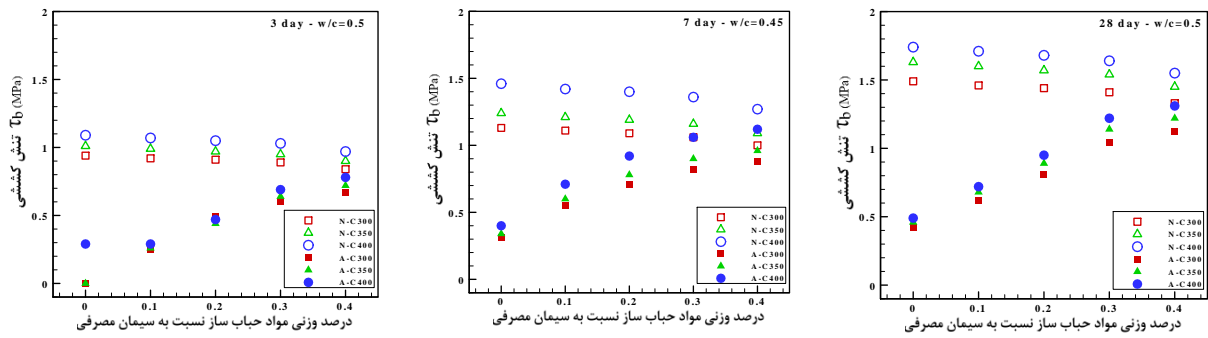


Fig. 12. The amount of changes in tensile strength compared to the change in the weight percentage of bubble-making materials in three processing periods of 3, 7 and 28 days in the water-cement ratio of 0.5

شکل ۱۳. میزان تغییرات مقاومت برشی با توجه به تغییر نسبت آب به سیمان در دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای مواد حباب‌ساز با درصد وزنی صفر

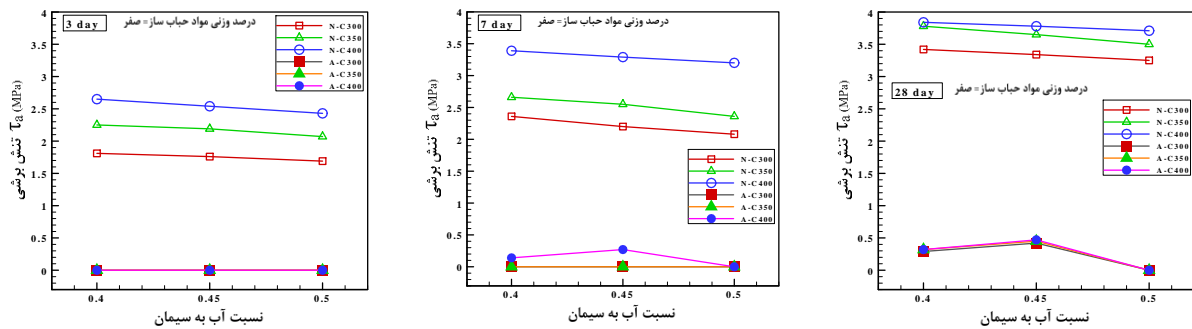


Fig. 13. The amount of changes in shear strength according to the change of water-cement ratio in the processing periods of 3, 7 and 28 days for bubble-making materials with zero weight percentage

شکل ۱۴. میزان تغییرات مقاومت برشی با توجه به تغییر نسبت آب به سیمان در دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای مواد حباب‌ساز با درصد وزنی ۰/۲

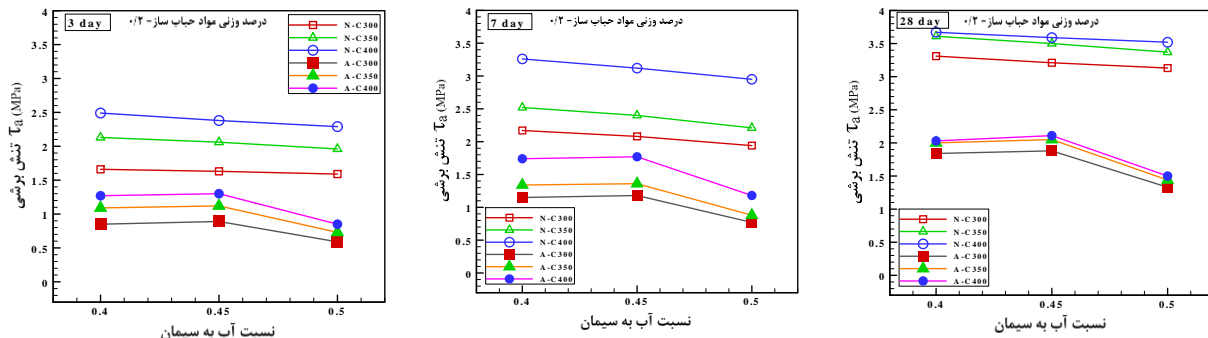


Fig. 14. The amount of changes in shear strength according to the change of water-cement ratio in the processing periods of 3, 7 and 28 days for bubble-making materials with 0.2 weight percentage

شکل ۱۵. میزان تغییرات مقاومت برشی با توجه به تغییر نسبت آب به سیمان در دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای مواد حباب‌ساز با درصد وزنی ۰/۴

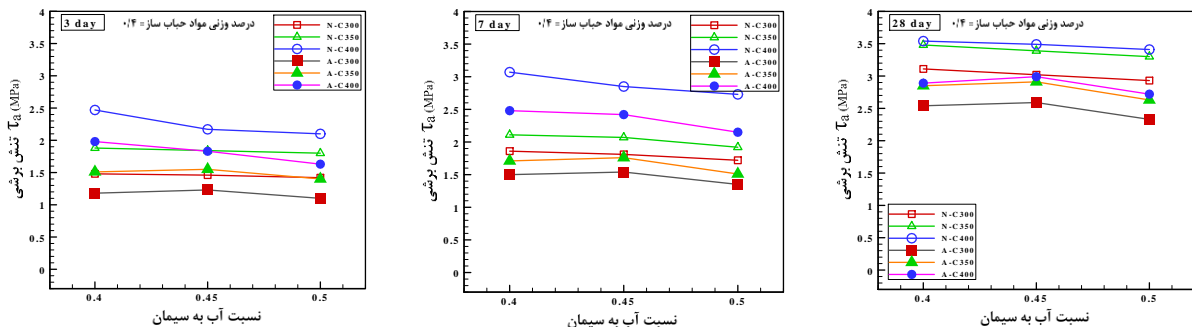


Fig. 15. The amount of changes in shear strength according to the change of water-cement ratio in the processing periods of 3, 7 and 28 days for bubble-making materials with 0.4 weight percentage

شکل ۱۶. میزان تغییرات مقاومت برشی با توجه به تغییر مدت زمان عمل‌آوری برای نسبت آب به سیمان ۰/۴۵

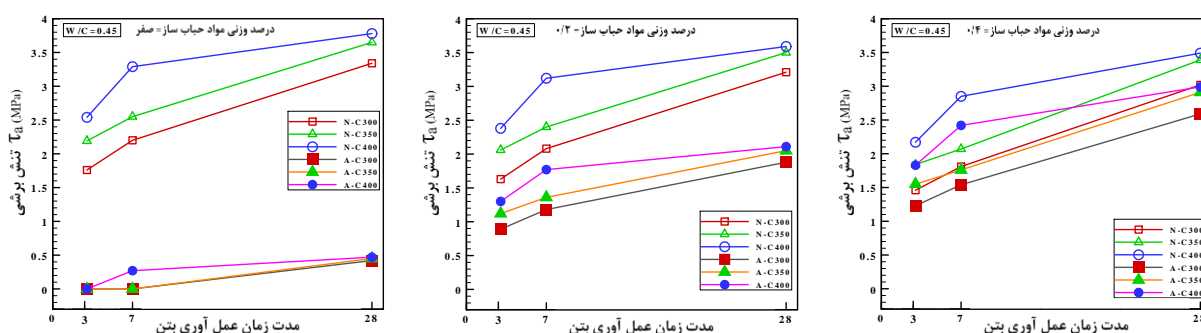


Fig. 16. The amount of changes in shear strength according to the change of processing time for the ratio of water to cement is 0.45

مطابق شکل (۱۶)، با افزایش مدت زمان عمل‌آوری بتن، مقاومت برشی برای حالت بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن افزایش می‌یابد ولی برای شرایط با چرخه یخ‌زدن و آب شدن و بتن با درصد وزنی مواد حباب‌ساز صفر، افزایش مدت زمان عمل‌آوری تغییر محسوسی در مقاومت برشی ایجاد نمی‌کند. در شرایط چرخه یخ‌زدن و آب شدن، برای بتن با میزان مواد حباب‌ساز بالاتر از صفر، با افزایش مدت زمان عمل‌آوری، میزان مقاومت برشی افزایش می‌یابد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن بر چسبندگی بین بتن جدید و قدیم با توجه به تغییر فاکتورهای ثانویه بتن با استفاده از مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل به شرح زیر می‌باشد:

- تأثیر چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن بر مقاومت برشی بیش از مقاومت کششی باند اتصال می‌باشد.

- بیشترین کاهش مقاومت اتصال پس اعمال چرخه دمایی مربوط به نمونه‌های با مقدار سیمان ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، میزان حباب‌ساز مصرفی صفر و نسبت آب به سیمان ۰/۵ می‌باشد.

- در برخی نمونه‌های با میزان حباب هوا ساز صفر پس از اعمال ۳۰۰ چرخه یخ‌زدن و آب شدن عملاً مقاومتی کسب نشد (به ویژه مقاومت برشی اتصال).

#### ۳-۲- تأثیر نسبت آب به سیمان روی مقاومت برشی

برای بررسی اثر نسبت آب به سیمان روی چسبندگی بین بتن قدیم و جدید از سه نسبت آب به سیمان، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۴۵ استفاده شده است. در شکل‌های (۱۳، ۱۴ و ۱۵) میزان تغییر مقاومت برشی با توجه به تغییر نسبت آب به سیمان در دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای سه سطح درصد وزنی مواد حباب‌ساز (۰، ۰/۲ و ۰/۴) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشخص شده، با افزایش نسبت آب به سیمان، در شرایط بدون چرخه یخ‌زدن و آب شدن، میزان مقاومت برشی روند کاهشی دارد ولی در شرایط با چرخه یخ‌زدن و آب شدن، مقاومت برشی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار مقاومت برشی تقریباً در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ رخ می‌دهد. همچنین چرخه دمایی، در نسبت آب به سیمان ۰/۵، بیشترین تأثیر را در کاهش مقاومت برشی نمونه‌های آزمایشگاهی دارد.

#### ۳-۳- تأثیر مدت زمان عمل‌آوری بتن روی مقاومت برشی

برای بررسی اثر مدت زمان عمل‌آوری بتن روی استحکام باند اتصال بتن قدیم و جدید از دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه استفاده شده است. در شکل (۱۶) میزان تغییر مقاومت برشی با توجه به تغییر دوره عمل‌آوری برای سه سطح درصد وزنی مواد حباب‌ساز (۰، ۰/۲ و ۰/۴) در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ نشان داده شده است.

Architecture and the Built Environment, KTH Royal Institute of Technology.

[3] Wan Z. 2011 Interfacial shear bond strength between old and new concrete. Master's Theses, Louisiana State University.

[4] Tayeh B.A., Bakar B.A., Johari M.M. & Voo Y.L. 2013 Evaluation of bond strength between normal concrete substrate and ultra high performance fiber concrete as a repair material. *Procedia Engineering*, 54.

[5] AlHallaq A.F. 2014 Improving bond strength between concrete over layers. Improving bond strength between concrete over layers. Published by the Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand, 48(1).

[6] Donjuan J. 2014 Evaluation of bonding agent application on concrete patch performance. Doctoral dissertation, Kansas State University.

[7] Carbonell Muñoz M.A., Harris D.K., Ahlborn T.M. & Froster, D.C. 2014 Bond performance between ultrahigh-performance concrete and normal-strength concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(8).

[8] Habouh M.I. 2015 Shear Transfer Strength of Concrete Placed Against Hardened Concrete. Doctoral dissertation, University of Akron.

[9] Rosen C.J. 2016 Shear Strength at the Interface of Bonded Concrete Overlays. Master's Theses.

[10] Vandhiyan R. & Kathiravan M. 2017 Effect of Bonding Chemical on Bond Strength Between Old and New Concrete. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, Structural Engineering Department of Civil Engineering, PSNA College of Engineering & Technology, Dindigul, Tamil Nadu, India.

[11] Kabay N. & Kizilkanat A.B. 2018 Mechanical properties of concrete to concrete interfaces under uniaxial and shear forces. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(6).

[12] Tayeh B.A., Naja M.A., Shihada S. & Arafa M. 2019 Repairing and strengthening of damaged rc columns using thin concrete jacketing. *Advances in Civil Engineering*, Hindawi.

[13] Croes L. 2019 Behavior of unreinforced concrete-to-concrete interfaces under shear loading. Master's Thesis, Eindhoven University.

[14] Sharma S., Aaleti, S. & Dao, T.N. 2019 An Experimental and Statistical Study of Normal Strength Concrete (NSC) to Ultra High Performance Concrete (UHPC) Interface Shear Behavior. In *International*

- استفاده از مواد حباب‌ساز با وجود کاهش مقاومت اتصال در نمونه‌های بدون اعمال چرخه دمایی، در نمونه‌های تحت چرخه یخ‌زدن و آب شدن موجب بهبود اتصال شد.

- نرخ کاهش مقاومت اتصال در نمونه‌هایی که شروع چرخه یخ‌زدن و آب شدن پس از ۳ روز عمل آوری، بیش از نمونه‌های با ۷ روز عمل آوری است. همین وضعیت در خصوص نمونه‌های با ۷ روز عمل آوری در مقایسه با نمونه‌های با ۲۸ روز عمل آوری صادق می‌باشد، هرچند کاهش مقاومت کمتر می‌باشد.

- با استفاده از مواد حباب‌ساز تا ۰/۴ وزن سیمان مصرفی و اعمال چرخه دمایی، مقاومت اتصال در نسبت‌های آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۴۵ دارای اختلاف بسیار ناچیزی می‌باشند (به ویژه در نمونه‌های با شروع چرخه دمایی پس از ۲۸ روز عمل آوری).

- بیشترین مقاومت اتصال پس از اعمال چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن در نمونه‌های پس از ۳ روز عمل آوری در نسبت آب به سیمان ۰/۴، مقدار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و استفاده از ۰/۴ درصد وزن سیمان مصرفی به عنوان حباب‌ساز می‌باشد.

- در نمونه‌های با شروع چرخه دمایی پس از ۷ روز عمل آوری، بیشترین مقاومت برشی در نسبت آب به سیمان ۰/۴ و بیشترین مقاومت کششی در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، هر دو با مقدار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و استفاده از ۰/۴ درصد وزن سیمان مصرفی به عنوان حباب‌ساز می‌باشد.

- در نمونه‌های با ۲۸ روز عمل آوری، بیشترین مقاومت اتصال مربوط به نمونه‌های با مقدار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و استفاده از ۰/۴ درصد وزن سیمان مصرفی به عنوان حباب‌ساز می‌باشد.

## ۵- منابع

[1] Shin H.C. & Wan Z. 2010 Interfacial properties between new and old concretes. In *2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Ancona, Italy.

[2] Neshvadian K. 2010 Evaluation of Bond Strength between Overlay and Substrate in Concrete Repairs.

- [18] ASTM. 2005 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. ASTM C494, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.
- [19] Iranian National Standardization Organization (INSO-6047). 2016 Concrete- Determination of the splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens- Test method, 1st. Revision (In Persian).
- [20] ASTM. 2017 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM C496, ASTM International.
- Interactive Symposium on Ultra-High Performance Concrete, Iowa State University Digital Press, 2(1).
- [15] ASTM. 2003 Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. ASTM C666, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.
- [16] AASHTO T259. 2002 Standard Method of Test for Resistance of Concrete to Chloride Ion Penetration. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- [17] ASTM. 2011 Standard Test Method for Air-Entraining Admixtures for Concrete Active Standard. ASTM C233, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.

# The Effect of Freezing and Thawing Cycles on the Adhesion Between New and Old Concrete with Different Secondary Factors

Meysam Sadighi<sup>1</sup>, Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin<sup>2\*</sup>, Mohammad Naghavi<sup>3</sup>

1- Ph.D. Candidate in Civil Eng., Department of Civil Eng., Urmia University, Iran.

2\* - Professor in Civil Eng., Faculty of Civil Eng., University of Tabriz, Iran.

3- PhD in Civil Eng. (Water and Hydraulic Structures), Department of Civil Eng., Urmia University, Iran.

Email: lotfollahi@tabrizu.ac.ir

## Abstract:

Adding fresh concrete to old concrete is a common method for repairing or strengthening structures. In this research, in order to evaluate the shear and tensile strength of the joint of old and new concrete under successive cycles of freezing and thawing of new concrete with cement grades of 300, 350 and 400 kg/m<sup>3</sup> and three water-to-cement ratios of 0.4, 0.45, 0.5 and bubble-making materials with amounts of 0.0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 of the weight of cement used. Then, 300 consecutive cycles of freezing and thawing were performed on the samples after 3, 7 and 28 days of processing period. Freezing and thawing periods include lowering the temperature of the samples from 4°C to -18°C and raising it from -18°C to 4°C, which is done alternately and in a period of 4 hours for each thawing-freezing cycle. The samples were frozen for 3 hours and placed in water for 1 hour for the thawing process. The results of this research show that the effect of freezing and thawing cycles on the shear strength is more than the tensile strength of the bond and the increase in the weight percentage of the bubble-making material has the greatest effect on the shear stress during the 28-day processing period, and with the increase in the weight percentage of the bubble-making material from zero to 0.4, the difference in the amount of shear stress in the conditions with and without the freezing and thawing cycle decreases. The maximum decrease in the shear strength of the joint bond after the application of the temperature cycle is zero in the amount of bubble-making material, so that for a 28-day concrete sample, the shear strength decreases by 93% on average in the ratio of water to cement and different grades of cement. According to the results of this research, with the increase in the weight percentage of bubble-making materials from zero to 0.4, for concrete with 300, 350 and 400 kg/m<sup>3</sup> grade, the amount of shear stress for different water-cement ratios and different processing periods decreases on average by 15%, 14% and 11%, respectively. But for laboratory conditions with freezing and thawing cycles, the amount of shear stress increases significantly with the increase in the weight percentage of bubble-making materials, so that for concrete with 300, 350 and 400 kg/m<sup>3</sup> grade in the 28-day processing period and the ratio of water to cement 0.45, with the increase in the weight percentage of bubble-making materials from zero to 0.4, the amount of shear stress reaches from a very small value of 0.42, 0.45 and 0.47 to 2.59, 2.91 and 2.99 MPa. With the increase of water-cement ratio in conditions without freezing and thawing cycle, the amount of shear strength decreases, but in conditions with freezing and thawing cycles, the shear strength first increases and then decreases, so that the highest value of shear strength occurs in the water-cement ratio of 0.45. Also, the highest bond strength after applying freezing and thawing cycles in the samples, after 3 days of processing in water to cement ratio of 0.4, grade of 400 kg/m<sup>3</sup> and using 0.4% of cement weight used as bubble material occurs.

**Keywords:** Shear Strength, Connection Point, New and Old Concrete, Freezing and Thawing Cycle.