

Investigating the effect of date palm fibers on the mechanical properties of self-compacting concrete

Amir Hossein Derakhshan Nezhad¹, Mahbobeh Mirzaie Aliabadi^{2*}, Mohammad Sadegh Shahidzadeh³, Alireza Dadpour⁴

1- Master's student in Civil-Structural Engineering, Technical and Engineering Faculty, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

2,3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

4- Head of Laboratory, Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

ABSTRACT

Behbahan city, located in Khuzestan province, is one of the hot and dry regions of Iran, which has palm groves. In this research, considering the date palm groves in Behbahan, the idea of using date fibers with a length of 3 cm in the mixing plan of self-compacting concrete as a natural, economical and accessible additive was investigated. In the design of self-compacting concrete mixture with date palm fibers, nano silica was used to increase strength, strengthen the transition zone (third phase) and viscosity modifier was used to control rheological properties. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete samples with and without palm fibers through slump flow, V funnel, L box, J ring, U box and compressive strength, tensile strength, ultrasonic pulse speed, Schmidt hammer, temperature effect on concrete, permeability was evaluated. The results showed that the increase of date fibers with different percentages (0, 0.5, 1, 1.5, 2% compared to the weight of cement) in self-compacting concrete during 28 days of processing led to an increase in tensile strength from 13.67- 22.67. percent, reduction of permeability from 52.15- 15.88 percent, reduction of crack width in concrete slab from 99.9975 - 81.71, reduction of compressive strength from 4.11-22.47 percent, reduction of compressive strength with Schmidt hammer from 04 26.37- 5.04% and reduction of ultrasonic pulse speed is 23.05-4.56%.

ARTICLE INFO

Receive Date: 02 February 2024

Revise Date: 01 May 2024

Accept Date: 05 June 2024

Keywords:

Self-compacting concrete
date palm fibers compressive strength
tensile strength permeability
ultrasonic pulse speed
crack width control Schmidt hammer

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.441194.3351](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.441194.3351)

*Corresponding author: Mahbobeh Mirzaie Aliabadi
Email address: mirzaie@bkatu.ac.ir

بررسی تاثیر الیاف نخل خرما بر خواص مکانیکی بتن خود متراکم

امیرحسین درخشان نژاد¹، محبوبه میرزائی علی آبادی^{2*}، محمد صادق شهیدزاده³، علیرضا دادپور⁴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان،

بهبهان، ایران

۲ و ۳ - استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران

۴ - مسئول آزمایشگاه، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران

چکیده

شهرستان بهبهان واقع در استان خوزستان یکی از مناطق گرم و خشک کشور ایران است که دارای نخلستان‌های خرما می‌باشد. در این پژوهش، باتوجه به نخلستان‌های خرما در بهبهان، به ایده استفاده از الیاف خرما با طول 3 سانتی‌متری در طرح اختلاط بتن خودتراکم به‌عنوان یک افزودنی طبیعی، اقتصادی و در دسترس مورد بررسی قرار گرفت. در طرح مخلوط بتن خودتراکم با الیاف نخل خرما از نانو سیلیس برای افزایش مقاومت، تقویت ناحیه انتقال (فاز سوم) و از اصلاح‌کننده لزجت جهت کنترل خواص رئولوژیکی استفاده شد. خواص تازه و سخت شده نمونه‌های بتن خود متراکم با و بدون الیاف خرما از طریق جریان اسلامپ، قیف V، جعبه L، حلقه J، جعبه U و مقاومت فشاری، مقاومت کششی، سرعت پالس آلتراسونیک، چکش اشمیت، تأثیر دما بر بتن، نفوذپذیری ارزیابی شد. نتایج نشان داد که افزایش الیاف خرما با درصد‌های مختلف (0، 0/5، 1، 1/5، 2 درصد نسبت به وزن سیمان) در بتن خودتراکم طی عمل‌آوری 28 روز منجر به افزایش مقاومت کششی از 13/67 - 22/67 درصد، کاهش نفوذپذیری از 15/88 - 52/10 درصد، کاهش عرض ترک در دال بتنی از 81/71 - 99/9975، کاهش مقاومت فشاری از 4/11 - 22/47 درصد، کاهش مقاومت فشاری با چکش اشمیت از 5/04 - 26/37 درصد و کاهش سرعت پالس آلتراسونیک 4/56 - 23/05 درصد می‌شود.

کلمات کلیدی: بتن خود متراکم، الیاف نخل خرما، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، نفوذپذیری، سرعت پالس آلتراسونیک، کنترل عرض ترک، چکش اشمیت

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2024.441194.3351	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2024.441194.3351	/11/30 1403	/11/30 1403	/03/16 1403	/02/12 1403	1402/11/13

*نویسنده مسئول:

محبوبه میرزائی علی آبادی
mirzaie@bkatu.ac.ir
پست الکترونیکی:

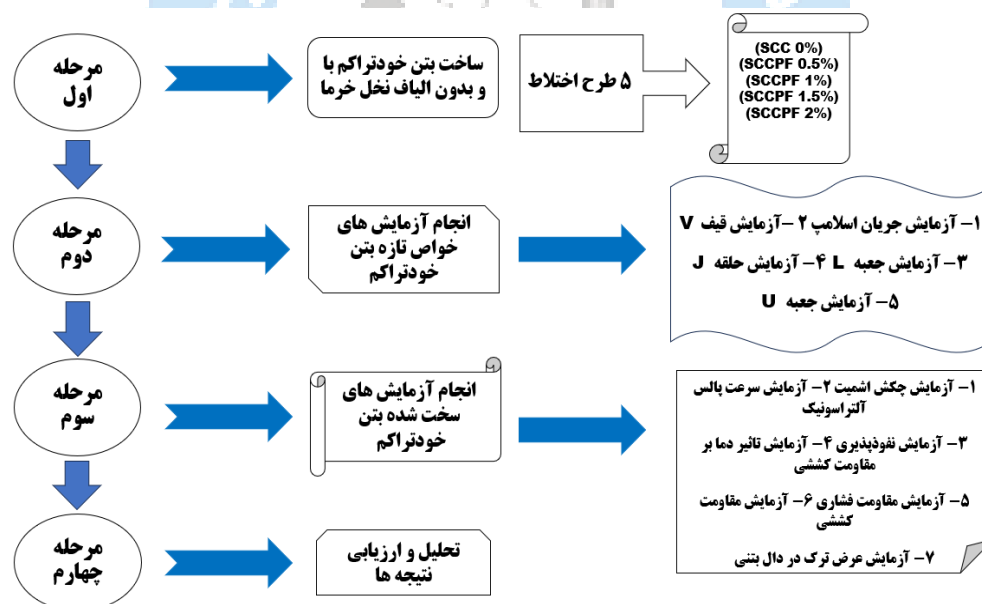
1- مقدمه

بتن خودتراکم یک ماده مهم در صنعت ساخت و ساز است که از سنگ‌دانه‌های ریز و درشت، سیمان، مواد افزودنی و آب تشکیل می‌شود [1-3]. بتن خودتراکم به دلیل مزایایی مانند در دسترس بودن مصالح، روانی و کارایی به طور گسترده در صنعت سازه استفاده می‌شود. اهمیت بتن خودتراکم به دلیل دوام بالا، هزینه کم در اجرا نسبت به بتن معمولی، کارایی و مقاومت آن است که این نوع بتن یکی از جدیدترین انواع بتن است [4-7]. یکی از ویژگی‌های مهم بتن خودتراکم ویسکوزیته و پایداری آن نسبت به سایر انواع بتن است [7-9]. این بتن به طور گسترده، در ساخت سازه‌های ایمن و با دوام که می‌توانند در برابر بارهای مختلف مقاومت کنند، توصیه می‌شود [10-12]. علاوه بر این، بتن خودتراکم را می‌توان یک ماده مقرون به صرفه برای کاهش هزینه‌ها در اجرا از قبیل، زمان و ویریه به دلیل فشرده شدن تحت وزن خود در نظر گرفت [13-16]. این نوع بتن به آسانی در قالب جریان یافته، از میان میلگردها به سهولت عبور کرده و در شرایط طبیعی تحت اثر وزن خود، متراکم می‌شود. این بتن دارای کارایی بسیار بالا است [17-20]. استفاده از الیاف‌ها در بتن، از چهار دهه پیش آغاز گردیده است که جهت بهبود خواص و رفتار مکانیکی بتن، رو به گسترش هستند [21-22]. الیاف‌ها در بتن سبب کاهش شکنندگی بتن و تأمین رفتار شکل‌پذیری آن‌ها می‌شود. الیاف‌ها ممکن است از جنس گیاهی، مصنوعی یا فلزی باشند [23-25]. الیاف‌ها می‌توانند خواص مکانیکی بتن، تحت بارهای فشاری، کششی، خمشی، برشی، همچنین مقاومت در برابر آب‌رفتگی، خزش، جمع شدگی، یخ زدن، سایش و فرسایش بهبود بخشند و ماده یکپارچه‌ای را به وجود آورند [26-29]. استفاده از ضایعات در مخلوط بتن به عنوان یکی از روش‌های مؤثر جهت کاهش مواد زائد است [30-33]. علاوه بر این، استفاده از مواد ضایعاتی به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در طرح مخلوط بتن راه حلی مؤثر برای رفع مشکلات زیست محیطی است [34-36]. یکی از الیاف طبیعی که به عنوان ضایعات در بتن استفاده می‌شود، الیاف نخل خرما است. با توجه به اینکه، در استان خوزستان بیش از 45 هزار هکتار نخلستان خرما وجود دارد، از این مقدار در شهرستان بهبهان بیش از 20 هزار هکتار نخلستان است، بنابراین دسترسی آسان و ارزان به الیاف نخل خرما در این منطقه امکان‌پذیر است [37-39]. پژوهش‌های مختلفی در رابطه با استفاده از الیاف خرما جهت بهبود خواص بتن صورت گرفته است که نمونه‌هایی از آن، در ادامه بررسی شده‌اند:

فلاح تبار شیاد و همکاران در سال 2018 [4]، به برآورد خواص مکانیکی و دوام بتن خود تراکم با الیاف خرما با استفاده از سرعت پالس آلتراسونیک بررسی کردند. بوطرفه و همکاران در سال 2018 [5]، به مطالعه تطبیقی ملات سیمان تقویت شده با الیاف گیاهی آلفا، خرما و دیس بر خواص مکانیکی و انقباض بتن بررسی کردند. آسانی و همکاران در سال 2018 [6]، به خواص خمشی بتن تقویت شده با الیاف خرما در اقلیم صحرا پرداختند. میرزایی علی آبادی و همکاران در سال 2019 [14]، به بررسی خواص تازه و سخت شده بتن الیافی خودتراکم پرداختند. پاچیده و همکاران در سال 2019 [44]، به مطالعه تجربی اثرات افزودن الیاف فولادی و پلی پروپیلن به بتن بر مقاومت آن پس از دماهای مختلف بررسی کردند. قلهکی و همکاران در سال 2020 [40]، به بررسی عملکرد بتن حاوی فنرهای بازیافتی در شرایط پس از آتش سوزی پرداختند. میرابی مقدم در سال 2021 [8]، به تأثیر شکل و مقدار الیاف نخل خرما بر مقاومت فشاری و کششی بتن پرداخت. دبالینا و همکاران در سال 2021 [27]، به توسعه بتن خود تراکم تقویت شده با الیاف با مقاومت اولیه بالا بررسی کردند. شن و همکاران در سال 2021 [28]، به عملکرد بتن خود تراکم با الیاف نخل خرما در دماهای بالا بررسی کردند. جواد و همکاران در سال 2021 [29]، به خواص بتن تقویت شده با الیاف پروپیلن پرداختند. جواد و همکاران در سال 2021 [30]، به ارزیابی خواص مکانیکی و دوام بتن خود تراکم تقویت شده با الیاف نایلونی پرداختند. گانش و همکاران در سال 2022 [31]، به خواص مکانیکی و رفتار ریزساختاری بتن خود تراکم تقویت شده با الیاف مورد مطالعه قرار دادند. دانبار و همکاران در سال 2022 [32]، به بررسی تأثیر الیاف پلی‌پروپیلن با مدول کم بر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن خود تراکم پرداختند. وانگ و همکاران در سال 2022 [33]، به بررسی تجربی و عددی رفتارهای شکستی بتن خودتراکم با الیاف لاستیکی تقویت‌شده و الیاف فولادی بررسی کردند. عدیل و همکاران در سال 2022 [34]، خواص تازه و انرژی شکست بتن خودتراکم بازالت با الیاف شیشه تقویت شده را بررسی کردند. ندیم و همکاران در سال 2022 [35]، رفتار بتن خودتراکم پایدار تقویت شده با ضایعات کم چگالی الیاف پلی‌اتیلن را بررسی کردند. پاچیده و همکاران در سال 2022 [43]، مقاومت فنرهای بازیافتی SCLC و بتن الیافی در معرض دماهای بالا را بررسی کردند. عبدالله و همکاران در سال 2023

[36]، به تأثیر قطر الیاف و استحکام کششی بر خواص مکانیکی، شکست و توزیع الیاف با بتن خود متراکم با مقاومت بالا سازگار با محیط زیست را بررسی کردند. جین پینگ و همکاران در سال 2023 [37]، به بررسی مقاومت در برابر ضربه بتن خود تراکم تقویت شده با الیاف فولادی پس از دمای بالا پرداختند. مدرس و همکاران در سال 2023 [10]، تأثیر الیاف فولادی بازیافتی و لاستیک‌های زائد را بر خواص بتن مورد مطالعه قرار دادند. داردور و همکاران در سال 2023 [24]، به تأثیر الیاف خرما و پلی‌پروپیلن بر ویژگی‌های بتن خود تراکم پرداختند. درخشان نژاد و همکاران در سال 2024 [41]، به بررسی آزمایشگاهی اثر الیاف بازیافتی پلی اتیلن ترفتالات بر خواص مکانیکی بتن خود تراکم پرداختند. کتابداری و همکاران در سال 2023 [42]، به بررسی خواص مکانیکی بتن خودتراکم حاوی فنرهای فولادی بازیافتی پرداختند.

یکی از مهم‌ترین ارکان در تولید علم، لحاظ نمودن رویکرد توسعه پایدار است. توسعه پایدار با مفهوم استفاده از پتانسیل و امکانات موجود و با در نظر گرفتن نیازهای نسل آتی، در راستای استفاده بهینه از منابع طبیعی در دسترس، حائز اهمیت است. بررسی‌های بسیاری در جهت امکان استفاده از ضایعات گیاهی در بتن، برای تقویت مقاومت کششی و فشاری انجام شده است. الیاف طبیعی یکی از راه حل‌های موجود است که می‌تواند به عنوان جایگزینی برای الیاف‌های رایج، در ملات سیمان و بتن مورد استفاده قرار گیرد [15 و 16]. هدف از این طرح، استفاده بهینه از منابع دور ریختنی، به حداقل رساندن ضایعات و افزایش مقاومت بتن است. در این مقاله به رفتار مکانیکی بتن خودتراکم، دوام بتن با الیاف خرما با آزمایش نفوذپذیری، بررسی کنترل عرض ترک در دال بتنی، آزمایش یون کلرید و سولفات بر الیاف نر و ماده جهت مقایسه شکل ظاهری و درصد جذب یون کلرید و سولفات، استفاده از نانو سیلیس و VMA جهت تقویت ناحیه انتقال (فاز سوم) و کنترل خواص رئولوژیکی، آزمایش تأثیر دما بر مقاومت فشاری 1 روزه بتن خودتراکم با و بدون الیاف خرما، آزمایش مقاومت فشاری با چکش اشmitt و آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک مورد بررسی و ارزیابی شد. استفاده از الیاف نخل خرما در بتن خودتراکم باعث افزایش مقاومت کششی، دوام بتن و کنترل عرض ترک در دال بتنی می‌شود.



شکل 1: روندنما پژوهش

2- برنامه یک آزمایشگاهی

2-1-1- مصالح مصرفی

2-1-1-1- سیمان

در این تحقیق برای تمامی 5 طرح مخلوطها از سیمان پرتلند تیپ 2 تولید کارخانه سیمان بهبهان استفاده شد که طبق استاندارد ASTM C150 [45] می باشد (مطابق جدول 1 و 2).

جدول 1: مشخصات جزئی سیمان پرتلند تیپ 2

Free Cao	LOI	K ₂ O	O.Na	SO ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	IR	تحلیل شیمیایی
0/5	0/20	0/66	0/25	0/68	2/08	65/20	3/88	4/63	21/68	0/24	درصد

جدول 2: ترکیبات اصلی سیمان پرتلند تیپ 2

C ₄ AF	C ₃ A	C ₂ S	C ₃ S	تحلیل شیمیایی
11/80	6/21	16/46	65/62	درصد

2-1-2- الیاف نخل خرما

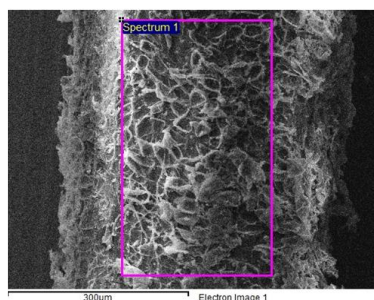
الیاف نخل خرما از جداسازی دو بخش به دست می آید. ابتدا باید لیف خرما را از تنه اصلی نخل جدا کرد، سپس لیف را برش داد و الیاف شکسته را با طول مناسب 3 سانتی متر ایجاد گردد و به عنوان یک ماده افزودنی طبیعی، ارزان و قابل دسترس می توان از آن به مقدار وزنی متفاوت در بتن خودتراکم استفاده کرد. ترکیب عنصری الیاف نخل خرما با آنالیز SEM مورد بررسی قرار گرفت که نشان دهنده وجود دی اکسید سیلیسیم در ترکیب آن است. این عنصر در خواص مکانیکی بتن خودتراکم موثر می باشد (مطابق جدول 3 و شکل 2).

جدول 3: مشخصات الیاف نخل خرما

ویژگی - ها	قطر الیاف (mm)	مقاومت کششی حداکثر (MPa)	مدول الاستیسیته (MPa)	وزن مخصوص (gr/cm ³)	افزایش طول (24 ساعت)	افزایش مقطع عرضی (24 ساعت)
مقدار	0/50	70/59	78/60	0/8	10/19	1/194
ویژگی - ها	جذب آب (24 ساعت)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	رسانایی حرارتی (W/m.K)	ظرفیت حرارتی ویژه (Kj/k)	میزان انتشار حرارتی (mm ² /s)	درصد رطوبت طبیعی
مقدار	7/48	0/045	0/060	1/26	0/83	1/96

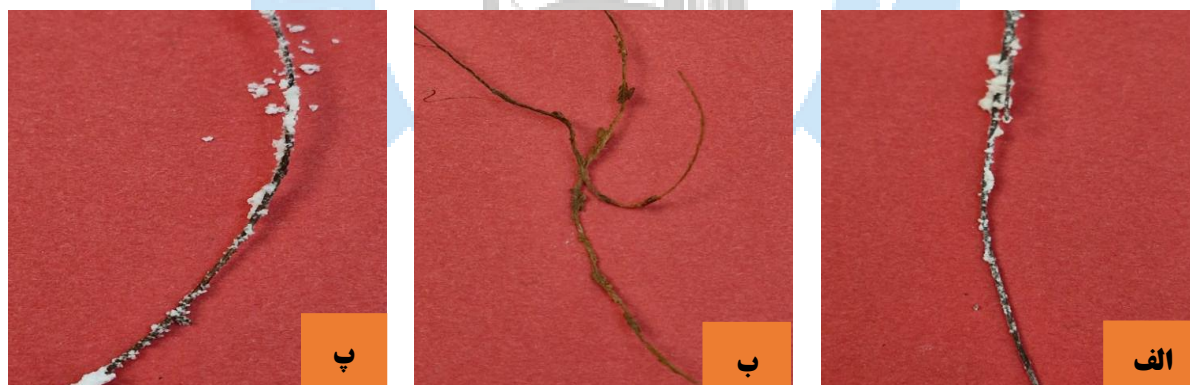
مطابق شکل 2 پردازش طیفی بر روی الیاف نخل خرما توسط آزمایش SEM انجام گردید. در عناصر الیاف نخل خرما به مقادیر مختلفی ترکیباتی همچون؛ کربن، اکسیژن، سیلیسیم و کلسیم وجود دارد.

مقدار (%)	وزن (%)	عنصر
57/67	49/81	کربن
41/27	47/48	اکسیژن
0/38	0/76	سیلیسیم
0/68	1/95	کلسیم
100	100	جمع کل

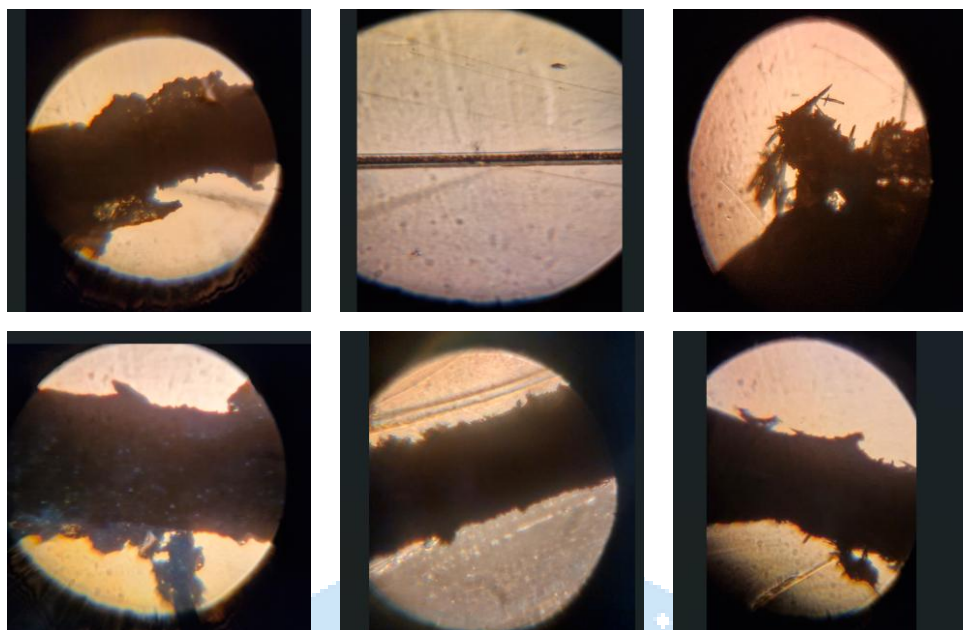


شکل 2: پردازش طیفی الیاف خرما توسط آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی

آزمایش یون کلرید و یون سولفات بر اساس استاندارد ASTM D 7319-07 [46] بر روی الیاف نخل خرما نر و ماده در زمان 72 ساعت مورد آزمایش قرار گرفتند. دلیل این آزمایش‌ها بر الیاف خرما نر و ماده، تاثیر و مقایسه یون‌ها بر سطح، شکل ظاهری و درصد جذب یون‌ها توسط ذرات الیاف نر و ماده می‌باشد (مطابق شکل 2). نتایج آزمایش یون کلرید و سولفات بر الیاف نخل خرما نر و ماده نشان دادند، الیاف نخل نر دارای کمترین درصد جذب یون‌ها نسبت به الیاف نخل خرما ماده را دارد. دلیل آن استحکام، مقاومت، ضخامت ذرات الیاف و بافت ضخیم‌تر الیاف نر نسبت به الیاف ماده بود. به همین دلیل برای این پژوهش از الیاف نخل خرما نر استفاده شد. بزرگ‌نمایی ظاهری الیاف‌ها توسط میکروسکوپ SET 50 PSS با زوم 900×1200 انجام شد. بعد از انجام آزمایش یون‌ها بر روی الیاف‌ها و اندازه‌گیری درصد جذب آن‌ها، آزمایش مقاومت استحکام کششی بر روی همان نمونه‌ها انجام گردید تا مقایسه مقاومت کششی الیاف نر و ماده به دست آید. نتایج این آزمایش نشان داد مقاومت کششی الیاف نخل خرما نر پس از آزمایش جذب یون کلرید و یون سولفات نسبت به الیاف نخل خرما ماده مقاومت و دوام بهتری دارد (مطابق شکل 3 و 4).



شکل 3: الف) نمای ظاهری الیاف نخل خرما با جذب یون کلرید (ب) نمای ظاهری الیاف نخل خرما (پ) نمای ظاهری الیاف نخل خرما با جذب یون سولفات



جذب ذرات یون کلرید به الیاف خرما

تصویر بزرگ‌نمایی الیاف خرما بدون آزمایش یون

جذب ذرات یون سولفات به الیاف خرما

شکل 4: درصد جذب یون سولفات و کلرید ثبت شده توسط میکروسکوپ SET 50 PSS

جدول 4: درصد جذب یون سولفات و کلرید توسط ذرات الیاف

نوع الیاف	درصد جذب یون کلرید	درصد جذب یون سولفات	مقاومت کششی پس از آزمایش یون کلرید	مقاومت کششی پس از آزمایش یون سولفات
الیاف خرما نر	٪ 41/8	٪ 46	25/41	20/77
الیاف خرما ماده	٪ 45	٪ 50	18/77	13/50

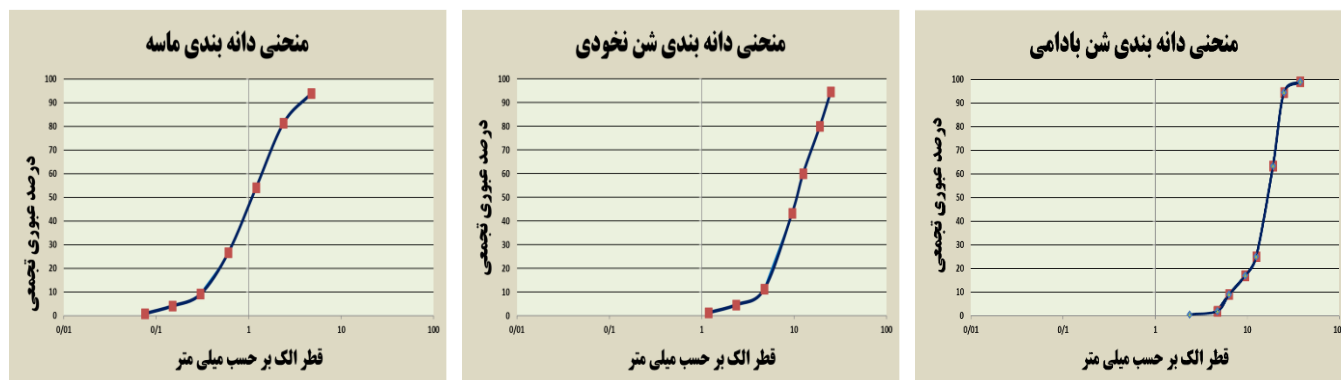
به طور کلی، الیاف‌های نخل دارای خواص عایق حرارتی مناسبی هستند و به دلیل رسانایی حرارتی کم می‌توانند به تنظیم دما و جلوگیری از اتلاف حرارت در بتن کاربردهای متفاوتی داشته باشند.

2-1-3- سنگدانه‌ها

سنگدانه درشت (شن) با حداکثر اندازه 19 میلی‌متر و ماسه با حداکثر 4/75 میلی‌متر در این طرح مخلوط استفاده شدند. با استفاده از الک‌های مناسب به دانه‌بندی ماسه و شن (نخودی، بادامی) پرداخته شد. برای شن نخودی رد شده از الک با شماره $\frac{3}{8}$ ، شن بادامی رد شده از الک شماره $\frac{1}{2}$ ، ماسه رد شده از الک شماره 8 استفاده گردید که مطابق با استاندارد ASTM C33 [47] می‌باشد (مطابق جدول 5 و شکل 5).

جدول 5: مشخصات سنگدانه‌ها

ویژگی‌ها	درصد جذب آب ماسه	درصد جذب آب شن نخودی	درصد جذب آب شن بادامی
مقدار (%)	2/2	0/80	0/90



شکل 5: دانه بندی شن نخودی، بادامی و ماسه

2-1-4- فوق روان کننده و نانوسیلیس

در این پژوهش بر اساس استاندارد ASTM C 494 [48]، برای رسیدن به خواص مکانیکی بتن خودتراکم، از فوق روان کننده SUPER PLAST PC5000 که بر پایه پلی کربوکسیلات اتر به عنوان یک نوع آب کاهندگی و افزایش دهنده قوی بتن است، استفاده شد. همچنین از نانو سیلیس که بر پایه دوده سیلیس است به مخلوط بتن اضافه گردید. اگر دی اکسید سیلیسیم فعال نانو سیلیس با محلول هیدروکسید کلسیم سیمان در منافذ موئین بتن ترکیب گردد و کریستال سیلیکات کلسیم نامحلول تولید نماید در نهایت باعث تراکم ساختار خمیر سیمان، کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت بتن می شود. افزودن نانو سیلیس به بتن باعث تقویت ساختار داخلی می شود که عبارتند از:

- 1) افزایش مقاومت فشاری، خمشی و کششی (2) کاهش فرسایش (3) کاهش نفوذپذیری بتن (4) جلوگیری از نفوذ یون های مخرب به داخل بتن.
- نانو سیلیس با حالت غیر کریستالی به شکل ذرات بی نهایت ریز با قطر نانونی برای استفاده به عنوان یک ماده سیمانی در بتن بسیار مناسب است و امکان سهولت بتن ریزی با افزایش اسلامپ بتن و کارایی بالا میسر می گردد همچنین ژل نانو سیلیس می تواند ناحیه انتقال را تقویت و بر مقاومت نهایی بتن تأثیرگذار باشد (مطابق جدول 6).

جدول 6: مشخصات فنی فوق روان کننده و نانو سیلیس

ویژگی ها	حالت فیزیکی	جرم مخصوص (کیلوگرم بر لیتر)	PH	رنگ
SUPER PLAST PC5000				
مشخصات	مایع	1/1	6/2	زرد
ژل نانو سیلیس				
مشخصات	مایع غلیظ	1/35	9	خاکستری

2-1-5- آب

آب شرب در طرح مخلوط بتن خودتراکم، جهت تولید و عمل آوری آزمون ها مورد استفاده قرار گرفت که منطبق بر الزامات ASTM C 94 [49] است (مطابق جدول 7).

جدول 7: ویژگی آب شرب

ویژگی ها	دما (سانتی‌گراد)	PH	غلظت یون کلرید
مقدار	20	6	50

2-1-6- پودر سنگ آهک

یکی از مواد لازم جهت تأمین ویسکوزیته مناسب در بتن خودتراکم پودر سنگ است. پرکننده‌هایی چون پودر سنگ به دلیل دارا بودن ذرات بسیار ریز، باعث پر کردن فضای خالی و حفره‌های موجود بین ذرات سیمان و سنگدانه شده؛ بنابراین باعث کاهش تخلخل و افزایش درجه توپیری بتن می‌گردند. این دسته از عناصر پرکننده به دلیل دارا بودن سطح ویژه بسیار زیاد، اصطکاک بین دانه‌های را افزایش داده و باعث افزایش لزجت بتن می‌گردند. نتایج تجزیه شیمیایی و مشخصات فیزیکی سیمان و پودر سنگ آهک در جدول 8 نشان داده شده است.

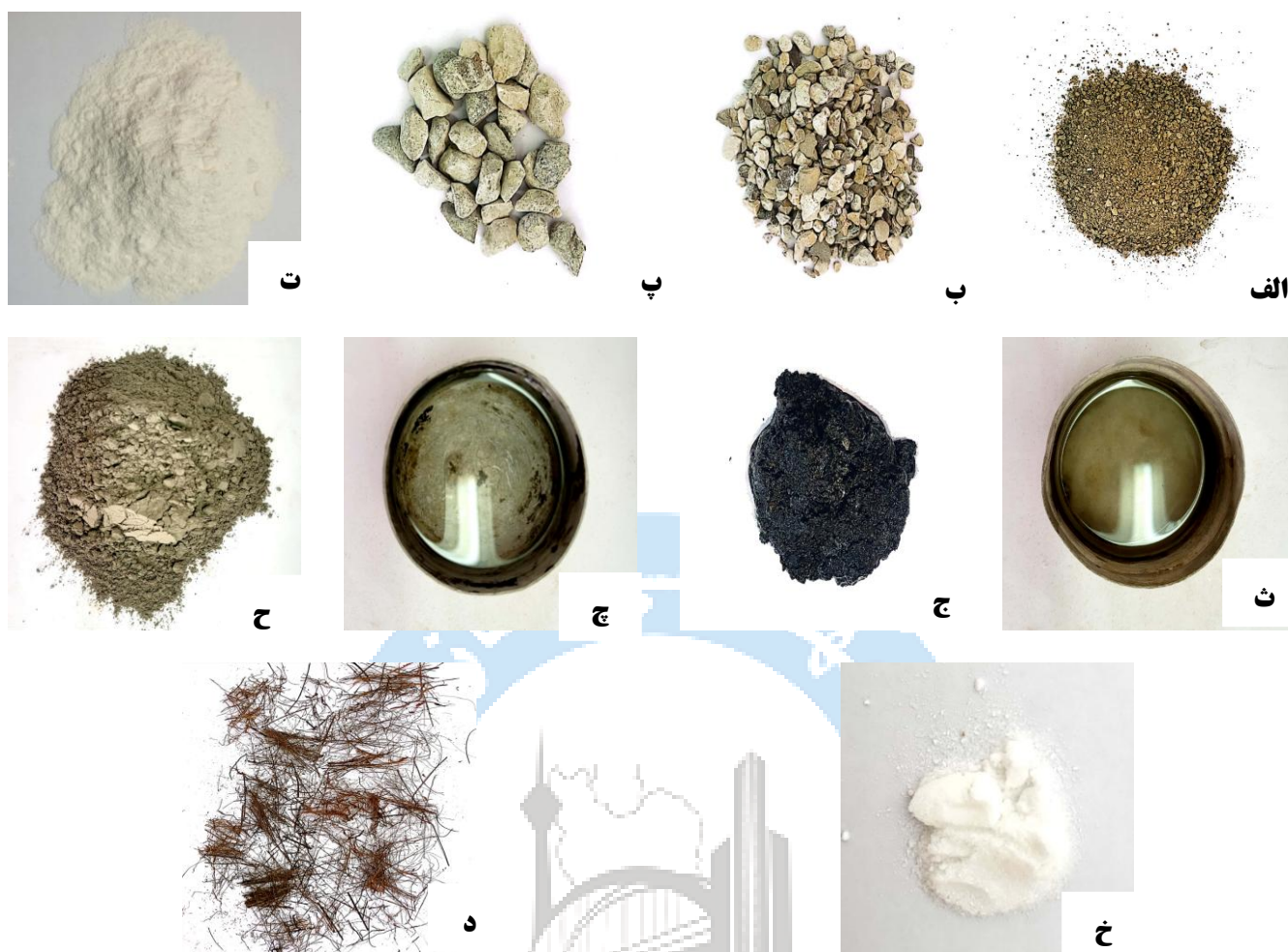
جدول 8: مشخصات پودر سنگ

تجزیه و تحلیل شیمیایی	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	LOI
درصد	2/8	0/35	0/5	1/8	51/22	1/24	43/2

2-1-7- قوام دهنده و کنترل کننده رئولوژی بتن

یکی از آخرین نوآوری‌ها در زمینه افزودنی‌های شیمیایی بتن، توسعه و بهبود افزودنی‌های قوام آور یا افزودنی‌های تغییر دهنده لزجت (VMA¹) است که با عنوان افزودنی‌های تثبیت کننده، افزودنی‌های بهبود دهنده لزجت (VEA) و افزودنی‌های حفظ کننده آب (AWA) هم شناخته می‌شوند. این قوام دهنده و کنترل کننده رئولوژی در بتن خودتراکم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق از افزودنی Master Matrix VMA 358 بر پایه رشته‌های مولکولی پلیمری سنگین و با پایداری فوق‌العاده‌ای استفاده گردید که منطبق بر استاندارد ASTM C 494/C 494M [50] است (مطابق شکل 6).

¹ قوام دهنده و کنترل کننده رئولوژی بتن



شکل 6: مصالح مورد مصرف در طرح اختلاط بتن خودتراکم - الف: ماسه، ب: شن نخودی، پ: شن بادامی، ت: پودر سنگ، ث: فوق روان کننده، ج: نانو سیلیس، چ: آب، ح: سیمان، خ: VMA، د: الیاف نخل خرما

2-2- طرح مخلوط

5 طرح اختلاط بتن خودتراکم با و بدون الیاف نخل خرما در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. میزان درصد الیاف خرما با نسبت‌های مختلف (0، 0/5، 1، 1/5، 2 درصد نسبت به وزن سیمان) می‌باشد. در تمامی 5 طرح مخلوط، مقدار مصالح ثابت بوده و میزان درصد الیاف نخل خرما متغیر است (مطابق جدول 9)

جدول 9: طرح اختلاط بتن خودتراکم با و بدون الیاف نخل خرما

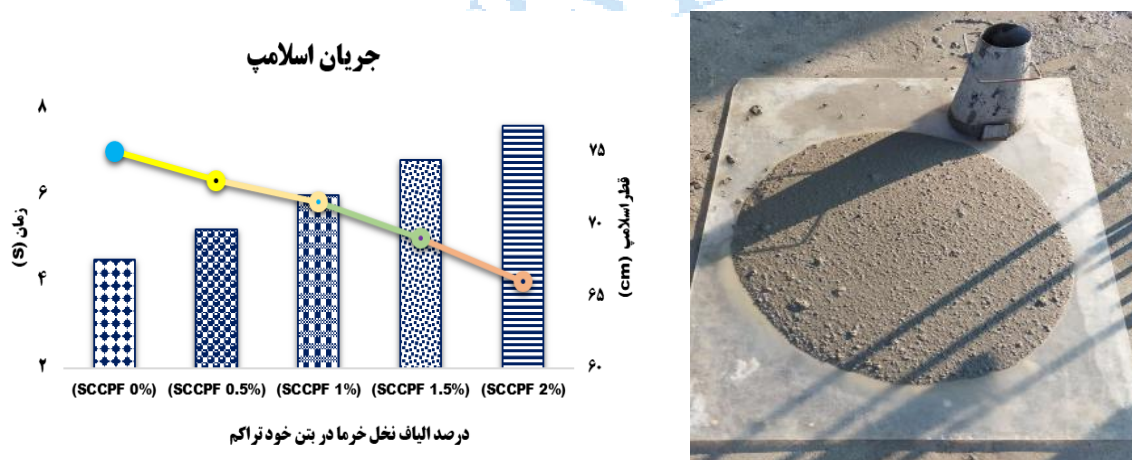
طرح اختلاط بتن خودتراکم بدون الیاف نخل خرما (0%) (SCC 0%)								
الیاف نخل خرما (kg/m ³)	VMA (kg/m ³)	پودر سنگ (kg/m ³)	فوق روان کننده - سوپر ژل نانو سیلیس (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	شن بادامی (kg/m ³)	شن نخودی (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)
-	0/160	160	5 - 10	115	1250	150	300	400
طرح اختلاط بتن خودتراکم با 0/5٪ الیاف نخل خرما (SCCCPF 0.5%)								
2	0/160	160	5 - 10	115	1250	150	300	400
طرح اختلاط بتن خودتراکم با 1٪ الیاف نخل خرما (SCCCPF 1%)								
4	0/160	160	5 - 10	115	1250	150	300	400
طرح اختلاط بتن خودتراکم با 1/5٪ الیاف نخل خرما (SCCCPF 1.5%)								
6	0/160	160	5 - 10	115	1250	150	300	400
طرح اختلاط بتن خودتراکم با 2٪ الیاف نخل خرما (SCCCPF 2%)								
8	0/160	160	5 - 10	115	1250	150	300	400

2-3- انجام آزمایش

جهت رسیدن به طرح اختلاط مناسب و بهینه، ابتدا اقدام به ساخت بتن خودتراکم با مصالح، سیمان، شن (نخودی، بادامی)، ماسه، آب، فوق روان کننده، ژل نانو سیلیس، پودر سنگ، الیاف خرما و VMA به دفعات مکرر در شرایط محیطی با دمای 23 درجه سانتی-گراد، سرعت باد 4 کیلومتر/ساعت، رطوبت 25 درصد و AQI 45 (خوب) مورد انجام و بررسی قرار گرفت. برای مخلوط کردن مصالح از دستگاه میکسر به مدت 6 و 7 دقیقه جهت تهیه بتن خودتراکم با و بدون الیاف استفاده شد. ترتیب ریختن مواد درون مخلوط کن به ترتیب به صورت شن (نخودی و بادامی)، ماسه، پودر سنگ، الیاف خرما، سیمان، آب و فوق روان کننده، نانو سیلیس و VMA هستند. پس از ترکیب شدن مصالح ذکر شده در مخلوط کن لازم است برای خواص تازه بتن خودتراکم با و بدون الیاف نخل خرما آزمایش جریان اسلامپ، آزمایش قیف V، آزمایش جعبه L، آزمایش حلقه J و آزمایش جعبه U انجام گردید.

2-3-1- آزمایش جریان اسلامپ

آزمایش جریان اسلامپ به دلیل سادگی اجراء، برای تعیین کارایی بتن خودتراکم بسیار متداول است. نتایج آزمایش جریان اسلامپ بتن خودتراکم با اثر درصدهای مختلف الیاف نخل خرما در شکل 7 بر اساس میانگین به دست آمده است.

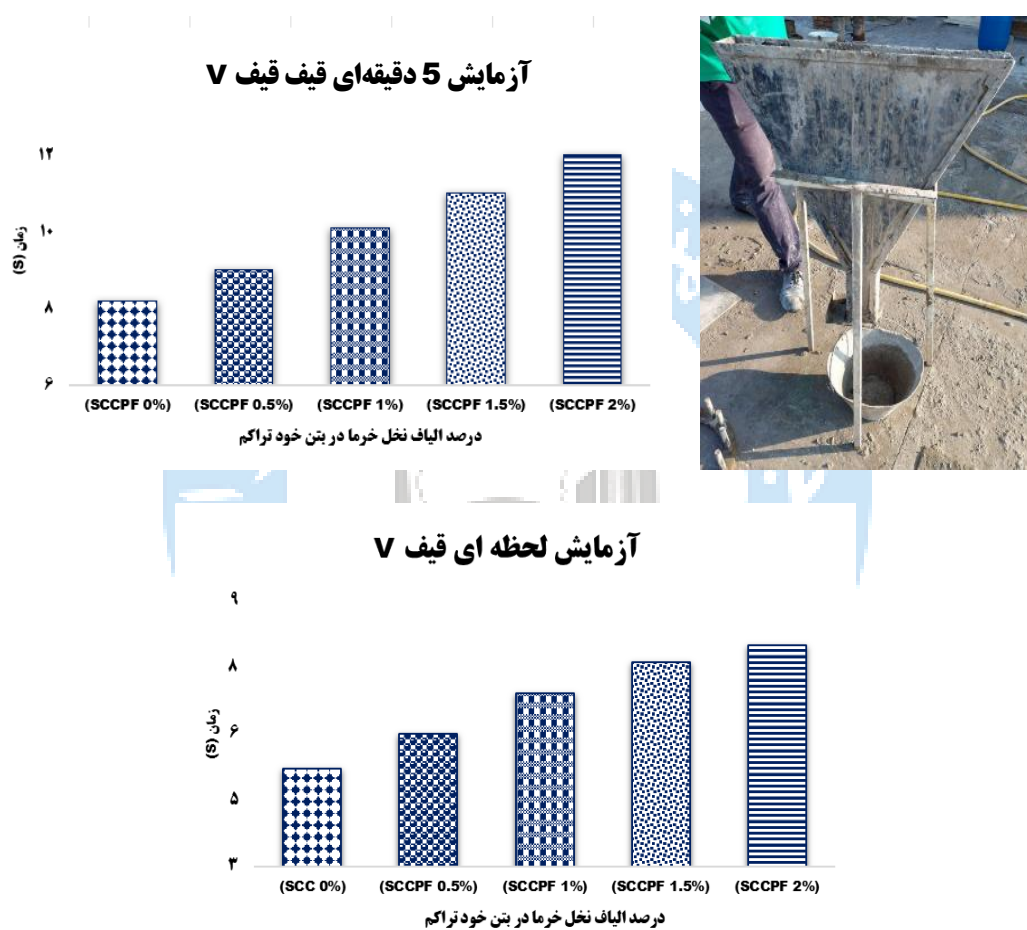


شکل 7: آزمایش جریان اسلامپ

نتایج آزمایش جریان اسلامپ نشان داد که با افزایش درصد الیاف نخل خرما، قطر اسلامپ (جریان پذیری) به ترتیب $5/4$ ، $9/5$ ، $13/6$ ، $17/8$ درصد نسبت به بتن خودتراکم (معیار) کاهش می‌یابد و زمان جریان اسلامپ نیز به ترتیب $1/2$ ، $2/2$ ، $3/5$ ، $5/2$ ثانیه نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت که آزمایش مطابق با استاندارد ASTM C1611 [51] است.

2-3-2- آزمایش قیف V

آزمایش قیف V را 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. نتایج آزمایش قیف V بتن خودتراکم با اثر درصدهای مختلف الیاف نخل خرما در شکل 8 بر اساس میانگین به دست آمده است.

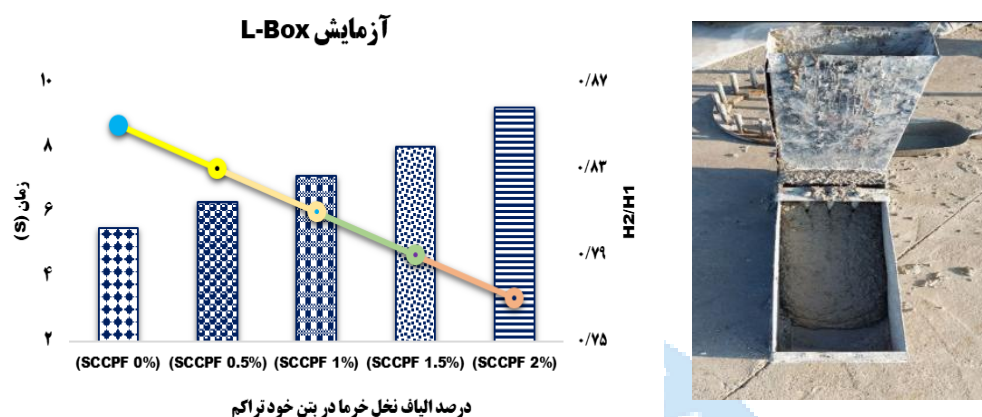


شکل 8: آزمایش قیف V

نتایج آزمایش قیف V و آزمایش 5 دقیقه‌ای قیف V نشان داد که با افزایش درصد الیاف نخل خرما، زمان نیز به ترتیب $0/4$ ، $1/2$ ، 2 ، $3/5$ ثانیه و $0/9$ ، $1/6$ ، 2 ، $3/4$ ثانیه نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت که آزمایش‌ها مطابق با استاندارد ISISIR 3203-9 [52] می‌باشند.

2-3-3- آزمایش جعبه L

هدف از آزمایش جعبه L برای بررسی قابلیت روانی، قدرت عبور بتن از بین میلگردها، پایداری در مقابل جداسازی دانه‌ها و قابلیت پرنندگی است. نتایج آزمایش جعبه L بتن خودتراکم با اثر درصد‌های مختلف الیاف نخل خرما در شکل 9 بر اساس میانگین به دست آمده است.

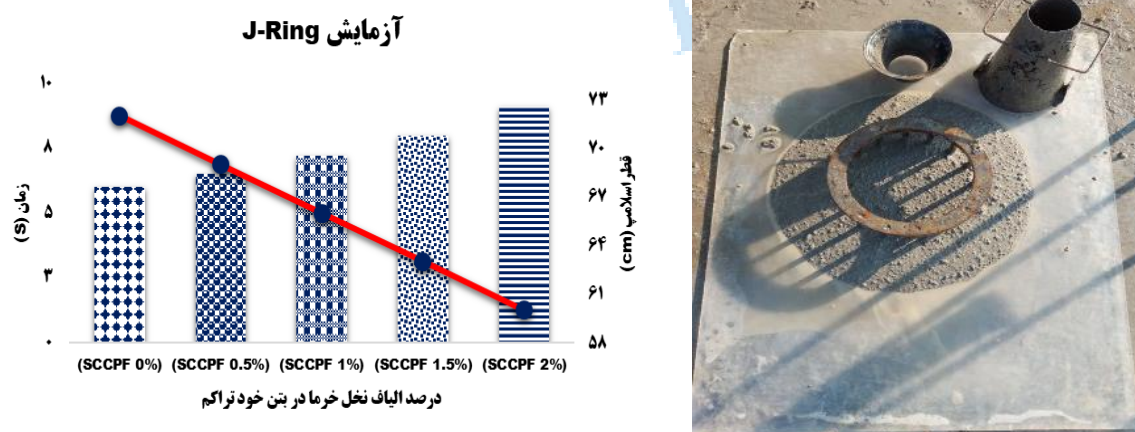


شکل 9: آزمایش جعبه L

نتایج آزمایش جعبه L نشان داد که با افزایش درصد الیاف نخل خرما، زمان آزمایش نیز به ترتیب 0/6، 1/3، 2، 2/6 ثانیه افزایش یافت و ارتفاع بتن در انتهای بخش افقی (H2) و انتهای بخش عمودی (H1) تعیین و از رابطه $H2/H1$ که به نسبت اسناد معروف است به دست آمد که با افزایش درصد الیاف نخل خرما، نسبت اسناد 2/29، 5/74، 9/19، 12/64 درصد کاهش یافت که آزمایش مطابق با استاندارد INSO 3203-10 [53] می‌باشد.

2-3-4- 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 می‌شود. نتایج آزمایش حلقه J بتن خودتراکم با اثر درصد‌های مختلف الیاف نخل خرما در شکل 10 بر اساس میانگین به دست آمده است.

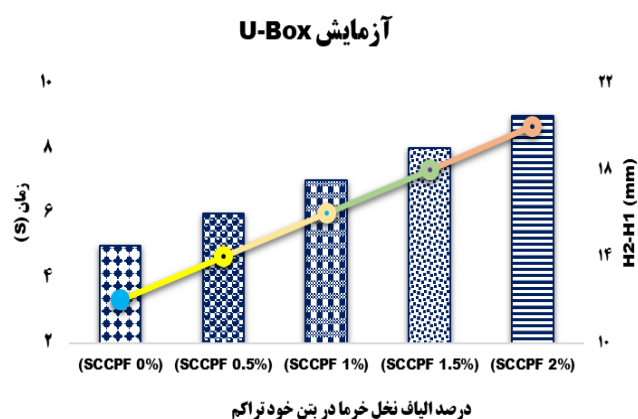


شکل 10: آزمایش حلقه J

نتایج آزمایش حلقه J نشان داد که با افزایش درصد الیاف نخل خرما، قطر اسلامپ (جریان پذیری) به ترتیب 4/16، 8/33، 13/88، 19/44 درصد نسبت به بتن خودتراکم (معیار) کاهش یافت و زمان جریان اسلامپ نیز به ترتیب 0/5، 1/2، 2، 3/1 ثانیه نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت که آزمایش مطابق با استاندارد INSO 11271 [54] است.

2-3-5- آزمایش جعبه U

از آزمایش جعبه U برای اندازه گیری قابلیت پر کردن و قابلیت عبور بتن خودتراکم استفاده می‌شود. قالب این آزمایش ظرفی به شکل U است. این دستگاه شامل مجرایی است که توسط یک تیغه جدا کننده و یک دریچه متحرک در وسط به دو قسمت تقسیم شده است. این آزمایش برای سنجش توانایی عبور بتن خود تراکم از خروجی‌های تنگ وب باریک تحت ارتفاع مشخص طراحی شده است. نتایج آزمایش جعبه U بتن خودتراکم با اثر درصدهای مختلف الیاف نخل خرما در شکل 11 بر اساس میانگین به دست آمده است.



شکل 11: آزمایش جعبه U

نتایج آزمایش جعبه U نشان داد که با افزایش درصد الیاف نخل خرما، زمان نیز به ترتیب 1/1، 2، 3، 4/2 ثانیه نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت و میزان اختلاف ارتفاع بتن در دو مجرا (H2-H1) نیز به ترتیب 2، 4، 5، 6 سانتی‌متر نسبت به بتن خودتراکم (معیار) افزایش یافت. میزان اختلاف ارتفاع بتن در دو مجرا (H2-H1) کمتر از 30 میلی‌متر بود و مورد قبول واقع شد. آزمایش مطابق با استاندارد UNI 11044 [55] می‌باشد.

2-4- قالب‌گیری نمونه‌های بتن

بتن تازه در درون قالب‌های مکعبی با ابعاد $150 \times 150 \times 150$ میلی‌متر و قالب‌های استوانه‌ای با ابعاد 300×150 قالب‌گیری گردید. به مدت ۲۴ ساعت جهت سخت شدن در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و پس از گذشت ۲۴ ساعت آزمون‌ها 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 نخل خرما ساخته شدند. پس از رسیدن ۵ طرح مخلوط به سن ۲۸ روزه، آزمایش چکش اشमित براساس استاندارد ASTM C805 [56] آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک براساس استاندارد ASTM C-597 [57]، آزمایش نفوذپذیری براساس استاندارد استاندارد DIN 1048 [58]، مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی طی عمل آوری ۷ و ۲۸ روزه براساس استاندارد ISIRI 3206 [59]، مقاومت کششی آزمون‌های استوانه‌ای طی عمل آوری ۷ و ۲۸ روزه براساس استاندارد ASTM C496 [60] و کنترل عرض ترک‌ها در دال بتنی انجام شد.

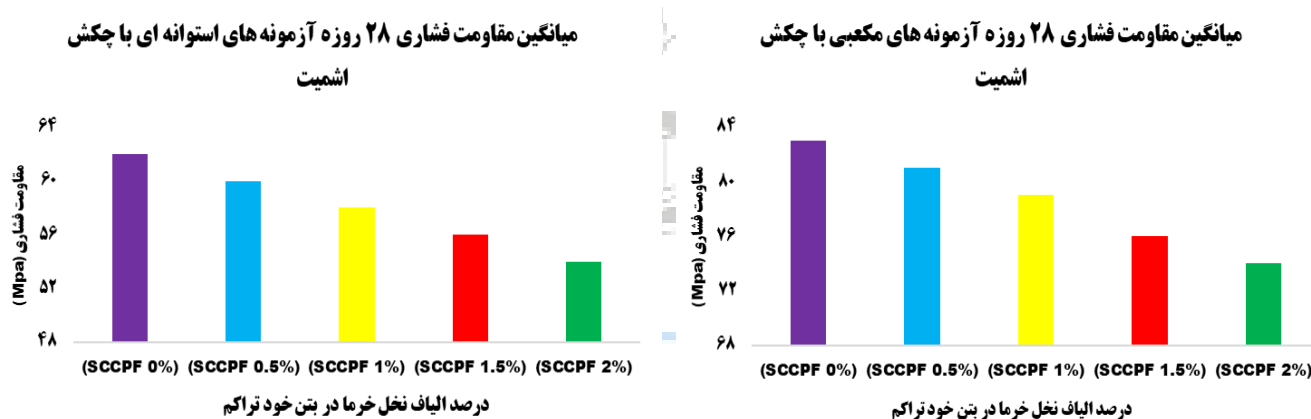
2-5- آزمایش چکش اشमित

امروزه چکش اشमित به‌عنوان یک آزمایش غیر مخرب برای سنجش ویژگی‌های مواد کشسان و به ویژه سنجش مقاومت فشاری بتن مورد توجه قرار گرفته و اخیراً به‌عنوان یک ابزاری مؤثر برای مقاومت سطح اجسام با توجه به سختی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد

[56]. ثبت عدد شاخص با چکش اشمیت بر روی آزمون‌ها انجام و نتایج آن ذکر گردید که مطابق با استاندارد ISO1920-7 [61] است (مطابق شکل‌های 12-13). نتایج آزمایش‌ها بر روی آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای نشان داد که با اضافه شدن الیاف نخل به بتن خودتراکم، مقاومت فشاری با آزمایش چکش اشمیت کاهش یافت. به دلیل اینکه خواص اصلی الیاف نخل خرما به نوعی چوب است، نمی‌تواند جایگزین سنگ‌دانه در بتن باشد و چون الیاف مقاومتی در برابر فشاری ندارد باعث کاهش در سنجش مقاومت فشاری با چکش اشمیت می‌شود. همچنین به دلیل مقدار، شکل و پراکندگی الیاف در بتن مقاومت فشاری با آزمایش چکش اشمیت موجب کاهش شدن مقاومت عدد شاخص است. همچنین، کاهش در مقاومت فشاری آزمون‌ها با افزایش درصد الیاف به دلیل کاهش چسبندگی بین سیمان و سنگ‌دانه‌ها و کاهش چسبندگی در ناحیه انتقال بتن و عدم انسجام کافی بتن است.



شکل 12: آزمایش چکش اشمیت بر روی آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای



شکل 13: نتایج آزمایش چکش اشمیت برای آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای در عمل آوری 28 روزه

2-6- آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک

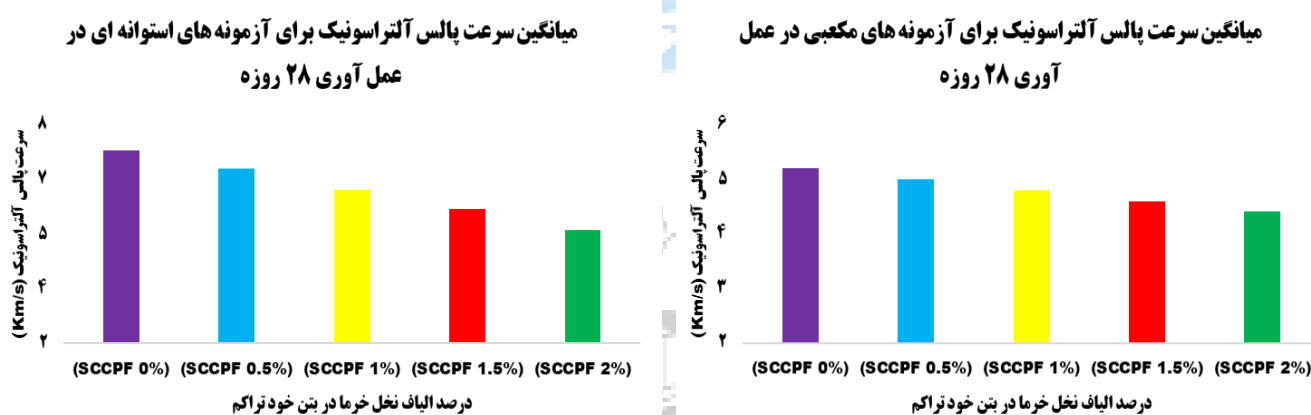
آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک (UPV) یکی از روش‌های تست غیر مخرب است که امکان تجزیه و تحلیل عمیق همگنی مواد، یکنواختی، کیفیت، فرسودگی، یافتن عیوب، وجود حفره‌های داخلی و خلل و فرج در بتن سخت شده را تعیین می‌کند. سرعت امواج آلتراسونیک، در این پژوهش در محدوده فرکانسی 20 تا 170 کیلوهرتز است. همچنین از روش مستقیم برای انجام آزمایش بر روی آزمون‌ها استفاده شد که مطابق با استاندارد ISO1920-7 [61] است. مطابق رابطه (1) فاصله (cm) بر عدد قرائت (ms) که روی نمایشگر دستگاه نمایش داده شده را تقسیم کرده و در 10 ضرب گردید تا سرعت پالس برحسب (km/s) تعیین گردد [57] (مطابق شکل‌های 14-15). نتایج آزمایش‌ها بر روی آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای نشان داد که با اضافه شدن الیاف نخل خرما به بتن خودتراکم، سرعت پالس آلتراسونیک کاهش یافت. در این پژوهش، به دلیل اینکه خواص اصلی الیاف نخل خرما به نوعی چوب است باعث کاهش سرعت پالس

آلتراسونیک شد. چندین عامل مختلف از جمله نوع سیمان، نسبت آب سیمان، سن بتن، نوع سنگدانه، روش عمل آوری، فاصله اندازه گیری، منطقه اندازه گیری و میزان درصد جذب آب الیاف بر سرعت پالس آلتراسونیک تأثیر می گذارد.

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



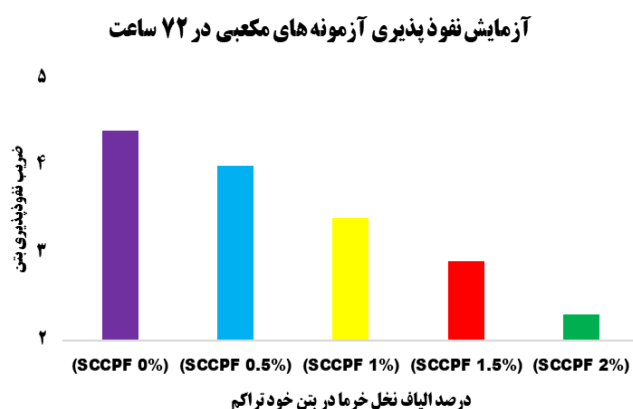
شکل 14: آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک بر روی آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای



شکل 15: نتایج آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک برای آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای در عمل آوری 28 روزه

2-7- آزمایش نفوذپذیری آزمون‌ها مکعبی

آزمایش نفوذپذیری بتن خودتراکم برای آزمون‌های مکعبی با ابعاد $150 \times 150 \times 150$ میلی‌متری جهت حفظ آزمون‌ها در برابر حفظ آب، یون‌ها، سولفات‌ها و دوام بتن در نظر گرفته شد که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. 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، به‌ویژه 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 تأثیرگذار در دوام بتن هستند. منظور از دوام بتن، توانایی آن برای مقابله با عوامل جوی، حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و هرگونه فرایندی که منجر به زوال، خرابی، کاهش طول عمر مفید و بهره دهی آن می‌شود، است؛ بنابراین، تعیین ویژگی‌های نفوذپذیری بتن خودتراکم اهمیت قابل توجهی دارد. این آزمایش برای آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای در معرض فشار هیدرواستاتیک 5 بار که مطابق با استاندارد DIN 1048 [58] است، اندازه‌گیری گردید. فشار آب و هوا در بازه زمانی 72 ساعت و در دمای 25 درجه سانتی‌گراد انجام شد و ضریب نفوذپذیری را محاسبه شد (مطابق شکل 16).



شکل 16: دستگاه نفوذپذیری بتن و نتایج آزمایش نفوذپذیری

استفاده از الیاف نخل خرما در بتن می‌تواند در کاهش نفوذپذیری بتن مؤثر باشد. الیاف دارای خواص مکانیکی مناسب است و می‌تواند به تقویت و چسبندگی بین مصالح بتن کمک کنند. الیاف می‌تواند به عنوان یک عامل تقویتی به کنترل ترک‌زدگی، ترک خوردگی و افزایش مقاومت کششی بتن کمک کند. با افزودن الیاف به بتن، خواص مکانیکی و فیزیکی بتن بهبود می‌یابد و می‌تواند سبب کاهش نفوذپذیری در بتن شود. دلیل این موضوع به خاطر، تأثیر مثبت الیاف نخل خرما بر کاهش انقباض در بتن است. الیاف می‌تواند به ساختار داخلی بتن، مانند مقاومت، انعطاف پذیری، کارایی بهبود یافته، کاهش ترک و ایجاد نوعی مانع برای نفوذ آب و مایعات در بتن کمک کند. به طور کلی، الیاف برای کاهش نفوذپذیری بتن مفید است و باعث افزایش دوام بتن می‌شود. الیاف نخل خرما عمدتاً شامل سلولز و همچنین قدرت مکانیکی بالایی است. تأثیر الیاف نخل خرما بر کاهش نفوذپذیری در بتن خودتراکم به عنوان یکی از عوامل مهم در بهبود خواص بتن مطرح است. ارتباط الیاف نخل خرما با نفوذپذیری بتن از طریق دو مکانیسم اصلی صورت می‌گیرد. اولاً، الیاف نخل خرما به عنوان یک راه حل حفاظتی برای کنترل نفوذ آب و یون‌ها به درون ساختار بتن عمل می‌کنند که می‌تواند منجر به کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت بتن در برابر حمله آب و مواد شیمیایی شود. ثانیاً، اضافه کردن الیاف نخل خرما به بتن خودتراکم می‌تواند باعث بازسازی از تشکیل شکستگی‌های میکروسکوپی در ساختار بتن شود. این الیاف، به عنوان یک پل بین شکستگی‌ها و ترک‌ها، می‌تواند به توزیع یکنواخت تنش در بتن کمک کند و شکستگی‌های احتمالی را به شکل انتشار تنش وارده تبدیل کنند. این بازسازی از تشکیل شکستگی‌ها منجر به کاهش نفوذ آب و یون به ساختار بتن و بهبود نفوذپذیری می‌شود. الیاف نخل خرما دارای تنش شکست بالا و تغییر حجم است و این الیاف دارای خواص کششی بالا و میانگینی بهتر در توزیع یکنواخت تنش در بتن خودتراکم دارد. در نهایت، الیاف نخل خرما مقاومت خوبی در برابر آب دارد و می‌تواند در محیط‌های رطوبتی استفاده شود. این خاصیت ضد آب می‌تواند بتن خودتراکم حاوی الیاف نخل خرما را در برابر آب و رطوبت محافظت کند و عمر مفید و دوام آن را افزایش دهد.

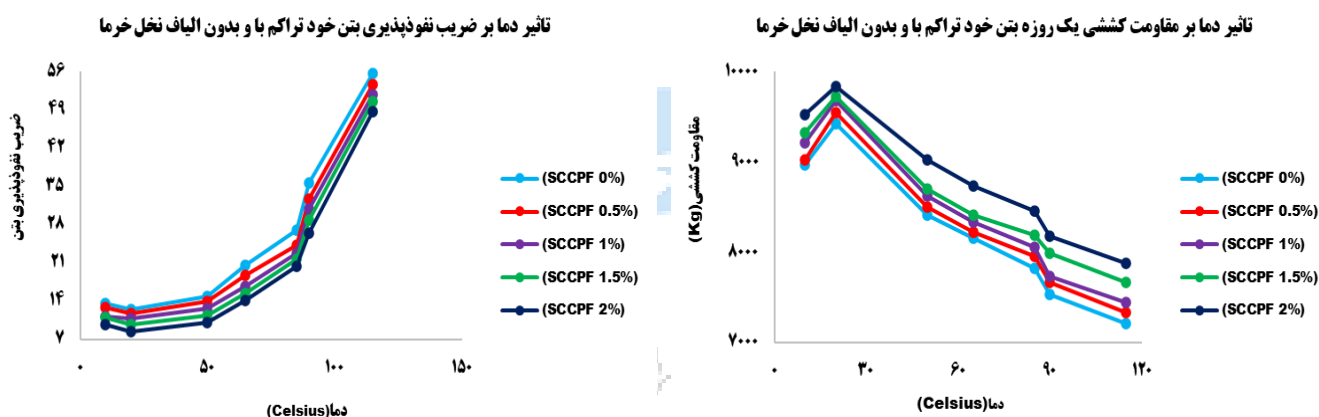
2-8- آزمایش تاثیر دما بر مقاومت کششی آزمون‌های استوانه‌ای

این آزمایش نشان دهنده تأثیر دماهای مختلف بر محیط و داخل بتن خودتراکم با و بدون الیاف نخل خرما است. ابتدا آزمون‌های بتن تازه خودتراکم با و بدون الیاف نخل خرما در قالب استوانه‌ای در ابعاد 300×150 میلی‌متری قالب‌گیری، سپس قالب‌ها را در فر خشک کننده^۲ مطابق با شکل 17 و 18 با دماهای مختلف قرار داده شدند. پس از 24 ساعت که آزمون‌ها سخت شدند، قالب‌ها را از فر خشک کننده خارج کرده و آزمایش مقاومت کششی 1 روزه را انجام و نتایج ثبت گردید. به دلیل اینکه بتن خودتراکم در فر خشک کننده به مدت 24 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 کششی 1 روزه بتن خودتراکم با و بدون الیاف انجام شد [62].

^۲ آون



شکل 17: آزمون استوانه‌ای در فر خشک کننده و شکست با دستگاه مقاومت کششی



شکل 18: آزمایش تأثیر دما بر مقاومت کششی آزمون‌های استوانه‌ای

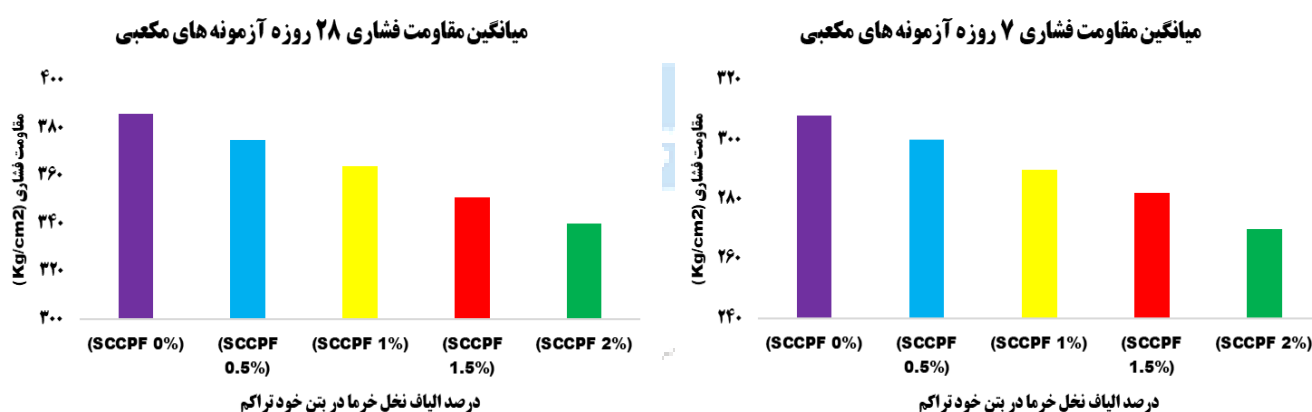
نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که با افزایش دما بر 5 طرح مخلوط بتن، مقاومت کششی 1 روزه کاسته شد و نفوذپذیری افزایش یافت، اما در دمای 25 درجه سانتی‌گراد با افزایش درصد مختلف الیاف نخل خرما در بتن خودتراکم، مقاومت کششی 1 روزه آزمون‌های استوانه‌ای در بالاترین حد افزایش یافت و نفوذپذیری آزمون‌ها در این دما در کمتر حالت نسبت به بتن بدون الیاف ایجاد شدند.

2-9- آزمایش مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی

مقاومت فشاری 5 طرح مخلوط بر اساس سنین 7 و 28 روزه با ابعاد مکعبی $150 \times 150 \times 150$ میلی‌متری مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها بر روی آزمون‌های مکعبی براساس استاندارد ISIRI 3206 [59] نشان داد که با اضافه شدن الیاف به بتن خودتراکم، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد (مطابق شکل‌های 19 و 20). دلیل کاهش در آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ناشی از مقدار، شکل و پراکندگی الیاف در بتن می‌باشد. همچنین با افزایش درصد الیاف باعث کاهش چسبندگی بین سیمان، سنگدانه‌ها و عدم انسجام کافی در بتن می‌شود.



شکل 19: آزمایش شکست آزمون مکعبی با دستگاه جک بتن شکن و آزمون شکسته شده بتن خودتراکم با الیاف خرما



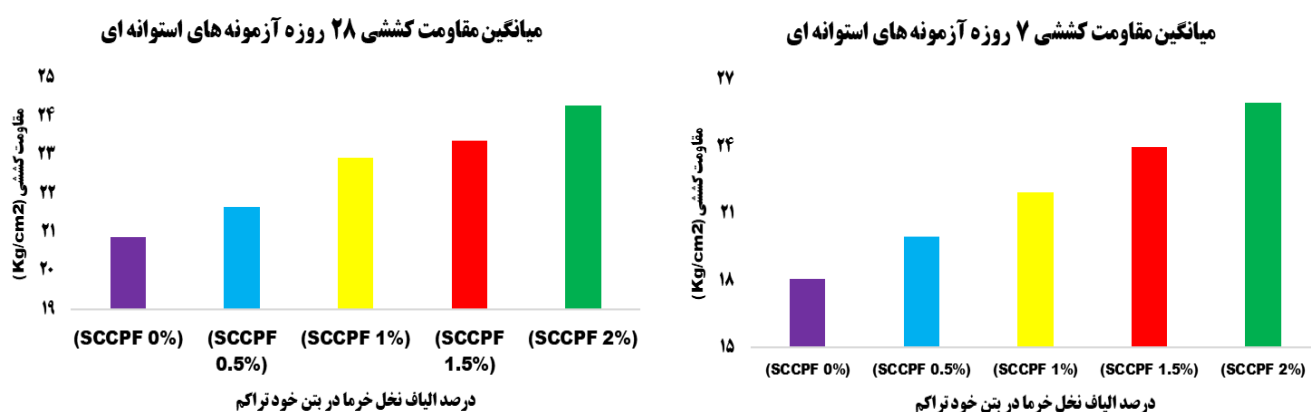
شکل 20: نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای آزمونهای مکعبی در عمل آوری 7 و 28 روزه

2-10- آزمایش مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای

مقاومت کششی 5 طرح مخلوط بر اساس سنین 7 و 28 روزه با ابعاد استوانه‌ای 300×150 میلی‌متری مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها بر روی آزمونهای استوانه‌ای براساس استاندارد ASTM C496 [60] نشان داد که با اضافه شدن الیاف به بتن خودتراکم، مقاومت کششی افزایش یافت (مطابق شکل‌های 21 و 22). دلیل افزایش مقاومت کششی در بتن خودتراکم با الیاف برای آزمونهای استوانه‌ای ناشی از تاثیر مثبت ویژگی منحصر به فرد الیاف خرما 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.



شکل 21: آزمایش شکست آزمون استوانه‌ای با دستگاه جک بتن شکن و آزمون شکسته شده بتن خودتراکم با الیاف خرما

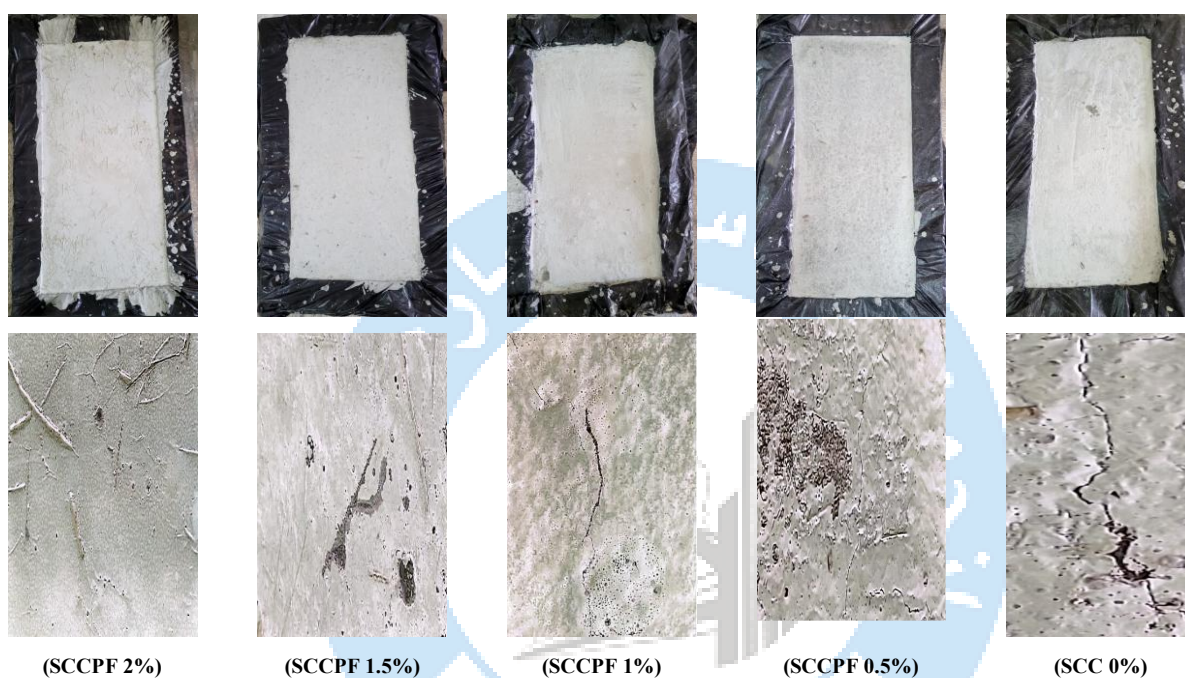


شکل 22: نتایج آزمایش مقاومت کششی برای آزمون‌های مکعبی در عمل آوری 7 و 28 روزه

2-11- آزمایش عرض ترک در دال بتنی با و بدون انواع الیافها

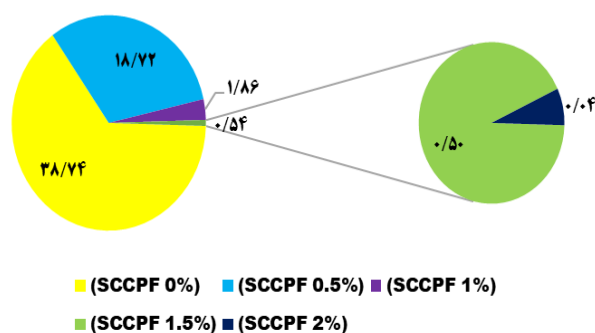
ترک خوردگی در بتن خودتراکم محلی برای ورود آب با ترکیب شیمیایی مضر، خاک رس، مواد خورنده به داخل آن است. در نتیجه دوام و مقاومت بتن کاهش می‌یابد. اهمیت در نظر گرفتن عوامل ترک خوردگی مختلف در بتن به منظور افزایش دوام و میزان خدمت دهی آن نمایان می‌گردد. عوامل مختلفی بر ترک خوردگی در بتن، ایجاد می‌شود که پس از اجرای دال بتنی، مصالح تشکیل دهنده بتن متأثر از تفاوت جرم موجود و نیروی جاذبه، میزان نرخ تبخیر، دمای محیطی، رطوبت نسبی هوا و سرعت جریان باد ممکن است بر ترک خوردگی دال بتنی اثر گذار باشند. الیاف در دال بتنی می‌تواند از عوامل مختلف در برابر ترک خوردگی جلوگیری کنند. با توجه به پایین بودن مقاومت کششی بتن در ساعات اولیه پس از ساخت، میزان تنش‌های کششی از مقاومت کششی بتن تجاوز کرده و ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در بتن را به وجود آورد. یکی از نیروهای مقاوم در برابر نیروهای محرک (تنش‌های کششی) ناشی از عوامل مختلف که عناصر مسلح کننده هستند، الیافها می‌باشند. الیاف خرما می‌تواند مقاومت کششی و نفوذپذیری بتن خودتراکم را افزایش و کاهش داده و از گسترش و رشد ترک خوردگی‌های مختلف در بتن جلوگیری کنند. به دلیل مدول الاستیسیته بالای الیاف خرما باعث شود تا عناصر مسلح کننده توانایی کنترل ترک خوردگی در بتن را به طور کامل داشته باشند. استفاده از الیاف خرما در کنترل و کاهش ترک خوردگی‌های ناشی از عوامل مختلف در بتن می‌شود. در این پژوهش، با توجه به روابط حاکم بر هندسه قالب، میزان تقید و ترک خوردگی، قالب‌هایی با ابعاد $600 \times 900 \times 50$ میلی‌متری طرح و در این قالب در دو جهت عمود بر هم قیدهایی تعبیه شدند. این قیدها با ارتفاع $1/2$ سانتی‌متر حرکت بتن خود تراکم را محدود کرده و پتانسیل ترک خوردگی را افزایش می‌دهد. در طول این آزمایش شرایط محیطی مانند دما و رطوبت ثابت نگه داشته شد. مساحت ترک‌ها با ضرب طول در عرض ترک بعد از گذشت 7 روز اندازه‌گیری شد. طول ترک به وسیله‌ی نوار اندازه‌گیری با دقت 1 میلی‌متر و عرض ترک با ذره‌بین مدرج با دقت $0/1$ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به مدت 7 روز در داخل قالب و در فضای کنترل شده با دمای 20 ± 2 درجه سلسیوس، وزش باد حدود 10 کیلومتر/ساعت، میزان رطوبت 5 درصد، شاخص UV کم، بدون گرده و خاک، AQI معتدل 910، نگهداری شدند. دال بتنی، بتن خودتراکم با و بدون انواع الیافها در 5 قالب ایجاد شدند که شامل طرح مخلوط با درصد‌های مختلف (0، 0/5، 1، 1/5، 2 درصد نسبت به وزن سیمان) برای محاسبه عرض ترک در بتن اقدام شدند. ترک خوردگی در مخلوط بتن خودتراکم با و بدون الیاف نخل خرما با استفاده از روش آزمایش استاندارد ASTM C1579 [63] ارزیابی گردید. الیاف نخل خرما به عنوان یک ماده افزودنی در بتن خودتراکم استفاده می‌شود. این الیاف می‌تواند تأثیرات مثبتی بر کنترل عرض ترک‌های بتن داشته باشند. این تأثیرات به دلیل ویژگی‌های الیاف نخل خرما از قبیل استحکام و انعطاف پذیری آنهاست. الیاف نخل خرما می‌تواند استحکام مکانیکی بتن را افزایش دهد، که بهبود قابلیت کشش و مقاومت به فشار بتن را ایجاد کند. الیاف نخل خرما به بتن انعطاف پذیری افزوده و می‌تواند اثرات ناشی از تغییرات حرارتی یا انقباض بتن را کاهش دهند. اضافه کردن الیاف به بتن می‌تواند مقاومت بتن در برابر خورد شدن و ترک خوردگی را افزایش دهد. الیاف نخل خرما باعث کاهش ترک‌های انقباضی بتن می‌شوند. این الیاف از انقباض

بتن در طی خشک شدن جلوگیری می‌کنند و در نتیجه، ترک‌های کوچک و میکروسکوپی کاهش می‌یابند. الیاف نخل خرما به بتن انعطاف پذیری اضافه می‌کنند. این ویژگی می‌تواند تأثیرات تغییرات حرارتی یا انقباض بتن را کاهش داده و از تشکیل ترک‌های غیرمطلوب جلوگیری کند. نتایج آزمایش عرض ترک بتن خودتراکم با و بدون الیاف خرما مطابق شکل 23 نشان داد که در سطح دال بتن خودتراکم بدون الیاف تعداد ترک، عرض و عمق ترک، طول ترک بیشتر از دال بتن خودتراکم با 2٪ الیاف نخل خرما بود. مجموع عرض ترک (میلی - متر)، طول ترک (سانتی‌متر)، عمق ترک (میلی‌متر) و تعداد ترک در دال بتن خودتراکم بدون الیاف نخل خرما - بتن خودتراکم با 0/5 درصد الیاف نخل خرما - بتن خودتراکم با 1 درصد الیاف نخل خرما - بتن خودتراکم با 1/5 درصد الیاف نخل خرما و بتن خودتراکم با 2 درصد الیاف نخل خرما به ترتیب حدود 0/7، 33/8، 5/3، 6، 0/131، 15، 3/45، 4 - 0/013، 3/3، 1/9، 3 - 0/0035، 3، 0/9 و 0/0025، 1/8، 0/12، 2 است.



شکل 23: عرض ترک در بتن خود تراکم با و بدون الیاف خرما

نتایج درصد ترک خوردگی سطح نسبت به کل سطح



شکل 24: نتایج درصد ترک خوردگی سطح نسبت به کل سطح

3- نتیجه گیری

در این پژوهش، به استفاده از الیاف نخل خرما 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 محیط زیست، کاهش شکنندگی و ترک در بتن، حفاظت منابع طبیعی، کاهش مقاومت فشاری، عرض ترک، نفوذپذیری، آلتراسونیک، چکش اشمیت و افزایش مقاومت کششی شد. هدف از استفاده الیاف نخل خرما به بتن خودتراکم به عنوان یک افزودنی فیبری برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی و مقاومتی بتن استفاده شد. برخی از تأثیرات این الیاف شامل افزایش مقاومت کششی، مقاومت ضربه، مقاومت به خوردگی، کاهش ترک‌های سطحی و افزایش انعطاف‌پذیری بتن می‌شود. این تغییرات معمولاً به عنوان نتایج مثبت در تحلیل‌های آزمایشگاهی، عملیاتی مشاهده و ارزیابی شد. با این حال، برای تفسیر کامل و دقیق تر، بررسی آزمایشگاهی و تحلیل محاسباتی ویژگی‌های مکانیکی بتن خودتراکم با و بدون الیاف نخل خرما را مقایسه و ارزیابی نمودیم، با توجه به دستاورد اصلی این مقاله می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

- 1) در آزمایش جریان اسلامپ با افزایش مقدار الیاف نخل، زمان T_{50} نمونه‌ها افزایش پیدا کرد که نشان دهنده کاهش جریان بتن با الیاف است. جریان اسلامپ نمونه‌ها کاهش پیدا کرد که این مسئله به دلیل سنگین تر شدن بتن با افزایش مقدار الیاف نخل می‌باشد.
- 2) در آزمایش قیف V شاهد سنگین تر شدن بتن و کاهش جریان آن با افزایش درصد الیاف نخل گردید.
- 3) با افزایش مقدار الیاف نخل، جریان اسلامپ با حلقه J در نمونه‌ها کاهش پیدا کرد.
- 4) الیاف نخل خرما باعث افزایش مقاومت کششی، مقاومت ضربه و مقاومت خمشی بتن می‌شود که به تقویت ساختمان و افزایش استحکام و دوام آن کمک می‌کند.
- 5) وجود الیاف نخل خرما باعث افزایش مقاومت بتن در برابر ضربه و خرد شدن می‌شود.
- 6) استفاده از الیاف نخل خرما می‌تواند به عنوان یک عامل توزیع کننده تنش عمل کند و از تشکیل ترک‌های سطحی و ترک‌های ناشی از انقباض و انبساط حرارتی جلوگیری کند.
- 7) الیاف نخل خرما می‌تواند انعطاف‌پذیری بتن را افزایش داده و از ترک‌های ناشی از تغییرات حرارتی جلوگیری کند.
- 8) اضافه کردن الیاف نخل خرما می‌تواند مقاومت بتن در برابر خوردگی را افزایش دهد.
- 9) الیاف نخل خرما می‌تواند باعث کاهش وزن نهایی بتن شود و همچنین مصرف مواد معدنی را کاهش دهد که از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی مزایای قابل توجهی دارد.
- 10) مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی بتن خودتراکم با الیاف خرما با درصدهای مختلف (0/5، 1، 1/5، 2 درصد نسبت به وزن سیمان) در طی عمل آوری 7 روزه به ترتیب 5/1، 10/8، 17/8 و 22/6 درصد نسبت به نمونه بدون الیاف خرما کاهش یافت.
- 11) مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی بتن خودتراکم با الیاف خرما با درصدهای مختلف (0/5، 1، 1/5، 2 درصد نسبت به وزن سیمان) در طی عمل آوری 28 روزه به ترتیب 4/1، 9/5، 15/4 و 22/4 درصد نسبت به نمونه بدون الیاف خرما کاهش یافت.
- 12) مقاومت کششی آزمونه‌های استوانه‌ای بتن خودتراکم با الیاف خرما با درصدهای مختلف (0/5، 1، 1/5، 2 درصد نسبت به وزن سیمان) در طی عمل آوری 7 روزه به ترتیب 16/3، 34/2، 56/3 و 82/4 درصد نسبت به نمونه بدون الیاف خرما افزایش یافت.
- 13) مقاومت کششی آزمونه‌های استوانه‌ای بتن خودتراکم با الیاف خرما با درصدهای مختلف (0/5، 1، 1/5، 2 درصد نسبت به وزن سیمان) در طی عمل آوری 28 روزه به ترتیب 13/5، 27/6، 46/9 و 67/6 درصد نسبت به نمونه بدون الیاف خرما افزایش یافت.
- 14) با افزایش درصد الیاف خرما در بتن خودتراکم باعث کاهش مقاومت فشاری تک‌محوره و عدد شاخص چکش برگشتی نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای شد.

- 15) مقاومت فشاری چکش برگشتی در نمونه‌های مکعبی بتن خودتراکم با الیاف (0/5، 1، 1/5، 2) در عمل آوری 28 روزه به ترتیب 4/1، 9/3، 15/5 و 22/4 درصد کاهش نسبت به نمونه بتن خودتراکم بدون الیاف داشت.
- 16) مقاومت فشاری با چکش برگشتی برای نمونه‌های استوانه‌ای بتن خودتراکم با الیاف (0/5، 1، 1/5، 2) در عمل آوری 28 روزه به ترتیب 5، 11/6، 17/7 و 26/3 درصد کاهش نسبت به نمونه بتن خودتراکم بدون الیاف شد.
- 17) مقاومت فشاری تک‌محوره برای نمونه‌های استوانه‌ای بتن خودتراکم با الیاف (0/5، 1، 1/5، 2) در عمل آوری 28 روزه به ترتیب 5/3، 7/5، 13/4 و 22/8 درصد کاهش نسبت به نمونه بتن خودتراکم بدون الیاف داشت.
- 18) با افزایش درصد الیاف خرما در دال بتنی، عرض ترک به خوبی نسبت به دال بدون الیاف کنترل شده است و میزان عرض، طول و عمق ترک به نسبت (0، 0/5، 1، 1/5، 2 درصد) به ترتیب با افزایش الیاف خرما 81/7، 98/6، 99/8 و 99/9 درصد کاهش، 55/6، 90/2، 91/1 و 94/6 درصد کاهش، 34/9، 64/1، 83 و 96 درصد کاهش یافت.
- 19) آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک برای نمونه‌های مکعبی بتن خودتراکم با الیاف (0/5، 1، 1/5، 2) در عمل آوری 28 روزه به ترتیب 4/5، 9/8، 15/8 و 23 درصد کاهش نسبت به نمونه بتن خودتراکم بدون الیاف داشت.
- 20) آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک برای نمونه‌های استوانه‌ای بتن خودتراکم با الیاف (0/5، 1، 1/5، 2) در عمل آوری 28 روزه به ترتیب 12/3، 24/1، 32/3 و 40 درصد کاهش نسبت به نمونه بتن خودتراکم بدون الیاف داشت.
- 21) میانگین نتایج آزمایش تأثیر دما بر مقاومت کششی 1 روزه بتن خودتراکم با و بدون الیاف برای نمونه‌های استوانه‌ای با افزایش درصد الیاف به ترتیب 2/2، 8/1، 17/2، 23/6 درصد افزایش نسبت به نمونه بتن خودتراکم بدون الیاف (صفر درصد) یافت.
- 22) میانگین نتایج آزمایش نفوذپذیری بر بتن خودتراکم با و بدون الیاف برای نمونه‌های مکعبی طی 72 ساعت با افزایش الیاف به ترتیب 9/2، 17/9، 25/7، 32/8 درصد کاهش نسبت به نمونه بتن خودتراکم بدون الیاف (صفر درصد) یافت.
- 23) میانگین نتایج آزمایش تأثیر دما بر نفوذپذیری بتن خودتراکم با و بدون الیاف برای نمونه‌های استوانه‌ای با افزایش الیاف به ترتیب 6/3، 12/2، 20/8، 33/8 درصد کاهش نسبت به نمونه بتن خودتراکم بدون الیاف (صفر درصد) یافت.
- 24) درصد بهینه الیاف نخل خرما در بتن خودتراکم مطابق نتایج حاصل شده مربوط به 2 درصد الیاف در بتن است، استفاده از 2 درصد الیاف نخل خرما در بتن خودتراکم مقاومت کششی بتن در بیشترین حالت مقاومت کسب کرد همچنین با 2 درصد الیاف در بتن نفوذپذیری و کنترل عرض ترک در کمترین مقدار نتیجه حاصل کردند.

مراجع

- [1] djoudi .A. khenfer. M.M, Bali. Kadri. Debicki. G. (2012) "Performance of date palm fibers reinforced plaster concrete" International journal of physical sciences vol 7(21) pp 2845-2853 30 May.
- [2] Irib News Agency, (2020), More than 9 thousand tons of dates were harvested from Behbahan groves, News code: 2851756
- [3] Dawood, E. and Ramli, M. (2010). Effects of Palm Fiber on the Mechanical Properties of Lightweight Concrete Crushed Brick. American Journal of Engineering and Applied Sciences 3 (2): 489-493.
- [4] Falahtabar shiade, M. Tavakoli, H. R. (2018). Estimation of Mechanical and Durability Properties of Self-Compacting Concrete with Fibers Using Ultrasonic Pulse Velocity, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 43-53.
- [5] Boutarfa, M. Belouettar, R. Makradi, A. (2018). Comparative Study of Cement Mortar Reinforced with Vegetable Fibers Alfa, Date Palm and Diss: Mechanical Properties and Shrinkage. Journal of Materials and Environmental Sciences. Volume 9, Issue 8, Page 2304-2314.
- [6] Abani, S. KRIKER, A. Khenfer, M. M. (2018). Flexural Properties of Reinforced Date Palm Fibres Concrete in Sahara Climate. Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability AIP Conf. Proc.
- [7] Fokam, C.B. Toumi, Kenmeugne, E. Meva'a, L. Mansouri .K. (2020). Cement Mortar Reinforced with Palm Nuts Naturals Fibers: Study of the Mechanical Properties. Revue des Composites et des Matériaux Avancés-Journal of Composite and Advanced Materials Vol. 30, No. 1, February, pp. 9-13.

- [8] Mirabi Moghadam, M.H. (2021) The effect of the shape and amount of date palm sis fibers on the compressive and tensile strength of concrete. *Structural and construction engineering scientific-research journal*, volume 8, number 3, pages 169 - 176.
- [9] Derdour, D. Behim, M. Benzerara, M. (2023) Effect of date palm and polypropylene fibers on the characteristics of self-compacting concrete: comparative study, D. Derdour et alii, *Frattura ed Integrità Strutturale*, 64 31-50;
- [10] Modarres, Y. Ghalehnovi, M. (2023). The Effect of Recycled Steel Fibers from Waste Tires on Concrete Properties. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 56(1): 1-18.
- [11] Alatshan, F, Altlomate. A M, Mashiri, F. and Alamin, W .(2017).Effect of date palm fibers on the mechanical properties of concrete. *International Journal OF Sustainable Building Technology and Urban Development*. Vol. 8, No. 2, 68-80,
- [12] Abani.S, KRIKER.A, Khenfer ,M. M.(2018) . Flexural Properties of Reinforced Date Palm Fibres Concrete in Sahara Climate, *AIP Conference Proceedings*. november 5- 7.
- [13] Hossein Bar, A., Mirabi Moghadam, M.H., Shahriari, A. (2015). "Investigating the effect of date palm sis fibers on the tensile strength of concrete". *National Conference on Architecture, Civil Engineering and Physical Development*. Kohdasht.
- [14] Ghobadi, M., motaghd, S., Mirzaei Aliabadi, M., Gharaibi, Y, (2019) Investigating the fresh and hardened properties of fiber self-compacting concrete, *Scientific Research Journal of Structural and Construction Engineering*, Volume 6, Number 4, Pages 43 – 61.
- [15] Wang, S. Zhang, M.H. Quek, S.T. (2012). ‘Mechanical behavior of fiber-reinforced high-strength concrete subjected to high strain-rate compressive loading’. *Constr Build Mater*; 31:1–11
- [16]- Abani, Sh., Kriker, A. and Bali. A.(2018) .Effect Of curing and mix desin typts on performance of date palm fibrss reinforcement concret under hot dry environment, *Ecole Nationale Polytechnique* .
- [17] Grdic, J. Toplicic Curcic Gordana A, Ristic Nenad S, Despotovic Iva M.Abrasion (2012). ‘resistance of concrete micro-reinforced with polypropylene fibers’. *Constr Build Mater*; 27(1):305–12 [10]
- [18] Bai, W. Zhang J. Yan, P. Wang, X. (2010). ‘Study on vibration alleviating properties of glass fiber reinforced polymer concrete through orthogonal tests’. *Mater Des*; 30(4):1417–21
- [19] Holschemacher, K. Mueller, T. Ribakov, Y. (2010). ‘Effect of steel fibers on mechanical properties of high-strength concrete’. *Mater Des*; 31(5):2604–15.
- [20] Hamid, R.Yuso, f. K.M. ZainMFM. (2009). ‘ultrasound method applied to high performance concrete with silica fume’. *Constr Build Mater*;24(1):94–8.
- [21] Lorenzi, A, Caetano, LF, Chies, JA, Silva Filho, LCP. (2014) Investigation of the potential for Evaluation of concrete faws using. *Nondestructive Testing Methods*. ISRN Civil Eng 2014:11.
- [22] Jaap H. Heida, Derk J. Platenkamp (2011). *Evaluation of Non-Destructive Inspection Methods for Workshop of. NDT Experts, Pragu Composite Aerospace Structures 6th NDT in Progress 2011, International*.
- [23] Tioua. T, Kriker. A, Barluenga. G, Palomar. I, Influence of date palm fiber and shrinkage reducing admixture on self-compacting concrete performance at early age in hot-dry environment, *Construction and Building Materials*, (2017), 154:721-733.
- [24] Dounia. D. Mourad, B. Mohammed, B. (2023). Effect of date palm and polypropylene fibers on the characteristics of self-compacting concrete: comparative study, D. Derdour et alii, *Frattura ed Integrità Strutturale*, 64 31-50.
- [25] Atoyebi.O. D, Ayanrinde.O. P, Oluwafemi.J, Reliability Comparison of Schmidt Rebound Hammer as a Non-Destructive Test with Compressive Strength Tests for Different Concrete Mix, *Journal of Physics: Conference Series*, (2019) Volume 1378, Issue 3.
- [26] Aydin. F, Saribiyik. M, Correlation between Schmidt Hammer and destructive compressions testing for concretes in existing buildings, *Scientific Research and Essays Vol.(2010) 5(13)*, pp. 1644-1648.
- [27] Debalina, G. Ammar, A.E. Zhongguo, J.M. Diana, H. (2021). Development of high-early-strength fiber-reinforced self-compacting concrete. *Construction and Building Materials* Volume 266, Part B, 121051.
- [28] Helal, H.Y.A.P. Shen, D. Hussein, K.S. (2021). Performance of Fiber Self Compacting Concrete at HighTemperatures. *Civil Engineering Journal* . Vol. 7, No. 12, 2083-2098.
- [29] Jawad, A.E.L. Fahid, A. Osama, Z. Rayed, A. Hisham ,A. Aneel, M. (2021). Self-Fibers Compacting Concrete Properties Reinforced with Propylene Fibers. *Science and Engineering of Composite Materials* Volume 28 Issue 1. 64.72.
- [30] Jawad, A. Osama, Z. Ibrahim, A.S.(2021). Mechanical properties and durability assessment of nylon fiber reinforced self-compacting concrete. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*Volume 16.
- [31] Tawfeeq, A.W. Ganesh, S. (2022). Study on fresh properties, mechanical properties and microstructure behavior of fiber reinforced self compacting concrete. *Materials Today: Proceedings*. Volume 62, Part 12, Pages 6663-6670.
- [32] Daniyar, A. Sungat, A. Ainur, J. Yuri, P. Yelena, R. Yelbek, U. Akbulat, A. (2022). Effect of low-modulus polypropylene fiber on physical and mechanical properties of self-compacting concrete. *Case Studies in Construction Materials*. Volume 16, e00814.

- [33] Jiaqing Wang, S.M.ASCE. Qingli Dai, M.ASCE. Ruizhe, S.i. (2022). Experimental and Numerical Investigation of Fracture Behaviors of Steel Fiber-Reinforced Rubber Self-Compacting Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering* Archive Vol. 34, No. 1.
- [34] Adil, G. Ahmet, B. Mehmet, E.A. Ahmet, H.S. Magdalena, D. Kambiz. (2022). Fresh Properties and Fracture Energy of Basalt and Glass Fiber-Reinforced Self-Compacting Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering* Archive Vol. 34, No. 1.
- [35] Nadhim, H.S. Taghreed, K.M.A. Kolimi, S.V. Hemn, U.A. Rabar, H.F. Naraindas, B. Amir, M. (2022). The behavior of sustainable self-compacting concrete reinforced with low-density waste Polyethylene fiber. *Materials Research Express*, Volume 9, Number 3.
- [36] Abdullah, A. Sivakumar, K. (2023). Effect of fibre diameter and tensile strength on the mechanical, fracture, and fibre distribution properties of eco-friendly high-strength self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. Volume 403, 133161.
- [37] Jinping, Z. Peijie, N. Jianxing, C. Minghao, W. (2023). Study on the impact resistance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete after high temperature. *Structures*. Volume 57, 105281.
- [38] Mirzaei Aliabadi, M. Derakhshan Nezhad, A. H. (2023). Monitoring the health of concrete structures using ultrasonics, *International Science and Engineering Research Conference and the 4th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning in Asia*.
- [39] Mirzaei Aliabadi, M. Derakhshan Nezhad, A.H. (2023). Quality control of concrete structures using the Schmidt hammer method, *Proceedings of the 5th International Conference and the 6th National Conference on Civil Engineering, Architecture, Art and Urban Design*.
- [40] Pachideh, G. Gholhaki, M. Moshtagh, A. (2020). Performance of concrete containing recycled springs in post-fire conditions. *Structures and Buildings*. Volume 173 Issue 1, pp. 3-16.
- [41] mirzaei Aliabadi, M. Derakhshan Nezhad, A.H. (2024). 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 from March 24.
- [42] Pachideh, G. Ketabdari, H. (2023). Investigation of the mechanical properties of self-compacting concrete containing recycled steel springs; experimental and numerical investigation. *European Journal of Environmental and Civil engineering* 27(14):1-20.4026-4045.
- [43] Pachideh, G. Toufigh, V. (2022). Strength of SCLC recycled springs and fibers concrete subject to high temperatures. *Structural Concrete* 23 (1), 285-299, 2022.
- [44] Pachideh, G. Gholhaki, M. (2019). An Experimental Study on the Effects of Adding Steel and Polypropylene Fibers to Concrete on Its Resistance after Different Temperatures. *Journal of Testing and Evaluation* 47 (2), 1606-1620.
- [45] ASTM C150/C150M (2012) Standard Specification for Portland Cement.
- [46] ASTM D 7319-07. (2022). Standard Analysis of Chloride and Sulfate Ions in Fuel Ethanol.
- [47] ASTM C 33. (2003). Standard specification for concrete aggregates. American Society of Testing and Materials Standards.
- [48] ASTM C 494. (2002). Standard specification for chemical admixtures for concrete. Annual book of ASTM Standards.
- [49] ASTM C 94, (2009). Standard specification for Ready – Mixed Concrete, American Society of Testing and Materials Standards.
- [50] ASTM C 494/C 494M. (2002). Standard specification for chemical admixtures for concrete. Annual book of ASTM Standards,
- [51] ASTM C1611 . (2009). Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.
- [52] INSO 3203-9. (2013). Testing fresh concrete - Part 9: Self-compacting concrete V-funnel test.
- [53] INSO 3203-10. (2013). Testing fresh concrete – Part 9: Self- compactin g concrete -L box test.
- [54] INSO 11271. (2014). Concrete -Measurement of passing ability of self-consolidating concrete by J-ring- Test Method.
- [55] UNI 11044. (2012). Standard UTC-0547 U Shape Box Apparatus. Rilem Report No.23
- [56] ASTM C 805 Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, (2004).
- [57] ASTM C-597. (2003). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- [58] DIN 1048.(2012). Standard test Concrete Impermeability Test ApparatusIm.
- [59] ISIRI 3206. (2003). Standard Test Determining the compressive strength of concrete samples.
- [60] ASTM C496. (2002). ASTM C496 Tensile Concrete Test Equipment.
- [61] ISO1920-7. (2004). Testing of concrete — Part 7: Non-destructive tests on hardened concrete.
- [62] Mirzaei Aliabadi, M. Derakhshan Nezhad, A.H. Mousavi Abdullah Nezhad, S.A. Hitavi, A. (2023). Investigating the effect of heat transfer from the mold on the mechanical properties of self-compacting concrete. *Journal of structural and construction engineering*. Articles in Press, Accepted Manuscript Available Online from 27.
- [63] ASTM C1579 – 06 .(2005). Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert).