Civil and Project Journal, 2023, 4(10), 51-65
https://doi.org/10.22034/CPJ.2023.385425.1179

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Research Article

Experimental investigation of the effect of mixing design granulation on the physical properties of fiber concrete at freezing temperature

Kian Asghari[1*], Saeed Mehrabi[2], Shahriar Tavousi Tafreshi [3]

1*- PhD Student of Structural, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Land Resources, Islamic Azad University of Central Tehran Branch, Tehran, Iran
2- MSc of Structural, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University of Aligudarz Branch, Aligudarz, Iran
3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Land Resources, Islamic Azad University of Central Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 14 February 2023; Revised: 23 February 2023; Accepted 23 February 2023; Published: 23 February 2023

Abstract

Nowadays, concrete has received special attention due to reasons such as the ease of preparation of constituent components, low costs compared to other materials, favorable engineering properties, extraordinary durability, formability, and most importantly, positive interaction with the environment. Although the construction of concrete with the main components of cement, aggregate and water is very simple and conventional, but the addition of new materials such as fibers causes the fragility of concrete to be significantly reduced and it shows ductile behavior under different loads. Fibrous concrete is actually a type of composite that, with the use of reinforcing fibers in the concrete mixture, does not easily fall apart under the impact of impact loads, and its tensile strength increases above normal.Concrete gains very little strength at very low temperatures, so when the degree of saturation of the concrete is not sufficiently reduced by the dewatering action, it is necessary to protect the concrete against damage caused by freezing. The use of polyolefin fibers and the effect of appropriate granulation in the concrete mixing plan is one of the effective factors in reducing the effect of freezing. In this article, the reason for the use of polyolefin fibers, the manufacturing method, mechanical properties, fiber concrete applications, and the effect of mixing design granulation on the compressive strength and abrasion percentage of fiber concrete samples in the normal environment and freezing, according to the results of applications and researches has been discussed.

Keywords:
Polyolefin fibers, Fiber concrete, Granulation, Mixing design, Freezing environment

Cite this article as: Asghari, K., Mehrabi, S., Tavousi Tafreshi, Sh., (2023). Experimental investigation of the effect of mixing design granulation on the physical properties of fiber concrete at freezing temperature. Civil and Project Journal, 4(10), 51-65. https://doi.org/10.22034/CPJ.2023.385425.1179

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2022 by the author.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: *kianasghari777@gmail.com*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۱، ۴(۱۰)، ۶۵-۵۱
https://doi.org/10.22034/CPJ.2023.385425.1179

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

بررسی آزمایشگاهی تاثیر دانه بندی طرح اختلاط بر روی خصوصیات فیزیکی بتن الیافی در دمای انجماد

کیان اصغری[1*]، سعید محرابی[2]، شهریار طاووسی تفرشی[3]

۱*- دانشجوی دکتری سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

۲- کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد الیگودرز، الیگودرز، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۲۵ بهمن ۱۴۰۱؛ تاریخ بازنگری: ۰۴ اسفند ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۰۴ اسفند ۱۴۰۱؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۴ اسفند ۱۴۰۱

چکیده

امروزه بتن به دلایلی از جمله سهولت تهیه اجزاء تشکیل دهنده، صرف هزینه های کم نسبت به سایر مواد، خواص مهندسی مطلوب، دوام فوق العاده، فرم پذیری و مهم تر از همه تعامل مثبت با محیط زیست، مورد توجه ویژه بوده است. با آنکه ساخت بتن با اجزاء اصلی سیمان، سنگدانه و آب بسیار ساده و مرسوم می باشد، لیکن افزودن مواد جدیدی همچون الیاف سبب می شود تا شکنندگی بتن به نحو قابل توجهی کاهش یافته و رفتار شکل پذیری تحت بارهای مختلف از خود نشان دهد. بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که با بکارگیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن، تحت اثر بارهای ضربه ای به راحتی از هم پاشیده نمی شود و مقاومت کششی آن فوق العاده افزایش می یابد. بتن در دماهای بسیار پایین مقاومت بسیار کمی کسب می کند تا وقتی میزان اشباع بودن بتن در اثر عمل آبگیری به اندازه کافی کاهش نیافته باشد، لازم است که بتن در برابر خسارت ناشی از یخ زدگی محافظت شود. استفاده از الیاف پلی الفین و تاثیر دانه بندی مناسب در طرح اختلاط بتن یکی از عوامل موثر در کاهش اثر یخ زدگی می باشد. در این مقاله دلیل ضرورت استفاده از الیاف پلی الفین، نحوه ساخت، خواص مکانیکی و تاثیر دانه بندی طرح اختلاط بر روی مقاومت فشاری و درصد سائیدگی نمونه های بتن الیافی در محیط معمولی و انجماد با توجه به نتایج کاربردها و پژوهشهای انجام شده مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی:

الیاف پلی الفین، بتن الیافی، دانه بندی، طرح اختلاط، محیط انجماد

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: *kianasghari777@gmail.com*

۱- مقدمه

با گذشت زمان و افزایش جمعیت دنیا نیاز به پیشرفت در زمینه ساخت و ساز، نگهداری و مقاوم سازی سازه های موجود و استفاده از تکنولوژی های نوین بیش از پیش احساس می‌شود. علاوه بر این لزوم ساخت سازه های مقاوم در برابر زلزله به دلیل افزایش لرزه خیزی کشور های دنیا بیشتر احساس می‌شود. از جمله تکنولوژی های نوین که جایگاه ویژه ای در ساخت و ساز به خود اختصاص داده، افزودنی های بتن و الیاف تقویت کننده در غالب بتن الیافی می باشد. استفاده از افزودنی های بتن باعث بهبود خواص مطلوب بتن، همچون مقاومت آن می‌گردد و در بعضی موارد با کاهش وزن بتن، مصالح بسیار سبکی را فرا راه مهندسین بنا قرار می‌دهد به طور کلی الیاف از گسترش ترک در بتن، با فراهم آوری یکپارچگی و نرمی بیشتر جلوگیری بعمل می آورد. بکارگیری بتن غیر مسلح به جهت تردی آن، عمدتا در سازه های وزنی کاربرد دارد. این عیب اساسی بتن، در عمل با مسلح کردن آن با استقرار آرماتورهای فولادی در جهت نیروهای کششی برطرف می گردد. (پور مقدم و همکاران، ۱۳۸۴)

تکنولوژی بتن پرمقاومت توسعه ای جدید در صنعت ساخت سازه های بتنی محسوب می شود. در بتن سخت شده مقاومت و دوام دو عامل اصلی بوده و هرچه مقاومت فشاری بتن بیشتر می شود بتن تردتر شده و در نتیجه مقاومت کششی آن به نسبت افزایش مقاومت فشاری افزایش نمی یابد و نیز از تحمل کرنش پایینتر برخوردار است. بدین دلیل نیاز به استفاده از الیاف در بتن پر مقاومت کاملا مشهود است. الیاف در بتن نقش کنترل ترکها را دارد که بر مبنای آن، مقاومت ضربه، خستگی، مقاومت برشی، مقاومت خمشی باقی مانده (پس از ترک خوردگی عضو) و ظرفیت جذب انرژی بتن بهبود می یابد. اما تأثیرگذاری الیاف در بتن به نوع و مقدار الیاف، شکل، طول، نسبت ظاهری (نسبت طول به قطر الیاف)، مقاومت کششی و مکانیزم مهاری الیاف بستگی دارد. بتن تقویت شده با الیاف در حقیقت نوعی کامپوزیت است که با بکارگیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن، مقاومت کششی فوق العاده افزایش می‌یابد. این ترکیب کامپوزیتی، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان یک ماده شکل‌پذیر جهت تولید سطوح مقاوم پر انحنا را فراهم می‌آورد. بتن الیافی خواص مناسبی همچون شکل پذیری بالا، مقاومت فوق‌العاده، قابلیت جذب انرژی و پایداری در برابر ترک خوردن را دارا می‌باشد که متناسب با آن‌ها می‌توان موارد کاربرد فراوانی برای آن یافت. در این تحقیق از ۶ طرح اختلاط با تغییرات در مقادیر وزنی سایر مصالح و با الیاف ثابت شامل الیاف پلی الفین استفاده شد. همچنین یک طرح اختلاط مشابه همان طرح اختلاط اصلی کمیته ACI-544 برای نمونه های شاهد با ثابت نگاه داشتن مقادیر وزنی سایر مصالح و بدون الیاف به منظور بررسی خواص مکانیکی بتن الیافی با وزن مخصوص بالا استفاده گردید. نمونه های ساخته شده مطابق آیین نامه مبحث نهم از مقررات ملی ساختمان در قالب استاندارد مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر جهت انجام تحقیق و انجام آزمایش های مقاومت فشاری و مقاومت در برابر یخبندان و آب شدگی پی در پی، در حالت خشک و عمل آمده تحت شرایط رطوبتی، مقاومت در برابر تست سایش مورد بررسی قرار می گیرند.

مقاومت فشاری فوق‌العاده بالا از بتن الیافی با استفاده از دانه بندی مناسب که به طور همگن مخلوط شده باشند، بدست می آید. از سوی دیگر، افزایش نیروهای کششی و خمشی، شکستگی و کنترل آسیب به طور عمده به دلیل تقسیم به طور تصادفی از فیبرهای تقویت کننده در اختلاط حاصل می‌شود. در نتیجه بسیاری از تحقیقات انجام شده روی این نوع از بتن، نشان می‌دهد که در شرایط بارگذاری دینامیکی نسبت به سایر انواع بتن ها ویژگی‌های کنترل آسیب فوق العاده‌ای دارد. (Khaloo & Kazemi, 2008)

در تحقیقی با عنوان "عملکرد مکمل بتن الیافی ACDF در بهبود خصوصیات مکانیکی و دوام روسازی های بتن" دریافتند از آزمایش سیکل ذوب و یخبندان نشان می دهد که نمونه ها با افزایش درصد افزودنی پس از ۳/۵ سیکل کمتر دچار کاهش وزن و مدول الاستیسیته گردیده اند. (آیینه حیدری و همکاران، ۱۳۹۵)

در تحقیق با عنوان "بررسی خصوصیات مکانیکی بتن الیافی (پلی پروپلین و فولادی) با درصد های مختلف و مقایسه آن با بتن شاهد" دریافتند از نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که با اضافه کردن الیاف در بتن معمولی باعث افزایش خصوصیات مکانیکی آن می شود. (عرفانی نسب و همکاران، ۱۳۹۴)

در این تحقیق با عنوان "بررسی آزمایشگاهی خواص مکانیکی و الگوی ترک خوردگی در بتن الیافی" دریافتند که آزمایشات این تحقیق نشان می دهد که نمونه های بتنی حاوی الیاف پلی پروپیلن به دلیل عدم وجود چسبندگی مناسب بین الیاف و خمیر سیمان از نفوذپذیری بیشتری نسبت به نمونه های شاهد برخوردارند. (قناد زاده و همکاران، ۱۳۹۳)

در تحقیقی با عنوان "بررسی رفتار فشاری نوعی بتن الیافی" دریافتند که نتایج حاصل ازآزمایشات نشان داده که بطور کلی افزودن این الیاف به بتن مقاومت فشاری را افزایش می دهد. (علایی مهابادی، ۱۳۹۷)

در این تحقیق با عنوان "ارزیابی دوام بتن حاوی سنگدانه های حاصل از بتن های بازیافتی در مقابل سیکل های ذوب و انجماد" دریافتند که بتن ساخته شده با ۱۰۰ درصد سنگ دانه بتن بازیافتی به عنوان درشت دانه سبب رسیدن به مقاومت فشاری در حدود بتن شاهد شده است. (امیریانی و همکاران، ۱۳۹۰)

در این تحقیق با عنوان "تاثیر نسبت های ریز دانه به درشت دانه بر نفوذ پذیری وانجماد و ذوب حاوی آب مغناطیسی" دریافتند که روند کلی کاهش مقاومت فشاری و افت شرایط دوام برای تمام نمونه های قرار داده شده در شرایط انجماد-ذوب نسبت به نمونه های عمل آوری شده در محیط استاندارد حاکم بوده است. (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۶)

۲- مصالح مصرفی

سیمان ماده ی اصلی چسباننده در بتن است. سیمان های مختلف بسته به درصد ترکیباتی که دارند می توانند ویژگی های شیمیایی متفاوتی از خود نشان دهند. در این تحقیق سیمان استفاده شده، در طرح مخلوط های مختلف از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه درود (بدون ذرات نانو و میکروسیلیس) می باشد. این نوع سیمان مطابق با مشخصات مطرح شده در استاندارد ملی ایران به شماره ISIRI-389 تولید می شود (ISIRI, 1999) و دارای حداکثر (C3A) به میزان ۸ درصد می باشد. که ویژگی آن در جدول ۱ آورده شده است. همچنین آنالیز شیمیایی سیمان درود تیپ ۲ نیز در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات سیمان مصرفی

مقدار در استاندارد ISIRI-389	سطح مخصوص (gr/cm^2)	انبساط اتوکلاو %	زمان گیرش		فشاری مقاومت (kg/cm^2)			حرارت هیدراسیون (Cal/gr)
			اولیه	نهایی	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	
	≥۲۸۰۰	<۰/۸	≥۴۵	≤۳۶۰	>۱۰۰	>۱۷۵	>۳۱۵	<۷۰

جدول ۲: آنالیز شیمیایی سیمان درود

آنالیز شیمیایی	L.O.I %	InR %	SO_3 %	MgO %	SiO_2 %	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	C3A %
مقدار در استاندارد ISIRI-389	≤۳	≤۰/۷۵	≤۳	≤۵	≥۲۰	<۶	≤۶	<۸

در این تحقیق از الیاف پلی الفین (از مواد اصلاح شده پلی پروپیلن) که به صورت چاپد هستند، با نسبت ۱ درصد حجمی بتن استفاده گردیده است. این الیاف ها محصول کشور ایران از کارخانه نانو و نخ سیرجان می باشد که مشخصات آنها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات الیاف های مصرف شده (Sirjan Nano, 2018 & ISIRI, 2002)

نوع الیاف	قطر الیاف (mm)	طول الیاف (mm)	چگالی جرمی (gr/cm^3)	مدول الاستیسیته (GPa)	مقاومت کششی (MPa)	نقطه ذوب (C°)
پلی الفین	۰/۰-۳/۳۵	۵۰	۰/۹۱	۵/۶-۵/۵	۶۰۰-۵۰۰	۱۷۰-۱۶۰

کیفیت و الزامات آب مصرفی در بتن با عملکرد بسیار بالا، همانند بتن معمولی باید تمیز و عاری از مواد زیان آور باشد. بتن استفاده شده در این تحقیق، از آب شرب شهری تهیه شده است که از نظر کیفیت مورد قبول می باشد.

۳- دانه بندی مصالح سنگی

امروزه با پیشرفت علم و فناوری در زمینه بتن های الیاف دار مشخص شده است که که مسئله دوام بتن در محیط های مختلف مورد توجه قرار گرفته است. مشاهده خرابی هایی با عوامل فیزیکی و شیمیایی در بتن ها، در اکثر نقاط جهان و با شدتی بیشتر در کشور های در حال توسعه، افکار و اذهان مهندسان و شیمیدانان را به سمت طرح بتن‌هایی با ویژگی خاص و با دوام لازم سوق داده است. در این راستا در برخی از کشورها دستورالعمل ها و استاندارد هایی نیز برای طرح بتن با عملکرد بالا تهیه شده و طراحان و مجریان در بعضی از این کشورهای پیشرفته، ملزم به رعایت این دستورالعمل ها گشته اند. بنابراین در تحقیق صورت یافته انتخاب مصالحی اعم از نوع سیمان و مصالح سنگی با سایز های مورد نظر نقش ویژه ای در ساخت بتن های مقاوم داشته است. (Mostofi Nejad, 2017)

جدول ۴: نتایج آزمایش دانه بندی مصالح سنگی طرح اختلاط ۱

وزن کل (gr)	ضریب سرشکن
1423	0.702740689

سایز الک (mm)	شماره الک	وزن مانده روی الک (gr)	وزن سرشکن شده	درصد مانده روی الک	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد تجمعی گذشته از الک
90	3 ½"	0	0	0	0	100
75	3 "	0	0	0	0	100
63	2 ½"	0	0	0	0	100
50	2 "	0	0	0	0	100
37.5	1 ½ "	0	0	0	0	100
25	1"	0	0	0	0	100
19	¾ "	0	0	0	0	100
12.5	½ "	23	16.16303584	1.616303584	1.616303584	98.38369642
9.5	⅜ "	67	47.08362614	4.708362614	6.324666198	93.6753338
4.75	# 4	135	94.86999297	9.486999297	15.8116655	84.1883345
2.36	# 8	154	108.2220661	10.82220661	26.6338721	73.3661279
1.18	# 16	170	119.4659171	11.94659171	38.58046381	61.41953619
0.6	# 30	256	179.9016163	17.99016163	56.57062544	43.42937456
0.3	# 50	293	205.9030218	20.59030218	77.16092762	22.83907238
0.15	# 100	325	228.3907238	22.83907238	100	0
0.075	# 200	0	0	0	100	0
	زیر الکی	0	0	0	100	0
	جمع کل	1423	1000	100		

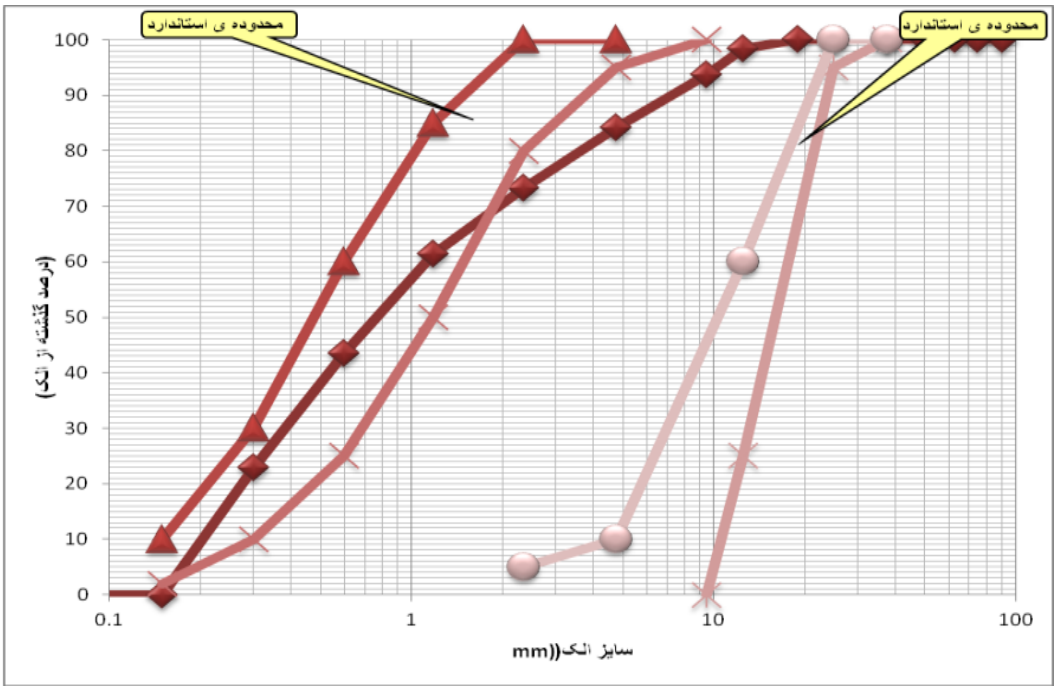
پس از تهیه مصالح درشت دانه و ریز دانه و انتقال آن به انبار آزمایشگاه با شستشوی مصالح و دانه بندی آنها براساس دانه بندی شماره ۸ استاندارد ASTM C33 مواد مضر موجود در مصالح حذف و دانه بندی اصلاح گردید. (ASTM, 2003) در جدول ضمن ارائه مشخصات دانه بندی، مقادیر مربوطه با محدوده مجاز توصیه شده توسط استاندارد ASTM مقایسه گردید.

جدول ۵: نتایج آزمایش دانه بندی مصالح سنگی طرح اختلاط ۲

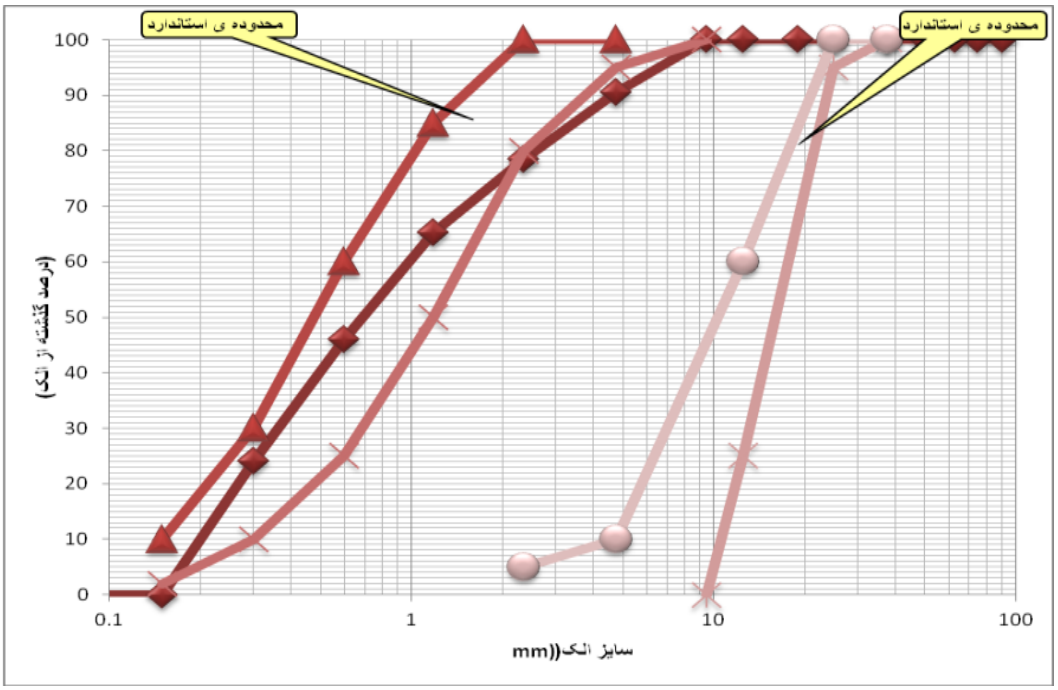
وزن کل (gr)
1423

ضریب سرشکن
0.702740689

سایز الک (mm)	شماره الک	وزن مانده روی الک (gr)	وزن سرشکن شده	درصد مانده روی الک	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد تجمعی گذشته از الک
90	3 ½"	0	0	0	0	100
75	3 "	0	0	0	0	100
63	2 ½"	0	0	0	0	100
50	2 "	0	0	0	0	100
37.5	1 ½ "	0	0	0	0	100
25	1"	0	0	0	0	100
19	¾ "	0	0	0	0	100
12.5	½ "	0	0	0	0	100
9.5	⅜ "	0	0	0	0	100
4.75	# 4	135	94.86999297	9.486999297	9.486999297	90.5130007
2.36	# 8	172	120.8713985	12.08713985	21.57413914	78.42586086
1.18	# 16	188	132.1152495	13.21152495	34.78566409	65.21433591
0.6	# 30	274	192.5509487	19.25509487	54.04075896	45.95924104
0.3	# 50	311	218.5523542	21.85523542	75.89599438	24.10400562
0.15	# 100	343	241.0400562	24.10400562	100	0
0.075	# 200	0	0	0	100	0
	زیر الکی	0	0	0	100	0
	جمع کل	1423	1000	100		



شکل ۱: نمودار دانه بندی طرح اختلاط ۱

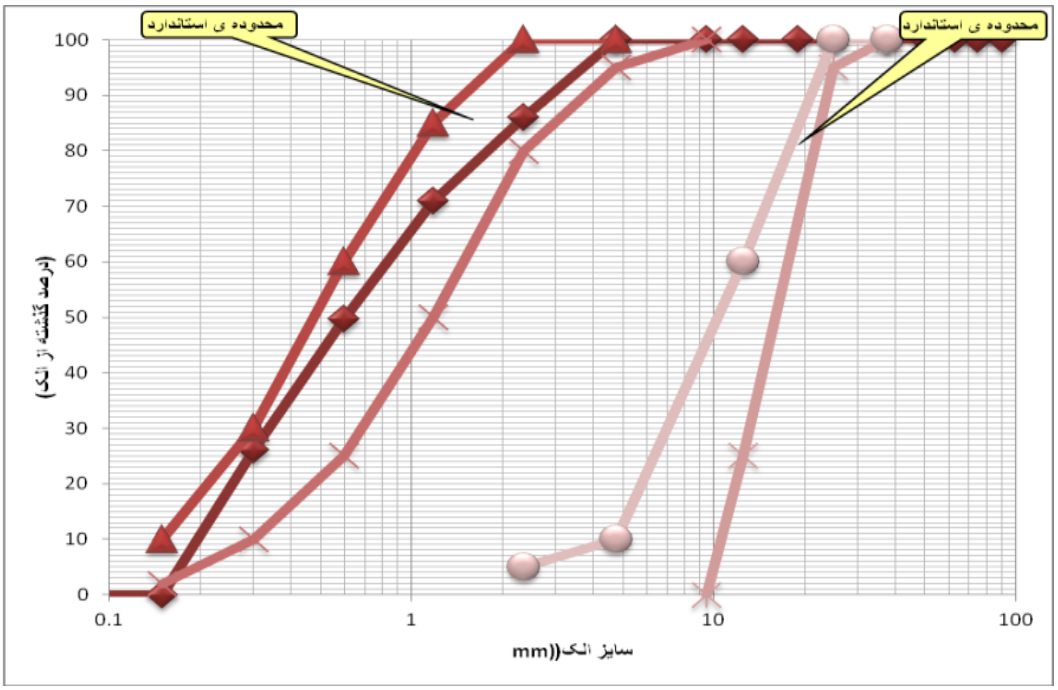


شکل ۲: نمودار دانه بندی طرح اختلاط ۲

جدول ۶: نتایج آزمایش دانه بندی مصالح سنگی طرح اختلاط ۳

وزن کل (gr)	ضریب سرشکن
1423	0.702740689

سایز الک (mm)	شماره الک	وزن مانده روی الک (gr)	وزن سرشکن شده	درصد مانده روی الک	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد تجمعی گذشته از الک
90	3 ½"	0	0	0	0	100
75	3 "	0	0	0	0	100
63	2 ½"	0	0	0	0	100
50	2 "	0	0	0	0	100
37.5	1 ½ "	0	0	0	0	100
25	1"	0	0	0	0	100
19	¾ "	0	0	0	0	100
12.5	½ "	0	0	0	0	100
9.5	⅜ "	0	0	0	0	100
4.75	# 4	0	0	0	0	100
2.36	# 8	199	139.845397	13.9845397	13.9845397	86.0154603
1.18	# 16	215	151.0892481	15.10892481	29.09346451	70.90653549
0.6	# 30	301	211.5249473	21.15249473	50.24595924	49.75404076
0.3	# 50	338	237.5263528	23.75263528	73.99859452	26.00140548
0.15	# 100	370	260.0140548	26.00140548	100	0
0.075	# 200	0	0	0	100	0
	زیر الکی	0	0	0	100	0
	جمع کل	1423	1000	100		

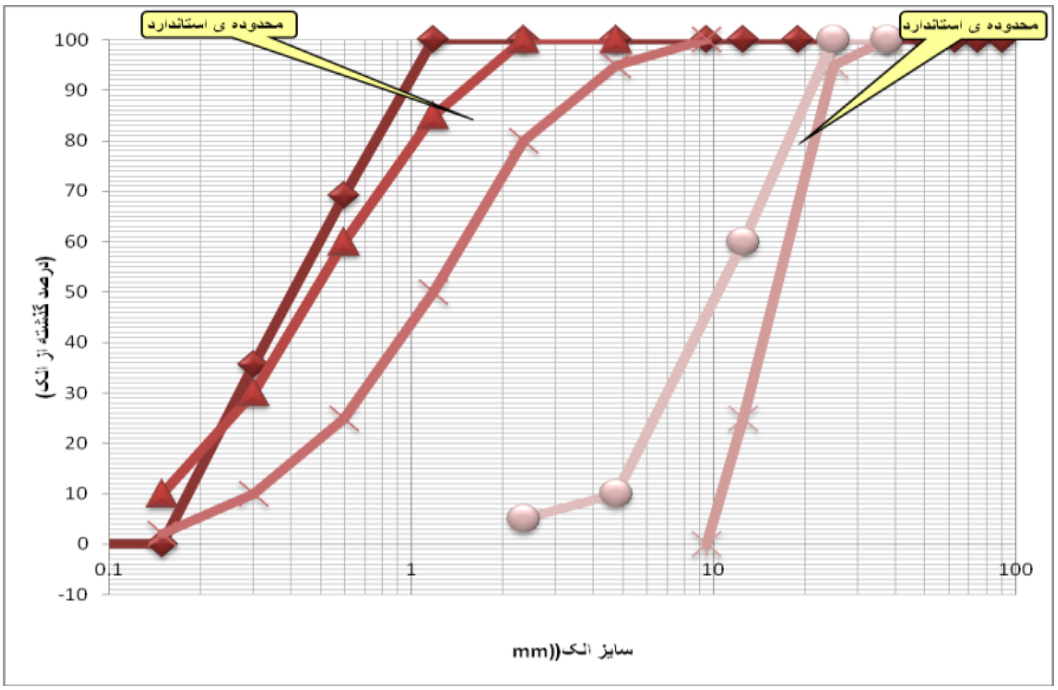


شکل ۳: نمودار دانه بندی طرح اختلاط ۳

جدول ۷: نتایج آزمایش دانه بندی مصالح سنگی طرح اختلاط ۴

وزن کل (gr)	ضریب سرشکن
1423	0.702740689

سایز الک (mm)	شماره الک	وزن مانده روی الک (gr)	وزن سرشکن شده	درصد مانده روی الک	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد تجمعی گذشته از الک
90	3 ½"	0	0	0	0	100
75	3 "	0	0	0	0	100
63	2 ½"	0	0	0	0	100
50	2 "	0	0	0	0	100
37.5	1 ½ "	0	0	0	0	100
25	1"	0	0	0	0	100
19	¾ "	0	0	0	0	100
12.5	½ "	0	0	0	0	100
9.5	⅜ "	0	0	0	0	100
4.75	# 4	0	0	0	0	100
2.36	# 8	0	0	0	0	100
1.18	# 16	0	0	0	0	100
0.6	# 30	439	308.5031623	30.85031623	30.85031623	69.14968377
0.3	# 50	476	334.5045678	33.45045678	64.30077301	35.69922699
0.15	# 100	508	356.9922699	35.69922699	100	0
0.075	# 200	0	0	0	100	0
	زیر الکی	0	0	0	100	0
	جمع کل	1423	1000	100		



شکل ۴: نمودار دانه بندی طرح اختلاط ۴

جدول ۸: نتایج آزمایش دانه بندی مصالح سنگی طرح اختلاط ۵

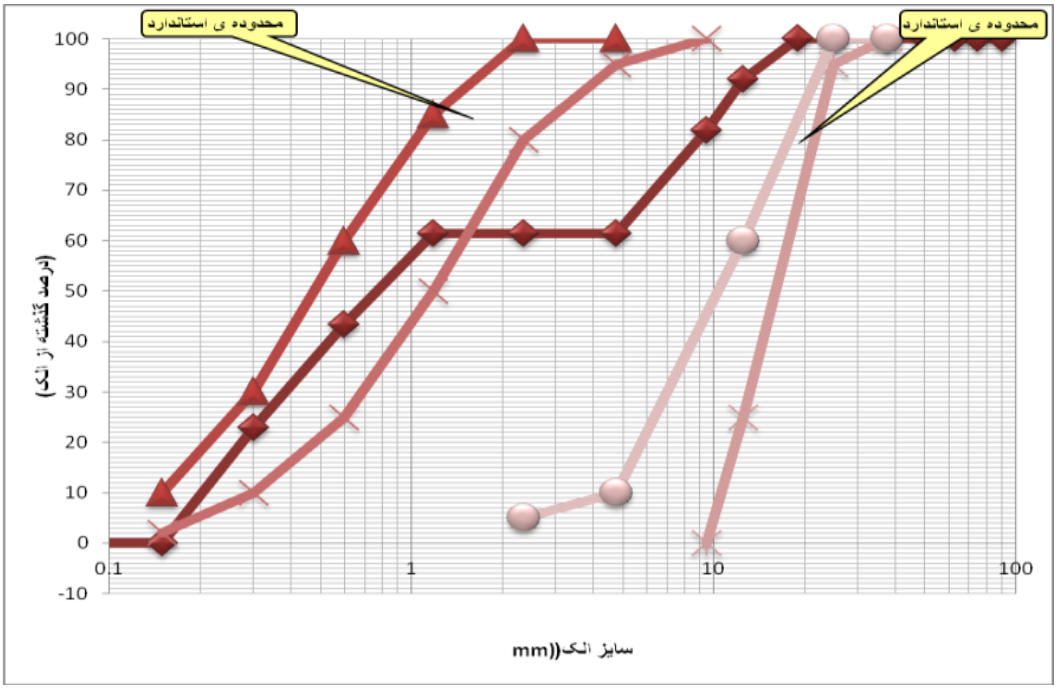
وزن کل (gr)		ضریب سرشکن				
1423		0.702740689				
سایز الک (mm)	شماره الک	وزن مانده روی الک (gr)	وزن سرشکن شده	درصد مانده روی الک	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد تجمعی گذشته از الک
90	3 ½"	0	0	0	0	100
75	3 "	0	0	0	0	100
63	2 ½"	0	0	0	0	100
50	2 "	0	0	0	0	100
37.5	1 ½ "	0	0	0	0	100
25	1"	0	0	0	0	100
19	¾ "	0	0	0	0	100
12.5	½ "	113	79.40969782	7.940969782	7.940969782	92.05903022
9.5	⅜ "	145	101.8973999	10.18973999	18.13070977	81.86929023
4.75	# 4	291	204.4975404	20.44975404	38.58046381	61.41953619
2.36	# 8	0	0	0	38.58046381	61.41953619
1.18	# 16	0	0	0	38.58046381	61.41953619
0.6	# 30	256	179.9016163	17.99016163	56.57062544	43.42937456
0.3	# 50	293	205.9030218	20.59030218	77.16092762	22.83907238
0.15	# 100	325	228.3907238	22.83907238	100	0
0.075	# 200	0	0	0	100	0
	زیر الکی	0	0	0	100	0
	جمع کل	1423	1000	100		

جدول ۹: نتایج آزمایش دانه بندی مصالح سنگی طرح اختلاط ۶

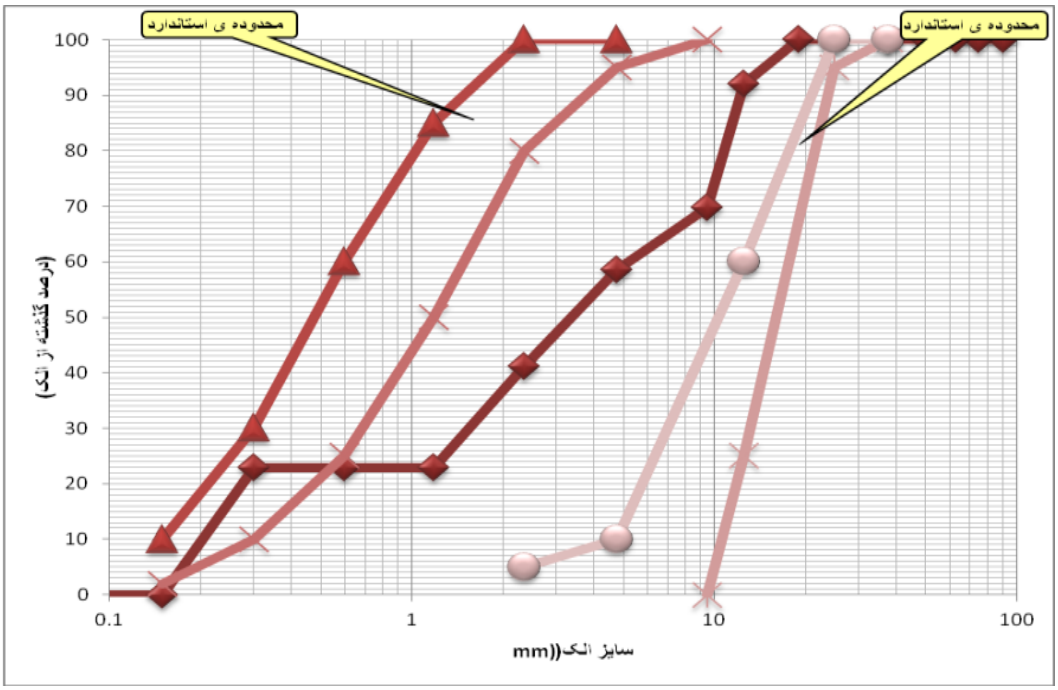
وزن کل		ضریب سرشکن

	(gr)		
	1423		0.702740689

سایز الک (mm)	شماره الک	وزن مانده روی الک (gr)	وزن سرشکن شده	درصد مانده روی الک	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد تجمعی گذشته از الک
90	3 ½"	0	0	0	0	100
75	3 "	0	0	0	0	100
63	2 ½"	0	0	0	0	100
50	2 "	0	0	0	0	100
37.5	1 ½ "	0	0	0	0	100
25	1"	0	0	0	0	100
19	¾ "	0	0	0	0	100
12.5	½ "	114.5	80.46380885	0	8.046380885	91.95361911
9.5	⅜ "	315	221.3633169	0	30.18271258	69.81728742
4.75	# 4	161.5	113.4926212	0	41.5319747	58.4680253
2.36	# 8	245.5	172.5228391	0	58.78425861	41.21574139
1.18	# 16	261.5	183.7666901	0	77.16092762	22.83907238
0.6	# 30	0	0	30.85031623	77.16092762	22.83907238
0.3	# 50	0	0	33.45045678	77.16092762	22.83907238
0.15	# 100	325	228.3907238	35.69922699	100	0
0.075	# 200	0	0	0	100	0
	زیر الکی	0	0	0	100	0
	جمع کل	1423	1000	100		



شکل ۵: نمودار دانه بندی طرح اختلاط ۵



شکل ۶: نمودار دانه بندی طرح اختلاط ۶

۴- تعداد نمونه ها

در با توجه به متغیر های آزمایش در مجموع تعداد ۳۶ نمونه مکعبی بتن الیافی با ابعاد (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر) ساخته شد.

جدول ۱۰: مشخصات نمونه های مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر) ساخته شده

نوع الیاف	درصد حجمی الیاف	طول (mm)	مقدار الیاف (gr)	آب / سیمان	اندازه بزرگترین دانه شن	تعداد
پلی الفین	۱٪	۵۰	۱۰	۰/۳۱	۱۲/۵	۱۸
بدون الیاف (شاهد)	-	-	-	۰/۳۱	۱۲/۵	۱۸

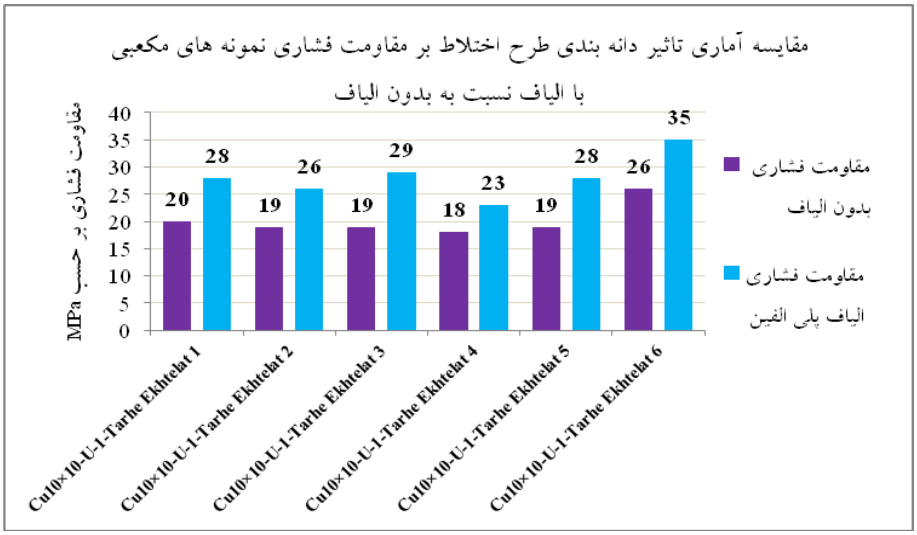
۵- مقاومت در برابر سیکل های سرما و گرما (ذوب و یخبندان)

تمامی بتن هایی که در معرض سیکل های شدید سرما و گرما می باشند در مدت زمان کوتاهی دچار ترک می شوند. این ترک ها به مرور زمان در داخل بتن افزایش می یابند و شکاف های عمیقی در آن ایجاد می کنند. با به کارگیری الیاف پلی الفین، ترک ها به حداقل می رسند و در صورت ایجاد ترک اجازه افزایش به آن داده نمی شود و یکپارچگی بتن را حفظ خواهد شد. با توجه به ایجاد کرنش داخلی در بتن در دماهای شدید گرمایی و سرمایی، پیشنهاد می گردد که جدا از استفاده از الیاف پلیمری بتن که تاثیر به سزایی در اصلاح بتن دارد، از افزودنی های دیگر بتن و عیار بتن بالای ۴۵۰ استفاده شود.

۶- شرح آزمایش

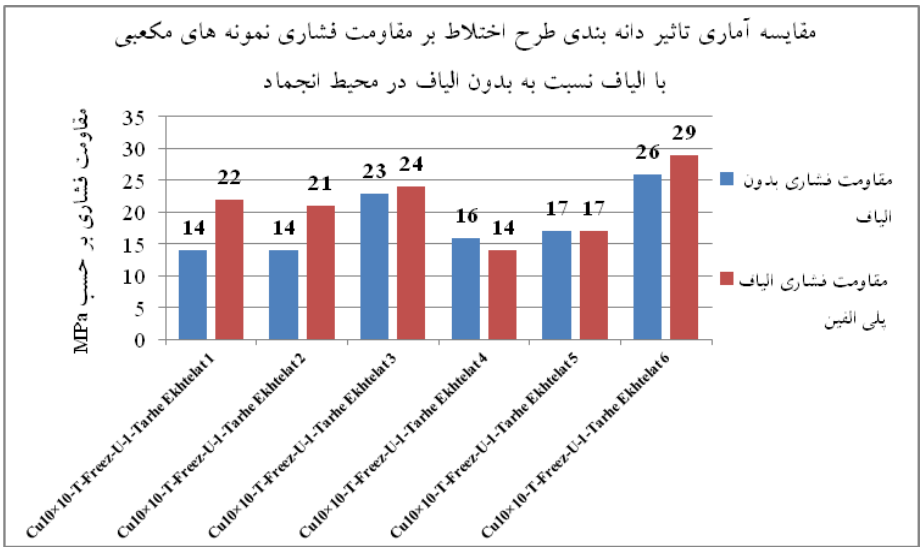
در بر اساس توضیحات داده شده، تمامی آزمایشات انجام گرفته بر روی نمونه های مکعبی بتنی در نهایت باید به صورت معیاری از آزمایش مقاومت فشاری بیان شوند. مبنای پذیرش بتن، آزمایش مقاومت در عمر ۲۸ روزه است. لازم به توضیح است که تمامی آزمایش های انجام شده به جز آزمایش تست سایش (لس آنجلس) به منظور قرار گیری نمونه ها در محیط های آزمایشگاهی، برای دست یابی به مقاومت فشاری نمونه ها در سن مورد نظر انجام گرفته است تا تفاوت افت یا ثابت ماندن مقاومت فشاری نمونه ها نسبت به نمونه های اصلی سنجیده شود. نمونه های ساخته شده مطابق آیین نامه مبحث نهم از مقررات ملی ساختمان در ابعاد استاندارد مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر)، جهت انجام پژوهش و انجام آزمایش های مقاومت فشاری و مقاومت در برابر سیکل های سرما و یخبندان و آب شدگی پی در پی، انجام پذیرفت. همچنین با بررسی بتن های ساخته شده با پارامترهای مکانیکی متفاوت (مطابق طرح اختلاط پیشنهادی ACI-544) و نمونه گیری های بعمل آمده، نمونه های ساخته شده در سن مورد نظر تحت آزمایش سایش قرار گرفتند و با یکدیگر مقایسه شدند. آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد ASTM C39 (ASTM, 2014)، آزمایش یخبندان و آب شدگی در اثر حرارت مطابق استاندارد ASTM C666 (ASTM, 2003)، آزمایش لس آنجلس یا تست سایش مطابق استاندارد ASTM C944 (ASTM, 2000) برای سایش بتن یا ملات (روش سمباده چرخان) انجام می پذیرد.

۷- نتایج و بحث



شکل ۷: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر)

در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۱ بدون الیاف مقدار ۲۸/۵۷ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۱ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۲ بدون الیاف مقدار ۲۶/۹۲ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۲ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۳ بدون الیاف مقدار ۳۴/۴۸ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۳ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۴ بدون الیاف مقدار ۲۱/۷۳ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۴ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۵ بدون الیاف مقدار ۳۲/۱۴ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۵ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۶ بدون الیاف مقدار ۲۵/۷۱ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۶ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است.



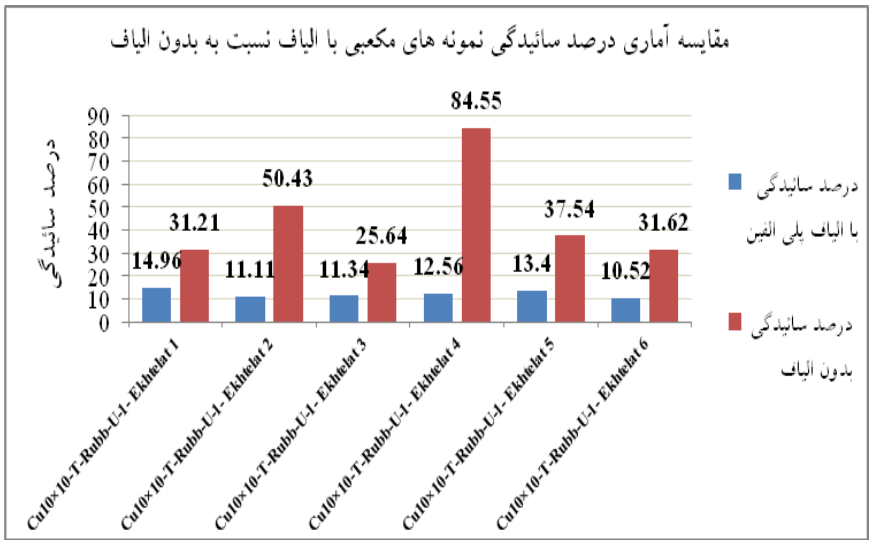
شکل ۸: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر) با الیاف نسبت به بدون الیاف در محیط انجماد

در نمونه های مسلح به الیاف پلی الفین نمونه با ۱ درصد حجمی الیاف بیشترین مقدار و نمونه های بدون درصد حجمی الیاف کمترین مقدار مقاومت فشاری را دارند. همچنین بیشترین مقاومت فشاری در نمونه های مسلح به الیاف پلی الفین و نمونه های بدون الیاف مربوط به نمونه های ساخته شده با طرح اختلاط ۶ می باشد. علت این امر بالاتر بودن درصد وزنی سنگدانه های درشت دانه (شن) نسبت به ریز دانه های موجود در طرح اختلاط ۶ نسبت به سایر طرحهای اختلاط دیگر می باشد. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۱ بدون الیاف مقدار ۳۶/۳۶ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۱ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۲ بدون الیاف مقدار ۳۳/۳۳ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۲ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۳ بدون الیاف مقدار ۴/۱۶ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۳ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۴ بدون الیاف مقدار ۱۲/۵ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۴ مسلح به الیاف پلی الفین افزایش یافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۵ بدون الیاف مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۵ مسلح به الیاف پلی الفین هیچگونه تغییری در مقاومت فشاری صورت نیافته است. در نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۶ بدون الیاف مقدار ۱۰/۳۴ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۶ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است.

۸- آزمایش لس آنجلس یا تست سایش

در این آزمایش برای تعیین مقاومت سنگدانه های کوچک اندازه در برابر سایش و ضربه در دستگاه لس آنجلس انجام می شود. درصد سائیدگی در آزمایش لس آنجلس یا تست سایش به روش سمباده چرخان از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{درصد سائیدگی} = \frac{\text{وزن نهایی} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن نهایی}} \times 100 \qquad (۱)$$



شکل ۹: مقایسه آماری درصد سائیدگی نمونه های (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر) با الیاف نسبت به بدون الیاف

در تمام نمونه های مسلح به الیاف پلی الفین، نمونه ساخته شده با طرح اختلاط شماره ۶ کمترین درصد سائیدگی را به علت بالاتر بودن درصد وزنی سنگدانه های درشت دانه (شن) نسبت به ریز دانه های موجود در طرح اختلاط شرکت کننده در ساخت نمونه ی بتن الیافی و در نمونه های بدون الیاف، نمونه ساخته شده با طرح اختلاط شماره ۳ به علت وجود نداشتن سنگدانه های درشت دانه (شن) و وجود ریز دانه های موجود در طرح اختلاط شرکت کننده در ساخت نمونه ی بتن الیافی به دلیل تراکم بیشتر کمترین درصد سائیدگی صورت گرفته است. بنابراین نمونه ی بتن الیافی ساخته شده با طرح اختلاط ۶ و نمونه ی بدون الیاف ساخته شده با طرح اختلاط ۳ در مقابل ضربه های وارده بر نمونه های بتن الیافی با طرح اختلاط های مختلف مقاومت بهتری را از خود نشان می دهد.

۹- بحث و نتیجه گیری

بیشترین مقاومت فشاری در نمونه های مسلح به الیاف پلی الفین و نمونه های بدون الیاف مربوط به نمونه های ساخته شده با طرح اختلاط ۶ می باشد. علت بالا بودن درصد وزنی سنگدانه های درشت دانه (شن) نسبت به ریز دانه های موجود در طرح اختلاط می باشد.
در نمونه بدون الیاف ساخته شده با طرح اختلاط ۱ در محیط معمولی مقدار ۲۸/۵۷ درصد و در محیط انجماد مقدار ۳۶/۳۶ مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۱ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است.
در نمونه بدون الیاف ساخته شده با طرح اختلاط ۲ در محیط معمولی مقدار ۲۶/۹۲ درصد و در محیط انجماد مقدار ۳۳/۳۳ مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۲ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است.
در نمونه بدون الیاف ساخته شده با طرح اختلاط ۳ در محیط معمولی مقدار ۳۴/۴۸ درصد و در محیط انجماد مقدار ۴/۱۶ مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۳ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است.
در نمونه بدون الیاف ساخته شده با طرح اختلاط ۴ در محیط معمولی مقدار ۲۱/۷۳ درصد و در محیط انجماد مقدار ۱۲/۵ مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۴ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است.
در نمونه بدون الیاف ساخته شده با طرح اختلاط ۵ در محیط معمولی مقدار ۳۲/۱۴ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۵ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است. در محیط تحت انجماد هیچگونه تغییری در مقاومت فشاری در مقایسه نمونه ی ساخته شده بدون الیاف و مسلح به الیاف پلی الفین با طرح اختلاط ۵ صورت نگرفته است.
در نمونه بدون الیاف ساخته شده با طرح اختلاط ۶ در محیط معمولی مقدار ۲۵/۷۱ درصد و در محیط انجماد مقدار ۱۰/۳۴ مقاومت فشاری نسبت به نمونه ساخته شده با طرح اختلاط ۶ مسلح به الیاف پلی الفین کاهش یافته است.
در تمام نمونه های مسلح به الیاف پلی الفین، نمونه ساخته شده با طرح اختلاط شماره ۶ کمترین درصد سائیدگی را به علت بالاتر بودن درصد وزنی سنگدانه های درشت دانه (شن) نسبت به ریز دانه های موجود در طرح اختلاط شرکت کننده از خود نشان داد.
نمونه ی بتن الیافی ساخته شده با طرح اختلاط ۶ و نمونه ی بدون الیاف ساخته شده با طرح اختلاط ۳ در مقابل ضربه های وارده بر نمونه های بتن الیافی در مقایسه با طرح اختلاط های مختلف مقاومت بهتری را از خود نشان می دهد.

منابع

پور مقدم، امیر، تقدس، حسین، محمودزاده، فتح اله، شکرچی زاده، محمد، ۱۳۸۴، بررسی پخش و جهت گیری الیاف در بتن مسلح الیافی. نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۹، شماره ۳، صفحه ۳۱۱ تا ۳۱۸.

Khaloo, Alireza., Kazemi, Mohammad Taghi, (2008), Behavior and Applications of Fiber Concrete, Proceedings of the Fourth National Congress of Civil Engineering, University of Tehran, pp. 1-30.

آینه حیدری، محمد، ۱۳۹۵، عملکرد مکمل بتن الیافی ACDF در بهبود خصوصیات مکانیکی و دوام روسازی های بتن. کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

عرفانی نسب، محمدرضا، ۱۳۹۴، بررسی خصوصیات مکانیکی بتن الیافی (پلی الفین و فولادی) با درصد های مختلف و مقایسه آن با بتن شاهد. کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، دانشکده فنی مهندسی موسسه آموزش عالی سارویه.

قناد زاده، سعید، ۱۳۹۳، بررسی آزمایشگاهی خواص مکانیکی و الگوی ترک خوردگی در بتن الیافی. کارشناسی ارشد فنی مهندسی، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان.

علایی مهابادی، علیرضا، ۱۳۹۷، بررسی رفتار فشاری نوعی بتن الیافی. کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، دانشکده فنی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف.

امیریانی، عمران، ۱۳۹۰، ارزیابی دوام بتن حاوی سنگ دانه های حاصل از بتن های بازیافتی در مقابل سیکل های ذوب و انجماد. کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه بوعلی سینا.

خلیلی، جلال، ۱۳۹۶، تاثیر نسبت های ریز دانه به درشت دانه بر نفوذپذیری و انجماد و ذوب حاوی آب مغناطیس. کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه گیلان پردیس دانشگاهی.

Iranian Institute of Standards and Industrial Research, (1999), Properties of Portland Cement, Standard No. 389, Third Revision, Eighth Edition, Pages 1 to 12.

Iranian Institute of Standards and Industrial Research, (2002), Hydrochloric acid-characteristics and test methods, standard number 209, second revision, first edition, pp. 1-58.

Sirjan Nano and Yarn, (2018), A Study of Micro and Macrosynthetic Fibers in the Scientific Journal of Concrete Materials and Structures, Iranian Concrete Scientific Association, Fourth Year, pp. 114-130.

Mostofi Nejad, Dawod, (2017), Laboratory study of the effect of material, geometry and composition of different fibers. Fourth International Conference on Structural Engineering, Tehran Olympic Hotel.

ASTM Standard Test, (2003), Standard Specification for Concrete Aggregates, Appendix, ASTM C33, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. 04-02.

ASTM Standard Test, (2014), Method standard test for compressive strength of cylindrical concrete Specimens, ASTM C39, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. 04-01.

ASTM Standard Test, (2003), Method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing, ASTM C666, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. 04-02.

ASTM Standard Test, (2000), Method for abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating-cutter method, ASTM C 944, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. 04-02.