Journal of Mineral Resources Engineering, 7(2): 83-102, (2022)

Imam Khomeini International University
Vol. 7, No. 2, Summer 2022

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

Research Paper

Experimental Study of the Effect of Glass and Polypropylene Composite Fibers on Physical and Mechanical Properties of Concrete and Cement Mortar

Hosseini M.[1*], Fakhri D.[2]

1- Associate Professor, Dept. of Mmining Engineering, Imam Khomeini International university, Qazvin, Iran
2- M.Sc Student, Dept. of Mmining Engineering, Imam Khomeini International university, Qazvin, Iran

Received: 09 Dec. 2020 **Accepted: 24 Jan. 2021**

Abstract: Concrete is the most widely used material in mining and civil projects and its mix design must be based on application, type of material and environmental conditions. In this study the effect of combined glass and polypropylene fibers on physical and mechanical properties of concrete and cement mortar was investigated. Nowadays, artificial fibers are used to improve the mechanical properties of concrete. Particularly, glass, polypropylene, carbon and steel fibers used in concrete lead to good results in improving its several properties. To this purpose, the concrete and cement mortar samples were made without fiber, with individual glass fibers (0.2, 0.35 and 0.5 volume percent of concrete or cement mortar), with individual polypropylene fibers (0.2, 0.35 and 0.5 volume polypropylene fibers 0.17 volume percent and glass fibers 0.18 volume percent of concrete or cement mortarpercent of concrete or cement mortar), and with combined glass and polypropylene fibers (). The physical properties including effective porosity, longitudinal waves velocity and the mechanical properties including Brazilian tensile strength and uniaxial compressive strength of the samples were analyzed. The results indicated that the effective porosity of concrete and cement mortar with combined glass and polypropylene fibers was less compared to the concrete and the cement mortar without fiber, with individual glass fibers and with individual polypropylene fibers. The velocity of longitudinal waves, tensile strength and uniaxial compressive strength of the concrete and the cement mortar samples with combined glass and polypropylene fibers were higher than the other samples. Compared to the concrete and the cement mortar samples without fibers, the tensile strength of the concrete and the cement mortar with combined glass and polypropylene fibers were increased by 15.22% and 16.44%, respectively, and their uniaxial compressive strength showed the increase of 27.3% and 20.56%, respectively.

Keywords: Concrete, Cement mortar, Combined fibers, Glass fibers, Polypropylene fibers, Physical-mechanical properties.

How to cite this article
Hosseini, M., and Fakhri, D. (2022). *"Experimental study of the effect of glass and polypropylene composite fibers on physical and mechanical properties of concrete and cement mortar"*. Journal of Mineral Resources Engineering, 7(2): 83-102.
DOI: 10.30479/JMRE.2021.14696.1474

*Corresponding Author Email: *ma.hosseini@eng.ikiu.ac.ir*

COPYRIGHTS
©2022 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCTION

Concrete is the most widely used material in mining and civil projects and its mix design must be based on application, type of material and environmental conditions. Except for gravity structures, application of unreinforced concrete is not so widespread due to its brittleness. In practice, this major defect of concrete is eliminated through its reinforcement by steel rebars; but since the reinforcement comprises only a small portion of the section, it is not so accurate to consider the concrete section as a homogenous and isotropic one. Moreover, corrosion of the reinforcement in reinforced concrete is one reason of damage to such structures and is the most common type of damage to concrete in shores. Nowadays, artificial fibers are used to improve mechanical properties of concrete. Generally, using fibers in concrete mixture considerably improves tensile, flexural, impact and yield strengths, abrasive resistance, bearing capacity after cracking and toughness of concrete [1]. In this research, polypropylene and glass fibers were used to make fiber-reinforced concrete and cement mortar.The advantage of the present study compared to previous studies is that, in addition to the study of the effect of combined glass and polypropylene fibers on the concrete's properties, the effect of these fibers on the properties of cement mortar was also explored. In this research, in addition to the study of uniaxial compressive strength and tensile strength of the concrete with combined fibers, the effective porosity and the velocity of longitudinal waves were also examined which rarely analyzed in previous studies.

MATERIALS AND METHODS

The concrete and cement mortar samples were made without fiber, with individual glass fibers (0.2, 0.35 and 0.5 percent volume of concrete or cement mortar), with individual polypropylene fibers (0.2, 0.35 and 0.5 percent volume of concrete or cement mortar), and with combined glass and polypropylene fibers (polypropylene fibers 0.17 percent and glass fibers 0.18 percent volume of concrete or cement mortar).

In the present research, the physical properties including effective porosity, dry unit weight and longitudinal waves velocity and the mechanical properties including Brazilian tensile strength and uniaxial compressive strength of the samples were determined according to ISRM standard.

RESULTS

Figures 1 and 2 show that the concrete and the cement mortar with combined glass (gl) and polypropylene (pp) fibers had higher tensile strength than the ones with individual fiber and without fiber. The tensile strength of the cement mortar was less than that of the concrete because it had more cement and less effective porosity. These variations were consistent with the variations of effective porosity so that the concrete and the cement mortar with combined glass and polypropylene fibers which had the least effective porosity, had the highest tensile strength. The results indicated that the tensile strength of the concrete and the cement mortar with combined glass and polypropylene fibers were increased by 15.22% and 16.44%, respectively, compared to those of the concrete and the cement mortar samples without fibers. They were also increased by 1.78% and 2.88%, respectively, compared to those of the concrete and the cement mortar samples with 0.35% volume glass fibers, and increased by 6.08% and 4.99%, respectively, compared to those of the concrete and the cement mortar samples with 0.35% volume polypropylene fibers. The studies by Hills and Zyara [2] and Ahmad and Jia [3] also showed that if the combined glass and polypropylene fibers were used with appropriate volume percent, the tensile strength of the concrete with double combined fibers (glass and polypropylene) would increase compared to the concrete without fiber and the one with individual fiber. The reason might be that by the reduction of the fibers percentages in double combinations, potential of balling and reduction of the fibers' effectiveness decreased and the fibers showed better performance.

CONCLUSION

The results of the present paper are as follow:

- The concrete and the cement mortar with combined glass and polypropylene fibers had less effective porosity than the concrete and the cement mortar with individual fibers and the concrete without fiber.
- The concrete and the cement mortar with combined glass and polypropylene fibers had higher velocity of longitudinal waves than the concrete and the cement mortar with individual fibers and the concrete without fiber. This variation was consistent with the variation of effective porosity.

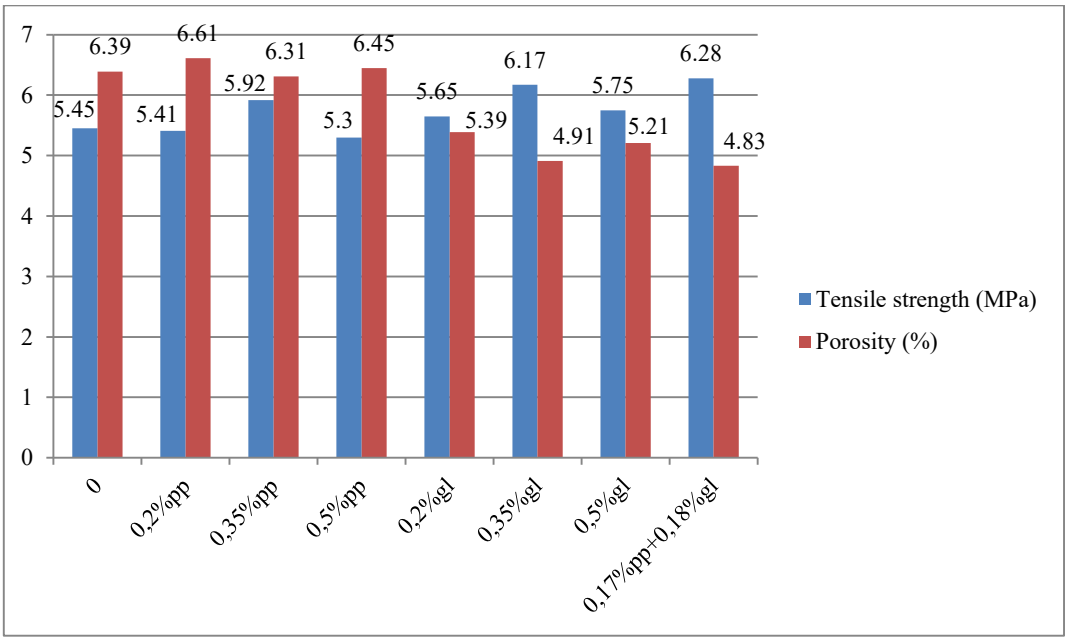


Figure 1. Changes in tensile strength and effective porosity in concrete by changing the volume percentage of fibers and the type of fibers

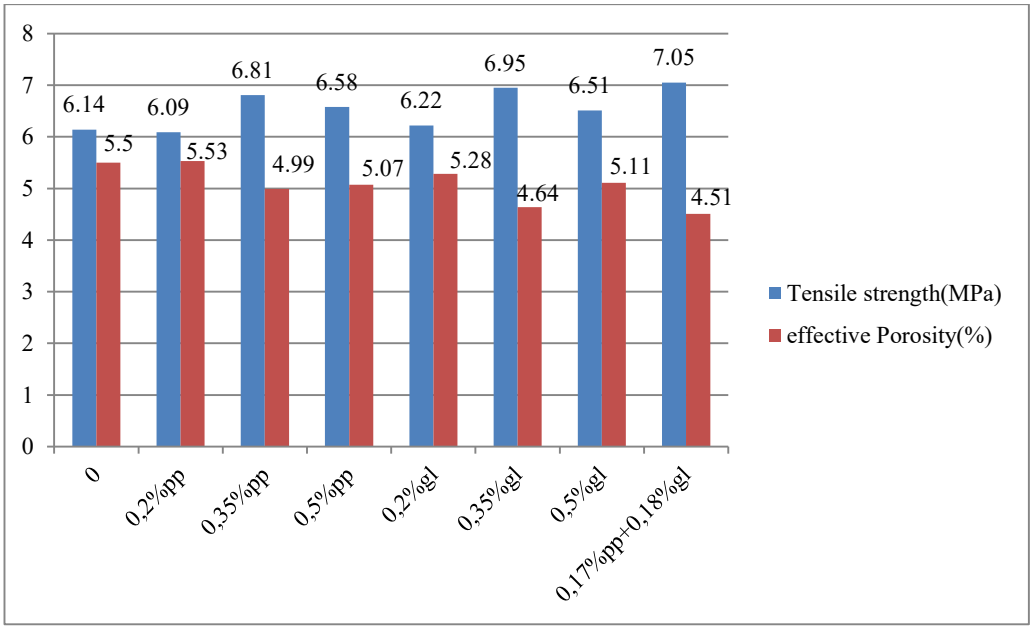


Figure 2. Changes in tensile strength and effective porosity in cement mortar by changing the volume percentage of fibers and the type of fibers

- The concrete and the cement mortar with combined glass and polypropylene fibers which had the least effective porosity, had the highest tensile strength. The results indicated that the tensile strength of the concrete and the cement mortar with combined glass and polypropylene fibers were increased by 15.22% and 16.44%, respectively, compared to those of the concrete and the cement mortar samples without fibers.
- The concrete and the cement mortar with combined glass and polypropylene fibers had higher uniaxial compressive strength than the concrete and the cement mortar with individual fibers and the concrete

without fiber.

- The uniaxial compressive strength of the concrete and the cement mortar with combined glass and polypropylene fibers were increased by 27.3% and 20.56%, respectively, compared to those of the concrete and the cement mortar samples without fibers.

REFERENCES

[1] Yazıcı, Ş., İnan, G., and Tabak, V. (2007). *"Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC"*. Construction and Building Materials, 21(6): 1250-1253.

[2] Hilles, M. M., and Ziara, M. M. (2019). *"Mechanical behavior of high strength concrete reinforced with glass fiber"*. Engineering Science and Technology, an International Journal, 22(3): 920-928.

[3] Ahmed, A. A., and Jia, Y. (2019). *"Effect of using hybrid polypropylene and glass fibre on the mechanical properties and permeability of concrete"*. Materials, 12(22): 3786.

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

دوره هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، صفحه ۸۷ تا ۱۰۲
Vol. 7, No. 2, Summer 2022, pp. 87-102

علمی-پژوهشی

مطالعه آزمایشگاهی اثر الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن بر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن و ملات سیمان

مهدی حسینی[1*]، دانیال فخری[2]

۱- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۵

چکیده

بتن پرکاربردترین مصالح در پروژه‌های معدنی و عمرانی است و طرح اختلاط آن باید با توجه به کاربرد، نوع مصالح و شرایط محیطی باشد. در این پژوهش اثر الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی بتن و ملات سیمان بررسی شده است. امروزه از الیاف مصنوعی برای بهبود خواص مکانیکی بتن استفاده می‌شود، به ویژه الیاف شیشه، پلی پروپیلن، کربن و فولاد مورد استفاده در بتن باعث نتایج خوبی برای بهبود خواص متعدد بتن شده است. برای این منظور نمونه‌های بتنی و ملات سیمان بدون الیاف، با الیاف تکی شیشه (درصد الیاف: ۰٫۲، ۰٫۳۵ و ۰٫۵ درصد حجم بتن یا ملات سیمان)، با الیاف تکی پلی پروپیلن (درصد الیاف: ۰٫۲، ۰٫۳۵ و ۰٫۵ درصد حجم بتن یا ملات سیمان) و الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن (درصد الیاف پلی پروپیلن ۰٫۱۷ درصد و الیاف شیشه ۰٫۱۸ درصد حجم بتن یا ملات سیمان)، ساخته شده است. خواص فیزیکی شامل تخلخل موثر، سرعت امواج طولی و خواص مکانیکی شامل مقاومت کششی برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های بتن و ملات سیمان تحلیل شده است. نتایج این تحقیق نشان داد تخلخل موثر بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن نسبت به بتن و ملات سیمان بدون الیاف، بتن و ملات سیمان دارای الیاف تکی شیشه و بتن و ملات سیمان دارای الیاف تکی پلی پروپیلن کمتر است. سرعت امواج طولی، مقاومت کششی و مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن بیشتر از دیگر نمونه‌های بتنی و ملات سیمان است. مقاومت کششی بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن نسبت به مقاومت کششی بتن و ملات سیمان بدون الیاف به ترتیب ۱۵٫۲۲ و ۱۶٫۴۴ درصد افزایش و مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن نسبت به مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات سیمان بدون الیاف به ترتیب ۲۷٫۳ و ۲۰٫۵۶ درصد افزایش نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی

بتن، ملات سیمان، الیاف ترکیبی، الیاف شیشه، الیاف پلی پروپیلن، خواص فیزیکی- مکانیکی.

استناد به این مقاله

حسینی، م.، فخری، د.؛ ۱۴۰۱؛ "مطالعه آزمایشگاهی اثر الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن بر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن و ملات سیمان". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هفتم، شماره ۲، ص ۱۰۲-۸۳.

DOI: 10.30479/JMRE.2021.14696.1474

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: ma.hosseini@eng.ikiu.ac.ir

حق‌مؤلف © نویسندگان
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

۱- مقدمه

بتن پرکاربردترین مصالح در پروژه‌های معدنی و عمرانی است و طرح اختلاط آن باید با توجه به کاربرد، نوع مصالح و شرایط محیطی باشد. به کارگیری بتن غیرمسلح به علت تردی آن به غیر از سازه‌های وزنی عملا کاربرد چندانی ندارد. این عیب عمده بتن در عمل با مسلح کردن آن به وسیله میلگردهای فولادی یا آرماتور برطرف می‌گردد؛ اما از آنجا که آرماتور منحصرا بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می‌دهد تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع ایزوتروپ و هموژن است چندان صحیح نخواهد بود؛ علاوه بر این، خوردگی میلگرد در بتن مسلح یکی از دلایل خرابی سازه‌های بتن مسلح و شایع‌ترین نوع خرابی بتن در سواحل است. امروزه از الیاف مصنوعی برای بهبود خواص مکانیکی بتن استفاده می‌شود به ویژه الیاف ش‌یشه، پلی پروپیلن، کربن و فولاد مورد استفاده در بتن باعث نتایج خوبی برای بهبود خواص متعدد بتن شده است. به طور کلی، با استفاده از الیاف در مخلوط بتن، مقاومت کششی، خمشی، ضربه، خستگی و مقاومت در برابر سایش، ظرفیت باربری پس از ترک خوردگی و خواص چقرمگی بتن به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد [۱]. در این پژوهش از الیاف پلی پروپیلن و شیشه برای ساخت بتن الیافی استفاده شده است. در ادامه به توضیح این الیاف پرداخته می‌شود.

الیاف پلی پروپیلن از رزین همو پلیمر پلی پروپیلن، در شکل‌ها و اندازه‌های مختلف با ویژگی‌های متفاوت تولید شده است. الیاف پلی پروپیلن جمع‌شدگی پلاستیک[1] را با افزایش مقاومت کششی بتن و اتصال ترک‌های تشکیل شده کاهش می‌دهد. الیاف پلی پروپیلن مدول یانگ پایینی دارد، بنابراین نمی‌تواند مانع شکل‌گیری ترک و یا جلوگیری از گسترش آن در تنش‌های بالا شود اما ممکن است ترک‌های بزرگ را به هم اتصال دهد. الیاف پلی پروپیلن برای کاهش شکنندگی بتن معرفی می‌شود و بدین وسیله حساسیت بتن را برای ترک‌خوردگی کاهش می‌دهد [۲].

بر خلاف مواد پلیمری که ساختمانی زنجیره‌ای دارند، شیشه دارای ساختمان شبکه‌ای است. با وجود این، مقاومت الیاف شیشه‌ای بسیار زیاد و حدود دو برابر مقاومت و استحکام دیگر الیاف غیرفلزی است. الیاف شیشه، الیاف ظریف انعطاف‌پذیری‌اند که از شیشه مذاب به صورت رشته‌های نخی شکل هستند. ویژگی‌های الیاف شیشه به شرح زیر است [۳]:

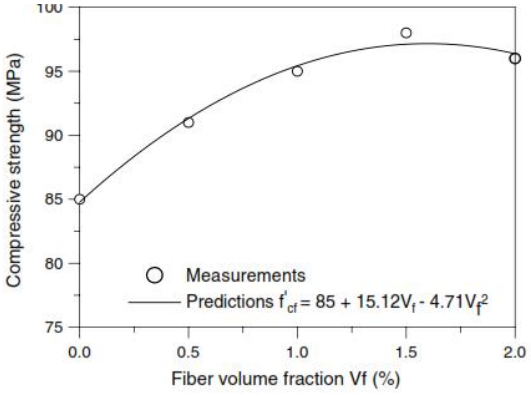
۱- مقاومت شیمیایی بالا
۲- مقاومت در برابر رطوبت
۳- عایق الکتریکی
۴- خواص فیزیکی مناسب
۵- استحکام کششی بالا
۶- مقاومت حرارتی خوب

در صورت استفاده از الیاف ترکیبی در ساخت بتن با کاهش درصد الیاف احتمال گلوله شدن الیاف در هنگام ساخت بتن کاهش و خواص بتن بهبود می‌یابد. همچنین در بتن ترکیبی، الیاف شیشه که سخت‌تر و قوی‌تر هستند مقاومت نهایی را بهبود می‌دهند در صورتی که الیاف پلی پروپیلن که انعطاف‌پذیرتر و نرم‌تر هستند، به بهبود ظرفیت کرنش در پیش ترک‌خوردگی منجر می‌شود [۴].

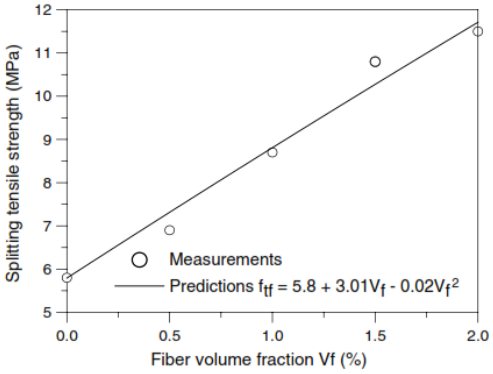
بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشتر پژوهش‌های گذشته روی اثر الیاف فولادی، الیاف پلی پروپیلن و الیاف شیشه به صورت تکی بر خواص مکانیکی بتن انجام شده است. در ادامه به بعضی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

این پژوهش توسط سونگ و هوانگ روی بتن با مقاومت بالا انجام شده است. بتن با مقاومت بالا یا HSC در کاربردهای مختلف در صنعت ساخت و ساز به کار گرفته می‌شود؛ این نوع بتن اغلب برای ساختمان‌های بلند مورد استفاده قرار می‌گیرد. بتن HSC از ستون‌های زیاد غیر قابل اجتناب در طبقه‌های پایین‌تر جلوگیری می‌کند و اجازه می‌دهد تا فاصله ستون‌ها بیشتر و به تبع آن فضای قابل استفاده ساختمان افزایش یابد. در این مقاله خواص مکانیکی بتن با مقاومت بالا حاوی الیاف فولادی بررسی شده است. خواص مکانیکی مورد بررسی شامل مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول شکست است. الیاف فول‌ادی با درصد حجمی ۰٫۵، ۱، ۱٫۵ و ۲ درصد اضافه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد مقاومت فشاری با اضافه کردن تا ۱٫۵ درصد الیاف فولادی به بتن افزایش و به ازای اضافه کردن ۲ درصد الیاف کاهش یافته است. مقاومت کششی و مدول شکست بتن با اضافه کردن تا ۲ درصد الیاف فولادی افزایش یافته است. شکل ۱ تغییرات مقاومت فشاری و شکل ۲ تغییرات مقاومت کششی بتن را با درصد الیاف فولادی اضافه شده به بتن نشان می‌دهد [۵].

میلود به بررسی اثر الیاف فولادی بر روی تخلخل و نفوذپذیری بتن پرداخت. نتایج پژوهش او نشان داد با وجود کاهش تخلخل به علت افزایش زمان ویبره کردن بتن الیافی نسبت به بتن معمولی، نفوذپذیری بتن الیافی به علت آنکه



شکل۱: اثر حجم الیاف بر روی مقاومت فشاری [۵]



شکل۲: اثر حجم الیاف بر روی مقاومت کششی به روش دو نیم کردن [۵]

الیاف به عنوان پلی، بین منافذ عمل می‌کنند، افزایش یافت [۶].

یازسی و همکاران به بررسی اثر الیاف فولادی با سه نسبت طول به قطر ۴۵، ۶۵ و ۸۰ پرداختند. در این این پژوهش نمونه‌های بتنی با سه درصد حجمی ۰٫۵، ۱ و ۱٫۵ درصد الیاف فولادی ساخته شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد الیاف فولادی، مقاومت کششی، مقاومت فشاری و وزن واحد حجم بتن الیافی افزایش می‌یابد. مقاومت کششی بتن مسلح حاوی الیاف فولادی ۱۱ تا ۵۴ درصد بیش از بتن بدون الیاف است[۱].

کاراهان و اتیس به بررسی اثر الیاف پلی پروپیلن بر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته پرداختند. در این پژوهش نمونه‌های بتنی با سه درصد حجمی ۰٫۰۵، ۰٫۱ و ۰٫۲ الیاف پلی پروپیلن ساخته شدند. نتایج نشان می‌دهد اثر الیاف پلی پروپیلن بر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن ناچیز است. در تعدادی نمونه‌ها اندکی کاهش در مقاومت فشاری مشاهده می‌شود که ممکن است به دلیل وجود فضای خالی ناشی از استفاده الیاف و پیوند ضعیف بین الیاف و سیمان باشد، هر چند ممکن است به علت ویبره نامناسب بتن الیافی نیز باشد [۲].

متر و زهیل بر روی اثر الیاف پلی پروپیلن روی خواص بتن با مصالح سنگی بازیافتی پژوهشی انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن الیاف پلی پروپیلن (PPF) مقاومت فشاری و چگالی بتن را تغییر نداد، اما مدول الاستیسیته و نسبت پواسون را کمی کاهش داد. مقاومت کششی تا حدود زیادی با افزودن الیاف PPF افزایش یافت. با افزودن الیاف PPF، جذب آب کاهش یافته و درصد منافذ افزایش یافت [۷].

هیلز و زیارا روی اثر الیاف شیشه بر مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن مقاومت بالا پژوهشی انجام دادند. میزان الیاف شیشه در نمونه‌های بتن الیافی ۰٫۳، ۰٫۶، ۰٫۹ و ۱٫۲ درصد وزنی سیمان است. بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزایش درصد الیاف شیشه مقاومت فشاری از ۵۸٫۸۵ مگاپاسکال در بتن بدون الیاف به ۶۶٫۶ مگاپاسکال در بتن دارای ۱٫۲ درصد الیاف شیشه افزایش می‌یابد. این افزایش در مقاومت کششی از ۳٫۰۶ به ۴٫۹۲ مگاپاسکال و در مقاومت خمشی از ۴٫۸۴ به ۷٫۲۷ مگاپاسکال با افزایش الیاف از صفر به ۱٫۲ درصد اتفاق می‌افتد [۸].

علاوه بر این پژوهش‌ها، پژوهش‌های اندکی نیز بر روی اثر الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن روی خواص بتن انجام شده است.

حجازی و همکاران پژوهشی در خصوص خواص مکانیکی بتن سبک با الیاف ترکیبی انجام دادند. در این پژوهش علاوه بر بررسی خواص بتن سبک با الیاف تکی شیشه و پلی پروپیلن، خواص بتن سبک با الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن نیز بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد در صورت استفاده از الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن با درصد حجمی مناسب، مقاومت فشاری و کششی بتن سبک با الیاف ترکیبی دوگانه (شیشه و پلی پروپیلن) نسبت به بتن سبک بدون الیاف و بتن سبک با الیاف تکی افزایش می‌یابد. دلیل آن را می‌توان اینگونه عنوان کرد که با کاهش درصد الیاف در ترکیب‌های دوگانه، احتمال گلوله شدن و کاهش کارآیی الیاف کم شده و الیاف عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد [۹].

طاهری فرد و همکاران به بررسی اثر الیاف ترکیبی پلی پروپیلن و شیشه بر روی خواص مکانیکی بتن خودتراکم پرداختند. نتایج این آزمایش‌ها نشان داده است که الیاف ترکیبی پلی پروپیلن و شیشه می‌توانند مقاومت کششی و خمشی را افزایش دهند [۱۰].

احمد و جیا به بررسی اثر الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن بر خواص بتن پرداختند. بررسی‌های این پژوهشگران نشان می‌دهد مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن با الیاف دو گانه شیشه و پلی پروپیلن در صورتی که درصد ترکیب الیاف مناسب باشد نسبت به بتن بدون الیاف و بتن با الیاف تکی بیشتر است. در ضمن تخلخل و نفوذپذیری بتن با الیاف دوگانه شیشه و پلی پروپیلن نسبت به بتن بدون الیاف و بتن با الیاف تکی کمتر است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد در حالتی که بتن با الیاف دو گانه شیشه و پلی پروپیلن ساخته شده باشد، الیاف منافذ خالی را بهتر پر می‌کنند در نتیجه تخلخل و نفوذپذیری کاهش می‌یابد [۱۱].

پژوهش حاضر نسبت به پژوهش‌های قبلی این مزیت را دارد که اولا علاوه بر بررسی اثر الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن روی خواص بتن، اثر این الیاف روی خواص ملات سیمان نیز بررسی شده است، در ضمن در این پژوهش علاوه بر بررسی مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی در بتن با الیاف ترکیبی، تخلخل موثر و سرعت امواج طولی نیز مورد بررسی قرار گرفته است که در پژوهش‌های قبلی کمتر تحلیل شده است.

۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

تعیین نسبت مخلوط بتن الیافی مشابه بتن معمولی است. اما الیاف بر کارآیی (workability) (قابلیت حمل، ریختن، جا انداختن، متراکم کردن و پرداخت بتن که به عواملی همچون روانی، شکل قالب، تراکم میلگردها و تجهیزات مورد استفاده بتن ریزی وابسته است) مخلوط بتن اثر دارد و باعث کاهش آن می‌شود و هرچه مقدار الیاف و طول آن بیشتر باشد از کارآیی بیشتر کاسته می‌شود، بنابراین باید در تعیین نسبت مخلوط بتن یک یا چند مورد از موارد زیر در اصلاح مخلوط اعمال شوند:

۱- کاهش مقدار شن
۲- افزایش مقدار سیمان
۳- افزایش مقدار ماسه
۴- استفاده از فوق روان‌کننده
۵- کاهش حداکثر اندازه شن [۱۲]

با توجه به تدابیری که در مراجع مرتبط در رابطه با جلوگیری از افت کارآیی در بتن الیافی آورده شده است، در این پژوهش طرح اختلاط پیشنهادی بر مبنای کاهش حداکثر اندازه شن و استفاده از یک افزودنی فوق روان‌کننده است.

شن مورد استفاده برای آماده‌سازی نمونه‌ها با توجه به ابعاد قالب‌ها و جلوگیری از افت کارآیی بتن، شن عبوری از الک ۹٫۵ میلی‌متر (۳٫۸ اینچ) و باقیمانده روی الک ۴ است. برای ساخت ملات سیمان فقط از ماسه استفاده می‌شود. دانه‌بندی ماسه مصرفی نیز در جدول ۱ آورده شده است. الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۳ و ویژگی‌های این الیاف در جدول ۲ آورده شده است. الیاف شیشه مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۴ و ویژگی‌های این الیاف در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۱: دانه‌بندی ماسه مصرفی طبق استاندارد ملی ایران شماره ۴۹۷۷

شماره الک	درصد تجمعی عبوری (٪)
الک ۹٫۵ میلی‌متر (۳٫۸ اینچ)	۱۰۰
الک ۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۹۷٫۴
الک ۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۷۲٫۴
الک ۱٫۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	۴۸٫۶
الک ۰٫۶ میلی‌متر (شماره ۳۰)	۲۶٫۸
الک ۰٫۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	۱۵٫۲
الک ۰٫۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	۳٫۲
الک ۰٫۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۱٫۲
مدول نرمی	۳٫۳۶

جدول ۲: ویژگی‌های الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده

قطر الیاف (میکرون)	۱۸
وزن مخصوص (gr/cm^3)	۰٫۹۱
مدول الاستیسیته (GPa)	۵
مقاومت کششی (GPa)	۰٫۵
دمای نرم شدن (^oC)	۱۵۰-۱۴۰
دمای ذوب (^oC)	۱۷۰-۱۶۰

شکل ۳: الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده در پژوهش

شکل ۴: الیاف شیشه مورد استفاده در پژوهش

جدول ۳: ویژگی‌های الیاف شیشه مورد استفاده

قطر الیاف (میکرون)	۳۰-۱۵
وزن مخصوص (gr/cm^3)	۲٫۷۵
مدول الاستیسیته (GPa)	۷۰
مقاومت کششی (GPa)	۳
دمای نرم شدن ($^{\circ}C$)	۵۴۰-۵۳۰
دمای ذوب ($^{\circ}C$)	۵۶۰-۵۵۰

پس از بررسی چندین طرح اختلاط و سعی و خطاهای صورت گرفته، طرح نهایی مخلوط بتن و ملات سیمان مطابق جداول ۴ و ۵ تعیین گردید.

طرح اختلاط بتن و ملات سیمان مسلح به الیاف پلی پروپیلن و الیاف شیشه به ترتیب در جداول ۶، ۷، ۸ و ۹ ارایه شده است.

جدول ۴: طرح اختلاط بتن بدون الیاف

اجزا	مقدار برای یک مترمکعب بتن (کیلوگرم)
سیمان پرتلند تیپ ۲	۳۵۰
ماسه	۱۱۵۰
شن	۷۰۰
نسبت آب به سیمان	۰٫۴
افزودنی فوق روان‌کننده	۰٫۸ درصد وزن سیمان مصرفی

جدول ۵: طرح اختلاط ملات سیمان بدون الیاف

اجزا	مقدار برای یک مترمکعب ملات (کیلوگرم)
سیمان پرتلند تیپ ۲	۵۰۰
ماسه	۱۲۵۰
شن	۰
نسبت آب به سیمان	۰٫۴
افزودنی روان‌کننده	۰٫۸ درصد وزن سیمان مصرفی

جدول ۶: طرح اختلاط بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن

اجزا	مقدار برای یک مترمکعب بتن (کیلوگرم)
سیمان پرتلند تیپ ۲	۳۵۰
ماسه	۱۱۵۰
شن	۷۰۰
نسبت آب به سیمان	۰٫۴
افزودنی فوق روان کننده (درصد وزنی سیمان مصرفی)	۰٫۸
الیاف (درصد حجمی بتن)	۰٫۲، ۰٫۳۵و ۰٫۵
الیاف (کیلوگرم)	۱٫۸۲، ۳٫۱۸۵، ۴٫۵۵

بررسی‌هایی که روی خواص فیزیکی و مکانیکی بتن و ملات سیمان دارای الیاف پلی پروپیلن و بتن و ملات سیمان دارای الیاف شیشه انجام شده است، نشان می‌دهد بتن و ملات سیمان با ۰٫۳۵ درصد الیاف شیشه بیشترین مقاومت را در بین نمونه‌های ساخته شده دارد. در نتیجه درصد ترکیبی ۰٫۳۵ برای طرح اختلاط بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن انتخاب شد که شامل ۰٫۱۸ درصد الیاف شیشه و ۰٫۱۷ درصد الیاف پلی پروپیلن است. طرح اختلاط بتن ترکیبی دارای الیاف شیشه و پلی پروپیلن در جدول ۱۰ و طرح اختلاط ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن در جدول ۱۱ ارایه شده است.

خواص فیزیکی و مکانیکی که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است شامل تخلخل موثر، سرعت امواج طولی، مقاومت کششی و مقاومت فشاری تک محوری است.

برای آماده‌سازی نمونه‌ها از لوله‌های PVC با قطر داخلی ۵۹ میلی‌متر استفاده شده است. مخلوط داخل قالب ریخته شده (شکل ۵) و پس از ۲۴ ساعت از قالب جدا و تا سن

جدول ۷: طرح اختلاط بتن مسلح به الیاف شیشه

اجزا	مقدار برای یک مترمکعب بتن (کیلوگرم)
سیمان پرتلند تیپ ۲	۳۵۰
ماسه	۱۱۵۰
شن	۷۰۰
نسبت آب به سیمان	۰٫۴
افزودنی فوق روان‌کننده	۰٫۸درصد وزن سیمان مصرفی
الیاف (درصد حجمی ملات)	۰٫۲، ۰٫۳۵و ۰٫۵ درصد حجم بتن
الیاف (کیلوگرم)	۵٫۵، ۹٫۶۲۵، ۱۳٫۷۵

جدول ۸: طرح اختلاط ملات مسلح به الیاف پلی پروپیلن

اجزا	مقدار برای یک مترمکعب ملات (کیلوگرم)
سیمان پرتلند تیپ ۲	۵۰۰
ماسه	۱۲۵۰
شن	۰
نسبت آب به سیمان	۰٫۴
افزودنی فوق روان‌کننده (درصد وزنی سیمان مصرفی)	۰٫۸
الیاف (درصد حجمی بتن)	۰٫۲، ۰٫۳۵ و ۰٫۵
الیاف (کیلوگرم)	۱٫۸۲، ۳٫۱۸۵، ۴٫۵۵

جدول ۹: طرح اختلاط ملات مسلح به الیاف شیشه

اجزا	مقدار برای یک مترمکعب ملات (کیلوگرم)
سیمان پرتلند تیپ ۲	۵۰۰
ماسه	۱۲۵۰
شن	۰
نسبت آب به سیمان	۰٫۴
افزودنی روان‌کننده	۰٫۸ درصد وزن سیمان مصرفی
الیاف (درصد حجمی ملات)	۰٫۲، ۰٫۳۵ و ۰٫۵
الیاف (کیلوگرم)	۵٫۵، ۹٫۶۲۵، ۱۳٫۷۵

جدول۱۰: طرح اختلاط بتن مسلح به الیاف شیشه و پلی پروپیلن

اجزا	مقدار برای یک متر مکعب بتن (کیلوگرم)
سیمان پرتلند تیپ ۲	۳۵۰
ماسه	۱۱۵۰
شن	۷۰۰
نسبت آب به سیمان	۰٫۴
افزودنی فوق روان‌کننده	۰٫۸ درصد وزن سیمان مصرفی
الیاف (بر حسب درصد)	الیاف پلی پروپیلن ۰٫۱۷ درصد حجم بتن و الیاف شیشه ۰٫۱۸ درصد حجم بتن
الیاف (کیلوگرم)	۱٫۵۴۷ الیاف پلی پروپیلن و ۴٫۹۵ الیاف شیشه

جدول ۱۱: طرح اختلاط ملات سیمان مسلح به الیاف شیشه و پلی پروپیلن

اجزا	مقدار برای یک مترمکعب ملات (کیلوگرم)
سیمان پرتلند تیپ ۲	۵۰۰
ماسه	۱۲۵۰
شن	۰
نسبت آب به سیمان	۰٫۴
افزودنی فوق روان‌کننده	۰٫۸ درصد وزن سیمان مصرفی
الیاف (بر حسب درصد)	الیاف پلی پروپیلن ۰٫۱۷ درصد حجم بتن و الیاف شیشه ۰٫۱۸ درصد حجم بتن
الیاف (کیلوگرم)	۱٫۵۴۷ الیاف پلی پروپیلن و ۴٫۹۵ الیاف شیشه

۲۸ روز در آزمایشگاه داخل آب آهک اشباع [۱۳] نگهداری می‌شود. نمونه‌های با قطر ۵۹ میلی‌متر برای آزمایش فشاری تک محوری، کششی برزیلی، تخلخل موثر و اولتراسونیک استفاده می‌شوند. نمونه‌ها بعد از ۲۸ روز از داخل آب آهک خارج می‌شوند.

شکل ۵: لوله‌های PVC پر شده از بتن

پس از آن به وسیله دستگاه برش نشان داده شده در شکل ۶ نمونه‌ها به طول‌های مورد نظر برش داده شده و برای انجام آزمایش‌های فشاری تک محوری و برزیلی آماده می‌شوند نمونه‌هایی که برای آزمایش برزیلی آماده می‌شوند، علاوه بر برش باید پولیش نیز داده شوند.

۳- آزمایش‌های انجام شده

در این پژوهش خواص فیزیکی نمونه‌ها شامل تخلخل موثر، وزن مخصوص خشک و سرعت امواج طولی و خواص

شکل ۶: دستگاه برش برای آماده‌سازی نمونه‌های بتن و ملات سیمان

مکانیکی شامل مقاومت کششی برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری تعیین شده است.

۳-۱- تخلخل موثر

برای تعیین تخلخل موثر بعد از هر سیکل تر و خشک شدن از روش اشباع و اندازه‌گیری ابعاد نمونه استفاده شده است. ابتدا ابعاد نمونه با دقت به وسیله کولیس اندازه‌گیری می‌شود و به این ترتیب حجم نمونه به دست می‌آید، سپس نمونه در داخل آب به مدت یک ساعت با فشار خلا کمتر از ۸۰۰ پاسکال اشباع می‌گردد و جرم اشباع به دست می‌آید. آنگاه نمونه در داخل گرمخانه با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ تا ۷ ساعت نگهداری شده و پس از آن جرم خشک نمونه اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت به کمک رابطه ۱ تخلخل موثر به دست می‌آید [۱۴].

$$n(e)=\frac{V_{ve}}{V}\times 100 \qquad (۱)$$

برای تعیین تخلخل موثر، برای هر حالت ۵ نمونه مورد آزمایش قرار گرفته است. میانگین نتایج آزمایش‌ها برای نمونه‌های بتن در جدول ۱۲ و ملات سیمان در جدول ۱۳ ارایه شده است.

۳-۲- سرعت امواج طولی

برای تعیین سرعت امواج طولی، ترانس دیوسرهای فرستنده و گیرنده را طوری روی سطوح انتهای نمونه علامت‌گذاری می‌شود که محل عبوری از مراکز آن‌ها با محور مرکزی نمونه بیش از ۲ درجه اختلاف نداشته باشد، سپس مسافت حرکت موج که فاصله مرکز تا مرکز ترانس دیوسرهاست، با دقت ۰٫۰۱

جدول ۱۲: تخلخل موثر نمونه‌های بتن بدون الیاف و نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن و شیشه

درصد الیاف	نوع الیاف	تخلخل موثر (٪)
بتن بدون الیاف	---	۶٫۳۹
۰٫۲	pp	۶٫۶۱
۰٫۳۵	pp	۶٫۳۱
۰٫۵	pp	۶٫۴۵
۰٫۲	glass	۵٫۳۹
۰٫۳۵	glass	۴٫۹۱
۰٫۵	glass	۵٫۲۱
۰٫۱۷pp+۰٫۱۸glass	pp+glass	۴٫۸۳

جدول۱۳: تخلخل موثر نمونه‌های ملات سیمان بدون الیاف و نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن و شیشه

درصد الیاف	نوع الیاف	تخلخل موثر (٪)
ملات ساده	---	۵/۵۰
۰/۲	pp	۵/۵۳
۰/۳۵	pp	۴/۹۹
۰/۵	pp	۵/۰۷
۰/۲	glass	۵/۲۸
۰/۳۵	glass	۴/۶۴
۰/۵	glass	۵/۱۱
۰/۱۷pp+۰/۱۸glass	pp+glass	۴/۵۱

اندازه‌گیری می‌شود. یک لایه نازک از وازلین در محل قرار گرفتن ترانس دیوسرها مالیده می‌شود تا انرژی عبوری از ترانس دیوسرها کاهش پیدا نکند.

ترانس دیوسرها در محل علامت زده قرار گرفته و فرستنده با فشاری معادل ۱۰ نیوتن بر سانتی‌متر مربع به نمونه فشرده و زمان عبور موج قرائت می‌شود [۱۵]. برای به دست آوردن زمان تلف شده در حد فاصل نمونه و ترانس دیوسرها، ترانس دیوسرها را روی هم قرار داده و زمان نشان داده از زمان‌های قرائت شده کم می‌شود. برای به دست آوردن سرعت امواج طولی در نمونه از رابطه ۲ استفاده شد [۱۵].

$$V_P = \frac{L}{\mathrm{t}} \times 1000 \qquad (۲)$$

نحوه قرارگیری ترانس دیوسرها بر روی نمونه در شکل ۷ نشان داده شده است. برای تعیین سرعت امواج طولی، برای هر حالت ۵ نمونه مورد آزمایش قرار گرفته است. میانگین نتایج آزمایش‌ها برای نمونه‌های بتن در جدول ۱۴ و ملات سیمان در جدول ۱۵ ارایه شده است.

شکل ۷: نحوه قرارگیری ترانس دیوسرها روی نمونه

جدول۱۴: سرعت امواج طولی نمونه‌های بتن بدون الیاف و نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن و شیشه

درصد الیاف	نوع الیاف	سرعت امواج طولی (m/s)
بتن ساده	---	۴۸۸۹
۰/۲	pp	۴۸۳۱
۰/۳۵	pp	۴۹۰۷
۰/۵	pp	۴۷۸۴
۰/۲	glass	۴۹۲۶
۰/۳۵	glass	۵۰۳۹
۰/۵	glass	۵۰۲۲
۰/۱۷pp+۰/۱۸glass	pp+glass	۵۰۵۷

جدول ۱۵: سرعت امواج طولی نمونه‌های ملات سیمان بدون الیاف و نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن و شیشه

درصد الیاف	نوع الیاف	سرعت امواج طولی (m/s)
ملات ساده	---	۴۶۲۳
۰/۲	pp	۴۶۰۲
۰/۳۵	pp	۴۷۵۷
۰/۵	pp	۴۷۲۰
۰/۲	glass	۴۶۷۰
۰/۳۵	glass	۴۸۳۸
۰/۵	glass	۴۶۹۶
۰/۱۷pp+۰/۱۸glass	pp+glass	۴۸۸۶

۳-۳- مقاومت کششی

برای تعیین مقاومت کششی برزیلی نمونه‌ها بر روی نمونه‌ها آزمایش برزیلی انجام شد. مقاومت کششی نمونه‌ها از رابطه ۳ محاسبه می‌شود [۱۶].

$$\sigma_t = 0.636 \frac{P}{D.t} \qquad (۳)$$

که در آن:

P : بار در لحظه شکست (نیوتن)

D : قطر نمونه (میلی‌متر)

t : ضخامت نمونه (میلی‌متر)

σ_t : مقاومت کششی (مگاپاسکال) است. برای تعیین مقاومت کششی برای هر حالت ۱۰ نمونه مورد آزمایش قرار گرفته است. میانگین نتایج آزمایش‌ها برای نمونه‌های بتن در

جدول ۱۶ و ملات سیمان در جدول ۱۷ ارایه شده است.

جدول ۱۶: مقاومت کششی برزیلی نمونه‌های بتن بدون الیاف و نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن و شیشه

درصد الیاف	نوع الیاف	مقاومت کششی برزیلی (مگاپاسکال)
بتن ساده	---	۵٫۴۵
۰٫۲	pp	۵٫۴۱
۰٫۳۵	pp	۵٫۹۲
۰٫۵	pp	۵٫۳۰
۰٫۲	glass	۵٫۶۵
۰٫۳۵	glass	۶٫۱۷
۰٫۵	glass	۵٫۷۵
۰٫۱۷pp+۰٫۱۸glass	pp+glass	۶٫۲۸

جدول ۱۷: مقاومت کششی برزیلی نمونه‌های ملات سیمان بدون الیاف و نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن و شیشه

درصد الیاف	نوع الیاف	مقاومت کششی برزیلی (مگاپاسکال)
ملات ساده	---	۶٫۱۴
۰٫۲	pp	۶٫۰۹
۰٫۳۵	pp	۶٫۸۱
۰٫۵	pp	۶٫۵۸
۰٫۲	glass	۶٫۲۲
۰٫۳۵	glass	۶٫۹۵
۰٫۵	glass	۶٫۵۲
۰٫۱۷pp+۰٫۱۸glass	pp+glass	۷٫۱۵

۳-۴- مقاومت فشاری تک محوری

برای تعیین مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌ها، آزمایش تراکم تک‌محوری و بر اساس استاندارد ISRM انجام شد [۱۷]. برای تعیین مقاومت فشاری تک محوری برای هر حالت، ۵ نمونه مورد آزمایش قرار گرفته است. میانگین نتایج آزمایش‌ها برای نمونه‌های بتن در جدول ۱۸ و ملات سیمان در جدول ۱۹ ارایه شده است.

۴- تحلیل نتایج

برای بررسی و تحلیل نتایج، تغییرات خواص بتن و ملات سیمان بر روی نمودارها نشان داده است. در شکل‌های ۸ و ۹ تغییرات تخلخل موثر برای نمونه‌های بتنی و ملات سیمان ارایه شده است.

همان‌طور که در شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده می‌شود، بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن تخلخل موثر کمتری نسبت به بتن و ملات سیمان با الیاف تکی و بتن بدون الیاف دارد. ملات سیمان به دلیل نداشتن شن تخلخل کمتری دارد. این نتایج با نتایج پژوهش احمد و جیا [۱۱] مطابقت دارد. در آن تحقیق، تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد در حالتی که بتن با الیاف دو گانه شیشه و پلی پروپیلن ساخته شده باشد، الیاف منافذ خالی را بهتر پر می‌کنند، در نتیجه تخلخل و نفوذپذیری کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش درصد الیاف در ترکیب‌های دوگانه، احتمال گلوله شدن و کاهش کارآیی الیاف کم شده و الیاف عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

جدول ۱۸: مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های بتن بدون الیاف و نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن و شیشه

درصد الیاف	نوع الیاف	مقاومت فشاری تک محوری (مگاپاسکال)
بتن ساده	---	۳۶٫۷۹
۰٫۲	pp	۳۶٫۵۸
۰٫۳۵	pp	۴۲٫۳۹
۰٫۵	pp	۳۶٫۹۱
۰٫۲	glass	۴۱٫۷۳
۰٫۳۵	glass	۴۵٫۱۲
۰٫۵	glass	۳۹٫۳۵
۰٫۱۷pp+۰٫۱۸glass	pp+glass	۴۶٫۸۶

جدول ۱۹: مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های ملات سیمان بدون الیاف و نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن و شیشه

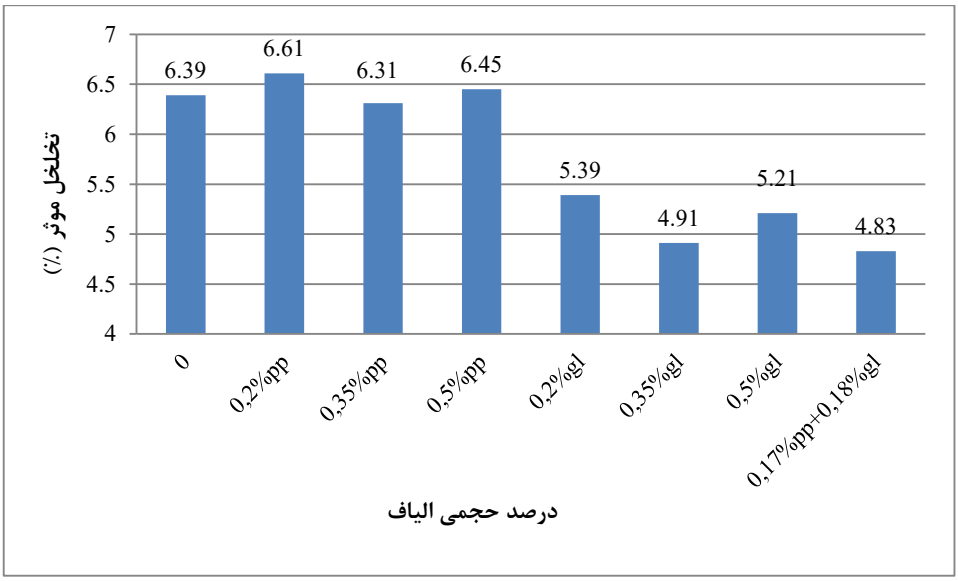
درصد الیاف	نوع الیاف	مقاومت فشاری تک محوری (مگاپاسکال)
ملات ساده	---	۴۰٫۶۵
۰٫۲	pp	۴۰٫۴۵
۰٫۳۵	pp	۴۴٫۵۲
۰٫۵	pp	۴۳٫۳۷
۰٫۲	glass	۴۲٫۶۵
۰٫۳۵	glass	۴۷٫۷۶
۰٫۵	glass	۴۱٫۸۶
۰٫۱۷pp+۰٫۱۸glass	pp+glass	۴۹٫۰۱

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تغییرات سرعت امواج طولی برای نمونه‌های بتنی و ملات سیمان رسم شده است.

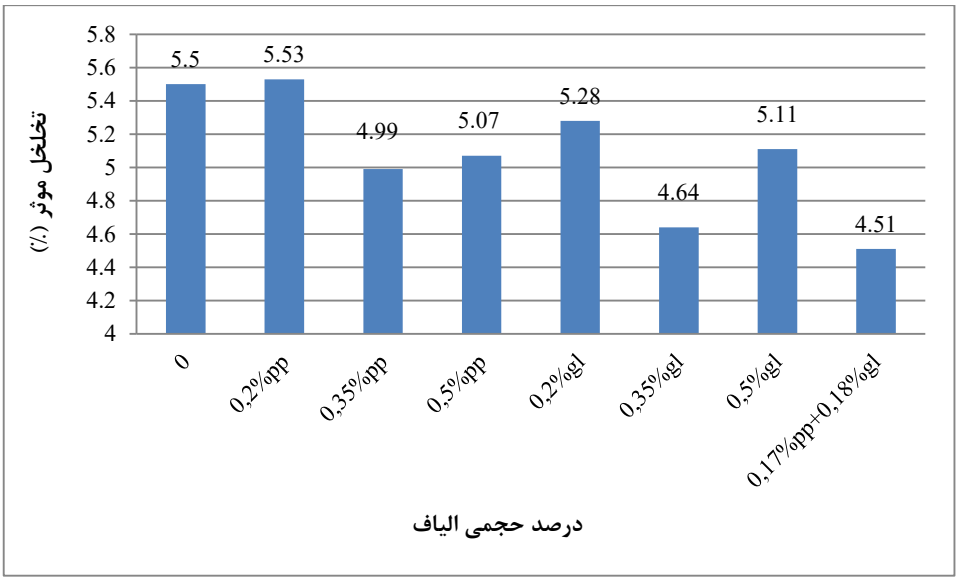
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان می‌دهد بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن دارای سرعت امواج طولی بالاتری نسبت به بتن و ملات سیمان با الیاف تکی و بدون الیاف است. این تغییرات با تغییرات تخلخل موثر مطابقت دارد به طوری که بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن که کمترین تخلخل موثر را دارند، بیشترین سرعت امواج طولی را دارد.

در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ تغییرات مقاومت کششی برای نمونه‌های بتنی و ملات سیمان رسم شده است.

شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهند بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن دارای مقاومت کششی بالاتری نسبت به بتن و ملات سیمان با الیاف تکی

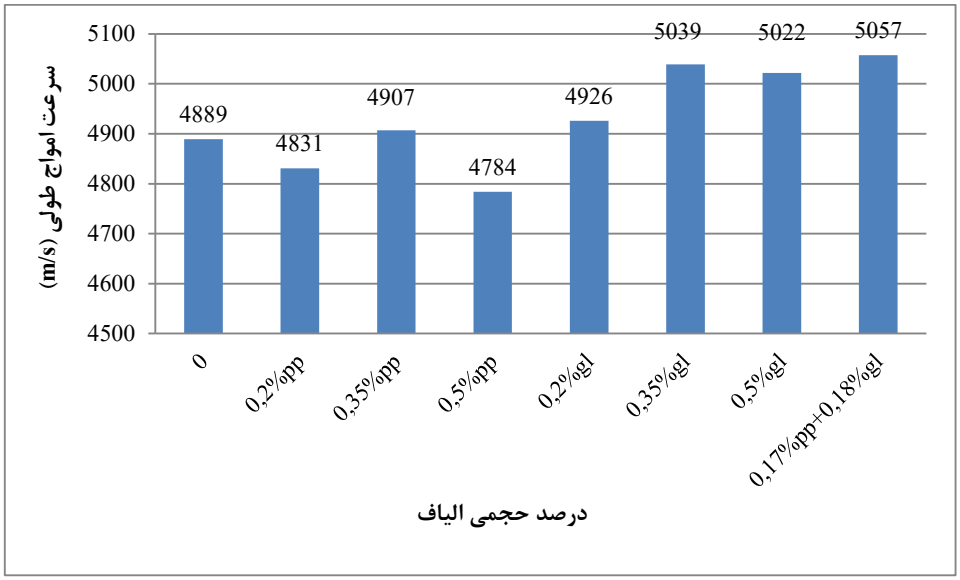


شکل ۸: تغییرات تخلخل موثر در بتن با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف

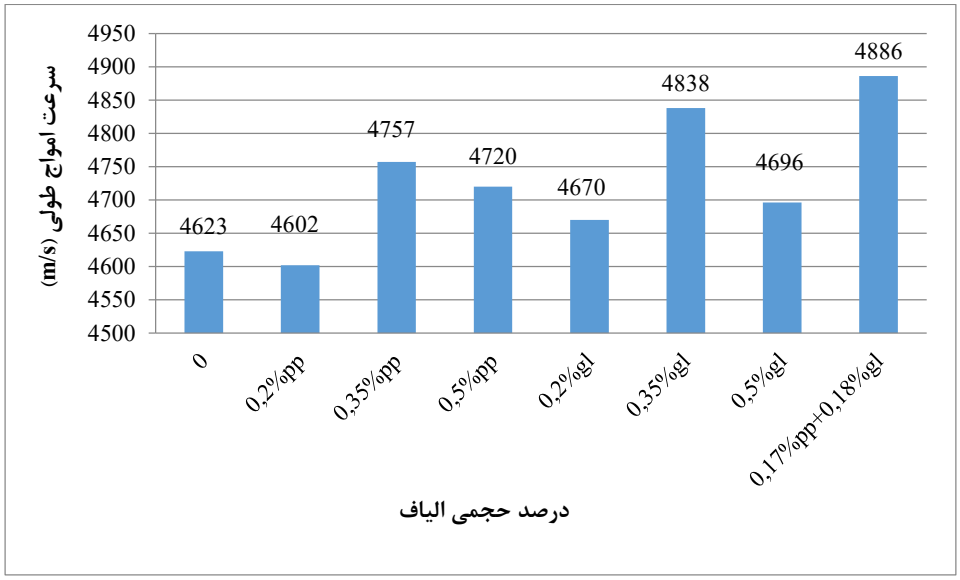


شکل ۹: تغییرات تخلخل موثر در ملات سیمان با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف

و بدون الیاف است. مقدار مقاومت کششی در ملات سیمان بیشتر از مقاومت کششی در بتن است، زیرا مقدار سیمان بیشتر و تخلخل موثر کمتری دارد. این تغییرات با تغییرات تخلخل موثر مطابقت دارد به طوری که بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن که کمترین تخلخل موثر را دارند دارای بیشترین مقاومت کششی است (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). نتایج نشان می‌دهد مقاومت کششی بتن و ملات دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن نسبت به مقاومت کششی بتن و ملات سیمان بدون الیاف به ترتیب ۱۵٫۲۲ و ۱۶٫۴۴ درصد، نسبت به مقاومت کششی بتن و ملات سیمان دارای درصد حجمی ۰٫۳۵ الیاف شیشه به ترتیب ۱٫۷۸ و ۲٫۸۸ درصد و نسبت به مقاومت کششی بتن و ملات سیمان دارای درصد حجمی ۰٫۳۵ الیاف پلی پروپیلن به ترتیب ۶٫۰۸ و ۴٫۹۹ درصد افزایش نشان می‌دهد. پژوهش‌های هیلز و زیارا [۸]،



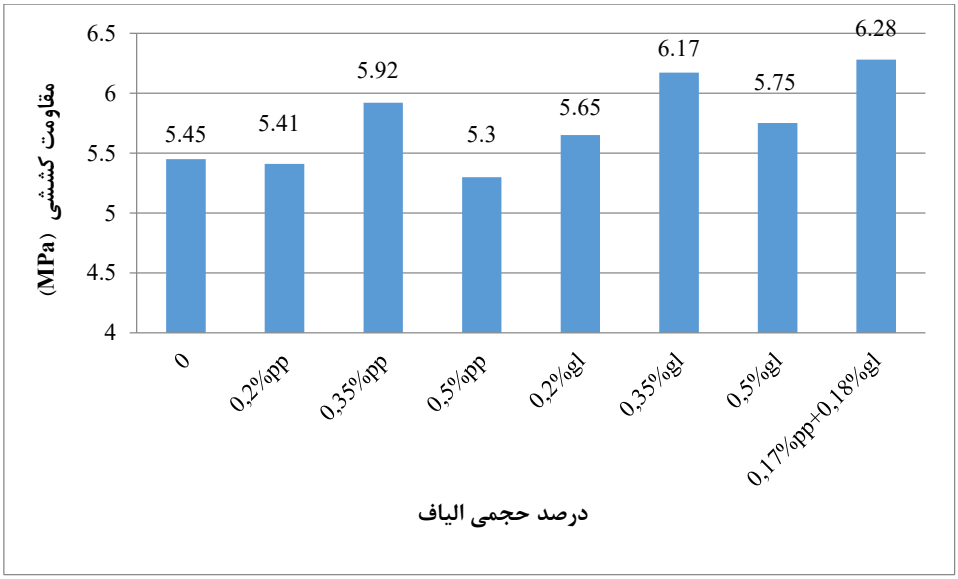
شکل ۱۰: تغییرات سرعت امواج طولی در بتن با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف



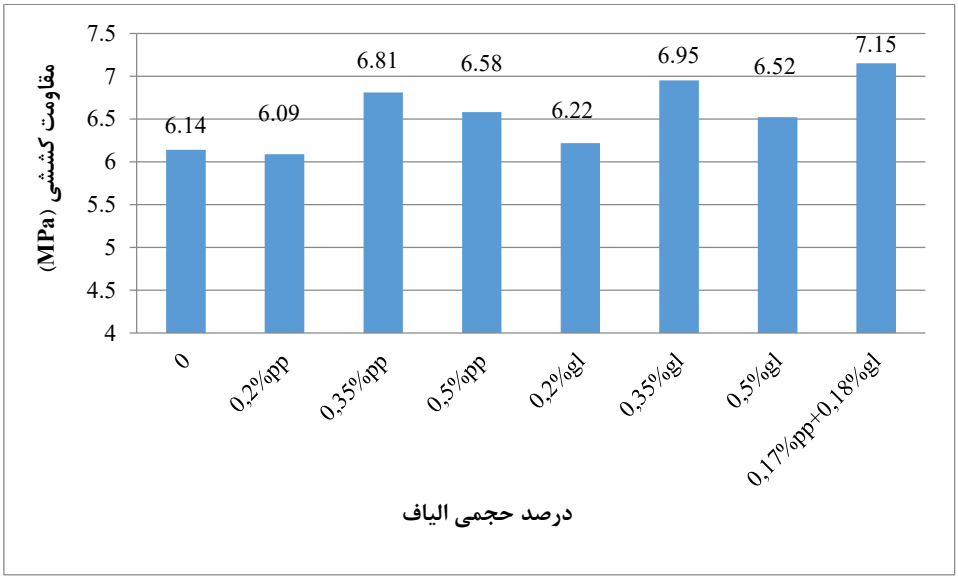
شکل ۱۱: تغییرات سرعت امواج طولی در ملات سیمان با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف

حجازی و همکاران [۹] و احمد و جیا [۱۱] نیز نشان می‌دهد در صورت استفاده از الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن با درصد حجمی مناسب مقاومت کششی بتن با الیاف ترکیبی دوگانه (شیشه و پلی پروپیلن) نسبت به بتن بدون الیاف و بتن با الیاف تکی افزایش می‌یابد. دلیل آن را می‌توان اینگونه عنوان کرد که با کاهش درصد الیاف در ترکیب‌های دوگانه، احتمال گلوله شدن و کاهش کارآیی الیاف کم شده و الیاف عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ تغییرات مقاومت فشاری تک محوری برای نمونه‌های بتنی و ملات سیمان رسم شده است. شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نشان می‌دهند که مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن دارای مقاومت فشاری تک محوری بالاتری نسبت به بتن و ملات سیمان با الیاف تکی و بدون الیاف است. مقدار

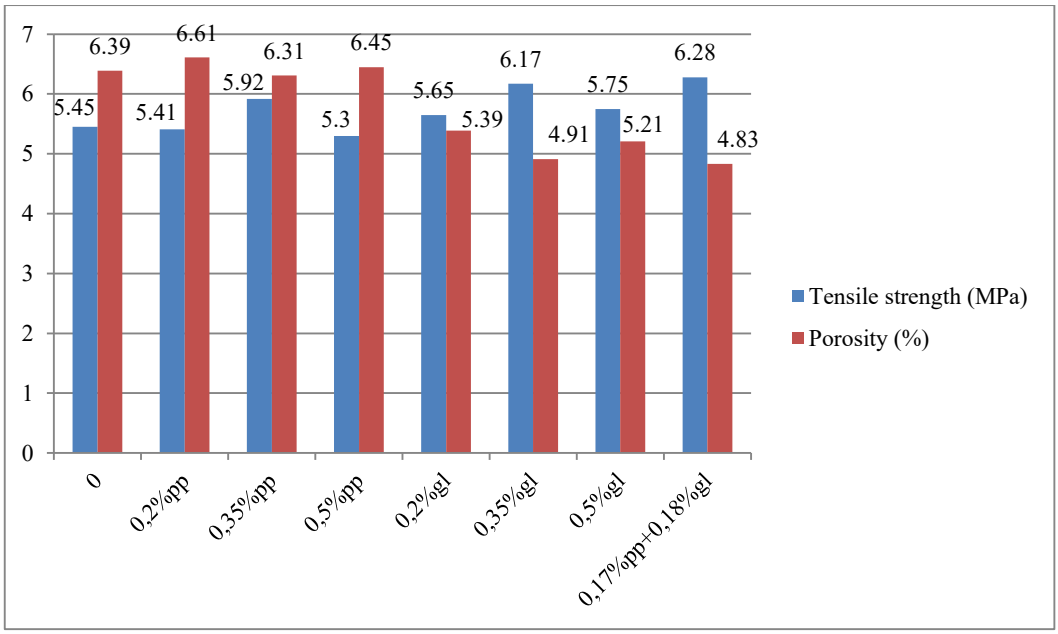


شکل ۱۲: تغییرات مقاومت کششی در بتن با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف

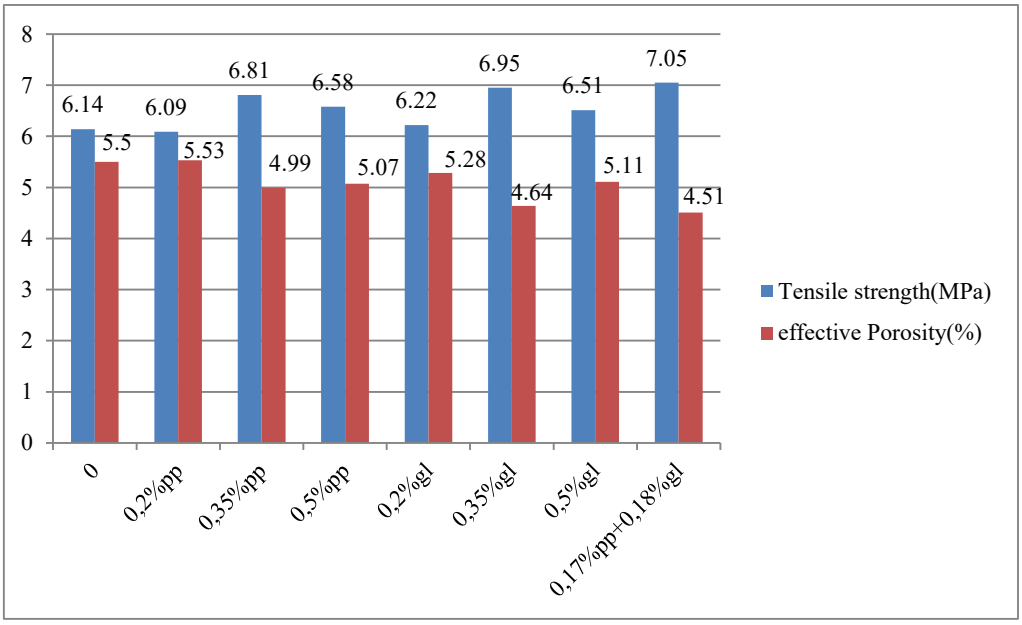


شکل ۱۳: تغییرات مقاومت کششی در ملات سیمان با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف

مقاومت فشاری تک محوری در ملات سیمان بیشتر از مقاومت فشاری تک محوری در بتن است. تغییرات مقاومت فشاری تک محوری نیز با تغییرات تخلخل موثر (شکل‌های ۱۸ و ۱۹) و سرعت امواج طولی هماهنگی دارد. این نتایج با نتایج پژوهش احمد و جیا [۱۱] مطابقت دارد. مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن نسبت به مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات سیمان بدون الیاف به ترتیب ۲۷٫۳ و ۲۰٫۵۶ درصد، نسبت به مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات سیمان دارای درصد حجمی ۰٫۳۵ الیاف شیشه به ترتیب ۱۰٫۵۴ و ۱۰٫۰۸ درصد و نسبت به مقاومت



شکل ۱۴: تغییرات مقاومت کششی و تخلخل موثر در بتن با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف



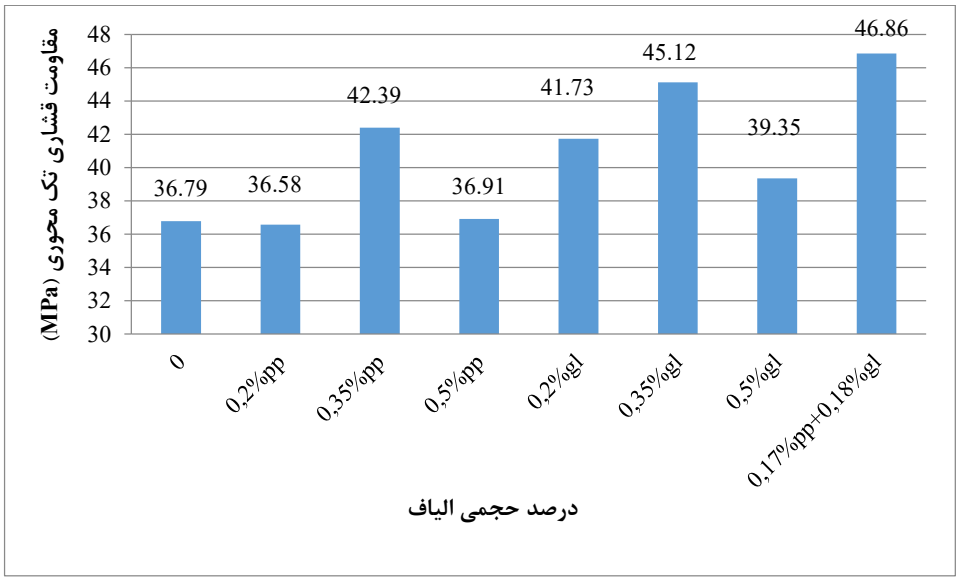
شکل ۱۵: تغییرات مقاومت کششی و تخلخل موثر در ملات سیمان با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف

فشاری تک محوری بتن و ملات سیمان دارای درصد حجمی ۰٫۳۵ الیاف پلی پروپیلن به ترتیب ۳٫۸۵ و ۲٫۶۱ درصد افزایش نشان می‌دهد.

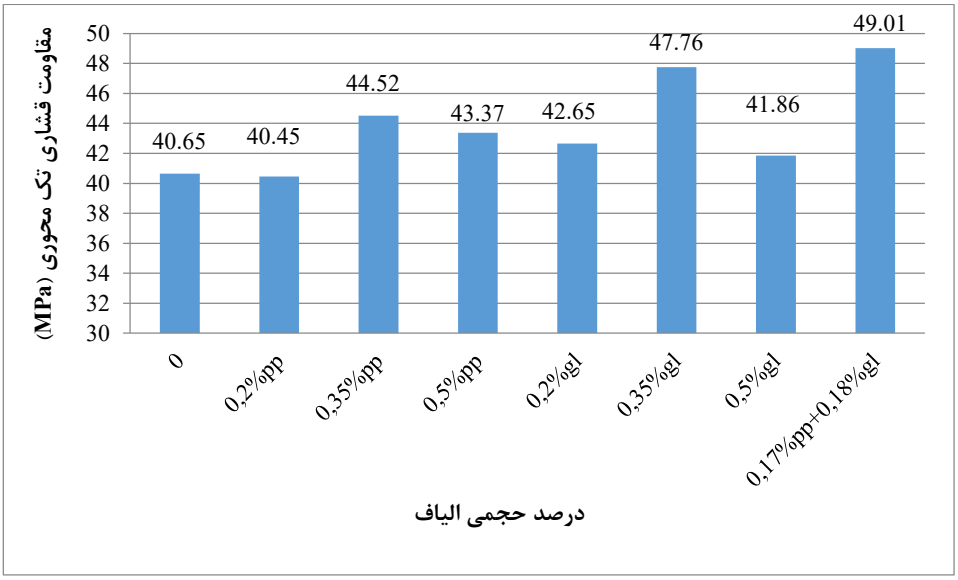
۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن بر سیمان بررسی شده است. برای این منظور نمونه‌های بتنی و ملات سیمان بدون الیاف، با الیاف تکی شیشه، با الیاف تکی پلی پروپیلن و الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن ساخته شده است. خواص فیزیکی شامل تخلخل موثر، سرعت امواج طولی و خواص مکانیکی شامل مقاومت کششی برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های بتن و ملات سیمان تحلیل شده است.

نتایج این تحقیق به شرح ذیل است:

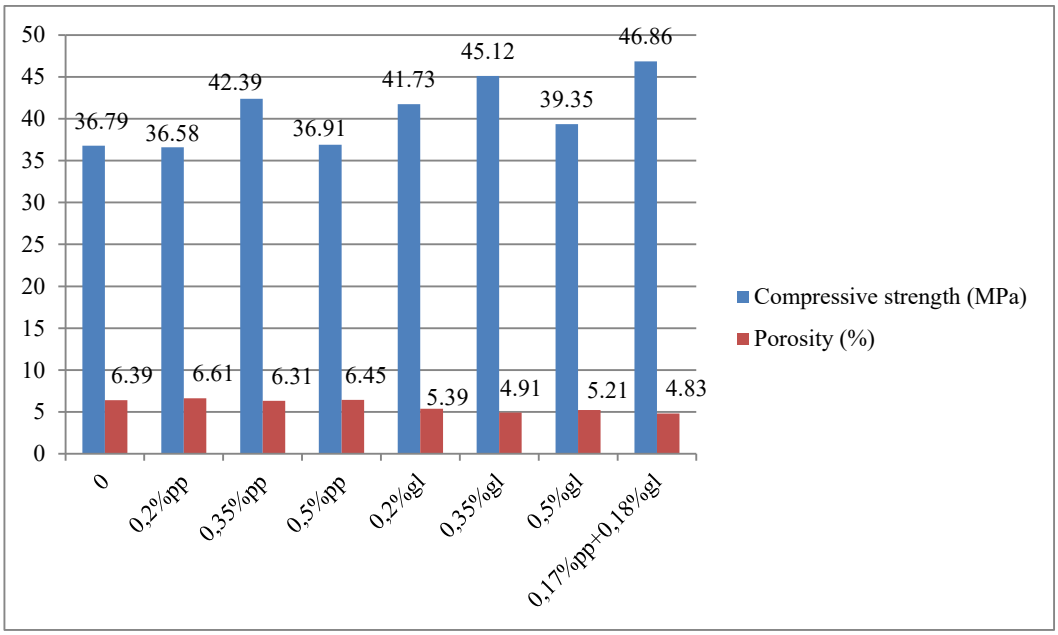


شکل ۱۶: تغییرات مقاومت فشاری تک محوری در بتن با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف

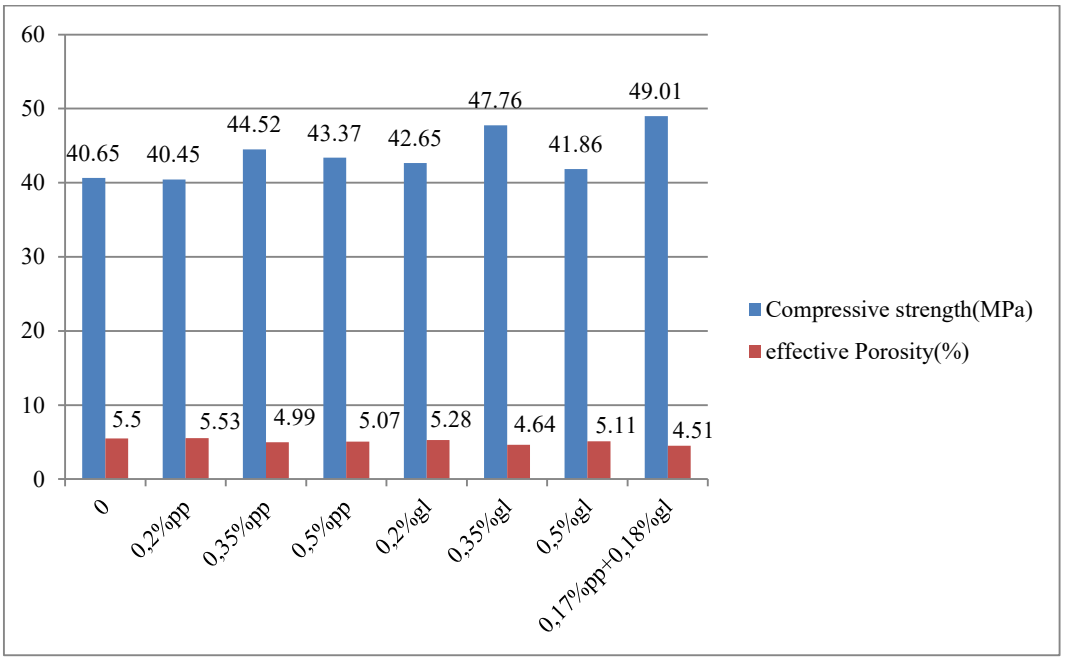


شکل ۱۷: تغییرات مقاومت فشاری تک محوری در ملات سیمان با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف

- بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن تخلخل موثر کمتری نسبت به بتن و ملات سیمان با الیاف تکی و بتن بدون الیاف دارد.
- بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن دارای سرعت امواج طولی بالاتری نسبت به بتن و ملات سیمان با الیاف تکی و بدون الیاف است. این تغییرات با تغییرات تخلخل موثر مطابقت دارد.
- بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و



شکل ۱۸: تغییرات مقاومت فشاری تک محوری و تخلخل موثر در بتن با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف



شکل ۱۹: تغییرات مقاومت فشاری تک محوری و تخلخل موثر در ملات سیمان با تغییر درصد حجمی الیاف و نوع الیاف

پلی پروپیلن که کمترین تخلخل موثر را دارند دارای بیشترین مقاومت کششی است. نتایج نشان می‌دهد مقاومت کششی بتن و ملات دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن نسبت به مقاومت کششی بتن و ملات سیمان بدون الیاف به ترتیب ۱۵٫۲۲ و ۱۶٫۴۴ درصد افزایش نشان می‌دهد.

- مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات سیمان دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن دارای مقاومت فشاری تک محوری بالاتری نسبت به بتن و ملات سیمان با الیاف تکی و بدون الیاف است.
- مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات دارای الیاف ترکیبی شیشه و پلی پروپیلن نسبت به مقاومت فشاری تک محوری بتن و ملات سیمان بدون الیاف به ترتیب ۲۷٫۳ و ۲۰٫۵۶ درصد افزایش نشان می‌دهد.

۶- سپاس‌گزاری

این اثر با حمایت مالی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) انجام گرفته است، لذا از مسوولین دانشگاه تقدیر و تشکر می‌شود.

۷- مراجع

[1] Yazıcı, Ş., İnan, G., and Tabak, V. (2007). *"Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC"*. Construction and Building Materials, 21(6): 1250-1253.

[2] Karahan, O., and Atiş, C. D. (2011). *"The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete"*. Materials & Design, 32(2): 1044-1049.

[۳] اقتداری، م.، قنبری، ا.؛ ۱۳۹۸؛ "**مطالعه آزمایشگاهی اثرات الیاف شیشه بر مقاومت مکانیکی بتن و مقایسه با بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن**". سومین کنفرانس ملی رویه های بتنی، تهران، انجمن بتن ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۴] پایرو، پ.؛ ۱۳۹۲؛ "**بتن مسلح الیافی**". تهران: فرهنگ و دانش.

[5] Song, P. S., and Hwang, S. (2004). *"Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete"*. Construction and Building Materials, 18(9): 669-673.

[6] Miloud, B. (2005). *"Permeability and porosity characteristics of steel fiber reinforced concrete"*. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 6(4): 317-330.

[7] Matar, P., and Zéhil, G. P. (2019). *"Effects of polypropylene fibers on the physical and mechanical properties of recycled aggregate concrete"*. Journal of Wuhan University of Technology, Materials Science Edition, 34: 1327-1344.

[8] Hilles, M. M., and Ziara, M. M. (2019). *"Mechanical behavior of high strength concrete reinforced with glass fiber"*. Engineering Science and Technology, an International Journal, 22(3): 920-928.

[۹] حجازی، م.، فتحی، ف.، صدرارحامی، ح.؛ ۱۳۹۶؛ "**بررسی خواص مکانیکی بتن سبک سازه ای با استفاده از الیاف ترکیبی**". مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۲، ص ۳۴۶-۳۳۵.

[10] Taheri Fard, A. R., Soheili, H., Ramzani Movafagh, S., and Farnood Ahmadi, P. (2016). *"Combined effect of glass fiber and polypropylene fiber on mechanical properties of self-compacting concrete"*. Magazine of Civil Engineering, 2: 26-31.

[11] Ahmed, A. A., and Jia, Y. (2019). *"Effect of using hybrid polypropylene and glass fibre on the mechanical properties and permeability of concrete"*. Materials, 12(22): 3786.

[۱۲] مقررات ملی ساختمان ایران؛ ۱۳۹۲؛ "**مبحث پنجم، مصالح و فرآورده‌های ساختمانی**".

[۱۳] سازمان ملی استاندارد ایران؛ ۱۳۹۲؛ "**اتاق اختلاط، محفظه رطوبت، اتاق رطوبت و حوضچه های آب مورد استفاده در آزمون سیمان هیدرولیکی و بتن ها، استاندارد شماره ۱۷۰۴۰**".

[14] ISRM, (1979). *"Suggested method for determining water content, porosity,density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties"*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 16: 141-156.

[15] ISRM, (1978). *"Suggested methods for determining sound velocity"*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15: 53-58.

[16] ISRM, (1978). *"Suggested methods for determining tensile strength of rock materials"*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15: 99-103.

[17] ISRM, (1979). *"Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials"*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 16: 138-140.

[1] Plastic shrinkage