مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هجدهم ، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۱۷۱ تا ۱۹۰

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

تحلیل آماری و علم‌سنجی کاربرد لاستیک ضایعاتی در بتن

گرشاسب بیرانوند[۱]، مرضیه رضوی[۲،*]، منیژه گودرزی[۳]

۱- گروه مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی آفرینش، بروجرد، ایران
۲- گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران
۳- گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آیت ا... بروجردی، بروجرد، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۰۷

واژگان کلیدی: بتن، مقاومت فشاری، کارایی، لاستیک ضایعاتی، تحلیل علم‌سنجی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
m.razavi@Tafreshu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: رشد چشمگیر استفاده از وسایل نقلیه در سطح جهان، چالش‌های محیط زیستی متعددی از جمله مدیریت تایرهای فرسوده را به همراه داشته است. این پسماندها به دلیل تجزیه‌ناپذیری طولانی‌مدت و خطرات ناشی از انباشت آنها، تهدیدی جدی برای محیط زیست به شمار می‌روند. یکی از رویکردهای پایدار برای کاهش اثرات مخرب این مواد، جایگزینی آنها با بخشی از سنگدانه‌های بتن است. با این حال، مطالعات موجود در مورد تأثیر استفاده از تایرهای ضایعاتی بر ویژگی‌های مکانیکی بتن، محدود بوده و تحلیل روندهای جهانی این حوزه نیز کمتر انجام شده است. هدف این پژوهش، ارزیابی تأثیر لاستیک ضایعاتی بر بهبود خواص مکانیکی بتن و بررسی روندهای جهانی استفاده از این رویکرد است.

روش بررسی: به منظور ارزیابی تأثیر پودر و خرده لاستیک بر مقاومت فشاری و کارایی بتن، از روش طراحی آزمایش تاگوچی و تحلیل واریانس استفاده شد. همچنین به‌منظور تحلیل روندهای مطالعاتی و همکاری‌های علمی مرتبط در زمینه استفاده از لاستیک‌های ضایعاتی در بتن، داده‌های پایگاه اطلاعاتی اسکوپوس با نرم‌افزار VOSviewer تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: با استفاده از نسبت‌های بهینه خرده و پودر لاستیک، امکان تولید بتنی با مقاومت فشاری مناسب فراهم می‌شود. ضرایب همبستگی R^2 برای مقاومت فشاری ۷ روزه، ۲۸ روزه و کارایی بتن به ترتیب ۹۲/۴۱، ۹۷/۸۲ و ۸۰/۰۷ درصد بود. تحلیل علم‌سنجی حاکی از آن بود که کشورهای چین و هند در تولید مقالات علمی پیشرو هستند و توجه ویژه‌ای به استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن دارند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از لاستیک ضایعاتی می‌تواند رویکردی مؤثر در بهبود خواص مکانیکی بتن باشد. با این حال، توسعه فناوری‌های نوین برای بهینه‌سازی ترکیبات و بهبود دوام بلندمدت بتن ضروری است. علاوه بر این، نتایج علم‌سنجی، ضرورت تمرکز بیشتر بر پژوهش‌های بین‌المللی در این زمینه را برجسته می‌کند. این امر می‌تواند به پیشبرد فناوری‌های پایدار در صنعت ساخت‌وساز کمک کند.

Please cite this article as: Biranvand G, Razavi M, Goudarzi M. Statistical analysis and bibliometric study of waste rubber utilization in concrete. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(1):171-90.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

مقدمه

روند رو به رشد شهرنشینی و گسترش شهرها موجب افزایش وابستگی جوامع به حمل‌ونقل شده است. مطالعات نشان داده است که به طور میانگین، سرانه برخورداری از خودروی سواری در جهان به ازای هر ۱۰۰۰ نفر جمعیت، ۲۲۲ دستگاه بوده که با توجه به جمعیت ۸۴ میلیونی کشور ایران و با در نظر گرفتن تعداد ۱۸ میلیون و ۳۷۰ هزار دستگاه خودروی سواری (اعم از شخصی و عمومی)، به ازای هر ۱۰۰۰ نفر، ۲۱۸ دستگاه خودرو وجود دارد (۱). ایران از نظر تعداد خودروهای سواری در رتبه ۷۶ جهان قرار دارد که بیانگر تعداد قابل‌توجه خودرو در کشور است. با این وجود، اثرات منفی ناشی از استفاده گسترده وسایل نقلیه بر محیط زیست غیرقابل انکار است. سالانه حجم زیادی از تایرهای فرسوده در سراسر جهان دفع می‌شوند که این میزان در حدود ۱/۴ میلیارد واحد در سال تخمین زده شده است (۲). این مسئله نه تنها در سطح جهانی، بلکه در ایران نیز وجود دارد، جایی که حدود ۲۷,۰۰۰ ton لاستیک ضایعاتی به طور سالانه دفع می‌شود (۳). مدیریت نادرست تایرهای ضایعاتی که غیرقابل تجزیه هستند، نگرانی‌های محیط زیستی قابل‌توجهی ایجاد می‌کند. دفن این لاستیک‌ها در محل‌های دفع پسماند می‌تواند منجر به آلودگی خاک و منابع آب شود. در صورت عدم مدیریت صحیح، تایرهای فرسوده به محل تجمع آب تبدیل می‌شوند که محیط مناسبی برای تکثیر انواع پشه‌ها، به‌ویژه پشه آئدس، فراهم می‌کند. این پشه ناقل بیماری‌های خطرناکی مانند تب دنگی، زیکا و چیکونگونیا است. افزایش سریع جمعیت پشه‌ها در این محل‌ها می‌تواند خطر شیوع این بیماری‌ها را در مناطق مختلف به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد (۴-۶). بنابراین، مدیریت صحیح لاستیک‌های ضایعاتی نه تنها از آلودگی محیط زیست و خطرات مرتبط با آن جلوگیری می‌کند، بلکه در کاهش خطرات بهداشتی و شیوع بیماری‌های مختلف نیز نقش مؤثری دارد. مطالعه دیگری که اخیراً انجام شده، نشان داده است که میکروپلاستیک‌های ناشی از سایش تایر خودروها در محیط، از جمله در آب آشامیدنی، وجود دارند (۷، ۸). اخیراً در مطالعه‌ای که توسط Halle و همکاران انجام شده، حضور میکروپلاستیک‌های ناشی از سایش تایرخودروها در محیط زیست از جمله آب شرب گزارش شده است (۹). یکی از راهکارهای پیشنهادی برای کاهش اثرات منفی لاستیک ضایعاتی، استفاده از آن در صنعت ساخت‌وساز است (۱۰). تحلیل داده‌های جهانی نشان می‌دهد که استفاده از این مواد در بتن به مرور زمان به شدت افزایش یافته است. مطالعات نشان داده‌اند که در سال ۱۹۹۵، تولید جهانی بتن به ۱/۴ میلیارد تن رسیده بود (۱۱، ۱۲). با توجه به نبود داده‌های دقیق در مورد تولید جهانی بتن در سال‌های اخیر، اطلاعات تولید سیمان جهانی به عنوان شاخص مورد استفاده قرار گرفت. تولید سیمان جهانی از ۲/۸ میلیارد تن در سال ۲۰۱۱ به ۴/۲ میلیارد تن در سال ۲۰۲۰ و ۴/۴ میلیارد تن در سال ۲۰۲۱ افزایش یافت (۱۳، ۱۴). از آنجایی که بخش عمده‌ای از سیمان در صنعت ساخت‌وساز و تولید بتن مصرف می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که تولید جهانی بتن در سال‌های اخیر به سطوح قابل‌توجهی رسیده است. این مصرف گسترده بتن به دلیل اثرات محیط زیستی آن، به یک نگرانی مهم تبدیل شده است. برای مقابله با این چالش، کارشناسان و پژوهشگران در جستجوی راه‌حل‌هایی هستند که نه تنها به بهبود مقاومت، دوام و کارایی بتن منجر شود، بلکه تأثیرات منفی آن بر محیط‌زیست را نیز کاهش دهد. یکی از رویکردهای نوآورانه که توجه زیادی به خود جلب کرده است، استفاده از مواد بازیافتی مانند لاستیک‌های فرسوده در تولید بتن است. این روش نه تنها به افزایش طول عمر لاستیک‌های ضایعاتی کمک می‌کند، بلکه با کاهش ضایعات، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جایگزینی سنگدانه‌های طبیعی با سنگدانه‌های بازیافتی، به کاهش اثرات منفی محیط زیستی منجر می‌شود. به‌طور کلی، سالانه حدود ۱/۵ میلیارد لاستیک ضایعاتی در جهان انباشته می‌شود و پیش‌بینی می‌شود در ۳۰ سال آینده این میزان ۷۰ درصد افزایش یابد (۱۵). بنابراین استفاده از این ماده علاوه بر مزایای محیط زیستی، دارای مزایای اقتصادی قابل‌توجهی است و امکان مدیریت بهتر منابع را فراهم

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

می‌سازد. با این حال، استفاده از این مواد در بتن چالش‌هایی نیز به همراه دارد که نیازمند بررسی‌های علمی بیشتری است تا بتوان به‌طور کامل از پتانسیل آنها بهره‌برداری کرد. پژوهش‌های بیشتر می‌توانند به رفع این چالش‌ها و بهینه‌سازی روش‌های استفاده از مواد بازیافتی در بتن کمک کنند. RedaTaha و همکاران به بررسی خواص مکانیکی و ساختاری بتن لاستیکی پرداختند و دریافتند که انتخاب بهینه مقادیر ذرات لاستیک می‌تواند منجر به تولید بتن‌هایی با معیارهای مقاومتی مطلوب جهت کاربردهای مختلف شود (۱۶). Yung و همکاران به مطالعه دوام بتن با استفاده از تایر بازیافتی پرداختند و دریافتند که استفاده از ۵ درصد پودر لاستیک می‌تواند مقاومت فشاری ۹۱ روزه را تا ۱۰ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش دهد (۱۷). Raffoul و همکاران به بررسی بتن حاوی لاستیک پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بتن لاستیکی دارای تاب آوری بالا در بسیاری از کاربردهای پایدار است (۱۸). Kumar و همکاران نشان دادند که بتن لاستیکی در مقایسه با بتن استاندارد، انعطاف پذیری، مقاومت در برابر ضربه و وزن واحد کمتری دارد (۱۹). تأثیر استفاده مجدد از مواد مختلف بر خواص بتن نیازمند مطالعات بیشتری است و به همین دلیل موضوعی مهم برای بررسی به شمار می‌رود. عوامل کلیدی شامل اندازه‌گیری مقاومت فشاری و کارایی بتن برای پروژه‌های مهندسی پایدار محیط زیستی است. پژوهش‌های زیادی در زمینه بحث استفاده از مواد بازیافتی در بتن، در سطح جهانی انجام شده است، اما هنوز توسعه موضوعات پژوهشی و روندهای عملکرد در این حوزه به طور کافی مورد مطالعه قرار نگرفته و همچنان مبهم است. از سوی دیگر، برای شناسایی و تحلیل روندهای پژوهشی مرتبط با استفاده از بتن‌های حاوی لاستیک ضایعاتی، نیاز به تحلیل‌های کتاب‌سنجی است.

در تحلیل علم‌سنجی که توسط Haigh انجام شده، روندهای جهانی در خصوص استفاده از مواد زائد در صنعت ساختمان و ساخت‌وساز بررسی شده است (۲۰). داده‌های مربوط به مقالات پژوهشی از پایگاه داده‌های مختلف طی سال‌های مشخص استخراج و بررسی می‌شود (۲۱). معمولاً برای تحلیل این داده‌ها همچون تحلیل شبکه‌های همکاری بین نویسندگان، کشورها، مؤسسات و تحلیل هم‌رخدادی کلمات کلیدی، از نرم‌افزارهای خاصی همچون VOSviewer استفاده می‌شود. نتایج این تحلیل می‌تواند به پژوهشگران کمک کند تا روندهای توسعه و نقاط کانونی پژوهش در زمینه استفاده از بتن‌های حاوی تایرهای بازیافتی را بهتر درک کرده و راهنمایی برای مطالعات آینده فراهم کنند.

مطالعه حاضر دو هدف مکمل را دنبال می‌کند. در بخش اول مطالعه، به بررسی تأثیر استفاده از لاستیک‌های ضایعاتی، به‌ویژه خرده لاستیک و پودر لاستیک، به عنوان جایگزین‌های جزئی برای سنگدانه‌های ریز و درشت در بتن پرداخته شده است. در این راستا، خواص مکانیکی بتن از جمله مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن و کارایی آن با استفاده از آزمایش‌های تجربی و تحلیل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این بخش، شناسایی تأثیر نسبت‌های مختلف لاستیک ضایعاتی بر عملکرد بتن و تعیین نسبت‌های بهینه برای دستیابی به بتن با خواص مکانیکی مناسب است. در بخش دوم، با استفاده از تحلیل بیبلیومتریک یا علم‌سنجی (Bibliometric Analysis)، روندهای پژوهشی جهانی در زمینه استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن بررسی شده است. این تحلیل با استفاده از داده‌های علمی از پایگاه‌های معتبر و ابزارهای علم‌سنجی انجام شده و همکاری‌های علمی بین نویسندگان، کشورها و مؤسسات مختلف در این حوزه مشخص گردید. این پژوهش با ارائه ترکیبی از تحلیل‌های تجربی و علم‌سنجی، به درک عمیق‌تر از مزایا و چالش‌های استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن کمک کرده و چارچوبی برای مطالعات آینده فراهم می‌سازد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از سیمان پرتلند تیپ دو تولید شده توسط کارخانه سیمان دورود (ایران) استفاده شد. برای تهیه نمونه‌ها

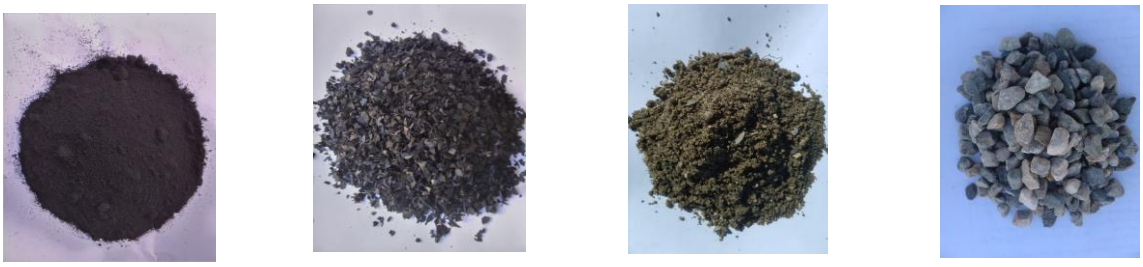
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

از قالب‌های استاندارد مکعبی و همچنین آب شرب شهر بروجرد (لرستان، ایران) استفاده شد. لازم به ذکر است که استفاده از آب شرب در ساخت بتن کاملاً مجاز بوده و به‌منظور اطمینان از هیدراتاسیون مناسب و دوام بتن توصیه می‌شود (۲۲، ۲۳). مواد به دقت با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین شده و در یک میکسر آزمایشگاهی مخلوط شدند. نمونه‌ها پس از ۲۴ h از قالب خارج شده و در درون حوضچه آب با دمای ۲۳±۲ °C به منظور عمل‌آوری، قرار گرفتند. پس از گذشت مدت زمان به ترتیب ۷ و ۲۸ روزه، نمونه‌ها از آب خارج و آزمایش تعیین مقاومت فشاری انجام گردید. کارایی نمونه‌های بتنی پیش از قرار گرفتن در قالب اندازه‌گیری شد. ترکیب شیمیایی سیمان در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی و مشخصات فیزیکی سیمان مورد استفاده در مطالعه

نام ماده	CaO	SiO_2	Fe_2O_3	SO_3	MgO	K_2O	Na_2O	L.O.I	وزن مخصوص (g/cm^3)	سطح ویژه (cm^2/g)
مقدار (درصد)	٦٣/٩٣	٢١/١٠	٤/٧٧	٢/٢٠	٠/٥٢	٠/٣٩	٠/٣٩	١/٦٥	٣/٠٩	٣٢١٠

شکل ۱، مصالح مورد استفاده در ساخت نمونه‌های بتنی را نشان می‌دهد. گرانول‌های لاستیک مورد استفاده در این مطالعه از لاستیک‌های فرسوده خودرو که با استفاده از فرآیندهای مکانیکی به ابعاد مشخص خرد شدند، تهیه شد. ذرات خرده لاستیک (۴ تا ۶ mm) جایگزین شن و پودر لاستیک (۱ تا ۳ mm) جایگزین ماسه، به‌صورت دقیق الک و غربالگری گردید. برای حذف ناخالصی‌ها، مواد شسته شده و در دمای محیط خشک شدند. نمونه‌های ساخته شده و دستگاه مقاومت فشاری در این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.



الف ب ج د

شکل ۱- مصالح مورد استفاده در این پژوهش؛ الف) شن، ب) ماسه، ج) خرده لاستیک، د) پودر لاستیک

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

الف

ب

شکل ۲- نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه الف) نمونه تحت بارگذاری، ب) تعدادی از نمونه‌های خارج شده از قالب

حجم نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM C ۱۹۲ تعیین شد. برای هر طرح اختلاط، سه نمونه مکعبی با قالب استاندارد ۱۵×۱۵×۱۵ cm تهیه شد. برای بررسی خواص بتن، آزمایش مقاومت فشاری طبق استاندارد ASTM C ۳۹ و آزمایش کارایی بتن طبق استاندارد ASTM C ۱۴۳ انجام شد. جهت افزایش دقت و صحت نتایج، هر آزمایش سه مرتبه تکرار گردید. برای تدوین طرح اختلاط بتن، از دستورالعمل استاندارد ACI-۲۱۱-۹۸ بهره گرفته شد. در این تحلیل، مقدار آب و سیمان ثابت (۰/۶) نگهداشته شد، در حالی که ترکیب سنگدانه‌های درشت (G: Gravel) و ریز (S: Sand) با مقادیر مختلف خرده لاستیک (RC: Rubber Crumb) و پودر لاستیک (RP: Rubber Powder) جایگزین گردید. تغییرات ترکیب سنگدانه‌ها در جدول ۲ نمایش داده شده است تا مبنایی برای تجزیه و تحلیل و مقایسه دقیق‌تر فراهم کند.

جدول ۲- مقادیر سنگدانه‌ها و جایگزینی آنها با پودر و خرده لاستیک بر حسب kg/m^3 (طرح اختلاط‌های استفاده شده در مطالعه)

سطح	مقدار جایگزینی (درصد)	S	G	RP	RC	توضیح
۱	۰	٦٥٧	۱۰۰۷	۰	۰	نمونه شاهد (بدون جایگزینی سنگدانه ها با لاستیک)
۲	۵	٦٢٤/١٥	٩٥٦/٦٥	٣٢/٨٥	٥٠/٣٥	جایگزینی ۵ درصد از S و G با RC و RP
۳	۱۰	٦٩١/٣٠	٩٠٦/٣٠	٦٥/٧٠	١٠٠/٧٠	جایگزینی ۱۰ درصد از S و G با RC و RP
٤	۱۵	٥٥٨/٤٥	٨٥٥/٩٥	٩٨/٥٥	١٥١/٠٥	جایگزینی ۱۵ درصد از سنگدانه‌ها با لاستیک
۵	۲۰	٥٢٥/٦٠	٨٠٥/٦٠	١٣١/٤٠	٢٠١/٤٠	جایگزینی ۲۰ درصد از S و G با RC و RP

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

به منظور اطمینان از رعایت اصول علمی نمونه گیری از روش طراحی آزمایش تاگوچی استفاده گردید (جدول ۳). هدف از این کار، ارزیابی تأثیر متغیرهای ورودی بر نتایج یا خروجی‌های یک فرآیند است (۱۶). این روش به‌عنوان ابزاری مؤثر در بهینه‌سازی فرآیندها، امکان ارزیابی جامع تأثیر عوامل مختلف بر خواص مکانیکی بتن را فراهم کرده و در عین کاهش تعداد آزمایش‌های مورد نیاز، نتایج دقیق و قابل اعتمادی ارائه می‌دهد. به عنوان نمونه، در آزمایش شماره ۱۰ (در جدول ۳)، عوامل S، G، RP و RC به ترتیب بر روی مقادیر ۶۲۴/۱۵، ۸۰۵/۶، ۰ و ۵۰/۳۵ (در جدول ۲) تنظیم شدند.

جدول ۳- آرایش برنامه آزمایشگاهی پیشنهادی تاگوچی

شماره آزمایش / سنگدانه	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲٤	۲٥
S	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۳	٤	٤	٤	٤	٤	٥	٥	٥	٥	٥
G	۱	۲	۳	٤	٥	۱	۲	۳	٤	٥	۱	۲	۳	٤	٥	۱	۲	۳	٤	٥	۱	۲	۳	٤	٥
RP	۱	۲	۳	٤	٥	۲	۳	٤	٥	۱	۳	٤	٥	۱	۲	٤	٥	۱	۲	۳	٥	۱	۲	۳	٤
RC	۱	۲	۳	٤	٥	۳	٤	٥	۱	۲	٥	۱	۲	۳	٤	۲	۳	٤	٥	۱	٤	٥	۱	۲	۳

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار Excel ۲۰۱۶ و برای تحلیل آماری از نرم افزار Minitab نسخه ۰۱٫۲۰۲۰٫۱۹ استفاده شد. همچنین در این بخش از روش تحلیل واریانس (ANOVA)، تحلیل رگرسیون مدل (Regression Model) و روش تحلیل نسبت سیگنال به نویز (Signal-to-Noise Ratio یا S/N) استفاده شد. این روش‌ها ابزارهای قدرتمندی برای شناسایی عوامل کلیدی و تعیین سطوح بهینه آنها به شمار می‌روند و به تعیین میزان معناداری تأثیر هر عامل و شناسایی عواملی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت بتن دارند، کمک می‌کند. به این ترتیب می‌توان به شناخت عمیق‌تری از اثر ترکیبات مختلف بتن دست یافت و نتایج حاصل از آن را برای بهینه‌سازی طرح‌های اختلاط بکار برد.

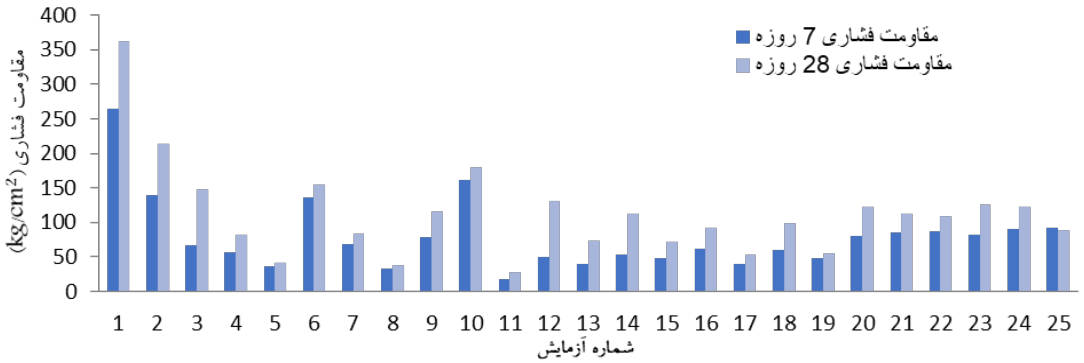
در بخش دوم این مطالعه، داده‌های مربوط به بتن حاوی لاستیک ضایعاتی از پایگاه داده اسکوپوس (Scopus) استخراج شده است. هدف اصلی این مطالعه، ایجاد یک پیوند منطقی بین روندهای تحقیقاتی جهانی و یافته‌های عملی و مکانیکی است. تحلیل علم‌سنجی به شناسایی وضعیت کنونی مطالعات در زمینه بتن حاوی لاستیک ضایعاتی، حوزه‌های تحقیقاتی پرکاربرد و موضوعات نوظهور کمک می‌نماید. از سوی دیگر، بخش مکانیکی و عملی این مطالعه بر ارائه داده‌های کمی درباره عملکرد واقعی این نوع بتن تمرکز دارد. این دو بخش مکمل یکدیگرند، زیرا اگرچه تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن انجام شده، اما مطالعات کمتری بر تحلیل مکانیکی عمیق این نوع بتن تمرکز کرده‌اند. بنابراین، بخش عملی این مطالعه برای پر کردن این شکاف طراحی شده است. نتایج عملی و مکانیکی مطالعه می‌تواند به غنای مطالعات علمی اشاره‌شده در بخش علم‌سنجی کمک کرده و از یافته‌های علم‌سنجی برای هدایت تحقیقات آتی استفاده کند. با وجود اینکه پایگاه داده Web of Science (WOS) نیز از منابع معتبر در این زمینه محسوب می‌شود، اما به دلیل محدودیت‌های دسترسی در کشور، استفاده از این پایگاه امکان‌پذیر نبوده است. البته باید توجه داشت که پایگاه داده اسکوپوس محدودیت‌هایی از جمله، تمرکز بیشتر بر مقالات انگلیسی زبان که ممکن است باعث نادیده گرفتن برخی مطالعات منتشرشده در دیگر زبان‌ها است، دارد. همچنین سیاست نمایه‌سازی که ممکن است برخی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

مجلات یا مقالات مهم تحت پوشش قرار نگیرد. با این حال، اسکوپوس به دلیل گستردگی، دسترسی به داده‌های به‌روز و شاخص‌های قابل اعتماد، منبع مناسبی برای دستیابی به اهداف این مطالعه بوده است. جامعه این پژوهش شامل تمامی مقالات نمایه شده در پایگاه داده بود که انواع مختلف مقالات از جمله Conference Paper، Review Article، Article in Press، Editorial و Letter در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۴ بوده است. پس از جستجوی مقالات و استخراج فایل bib. از این پایگاه‌های داده، تحلیل داده‌های علم‌سنجی توسط نرم‌افزار VOSviewer (نسخه ۲۰/۶/۱) استفاده گردید. ابتدا با جستجوی چهار کلیدواژه اصلی و مرتبط با موضوع شامل "Rubberized concrete"، "Waste rubber"، "Rubber crumb" و "Rubber powder" در پایگاه داده مجموعه‌ای از مقالات علمی استخراج گردید.

یافته‌ها

شکل ۳، مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن پس از انجام آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه در آزمایش‌های انجام شده

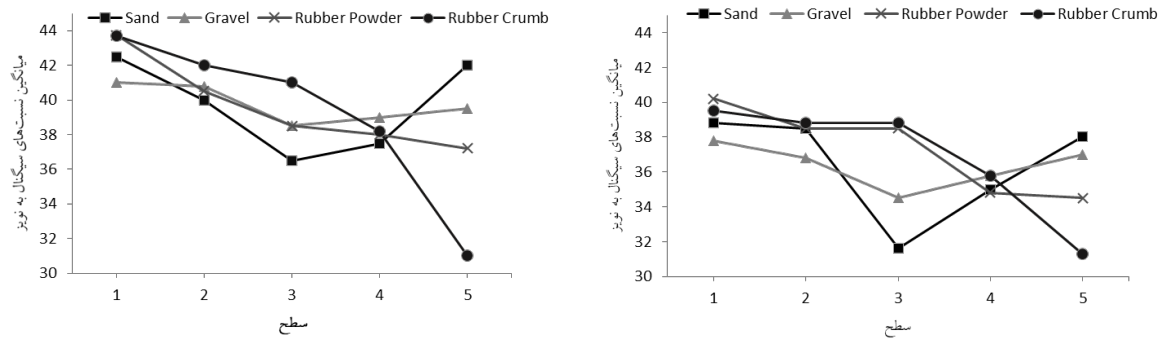
تمامی نتایج با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب، به نسبت سیگنال به نویز (S/N) تبدیل شدند. تأثیر اصلی زمانی مشاهده می‌شود که سطوح مختلف یک عامل منجر به تغییرات معناداری در یک ویژگی خاص شوند. یکی از مزایای کلیدی روش S/N این است که امکان شناسایی سطوح بهینه و کارایی پارامترها را فراهم می‌کند. نسبت S/N به‌طور ویژه برای کاهش تغییرات و بهبود کیفیت نتایج، با در نظر گرفتن شرایط نویز و عوامل مزاحم، به کار گرفته می‌شود. این فرمول، به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی روش طراحی آزمایش تاگوچی، امکان تعیین بهترین ترکیب عوامل برای بهینه‌سازی پاسخ‌های سیستم را فراهم می‌کند. در چارچوب مطالعه حاضر، مقاومت فشاری و کارایی بتن به‌عنوان ویژگی‌های کیفیتی در دسته "بزرگ‌تر، بهتر" در نظر گرفته شده‌اند که هدف آنها افزایش مقاومت و کارایی بتن و دستیابی به نتایج مطلوب است. این روش به محققان کمک می‌کند تا ترکیب بهینه مواد را برای دستیابی به مقاومت فشاری و کارایی مطلوب بتن شناسایی کنند. مقدار "Yij" در هر آزمایش، مقدار مشاهده‌شده یا پاسخ اندازه‌گیری شده برای آزمایش "i" و تکرار "j" است. به بیان دیگر، "Yij" مقدار اندازه‌گیری شده‌ای از ویژگی کیفی مانند مقاومت فشاری یا کارایی بتن است که در هر آزمایش انجام شده به‌دست می‌آید. این مقدار نشان‌دهنده تأثیر عوامل مختلف بر نتیجه آزمایش در هر بار تکرار یک ترکیب آزمایشی است. برای هر ترکیب آزمایشی، چندین تکرار

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

(n) انجام می‌شود تا نتایج دقیق‌تر و قابل اطمینان‌تر باشند. نسبت سیگنال به نویز برای مقاومت فشاری و کارایی در این مطالعه با استفاده از معادله ۱ برای هر شرایط آزمایشی محاسبه شده است:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_i = -10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{Y_{ij}^{2}}\right] \quad (۱)$$

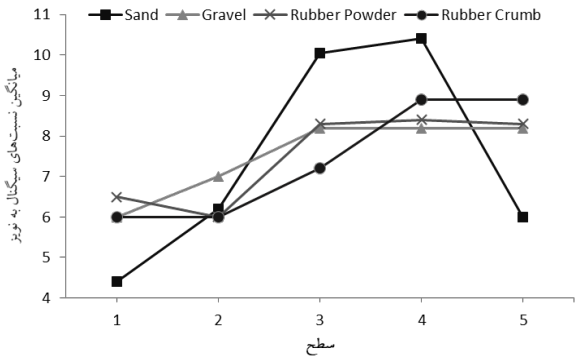
شکل‌های ۴-الف، ۴-ب و ۵ نمودار تأثیرات اصلی را نشان می‌دهند که به‌طور خاص، تأثیر هر عامل بر ویژگی‌های پاسخ S/N را بررسی می‌کنند. در این نمودارها، فاکتورهای G، S، RC و RP در ۵ سطح مختلف بررسی و تاثیرگذارترین فاکتورها در مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه و همچنین کارایی بتن، مشخص گردید. این نمودارها بیانگر تاثیر هر سطح از فاکتورها بر شکل‌های مختلف پاسخ است. هر چه شیب خط در نمودارهای اثر اصلی، بیشتر باشد، بزرگی اثر آن فاکتور اصلی بیشتر است.



(الف) (ب)

شکل ۴- نمودار اثر اصلی الف) مقاومت فشاری ۷ روزه بتن، ب) مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن

همچنین نمودار تاثیر اصلی کارایی بتن (شکل ۵) نشان می‌دهد که بهترین اثر برای کلیه فاکتورها، در سطح ۴ اتفاق افتاده است.



شکل ۵- نمودار اثر اصلی کارایی بتن

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

تحلیل رگرسیون مدل، بینشی در مورد اهمیت آماری عوامل مختلف و روابط متقابل آنها ارائه می‌دهد تا بتوان اثربخشی مدل را پیش‌بینی کرد (۱۹). معادلات رگرسیون مدل فعلی به‌صورت فرمول‌های چندجمله‌ای درجه دوم برای عوامل مقاومت فشاری در روزهای ۷ و ۲۸ و همچنین کارایی، با استفاده از پارامترهای کدگذاری شده در معادلات ۲ تا ۴ نمایش داده شدند.

(۲)

$$CS(7Days)=6764-13.60S-6.36G+1.89RP-0.01RC+0.00994S\times S+0.00259G\times G+0.00716RP\times RP+0.00124RC\times RC+0.00291S\times G-0.00551S\times RP-0.0018S\times RC+0.000188G\times RC$$

(۳)

$$CS(28Days)=7056-18.06S-4.32G+2.47RP+2.16RC+0.1414S\times S+0.001579G\times G+0.00521RP\times RP+0.001205RC\times RC+0.00274S\times G-0.00617S\times RP-0.00384S\times RC-0.000626G\times RC$$

(۴)

$$W=-133.1+0.3763S+0.0576G+0.0124RP+0.02RC-0.000293S\times S-0.000018G\times G-0.00005RP\times RP+0.000005RC\times RC-0.000041S\times G-0.000008S\times RP+0.000014S\times RC-0.000029G\times RC$$

در این مطالعه، تأثیر فاکتورهای مختلف بر دستیابی به بالاترین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه و همچنین کارایی مطلوب بتن مورد ارزیابی قرار گرفت. مهم‌ترین فاکتورها در دستیابی به بالاترین مقاومت فشاری و کارایی، در جدول ۴ مشخص شده‌اند. اعداد موجود در این جدول نشان‌دهنده مقادیر p هستند. با توجه به اینکه سطح معناداری آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است، مقادیر p کمتر از این سطح، نشان‌دهنده تأثیر معنادار فاکتور مورد نظر بر کیفیت بتن است.

جدول ۴- نتایج رگرسیون مدل

منبع / P	S	G	RP	RC	S^2	G^2	RP^2	RC^2	S*G	S*RP	S* RC	G* RC	R-sq (درصد)
مقاومت فشاری ۷ روزه	۰/۰۰۵	۰/۳۴۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۴۹	۰/۰۴۶	۰/۳۱۶	۰/۱۴۲	۰/۱۳۴	۰/۵۶۹	۰/۸۳۸	۹۲/۴۱
مقاومت فشاری ۲۸ روزه	۰/۰۰	۰/۰۷۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸۴	۰/۰۴۱	۰/۱۷۵	۰/۰۵۸	۰/۰۲۶	۰/۰۱۳	۰/۳۴۵	۹۷/۸۲
کارایی	۰/۰۱۹	۰/۲۸۶	۰/۵۹۴	۰/۰۹۴	۰/۰۰	۰/۵۳۷	۰/۵۲۶	۰/۸۵۳	۰/۳۷۱	۰/۹۲۸	۰/۷۵	۰/۱۹۶	۸۰/۰۷

تحلیل واریانس ANOVA یا (Analysis of Variance) و اعتبارسنجی مدل به عنوان یک ابزار آماری قدرتمند، به محققان امکان می‌دهد تا تأثیر هر یک از عوامل مؤثر بر مقاومت فشاری و کارایی بتن را به‌طور مجزا و در تعامل با یکدیگر ارزیابی کنند. این تحلیل، همچنین به تعیین میزان معناداری تأثیر هر عامل و شناسایی عواملی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت بتن دارند، کمک می‌کند. با انجام تحلیل واریانس، می‌توان به شناخت عمیق‌تری از اثرات ترکیبات مختلف بتن دست یافت و نتایج حاصل از آن را برای بهینه‌سازی طرح‌های اختلاط به کار برد. در این تحلیل، ۵ سطح جایگزینی به عنوان متغیر مستقل (فاکتورهای آزمایش شامل S، P، RC و RP) در نظر گرفته شده است (جدول ۵) که در آن عوامل S، RC و RP به عنوان عوامل تأثیرگذار در فرآیند پاسخ مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه شناسایی شدند، در حالی که عوامل S و RC تأثیر قابل‌توجهی بر فرآیند پاسخ عملکرد بتن داشتند.

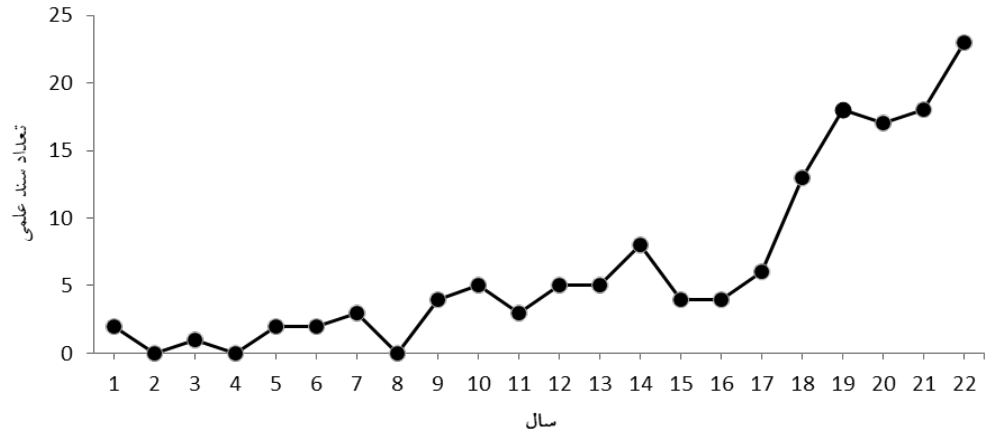
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

جدول ۵- مقادیر p در تحلیل واریانس ANOVA برای فاکتورهای موجود

ردیف	فاکتور مورد نظر	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	کارایی
۱	S	۰/۰۲٤	۰/۰۳۱	۰
۲	G	۰/۰۹۲	۰/۱۹۲	۰/۱۵۸
۳	RP	۰/۰۱۹	۰/۰۲٤	۰/۲۱۱
٤	RC	۰/۰۳۳	۰/۰۱	۰/۰۱۳

با توجه به جستجوی ترکیبی از این سه مجموعه کلمات کلیدی، ۱۴۳ مقاله مرتبط پیدا شده‌اند. سپس، با وارد کردن این داده‌ها به نرم‌افزار مربوطه، شبکه‌های همکاری میان پژوهشگران، مؤسسات و کشورهای مختلف بررسی شد. این تحلیل به شناسایی مناطق جغرافیایی و محققانی که دارای بیشترین سهم در این زمینه هستند، کمک کرد. علاوه بر این، تحلیل کلمات کلیدی انجام شد تا روندهای اصلی پژوهشی و تمرکزهای موضوعی در رابطه با استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن طی این دوره شناسایی گردد.

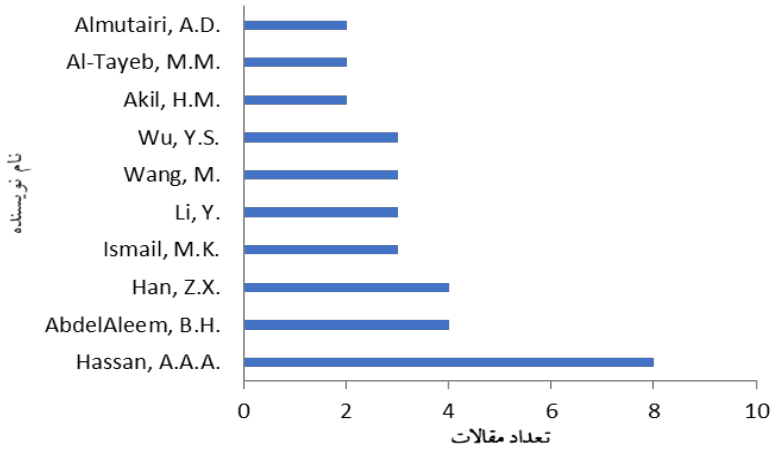
شکل ۶ تعداد مقالات یا اسناد علمی منتشر شده را در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۴ نمایش می‌دهد.



شکل ۶- تعداد سندهای علمی بر حسب سال

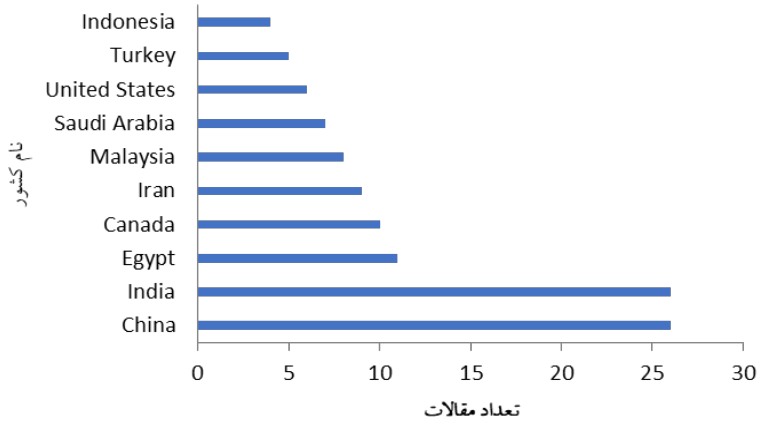
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

در شکل ۷، پژوهشگرانی که در این موضوع تعداد مقالات بیشتری دارند نشان داده شده است.



شکل ۷- مقایسه نویسندگان از نظر تعداد مقالات چاپ شده در موضوع

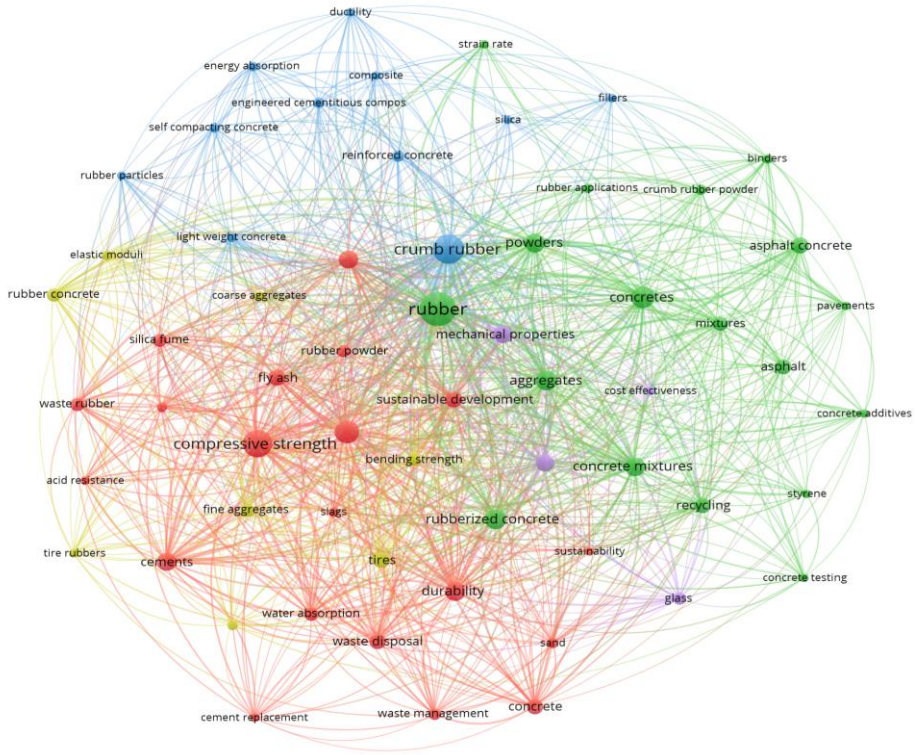
شکل ۸، به مقایسه فعالیت‌های پژوهشی کشورهای مختلف بر حسب موضوعات مورد اشاره در این پژوهش پرداخته است.



شکل ۸- تعداد سندهای علمی بر حسب نام کشورها

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

شکل ۹، یک تحلیل شبکه کلمات کلیدی مرتبط با موضوع استفاده از لاستیک در بتن را نشان می‌دهد.



شکل ۹- تحلیل شبکه کلمات کلیدی مرتبط با موضوع

بحث

در این بخش، نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها و تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار گرفته و با یافته‌های موجود در ادبیات تحقیق مقایسه شده‌اند. هدف اصلی این بخش، تفسیر معناداری داده‌ها، شناسایی روندهای مهم و ارائه توضیحات منطقی برای مشاهدات به‌دست آمده است. در ابتدا، تأثیر استفاده از لاستیک ضایعاتی بر مقاومت فشاری و کارایی بتن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، نشان‌دهنده کاهش مقاومت فشاری بتن در سنین ۷ و ۲۸ روزه به دلیل افزودن لاستیک به مخلوط بتن است. این کاهش، به‌دلیل کم شدن محتوای سنگدانه‌های معدنی (که توسط پودر لاستیک و خرده لاستیک جایگزین شده‌اند) و همچنین مقاومت کمتر لاستیک نسبت به سنگدانه‌های معمولی است. مطالعات نشان می‌دهد که علت اصلی این کاهش، ماهیت نرم لاستیک است که توانایی آن در انتقال و تحمل بار را نسبت به سنگدانه‌های معدنی کاهش می‌دهد. این ویژگی لاستیک، سبب افزایش تغییر شکل ذرات درون مخلوط و کاهش یکپارچگی ساختاری بتن می‌شود. علاوه بر این، چسبندگی ضعیف میان لاستیک و خمیر سیمان و

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

همچنین جایگزینی سنگدانه‌های مقاوم با ذرات نرم لاستیک، عواملی هستند که به کاهش مقاومت کمک می‌کنند. بنابراین، بهینه‌سازی فرآیندهای اختلاط و استفاده از فناوری‌هایی مانند اصلاح سطح لاستیک می‌تواند راه‌حلی برای بهبود خواص مکانیکی بتن باشد (۱۸، ۲۴). بنابراین، کیفیت سنگدانه‌های بازیافتی نقش مهمی در کارایی و خواص مکانیکی بتن‌های بازیافتی ایفا می‌کند و عملکرد آن را به‌طور قابل توجهی با بتن معمولی متفاوت می‌نماید (۲۵). نسبت پواسون بالای لاستیک نیز می‌تواند عامل دیگری باشد که با ایجاد تنش‌های کششی جانبی در بتن اطراف ذرات لاستیک، به کاهش مقاومت کمک می‌کند (۱۸، ۲۶-۲۸). در این زمینه پیشنهاد می‌شود که به‌منظور کاهش اثرات منفی افزودن لاستیک بر مقاومت فشاری، از افزودنی‌های شیمیایی یا فناوری‌های نوین مانند اصلاح سطح لاستیک (مانند اکسیداسیون یا پوشش‌دهی) استفاده شود. چنین راهکارهایی می‌تواند سبب چسبندگی بهتر لاستیک و خمیر سیمان شده و عملکرد مکانیکی بتن بهبود یابد.

یکی از بخش‌های کلیدی تحلیل، بررسی نمودار اثرات اصلی بود که نشان‌دهنده تأثیر هر یک از عوامل بر ویژگی مورد مطالعه است. این نمودارها به وضوح نشان می‌دهند که چگونه تغییر در سطوح مختلف عوامل، منجر به تغییرات معنادار در یک ویژگی خاص شده است. یکی از مزایای کلیدی روش S/N این است که امکان شناسایی سطوح بهینه و کارایی پارامترها را فراهم می‌کند. به منظور افزایش مقادیر مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه و همچنین کارایی بتن، فاکتورهای G و S، در بالاترین سطح خود، تنظیم شدند. همانطور که مشخص است، فاکتور RP، دارای بیشترین تاثیر و فاکتور G، دارای کمترین تاثیر بر پاسخ‌ها است. همچنین نمودار تاثیر اصلی مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه نشان می‌دهد که بهترین اثر برای کلیه فاکتورها، در سطح ۱ بوده که بیانگر بالاتر بودن میزان مقاومت‌های فشاری در عدم جایگزینی RP و RC با S و G است. نمودار تاثیر اصلی کارایی بتن نشان می‌دهد که بهترین اثر برای کلیه فاکتورها، در سطح ۴، اتفاق افتاده است که نشان می‌دهد استفاده از RP و RC در سطح ۴، می‌تواند سبب افزایش کارایی بتن گردد. مطابق نتایج به دست آمده شرایط بهینه برای دستیابی به بالاترین مقادیر مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه در سطح ۱ و بالاترین کارایی در سطح ۴ است. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از RP و RC در سطوح پایین تأثیر مثبتی بر مقاومت فشاری بتن دارد که مطابق با یافته‌های پژوهش Jalilifar و همکار است که تأثیر مواد بازیافتی بر افزایش پیوستگی خمیر سیمان و کاهش تخلخل بتن را گزارش کرده‌اند (۲۹). در مقابل، افزایش سطح RP و RC منجر به بهبود کارایی بتن می‌شود، مشابه با نتایج مطالعه Fakhri و همکاران که این امر را به افزایش روانی خمیر و کاهش انسداد سنگدانه‌ها نسبت داده است (۳۰). از دیدگاه محیط زیستی، جایگزینی RP و RC می‌تواند به کاهش مصرف منابع طبیعی و مدیریت بهینه پسماندها کمک کند. این موضوع به‌ویژه در راستای اهداف توسعه پایدار اهمیت دارد و می‌تواند در پروژه‌های ساخت و ساز پایدار به‌کار گرفته شود. محدودیت این پژوهش در بررسی کوتاه‌مدت عملکرد بتن است. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده تأثیر این جایگزینی‌ها را بر دوام بلندمدت بتن در شرایط محیطی مختلف ارزیابی کنند

از سوی دیگر و با توجه به نتایج به دست آمده از مدل رگرسیونی، مقادیر $p<0/05$ (در نظر گرفتن احتمال ۹۵ درصد) نمایانگر اهمیت و تاثیر فاکتورهای مورد استفاده در این مطالعه است. مهمترین فاکتورها در دستیابی به بالاترین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه و همچنین کارایی مطلوب، با خط زیرین در جدول ۴ بخش یافته‌ها، نمایش داده شده بود. در این مدل مقادیر S، RP و RC به عنوان فاکتورهای موثر در میزان مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه مشخص شد که با نتایج تحقیقات Emara و همکاران تطابق دارد (۳۱). به‌ویژه، عوامل مربعی مانند G^2 و RP^2 برای مقاومت فشاری ۷ روزه مهم بودند، در حالی که عوامل RP^2 و اثرات تعاملی مانند S×RP وS×RC برای مقاومت فشاری ۲۸ روزه، موثر بودند. در تحلیل عوامل مربعی، فاکتور G^2 با p برابر با ۰/۰۴۹ برای مقاومت فشاری

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

۷ روزه به سختی به سطح معناداری رسیده است. این نشان می‌دهد که نقش این عامل مربعی با توجه به نتایج آزمایش، به‌ویژه در مراحل اولیه، قابل توجه است و می‌تواند نشان‌دهنده روابط غیرخطی در تاثیرگذاری G باشد. اگرچه RP^2 برای مقاومت فشاری ۷ روزه تأثیر معناداری دارد (p برابر با ۰/۰۴۶)، اما در سایر زمان‌ها این تأثیر به مرز معناداری نزدیک است. در تحلیل کارایی بتن، فاکتور S به‌عنوان مهمترین عامل مؤثر شناسایی شد، به‌طوری که p برابر با ۰/۰۱۹ نشان می‌دهد که تغییرات در مقدار S به‌طور مستقیم بر روانی و قابلیت کار بتن اثر می‌گذارد. همچنین، عامل مربعی S^2 با p برابر با ۰/۰۰، نشان‌دهنده تأثیر غیرخطی این فاکتور است، به این معنی که تغییرات بزرگ‌تر در مقدار S تأثیر قابل‌توجه‌تری بر کارایی خواهد داشت. سایر عوامل مانند G، RP، و عوامل تعاملی تأثیر معناداری بر کارایی نداشتند، که نشان‌دهنده آن است که این عوامل نقش مهمی در روانی بتن ایفا نمی‌کنند. بنابراین، در این مدل، فاکتور S به‌عنوان فاکتور کلیدی برای دستیابی به کارایی مطلوب بتن مشخص شد. مدل غیرخطی ممکن است ناشی از ماهیت پیچیده‌تر واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی بتن باشد که در روزهای اولیه بیشتر نمایان می‌شود. وجود اثرات تعاملی، نشان‌دهنده تأثیر متفاوت یک عامل در سطوح مختلف عامل دیگر است که پیچیدگی روابط درون مدل را برجسته می‌کند. علاوه بر این، عامل S به‌عنوان یک عامل کلیدی در اثربخشی بتن در مدل ظاهر شد و اهمیت آن در دستیابی به نتایج مطلوب را بیشتر نشان داد.

مطالعه حاضر نشان داد که عوامل S، RC و RP به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه شناسایی شدند. همچنین نشان داده شد که عوامل S و RC به‌طور معناداری بر کارایی بتن تأثیرگذار هستند. نتایج تحلیل واریانس تأیید می‌کند که مدل رگرسیونی به‌درستی طراحی شده و تأثیر قابل‌توجهی بر پاسخ‌های مقاومت فشاری و کارایی بتن دارد. به منظور اطمینان از درستی نتایج مدل، مقادیر ضریب همبستگی (R^2) و آنالیز واریانس توسط نرم‌افزار مینی‌تب بررسی شدند. مقادیر (R^2) برای مقاومت فشاری ۷ روزه، ۲۸ روزه و کارایی به ترتیب ۹۲/۴۱، ۹۷/۸۲ و ۸۰/۰۷ درصد تعیین شدند، که اعتبار بالای مدل را نشان می‌دهد. این مقادیر بیان می‌کنند که معادله رگرسیون به‌خوبی داده‌های مشاهده شده را تقریب می‌زند و به مدل اجازه می‌دهد تا مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روز و همچنین کارایی بتن را با دقت پیش‌بینی کند.

از سوی دیگر، تحلیل علم‌سنجی انجام شده در این مطالعه، روندهای رو به رشد و موضوعات کلیدی در حوزه بتن حاوی لاستیک ضایعاتی را برجسته می‌کند. این تحلیل‌ها به درک عمیق‌تر از پیشرفت علمی، شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی، و تعیین اولویت‌های پژوهشی در این زمینه کمک کرده است (۲۱). در سال‌های ابتدایی (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰) تعداد مقالات منتشر شده بسیار اندک و تقریباً ثابت بوده است. از سال ۲۰۱۱ به بعد، به‌ویژه پس از سال ۲۰۱۸، افزایش قابل‌توجهی در تعداد مقالات مشاهده می‌شود (۳۲). بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ شاهد رشد چشمگیری بوده که احتمالاً ناشی از افزایش توجه علمی به این حوزه یا ظهور مسائل و چالش‌های جدید در استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن است. به‌طور خاص، سال‌های ۲۰۲۱ و پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۵ به‌عنوان دو نقطه اوج در روند انتشارات علمی مشخص شده‌اند. اگرچه این دوره‌ها شاهد رشد کلی بوده‌اند، اما نوساناتی در تعداد مقالات مشاهده می‌شود که می‌تواند به تغییرات در تمرکز موضوعات تحقیقاتی یا عوامل محدودکننده خاص مرتبط باشد. به‌طور کلی، این روندها نشان می‌دهند که در چند سال اخیر، به‌ویژه از سال ۲۰۱۹ به بعد، توجه به استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن به‌طور چشمگیری افزایش یافته است و انتظار می‌رود این روند در آینده ادامه یابد (۲۵، ۳۲).

محققینی که در این موضوع تعداد مقالات بیشتری دارند نشان داده شده است. "Hassan, A.A.A." با انتشار بیشترین تعداد مقالات (تقریباً ۸ مقاله)، نویسنده برتر که دارای بیشترین سهم در این مجموعه است. نویسندگان بعدی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

"AbdelAleem, B.H." و "Han, Z.X." به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند و هر کدام حدود ۳ تا ۴ مقاله منتشر کرده‌اند. اکثر نویسندگان دیگر مانند "Ismail, M.K." و "Li, Y."، "Wang, M." و "Wu, Y.S." نیز حدود ۲ تا ۳ مقاله منتشر کرده‌اند. این نمودار به وضوح تفاوت تعداد مقالات منتشر شده توسط نویسندگان مختلف را نشان می‌دهد. نویسنده اول با اختلاف قابل توجهی بیشترین تعداد مقالات را دارد، در حالی که بقیه نویسندگان تقریباً مقالات مشابهی منتشر کرده‌اند. به طور کلی، این نمودارها کمک می‌کنند تا نویسندگان کلیدی را در این حوزه پژوهشی شناسایی و برای همکاری یا مطالعه بیشتر بر روی مقالات آنها تمرکز کرد.

چین و هند با بیش از ۲۵ مقاله، در صدر کشورهای فعال در زمینه تحقیقات مربوط به بتن حاوی لاستیک ضایعاتی قرار دارند. این آمار نشان‌دهنده فعالیت پژوهشی گسترده و تمرکز ویژه این دو کشور بر این حوزه است. در جایگاه‌های بعدی، مصر و کانادا به ترتیب با حدود ۱۱ و ۱۰ مقاله قرار دارند، که سهم قابل‌توجهی در انتشار مقالات علمی مرتبط دارند. کشورهای ایران، مالزی و عربستان سعودی نیز هر کدام حدود ۷ تا ۹ مقاله منتشر کرده‌اند، که نشان‌دهنده مشارکت قابل‌توجه کشورهای خاورمیانه و جنوب شرق آسیا در این حوزه است. ایالات متحده با تقریباً ۶ مقاله و ترکیه با حدود ۵ مقاله، اگرچه سهم کمتری نسبت به کشورهای چین و هند دارند، اما همچنان حضور علمی قابل توجهی در این زمینه دارند. اندونزی با حدود ۴ مقاله در این نمودار دیده می‌شود و در میان ۱۰ کشور برتر قرار دارد. این روند نشان می‌دهد که کشورهای مختلف، از جمله کشورهای در حال توسعه، به طور فزاینده‌ای به اهمیت استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن توجه کرده و در این حوزه مشارکت داشته‌اند

این تحلیل، رابطه و همبستگی بین کلمات کلیدی مختلف را بر اساس مقالات منتشر شده در این زمینه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۴ به تصویر می‌کشد. این شکل، خوشه های رنگین را در شبکه نشان می‌دهد که هر کدام بیانگر یک گروه از کلمات کلیدی مرتبط هستند. خوشه سبز بیشتر به موضوعاتی مانند "Rubber Crumb"، "Rubber Powder"، "Concrete" و "Stability" می‌پردازد. این خوشه نشان‌دهنده استفاده گسترده از پودر لاستیک و خرده لاستیک در بتن و بررسی اثرات محیط زیستی و اقتصادی آن است. خوشه قرمز، شامل موضوعاتی مانند "Compressive Strength"، "Silica" و "Fly Ash" است. این موضوعات به بررسی تأثیر استفاده از لاستیک در ویژگی‌های مکانیکی بتن، به ویژه مقاومت فشاری می‌پردازد. خوشه زرد، موضوعات مربوط به "Rubberized Concrete" و "Waste Rubber" ر نشان می‌دهد که به تأثیرات بازیافت لاستیک در بتن و کارایی آن مرتبط است. خوشه آبی موضوعاتی مانند "Energy Absorption" و "Self-Compacting Concrete" را شامل می‌شود و به خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بتن‌های خاص مثل بتن‌های خودتراکم و استفاده از لاستیک برای بهبود جذب انرژی و دوام بتن می‌پردازد.

همچنین، کلماتی که با اندازه بزرگ‌تر نمایش داده شده‌اند، از اهمیت بیشتری برخوردارند و تعداد دفعات استفاده از آنها در مطالعات بیشتر بوده است. برای مثال، کلمات "Compressive Strength" و "Rubber" به دلیل حجم زیاد مقالات مرتبط با این موضوعات در مرکز قرار گرفته و بزرگتر هستند. خطوط بین کلمات نشان‌دهنده همبستگی و استفاده مشترک این کلمات در مقالات است. هرچه خطوط بیشتر و قوی‌تر باشند، میزان استفاده مشترک کلمات بیشتر است. برای مثال، ارتباطات قوی بین "Rubber Crumb" و"Rubber Powder"، "Compressive Strength" و "Fly Ash" نشان‌دهنده همبستگی بالای این کلمات در مقالات مختلف است.

در مطالعه‌ای که توسط Lin-Bin و همکاران، انجام شد شبکه هم رخدادی در زمینه بتن بازیافتی به‌عنوان یک هدف تحقیقاتی معرفی شد. تمرکز اصلی در این مطالعه بر کیفیت سنگدانه‌های بازیافتی بود که نقش مهمی در کارایی و خواص مکانیکی بتن بازیافتی، ایفا می‌کند و عملکرد آن را به طور قابل

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

توجهی با بتن معمولی متفاوت می‌کند. واژه کلیدی "Strength"، پراستفاده‌ترین واژه است و پس از آن "Compressive Strength" و "Fly Ash"، در جایگاه‌های بعدی قرار گرفته‌اند، که نشان می‌دهد بحث مقاومت و بخصوص مقاومت فشاری بتن و همچنین بهبود افزودن مواد معدنی فعال بر عملکرد بتن بازیافتی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۵).

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر استفاده از ضایعات لاستیک در بتن و شناخت بهتر خصوصیات مکانیکی آن در محیط آزمایشگاهی انجام شد. نتایج نشان داد که جایگزینی خرده لاستیک و پودر لاستیک به‌عنوان جایگزین مصالح درشت‌دانه و ریزدانه در مخلوط بتن، می‌تواند بر میزان مقاومت فشاری و کارایی بتن تاثیرگذار باشد. بطورکلی وجود سنگدانه‌های لاستیکی، سبب کاهش مقاومت فشاری و افزایش کارایی بتن می‌شوند. به‌ویژه، استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی و تحلیل پاسخ S/N مشخص نمود که برای دستیابی به مقاومت فشاری بالاتر در سنین ۷ و ۲۸ روز، تنظیم فاکتورهای S و G باید در بالاترین سطح تنظیم شوند. علاوه بر این، تحلیل واریانس با ضریب همبستگی بالا (R^2) نشان‌دهنده دقت و اعتبار نتایج به‌دست آمده بود.

تحلیل علم‌سنجی این مطالعه، روند جهانی تحقیقات مرتبط با بتن حاوی لاستیک ضایعاتی را مشخص نمود. نتایج نشان داد که توجه علمی به این حوزه از سال ۲۰۱۱ به طور قابل‌توجهی افزایش یافته است و کشورهایی مانند چین و هند از پیشروان در این حوزه محسوب می‌شوند. تحلیل شبکه کلمات کلیدی نیز بیانگر تمرکز محققان بر موضوعاتی همچون مقاومت فشاری، پایداری محیط زیستی، و عملکرد بتن حاوی لاستیک بوده است. ترکیب تحلیل علم‌سنجی و تحلیل مکانیکی در این مطالعه، ارتباط میان تحقیقات جهانی و یافته‌های عملی را تقویت کرده و شکاف‌های موجود در مطالعات را برجسته ساخته است. اگرچه استفاده از ضایعات لاستیک در بتن به‌عنوان یک راهکار پایدار در مدیریت ضایعات و کاهش اثرات محیط زیستی امیدوارکننده است، چالش‌هایی مانند کاهش مقاومت فشاری همچنان نیازمند مطالعات بیشتری است. به طور کلی، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از لاستیک ضایعاتی در بتن می‌تواند به‌عنوان یک راهکار پایدار در صنعت ساخت‌وساز مطرح شود. با توجه به روند افزایشی تحقیقات و توجه جهانی به مسائل محیط زیستی و پایداری، این حوزه نیازمند توسعه بیشتر است تا با بهینه‌سازی خواص مکانیکی، بتن حاوی لاستیک بتواند کاربردهای گسترده‌تری در پروژه‌های ساختمانی آینده پیدا کند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "بررسی و ارزیابی بتن سبز با استفاده از لاستیک ضایعاتی" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۴۰۱ و کد ۲۸۴۳۳۹۹ (ثبت پایان نامه در سامانه ایرانداک) است که با حمایت موسسه آموزش عالی آفرینش بروجرد اجرا شده است. بدینوسیله از پرسنل محترم آزمایشگاه موسسه، جهت همکاری و مساعدت در کلیه مراحل انجام آزمایش‌ها، تشکر و قدردانی می‌گردد.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

References

1. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA). Total world vehicles in use 2024 [cited 2024 Dec 20]. Available from:https://www.oica.net/total-world-vehicles-in-use-2020/

2. Sienkiewicz M, Kucinska Lipka J, Janik H, Balas A. Progress in used tyres management in the European Union: A review. Waste Management. 2012;32(10):1742-51.

3. Yazdani H, Karrabi M, Ghasmi I, Azizi H, Bakhshandeh GR. Devulcanization of waste tires using a twin-screw extruder: The effects of processing conditions. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2011;17(1):64-69.

4. HC V, N SN, MK J, RP T, P B, VD P, et al. Unraveling Dengue Dynamics: In-Depth Epidemiological and Entomological Analyses in Bengaluru, India. Journal of Tropical Medicine. 2024;2024(1):7247263.

5. Baghaie A. Effect of tire rubber ash enriched municipal waste compost on decreasing spinach Cd concentration (a case study: Arak municipal waste compost). Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(3):401-10 (in Persian).

6. Baghapour MA, Jahed B, Joshani G. Preparation of activated carbon from waste tires and its application in gasoline removal from water. Iranian Journal of Health and Environment. 2013;6(3):377-92 (in Persian).

7. Zarei M, Taghipour H, Hassanzadeh Y. Survey of quantity and management condition of end-of-life tires in Iran: a case study in Tabriz. Journal of Material Cycles and Waste Management. 2018;20:1099-105.

8. Zedler L, Wang S, Formela K. Ground tire rubber functionalization as a promising approach for the production of sustainable adsorbents of environmental pollutants. Science of the Total Environment. 2022;836:155636.

9. Halle LL, Palmqvist A, Kampmann K, Khan FR. Ecotoxicology of micronized tire rubber: Past, present and future considerations. Science of the Total Environment. 2020;706:135694.

10. Kaewunruen S, Li D, Chen Y, Xiang Z. Enhancement of dynamic damping in eco-friendly railway concrete sleepers using waste-tyre crumb rubber. Materials. 2018;11(7):1169.

11. Siddika A, Al Mamun MA, Alyousef R, Amran YM, Aslani F, Alabduljabbar H. Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. Construction and Building Materials. 2019;224:711-31.

12. Meyer C. Concrete and sustainable development. American Concrete Institute (ACI Special Publications). 2002;206:501-12.

13. Belaïd F. How does concrete and cement industry transformation contribute to mitigating climate change challenges?. Resources, Conservation & Recycling Advances. 2022;15:200084.

14. Schneider M, Romer M, Tschudin M, Bolio H. Sustainable cement production—present and future. Cement and Concrete Research. 2011;41(7):642-50.

15. Magagula SI, Lebelo K, Motloung TM, Mokhena TC, Mochane MJ. Recent advances on waste tires: Bibliometric analysis, processes, and waste

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

management approaches. Environmental Science and Pollution Research. 2023;30(56):118213-45.

16. Reda Taha MM, El Dieb AS, Abd El Wahab M, Abdel Hameed M. Mechanical, fracture, and microstructural investigations of rubber concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. 2008;20(10):640-49.

17. Yung WH, Yung LC, Hua LH. A study of the durability properties of waste tire rubber applied to self-compacting concrete. Construction and Building Materials. 2013;41:665-72.

18. Raffoul S, Garcia R, Pilakoutas K, Guadagnini M, Medina NF. Optimisation of rubberised concrete with high rubber content: An experimental investigation. Construction and Building Materials. 2016;124:391-404.

19. Kumar R, Dev N. Mechanical and microstructural properties of rubberized concrete after surface modification of waste tire rubber crumb. Arabian Journal for Science and Engineering. 2022;47(4):4571-87.

20. Haigh R. A decade review of research trends using waste materials in the building and construction industry: a pathway towards a circular economy. Waste. 2023;1(4):935-59.

21. Hadi M, Mesdaghinia A, Nasseri S, Iravani E. A bibliometric analysis on scientific productions of the institute of environmental research of Tehran university of medical sciences. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):589-606 (in Persian).

22. Gokulanathan V, Arun K, Priyadharshini P. Fresh and hardened properties of five non-potable water mixed and cured concrete: A comprehensive review. Construction and Building Materials. 2021;309:125089.

23. Kosmatka S, Panarese W. Mixing water for concrete. Design and control of concrete mixtures. Illinois: Portland Cement Association; 1995. p. 73-78.

24. Zhu Z, Zhou M, Wang B, Xu X. Enhancing permeability and mechanical properties of rubber cement-based materials through surface modification of waste tire rubber powder. Construction and Building Materials. 2024;425:136098.

25. Lin Bin L, Guang Ji Y, Xiao Dong W, Ling M, Xiao Bao Z, Xiao Jian G. A bibliometric review on research progress, interest evolution and future trend in the field of recycled concrete by using CiteSpace (2004–2023). Journal of CO2 Utilization. 2024;83:102826.

26. Eldin NN, Senouci AB. Observations on rubberized concrete behavior. Cement, Concrete, and Aggregates. 1993;15(1):74-84.

27. Karblaie M, Sohrabi MR. Study and comparison of compressive strength of concrete containing crumb rubber and rubber powder with nano silica. Amirkabir Journal of Civil Engineering. 2012;43(2):63-70 (in Persian).

28. Bisht K, Ramana P. Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. Construction and Building Materials. 2017;155:811-17.

29. Jalilifar H, Sajedi SF. Experimental study of some mechanical properties of recycled concrete containing micro-silica, fly ash and natural zeolite.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

Concrete Research. 2019;12(3):121-36.

30. Fakhri M, Amoosoltani E. The effect of reclaimed asphalt pavement and crumb rubber on mechanical properties of roller compacted concrete pavement. Construction and Building Materials. 2017;137:470-84.

31. Emara M, Eid F, Nasser A, Safaan M. Prediction of self-compacting rubberized concrete mechanical and fresh properties using Taguchi method. Journal of Civil and Environmental Engineering. 2018;8(2):1000301.

32. Zakaria MR, Mamat RC, Ramli A. Innovative utilization of recycled rubber waste in construction: A global bibliometric analysis. Journal of Sustainable Teaching and Research Practice (Jurnal Amalan Pengajaran dan Penyelidikan Lestari). 2024;2(1):1-11.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Statistical analysis and bibliometric study of waste rubber utilization in concrete

Garshasb Biranvand[1], Marzie Razavi[2,*], Manizheh Goudarzi[3]

1- Structural Group, Department of Civil Engineering, Afarinesh Higher Education Institute, Boroujerd, Iran
2- Environmental Engineering Group, Department of Civil Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran
3- Mathematic Department, Faculty of Basic Sciences, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 12 October 2024
Revised: 31 December 2024
Accepted: 06 January 2025
Published: 28 May 2025

Keywords: Concrete, Compressive strength, Workability, Waste tires, Bibliometric analysis

***Corresponding Author:**
m.razavi@Tafreshu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: The significant growth in global vehicle usage has introduced various environmental challenges, particularly the management of waste tires. Due to their long decomposition time and the environmental hazards associated with their accumulation, waste tires pose a severe threat to ecosystems. A sustainable approach to mitigating these adverse effects involves the partial replacement of fine and coarse aggregates in concrete with waste tires. However, existing research on the impact of waste tire utilization on the mechanical properties of concrete remains limited, and global trends in this field have not been sufficiently analyzed. This study aims to evaluate the potential of waste tires for improving the mechanical properties of concrete and to analyze global trends in this innovative approach.

Materials and Methods: To assess the effects of crumb and powdered tires on the compressive strength and workability of concrete, the Taguchi experimental design method and analysis of variance (ANOVA) were employed. Additionally, data from the Scopus database were analyzed using VOSviewer software to evaluate research trends and scientific collaborations related to waste tire utilization in concrete.

Results: Using optimal ratios of crumb and powdered tires enables the production of concrete with suitable compressive strength. The coefficients of determination (R^2) for the 7-day compressive strength, 28-day compressive strength, and workability were 92.41%, 97.82%, and 80.07%, respectively. Bibliometric analysis revealed that China and India are leading countries in publishing scientific articles in this field, reflecting a strong research focus on the use of waste tires in concrete.

Conclusion: This study demonstrates that incorporating waste tires into concrete can be an effective approach to enhancing its mechanical properties. However, developing innovative technologies to optimize mixtures and improve the long-term durability of concrete remains crucial. Moreover, the bibliometric results highlight the importance of fostering greater international and multidisciplinary research in this area. Such efforts can contribute to advancing sustainable technologies in the construction industry.

Please cite this article as: Biranvand G, Razavi M, Goudarzi M. Statistical analysis and bibliometric study of waste rubber utilization in concrete. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(1):171-90.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]