



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

Research Article

Evaluation of mechanical properties of concrete containing microcompound and filament fibers from waste plastic strap

Mohammad Javad Forodnia ¹, Hamzeh Dehghani^{2*}

1- Master of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Higher Education Complex of Bam, Bam, Iran

2*- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Higher Education Complex of Bam, Bam, Iran

Received: 30 May 2025; Revised: 12 June 2025; Accepted: 07 July 2025; Published: 23 August 2025

Abstract

Concrete has been the most widely used construction material for many years. Various synthetic and natural materials, such as polymers, fibers, and other additives, are incorporated into the concrete structure to enhance its compressive, tensile, and flexural strength, durability, and overall physical properties, thereby improving its performance under different environmental conditions. Additionally, the use of these additives in combination with concrete materials helps reduce their environmental impact. In this study, concrete mixtures were modified with microcompound a widely used polymeric material and fibrous strands derived from waste plastic strapping. The effects of these materials on the mechanical properties of concrete were investigated. To this end, compressive and flexural strength tests were conducted on 15×15×15 cm cubic specimens, 15×30 cm cylindrical specimens, and 10×10×50 cm rectangular prism specimens. The results showed that the average compressive strength of concrete containing microcompound and fibrous strands from waste plastic strapping increased by 12.25% compared to the control samples at 7, 28, and 42 days. Furthermore, the average flexural strength of the specimens containing these materials increased by 19% compared to the control sample.

Keywords: Fiber concrete, Microcompound, Waste plastic strap, compressive strength, flexural strength

Cite this article as Dehghani,H and Forodnia,M J . (2025). Evaluation of mechanical properties of concrete containing microcompound and filament fibers from waste plastic strap. (e224350). Civil and Project, 7(6), e224350 doi: <https://doi.org/10.22034/cpj.2025.531791.1383>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2025 by the authors.

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: hdehghani@bam.ac.ir



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

بررسی خواص مکانیکی بتن حاوی میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماند تسمه های پلاستیکی ضایعاتی

محمدجواد فرودنیا^۱، حمزه دهقانی^{*۲}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، مجتمع آموزش عالی بم، بم، ایران

*۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، مجتمع آموزش عالی بم، بم، ایران

تاریخ دریافت: ۰۹ خرداد ۱۴۰۴؛ تاریخ بازنگری: ۲۲ خرداد ۱۴۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۶ تیر ۱۴۰۴؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ شهریور ۱۴۰۴

چکیده

سال‌هاست از بتن به عنوان پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی استفاده شده است. انواع مواد مصنوعی و طبیعی مانند پلیمرها، الیاف‌ها و افزودنی‌های دیگر به ساختار بتن اضافه می‌شود که مقاومت فشاری، کششی، خمشی، دوام و به طور کلی خواص فیزیکی بتن را تغییر دهد تا کارایی آن در شرایط محیطی مختلف بهبود یابد. همچنین، بهره‌گیری از این افزودنی‌ها در ترکیب با مصالح بتن باعث می‌شود تا اثر تخریبی این مواد به محیط زیست کمتر شود. در این پژوهش، از بتن حاوی میکروکامپوند که یک ماده پلیمری پرکاربرد است و الیاف رشته‌ای حاصل از پسماند تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی، برای افزودن در طرح اختلاط بتن استفاده شد و تأثیر این مواد را بر خواص مکانیکی بتن بررسی گردید. برای این منظور، آزمایش‌های مقاومت فشاری و مقاومت خمشی با نمونه‌های مکعبی $15 \times 15 \times 15$ ، نمونه‌های استوانه‌ای 30×15 و نمونه‌های مکعب مستطیلی $10 \times 10 \times 50$ انجام شد. نتایج نشان داد، مقدار میانگین مقاومت فشاری بتن حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته‌ای حاصل از پسماند تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی نسبت به نمونه شاهد در سنین ۷، ۲۸ و ۴۲ روزه ۱۲/۲۵٪ افزایش یافت. همچنین، مقدار میانگین مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته‌ای حاصل از پسماند تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی نسبت به نمونه شاهد ۱۹٪ افزایش داشت.

کلمات کلیدی: بتن الیافی، میکروکامپوند، تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی

۱- مقدمه

سال‌هاست که بتن به‌عنوان یک مصالح در صنایع مختلف مانند صنایع ساختمانی، صنایع دفاعی و صنایع راه‌سازی به‌کاربرده شده است. عمده استفاده این مصالح در ساختمان‌سازی و راه‌سازی بوده است و به دلیل نوع کاربرد بسیار متنوع آن و قابلیت استفاده در بسیاری از محیط‌ها و بسیاری از اجزای سازه‌ای به انتخاب اول مهندسين بدل شده است. بتن ماده‌ای است ترکیبی و مقاومت فشاری بالاتری نسبت به مصالح دیگر دارد و یکی از مصالحی است که از لحاظ اقتصادی قیمت مناسب‌تری نسبت به دیگر مصالح دارد. امروزه بتن به دلیل خصوصیات مکانیکی و در دسترس بودن در اکثر سازه‌هایی که به دست بشر ساخته می‌شود، استفاده شده است. از ویژگی‌های دیگر آن سازگاری با محیط‌زیست، قابلیت استفاده در انواع شرایط آب و هوایی و مکانی است. محققین در پژوهش‌های خود به دنبال بهبود دو مشخصه اصلی بتن یعنی خواص مکانیکی و دوام آن در شرایط محیطی گوناگون بوده‌اند. به دلیل اینکه ساختار بتن از ترکیب چند مصالح مختلف به دست می‌آید، لذا برای بهبود خواص یا نسبت ترکیب مصالح را تغییر می‌دهند و یا با استفاده از مواد جدید و جایگزینی آن با مقداری از مواد اصلی تشکیل‌دهنده خواص فیزیکی آن را تغییر می‌دهند (Dehkhoda Rajabi & Izadifard, 2024; Khashi et al., 2018; Dehghani & Fadaee, 2013). توجه به توسعه بتن‌های پایدار و سازگار با محیط‌زیست، پژوهشگران را به‌سوی استفاده از الیاف و مواد افزودنی بازیافتی سوق داده است. یکی از راهکارهای مؤثر در این زمینه، بهره‌گیری از الیاف پلاستیکی بازیافتی، به‌ویژه الیاف حاصل از تسمه‌های پلاستیکی، همراه با استفاده از میکروکامپوندها مانند میکروسیلیس و نانوسیلیس برای بهبود خواص مکانیکی و دوام بتن است. میکروکامپوندها (مانند نانو و میکروذرات پلیمری یا معدنی) به عنوان افزودنی‌هایی شناخته می‌شوند که با بهبود ساختار ریزدانه‌ای خمیر سیمان، سبب افزایش چسبندگی، کاهش تخلخل و در نتیجه ارتقاء خواص مکانیکی نظیر مقاومت فشاری و کششی بتن می‌گردند (Zhang & Wang, 2023; Dehghani, 2023; Hamzeh, 2021; Bazrgary et al., 2023).

مطالعه‌ی Fraternali و همکاران (2014) نشان داد که افزودن الیاف پلاستیک بازیافتی به بتن، منجر به بهبود مقاومت کششی، خمشی و دوام در برابر محیط‌های خوردنده مانند آب دریا می‌شود. همچنین پژوهش Yin و همکاران (2016) اثبات کرد که الیاف پلی‌پروپیلن بازیافتی عملکردی مشابه الیاف نو داشته و در عین حال گزینه‌ای اقتصادی و زیست‌محیطی است. در حوزه کاربرد تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی به‌عنوان الیاف تقویت‌کننده، تحقیق Khatab و همکاران (2019) نشان داد که این الیاف می‌توانند مقاومت کششی بتن را افزایش دهند. به طور مشابه، Ali و Alani (2022) گزارش کردند که استفاده از تسمه‌های پلاستیکی بازیافتی به میزان ۱٪، موجب بهبود مقاومت خمشی و شکل‌پذیری بتن شد، بدون اینکه مقاومت فشاری به‌طور محسوسی کاهش یابد. در زمینه مواد معدنی ریزمقیاس، مانند نانوسیلیس و میکروسیلیس، پژوهش Gaayathri و همکاران (2021) نشان داد که این ترکیبات می‌توانند باعث افزایش قابل توجهی در مقاومت فشاری بتن شوند، اگرچه روانی بتن ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد. همچنین Madandoust و همکاران (2021) دریافتند که ترکیب میکروسیلیس و نانوسیلیس می‌تواند تا بیش از ۷۵٪ مقاومت فشاری بتن را افزایش دهد. Arulraja و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی عملکرد بتن حاوی گرانول بازیافتی پلی‌پروپیلن پرداختند. نتایج نشان داد که جایگزینی بخشی از دانه‌های ریز با این نوع پودر موجب بهبود رفتار مکانیکی بتن بدون افت قابل توجه در کارایی شد. این نوع کاربرد به‌ویژه از نظر پایداری محیط‌زیستی و کاهش ضایعات پلاستیکی نیز اهمیت دارد. در مجموع، این مطالعات مؤید آن است که افزودن پلی‌پروپیلن به اشکال مختلف (الیاف یا پودر) به بتن، نه تنها می‌تواند خواص مکانیکی آن را بهبود بخشد، بلکه دوام بتن در برابر عوامل تخریبی محیطی را نیز افزایش می‌دهد. پژوهش Bayah و همکاران (2024) نیز استفاده از الیاف پلاستیکی در بتن خودتراکم را مورد بررسی قرار داده و افزایش حدود ۲۸٪ در مقاومت کششی را گزارش کرده است، هرچند دوام بتن در برخی موارد کاهش یافته است. از منظر رویکرد ترکیبی، Lee و همکاران (2024) در پروژه‌ای با هدف ترمیم سریع روسازی، استفاده هم‌زمان از الیاف پلاستیکی بازیافتی و بتن اصلاح شده با لاتکس را بررسی کردند و به نتایج بسیار مطلوبی در مقاومت و دوام دست یافتند. افزون بر این، Wuest و همکاران (2025) در پژوهشی نوین دریافتند که ترکیب الیاف پلاستیکی ضایعاتی با نانوذرات معدنی می‌تواند اثر هم‌افزایانه‌ای بر مقاومت مکانیکی و چقرمگی بتن داشته باشد. مطالعه Chen و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد که استفاده از الیاف ماکرو پلی‌پروپیلن در بتن

خودتراکم، دوام آن را به شکل محسوسی در برابر سیکل‌های یخ‌زدگی-ذوب، حملات سولفاتی و محیط اسیدی افزایش داده است. به‌طور خاص، با افزودن ۱٪ الیاف، افت مقاومت فشاری ناشی از این عوامل بیش از ۵۰٪ کاهش یافت. این تحقیق اهمیت استفاده از پلی‌پروپیلن در تقویت دوام بتن را برجسته می‌سازد. در مطالعه‌ای دیگر، Hasan و همکاران (۲۰۲۵) با ترکیب پودر پلی‌پروپیلن، الیاف شیشه‌ای و خاک دیاتومه پخته‌شده در بتن پرمقاومت، به بهبود چقرمگی، مقاومت فشاری و پایداری شیمیایی بتن دست یافتند. آن‌ها گزارش کردند که وجود پلی‌پروپیلن، چه به صورت الیاف و چه به صورت پودر، موجب بهبود اتصال بین اجزای ریزدانه و ماتریس سیمانی شده است.

با توجه به تحقیقات گذشته، به‌نظر می‌رسد که بررسی ترکیبی این دو نوع ماده افزودنی، الیاف بازفاتی حاصل از تسمه‌های پلاستیکی و میکروکامپوندها می‌تواند رویکردی نوآورانه و مؤثر در تولید بتن‌های سازگار با محیط‌زیست و با عملکرد مکانیکی مطلوب فراهم آورد. در این تحقیق، به منظور درک صحیح از عملکرد مواد میکروکامپوند و الیاف رشته‌ای حاصل از پسماند تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی در بتن، نمونه‌های آزمایشگاهی تهیه شده است. بر روی هر سری از نمونه‌ها، آزمایش‌های اسلامپ، مقاومت فشاری و مقاومت خمشی انجام شده است. در پایان نسبت به تحلیل و مقایسه نتایج آزمایشگاهی پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌های آزمایش

۲-۱ سیمان

در این پژوهش از سیمان پرتلند تیپ یک شرکت سیمان ممتاز کرمان، که بر اساس استاندارد ملی ۳۸۹ و استاندارد ACI 116R می‌باشد، استفاده شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سیمان

ترکیبات	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl
درصد	۶۳/۲۵	۱۹/۸۹	۳/۷	۴/۲۳	۰/۲	۳/۸۱	۰/۵۹	۰/۱۶	۰

۲-۲ سنگدانه

مصالح سنگدانه ریز و درشت استفاده شده در این پژوهش توسط سنگ‌شکن شکسته شده و به صورت اشکال نامنظم می‌باشد. رطوبت سنگدانه‌ها به صورت اشباع با سطح خشک در نظر گرفته شده است. مشخصات مربوط به دانه‌بندی ماسه، شن ریز (نخودی) و شن درشت (بادامی) مصرفی در این پژوهش به ترتیب در جدول ۲-۴ نشان داده شده است. درصد عبوری از الکها با استاندارد ASTM C33 مطابقت داده شده و همانگونه که مشاهده می‌شود ضوابط این استاندارد ارضا شده است.

جدول ۲. دانه بندی ماسه

اندازه الک	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد عبوری از الک	استاندارد ASTM C33
۴	۱	۹۹	۹۵-۱۰۰
۸	۱۵	۸۵	۸۰-۱۰۰
۱۶	۴۹/۵	۵۰/۵	۵۰-۸۵
۳۰	۶۳	۳۷	۲۵-۶۰
۵۰	۸۲	۱۸	۱۰-۳۰
۱۰۰	۹۷	۳	۲-۱۰

جدول ۳. دانه بندی شن ریز (نخودی)

اندازه الک	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد عبوری از الک	استاندارد ASTM C33
1/2"	۰	۱۰۰	۱۰۰
3/8"	۱۲	۸۸	۸۵-۱۰۰
4	۸۵	۱۵	۱۰-۳۰
8	۹۳	۷	۰-۱۰
16	۹۶	۴	۰-۵

جدول ۴. دانه بندی شن درشت (بادامی)

اندازه الک	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد عبوری از الک	استاندارد ASTM C33
1"	۰	۱۰۰	۱۰۰
3/4"	۱۰	۹۰	۹۰-۱۰۰
1/2"	۳۲	۶۸	-
3/8"	۶۶	۳۴	۲۰-۵۵
4	۹۹	۱	۰-۱۰

۲-۳ آب مصرفی

آب مصرفی در ساخت کلیه نمونه‌ها آب شهری بم می‌باشد. لازم به توضیح است در تهیه نمونه‌ها از هیچ مورد روان کننده‌ای برای طرح اختلاط استفاده نشده است.

۲-۴ میکرو کامپوند

میکرو کامپوند استفاده شده در این تحقیق از نوع پلیمری و بر پایه پلی پروپیلن بوده و به شکل پودری می‌باشد. اندازه ذرات در بازه ۵ تا ۱۰ میکرومتر قرار دارند. در جدول ۵ مشخصات میکرو کامپوندها ارائه شده است.



شکل ۳. مواد میکرو کامپوند

جدول ۵. مشخصات میکرو کامپوند

نوع مواد	پلی پروپیلن
شکل	پودری
رنگ	کرم
نقطه اشتعال ($^{\circ}\text{C}$)	۲۴۵
نقطه ذوب ($^{\circ}\text{C}$)	۱۶۵
چگالی ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)	۰/۹۱
مدول الاستیسیته (GPa)	۳/۶
جذب آب	۰

۲-۵ الیاف پسماند های تسمه پلاستیکی ضایعاتی

الیاف بازیافتی توسط شرکت خصوصی سفارش داده شده است. بعد از فرآیند جمع آوری پسماند تسمه های پلاستیکی از کارگاه ها، پاکسازی و شستشو با دیگ بخار خشک شده است. در پایان با پرس و خرد کردن، طول متوسط الیاف ها بین ۴ تا ۵ میلی متر و ضخامت آنها در بازه ۰/۱۲ تا ۰/۱۸ میلی متر بدست آمده است. مشخصات الیاف پلاستیکی استفاده شده، در جدول ۶ ارائه گردیده است.



شکل ۴. الیاف پسماند های تسمه پلاستیکی

جدول ۶. مشخصات الیاف پسماند های تسمه پلاستیکی

نوع مواد	پلاستیکی
شکل	الیاف ریزدانه
رنگ	مشکی
چگالی ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)	۰/۵۳
مدول الاستیسیته (GPa)	۱/۸۶
جذب آب	دارد

۲-۶ طرح اختلاط بتن

در این پژوهش، طرح اختلاط از اصول آیین نامه ACI-211 برداشت شده و نسبت آب به سیمان به مقدار ۰/۵۴ در نظر گرفته شده است. جزییات نسبت طرح اختلاط در جدول ۷ بیان گردیده است. همچنین، مقدار الیاف و مقادیر میکروکامپوندها جایگزین سیمان نمی‌گردد و به ترکیب اضافه خواهد شد.

جدول ۷. نسبت‌های مخلوط بتن	
مصلح	مقدار
	وزن (kg/m^3)
سیمان	۲۸۰
آب	۱۹۰
شن	۱۰۲۰
ماسه	۹۰۰
میکروکامپوند	٪۱
الیاف ضایعاتی	٪۲

۲-۷ ساخت بتن و روش انجام آزمایش‌ها

پیش از تهیه بتن، درصد رطوبت سنگ‌دانه‌های ریز و درشت اندازه‌گیری شد و با توجه به نسبت اختلاط بتن بر مبنای سنگ‌دانه‌های اشباع با سطح خشک، نسبت واقعی طرح اختلاط با در نظر گرفتن شرایط واقعی مصالح اصلاح گردید. سپس مقادیر سیمان، سنگ‌دانه‌ها، آب، میکروکامپوند و الیاف بر اساس حجم قالب‌ها (مکعبی، استوانه‌ای و مکعب‌مستطیلی) با دقت توسط ترازوی دیجیتال توزین شد. در مرحله بعد، سنگ‌دانه‌ها به داخل دستگاه مخلوط‌کن بتن منتقل شده و ۶۰ درصد از کل آب تعیین شده به آن افزوده گردید. جهت انجام آزمایش‌ها، نمونه‌برداری‌ها به صورت دو مرحله‌ای انجام شد: مرحله اول از مخلوط بتن قبل از افزودن الیاف و میکروکامپوند، و مرحله دوم پس از افزودن این مواد اصلاحی.



شکل ۵. تعدادی از نمونه‌های ساخته شده

۳- برنامه آزمایشگاهی

۳-۱ آزمایش اسلامپ

این آزمایش برای بررسی میزان همگن بودن و روانی بتن تازه انجام می‌شود و طبق استاندارد ASTM C143 است. عدد اسلامپ طبق استاندارد ۵۰۵ ایران در جدول ۸ ارائه شده است.



شکل ۶. آزمایش اسلامپ

جدول ۸. نوع بتن برحسب عدد اسلامپ

ردیف	مقدار اسلامپ (mm)	حالت بتن
S1	۱۰ - ۴۰	سفت
S2	۵۰ - ۹۰	معمولی
S3	۹۰ - ۱۵۰	شل
S4	بزرگ‌تر از ۱۶۰	بسیار شل

۳-۲ آزمایش مقاومت فشاری و خمشی

جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری نمونه های مکعبی و استوانه ای و جهت انجام آزمایش مقاومت خمشی نمونه مکعب مستطیل استفاده شد.



شکل ۷. آزمایش مقاومت فشاری و خمشی

جهت آماده سازی نمونه های مکعبی، ابتدا سطح داخلی قالب ها را از هرگونه مواد چسبیده و گرد و غبار پاک می‌شود سپس سطح داخلی را با مقداری روغن چرب کرده و کاغذ مربوط به مشخصات نمونه ها درون قالب قرار می‌گیرد. در ادامه، قالب ها در سه لایه مساوی با بتن پر شدند. برای هر لایه، حدود یک سوم از حجم قالب با بتن پر گردید و سپس با استفاده از میله کوبه ای، هر لایه ۲۵ بار کوبیده شد. کوبش از مرکز آغاز و به سمت گوشه های قالب ادامه یافت تا تراکم یکنواخت حاصل شود. پس از ریختن لایه سوم، به منظور خارج سازی حباب های هوا، تعداد ۲۰ ضربه با چکش لاستیکی به دیواره های قالب وارد شد. در نهایت، سطح بالایی نمونه ها با میله صاف شده و هم سطح قالب گردید. از این نمونه ها برای

انجام آزمایش مقاومت فشاری استفاده می‌شود و تعداد ۳ نمونه به عنوان نمونه‌های شاهد برای مقاومت‌های ۷ روزه، ۲۸ روزه، ۴۲ روزه و ۶ نمونه به عنوان نمونه‌های ترکیب‌شده با الیاف برای بررسی مقاومت‌های ۷ روزه، ۲۸ روزه و ۴۲ روزه استفاده می‌شود. مراحل پرکردن قالب‌های استوانه‌ای همانند قالب‌های مکعبی می‌باشد. تعداد ۲ نمونه به عنوان نمونه‌های شاهد برای مقاومت‌های ۷ روزه، ۲۸ روزه و ۴ نمونه به عنوان نمونه‌های ترکیب‌شده با الیاف برای بررسی مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه استفاده می‌شود. مراحل پرکردن نمونه‌های مکعب مستطیلی همانند قالب‌های مکعبی می‌باشد. از این نمونه‌ها برای انجام آزمایش مقاومت خمشی استفاده می‌شود. تعداد ۲ نمونه به عنوان نمونه‌های شاهد برای مقاومت‌های ۷ روزه، ۲۸ روزه و ۴ نمونه به عنوان نمونه‌های ترکیب‌شده با الیاف برای بررسی مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه استفاده می‌شود. مقاومت فشاری بتن مهم‌ترین پارامتر مورد استفاده در طراحی سازه‌ها محسوب می‌شود، در این آزمایش نمونه‌ها تحت نیروهای فشاری از دو وجه قرار می‌گیرند. این آزمایش بر روی نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای انجام می‌شود که بر اساس استاندارد ASTM C39 می‌باشد. در صورت استفاده از نمونه‌های مکعبی برای ارزیابی مقاومت فشاری بتن، لازم است نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از ضرایب تبدیل استاندارد، به مقاومت معادل نمونه‌های استوانه‌ای تبدیل شوند. این تبدیل، امکان مقایسه نتایج با آیین‌نامه‌ها و سایر مطالعات مبتنی بر نمونه‌های استوانه‌ای را فراهم می‌سازد. ضرایب مربوطه در مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان طبق جدول ۹ می‌باشد.

جدول ۹. ضرایب تبدیل نمونه مکعبی به استوانه‌ای

مقاومت فشاری نمونه مکعبی	۲۵ >	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
R3	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

در این تحقیق، آزمایش خمشی با دستگاه تست خمش سه نقطه‌ای مطابق استاندارد ASTM C293 انجام شد. این تست بر روی نمونه‌های استاندارد مکعب مستطیلی با ابعاد $10 \times 10 \times 50$ انجام شده و نتایج آزمایش به عنوان مدول گسیختگی بیان خواهد شد. دستگاه آزمایش مقاومت خمشی بتن بر اساس استاندارد ASTM C78 باید تنظیم گردد. پس از نمونه‌برداری و عمل‌آوری ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌ها را از استخر آب خارج کرده و بلافاصله بر روی دستگاه قرار می‌دهیم. نباید آب روی سطح نمونه خشک شود زیرا باعث کاهش استحکام خمشی آن خواهد شد. در هنگام انجام آزمایش مقاومت فشاری، نمونه باید به‌صورت دقیق در مرکز صفحه بارگذاری دستگاه قرار گیرد، به‌گونه‌ای که فاصله آن از دو طرف قالب فولادی برابر باشد و بار به‌صورت یکنواخت و عمود بر سطح فوقانی نمونه وارد شود. برای تنظیمات دستگاه باید مقدار نرخ بارگذاری را تنظیم نمود.

۳-۳ مشخصات نمونه‌های ساخته شده

برای انجام آزمایش مقاومت فشاری بتن تعداد نه نمونه مکعبی با ابعاد $15 \times 15 \times 15$ تهیه شده که سه تا از نمونه‌ها با بتن معمولی و شش نمونه با بتن مسلح شده با میکرو کامپوند و الیاف تهیه شده است. از نمونه‌های تهیه‌شده، برای آزمایشات مقاومت ۷ روزه یک نمونه از بتن معمولی به عنوان شاهد و دو نمونه با بتن مسلح شده در نظر گرفته شده است. برای آزمایشات ۲۸ روزه یک نمونه از بتن معمولی به عنوان شاهد و دو نمونه با بتن مسلح شده در نظر گرفته شده است و برای مقاومت ۴۲ روزه نیز همین تعداد نمونه در نظر گرفته شده است. همچنین، برای انجام آزمایش مقاومت فشاری تعداد شش نمونه استوانه‌ای با ابعاد 30×15 تهیه شده است که دو نمونه با بتن معمولی و چهار نمونه با بتن مسلح شده با میکرو کامپوند و الیاف تهیه شده است. از نمونه‌های تهیه‌شده برای آزمایشات مقاومت ۷ روزه یک نمونه از بتن معمولی به عنوان شاهد و دو نمونه با بتن مسلح شده در نظر گرفته شده است. برای آزمایشات ۲۸ روزه هم یک نمونه از بتن معمولی به عنوان شاهد و دو نمونه با بتن مسلح شده در نظر گرفته شده است. برای انجام آزمایش مقاومت خمشی تعداد نه نمونه

مکعب مستطیلی با ابعاد $50 \times 10 \times 10$ تهیه شده است. سه نمونه با بتن معمولی و شش نمونه با بتن مسلح شده با میکرو کامپوند و الیاف تهیه شده است. برای آزمایشات مقاومت ۷ روزه یک نمونه از بتن معمولی به عنوان شاهد و دو نمونه با بتن مسلح شده در نظر گرفته شده است. برای آزمایشات مقاومت ۲۸ روزه هم یک نمونه از بتن معمولی به عنوان شاهد و دو نمونه با بتن مسلح شده و برای آزمایش ۴۲ روزه نیز یک نمونه به عنوان شاهد و دو نمونه برای بتن مسلح شده در نظر گرفته شده است. در جدول ۱۰-۱۲ کدگذاری نمونه های ساخته شده ارائه گردیده است.

جدول ۱۰. کد نمونه های مکعبی

نوع مقاومت	نوع بتن	کد
۷ روزه	شاهد (بتن معمولی)	M1-7
۲۸ روزه	شاهد (بتن معمولی)	M1-28
۴۲ روزه	شاهد (بتن معمولی)	M1-42
۷ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	M2-7
۲۸ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	M2-28
۴۲ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	M2-42
۷ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	M3-7
۲۸ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	M3-28
۴۲ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	M3-42

جدول ۱۱. کد نمونه های استوانه ای

نوع مقاومت	نوع بتن	کد
۷ روزه	شاهد (بتن معمولی)	S1-7
۲۸ روزه	شاهد (بتن معمولی)	S1-28
۷ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	S2-7
۲۸ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	S2-28
۷ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	S3-7
۲۸ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	S3-28

جدول ۱۲. کد نمونه های مکعب مستطیل

نوع مقاومت	نوع بتن	کد
۷ روزه	شاهد (بتن معمولی)	T1-7
۲۸ روزه	شاهد (بتن معمولی)	T1-28
۴۲ روزه	شاهد (بتن معمولی)	T1-42
۷ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	T2-7
۲۸ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	T2-28
۴۲ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	T2-42
۷ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	T3-7
۲۸ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	T3-28
۴۲ روزه	مسلح با میکرو و الیاف	T3-42

۴- بررسی نتایج آزمایشگاهی

۴-۱ نتایج آزمایش اسلامپ

در جدول ۱۳ نتایج مربوط به آزمایش اسلامپ برای نمونه‌های مکعبی، استوانه‌ای و مکعب مستطیلی بیان شده است.

جدول ۱۳. نتایج آزمایش اسلامپ

نوع نمونه	نوع بتن	مقدار اسلامپ (mm)	نوع نرمی بتن طبق آیین‌نامه
مکعبی	بتن معمولی	۶۸	معمولی
	بتن مسلح	۶۱	معمولی
استوانه‌ای	بتن معمولی	۶۴	معمولی
	بتن مسلح	۵۸	معمولی
مکعب مستطیل	بتن معمولی	۶۹	معمولی
	بتن مسلح	۶۰	معمولی

اعداد اسلامپ بتن‌های مسلح نسبت به بتن‌های معمولی تهیه شده عدد کمتری بوده، پس روانی کمتری نسبت به بتن معمولی دارند. مقدار اسلامپ بتن تهیه شده از مواد میکروکامپاند و الیاف پسماند تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی بین ۵۸ تا ۶۵ میلی‌متر است لذا طبق استاندارد از این نوع بتن میتوان در پی‌ها و شالوده‌های بتن‌آرمه (اسلامپ حداقل ۲۵ و حداکثر ۷۵ میلی‌متر)، تیرها و دیوارهای بتن‌آرمه (اسلامپ حداقل ۲۵ و حداکثر ۱۰۰ میلی‌متر) و در دال‌ها و پیاده‌روهای بتنی (اسلامپ حداقل ۲۵ و حداکثر ۷۵ میلی‌متر) و ستون‌های معمولی (اسلامپ حداقل ۲۵ و حداکثر ۱۰۰ میلی‌متر) استفاده کرد.

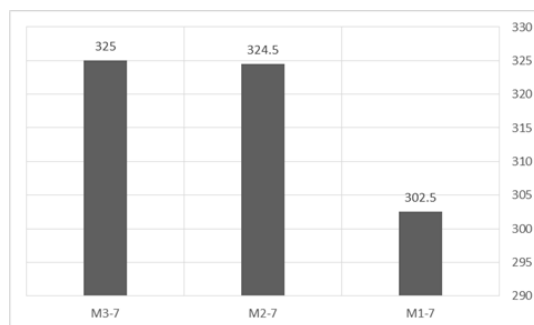
۴-۲ نتایج آزمایش مقاومت فشاری

بعد از تهیه نمونه‌ها و عمل‌آوری در حوضچه‌های آب با شرایط استاندارد، مقاومت آن‌ها توسط دستگاه مقاومت فشاری بدست آمد. در سن ۷ روزه، ابتدا یک نمونه مکعبی از بتن معمولی به‌عنوان نمونه شاهد و دو نمونه مکعبی از بتن تقویت شده با میکروکامپوند و الیاف پسماند، به همراه یک نمونه استوانه‌ای شاهد و دو نمونه استوانه‌ای اصلاح شده، از حوضچه عمل‌آوری خارج شدند. پس از خشک‌کردن سطح نمونه‌ها با استفاده از پارچه نخی تمیز، هر نمونه به‌صورت دقیق در مرکز دستگاه آزمون مقاومت فشاری قرار گرفت و تحت بارگذاری قرار داده شد. نکته‌ای در هنگام انجام آزمایش باید مدنظر باشد، که به دلیل مسطح نبودن کامل سطح نمونه‌های مکعبی، ۹۰ درجه چرخانده و سپس زیر دستگاه قرار گیرد. برای نمونه‌های استوانه‌ای باید بر روی آن عملیات کلاhek گذاری انجام دهیم تا تمرکز نیرو کاملاً درست روی نمونه پخش شود. در جدول ۱۴ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه ارائه شده است.

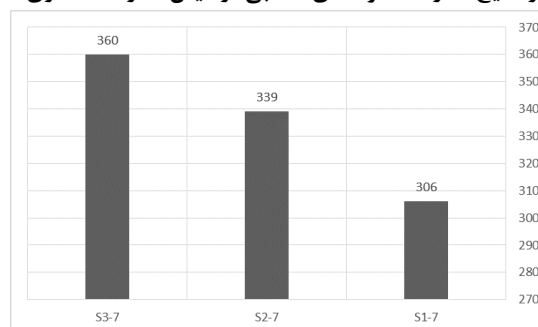
جدول ۱۴. نتایج مقاومت نمونه‌های آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه

کد نمونه	نوع نمونه	سطح بارگذاری (cm ²)	حداکثر نیروی وارده (kg)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)
M1-7	مکعبی شاهد	۲۲۵/۷۵	۶۸۳۰۰	۳۰۲/۵
M2-7	مکعبی بتن مسلح	۲۲۶/۵	۷۳۶۰۰	۳۲۴/۵
M3-7	مکعبی بتن مسلح	۲۲۴/۲۵	۷۲۹۰۰	۳۲۵
S1-7	استوانه‌ای شاهد	۱۷۷	۵۴۳۰۰	۳۰۶
S2-7	استوانه‌ای بتن مسلح	۱۸۹	۶۴۲۰۰	۳۳۹
S3-7	استوانه‌ای بتن مسلح	۱۷۷	۶۳۸۰۰	۳۶۰

شکل ۸ نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های مکعبی آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۹ نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه را نشان می‌دهد.



شکل ۸. نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های مکعبی آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه (kg/cm²)

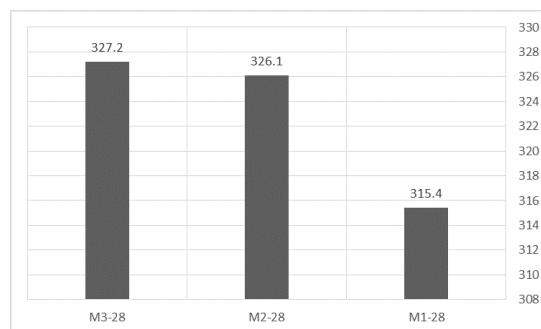


شکل ۹. نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه (kg/cm²)

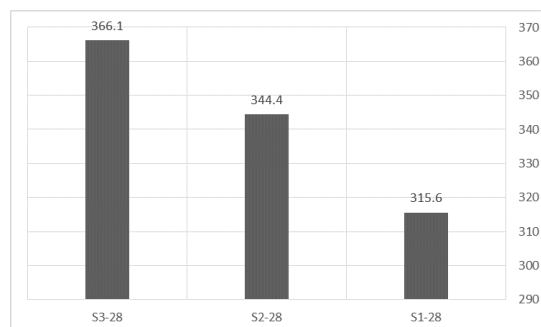
در جدول ۱۵ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه ارائه شده است. شکل ۱۰ نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های مکعبی آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۱۱ نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه را نشان می‌دهد.

جدول ۱۵. نتایج مقاومت نمونه‌های آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه

کد نمونه	نوع نمونه	سطح بارگذاری (cm²)	حداکثر نیروی وارده (kg)	مقاومت فشاری (kg/cm²)
M1-28	مکعبی شاهد	۲۲۵/۷۵	۷۱۲۰۰	۳۱۵/۴
M2-28	مکعبی بتن مسلح	۲۲۸	۷۴۳۵۰	۳۲۶/۱
M3-28	مکعبی بتن مسلح	۲۲۶/۵	۷۴۱۲۰	۳۲۷/۲
S1-28	استوانه‌ای شاهد	۱۸۹	۵۹۶۵۰	۳۱۵/۶
S2-28	استوانه‌ای بتن مسلح	۱۸۹	۶۵۱۰۰	۳۴۴/۴۴
S3-28	استوانه‌ای بتن مسلح	۱۷۷	۶۴۸۰۰	۳۶۶/۱



شکل ۱۰. نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های مکعبی آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه (kg/cm²)

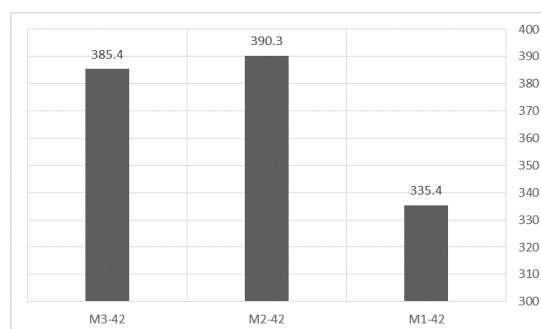


شکل ۱۱. نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه (kg/cm²)

در جدول ۱۶ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۴۲ روزه ارائه شده است. شکل ۱۲ نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های مکعبی آزمایش مقاومت فشاری ۴۲ روزه را نشان می‌دهد.

جدول ۱۶. نتایج مقاومت نمونه‌های آزمایش مقاومت فشاری ۴۲ روزه

کد نمونه	نوع نمونه	سطح بارگذاری (cm²)	حداکثر نیروی وارده (kg)	مقاومت فشاری (kg/cm²)
M1-42	مکعبی شاهد	۲۲۵	۷۵۴۵۰	۳۳۵/۴
M2-42	مکعبی بتن مسلح	۲۲۴/۹	۸۷۸۲۰	۳۹۰/۳
M3-42	مکعبی بتن مسلح	۲۲۶/۵	۸۷۳۱۰	۳۸۵/۴

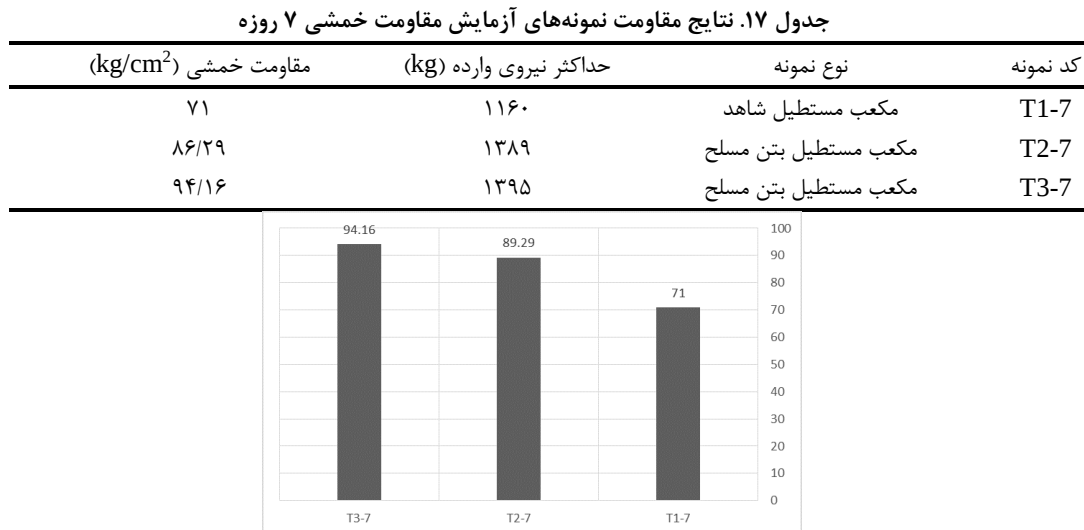


شکل ۱۲. نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های مکعبی آزمایش مقاومت فشاری ۴۲ روزه (kg/cm²)

۳-۴ نتایج آزمایش مقاومت خمشی

برای انجام این آزمایش در سن ۷ روزه، ابتدا یک نمونه مکعب مستطیل از بتن معمولی به عنوان نمونه شاهد و دو نمونه مکعب مستطیل از بتن تقویت شده با مواد میکروکامپوند و الیاف بازیافتی حاصل از تسمه‌های پلاستیکی پسماند تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. سپس همین تعداد نمونه برای مقاومت ۲۸ روزه و ۴۲ روزه به ترتیب مورد آزمایش قرار

گرفت. در جدول ۱۷ نتایج آزمایش مقاومت خمشی ۷ روزه ارائه شده است. شکل ۱۳ نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های آزمایش مقاومت خمشی ۷ روزه را نشان می‌دهد.



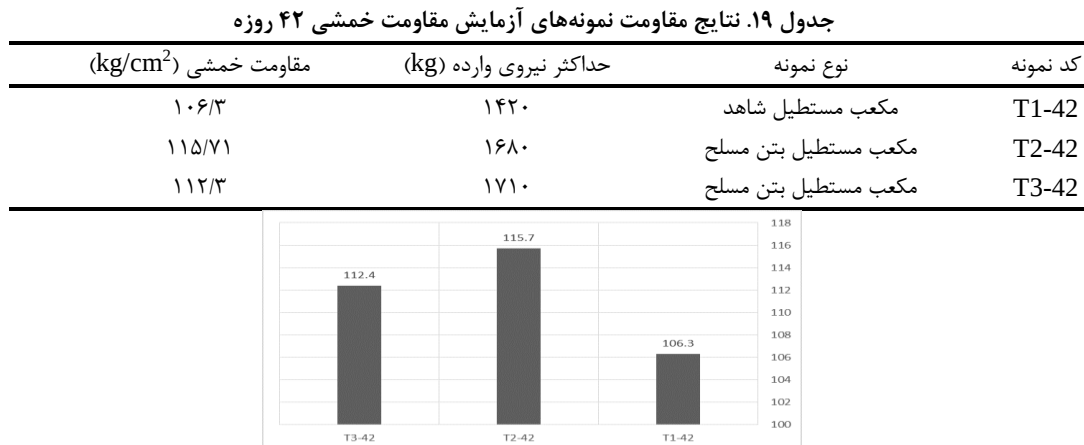
شکل ۱۳. نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های مکعب مستطیل آزمایش مقاومت خمشی ۷ روزه (kg/cm^2)

در جدول ۱۸ نتایج آزمایش مقاومت خمشی ۲۸ روزه ارائه شده است. شکل ۱۴ نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های آزمایش مقاومت خمشی ۲۸ روزه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های مکعب مستطیل آزمایش مقاومت خمشی ۲۸ روزه (kg/cm^2)

در جدول ۱۹ نتایج آزمایش مقاومت خمشی ۴۲ روزه ارائه شده است. شکل ۱۵ نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های آزمایش مقاومت خمشی ۴۲ روزه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵. نمودار نتایج مقاومت نمونه‌های مکعب مستطیل آزمایش مقاومت خمشی ۴۲ روزه (kg/cm^2)

۴-۴ تفسیر نتایج

مقایسه ای بین نمونه‌های آزمایش شده، در جداول ۲۰ تا ۲۲ ارائه شده است. در بررسی‌های انجام شده مشخص شد که میزان مقاومت فشاری بتن حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماندهای تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی نسبت به بتن معمولی عملکرد مناسب‌تری داشته و همینطور در عملکرد مقاومت خمشی نیز مقاومت بهتری از خود نشان داده است. میانگین نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی بتن حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماندهای تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی ۷، ۲۸ و ۴۲ روزه نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۷٪، ۱۶٪ و ۱۴٪ افزایش یافت. همچنین، میانگین نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای بتن حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماندهای تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی ۷ و ۲۸ روزه نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۱۴٪ و ۱۲٪ افزایش یافت. این موضوع می‌تواند ناشی از حضور مواد میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماندهای تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی باشد، زیرا میکروکامپوندها موجب پر شدن فضاهای خالی بین ذرات سیمان می‌شوند. این امر باعث افزایش تراکم ماتریس سیمانی می‌گردد. همچنین این ذرات در واکنش با هیدروکسید کلسیم شرکت کرده که مستقیماً سبب افزایش مقاومت فشاری می‌شود. الیاف رشته‌ای حاصل از تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی که به صورت رشته‌ای در بتن استفاده شده‌اند، با ایجاد شبکه‌ای فیزیکی در درون بتن، مانع از گسترش ترک‌های ریز در سنین اولیه و ثانویه می‌شوند. حضور این الیاف موجب تقسیم بهتر تنش‌ها شده و از تمرکز تنش در نواحی بحرانی جلوگیری می‌نماید. میانگین نتایج آزمایش مقاومت خمشی نمونه‌های بتن حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماندهای تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی ۷، ۲۸ و ۴۲ روزه نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۳۰٪، ۲۱٪ و ۹٪ افزایش یافت. افزایش مقاومت خمشی در سنین اولیه (۳۰٪ در ۷ روز)، نقش الیاف بازیافتی تسمه‌های پلاستیکی به عنوان یک عامل کنترل ترک‌ها بسیار پررنگ است. این الیاف با ایجاد اثر پل زدن بین ترک‌های ریز و جلوگیری از پیشرفت آن‌ها، موجب افزایش چشمگیر مقاومت خمشی می‌شوند. در این مرحله، الیاف نقش غالب در بهبود مقاومت خمشی دارند، چراکه ماتریس سیمانی هنوز کاملاً شکل نگرفته و الیاف نقش مسلط‌تری در انتقال تنش دارند. کاهش نرخ رشد مقاومت در سنین بالاتر (۹٪ در ۴۲ روز)، ماتریس سیمانی به بلوغ رسیده و نقش الیاف در افزایش مقاومت خمشی کاهش می‌یابد؛ زیرا سهم باربری بتن بیشتر بر عهده ماتریس سخت‌شده است.

جدول ۲۰. میزان افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی

مقاومت	مقاومت نمونه شاهد (kg/cm^2)	میانگین مقاومت نمونه اصلاح شده (kg/cm^2)	انحراف معیار	درصد افزایش
۷ روزه	۳۰۲/۵	۳۲۵	۰/۲۵	۷ درصد
۲۸ روزه	۳۱۵	۳۳۷	۰/۵۵	۷ درصد
۴۲ روزه	۳۳۵	۳۹۰	۲/۴۵	۱۶ درصد

جدول ۲۱. میزان افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه ای

مقاومت	مقاومت نمونه شاهد (kg/cm^2)	میانگین مقاومت نمونه اصلاح شده (kg/cm^2)	انحراف معیار	درصد افزایش
۷ روزه	۳۰۶	۳۵۰	۱۰/۵	۱۴ درصد
۲۸ روزه	۳۱۵	۳۵۵	۱۰/۸۳	۱۲ درصد

جدول ۲۲. میزان افزایش مقاومت خمشی نمونه‌های مکعب مستطیل

مقاومت	مقاومت نمونه شاهد (kg/cm^2)	میانگین مقاومت نمونه اصلاح شده (kg/cm^2)	انحراف معیار	درصد افزایش
۷ روزه	۷۱	۹۳	۳/۹۴	۳۰ درصد
۲۸ روزه	۸۲	۱۰۰	۴/۴۴	۲۱ درصد
۴۲ روزه	۱۰۶	۱۱۵	۱/۷۱	۹ درصد

۵- نتیجه گیری

این تحقیق، با هدف بررسی تأثیر استفاده از میکروکامپوند و الیاف حاصل از تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی بر خواص مکانیکی بتن انجام شد. یافته‌ها نشان داد که ترکیب ۱٪ میکروکامپوند و ۲٪ الیاف پلاستیکی، عملکرد مکانیکی بتن را به‌طور معناداری بهبود می‌بخشد. بر اساس یافته‌های این تحقیق، نتایج زیر حاصل شد:

۱. میانگین نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی از ۳۱۷/۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع در نمونه شاهد به ۳۵۰/۶ کیلوگرم بر سانتیمترمربع در بتن حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماند تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی افزایش یافت که بیانگر افزایشی معادل ۱۱٪ بود.

۲. میانگین نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای از ۳۱۰/۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع در نمونه شاهد به ۳۵۲/۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع در بتن حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماند تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی رسید که افزایش ۱۳/۵٪ را نشان داد.

۳. نتایج نشان می‌دهد میانگین کل آزمایش‌های مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای بتن حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماند تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی افزایشی معادل ۱۲/۲۵٪ را دارد.

۴. مقاومت خمشی نیز از ۸۶/۳ کیلوگرم بر سانتیمترمربع در نمونه شاهد به ۱۰۲/۷ کیلوگرم بر سانتیمترمربع در بتن حاوی مواد میکروکامپوند و الیاف رشته ای حاصل از پسماند تسمه‌های پلاستیکی ضایعاتی ارتقا یافت که افزایش ۱۹٪ را نشان می‌دهد.

۵. بهبود در خواص مکانیکی بتن به دلیل ایجاد ریزساختاری متراکم‌تر، افزایش چسبندگی بین خمیر سیمانی و الیاف، و نقش تسلیح‌کننده میکروکامپوندها در شاهد رشد ریزترک‌ها قابل توجه است. همچنین بهبود یکنواختی ترک‌ها در آزمون‌های مشاهده‌ای، عملکرد دوام مصالح را نیز تقویت می‌کند. از دیدگاه پایداری، استفاده از الیاف حاصل از پسماندها نه تنها موجب

کاهش مصرف مواد خام نو می‌گردد، بلکه به بهبود مدیریت پسماند نیز کمک می‌کند. از این‌رو، این ترکیب می‌تواند به عنوان یک گزینه اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی در تولید بتن‌های نسل جدید در نظر گرفته شود.

از محدودیتهای این تحقیق می‌توان به تعداد نمونه‌ها و آزمایشهای دوام اشاره نمود، ولی با توجه به نتایج مثبت حاصل‌شده، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده به بررسی دوام در شرایط محیطی شدید، چرخه‌های یخ‌زدگی و ذوب، واکنش‌پذیری شیمیایی با مواد خورنده، و رفتار بلندمدت این نوع بتن پرداخته شود.

مراجع

- Ali, M., & Alani, A. M. (2022). Effect of utilization waste strapping plastic belts on flexural behaviour of concrete. *Applied Computational Structural Mechanics*, 48(1), 1–11.
- Arulrajah, A., Yaghoubi, E., & Mohammadinia, A. (2024). Enhancing the properties of concrete with the incorporation of recycled polypropylene plastic. *Buildings*, 15(7), 1055.
- American Concrete Institute 116R. (2015). *Cement and Concrete Terminology*.
- ASTM C39. (2005). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.
- ASTM C293. (2010). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)*.
- ASTM C143. (2003). *Slump Of hydraulic-cement Concrete*.
- Bayah, F. A., Basri, H. B., Ismail, M., & Abdullah, M. E. (2024). Mechanical properties and durability of self-compacting concrete with recycled PET fiber. *Construction and Building Materials*, 411, 132678.
- Bazrgary, R., Ziyadidegan, S., & Bahmanzadeh, M. (2023). Investigating the effect of nano-silica and micro-silica on the mechanical characteristics of high strength concrete. *Civil and Project*, 5(8), 11-25.
- Chen, Y., Li, Y., Zhang, Y., & Wang, L. (2025). Durability properties of macro-polypropylene fiber reinforced self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 435, 131287.
- Dehghani, H., & Hamzeh, R. (2021). Mechanical properties evaluation of self-healing concrete containing microorganisms. *Modares Civil Engineering journal*, 21(1), 61-71. Persian.
- Dehghani, H., & Fadaee, MJ. (2013). Calibration of resistance factors for torsional reinforced concrete beams strengthened with FRP composites. *Asian Journal of Civil Engineering*, 14(4), 503-16.
- Dehkhoda Rajabi, M., & Izadifard, R. (2024). Evaluation of mechanical characteristics of high strength concretes reinforced with steel and polypropylene fibers exposed to wet and dry cycles in magnesium sulfate environment. *Civil and Project*, 6(2), 38-6. Persian.
- Fraternali, F., Spadea, S., & Berardi, V. P. (2014). Effects of recycled PET fibres on the mechanical properties and seawater curing of Portland cement-based concretes. *Construction and Building Materials*, 61, 293–302.
- Gaayathri, K., & Jeyalakshmi, R. (2021). Experimental study on hybrid fiber reinforced concrete using nano-silica and micro-silica. *Materials Today: Proceedings*, 45, 725–731.
- Hasan, M., Alkhaly, A., Hamzani, N., Fikri, N., & Saidi, M. (2025). Properties of high-strength concrete incorporating calcined diatomaceous earth, polypropylene, and glass fibers. *Buildings*, 15(2), 225.
- Khashi, K., Dehghani, H., & Jahanara, A. A. (2018). An optimization procedure for concrete beam-column joints strengthened with FRP. *Iran University of Science & Technology*, 8(4), 675-687.
- Khatib, H. R., Mohammed, S. J., & Hameed, L. A. (2019). Mechanical properties of concrete containing waste fibers of plastic straps. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 557(1), 012059.
- Lee, H. S., Won, J. P., Park, H. S., & Lee, S. J. (2024). Use of recycled PET fiber and latex-modified concrete for rapid pavement repair. *Construction and Building Materials*, 422, 134091.

Madandoust, R., Irani, S., & Ghanbari, A. (2021). Analysis of mechanical and microstructural properties of high performance concretes containing nanosilica and silica fume. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 26(4), e-1304.

Wuest, A., Lopez, D. A., & Ribeiro, M. C. S. (2025). An examination of the impact of waste plastic fibers and nanomaterials on concrete properties. *Discover Materials*, 5, 123–140.

Yin, S., Tuladhar, R., Riella, J., Chung, D., Collister, T., Combe, M., & Sivakugan, N. (2016). Comparative evaluation of virgin and recycled polypropylene fibre-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 114, 134–141.

Zhang, F., Li, X., & Wang, D. (2024). Mechanical behavior of self-compacting recycled concrete reinforced with recycled disposable medical mask fiber. *Construction and Building Materials*, 429, 136314.