

## Research Paper

# Investigating the Tension Strength of New and Old Concrete Joints in Hydraulic Structures Under the Effect of Freezing and Thawing Cycles

Meysam Sadighi<sup>1</sup>Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin<sup>2\*</sup><sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering, Urmia University, Urmia, Iran<sup>2</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran[10.22125/IWE.2022.351430.1650](https://doi.org/10.22125/IWE.2022.351430.1650)

Received:

**July 12, 2022**

Accepted:

**November 5, 2022**

Available online:

**August 23, 2023****Keywords:****Tension strength, Connection band, Adhesion, Freezing and thawing cycle, new and old concrete.****Abstract**

In the repair and strengthening operation of hydraulic structures used in various water projects, a common method is to add new concrete to the old concrete. In new conditions, the surface of the new and old concrete must be able to withstand the stresses. In this research, in order to evaluate the tension strength at the junction of old and new concrete under successive cycles of freezing and thawing, for new concrete from three water-to-cement ratios of 0.4, 0.45 and 0.5 and bubble-making materials with values of 0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 percent by weight of cement used, as well as three grades of cement 300, 350 and 400 kg/m<sup>3</sup> have been used and 300 consecutive cycles of thawing and freezing were applied after 3, 7 and 28 days of processing. The periods of thawing and freezing 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 for the condition with and without the thawing and freezing cycle, the tension stress increases and decreases with the increase in the weight percentage of the bubble-making material, and in the concrete sample with a processing period of 28 days, the ratio of water to cement is 0.4, 0.45 and 0.5 and zero consumption bubble, the average tension strength decreases by 69%, 66% and 72%, respectively, and for concrete with 0.4 consumption bubble, it decreases by 14%, 11% and 16%, respectively. Also, after applying the freezing and thawing cycle, the highest and lowest reduction in tension strength occurs in the water-cement ratio of 0.5 and 0.45, respectively.

\* **Corresponding Author:** Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin  
**Address:** Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

**Email:** lotfollahi@tabrizu.ac.ir

## 1. Introduction

When repairing old concrete using fresh concrete, in concrete connection layers, even with sufficient strength in both old and new concrete layers, the joint surface is still in danger of failure and can be considered the most sensitive part of this system. In the present paper, to evaluate the adhesion between old and new concrete under successive freezing and thawing cycles, two tests for determining the shear strength and tension strength have been used to evaluate the bond strength. Neshvadian (2010) in a study investigated the strength of the bond between old and new concrete. The results of this study showed that many factors such as surface roughness, processing, etc. Also, according to the loading methods, the bond strength is determined.

## 2. Materials and Methods

In this research, to investigate the effect of freezing and thawing cycles on the adhesion between new and old concretes, experiments have been performed in Sahand Laboratory, Tabriz. In this study, for old concrete, the same granulation of new concrete with a life of 90 days and a grade of 350 and a water to cement ratio of 0.4 were used. In the connection created between the old and new concrete, no other factors such as glue, etc. have been used. The variables considered in this research, which are used in the test to determine the tension strength, are a combination of the following conditions:

- a- Cement grade used in three modes: 300, 350 and 400 kg/m<sup>3</sup>
- b- Weight percentage of bubble material compared to cement in five levels 0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 according to ASTM standard
- c- Using three ratios of water to cement (W/C) 0.4, 0.45 and 0.5
- d- Start 300 freezing and thawing cycles in three modes after 3, 7 and 28 days of new concrete processing.

To measure the effect of freezing and thawing cycles on the adhesion between old and new concretes, the samples were placed in a special test apparatus with a performance in accordance with ASTM C666. Thawing and freezing cycles 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 for a period of time that is not less than 2 hours and not more than 5 hours.

To evaluate the tension strength, first half of the cube is concreted and processed, then the other half is concreted and processed. The samples that have undergone successive cycles of thawing and freezing are placed between the plates of the concrete breaker jack so that its axis is horizontal, and then the load is increased until rupture occurs. In these experiments, the amount of tension stress is calculated according to equation 1, where  $\tau_b$  is the tension stress and  $a$  is the size of the side of the section.

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

Figure 1 shows the placement of the samples and the steps of the tension strength test.



Fig. 1. The steps of performing the tension strength test and how to connect new and old concretes

## 3. Results

To investigate the effect of bubbling materials on the adhesion between old and new concrete and to evaluate the bond strength, five levels of bubbling materials (0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4) were used according to the weight percentage of cement used in the experiments. Figure 2 shows the rate of

change in tension strength relative to the weight percentage change of bubble material in three processing periods of 3, 7 and 28 days for the ratio of water to cement 0.45.

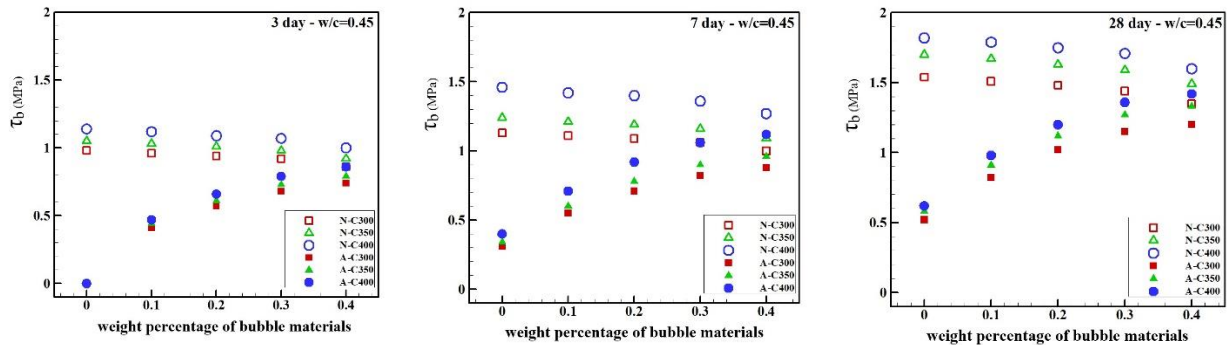


Fig. 2. The rate of change in tension stress relative to the change in weight percentage of bubble material in three processing periods of 3, 7 and 28 days in the ratio of water to cement 0.45

Figure 3 shows the change in tension strength due to the change in processing time for three levels of weight percentage of bubbly materials (0, 0.2 and 0.4) in the ratio of water to cement 0.45.

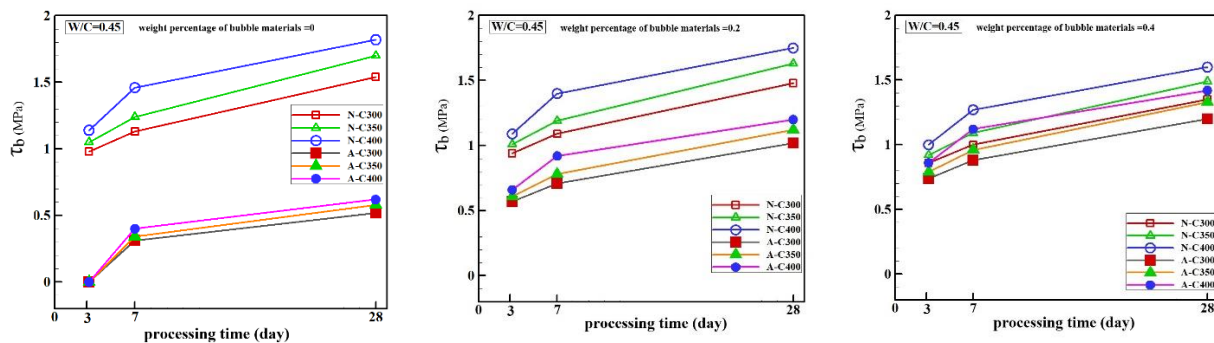


Fig. 3. The rate of change in tension strength due to the change in processing time for the ratio of water to cement 0.45

#### 4. Discussion and Conclusion

According to Figure 2, for the case with freezing and thawing cycles, the tension stress increases with increasing weight percentage of bubbling material, but in experiments without freezing and thawing cycles, the tension stress decreases with increasing weight percentage of bubbling material so that in experiments without freezing and thawing cycles, with increasing the weight percentage of bubble materials from zero to 0.4, for concrete with a grade of 300, 350 and 400 kg/m<sup>3</sup>, the tension stress for the ratio of water to cements and different processing periods decreases on average by 12, 12 and 11%, respectively. However, for Experimental conditions with freezing and thawing cycles, the amount of tension stress increases significantly with increasing weight percentage of bubble material, so that for concrete with a grade of 300, 350 and 400 kg/m<sup>3</sup> in a 28-day processing period and a water to cement ratio of 0.45, with increasing the weight percentage of bubble materials from zero to 0.4, the tension stress increases by 131%, 131% and 129%, respectively.

According to Figure 3, with increasing concrete processing time, the tension strength for the state without freezing and thawing cycles increases, but for conditions with freezing and thawing cycles and concrete with zero bubble weight percentage, increasing the processing time does not change the tension strength. Under the conditions of the freezing and thawing cycles, for concrete with the amount of bubbling material above zero, the amount of tension strength increases with increasing curing time.

In this research, the effect of freezing and thawing cycles on the adhesion between new and old concrete due to the change of secondary factors of concrete was investigated using a experimental model and the results are as follows:

After applying the freezing and thawing cycle, the maximum and minimum decrease in tension strength occurs in the water-cement ratio of 0.5 and 0.45, respectively.

For concrete samples with different amounts of bubble materials, in each water-cement ratio, the tension strength increases with and without the freezing and thawing cycle as the processing period increases.

After applying the temperature cycle in the concrete sample with 0.45 water-cement ratio, for 0, 0.2 and 0.4 bubble materials in the 3-day processing period, the average amount of tension strength was 100%, 39% and 14%, decrease respectively, and for concrete with the 28-day processing period, 66%, 31% and 11% decrease respectively.

For the case with freezing and thawing cycle, the tension stress increases with the increase in the weight percentage of the bubble material, but in the tests without the freezing and thawing cycle, the amount of tension stress decreases with the increase in the weight percentage of the bubble material.

The maximum decrease in the tension strength of the connection band after the application of the temperature cycle is at zero amount of bubbler used.

## 5. Six important references

- 1) 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.
- 2) ACI Committee 201. 2001. Guide to Durable Concrete, American Concrete Institute. Alves Galvo, J.C., Franke, K., Morales Korm, A.C., Galvão, J.C.A., Portella, K.F. and Ormann, A.
- 3) C.M. 2012. Abrasive Effects Observed in Concrete Hydraulic Surfaces of Dams and Application of Repair materials. *Abrasion Resist. Mater.* 19–34.
- 3) Anon. 2000a. Guide to Concrete Repair. Technical Service Center. USBR.
- 4) ASTM. 2003. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, ASTM C666, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. 04-02.
- 5) Neshvadian Bakhsh K, "Evaluation of Bond Strength between Overlay and Substrate in Concrete Repairs", Architecture and the Built Environment, KTH Royal Institute of Technology, 2010.

## 6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

## بررسی مقاومت کششی اتصال بتن جدید و قدیم در سازه‌های هیدرولیکی تحت اثر چرخه‌های یخبندان و ذوب

میثم صدیقی<sup>۱</sup>، محمد علی لطف الهی یقین<sup>۲\*</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

مقاله پژوهشی

### چکیده

در عملیات ترمیم و تقویت سازه‌های هیدرولیکی در انواع پروژه‌های آبی، یک روش معمول اضافه کردن بتن تازه بر روی بتن قدیمی است. در شرایط جدید، سطح اتصال بتن جدید و قدیم باید توانایی مقابله در برابر تنش‌های وارده را داشته باشد. در این تحقیق جهت ارزیابی مقاومت کششی سطح اتصال بتن قدیم و جدید تحت چرخه‌های متوالی ذوب و انجماد از بتن جدید با عیار ۳۵۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و سه نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ و همچنین از مواد حباب ساز با مقادیر ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد وزنی سیمان مصرفی استفاده شده است. اعمال ۳۰۰ چرخه متوالی ذوب و انجماد پس از ۷، ۳ و ۲۸ روز عمل‌آوری صورت پذیرفت. دوره‌های ذوب و انجماد 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 ذوب-انجماد صورت گرفت. نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت به حالت انجماد و ۱ ساعت در داخل آب جهت طی فرآیند ذوب قرار داده شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که برای حالت با و بدون چرخه ذوب و انجماد، با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز تنش کششی به ترتیب روند افزایشی و کاهشی دارد و در نمونه بتن با دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه، برای نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ و حباب مصرفی صفر، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۶۹، ۶۶ و ۷۲ درصد و برای بتن با حباب مصرفی ۰/۴ به ترتیب ۱۴، ۱۱ و ۱۶ درصد کاهش می‌یابد. همچنین پس از اعمال چرخه انجماد و ذوب، بیشترین و کمترین کاهش مقاومت کششی به ترتیب در نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۴۵ رخ می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت کششی، باند اتصال، چسبندگی، چرخه انجماد و ذوب، بتن جدید و قدیم.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترای مهندسی عمران - سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، meysamsadighi1984@gmail.com

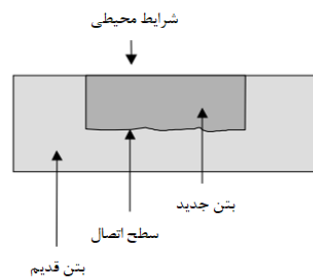
<sup>۲</sup> استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، lotfollahi@tabrizu.ac.ir (نویسنده مسئول)



## مقدمه

سازه‌های هیدرولیکی از قبیل سدهای مخزنی، بندهای انحرافی، دهانه‌های آبگیری، کانال‌های آبیاری و تاسیسات وابسته آنها، در طول عمر بهره‌برداری دچار آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و اجرایی متنوعی می‌شوند. از عوامل فیزیکی که علت عمده آسیب‌های بتن در سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد، شامل سایش و فرسایش، پدیده خللازی و چرخه‌های ذوب و انجماد است. در مناطق سردسیر، خرابی ناشی از چرخه‌های ذوب و انجماد مهم‌ترین آسیب گزارش شده است (Graham et al, 1998). ترمیم شکستگی و یا بازسازی تخریب‌های سازه‌های هیدرولیکی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، چرا که در صورت آسیب دیدن این سازه‌های استراتژیک ممکن است علاوه بر خسارت‌های مالی، جان افراد زیادی در معرض خطر قرار گیرد. در زمان ترمیم و یا

مقاوم‌سازی بتن قدیم با استفاده از بتن تازه، در لایه‌های تعمیراتی 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 بتن قدیم و جدید دارای مدول‌های الاستیسیته‌ی متفاوتی بوده به گونه‌ای که حتی با وجود یکسان بودن تنش وارده، کرنش‌های متفاوتی خواهند داشت. سطح اتصال باید بتواند این تفاوت کرنش را تحمل کند. این مسئله شامل تفاوت کرنش‌های مربوط به دما نیز می‌شود. از طرف دیگر در صورت اضافه کردن بتن تازه، این بتن جمع‌شدگی (انقباض) نیز دارد که یکی دیگر از نقاط ضعف سطح اتصال است. در شکل ۱ شمایی از سیستم ترمیم بتن شامل بتن قدیم، بتن جدید و سطح اتصال اتصال ارائه شده است.



شکل (۱): شمایی کلی از سیستم ترمیم بتن

از دیرباز محققین به دنبال روش‌هایی بوده‌اند که ترمیم بتن و اتصال بتن قدیم و جدید با روش صحیح انجام شود تا موجب افزایش عمر مفید سازه گردد. از انواع روش‌های ترمیمی پیشنهاد شده می‌توان به استفاده از مواد حباب ساز، انواع ملات اپوکسی، میکروسیلیسی، الیافی، پلیمری اشاره کرد. در مورد ارزیابی روش‌های ترمیمی بتن و کیفیت اتصال بتن قدیم و جدید و همچنین اثر چرخه انجماد و ذوب روی مقاومت بتن تحقیقات متعددی انجام شده است که در ادامه مفصلاً به آن‌ها پرداخته می‌شود.

اولین پژوهش‌ها در رابطه با تأثیر یخ زدن بر بتن، فرضیاتی در زمینه مکانیزم انجماد بتن بود. این فرضیات

نشان می‌دهد که خمیر سیمان سخت شده و سنگ‌دانه، هنگامی که در معرض سیکل‌های یخ و ذوب 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. رمضانیان پور و شاه‌نظری (۱۳۶۹)، خرابی بتن سخت شده بر اثر چرخه‌های مکرر یخ زدن-ذوب شدن در هوای سرد را در سازه‌های آبی محتمل‌تر از سایر سازه‌های بتنی می‌دانند. در اغلب موارد یخ زدن-ذوب شدن پدیده‌ای طبیعی است و جلوگیری از آن خارج از توان و اختیار بشر است. از این‌رو تنها راه جلوگیری از تخریب بتن، کاهش جذب آب توسط بتن و عوارض

عمل آوری و غیره بر استحکام باند تأثیر می‌گذارد و با توجه به روش‌های بارگذاری، استحکام باند تعیین می‌شود. Wan (2011)، طی تحقیقی اتصال بین بتن‌های قدیم و جدید را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که دود سیلیس مقاومت فشاری بتن جدید و استحکام باند 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. Alves Galvo et al. (2012)، با ارزیابی اثرات سایشی مشاهده شده در سطوح سازه‌های هیدرولیکی سد-نیروگاه برق‌آبی سان پائولوی برزیل، راهکارهای ترمیم این سطوح را مطالعه کردند. ملات‌های ترمیمی در ۴ نوع اپوکسی، پلیمری بازیافتی، ملات با فوم سیلیس و بتن با الیاف فولادی استفاده شدند. نتایج ارزیابی پارامترهای مقاومت فشاری، مقاومت در برابر سایش نشان داد که مقاومت فشاری نمونه‌های ترمیمی با بتن اپوکسی بهتر از سایر نمونه‌های بتن بود. همچنین اضافه کردن مواد پلیمری بازیافتی به بتن، مقاومت فشاری بتن را کاهش می‌دهد.

Tayeh et al. (2013)، با بررسی استحکام باند اتصال بتن با کارایی فوق‌العاده بالا (UHPC) و بتن معمولی (NC) نشان دادند که بتن UHPC اتصال عالی با سطح بستر NC دارد و به علت اینکه اکثر شکستگی‌ها در آزمایشات در بستر بتن معمولی صورت می‌پذیرد نتیجه گیری می‌شود که حتی استحکام باند از قدرت بستر NC هم بیشتر است. Croes (2019)، تأثیر تفاوت مدول‌های الاستیسیته بین دو بتن را بررسی نمود و نشان داد که تفاوت زیاد مدول‌های الاستیسیته، ممکن است مقاومت برشی رابط را کاهش دهد. Sharma (2019) طی یک تحقیق تجربی متشکل از ۱۰ نمونه آزمایشگاهی به بررسی رفتار مقاومت برشی در سطح رابط NSC-UHPC پرداختند (UHPC بتن با کارایی فوق‌العاده بالا و NSC بتن معمولی). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش عمق زبری در ناحیه تقویت‌کننده، تأثیر مثبتی در ظرفیت برشی رابط دارد.

با توجه به مطالعات انجام شده و اهمیت چسبندگی بتن قدیم و جدید در عملیات ترمیم سطوح بتنی انواع

احتمالی ناشی از جذب آب زیاد و اشباع شدن آن خواهد بود (Anon, 2000a). انجمن بتن آمریکا (۱۹۹۴ تا ۲۰۰۵) با استفاده از تحقیقات گسترده انجام شده در خصوص فرسایش در سازه‌های هیدرولیکی، جهت بهبود کیفیت بتن روش‌هایی از طرح اختلاط بتن حجیم و نحوه اجرای آن را ارائه داد. همچنین انجمن بتن ژاپن (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷) تحقیقاتی بر روی بهبود خواص مکانیکی بتن استفاده شده در سازه‌های هیدرولیکی انجام داد و به بتن‌های خاص مانند بتن الیافی و بتن با سنگدانه بازیافتی دست یافت (Xiao, 2013). Kearsley and Wainwright (2002)، تأثیر تخلخل را بر مقاومت بتن حباب‌دار مورد بررسی قرار دادند و نتایج این تحقیق نشان داد که تخلخل بتن وابستگی شدیدی به چگالی خشک آن دارد و مقاومت فشاری بتن تابعی از تخلخل و سن بتن است و با افزایش تخلخل، چگالی خشک و مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. Kormann et al. (2003)، عملکرد چهار روش ترمیم بتن با ملات اپوکسی، میکروسیلیسی، بتن الیافی و پلیمری در سازه‌های هیدرولیکی سد بتنی را مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت در برابر سایش، مقاومت کششی-خمشی و شرایط تحمیلی محیطی (شدت تابش و رطوبت)، ملات اپوکسی بهترین عملکرد را بین نمونه‌های بتن نشان داد. البته این ملات با توجه به مدول الاستیسیته کمتر نسبت به دیگر بتن‌ها، برای اجرا در سرریزها و سطوح منحنی نیاز به تجهیزات خاص دارد. Shin and Wan (2010)، طی تحقیقی به بررسی رابط اتصال بین سطوح بتنی جدید و قدیم پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که دود سیلیس در بتن جدید نه تنها مقاومت فشاری بتن جدید بلکه مقاومت باند برشی رابط را نیز افزایش می‌دهد. همچنین برای همه بتن‌ها مشخص گردید که شرایط سطح خشک اشباع شده منجر به استحکام باند اتصال می‌شود. Neshvadian Bakhsh (2010)، طی یک تحقیقی با تمرکز بر 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،

اختلاط آیین‌نامه ACI 211 مطابق جدول ۱ استفاده گردید.

### پارامترهای مورد بررسی و نحوه ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

در این مطالعه برای بتن قدیمی از بتن با همان دانه بندی بتن جدید با عمر حداقل ۹۰ روزه با عیار ۳۵۰ و نسبت آب به سیمان ۰/۴ استفاده شد. در اتصال ایجاد شده بین بتن قدیم و جدید از هیچ گونه عامل دیگری نظیر چسب، الیاف یا عناصر رابط مانند میلگرد و... استفاده نگردیده است. جذب آب از عوامل نامطلوب بوده و برای بتن مضر است، زیرا احتمال یخ زدگی و فرسایش را افزایش می‌دهد. تجربه نشان داده است که بتن دارای هوا درصد جذب آب به مراتب کمتری از بتن بدون هوا می‌باشد لذا در این تحقیق مقاومت کششی محل اتصال تحت اثر تغییر نسبت آب به سیمان نمونه‌های بتنی مورد بررسی قرار گرفت.

سازه‌های هیدرولیکی و خصوصا تاثیر چرخه‌های یخبندان-ذوب بر رفتار بتن، در این مقاله به تاثیر چرخه‌های یخبندان و ذوب بر مقاومت کششی اتصال بتن جدید و قدیم با فاکتورهای ثانویه متفاوت تاثیرگذار در اتصال باند پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای بررسی اثر چرخه‌های یخبندان و ذوب‌شدگی بر چسبندگی بین دو بتن جدید و قدیم آزمایشاتی در مجتمع آزمایشگاهی سهند تبریز انجام شده است. برای این منظور از نمونه ماسه با مدول نرمی ۳/۰۵ با بزرگترین اندازه سنگدانه ۲۵ میلی‌متر و جرم حجمی ۱۴۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شده است. جهت تعیین طرح اختلاط، با توجه به معلوم بودن عیار سیمان و نسبت آب به سیمان، مقدار آب هر اختلاط محاسبه می‌گردد. جهت تعیین طرح اختلاط بتن از روش طرح

جدول (۱): طرح اختلاط بتن مطابق آیین‌نامه ACI211

وزن حباب ساز (Kg)	آب (Lit)	ماسه (Kg)	شن (Kg)	سیمان (Kg)	نسبت آب به سیمان (w/c)
۰	۶۴.۵۳	۱۱۶۴.۸۴	۸۵۰.۶۲	۳۰۰	۰.۴
۰	۸۰.۳۴	۱۱۴۷.۸۰	۸۵۱.۸۵	۳۰۰	۰.۴۵
۰	۹۶.۱۵	۱۱۳۰.۷۶	۸۵۳.۰۸	۳۰۰	۰.۵
۰.۳	۶۹.۴۰	۱۰۶۲.۵۹	۸۵۸.۰۰	۳۰۰	۰.۴
۰.۳	۸۵.۲۱	۱۰۴۵.۵۵	۸۵۹.۲۳	۳۰۰	۰.۴۵
۰.۳	۱۰۱.۰۲	۱۰۲۸.۵۱	۸۶۰.۴۶	۳۰۰	۰.۵
۰.۶	۶۹.۴۰	۱۰۶۲.۵۹	۸۵۸.۰۰	۳۰۰	۰.۴
۰.۶	۸۵.۲۱	۱۰۴۵.۵۵	۸۵۹.۲۳	۳۰۰	۰.۴۵
۰.۶	۱۰۱.۰۲	۱۰۲۸.۵۱	۸۶۰.۴۶	۳۰۰	۰.۵
۰.۹	۶۹.۴۰	۱۰۶۲.۵۹	۸۵۸.۰۰	۳۰۰	۰.۴
۰.۹	۸۵.۲۱	۱۰۴۵.۵۵	۸۵۹.۲۳	۳۰۰	۰.۴۵
۰.۹	۱۰۱.۰۲	۱۰۲۸.۵۱	۸۶۰.۴۶	۳۰۰	۰.۵
۱.۲	۶۹.۴۰	۱۰۶۲.۵۹	۸۵۸.۰۰	۳۰۰	۰.۴
۱.۲	۸۵.۲۱	۱۰۴۵.۵۵	۸۵۹.۲۳	۳۰۰	۰.۴۵
۱.۲	۱۰۱.۰۲	۱۰۲۸.۵۱	۸۶۰.۴۶	۳۰۰	۰.۵
۰	۸۸.۳۱	۱۰۸۵.۳۱	۸۵۶.۳۶	۳۵۰	۰.۴
۰	۱۰۶.۷۶	۱۰۶۵.۴۳	۸۵۷.۸۰	۳۵۰	۰.۴۵
۰	۱۲۵.۲۱	۱۰۴۵.۵۵	۸۵۹.۲۳	۳۵۰	۰.۵



ادامه جدول (۱): طرح اختلاط بتن مطابق آیین نامه ACI211

۰.۳۵	۹۳.۱۸	۹۸۳.۰۶	۸۶۳.۷۴	۳۵۰	۰.۴
۰.۳۵	۱۱۱.۶۳	۹۶۳.۱۸	۸۶۵.۱۸	۳۵۰	۰.۴۵
۰.۳۵	۱۳۰.۰۸	۹۴۳.۳۰	۸۶۶.۶۱	۳۵۰	۰.۵
۰.۷	۹۳.۱۸	۹۸۳.۰۶	۸۶۳.۷۴	۳۵۰	۰.۴
۰.۷	۱۱۱.۶۳	۹۶۳.۱۸	۸۶۵.۱۸	۳۵۰	۰.۴۵
۰.۷	۱۳۰.۰۸	۹۴۳.۳۰	۸۶۶.۶۱	۳۵۰	۰.۵
۱.۰۵	۹۳.۱۸	۹۸۳.۰۶	۸۶۳.۷۴	۳۵۰	۰.۴
۱.۰۵	۱۱۱.۶۳	۹۶۳.۱۸	۸۶۵.۱۸	۳۵۰	۰.۴۵
۱.۰۵	۱۳۰.۰۸	۹۴۳.۳۰	۸۶۶.۶۱	۳۵۰	۰.۵
۱.۴	۹۳.۱۸	۹۸۳.۰۶	۸۶۳.۷۴	۳۵۰	۰.۴
۱.۴	۱۱۱.۶۳	۹۶۳.۱۸	۸۶۵.۱۸	۳۵۰	۰.۴۵
۱.۴	۱۳۰.۰۸	۹۴۳.۳۰	۸۶۶.۶۱	۳۵۰	۰.۵
۰	۱۱۲.۱۰	۱۰۰۵.۷۸	۸۶۲.۱۰	۴۰۰	۰.۴
۰	۱۳۳.۱۸	۹۸۳.۰۶	۸۶۳.۷۴	۴۰۰	۰.۴۵
۰	۱۵۴.۲۶	۹۶۰.۳۴	۸۶۵.۳۸	۴۰۰	۰.۵
۰.۴	۱۱۶.۹۷	۹۰۳.۵۴	۸۶۹.۴۸	۴۰۰	۰.۴
۰.۴	۱۳۸.۰۵	۸۸۰.۸۱	۸۷۱.۱۲	۴۰۰	۰.۴۵
۰.۴	۱۵۹.۱۳	۸۵۸.۰۹	۸۷۲.۷۶	۴۰۰	۰.۵
۰.۸	۱۱۶.۹۷	۹۰۳.۵۴	۸۶۹.۴۸	۴۰۰	۰.۴
۰.۸	۱۳۸.۰۵	۸۸۰.۸۱	۸۷۱.۱۲	۴۰۰	۰.۴۵
۰.۸	۱۵۹.۱۳	۸۵۸.۰۹	۸۷۲.۷۶	۴۰۰	۰.۵
۱.۲	۱۱۶.۹۷	۹۰۳.۵۴	۸۶۹.۴۸	۴۰۰	۰.۴
۱.۲	۱۳۸.۰۵	۸۸۰.۸۱	۸۷۱.۱۲	۴۰۰	۰.۴۵
۱.۲	۱۵۹.۱۳	۸۵۸.۰۹	۸۷۲.۷۶	۴۰۰	۰.۵
۱.۶	۱۱۶.۹۷	۹۰۳.۵۴	۸۶۹.۴۸	۴۰۰	۰.۴
۱.۶	۱۳۸.۰۵	۸۸۰.۸۱	۸۷۱.۱۲	۴۰۰	۰.۴۵
۱.۶	۱۵۹.۱۳	۸۵۸.۰۹	۸۷۲.۷۶	۴۰۰	۰.۵

همراه خواهد داشت. در هر دوره با فشاری که به هر کدام از حفرات وارد می‌شود باعث انبساط حفره شده و باعث می‌شود که حفره در دوره‌های بعدی و در هنگام جذب آب مقداری بیشتری آب را در خود جای داده و افزایش حجم و فشار بیشتری را به بتن تحمیل کند. بنابراین تاثیر مواد حباب ساز روی مقاومت کششی محل اتصال تحت اثر چرخه انجماد و ذوب یکی از عوامل بسیار مهمی است که باید مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به مطالب بیان شده، متغیرهای مورد نظر در این تحقیق که در آزمایش تعیین مقاومت کششی سطح اتصال از آن برای ساخت نمونه‌ها استفاده شده است ترکیبی از شرایط ذیل می‌باشد:

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

دمای صفر درجه سانتیگراد دمایی است که آب خالص در آن دما یخ می‌زند، درحالی‌که آب موجود در بتن که محلولی از نمک‌های گوناگون است در دمایی پایین‌تر از صفر درجه منجمد خواهد شد. از دیگر عوامل تأثیرگذار در دمای انجماد آب، اندازه حفره‌های بتن است که با آب پر شده است. هر چه اندازه حفره کوچکتر باشد دمای انجماد پایین‌تر خواهد آمد عاملی که باعث می‌شود در دوره‌های انجماد و ذوب، تخریب بتن را به همراه داشته باشد. هنگامی که دمای آب به صفر درجه رسیده و یخ می‌زند حجم آب ۹ درصد افزایش می‌یابد (رمضانیان پور و شاه‌نظری، ۱۳۶۹). با این افزایش حجم، آبی که هنوز در حفره به صورت سیال باقی مانده است در معرض فشار هیدرولیکی قرار می‌گیرد که چنانچه آب موجود در حفره راهی برای تخلیه این فشار هیدرولیکی نداشته باشد، باعث ایجاد تنش‌های کششی در بتن شده و تخریب بتن را به



ب- فرایند یخ زدن در هوا و فرایند ذوب شدن در آب صورت می گیرد.

روش الف متداول ترین روش است و عموماً به عنوان روشی شدیدتر در نظر گرفته می شود که قابلیت بیشتری در یافتن مصالح ضعیف دارد به طوری که هر دو استاندارد ASTM C233 و ASTM C494 روش الف را تجویز می کنند لذا در این تحقیق از همین روش استفاده گردید.

دوره های ذوب و انجماد برای هر دو روش شامل پائین آوردن دمای نمونه ها از ۴ درجه سانتیگراد به ۱۸- درجه سانتیگراد و بالا بردن آن از ۱۸- درجه سانتیگراد به ۴ درجه سانتیگراد می باشد که این امر به طور متناوب و در مدت زمانی که کمتر از ۲ ساعت و بیشتر از ۵ ساعت نباشد انجام می پذیرد. در روش الف زمان لازم برای افزایش دمای نمونه ها نباید از ۲۵٪ زمان لازم برای سرد شدن نمونه ها کمتر باشد. هیچگاه دمای نمونه ها نباید کمتر از ۱۹- درجه سانتیگراد و بیشتر از ۶ درجه سانتیگراد شود. شروع آزمایش یخ و انجماد با قرار دادن نمونه ها در آب گرم در ابتدای چرخه ذوب می باشد. آزمایش روی نمونه ها تا آنجا ادامه دارد که نمونه ها در معرض حداقل ۳۰۰ چرخه ذوب و انجماد قرار گیرند. هر چرخه ذوب-انجماد به مدت ۴ ساعت در نظر گرفته شد که نمونه ها به مدت ۳ ساعت به حالت انجماد و ۱ ساعت در داخل آب جهت طی فرآیند ذوب قرار داده شد.

#### نحوه انجام آزمایشات

جهت ارزیابی استحکام باند اتصال بتن قدیم و جدید از آزمایش مقاومت کششی استفاده شده است. آزمایش مقاومت کششی بتن در استاندارد ملی ایران ۶۰۴۷ و در ۶۰۶ و ASTM C496 و BS 1881-4 به روش دو نیم کردن (splitting tensile strength) یا تست برزیلی شرح داده شده است.

دانستن مقاومت کششی بتن در تخمین باری که ترکها در آن توسعه می یابند، با ارزش است. عدم وجود ترک در حفظ تداوم سازه های بتنی و در بسیاری موارد در جلوگیری از خوردگی میلگردهای فولادی حائز اهمیت

- استفاده از مواد حباب ساز در ۵ سطح ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد وزنی سیمان مصرفی

- استفاده از سه نسبت آب به سیمان (W/C) برابر ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵

- شروع ۳۰۰ چرخه ذوب و انجماد در ۳ حالت (پس از ۳، ۷ و ۲۸ روز عمل آوری بتن جدید)

در تمام حالات، آزمایشات مقاومت کششی بر روی ترکیبات مورد اشاره به جهت مقایسه یک بار هم بدون اعمال چرخه های ذوب و انجماد صورت گرفته است. در رابطه با 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 می کند. در حالی که مؤسسه استاندارد کانادا توصیه می کند ۲۴ ساعت قبل از ریختن بتن جدید سطح خیس شود. موسسه ملی راه سوئیس توصیه می کند که بتن قدیمی را برای ۴۸ ساعت خیس کرده اما در هنگام بتن ریزی دارای سطح خشک باشد که در تحقیق حاضر به همین شکل اقدام گردید. ضمناً سایر شرایط محیطی اعم از دمای محیط، مدت زمان اختلاط و ... در تمامی نمونه ها تقریباً یکسان می باشد.

- سیمان مصرفی در تمامی نمونه ها از نوع سیمان صوفیان (پرتلند تیپ ۲) می باشد.

- حباب ساز مصرفی از نوع S-2000 محصول شرکت سراپوش می باشد.

#### نحوه اعمال چرخه ذوب و انجماد

برای سنجش تاثیر چرخه های ذوب و یخبندان بر چسبندگی بین بتن های قدیم و جدید، نمونه ها در دستگاه مخصوص این آزمایش (ساخت شرکت آزمون) با عملکرد مطابق با ASTM C666 قرار داده شد. استاندارد ASTM C666 برای بررسی چرخه های ذوب و یخ بتن دو روش پیشنهاد داده است:

الف- هر دو فرایند یخ زدن و ذوب شدن نمونه ها در داخل آب انجام می شود.

میلی‌متر و عرض ۱۵ میلی‌متر و طولی برابر با طول قالب استفاده نمود. در این آزمایشها بار با سرعت ثابت بین ۰/۲ الی ۰/۴ مگاپاسکال در ثانیه اعمال می‌گردد و مقدار تنش کششی مطابق رابطه ۱ محاسبه می‌شود که در این رابطه  $\tau_b$  تنش کششی و  $a$  اندازه ضلع مقطع می‌باشد.

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

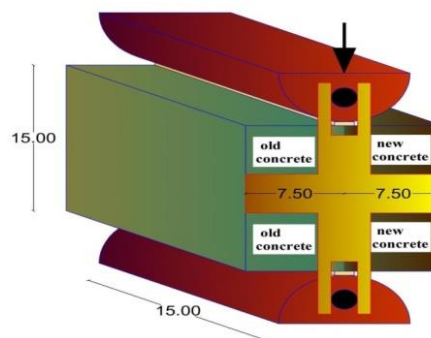
در شکل ۲ نحوه قرارگیری نمونه‌ها و مراحل انجام آزمایش مقاومت کششی نشان داده شده است. مطابق این شکل تنها بتن واقع شده در داخل استوانه محاط در مکعب، در مقابل بار وارده مقاومت خواهد نمود.



شکل(۲): نحوه اتصال بتن‌های جدید و قدیم و مراحل انجام آزمایش مقاومت کششی

است. مقاومت کششی همچنین در سازه‌های بتنی غیر مسلح مانند سدها تحت شرایط زلزله مورد توجه می‌باشد. آزمایش مقاومت کششی بر روی نمونه‌های مکعبی در بخش ۱۱۷ آیین نامه BS 1881-8371 (بازبینی شده در سال ۱۹۷۹ و ۱۹۹۰) شرح داده شده است.

برای بررسی مقاومت کششی، نمونه‌ها به این صورت ساخته می‌شود که ابتدا نیمی از مکعب بتن ریزی و عمل آوری می‌شود سپس نیمه دیگر بتن ریزی و عمل آوری می‌گردد. نمونه‌ها که قبلاً طی چرخه‌های متوالی ذوب و انجماد 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 زیاد در خطوط بارگذاری، در بخش ۱۱۷ استاندارد BS 1881-8371 اشاره شده که باید از نوارهای تخته فیبری به ضخامت ۴



### تاثیر میزان مواد حباب ساز روی مقاومت کششی

برای بررسی تاثیر مواد حباب‌ساز و عیارهای مختلف سیمان روی مقاومت کششی محل اتصال بتن قدیم و جدید، از بتن جدید با عیار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شده است. در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ میزان تغییرات مقاومت کششی تحت اثر عیارهای مختلف سیمان مصرفی و درصد وزنی مواد حباب‌ساز نشان داده شده است. در این شکل‌ها، N-C300، N-C350 و N-C400 به ترتیب مربوط به نمونه‌های بتنی با عیار

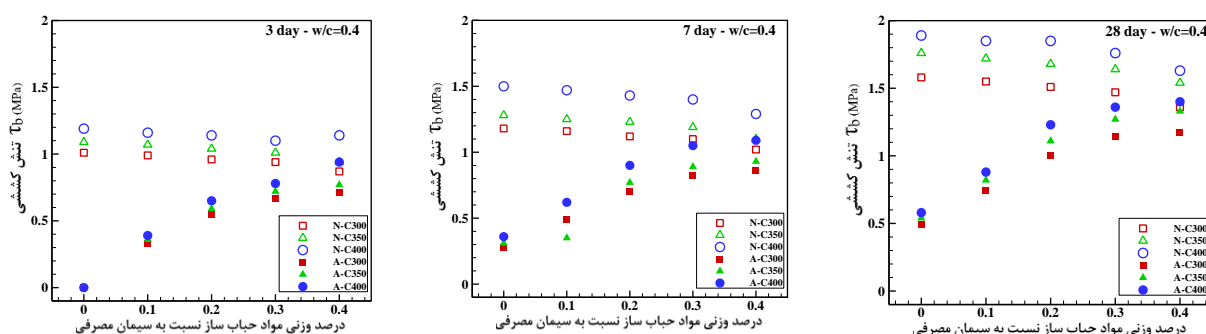
### نتایج و بحث

در این قسمت مقاومت کششی محل اتصال بتن جدید و قدیم تحت اثر تغییر پارامترهای مختلف (درصد وزنی مواد حباب ساز مصرفی، عیار سیمان، نسبت آب به سیمان و مدت زمان عمل آوری) در دو حالت با و بدون اعمال چرخه یخبندان و ذوب مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق برای اعمال چرخه انجماد و ذوب از ۳۰۰ چرخه استفاده شده است.

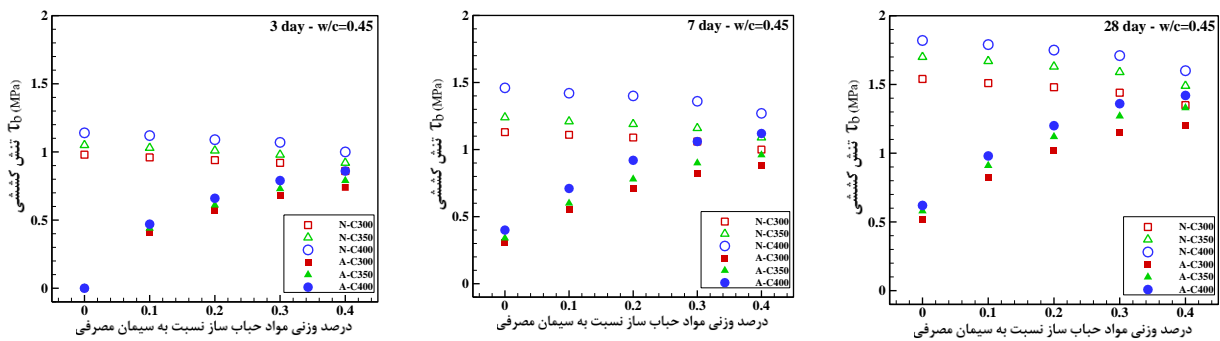
دوره عمل آوری ۲۸ روزه و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴ میزان تنش کششی به ترتیب ۱۳۱، ۱۲۹ و ۱۲۹ درصد افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ مشاهده می‌شود در شرایط آزمایشگاهی با چرخه ذوب و انجماد، افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز، بیشترین تاثیر را در دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه روی تنش کششی دارد و با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴، اختلاف مقادیر تنش کششی در شرایط با و بدون چرخه ذوب و انجماد کم می‌شود. بیشترین کاهش مقاومت کششی باند اتصال پس اعمال چرخه دمایی در میزان حباب‌ساز مصرفی صفر می‌باشد، به طوری که برای نمونه ۲۸ روزه بتن، در نسبت آب به سیمان و عیارهای مختلف، میزان مقاومت کششی به طور متوسط ۶۹ درصد کاهش می‌یابد. در شرایط با چرخه ذوب و انجماد، اگر بتن سخت شده هوادار باشد، چنانچه آب به آن نفوذ کند و یخ بزند پایداری بهتری نسبت به بتنی که بدون هوا است از خود نشان می‌دهد. در حقیقت عملکرد حباب‌های هوا به این نحو است که ضمن آن که نفوذ آب بتن را محدودتر می‌کنند، اگر چنانچه آب به مقدار کمی هم نفوذ کرد و یخ زد، این حفره‌های کوچک هوا، افزایش حجم ناشی از یخ زدن را جبران کرده و مانع خرابی بتن می‌شوند.

سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تحت شرایط آزمایش بدون چرخه ذوب و انجماد می‌باشد و A-C300، A-C350 و A-C400 نیز به ترتیب مربوط به نمونه‌های بتنی با عیار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تحت شرایط آزمایش با چرخه ذوب و انجماد می‌باشد (N برای حالت بدون چرخه ذوب و انجماد و A برای حالت با چرخه ذوب و انجماد). همچنین در شکل‌های این بخش، دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه بتن به ترتیب با 3 day، 7 day و 28 day نمایش داده شده است.

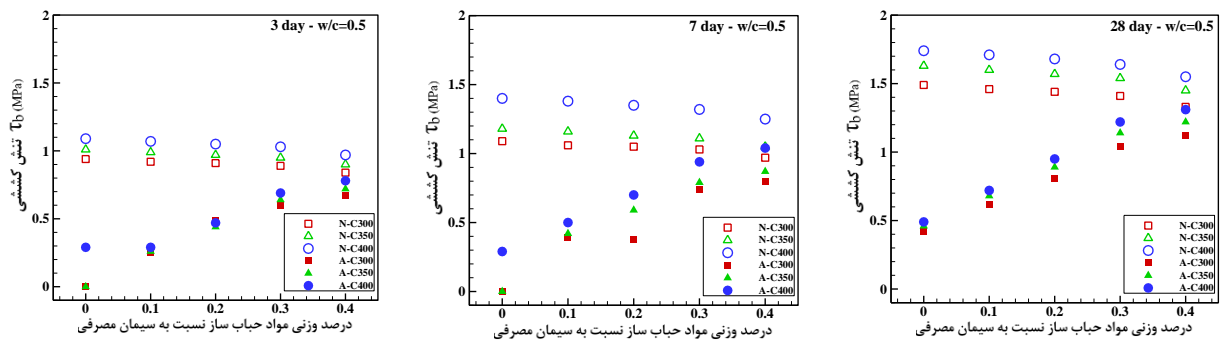
مطابق شکل‌های ۳، ۴ و ۵، برای حالت با چرخه ذوب و انجماد، تنش کششی با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز روند افزایشی دارد ولی در آزمایشات بدون چرخه ذوب و انجماد، میزان تنش کششی با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز کاهش می‌یابد به طوری که در شرایط بدون چرخه ذوب و انجماد، با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴، برای بتن با عیار 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. ولی برای شرایط آزمایشگاهی با چرخه ذوب و انجماد، برای بتن با عیار ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در



شکل (۳): میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب‌ساز برای دوره عمل‌آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ۰/۴



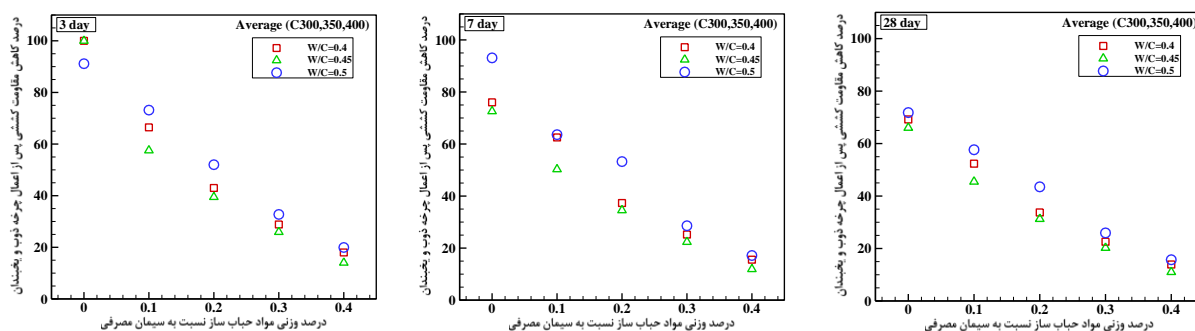
شکل (۴): میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز برای دوره عمل آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵



شکل (۵): میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز برای دوره عمل آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ۰/۵

در شکل ۶، میزان کاهش مقاومت کششی تحت اثر چرخه‌های انجماد و ذوب با توجه به تغییر میزان مواد حباب ساز مصرفی و نسبت آب به سیمان (W/C) در دوره عمل آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه به طور متوسط برای سه عیار سیمان مصرفی ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ (Average, 300) (۳۵۰، ۴۰۰) نشان داده شده است. همانطور که شکل ۶ مشاهده می‌شود، پس از اعمال چرخه دمایی در نمونه بتن با دوره عمل آوری ۳ روزه، برای نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ و حباب مصرفی صفر، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰ و ۹۱ درصد و برای بتن با حباب مصرفی ۰/۴ به ترتیب ۱۸، ۱۴ و ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین در نمونه بتن با دوره عمل آوری ۷ روزه، برای نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ و حباب مصرفی صفر، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب

۷۶، ۷۳ و ۹۳ درصد و برای بتن با حباب مصرفی ۰/۴ به ترتیب ۱۶، ۱۲ و ۱۷ درصد کاهش می‌یابد. پس از اعمال چرخه دمایی در نمونه بتن با دوره عمل آوری ۲۸ روزه، برای نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ و حباب مصرفی صفر، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۶۹، ۶۶ و ۷۲ درصد و برای بتن با حباب مصرفی ۰/۴ به ترتیب ۱۴، ۱۱ و ۱۶ درصد کاهش می‌یابد. مطابق شکل ۶، بیشترین کاهش مقاومت کششی پس از اعمال چرخه انجماد و ذوب، در میزان حباب مصرفی صفر و برای دوره عمل آوری ۳ روزه و نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۴۵ رخ می‌دهد و کمترین کاهش مقاومت کششی پس از اعمال چرخه انجماد و ذوب، در میزان حباب مصرفی ۰/۴ و برای دوره عمل آوری ۲۸ روزه و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ می‌باشد.



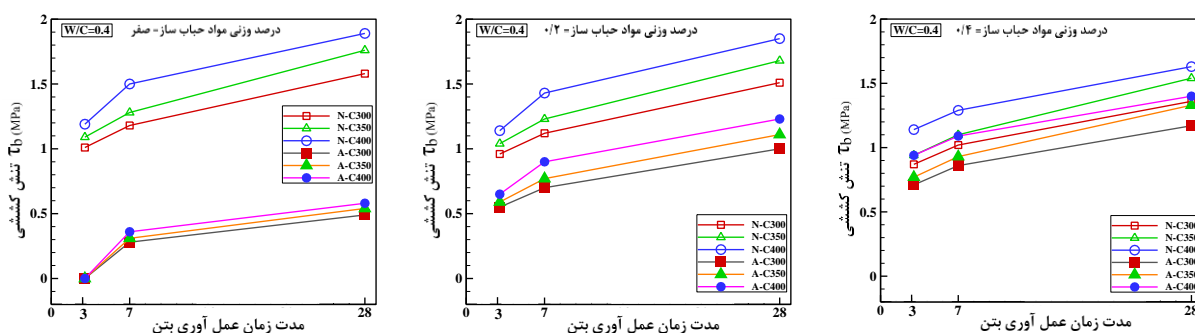
شکل (۶): درصد کاهش مقاومت کششی تحت اثر چرخه‌های دمایی با توجه به تغییر میزان مواد حباب ساز

روی افزایش مقاومت کششی، برای نمونه بتن با میزان مواد حباب ساز ۰/۴ بسیار بیشتر از بتن با میزان مواد حباب ساز صفر می‌باشد ولی برای شرایط بدون چرخه ذوب و انجماد، اثر مدت زمان عمل آوری روی افزایش مقاومت کششی، برای نمونه بتن با میزان مواد حباب ساز مختلف تقریباً یکسان است. مطابق شکل‌های ۷، ۸ و ۹، برای هر نسبت آب به سیمان، با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴، فاصله نمودارها (مقادیر تنش نمونه‌ها) برای شرایط با و بدون چرخه ذوب و انجماد به هم نزدیکتر می‌شود و همچنین با افزایش درصد وزنی مواد حباب‌ساز از صفر به ۰/۴، شیب نمودارها برای حالت با چرخه ذوب و انجماد تقریباً افزایش یافته و برای حالت بدون چرخه ذوب و انجماد تقریباً ثابت می‌ماند.

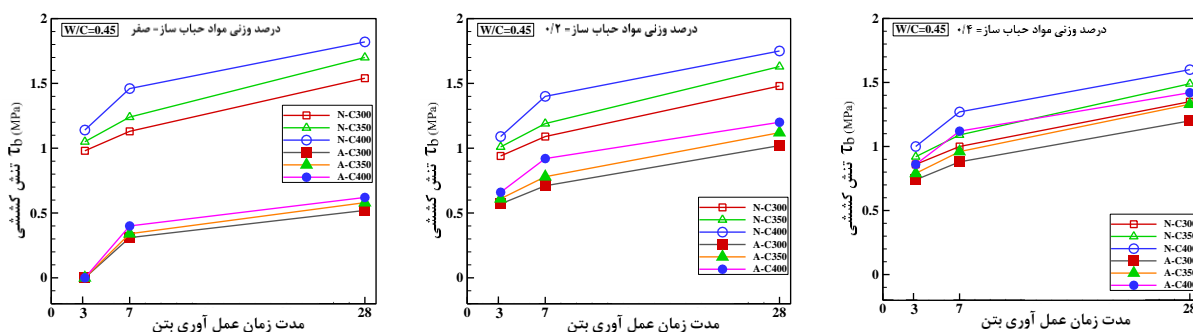
### تأثیر مدت زمان عمل آوری روی مقاومت کششی

برای بررسی اثر مدت زمان عمل آوری بتن روی مقاومت کششی باند اتصال بتن قدیم و جدید از دوره عمل آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه استفاده شده است. در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ میزان تغییر مقاومت کششی با توجه به تغییر دوره عمل آوری برای سه سطح درصد وزنی مواد حباب‌ساز (۰، ۰/۲ و ۰/۴) در سه نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ برای بتن با عیارهای مختلف نشان داده شده است.

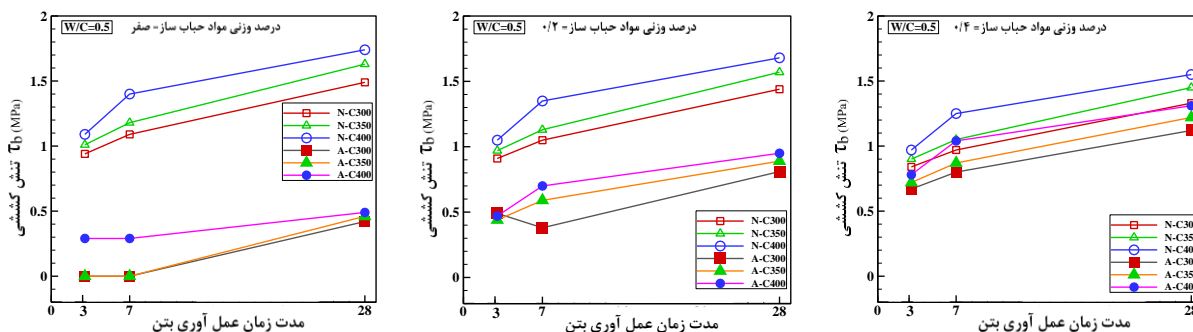
مطابق شکل‌های ۷، ۸ و ۹، برای نمونه‌های بتن با میزان مواد حباب‌ساز مختلف، در هر نسبت آب به سیمان، با افزایش مدت زمان عمل آوری میزان مقاومت کششی برای با و بدون چرخه ذوب و انجماد افزایش می‌یابد. برای شرایط با چرخه ذوب و انجماد اثر مدت زمان عمل آوری



شکل (۷): میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر مدت زمان عمل آوری برای درصد وزنی مواد حباب ساز صفر، ۰/۲ و ۰/۴ با نسبت آب به سیمان ۰/۴



شکل (۸): میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر مدت زمان عمل آوری برای درصد وزنی مواد حباب ساز صفر، ۰/۲ و ۰/۴ با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵



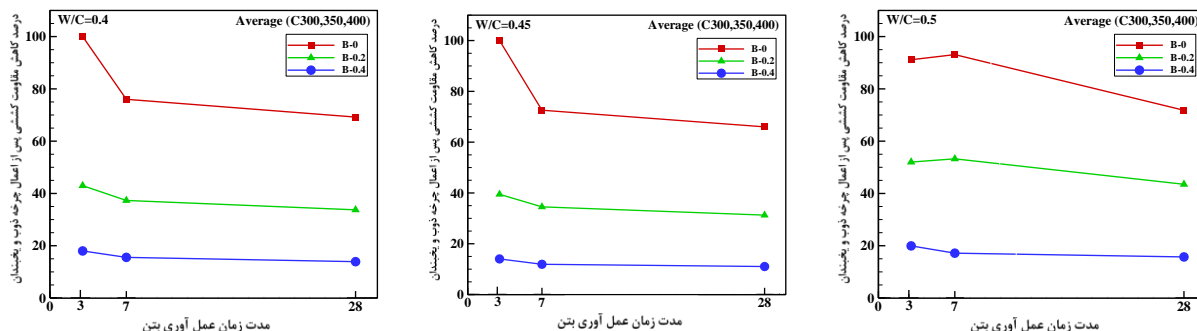
شکل (۹): میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر مدت زمان عمل آوری برای درصد وزنی مواد حباب ساز صفر، ۰/۲ و ۰/۴ با نسبت آب به سیمان ۰/۵

روزه، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۱۰۰، ۴۳ و ۱۸ درصد و برای بتن با دوره عمل آوری ۲۸ روزه به ترتیب ۶۹، ۳۴ و ۱۴ درصد کاهش می‌یابد. همچنین در نمونه بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، برای مواد حباب ساز ۰، ۰/۲ و ۰/۴ در دوره عمل آوری ۳ روزه، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۱۰۰، ۳۹ و ۱۴ درصد و برای بتن با دوره عمل آوری ۲۸ روزه به ترتیب ۶۶، ۳۱ و ۱۱ درصد کاهش می‌یابد.

مطابق شکل ۱۰، بیشترین و کمترین کاهش مقاومت کششی پس از اعمال چرخه انجماد و ذوب، در نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۴۵، برای دوره عمل آوری ۳ و ۲۸ روزه رخ می‌دهد ولی در نسبت آب به سیمان ۰/۵، بیشترین کاهش مقاومت کششی در دوره عمل آوری ۷ روزه برای میزان مواد حباب ساز ۰ و ۰/۲، رخ می‌دهد

در شکل ۱۰، میزان کاهش مقاومت کششی تحت اثر چرخه‌های انجماد و ذوب با توجه به تغییر مدت زمان عمل آوری نشان داده شده است. در این شکل عبارات B-0، B-0.2 و B-0.4 به ترتیب مربوط به بتن با میزان مواد حباب ساز ۰، ۰/۲ و ۰/۴ می‌باشد.

همانطور که شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، پس از اعمال چرخه دمایی در نمونه بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴، برای مواد حباب ساز ۰، ۰/۲ و ۰/۴ در دوره عمل آوری ۳ در نمونه بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۵، برای مواد حباب ساز ۰، ۰/۲ و ۰/۴ در دوره عمل آوری ۳ روزه، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۹۱، ۵۲ و ۲۰ درصد و برای بتن با دوره عمل آوری ۲۸ روزه به ترتیب ۷۲، ۴۴ و ۱۶ درصد کاهش می‌یابد.



شکل (۱۰): درصد کاهش مقاومت کششی تحت اثر چرخه‌های

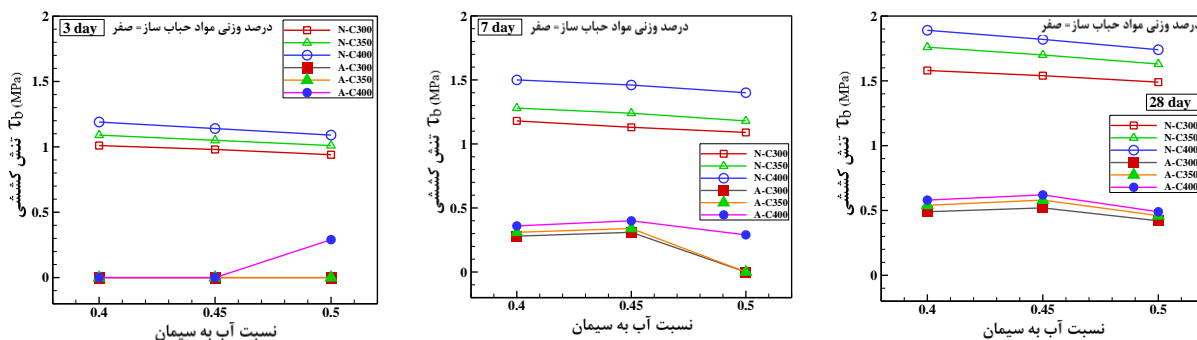
دمایی با توجه به تغییر مدت زمان عمل آوری بتن

### تأثیر نسبت آب به سیمان روی مقاومت کششی

برای بررسی نسبت آب به سیمان روی مقاومت کششی اتصال بتن قدیم و جدید از سه نسبت آب به سیمان، ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ استفاده شده است. در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ میزان تغییر مقاومت کششی با توجه به تغییر نسبت آب به سیمان در دوره عمل آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای سه سطح درصد وزنی مواد حباب‌ساز (۰، ۲/۰ و ۴/۰) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشخص شده، با افزایش نسبت آب به سیمان، در شرایط بدون چرخه ذوب و انجماد، میزان مقاومت کششی روند کاهشی دارد ولی در شرایط با چرخه ذوب و انجماد، مقاومت کششی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار مقاومت کششی تقریباً در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ رخ می‌دهد. همچنین چرخه دمایی،

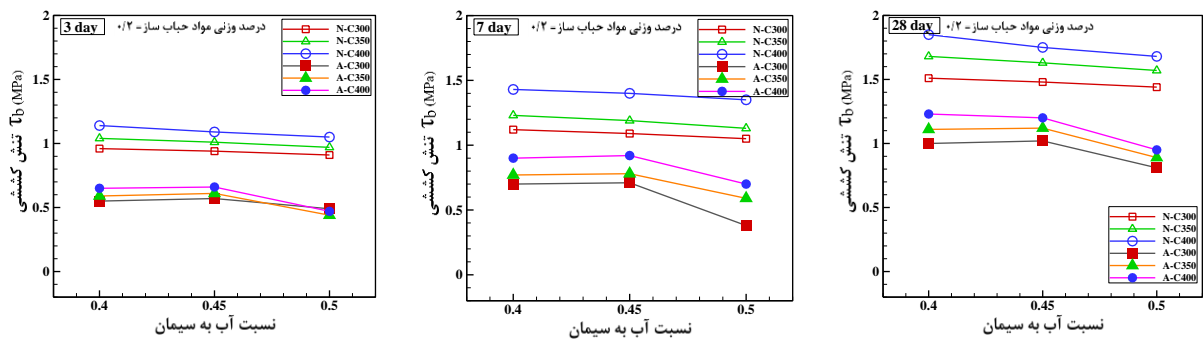
در نسبت آب به سیمان ۰/۵، بیشترین تأثیر را در کاهش مقاومت کششی نمونه‌های آزمایشگاهی دارد. برای حالت با چرخه ذوب و انجماد، تنش کششی با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز روند افزایشی دارد ولی در آزمایشات بدون چرخه ذوب و انجماد، میزان تنش کششی با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز کاهش می‌یابد.

در شرایط با چرخه ذوب و انجماد، برای بتن با درصد بالایی از مواد حباب ساز، هوای موجود در بتن باعث می‌شود هنگام افزایش فشار هیدرولیکی ناشی از یخبندان 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 سیکل‌های یخ و ذوب از خود نشان می‌دهد.

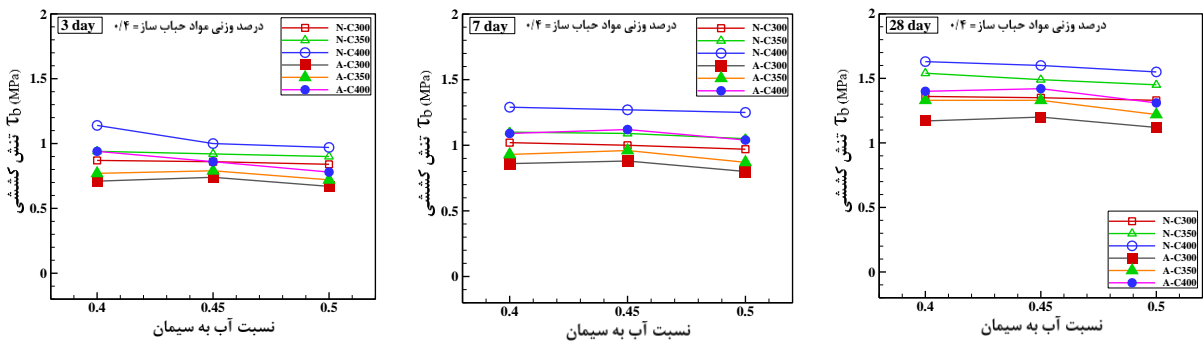


شکل (۱۱): میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر نسبت آب به سیمان در دوره عمل آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای درصد وزنی مواد حباب ساز صفر





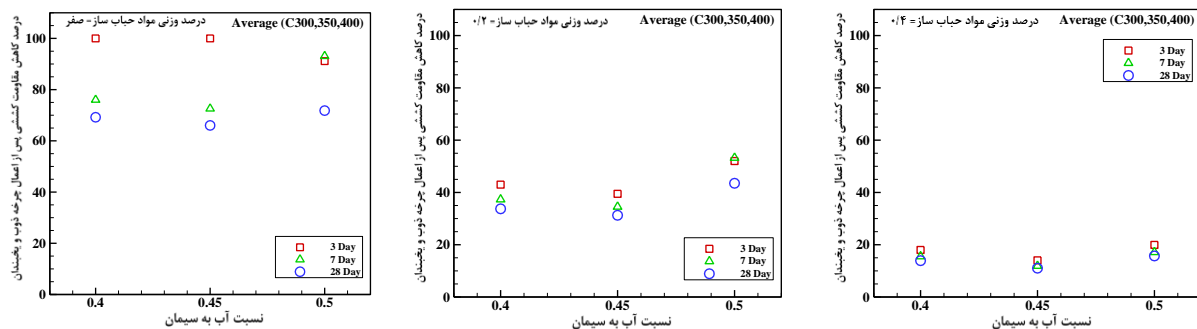
شکل (۱۲): میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر نسبت آب به سیمان در دوره عمل آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای درصد وزنی مواد حباب ساز ۰/۲



شکل (۱۳): میزان تغییرات مقاومت کششی نسبت به تغییر نسبت آب به سیمان در دوره عمل آوری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برای درصد وزنی مواد حباب ساز ۰/۴

سیمان ۰/۵ و ۰/۴۵، برای بتن با مواد حباب ساز صفر، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۷۲ و ۶۶ درصد و برای بتن با مواد حباب ساز ۰/۲، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۴۴ و ۳۱ درصد و برای بتن با مواد حباب ساز ۰/۴، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۱۶ و ۱۱ درصد کاهش می‌یابد.

در شکل ۱۴، درصد کاهش مقاومت کششی تحت اثر چرخه‌های انجماد و ذوب با توجه به تغییرات نسبت آب به سیمان نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، پس از اعمال چرخه انجماد و ذوب، بیشترین و کمترین کاهش مقاومت کششی به ترتیب در نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۴۵ رخ می‌دهد. به طوری که برای بتن با دوره عمل آوری ۲۸ روزه، در نسبت آب به



شکل (۱۴): درصد کاهش مقاومت کششی تحت اثر چرخه‌های دمایی با توجه به تغییر نسبت آب به سیمان



## نتیجه گیری

در این تحقیق، تاثیر چرخه‌های یخبندان و ذوب بر مقاومت کششی اتصال بتن جدید و قدیم با توجه به تغییر درصد وزنی مواد حباب ساز، نسبت آب به سیمان، عیار سیمان مصرفی و مدت زمان عمل آوری بتن مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل به شرح زیر می باشد:

- برای حالت با چرخه ذوب و انجماد، تنش کششی با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز روند افزایشی دارد ولی در آزمایشات بدون چرخه ذوب و انجماد، میزان تنش کششی با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز کاهش می یابد.

- در شرایط بدون چرخه ذوب و انجماد، با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز از صفر به ۰/۴، برای بتن با عیار ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، میزان تنش کششی متوسط به ترتیب ۱۲، ۱۲ و ۱۱ درصد کاهش می یابد.

- در شرایط با چرخه ذوب و انجماد، برای بتن با عیار ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در دوره عمل آوری ۲۸ روزه و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، با افزایش درصد وزنی مواد حباب ساز از صفر به ۰/۴ میزان تنش کششی به ترتیب ۱۳۱، ۱۲۹ و ۱۲۹ درصد افزایش می یابد.

## منابع

- رمضانیان پور، ع و م. شاه نظری. ۱۳۶۹. تکنولوژی بتن در هوای سرد و یخبندان. انتشارات علم و صنعت، تهران.
- 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.
- ACI Committee 201. 2001. Guide to Durable Concrete, American Concrete Institute.
- Alves Galvo, J.C., Franke, K., Morales Korm, A.C., Galvão, J.C.A., Portella, K.F. and Ormann, A. C.M. 2012. Abrasive Effects Observed in Concrete Hydraulic Surfaces of Dams and Application of Repair materials. Abrasion Resist. Mater. 19-34.
- Anon. 2000a. Guide to Concrete Repair. Technical Service Center. USBR.
- ASTM. 2003. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, ASTM C666, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. 04-02.
- Croes, L. 2019. Behavior of unreinforced concrete-to-concrete interfaces under shear loading, Master's Thesis, Eindhoven University.

- بیشترین کاهش مقاومت کششی باند اتصال پس از اعمال چرخه دمایی در میزان حباب ساز مصرفی صفر می باشد، به طوری که برای نمونه ۲۸ روزه بتن، در نسبت آب به سیمان و عیارهای مختلف، میزان مقاومت کششی به طور متوسط ۶۹ درصد کاهش می یابد.

- پس از اعمال چرخه دمایی در نمونه بتن با دوره عمل آوری ۲۸ روزه، برای نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ و حباب مصرفی صفر، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۶۹، ۶۶ و ۷۲ درصد و برای بتن با حباب مصرفی ۰/۴ به ترتیب ۱۴، ۱۱ و ۱۶ درصد کاهش می یابد.

- برای نمونه‌های بتن با میزان مواد حباب ساز مختلف، در هر نسبت آب به سیمان، با افزایش مدت زمان عمل آوری میزان مقاومت کششی برای با و بدون چرخه ذوب و انجماد افزایش می یابد.

- پس از اعمال چرخه دمایی در نمونه بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، برای مواد حباب ساز ۰، ۰/۲ و ۰/۴ در دوره عمل آوری ۳ روزه، میزان متوسط مقاومت کششی به ترتیب ۱۰۰، ۳۹ و ۱۴ درصد و برای بتن با دوره عمل آوری ۲۸ روزه به ترتیب ۶۶، ۳۱ و ۱۱ درصد کاهش می یابد.

- پس از اعمال چرخه انجماد و ذوب، بیشترین و کمترین کاهش مقاومت کششی به ترتیب در نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۴۵ رخ می دهد.



- Graham, J.R., Creegan, P.J., Hamilton, W.S. and Hendrickson, J. G. 1998. Erosion of Concrete in Hydraulic Structures. *ACI Mater. J*, 93:1–24.
- Kearsley, E.P. and Wainwright, P.J. 2002. The effect of porosity on the strength of foamed concrete, *Cement Concrete Res*, 32: 233-239.
- Kormann, A.C.M., Portella, K.F., Pereira, P.N. and Santos, R.P. 2003. Study of the performance of four repairing material systems for hydraulic structures of concrete dams. *Cerâmica*, 49(309): 48–54.
- Neshvadian Bakhsh, K. 2010. Evaluation of Bond Strength between Overlay and Substrate in Concrete Repairs, *Architecture and the Built Environment*, KTH Royal Institute of Technology.
- Sharma, S., Aaleti, S. and 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 Interactive Symposium on Ultra-High-Performance Concrete*, Iowa State University Digital Press, 2(1).
- Shin, H.C. and Wan, Z. 2010. Interfacial properties between new and old concretes, In *2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Ancona, Italy.
- Tayeh, B.A., Bakar, B.A., Johari, M.M. and 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.
- Wan, Z. 2011. Interfacial shear bond strength between old and new concrete, Master's Thesis Louisiana State University.
- Xiao, L.Y. 2013. A Review of Detection, Evaluation and Repair Technology for Hydraulic Concrete Structures. in *Advanced Materials Research*, 690: 805–810.