



Effects of Dimensions and Amount of Polymer Fibers on the Strength and Durability of Roller-Compacted Concrete under Freeze-Thaw cycling

Abouzar Shafiepour^{1,*}, Shahin Shabani², Farzin Faezi³

¹PhD. Student, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

²Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

³Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

ABSTRACT: In recent years, the use of Roller-Compacted Concrete Pavement (RCCP) has developed in road pavement due to its great advantages. Adding fibers to RCC can improve some properties of the concrete, including flexural strength, fatigue resistance, crack growth rate, and shear transfer along cracks and joints. Many experiments have shown the advantages of using fiber-reinforced concrete in RCC, but more information is needed about their behavior in cold regions, and especially the exposure to Freeze-Thaw cycling. Investigation and comparing the effect of polymer fibers on the strength and durability of Roller-Compacted Concrete under Freeze-Thaw cycling are the main goal of the present article. Therefore, specimens with weight percentage of fiber equal to 1, 2.5, and 4% (by weight of cement) and fibers of 5, 20 and 40 mm lengths are made. Durability test against a Freeze-Thaw cycling and compressive strength are measured on samples after 7, 28 and 90 days. Analysis of the results shows that the additive fiber increases the compressive strength of the RCC, but decreases its durability against the melting and freezing cycles. Therefore, the use of fibers on RCC in cold regions should be done due accuracy and attention.

Review History:

Received: 2019-02-17

Revised: 2019-05-04

Accepted: 2019-06-27

Available Online: 2019-08-25

Keywords:

Roller Compacted Concrete

Pavement

Polymer fibers

Compressive strength

Freeze-Thaw cycling

Ultrasonic device.

1. INTRODUCTION

RCCP can be reinforced by short fibers randomly distributed in its content and improve some of its properties including compressive strength, flexural strength, tensile strength and durability [1]. It is very important that while using fiber-reinforced RCCP, especially in cold regions, its durability in Freeze-Thaw cycling should be taken into consideration. A few studies have been conducted on durability of available fiber-reinforced concrete. In this research, in addition to measuring the compressive strength of fiber-reinforced RCCP using destructive testing of compressive strength and ultrasonic nondestructive testing after 7, 28 and 90 days, we measured the durability of RCCP against Freeze-Thaw cycling.

2. METHODOLOGY (LABORATORY PROGRAM)

This research has been carried out in a laboratory. In order to achieve the purpose of this study, the compressive strength of the RCC specimens containing varying amounts of macro-synthetic fiber in different lengths were measured using hydraulic jacks and dynamic modulus using ultrasonic device meeting ASTM C597 standards, and durability of the specimens were measured in Freeze-Thaw cycling up to 300 cycles in accordance with the ASTM C666 standard.

Materials used in RCC include aggregates, cement, water and fibers. The grading used to make the specimens was

*Corresponding author's email: abouzarshafiepour@yahoo.com

selected based on the most common grading used in RCCP according to publication no. 354 and available standards (ACI 325.10R, SCDOT, 2001) [2,3]. The cement used in this research is Type 2 Firuzkoh cement. Besides, the amount of cement used according to the mix design is 305 kg/m³, and the water to cement ratio is based on Vebe test according to ASTM C1176 standard for all the specimens. In this study, single strand polyolefin polymer fibers with high strength and macrofiber (Mex.200) with high molecular weight and strength were used. 1%, 2.5% and 4% fiber content by weight of cement fraction were used.

Concrete mix design for testing of concrete consistency was conducted based on ASTM C1170 standard. The specimens with different percentage and dimensions of the fibers were labeled as shown in Table-1. This table also summarizes the results of the mix designs, including the amount of cement, water and Vebe time. 150×150×150 mm cubic specimens for testing ultrasonic properties and compressive strength after 7, 28 and 90 days, and prismatic specimens of 300×100×75 mm which are cut out of 300×150 mm cylinder samples were used to test the Freeze-Thaw cycling. Two specimens were made for each mix design.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Compressive strength

Compressive strength of the cubic specimens using a hydraulic jack, the weight of the specimens before and after



Table 1. label of different mix designs intended for various weight amount and dimensions of fibers

| Specimen labels | mix design types | amount of cement (kg/m ³) | amount of water (kg/m ³) | Vebe time (seconds) |
|-----------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| A | Roller concrete without additives | 305 | 122 | 30 |
| B-1 | RCC with 1% fiber content by weight of cement (5 mm long fiber) | 305 | 138 | 35 |
| B-2 | RCC with 2.5% fiber by weight of cement (5mm long fibers) | 305 | 138 | 35 |
| B-3 | RCC with 4% fiber content by weight of cement (5mm long fiber) | 305 | 138 | 30 |
| C-1 | RCC with 1% fiber content by weight of cement (20mm long fiber) | 305 | 138 | 36 |
| C-2 | RCC with 2.5% fiber content by weight of cement (20mm long fiber) | 305 | 138 | 36 |
| C-3 | RCC with 4% fiber content by weight of cement (20mm long fiber) | 305 | 138 | 37 |
| D-1 | RCC with 1% fiber content by weight of cement (40mm long fiber) | 305 | 138 | 33 |
| D-2 | RCC with 2.5% fiber content by weight of cement (40mm long fiber) | 305 | 138 | 32 |
| D-3 | RCC with 4% fiber content by weight of cement (40mm long fiber) | 305 | 138 | 34 |

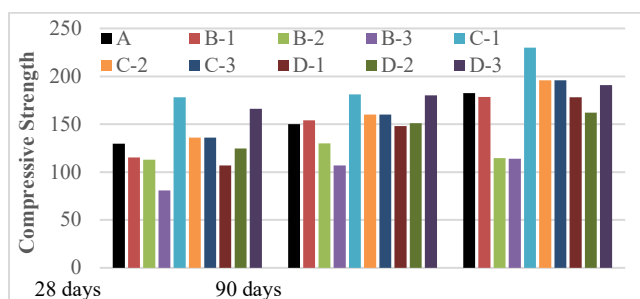


Fig. 1. Compressive strength of the specimens made in 7, 28 and 90 days

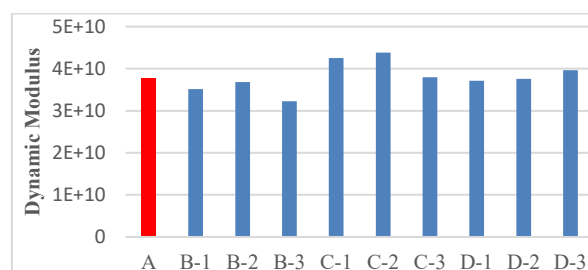


Fig. 2. Dynamic modulus of 90-day specimens

the test, stress and Poisson’s ratio were calculated. The amount of compressive strength for the specimens with various mix designs after 7, 28 and 90 days are shown in Fig. 1.

3.2. Ultrasonic Test Results

Dynamic modulus for the 90-day specimens and the percent of their change compared to the reference specimen A are shown in Fig. 2. According to the results that are in line with the results of the compressive strength, the specimens containing 2.5% fiber 20 mm long have demonstrated the best performance.

Ultrasonic wave velocity in the specimens can be examined which is shown in Fig. 3 for fibers with different lengths. Similar to previous results, according to ultrasonic wave velocity we may conclude that the addition of 2.5% macrosynthetic 20 mm long fibers produces the biggest improvement in RCC.

3.3. Test results for Freeze-Thaw cycling

To investigate the effect of the fiber on the strength of the specimens under Freeze-Thaw cycling, durability indexes of the specimens were compared. Fig. 4 shows the durability index of the specimens with different percentages and lengths

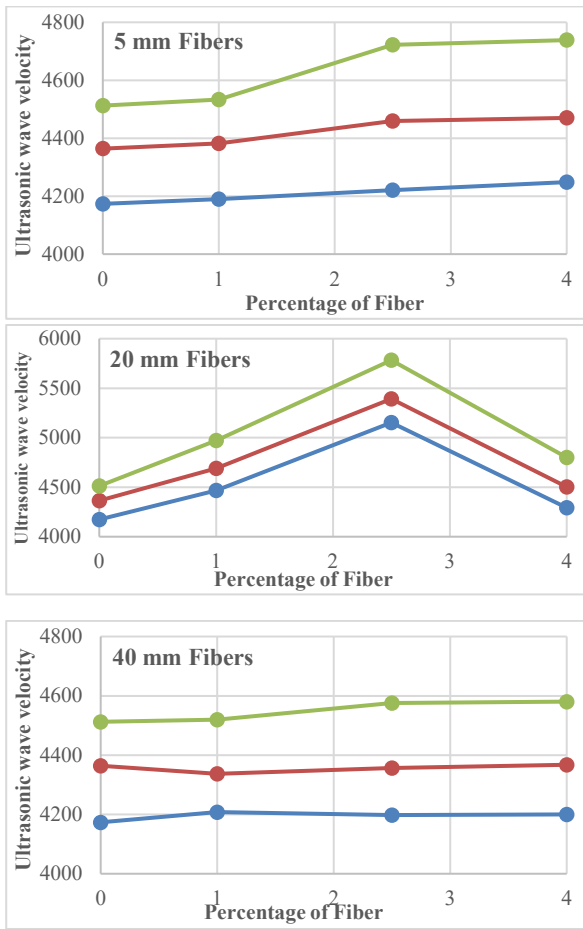


Fig. 3. Ultrasonic wave velocity for 7(Blue Line), 28(Red Line) and 90 day (Green Line) specimens containing 5, 20 and 40 mm long fibers

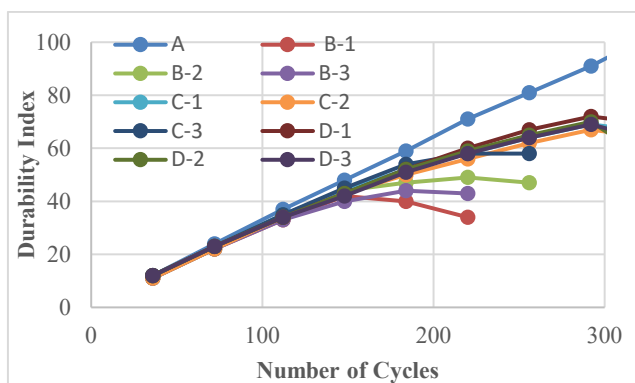


Fig. 4. Durability Index of RCC specimens in terms of the number of freezing-thawing cycles

In fact, it can be concluded that the addition of fiber reduces resistance against Freeze-Thaw cycling of RCC. However, higher percentages of macrosynthetic fibers, compared to its lower percentages result in relative improved durability of the specimens (in all three sizes used, fibers with higher percentage resulted in higher durability compared to lower percentages). On average, the addition of macrosynthetic fibers reduced the durability of RCC specimens by 30%. This can be due to non-uniform dispersion of fibers in concrete content, and its accumulation in some areas. For further investigation, you should evaluate how the fibers are dispersed within the RCC specimen.

4. CONCLUSIONS

In this study, we examined the effects of adding macrosynthetic fibers in various length and weights on the compressive strength and durability of RCC against freezing and thawing cycles. For this purpose, 10 different mix designs were provided in which 1, 2.5 and 4% fiber by weight of cement were used which were 5, 20, and 40 mm long. To measure the compressive strength of the specimens, ultrasonic devices and hydraulic jacks were used. The specimens were also exposed to 300 freezing-thawing cycles. Some of the research findings are as follows:

- While conducting the compressive strength test using a hydraulic jack, we found that addition of 5 mm long fibers results in lower compressive strength; however, 20 mm and 40 mm long fibers result in higher compressive strength.
- Specimens containing 2.5% macrosynthetic fibers 20 mm long, according to the results of the compressive strength test, which resulted in a 33% increase in compressive strength, are introduced as the efficient mix design.
- Evaluation of the results of the dynamic modulus obtained from ultrasonic and ultrasonic wave velocity tests of the specimen have also produced results similar to the compressive strength test.
- Based on ultrasonic test, specimens also containing 2.5% macrosynthetic fibers 20 mm long are introduced as the efficient mix design.
- Reduced compressive strength of the specimens containing fibers 5 mm long can be caused by the accumulation of fibers and their non-uniform distribution in the specimens.
- The results of freezing-thawing cycles imply that addition of macrosynthetic fibers generally reduces the durability of the specimens against freezing-thawing cycles.
- When using fibers, increasing the percentage of 40 mm long fibers in the specimens has no effect on the durability of the specimens, addition of 20 mm long fibers reduced the durability of the specimens, and the addition of 5 mm long fibers had decreasing-increasing effects.
- The shorter the fibers used in the RCC specimens, the more is the decline of the durability index in freezing-thawing cycles.
- Decreased durability of the RCC specimens containing macrosynthetic fibers can be associated with heterogeneous distribution of fiber in the specimens.

of fiber in terms of numbers of cycles. As you can see, in general, the durability index values for the specimen without fiber (mixed design A) are higher than that of other specimens.

REFERENCES

- [1]Ministry of Industry and Mines Deputy Development, Planning and Technology, Technical knowledge codification of polypropylene fiber reinforced concrete mixture design in order to achieve lighter and more resistant concrete pavement, (2009) (in Persian)
- [2]Vice president of Strategic Planning and supervision, guideline for design and construction of rolled compacted concrete pavements, 2009. (In Persian)
- [3]ACI, Report on roller compacted concrete pavement, in: Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 1995, pp15-3

HOW TO CITE THIS ARTICLE

A. Shafiepour, SH. Shabani, F. Faezi, *Effects of Dimensions and Amount of Polymer Fibers on the Strength and Durability of Roller-Compacted Concrete under Freeze-Thaw cycling*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 52(10) (2021) 633-636.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15840.6052](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15840.6052)





تأثیر ابعاد و مقدار الیاف پلیمری در استقامت و دوام روسازی بتن غلتکی در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن

ابوذر شفیع پور^{۱*}، شاهین شعبانی^۲، سید فرزین فائزی^۳

^۱ دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشکده عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^۲ استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^۳ استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۱۱-۲۸

بازنگری: ۱۳۹۸-۰۲-۱۴

پذیرش: ۱۳۹۸-۰۴-۰۶

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸-۰۶-۰۳

کلمات کلیدی:

روسازی بتن غلتکی

الیاف پلیمری

مقاومت فشاری

امواج آلتراسونیک

چرخه های یخ زدن و آب شدن

خلاصه: در سال‌های اخیر استفاده از بتن غلتکی در روسازی راه‌ها به دلیل مزایای بسیار آن افزایش یافته است. همچنین با اضافه کردن الیاف به بتن‌های غلتکی می‌توان برخی خواص بتن، از جمله ظرفیت خمشی، مقاومت در برابر خستگی، نرخ رشد ترک و انتقال برش در طول ترک‌ها و درزها را بهبود داد. آزمایش‌های بسیاری، مزایای استفاده از بتن‌های مسلح شده با الیاف در روسازی‌های بتن غلتکی را نشان داده‌اند، اما اطلاعات بیشتری از رفتار آن‌ها در مناطق با آب و هوای سرد و شرایط یخبندان و به خصوص در معرض قرار گرفتن چرخه‌های یخ زدن و آب شدن نیاز است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مقایسه تأثیر ابعاد و میزان الیاف ماکروسنتتیک بر استقامت و دوام رویه‌های بتن غلتکی در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن است. بدین منظور نمونه‌های بتن غلتکی با مقادیر مختلفی از الیاف (۵، ۲/۱ و ۴ درصد وزنی سیمان) با طول‌های مختلف (۵، ۲۰ و ۴۰ میلیمتری) ساخته شد و آزمایش مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و آزمایش دوام در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن تا ۳۰۰ چرخه انجام شد. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که اضافه کردن الیاف باعث افزایش مقاومت فشاری بتن غلتکی می‌شود اما از طرف دیگر میزان دوام آن را در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن کاهش می‌یابد بنابراین برای استفاده از الیاف در بتن غلتکی مخصوصاً در مناطق سردسیر باید دقت بیشتری شود.

۱- مقدمه

بتن غلتکی^۱ مخلوطی سفت و خشک و با اسلامپ صفر است که عمده‌تاً با استفاده از غلتک برای رسیدن به تراکم مورد نظر فشرده می‌شود. بتن غلتکی معمولاً در دو حوزه ساخت سد و روسازی راه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزایای استفاده از بتن غلتکی شامل کاهش چشمگیر هزینه‌های ساخت و افزایش سرعت اجرا موجب افزایش استفاده از بتن غلتکی در سال‌های اخیر شده است. طراحی روسازی‌های بتن غلتکی^۲ شبیه به طراحی روسازی بتنی غیرمسلح درزدار با درز انبساط یا درزهای اجرایی بدون میلگرد اتصال است. روسازی بتن غلتکی نسبت به بتن معمولی متفاوت بوده و به دلیل

پایین بودن نسبت آب به سیمان کارایی آن به مراتب کمتر است [۱]. بتن غلتکی را می‌توان با استفاده از الیاف کوتاهی که به صورت تصادفی در حجم آن پراکنده شده‌اند، مسلح نمود و بدین ترتیب مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی و دوام را بهبود داد. از الیاف با جنس‌های مختلفی برای مسلح کردن بتن غلتکی استفاده می‌شود که الیاف‌های پلیمری بیشترین استفاده را دارند. ابعاد و درصد حجمی الیاف استفاده شده در مخلوط اهمیت زیادی دارد، چرا که بیشتر بودن درصد حجمی الیاف ممکن است منجر به اثرات معکوس گردد [۲]. همچنین مطالعات کمی در مورد دوام بتن‌های غلتکی مسلح شده با الیاف موجود است. در این پژوهش سعی شده است علاوه بر اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن‌های غلتکی حاوی الیاف با استفاده از آزمایش مخرب مقاومت فشاری و آزمایش

1 Roller compacted concrete (RCC)

2 Roller compacted concrete Pavements (RCCP)

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: abouzarshafiepour@yahoo.com



غیرمخرب آلتراسونیک در سنین ۲۸،۷ و ۹۰ روزه، دوام بتن غلتکی در برابر چرخه های یخ زدن و آب شدن نیز اندازه گیری شود.

۲- پیشینه تحقیق

پژوهش‌های متعددی در بررسی خصوصیات بتن‌های غلتکی حاوی الیاف انجام شده است. رضایی و همکاران (۱۳۹۵)، اثر استفاده از الیاف پروپیلن، نایلون و شیشه به میزان ۰/۶ درصد وزنی سیمان در عملکرد فشاری و کششی بتن غلتکی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آزمون‌های مقاومت فشاری و کششی غیرمستقیم افزایش ۱۰ تا ۱۵ درصدی مقاومت فشاری و کششی را در نمونه‌های با الیاف مختلف نشان داد که در این میان الیاف نایلون و پلی پروپیلن با افزایش ۱۵ درصدی مقاومت، به ترتیب بهترین عملکرد فشاری و کششی را داشته‌اند [۳] طاهری و همکاران در پژوهش دیگری، تاثیر استفاده از الیاف پلی پروپیلن بر روی روسازی بتن غلتکی را بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که استفاده از الیاف پلی پروپیلن منجر به یک سطح مناسب با مقاومت سایشی بالا بوده و همچنین از نفوذپذیری بتن کاسته و نفوذ عوامل خورنده را به داخل بتن به حداقل می رساند و دوام بتن را افزایش می دهد [۴] نادری (۱۳۹۳)، نیز پژوهش مشابهی در تاثیر استفاده از الیاف پلی پروپیلن بر بتن غلتکی انجام دادند که افزایش ۲۰ درصدی مقاومت کششی در نمونه‌های الیافی را مشاهده کردند [۵]. مدح‌خوان و همکاران نیز روش ابداعی استفاده از شبکه‌های بافته شده از الیاف شیشه جهت بالا بردن مدول گسیختگی بتن غلتکی روسازی را مورد بررسی قرار دادند [۶]. روح الامینی در سال ۲۰۱۷ با افزودن الیاف ماکروسنتتیک به مخلوط بتن غلتکی، نتیجه گرفت که این نوع الیاف‌ها باعث افزایش انرژی مورد نیاز برای تراکم مخلوط بتن غلتکی می شوند. همچنین افزودن الیاف به بتن غلتکی باعث کاهش زمان وب در مخلوط می شود. از سوی دیگر افزودن الیاف ماکروسنتتیک به مخلوط بتن غلتکی تاثیر چشمگیری در مقاومت فشاری ندارد ولی در بهبود مقاومت خمشی موثر بوده است [۷]. در سال ۲۰۱۷ جف لاهوکیک و همکارانش، آزمایش‌هایی در مورد تاثیر مثبت الیاف فولادی ماکرو روی روسازی بتن غلتکی و اندازه گیری تغییرات در خواص مکانیکی آن و مقایسه ی آن با روسازی بتنی معمولی انجام دادند. در این آزمایشات شش نوع الیاف شامل چهار نوع آن الیاف سنتتیک و دو نوع الیاف فولادی با شکل

هندسی متفاوت در دو مقدار ۰/۲ و ۰/۴ درصد حجمی استفاده کردند. نتایج نشان داد که نمونه‌هایی که شامل الیاف سنتتیک بودند افزایش قابل توجهی در حداکثر چگالی خشک و مقاومت فشاری نمونه داشتند. نمونه‌های مسلح شده با الیاف فولادی، مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه‌های مسلح شده با الیاف سنتتیک داشته‌اند. همینطور هیچ گونه تفاوتی در مدول الاستیسیته بین نمونه‌های بتن غلتکی الیافی دیده نشد. در خصوص آزمایش خمشی با افزایش مقدار الیاف، مقاومت خمشی افزایش یافته است. نمونه‌های با الیاف فولادی سر قلاب شده مقاومت خمشی بیشتری نسبت به نمونه‌های با الیاف سنتتیک نشان می دهد. همچنین آزمایش شکست نشان داد که بتن غلتکی همراه با الیاف خواص مقاومت شکست بیشتری نسبت به بتن معمولی الیاف دارد. به دلیل این افزایش در مقاومت و خواص شکست، مقاومت خستگی و عمر بهره برداری روسازی بتن غلتکی افزایش می یابد [۸].

مسئله دیگری که در استفاده از روسازی بتن غلتکی حاوی الیاف خصوصاً در مناطق سرد باید مورد توجه قرار گیرد، مقاومت آن‌ها در برابر چرخه های یخ زدن و آب شدن است. در این راستا، ژانگ و همکاران در پژوهشی، تاثیر استفاده از الیاف فلزی و ذرات پلاستیک را در مقاومت یخ‌زدگی بتن غلتکی تحت ۳۰۰ چرخه یخ زدن و آب شدن بررسی کردند و نتیجه گرفتند که استفاده از این الیاف در بهبود مقاومت یخ‌زدگی بتن غلتکی نقشی ندارد [۹]. آقای هزاری و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی اثرات مخلوط انجام گرفته بر روی خصوصیات و مقاومت یخبندان و ذوب بتن غلتکی پرداختند. اهداف اصلی این تحقیق اثرات مختلف میزان سیمان و هوای موجود بر روی خصوصیات پایه ای فیزیکی، مکانیکی و مقاومت های یخبندان- ذوب مخلوط های بتن غلتکی است. میزان هوای مخلوط نشان از تاثیر بر روی مقاومت و دوام در چرخه های یخ زدن و آب شدن را داشته است [۱۰]. آقای دلایه و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی اثرات چگالی و خصوصیات مخلوط بر روی دوام در برابر یخبندان و ذوب روسازی های بتن غلتکی پرداختند [۱۱]. آقای احدی و همکاران در سال ۱۳۹۱، به مطالعه آزمایشگاهی دوام روسازی های بتن غلتکی در مقابل دوره های یخ و ذوب شدن پرداختند. در این مطالعه تحقیقاتی ۱۲ نمونه که شامل ۳ طرح مخلوط بوده است و با متراکم کننده دورانی متراکم شده است. از میان سه طرح مخلوط، فقط یک مخلوط

خارج کرده و دوباره وزن و ابعاد آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود. هنگام آزمایش دستگاه را تحت بارگذاری یکنواخت قرار داده و به محض ترک خوردن قسمتی از نمونه، بارگذاری دستگاه متوقف شده و حداکثر نیروی وارده بر سطح تماس نمونه با صفحات فلزی روی نمایشگر دستگاه بر حسب تن (ton) نشان داده می‌شود، با داشتن حداکثر نیروی وارده و سطح بارگذاری شده می‌توان مقاومت فشاری نمونه را تعیین کرد. اغلب نمونه‌های مکعبی دارای ابعاد ۱۵ و ۲۰ سانتی متری می‌باشند و برای تبدیل نمونه مکعبی به نمونه استاندارد مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، باید از ضریب ۰/۸۳ برای نمونه‌های با ابعاد ۱۵*۱۵*۱۵ استفاده شود.

برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری به صورت غیرمخرب از دستگاه آلتراسونیک استفاده شده است. در این دستگاه سرعت پالس عبور داده شده از نمونه اندازه‌گیری می‌شود و بر طبق آن مشخصات نمونه تعیین می‌گردد. سرعت موج، مدول الاستیک و چگالی بتن طبق رابطه ۱ به یکدیگر مرتبط می‌شوند.

$$v = \sqrt{\frac{KE_d}{\rho}} \quad (1)$$

که در این رابطه v سرعت موج طولی (فشاری)، E_d مدول الاستیسیته دینامیکی، ρ چگالی و K ضریبی است که تابعی از ضریب پواسون بتن (μ) می‌باشد و از طریق رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$K = \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \quad (2)$$

جهت بررسی دوام نمونه‌ها تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن متوالی، نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM C666 مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. این آزمایش بر اساس دو روش انجام می‌گیرد که در روش اول یخ زدن و ذوب شدن در آب و در روش دوم یخ زدن در هوا و ذوب شدن در آب صورت می‌پذیرد. در این تحقیق از روش دوم استفاده شده است. دستگاه یخ زدن و ذوب شدن باید دارای محفظه‌ای باشد که بتواند نمونه‌ها را در معرض سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن قرار دهد و باید دارای یک وسیله سرمایش و گرمایش به همراه کنترل‌هایی جهت انجام پیوسته و اتوماتیک چرخه‌ها در دمای مورد نیاز باشد. در مخزن این دستگاه نمونه‌ها باید به گونه‌ای قرار گیرند که انتقال حرارت از کف نمونه‌ها صورت نگیرد بلکه این انتقال حرارت باید بصورت همگن در کل نمونه صورت گیرد و نباید در

دوره یخ و ذوب شدن را با ۹ درصد کاهش وزن کامل نمود که دارای نسبت آب به سیمان ۰/۴ و در مقایسه با نمونه‌های دیگر دارای چگالی بیشتر بوده است. مقاومت در برابر دوره‌های یخبندان به ترتیب به حجم خمیر سیمان موجود در بتن، نسبت آب به سیمان و سپس به تعداد دوران تراکم بستگی دارد [۱۲]. آقای سیامردی و همکاران در سال ۱۳۹۲، به ارزیابی تأثیر حجم خمیر سیمان بر مقاومت مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی‌ها بدون افزودنی‌های شیمیایی حباب‌زا تحت دوره‌های یخبندان پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که کاهش وزن در اثر دوره‌های یخبندان با افزایش نسبت آب به سیمان نیز افزایش می‌یابد و مقاومت در برابر دوره‌های یخبندان به ترتیب به حجم خمیر سیمان موجود در بتن، نسبت آب به سیمان و سپس به تعداد دوران تراکم بستگی دارد به طوری که نمونه‌ای با نسبت آب به سیمان ۰/۴، با چگالی بیشتر قادر به تحمل ۳۰۰ دوره یخبندان با ۹ درصد کاهش وزن شد [۱۳].

۳- برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش، مقاومت فشاری نمونه‌های بتن غلتکی حاوی مقادیر مختلفی از الیاف ماکروسنتتیک با طول‌های مختلف با استفاده از جک هیدرولیکی و مدول دینامیکی با استفاده از دستگاه آلتراسونیک مطابق با استاندارد ASTM C597 و دوام نمونه‌ها تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن تا ۳۰۰ چرخه مطابق با استاندارد ASTM C666 تعیین شده است. در این بخش ابتدا نحوه انجام آزمایش‌ها تشریح می‌شود و سپس مشخصات مصالح مصرفی و طرح مخلوط شرح داده شده است.

۳-۱- شرح آزمایش‌ها

مقاومت فشاری در این تحقیق از دو روش مخرب و غیر مخرب محاسبه شده است. برای انجام آزمایش مقاومت فشاری می‌توان از دستگاه جک فشاری به صورت مخرب استفاده کرد. بعد از ساخت نمونه‌ها و پس از گذشت ۲۰ الی ۴۸ ساعت، آن‌ها را در هوای آزاد قرار داده و سپس نمونه‌ها را از قالب خارج کرده، وزن و ابعاد آن‌ها را اندازه‌گیری می‌شود و در ادامه در حوضچه آب و آهک قرار داده می‌شوند. آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز انجام شده است. قبل از انجام آزمایش در زمان مقرر نمونه‌ها را از حوضچه

عرضی در C چرخه یخ زدن و ذوب شدن و فرکانس طبیعی عرضی در صفر چرخه هستند. همچنین، D_f شاخص دوام، N تعداد سیکل‌هایی که در آن P به حداقل مقدار مشخص شده برسد و M تعداد سیکل‌هایی که آزمایش خاتمه می‌یابد (در اینجا برابر با ۳۰۰ است)، می‌باشد.

۳-۲-۳- مصالغ مصرفی

مصالغ مصرفی در بتن غلتکی شامل سنگدانه، سیمان، آب و الیاف است.

۱-۳-۲-۳- سنگدانه

دانه‌بندی مورد استفاده در این پژوهش جهت ساخت آزمون‌ها مطابق با متداول ترین دانه بندی های مصرفی در روسازی بتن غلتکی با توجه به نشریه ۳۵۴ و استانداردهای موجود (ACI 325.10R, SCDOT, 2001) انتخاب شده است که در شکل ۱ ارائه شده است [۱۵،۱۴]

۲-۳-۲-۳- سیمان

سیمان مصرفی در این تحقیق سیمان تیپ ۲ فیروزکوه است که مشخصات فنی آن در جدول ۱ آورده شده است. همچنین، مقدار سیمان مصرفی با توجه به طرح مخلوط برابر ۳۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمده است.

۳-۳-۲-۳- الیاف پلیمری ماکروسنتتیک

در این پژوهش از الیاف پلیمری تک رشته‌ای پلی‌اولفین با مقاومت بالا و ماکروفاایبر (Mex. ۲۰۰) که دارای وزن مولکولی بالا و مستحکم می‌باشد، با مقادیر ۱، ۲/۵ و ۴ درصد وزن مصالح سیمانی استفاده شده است. این الیاف از شرکت میسون تهیه شده و دارای مشخصات ارائه شده در جدول ۲ هستند. الیاف استفاده شده و ابعاد آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

۴-۳-۲-۳- آب

کیفیت و الزامات آب مورد استفاده در بتن غلتکی مشابه آب مصرفی در بتن معمولی می‌باشد. میزان مواد قلیایی، اسیدی و آلی در آب بایستی از حداکثر مجاز در آیین نامه‌ها کمتر باشد در غیر

تماس مستقیم قرار گیرد. سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن شامل کاهش دما از ۴/۴ درجه به ۱۷/۸- درجه سانتی‌گراد و افزایش دما از ۱۷/۸- درجه به ۴/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. که این امر بطور متناوب در مدت زمان بین ۲ الی ۵ ساعت انجام می‌گیرد. در این روش زمان لازم برای افزایش دمای آزمون، از ۲۰ درصد زمان لازم برای گرم شدن نمونه نباید کمتر باشد. در پایان هر چرخه دمای آزمون باید در حدود $4/4 \pm 1/7$ درجه سانتی‌گراد باشد و دمای آزمون‌ها نباید از ۱۹/۴- درجه سانتی‌گراد کمتر و از ۶/۱ درجه سانتی‌گراد بیشتر باشد. همچنین در این آزمایش اختلاف دما بین مرکز آزمون و سطح آن نباید بیشتر از ۲۷/۸ درجه سانتی‌گراد باشد.

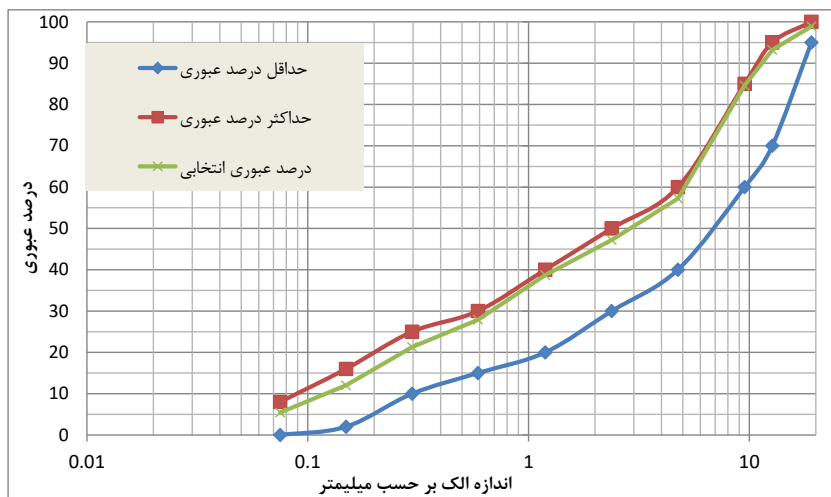
در این آزمایش از آزمون‌های منشوری و یا استوانه‌ای استفاده می‌شود. شعاع، عمق یا عرض آزمون‌ها نباید کمتر از ۷۶ میلی‌متر و بیشتر از ۱۲۷ میلی‌متر باشد و طول این آزمون‌ها نباید کمتر از ۲۷۹ میلی‌متر و بیشتر از ۴۰۶ میلی‌متر باشد. نمونه‌های قالب‌گیری شده برای این آزمایش باید به مدت ۱۴ روز قبل از آزمایش در آب آهک عمل آوری شوند و بمدت ۴۸ ساعت قبل از انجام آزمایش در شرایط مرطوب نگهداری شوند. آزمایش چرخه ذوب و انجماد را ابتدا با قرار دادن آزمون‌ها در آب گرم و در چرخه ذوب شدن آغاز کرده و در فواصل زمانی حدود ۳۶ چرخه آزمون‌ها را از دستگاه خارج نموده و تحت آزمایش آلتراسونیک و امواج فراصوتی قرار می‌گیرند. آزمایش روی آزمون‌ها را تا آنجا ادامه داده می‌شود که آزمون در معرض ۳۰۰ چرخه یخبندان قرار گیرند یا اینکه مدول الاستیسیته دینامیکی آنها به ۶۰ درصد مدول اولیه برسد.

در این آزمایش با اتمام هر ۳۶ چرخه، وضعیت ظاهری، مدول الاستیسیته دینامیکی و شاخص دوام با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌گردند [۱۶]

$$P_n = 100 \times \frac{f_1^2}{f^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$D_f = \frac{P_n \times N}{M} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این روابط P_n ، f_1 و f به ترتیب مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی در n چرخه بر حسب درصد، فرکانس طبیعی



شکل ۱. دانه بندی سنگدانه‌های مورد استفاده در ساخت آزمون‌ها (ACI 325.10R)
 Fig. 1. Gradations of aggregate used in preparing concrete specimens

جدول ۱. مقدار اجزا در سیمان پرتلند تیپ ۲ مصرفی
 Table 1. Components in Portland Cement Type 2

| Main Element Composition (%) | FIKCC | Main Element Composition (%) | FIKCC |
|--------------------------------|-----------|-------------------------------------|----------|
| SiO ₂ | 20.7±0.3 | Insoluble Residue (I.R) | 0.6±0.05 |
| Al ₂ O ₃ | 5±0.2 | Free Lime (CaO) | 1.7±0.2 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.8±0.2 | Ca ₂ S | 59±3 |
| CaO ₂ | 63.2±0.3 | Ca ₃ S | 22.5±3 |
| MgO ₂ | 2.3±0.3 | C ₃ A | 6.4±1.3 |
| SO ₃ | 2.1±0.4 | C ₃ A + C ₂ A | 60.4±3 |
| Na ₂ O | 0.33±0.06 | CaSO ₃ | - |
| Na ₂ O Equivalent | 0.53± | Loss On Ignition | 2.2±0.4 |
| Cl | 0.04 | | |



شکل ۲. الیاف ماکروسنتتیک و ابعاد آن‌ها
 Fig. 2. Macro-synthetic fibers and their dimensions

اساس استاندارد ASTM C 1170 انجام گرفته است. این روش برای رسیدن به کارایی بهینه، مقاومت مورد نظر بتن غلتکی و با استفاده از دستگاه وب (Vebe) انجام می شود. آزمون‌های در نظر گرفته شده با درصد و ابعاد مختلف الیاف به صورت نشان داده شده در جدول ۳ نام‌گذاری شده است. همچنین در این جدول نتایج طرح مخلوط از جمله میزان سیمان، آب و زمان وب ارائه شده است. آزمون‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر جهت آزمایش آلتراسونیک و مقاومت

اینصورت باعث کاهش کیفیت مقاومت لازم بتن غلتکی می شود [۱۴] در این پژوهش نسبت آب به سیمان بر اساس آزمایش وب (Vebe) مطابق استاندارد ASTM C 1176 برای کلیه آزمون‌ها انجام و از آب شهری دماوند جهت ساخت آزمون‌ها استفاده شده است.

۳-۳- طرح مخلوط

در این پژوهش، طرح مخلوط بتن بمنظور آزمایش قوام بتن بر

جدول ۲. مشخصات فنی الیاف پلیمری ماکروسنتتیک (Mex.200)
Table 2. Specifications of macrosynthetic fibers

| | |
|-----------------|----------------------------|
| نوع مواد اولیه | پلیمری ترموپلاستیک |
| رنگ | سفید شفاف |
| شکل | بصورت عاج دار |
| طول الیاف | ۴۰ میلیمتر |
| قطر الیاف | ۰/۳ میلیمتر |
| رزین پایه | اولفین اصلاح شده |
| چگالی نسبی | ۰/۹۱ گرم بر سانتی متر مکعب |
| مقاومت کششی | ۴۵۰ مگاپاسکال |
| مدول الاستیسیته | ۱۳/۶ گیگا پاسکال |
| درجه ذوب | ۱۶۰ درجه سانتیگراد |
| درجه احتراق | ۴۵۰ درجه سانتیگراد |
| مقاومت قلیایی | عالی |
| جذب آب | صفر |

جدول ۳. نام گذاری طرح مخلوط‌های مختلف در نظر گرفته شده برای درصد وزنی و ابعاد مختلف الیاف
Table 3. label of different mix designs intended for various weight amount and dimensions of fibers

| نام آزمون | نوع طرح مخلوط | میزان سیمان (کیلوگرم بر مترمکعب) | میزان آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | زمان وب (Vebe) (ثانیه) |
|-----------|---|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| A | بتن غلتکی فاقد افزودنی | ۳۰۵ | ۱۲۲ | ۳۰ |
| B-1 | بتن غلتکی حاوی ۱٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۰/۵ سانتی متری | ۳۰۵ | ۱۳۸ | ۳۵ |
| B-2 | بتن غلتکی حاوی ۲،۵٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۰/۵ سانتی متری | ۳۰۵ | ۱۳۸ | ۳۵ |
| B-3 | بتن غلتکی حاوی ۴٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۰/۵ سانتی متری | ۳۰۵ | ۱۳۸ | ۳۰ |
| C-1 | بتن غلتکی حاوی ۱٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۲ سانتی متری | ۳۰۵ | ۱۳۸ | ۳۶ |
| C-2 | بتن غلتکی حاوی ۲،۵٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۲ سانتی متری | ۳۰۵ | ۱۳۸ | ۳۶ |
| C-3 | بتن غلتکی حاوی ۴٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۲ سانتی متری | ۳۰۵ | ۱۳۸ | ۳۷ |
| D-1 | بتن غلتکی حاوی ۱٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۴ سانتی متری | ۳۰۵ | ۱۳۸ | ۳۳ |
| D-2 | بتن غلتکی حاوی ۲،۵٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۴ سانتی متری | ۳۰۵ | ۱۳۸ | ۳۲ |
| D-3 | بتن غلتکی حاوی ۴٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۴ سانتی متری | ۳۰۵ | ۱۳۸ | ۳۴ |

۴- بیان و تحلیل نتایج

۴-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی با طول ضلع ۱۵ سانتی‌متر با استفاده از جک هیدرولیکی به دست آمده است. همچنین، وزن آزمون‌ها قبل و بعد از انجام آزمایش اندازه‌گیری می‌شود. همچنین،

فشاری در سنین ۲۸،۷ و ۹۰ روز و آزمون‌های منشوری ۳۰۰*۱۰۰*۷۵ میلیمتری که از برش نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد ۱۵۰*۳۰۰ میلیمتر بدست می‌آید جهت آزمایش چرخه‌های یخ زدن و آب شدن تهیه شده است. همچنین از هر طرح مخلوط دو آزمون مشابه ساخته می‌شود. شکل ۳ نمایی از آزمون‌های ساخته شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳. آزمون‌های ساخته شده در آزمایشگاه
Fig. 3. Specimens made in the laboratory

جدول ۴. نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای آزمون مرجع A
Table 4. Results of compressive strength test for reference specimen A

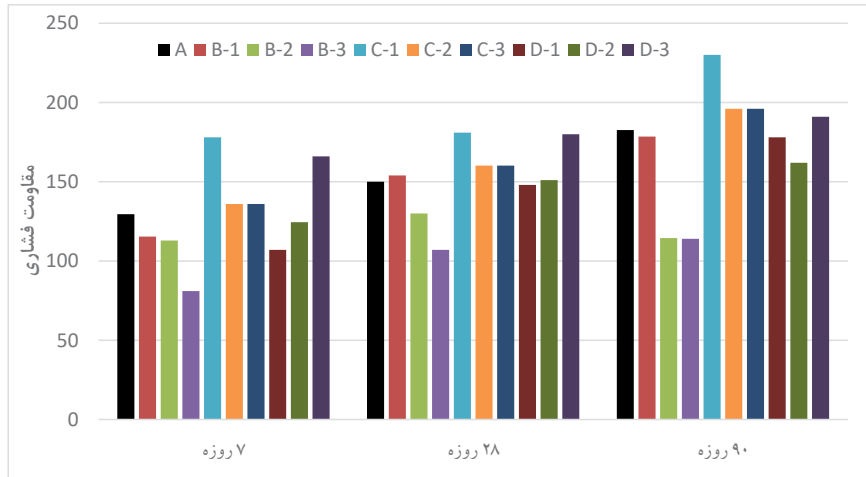
| شماره آزمون | سن آزمون | مقاومت فشاری | | | | | | | | |
|--------------|----------|-----------------|-----|--------|-----------|--------|---------------------------------|-----------------------------|--|-------------|
| | | ابعاد (میلیمتر) | | | وزن (گرم) | | حداکثر بار محوری F_{max} (kg) | تنش T ($\frac{kg}{cm^2}$) | حداکثر L_{VDR} جایجایی کناره‌ها (mm) | نسبت پواسون |
| | | طول | عرض | ارتفاع | اولیه | ثانویه | | | | |
| IAUD-RCC-003 | ۷ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۱۵۱ | ۷۸۸۶ | ۷۹۶۸ | ۳۶۹۰۰ | ۱۶۴ | ۱/۹۸۱ | -۰/۱۳۳ |
| IAUD-RCC-003 | ۷ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۷۱۱۶ | ۷۱۹۰ | ۳۳۳۰۰ | ۱۴۸ | ۱/۸۶۱ | -۰/۱۲۵ |
| IAUD-RCC-004 | ۲۸ | ۱۵۰ | ۱۵۱ | ۱۵۱ | ۷۳۴۲ | ۷۴۱۱ | ۳۹۸۰۰ | ۱۷۸ | ۲/۹۲۰ | -۰/۲۰۴ |
| IAUD-RCC-004 | ۲۸ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۱۵۱ | ۷۵۶۰ | ۷۵۹۰ | ۴۲۲۰۰ | ۱۸۴ | ۳/۴۴۰ | -۰/۲۲۴ |
| IAUD-RCC-005 | ۹۰ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۱۵۱ | ۷۴۹۵ | ۷۵۲۸ | ۴۷۹۰۰ | ۲۰۵ | ۳/۱۵۱ | -۰/۲۲۷ |
| IAUD-RCC-005 | ۹۰ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۷۶۷۳ | ۷۷۵۲ | ۵۱۵۰۰ | ۲۳۵ | ۳/۷۶۷ | -۰/۲۳۷ |

فشاری نسبت به آزمون مرجع را نتیجه داده است در حالی که آزمون‌های حاوی الیاف ۲ سانتی‌متری در درصد‌های مختلف ۱، ۲/۵ و ۴ درصد به ترتیب ۲۶، ۳۳ و ۷ درصد مقاومت فشاری را بهبود داده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که طرح مخلوط با ۲/۵ درصد الیاف ماکروسنتتیک با طول ۲ سانتی‌متر طبق نتایج مقاومت فشاری، طرح مخلوط بهینه است.

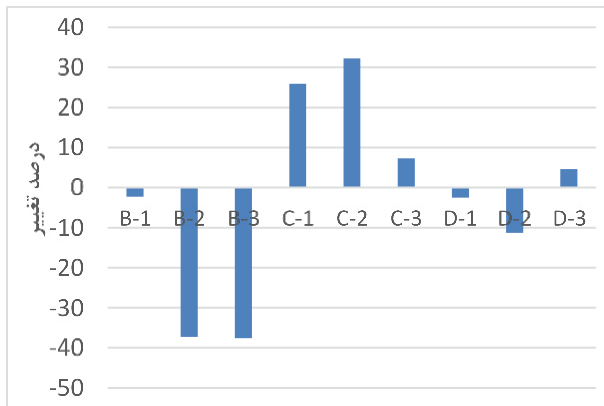
۲-۴- نتایج آزمایش آلتراسونیک

مدول دینامیکی آزمون‌های بتن غلتکی توسط دستگاه آلتراسونیک اندازه‌گیری می‌شود. گزارش مقدماتی نتایج مربوط به آزمون مرجع A به عنوان نمونه در جدول ۵ ارائه شده است. با استفاده از روابط ۱

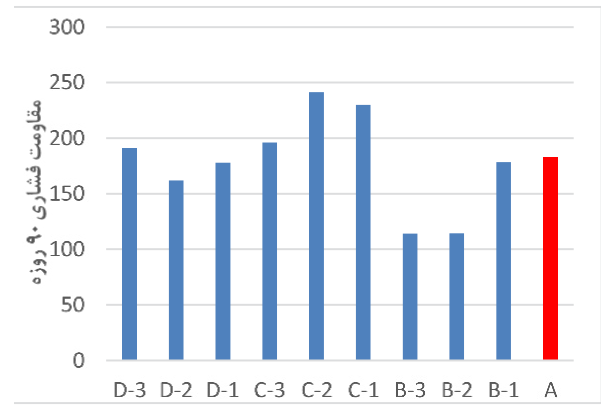
تنش و نسبت پواسون نیز محاسبه می‌گردد. به عنوان نمونه نتایج به دست آمده برای آزمون مرجع A در جدول ۴ ارائه شده است. در ادامه جهت محاسبه مقاومت فشاری آزمون‌ها مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، ضریب تصحیح برای آزمون استاندارد که برای آزمون‌های مکعبی با طول ضلع ۱۵ سانتی‌متر مقدار ۰/۸۳ است، اعمال می‌گردد. مقدار مقاومت فشاری برای آزمون‌ها با طرح مخلوط مختلف که ۷، ۲۸ و ۹۰ روز عمل‌آوری شده‌اند، به صورت شکل ۴ به دست آمده است. همچنین شکل ۵ و ۶ به صورت خاص مقاومت فشاری ۹۰ روزه آزمون‌ها و درصد تغییرات آن‌ها نسبت به آزمون مرجع A، نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش الیاف با طول ۰/۵ سانتی‌متر به طور کلی کاهش مقاومت



شکل ۴. مقاومت فشاری آزمون‌های مختلف عمل‌آوری شده در طی ۷، ۲۸ و ۹۰ روز
Fig. 4. Compressive strength of the specimens made in 28, 7 and 90 days



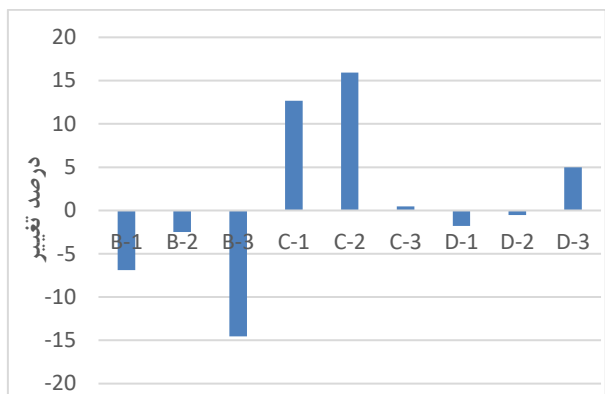
شکل ۶. درصد تغییر مقاومت فشاری ۹۰ روزه نسبت به آزمون مرجع
Fig. 6. The Percentage of the changes in the compressive strength compared to the reference specimen



شکل ۵. تغییرات مقاومت فشاری برای آزمون‌ها مختلف
Fig. 5. Compressive strength changes in different specimens

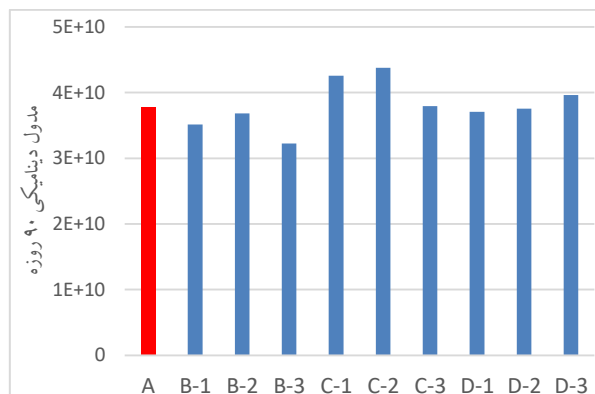
جدول ۵. نتایج آزمایش آلتراسونیک برای آزمون مرجع A
Table 5. Ultrasonic test results for reference specimen A

| شماره آزمون | سن آزمون | مدول دینامیکی در جهت طولی | | | مدول دینامیکی در جهت عرضی | | |
|--------------|----------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------|----------------|
| | | زمان انتقال (μs) | سرعت پالس (m/s) | سطح سیگنال (%) | زمان انتقال (μs) | سرعت پالس (m/s) | سطح سیگنال (%) |
| | | IAUD-RCC-003 | ۷ | ۳۵/۹ | ۴۲۳۱ | ۹۵ | ۳۵/۴ |
| IAUD-RCC-003 | ۷ | ۳۵/۵ | ۴۱۶۹ | ۱۰۰ | ۳۵/۴ | ۴۱۹۲ | ۱۰۰ |
| IAUD-RCC-004 | ۲۸ | ۳۳/۱ | ۴۲۸۵ | ۷۹ | ۳۵/۳ | ۴۳۰۵ | ۷۵ |
| IAUD-RCC-004 | ۲۸ | ۳۴/۴ | ۴۳۰۵ | ۱۰۰ | ۳۵/۳ | ۴۳۲۱ | ۷۹ |
| IAUD-RCC-005 | ۹۰ | ۳۲/۷ | ۴۳۸۹ | ۷۰ | ۳۳/۵ | ۴۳۷۵ | ۱۰۰ |
| IAUD-RCC-005 | ۹۰ | ۳۵/۱ | ۴۴۵۲ | ۸۵ | ۳۵/۳ | ۴۴۶۹ | ۸۸ |



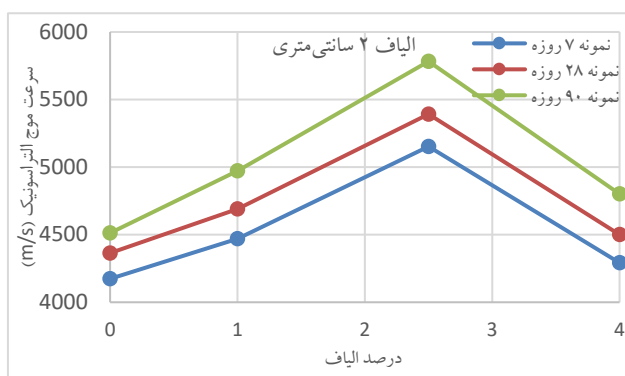
شکل ۸. درصد تغییرات مدول دینامیکی محاسبه شده با دستگاه آلتراسونیک نسبت به آزمون مرجع

Fig. 8. The percentage of the changes in the dynamic modulus computed by the ultrasonic device compared to the reference specimen

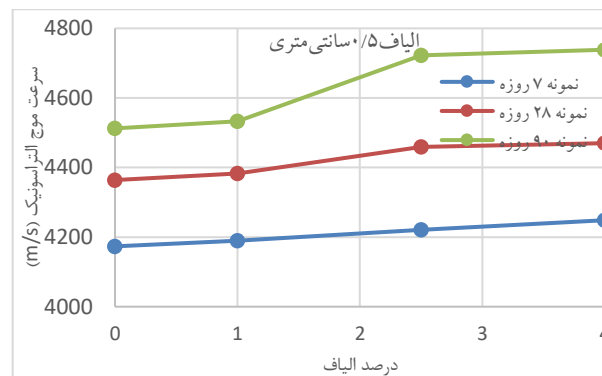


شکل ۷. مدول دینامیکی آزمون‌های ۹۰ روزه با درصدها و طول‌های مختلف الیاف محاسبه شده با دستگاه آلتراسونیک

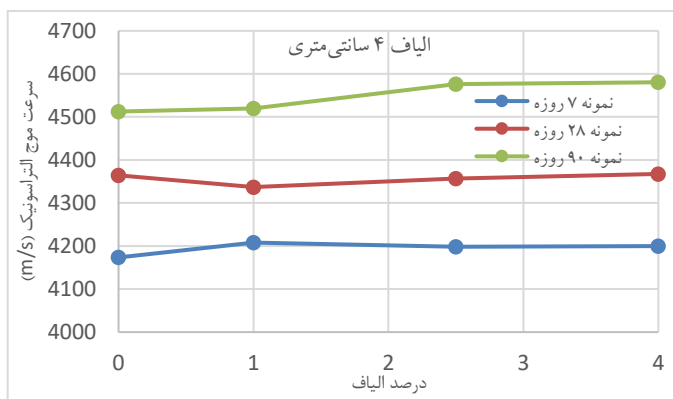
Fig. 7. Dynamic modulus of 90-day specimens with different percentages and lengths of the fibers computed by the ultrasonic device



(ب)



(الف)



(ج)

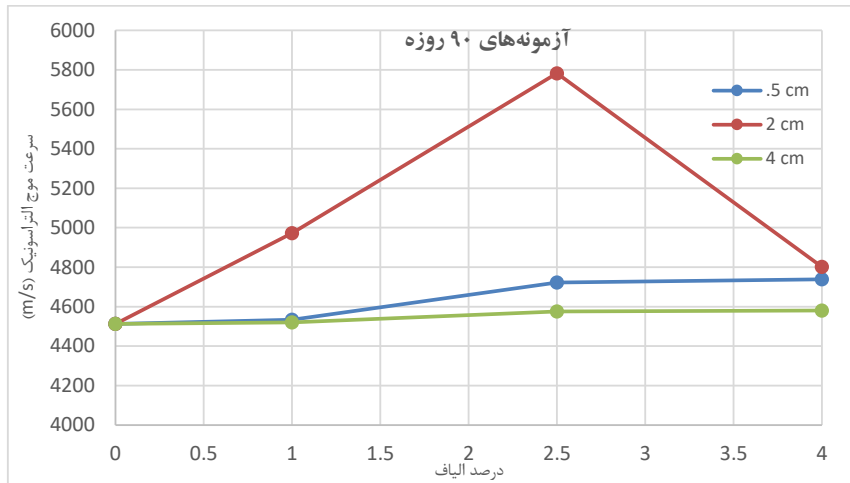
شکل ۹. سرعت امواج آلتراسونیک برای آزمون‌های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و حاوی الیاف (الف) ۰/۵، (ب) ۲ و (ج) ۴ سانتی‌متری

Fig. 9. Ultrasonic Wave Velocity for 7, 28 and 90 day specimens containing (a) 5, (b) 20 (c) 40 mm long fibers

۲/۵ درصد الیاف ۲ سانتی‌متری بهترین عملکرد را از خود نشان داده است.

سرعت امواج آلتراسونیک در آزمون را نیز می‌توان مورد ارزیابی قرار داد که برای الیاف با طول‌های مختلف به صورت شکل ۹ است.

و ۲ مدول دینامیکی آزمون‌های بتن غلتکی محاسبه می‌شوند. مدول دینامیکی برای آزمون‌های ۹۰ روزه و درصد تغییر آن‌ها نسبت به آزمون مرجع A در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. مطابق نتایج به دست آمده که همسو با نتایج مقاومت فشاری است، آزمون حاوی



شکل ۱۰. سرعت امواج آلتراسونیک برای ۹۰ روزه حاوی ابعاد و درصدهای مختلف الیاف ماکروسنتتیک
 Fig. 10. Ultrasonic Wave Velocity for 90 day specimens containing different dimensions and percentages of macrosynthetic fibers

جدول ۶. نتایج آزمایش یخ زدن و آب شدن مربوط به آزمونه مرجع A
 Table 6. Results of the freeze and thaw test for reference specimen A

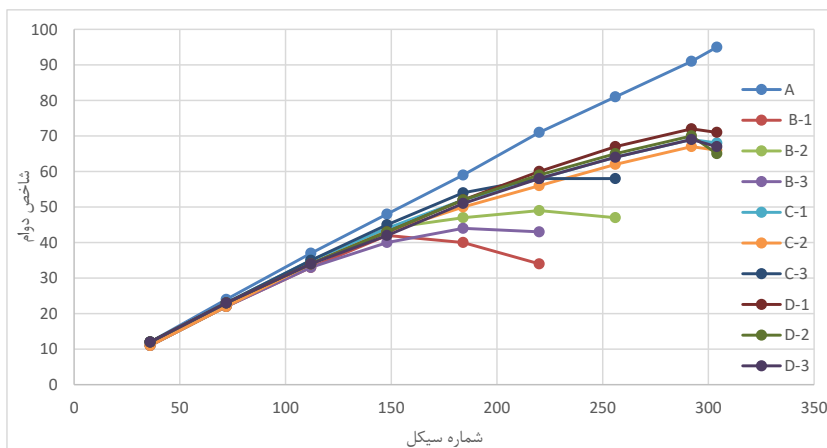
| شماره آزمونه | فرکانس اولیه (f) | شماره سیکل (N) | فرکانس طولی اصلی بعد از N سیکل (f1) | مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی | شاخص دوام | توضیحات (وضعیت ظاهری آزمونه) |
|--------------|------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------------|
| A | ۶۴۶۷ | ۳۶ | ۶۴۴۵ | ۹۹ | ۱۲ | سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش |
| | | ۷۲ | ۶۴۳۳ | ۹۹ | ۲۴ | سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش |
| | | ۱۱۲ | ۶۴۱۲ | ۹۸ | ۳۷ | سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش |
| | | ۱۴۸ | ۶۳۸۹ | ۹۸ | ۴۸ | سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش |
| | | ۱۸۴ | ۶۳۶۳ | ۹۷ | ۵۹ | سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش |
| | | ۲۲۰ | ۶۳۴۲ | ۹۶ | ۷۱ | سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش |
| | | ۲۵۶ | ۶۲۹۹ | ۹۵ | ۸۱ | سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش |
| | | ۲۹۲ | ۶۲۸۲ | ۹۴ | ۹۱ | سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش |
| | ۳۰۴ | ۶۲۷۸ | ۹۴ | ۹۵ | سالم، کمی ریزش دانه در گوشه‌ها و لبه‌های آزمونه | |

چرخه‌های یخ زدن و آب شدن، شاخص دوام آزمونه‌ها مورد مقایسه. شکل ۱۱ شاخص دوام آزمونه‌های با درصدها و طول‌های مختلف الیاف بر حسب شماره سیکل و شکل ۱۲ مقدار نهایی شاخص دوام آزمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به طور کلی، مقادیر شاخص دوام برای آزمونه بدون الیاف (طرح مخلوط A)، بیشتر از شاخص دوام سایر آزمونه‌ها می‌باشد و در واقع می‌توان نتیجه گرفت که افزودن الیاف موجب کاهش مقاومت بتن غلتکی در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن می‌شود. البته درصد بیشتر الیاف ماکروسنتتیک نسبت به درصدهای کمتر آن، بهبود نسبی دوام آزمونه‌ها را نتیجه داده است (در هر سه اندازه استفاده شده برای

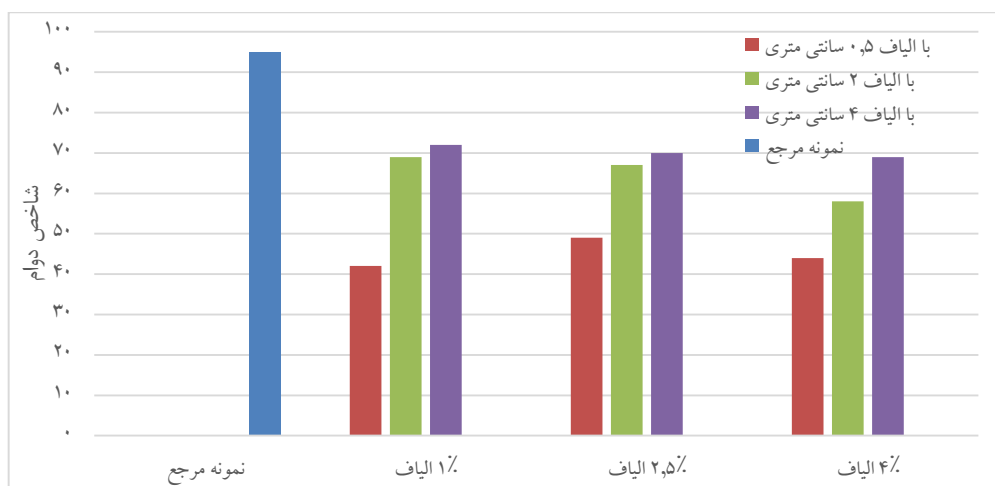
همچنین سرعت امواج آلتراسونیک در آزمونه‌های ۹۰ روزه برحسب مقدار الیاف موجود در آزمونه‌ها به صورت شکل ۱۰ است. مشابه با نتایج پیشین، طبق سرعت موج آلتراسونیک نیز می‌توان نتیجه گرفت که افزودن ۲/۵ درصد الیاف ماکروسنتتیک ۲ سانتی‌متری موجب بیشترین بهبود در بتن غلتکی می‌شود.

۳-۴- نتایج آزمایش یخ زدن و آب شدن

جدول ۶ نمونه‌ای از نتایج به دست آمده از آزمایش چرخه یخ زدن و آب شدن برای آزمونه مرجع A نشان می‌دهد. در ادامه جهت بررسی اثر الیاف بر مقاومت آزمونه تحت



شکل ۱۱. شاخص دوام آزمون‌های بتن غلتکی بر حسب تعداد چرخه‌های یخ زدن و آب شدن
 Fig. 11. Durability Index of RCC specimens in terms of the number of freezing-thawing cycles

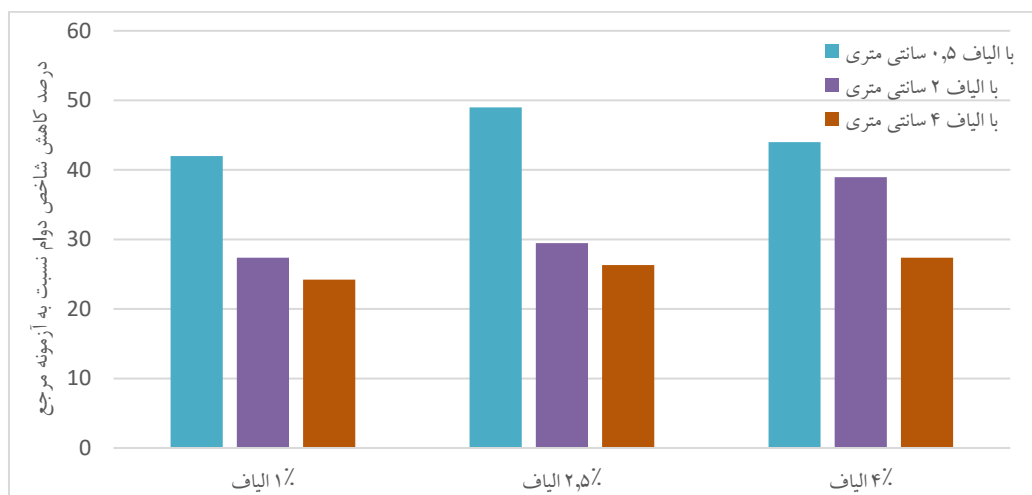


شکل ۱۲. شاخص دوام آزمون‌های بتن غلتکی بر حسب درصد و طول الیاف ماکروسنتتیک به کار رفته در آن‌ها
 Fig. 12. Durability Index of RCC specimens in terms of percentage and length of macrosynthetic fibers

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر استفاده از الیاف ماکروسنتتیک با طول‌ها و مقادیر وزنی مختلف بر مقاومت فشاری و دوام بتن‌های غلتکی در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، ۱۰ طرح مخلوط مختلف، که در آن‌ها ۱، ۲/۵ و ۴ درصد وزنی سیمان الیاف با طول‌های ۰/۵، ۲ و ۴ سانتی‌متری در نظر گرفته شد. جهت تعیین مقاومت فشاری آزمون‌ها جک هیدرولیکی و دستگاه آلتراسونیک استفاده شدند. همچنین، آزمون‌ها تحت ۳۰۰ چرخه یخ زدن و آب شدن قرار داده شدند. برخی از نتایج به دست آمده از این تحقیق عبارتند از:

الیاف درصد بیشتر الیاف نسبت به درصدهای کمتر آن شاخص دوام بیشتر را نتیجه داده است. شکل ۱۳ درصد کاهش شاخص دوام آزمون‌ها نسبت به آزمون بدون الیاف (A) را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج نشان داده شده در این شکل، به طور میانگین، افزودن الیاف ماکروسنتتیک، کاهش ۳۰ درصدی شاخص دوام آزمون‌های بتن غلتکی را به همراه داشته است. این مساله می‌تواند به دلیل عدم پخش یکنواخت الیاف در تمام بتن و تجمع آن‌ها در برخی نقاط باشد. جهت بررسی بیشتر نیاز است تا نحوه پراکندگی الیاف در درون آزمون‌های بتن غلتکی مورد ارزیابی قرار گیرند.



شکل ۱۳. درصد کاهش شاخص دوام آزمون‌های حاوی مقادیر و طول‌های مختلف الیاف نسبت به آزمون‌های بدون الیاف ماکروسنتتیک
 Fig. 13. Percentage of decrease in durability index of specimens containing different values and lengths of fibers compared to macrosynthetic fibers

آزمون‌های دارای الیاف ۴ سانتیمتری تأثیری در دوام نداشته است و الیاف ۲ سانتیمتری کاهش داشته است و در الیاف ۰٫۵ سانتیمتری به صورت کاهشی و افزایشی بوده است.

هر چه طول الیاف به کار رفته در آزمون‌های بتن غلتکی کوچکتر باشد، میزان کاهش شاخص دوام در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن بیشتر است.

کاهش دوام آزمون‌های بتن غلتکی حاوی الیاف ماکروسنتتیک را می‌توان به علت عدم قرارگیری همگن الیاف در آزمون‌ها دانست.

۶- مراجع

[1] Harrington, F. Abdo, W. Adaska, C.V. Hazaree, H. Ceylan, F. Bektas, Guide for roller-compacted concrete pavements,(2010).

[2] Ministry of Industry and Mines Deputy Development, Planning and Technology, Technical knowledge codification of polypropylene fiber reinforced concrete mixture design in order to achieve lighter and more resistant concrete pavement, (2009) (in Persian)

[3] A. Rezaei, M.R. Keymanesh, Investigating the effect of different fibers on tensile and compressive strength of roller-compacted concrete pavement, in: International conference on civil engineering, Permanent secretariat of

با انجام آزمایش مقاومت فشاری با استفاده از جک هیدرولیکی مشاهده شد که افزودن الیاف ۰٫۵ سانتی‌متری منجر به کاهش مقاومت فشاری و الیاف‌های ۲ و ۴ سانتی‌متری افزایش مقاومت فشاری می‌شود.

آزمون‌های حاوی ۲٫۵ درصد الیاف ماکروسنتتیک با طول ۲ سانتی‌متر طبق نتایج مقاومت فشاری، که افزایش ۳۳ درصدی مقاومت فشاری را نتیجه داده است، به عنوان طرح مخلوط بهینه معرفی می‌گردد.

ارزیابی نتایج مدول دینامیکی به دست آمده از آزمایش آلتراسونیک و سرعت موج آلتراسونیک در آزمون‌ها نیز نتایجی مشابه با آزمایش مقاومت فشاری نشان داده است.

مطابق با آزمایش آلتراسونیک نیز آزمون‌های حاوی ۲٫۵ درصد الیاف ماکروسنتتیک با طول ۲ سانتی‌متر، به عنوان طرح مخلوط بهینه انتخاب می‌شود.

کاهش مقاومت فشاری آزمون‌های حاوی الیاف ۰٫۵ سانتی‌متری می‌تواند ناشی از تجمع الیاف و عدم پخش یکنواخت آن‌ها در آزمون‌ها باشد.

نتایج آزمایش‌های چرخه یخ زدن و آب شدن نشان می‌دهد که به طور کلی افزودن الیاف ماکروسنتتیک منجر به کاهش دوام آن‌ها در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن می‌شود.

در حالت استفاده از الیاف، افزایش درصد الیاف در

- [10] C. Hazaree, H. Ceylan, K. Wang, Influences of mixture composition on properties and freeze–thaw resistance of RCC, *Construction and Building Materials*, 25(1) (2011) 313-319.
- [11] N. Delatte, C. Storey, Effects of density and mixture proportions on freeze–thaw durability of roller-compacted concrete pavement, *Transportation research record*, 1914(1) (2005) 45-52
- [12] M. R. Ahadi, K. Siamardi, Laboratory study of durability of roller-compacted concrete pavement under freezing and melting cycles, *Journal of management system* 26(70), (2012). (in Persian)
- [13] K. Siamardi, O. Taherianpour, Evaluation of the effect of cement paste volume on the resistance of roller-compacted concrete pavement mixtures without chemical air entrainment additives under freezing cycles, in: *urban management and sustainable development*, Islamshahr, 2013. (in Persian)
- [14] Vice president of Strategic Planning and supervision, guideline for design and construction of rolled compacted concrete pavements, 2009. (In Persian)
- [15] ACI, Report on roller compacted concrete pavement, in: Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 1995, pp15-3.
- [16] ASTM. Committee C-9 on Concrete Aggregates, Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing, ASTM International, 2008.
- the conference, Tehran, 2016. (in Persian)
- [4] N. Taheri, S. Ahmadi, M. Malekiha, The effect of using polypropylene fibers on concrete pavement, in: *third international conference on new achievements in civil engineering*, University of Applied Sciences and Technology, 2016. (in Persian)
- [5] V. Naderi Zarnaghi, A. Eftekhari, A. Foroghi Asl, Improvement of mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using polymeric fibers, in: *6th National Conference of Concrete*, Tehran, 2014. (in Persian)
- [6] M. Madhkhan, S. Nouruzi, Reinforcing roller-compacted concrete pavement with woven glass fiber networks, in: *9th International Congress on Civil Engineering*, Isfahan university of technology, 2012. (in Persian)
- [7] H. Rooholamini, A. Hassani, M. Aliha, Evaluating the effect of macro-synthetic fibre on the mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using response surface methodology, *Construction and Building Materials*, 159 (2018) -517-529.
- [8] J. LaHucik, S. Dahal, J. Roesler, A.N. Amirkhanian, Mechanical properties of roller-compacted concrete with macro-fibers, *Construction and Building Materials*, 135 (2017) 440-446.
- [9] F. ZHANG, S.-c. LI, S.-k. LI, Three-dimensional Random Damage Prediction Model of Concrete Caused by Freeze-thaw, *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 1. (2011)

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Shafiepour, SH. Shabani, F. Faezi, *Effects of Dimensions and Amount of Polymer Fibers on the Strength and Durability of Roller-Compacted Concrete under Freeze-Thaw cycling*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 52(10) (2021) 2593-2606.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15840.6052](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15840.6052)



