Civil and Project Journal, 2023, 5(1), 38-50
https://doi.org/10.22034/CPJ.2023.393731.1189

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

Review Article

Evaluation of Mechanical Properties of Concrete Reinforced with Polyvinyl Chloride (Pvc) Fibers Made of Wire Sheath

Mehrdad Abdi Moghadam[1*], Amirreza Abbasi Oshaghi[2]

1. Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Pars University, Tehran, Iran
2. B.Sc. Student, Civil Department, Technical and vocational University (TVU), Tehran, Iran

Received: 19 January 2023; Revised: 05 April 2023; Accepted: 21 April 2023; Published: 21 April 2023

Abstract

The expansion of the planet's population and the need for the construction industry has caused a shortage of primary materials. On the other hand, the process of making and using these materials causes harmful damage to the environment and causes the pollution of natural resources and the release of carbon dioxide (CO2) in nature. In addition to this, plastic polymers used in various industries are one of the most consumed items that cause environmental pollution and the waste recycling process is costly and time-consuming .One of the most widely used polymers is polyvinyl chloride (PVC), which is used in the industry of making wires, electric cables, and all kinds of mobile phone chargers as a cover for their conductors.Limited studies have been done in the field of reusing this polymer as a member of the concrete structure as fibres and improving its mechanical properties in the past. This study deals with a comprehensive review of these studies in the field of using these types of fibres that have been used as reinforcing and reinforcing properties of concrete and focuses on a detailed investigation of the effect of different percentages and various dimensions of these types of fibres on the mechanical characteristics of concrete.

Keywords:

Polyvinyl chloride fibers, Environment, Concrete slump, Compressive strength, Tensile strength

Cite this article as: Abdi Moghadam M, Abbasi Oshaghi A. (2023). Evaluation of Mechanical Properties of Concrete Reinforced with Polyvinyl Chloride (Pvc) Fibers Made of Wire Sheath. Civ Proj; 5(1):38–50. https://doi.org/10.22034/cpj.2023.393731.1189

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2023 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: *m.abdimoghadam@pu.ac.ir*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۳، ۵(۱)، ۳۸-۵۰
https://doi.org/10.22034/CPJ.2023.393731.1189

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

ارزیابی خواص مکانیکی بتن‌های مسلح شده به الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) ساخته شده از روکش سیم

مهرداد عبدی مقدم*[۱]، امیررضا عباسی عشاقی[۲]

۱. مربی، دانشگاه هنر و معماری پارس، تهران، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی، دانشگاه فنی و حرفه ای انقلاب اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۲۹ دی ۱۴۰۱؛ تاریخ بازنگری: ۱۶ فروردین ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۰۱ اردیبهشت ۱۴۰۲؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ اردیبهشت ۱۴۰۲

چکیده

گسترش جمعیت ساکنین کره زمین و نیاز به صنعت ساخت و ساز موجب کمبود مصالح اولیه شده است. از طرف دیگر پروسه ساخت و استفاده از این مصالح باعث آسیب های زیان آوری به محیط زیست میشود که سبب آلودگی منابع طبیعی و رها شدن کربن دی اکسید در طبیعت میگردد. افزون بر این موضوع، از موارد پرمصرف دیگر که سبب آلودگی محیط زیست میشود و فرآیند بازیافت پسماند آنها پرهزینه و زمان بر است، پلیمرهای پلاستیکی و مصرفی در صنایع گوناگون میباشند. یکی از پرکاربردترین پلیمرها، پلی وینیل کلراید (Pvc) است که در صنعت ساخت سیم ها، کابل های برق و انواع شارژرهای تلفن همراه به عنوان روکش و پوششی برای هادی آنها استفاده میشود. مطالعات محدودی در حوزه استفاده مجدد از این پلیمر به عنوان عضوی از ساختار بتن به عنوان الیاف و بهبود خواص مکانیکی آن در گذشته صورت گرفته است. این مطالعه با مروری جامع بر این مطالعات در زمینه بکارگیری این نوع الیاف که به عنوان مسلح کننده و تقویت کننده خواص بتن استفاده کرده اند، میپردازد و به بررسی دقیقی بر تاثیر درصدهای مختلف و ابعاد متنوع از این نوع الیاف بر مشخصات مکانیکی بتن توجه دارد.

کلمات کلیدی

الیاف پلی وینیل کلراید، محیط زیست، روانی بتن، مقاومت فشاری، مقاومت کششی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: *m.abdimoghadam@pu.ac.ir*

۱. مقدمه

در پی گسترش روز افزون جمعیت ساکنین در سراسر جهان و نیاز متقابل به ساخت و ساز جهت مسائل مرتبط با حوزه عمران از قبیل ساخت مسکن، ایجاد مراکز تفریحی، تجاری، سدسازی و راه سازی سبب ایجاد نگرانی هایی از جهت تامین منابع اولیه برای تهیه مصالح شده است. با توجه به این رشد تصاعدی فعالیت های ساختمانی، محدودیت دسترسی به منابع شن و ماسه طبیعی ایجاد گردیده است (Kumar et al., 2022). اگرچه صنعتی شدن سطح زندگی انسان را افزایش داده اما به طور همزمان به یکی از مشکلات محیط زیستی تبدیل شده است (Aghajanian et al., 2022; Joshi & Bhattarai, 2019; Siddique et al., 2020). این موضوع منجر به استفاده از حدود ۵۰ درصد از مواد خام و ۴۰ درصد از انرژی صنعتی شده است (Justyna Tomaszewska, 2020). طی سالیان اخیر رویکردهای جدیدی در ارتباط با توسعه مصالح ساختمانی و کاهش گازهای گلخانه ای حاصل از مصرف آنها اتخاذ شده است (Nygaard, 2020; Zhao et al., 2020). در حال حاضر بهبود شرایط زندگی در سراسر جهان نیاز به تمرکز بر مسائل زیست محیطی در تمامی جنبه ها از جمله ساخت و ساز دارد(Bahij et al., 2020). ساخت و ساز به ویژه در مناطق در حال توسعه جهان، از اهمیت بالایی برخوردار است و سهم عمده ای از توسعه را در برمیگیرد (Bashar et al., 2016). در پی این موضوع، ساختمانهای قدیمی در اثر آسیبها در معرض تخریب، نگهداری و مقاوم سازی میباشند (Chen et al., 2022). افزایش این روند باعث اثرات مخربی از جمله افزایش پسماند جامد و رها شدن آلودگی در محیط زیست میشود (Olofinnade et al., 2020). همچنین از موارد شایع دیگر میتوان به ایجاد الودگی های محیط زیستی حاصل از ساخت و فراهم کردن مصالح اشاره کرد که سهم بتن به عنوان یکی از کاربردی ترین مصالح مصرفی بسیار چشمگیر است. این موضوع در پروسه ساخت آن و همچنین بازیافت و یا استفاده مجدد از آن موجب ایجاد آسیب هایی به محیط زیست میشود. بتن دومین منبع پر مصرف در جهان است (Martins et al., 2022). در نتیجه، اتخاذ تدابیری برای کاهش اثرات مضر آن بر کیفیت محیط زیست در سطح جهانی، ضروری است (Ahmad et al., 2022). مدیریت و کنترل آلودگی های زیست محیطی حاصل از پسماندهای صنعتی و ساخت و ساز به یکی از مسائل و مشکلات همیشگی تبدیل شده که بسیاری از کشورهای توسعه یافته در حال مقابله با آن میباشند (Olo et al., 2021). آلودگی های محیط زیستی حاصل از ساخت مصالحی چون بتن به طور همزمان میتواند باعث گرمایش زمین و آلودگی منابع طبیعی نظیر رودخانه ها و آب های آزاد گردد. به طوری که سیمان به عنوان یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده بتن باعث ۵ درصد از الودگی محیط زیست است(Nkomo et al., 2022). از طرف دیگر یکی از مهمترین اجزای ساخت بتن سیمان میباشد که مراحل ساخت سیمان باعث رهایی مقدار بسیار زیادی از کربن دی اکسید و آلودگی در محیط زیست میشود (Manjunatha et al., 2021). به جهت کاهش دادن آلودگیهای تولید شده ناشی از ساخت بتن، جایگزینی بخشی از سیمان آن با مصالحی است که فرایند تولید آنها موجب آلودگی و حرارت کمتری به محیط زیست شود (Adnan & Dawood, 2020; Design et al., 2021; Izadifard, Ramezanali; Abdimoghadam, n.d.; Moghadam & Izadifard, 2020). طی دو دهه اخیر پژوهشگران به صورت روزانه در پی تولید و توسعه بهترین بتن سازگار با محیط زیست، دارای خواص مناسب و کم هزینه در امر ساخت آن میباشند(Qassem et al., 2022; Rasheed et al., 2022).

انرژی صرف شده به جهت کاهش آلودگی‌های محیط زیستی به صورتی است که ۳۰ درصد از آن متعلق به استفاده از مواد خام، ۲۵ درصد سهم پسماند زباله‌ها، ۱۲ درصد برای استفاده از زمین و در نهایت ۳۳ درصد از آن انتشار گازهای گلخانه‌ای است (Corominas et al., 2020). به طور سالانه تن‌ها زباله دور ریخته میشوند و منجر به آلودگی زمین، رودخانه‌ها، سواحل و اقیانوس‌ها میشود (Meza et al., 2021). مطالعات نشان میدهد که بیش از نیمی از پلاستیک‌های تولید شده در سراسر جهان برای دور ریختن محصولات مصرفی استفاده میشود(A. A. Mohammed & Mohammed, 2021). روش‌های متعددی برای دفع زباله‌های مصنوعی به کار گرفته شده است که به دلیل کمبود تصفیه کننده‌ها ناشی از تولید بیش از حد زباله، ناکافی میباشند (Khalid et al., 2018). پلاستیک به دلیل طول عمر بالا، انعطاف پذیری، استفاده آسان، قیمت مناسب، وزن کم و خواص حرارتی مناسب،

به یکی از اجزای برجسته در تولید هر محصولی تبدیل شده است (Ibrahim et al., 2022; Jang et al., 2020; Thomas & Moosvi, 2020). پسماند پلاستیک‌ها به طور کلی به دو دسته قابل بازیافت و غیر قابل بازیافت تقسیم میگردند (Tahir et al., 2022). همگام با پیشرفت صنعتی و تکنولوژی، مصرف کالاهای پلاستیکی با سرعتی فزاینده و بی‌سابقه همراه بوده است (Mousavimehr & Nematzadeh, 2020). این ماده تقریبا در هر جنبه‌ای از زندگی کاربرد داشته و در زمینه‌های مختلفی چون بسته‌بندی، قطعات اتومبیل، لوازم خانگی الکتریکی و صنعت ساخت و ساز مورد استفاده میگیرد (Aocharoen & Chotickai, 2023). پسماندهای جامد شهری به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های زیست محیطی در دهه‌های اخیر در سطح جهان تبدیل شده است (Nikbin & Ahmadi, 2020). گزارشات پیشین نشان ده است که تولید پلیمرها حدود ۳۵۹ میلیون تن در سال میباشد و پیش بینی میشود در طی ۳۰ سال آینده تولید این مواد حدودا سه برابر شود (Lebreton & Andrady, 2019). مقادیر انبوهی از پلاستیک‌ها به طور مرتب استفاده میشوند و منجر به حجم عظیمی از زباله و در نتیجه مشکلات قابل توجهی برای محیط زیست میگردد (Kh & Ali, 2020). تولید متنوع پلیمرها منجر به رشد روزانه پلیمرهایی مانند پلی اتیلن ترفتالات، پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن با چگالی بالا، پلاستیک ترموستاتیک، فوم پلی استایرن منبسط، پلی کربنات و فوم پلی اورتان شده است (F.Pacheco-Torgal, 2019). مصرف روزانه مقادیر زیاد پلیمرهای پلاستیکی که اغلب با حجم زیادی از زباله همراه است، باید به گونه‌ای مدیریت شود تا از آلودگی زمین‌ها و منابع آب جلوگیری شود (A. A. Mohammed & Rahim, 2020). یکی از پرکاربردترین گروه‌های مورد استفاده در صنعت پلاستیک‌سازی، پلی وینیل کلراید(Pvc) است که به جهت تولید سیم‌ها و کابل‌های برق به عنوان پوشش هادی داخل سیم بکار میرود و دارای طول عمر بالا و همچنین مقاوم در برابر شرایط محیطی سخت برای تامین انرژی الکتریکی سیم کشی ساختمان‌ها و سایر موارد استفاده می‌شود.

بتن مصالحی است که از نظر مقاومت فشاری مقاوم بوده اما در کشش ضعیف عمل میکند و مقاومت کمی در برابر ترک خوردگی دارد (Abdi Moghadam & Izadifard, 2020; ASKAR et al., 2020; Elsayed et al., 2023) برای رفع این ضعف طی سالیان طولانی از آرماتورها جهت مسلح کردن آن و تقویت مقاومت کششی آن نیز استفاده شده است. محققان در جست و جوی مصالح ساختمانی جدید برای تولید بتن با استحکام کششی بالا به منظور کاهش ترک خوردگی سازه و افزایش عمر آن میباشند (Kamal et al., 2023). بکارگیری موادی که بتواند از ضعف بتن در برابر نیروهای ناشی از کشش کاهش دهد، مورد اهمیت است (Izadifard & abdi moghadam, 2021). به همین جهت یک طراحی موثر که توانایی مقابله با بارهای وارد بر بتن را داشته باشد و از جداشدگی بتن از آرماتور جلوگیری کند و سبب افزایش مقاومت کششی و برشی شود، الزامی است (Nasr, MS, Shubbar, AAF, Abed, ZA-AR and Ibrahim, 2020; Orouji & Najaf, 2023). با بکارگیری مواد بازیافتی در بتن میتوان به نفع بهبود خواص بتن و هم محیط زیست عمل کرد (Ameri et al., 2020). از همین رو بتن‌های جدیدی در گذشته مورد توسعه قرار گرفتند که با نام بتن‌های الیافی شناخته میشوند (Unis et al., 2021). کاربرد الیاف مصنوعی در بتن در سال‌های اخیر توسعه یافته است (F S Khalid, S H Saaidin, S Shahidan, 2020). وجود ریزترک‌ها در سطح مشترک بین ملات بتن و سنگدانه، منبع ضعف ذاتی بتن ساده است که ممکن است با افزودن الیاف به اختلاط کاهش پیدا کند (Abdi Moghadam & Izadifard, 2020; Garg & Garg, 2020; Hussain et al., 2020; Md. Habibur Rahman Sobuz , Ayan Saha , Jannatul Ferdous Anamika , Moustafa Houda , Marc Azab, 2022). بتن تقویت شده با الیاف باعث بهبود خواص مکانیکی آن شده و از شکست بتن جلوگیری میکند و انتشار ترک را با پل زدن بین ترک‌ها کاهش داده و همچنین انتقال نیروی کششی از طریق الیاف پس از ایجاد ترک را کنترل میکند (Abd et al., 2022; Amin & Tayeh, 2020; Saad et al., 2022; Samarakoon et al., 2019; Signorini & Volpini, 2021). وجود الیاف میتواند شکل‌پذیری بتن را افزایش داده و سبب کاهش انقباض پلاستیکی آن شود و همچنین مقاومت در برابر ضربه را در آن بیشتر کند (Issa et al., 2022; B. H. Mohammed et al., 2021; Shi et al., 2022). هر نوع از الیاف میتواند رفتار متفاوتی را در بتن از خود نشان دهد (Aghajanian et al., 2023). از همین رو بسیاری از مطالعات در دو دهه اخیر به بررسی بهبود مقاومت کششی بتن با استفاده از الیافی مانند الیاف شیشه‌ای، الیاف پلی اتیلن ترفتالات (Pet) و الیاف

فلزی پرداختند (Ahmed et al., 2021). سیم‌های اتصال برق بازیافتی میتواند راه حل موثری برای بهبود خواص کششی مواد سیمانی و همچنین کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از انباشت زباله‌ها باشد(Naser et al., 2020).

مطالعات محدودی در ارتباط با استفاده از پلیمرهای پلی وینیل کلراید (Pvc) به عنوان الیاف در بتن مشاهده میشود. در سال ۲۰۲۰ استفاده از این پلیمر به عنوان الیاف به طول ۴۰ میلی‌متر و قطر ۱.۱۵ میلی‌متر و در مقادیر ۰.۵٪، ۱٪ و ۱.۵٪ توسط خالد و همکارانش صورت گرفته است و نتایج حاصل از آن بهبود مقاومت فشاری بتن را تنها در میزان ۰.۵٪ نشان میدهد به طوری که باعث افزایش آن به مقدار ۱۷.۴٪ در نمونه ۷ روزه(۲۶.۳ مگاپاسکال) و ۲۴.۴٪ در نمونه ۲۸ روزه(۴۱.۳ مگاپاسکال) نسبت به نمونه مرجع(۲۲.۴ مگاپاسکال) شده است و در مقاومت کششی شرایط مشابهی گزارش شده و باعث بهبود ۴۲.۷٪ در نمونه ۲۸ روز(۳.۷۴ مگاپاسکال) در مقایسه با نمونه کنترل(۲.۶۲ مگاپاسکال) میباشد (F S Khalid, S H Saaidin, S Shahidan, 2020).

بکارگیری این نوع از الیاف به ازای وزن سیمان به طول ۳۵ میلی‌متر و قطر ۴ میلی‌متر و در مقادیر ۰.۶٪، ۰.۸٪ و ۱٪ توسط کوروپ و کومار در سال ۲۰۱۵ بررسی شده است و نتایج حاصل از این مطالعه نشان دهنده بهبود مقاومت فشاری (۵۰.۵۷ مگاپاسکال) و مقاومت کششی (۵ مگاپاسکال) در میزان استفاده از ۰.۸٪ از این الیاف است که به آن درصد بهینه اطلاق میشود و به مراتب نسبت به نمونه مرجع هم در مقابل فشار (۳۸.۶۶ مگاپاسکال) و هم در مقابل کشش (۴.۶۳ مگاپاسکال) عملکرد بهتری را به ثبت رسانده و به ترتیب باعث افزایش ۳۰.۸٪ و ۸٪ در این مقدار از الیاف شده است(Kurup et al., 2015).

۲. مشخصات نمونه های ارزیابی شده

به منظور ارزیابی بهتر تاثیر این الیاف در بتن و مقایسه اطلاعات مطالعات پیشین، جدول شماره ۱ طرح اختلاط مطالعات پیشین را نشان میدهد.

جدول ۱: طرح اختلاط.

پژوهشگر	سیمان (kg/m^3)	درشت‌دانه (kg/m^3)	ریزدانه (kg/m^3)	آب (kg/m^3)
Kurup & Kumar (2015)	333	1320.2	742.6	140
F.S Khalid et al (2020)	345	805	980	189.75

۳. تحلیل و بررسی مطالعات پیشین

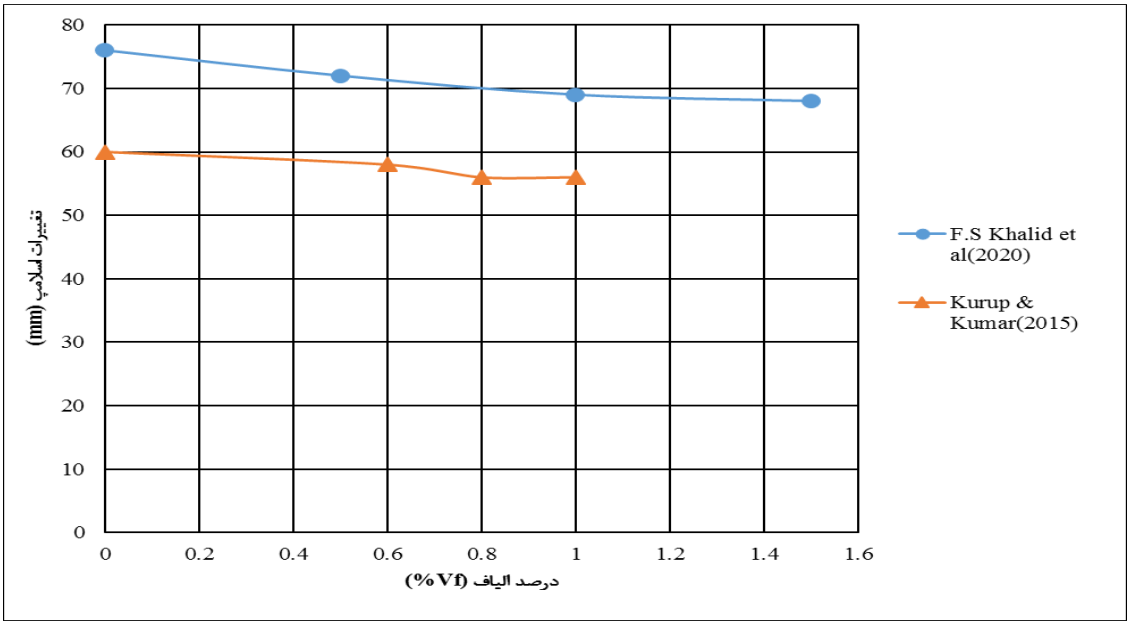
برای بررسی تاثیر الیاف ساخته شده از پلی وینیل کلراید (Pvc) حاصل از پوشش سیم‌ها، داده‌های آزمایشگاهی مطالعات پیشین جمع آوری شده و در جدول ۳ ارایه شده است. همچنین نمودارهای تاثیر درصدهای مختلف الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) بر روی مشخصات مکانیکی بتن ترسیم و نتایج حاصل شده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲ آزمایشات انجام شده و شکل الیاف مورد استفاده.

پژوهشگر	مقاومت فشاری	مقاومت کششی	مقاومت خمشی	اسلامپ	چگالی	اولتراسونیک	مدول یانگ	شکل الیاف
Kurup & Kumar(2015)	×	×	×	×	×	×	×	
F.S Khalid et al(2020)	×	×		×	×			

۱.۳. تاثیر الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) بر اسلامپ بتن

یکی از مهمترین مشخصات بتن تازه برای بدست آوردن مقاومت مورد نظر و عملکرد مناسب، حد روانی نمونه است که با آزمایش اسلامپ قابل اندازه‌گیری میباشد. شکل ۱ تاثیرگذاری و عملکرد مقادیر مختلف الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) بر اسلامپ نمونه بتنی ارایه شده است. با توجه به این شکل مشاهده میشود که افزودن الیاف سبب افت تدریجی و نامحسوس اسلامپ بتن شده است(F S Khalid, S H Saaidin, S Shahidan, 2020; Kurup et al., 2015). افت تدریجی رخ داده را میتوان مرتبط با خواص پلیمر پلی وینیل کلراید به صورت الیاف دانست که نیاز به جذب آب را در نمونه افزایش داده و به مراتب با افزایش مقادیر الیاف به همان میزان سبب خشک تر شدن نمونه بتنی شده است. در مطالعه کوروپ و کومار (Kurup et al., 2015)، افت اسلامپ کمتری را میتوان نسبت به مطالعه دیگر مشاهده کرد. به طوریکه با افزودن مقادیر ۰.۶٪، ۰.۸٪ و ۱٪ از الیاف به ترتیب کاهش اسلامپ به صورت ۳.۳۳٪، ۶.۶۶٪ و ۶.۶۵٪ بوده است که در مقادیر ۰.۸٪ و ۱٪ عملکرد بسیار مشابهی در روند کاهش اسلامپ رخ داده است. یکی از دلایل افت کمتر اسلامپ در این مطالعه را میتوان مرتبط با بتن پایه از نوع M30 (عیار ۳۰ مگاپاسکال) و همچنین مقدار کم استفاده از الیاف استفاده شده در بتن مرتبط دانست. اگرچه در مطالعه خالد و همکاران (F S Khalid, S H Saaidin, S Shahidan, 2020)، میزان اسلامپ نمونه مرجع و نمونه‌های دارای الیاف به مراتب بیش از مطالعه دیگر است، اما کاهش اسلامپ در زمان بکارگیری از مقادیر الیاف پلی وینیل کلراید بیشتر بوده و به ترتیب در زمان استفاده از ۰.۵٪، ۱٪ و ۱.۵٪ از آن، افت اسلامپ به میزان ۵.۲۶٪، ۹.۲۱٪ و ۱۰.۵۲٪ مشاهده میشود. میزان بیشتر افت اسلامپ را در این مطالعه میتوان ارتباط طول الیاف با سطح اشغال کننده آن در نمونه بتنی دانست که در این مطالعه طول الیاف بکار رفته ۴۰ میلی‌متر است و با پخش الیاف در نمونه بتنی میتواند فضای بیشتری از نمونه را گرفته و با خاصیت پلاستیکی خود و عدم جذب آب باعث کاهش حد روانی بتن گردد.

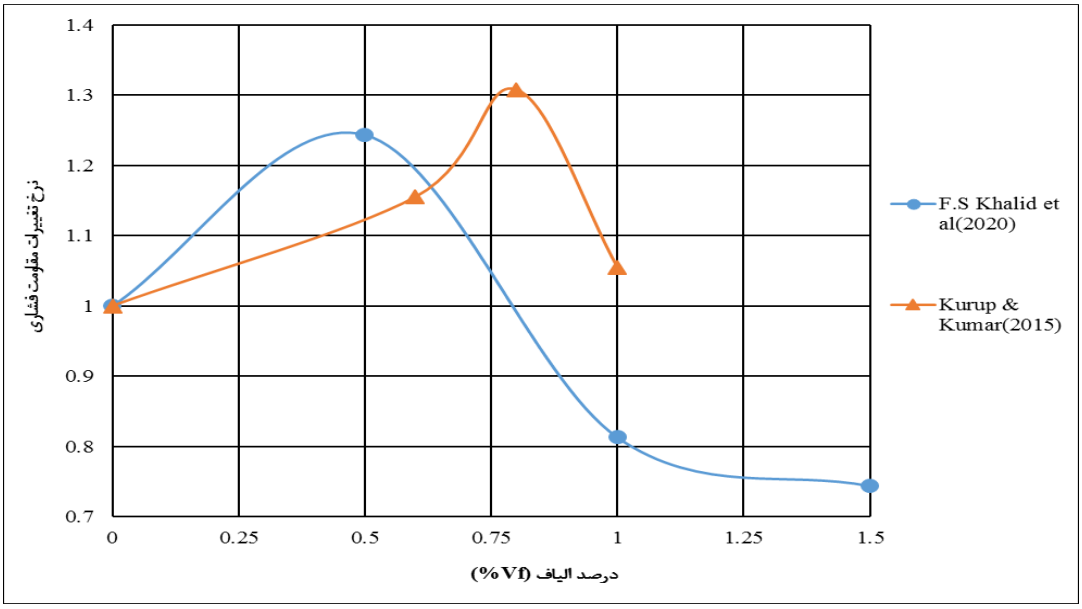


شکل ۱. تاثیر درصدهای مختلف الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) بر اسلامپ بتن.

۲.۳. تاثیر الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) بر مقاومت فشاری

مقاومت فشاری مهمترین ویژگی بتن میباشد که نشان دهنده مقاومت و کیفیت آن و به معنای قابلیت نمونه در تحمل بار وارد بر آن بدون ترک خوردگی میباشد. اهمیت این ویژگی بتن در مقاومت و تحمل بار اعضای سازه سبب آن است که معیاری برای ارزیابی تمام مشخصات بتن در نظر گرفته میشود. در شکل ۲ روند تغییرات مقاومت فشاری بتن‌های حاوی الیاف پلی وینیل

کلراید (Pvc) ارایه شده است. بررسی مطالعات نشان میدهد که بیش‌ترین میزان بهبود مقاومت فشاری در اثر استفاده از ۰.۸٪ از الیاف پلی وینیل کلراید در مطالعه کوروپ و کومار است که سبب افزایش ۳۰.۸٪(۵۰.۵۷ مگاپاسکال) به مقاومت فشاری نسبت به نمونه مرجع(۳۸.۶۶ مگاپاسکال) شده است (Kurup et al., 2015). نتایج نشان میدهد که بتن مرجع الگوی ترک خوردگی مخروطی شکل را نشان میدهد و این در حالی است که بتن الیافی دارای این الگوی ترک خوردگی نمیباشد و برخی قسمت‌های شکست خورده بتن به نمونه متصل مانده است (Kurup et al., 2015). از دلایل دیگر بهبود مقاومت فشاری در این مطالعه میتوان به ارتباط نتایج حاصل از آزمایش اسلامپ با مقاومت فشاری اشاره نمود و همانگونه که در اثر افزودن الیاف شاهد افت نامحسوس و کم اسلامپ نمونه‌های الیافی میباشیم، نمونه‌های حاوی الیاف روانی مناسبی را از خود نشان دادند و تاثیر این موضوع در مقاومت فشاری نمونه‌ها موثر واقع شده و سبب بهبود مقاومت در حضور الیاف در بتن شده است. مقدار بهینه استفاده از این نوع الیاف در مطالعه خالد و همکاران مقدار ۰.۵٪ است که سبب افزایش مقاومت فشاری به میزان ۲۴.۳۹٪(۴۱.۳ مگاپاسکال) نسبت به نمونه فاقد الیاف (۳۳.۲ مگاپاسکال) شده است (F S Khalid, S H Saaidin, S Shahidan, 2020). این میزان بهینه از استفاده سبب پر شدن فضای خالی ایجاد شده در میان ذرات نمونه بتنی شده و بنا بر آن نمونه محکم‌تر و بر استحکام آن در مقابل فشار افزوده میشود.

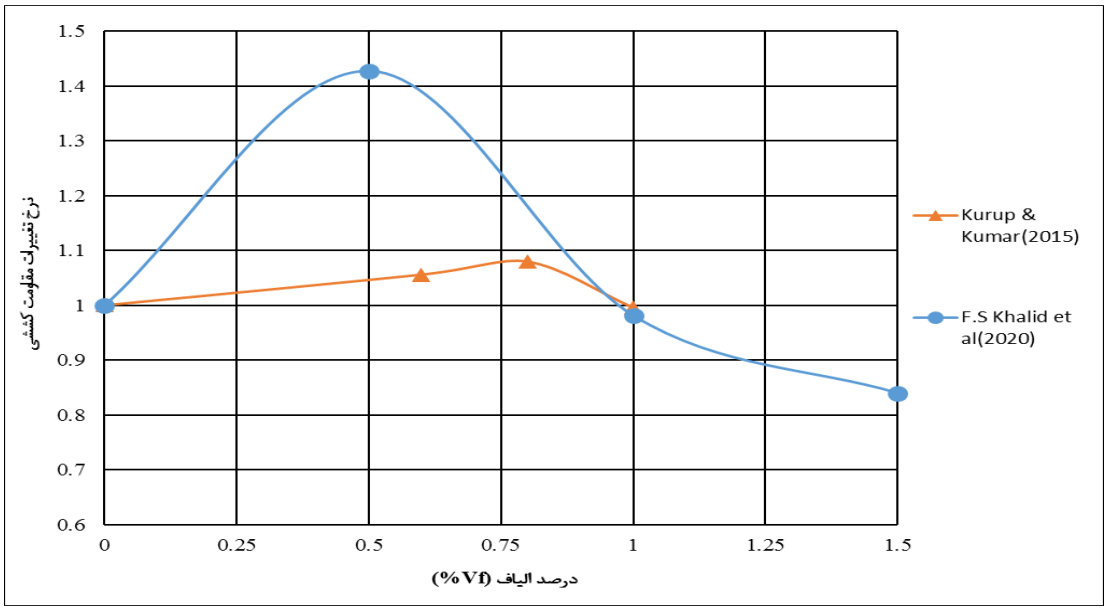


شکل ۲. تاثیر درصدهای مختلف الیاف بر مقاومت فشاری بتن.

۳.۳. تاثیر الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) بر مقاومت کششی

یکی دیگر از ویژگی‌های بتن که به عنوان سنجشی در رابطه با مقاومت در برابر ترک‌های ایجاد شده در سطح بتن است، مقاومت کششی بتن میباشد(Abdi Moghadam & Izadifard, 2021). دستیابی به عملکرد کششی مناسب در بتن در زمان استفاده از الیاف، توانایی جلوگیری از انتشار و گسترش ترک‌ها و همچنین پایداری دوام بتن را در پی دارد. شکل ۳ روند تغییرات مقاومت کششی بتنهای حاوی الیاف پلی وینیل کلراید را نشان میدهد. نتایج نشان میدهد که بیشترین میزان بهبود مقاومت کششی در مقدار ۰.۵٪ از الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) است (F S Khalid, S H Saaidin, S Shahidan, 2020). در این مطالعه افزودن الیاف در تمامی درصدهای بررسی شده افت مقاومت کششی را نتیجه داده است اما در زمان استفاده از ۰.۵٪ از آن به میزان ۴۲.۷۴٪ (۳.۷۴ مگاپاسکال) به مقاومت کششی نسبت به نمونه مرجع (۲.۶۲ مگاپاسکال) افزوده شده است. این افزایش مقاومت ایجاد شده را میتوان مرتبط با استفاده مناسب از الیاف، خاصیت ارتجاعی، کشسانی مناسب الیاف بکار رفته، توزیع درست آن و همگنی مناسب در اختلاط بتن، ایجاد اتصال و پل زدگی در بین ترک‌ها دانست (Abdi Moghadam et al., 2022). در مطالعه

کوروپ و کومار میزان نرخ بهبود مقاومت کششی در زمان استفاده از ۰.۶٪ و ۰.۸٪ از الیاف پلی وینیل کلراید است که به ترتیب با مقادیر افزایشی ۵.۶۱٪ (۴.۸۹ مگاپاسکال) و ۰.۸٪ (۵ مگاپاسکال) نسبت به نمونه مرجع (۴.۶۳ مگاپاسکال)، برابری میکند اما بر خلاف این موضوع در زمان حضور ۰.۱٪ از این الیاف افت مقاومت کششی را نتیجه داده و سبب کاهش نامحسوسی به میزان ۰.۴۳٪ (۴.۶۱ مگاپاسکال) نسبت به نمونه بدون الیاف (نمونه مرجع) شده است. نتایج مشاهده شده آنها در این مطالعه، نشان دهنده آن است که نمونه مرجع تحت اثر بارگذاری دچار شکست شده و به دو قسمت تقسیم گردیده اما در نمونه‌های حاوی الیاف چنین چیزی تحت اثر بارنهایی هم گزارش نشده است(Kurup et al., 2015).



شکل ۳. تاثیر درصدهای مختلف الیاف بر مقاومت کششی بتن.

۴. نتیجه گیری

با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت در عرصه منابع ساخت و ساز و نیاز متناظر به مصالح جایگزین به جهت استفاده، بکار گرفتن مصالح حاصل از مواد غیر قابل بازیافت و پسماندها بیش از گذشته مورد اهمیت واقع شده است. یکی از پرکاربردترین مصالح ساخت، بتن است که دارای مقاومت فشاری بالایی میباشد و در مقابل، از مقاومت کششی پایینی برخوردار است. یکی از راهکارهای بهبود مقاومت کششی بتن افزودن الیاف میباشد. مراحل تولید الیاف نیازمند مواد اولیه و مصرف انرژی است و این روند علاوه بر صرف انرژی موجب گرمایش کره زمین و آلودگی محیط زیست نیز میشود. از طرف دیگر یکی از محصولات پرمصرف در زمینه صنعت پلاستیک سازی، پلیمرهای پلی وینیل کلراید (Pvc) میباشد که به عنوان پوششی برای روکش سیم‌ها و کابل‌ها استفاده میشوند و روند بازیافت آنها نیز علاوه بر هزینه بالا، اثرات منفی بسیاری بر محیط زیست دارد. در مطالعات پیشین الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) در ابعاد و درصدهای متفاوتی در بتن بکار گرفته شده که در این پژوهش نتایج آنها جمع آوری شده است. در این مطالعه علاوه بر ارائه نتایج حاصل از مطالعات جامع آزمایشگاهی دیگر پژوهشگران، عوامل موثر بر مشخصات مکانیکی بتن ارزیابی شده است که مهمترین نتایج به شرح زیر میباشد:

الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) در مقایسه با دیگر الیاف موجود، وزن سبکی دارند و در صورت استفاده در بتن باعث کاهش وزن سازه خواهند شد.

افزودن الیاف الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) به بتن باعث کاهش اندک روانی آن شده است. طول و قطر این الیاف تاثیر بسزایی بر این مشخصه بتن دارد به طوریکه الیاف دارای قطر کمتر موجب سایش میان ساختار تشکیل دهنده بتن شده و عبور مصالح تشکیل دهنده بتن از مسیر لوله‌ای شکل روکش سیم‌ها را دشوار کرده که در نهایت کاهش اسلامپ بتن را نتیجه میدهد.

میزان کارآمدی الیاف در بهبود مشخصات بتن، به طور ویژه‌ای به مشخصات طرح اختلاط بتن بستگی دارد. به طوریکه افزودن این نوع الیاف به بتنهای با حد روانی مناسب به دلیل توزیع یکنواخت الیاف و همگن سازی میان ساختار متشکل بتن، سبب تاثیر بهتری بر بهبود مشخصات بتن خواهد داشت.

طول، قطر، نسبت ابعادی و مقاومت کششی الیاف تاثیر بسیاری بر چگونگی عملکرد نمونه های حاوی الیاف پلی وینیل کلراید (Pvc) خواهد گذاشت. با این وجود در رابطه با مقاومت فشاری بتن، الیافی با طول کم و در رابطه با مقاومت کششی الیاف با طول زیاد عملکرد بهتری خواهد داشت.

مراجع

Abd, A., Aal, E., Abdullah, G. M. S., Qadri, S. M. T., & Abotalib, A. Z. (2022). Advances on concrete strength properties after adding polypropylene fibers from health personal protective equipment (PPE) of COVID-19 : Implication on waste management and sustainable environment. *Physics and Chemistry of the Earth*, *128*(September), 103260. https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103260

Abdi Moghadam, M., & Izadifard, R. A. (2020). Effects of steel and glass fibers on mechanical and durability properties of concrete exposed to high temperatures. *Fire Safety Journal*, *113*. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.102978

Abdi Moghadam, M., & Izadifard, R. A. (2021). Prediction of the Tensile Strength of Normal and Steel Fiber Reinforced Concrete Exposed to High Temperatures. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, *15*(1), 1–16.

Abdi Moghadam, M., Izadifard, R. A., & Khalighi, A. (2022). Microstructural and Mechanical Characteristics of Fiber-Reinforced Cementitious Composites under High-Temperature Exposure. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *34*(9), 4022208.

Adnan, H. M., & Dawood, A. O. (2020). Case Studies in Construction Materials Strength behavior of reinforced concrete beam using re-cycle of PET wastes as synthetic fi bers. *Case Studies in Construction Materials*, *13*, e00367. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00367

Aghajanian, A., Cimentada, A., Behfarnia, K., Brand, A. S., & Thomas, C. (2023). Microstructural analysis of siderurgical aggregate concrete reinforced with fibers. *Journal of Building Engineering*, *64*(June 2022), 105543. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105543

Aghajanian, A., Thomas, C., & Sainz-Aja, J. (2022). 8 - The use of rice husk ash in eco-concrete. In P. O. Awoyera, C. Thomas, & M. S. B. T.-T. S. I. of R. A. C. P. with F. and P. Kirgiz (Eds.), *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering* (pp. 171–197). Woodhead Publishing. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824105-9.00006-8

Ahmad, M., Fahad, M., Ali, B., Hechmi, M., Ouni, E., & Babeker, A. (2022). Case Studies in Construction Materials Influence of nylon fibers recycled from the scrap brushes on the properties of concrete : Valorization of plastic waste in concrete. *Case Studies in Construction Materials*, *16*(April), e01089. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01089

Ahmed, H. U., Faraj, R. H., Hilal, N., Mohammed, A. A., & Sherwani, A. F. H. (2021). Use of recycled fibers in concrete composites: A systematic comprehensive review. *Composites Part B: Engineering*, *215*, 108769. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108769

Ameri, F., Brito, J. De, Madhkhan, M., & Taheri, R. A. (2020). Steel fibre-reinforced high-strength concrete incorporating copper slag: Mechanical, gamma-ray shielding, impact resistance, and microstructural characteristics. *Journal of Building Engineering*, 101118.

https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101118

Amin, M., & Tayeh, B. A. (2020). Case Studies in Construction Materials Investigating the mechanical and microstructure properties of fi bre-reinforced lightweight concrete under elevated temperatures. *Case Studies in Construction Materials*, *13*, e00459. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00459

Aocharoen, Y., & Chotickai, P. (2023). Compressive mechanical and durability properties of concrete with polyethylene terephthalate and high-density polyethylene aggregates. *Cleaner Engineering and Technology*, *12*(October 2022), 100600. https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100600

ASKAR, M., ABDUKA, K., & ASKAR, L. (2020). *Seismic vulnerability assessment of reinforced concrete structures in kurdistan region-iraq*. *32*(2), 116–130.

Bahij, S., Omary, S., Feugeas, F., & Faqiri, A. (2020). Fresh and hardened properties of concrete containing different forms of plastic waste – A review. *Waste Management*, *113*, 157–175. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.048

Bashar, A., Manzur, T., & Yazdani, N. (2016). Improving performance of light weight concrete with brick chips using low cost steel wire fiber. *Construction and Building Materials*, *106*, 575–583. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.165

Chen, Y., He, Q., Liang, X., Jiang, R., & Li, H. (2022). Experimental investigation on mechanical properties of glass fiber reinforced recycled aggregate concrete under uniaxial cyclic compression. *Cleaner Materials*, *6*(August), 100164. https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100164

Corominas, L., Byrne, D., Guest, J. S., Hospido, A., Roux, P., Shaw, A., & Short, M. D. (2020). The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review. *Water Research*, 116058. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116058

Design, C., Kumar, C., Stief, P., Dantan, J., Etienne, A., & Siadat, A. (2021). ScienceDirect ScienceDirect Influence of mechanical properties and CO 2 emissions on the optimization Influence mechanical properties on concrete the optimization 2 emissions of of based hybrid fiber reinforced of self-compacting based hybrid fiber reinforced concrete to Mahapatra and architecture of products for an assembly oriented product family identification. *Procedia CIRP*, *98*, 145–150. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.020

Elsayed, M., Abd-allah, S. R., Said, M., & El-azim, A. A. (2023). Case Studies in Construction Materials Structural performance of recycled coarse aggregate concrete beams containing waste glass powder and waste aluminum fibers. *Case Studies in Construction Materials*, *18*(August 2022), e01751. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01751

F.Pacheco-Torgal. (2019). *Introduction to the use of recycled plastics in eco-ef fi cient concrete*. 1–8. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102676-2.00001-3

F S Khalid, S H Saaidin, S Shahidan, N. H. O. and N. A. A. G. (2020). *Strength of Concrete Containing Synthetic Wire Waste as Fiber Materials Strength of Concrete Containing Synthetic Wire Waste as*. https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012003

Garg, R., & Garg, R. (2020). Materials Today : Proceedings Performance evaluation of polypropylene fiber waste reinforced concrete in presence of silica fume. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*, 6–13. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.482

Hussain, I., Ali, B., Akhtar, T., & Sohail, M. (2020). Case Studies in Construction Materials Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of. *Case Studies in Construction Materials*, *13*, e00429. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00429

Ibrahim, A., Yaseen, M., Galobardes, I., Mushtaq, J., & Fahad, S. (2022). Producing sustainable concrete with plastic waste : A review. *Environmental Challenges*, *9*(October), 100626. https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100626

Issa, Y., Aisheh, A., Sulaiman, D., Akeed, M. H., Qaidi, S., & Tayeh, B. A. (2022). Case Studies in Construction Materials Influence of polypropylene and steel fibers on the mechanical properties of ultra-high-performance fiber-reinforced geopolymer concrete. *Case Studies in Construction Materials*,

17(April), e01234. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01234

Izadifard, Ramezanali; Abdimoghadam, M. (n.d.). *Evaluation of various content of zeolite on the mechanical and durability properties of concrete at high temperatures*.

Izadifard, R. A., & abdi moghadam, M. (2021). Evaluation of various content of steel fibers on improving the mechanical and durability properties of concrete at high temperatures. *Journal of Structural and Construction Engineering*, *8*(2), 159–176. https://doi.org/10.22065/jsce.2019.166490.1757

Jang, Y., Lee, G., Kwon, Y., Lim, J., & Jeong, J. (2020). Resources , Conservation & Recycling Recycling and management practices of plastic packaging waste towards a circular economy in South Korea. *Resources, Conservation & Recycling*, *158*(February), 104798. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104798

Joshi, S., & Bhattarai, N. (2019). *Experimental Study On The Properties Of Concrete With Partial Replacement Of Sand By Plastic Pet Bottle Fiber*. *11*, 27–31.

Justyna Tomaszewska. (2020). *Polish Transition towards Circular Economy : Materials Management and Implications for the*. *2011*.

Kamal, M., Askar, L. K., Al-kamaki, Y. S. S., & Ferhadi, R. (2023). Heliyon Effects of chopped CFRP fiber on mechanical properties of concrete. *Heliyon*, *9*(3), e13832. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13832

Kh, T., & Ali, M. (2020). Shear strength of a reinforced concrete beam by PET fiber. *Environment, Development and Sustainability*, *December 2019*. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00974-w

Khalid, F. S., Irwan, J. M., Ibrahim, M. H. W., Othman, N., & Shahidan, S. (2018). Splitting tensile and pullout behavior of synthetic wastes as fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, *171*, 54–64. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.122

Kumar, M. A., Balaji, S., Selvapraveen, S., & Kulanthaivel, P. (2022). Laboratory study on mechanical properties of self compacting concrete using marble waste and polypropylene fiber. *Cleaner Materials*, *6*(April), 100156. https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100156

Kurup, A. R., Kumar, K. S., & Ph, D. (2015). *Novel Fibrous Concrete Mixture Made from Recycled PVC Fibers from Electronic Waste*. 1–7. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000338.

Lebreton, L., & Andrady, A. (2019). and disposal. *Palgrave Communications*, 1–11. https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7

Manjunatha, M., Preethi, S., Mounika, H. G., & Niveditha, K. N. (2021). Materials Today : Proceedings Life cycle assessment (LCA) of concrete prepared with sustainable cement-based materials. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.248

Martins, J. V., Teresa, M., Aguilar, P., Cristina, D., Garcia, S., & Jos, W. (2022). *Management and characterization of concrete wastes from concrete batching plants in Belo Horizonte e Brazil*. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.136

Md. Habibur Rahman Sobuz , Ayan Saha , Jannatul Ferdous Anamika , Moustafa Houda , Marc Azab, A. S. M. A. and M. J. R. (2022). *Development of Self-Compacting Concrete Incorporating Rice*.

Meza, A., Pujadas, P., & Pardo-bosch, F. (2021). *Mechanical Optimization of Concrete with Recycled PET Fibres Based on a Statistical-Experimental Study*.

Moghadam, M. A., & Izadifard, R. A. (2020). Effects of zeolite and silica fume substitution on the microstructure and mechanical properties of mortar at high temperatures. *Construction and Building Materials*, 119206.

Mohammed, A. A., & Mohammed, I. I. (2021). Effect of Fiber Parameters on the Strength Properties of Concrete Reinforced with PET Waste Fibers. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, *0123456789*. https://doi.org/10.1007/s40996-021-00663-2

Mohammed, A. A., & Rahim, A. A. F. (2020). Experimental behavior and analysis of high strength concrete beams reinforced with PET waste fiber. *Construction and Building Materials*, *244*, 118350.

https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118350

Mohammed, B. H., Far, A., Sherwani, H., Faraj, R. H., Qadir, H. H., & Younis, K. H. (2021). Mechanical properties and ductility behavior of ultra-high performance fiber reinforced concretes : Effect of low water-to-binder ratios and micro glass fibers. *Ain Shams Engineering Journal*, *12*(2), 1557–1567. https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.11.008

Mousavimehr, M., & Nematzadeh, M. (2020). Post-heating flexural behavior and durability of hybrid PET – Rubber aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, *265*, 120359. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120359

Naser, M. H., Naser, F. H., & Dhahir, M. K. (2020). Tensile behavior of fiber reinforced cement mortar using wastes of electrical connections wires and galvanized binding wires. *Construction and Building Materials*, *264*, 120244. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120244

Nasr, MS, Shubbar, AAF, Abed, ZA-AR and Ibrahim, M. (2020). *LJMU Research Online*.

Nikbin, I. M., & Ahmadi, H. (2020). Fracture behaviour of concrete containing waste tire and waste polyethylene terephthalate : An sustainable fracture design. *Construction and Building Materials*, *261*, 119960. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119960

Nkomo, N. Z., Masu, L. M., & Nziu, P. K. (2022). Case Studies in Construction Materials Optimisation of mechanical properties of polyethylene terephthalate fibre / fly ash hybrid concrete composite. *Case Studies in Construction Materials*, *17*(August), e01395. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01395

Nygaard, F. (2020). *Aalborg Universitet Low-carbon design strategies for new residential buildings Lessons from architectural practice Low carbon design strategies for new residential buildings - lessons from architectural practice Freja Nygaard Rasmussen a *, ORCID 0000-0002-9168-2021 Morten Birkved b , ORCID 0000-0001-6989-1647 Harpa Birgisdóttir a , ORCID 0000-0001-7642-4107*.

Olo, O., Morawo, A., & Okedairo, O. (2021). *Case Studies in Construction Materials Solid waste management in developing countries : Reusing of steel slag aggregate in eco-friendly interlocking concrete paving blocks production*. *14*. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00532

Olofinnade, O., Chandra, S., & Chakraborty, P. (2020). Materials Today : Proceedings Recycling of high impact polystyrene and low-density polyethylene plastic wastes in lightweight based concrete for sustainable construction. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.176

Orouji, M., & Najaf, E. (2023). Case Studies in Construction Materials Effect of GFRP rebars and polypropylene fibers on flexural strength in high-performance concrete beams with glass powder and microsilica. *Case Studies in Construction Materials*, *18*(December 2022), e01769. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01769

Qassem, A., Ali, M., Ghaleb, A. A. A., Abadel, A. A., Alghamdi, H., Alamri, M., & Wasim, M. (2022). Case Studies in Construction Materials Mechanical performance and feasibility analysis of green concrete prepared with local natural zeolite and waste PET plastic fibers as cement replacements. *Case Studies in Construction Materials*, *17*(May), e01256. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01256

Rasheed, L. S., Shaban, A. M., & Abdulrasool, A. T. (2022). Mechanical and structural characteristics of PET fiber reinforced concrete plates. *Smart Science*, *10*(3), 198–212.

Saad, M., Agwa, I. S., Abdelsalam Abdelsalam, B., & Amin, M. (2022). Improving the brittle behavior of high strength concrete using banana and palm leaf sheath fibers. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, *29*(4), 564–573. https://doi.org/10.1080/15376494.2020.1780352

Samarakoon, S. M. S. M. K., Ruben, P., Wie, J., & Evangelista, L. (2019). Case Studies in Construction Materials Mechanical performance of concrete made of steel fi bers from tire waste. *Case Studies in Construction Materials*, *11*, e00259. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00259

Shi, T., Liu, Y., Zhao, X., Wang, J., Zhao, Z., Corr, D. J., & Shah, S. P. (2022). Study on mechanical properties of the interfacial transition zone in carbon nanofiber-reinforced cement mortar based on the PeakForce tapping mode of atomic force microscope. *Journal of Building Engineering*, *61*, 105248.

https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105248

Siddique, R., Singh, M., & Jain, M. (2020). Recycling copper slag in steel fibre concrete for sustainable construction. *Journal of Cleaner Production*, 122559. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122559

Signorini, C., & Volpini, V. (2021). *Mechanical Performance of Fiber Reinforced Cement*. 1–15.

Tahir, F., Sbahieh, S., & Al-ghamdi, S. G. (2022). Materials Today : Proceedings Environmental impacts of using recycled plastics in concrete. *Materials Today: Proceedings*, *62*, 4013–4017. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.593

Thomas, L. M., & Moosvi, S. A. (2020). Materials Today : Proceedings Hardened properties of binary cement concrete with recycled PET bottle fiber : An experimental study. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*, 3–8. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.025

Unis, H., Faraj, R. H., Hilal, N., Mohammed, A. A., Far, A., & Sherwani, H. (2021). Use of recycled fibers in concrete composites : A systematic comprehensive review. *Composites Part B*, *215*(February), 108769. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108769

Zhao, Y., Qiu, J., Xing, J., & Sun, X. (2020). Recycling of quarry dust for supplementary cementitious materials in low carbon cement. *Construction and Building Materials*, *237*, 117608. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117608