



Increasing bending strength and flexibility of fiber concrete matrix by laboratory method (with volume changes of all kinds of fibers)

Fereydoun Khosravi *, Sayed Mohammad Moayedian, Mohammad Fayaz, Mahdi dehghan nezhad sani abadi

Faculty of Civil Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran

ABSTRACT: By adding fibers as well as additional materials to concrete, the properties of concrete can be increased in terms of durability, flexibility, and tensile strength. Another use of artificial fibers to improve mechanical properties and reduce shrinkage of fresh and hardened concrete, increase energy absorption and resistance to impact and explosion can be mentioned. The use of fiber concrete has many advantages compared to the use of reinforced concrete, while it also has disadvantages, such as the lack of uniform distribution of fibers in the concrete matrix and the lack of proper adhesion between polymer fibers in cement mortar. Generally, fiber concrete is used in concrete parts due to smaller cracks and less width, and more durability in case of uniform distribution of fibers. Research shows that fibers significantly increase the tensile strength and plasticity of mortar and concrete. In fact, after cracking, the fibers bridge between the crack plates and cause a significant increase in toughness and energy absorption capacity. Adding artificial fibers to concrete brings advantages such as reducing plastic grip cracks, reducing plastic drop cracks, increasing impact resistance, and increasing resistance to crushing. In this research, the effect of different types of fibers with different volume percentages on the compressive, bending, and tensile strength of the samples at different ages compared to the control sample has been measured by the laboratory method. All kinds of samples have been tested to determine the resistance against surface explosions.

Review History:

Received: Oct. 10, 2023

Revised: Jan. 28, 2024

Accepted: Mar. 31, 2024

Available Online: Apr. 19, 2024

Keywords:

Fiber Concrete

Polymer Fibers

Increasing the Tensile Strength of Concrete

Steel Fibers

Laboratory Method

1- Introduction

Concrete is a brittle material that has high resistance under pressure, But its resistance is relatively weak in stretching. Steel rebars are used in concrete structures to withstand tensile forces (after cracking in concrete). In reinforced concrete, the tensile stress of the concrete at the crack is much lower than the yield stress of the steel rebar, so concrete cracking occurs before a significant load is transferred to the steel rebar. Also, steel rebar is used to limit the width of cracks based on design requirements in-service loads. In fiber concrete, unlike steel rebars, the fibers are spread uniformly in the concrete mixture, therefore, the distance between the fibers is much less than the distance between the rebars; Therefore, fibers can be more effective in controlling concrete crack width than rebar networks. As a result, the tensile stresses are borne by the fibers in the initial stages of cracking, so the crack propagation and patterns change depending on whether the concrete is unreinforced or reinforced. Figure 1 also schematically shows the crack control mechanism by fibers. In addition, it can provide bending and tensile strength after cracking. More than 3000 years ago, natural fibers were used for brittle materials such as clay. In modern times, there have been many scientific studies on the use of steel

fibers in concrete. Since then, thousands of fiber-reinforced concrete projects have been implemented, including floor slabs, steel deck roofs, piled slabs, precast components, and shotcrete using fiber-reinforced concrete. Fibers in general can be used as a supplement and to reduce the steel bars in the members of various devices. Fibers reliably control cracks in concrete and increase the resistance of materials against fatigue, impact shrinkage, or thermal stresses. Fibers can be effective in improving the performance of concrete members in two ways, one by increasing the tensile strength of concrete and the possibility of considering it in structural calculations, and the other by controlling cracks and thus improving the durability of concrete. With the increasing expansion of concrete structures, properties such as the strength and durability of concrete have gained special importance. Therefore, it is necessary to use special concretes and obtain new compounds from them, which can be mentioned by adding fibers as well as additional materials to improve the properties of concrete. In recent years, the use of synthetic fibers has been greatly expanded to improve mechanical properties and reduce shrinkage of fresh and hardened concrete, increase energy absorption and impact resistance of concrete, and replace thermal reinforcements

*Corresponding author's email: Fr.khosravi@aut.ac.ir



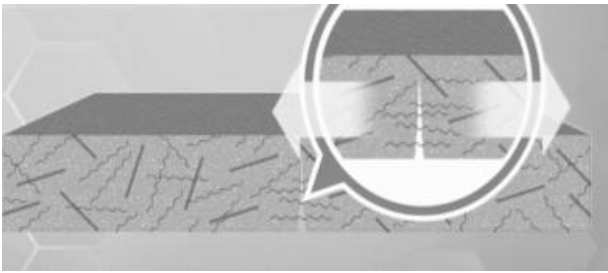


Fig. 1. Crack control mechanism by fibers

with fibers. Fibers significantly increase the tensile strength and ductility of mortar and concrete. Fiber concrete is very important in civil engineering as an alternative to reinforced concrete with reinforcement and due to the improvement of the proper performance of fibers in concrete and economic efficiency and increase in speed without loss of quality. Adding artificial fibers to concrete has advantages such as reducing plastic grip cracks, reducing plastic drop cracks, reducing concrete permeability, increasing impact resistance and wear resistance, increasing resistance to crushing. The choice of type, material, size, geometry and amount of fibers depends on the application and environmental conditions and climate of the structure. In a general classification, fibers are natural and synthetic according to the type of constituent material. In this research, the effect of fibers in different volume percentages on the compressive, bending and tensile strength of the samples at different ages compared to the control sample has been measured.

2- Methodology

In this research, by examining different mixing plans, the best concrete mixing plan that provides good adhesion with the three available fibers was reached. Different percentages of these fibers were used to achieve the optimal percentage of three fibers: steel, plastic, and bar chips. In the following, a brief description of the materials used in this research is given.

According to ASTM-C 1116 standard[1], the type of fibers that can be used in concrete is divided into four general categories, which include steel fibers, glass fibers, polymer fibers, and natural fibers. Steel fibers include stainless steel fibers, alloy steel, and carbon steel, which must be in accordance with the ASTM-A820 standard. ASTM-A820/A820M standard[2] is related to the specification of steel fibers that can be used in concrete. The steel fibers used for concrete reinforcement are short in length and small enough to be easily dispersed in concrete using conventional mixing methods. This type of fiber is the most used in fiber concrete. According to the investigations and using the previous research, it was observed that the use of steel fibers in fiber concretes of 2 to 4% by volume is suggested. Barchip fibers are one of the newest types of fibers used in concrete, and these fibers can be considered as a substitute for steel fibers.

These fibers have a specific weight of 910 kg/cm³ and the base of these fibers is made of polypropylene. Synthetic fibers are also the same as the Barchip, But it has a different appearance, and the specific weight of these fibers is the same as the Barchip, in this design, similar to other types of fibers, 1 to 2 percent have been used. In this research, neutral polycarboxylate superplasticizer type 102NPC has been used among the ten common additives in the market, which has been used to increase efficiency and slump, as well as reduce the ratio of water to cement. In the design method of mixing reinforced concrete with fibers, is basically similar to plain concrete design. In spite of this, some considerations must be observed to spread the fibers uniformly and prevent separation or the phenomenon of becoming pellets and create an effective mixture for pouring, compacting, and paying concrete. Due to the ease of spreading, fibers are usually added to the mixture in a dry form. The problem of becoming pellets is often due to the use of high amounts of fiber more than 0.5 percent by volume with a high length-to-diameter ratio, or adding too much fiber too quickly to a mixture that does not have enough water or sufficient efficiency. It is being created. In this phenomenon, the fibers are gathered close to each other, causing a reduction in the effectiveness of the concrete mixture, and as a result, a reduction in the resistance and softness of the hardened concrete. In order to investigate the effect of fibers, a base concrete sample is made and then the compressive, bending, and tensile strength of all fiber concretes is compared with it. To achieve the optimal design of the volume percentage of fibers in concrete to obtain the maximum tensile strength and bending strength in the concrete matrix, it is necessary to perform various tests.

3- Results and Discussion

According to the obtained results, the highest amount of compressive, tensile, and bending strength is related to the samples made with two volume percent of steel fibers and also the highest strain in 28 days resistance is related to the samples made with two volume percent of barchip fibers. Also, two percent of steel fibers increased the compressive strength by 3.5%, the bending strength by 36.06%, and the tensile strength by 80.83% compared to the control sample. Also, the results obtained from density, modulus of elasticity, and Poisson's ratio tests, fiber concrete with two volume percent of steel fibers have the highest results; But in the electrical resistance test, this percentage of fibers has the lowest result, and the highest result is related to fiber concrete with two percent of bar chip fibers by volume. The results show that two percent of steel fibers increases Poisson's ratio 93.3% and mortar density by It has increased up to 2430 kg/m³. Two percent of plastic fibers also increased electrical resistance by 28.57%.

4- Conclusions

In this article, three types of synthetic fibers, barchib and steel with percentages of 1, 1.5, and 2, and a combination of these fibers were evaluated. The mechanical properties of fiber concrete such as compressive strength, bending strength,

tensile strength, modulus of elasticity, Poisson's ratio, and electrical resistance were investigated and the results of this research are as follows:

- The larger the dimensions of the real sample of hardened concrete and the ratio of the volume to the side surface increases, the shrinkage ratio of the fibers in the surfaces decreases and moves towards uniformity; Therefore, additional tests on macroscopic and real samples are recommended.

- The grip of fiber elements increases if the strength of concrete increases and the separation of fiber elements from the core of concrete becomes more difficult.

- The use of microfibers along with macroscopic fibers can control the cracks resulting from the shrinkage of concrete and the dynamic loads that create plastic strains and cause concrete fatigue and inactivation of microscopic cracks.

- Due to the fact that steel fibers have provided better results in most of the conducted tests, special precautions should be taken to prevent corrosion when using this type of

fiber in areas with a high percentage of chlorine ions.

- In the mixing design, 1% steel fibers have the highest compressive strength, and the lowest compressive strength is related to 1% polypropylene fibers.

- 1% of polypropylene fibers reduces the compressive strength by about 15%. Therefore, polypropylene fibers will have a better effect in concrete with high cement grade and finer aggregates. Also, the nature of these fibers is not structural and it will have better results if combined with other fibers.

References

- [1] A. International, ASTM C1116/C1116M-10a: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete, Annual Book of ASTM Standards., (2009).
- [2] A. Standard, Standard specification for steel fibers for fiber reinforced concrete, United States: ASTM International, (2011). DOI: 10.1520/A0820_A0820M-22

HOW TO CITE THIS ARTICLE

F. Khosravi, S. M. Moayedian, M. Fayaz, M. dehghan nezhad sani abadi, *Increasing bending strength and flexibility of fiber concrete matrix by laboratory method (with volume changes of all kinds of fibers)*, Amirkabir J. Civil Eng., 56(3) (2024) 341-344.

DOI: [10.22060/ceej.2024.22747.8041](https://doi.org/10.22060/ceej.2024.22747.8041)





افزایش مقاومت خمشی و انعطاف پذیری ماتریس بتن الیافی به روش آزمایشگاهی (با تغییرات حجمی انواع الیاف)

فریدون خسروی*، سید محمد مویدیان، محمد فیاض، مهدی دهقان نژاد ثانی آبادی

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸
بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۲
ارائه آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۳۱

کلمات کلیدی:

بتن الیافی
الیاف پلیمری
افزایش مقاومت کششی بتن
الیاف فولادی
روش آزمایشگاهی

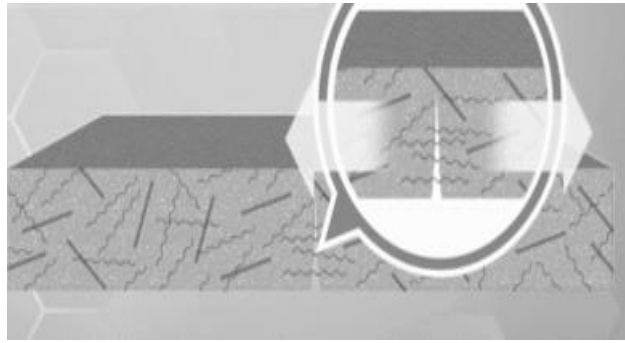
خلاصه: با افزودن الیاف و همچنین موادی مضاعف در بتن می توان خواص بتن از نظر افزایش دوام، انعطاف پذیری و مقاومت کششی را افزایش داد. دیگر کاربرد الیاف مصنوعی به منظور بهبود خواص مکانیکی و کاهش جمع شدگی بتن تازه و سخت شده، افزایش جذب انرژی و مقاومت در برابر ضربه و انفجار را می توان اشاره کرد. استفاده از بتن الیافی مزیت های زیادی در مقابل استفاده از بتن آرمه دارد ضمن آنکه معایبی نیز دارد از جمله عدم توزیع یکنواخت الیاف در ماتریس بتن و عدم چسبندگی مناسب بین الیاف پلیمری در ملات سیمانی است. عموماً از بتن الیافی به دلیل ترک های کوچک تر و با عرض کم تر و دوام بیش تر در صورت توزیع یکنواخت الیاف، در قطعات بتنی استفاده می شود. تحقیقات نشان می دهد الیاف مقاومت کششی، شکل پذیری ملات و بتن را به نحو قابل توجهی افزایش می دهد. در حقیقت الیاف بعد از ترک خوردگی در میان صفحات ترک پل می زند و باعث افزایش چشمگیری در چقرمگی و ظرفیت جذب انرژی می گردد. اضافه نمودن الیاف مصنوعی به بتن مزیت هایی چون کاهش ترک های گیرش پلاستیک، کاهش ترک های افت پلاستیک، افزایش مقاومت ضربه ای و افزایش مقاومت در برابر خوردگی به همراه دارد. در این تحقیق تأثیر انواع الیاف با درصد های حجمی مختلف بر مقاومت فشاری، خمشی و کششی نمونه ها در سن های مختلف نسبت به نمونه شاهد به روش آزمایشگاهی سنجیده شده است. انواع نمونه ها را برای حالت تعیین مقاومت در برابر انفجارهای سطحی مورد آزمایش قرار داده شده است.

۱- مقدمه

ترک با توجه به غیرمسلح بودن یا مسلح بودن بتن تغییر می کند. شکل ۱ نیز مکانیزم کنترل ترک را توسط الیاف به صورت شماتیک نشان می دهد. علاوه بر این می تواند مقاومت خمشی و کششی بعد از ترک خوردگی را نیز فراهم کند. بیش از ۳۰۰۰ سال پیش از الیاف طبیعی برای مصالح شکننده مانند خشت استفاده می شد. در زمان معاصر مطالعات علمی متعددی در مورد استفاده از الیاف فولادی در بتن صورت گرفته است. از آن زمان تا کنون، هزاران پروژه با استفاده از الیاف، شامل دال های روی زمین، سقف های عرشه فولادی، دال های روی شمع، قطعات پیش ساخته و شاتکریت با استفاده از بتن الیافی اجرا شده است. الیاف در حالت کلی می تواند به عنوان مکمل و برای کاهش میلگردهای فولادی در اعضای سازه های مختلف نیز استفاده شود. الیاف با اطمینان بالایی ترک خوردگی های بتن را کنترل می کند و مقاومت مصالح در برابر خستگی، ضربه و انقباض^۱ یا تنش های حرارتی را افزایش می دهد. الیاف می تواند در بهبود عملکرد اعضای بتنی به دو صورت یکی با افزایش مقاومت کششی بتن و امکان در نظر گرفتن آن در محاسبات

بتن ماده ای ترد است که در تحت نیروی فشار مقاومت بالایی دارد؛ اما در کشش نسبتاً مقاومت آن بسیار ضعیف هست. میلگردهای فولادی برای تحمل نیروهای کششی (بعد از ایجاد ترک در بتن) در سازه های بتنی مورد استفاده قرار می گیرد. در بتن مسلح، کرنش کششی بتن در ترک بسیار کمتر از کرنش تسلیم میلگرد فولادی است، بنابراین ترک خوردگی بتن قبل از اینکه بار قابل توجهی به میلگردهای فولادی منتقل شود اتفاق می افتد. همچنین از میلگرد فولادی برای محدود کردن عرض ترک ها بر اساس الزامات طراحی در بارهای سرویس استفاده می شود. در بتن الیافی برخلاف میلگردهای فولادی، الیاف به صورت یکنواخت در مخلوط بتن پخش می شوند، از این رو، فاصله بین الیاف ها بسیار کمتر از فاصله بین میلگردها می باشد؛ بنابراین الیاف می تواند در کنترل عرض ترک بتن مؤثرتر از شبکه میلگرد عمل کنند. در نتیجه، تنش های کششی توسط الیاف ها در مراحل اولیه ترک خوردگی تحمل می شوند، بنابراین گسترش و الگوهای





شکل ۱. مکانیسم کنترل ترک توسط الیاف

Fig. 1. Crack control mechanism by fibers

کمتر در پژوهش‌های دیگر به آن پرداخته شده روی آن کار شده است تا این اثر مهم و تأثیرگذار نیز در بتن الیافی دیده شود.

۱-۱- پیشینه تحقیق

از مزایای بتن الیافی در مقایسه با بتن معمولی می‌توان به مقاومت عالی در مقابل ضربه، قابلیت کششی عالی (ظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی)، قابلیت باربری زیاد بعد از ترک‌خوردگی، مقاومت کششی، خمشی و برشی زیاد و طاقت خیلی زیاد اشاره کرد [۱]. استفاده از الیاف مختلف در بتن و ساخت بتن الیافی به عنوان یک گام مؤثر در جلوگیری از انتشار ریزترک‌ها و جبران ضعف مقاومت کششی بتن محسوب می‌شود [۲]. به طور کلی نقش اصلی الیاف افزوده شده به بتن ایجاد اتصال بین ترک‌هایی است که به هر دلیلی به وجود می‌آیند اگر الیاف به حد کافی محکم باشند و به طور کامل به ماتریس سیمان بچسبند و مقدارشان در واحد حجم کافی باشد می‌توانند عرض ترک‌ها را کاهش می‌دهند و باعث می‌شود که بتن الیافی تنش‌های بزرگ‌تری را بعد از رسید به حداکثر تنش، در مرحله بعد از ترک‌خوردگی تحمل کنند. بدین ترتیب الیاف بعد از ترک‌خوردگی بتن، باعث شکل پذیری به بتن می‌شوند [۳]؛ بنابراین افزایش الیاف به مخلوط بتن باعث می‌شود که قسمت‌های ترک‌خورده نیز در مقابل بار از خود مقاومت نشان دهند و در نتیجه می‌تواند نسبت به ماتریس تقویت نشده از خود تغییر شکل بیشتری نشان داده و قابلیت باربری بیشتری داشته باشد [۴]. ریچاردسون و همکارانش در مورد بهبود عملکرد سختی و استحکام خمشی بتن به‌منظور

سازه‌های و دیگری کنترل ترک‌خوردگی‌ها و در نتیجه بهبود دوام بتن مؤثر باشد. با گسترش روزافزون سازه‌های بتنی، ویژگی‌هایی نظیر مقاومت و دوام بتن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. از این رو استفاده از بتن‌های خاص و دستیابی به ترکیبات جدیدی از آن‌ها امری ضروری است که می‌توان به افزودن الیاف و همچنین مواد مضاعف برای بهبود خواص بتن اشاره نمود. در سال‌های اخیر، کاربرد الیاف مصنوعی به‌منظور بهبود خواص مکانیکی و کاهش جمع‌شدگی بتن تازه و سخت شده، افزایش جذب انرژی و مقاومت در برابر ضربه بتن و جایگزینی آرماتورهای حرارتی با الیاف، بسیار گسترش یافته است. الیاف، مقاومت کششی، شکل‌پذیری ملات و بتن را به نحو قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. بتن الیافی به عنوان جایگزین بتن مسلح با آرماتور و با توجه به بهبود عملکرد مناسب الیاف در بتن و صرفه اقتصادی و افزایش سرعت بدون افت کیفیت در مهندسی عمران بسیار حائز اهمیت است. اضافه نمودن الیاف مصنوعی به بتن مزیت‌هایی چون کاهش ترک‌های گیرش پلاستیک، کاهش ترک‌های افت پلاستیک، کاهش نفوذپذیری بتن، افزایش مقاومت ضربه‌ای و مقاومت در برابر سایش، افزایش مقاومت در برابر خردشدگی به همراه دارد. انتخاب نوع، جنس، اندازه، هندسه و مقدار الیاف‌ها وابسته به کاربرد و شرایط محیطی و آب‌وهوایی سازه است. طی یک دسته‌بندی کلی نیز الیاف بر حسب جنس ماده تشکیل‌دهنده به صورت طبیعی و مصنوعی می‌باشند. در این تحقیق تأثیر الیاف در درصد‌های حجمی مختلف بر مقاومت فشاری و خمشی و کششی نمونه‌ها در سن‌های مختلف نسبت به نمونه شاهد سنجیده شده است.

در این پژوهش به بررسی جامع انواع الیاف‌ها همچنین اثر انفجار که

چشمگیری دارد [۱۱]. همچنین در تحقیقات خسروی و محمدی بر روی تأثیر الیاف فولادی بر روی بتن بررسی شده است که نتایج حاصله از این پژوهش عبارت است:

- الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت فشاری و جلوگیری از رشد ترک در بتن
- با افزودن الیاف فولادی به ماتریس بتن باعث تغییر در حالت ترد به حالت شکل‌پذیر می‌گردد
- افزودن الیاف به ماتریس بتن باعث افزایش ظرفیت باربری می‌گردد [۱۲].

در مطالعات زمانی و همکارانش با استفاده از دو الیاف پلی وینیل الکل و الیاف فولادی درصدهای مختلف این دو الیاف در بتن الیافی مورد بررسی قرار دادند. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد استفاده از الیاف اثر مثبت بر مقاومت فشاری بتن می‌گذارد. قابل بیان است که تأثیر الیاف فولادی نسبت به دیگر الیاف بر مقاومت فشاری بتن بیشتر است. همچنین نمونه‌های تقویت شده با الیاف فولادی مقاومت بتن الیافی در مقابل بار ضربه بهبود می‌بخشد [۱۳].

در تحقیقات قبادی و همکاران به بررسی دو نوع الیاف پلیمری و فولادی در بتن الیافی پرداختند نتایج حاصله از تحقیقات ایشان بیانگر این است که با اضافه نمودن الیاف فولادی به بتن مقاومت کششی بتن افزایش می‌یابد [۹].

۲- مشخصات مصالح

در این تحقیق با بررسی طرح اختلاط‌های مختلف منجر به دستیابی بهترین طرح اختلاط بتن که با سه الیاف موجود چسبندگی خوبی را محیا کند، رسیده شد. به منظور رسیدن به درصد بهینه سه الیاف فولادی، پلاستیک و بار چپ، درصدهای مختلف این الیاف استفاده گردید. در ادامه مختصری راجب مشخصات مصالح بکار رفته در این پژوهش شرح داده شده است.

۲-۱- الیاف

مطابق استاندارد ASTM - C 1116 [۱۴] جنس الیاف قابل‌مصرف در بتن به چهار دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شود که شامل الیاف فولادی، الیاف شیشه، الیاف پلیمری و الیاف طبیعی است.

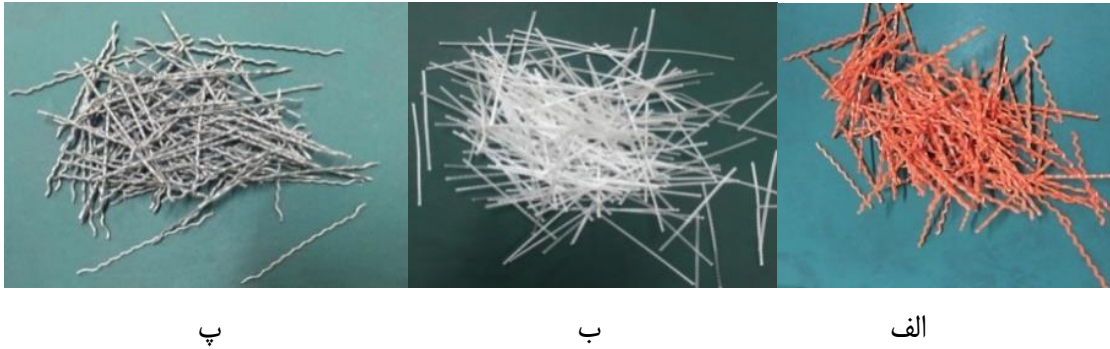
-الیاف فولادی شامل الیاف فولادی ضدزنگ^۱، آلیاژ فولاد و فولاد کربن‌دار که می‌بایست مطابق استاندارد ASTM-A820 باشند. استاندارد ASTM- A820/A820M [۱۵] مربوط به مشخصات الیاف فولادی قابل‌استفاده در بتن می‌باشد. الیاف‌های فولادی مورد استفاده برای

تعیین کیفیت‌های ساختاری که منجر به افزایش عملکرد بالقوه بتن در معرض انفجار بمب می‌شود با استفاده از الیاف سه‌بعدی در مقایسه با الیاف فولادی مقایسه‌ای انجام دادند که نتایج آنها نشان می‌دهد که با مقدار الیاف مساوی، الیاف سه‌بعدی عملکرد بهتری هم در استحکام خمشی و سختی نسبت به الیاف‌های فولادی دارا هستند [۵]. ونکاتسان در مورد اثر الیاف فولادی در بتن در چهار حالت بدون الیاف و با ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ درصد الیاف بر روی مقاومت خمشی تحت بارگذاری ۷۵۰ کیلو نیوتن پرداخت. نتایج نشان می‌دهد که با اضافه کردن الیاف مقاومت خمشی نیز افزایش می‌یابد؛ ولی در حالت ۱٪ الیاف ظرفیت و مقاومت بالاتری نسبت به سه حالت دیگر دارا می‌باشد که در حدود ۳۰/۰۳ درصد نسبت به حالت بدون الیاف افزایش مقاومت داشته است، همچنین انعطاف‌پذیری در این حالت نیز ۴۱/۳۴ درصد افزایش می‌یابد [۶]. نتایج آزمایش‌های بیگی و همکارانش بر روی مقاومت فشاری و کششی بتن الیافی بیانگر آن بوده است که پس از گذشت ۲۸ روز از ساخت نمونه‌ها، نمونه‌های حاوی ۱٪ الیاف فولادی دارای بیشترین افزایش مقاومت و نمونه‌هایی که هم‌زمان حاوی ۰/۲۵٪ الیاف پلی‌پروپیلن^۲ و ۰/۷۵٪ الیاف فولادی بودند، در جایگاه بعدی قرار دارند [۷]. با توجه به نتایج مطالعات سرزیدی و همکارانش، میزان ۰/۵ درصد الیاف اضافه شده در تمامی آزمایش‌ها نشان می‌دهد میزان اتلاف انرژی تا ۳/۸۷ و بیشترین لنگر پیچشی تا ۲/۴۶ برابر نمونه شاهد افزایش داشته است [۸]. مطالعات انجام شده با استفاده از آزمایش‌های بتن سخت شده نشان می‌دهد که با افزایش دوز الیاف فولادی، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. مقاومت فشاری در بتن مسلح به الیاف پلیمری در سن ۷ و ۲۲ روزه ۰/۱۵۰ درصد افزایش یافته است. با افزایش هر دو نوع الیاف، مقاومت کششی افزایش پیدا می‌کند [۹].

مطالعات فرخ زاده و کریمی از انجام آزمایش بر روی ۱۰ طرح اختلاط با سه نوع الیاف متفاوت شامل الیاف فولادی و ماکرو سنتتیک پلی‌الفین و ماکرو سنتتیک پلی‌پروپیلن با ۰/۱۵، ۰، ۱/۵ درصد حجمی، نشان می‌دهد استفاده از الیاف فولادی تأثیر به‌سزایی روی مقاومت فشاری در درصدهای بالاتر از ۰/۵ نداشته و مقاومت کششی را به صورت محسوسی افزایش داده و مقاومت الکتریکی را کاهش می‌دهد [۱۰]. در تحقیقات زادکریم و همکارانش به تأثیر الیاف فلزی بر رفتار مکانیکی و فیزیکی بتن پرداخته شده است. نتایج به دست آمده در تحقیقات ایشان عبارت است استفاده از الیاف فولادی تأثیر بسزایی در کاهش آب اضافی طرح اختلاط بتن و همچنین مقاومت کششی و فشاری بتن حاوی الیاف فولادی نسبت به بتن معمولی افزایش

1 Venkatesan

2 polypropylene



شکل ۲. انواع الیاف، الف) سنتتیک، ب) بارچیب، پ) فولادی

Fig. 2. Types of fibers, a) synthetic, b) barchip, c) steel



شکل ۳. سطح شکسته شده معمولی یک نمونه بتن تقویت شده با الیاف فولادی

Fig. 3. Typical fracture surface of a steel fiber reinforced concrete specimen

متفاوت دارد و وزن مخصوص این الیاف نیز همانند بارچیب بوده و در این طرح مشابه انواع دیگر الیاف از ۱ تا ۲ درصد استفاده شده است. در شکل ۲ انواع الیاف مورد استفاده در این پژوهش قابل مشاهده است.

۲-۲- مشخصات بتن الیافی

بتن مسلح با الیاف فولادی، بتنی متشکل از سیمان هیدرولیکی حاوی دانه بندی ریزودرشت با الیاف فولادی غیرپیوسته است. عمدتاً عملکرد الیاف در ماتریس بتن نسبت به چسبندگی دانه ها در بتن ضعیف است شکل ۳ سطح شکسته شده معمولی یک نمونه بتن مسلح با الیاف فولادی را نشان می دهد. مزیت عمده بتن الیافی، بهبود طاقت خمشی (کل انرژی جذب شده در هنگام شکست نمونه در خمش) است. افزایش طاقت خمشی، مقاومت در

مسلح سازی بتن، دارای طول کوتاه و به اندازه کافی کوچک هستند تا با استفاده از روش های معمول اختلاط به راحتی در بتن پراکنده شوند. این نوع الیاف بیشترین استفاده را در بتن های الیافی دارد. طبق بررسی های انجام شده و بهره گیری از تحقیقات پیشین مشاهده گردید که استفاده از الیاف فولادی در بتن های الیافی ۲ تا ۴ درصد حجمی پیشنهاد شده است.

- الیاف بار چیب^۱ از جدیدترین انواع الیاف مورد استفاده در بتن بوده و می توان این الیاف را جایگزین الیاف فولادی دانست. این الیاف دارای وزن مخصوص ۹۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب بوده و پایه این الیاف هم از پلی پروپیلن است. الیاف سنتتیک^۲ نیز همانند بارچیب بوده؛ ولی ظاهری

-
- 1 Barchip
 - 2 synthetic

جدول ۱. مشخصات و طرح اختلاط بتن پایه ۳۵-۲۰-۱ برای یک مترمکعب

Table 1. c-35 base concrete mixing specifications for one cubic meter

اسلامپ (cm)	فوق روان کننده (kg)	شن (kg)	ماسه (kg)	سیمان (kg)	آب جذبی (lit)	آب واکنش (lit)
۱۲/۵	۳/۱۲۲	۶۶۲/۶	۹۹۳/۸	۴۴۶/۰	۴۷/۲	۱۷۳/۹

می‌گردد. به منظور رسیدن به طرح بهینه درصد حجمی الیاف در بتن برای کسب مقاومت کششی ماکزیمم و مقاومت خمشی در ماتریس بتن لازم است آزمایش‌های مختلفی انجام شود. در جدول ۱ طرح اختلاط مورد استفاده در این تحقیق را آورده شده است. در این پژوهش جهت اطمینان از توزیع یکنواخت الیاف طبق سه استاندارد معتبر [۱۶] CNR-DT 204/2006، [۱۷] RILEM TC 162-TDF، [۱۸] UNI EN 206-1 نمونه‌های ساخته شد.

۳- آزمایش‌های انجام شده

در این پژوهش برای ارزیابی نمونه‌های ساخته شده آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته، نسبت پواسون، مقاومت الکتریکی و انفجار میدانی انجام گردید. در ادامه نتایج آزمایش‌های نام برده قابل مشاهده است.

۳-۱- مقاومت فشاری، خمشی، کششی

در این تحقیق حدود ۴۰۰ نمونه با درصدهای حجمی مختلف الیاف فولادی، پلاستیکی و بارچپ، برای به دست آوردن مقاومت فشاری BS (1881 & ISIRI 1608) ((۱۹، ۲۰)، خمشی (ISIRI 490) [۲۱]، کششی (ISIRI 6047) [۲۲]، مدول الاستیسیته (استاندارد شماره ۵۲۵ ایران) [۲۳]، نسبت پواسون (استاندارد ملی شماره ۵۲۵) [۲۳]، مقاومت الکتریکی (ASTM C1760) [۲۴]، دانسیته (استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۰۳-۶) [۲۵] و انفجار (ufc) [۲۶] ساخته شده و در سنین ۷ و ۲۸ روزه مورد سنجش قرار گرفتند. در ادامه جزئیات هر سری از نمونه‌های ساخته

برابر خستگی و مقاومت در برابر ضربه نیز به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابند.

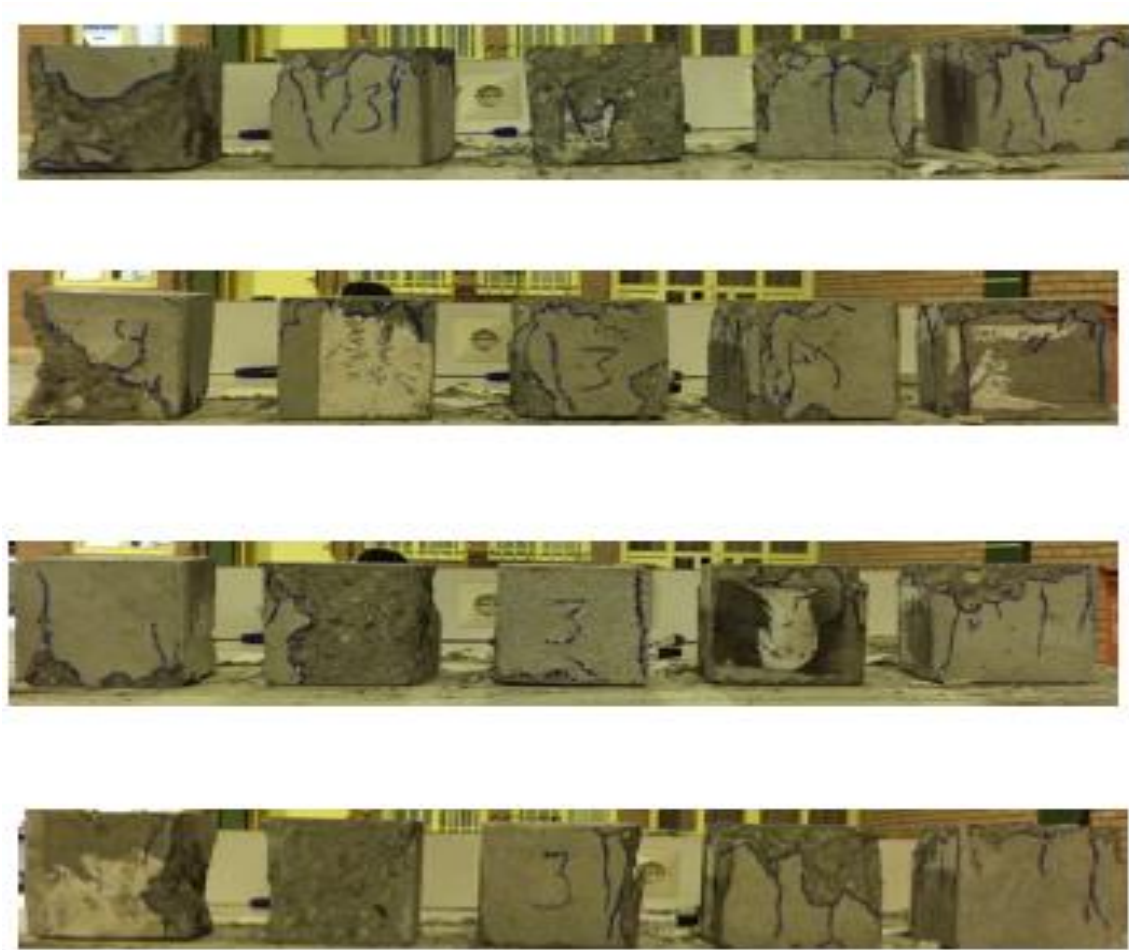
۲-۳- افزودنی

در این تحقیقات از میان ده نوع افزودنی متداول در بازار، ابرروان کننده نوترال پلی کربوکسیلاتی^۱ از نوع NPC ۱۰۲ استفاده شده است که برای افزایش کارایی و اسلامپ و همچنین کاهش نسبت آب به سیمان مورد استفاده قرار گرفته است

۲-۴- طرح اختلاط الیاف در بتن

در روش طرح اختلاط بتن مسلح با الیاف اساساً شبیه طراحی بتن ساده است. با وجود این، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداشدگی یا پدیده گلوله‌ای شدن و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن رعایت گردد. الیاف به خاطر آسانی پخش معمولاً به صورت خشک وارد مخلوط می‌شوند. مشکل گلوله‌ای شدن اغلب به دلیل استفاده از مقادیر زیاد الیاف بیش از ۰.۵ درصد حجمی با نسبت طول به قطر بالا و یا اضافه کردن خیلی سریع الیاف به مخلوطی که آب کافی و یا کارایی کافی ندارد به وجود می‌آید. در این پدیده الیاف نزدیک به هم جمع شده، سبب کاهش کارایی مخلوط بتن و در نتیجه کاهش مقاومت و نرمی بتن سخت شده می‌گردد. جهت بررسی تأثیر الیاف، یک نمونه بتن پایه ساخته می‌شود و سپس مقاومت فشاری و خمشی و کششی تمام بتن‌های الیافی با آن مقایسه

1 Neutral polycarboxylate



شکل ۴. تصاویر نمونه‌های بعد از انجام تست

Fig. 4. Pictures of the samples after the test

ساخته شده با دو درصد حجمی الیاف پارچیب می‌باشد همچنین با توجه به جدول ۲، دو درصد الیاف فولادی باعث افزایش $3/5\%$ مقاومت فشاری، $36/06\%$ مقاومت خمشی و $80/83\%$ مقاومت کششی نسبت به نمونه شاهد شده است.

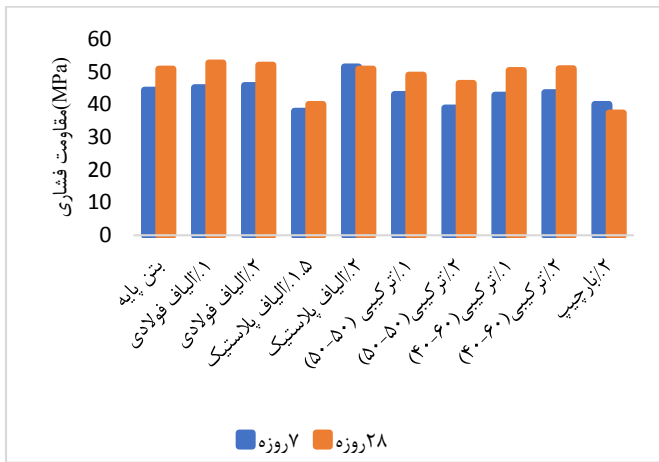
۳-۲- مدول الاستیسیته، ضریب پواسون، دانسیته بتن و مقاومت الکتریکی مدول الاستیسیته بتن بر خلاف فولاد (که تحت آزمایش کشش محاسبه می‌گردد) تحت آزمایش مقاومت فشاری بتن از روی شیب (تانژانت) منحنی تنش کرنش در بارگذاری تک‌محوری به دست می‌آید. برخلاف فولاد، مدول الاستیسیته بتن ثابت نیست و بستگی به مقاومت فشاری مشخصه (f_c) بتن و مشخصات دیگری مثل عمر بتن، مشخصات سنگ‌دانه‌ها، سیمان، سرعت

شده ارائه شده است.

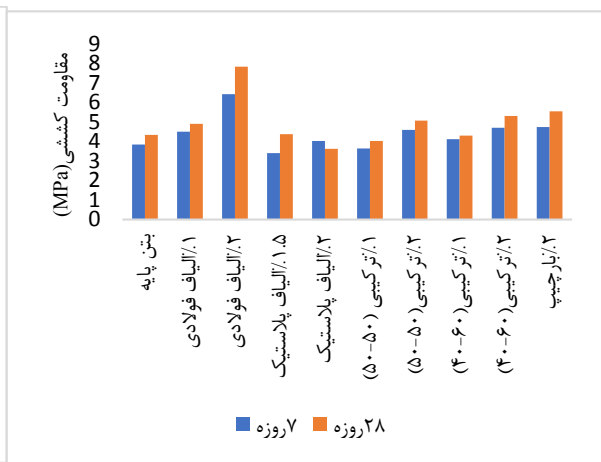
نمونه بتنی با الیاف فولادی به مقدار درصد حجمی 1% و 2% ،
نمونه بتنی با الیاف پلاستیک به مقدار درصد حجمی $1/5\%$ و 2%
نمونه بتنی ترکیبی (الیاف فولاد 50% - الیاف پلاستیک) به مقدار
درصد حجمی 1% و 2%

نمونه بتنی ترکیبی (الیاف پلاستیک 40% - الیاف فولاد) به مقدار
درصد حجمی 1% و 2%

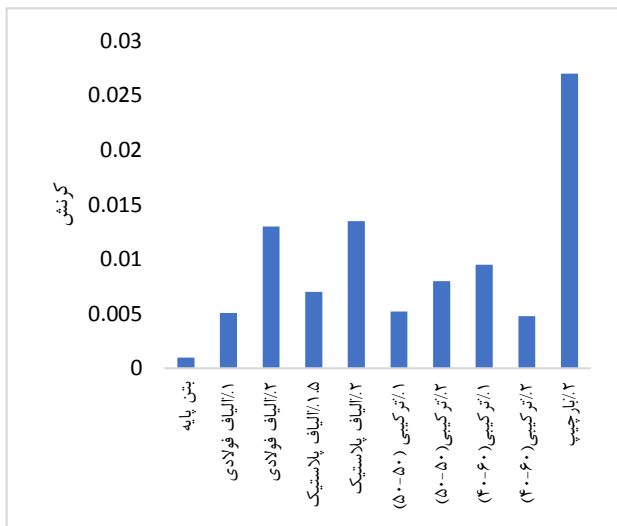
نمونه بتنی با الیاف پارچیب به مقدار درصد حجمی 2%
مطابق نتایج به دست آمده (شکل ۵)، بیشترین مقدار مقاومت فشاری،
کششی و خمشی مربوط به نمونه‌های ساخته شده با دو درصد حجمی الیاف
فولادی و همچنین بیشترین کرنش در مقاومت ۲۸ روزه مربوط به نمونه‌های



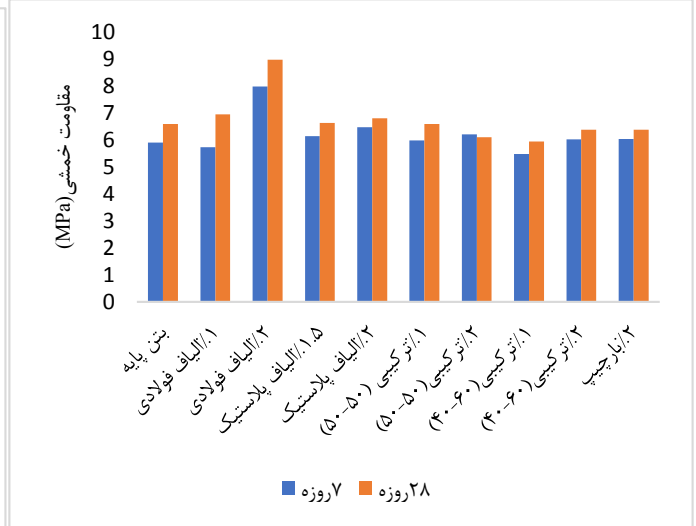
(ب) مقایسه مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه



(ف) مقایسه مقاومت کششی ۷ و ۲۸ روزه



(ت) کرنش در مقاومت نهایی ۲۸ روزه بتن



(پ) مقایسه مقاومت خمشی ۷ و ۲۸ روزه

شکل ۵. نتایج تست‌های فشاری، خمشی، کششی و کرنش

Fig. 5. Results of compressive, bending, tensile and strain tests

اعمال بار به سرعت و مقدار تعیین شده را داشته باشد. دستگاه اندازه‌گیری تغییر شکل طولی در این آزمایش که در واقع این دستگاه از دو بخش قالب و ساعت اندازه‌گیری تشکیل شده است و نمونه در حلقه‌های این دستگاه قرار گرفته و ساعت اندیکاتور کرنش یا همان میزان تغییرات طولی و عرضی را اندازه‌گیری می‌کند. این دستگاه شامل دو بست حلقوی است که یکی کاملاً به نمونه محکم شده و دیگری فقط در دو نقطه قرینه محوری در روی پیرامون محیط آزمون متصل شده‌است و به این ترتیب می‌تواند، حول محور که از این دو نقطه می‌گذرد قابلیت چرخش دارد. تغییر شکل طولی را می‌توان

بارگذاری، نوع و ابعاد نمونه آزمایشی دارد. مطابق استاندارد ایران شماره ۵۲۵ برای بدست آوردن ضریب ارتجاعی بتن یا همان مدول الاستیسیته و نسبت پواسون از نمونه‌های استوانه‌ای و یا نمونه‌های مغزه‌گیری شده (برش با مته‌های کرگیری الماسی) استفاده می‌شود. مدول ارتجاعی و ضریب پواسون بتن برای محدوده‌های معمول اعمال تنش (از صفر تا ۴۰ درصد استحکام نهایی بتن) برای اندازه‌گیری میزان تغییر اجزا بتن مسلح و غیرمسلح، تعیین میزان تقویت و اندازه‌گیری تنش برای کرنش‌های مشاهده شده، استفاده می‌شود. یکی از ابزار این آزمایش جک بتن شکن یا دستگاهی که قابلیت



الف) آزمایش مقاومت خمشی



ب) آزمایش مقاومت فشاری



ج) آزمایش مقاومت کششی

شکل ۶. تصاویر آزمایش‌های انجام شده

Fig. 6. Images of the tests performed

جدول ۲. نتایج آزمایش‌های مقاومت خمشی، کششی و فشاری

Table 2. The results of bending, tensile and compressive strength test

ردیف	نام طرح	مقاومت فشاری		مقاومت خمشی		مقاومت کششی		کرنش
		مقدار		مقدار		مقدار		
		درصد افزایش	مقدار ۲۸ روزه	درصد افزایش	مقدار ۷ روزه	درصد افزایش	مقدار ۲۸ روزه	
۱	بتن پایه	-	۵۰/۹۶	-	۵/۹	-	۴/۳۳	۱
۲	۱٪ الیاف فولادی	۲/۳	۵۲/۱۴	۵/۳	۵/۷۳	۴/۹	۴/۵	۵/۱
۳	۲٪ الیاف فولادی	۳/۵	۵۲/۷۶	۸/۹۸	۷/۹۸	۷/۸۳	۶/۴۲	۱۳
۴	۱/۵٪ الیاف پلیاستیک	-۲۱	۴۰/۱۶	۶/۱۵	۶/۱۵	۴/۳۸	۳/۴	۷
۵	۲٪ الیاف پلیاستیک	-۰/۰۰۷	۵۰/۹۲	۶/۱۸	۶/۴۷	۳/۶۳	۴/۰۳	۱۳/۵
۶	۱٪ ترکیبی (۵۰٪ فولادی-۵۰٪ پلیاستیک)	-۳/۶	۴۹/۱۲	۵/۹۸	۵/۹۸	۴/۰۳	۳/۶۵	۵/۲
۷	۲٪ ترکیبی (۵۰٪ فولادی-۵۰٪ پلیاستیک)	-۸/۶۳	۴۶/۵۶	۶/۲۱	۶/۲۱	۵/۰۶	۴/۶	۸
۸	۱٪ ترکیبی (۶۰٪ فولادی-۴۰٪ پلیاستیک)	-۰/۹۴	۵۰/۴۸	۵/۴۸	۵/۴۸	۴/۳	۴/۱۲	۹/۵
۹	۲٪ ترکیبی (۶۰٪ فولادی-۴۰٪ پلیاستیک)	۰/۰۷	۵۱	۶/۰۳	۶/۰۳	۵/۳	۴/۷۱	۴/۸
۱۰	بار چپ	-۲۶/۴۱	۳۷/۵	۶/۰۳۳	۶/۰۳۳	۵/۵۵	۴/۷۳	۲۷

S_2 : تنش وارده برای ۴۰ درصد بار نهایی

S_1 : تنش وارده برای کرنش طولی

ϵ_{11} : کرنش عرضی در وسط ارتفاع آزمون ایجاد شده توسط S_1

ϵ_{12} : کرنش عرضی در وسط ارتفاع آزمون ایجاد شده توسط S_2

ϵ_2 : کرنش طولی ایجاد شده توسط S_2

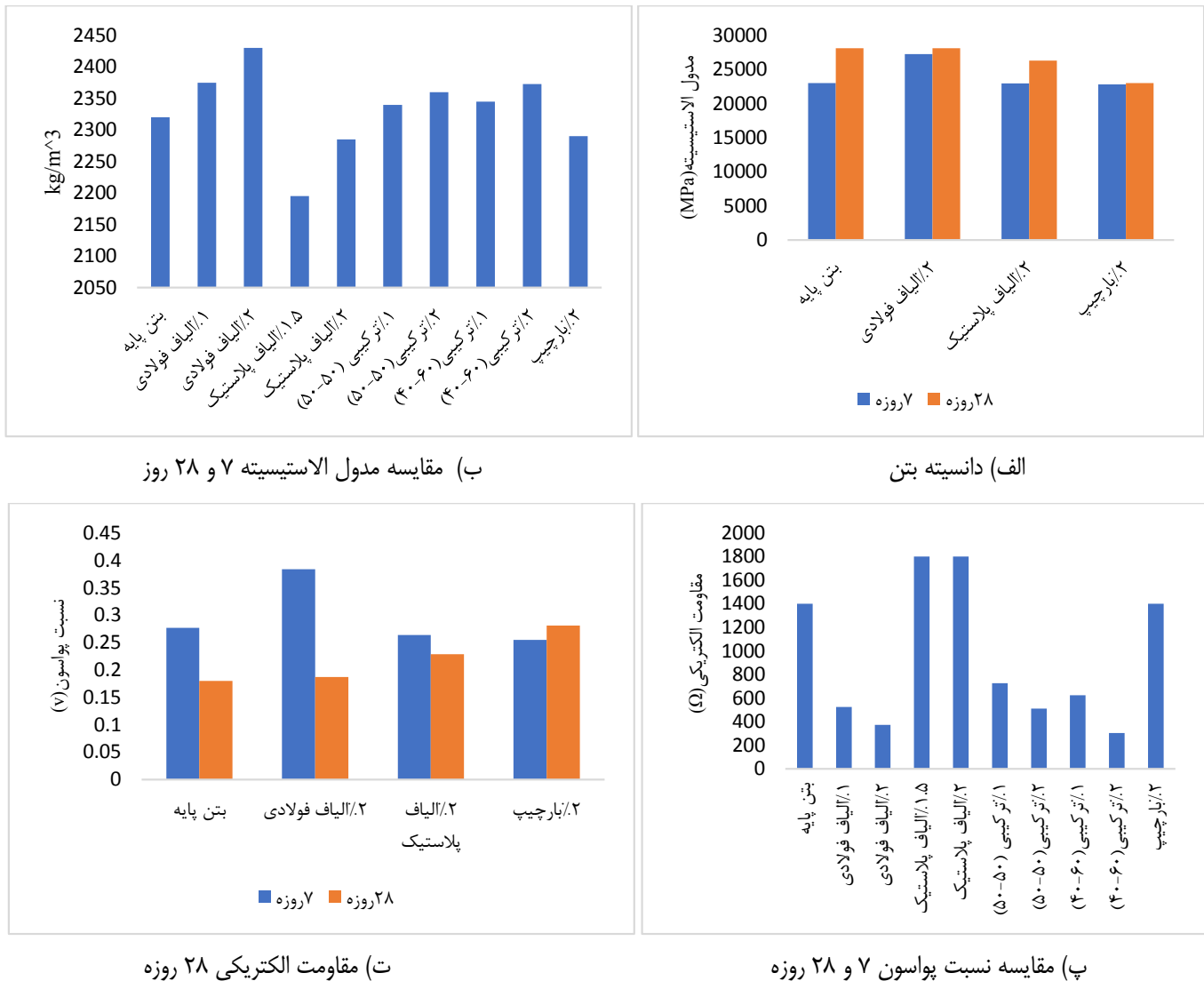
در این بخش همانند قسمت قبل نمونه‌ها طبق استانداردها مورد ارزیابی قرار گرفتند البته قابل ذکر است که مقاومت ویژه الکتریکی بتن شاخصی برای تعیین میزان مقاومت بتن در برابر عبور جریان الکتریکی است. این شاخصه از بتن در سازه‌های بتن مسلح واقع در معرض خوردگی کاربردی دارد. به این ترتیب که در روند خوردگی بر سطح میلگرد دو منطقه آندی و کاتدی به وجود می‌آید که دارای اختلاف پتانسیل هستند انتقال یون‌های هیدروکسیل

مستقیماً به وسیله ی گج یا کرنش سنج اندازه‌گیری کرد. تغییر شکل عرضی نیز به وسیله دو کرنش جانبی نیز اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از روابط ۱ و ۲ میزان مدول الاستیسیته و نسبت پواسون محاسبه محاسبه شده است.

$$\mu = \frac{\epsilon_{12} - \epsilon_{11}}{\epsilon_2 - 0.000050} \quad (1)$$

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050} (MPa) \quad (2)$$

که در روابط بالا



شکل ۷. نتایج آزمایش‌های مدول الاستیسیته، ضریب پواسون، دانسیته و مقاومت الکتریکی

Fig. 7. The results of tests of modulus of elasticity, Poisson's coefficient, density and electrical resistance

بیشترین نتیجه را دارد؛ اما در آزمایش مقاومت الکتریکی این درصد الیاف کمترین نتیجه را دارا بوده و بیشترین نتیجه مربوط به بتن بی‌الیافی با دو درصد حجمی الیاف بار چیپ می‌باشد. همچنین جدول ۳ نمایانگر این است که دو درصد الیاف فولادی ۹۳/۳٪ نسبت پواسون و چگالی ملات را تا مقدار ۲۴۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش داده است. دو درصد الیاف پلیاستیک نیز باعث افزایش ۲۸/۵۷٪ مقاومت الکتریکی گردید.

از کاتد به آند تحت تأثیر مقاومت ویژه الکتریکی بتن صورت می‌گیرد، هر چه مقاومت ویژه الکتریکی بتن بیشتر باشد از شدت خوردگی کاسته می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت خوردگی نسبت مستقیم با جریان بین آند و کاتد داشته و با مقاومت الکتریکی نسبت عکس دارد.

با توجه به نتایج حاصل شده از انجام آزمایش‌های دانسیته، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون، بتن بی‌الیافی با دو درصد حجمی الیاف فولادی



الف) آزمایش مدول الاستیسیته و نسبت پواسون



ب) آزمایش مقاومت الکتریکی

شکل ۸. تصاویر آزمایش‌های انجام شده

Fig. 8. The images of the tests performed

از جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که بتن معمولی هیچ استقامتی در مقابل بارهای غیر متعارف نداشته و کاملا تخریب شده است؛ ولی در مقابل با اضافه کردن دو درصد الیاف پلاستیک تنها ۳۹ درصد نمونه تخریب شده و ۶۱ درصد آن کاملا سالم باقی مانده است. این موضوع بیانگر این است که الیاف پلاستیک به خوبی انرژی انفجار را به خود جذب نموده و باعث تخریب حداقل نمونه شده است.

۳-۳- انفجار

برای این تست نمونه‌های بتی مکعبی با شرایط یکسان بر روی بستر خاک قرار داده است. سپس میزان ۳۲ گرم ماده منفجره C4 روی وسط نمونه‌ها قرار داده شد. لازم به ذکر است که تمامی خرج‌ها به صورت تماسی و بدون فاصله بر روی نمونه‌ها قرار گرفته و نوع انفجار نیز انفجار سطحی بوده که نتایج آن به شرح ذیل می‌باشد.

جدول ۳. نتایج آزمایش‌های مدول الاستیسیته، نسبت پواسون، دانسیته و مقاومت الکتریکی

Table 3. The results of elastic modulus, Poisson's ratio, density and electrical resistance tests

ردیف	نام طرح	مدول الاستیسیته		نسبت پواسون		مقاومت الکتریکی		مقدار	دانسیته بتن
		درصد		درصد		درصد افزایش			
		مقدار ۷روزه	مقدار ۲۸روزه	مقدار ۷روزه	مقدار ۲۸روزه	مقدار	مقدار		
۱	بتن پایه	۲۲۹۸۷	۲۸۱۲۴	-	-	۰/۲۷۷	۰/۱۸۰	۱۴۰۰	۲۳۲۰
۲	۱٪ الیاف فولادی	-	-	-	-	-	-	۵۲۶/۴	۲۳۷۵
۳	۲٪ الیاف فولادی	۲۷۲۴۷	۲۸۱۰۱	-۰/۰۸	۰/۲۶۸	۰/۳۴۸	۹۳/۳	۳۷۲/۲	۲۴۳۰
۴	۱/۵٪ الیاف پلاستیک	-	-	-	-	-	-	۱۸۰۰	۲۲۹۵
۵	۲٪ الیاف پلاستیک	۲۲۹۴۸	۲۶۲۹۴	-۶/۵	۰/۲۶۴	۰/۲۲۹	۲۷/۲۲	۱۸۰۰	۲۲۸۵
۶	۱٪ ترکیبی (۵۰٪ فولادی-۵۰٪ پلاستیک)	-	-	-	-	-	-	۷۶۲/۳	۲۳۴۰
۷	۲٪ ترکیبی (۵۰٪ فولادی-۵۰٪ پلاستیک)	-	-	-	-	-	-	۵۱۲/۴	۲۳۶۰
۸	۱٪ ترکیبی (۶۰٪ فولادی-۴۰٪ پلاستیک)	-	-	-	-	-	-	۶۲۴/۱	۲۳۴۵
۹	۲٪ ترکیبی (۶۰٪ فولادی-۴۰٪ پلاستیک)	-	-	-	-	-	-	۳۰۳/۸	۲۳۷۳
۱۰	بار چپ	۲۲۸۳۸	۲۳۰۱۲	-۱۸/۱۷	۰/۲۵	۰/۲۸	۵۶/۱۱	۱۴۰۰	۲۲۹۰

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله سه نوع الیاف سنتتیک، بارچیب و فولادی با درصد‌های ۱، ۱/۵ و ۲ و ترکیبی از این الیاف مورد ارزیابی قرار گرفت و خصوصیات مکانیکی بتن الیافی از قبیل مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته، نسبت پواسون، مقاومت الکتریکی بررسی شد و نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- در نمونه‌های گسیخته شده بتن الیافی تحت اثر آزمایش‌ها مشاهده می‌شود روانی، وزن مخصوص، نوع و مدت‌زمان ویبره، انسجام و پیوستگی بتن، دانه‌بندی مناسب، شکل هندسی، نوع، ابعاد، پخش‌شدگی و توزیع الیاف در ماتریس بتن نقش بسیار مهمی در عملکرد هرچه بهتر بتن

الیافی دارد.

- هرچه ابعاد نمونه واقعی بتن سخت شده، بزرگ‌تر باشد و نسبت حجم به سطح جانبی افزایش یابد، نسبت جمع‌شدگی الیاف در سطوح کاهش‌یافته و به سمت یکنواخت شدن حرکت می‌نماید؛ بنابراین انجام آزمایش‌های تکمیلی بر روی نمونه‌های ماکروسکپی و واقعی توصیه می‌گردد.
- گیرداری المان‌های الیافی، در صورت افزایش مقاومت بتن زیاد شده و جدادگی المان‌های الیافی از مغزه بتن سخت‌تر می‌گردد.
- استفاده از الیاف ریزنقش به همراه الیاف ماکروسکپی می‌تواند ترک‌های حاصل از جمع‌شدگی بتن و بارگذاری‌های دینامیکی را که کرنش‌های پلاستیک ایجاد می‌کند و باعث خستگی بتن و انفعال ترک‌های میکروسکپی می‌شود را کنترل نماید.

جدول ۴. نتایج آزمایش میدانی انفجار

Table 4. Blast field test results

ردیف	نام طرح	نتیجه
۱	بدون الیاف	تخریب کامل
۲	۱٪ الیاف فولادی	۷۵٪ تخریب
۳	۲٪ الیاف فولادی	۴۹٪ تخریب
۴	۱/۱۵٪ الیاف پلاستیک	۵۲٪ تخریب
۵	۲٪ الیاف پلاستیک	۳۹٪ تخریب
۶	۱٪ ترکیبی (۵۰-۵۰ فولاد و پلاستیک)	۶۴٪ تخریب
۷	۲٪ ترکیبی (۵۰-۵۰ فولاد و پلاستیک)	۴۷٪ تخریب
۸	۱٪ ترکیبی (۴۰-۶۰ فولاد و پلاستیک)	۷۶٪ تخریب
۹	۲٪ ترکیبی (۴۰-۶۰ فولاد و پلاستیک)	۵۳٪ تخریب
۱۰	۲٪ الیاف بارچپ	۶۴٪ تخریب



الف) نمونه‌ها قبل از انفجار



ب) نمونه‌ها بعد از انفجار

شکل ۹. تصاویر تست انفجار

Fig. 9. Explosion test images

- Architecture, Urban Management and Environment, 2018(in Persian)<https://civilica.com/doc/902916>.
- [3] A. Soltani, A.A. Alishahi, Laboratory assessment of the effect of steel fiber amount and strength class on the mechanical characteristics of concrete, in: Third International Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management, 2018. (in Persian)<https://civilica.com/doc/917524>
- [4] S. Qohestani, A.A. Afsharnia, Investigating the mutual effect of fiber weight ratio, modulus of elasticity and water-cement ratio on the physical and mechanical parameters of fiber concrete, in: 11th National Congress of Civil Engineering, 2018. (in Persian)<https://civilica.com/doc/918076>
- [5] A. Richardson, M. Heather, Improving the performance of concrete using 3D fibres, *Procedia Engineering*, 51 (2013) 101-109.
- [6] K. Venkatesan, P. Raghunath, K. Suguna, Flexural behavior of high strength steel fibre reinforced concrete beams, *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 4(1) (2015) 135-140
- [7] Z.A. Bigi, M. Dashti Rahmatajadi, fiber concrete and its evaluation, in: 16th National Conference on Urban Planning, Architecture, Civil Engineering and Environment, 1401. (in Persian) <https://sid.ir/paper/902126/fa>
- [8] M. Khodadad Sirizdi, H. Rabiei, R. Morshid, Investigating the torsional behavior of fiber self-compacting concrete under cyclic loads, *Structural and Construction Engineering*, 6(1) (2019) 41-54. (in Persian) <https://sid.ir/paper/252528/fa>
- [9] S. I Motaghedi. Ghobadi, M. Mirzaei Aliabadi, Y. Gharaibi, Investigating the properties of fresh and hardened fiber self-compacting concrete, *Structure and Construction Engineering*, 6(Special Issue 4) (2019) 43-61. (in Persian) <https://sid.ir/paper/409585/fa>
- [10] R. Farrokhzad, b. Karimi, Investigating the effect of macrosynthetic and steel fibers on the stress-strain diagram of fiber concrete and its mutual effect on the
- با توجه به اینکه الیاف فولادی در بیشتر آزمایش‌های انجام شده نتایج بهتری را ارائه کرده است، می‌بایست هنگام استفاده از این نوع الیاف در مناطقی که دارای درصد بالایی یون کلر است، تمهیدات خاصی جهت جلوگیری از خوردگی اعمال شود.
 - در طرح اختلاط، الیاف ۱ درصد فولاد بیشترین مقاومت فشاری را کسب کرده است و کمترین مقاومت فشاری نیز مربوط به الیاف ۱ درصد پلی پروپیلن می‌باشد.
 - هر چقدر مقدار ملات سیمانی موجود در بتن بیشتر شود تأثیر افزودن الیاف بیشتر خواهد شد.
 - ۱ درصد الیاف پلی پروپیلن باعث کاهش مقاومت فشاری تا حدود ۱۵ درصد می‌شود. بنابراین الیاف پلی پروپیلن در بتن‌هایی که دارای عیار سیمان بالا و سنگدانه‌های ریزتر باشد تأثیر بهتری خواهد گذاشت. همچنین ماهیت این الیاف سازه‌ای نیست و در صورت ترکیب با الیاف‌های دیگر نتایج بهتری خواهد داشت.
 - الیاف سنتتیک می‌تواند جایگزین مناسبی برای الیاف فولادی باشد؛ زیرا علاوه بر نتایج قابل قبول، از لحاظ زیر ساخت‌های کشورمان نیز می‌توان این نوع الیاف را در داخل کشور تولید نمود.
- نتایج حاصل شده در این پژوهش هم راستا و تکمیل کننده مطالعات فرخ زاده [۱۰]، زادکریم [۱۱]، محمدی [۱۲]، زمانی [۱۳] و قبادی [۹] می‌باشد. در ادامه پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آینده تأثیر موارد مطالعه شده در این تحقیق را بر روی قطعات واقعی سازه‌های بتنی از جمله اتصالات، دال‌ها و تیر و ستون‌های بتنی بررسی گردد. همچنین سایر پارامترهای قابل بررسی از جمله خزش، دوام و نفوذ آب بر روی نمونه‌ها با الیاف مختلف بررسی گردد.

منابع

- [1] R. Azizzadeh, S. Moseibi, Laboratory evaluation and theory of determining the optimal combination of polypropylene fibers and microsilica gel on the compressive strength of C40 concrete at the age of 7 days, in: Second International Conference on Architecture, Construction, Agriculture and Environment, 2018. (in Persian)<https://civilica.com/doc/899873>
- [2] R. Yousefi, M. Soltani, A. Omoi, M. Jirayai Shrahi, Properties of fiber reinforced concrete as a new material against explosion and impact, in: Fourth International Conference on Modern Researches in Civil Engineering,

- (2007).
- [17] T. RILEM, 162-TDF Committee: RILEM 162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete, *Materials and Structures*, 33 (2000) 75-81.
- [18] C.E. de Normalisation, *Concrete-Part 1: Specification, performance, production and conformity*, Brussels: Comité Européen de Normalisation, EN, (2000) 206-201.
- [19] Iranian National Standard No. 1608-3 (hardened concrete - determining the compressive strength of the specimens)
- [20] British Standard Testing concrete Part 125. Methods for mixing and sampling fresh concrete in the laboratory
- [21] Concrete- flexural strength of concrete (using simple –beam with third – point loading)-Test method ICS:91.100.30
- [22] Concrete– Determination of the splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens– Test method INSO 6047
- [23] Standard 525 concrete - determination of elastic modulus and Poisson's ratio of concrete(in Persian)
- [24] A. Standard, Standard test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete, ASTM: Philadelphia, PA, USA, 1 (2012) 1-5
- [25] FRESH CONCRETE-part6: density-test method, INSO3203-6
- [26] U. HOUSING, UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC), Change, 1 (2012) 15.
- durability of concrete, *Concrete Research*, 14(2) (2021) 69-82. (in Persian) <https://sid.ir/paper/1036359/fa>
- [11] S. Zadkarim, d. Beheshtizadeh, F. Jafarzadeh Kochaki, Laboratory study of the effect of steel metal fibers on the resistance parameters of lightweight concrete, in: *International Conference on Lightweighting and Earthquake*, 2019. (in Persian) <https://civilica.com/doc/82031>
- [12] F. Khosravi, S. Mohammadi, Determining and analyzing the behavior of fibers in the state of cracking of fiber concrete under the effect of bending load, in: *10th National Conference on Urban Planning, Architecture, Construction and Environment*, 2019. (in Persian) <https://civilica.com/doc/1113408>
- [13] AA. Zamani, M. Ahmadi, A. Dalvand, Laboratory investigation of the properties of high-strength fiber self-compacting concrete made from fully recycled aggregate, *Civil Infrastructure Research*, 7(1) (2021) 1-16. (in Persian) doi: 10.22091/cer.2021.6955.1251
- [14] A. International, ASTM C1116/C1116M-10a: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete, *Annual Book of ASTM Standards.*, (2009).
- [15] A. Standard, Standard specification for steel fibers for fiber reinforced concrete, United States: ASTM International, (2011). DOI: 10.1520/A0820_A0820M-22
- [16] L. Ascione, V.P. Berardi, L. Feo, Technical Document CNR-DT 204/2006, Guide for the Design and Construction of Fiber-Reinforced Concrete Structures,

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

F. Khosravi, S. M. Moayedian, M. Fayaz, M. dehghan nezhad sani abadi, *Increasing bending strength and flexibility of fiber concrete matrix by laboratory method(with volume changes of all kinds of fibers)*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 56(3) (2024) 345-360.

DOI: [10.22060/ceej.2024.22747.8041](https://doi.org/10.22060/ceej.2024.22747.8041)



