



Research Article

Experimental Study of the Effect of Polypropylene Fiber and Microsilica on the Mechanical Properties of Concrete

Mehdi Mokhtari*¹, Reza Fatemian²

1. Ph.D., Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Pars Razavi Institute of Higher Education, Gonabad, Iran

2. M.Sc., Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Pars Razavi Institute of Higher Education, Gonabad, Iran

Received: 12 February 2023; Revised: 12 April 2023; Accepted: 18 April 2023; Published: 18 April 2023

Abstract

Today, concrete is one of the common materials in the construction industry. The dependence of concrete properties on various parameters such as constituent materials, production and generation process, execution method and concrete treating condition made it a complex material. However, it has more advantages in the construction industry. In this case, these materials of mechanical properties such as tensile and compressive strength are discussed by civil engineers and researchers identified many ways to improve these properties which one of them is using additive materials such as micro silica and polypropylene fibers. Therefore, in this research tensile and compressive strength tests were performed on 40 models with the aim of investigating the effect of using micro silica with 0.04, 0.06 and 0.08 percentages and the mixture of these two materials on mechanical properties. The results showed that in the compressive test of 7-day concrete micro silica models and some of the models of micro silica and polypropylene fiber mixture had an acceptable response, as well as in 28-day concrete mixture models showed an acceptable response. In the tensile test of 7-day models, all of the models showed lower strength than the original model, while in 28-day concrete models with micro silica 3% and polypropylene 0.04% increased tensile strength.

Keywords:

Concrete, Compressive Strength, Tensile Strength, Polypropylene Fiber, Microsilica

Cite this article as: Mokhtari M, Fatemian R. (2023). Experimental Study of the Effect of Polypropylene Fiber and Microsilica on the Mechanical Properties of Concrete. *Civ Proj*; 5(1):22–37. <https://doi.org/10.22034/cpj.2023.392896.1188>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2023 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: m.mokhtari.civil@gmail.com



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

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر الیاف پلی پروپیلن و میکروسیلیس بر خصوصیات مکانیکی

بتن

مهدي مختاری^{۱*}، رضا فاطمیان^۲

۱. دکتری سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، مؤسسه آموزش عالی پارس رضوی، گناباد، ایران

۲. فارغ التحصیل فوق لیسانس سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، مؤسسه آموزش عالی پارس رضوی، گناباد، ایران

تاریخ دریافت: ۲۳ بهمن ۱۴۰۱؛ تاریخ بازنگری: ۲۳ فروردین ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۲۹ فروردین ۱۴۰۲؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۲۹ فروردین ۱۴۰۲

چکیده

امروزه بتن یکی از متداول ترین مواد در صنعت ساختمان بشمار می رود. وابسته بودن خواص بتن به پارامترهای گوناگونی نظیر مصالح تشکیل دهنده، روند تولید و فرآوری، نحوه اجرا و شرایط عمل آوری، بتن را به یک ماده پیچیده مبدل ساخته است. با این حال، دارای محاسن و مزایای زیادی در صنعت ساختمان می باشد. حال این که این ماده ساختمانی همواره خواص مکانیکی آن از جمله مقاومت کششی و مقاومت فشاری مورد بحث مهندسين عمران می باشد، محققین نیز در خصوص بهبود بخشیدن به این خواص راه های زیادی را معرفی نموده اند که یکی از آنها استفاده از مواد افزودنی مانند میکروسیلیس و الیاف پلی پروپیلن است. در این مقاله با هدف بررسی تأثیر بکارگیری میکروسیلیس با درصدهای ۳، ۵ و ۷، الیاف پلی پروپیلن با درصدهای ۰/۰۴، ۰/۰۶ و ۰/۰۸ و نیز مخلوط همزمان این دو افزودنی بر روی مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن، ۴۰ نمونه آزمایشگاهی ساخته شد. نتایج نشان داد که در آزمایش مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه، نمونه های دارای میکروسیلیس افزایش ۳۷ درصدی، نمونه های دارای الیاف پلی پروپیلن افزایش ۱۷ درصدی و نمونه های دارای مخلوط همزمان میکروسیلیس و الیاف پلی پروپیلن افزایش ۲۶ درصدی نسبت به نمونه مرجع داشتند. همچنین در آزمایش مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ و ۹۰ روزه، نمونه های دارای مخلوط میکروسیلیس و الیاف پلی پروپیلن به ترتیب افزایش ۸ درصدی و ۶ درصدی نسبت به نمونه مرجع داشتند. در آزمایش مقاومت کششی، تمامی نمونه های ۷ روزه دارای مقاومت پایین تری در حدود ۹ درصد نسبت به نمونه مرجع بودند؛ در حالی که در نمونه های ۲۸ روزه شامل ۳ درصد میکروسیلیس و ۰/۰۴ درصد پلی پروپیلن، مقاومت کششی به میزان ۵ درصد نسبت به نمونه مرجع افزایش داشت. در نمونه های ۹۰ روزه نیز به طور میانگین افزایش ۸ درصدی مقاومت کششی حاصل گردید.

کلمات کلیدی

بتن، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، الیاف پلی پروپیلن، میکروسیلیس

۱. مقدمه

در طی سالیان اخیر، از الیاف‌های مختلف و یا مواد نانو در ترکیب بتن با هدف رفع ضعف‌های آن استفاده می‌شود. طبق مطالعات پیشین، کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن در تهیه بتن سبب افزایش شکل‌پذیری و عدم خردشدگی راحت بتن می‌شود. علاوه بر این استفاده از این الیاف نسبت به کاربرد میلگردهای زیاد سبب پراکندگی کامل الیاف در تمام بتن شده که این خود باعث ایجاد شرایط ایزوتروپ‌تری در بتن می‌شود و از ایجاد ترک‌ها جلوگیری می‌کند (Mostofinejad, 2022). تحقیقات گذشته همچنین نشان داده‌اند که استفاده از میکروسلیس‌ها به عنوان یک پوزولان که نقش یک ماده افزودنی در بتن را دارد، سبب افزایش مقاومت فشاری، خمشی، کششی و برشی بتن شده و از نفوذپذیری آب نیز جلوگیری می‌کند (Salkhordeh & Noori-(Gheidari, 2010).

یائو در سال ۲۰۰۲ (Wu, 2002) به بررسی آزمایشگاهی مقاومت کششی نمونه‌های بتنی مکعبی دارای الیاف پلی‌پروپیلن پرداخت و نشان داد که تا سن ۲۸ روز میزان مقاومت کششی این نمونه‌ها کاهش یافته اما پس از آن مقاومت کششی افزایش می‌یابد. یائو علت این امر را با استفاده از تصویربرداری‌های الکترونی به این صورت شرح داد که ریزترک‌های موجود در نمونه‌ها به وسیله الیاف پلی‌پروپیلن پر شده و باعث ایجاد پیوستگی در بتن شده است. طبق کار آزمایشگاهی هوا و ژئودر سال ۲۰۰۹ (Zhou & Hua, 2009) کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن در تهیه بتن باعث می‌شود که میزان جذب آب بتن تقریباً ۱۰ درصد کاهش و مقاومت کششی بتن ۲۳ درصد افزایش یابد. قهاری در سال ۱۳۹۱ (Esmaeeli & Ghahari, 2012) نشان داد که استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در بتن تراورس سبب افزایش مقاومت کششی، خمشی و الکتریکی، کاهش مقاومت فشاری و مقدار فراصوت شده است. حجازی و همکاران در سال ۲۰۱۷ (Hejazi et al., 2017) خواص مکانیکی بتن سبک سازه‌ای با استفاده از الیاف (فولاد صنعتی و ضایعاتی، شیشه، پلی‌پروپیلن و کاه) به صورت تک الیاف و ترکیبی (۲تایی و ۳تایی) را مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج آن‌ها ترکیب الیاف فولادی صنعتی و پلی‌پروپیلن بیشترین مقاومت فشاری و ترکیب الیاف شیشه و پلی‌پروپیلن بیشترین مقاومت کششی و خمشی را داشته است. شاهجلا و همکاران در سال ۲۰۱۹ (Hossain et al., 2019) نشان دادند که استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در بتن سنگی بازایافتی حاوی لاستیک خرده سبب کاهش مقاومت کششی می‌شود. حسین و همکاران در سال ۲۰۲۰ (Hussain et al., 2020) به مقایسه خصوصیات مکانیکی بتن و ضخامت طراحی روسازی با انواع مختلف تقویت کننده‌های الیاف (فولاد، شیشه و پلی‌پروپیلن) پرداختند. طبق نتایج الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت کششی و الیاف پلی‌پروپیلن و شیشه باعث کاهش مقاومت کششی در نمونه‌ها شدند. اما از نظر اقتصادی الیاف پلی‌پروپیلن و شیشه نسبت به الیاف فولادی مناسب‌تر شناخته شدند.

شریفی و همکاران در سال ۱۳۹۳ (Sharifi et al., 2014) به بررسی اثرات کاربرد میکروسلیس و پودرسنگ بر روی ویژگی‌های بتن خودتراکم پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود با جایگزینی سیمان با پودرسنگ و میکروسلیس در درصدهای مختلف مشاهده کردند که با افزایش درصد جایگزینی میکروسلیس خواص بتن خودتراکم بهبود یافته اما در حالت‌های جایگزینی پودرسنگ کم‌تر شده است. مظلوم و مهروند در سال ۲۰۱۵ (Mazloom & Mehrvand, 2015) به بررسی تأثیر کاربرد فوق روان کننده، میکروسلیس و الیاف GFRP بر روی مقاومت پیچشی تیرهای بتنی خودتراکم پرداختند. طبق نتایج کار آن‌ها تأثیر میکروسلیس در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ بر روی ظرفیت پیچشی تیر بتنی بیشتر است. در سال ۲۰۱۶ فرخزاد و همکاران (Farokhzad et al., 2016) تأثیر میکروسلیس و نانوسلیس را بر خواص دوامی بتن در برابر حملات سولفاتی مطالعه کردند. آن‌ها نشان دادند که وجود میکروسلیس سبب افزایش ۲۰ درصدی دوام بتن در مقابل حملات می‌شود. قاسم زاده و همکارش در سال ۲۰۱۸ (Mousavinejad et al., 2018) به بررسی تأثیر میکروسلیس و نانوسلیس بر خواص مکانیکی بتن سبک الیافی و همچنین تأثیر میکروسلیس و نانوسلیس بر روی خواص مکانیکی بتن الیافی حاوی سبک‌دانه اسکوریا پرداختند. نتایج کار آن‌ها درصد

جایگزینی بهینه میکروسیلیس و نانوسیلیس را به ترتیب ۱۰ و ۳ درصد و تأثیر الیاف فولادی را بهتر از الیاف پلی پروپیلن بر خواص مکانیکی بتن سبک نشان داد.

در این تحقیق با استفاده از روش آزمایشگاهی به بررسی تأثیر استفاده از الیاف پلی پروپیلن و میکروسیلیس بر خصوصیات مکانیکی بتن پرداخته می‌شود و سپس پاسخ بدست آمده از این دو ماده را در بتن با یکدیگر مقایسه کرده تا بهترین آن‌ها به لحاظ خواص مکانیکی معرفی گردد.

۲. روش تحقیق

در این بخش جهت بررسی خواص طرح اختلاط‌های مختلف بتن مخلوط شده با الیاف پلی پروپیلن و یا میکروسیلیس به تهیه نمونه‌های مکعبی ۱۵*۱۵ و نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد ۱۵*۳۰ پرداخته شده است. در مرحله بعد نمونه‌های تهیه شده در سنین ۷ و ۲۸ روزه مورد آزمایش‌های بتن تازه از جمله آزمایش اسلامپ و وزن مخصوص و آزمایش‌های بتن سخت شده از جمله مقاومت فشاری و مقاومت کششی غیر مستقیم قرار داده شده‌اند. در این پژوهش ۴ گروه نمونه (با سه تکرار) مورد بررسی قرار گرفتند که گروه اصلی بتن معمولی با مقاومت فشاری ۲۵ مگاپاسکال، گروه A بتن با ماسه طبیعی در محدوده ۴-۱۰ میلی‌متر و میکروسیلیس با ۳، ۵ و ۷ درصد، گروه B بتن با ماسه طبیعی در محدوده ۴-۱۰ میلی‌متر و الیاف پلی پروپیلن با درصد‌های ۰/۰۴، ۰/۰۶ و ۰/۰۸ و گروه C بتن با ماسه طبیعی در محدوده ۴-۱۰ میلی‌متر و میکروسیلیس با ۳، ۵ و ۷ درصد و الیاف پلی پروپیلن با ۰/۰۴، ۰/۰۶ و ۰/۰۸ درصد هستند. تمامی میکروسیلیس، الیاف پلی پروپیلن، شن و ماسه طبیعی در حالت اشباع با سطح خشک (SSD) مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق جمعاً ۲۰ نمونه جهت اندازه‌گیری مقاومت فشاری و ۲۰ نمونه جهت اندازه‌گیری مقاومت کششی ساخته شد.

۱.۲. مصالح مصرفی

در این پژوهش از الیاف پلی پروپیلن، ژل میکروسیلیس و سیمان پرتلند نوع II با وزن مخصوص ۳۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شد، که ابتدا با استفاده از الک‌ها دانه‌بندی ماسه مورد بررسی قرار گرفته و پس از آن بر روی آن‌ها آزمایش دانه‌بندی چگالی انجام گردید. شکل ۱ الیاف پلی پروپیلن و شکل ۲ ژل میکروسیلیس مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. مشخصات مصالح مورد استفاده نیز در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱: الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده در این پژوهش.



شکل ۲: ژل میکروسلیبس مورد استفاده در این پژوهش.

جدول ۱. مشخصات مصالح مورد استفاده در این پژوهش

| نام مصالح | وزن مصالح (kg) | چگالی (Kg/cm^3) |
|-------------|----------------|---------------------|
| ماسه طبیعی | ۳/۹۶۱ | ۱/۷۴ |
| پلی پروپیلن | ۳/۶۲ | ۱/۵۹ |
| میکروسلیبس | ۵ | ۲/۲ |

مصالح سنگی مورد استفاده در این پژوهش بصورت دانه‌های درشت یا شن و دانه‌های ریز یا ماسه با دانه‌بندی پیوسته بوده و در مجموع ۶۰ تا ۷۵ درصد از حجم بتن را اشغال می‌کنند. مدول نرمی ماسه مصرفی طبق استاندارد ACI برابر ۲/۶ بدست آمده است. آب مورد استفاده در این پژوهش تهیه شده از سیستم لوله‌کشی آب شرب شهرستان گناباد، که فاقد هر نوع مواد زیان‌آور مانند مواد آلی، مواد روغنی، مواد اسیدی و غیره است، می‌باشد.

۲.۲. طرح اختلاط

روش اختلاط استاندارد آیین‌نامه ۲۱۱-ACI جهت تهیه بتن مورد نیاز در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. جهت تهیه یک بتن همگن و یکنواخت لازم است تا در تمامی مراحل ساخت بتن، زاویه دوران محور میکسر تغییر کند. علاوه بر این بعد از تخلیه میکسر باید ابتدا با استفاده از یک بیلچه بتن زیرورو شده و سپس سریعاً آزمایش اسلامپ انجام شود. دمای بتن تازه بین ۲۷ تا ۲۹ درجه سلسیوس طبق آزمایشات اندازه‌گیری شده است. این در حالی است که دمای آب مربوط به عمل‌آوری ۲۰ تا ۲۴ درجه سلسیوس است. عیار سیمان در تمامی طرح اختلاطها مقدار ثابت ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده است.

۳.۲. شرایط عمل آوری

در این پژوهش از روش عمل آوری مرطوب برای کلیه نمونه‌ها استفاده شده است. در روش مرطوب کلیه نمونه‌ها پس از ساخته شدن به مدت ۲۴ ساعت طبق استاندارد ASTM C511 در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند سپس در مرحله بعد و پس از جدا کردن قالب از بتن نمونه‌ها را در داخل مخزن آب معمولی با دمای ۲۰-۲۲ درجه سانتی‌گراد در سنین مختلف عمل آوری کرد تا نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های مد نظر آماده شوند. این نمونه‌ها در سن‌های مورد نظر تحت آزمایش بارگذاری فشار جک و کششی قرار گرفتند تا مقاومت فشاری و کششی آنها بدست آید. شیوه عمل آوری مرطوب در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: شرایط عمل آوری نمونه‌ها در این پژوهش.

۴.۲. معرفی نمونه‌ها و انجام آزمایش‌ها

جهت انجام این پژوهش ابتدا نمونه‌های اصلی با عیار ۳۵۰ تهیه شدند. سپس ۳ گروه نمونه A، B و C برحسب میزان درصد کاربرد میکروسیلیس یا الیاف پلی پروپیلن و یا ترکیبی از هر دو این مواد در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه تحت آزمایشات مقاومت فشاری و کششی قرار گرفتند. جدول‌های ۲-۵ به ترتیب به معرفی نمونه‌های اصلی، نمونه‌های A، نمونه‌های B و نمونه‌های C تحت شرایط بیان شده می‌پردازد. قابل ذکر است که نمونه‌های مکعبی جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری و نمونه‌های استوانه‌ای جهت انجام آزمایش مقاومت کششی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

جدول ۲: معرفی نمونه‌های اصلی مورد بررسی در این پژوهش

| گروه | نام نمونه | درصد میکروسیلیس | درصد الیاف پلی پروپیلن | مقاومت به روز | نوع تست |
|------|-----------|-----------------|------------------------|---------------|---------|
| Main | Main1 | ۰ | ۰ | ۷ | فشاری |
| | Main2 | ۰ | ۰ | ۲۸ | فشاری |
| | Main5 | ۰ | ۰ | ۹۰ | فشاری |
| | Main3 | ۰ | ۰ | ۷ | کششی |
| | Main4 | ۰ | ۰ | ۲۸ | کششی |
| | Main6 | ۰ | ۰ | ۹۰ | کششی |

جدول ۳: معرفی نمونه‌های گروه A مورد بررسی در این پژوهش

| گروه | نام نمونه | درصد میکروسیلیس | درصد الیاف پلی‌پروپیلن | مقاومت به روز | نوع تست |
|------|-----------|-----------------|------------------------|---------------|---------|
| A | A1 | ۳ | ۰ | ۷ | فشاری |
| | A2 | ۵ | ۰ | ۷ | فشاری |
| | A3 | ۷ | ۰ | ۷ | فشاری |
| | A4 | ۳ | ۰ | ۲۸ | فشاری |
| | A5 | ۵ | ۰ | ۲۸ | فشاری |
| | A6 | ۷ | ۰ | ۲۷ | فشاری |
| | A13 | ۳ | ۰ | ۹۰ | فشاری |
| | A14 | ۵ | ۰ | ۹۰ | فشاری |
| | A15 | ۷ | ۰ | ۹۰ | فشاری |
| | A7 | ۳ | ۰ | ۷ | کششی |
| | A8 | ۵ | ۰ | ۷ | کششی |
| | A9 | ۷ | ۰ | ۷ | کششی |
| | A10 | ۳ | ۰ | ۲۸ | کششی |
| | A11 | ۵ | ۰ | ۲۸ | کششی |
| | A12 | ۷ | ۰ | ۲۷ | کششی |
| | A16 | ۳ | ۰ | ۹۰ | کششی |
| | A17 | ۵ | ۰ | ۹۰ | کششی |
| | A18 | ۷ | ۰ | ۹۰ | کششی |

جدول ۴: معرفی نمونه‌های گروه B مورد بررسی در این پژوهش

| گروه | نام نمونه | درصد میکروسیلیس | درصد الیاف پلی‌پروپیلن | مقاومت به روز | نوع تست |
|------|-----------|-----------------|------------------------|---------------|---------|
| B | B1 | ۰ | ۰/۰۴ | ۷ | فشاری |
| | B2 | ۰ | ۰/۰۶ | ۷ | فشاری |
| | B3 | ۰ | ۰/۰۸ | ۷ | فشاری |
| | B4 | ۰ | ۰/۰۴ | ۲۸ | فشاری |
| | B5 | ۰ | ۰/۰۶ | ۲۸ | فشاری |
| | B6 | ۰ | ۰/۰۸ | ۲۷ | فشاری |
| | B13 | ۰ | ۰/۰۴ | ۹۰ | فشاری |
| | B14 | ۰ | ۰/۰۶ | ۹۰ | فشاری |
| | B15 | ۰ | ۰/۰۸ | ۹۰ | فشاری |
| | B7 | ۰ | ۰/۰۴ | ۷ | کششی |
| | B8 | ۰ | ۰/۰۶ | ۷ | کششی |
| | B9 | ۰ | ۰/۰۸ | ۷ | کششی |
| | B10 | ۰ | ۰/۰۴ | ۲۸ | کششی |
| | B11 | ۰ | ۰/۰۶ | ۲۸ | کششی |
| | B12 | ۰ | ۰/۰۸ | ۲۷ | کششی |
| | B16 | ۰ | ۰/۰۴ | ۹۰ | کششی |
| | B17 | ۰ | ۰/۰۶ | ۹۰ | کششی |
| | B18 | ۰ | ۰/۰۸ | ۹۰ | کششی |

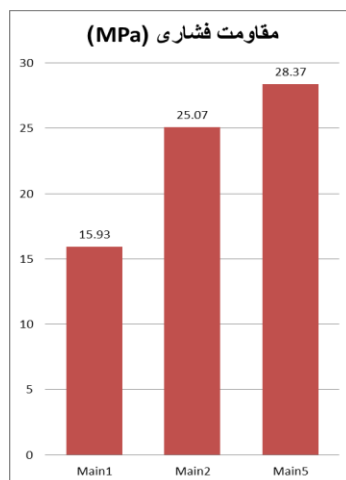
جدول ۵: معرفی نمونه‌های گروه C مورد بررسی در این پژوهش

| گروه | نام نمونه | درصد میکروسیلیس | درصد الیاف پلی‌پروپیلن | مقاومت به روز | نوع تست |
|------|-----------|-----------------|------------------------|---------------|---------|
| C | C1 | ۳ | ۰/۰۴ | ۷ | فشاری |
| | C2 | ۵ | ۰/۰۶ | ۷ | فشاری |
| | C3 | ۷ | ۰/۰۸ | ۷ | فشاری |
| | C4 | ۳ | ۰/۰۴ | ۲۸ | فشاری |
| | C5 | ۵ | ۰/۰۶ | ۲۸ | فشاری |
| | C6 | ۷ | ۰/۰۸ | ۲۷ | فشاری |
| | C13 | ۳ | ۰/۰۴ | ۹۰ | فشاری |
| | C14 | ۵ | ۰/۰۶ | ۹۰ | فشاری |
| | C15 | ۷ | ۰/۰۸ | ۹۰ | فشاری |
| | C7 | ۳ | ۰/۰۴ | ۷ | کششی |
| | C8 | ۵ | ۰/۰۶ | ۷ | کششی |
| | C9 | ۷ | ۰/۰۸ | ۷ | کششی |
| | C10 | ۳ | ۰/۰۴ | ۲۸ | کششی |
| | C11 | ۵ | ۰/۰۶ | ۲۸ | کششی |
| | C12 | ۷ | ۰/۰۸ | ۲۷ | کششی |
| | C16 | ۳ | ۰/۰۴ | ۹۰ | کششی |
| | C17 | ۵ | ۰/۰۶ | ۹۰ | کششی |
| | C18 | ۷ | ۰/۰۸ | ۹۰ | کششی |

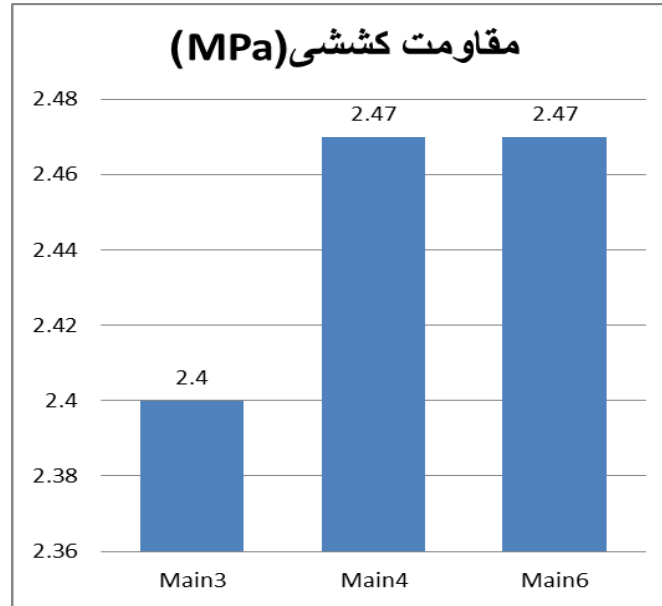
۳. بحث و نتایج

۳.۱. بررسی مقاومت فشاری و کششی نمونه‌ها

نتایج حاصل از انجام آزمایشات مقاومت فشاری و کششی بر روی نمونه‌های اصلی در نمودار شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نشان داده شده است. طبق این نتایج مقاومت فشاری در نمونه ۲۸ روزه حدود ۳۰ درصد و ۹۰ روزه حدود ۴۳ درصد نسبت به نمونه ۷ روزه بالاتر می‌باشد. در آزمایش مقاومت کششی نیز این اختلاف حدود ۳ درصد است و مقاومت کششی بتن ۲۸ روزه و ۹۰ روزه برابر است.

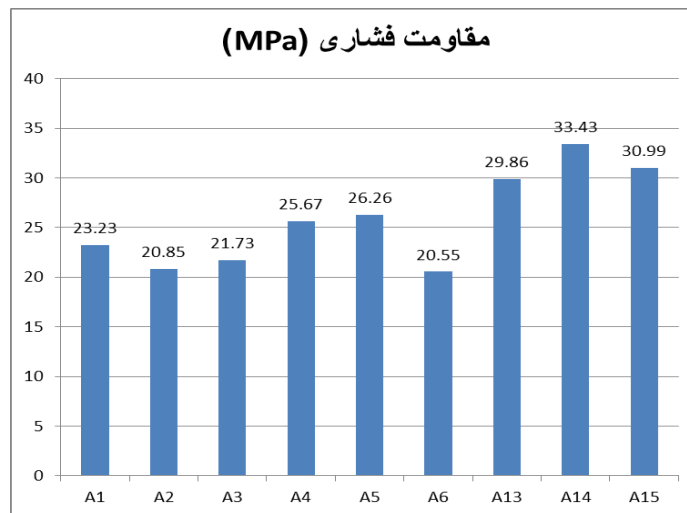


شکل ۴: مقاومت فشاری نمونه‌های اصلی.



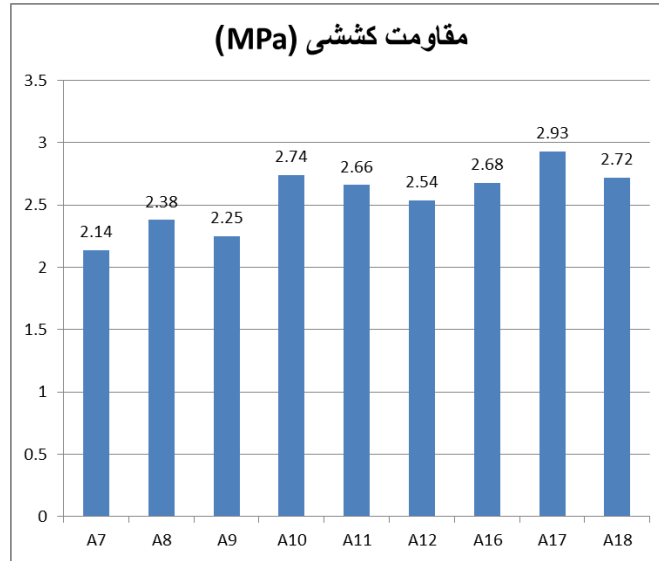
شکل ۵: مقاومت کششی نمونه‌های اصلی.

نمودار شکل ۶ مقاومت فشاری نمونه‌های گروه A را نشان می‌دهد. مطابق این نمودار مشاهده می‌شود که مقاومت فشاری در نمونه ۲۸ روزه حدود ۱۲ درصد و ۹۰ روزه حدود ۲۲ درصد نسبت به نمونه ۷ روزه بالاتر می‌باشد، همچنین مشاهده می‌شود که مقاومت فشاری ۷ روزه در درصد‌های میکروسیلیس ۳ و ۷ درصد (A3 و A1) از نمونه A2 بالاتر و مقاومت فشاری ۲۸ روزه در میکروسیلیس ۳ درصد (A4) نسبت به نمونه‌های A5 و A6 بیش‌تر است. در مقاومت فشاری ۹۰ روزه نیز مقدار میکروسیلیس ۵ درصد مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی میکروسیلیس ۳ و ۷ درصد دارد.



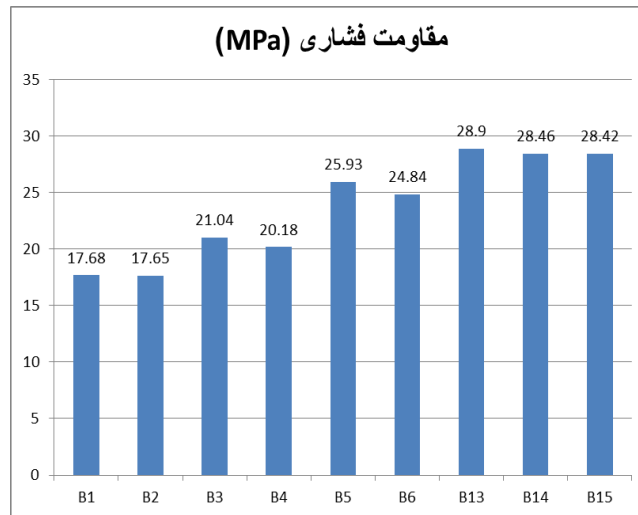
شکل ۶: مقاومت فشاری نمونه‌های گروه A.

نمودار شکل ۷ مقاومت کششی نمونه‌های گروه A را نشان می‌دهد. طبق این نمودار مقاومت کششی در نمونه ۲۸ روزه حدود ۲۲ درصد و ۹۰ روزه ۲۰ درصد نسبت به نمونه ۷ روزه بالاتر می‌باشد، همچنین مشاهده می‌شود که مقاومت کششی ۷ روزه در درصد میکروسیلیس ۵ درصد (A8) از مقدار ۳ و ۷ درصد (A9 و A7) بالاتر و مقاومت کششی ۲۸ روزه میکروسیلیس ۳ درصد (A7) نیز مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه‌های A11 و A12 دارد. همچنین مقاومت کششی ۹۰ روزه در درصد میکروسیلیس ۵ درصد (A17) از نمونه‌های A16 و A18 بالاتر است.



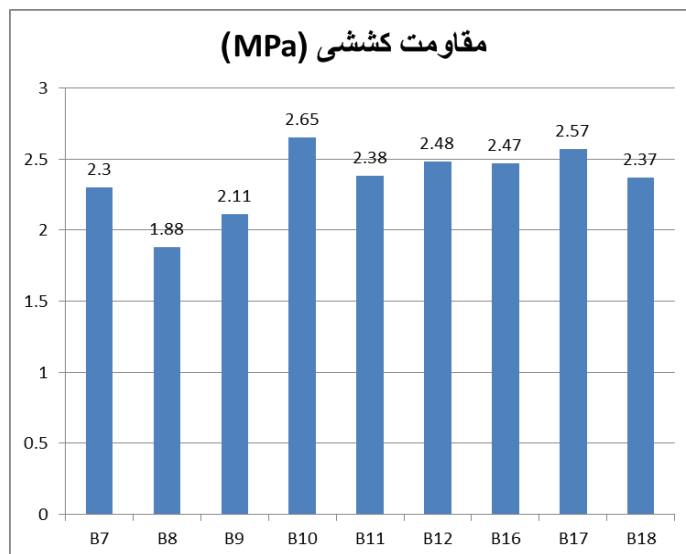
شکل ۷: مقاومت کششی نمونه‌های گروه A.

نمودار شکل ۸ مقاومت فشاری نمونه‌های گروه B را نشان می‌دهد. مطابق این نمودار مقاومت فشاری در نمونه ۲۸ روزه حدود ۱۲ درصد و ۹۰ روزه حدود ۳۸ درصد نسبت به نمونه ۷ روزه بالاتر است، همچنین مشاهده می‌شود که مقاومت فشاری ۷ روزه در درصد‌های الیاف پلی پروپیلن ۰/۰۶ و ۰/۰۸ درصد (B3 و B1) از مقدار ۰/۰۴ درصد بالاتر و مقاومت فشاری ۲۸ روزه الیاف پلی پروپیلن ۰/۰۶ درصد (B5) نیز مقاومت فشاری بیشتری نسبت به ۰/۰۸ و ۰/۰۴ درصد (B4 و B6) دارد. در سن ۹۰ روزه نیز نمونه حاوی درصد الیاف پلی پروپیلن ۰/۰۴ نسبت به سایر نمونه‌ها بالاترین مقدار را داراست.



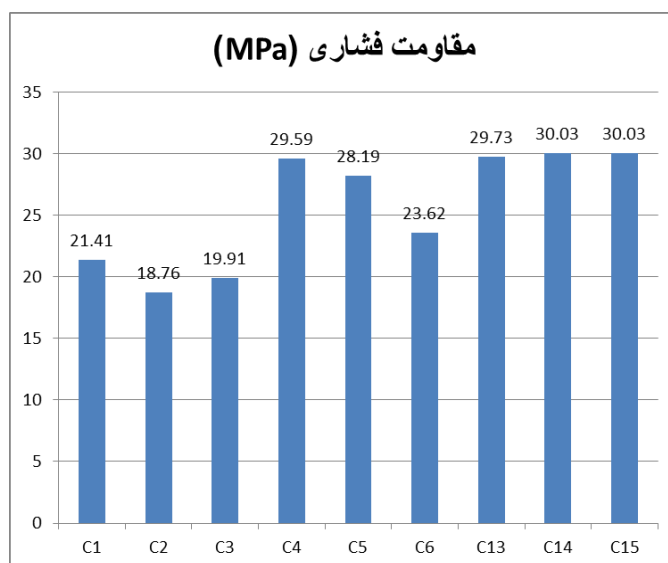
شکل ۸: مقاومت فشاری نمونه‌های گروه B.

نمودار شکل ۹ مقاومت کششی نمونه‌های گروه B را نشان می‌دهد. طبق این نمودار مقاومت کششی در نمونه ۲۸ روزه حدود ۲۰ درصد و ۹۰ روزه حدود ۱۵ درصد نسبت به نمونه ۷ روزه بالاتر است. همچنین مقاومت کششی ۷ روزه در درصد‌های الیاف پلی پروپیلن ۰/۰۴ و ۰/۰۸ درصد (B9 و B7) از نمونه B8 بالاتر است. مقاومت کششی ۲۸ روزه حاوی الیاف پلی پروپیلن ۰/۰۴ و ۰/۰۸ درصد (B9 و B7) نیز مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه B8 دارد. همچنین مقاومت کششی نمونه‌های ۹۰ روزه با درصد‌های الیاف پلی پروپیلن ۰/۰۴ و ۰/۰۶ درصد از نمونه حاوی ۰/۰۸ درصد الیاف پلی پروپیلن بیشتر است.



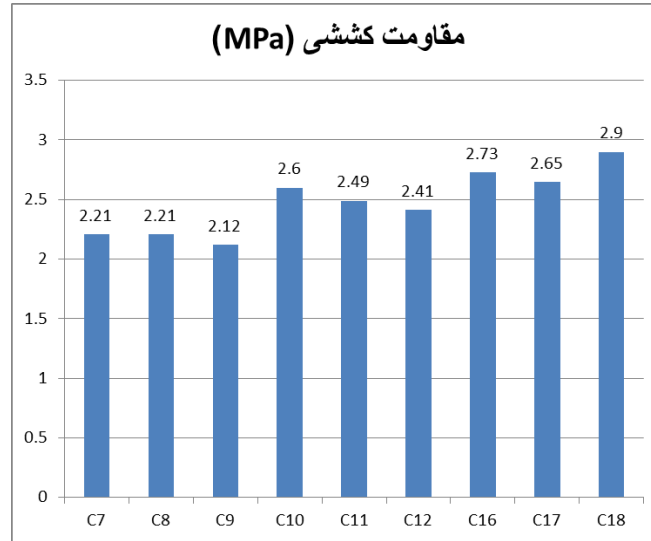
شکل ۹: مقاومت کششی نمونه‌های گروه B.

نمودار شکل ۱۰ مقاومت فشاری نمونه‌های گروه C را نشان می‌دهد. طبق این نمودار مقاومت فشاری در نمونه ۲۸ روزه حدود ۳۰ درصد و ۹۰ روزه حدود ۳۸ درصد نسبت به نمونه ۷ روزه بالاتر است. مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه C3 از نمونه‌های C1 و C2 بیش‌تر بوده و همچنین مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه C5 نسبت به نمونه‌های C4 و C6 بالاتر است. در نمونه‌های ۹۰ روزه نیز، مقاومت فشاری C14 و C15 برابر و بیشتر از C13 است.



شکل ۱۰: مقاومت فشاری نمونه‌های گروه C.

نمودار شکل ۱۱ مقاومت کششی نمونه‌های گروه C را نشان می‌دهد. مطابق با این نمودار مقاومت کششی در نمونه ۲۸ روزه حدود ۱۵ درصد و ۹۰ روزه حدود ۲۵ درصد نسبت به نمونه ۷ روزه بالاتر است. همچنین مقاومت کششی ۷ روزه نمونه C7 از نمونه‌های C8 و C9 بالاتر و مقاومت کششی ۲۸ روزه نمونه C10 نیز مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه‌های C11 و C12 دارد. مقاومت کششی نمونه‌های ۹۰ روزه C16 و C18 نسبت به نمونه C17 مقدار بیشتری دارد.



شکل ۱۱: مقاومت کششی نمونه‌های گروه C.

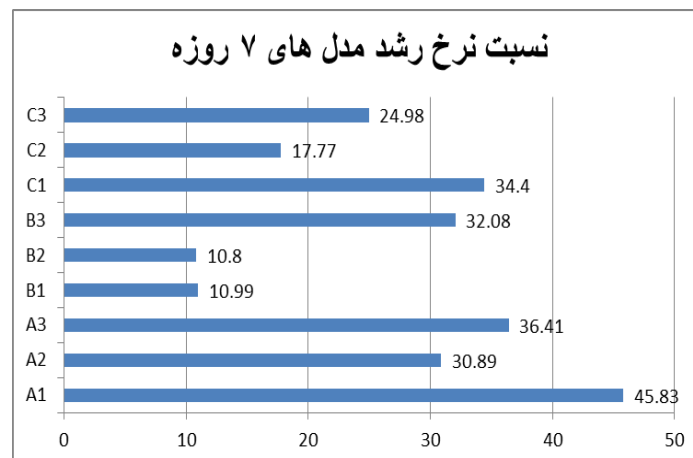
۲.۳. مقایسه نمونه‌ها با استفاده از نرخ رشد

در این بخش به مقایسه مقاومت کششی، فشاری و نسبت نرخ رشد هر یک از نمونه‌ها نسبت به نمونه اولیه پرداخته شده و نمودارهای مربوط به آن‌ها ترسیم می‌گردد. منظور از نرخ رشد میزان نسبت افزایش یا کاهش نمونه نسبت به نمونه اولیه است که در رابطه (۱) نشان داده شده است.

$$\text{نرخ رشد} = \left(\frac{\text{نمونه مورد نظر}}{\text{نمونه اولیه}} - 1 \right) \times 100 \quad (1)$$

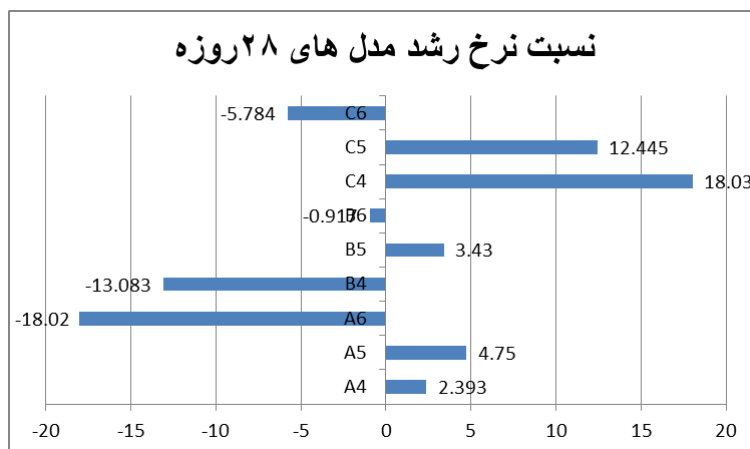
۱.۲.۳. مقایسه نرخ رشد نمونه‌ها براساس مقاومت فشاری

در این بخش به بررسی و مقایسه نرخ رشد نمونه‌های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه براساس مقاومت فشاری پرداخته می‌شود. نمودار شکل ۱۲ نمایانگر نرخ رشد نمونه‌های ۷ روزه مورد بررسی در گروه‌های مختلف نسبت به نمونه اصلی است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد نسبت نرخ رشد در تمام گروه‌ها بهبود یافته است.



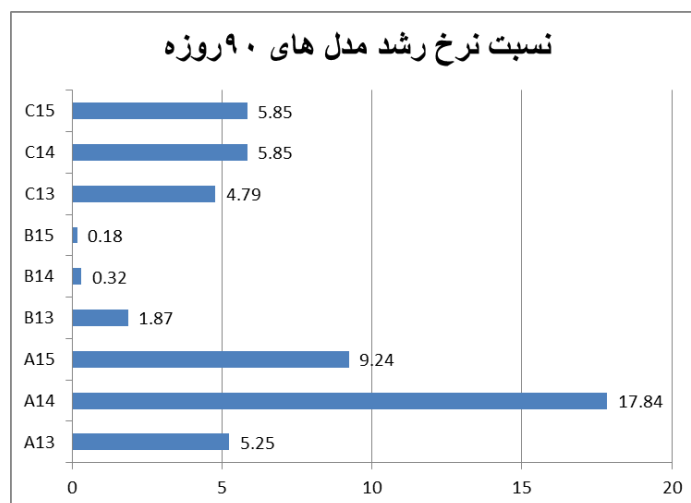
شکل ۱۲: نمودار مقایسه نسبت نرخ رشد مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه.

نمودار شکل ۱۳ نمایانگر نرخ رشد نمونه‌های ۲۸ روزه مورد بررسی در گروه‌های مختلف نسبت به نمونه اصلی می‌باشد. طبق نمودار نسبت نرخ رشد تنها در نمونه‌های A4، C4، B5، C5 و A4 بهبود یافته است.



شکل ۱۳: نمودار مقایسه نسبت نرخ رشد مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه.

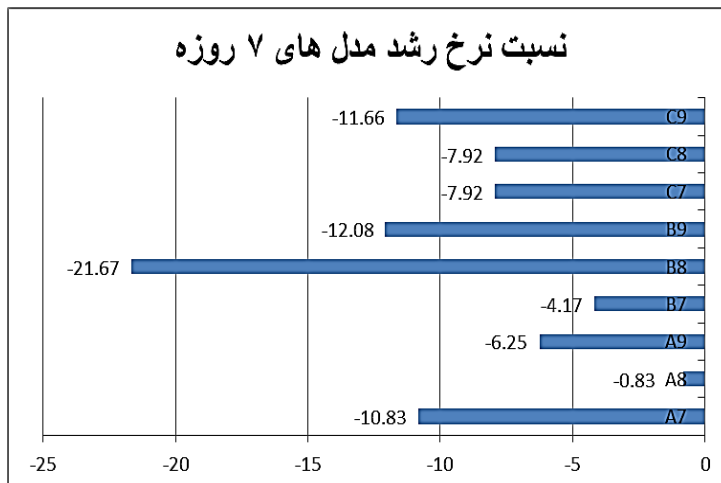
نمودار شکل ۱۴ نمایانگر نرخ رشد نمونه‌های ۹۰ روزه در گروه‌های مختلف نسبت به نمونه اصلی است که حاکی از افزایش نسبت نرخ رشد در تمام نمونه‌ها است.



شکل ۱۴: نمودار مقایسه نسبت نرخ رشد مقاومت فشاری نمونه‌های ۹۰ روزه.

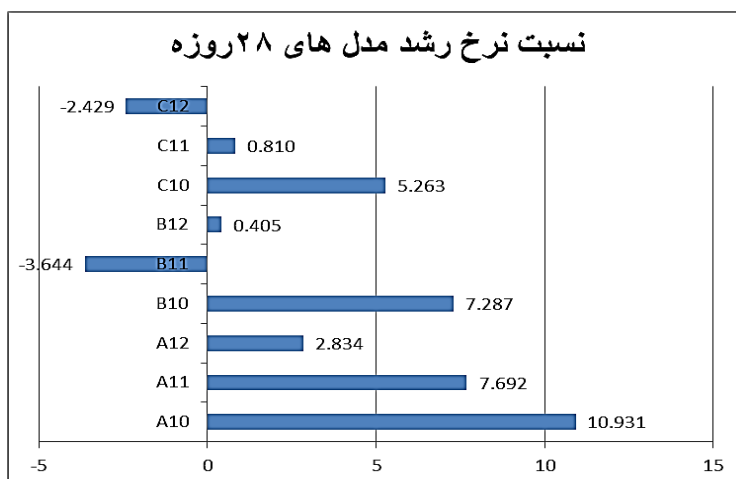
۲.۲.۳. مقایسه نرخ رشد نمونه‌ها براساس مقاومت کششی

در این بخش به بررسی و مقایسه نرخ رشد نمونه‌های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه براساس مقاومت کششی پرداخته می‌شود. نمودار شکل ۱۵ نمایانگر نرخ رشد مقاومت کششی نمونه‌های ۷ روزه مورد بررسی در گروه‌های مختلف نسبت به نمونه اولیه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نسبت نرخ رشد در تمام گروه‌ها کاهش یافته است.



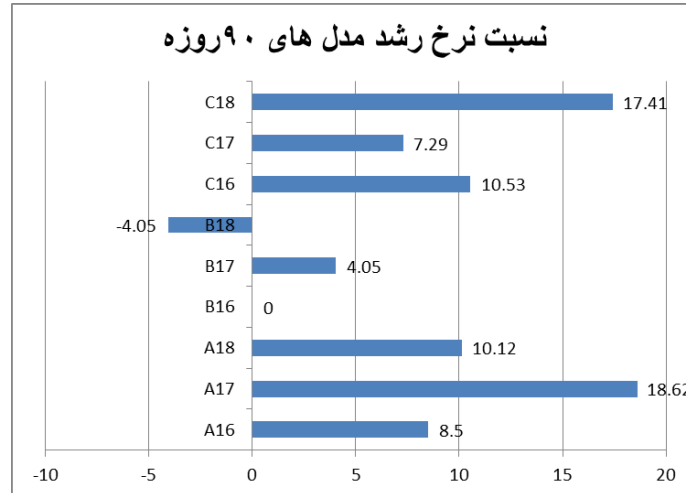
شکل ۱۵: نمودار مقایسه نسبت نرخ رشد مقاومت کششی نمونه‌های ۷ روزه.

نمودار شکل ۱۶ نمایانگر نسبت نرخ رشد مقاومت کششی نمونه‌های ۲۸ روزه در گروه‌های A، B و C در مقایسه با نمونه اصلی است؛ که در نمونه‌های B11 و C12 کاهش و سایر نمونه‌ها افزایش نسبت نرخ رشد مقاومت کششی نسبت به نمونه اصلی قابل مشاهده است.



شکل ۱۶: نمودار مقایسه نسبت نرخ رشد مقاومت کششی نمونه‌های ۲۸ روزه.

نمودار شکل ۱۷ نمایانگر نرخ رشد نمونه‌های ۹۰ روزه مورد بررسی در گروه‌های مختلف نسبت به نمونه اصلی است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در نمونه B18 کاهش و در نمونه B16 برابری و سایر نمونه‌ها افزایش نسبت نرخ رشد مقاومت کششی نسبت به نمونه اولیه قابل مشاهده است.



شکل ۱۷: نمودار مقایسه نسبت نرخ رشد مقاومت کششی نمونه‌های ۹۰ روزه.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله نمونه‌های بتنی مکعبی و استوانه‌ای اصلاح شده با میکروسیلیس (۳، ۵ و ۷ درصد) و یا الیاف پلی‌پروپیلن (۰/۰۴، ۰/۰۶ و ۰/۰۸ درصد) و یا ترکیب هر دو این مواد جهت مقایسه مقاومت فشاری و کششی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه ساخته و در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفتند، که این نمونه‌ها به یک گروه اصلی در ۴ نمونه و ۳ گروه A، B و C تقسیم‌بندی شدند. عمده نتایج حاصل از این تحقیق به صورت زیر است:

۱- در مقاومت فشاری ۷ روزه بتن، نمونه‌های دارای میکروسیلیس و نمونه‌های مخلوطی از میکروسیلیس و الیاف پلی‌پروپیلن پاسخ خوبی را نشان دادند، اما در مقاومت فشاری ۲۸ روزه فقط ۴ نمونه از نمونه‌های مخلوطی از میکروسیلیس و الیاف پلی‌پروپیلن نتایج خوبی داشتند. همچنین در مقاومت فشاری ۹۰ روزه بتن نیز نمونه‌های دارای میکروسیلیس و تا حدی نمونه‌های مخلوطی از میکروسیلیس و الیاف پلی‌پروپیلن پاسخ خوبی را در بر گرفتند.

۲- در مقاومت کششی نیز در بتن ۷ روزه باتوجه به بررسی‌های صورت گرفته از هیچ یک نمونه‌ها در این مقاومت پاسخ مناسبی مشاهده نشد، اما در بتن ۲۸ روزه تمامی نمونه‌ها شاهد افزایش این مقاومت به جز دو نمونه با الیاف پلی‌پروپیلن ۰/۰۶ درصد و مخلوط میکروسیلیس و الیاف پلی‌پروپیلن ۷ و ۰/۰۸ درصد شاهد کاهش این مقاومت بودند که این امر نیز گویا به دلیل وجود الیاف پلی‌پروپیلن به مقدار ۰/۰۸ درصد می‌باشد که باعث کاهش آن شده است، همچنین در ۹۰ روزه نیز مقاومت کششی در تمامی نمونه‌ها افزایش یافت. بنابراین جهت بهبود مقاومت کششی بتن با عیار ۳۵۰ استفاده از میکروسیلیس به مقدارهای ۳ و الیاف پلی‌پروپیلن ۰/۰۴ درصد مطلوب می‌باشد.

مراجع

Esmaeeli, M., & Ghahari, S. (2012). Laboratory Study on the Effect of Poly-Propylene Fiber Reinforced Concrete for Application in Sleeper. *Modares Civil Engineering Journal*, 12(3), 91–101. <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-11253-fa.html> (Persian)

Farokhzad, R., Yaseri, S., Entezarian, M. H., & Yavari, A. (2016). Investigating Effects of Sulfates on Compressive Strength of Different Types of Pozzolan Concrete and Measuring Penetration Rate by Ultrasound Tests at Different Ages. *Concrete Research*, 9(1), 113–130.

Hejazi, M., Fathi, F., & Sadrarhami, H. R. (2017). Study of Mechanical Properties of Structural Lightweight Concrete Reinforced with Hybrid Fibers. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 49(2),

335–346.

Hossain, F. M. Z., Shahjalal, M., Islam, K., Tiznobaik, M., & Alam, M. S. (2019). Mechanical properties of recycled aggregate concrete containing crumb rubber and polypropylene fiber. *Construction and Building Materials*, 225, 983–996.

Hussain, I., Ali, B., Akhtar, T., Jameel, M. S., & Raza, S. S. (2020). Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene). *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00429.

Mazloom, M., & Mehrvand, M. (2015). Estimating of Torsional Capacity of Self Compacting concrete Beams. *Amirkabir Journal of Science and Research*, 13–15.

Mostofinejad, D. (2022). *Reinforced Concrete Structures Based on Iranian Concrete Codes and ACI 318-19* (54th ed.). Arkan Danesh (Persian).

Mousavinejad, G., Hosein, S., & Ghorbani, Y. (2018). Effect of Silica Fume and Nano Silica on Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Lightweight Concrete. *Journal Of Ferdowsi Civil Engineering*, 31(2), 129–139.

Salkhordeh, S., & Noori-Gheidari, M. H. (2010). Investigating the Effect of Adding Different Percentages of Recycled Concrete Aggregates on the Slump of Recycled Concrete. *2nd National Concrete Conference of Iran (Persian)*.

Sharifi, Y., Afshoun, I., Firouzjaie, Z., & Momeni, M. A. (2014). The Effect of Microsilica and Stone Powder on Self-Compacting Concrete. *5th National Conference on Earthquake and Structural (Persian)*.

Wu, Y. (2002). Flexural strength and behavior of polypropylene fiber reinforced concrete beams. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 17(2), 54.

Zhou, T. Q., & Hua, Y. (2009). Application study of polypropylene fiber reinforced concrete railway tunnel lining structure within hard rock mass using wet-sprayed technique. *Materials Science Forum*, 610, 76–80.