



## Laboratory investigation of the effect of plastic packaging belt fibers and iron oxide on the mechanical properties of self-compacting concrete

Amir Hossein Derakhshan Nezhad <sup>1</sup>, Mahbobeh Mirzaie Aliabadi \*, Mohammad Sadegh Shahidzadeh

Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

**ABSTRACT:** Self-compacting concrete is one of the newest types of concrete due to its durability, efficiency, viscosity, stability, flowability, and resistance. Nowadays, one of the most important concerns in the environment is solid waste disposal. Plastic packaging belts are one of the plastic materials that are thrown away after use and are known as waste, also iron smelting factories are the main source of iron oxide waste production. This research is based on the idea of using plastic packing belts and iron oxide waste in the design of self-compacting concrete mix with different percentages (0, 0.5, 1, 1.5, 2 percent compared to the weight of cement) and (0, 5, 10, 15, 20% relative to the weight of sand) was added as an additive. For fresh and hardened properties of self-compacting concrete tests with and without fibers and iron oxide, slump flow tests, V funnel, L box, J ring, U box and compressive strength, tensile strength, ultrasonic pulse speed, Schmidt hammer, temperature effect They were evaluated on compressive strength and permeability. The results of the tests showed that with the increase in the percentage of fibers and iron oxide waste in self-compacting concrete for cubic samples, respectively, the compressive strength, ultrasonic pulse speed, Schmidt hammer and the effect of temperature on the 1-day compressive strength in 28-day processing from the range of 1.61% - 72.57%, 10% - 57.5%, 3.27% - 9.27% and 5.22 - 20.64% increased compared to self-compacting concrete (control) and also the tensile strength of cylindrical samples in 28 days processing. It increased from the range of 21.09%-72.57% compared to self-density (control).

### Review History:

Received: Mar. 20, 2024

Revised: May, 11, 2024

Accepted: May, 14, 2024

Available Online: May, 17, 2024

### Keywords:

Self-Compacting Concrete

Iron Oxide

Plastic Belt Fibers

Compressive Strength

Tensile Strength

### 1- Introduction

Self-compacting concrete is known as one of the biggest advances in the concrete industry. Self-compacting concrete can easily flow from all kinds of complex shapes or shapes that have many reinforcing bars, and due to its malleability, it does not leave any empty space [2]. This type of concrete has low yield stress, high deformability, separation resistance, and medium viscosity [3]. Self-compacting concrete is also better than ordinary concrete in terms of time, workability, and durability. As a result, the use of self-compacting concrete is better and more efficient compared to conventional concrete, and it can be considered as a cost-effective material to reduce costs in implementation, time, and vibration due to compression under its own weight [4]. The amount of solid waste produced, including the waste from mineral processing activities, industries, iron smelting, plastic material manufacturing companies, etc., is one of the main and important concerns in the pollution of the environment and natural resources. One of the industrial wastes produced from steel and ingots in iron smelters is iron oxide ( $Fe_2O_3$ ), which appears during the cooling and hardening of steel ingots from

the molten state, moisture, and cooling in the dehumidifier. The main cause of this issue is the amount of moisture in the steel and its evaporation from the steel surface. It is also created due to the expansion and contraction of the steel surface and after cleaning from the steel surface, it is considered as waste. The size of iron oxide particles is smaller than cement. Iron oxide has impressive physical and mechanical properties due to its chemical composition. Due to the low pozzolanic reactivity of iron oxide, it affects the mechanical properties of cement in self-compacting concrete. The use of iron oxide is also used to improve homogeneity, compressibility, reduce porosity, concrete density, and strength in order to achieve mechanical properties and durability of concrete. Today, plastics play an important role in almost every aspect of life. The largest percentage of plastic waste is packaging waste. Plastic packaging wastes are considered as one of the sources of pollution in the environment. Plastic packaging bags can be an effective solution to solve environmental problems as a replacement of part of cement in concrete mix design. Due to its mechanical properties, low density, chemical resistance, high modulus of elasticity, tensile properties, and thermal

\*Corresponding author's email: mirzaie@bkatu.ac.ir



**Table 1. Mixing design of self-compacting concrete with and without plastic packing belt fibers and iron oxide (The unit of values is in kg/m<sup>3</sup>)**

Self-compacting concrete without plastic packing belt fibers (0%) and iron oxide (0%) (SCC)									
iron oxide	Plastic packing belt fibers	VMA	Stone powder	Super lubricant - nano silica super eel	Water	sand	Almond sand	pea gravel	Cement
-	-	0.167	207	12-7	154	1067	240	350	400
Self-compacting concrete with plastic packing belt fibers (0.5%) and iron oxide (5%) (SCC FO1)									
24.5	2.5	0.167	207	12-7	154	1067	240	350	400
Self-compacting concrete with plastic packaging belt fibers (1%) and iron oxide (10%) (SCC FO2)									
49	5	0.167	207	12-7	154	1067	240	350	400
Self-compacting concrete with plastic packing belt fibers (1.5%) and iron oxide (15%) (SCC FO3)									
73.5	7.5	0.167	207	12-7	154	1067	240	350	400
Self-compacting concrete with plastic packaging belt fibers (2%) and iron oxide (20%) (SCC FO4)									
98	10	0.167	207	12-7	154	1067	240	350	400

insulation compared to other recycled materials, it leads to the improvement of the mechanical properties of concrete. The use of plastic packaging belts in the form of fibers in concrete is one of the best solutions for their disposal and improves the strength, ductility, and durability of concrete.

## 2- Mixed design

5 designs of self-compacting concrete mixes with and without the effects of plastic packaging belt fibers and iron oxide were investigated in this research. The percentage of plastic packing belt fibers and iron oxide with different ratios (0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2% relative to the weight of cement and 0%, 5%, 15%, 20% compared to the weight of sand). In all 5 mixed designs, the amount of materials is fixed and the percentage of plastic packing belt fibers and iron oxide varies, because the results of the tests are more accurate and transparent (according to Table 1).

## 3- Results and interpretation

### 3- 1- Slump flow test

The results of the slump flow test showed that with the increase in the percentage of plastic packaging belt fibers and iron oxide, the slump diameter (flowability) decreased compared to self-compacting concrete (standard) and the slump flow time increased compared to self-compacting concrete (standard) (According to figure 1).

### 3- 2- V- Funnel test

The results of the instantaneous test and 5-minute V-funnel test showed that with the increase in the percentage of plastic packaging belt fibers and iron oxide, the time also increased compared to self-compacting concrete (standard) (According to Figure 2).

### 3- 3- Ultrasonic pulse speed test

The results of the ultrasonic pulse velocity test on cubic and cylindrical specimens showed that the ultrasonic pulse velocity increased with the addition of plastic packing belt fibers and iron oxide to self-compacting concrete (According to Figure 3).

### 3- 4- Testing the compressive strength of cubic specimens

The test results on cubic specimens based on the ISIRI 3206 standard showed that the compressive strength increases with the addition of plastic packing belt fibers and iron oxide to self-compacting concrete (According to Figure 4).

Testing the tensile strength of cylindrical samples

The results of tests on cylindrical specimens based on the ASTM C496 standard showed that the tensile strength increases with the addition of fibers and iron oxide to self-compacting concrete.

## 4- Conclusion

According to the main achievement of this article, the following results can be achieved:



**Fig. 1. Slump flow test**



**Fig. 2. V-funnel test**



**Fig. 3. Testing the ultrasonic pulse speed on the test piece.**



**Fig. 4. Compressive strength fracture test of the cubic specimen with concrete breaker jack, Broken specimen of self-compacting concrete with fiber and iron oxide.**

1) The average compressive strength test results of self-compacting concrete cube samples with plastic packing belt fibers and iron oxide during 7 and 28 days of processing showed that with the increase of fibers and iron oxide, it increased by 3.2, 3.79, 6.87, and 68.9 and 1.61, 3.28, 4.34, 7.44% increase in strength compared to the self-compacting concrete sample (control).

2) The average tensile strength test results of cylindrical samples of self-compacting concrete with plastic packing belt fibers and iron oxide during 7 and 28 days of processing showed that with the increase of fibers and iron oxide, 14.37, 26.81, 44.61, and 58.36 respectively 21.09, 35.57, 57.95, 72.57% increased strength compared to the self-compacting concrete sample (control).

3) The average results of the ultrasonic pulse velocity test of cubic samples on self-compacting concrete with plastic packing belt fibers and iron oxide during 28 days of processing showed that with the increase of fibers and iron oxide by 10%, 25%, 32.5%, and 57.5% respectively. An increase in the pulse speed compared to the self-compacting concrete sample (control) was found.

4) The average results of the ultrasonic pulse speed test of cylindrical samples on self-compacting concrete with plastic packing belt fibers and iron oxide during 28 days of

processing showed that with the increase of fibers and iron oxide, 14.28, 19.04, 23.80, and 33.33 respectively percent increased pulse speed compared to the self-compacting concrete sample (control).

#### References

- [1] Shetty, K.K. Nayak, G. Vijayan, V. effect of red mud and iron ore tailings on the strength of selfcompacting concrete. *European Scientific Journal*. edition. (2014) vol.10, No.21.
- [2] Singh, G. Siddique, R. Effect of iron slag as partial replacement of fine aggregates on the durability characteristics of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. (2016) Volume 128, Pages 88-95.
- [3] Singh, G. Siddique, R. Strength properties and micro-structural analysis of self-compacting concrete made with iron slag as partial replacement of fine aggregates. *Construction and Building Materials*. (2016) Volume 127, Pages 144-152.
- [4] Largeau, M.A. Mutuku, R. Thuo, J. Effect of Iron Powder ( $Fe_2O_3$ ) on Strength, Workability, and Porosity of the Binary Blended Concrete. *Open Journal of Civil Engineering*. (2018) Vol.8 No.4.



## بررسی آزمایشگاهی اثر الیاف تسمه بسته‌بندی پلاستیکی و اکسید آهن بر خواص مکانیکی بتن خودتراکم

امیرحسین درخشان نژاد<sup>1</sup>، محبوبه میرزائی علی آبادی\*، محمد صادق شهیدزاده

گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا (ص) بهبهان، بهبهان، ایران.

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱  
بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲  
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵  
ارائه آنلاین: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸

### کلمات کلیدی:

بتن خودتراکم  
اکسید آهن  
الیاف تسمه پلاستیکی  
مقاومت فشاری  
مقاومت کششی

**خلاصه:** بتن خودتراکم به دلیل دوام، کارایی، ویسکوزیته، پایداری، قابلیت جریان‌پذیری و مقاومت به‌عنوان یکی از جدیدترین انواع بتن است. امروزه یکی از نگرانی‌های مهم در محیط‌زیست، دفع زباله‌های جامد هستند. تسمه‌های بسته‌بندی پلاستیکی نوعی از مواد پلاستیکی هستند که پس از استفاده دور ریخته و به‌عنوان ضایعات شناخته می‌شوند. همچنین کارخانه‌های معادن ذوب‌آهن منبع اصلی تولید ضایعات اکسید آهن هستند. در این پژوهش، از تسمه‌های بسته‌بندی پلاستیکی و ضایعات اکسید آهن در طرح مخلوط بتن خودتراکم با درصدهای مختلف (۰، ۵/۰، ۱، ۱/۵، ۲ درصد نسبت به وزن سیمان) و (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ درصد نسبت به وزن شن) به‌عنوان یک ماده افزودنی استفاده شد. برای خواص تازه و سخت شده نمونه‌های بتن خودتراکم با و بدون الیاف و اکسید آهن آزمایش‌های جریان اسلامپ، قیف V، جعبه L، حلقه L، جعبه U و مقاومت فشاری، مقاومت کششی، سرعت پالس آلتراسونیک، چکش اشमित، تأثیر دما بر مقاومت فشاری و نفوذپذیری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد با افزایش درصد الیاف و ضایعات اکسید آهن در بتن خودتراکم برای نمونه‌های مکعبی به ترتیب مقاومت فشاری، سرعت پالس آلتراسونیک، چکش اشमित و تأثیر دما بر مقاومت فشاری ۱ روزه در عمل‌آوری ۲۸ روزه از محدوده ۱/۶۱٪ - ۷/۴۴٪، ۱۰٪ - ۵۷/۵٪، ۳/۲۷٪ - ۹/۲۷٪ و ۵/۲۲٪ - ۲۰/۶۴٪ نسبت به بتن خودتراکم (شاهد) افزایش یافت همچنین مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای در عمل‌آوری ۲۸ روزه از محدوده ۲۱/۰۹٪ - ۷۲/۵۷٪ نسبت به خودتراکم (شاهد) افزایش یافت.

### ۱- مقدمه

نسبت آب به سیمان در بتن خودتراکم نسبت به بتن معمولی کمتر است و خواص سیال خود را با فوق روان‌کننده‌ها و افزودنی‌های افزایش‌دهنده به دست می‌آورد [۴]. در نتیجه، استفاده از بتن خودتراکم در مقایسه با بتن معمولی، بهتر و کارآمدتر است و آن را می‌توان به‌عنوان یک ماده مقرون‌به‌صرفه برای کاهش هزینه‌ها در اجراء زمان و ویریه به دلیل فشرده‌شدن تحت وزن خود در نظر گرفت [۵]. امروزه با هر فعالیت معدنی و صنایع، زباله‌های زیادی ایجاد می‌شود. به دلیل استفاده ناکافی از آن‌ها، معمولاً در دفع و دفن زباله تخلیه می‌شوند و در بیشتر موارد، استفاده زیادی از آن‌ها نمی‌شوند [۶]. حجم زباله‌های جامد تولید شده، از جمله ضایعات حاصل شده از فعالیت‌های فراوری مواد معدنی، صنایع، ذوب‌آهن، شرکت‌های تولیدی مواد پلاستیکی و غیره، یکی از نگرانی‌های اصلی و مهم در آلودگی محیط‌زیست و منابع طبیعی هستند. استفاده از ضایعات صنایع به‌عنوان مصالح ساختمانی برای خاکریزهای جاده‌ها، راه‌آهن‌ها، بتن و سدها به‌جای استفاده از شن و ماسه طبیعی در ۲۰ سال گذشته افزایش یافته است، همچنین

بتن خودتراکم<sup>۱</sup> به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین پیشرفت‌ها در صنعت بتن شناخته شده است. به دلیل نوع و ماهیت بتن از آن در ساخت‌وساز استفاده می‌کنند. بتن خودتراکم از سنگ‌دانه‌های ریز و درشت، سیمان، مواد افزودنی و آب تشکیل می‌شود [۱]. بتن خودتراکم می‌تواند به‌راحتی از انواع اشکال پیچیده یا اشکالی که دارای میلگردهای تقویت‌کننده زیادی هستند، جریان پیدا کند و به دلیل قابلیت شکل‌پذیری آن هیچ فضای خالی باقی نمی‌گذارد [۲]. این نوع بتن دارای تنش تسلیم کم، تغییرشکل‌پذیری بالا، مقاومت در برابر جداشدگی و ویسکوزیته متوسط است. بتن خودتراکم از نظر روانی و کارایی نسبت به بتن معمولی کاراتر است و به‌راحتی در داخل و اطراف قالب بدون ارتعاش و ویریه جریان می‌یابد و قابلیت خودتراز شدن در سطح را دارد [۳]. معمولاً از نظر زمان‌گیری، عمل‌آوری و دوام از بتن معمولی نیز بهتر

### 1 Self-consolidating concrete

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: mirzaie@bkatu.ac.ir



صرفه جویی و بازیافت فرآیندهای تولید و انرژی می‌گردد. تمسه‌های بسته بندی پلاستیکی را می‌توان به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در طرح مخلوط بتن راه حلی موثر برای رفع مشکلات زیست محیطی باشد [۱۲]. به دلیل خواص مکانیکی، چگالی کم، مقاومت شیمیایی، مدول الاستیسیته بالا، خواص کششی و عایق حرارتی در مقایسه با سایر مواد بازیافتی منجر به بهبود خواص مکانیکی بتن می‌شود. استفاده از تمسه‌های بسته بندی پلاستیکی به صورت الیاف در بتن، یکی از بهترین راه حل‌ها برای دفع آن‌ها است و باعث بهبود مقاومت، شکل‌پذیری و دوام در بتن می‌شود [۱۳]. پژوهش‌های مختلفی در رابطه با استفاده از تمسه‌های بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن در بتن صورت گرفته است که مواردی از آن در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است. سینق و همکاران [۲] در سال ۲۰۱۶، به بررسی تأثیر سرباره آهن به‌عنوان جایگزینی جزئی سنگ‌دانه‌های ریز بر ویژگی‌های دوام بتن خودتراکم پرداختند. نتیجه آزمایش نشان داد که بتن خودتراکم حاوی سرباره آهن دوام بهتری نسبت به مخلوط شاهد بتن خودتراکم می‌دهد. سینق و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۶، به بررسی و تحلیل خواص مکانیکی ریزساختاری بتن خودتراکم با سرباره آهن به‌عنوان جایگزینی جزئی سنگ‌دانه‌های ریز پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی بتن خودتراکم حاوی سرباره آهن در تمام سنین بهبود یافت. تجزیه و تحلیل SEM و XRD برای بررسی ریزساختار انجام شد که نشان داد استفاده از سرباره آهن ریزساختار بتن خودتراکم را متراکم‌تر می‌کند. موتوکو و همکاران [۴] در سال ۲۰۱۸، به بررسی اثر پودر آهن ( $Fe_2O_3$ ) بر مقاومت، کارایی و تخلخل بتن پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری و کششی با جایگزینی پودر آهن تا ۵ درصد تغییر می‌کند. کارایی بتن تازه با افزایش مقدار پودر آهن کاهش یافت. عسکری دولت آباد و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۹، به بررسی خواص رئولوژیکی و مکانیکی بتن سبک خودتراکم حاوی ضایعات معدن آهن سیرجان پرداختند. جایگزینی ۵ درصد وزنی و ۱۰ درصد وزنی سیمان با ضایعات معدن آهن به ترتیب منجر به افزایش ۸/۶ و ۲۰ درصدی مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد شد. اسماعیل الحدیثی و همکاران [۷] در سال ۲۰۱۹، به بررسی خواص مکانیکی و رفتاری بتن خودتراکم تقویت شده با الیاف PET پرداختند. آزمایش‌ها نشان دادند که گنجاندن الیاف PET در بتن خودتراکم منجر به افزایش مقاومت فشاری و خمشی می‌شود. بهبود قابل توجهی در مقاومت در برابر بار ضربه و ظرفیت جذب انرژی بتن با الیاف PET مشاهده شد. پاپچیده و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۱۷، به مطالعه آزمایشگاهی مشخصات مکانیکی

استفاده مجدد از ضایعات جامد صنعتی به‌عنوان جایگزین جزئی سیمان در بتن توسط بسیاری از پژوهشگران مورد مطالعه قرار گرفته است [۷]. شن و ماسه طبیعی به دلیل افزایش مصرف در انواع بتن‌ها در حال کاهش بوده و در نتیجه، جایگزین شن و ماسه طبیعی با استفاده از ضایعات در حال رشد است. یکی از ضایعات صنعتی که از فولاد و شمش در کارخانه ذوب‌آهن تولید می‌شود، اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) است که این محصول در طول زمان سرد شدن و سخت شدن شمش فولادی از حالت مذاب، رطوبت و خنک شدن در دستگاه رطوبت‌گیری، پدیدار می‌شود. علت اصلی این موضوع مقدار رطوبت در فولاد و تبخیر آن از سطح فولاد است همچنین به دلیل انبساط و انقباض در سطح فولاد ایجاد و پس از پاک‌سازی از سطح فولاد به‌عنوان ضایعات محسوب می‌شود. اندازه ذرات اکسید آهن از سیمان ریزتر است. اکسید آهن به دلیل ترکیبات شیمیایی دارای خواص فیزیکی و مکانیکی تأثیرگذار است. به دلیل بافت نرم اکسید آهن و ترکیب عناصر آن پیوند خوبی با سیمان پرتلند و همچنین پایداری بالا در مخلوط بتن ایجاد می‌کند [۸]. سالانه حدود ۱۰ هزار تن اکسید آهن در کشور ایران تولید می‌شود [۹]. با افزایش مستمر تولید اکسید آهن، به‌جای دفع آن در محیط‌زیست می‌توان به استفاده از آن در بتن و مخلوط سیمان اقدام نمود که منجر به بهبود دوام و مقاومت می‌شود. به دلیل واکنش‌پذیری پوزولانی کم اکسید آهن، بر خواص مکانیکی سیمان در بتن خودتراکم تأثیرگذار است. باتوجه به اینکه سنگ‌دانه با اندازه ذرات بزرگ‌تر (مانند شن و ماسه) بیشتر باعث ناهمگنی مخلوط، منافذ بین ذرات و تخلخل می‌شوند، استفاده از اکسید آهن جهت بهبود همگنی، فشردگی، کاهش تخلخل، توپری بتن و مقاومت به‌منظور رسیدن به خواص مکانیکی و دوام بتن نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰]. با پیشرفت صنعت، فناوری و رشد جمعیت انسانی تولید زباله‌های جامد از جمله پلاستیک‌ها در حال رشد هستند. امروزه پلاستیک‌ها تقریباً در هر جنبه‌ای از زندگی نقش مهمی را ایفا می‌کنند [۱۱]. اما در حال حاضر، دفع پلاستیک‌ها استفاده شده به دلیل عدم تجزیه پذیری آن‌ها تبدیل به یک چالش شده است. بیشترین درصد زباله‌های پلاستیکی، تمسه‌های بسته بندی هستند. تمسه‌های بسته بندی پلاستیکی به عنوان یکی از منابع آلودگی در محیط زیست به شمار می‌آیند. ۷۰ درصد از تمسه‌های بسته بندی به محل دفن زباله منتقل، ۲۰ درصد از آن‌ها سوزانده و تنها ۷ درصد از آن‌ها سالانه مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرند که خطر جدی برای طبیعت و محیط زیست هستند. از این رو، استفاده از تمسه‌های بسته بندی پلاستیکی به عنوان مواد بازیافتی - ضایعاتی در بتن نیز موجب کاهش آلودگی‌های محیط زیستی،

مقاومت کششی و فشاری در بتن خودتراکم از الیاف بسته‌بندی پلاستیکی و اکسید استفاده گردید. در طرح مخلوط بتن خودتراکم از ژل نانو سیلیس و VMA جهت افزایش مقاومت، تقویت ناحیه انتقال بتن (فاز سوم)، تقویت ویسکوزیته افزایش یافته و افزایش خواص رئولوژیکی بتن استفاده شد. تفاوت این پژوهش با بقیه طرح‌ها این است که آزمایش نفوذپذیری، تأثیر دما بر مقاومت فشاری، سرعت پالس آلتراسونیک و چکش اشیت نیز برای نمونه‌های مکعبی بتن خودتراکم با و بدون ضایعات اکسید آهن و الیاف بسته‌بندی پلاستیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. خواص رئولوژیکی و مکانیکی بتن خودتراکم حاوی ضایعات اکسید آهن<sup>۱</sup> و ضایعات الیاف بسته‌بندی پلاستیکی<sup>۲</sup> به‌عنوان جایگزین شن و سیمان در این مقاله ارائه و پرداخته شد. هدف از افزودن (IOW) و (PPFW) در طرح مخلوط بتن خودتراکم جهت بهبود و افزایش مقاومت کششی و فشاری است.

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

### ۲-۱- مصالح مصرفی

#### ۲-۱-۱- سیمان

باتوجه به اینکه در بتن‌های خودتراکم، حجم خمیر سیمان نسبت به بتن‌های معمولی کم‌تر است، انتخاب نوع سیمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق برای تمامی ۵ طرح مخلوط‌ها از سیمان پرتلند تیپ ۲ تولید کارخانه سیمان بهبهان استفاده شد که طبق استاندارد ASTM C150 [۱۹] می‌باشد (مطابق جدول ۱ و ۲).

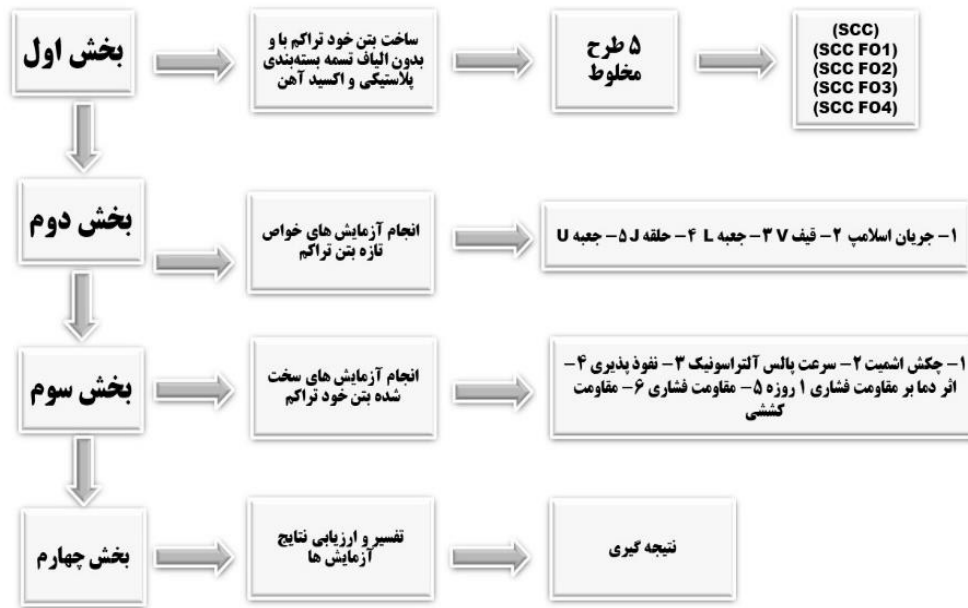
#### ۲-۱-۲- الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی

تسمه پلاستیکی<sup>۳</sup> یا همان (پلی اتیلن ترفتالات) یک ماده مقاوم و بسیار مناسب برای بسته‌بندی کالاهای صنعتی و صنایع است. پلی اتیلن ترفتالات یکی از پرکاربردترین در انواع تسمه‌های پلاستیکی است. پلی اتیلن ترفتالات از باز یافت بطری‌های پلاستیکی تهیه می‌شود. هنگامی که تسمه پلاستیکی بین ۲۰ تا ۴۰ درصد استحکام کششی‌اش، کشیده شود، در حالت استاندارد بین ۲ تا ۶ درصد افزایش طول دارد. در این طرح، از الیاف تسمه بسته‌بندی پلاستیکی با ضخامت ۰/۲ میلی‌متر با طول ۳۰ میلی‌متر و عرض ۰/۳ میلی‌متر برش داده و به مقدار وزنی سیمان در بتن خودتراکم استفاده شد (مطابق جدول ۳ و شکل ۲).

بتن‌های حاوی الیاف‌های فولادی و پلی پروپیلن در دماهای بالا را بررسی کردند. استفاده از الیاف در بتن، باعث بهبود مقاومت، شکل پذیری و دوام بتن می‌شود. نتایج نشان داد که اثرات آتش بر روی بتن‌های حاوی الیاف فولادی مخرب‌تر بود. مقاومت فشاری و کششی بتن‌های حاوی الیاف فولادی، ۴۰٪ و ۵۰٪ بیشتر از بتن‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن بود. قله‌کی و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۲۰، به بررسی عملکرد بتن حاوی فنرهای بازیافتی در شرایط پس از آتش سوزی پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری و کششی نمونه‌های بتنی با افزودن درصد فنرهای ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد بهبود یافته است اما این دوام با افزایش کسر حجمی فنرها کاهش یافت. ژائو و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۲۱، به بررسی استفاده از ضایعات آهنی در بتن با کارایی بالا و تعیین خواص تازه و رفتارهای فشاری بتن پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش ضایعات آهنی، کارایی بتن کاهش می‌یابد. جاسکوفسکا و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۲۲، به بررسی خواص منتخب بتن خود تراکم با PET بازیافتی پرداختند. این تحقیق نشان داد که هم خواص جریان و هم خواص بتن سخت شده با PET کاهش می‌شوند. پاچیده و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۲۲، مقاومت فنرهای بازیافتی SCLC و بتن الیافی در معرض دماهای بالا را بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که الیاف و فنرهای فولادی مقاومت فشاری بتن را تا ۲۰ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌دهد. الیاف پلی پروپیلن پس از قرار گرفتن در معرض دماهای بالا، استحکام کششی را تا ۷۰ درصد افزایش دادند. پاچیده و همکاران [۱۷] در سال ۲۰۲۳، به بررسی خواص مکانیکی بتن خودتراکم حاوی فنرهای فولادی بازیافتی پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از فنر با قطر ۱۲ میلی‌متر استحکام فشاری، کششی و خمشی را به ترتیب به میزان ۲۹، ۵۲ و ۳۶ درصد افزایش داد. قطر فنرها موثرترین پارامتر بر مقاومت بتن است. درخشان نژاد و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۲۴، بررسی آزمایشگاهی اثر الیاف بازیافتی پلی اتیلن ترفتالات بر خواص مکانیکی بتن خود تراکم پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش درصد الیاف پلی اتیلن ترفتالات در بتن خودتراکم مقاومت کششی نسبت به بتن خودتراکم بدون الیاف افزایش یافت.

یکی از مهم‌ترین ارکان در تولید علم، لحاظ نمودن رویکرد توسعه پایدار و بهسازی است. توسعه پایدار با مفهوم استفاده از پتانسیل و امکانات موجود در راستای استفاده بهینه از منابع در دسترس، حائز اهمیت است. جنبه نوآوری این پژوهش، در جهت استفاده بهینه از منابع ضایعاتی و به حداقل رساندن ضایعات و آلودگی‌های محیط زیستی است. جهت افزایش

1 Iron oxide waste  
2 Plastic packaging fiber waste  
3 Plastic strap



شکل ۱. فلوچارت کلی روند تحقیق.

Fig. 1. General flowchart of the research process.

جدول ۱. مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۲.

Table 1. Chemical characteristics of type 2 portland cement.

تحلیل شیمیایی	IR <sup>۱</sup>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	LOI	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	Free Cao
درصد	۰/۲۴	۲۱/۶۸	۴/۸۲	۳/۸۸	۶۵/۴۰	۲/۰۸	۰/۶۸	۰/۲۵	۰/۸۸	۰/۲۰	۶۰/۶۳	۱۶/۴۶	۶/۲۱	۱۱/۸۰	۰/۷۰

جدول ۲. مشخصات مکانیکی سیمان پرتلند تیپ ۲.

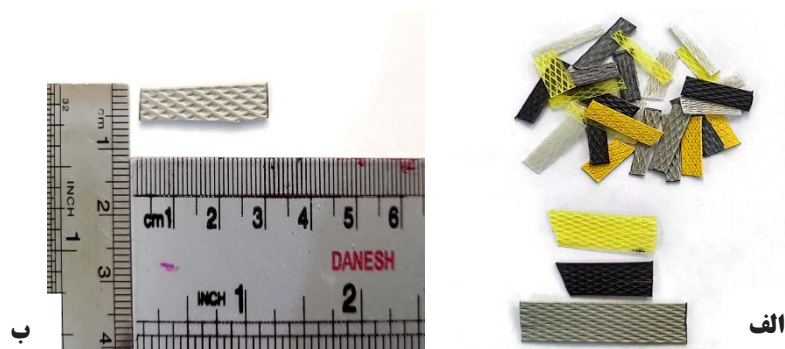
Table 2. Mechanical characteristics of type 2 portland cement.

مشخصات	نرمی سیمان (بلین) (cm <sup>2</sup> /g)(BF)	زمان تنظیم اولیه (دقیقه)(IST)	زمان تنظیم نهایی (دقیقه)(FST)	مقاومت فشاری ۳ روزه (kg/cm <sup>2</sup> )	مقاومت فشاری ۷ روز (kg/cm <sup>2</sup> )	مقاومت فشاری ۲۸ روز (kg/cm <sup>2</sup> )
میزان	۳۲۲۰	۱۵۵	۲۷۰	۲۴۰	۳۰۰	۴۴۶

جدول ۳. مشخصات الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی.

Table 3. Characteristics of plastic packaging belt fibers.

ویژگی ها	مدول الاستیسیته (GPa)	وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	جذب آب (۲۴ ساعته)	مقاومت کششی (GPa)	جمع شدگی	ازدیاد طول در شکست	ازدیاد طول در تسلیم	دمای ذوب (°C)	طول (سانتی متر)	دمای خمشی حرارتی (°C)	ضخامت (میلی متر)	عرض (میلی متر)
مقدار	۹/۵	۰/۷۱	٪ ۰/۰۹	۸/۲	٪ ۰/۰۹	٪ ۴۱	٪ ۳	۱۹۴	۳	۸۰	۰/۲	۰/۳



شکل ۲. الف) الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی ب) اندازه الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی.

Fig. 2. a) Plastic packing belt fibers b) Size of plastic packing belt fibers.

#### ۲-۱-۴- سنگدانه ها

سنگدانه درشت (شن) با حداکثر اندازه ۱۲/۵ میلی متر و ماسه با حداکثر ۲/۳۶ میلی متر در این طرح مخلوط استفاده شدند. شن و ماسه مورد استفاده در این طرح مخلوط، از رامهرمز خوزستان تهیه شدند. با استفاده از الک های مناسب به دانه بندی ماسه و شن (نخودی، بادامی) پرداخته شد. برای شن نخودی رد شده از الک با شماره ۳/۸، شن بادامی رد شده از الک شماره ۱/۲، ماسه رد شده از الک شماره ۸ استفاده شد که براساس استاندارد ASTM C33 [۲۰] می باشد (مطابق شکل ۵ و جدول ۶).

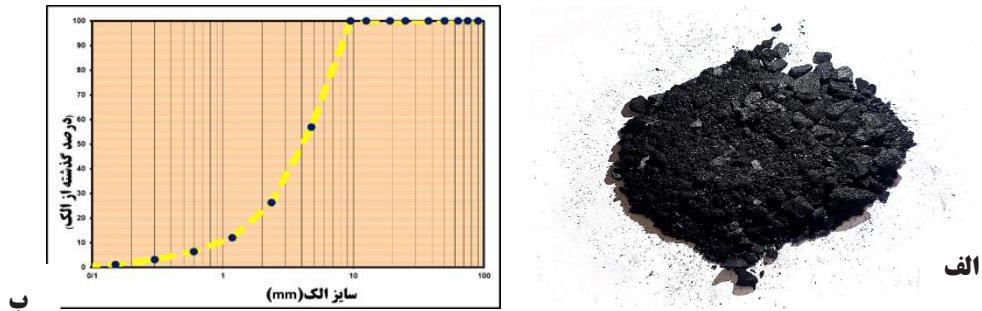
#### ۲-۱-۵- فوق روان کننده و ژل نانو دوده سیلیس

به منظور رسیدن به کارایی موردنظر در مخلوطها، باتوجه به تأثیر مقدار آب اضافی بر روی بتن منجر به آب انداختگی، جداسازی و مقاومت

#### ۲-۱-۳- اکسید آهن

اکسید آهن ترکیبی شیمیایی است که از آهن و اکسیژن تشکیل می شود. خاصیت مهم اکسید آهن به دلیل اندازه کوچکشان که ده برابر از ذرات سیمان کوچک تر هستند، به خوبی در شبکه سیمان جای می گیرند و باتوجه به اندازه ریز آنها با سیمان واکنش نشان داده و بر گیرش نهایی سیمان تأثیرگذار است و سرعت گیرش را افزایش می دهند. ترکیب سیمان با اکسید آهن می تواند مقاومت مواد قلیایی را نیز افزایش دهد. ترکیبات اصلی اکسید آهن عبارتند از: دی اکسید سیلیسیم (SiO<sub>2</sub>)، آلومینیوم اکسید (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، کلسیم اکسید (CaO)، اکسید منیزیم (MgO) و اکسید آهن III (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) هستند که ۹۵ درصد ترکیب را تشکیل می دهند. برای استفاده از اکسید آهن در بتن خودتراکم، از الک رد شده با شماره ۳۰ مورد استفاده قرار گرفت (مطابق شکل ۳، ۴ و جدول ۴، ۵).





شکل ۳. الف) اکسید آهن (دوده) ب) دانه بندی اکسید آهن از الک های مختلف.

Fig. 3. a) Iron oxide (soot) b) Granulation of iron oxide from different sieves.



شکل ۴. آزمایش سوزن ویکات سیمان با و بدون اکسید آهن.

Fig. 4. Vicat needle test of cement with and without iron oxide.

جدول ۴. نتایج آزمایش ویکات سیمان با و بدون اکسید آهن.

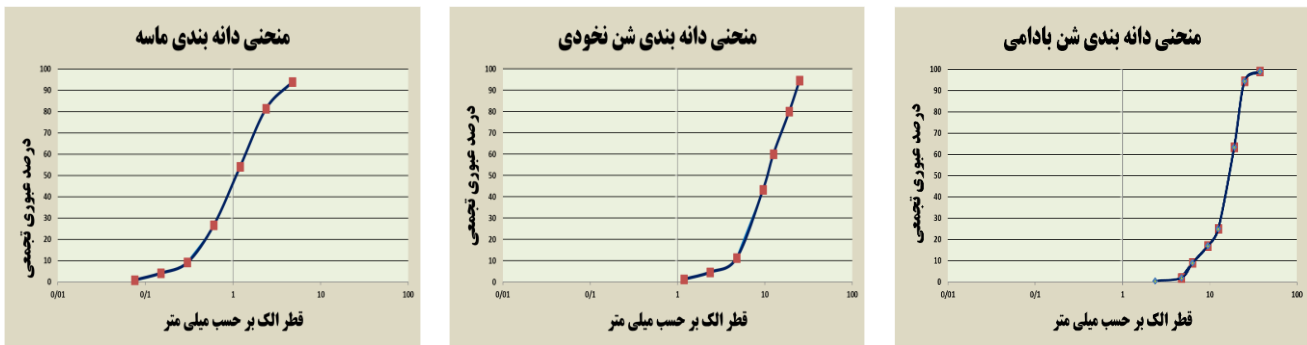
Table 4. Vicat test results of cement with and without iron oxide.

مشخصات	زمان گیرش (دقیقه)	اندازه سوزن (سانتی متر)
سیمان پرتلند تیپ ۲	۱	۲/۸
سیمان پرتلند تیپ ۲ + اکسید آهن	۱	۱/۵

جدول ۵. مشخصات اکسید آهن.

Table 5. Characteristics of iron oxide.

ویژگی‌ها	مدول الاستیسیته (GPa)	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	جذب آب (۲۴ ساعته)	مقاومت کششی (GPa)	(دمای ذوب °C)
مقدار	۱۸۳	۵/۲۷	٪۱۵۱	۸۱۰	۳۲۱۰



شکل ۵. دانه‌بندی شن نخودی، بادامی و ماسه

Fig. 5. Granulation of pea gravel, almond gravel and sand.

جدول ۶. مشخصات سنگ‌دانه‌ها.

Table 6. Specifications of aggregates.

ویژگی‌ها	درصد جذب آب	درصد جذب آب شن نخودی	درصد جذب آب شن بادامی
مقدار (%)	۲/۲	۰/۸۰	۰/۹۰

در حالت خمیری و بهبوددهنده کیفیت بتن خودتراکم، از نانو سیلیس که بر پایه دوده سیلیسی و کاهنده قوی آب بتن است، استفاده شد. استفاده از نانو سیلیس سبب افزایش مقاومت فشاری، کاهش نفوذپذیری بتن شده و امکان سهولت بتن‌ریزی با افزایش اسلامپ بتن و کارایی بالا میسر می‌گردد همچنین نانو سیلیس می‌تواند ناحیه انتقال (فاز سوم) را تقویت و بر مقاومت نهایی بتن تأثیرگذار باشد که مطابق با استاندارد ASTM C 494 [۲۱] است (مطابق جدول ۷).

می‌شود. استفاده و انتخاب نوع روان‌کننده جهت کاهش اثر منفی آب زیاد بر روی خواص بتن تازه خودتراکم بسیار مورد اهمیت است. چند عامل اصلی در انتخاب نوع روان‌کننده شامل میزان کارایی، مقدار دوز مصرفی، سازگاری با سیمان پرتلند مهم است. در این پژوهش، برای رسیدن به خواص مکانیکی بتن خودتراکم، از SUPER PLAST PC5000 که بر پایه پلی کربوکسیلات اتر به‌عنوان یک نوع آب کاهندگی و افزایش‌دهنده بسیار قوی بتن است استفاده گردید. همچنین برای رسیدن به خواص رئولوژیک

جدول ۷. مشخصات فنی فوق روان کننده و نانو سیلیس.

Table 7. Technical specifications of super lubricant and nano silica.

ویژگی‌ها	حالت فیزیکی	جرم مخصوص (کیلوگرم بر لیتر)	PH	رنگ
فوق روان کننده SUPER PLAST PC5000				
مشخصات	مایع	۱/۱	۶/۲	زرد
نانو سیلیس				
مشخصات	مایع غلیظ	۱/۳۵	۹	خاکستری

جدول ۸. ویژگی آب شرب.

Table 8. Characteristics of drinking water.

ویژگی‌ها	دما (سانتی‌گراد)	PH	غلظت یون کلرید
مقدار	۲۰	۶	۵۰

جدول ۹. پودر سنگ‌آهک قم.

Table 9. Qom limestone powder.

تجزیه و تحلیل شیمیایی	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Cao	SO <sub>3</sub>	LOI
درصد	۲/۸	۰/۳۵	۰/۵	۱/۸	۵۱/۲۲	۱/۲۴	۴۳/۲

زیاد، اصطکاک بین دانه‌های را افزایش داده و باعث افزایش لزجت بتن می‌گردند. نتایج تجزیه شیمیایی و مشخصات فیزیکی پودر سنگ‌آهک در جدول ۹ نشان داده شده است. در این طرح، از پودر سنگ‌آهک قم استفاده شد.

۲-۱-۸- قوام دهنده و کنترل کننده رئولوژی بتن

افزودنی پودری VMA<sup>1</sup> برای تولید بتن خودتراکم با ویسکوزیته افزایش یافته و خواص رئولوژیکی کنترل شده را توسعه می‌دهد. VMA در کنترل آب اضافی بتن نقش بسزایی دارد. در این تحقیق از افزودنی Mas-ter Matrix VMA 355 بر پایه رشته‌های مولکولی پلیمری سنگین و با پایداری فوق‌العاده استفاده گردید. مقدار این ماده در طرح مخلوط بتن نسبت

۲-۱-۶- آب

آب شرب در طرح مخلوط بتن خودتراکم، جهت تولید و عمل‌آوری آزمون‌ها مورد استفاده قرار گرفت که منطبق بر الزامات ASTM C 94 [۲۲] است (مطابق جدول ۸).

۲-۱-۷- پودر سنگ‌آهک

یکی از مواد لازم جهت تأمین ویسکوزیته مناسب در بتن خودتراکم پودر سنگ است. پرکننده‌هایی چون پودر سنگ به دلیل دارابودن ذرات بسیار ریز، باعث پر کردن فضای خالی و حفره‌های موجود بین ذرات سیمان و سنگ‌دانه شده و لذا باعث کاهش تخلخل و افزایش درجه توپری بتن می‌گردند. این دسته از عناصر پرکننده به دلیل دارابودن سطح ویژه بسیار

1 Vanillyl mandelic Acid



شکل ۶. مصالح مورد مصرف در طرح اختلاط بتن خودتراکم (۱-ماسه، ۲-شن نخودی، ۳-شن بادامی، ۴-پودر سنگ، ۵-آب، ۶-فوق روان کننده، ۷-ژل نانو سیلیس، ۸-افزودنی اصلاح کننده ویسکوزیته، ۹-سیمان).

Fig. 6. Materials used in the self-compacting concrete mixing plan (1-sand, 2-pea sand, 3-almond sand, 4-stone powder, 5-water, 6-superlubricant, 7-nano silica gel, 8-modification additive Viscosity agent, 9-cement).

### ۲-۳-۱- آزمایش جریان اسلامپ

آزمایش جریان اسلامپ به دلیل سادگی اجرا، برای تعیین کارایی بتن خودتراکم بسیار متداول است. آزمایش جریان اسلامپ یک روش استاندارد برای اندازه‌گیری قابلیت جریان پذیری بتن است. قابلیت جریان بتن نشان‌دهنده اندازه موادی است که بتن بتواند حمل کند و همچنین اطلاعاتی را درباره خواص خودتراکمی بتن ارائه می‌دهد که می‌تواند برای بهبود عملکرد و دوام سازه‌ها بسیار مهم باشد. در آزمایش جریان اسلامپ، قطر اسلامپ (جریان‌پذیری) و زمان جریان اسلامپ نیز مهم است. آزمایش جریان اسلامپ براساس استاندارد ASTM C1611 [۲۴] است (مطابق شکل ۷).

### ۲-۳-۲- آزمایش قیف V

آزمایش قیف V جهت سنجش توانایی بتن خودتراکم برای تغییر جهت جریان و عبور از میان مقاطع مسلح و مقید، بدون جداشدگی دانه‌ها و وقوع انسداد در جریان انجام می‌گیرد. در آزمایش قیف V، زمان جریان نیز مهم است. آزمایش قیف V برای اندازه‌گیری توانایی بتن خودتراکم در جریان و پخش شدن مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات به دست آمده از این آزمایش، ارزیابی کیفیت و خصوصیات بتن خودتراکم را فراهم می‌کند، از جمله پایداری و کارایی جریان. آزمایش قیف V مطابق با استاندارد ISI-

به وزن سیمان محاسبه می‌شود که منطبق بر استاندارد ASTM C 494/C 494M [۲۳] است (مطابق شکل ۶).

### ۲-۲- طرح مخلوط

۵ طرح مخلوط بتن خودتراکم با و بدون اثر الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند. میزان درصد الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن به ترتیب با نسبت‌های مختلف (۰.۱٪، ۰.۱۵٪، ۰.۱٪، ۰.۱۵٪، ۰.۲٪ نسبت به وزن سیمان و ۰.۵٪، ۱.۰٪، ۱.۵٪، ۲.۰٪ نسبت به وزن شن) می‌باشند. در تمامی ۵ طرح مخلوط، مقدار مصالح ثابت بوده و میزان درصد الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن متغیر است، به دلیل اینکه نتایج آزمایش‌ها دقیق‌تر و شفاف‌تر بیان شوند (مطابق جدول ۱۰).

### ۲-۳- انجام آزمایش

مصالح ذکر شده را جهت انجام آزمایش در مدت ۱۰ دقیقه در مخلوط کن مخلوط شدند. پس از ترکیب شدن مصالح در مخلوط کن لازم است برای خواص تازه بتن خودتراکم با و بدون الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن آزمایش جریان اسلامپ، آزمایش قیف V، آزمایش جعبه L، آزمایش حلقه J و آزمایش جعبه U انجام شود.

جدول ۱۰. طرح مخلوط بتن خودتراکم با و بدون الیاف تسمه بندی پلاستیکی و اکسید آهن.

Table 10. Mixing design of self-compacting concrete with and without plastic packing belt fibers and iron oxide.

بتن خودتراکم بدون الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی (۰٪) و اکسید آهن (۰٪)									
(SCC)									
سیمان (kg/m <sup>3</sup> )	شن نخودی (kg/m <sup>3</sup> )	شن بادامی (kg/m <sup>3</sup> )	ماسه (kg/m <sup>3</sup> )	آب (kg/m <sup>3</sup> )	فوق روان کننده - سوپر ژل نانو سیلیس (kg/m <sup>3</sup> )	پودر سنگ (kg/m <sup>3</sup> )	VMA (kg/m <sup>3</sup> )	الیاف تسمه بسته بندی (kg/m <sup>3</sup> پلاستیکی)	اکسید آهن (kg/m <sup>3</sup> )
۴۰۰	۳۵۰	۲۴۰	۱۰۶۷	۱۵۴	۱۲-۷	۲۰۷	۰/۱۶۷	-	-
بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی (۰/۵٪) و اکسید آهن (۰/۵٪)									
(SCC FO1)									
۴۰۰	۳۵۰	۲۴۰	۱۰۶۷	۱۵۴	۱۲-۷	۲۰۷	۰/۱۶۷	۲/۵	۲۴/۵
بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی (۰/۱٪) و اکسید آهن (۰/۱۰٪)									
(SCC FO2)									
۴۰۰	۳۵۰	۲۴۰	۱۰۶۷	۱۵۴	۱۲-۷	۲۰۷	۰/۱۶۷	۵	۴۹
بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی (۰/۱۵٪) و اکسید آهن (۰/۱۵٪)									
(SCC FO3)									
۴۰۰	۳۵۰	۲۴۰	۱۰۶۷	۱۵۴	۱۲-۷	۲۰۷	۰/۱۶۷	۷/۵	۷۳/۵
بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی (۰/۲٪) و اکسید آهن (۰/۲۰٪)									
(SCC FO4)									
۴۰۰	۳۵۰	۲۴۰	۱۰۶۷	۱۵۴	۱۲-۷	۲۰۷	۰/۱۶۷	۱۰	۹۸

روش استاندارد برای اندازه گیری جریان بتن خودتراکم است. در این آزمایش، قطر اسلامپ (جریان پذیری) و زمان جریان اسلامپ نیز مهم است. آزمایش حلقه J مطابق با استاندارد INSO 11271 [۲۷] می باشد (مطابق شکل ۱۰).

۲-۳-۵- آزمایش جعبه U

برای اندازه گیری قابلیت پر کردن و قابلیت عبور بتن خودتراکم استفاده می شود. این آزمایش برای سنجش توانایی عبور بتن خود تراکم از خروجی های تنگ وب باریک تحت ارتفاع مشخص طراحی شده است که زمان و اختلاف ارتفاع در مجرا مهم است. آزمایش جعبه U مطابق با استاندارد UNI 11044 [۲۸] می باشد (مطابق شکل ۱۱).

۲-۴- قالب گیری نمونه های بتن

بتن تازه در درون قالب های مکعبی با ابعاد ۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی متر

SIR 3203-9 [۲۵] می باشد (مطابق شکل ۸).

۲-۳-۳- آزمایش جعبه L

هدف از آزمایش جعبه L برای بررسی قابلیت روانی، قدرت عبور بتن از بین میلگردها، پایداری در مقابل جداسازی دانه ها و قابلیت پرکنندگی است. آزمایش جعبه L یک روش استاندارد در آزمون بتن است که برای ارزیابی قابلیت عبور بتن از بین میلگردها و پر شدن قالب مورد استفاده قرار می گیرد. در آزمایش جعبه L زمان و جریان انسداد مهم است. آزمایش جعبه L مطابق با استاندارد INSO 3203-10 [۲۶] می باشد (مطابق شکل ۹).

۲-۳-۴- آزمایش حلقه J

آزمایش حلقه J در واقع شبیه سازی عبور بتن از میان میلگردها است و به منظور بررسی قابلیت عبور به کار گرفته می شود. آزمایش حلقه J یک



شکل ۷. آزمایش جریان اسلامپ

**Fig. 7. Slump flow test**



شکل ۸. آزمایش قیف V

**Fig. 8. V-funnel test**



شکل ۹. آزمایش جعبه L

**Fig. 9. L box test**



شکل ۱۰. آزمایش حلقه J

Fig. 10. J ring test



شکل ۱۱. آزمایش جعبه U

Fig. 11. U box test

C805 [۲۹]، آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک<sup>۲</sup> براساس استاندارد استاندارد  
ASTM C-597 [۳۰]، آزمایش نفوذپذیری<sup>۳</sup> براساس استاندارد استاندارد  
DIN 1048 [۳۱]، تاثیر دما بر مقاومت فشاری، مقاومت فشاری آزمونهای  
مکعبی<sup>۴</sup> طی عمل آوری ۷ و ۲۸ روزه براساس استاندارد ISIRI 3206  
[۳۲] و مقاومت کششی آزمونهای استوانه‌ای<sup>۵</sup> طی عمل آوری ۷ و ۲۸  
روزه براساس استاندارد ASTM C496 [۳۳] انجام شد. جهت شکستن

و قالب‌های استوانه‌ای با ابعاد ۳۰۰×۱۵۰ قالب‌گیری گردیدند. نمونه‌ها به  
مدت ۲۴ ساعت جهت سخت شدن در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری  
شدند و نمونه‌ها پس از گذشت ۲۴ ساعت از قالب‌ها خارج و در حوضچه  
آب جهت عمل آوری در مدت ۷ و ۲۸ روزه نگهداری شدند. در مجموع  
۱۰۰۰ نمونه بتن خودتراکم با و بدون الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی  
و اکسید آهن ساخته شد که از این تعداد ۵۰۰ آزمون در قالب مکعبی و  
۵۰۰ آزمون در قالب استوانه‌ای ساخته شدند. پس از رسیدن ۵ طرح مخلوط  
به سنین ۲۸ روز، آزمایش چکش اشمیت<sup>۱</sup> براساس استاندارد ASTM

- 2 Ultrasonic pulse speed test
- 3 Permeability test
- 4 Compressive strength of cubic specimens
- 5 Tensile strength of cylindrical specimens

- 1 Schmidt hammer test



شکل ۱۲. آزمایش چکش اشمیت بر روی نمونه.

Fig. 12. Schmidt hammer test on the specimen.

مکعبی ۱۵۰ میلی‌متر و برای نمونه‌های استوانه‌ای ۳۰۰ میلی‌متر است که مطابق با استاندارد ISO1920-7 [۳۵] است. مطابق رابطه (۱) فاصله (cm) بر عدد قرائت (ms) که روی نمایشگر دستگاه نمایش داده شده را تقسیم کرده و در ۱۰ ضرب می‌شود تا سرعت پالس برحسب (km/s) تعیین گردد. معیار تعیین کیفیت بتن بر اساس این آزمایش با کنترل سرعت موج در بازه‌های استاندارد تعیین شده (km/s) به دست می‌آید که هر چه مقدار آن کمتر از ۳ باشد نتیجه مطلوب نیست و اگر از ۳ بالاتر باشد نتیجه مطلوب و قابل قبول است [۳۶] (مطابق شکل ۱۳).

$$km/s = \frac{cm}{ms} \times 10 \quad (1)$$

#### ۲-۷- آزمایش نفوذ پذیری نمونه‌ها مکعبی

آزمایش نفوذپذیری بتن خودتراکم برای نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متری جهت حفظ نمونه‌ها در برابر آب و دوام بتن در نظر گرفته شد که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عملکردی، نفوذپذیری نیز ارتباط تنگاتنگی با دوام بتن، به ویژه مقاومت آن، در برابر زوال تدریجی تحت قرار گرفتن در معرض آب و هوای شدید و نشست ناشی از نفوذ آب دارد، به ویژه زمانی که حاوی گازها یا مواد معدنی تهاجمی در محلول باشد. نفوذپذیری بتن در برابر آب، خوردگی ناشی از کربناته شدن و ... از جمله عوامل بسیار تاثیرگذار در دوام بتن است. منظور از دوام بتن، توانایی آن برای مقابله با عوامل جوی، حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و هرگونه

آزمونه‌ها از دستگاه جک بتن شکن استفاده شد. در نهایت پس از آزمایش چکش اشمیت، آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک و شکست آزمونه‌ها، نتایج آزمونه‌ها با بتن خودتراکم (شاهد) مورد مقایسه و ایجاد رابطه همبستگی با آزمایش چکش اشمیت و سرعت پالس آلتراسونیک مورد بررسی قرار گرفتند.

#### ۲-۵- آزمایش چکش اشمیت

جهت آزمایش مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای از آزمایش چکش اشمیت استفاده شد. چکش اشمیت برای سنجش ویژگی‌های مواد کشسان و به‌ویژه سنجش مقاومت فشاری بتن به کار گرفته می‌شود. امروزه چکش اشمیت به‌عنوان یک آزمایش غیرمخرب موردتوجه قرار گرفته و اخیراً به‌عنوان یک ابزاری مؤثر برای مقاومت سطح اجسام باتوجه‌به سختی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۳]. به این صورت قرائت قابل اعتماد و ثبت عدد شاخص با چکش اشمیت بر روی آزمونه‌ها انجام و نتایج آن ذکر شد که مطابق با استاندارد ISO1920-7 [۳۵] است (مطابق شکل ۱۲).

#### ۲-۶- آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک

آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک یکی از روش‌های آزمایش غیرمخرب است که امکان تجزیه و تحلیل عمیق همگنی مواد، یکنواختی، کیفیت، فرسودگی، یافتن عیوب، وجود حفره‌های داخلی و خلل و فرج در بتن سخت شده را تعیین می‌کند. سرعت امواج آلتراسونیک، در این پژوهش در محدوده فرکانسی ۲۰ تا ۱۷۰ کیلوهرتز است. همچنین از روش مستقیم برای انجام آزمایش استفاده شد و فاصله بین دو مبدل آلتراسونیک برای آزمونه‌های





شکل ۱۳. آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک بر روی نمونه.

Fig. 13. Testing the ultrasonic pulse speed on the test piece.

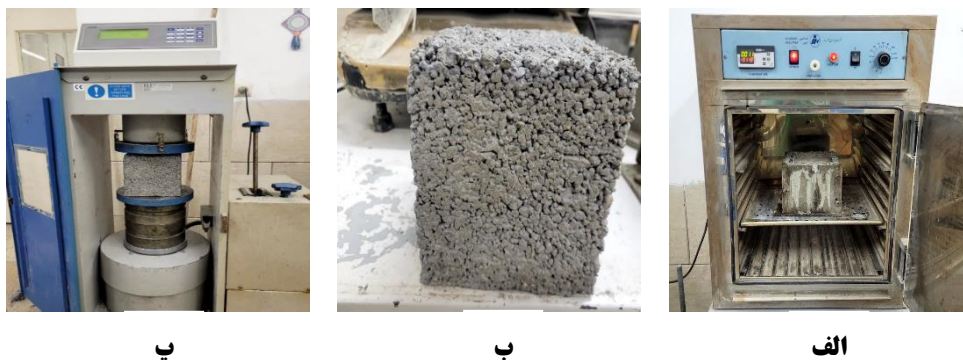


شکل ۱۴. دستگاه نفوذپذیری بتن.

Fig. 14. Concrete permeability device.

۲-۸- آزمایش تاثیر دما بر مقاومت آزمونه‌های مکعبی  
این آزمایش نشان‌دهنده تأثیر دماهای مختلف بر محیط و داخل بتن خودتراکم با و بدون اکسید آهن و الیاف تسمه بسته‌بندی پلاستیکی است. ابتدا آزمونه‌های بتن تازه خودتراکم با و بدون الیاف و اکسید در قالب مکعبی قالب‌گیری می‌گردند، سپس قالب‌ها را در فور خشک‌کننده<sup>۱</sup> مطابق شکل ۱۵ با دماهای مختلف قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت که آزمونه‌ها سخت

فرآیندی که منجر به زوال و خرابی و کاهش طول عمر مفید و بهره دهی آن می‌شود، است. بنابراین، تعیین ویژگی‌های نفوذپذیری بتن خودتراکم اهمیت قابل‌توجهی دارد. این آزمایش برای آزمونه‌ها مکعبی در معرض فشار هیدرواستاتیک ۵ بار که مطابق با استاندارد [۳۱] DIN 1048، اندازه‌گیری مقدار گردید. آب در طول یک بازه زمانی معین از طریق منافذ بتن نفوذ می‌کند و ضریب نفوذپذیری را محاسبه می‌شود. آزمایش نفوذپذیری بتن در دوره ۷۲ ساعته در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد انجام شد (مطابق شکل ۱۴).



شکل ۱۵. الف) آزمون مکعبی در آون ب) آزمون بعد از خروج از آون پ) شکست آزمون با دستگاه مقاومت فشاری.

Fig. 15. a) Cubic specimen in the oven b) Specimen after leaving the oven c) Failure of the specimen with the compressive strength device.

۲-۹- آزمایش مقاومت فشاری آزمونهای مکعبی  
مقاومت فشاری ۵ طرح مخلوط بر اساس سنین ۷ و ۲۸ روزه با ابعاد مکعبی ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی متری مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آزمایش بر روی آزمونهای مکعبی براساس استاندارد ISIRI 3206 [۳۲] نشان داد که با اضافه شدن الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن به بتن خودتراکم، مقاومت فشاری افزایش می یابد (مطابق شکل ۱۶).

شدند، قالبها را از فور خشک کننده خارج کرده و تست مقاومت فشاری ۱ روزه را انجام و نتایج ثبت گردید. به دلیل اینکه بتن خودتراکم در آون به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و عملیاتی در بتن از قبیل تغییرات دما، گرمای هیدراتاسیون در سیمان، خواص حرارتی بتن خودتراکم، انتقال حرارت از قالب به بتن خودتراکم و غیره که به طور قابل توجهی بر پایداری و دوام بتن اثرگذار هستند؛ بنابراین مقاومت فشاری ۱ روزه بتن خودتراکم انجام شد [۳۷].



ب



الف

شکل ۱۶. الف) آزمایش شکست مقاومت فشاری آزمون مکعبی با دستگاه جک بتن شکن ب) آزمون شکسته شده بتن خودتراکم با الیاف و اکسید آهن.

Fig. 16. a) Compressive strength fracture test of cubic specimen with concrete breaker jack b) Broken specimen of self-compacting concrete with fiber and iron oxide.



شکل ۱۷. الف) آزمایش کششی شکست آزمون استوانه‌ای با دستگاه جک بتن شکن ب) آزمون شکسته شده بتن خودتراکم با الیاف و اکسید آهن.

Fig. 17. a) Tensile fracture test of a cylindrical specimen with a concrete breaker jack b) Broken specimen of self-compacting concrete with fibers and iron oxide.

به دست آمده است. نتایج آزمایش لحظه‌ای و آزمایش ۵ دقیقه قیف V نشان داد که با افزایش درصد الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن، زمان نیز به ترتیب ۰/۹، ۱/۶، ۲/۵، ۳/۱، ۱/۱، ۱/۸، ۲/۵، ۳/۹ ثانیه نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت.

### ۳-۳- آزمایش جعبه L

نتایج آزمایش جعبه L بتن خودتراکم با اثر درصدهای مختلف الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن در شکل ۲۰ بر اساس میانگین به دست آمده است. نتایج آزمایش جعبه L نشان داد با افزایش درصد الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن، زمان نیز به ترتیب ۰/۳، ۱، ۱/۵، ۲ ثانیه نسبت به بتن خودتراکم افزایش یافت و ارتفاع بتن در انتهای بخش افقی ( $H_2$ ) و انتهای بخش عمودی ( $H_1$ ) تعیین و از رابطه  $H_2/H_1$  که به نسبت اسناد معروف است به دست آمد که با افزایش درصد الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن، نسبت اسناد ۲/۲۷، ۵/۶۸، ۹/۰۹، ۱۱/۳۶ درصد نسبت به بتن خودتراکم کاهش یافت.

### ۳-۴- آزمایش حلقه J

نتایج آزمایش حلقه J بتن خودتراکم با اثر درصدهای مختلف الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن در شکل ۲۱ بر اساس میانگین به دست آمده است. نتایج آزمایش حلقه J نشان داد که با افزایش درصد الیاف

### ۲-۱۰- آزمایش مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای

مقاومت کششی ۵ طرح مخلوط بر اساس سنین ۷ و ۲۸ روزه با ابعاد استوانه‌ای  $30 \times 150$  میلی‌متری مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها بر روی آزمون‌های استوانه‌ای بر اساس استاندارد ASTM C496 [۳۳] نشان داد که با اضافه شدن الیاف و اکسید آهن به بتن خودتراکم، مقاومت کششی افزایش می‌یابد (مطابق شکل ۱۷).

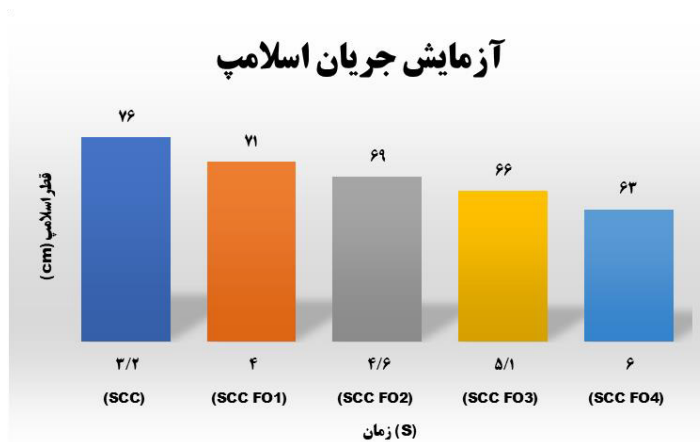
### ۳- نتایج و تفسیر

#### ۳-۱- آزمایش جریان اسلامپ

نتایج آزمایش جریان اسلامپ بتن خودتراکم با اثر درصدهای مختلف الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن در شکل ۱۸ بر اساس میانگین به دست آمده است. نتایج آزمایش جریان اسلامپ نشان داد که با افزایش درصد الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن، قطر اسلامپ (جریان‌پذیری) به ترتیب ۶/۵۷، ۹/۲۱، ۱۳/۱۵، ۱۷/۱۰ درصد نسبت به بتن خودتراکم (معیار) کاهش یافت و زمان جریان اسلامپ نیز به ترتیب ۰/۸، ۱/۴، ۱/۹، ۲/۸ ثانیه نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت.

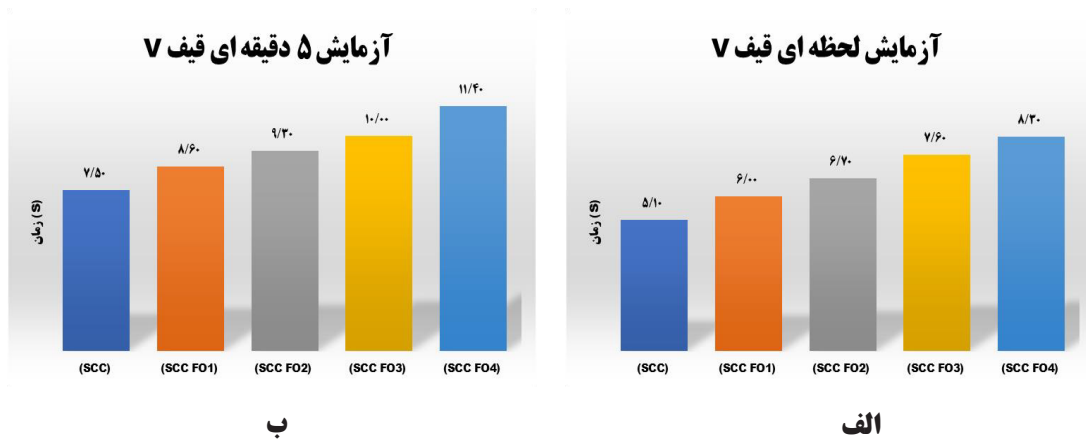
#### ۳-۲- آزمایش قیف V

نتایج آزمایش قیف V بتن خودتراکم با اثر درصدهای مختلف الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن در شکل ۱۹ بر اساس میانگین



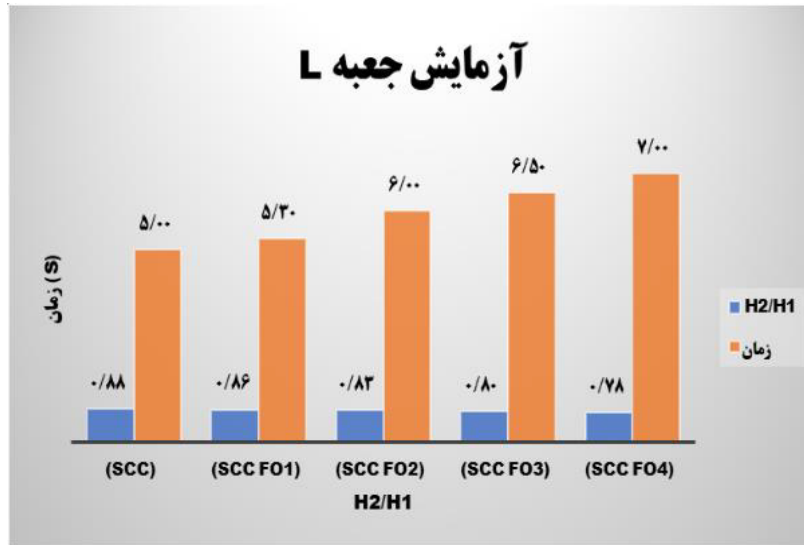
شکل ۱۸. نتایج آزمایش جریان اسلامپ.

Fig. 18. Slump flow test results.



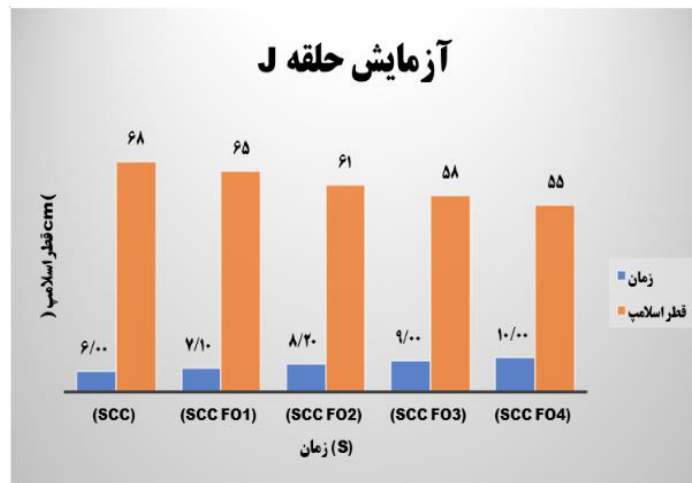
شکل ۱۹. الف) آزمایش لحظه ای قیف V ب) آزمایش ۵ دقیقه ای قیف V.

Fig. 19. a) V-funnel momentary test b) 5-minute V-funnel test.



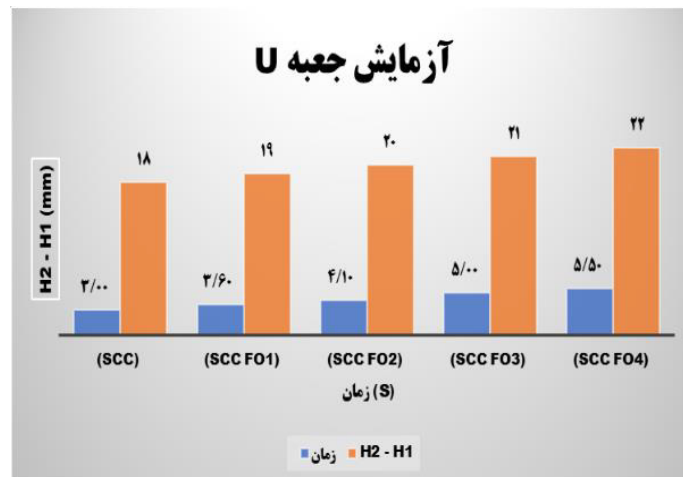
شکل ۲۰. نتایج آزمایش جعبه L.

Fig. 20. L box test results.



شکل ۲۱. نتایج آزمایش حلقه J.

Fig. 21. J ring test results.



شکل ۲۲. نتایج آزمایش جعبه U.

Fig. 22. U box test results

و استوانه‌ای ناشی از تأثیر مثبت فضای خالی پر شده با اکسید آهن در بتن خودتراکم به سبب مقدار، شکل و پراکندگی در بتن است. همچنین، افزایش در مقاومت فشاری نمونه‌ها با افزایش درصد الیاف و اکسید آهن ناشی از کاهش تخلخل به دلیل افزودن اکسید آهن و به تبع آن افزایش چسبندگی بین سیمان و سنگ‌دانه‌ها، افزایش چسبندگی در ناحیه انتقال بتن و انسجام کافی بتن است (مطابق شکل‌های ۲۳ و ۲۴). خواص مکانیکی بتن خودتراکم، از جمله مقاومت فشاری از اهمیت بسزایی برخوردار است. آزمایش چکش اشمیت، برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن استفاده می‌شود و بیشتر بر روی نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی اجرا می‌شود. دلیل استفاده از چکش اشمیت بر نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای این است که میزان مقاومت فشاری بتن به صورت دقیق‌تر بررسی شود و نتایج به دست آمده از این آزمایش و شکست بتن با جک بتن شکن، مقاومت فشاری نمونه‌ها شفاف‌تر بیان شود همچنین، میزان اختلاف نتایج مقاومت فشاری بین آزمایش چکش اشمیت و آزمایش مقاومت فشاری تعیین گردد تا خطای نتایج کمتر شود.

### ۳-۷- آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک

نتایج آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک بر روی نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای نشان داد که با اضافه شدن الیاف تسمه بسته‌بندی پلاستیکی و اکسید آهن به بتن خودتراکم، سرعت پالس آلتراسونیک افزایش یافت. دلیل افزایش در نتایج آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک بر بتن خودتراکم ناشی از

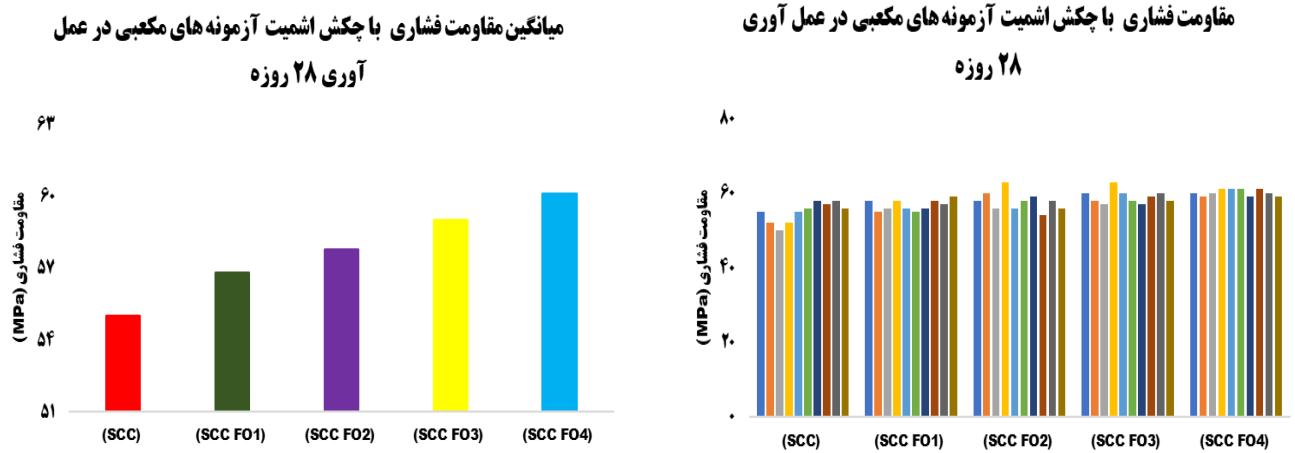
تسمه بسته‌بندی پلاستیکی و اکسید آهن، قطر اسلامپ (جریان‌پذیری) به ترتیب ۴/۴۱، ۱۰/۲۹، ۱۴/۷۰، ۱۹/۱۱ درصد نسبت به بتن خودتراکم (معیار) کاهش یافت و زمان جریان اسلامپ نیز به ترتیب ۱/۱، ۲/۲، ۳، ۴ ثانیه نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت.

### ۳-۵- آزمایش جعبه U

نتایج آزمایش جعبه U بتن خودتراکم با اثر درصدهای مختلف الیاف تسمه بسته‌بندی و اکسید آهن در شکل ۲۲ بر اساس میانگین به دست آمده است. نتایج آزمایش جعبه U نشان داد که با افزایش درصد الیاف تسمه بسته‌بندی پلاستیکی و اکسید آهن، زمان نیز به ترتیب ۰/۶، ۱/۱، ۲، ۲/۵ ثانیه نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت و میزان اختلاف ارتفاع بتن در دو مجرا ( $H_2 - H_1$ ) نیز به ترتیب ۱، ۲، ۳، ۴ میلی‌متر نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت. میزان اختلاف ارتفاع بتن در دو مجرا ( $H_2 - H_1$ ) کمتر از ۳۰ میلی‌متر بود و مورد قبول واقع شد.

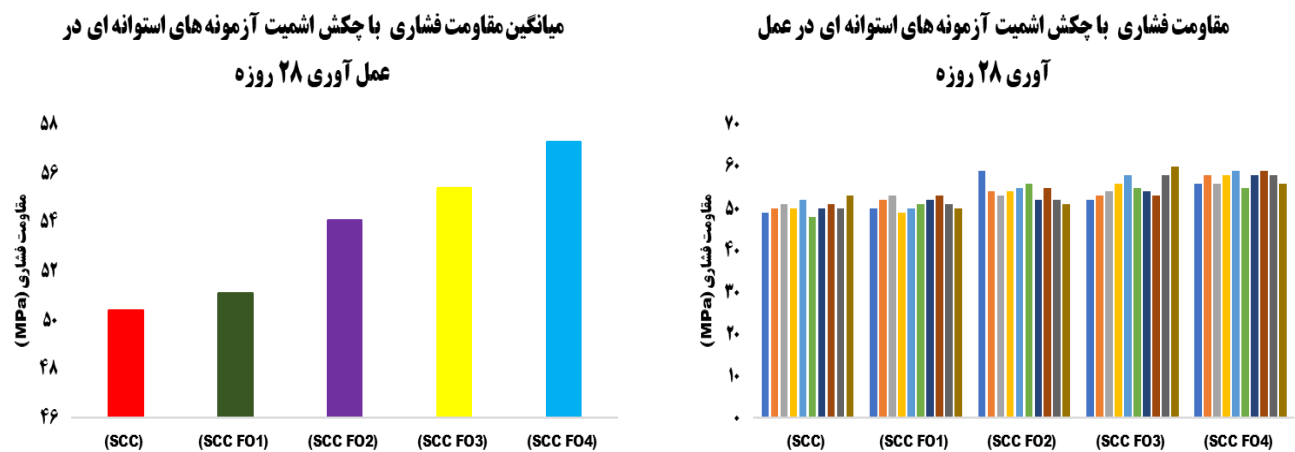
### ۳-۶- آزمایش چکش اشمیت

نتایج آزمایش چکش اشمیت بر روی نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای نشان داد که با اضافه شدن الیاف تسمه بسته‌بندی پلاستیکی و اکسید آهن به بتن خودتراکم، مقاومت فشاری با آزمایش چکش اشمیت افزایش یافت. دلیل افزایش مقاومت در آزمایش چکش اشمیت برای نمونه‌های مکعبی



شکل ۲۳. نتایج آزمایش چکش اشمیت برای آزمون‌های مکعبی در عمل آوری ۲۸ روزه.

Fig. 23. The results of the Schmidt hammer test for the cube samples in 28 days processing.



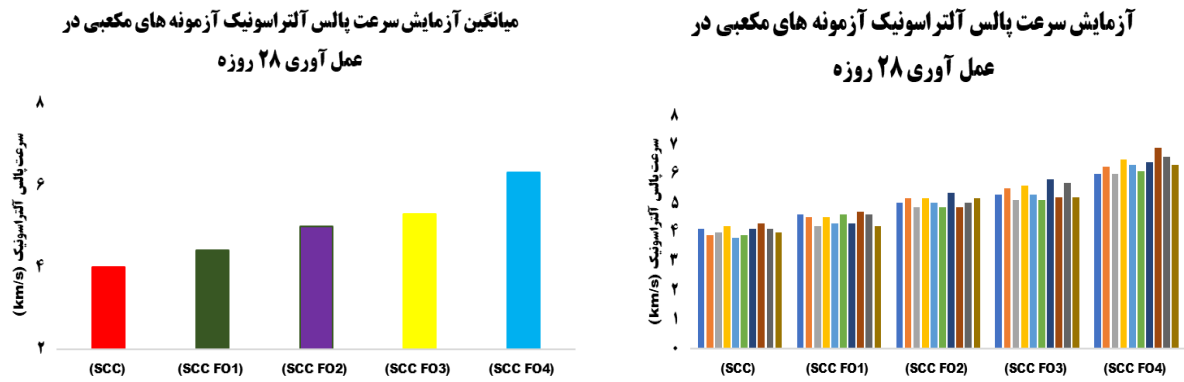
شکل ۲۴. نتایج آزمایش چکش اشمیت برای آزمون‌های استوانه‌ای در عمل آوری ۲۸ روزه.

Fig. 24. Schmidt hammer test results for cylindrical specimens in 28 days processing.

صوتی در بتن اندازه‌گیری می‌شود که با مقاومت و کیفیت بتن مرتبط است. دلیل استفاده از آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک بر نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای این است که میزان خروجی سرعت پالس بر بتن به صورت دقیق‌تر بررسی شود و نتایج به دست آمده از این آزمایش بر نمونه‌ها شفاف‌تر بیان شود استفاده از آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک برای نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای جهت ارزیابی ویژگی‌های بتن، مانند مقاومت فشاری و چگالی است که استفاده از الیاف و اکسید آهن در نمونه‌ها باعث افزایش مقاومت و چگالی بتن می‌شود که این نتیجه از آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک حاصل شد (مطابق شکل‌های ۲۵ و ۲۶)

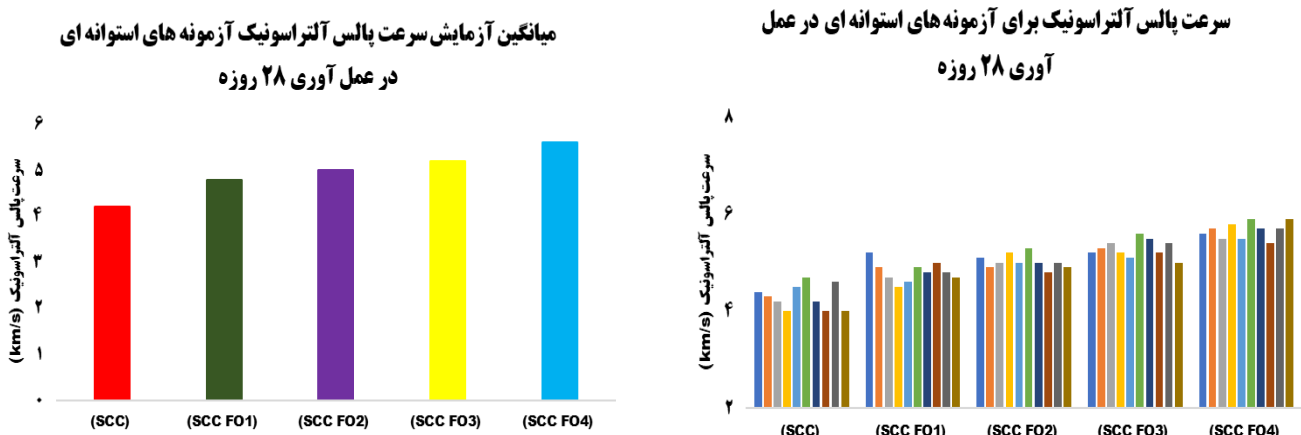
استفاده از آزمایش چکش اشمیت و سرعت پالس آلتراسونیک بر دو

پر شدن فضای خالی و کاهش نفوذپذیری در بتن خودتراکم به سبب مقدار، شکل و پراکندگی الیاف و اکسید آهن در بتن است. همچنین، افزایش نتایج با افزایش درصد الیاف و اکسید آهن در نمونه‌ها به دلیل جذب آب مؤثر در الیاف موجب تأثیر مثبت در نتایج آزمایش سرعت پالس گذاشته و همچنین با افزایش درصد اکسید آهن باعث کاهش تخلخل و به تبع آن افزایش چسبندگی بین سیمان و سنگ‌دانه‌ها، افزایش چسبندگی در ناحیه انتقال بتن و انسجام کافی در بتن باعث افزایش سرعت پالس در بتن شد. اندازه‌گیری سرعت پالس آلتراسونیک در بتن، به عنوان یک روش غیرمخرب، به منظور ارزیابی همگنی و کیفیت بتن استفاده می‌شود. این اندازه‌گیری معمولاً بر روی نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای انجام می‌شود و میزان انتشار امواج



شکل ۲۵. نتایج آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک برای آزمون‌های مکعبی در عمل آوری ۲۸ روزه.

Fig. 25. Ultrasonic pulse speed test results for cube samples in 28 days processing.

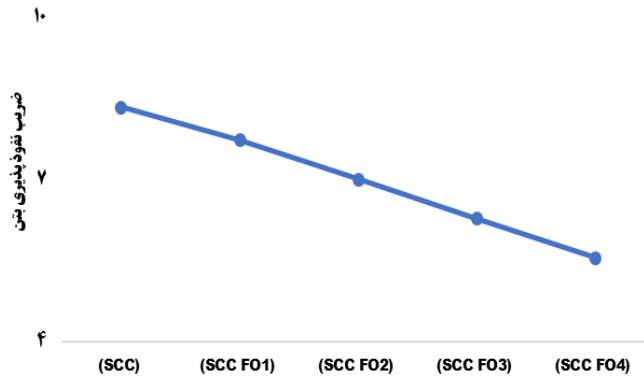


شکل ۲۶. نتایج آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک برای آزمون‌های استوانه‌ای در عمل آوری ۲۸ روزه.

Fig. 26. Ultrasonic pulse speed test results for cylindrical samples in 28 days processing.



### آزمایش نفوذ پذیری



شکل ۲۷. نتایج آزمایش نفوذ پذیری.

Fig. 27. permeability test results.

#### ۳-۹- آزمایش تاثیر دما بر مقاومت آزمونهای مکعبی

نتایج تاثیر دما بر مقاومت فشاری ۱ روزه و نفوذپذیری آزمونهای مکعبی نشان دادند با افزایش دما بر ۵ طرح مخلوط بتن، مقاومت فشاری ۱ روزه کاسته و نفوذپذیری افزایش می‌یابد، اما در دردمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با افزایش درصد مختلف اکسید آهن و الیاف تسمه بندی پلاستیکی در بتن خودتراکم، مقاومت فشاری ۱ روزه آزمونهای مکعبی در بالاترین حد افزایش یافت و نفوذپذیری آزمونها در این دما در کمتر حالت نسبت به بتن بدون الیاف و اکسید ایجاد شدند (مطابق شکل ۲۸).

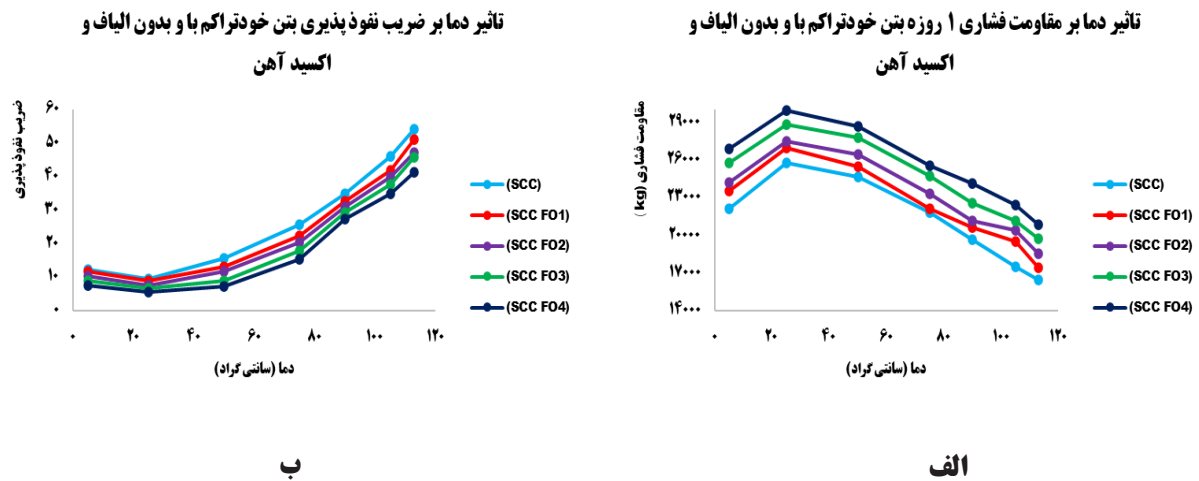
#### ۳-۱۰- آزمایش مقاومت فشاری آزمونهای مکعبی

نتایج آزمایش بر روی آزمونهای مکعبی براساس استاندارد ISIRI 3206 [۳۲] نشان داد که با اضافه شدن الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن به بتن خودتراکم، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد (مطابق شکل ۲۹). دلیل افزایش در آزمایش مقاومت فشاری نمونههای مکعبی ناشی از تاثیر مثبت پر شدن فضای خالی ایجاد شده توسط اکسید آهن، ایجاد چسبندگی بیشتر سنگدانه با سیمان، تاثیر الیاف به دلیل مقدار، شکل و پراکندگی در بتن می‌باشد. همچنین با افزایش درصد اکسید آهن باعث

نوع نمونه مکعبی و استوانه‌ای، به ما این امکان را می‌دهد که اطلاعات جامع‌تری در مورد خواص مکانیکی بتن، از جمله مقاومت فشاری و همگنی آن را بدست آوریم. به عبارت دیگر، ترکیب این دو آزمایش نتایج کامل‌تر و معتبرتری ارائه می‌دهد که برای ارزیابی دقیق‌تر وضعیت و کیفیت بتن بسیار حائز اهمیت است.

#### ۳-۸- آزمایش نفوذ پذیری آزمونها مکعبی

استفاده از الیاف و اکسید آهن در بتن می‌تواند در کاهش نفوذپذیری بتن مؤثر باشد. الیاف و اکسید آهن دارای خواص مکانیکی مناسبی هستند و می‌توانند به تقویت و چسبندگی بین مصالح بتن کمک کنند. اکسید آهن و الیاف می‌توانند به‌عنوان یک عامل تقویتی به کنترل ترکیدگی، ترک‌خوردگی و افزایش مقاومت بتن کمک کنند. با افزودن این دو به بتن، خواص مکانیکی و فیزیکی بتن بهبود می‌یابد و می‌تواند سبب کاهش نفوذپذیری و مواد آب‌بندی‌شده در بتن شوند. الیاف و اکسید آهن می‌توانند به ساختار داخلی بتن، مانند مقاومت، انعطاف‌پذیری و ایجاد مانع برای نفوذ آب کمک کنند. به‌طور کلی، الیاف و اکسید می‌توانند برای کاهش نفوذپذیری بتن مفید باشند و باعث افزایش دوام بتن شوند (مطابق شکل ۲۷).



شکل ۲۸. الف) آزمایش تأثیر دما بر مقاومت فشاری (۱ روزه ب) آزمایش تأثیر دما بر ضریب نفوذ پذیری.

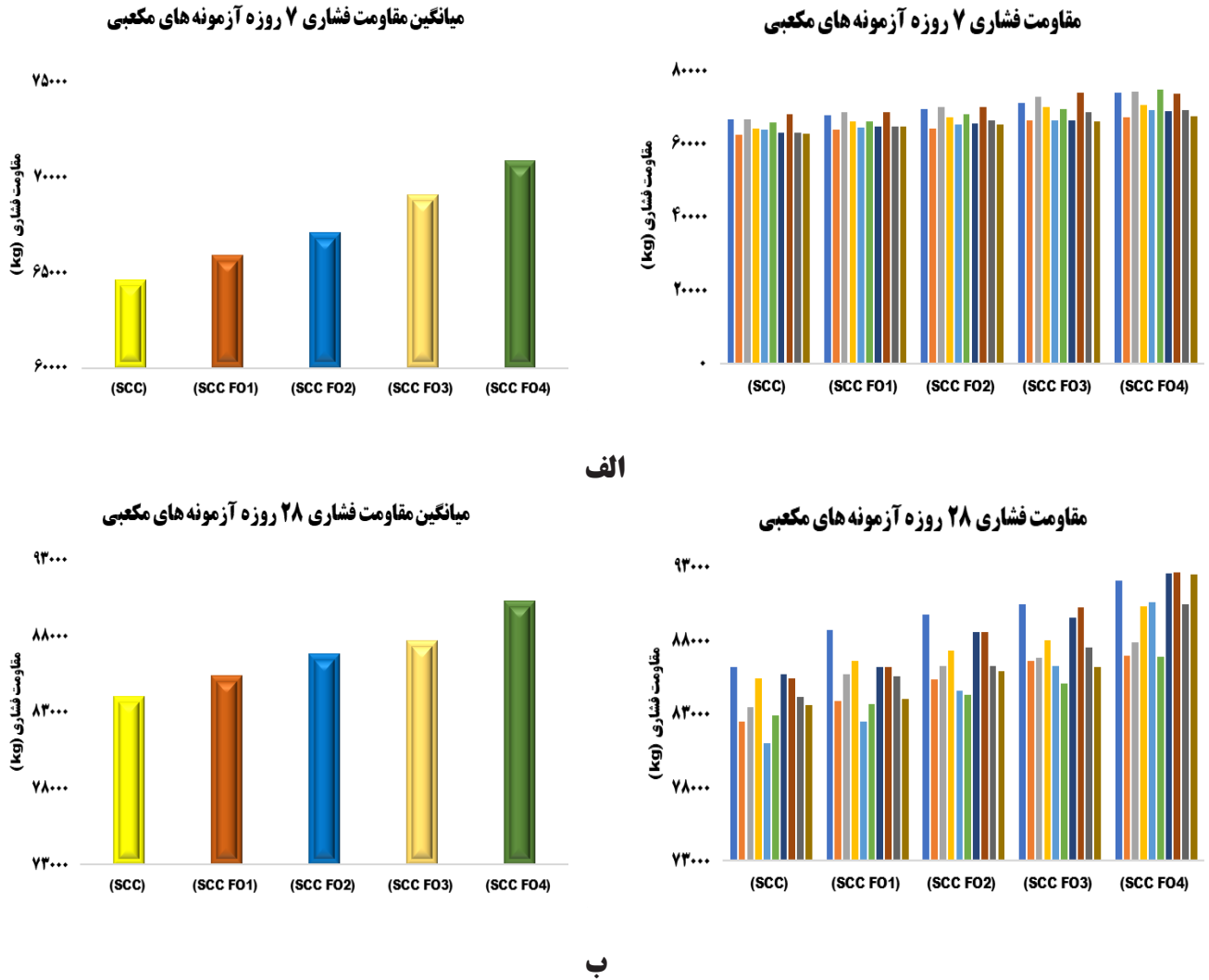
Fig. 28. a) Testing the effect of temperature on 1-day compressive strength b) Testing the effect of temperature on permeability coefficient.

بدین ترتیب مطابق نتایج مذکور رابطه همبستگی بین آزمایش چکش اشمیت، آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک، مقاومت فشاری و کششی آزمونهای مکعبی و استوانه‌ای انجام گرفت. ضریب همبستگی نوعی داده آماری برای تعیین درجه و رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی، یکی از معیارهای مورداستفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ است و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است. ضریب همبستگی روشی عاملی است و برای داده‌هایی با توزیع نرمال یا تعداد داده‌های زیاد استفاده می‌شود که بیانگر رابطه مستقیم کامل بین دو متغیر است، رابطه مستقیم یا مثبت به این معناست که اگر یکی از متغیرها افزایش یا کاهش یابد، دیگری نیز افزایش یا کاهش می‌یابد. زمانی که ضریب همبستگی برابر صفر است این نشان می‌دهد که بین دو متغیر رابطه خطی وجود ندارد. ضریب همبستگی ( $R^2$ ) آزمایش‌ها از ۰/۹۵ به بالا می‌باشند که نتایج همبستگی‌ها مورد قبول هستند. این ضریب نشان دهنده رابطه خطی بین نتایج آزمایش‌های صورت گرفته شده است و نتایجی که مورد بررسی قرار شدند، رابطه مستقیم دارند

کاهش تخلخل و به تبع آن افزایش چسبندگی بین سیمان و سنگدانه‌ها، افزایش چسبندگی در ناحیه انتقال (فاز سوم) بتن و انسجام کافی بتن می‌باشد، دلیل اصلی افزایش مقاومت بتن، واکنش میان سیمان و اکسید آهن می‌باشد که به چسبندگی بین ذرات درشت سیمان با سنگدانه درشت کمک می‌کند و باعث دوام ساختار و خواص مکانیکی بتن می‌شود.

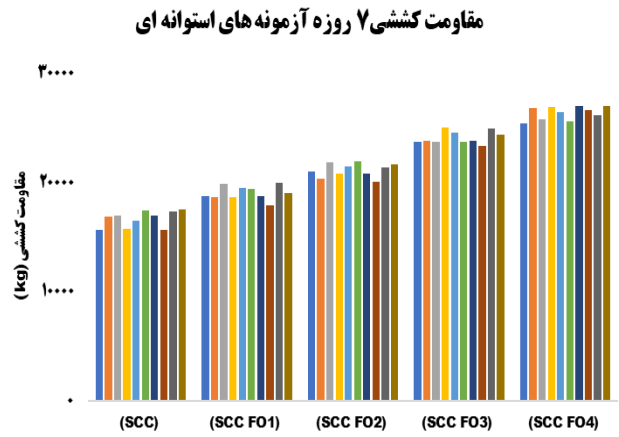
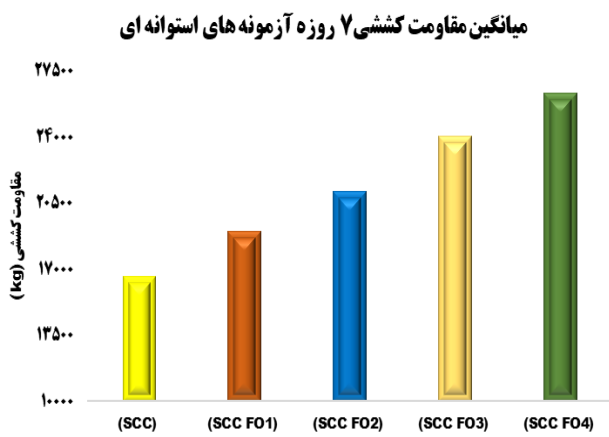
### ۳-۱۱- آزمایش مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای

نتایج آزمایش‌ها بر روی آزمون‌های استوانه‌ای براساس استاندارد ASTM C496 [۳۳] نشان داد که با اضافه شدن الیاف و اکسید آهن به بتن خودتراکم، مقاومت کششی افزایش می‌یابد (مطابق شکل ۳۰). دلیل افزایش آزمایش مقاومت کششی در بتن خودتراکم با اکسید آهن و الیاف برای آزمون‌های استوانه‌ای ناشی از تأثیر مثبت ویژگی منحصر به فرد الیاف تسمه بندی پلاستیکی با توجه به مقاومت کششی و مدول الاستیسیته آن در بتن خودتراکم به سبب مقدار و اندازه می‌باشد و باعث کاهش ترک خوردگی در بتن می‌شود، همچنین اکسید آهن باعث افزایش چسبندگی میان سنگدانه و سیمان در بتن می‌شود.

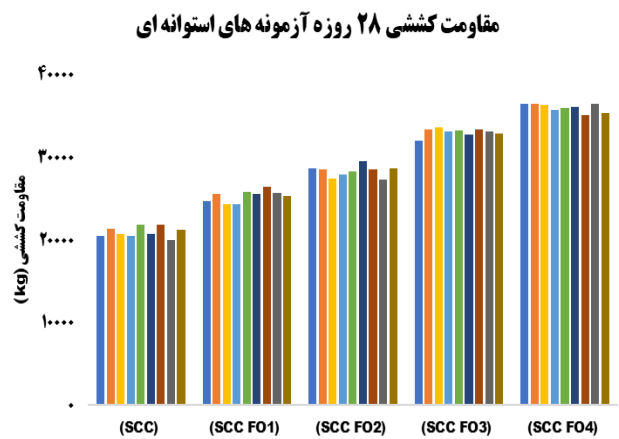
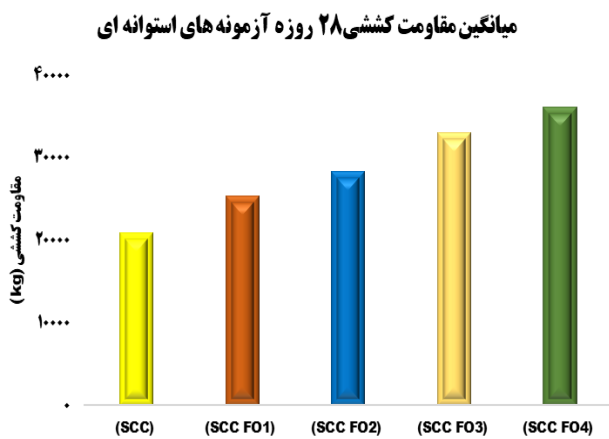


شکل ۲۹. الف) نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای آزمون‌های مکعبی در عمل‌آوری ۷ روزه ب) نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای آزمون‌های مکعبی در عمل‌آوری ۲۸ روزه.

Fig. 29. a) Compressive strength test results for cubic specimens in 7-day processing b) Compressive strength test results for cubic specimens in 28-day processing.



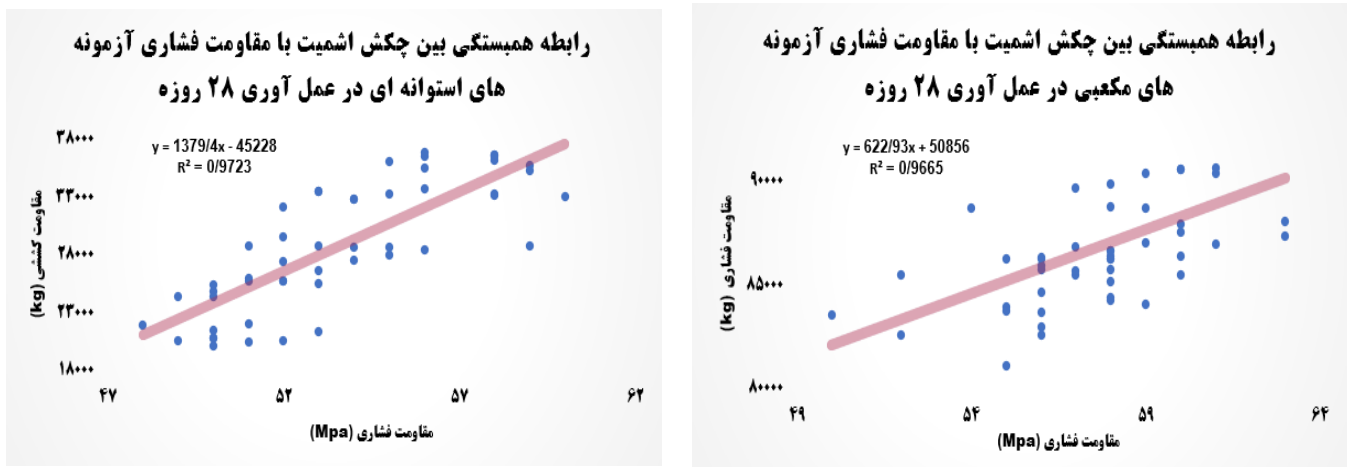
الف



ب

شکل ۳۰. الف) نتایج آزمایش مقاومت کششی برای آزمون‌های مکعبی در عمل‌آوری ۷ روزه ب) نتایج آزمایش مقاومت کششی برای آزمون‌های مکعبی در عمل‌آوری ۲۸ روزه.

Fig. 30. a) Tensile strength test results for cube specimens after 7 days processing b) Tensile strength test results for cube specimens after 28 days processing.



شکل ۳۱. رابطه همبستگی بین چکش اشمیت با مقاومت فشاری و کششی آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای در عمل آوری ۲۸ روزه.

Fig. 31. Correlation relationship between the Schmidt hammer and the compressive and tensile strength of cubic and cylindrical specimens in 28 days processing.

(مطابق شکل‌های ۳۱ - ۳۴).

در بتن می‌شوند که در نتیجه مقاومت بتن به ترکیدگی و خستگی بهبود می‌یابد. زمانی که بتن با اکسید آهن ترکیب می‌شود، اکسید آهن می‌تواند باعث ایجاد یک لایه محافظ بر روی سطح بتن شود که مقاومت آن را در برابر فرآیندهای خوردگی و تخریب تقویت کند. باتوجه به دستاورد اصلی این مقاله می‌توان به نتایج زیر دست‌یافت:

۱) میانگین نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته‌بندی پلیاستیکی و اکسید آهن طی عمل آوری ۷ و ۲۸ روزه نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۲، ۳/۷۹، ۶/۸۱، ۹/۶۸ و ۱/۶۱، ۳/۲۸، ۴/۳۴، ۷/۴۴ درصد افزایش مقاومت نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

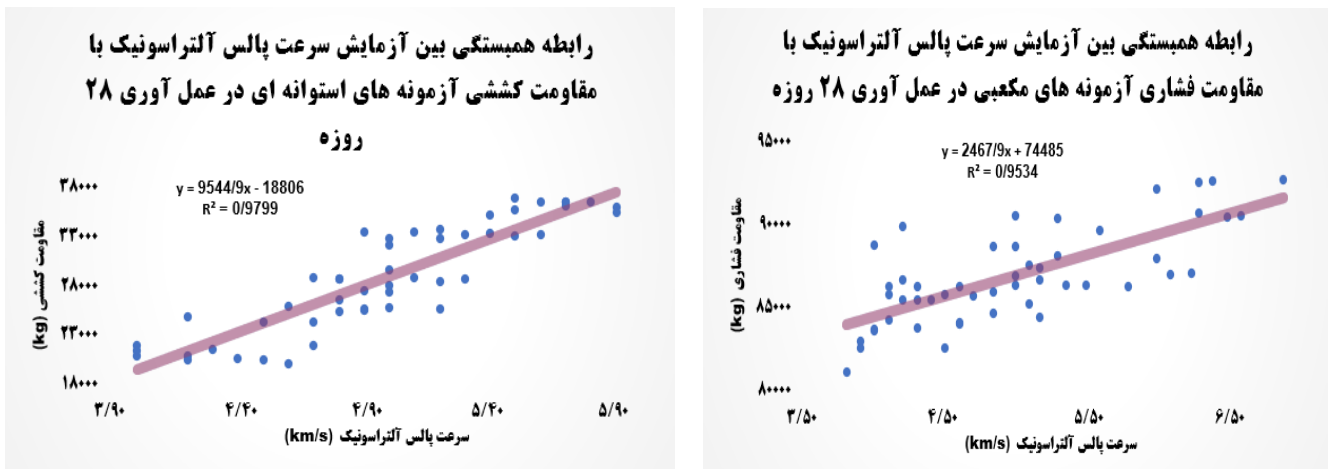
۲) میانگین نتایج آزمایش مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته‌بندی پلیاستیکی و اکسید آهن طی عمل آوری ۷ و ۲۸ روزه نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۱۴/۳۷، ۲۶/۸۱، ۴۴/۶۱، ۵۸/۳۵ و ۲۱/۰۹، ۳۵/۵۷، ۵۷/۹۵، ۷۲/۵۷ درصد افزایش مقاومت نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

۳) میانگین نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی با چکش

#### ۴- نتیجه گیری

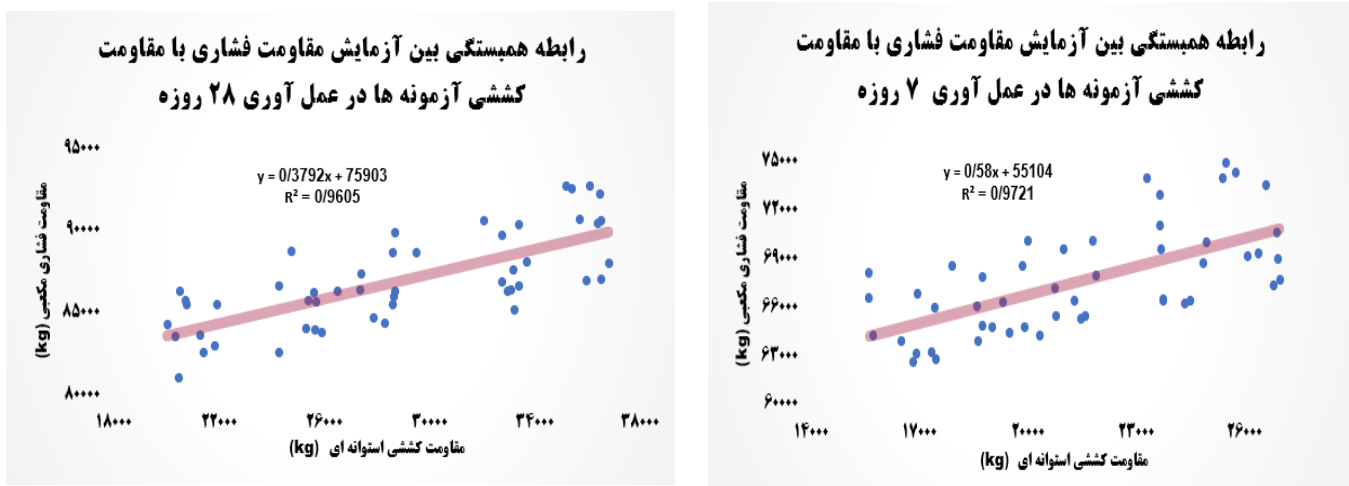
در این پژوهش، به استفاده از الیاف تسمه بسته‌بندی پلیاستیکی و اکسید آهن در بتن خودتراکم پرداخته شد. این پژوهش می‌تواند سهم مهمی در توسعه پایدار داشته باشد و در نتیجه کاهش هزینه‌های سازه و مصالح، کاهش اثرات مخرب و آلودگی به محیط‌زیست، کاهش شکنندگی و ترک در بتن، حفاظت منابع طبیعی، افزایش مقاومت فشاری و کششی شود. الیاف تسمه بسته‌بندی پلیاستیکی می‌تواند به عنوان الیاف تقویتی در بتن خودتراکم به افزایش مقاومت کششی و دوام بتن کمک کند همچنین از ترک‌های ناشی از انقباض جلوگیری کند. الیاف تسمه بسته‌بندی پلیاستیکی می‌تواند انعطاف‌پذیری بتن را بهبود ببخشد، از طرف دیگر، اکسید آهن می‌تواند به عنوان یک افزودنی باعث افزایش مقاومت بتن در برابر اثرات جوی مورد استفاده قرار گیرد، مانند مقاومت در برابر خوردگی و اکسیداسیون.

الیاف تسمه بسته‌بندی پلیاستیکی و اکسید آهن هر دو می‌توانند تاثیرات مثبتی بر روی مقاومت بتن داشته باشند. این الیاف‌ها باعث توزیع بهتر نیروها



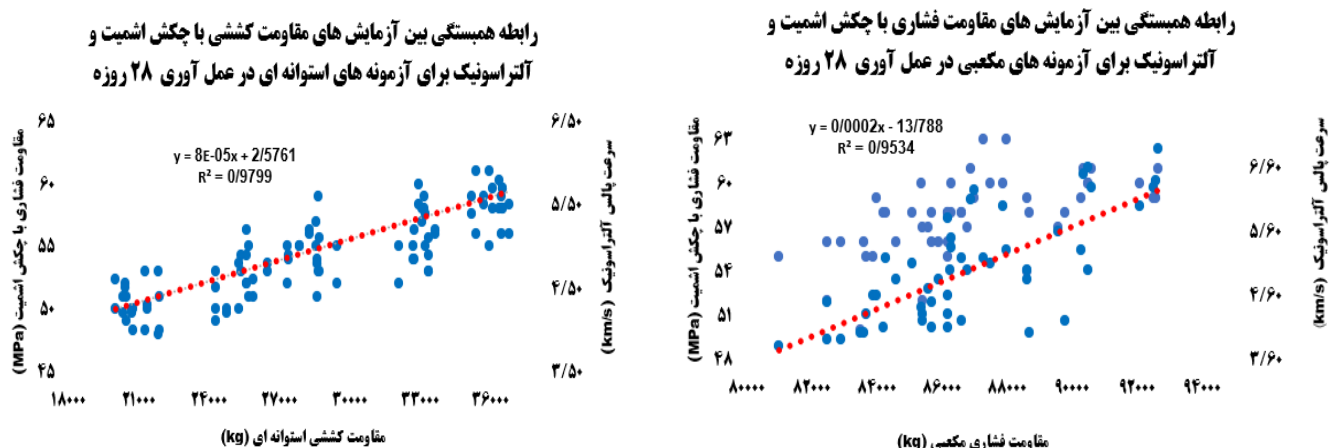
شکل ۳۲. رابطه همبستگی بین آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک با مقاومت فشاری و کششی آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای در عمل‌آوری ۲۸ روزه.

Fig. 32. Correlation relationship between ultrasonic pulse speed test and compressive and tensile strength of cubic and cylindrical specimens in 28 days processing.



شکل ۳۳. رابطه همبستگی بین آزمایش مقاومت فشاری با کششی آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای در عمل‌آوری ۲۸ روزه.

Fig. 33. Correlation relationship between compressive and tensile strength tests of cubic and cylindrical specimens in 28 days processing.



شکل ۳۴. رابطه همبستگی بین آزمایش‌های مقاومت فشاری و مقاومت کششی، چکش اشمیت و سرعت پالس آلتراسونیک برای آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای در عمل‌آوری ۲۸ روزه.

Fig. 34. Correlation relationship between compressive strength and tensile strength tests, Schmidt hammer and ultrasonic pulse speed for cubic and cylindrical specimens in 28 days processing.

۷) میانگین نتایج آزمایش تأثیر دما بر مقاومت فشاری (روزه بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن برای نمونه‌های مکعبی نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۵/۲۲، ۹/۱۵، ۱۵/۲۲، ۲۰/۶۴ درصد افزایش مقاومت نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

۸) میانگین نتایج آزمایش تأثیر دما بر مقاومت فشاری (روزه بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن برای نمونه‌های مکعبی نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۵/۲۲، ۹/۱۵، ۱۵/۲۲، ۲۰/۶۴ درصد افزایش مقاومت نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

۹) میانگین نتایج آزمایش نفوذپذیری بر بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن برای نمونه‌های مکعبی طی عمل‌آوری ۲۸ روزه نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۷/۳۲، ۱۵/۹۶، ۲۴/۷۲، ۳۳/۳۷ درصد کاهش نفوذپذیری نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

۱۰) میانگین نتایج آزمایش تأثیر دما بر نفوذپذیری ۱ روزه بر بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن برای نمونه‌های مکعبی نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۸/۳۳، ۱۵/۲۵، ۲۱/۸۳، ۲۹/۸۲ درصد کاهش نفوذپذیری نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

برگشتی بر بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن طی عمل‌آوری ۲۸ روزه نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۳/۲۷، ۵/۰۹، ۷/۲۷، ۹/۲۷ درصد افزایش مقاومت نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

۴) میانگین نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای با چکش برگشتی بر بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن طی عمل‌آوری ۲۸ روزه نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۱/۳۸، ۷/۳۴، ۹/۹۲، ۱۳/۶۹ درصد افزایش مقاومت نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

۵) میانگین نتایج آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک نمونه‌های مکعبی بر بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن طی عمل‌آوری ۲۸ روزه نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۱۰، ۲۵، ۳۲/۵، ۵۷/۵ درصد افزایش سرعت پالس نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

۶) میانگین نتایج آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک نمونه‌های استوانه‌ای بر بتن خودتراکم با الیاف تسمه بسته بندی پلاستیکی و اکسید آهن طی عمل‌آوری ۲۸ روزه نشان داد که با افزایش الیاف و اکسید آهن به ترتیب ۱۴/۲۸، ۱۹/۰۴، ۲۳/۸۰، ۳۳/۳۳ درصد افزایش سرعت پالس نسبت به نمونه بتن خودتراکم (شاهد) یافت.

- to Physical Sulphate Attack (PSA). *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. (2021) Vol. 10 Issue 08.
- [10] Zhao, Y. Xiaowei, G. Jingping, Q. Zhang, W. Xiaohui, L. Study on the Utilization of Iron Tailings in Ultra-High-Performance Concrete: Fresh Properties and Compressive Behaviors. *Journal List Materials*. Sep. (2021) 14(17): 4807.
- [11] Jaskowska-Lemańska.J, Kucharska.M, Matuszak.J, Nowak.P, Łukaszczyk.W. Selected Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled PET Aggregate. *Materials (Basel)*. (2022) 15(7): 2566.
- [12] Bassar, H., Shaghaghi, T. M., Afshin, H., Ahari, R. S., & Mirrezaei, S. S. An experimental investigation and response surface methodology-based modeling for predicting and optimizing the rheological and mechanical properties of self-compacting concrete containing steel fiber and PET. *Construction and Building Materials*. (2022) 315, 125370.
- [13] Rashwan, M.A. Al Basiony, T.M, Mashaly, A.O. Khalil, M.M. Self-compacting concrete between workability performance and engineering properties using natural stone wastes. *Construction and Building Materials*. (2022) Volume 319, 126-132.
- [14] Gholhaki, M. Pachideh, G, Rezaifar, O. An experimental study on mechanical properties of concrete containing steel and polypropylene fibers at high temperatures. *Journal of Structural and Construction Engineering*. (2017) 4 (3), 167-179. (in Persian)
- [15] Pachideh, G. Gholhaki, M. Moshtagh, A. Performance of concrete containing recycled springs in post-fire conditions. *Structures and Buildings*. (2020) Volume 173 Issue 1, pp. 3-16.
- [16] Pachideh, G. Toufigh, V. Strength of SCLC recycled springs and fibers concrete subject to high temperatures. *Structural Concrete*. (2022) 23 (1), 285-299.
- [17] Pachideh, G. Ketabdari, H. Investigation of the mechanical properties of self-compacting concrete containing recycled steel springs; experimental and numerical investigation. *European Journal of*
- [1] Shetty, K.K. Nayak, G. Vijayan, V. effect of red mud and iron ore tailings on the strength of self-compacting concrete. *European Scientific Journal*. edition. (2014) vol.10, No.21.
- [2] Singh, G. Siddique, R. Effect of iron slag as partial replacement of fine aggregates on the durability characteristics of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. (2016) Volume 128, Pages 88-95.
- [3] Singh, G. Siddique, R. Strength properties and micro-structural analysis of self-compacting concrete made with iron slag as partial replacement of fine aggregates. *Construction and Building Materials*. (2016) Volume 127, Pages 144-152.
- [4] Largeau, M.A. Mutuku, R. Thuo, J. Effect of Iron Powder (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) on Strength, Workability, and Porosity of the Binary Blended Concrete. *Open Journal of Civil Engineering*. (2018) Vol.8 No.4.
- [5] Mastali, M. Dalvand, A. Sattarifard, A. The impact resistance and mechanical properties of the reinforced self-compacting concrete incorporating recycled CFRP fiber with different lengths and dosages. *Composites Part B: Engineering*. (2016) Volume 112, Pages 74-92.
- [6] Askari Dolatabad, Y. Jahanshahi, M.R. Rheological and Mechanical Properties of Light Weight Self-Compacting Concrete Containing Sirjan Iron Mine Waste. *Environmental Energy and Economic Research*. (2019) 3(2): 75-83.
- [7] Ismail Al-Hadithi. A, Tareq Noaman. A, Khairi Mosleh. W. Mechanical properties and impact behavior of PET fiber reinforced self-compacting concrete (SCC). *Composite Structures*. (2019) Volume 224, 111021.
- [8] Imran Khan, M. Umair, M. Shaker, K. Basit, A. Kashif, M. Impact of waste fibers on the mechanical performance of concrete composites. *The Journal of The Textile Institute*. (2020) Volume 111, Issue 11, Pages 1632-1640.
- [9] Edward, E.O. Fredrick, J.O. Anowai, S.N. Solomon, I. Effect of Nano Iron Oxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) on Concrete Subjected



- Apparatus. Rilem Report No.23. (2012).
- [29] ASTM C805. Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. (2009).
- [30] ASTM C-597. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. (2003).
- [31] DIN 1048. Standard test Concrete Impermeability Test ApparatusIm. (2012).
- [32] ISIRI 3206. Standard Test Determining the compressive strength of concrete samples. (2003).
- [33] ASTM C496. ASTM C496 Tensile Concrete Test Equipment. (2002).
- [34] Mirzaie Aliabadi, M. derakhshan Nezhad, A.H. Quality control of concrete structure by Schmidt hammer method. The fifth international conference and the sixth national conference on civil engineering, architecture, art and urban design. (2023). (in Persian)
- [35] ISO1920-7. Testing of concrete — Part 7: Non-destructive tests on hardened concrete. (2004). (in Persian)
- [36] Mirzaie Aliabadi, M. derakhshan Nezhad, A.H. Health monitoring of concrete structure using ultrasonic. The 7th International Conference on Research in Science and Engineering and the 4th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning in Asia. (2023). (in Persian)
- [37] Mirzai Ali Abadi, M. Derakhshan nezhad, A.H. Mousavi Abdullah Nezhad, SA Hitavi, AS. Investigating the effect of heat transfer from the mold on the mechanical properties of self -compact concrete. Structural and Construction Engineering. accepted. Online release. (2023). (in Persian)
- Environmental and Civil engineering. (2023) 27(14):1-20.4026-4045.
- [18] Derakhshan nezhad, A.H. Mirzaei Aliabadi, M. Laboratory investigation of the effect of recycled polyethylene terephthalate fibers on the mechanical properties of self-compacting concrete. Journal of structural and construction engineering. Articles ready for publication, accepted, published online. (2024) (in Persian)
- [19] ASTM C150/C150M. Standard Specification for Portland Cement. (2012).
- [20] ASTM C 33. Standard specification for concrete aggregates. American Society of Testing and Materials Standards. (2003).
- [21] ASTM C 494. Standard specification for chemical admixtures for concrete. Annual book of ASTM Standards. (2002).
- [22] ASTM C 94. Standard specification for Ready – Mixed Concrete, American Society of Testing and Materials Standards. (2009).
- [23] ASTM C 494/C 494M. Standard specification for chemical admixtures for concrete. Annual book of ASTM Standards. (2002).
- [24] ASTM C1611 . Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete. (2009).
- [25] INSO 3203-9. Testing fresh concrete - Part 9: Self-compacting concrete V-funnel test. (2013).
- [26] INSO 3203-10. Testing fresh concrete – Part 9: Self-compacting g concrete -L box test. (2013).
- [27] INSO 11271. Concrete -Measurement of passing ability of self-consolidating concrete by J-ring- Test Method. (2014).
- [28] UNI 11044. Standard UTC-0547 U Shape Box

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A.H. Derakhshan Nezhad, M. Mirzaie Aliabadi, M. S. Shahidzadeh, Laboratory investigation of the effect of plastic packaging belt fibers and iron oxide on the mechanical properties of self-compacting concrete, Amirkabir J. Civil Eng., 56(5) (2024) 517-550.

DOI: [10.22060/ceej.2024.23070.8099](https://doi.org/10.22060/ceej.2024.23070.8099)



