Archive of SID

دوفصلنامه علمی کارافن
شماره چهل‌وپنجم، بهار و تابستان 1398 (صص 168-151)
شاپای چاپی: 2382-9796 شاپای الکترونیکی: 2538-4430
http://:karafan.tvu.ac.ir

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

سامان راحت دهمرده *
کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان‌وبلوچستان، زاهدان، ایران

محمدحسن میرابی‌مقدم
استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان‌وبلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: 1397/02/03 تاریخ پذیرش نهایی: 1397/05/03

چکیده

امروزه با توجه به رشد سریع جمعیت، شهرنشینی و صنعتی‌شدن شهرها روزانه حجم زیادی از ضایعات جامد در کشورهای درحال‌توسعه تولید می‌شود و مدیریت این پسماندها به دغدغه‌ای اساسی برای فعالان محیط زیست و مسئولان شهری تبدیل شده است. سهم قابل‌توجهی از این پسماندها ضایعات پلاستیکی هستند که تنها بخش اندکی از آن‌ها بازیافت می‌شوند. یکی از راه‌حل‌های جایگزین برای بازیافت غیرمستقیم این ضایعات، استفاده از آن‌ها در تولیدات بتنی است؛ ازاین‌رو بررسی خواص مهندسی این بتن ترکیبی، بیش از پیش ضرورت می‌یابد. در این راستا در مقاله حاضر تلاش شده است تا با ارزیابی داده‌های آزمایشگاهی، تأثیرات افزودن انواع ضایعات پلاستیکی بر خواص بتن تازه و سخت‌شده مطالعه شود. نتایج پژوهش نشان می‌دهد اگرچه گنجاندن پلاستیک در بتن سبب ضعف مشخصات مکانیکی می‌شود، بااین‌حال بتن ترکیبی حاصل می‌تواند 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 قابل‌توجهی از ضایعات جاری شهری به شمار می‌آیند[33]. حدود 15-5 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 تجزیهٔ آن‌ها نیاز است[25]. این امر چالش‌هایی جدی را پیش روی فعالان محیط زیست و مسئولان مدیریت پسماندها قرار می‌دهد. مطالعات *سایکیا* و بریتو[1] (2012) نشان می‌دهد ضایعات پلاستیکی، قابلیت نفوذپذیری آب در خاک را کاهش می‌دهند و در پی آن، در حاصلخیزی خاک کاملاً اثرگذارند. علاوه‌براین، 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 قابل‌توجهی از ضایعات پلاستیکی به زمین‌های دفن زباله یا محل‌های سوزاندن ارسال می‌شوند. سازمان حفاظت محیط زیست امریکا 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 تُن در سال است که سهم شهر دهلی، تولید روزانه 689 تُن 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 پُرمصرف 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 ازیک‌سو و کمبود زمین‌های دفن زباله و معضل‌های زیست‌محیطی ازسوی‌دیگر، محققان را بر

1. Saikia & Brito

www.SID.ir

Archive of SID

آن داشته تا به دنبال روش‌های جایگزین برای بازیافت ضایعات پلاستیکی باشند.

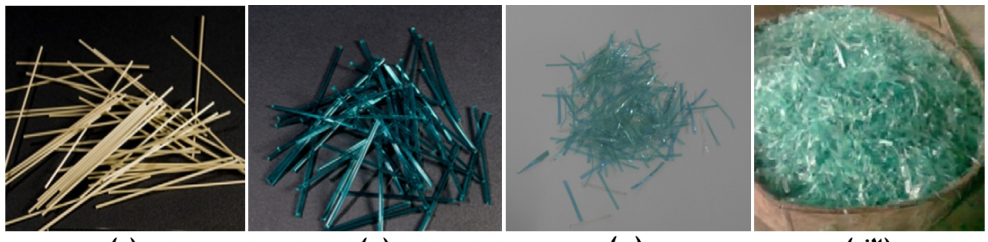
در دو دهه اخیر، امکان استفاده از ضایعات پلاستیکی در انواع بتن و ملات توسط محققان مورد سنجش قرار گرفته است. در حال حاضر، بتن با حدود 25 بیلیون تن در سال، پُرمصرف‌ترین مصالحی است که در سرتاسر دنیا در کاربردهای عمرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد[15]. ازآنجاکه بین 65 تا 80 درصد حجم بتن را سنگدانه‌های طبیعی 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)[1] [3و13و28]، ضایعات پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE)[2] [21]، ذرات درشت پلاستیکی (PCA)[3] [6و20]، الیاف پلی اتیلن [7]، الیاف بطری‌های پلاستیکی [14و30] و ضایعات لوله‌های پلی وینیل کلراید معروف به پی‌وی‌سی (PVC)[4] [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.

(د) (ج) (ب) (الف)

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

الف[11]، **ب**[31]، **ج**[29]، **د**[17]



(د) (ج) (ب) (الف)

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

الف[8]، **ب**[14]، **ج**[13]، **د**[14]

1. Polyethylene Terephthalate
2. High Density Polyethylene
3. Plastic Coarse Aggregates
4. Poly Vinyl Chloride

www.SID.ir

Archive of SID

اگرچه در گذشته مطالعاتی در زمینهٔ 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 سخت‌شده محدود مانده است. علاوه‌براین، 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 این‌گونه تحقیقات ضرورت دارد. مقالهٔ 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. بدین‌منظور، 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 بتنِ سخت‌شده با دقت مطالعه شده است. نتایج نشان‌دهندهٔ تأثیر قابل‌ملاحظهٔ 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 مخلوط‌کردن، جابه‌جایی، ریختن و تراکم بتن در محل نهایی خود بدون جداشدگی 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

رحمانی[1] و همکاران (2013) معتقدند ذرات PET در مقایسه با ریزدانه‌های طبیعی، سطح ویژهٔ 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 خرده‌پلاستیک ریزدانه (PF) خرده‌پلاستیک درشت‌دانه (PC) و ذرات پلاستیکی کروی‌شکل (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. *باتانه*[2] و همکارانش (2007) گزارش دادند با جایگزینی 20 درصد ضایعات

1. Rahmani
2. Batayneh

2. Bhogayata

www.SID.ir

Archive of SID

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

2-2. اثرات جایگزینی و افزودن الیاف پلاستیک

بوگویاتا[1] و همکاران (2012) کاهش کارایی بتن تا 25 درصد را پس از اضافه‌شدن الیاف پلاستیکی گزارش کرده‌اند. *نیبودی*[2] 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 3-0 درصدِ وزنی سیمان به مخلوط بتن افزودند و این‌گونه بیان داشتند که بیشترین اسلامپ اندازه‌گیری‌شده برای نمونهٔ 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 *پارکاش*[3] (2013) نیز در همین سال مطالعه‌ای در زمینه اثرات اضافه‌کردن 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 مانع‌شدن الیاف پلاستیکی از جریان‌یافتن بتن تازه نسبت داده‌اند.

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

رای[4] و همکاران (2012) اثرات استفاده از ذرات ریز پلاستیک پولکی‌شکل در بتن را مطالعه کردند. آن‌ها ذرات پلاستیک را به میزان 15-5 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 چوی[5] 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 دندانه‌داربودن 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 سخت‌شده

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

www.SID.ir

Archive of SID

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 11/97-8/86 درصد به ترتیب برای نسبت‌های آب به سیمان 0/42 و 0/52 افزایش دهد؛ هرچند با ادامهٔ افزایش ذرات PET، به دلیل چسبندگی ضعیف بین مخلوط بتن و ذرات PET، به‌تدریج مقاومت فشاری بتن به میزان 15-10 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 خرده‌پلاستیک ریزدانه (PF)، خرده‌پلاستیک درشت‌دانه (PC) و ذرات پلاستیکی کروی‌شکل (PP) را مورد استفاده قرار دادند. مطالعات آن‌ها نشان داد مقاومت 28 روزهٔ نمونه‌ها حاوی 5، 10 و 15 درصد ذرات PP مقداری بیشتر، در مقایسه با 75 درصد مقاومت فشاری 28 روزهٔ 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 2×1 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، نتیجهٔ 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. روی‌هم‌رفته براساس نتایج می‌توان گفت مقاومت بتن آماده‌شده از الیاف دستی، نسبت به بتن حاوی الیاف منظم خردشده، افت بیشتری داشته است. آن‌ها نتیجه گرفتند جایگزین‌کردن

www.SID.ir

Archive of SID

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.

رامادِوی و *مانجو*[1] (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) به‌تدریج کاهش می‌یابد؛ ازاین‌رو جایگزین‌کردن 2 درصد الیاف بطری‌های پلاستیکی به‌عنوان بخشی از ریزدانه‌ها می‌تواند منطقی و مناسب باشد. *مالاگاولی*[2] (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 پولکی‌شکل

رای و همکارانش (2012) اثرات ذرات پلاستیکی پولکی‌شکل بر خواص سخت‌شدهٔ بتن را مطالعه کردند. آن‌ها بیان داشتند هنگامی که 15 درصد ذرات پلاستیک به‌عنوان ریزدانه‌های طبیعی در بتن استفاده می‌شود، مقاومت فشاری به میزان 9/52 درصد کاهش می‌یابد. آنان نیز افت مقاومت را به چسبندگی پایینِ ذرات پلاستیکی با خمیر سیمان مرتبط دانستند. *کوردوبا*[3] و همکاران (2013) گزارش دادند اندازهٔ مطلوب ذرات پلاستیک PET در بتن، 1/5 میلی‌متر است؛ زمانی که به میزان 25 درصد جایگزین ریزدانه‌های طبیعی می‌شوند. ذرات PET استفاده‌شده در مطالعهٔ 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 ساخته‌شده 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.

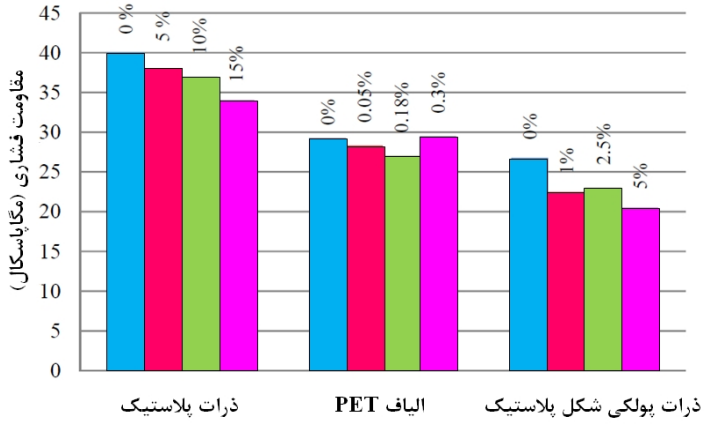
در سال 2012 نیز تحقیقی در زمینه تأثیر اضافه‌کردن ضایعات پلاستیکی بر خواص مهندسی بتن انجام شده است. در این تحقیق نشان داده شد اضافه‌کردن 1 درصد ذرات پلاستیک به بتن منجر به کاهش مقاومت 28 روزه در حدود 20 درصد می‌شود[25]. افت مقاومت فشاری بتن حاوی پلاستیک

1. Ramadevi & Manju
2. Malagaveli
3. Cordoba

www.SID.ir

Archive of SID

توسط سایر محققان نیز گزارش شده است. *ساگانتی*[1] و همکارانش (2013) بیان داشتند با جایگزینی ذرات پلاستیک تا 25 درصد، به‌تدریج 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 قابل‌مشاهده است.



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

به‌طورکلی براساس نتایج به‌دست‌آمده 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 قابل‌توجه مقاومت فشاری می‌شود و بتن حاصل، دیگر برای مصارف سازه‌ای مناسب نیست و می‌تواند در کاربردهای غیرسازه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

نکتهٔ 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 بتنِ 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

1. Suganthy

www.SID.ir

Archive of SID

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.

شکل 4. مقایسهٔ 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 قابل‌ملاحظه‌ای افت می‌کند. ازآنجاکه پلاستیک تقریباً جذب آبی ندارد، این محققان یکی از دلایل اصلی ضعف چسبندگی بین ذرات پلاستیک و خمیر سیمان را به آب جذب‌نشدهٔ 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

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه‌های حاوی الیاف پلی اتیلن با نسبت‌های 0-1/5 درصد و خاکستر بادی بـه میـزان 0-30 درصـد ساخته شده است. حداکثر مقاومت کششی بتن مربوط به نمونه کنترلی، بـه میـزان 3/96 مگاپاسـکال بوده که پس از افزودن 1/5 درصد الیاف پلاسـتیکی، بـه 2/26 مگاپاسـکال کـاهش یافتـه اسـت. افـت مقاومت کششی برای نمونه‌های حاوی 0/5 و 1 درصد پلاستیک ناچیز بـوده اسـت. رامـادِوی و مـانجو (2012) بیان داشتند مقاومت کششی برای جایگزینی الیاف PET تا 2 درصد افزایش می‌یابد و پس از آن برای درصدهای بیشتر جـایگزینی (4 و 6 درصـد) رونـدی کاهشـی را نشـان مـی‌دهـد. مالاگـاولی (2011) مقاومت کششی 7 و 28 روزهٔ بتن حاوی الیاف پلاستیکی با چگالی بـالا (HDPE) را ارزیـابی کرد. وی الیاف پلاستیک را به میزان 0-6 درصد در ساخت نمونه‌ها به کار برد و نتیجـه گرفـت زمـانی که محتوای الیاف پلاستیک 3/5 درصد است، مقاومت کششی تا 14 درصـد رشـد مـی‌کنـد امـا بـرای نمونه‌هایی با محتوای بیشتر، الیاف پلاستیک مقاومت کششی روندی نزولی را نشان می‌دهند.

نیبودی و همکارانش (2013) اثرات الیاف پلاستیک با دو نسبت ابعادی (طول به قطـر الیـاف) 35 و 50 را بر مقاومت کششی بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعـهٔ ایـن محققـان نشـان داد مقاومـت کششـی نمونه شاهد 3/48 مگاپاسکال بوده و با افزودن الیاف پلاسـتیکی بـا نسـبت‌هـای ابعـادی 35 و 50 بـه مقادیر 3/87 و 4/13 مگاپاسکال رسیده است.

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

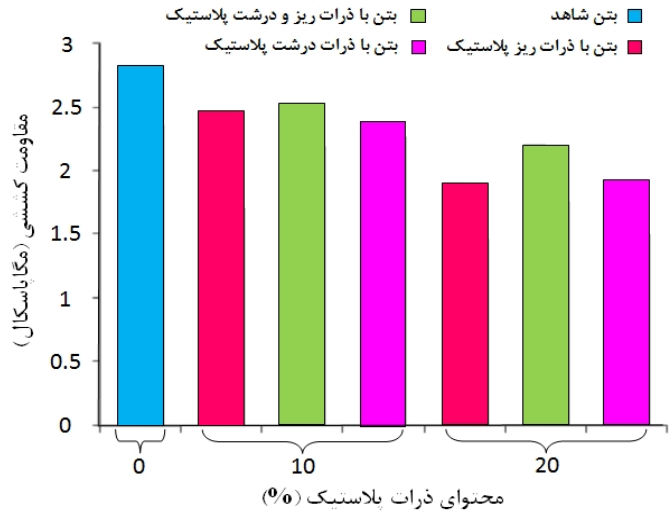
رِگاتِیت[1] (2012) ذرات ریزپلاستیکی را با نسبت‌های 0، 0/2، 0/4، 0/6، 0/8 و 1 درصد به بتن اضـافه کرد و خواص مکانیکی بتن از جمله مقاومت کششی را در سنین 7، 14 و 28 روز مورد سـنجش قـرار داد. نتایج مقاومت 28 روزهٔ نشان داد مقاومت کششی بتن حاوی 0/8 درصد پلاسـتیک در مقایسـه بـا نمونه کنترلی، تا 26 درصد افزایش می‌یابد و برای مقادیر بالاتر روندی کاهشی را نشان مـی‌دهـد. ایـن در حالی است که *آلبانو*[2] و همکـارانش (2009) افـت مقاومـت کششـی بـه محـض افـزودن ضـایعات پلاستیکی به بتن را گزارش کرده‌اند. به‌طورکلی براساس یافتـه‌هـای گـزارش‌شـده در ایـن تحقیقـات، می‌توان نتیجه گرفت مقاومت کششی بتنِ حاوی ضایعات پلاستیک تغییر اندکی دارد؛ به شـرطی کـه محتوای پلاستیک کم باشد، اما اضافه‌کردن یا جایگزینی مقادیر بیشتر پلاستیک سبب افت قابل‌توجـه مقاومت کششی در بتن می‌شود. علاوه‌براین، مقاومت کششی بتن به‌شدت تابع عواملی مانندِ محتـوای ضایعات پلاسـتیک، انـدازه، شـکل و همچنـین خـواص فیزیکـی و مکـانیکی مـواد اسـت. تـأثیر ذرات پلاستیکی با ابعاد ریز و درشت، بر مقاومت کششی بتن را می‌توان در شکل شماره 5 دید. همـان‌گونـه

1. Raghatate
2. Albano

www.SID.ir

Archive of SID

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 کششی 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 اضافه‌شدن 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 کروی‌شکل در مقایسه با خرده‌پلاستیک‌های ریز و درشت، رفتار بهتری در خمش دارند. ازسوی‌دیگر، خرده‌پلاستیک‌ها با توجه به شکل‌شان، تا حدودی مانع از شکست ترد در خمش می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

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 اضافه‌شده 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 روان‌کننده تأثیر چندانی بر مقاومت خمشی ندارد و عامل اساسی مؤثر بر چسبندگی سطح الیاف پلاستیکی با مخلوط بتن است. ازسوی‌دیگر، نتایج حاصل از پژوهش مالاگاولی (2011) نشان‌دهندهٔ افزایش مقاومت خمشی بتن تا 17/47 درصد برای نسبت 3/5 درصد الیاف با چگالی بالا (HDPE) است. این محقق اندازهٔ مناسب برای استفاده در بتن‌های سازه‌ای را میزان 2 درصد الیاف دانسته است. رامادِوی و مانجو (2012) نتیجه گرفتند جایگزینی الیاف PET تا 4 درصد به جای ریزدانه‌های طبیعی، مقاومت خمشی بتن را افزایش می‌دهد. *ایروان*[1] 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 پولکی‌شکل

اسماعیل و *الهاشمی*[2] (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. *باتاینه*[3] 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 گزارش‌شده می‌توان دریافت مقاومت خمشی بتن به‌شدت به خواص الاستیک الیاف پلاستیکی و همچنین جذب انرژی خمشی بتن بستگی دارد.

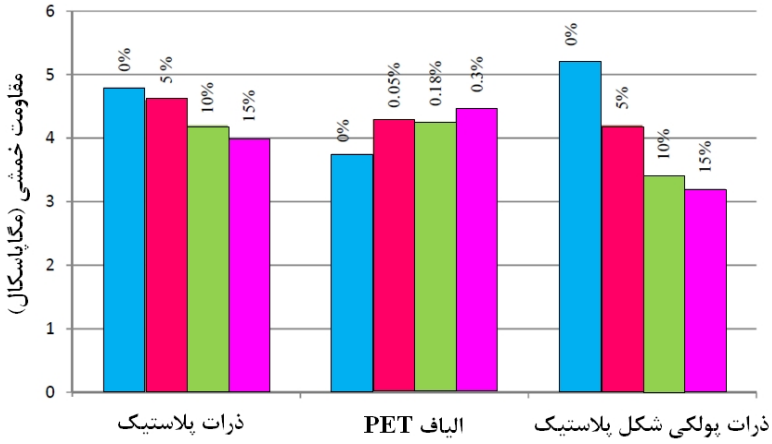
ازآنجاکه حداکثر تنش کششی ناشی از خمش، در تارهای بیرونی ایجاد می‌شود، الیافی که در این قسمت قرار می‌گیرند سهم مهمی در تغییر رفتار خمشی نمونه تیر بتنی دارند و باید به آن توجه کرد. به‌طورکلی افزودن و جایگزینی ذرات پلاستیکی ریز و درشت (خرده، گلوله‌ای و پولکی‌شکل) به بتن، مقاومت خمشی آن را کاهش می‌دهد و با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

1. Irwan
2. Ismail & Alhashemi
3. Batayneh

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود که در شکل شماره 6 نیز قابل‌مشاهده است. گفتنی است اضافه‌کردن 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 پولکی‌شکل پلاستیکی[29] بر مقاومت خمشی بتن

3-4. مدول الاستیسیته

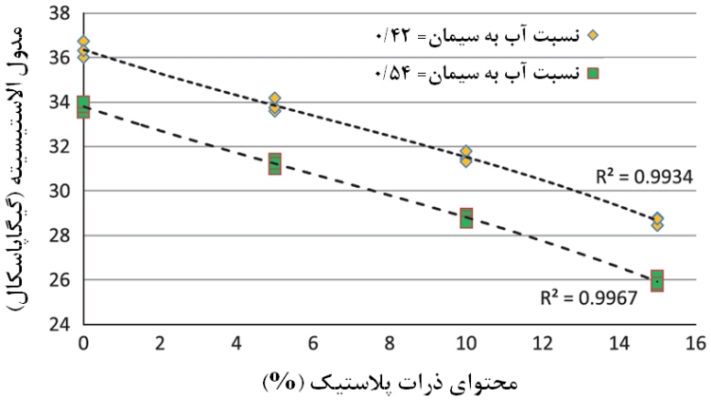
در گذشته مطالعات اندکی روی اثرات ضایعات پلاستیک بر مدول الاستیسیته بتن انجام شده است؛ بنابراین برای ارزیابی مدول الاستیسیته بتن مسلح‌شده با الیاف پلاستیک، منابع کافی در دسترس نیست. به همین دلیل در ادامه تنها اثرات جایگزینی یا افزودن ذرات انواع مختلف پلاستیک مورد بحث قرار گرفته است.

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

رحمانی و همکارانش (2013) بیان داشتند اضافه‌کردن 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 پایین‌بودن مدول الاستیسیته ذرات PET نسبت داده شود. آن‌ها اظهار داشتند کاهش مدول الاستیسیته بتن با محتوای ذرات PET اضافه‌شده، 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.

www.SID.ir

Archive of SID



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

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

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 *کوردوبا*[1] 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. متیو[2] 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 افزوده‌شدن ذرات پلاستیکی توسط محققان دیگری همچون *هاناوی*[3] و همکاران (2010) و چوی[4] (2009) نیز مشاهده شده است. این محققان بیان داشتند با افزایش محتوای پلاستیک در بتن، مدول الاستیسیته روندی کاهشی را آشکار می‌سازد. به‌طورکلی 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 نشان‌دهندهٔ 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 پایین‌بودن مدول الاستیسیته خود ذرات پلاستیکی باشد.

1. Cordoba
2. Mathew
3. Hannawi
4. Choi

www.SID.ir

Archive of SID

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[26و27]. در حال حاضر مطالعات اندکی دربارهٔ 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 توسعهٔ 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 مخلوطِ در حال خشک‌شدن بیشتر می‌شود و در ساختار درونی بتن سخت‌شده، خلل و فرج بیشتری ایجاد می‌شود. ازآنجاکه ذرات پلاستیک جذب آب ناچیزی دارند و آبِ 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. *عراقی*[1] 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. به‌طورکلی بتنِ 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. Araghi

www.SID.ir

Archive of SID

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 مسلح‌شده با الیاف پلاستیکی را بهبود دهند. بر این اساس، ازآنجاکه 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. اضافه‌کردن 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 تَرک‌ها عمل می‌کنند و موجب تأخیر در انتشار آن‌ها می‌شوند. بر همین اساس، شکل‌پذیری بتن مسلح‌شده 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 سخت‌شده می‌شود که در پی آن سرعت امواج اولتراسونیک کاهش می‌یابد، اما تا اندازهٔ مشخصی از پلاستیک، بتن هم‌چنان کیفیت قابل‌قبول خود را حفظ می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir