

دوفصلنامه علمی کارافن

شماره چهل و پنجم، بهار و تابستان 1398 (صص 168-151)
شاپای چاپی: 2382-9796 شاپای الکترونیکی: 2538-4430
<http://karafan.tvu.ac.ir>

کارافن

ارزیابی ایده استفاده از ضایعات پلاستیکی در تولید بتن با در نظر گرفتن خواص مهندسی

سامان راحت دهمرده*

کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

محمدحسن میرابی مقدم

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ پذیرش نهایی: 1397/05/03

تاریخ دریافت مقاله: 1397/02/03

چکیده

امروزه با توجه به رشد سریع جمعیت، شهرنشینی و صنعتی شدن شهرها روزانه حجم زیادی از ضایعات جامد در کشورهای در حال توسعه تولید می شود و مدیریت این پسماندها به دغدغه‌ای اساسی برای فعالان محیط زیست و مسئولان شهری تبدیل شده است. سهم قابل توجهی از این پسماندها ضایعات پلاستیکی هستند که تنها بخش اندکی از آن‌ها بازیافت می شوند. یکی از راه‌حل‌های جایگزین برای بازیافت غیرمستقیم این ضایعات، استفاده از آن‌ها در تولیدات بتنی است؛ از این رو بررسی خواص مهندسی این بتن ترکیبی، بیش از پیش ضرورت می یابد. در این راستا در مقاله حاضر تلاش شده است تا با ارزیابی داده‌های آزمایشگاهی، تأثیرات افزودن انواع ضایعات پلاستیکی بر خواص بتن تازه و سخت شده مطالعه شود. نتایج پژوهش نشان می دهد اگرچه گنجاندن پلاستیک در بتن سبب ضعف مشخصات مکانیکی می شود، با این حال بتن ترکیبی حاصل می تواند در برخی کاربردهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای به کار گرفته شود و ایده‌ای عملی برای کارآفرینی انگاشته شود.

واژگان کلیدی:

بتن، خواص مکانیکی، ضایعات پلاستیک، کارایی، محیط زیست.

* نویسنده مسئول مکاتبات: Saman.dahmarde@yahoo.com

1. مقدمه

ترکیب‌های مختلفی از پلاستیک در سرتاسر دنیا تولید می‌شوند و مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقدار زیادی از پلاستیک‌های تولیدشده مربوط به رول‌های پلاستیکی مصرفی در صنعت بسته‌بندی مواد، کیسه‌های خرید و زباله، نگهدارنده‌های مایعات، اسباب‌بازی‌ها و سایر محصولات پلاستیکی خانگی، صنعتی و ساختمانی است. گزارش‌ها نشان داده است که پلاستیک‌ها کوچک اما جزء قابل توجهی از ضایعات جاری شهری به شمار می‌آیند [33]. حدود 5-15 درصد حجم ضایعاتی را که به زمین‌های دفن زباله برده می‌شوند، زباله‌های پلاستیکی تشکیل می‌دهند که از میان آن‌ها 69/13 درصد کیسه‌های پلاستیکی و 30/87 درصد انواع دیگر پلاستیک‌ها هستند [36]. محققان اثبات کرده‌اند با توجه به ترکیبات ضایعات پلاستیکی، صدها تا هزاران سال زمان برای تجزیه آن‌ها نیاز است [25]. این امر چالش‌هایی جدی را پیش روی فعالان محیط زیست و مسئولان مدیریت پسماندها قرار می‌دهد. مطالعات سایکیا و بریتو¹ (2012) نشان می‌دهد ضایعات پلاستیکی، قابلیت نفوذپذیری آب در خاک را کاهش می‌دهند و در پی آن، در حاصلخیزی خاک کاملاً اثرگذارند. علاوه بر این، ذرات پلاستیکی خطری جدی برای زیست جانوری در خشکی و آب به شمار می‌آیند. بخش محیط زیست سازمان ملل متحد (UN) در سال 2006 میلادی تخمین زده است در هر مایل مربع از اقیانوس، بیش از 46 هزار تکه پلاستیک شناور وجود دارد و مصرف آن‌ها سبب مرگ تعداد زیادی از پرندگان و پستانداران دریایی می‌شود [32].

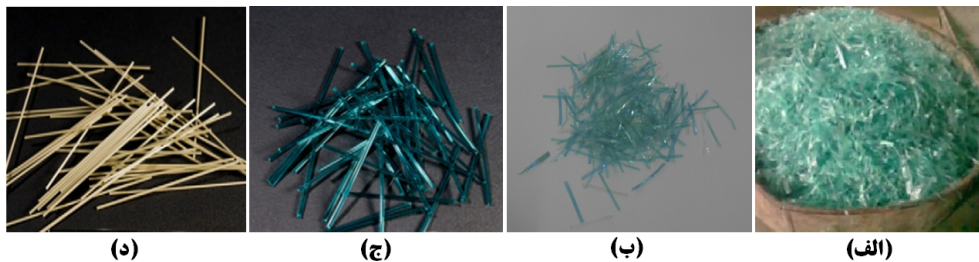
با توجه به کمبود مراکز مناسب بازیافت، بخش قابل توجهی از ضایعات پلاستیکی به زمین‌های دفن زباله یا محل‌های سوزاندن ارسال می‌شوند. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در سال 2010 سهم ضایعات پلاستیکی از کل پسماندهای جامد شهری را حدود 13 درصد تخمین زده بود که تنها بخشی از آن‌ها بازیافت می‌شوند [35]. در مثالی دیگر، میزان تولید ضایعات پلاستیکی در هند تقریباً 65 هزار تن در سال است که سهم شهر دهلی، تولید روزانه 689 تن زباله است و تنها 60 درصد از کل ضایعات پلاستیکی در این شهر بازیافت می‌شوند [4]. در ایران نیز شرایط بازیافت ضایعات پلاستیکی در جایگاه مناسبی قرار ندارد و بنا به اعلام رییس ستاد محیط زیست و توسعه پایدار شهرداری تهران، ایران جزء 10 کشور نخست پرمصرف ظروف پلاستیکی یک‌بارمصرف در جهان است و تنها 9 درصد ضایعات پلاستیکی در ایران بازیافت شده و به چرخه مصرف باز می‌گردند [1]. رشد شهرنشینی و افزایش تولید ضایعات از یک سو و کمبود زمین‌های دفن زباله و معضل‌های زیست‌محیطی از سوی دیگر، محققان را بر

آن داشته تا به دنبال روش‌های جایگزین برای بازیافت ضایعات پلاستیکی باشند. در دو دهه اخیر، امکان استفاده از ضایعات پلاستیکی در انواع بتن و ملات توسط محققان مورد سنجش قرار گرفته است. در حال حاضر، بتن با حدود 25 بیلیون تن در سال، پرمصرف‌ترین مصالحی است که در سرتاسر دنیا در کاربردهای عمرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد [15]. از آنجاکه بین 65 تا 80 درصد حجم بتن را سنگدانه‌های طبیعی تشکیل می‌دهد، می‌توان با مدیریت خوب، بخشی از ذرات پلاستیکی را به‌عنوان جایگزین قسمتی از ریزدانه‌ها یا درشت‌دانه‌ها استفاده کرد [3]. در سال‌های گذشته مطالعات زیادی روی اثرات افزودن انواع مختلف پلاستیک مانند ذرات ریز پلاستیکی [29]، ذرات پلی اتیلن ترفتالات (PET) [3 و 13 و 28]، ضایعات پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE) [21]، ذرات درشت پلاستیکی (PCA) [6 و 20]، الیاف پلی اتیلن [7]، الیاف بطری‌های پلاستیکی [14 و 30] و ضایعات لوله‌های پلی وینیل کلراید معروف به پی‌وی‌سی (PVC) [18]، بر خواص مهندسی بتن انجام شده است. در اشکال 1 و 2 می‌توان نمونه‌هایی از ذرات و همچنین الیاف پلاستیک‌های استفاده‌شده در تحقیقات را مشاهده کرد.



شکل 1. نمونه‌هایی از انواع مختلف ذرات پلاستیکی استفاده‌شده در مطالعات پیشین

الف [11]، ب [31]، ج [29]، د [17]



شکل 2. نمونه‌هایی از انواع مختلف الیاف پلاستیکی استفاده‌شده در مطالعات پیشین

الف [8]، ب [14]، ج [13]، د [14]

1. Polyethylene Terephthalate
3. Plastic Coarse Aggregates

2. High Density Polyethylene
4. Poly Vinyl Chloride

اگرچه در گذشته مطالعاتی در زمینه تأثیر افزودن ضایعات پلاستیکی بر خواص رئولوژیکی و مکانیکی بتن انجام شده است، اما مطالعات مقایسه‌ای گسترده برای بررسی تأثیر انواع مختلف ذرات و الیاف پلاستیک با شکل و اندازه‌های مختلف بر رفتار بتن تازه و سخت شده محدود مانده است. علاوه بر این، به منظور دستیابی به درک مناسبی از نقطه ضعف‌ها و قابلیت‌های بتن حاوی ضایعات پلاستیکی و همچنین تعیین موارد استفاده این بتن ترکیبی در کاربردهای عمرانی، انجام این گونه تحقیقات ضرورت دارد. مقاله حاضر کوشیده است تا تأثیر جایگزینی و افزودن انواع مختلف پلاستیک با ابعاد و اشکال متنوع به بتن را به صورت گسترده مورد ارزیابی قرار دهد. بدین منظور، نتایج تحقیقات آزمایشگاهی مورد توجه قرار گرفته و اثرات ذرات ریز، درشت و همچنین الیاف انواع مختلف پلاستیک بر کارایی بتن تازه و خواص مکانیکی بتن سخت شده با دقت مطالعه شده است. نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل ملاحظه ضایعات پلاستیک بر این خواص هستند که در ادامه بدان پرداخته می‌شود.

2. کارایی بتن تازه

کارایی یکی از ویژگی‌های مخلوط بتن تازه است که یکنواختی و میزان سهولت در مخلوط کردن، جابه‌جایی، ریختن و تراکم بتن در محل نهایی خود بدون جداسازی و ایجاد غیر یکنواختی را سبب می‌شود و به عوامل گوناگونی ارتباط می‌یابد. از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روانی، انسجام و لزجت خمیری بتن تازه علاوه بر نسبت آب به سیمان، می‌توان به مصالح مورد استفاده در آن با توجه به جنس، سایز و شکل آن اشاره کرد. افزودن ذرات پلاستیک به بتن، بر میزان آب مخلوط و کارایی آن اثر می‌گذارد. در این بخش، اثرات جایگزینی و افزودن انواع مختلف ضایعات پلاستیکی بر کارایی بتن تازه بررسی شده است.

2-1. اثرات جایگزینی و افزودن ذرات PET

رحمانی¹ و همکاران (2013) معتقدند ذرات PET در مقایسه با ریزدانه‌های طبیعی، سطح ویژه بیشتری دارند، به همین جهت اصطکاک بیشتری میان ذرات ایجاد می‌شود که بر کارایی مخلوط بتن تازه تأثیر منفی دارد. سایکیا و بریتو (2014) تأثیرات شکل ذرات پلاستیک بر کارایی بتن را ارزیابی کرده‌اند. آن‌ها در تحقیقات‌شان سه شکل مختلف از ذرات پلاستیکی شامل خرده پلاستیک ریزدانه (PF) خرده پلاستیک درشت دانه (PC) و ذرات پلاستیکی کروی شکل (PP) را به کار بردند و سپس نتیجه گرفتند که افزودن ذرات PP اندکی اسلامپ بتن را افزایش می‌دهد، اما افزودن ذرات PF و PC به مخلوط بتن منجر به کاهش شدید اسلامپ می‌شود. باتانه² و همکارانش (2007) گزارش دادند با جایگزینی 20 درصد ضایعات

1. Rahmani
2. Batayneh

2. Bhogayata

پلاستیکی به عنوان بخشی از ریزدانه‌ها، کارایی بتن تا 25 درصد کاهش می‌یابد.

2-2. اثرات جایگزینی و افزودن الیاف پلاستیک

بوگویاتا¹ و همکاران (2012) کاهش کارایی بتن تا 25 درصد را پس از اضافه شدن الیاف پلاستیکی گزارش کرده‌اند. نیبودی² و همکارانش (2013) اثرات الیاف پلاستیک با دو نسبت ابعادی (طول به قطر الیاف) 35 و 50 را روی کارایی بتن مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها الیاف پلاستیکی را به میزان 0-3 درصد وزنی سیمان به مخلوط بتن افزودند و این گونه بیان داشتند که بیشترین اسلامپ اندازه‌گیری شده برای نمونه شاهد، برابر 67 میلی‌متر بوده است، اما برای نمونه‌های حاوی الیاف با نسبت ابعادی 35 و 50 به ترتیب تا 32 و 22 میلی‌متر کاهش یافته است. پراهالادا و پارکاش³ (2013) نیز در همین سال مطالعه‌ای در زمینه اثرات اضافه کردن الیاف پلاستیکی با نسبت‌های ابعادی متفاوت بر روی کارایی بتن انجام دادند و نتیجه گرفتند با افزایش نسبت ابعادی، کارایی کاهش می‌یابد. آن‌ها ضعف در کارایی را به مانع شدن الیاف پلاستیکی از جریان یافتن بتن تازه نسبت داده‌اند.

2-3. اثرات جایگزینی و افزودن ذرات پلاستیکی ریز گلوله‌ای و پولکی شکل

رای⁴ و همکاران (2012) اثرات استفاده از ذرات ریز پلاستیک پولکی شکل در بتن را مطالعه کردند. آن‌ها ذرات پلاستیک را به میزان 5-15 درصد جایگزین ماسه کردند و بیان داشتند با این روش، کارایی بتن تازه تا 37 درصد کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق این پژوهشگران نشان داد افزایش میزان ذرات پلاستیک از 5 به 15 درصد موجب کاهش اسلامپ از 55 میلی‌متر به 32 میلی‌متر می‌شود. در تحقیقاتی دیگر چوی⁵ و همکارانش (2005 و 2009) روی اثرات ذرات پلاستیکی بر خواص اساسی بتن متمرکز شدند و پس از انجام آزمایش‌ها نتیجه گرفتند بافت سطوح دانه‌های پلاستیکی، شکل و همچنین میزان زبری و دندانه‌دار بودن این ذرات، برجسته‌ترین فاکتورهای مؤثر در کارایی بتن هستند و باید حتماً پیش از طراحی بتن‌های حاوی ضایعات پلاستیکی در نظر گرفته شوند.

3. خواص مکانیکی بتن سخت شده

3-1. مقاومت فشاری

مقاومت فشاری یکی از مهم‌ترین خواص مکانیکی بتن و وابسته به دسته‌بندی بتن است. بسیار مهم

2. Nibudey

4. Rai

4. Prahallada & Parkash

6. Choi

است که پیش از استفاده از بتن در مصارف سازه‌ای، مقاومت فشاری بتن معمولی و همچنین بتن حاوی مواد جایگزین را بدانیم. برای پی‌بردن به اثرات افزودن ضایعات پلاستیک با اشکال متفاوت روی مقاومت بتن، مطالعات زیادی توسط محققان صورت گرفته که در ادامه نکات کلیدی آن‌ها ارائه شده است.

3-1-1. اثرات جایگزینی و افزودن ذرات PET

رحمانی و همکاران (2013) مشاهده کردند جایگزینی ذرات PET به میزان 5 درصد، به جای ریزدانه‌های طبیعی می‌تواند مقاومت فشاری بتن را بین 8/86-11/97 درصد به ترتیب برای نسبت‌های آب به سیمان 0/42 و 0/52 افزایش دهد؛ هرچند با ادامه افزایش ذرات PET، به دلیل چسبندگی ضعیف بین مخلوط بتن و ذرات PET، به تدریج مقاومت فشاری بتن به میزان 10-15 درصد کاهش می‌یابد. در حقیقت ذرات PET مانند یک مانع عمل می‌کنند و تا حدودی جلوی چسبیدن خمیر سیمان با سنگدانه‌های طبیعی را نیز می‌گیرند و در نهایت موجب کاهش تدریجی مقاومت بتن می‌شوند. سایکیا و بریتو (2014) تأثیرات شکل ذرات پلاستیک بر خواص مکانیکی بتن را بررسی کردند. آن‌ها در تحقیقات‌شان سه شکل مختلف از ذرات پلاستیکی شامل خرده پلاستیک ریزدانه (PF)، خرده پلاستیک درشت‌دانه (PC) و ذرات پلاستیکی کروی شکل (PP) را مورد استفاده قرار دادند. مطالعات آن‌ها نشان داد مقاومت 28 روزه نمونه‌ها حاوی 5، 10 و 15 درصد ذرات PP مقداری بیشتر، در مقایسه با 75 درصد مقاومت فشاری 28 روزه بتن شاهد است. این کاهش 25 درصدی مقاومت به دلیل درگیری ضعیف سنگدانه‌های طبیعی با ذرات پلاستیکی و همچنین اتصال نامناسب ذرات پلاستیکی با مخلوط بتن است.

3-1-2. اثرات جایگزینی و افزودن الیاف پلاستیکی

بوگویاتا و همکاران (2013) تأثیر افزودن الیاف کیسه‌های پلاستیکی بر خواص مکانیکی بتن را ارزیابی کردند. در این تحقیق، الیاف با اندازه متوسط 1×2 میلی‌متر با نسبت‌های 0، 0/5، 1 و 1/5 درصد به بتن افزوده شدند. نتایج تحقیق کاهش 56 درصدی مقاومت فشاری برای بتن حاوی 1/5 درصد الیاف پلاستیک را نشان داد. این افت بزرگ در مقاومت فشاری، نتیجه حضور الیاف‌های بزرگ در بتن است که مانع تکمیل عملیات هیدراتاسیون مخلوط بتن می‌شود. بوگویاتا و همکاران (2012) تفاوت اثرات افزودن الیاف پلاستیکی را که منظم و دستی خرد شده بودند، بر خواص مکانیکی بتن بررسی کردند. روی هم‌رفته براساس نتایج می‌توان گفت مقاومت بتن آماده شده از الیاف دستی، نسبت به بتن حاوی الیاف منظم خرد شده، افت بیشتری داشته است. آن‌ها نتیجه گرفتند جایگزین کردن

0/6 درصد از حجم بتن با الیاف کیسه‌های پلاستیکی با قطر کمتر از 20 میکرون می‌تواند مقاومت فشاری را تا 30 درصد کاهش دهد و اگر میزان جایگزینی تا 1/2 درصد افزایش یابد، افت مقاومتی به بیش از 50 درصد می‌رسد. این پژوهشگران استفاده از الیاف پلاستیکی با ضخامت کمتر از 20 میکرون را برای تولید بتن‌های غیرسازه‌ای که در آن‌ها مقاومت اولویت اصلی نیست، پیشنهاد دادند. رامادوی و مانجو¹ (2012) مشاهده کردند با افزودن تا 2 درصد الیاف بطری PET به جای ریزدانه‌های طبیعی در بتن، مقاومت فشاری تا 19/23 درصد افزایش یافته و برای مقادیر بیشتر الیاف (4 و 6 درصد) به تدریج کاهش می‌یابد؛ از این رو جایگزین کردن 2 درصد الیاف بطری‌های پلاستیکی به عنوان بخشی از ریزدانه‌ها می‌تواند منطقی و مناسب باشد. مالاگاولی² (2011) نشان داد زمانی که 3/5 درصد الیاف HDPE به بتن افزوده می‌شود، مقاومت فشاری در سنین 7 و 28 روز افزایش می‌یابد که این افزایش برای سن 28 روز، 7/69 درصد است، اما افزودن این الیاف بیش از 3/5 درصد موجب کاهش مقاومت می‌شود.

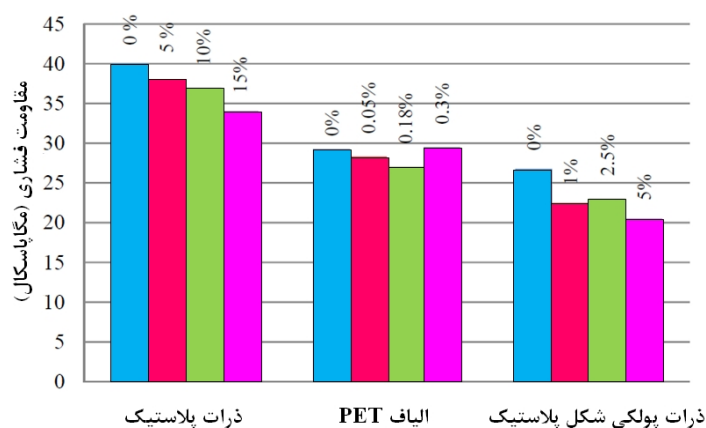
3-1-3. اثرات جایگزینی و افزودن ذرات پلاستیکی ریز گلوله‌ای و پولکی شکل

رای و همکارانش (2012) اثرات ذرات پلاستیکی پولکی شکل بر خواص سخت‌شده بتن را مطالعه کردند. آن‌ها بیان داشتند هنگامی که 15 درصد ذرات پلاستیک به عنوان ریزدانه‌های طبیعی در بتن استفاده می‌شود، مقاومت فشاری به میزان 9/52 درصد کاهش می‌یابد. آنان نیز افت مقاومت را به چسبندگی پایین ذرات پلاستیکی با خمیر سیمان مرتبط دانستند. کوردوبا³ و همکاران (2013) گزارش دادند اندازه مطلوب ذرات پلاستیک PET در بتن، 1/5 میلی‌متر است؛ زمانی که به میزان 25 درصد جایگزین ریزدانه‌های طبیعی می‌شوند. ذرات PET استفاده شده در مطالعه این محققان 0/5، 1/5 و 3 میلی‌متر بوده است که به میزان 1، 2/5 و 5 درصد به صورت حجمی، جایگزین سنگدانه‌های طبیعی شده‌اند. آن‌ها گزارش دادند مقاومت فشاری بتن ساخته شده با PET به مواردی همچون میزان ذرات PET و زمان عمل‌آوری بستگی دارد. نتایج میکروسکوپی نشان می‌دهد مقاومت فشاری بتن زمانی که ذرات ریزتر PET مورد استفاده قرار می‌گیرد، در مقایسه با ذرات درشت روند بهتری دارد. در سال 2012 نیز تحقیقی در زمینه تأثیر اضافه کردن ضایعات پلاستیکی بر خواص مهندسی بتن انجام شده است. در این تحقیق نشان داده شد اضافه کردن 1 درصد ذرات پلاستیک به بتن منجر به کاهش مقاومت 28 روزه در حدود 20 درصد می‌شود [25]. افت مقاومت فشاری بتن حاوی پلاستیک

1. Ramadevi & Manju
3. Cordoba

2. Malagaveli

توسط سایر محققان نیز گزارش شده است. ساگانتی¹ و همکارانش (2013) بیان داشتند با جایگزینی ذرات پلاستیک تا 25 درصد، به تدریج افت مقاومت مشاهده می‌شود، اما برای درصدهای بالاتر، جایگزینی افت مقاومت زیاد و ناگهانی است. برای نمونه در شکل 3 تأثیر افزودن مقادیر متفاوت انواع ضایعات پلاستیک بر مقاومت فشاری قابل مشاهده است.



شکل 3. تأثیر افزایش محتوای ذرات پلاستیکی [32]، الیاف پلاستیکی [23] و ذرات پولکی شکل پلاستیکی [13] بر مقاومت فشاری بتن

به‌طور کلی براساس نتایج به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی این محققان می‌توان نتیجه گرفت، افزودن انواع مختلف ضایعات پلاستیک در شکل‌های متفاوت به بتن موجب کاهش تدریجی مقاومت فشاری می‌شود که در شکل شماره 3 نیز مشاهده می‌شود. علت اصلی این افت مقاومت، ضعف در چسبندگی بین ذرات پلاستیکی و خمیر سیمانی است. هرچند همان‌طور که گفته شد، اندکی از محققان برای درصدهای پایین جایگزینی ضایعات پلاستیک، رشد مقاومت را گزارش داده‌اند، اما جایگزینی و افزودن نسبت‌های بالای ضایعات پلاستیک منجر به کاهش قابل توجه مقاومت فشاری می‌شود و بتن حاصل، دیگر برای مصارف سازه‌ای مناسب نیست و می‌تواند در کاربردهای غیرسازه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

نکته مهم دیگری که باید به آن اشاره کرد، مکانیزم شکست متفاوت نمونه‌های بتنی حاوی ضایعات پلاستیکی در مقایسه با بتن معمولی است. برخلاف بتن معمولی، در اثر تنش‌های فشاری در بتن حاوی ذرات پلاستیک، شکست ترد رخ نمی‌دهد و شکست مکانیزمی شکل‌پذیر را نمایان می‌سازد که این شرایط با افزایش محتوای ذرات پلاستیک در بتن چشمگیرتر است. بتن حاوی ذرات پلاستیک می‌تواند لحظاتی پس از شکست کماکان بار تحمل کند و دیرتر به گسیختگی کامل

برسد [16]. در شکل شماره 4 می‌توان مکانیزم شکست در نمونه‌های بتنی معمولی و حاوی 20 درصد ذرات پلاستیک را مشاهده کرد که جایگزین ماسه شده‌اند.



بتن با ۲۰٪ پلی کربنات بتن با ۲۰٪ پلی اتیلن ترفنالات بتن معمولی

شکل 4. مقایسه مکانیزم شکست بتن معمولی و بتن‌های حاوی 20 درصد ذرات پلاستیکی [16]

3-2. مقاومت کششی

مقاومت کششی بتن به‌منظور درک رفتار بتن تحت تنش‌های کششی استفاده می‌شود و تعیین آن به صورت مستقیم دشوار است. به همین دلیل، رفتار بتن در کشش با انجام آزمایش غیرمستقیم سنجیده می‌شود. این آزمایش روش مناسبی برای استخراج مقاومت کششی بتن است. این بخش بر اثرات افزودن و جایگزینی ضایعات پلاستیک بر مقاومت کششی بتن متمرکز شده است.

3-2-1. اثرات جایگزینی و افزودن ذرات PET

رحمانی و همکارانش (2013) گزارش دادند با افزایش محتوای ذرات ضایعات پلاستیک، مقاومت کششی بتن به دلیل اثرات منفی سطوح صاف ذرات پلاستیک بر اتصال میان این ذرات و خمیر سیمان، کاهش می‌یابد. سایکیا و بریتو (2014) نیز نتیجه‌گیری مشابهی داشتند و بیان داشتند هنگامی که ذرات PET در مخلوط بتن افزایش می‌یابد، مقاومت کششی به میزان قابل ملاحظه‌ای افت می‌کند. از آنجاکه پلاستیک تقریباً جذب آبی ندارد، این محققان یکی از دلایل اصلی ضعف چسبندگی بین ذرات پلاستیک و خمیر سیمان را به آب جذب‌نشده موجود در سطح این ذرات نسبت داده‌اند.

3-2-2. اثرات جایگزینی و افزودن الیاف پلاستیکی

بوگایاتا و همکارانش (2013) بدین نتیجه رسیدند که افزودن الیاف پلاستیکی تا 1/5 درصد، مقاومت کششی را تا 43 درصد کاهش می‌دهد. در این پژوهش در مجموع 93 نمونه شامل نمونه شاهد و

نمونه‌های حاوی الیاف پلی اتیلن با نسبت‌های 0-1/5 درصد و خاکستر بادی به میزان 0-30 درصد ساخته شده است. حداکثر مقاومت کششی بتن مربوط به نمونه کنترلی، به میزان 3/96 مگاپاسکال بوده که پس از افزودن 1/5 درصد الیاف پلیاستیکی، به 2/26 مگاپاسکال کاهش یافته است. افت مقاومت کششی برای نمونه‌های حاوی 0/5 و 1 درصد پلیاستیک ناچیز بوده است. رامادوی و مانجو (2012) بیان داشتند مقاومت کششی برای جایگزینی الیاف PET تا 2 درصد افزایش می‌یابد و پس از آن برای درصدهای بیشتر جایگزینی (4 و 6 درصد) روندی کاهشی را نشان می‌دهد. مالاگولی (2011) مقاومت کششی 7 و 28 روزه بتن حاوی الیاف پلیاستیکی با چگالی بالا (HDPE) را ارزیابی کرد. وی الیاف پلیاستیک را به میزان 0-6 درصد در ساخت نمونه‌ها به کار برد و نتیجه گرفت زمانی که محتوای الیاف پلیاستیک 3/5 درصد است، مقاومت کششی تا 14 درصد رشد می‌کند اما برای نمونه‌هایی با محتوای بیشتر، الیاف پلیاستیک مقاومت کششی روندی نزولی را نشان می‌دهند. نیبودی و همکارانش (2013) اثرات الیاف پلیاستیک با دو نسبت ابعادی (طول به قطر الیاف) 35 و 50 را بر مقاومت کششی بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه این محققان نشان داد مقاومت کششی نمونه شاهد 3/48 مگاپاسکال بوده و با افزودن الیاف پلیاستیکی با نسبت‌های ابعادی 35 و 50 به مقادیر 3/87 و 4/13 مگاپاسکال رسیده است.

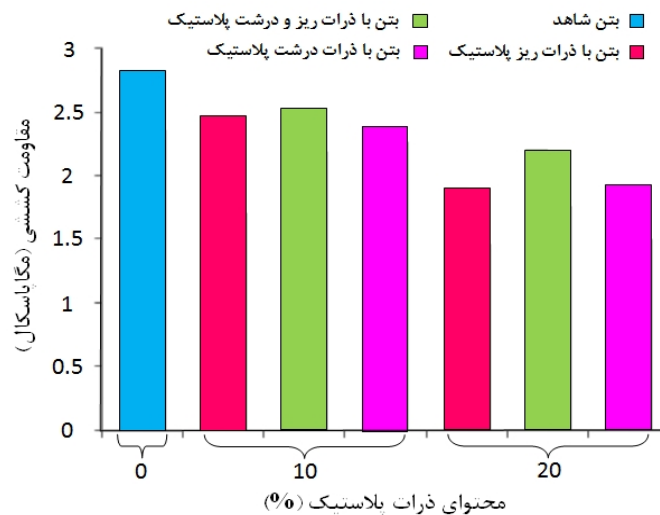
3-2-3. اثرات جایگزینی و افزودن ذرات پلیاستیکی ریز گلوله‌ای و پولکی شکل

رگاتیت¹ (2012) ذرات ریز پلیاستیکی را با نسبت‌های 0، 0/2، 0/4، 0/6، 0/8 و 1 درصد به بتن اضافه کرد و خواص مکانیکی بتن از جمله مقاومت کششی را در سنین 7، 14 و 28 روز مورد سنجش قرار داد. نتایج مقاومت 28 روزه نشان داد مقاومت کششی بتن حاوی 0/8 درصد پلیاستیک در مقایسه با نمونه کنترلی، تا 26 درصد افزایش می‌یابد و برای مقادیر بالاتر روندی کاهشی را نشان می‌دهد. این در حالی است که آلبانو² و همکارانش (2009) افت مقاومت کششی به محض افزودن ضایعات پلیاستیکی به بتن را گزارش کرده‌اند. به‌طور کلی براساس یافته‌های گزارش شده در این تحقیقات، می‌توان نتیجه گرفت مقاومت کششی بتن حاوی ضایعات پلیاستیک تغییر اندکی دارد؛ به شرطی که محتوای پلیاستیک کم باشد، اما اضافه کردن یا جایگزینی مقادیر بیشتر پلیاستیک سبب افت قابل توجه مقاومت کششی در بتن می‌شود. علاوه بر این، مقاومت کششی بتن به شدت تابع عواملی مانند محتوای ضایعات پلیاستیک، اندازه، شکل و همچنین خواص فیزیکی و مکانیکی مواد است. تأثیر ذرات پلیاستیکی با ابعاد ریز و درشت، بر مقاومت کششی بتن را می‌توان در شکل شماره 5 دید. همان‌گونه

1. Raghatate

2. Albano

که مشاهده می‌شود نمونه‌های بتنی که حاوی مخلوطی از ذرات ریز و درشت پلاستیک هستند، افت کمتری را نسبت به سایر نمونه‌ها نشان می‌دهند.



شکل 5. تأثیر ذرات پلاستیکی با ابعاد ریز و درشت بر مقاومت خمشی بتن [2]

3-3. مقاومت خمشی

توانایی یک عضو سازه‌ای در برابر شکست ناشی از خمیدگی، مقاومت خمشی نامیده می‌شود. این مقاومت به وسیله انجام آزمایش بارگذاری 3 یا 4 نقطه‌ای قابل دستیابی است. اثر افزودن و جایگزینی اشکال مختلف پلاستیک روی مقاومت خمشی بتن در این قسمت بحث شده است.

3-3-1. اثرات جایگزینی و افزودن ذرات PET

سایکیا و بریتو (2014) بیان کردند مقاومت خمشی بتن با اضافه شدن ذرات PET کاهش می‌یابد. در این مطالعه، ذرات PET با نسبت‌های 5، 10 و 15 درصد جایگزین مصالح سنگی ریزدانه شده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفتند افزایش محتوای ضایعات پلاستیکی سبب کاهش بیشتر مقاومت خمشی می‌شود. همچنین ذرات پلاستیکی کروی شکل در مقایسه با خرده پلاستیک‌های ریز و درشت، رفتار بهتری در خمش دارند. از سوی دیگر، خرده پلاستیک‌ها با توجه به شکل‌شان، تا حدودی مانع از شکست ترد در خمش می‌شوند.

3-3-2. اثرات جایگزینی و افزودن الیاف پلاستیکی

رای و همکاران (2012) افت مقاومت خمشی را در اثر افزودن الیاف پلاستیکی گزارش کرده‌اند. زمانی که مقدار الیاف اضافه شده در بتن از 5 به 15 درصد افزایش می‌یابد، مقاومت خمشی از 4 مگاپاسکال به 3 مگاپاسکال می‌رسد. افزون بر این، محققان بیان داشتند فوق روان کننده تأثیر چندانی بر مقاومت خمشی ندارد و عامل اساسی مؤثر بر چسبندگی سطح الیاف پلاستیکی با مخلوط بتن است. از سوی دیگر، نتایج حاصل از پژوهش مالاگولی (2011) نشان دهنده افزایش مقاومت خمشی بتن تا 17/47 درصد برای نسبت 3/5 درصد الیاف با چگالی بالا (HDPE) است. این محقق اندازه مناسب برای استفاده در بتن‌های سازه‌ای را میزان 2 درصد الیاف دانسته است. رامادوی و مانجو (2012) نتیجه گرفتند جایگزینی الیاف PET تا 4 درصد به جای ریزدانه‌های طبیعی، مقاومت خمشی بتن را افزایش می‌دهد. ایروان¹ و همکاران (2013) نیز افزایش مقاومت خمشی را برای نمونه حاوی 1 درصد الیاف مشاهده کرده‌اند.

3-3-3. اثرات جایگزینی و افزودن ذرات پلاستیکی ریز گلوله‌ای و پولکی شکل

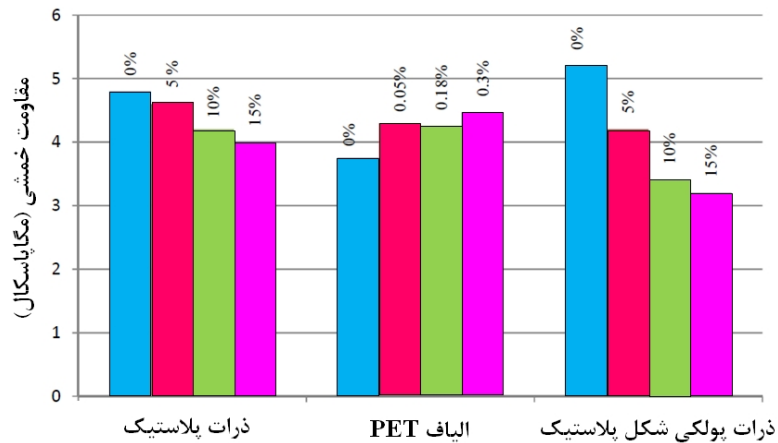
اسماعیل و الهاشمی² (2010) گزارش دادند افزودن 5 و 10 درصد دانه‌های ریز پلاستیکی و 0 تا 50 درصد آهن، مقاومت خمشی نمونه بتنی را افزایش می‌دهد. تغییر در محتوای آهن می‌تواند سبب تغییر خاصیت چسبندگی شود که طبق گفته‌های این محققان به دلیل واکنش‌های پوزولانی است. باتاینه³ و همکاران (2007) و سایکیا و بریتو (2013) در تحقیقاتی جداگانه به این نتیجه رسیدند که ضایعات پلاستیکی سبب کاهش مقاومت خمشی می‌شوند و با افزایش محتوای این ضایعات در بتن، مقاومت خمشی بیشتر افت می‌کند و روندی نزولی را نشان می‌دهد. در شکل شماره 6، روند تغییر مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی در اثر افزودن مقادیر متفاوت ضایعات پلاستیکی با اشکال و اندازه‌های مختلف، حاصل از سه تحقیق آزمایشگاهی ارائه شده است. براساس نتایج گزارش شده می‌توان دریافت مقاومت خمشی بتن به شدت به خواص الاستیک الیاف پلاستیکی و همچنین جذب انرژی خمشی بتن بستگی دارد.

از آنجاکه حداکثر تنش کششی ناشی از خمش، در تارهای بیرونی ایجاد می‌شود، الیافی که در این قسمت قرار می‌گیرند سهم مهمی در تغییر رفتار خمشی نمونه تیر بتنی دارند و باید به آن توجه کرد. به‌طور کلی افزودن و جایگزینی ذرات پلاستیکی ریز و درشت (خرده، گلوله‌ای و پولکی شکل) به بتن، مقاومت خمشی آن را کاهش می‌دهد و با افزایش محتوای ضایعات پلاستیکی افت مقاومت بیشتر

1. Irwan
3. Batayneh

2. Ismail & Alhashemi

می‌شود که در شکل شماره 6 نیز قابل مشاهده است. گفتنی است اضافه کردن الیاف PET در بتن می‌تواند روند متفاوتی را در مقاومت خمشی ایجاد کند و آن را به آرامی افزایش دهد. این روند تغییر مقاومت نیز در شکل شماره 6 مشاهده می‌شود.



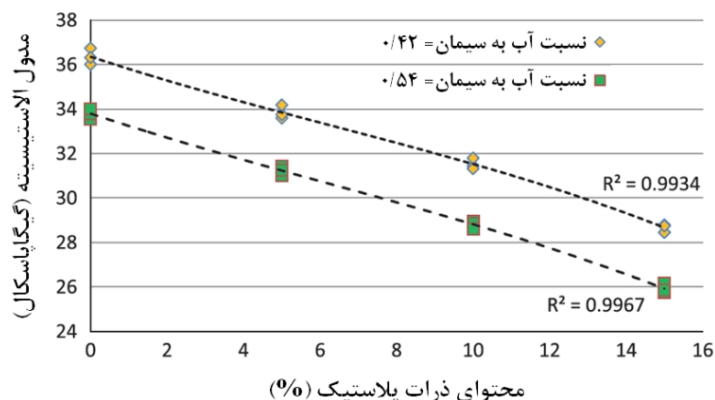
شکل 6. تأثیر افزایش محتوای ذرات پلاستیکی [32]، الیاف پلاستیکی [23] و ذرات پولکی شکل پلاستیکی [29] بر مقاومت خمشی بتن

3-4-3. مدول الاستیسیته

در گذشته مطالعات اندکی روی اثرات ضایعات پلاستیک بر مدول الاستیسیته بتن انجام شده است؛ بنابراین برای ارزیابی مدول الاستیسیته بتن مسلح شده با الیاف پلاستیک، منابع کافی در دسترس نیست. به همین دلیل در ادامه تنها اثرات جایگزینی یا افزودن ذرات انواع مختلف پلاستیک مورد بحث قرار گرفته است.

3-4-1- اثرات جایگزینی و افزودن ذرات PET

رحمانی و همکارانش (2013) بیان داشتند اضافه کردن ذرات PET به بتن سبب کاهش در مدول الاستیسیته بتن می‌شود که این کاهش می‌تواند به تفاوت جنس ذرات پلاستیک با سنگدانه‌های طبیعی و همچنین پایین بودن مدول الاستیسیته ذرات PET نسبت داده شود. آن‌ها اظهار داشتند کاهش مدول الاستیسیته بتن با محتوای ذرات PET اضافه شده، تقریباً رابطه‌ای خطی را نشان می‌دهد که می‌توان آن را در شکل شماره 7 مشاهده کرد. سایکیا و بریتو (2014) نیز گزارش کردند بتن حاوی ذرات ریز و درشت PET مدول الاستیسیته کمتری در مقایسه با بتن معمولی دارد.



شکل 7. روند تغییر مدول الاستیسیته بتن با افزودن مقادیر مختلف ذرات پلاستیکی [28]

3-4-2. اثرات جایگزینی و افزودن ذرات پلاستیکی ریز گلوله‌ای و پولکی شکل

تأثیر استفاده از ذرات پلاستیک با اندازه‌های متفاوت 0/5، 1/5 و 3 میلی‌متر در نسبت‌های 1، 2/5 و 5 درصد بر مدول الاستیسیته بتن، به وسیله کوردوبا¹ و همکاران (2013) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد 28 روز پس از عمل‌آوری نمونه بتنی حاوی ذرات 1/5 میلی‌متری PET با محتوای 2/5 درصد، بیشترین مدول الاستیسیته را داشته است و نمونه حاوی ذرات 3 میلی‌متری PET با محتوای 5 درصد، کمترین مدول الاستیسیته را نشان داده است. متیو² و همکارانش (2013) گزارش کردند مدول الاستیسیته نمونه‌هایی با دانه‌های درشت پلاستیک در مقایسه با نمونه شاهد حاوی درشت‌دانه‌های طبیعی، تا 22/12 درصد کاهش را نشان می‌دهند. کاهش مدول الاستیسیته بتن در اثر افزوده شدن ذرات پلاستیکی توسط محققان دیگری همچون هاناوی³ و همکاران (2010) و چوی⁴ (2009) نیز مشاهده شده است. این محققان بیان داشتند با افزایش محتوای پلاستیک در بتن، مدول الاستیسیته روندی کاهشی را آشکار می‌سازد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت ریزدانه‌ها و درشت‌دانه‌ها نقشی کلیدی در خواص مکانیکی بتن سخت‌شده بازی می‌کنند و تغییر در نوع دانه‌ها از نظر جنس، سایز و محتوا می‌تواند تأثیر مستقیمی بر مدول الاستیسیته بتن داشته باشد. نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که افزودن و جایگزینی ضایعات پلاستیک با هر شکل و اندازه‌ای که باشد منجر به کاهش مدول الاستیسیته بتن می‌شود و هرچه محتوای آن‌ها بیشتر شود، مدول الاستیسیته نیز بیشتر افت می‌کند. دلیل اصلی این اتفاق می‌تواند تفاوت میان جنس دانه‌های طبیعی و ذرات پلاستیک و همچنین پایین بودن مدول الاستیسیته خود ذرات پلاستیکی باشد.

1. Cordoba
3. Hannawi

2. Mathew
4. Choi

3-5. سرعت امواج اولتراسونیک (UPV)

آزمایش غیرمخرب اولتراسونیک به منظور تعیین میزان یکنواختی بتن و ارزیابی کیفیت ساختار درونی بتن، به کار می‌رود. همچنین با این آزمایش می‌توان با دقت مناسبی، مقاومت فشاری بتن را تخمین زد [27و26]. در حال حاضر مطالعات اندکی درباره ارزیابی سرعت امواج اولتراسونیک (UPV) برای بتن‌های حاوی ضایعات پلاستیک در دسترس است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد بتن دارای ذرات پلاستیکی، UPV پایین‌تری دارند که ناشی از توسعه خلل و فرج در بتن است.

رحمانی و همکاران (2013) کاهش UPV را با افزایش محتوای ذرات PET در نمونه‌های بتنی گزارش کردند. افزایش ذرات PET در مخلوط بتن منجر به تولید بتنی با خلل و فرج و منافذ بیشتر می‌شود و به سبب آن ساختار درونی متخلخلی به وجود می‌آید که UPV را کاهش می‌دهد. در ضمن هرچه نسبت آب به سیمان بیشتر باشد، منافذ ناشی از خروج آب‌های مخلوط در حال خشک‌شدن بیشتر می‌شود و در ساختار درونی بتن سخت‌شده، خلل و فرج بیشتری ایجاد می‌شود. از آنجاکه ذرات پلاستیک جذب آب ناچیزی دارند و آب اطراف آن‌ها جذب نمی‌شود، می‌توانند سبب افزایش منافذ در ساختار درونی بتن و کاهش UPV شوند. آلبانو و همکاران (2009) نیز نتایج مشابهی از کاهش سرعت این امواج در بتن‌های حاوی ضایعات پلاستیک گزارش کرده‌اند. عراقی¹ و همکارانش (2015) مطالعه‌ای روی اثرات افزودن ضایعات PET بر خواص دوامی بتن انجام دادند و یکی از آزمایش‌هایشان تعیین سرعت امواج اولتراسونیک بود. آن‌ها ذرات PET را با نسبت‌های 0، 5، 10 و 15 درصد به بتن افزودند و مشاهده کردند بتن حاوی ذرات پلاستیک، دوام بیشتری در محیط‌های اسیدی دارد و نتایج UPV افت کمتر کیفیت را برای بتن حاوی 15 درصد پلاستیک نشان می‌دهد.

4. نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور ارزیابی تأثیر افزودن انواع مختلف ضایعات پلاستیکی بر خواص بتن تازه و سخت‌شده، نتایج آزمایشگاهی جمع‌آوری شد و مورد مطالعه قرار گرفت. در همین راستا، نتایج روانی و اسلامپ برای بررسی کارایی بتن تازه، و نتایج مربوط به آزمایش‌های خواص مکانیکی همچون مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی، مدول الاستیسیته و سرعت امواج اولتراسونیک مد نظر قرار گرفتند. به‌طور کلی بتن حاوی ضایعات پلاستیکی علاوه بر منافع زیست‌محیطی می‌تواند با نسبت‌های معینی از پلاستیک برای کاربردهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای نیز مورد استفاده قرار گیرد. دستاوردهای پژوهش حاضر به شکل خلاصه‌وار بدین شرح است:

1. بتن حاوی ضایعات پلاستیک در مقایسه با بتن معمولی کارایی کمتری دارد و افزایش محتوای پلاستیک، سبب کاهش بیشتر اسلامپ و روانی مخلوط بتن تازه می‌شود؛
2. افزودن ضایعات پلاستیک به بتن منجر به کاهش مقاومت فشاری می‌شود؛ هرچند اندکی از محققان توانسته‌اند با استفاده از برخی افزودنی‌های معدنی و شیمیایی به میزان مناسب، مقاومت بتن مسلح شده با الیاف پلاستیکی را بهبود دهند. بر این اساس، از آنجاکه مقاومت فشاری بتن یکی از معیارهای تأثیرگذار در طراحی ایمن سازه‌هاست، استفاده از بتن‌های حاوی مقادیر بالای ضایعات پلاستیک برای کاربردهای غیرسازه‌ای توصیه می‌شود؛
3. اضافه کردن درصد محدودی از الیاف پلاستیک به بتن می‌تواند بهبود اندکی در مقاومت کششی بتن ایجاد کند که به دلیل کمک الیاف پلاستیکی در اتصال ساختار بتن، تحت کشش است؛
4. مقاومت خمشی بتن با افزودن الیاف پلاستیک به بتن افزایش می‌یابد. ضایعات پلاستیک در بتن همانند مانعی بر سر راه ترک‌ها عمل می‌کنند و موجب تأخیر در انتشار آن‌ها می‌شوند. بر همین اساس، شکل‌پذیری بتن مسلح شده با الیاف پلاستیکی در مقایسه با بتن معمولی بهبود می‌یابد؛
5. مدول الاستیسیته بتن حاوی ذرات ضایعات پلاستیک با هر شکل و اندازه‌ای که باشند، کمتر از بتن معمولی است. با افزایش مقدار پلاستیک در بتن، کاهش مدول الاستیسیته بیشتر می‌شود که از دلایل اصلی آن تفاوت در جنس پلاستیک و سنگدانه‌های طبیعی و همچنین مدول الاستیسیته پایین خود پلاستیک است؛
6. گنجاندن ضایعات پلاستیک در مخلوط بتن سبب ایجاد خلل و فرج بیشتر در ساختار درونی بتن سخت شده می‌شود که در پی آن سرعت امواج اولتراسونیک کاهش می‌یابد، اما تا اندازه مشخصی از پلاستیک، بتن همچنان کیفیت قابل قبول خود را حفظ می‌کند.

منابع

- 1- خبرگزاری میزان (1395)، «میزان بازیافت پلاستیک در ایران»، کد خبر: 198859.
<http://www.mizanonline.com>
- 2- Albano, C.; Camacho, N.; Hernandez, M.; Matheus, A. & Gutierrez, A. (2009), "Influence of content and particle size of per waste bottles on concrete behaviour at different w/c ratio", *Waste Management*, Vol. 29, pp. 2707-2716.
- 3- Araghi, H. J.; Nikbin, I. M.; Reskati, S. R.; Rahmani, E. & Allahyari, H. (2015), "An experimental investigation on the erosion resistance of concrete containing various PET particles percentages against sulfuric acid attack", *Construction and Building Materials*, Vol. 77, pp. 461-471.
- 4- Al-Salem, M. S.; Lettieri, P. & Baeyens, J. (2009), "Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review", *Waste Management*, Vol. 29, pp. 2625-2643.
- 5- Batayneh, M.; Marie, I. & Ibrahim, A. (2007), "Use of selected waste material in concrete mixes", *Waste Management*, Vol. 27, pp. 1870-1876.
- 6- Benosman, A. S.; Mouli, M. T.; Belbachir, H.; Senhadji, M.; Bahlouli, Y. & Houivet, D. L. (2013), "Studies on chemical resistance of PET-mortar composites: microstructure and phase composition changes", *Scientific Research*, Vol. 5, pp. 359-378.
- 7- Bhogayata, A. & Arora, N. K. (2011), "Green concrete from the post consumer plastic wastes: Indian scenario", *ICTSET proceedings*, pp. 437-440.
- 8- Bhogayata, A.; Shah, K. D.; Vyas, B. A. & Arora, N. K. (2012a), "Feasibility of waste metallised polythene used as concrete constituent", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 1, No. 5, pp. 204-207.
- 9- Bhogayata, A.; Shah, K. D.; Vyas, B. A. & Arora, N. K. (2012b), "Performance of concrete by using non Recyclable Plastic waste as concrete constituent", *International Journal of Engineering Advanced Technology*, Vol. 1, No. 4, pp. 1-3.
- 10- Bhogayata, A.; Shah, K. D. & Arora, N. K. (2013), "Strength properties of concrete containing Post consumer metalized plastic wastes", *International Journal of Engineering Research & Technology*, ISSN: 2278-0181, Vol. 2.
- 11- Choi, Y. W.; Moon, D. J.; Chung, J. S. & Cho, S. K. (2005), "Effect of pet waste bottles aggregate on the property of concrete", *Cement Concrete Research*, Vol. 35, pp. 776-781.
- 12- Choi, Y. W.; Moon, D. J.; Kim, Y. J. & Lachemi, M. (2009), "Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles", *Construction Building Materials*, Vol. 23, pp. 2829-2835.
- 13- Cordoba, L. A.; Berrera, G. M.; Diaz, C. B.; Nunez, F. U. & Yanez, A. L. (2013), "Effects on mechanical properties of recycled PET in cement-based composites", *International Journal of Polymer Science*, Article ID 763276, pp. 1-6.
- 14- Foti, D. (2013), "Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete", *Composite Structure*, Vol. 96, pp. 396-404.
- 15- Gursel, A. P.; Masanet, E.; Horvath, A. & Stadel, A. (2014), "Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 51, pp. 38-48.
- 16- Hannawi, K., kamal-Bernard, S. & Prince, W. (2010), "Physical and mechanical properties of mortar containing PET and PC waste aggregate", *Waste Management*, Vol. 30, pp. 2312-2320.
- 17- Ismail, Z. Z. & Al-Hashmi, E. A. (2010), "Validation of using mixed iron and plastic wastes in concrete", *Sustainable Construction Materials and Technologies*, Vol. 2, pp. 278-283.
- 18- Kou, S. C.; Lee, G.; Poon, C. S. & Lai, W. L. (2009), "Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes", *Waste Management*, Vol. 29, pp. 621-628.

- 19- Malagaveli, V. (2011), "Strength characteristics of concrete using solid waste an experimental investigation", *International journal of Earth Science and Engineering*, Vol. 4, pp. 937-940.
- 20- Mathew, P.; Varghese, S.; Paul, T. & Varghese, E. (2013), "Recycled plastics as coarse aggregate for structural concrete", *International journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 2, pp. 687-690.
- 21- Naik, T. R.; Singh, S. S.; Huber, C. O. & Brodersen, B. S. (1996), "Use of post-consumer waste plastic in cement-based composites", *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, pp. 1489-1492.
- 22- Nibudey, R. N.; Nagarnaik, P. B.; Parbat, D. K. & Pande, A. M. (2013), "Strengths prediction of plastic fiber reinforced concrete (M30)", *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Vol. 3, pp. 1818-1825.
- 23- Pelisser, F.; Montedo, R. K. O.; Gleize, J. P. P. & Roman, R. H. (2012), "Mechanical Properties of Recycled PET Fibers in Concrete", *Materials Research*, Vol. 15, No. 4, pp. 679-686.
- 24- Prahallada, M. C. & Parkash, K. B. (2013), "Effect of different aspect ratio of waste plastic fibers on the properties of fiber reinforced concrete-An experimental investigation", *International Journal of Advanced Research in IT and Engineering*, Vol. 2, pp. 1-13.
- 25- Raghatate, A. M. (2012), "Use of plastic in a concrete to improve its properties", *International journal of Advanced Engineering Research and Studies*, Vol. 1, pp. 109-111.
- 26- Rahat Dahmardeh, S.; Mirabi Moghaddam, M. H.; Sargazi Moghaddam, M. S. & Mousavi, S. R. (2015), "Assessment the potential use of milled glass as Portland cement in self compacting concrete", *Applied mathematics in Engineering, Management and Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 345-353.
- 27- Rahat Dahmardeh, S.; Sargazi Moghaddam, M. S. & Mirabi Moghaddam, M. H. (2019), "Effects of waste glass and rubber on the SCC: rheological, mechanical, and durability properties", *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, <https://doi.org/10.1080/19648189.2018.1528891>.
- 28- Rahmani, E.; Dehestani, M.; Beygi, M. H. A.; Allahyari, H. & Nikbin, I. M. (2013), "On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles", *Construction and Building Materials*, Vol. 47, pp. 1302-1308.
- 29- Rai, B.; Rushad, S. T.; Bhavesh, K. R. & Duggal, S. K. (2012), "Study of waste plastic mix concrete with plasticizer", *International Scholarly Research Network*, pp. 1-5.
- 30- Ramadevi, K. & Manju, R. (2012), "Experimental Investigation on the properties of concrete with Plastic PET (Bottle), Fibers as Fine Aggregate", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 2, pp. 42-46.
- 31- Saikia, N. & Brito, J. D. (2012), "Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: a review", *Construction and Building Material*, Vol. 34, pp. 385-401.
- 32- Saikia, N. & Brito, J. D. (2014), "Mechanical properties and abrasion behavior of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate", *Construction and Building Material*, Vol. 52, pp. 236-244.
- 33- Subramanian, M. P. (2000), "Plastics recycling and waste management in the US. Resources", *Conservation and Recycling*, Vol. 28, pp. 253-263.
- 34- Suganthy, P.; Chandrasekar, K. & Sathish, P. K. (2013), "Utilization of pulverized plastic in cement concrete as fine aggregate", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol 2, pp. 1-5.
- 35- Thomas, B. S. & Gupta, R. C. (2016), "A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. Vol. 54, pp. 1323-1333.
- 36- Zhou, C.; Fang, W.; Xu W.; Cao, A. & Wang, R. (2014), "Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 80, pp. 80-86.