

تأثیرات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی (PET) بر عملکرد بتن SCC

حمید یزدانی^{1*}، لیلا اکبری نسب²، حسین اکبری نسب³

1- استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی 19395-3697 تهران، ایران

2- دانش اموزته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آل طه، تهران، ایران

3- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

خلاصه

در این مقاله به بررسی تأثیرات ذرات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی (پت) بر عملکرد بتن خودتراکم یا SCC می پردازیم. بتن در مفهوم بسیار وسیع به هر ماده یا محصولی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد اطلاق می شود. این ماده چسبنده عموماً حاصل فعل و انفعال سیمان های هیدرولیکی و آب می باشد. حتی امروزه چنین تعریفی از بتن شامل طیف وسیعی از محصولات می شود. بتن ممکن است از انواع مختلف سیمان و نیز پوزولان ها، سرباره کوره ها، مواد مضاف، گوگرد، مواد افزودنی، پلیمرها، الیاف و غیره تهیه شود. از طرفی با توجه به افزایش مصرف بطری های نگهدارنده مواد غذایی (PET) و به تبع آن افزایش تولید زباله و ازدیاد محل دفع این ضایعات و همچنین ذکر این نکته که تجزیه این بطری ها در طبیعت مستلزم گذشت زمان تقریبی 300 ساله می باشد، بر اهمیت استفاده مجدد از این ضایعات می افزاید. یکی از گزینه های مصرف این ضایعات با کمترین اثرات مخرب زیست محیطی، استفاده در صنعت بتن می باشد که مدیریت صحیح این ضایعات موجب بهبود برخی خواص فیزیکی و شیمیایی بتن نیز می گردد. در این تحقیق با جایگزینی 3، 5 و 7 کیلوگرم ذرات پت بازیافتی در طرح اختلاط ذکر شده برای بتن استفاده گردید، نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه های بتن تازه و سخت شده نشان دهنده آن است که استفاده از ذرات پت بازیافتی موجب افزایش مقاومت کششی و مقاومت خمشی بتن خود تراکم گردید ولی تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری بتن و سرعت عبوری امواج اولتراسونیک ندارد.

کلمات کلیدی: بتن SCC، پلی اتیلن ترفتالات (PET)، آلودگی زیست محیطی، انقباض

* Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran Post Box 19395-3697.

Email: h.yazdani@pnu.ac.ir



1. مقدمه

بازیافت ضایعات انبوه پلاستیک های تولید شده از مشکلات دنیای امروز است. پلاستیک ها انواع مختلفی دارند ، یکی از آنها پلی اتیلن یا همان (PET) می باشد که یکی از متداول ترین پلاستیک های مصرفی در جهان (PET) است. پلی اتیلن ترفتالات یک پلیمر ترموپلاستیک است که فرمول مولکولی آن $(CH_2-CH_2-OOC-C_6H_4-COO)_n$ می باشد . خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه PET مانند استحکام مکانیکی بالا، استحکام اتصالات، شفافیت، وزن سبک، بی خطر بودن آن از نظر سمی بودن و نفوذ ناپذیری در مقابل CO_2 سبب شده است که به طور گسترده ای در ساخت بطری های گازدارنوشابه، روغن های خوراکی، پاک کننده های خانگی، فیلم های عکاسی و دیسک های کامپیوتری مورد استفاده قرار گیرد [۱۰]. این ماده به عنوان ماده ای خام بطور گسترده در ساخت بطری های نوشیدنی، ظروف بسته بندی غذا و کالاهای مصرفی دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. امروزه بطری های (PET) به علت سبکی، آسانی حمل و نقل و انبار کردن جایگزین بطری های شیشه ای شده اند. نظر به اینکه طول عمر تولیدات (PET) چندان بالا نمی باشد. [1]

با توجه افزایش قابل توجه تولید (PET) ، بررسی امکان بازیافت (PET) و استفاده مجدد آن در چرخه ی تولید، دارای اهمیت فراوانی می باشد. درسالهای اخیر مبارزه با آلودگی های زیست محیطی بیشترین توجه جهانیان را به خود معطوف داشته است. در واقع این آلودگیها محصول جمعیت و پیشرفت تکنولوژی صنعتی هستند که نیازمند بکارگیری و روش های کنترلی ویژه ای می باشند. برای این منظور کنترل ده ها هزار نوع مواد سمی و خطرناک در محیط بخش عمده ای از مبارزه برعلیه آلودگیهای زیست محیطی را تشکیل داده است . لذا در سال ۱۹۷۵ موضوع بازیافت مواد زائد به شکل جدید در دستور برنامه های دفع زباله قرار گرفت. امروزه بازیافت مواد طوری مورد استقبال جهانیان قرار گرفته است که جزء لاینکفی از مدیریت مواد زائد به شمار میرود. یکی از اجزاء قابل بازیافت ، مواد زائد پلاستیکی بوده که در بیست سال اخیر مصرف آنها رو به افزایش گذاشته است که علت آن تولید صنایع پتروشیمی و نفت بوده است. یکی از انواع پلاستیک که مصرف بسیار فراوانی داشته است ظروف یکبار مصرف PET بوده که به دلیل ویژگیهای آن امروزه مورد مصرف فراوانی یافته است. به طوری که حجم بسیار زیاد این بطریها در مواد زائد شهری، پایداری بالا در محیط زیست و تقریباً تجزیه ناپذیری آنها در طبیعت امکان انتشار بسیاری آلاینده ها از طریق آنها به محیط زیست و از طرف دیگر قابلیت بازیافت آنها به شکل کامل و این که تولیدات بازیافت شده از لحاظ زیست محیطی مقبولیت بیشتری داشته است، عواملی بوده که باعث گردیده است که بازیافت PET مورد توجه کارشناسان در سراسر دنیا قرار گیرد [۱۱].

یکی از راه های پیشنهادی برای رفع این معضل، جایگزین کردن ماسه طبیعی با ضایعات (PET) ، برای تهیه بتن است که این روش می تواند به عنوان فعالیتی مطلوب برای کمک به محیط زیست بسیار با اهمیت باشد. همچنین با توجه به تقاضای بسیار زیاد برای تولید بتن و کمیاب بودن ماسه طبیعی، این امر از نظر اقتصادی نیز توجیه پذیر است. از مطالعاتی که پیرامون کاربرد ضایعات (PET) در بتن معمولی تاکنون صورت گرفته علی رغم نتایج نه چندان ممتاز مربوط به مقاومت و کارایی، نتایج مناسبی در زمینه کاهش انقباض ، افزایش مقاومت در برابر نفوذ یون کلر ، کاهش چگالی و افزایش انعطاف پذیری و افزایش مقاومت کششی بدست آمده است [2] که با توجه به نوع کاربری مورد انتظار ، حجم بتن ریزی و شرایط محیطی و ... گاهی این ویژگی ها اهمیت بیشتری نسبت به ویژگی های مقاومتی پیدا می کنند. در سال ۱۹۸۶ در ژاپن بتنی تحت عنوان بتن خود تراکم SCC ساخته شد که کارایی آن بهتر از بتن معمولی بوده و به کمک نیروی ثقل جریان یافته و متراکم می گردد [3]. همچنین مقاومت مناسبی در برابر جداسازی نیز از خود نشان می دهد و کاهش مصرف انرژی و نیروی انسانی و زمان ساخت را به دنبال دارد [4]. از این رو تلفیق استفاده از موادی با خاصیت الاستیک به منظور رفع ضعف کشش در بتن و بهره گیری از بتن خودتراکم یا SCC به عنوان یک بتن با کیفیت و کارایی بالا به صورت همزمان می تواند در خور توجه باشد. بسیاری از دانشمندان برآنند که که بوسیله استفاده از پلیمرهای سازگار

با محیط زیست، مشکلات زیست محیطی را حل کنند به همین دلیل توجه بسیاری به سمت پلی استرهای خطی معطوف شده است [5].

2. مصالح مصرفی

1.2. سیمان

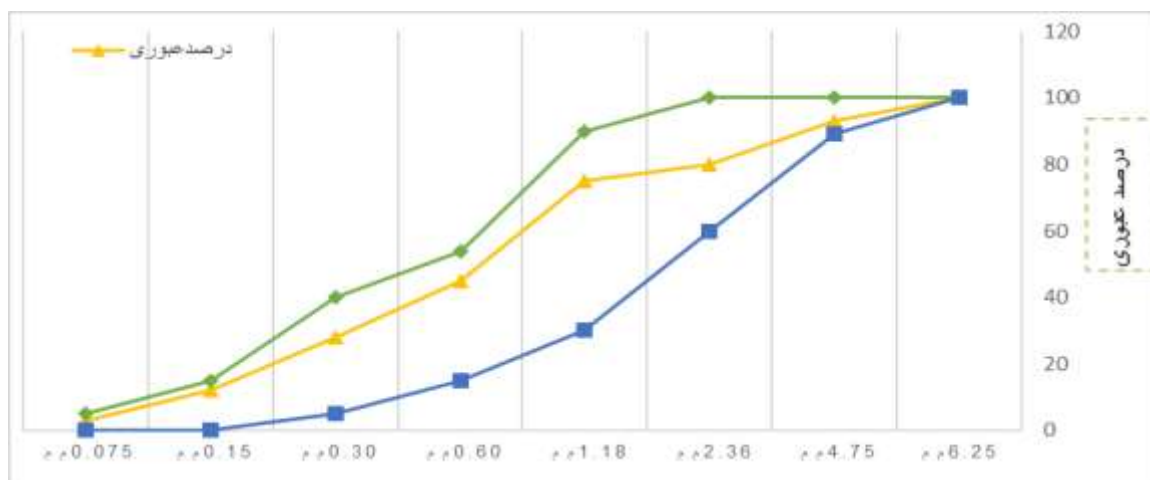
سیمان به کار رفته در این پژوهش از نوع سیمان پرتلند تیپ 1-425 تولید کارخانه سیمان سپاهان می‌باشد. دارای وزن مخصوص 3100 کیلوگرم بر مترمکعب بوده است و ترکیبات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ 1-425 در جدول (1) ارائه شده است.

جدول (1) - مشخصات شیمیایی و ترکیبات سیمان

ترکیب	مقدار (%)
Fe ₂ O ₃	3.2
Al ₂ O ₃	5.6
SiO ₂	21.68
MgO	1.8
CaO	63.2
SO ₃	1.7
Na ₂ O	0.2
K ₂ O	0.7

2.2. ماسه

ماسه مصرفی به صورت طبیعی در محدوده 0 تا 6 میلی متر بوده که پس از دانه بندی و کنترل کیفیت مطابق استاندارد ASTM C33 مورد استفاده قرار گرفته است. نمودار دانه بندی ماسه مورد استفاده در شکل (1) نشان داده شده است [6]

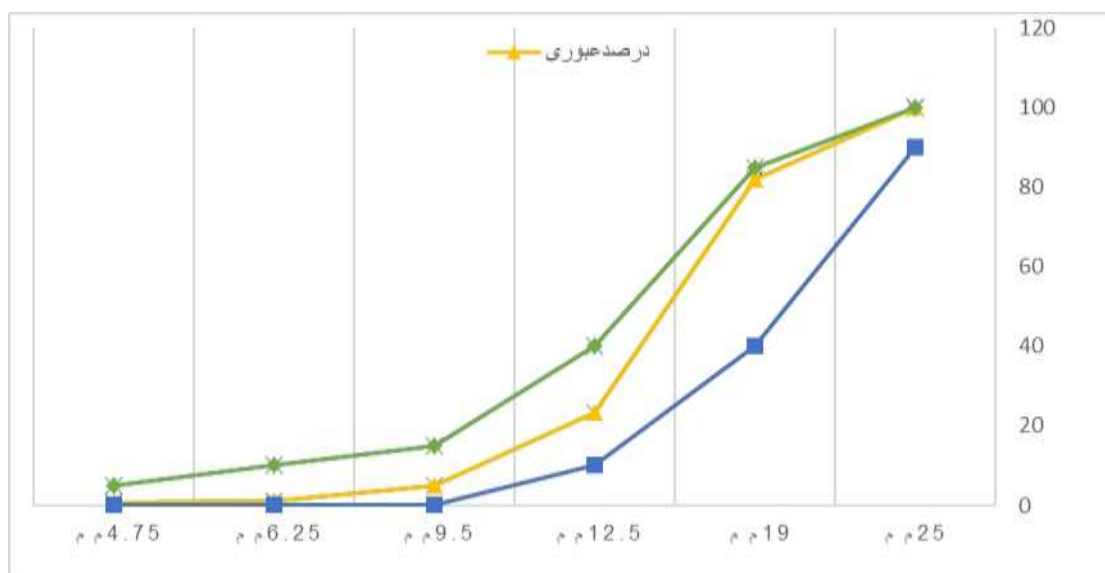


شکل (1) - نمودار دانه بندی ماسه مصرفی



2.3. شن

شن مصرفی در این طرح با بزرگترین اندازه سنگدانه 19 میلی متر بوده که پس از دانه بندی و مطابقت آنها با استاندارد ASTM C33 مورد استفاده قرار گرفته و کیفیت آن از لحاظ وجود دانه های پولکی، همچنین درصد خاک موجود در آن توسط آزمایشات مربوطه مورد تایید قرار گرفته است و وزن مخصوص اشباع با سطح خشک و جذب آب شن نیز کنترل شده است. نمودار دانه بندی درشت دانه ها در شکل (2) نمایش داده شده است. [6]



شکل (2) - نمودار دانه بندی شن مصرفی

4.2. آب

آب مصرفی در ساخت و عمل آوری بتن ها از آب شرب شهر کرج می باشد که با توجه به مصرف آشامیدنی آن برای ساخت بتن بدون مشکل است.

5.2. فوق روان کننده

در این مطالعه از فوق روان کننده P10-3R با پایه کربوکسیلیک اصلاح شده استفاده گردید. مشخصات فوق روان کننده ی مصرفی در جدول (2) ذکر شده است.

جدول (2) - مشخصات فوق روان کننده ی مصرفی

مشخصات	ساختار
مایع غلیظ قهوه ای کمرنگ (عسلی)	ظاهر
1.08 تا 1.1 در دمای 20 c	وزن مخصوص (gr/cm ³)
6.8	PH
0/5 تا 1 درصد وزنی سیمان	میزان مصرف

2.6. ذرات پلی اتیلن ترفنالات بازیافتی (PET)

برای تهیه PET مصرفی در این تحقیق از خرد کردن بطری های آب معدنی و نوشیدنی کمک گرفته شد شکل (3) ابعاد ذرات پس از خرد نمودن بطری ها بین 0.5 الی 5 میلی متر بوده و جذب آب آن صفر می باشد .



شکل (3) – بطری های پلاستیکی خرد شده

3. طرح اختلاط ها

مطابق جدول شماره 3، از نسبت های اختلاط اجزا براساس استاندارد ACI 211-1-91 استفاده می گردد. [7] برای مخلوط نمودن مصالح ابتدا سنگدانه ها و PET را در میکسر مخلوط نموده و سپس سیمان و در انتها آب و فوق روان کننده به مخلوط اضافه گردیدند. لازم بذکر است که با افزایش درصد ذرات PET زمان اختلاط را بیشتر نموده تا این ذرات کاملاً در بتن به طور یکنواخت مخلوط شوند .

جدول (3) – نسبت های اختلاط نمونه های بتن

طرح	سیمان Kg	میکروسیلیس Kg	شن Kg	ماسه Kg	پودرسنگ Kg	فوق روان کننده Kg	الیاف PET بازیافتی Kg
Control	400	45	660	909	203	4/1	0
PET 1	400	45	657	909	202	4/2	3
PET 2	400	45	650	915	201	4/5	5
PET 3	400	45	640	925	200	4/6	7

4. بررسی نتایج

4.1. نتایج آزمایشات بتن تازه

جهت ارزیابی خواص بتن خودتراکم آزمایشهای متفاوتی بر روی هر کدام از طرح اختلاط ها انجام شد. آزمایش جریان اسلامپ جهت سنجش جریان پذیری (workability)، قابلیت پرکنندگی (filling ability) و یکنواختی (consistency) در وضعیتی که هیچگونه محدودیتی در قبال جریان پیدا نمودن بتن وجود ندارد انجام گرفت (شکل 4-الف) قیف ۷ شکل که برای ارزیابی چسبندگی، ویسکوزیته و قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم می باشد. در حالیکه دریچه قیف بسته است 12 لیتر بتن درون قیف بدون هیچ گونه تراکم ریخته می شود و بعد از باز نمودن دریچه قیف زمان لازم جهت تخلیه آن منظور می شود (شکل 4-ج). در آزمایش جعبه L شکل توسط آرماتور موانعی در مسیر جریان ایجاد می شود و بدین ترتیب سازگاری بین درشت دانه ها و فاصله بین آرماتورها که نشان دهنده قابلیت عبور (passing ability) و پرکنندگی (filling ability) بتن می باشد مورد بررسی قرار می گیرد. جعبه L شکل در (شکل 4-ب) نشان داده شده است. تمامی آزمایش های انجام شده در حضور درشت دانه ها انجام شد تا وجود آنها بر روی خواص بتن تازه تاثیر گذار باشد. برای بررسی رئولوژی بتن خود متراکم احتیاج به استفاده از رئومتر می باشد، اما با توجه به این مطلب که می توان از آزمایش های فوق نیز برای بررسی ویسکوزیته و تنش تسلیم بتن سبک خود متراکم استفاده نمود. [8] و از طرف دیگر این آزمایش ها از نظر اقتصادی کاملاً کم هزینه بوده و به راحتی می توان آنها را در کارگاه انجام داد، برای بررسی جریان پذیری بتن خود تراکم حاوی PET از آزمایش های جریان اسلامپ، قیف ۷ شکل و جعبه L شکل استفاده شده است. نتایج آزمایشات در جدول 4 نشان داده شده است.



الف

ب

ج

شکل (4) – آزمایشات بتن خودتراکم (SCC)

جدول (4) - نتایج آزمایش های بتن خودتراکم با افزودن الیاف PET بازیافتی

میزان الیاف (kg/m ³)	Slump-flow (cm)	T ₅₀ (Sec)	V-funnel (Sec)	L-Box (H ₂ /H ₁)	جداشدگی	آب افتادگی
7	61	-	-	-	بلی	بلی
5	64	-	15/1	0/76	خیر	بلی
3	67	2/3	6	0/92	خیر	خیر
EFNARC	65-80	2-5	6-12	0/8-1	خیر	خیر

4.2. نتایج آزمایشات بتن سخت شده

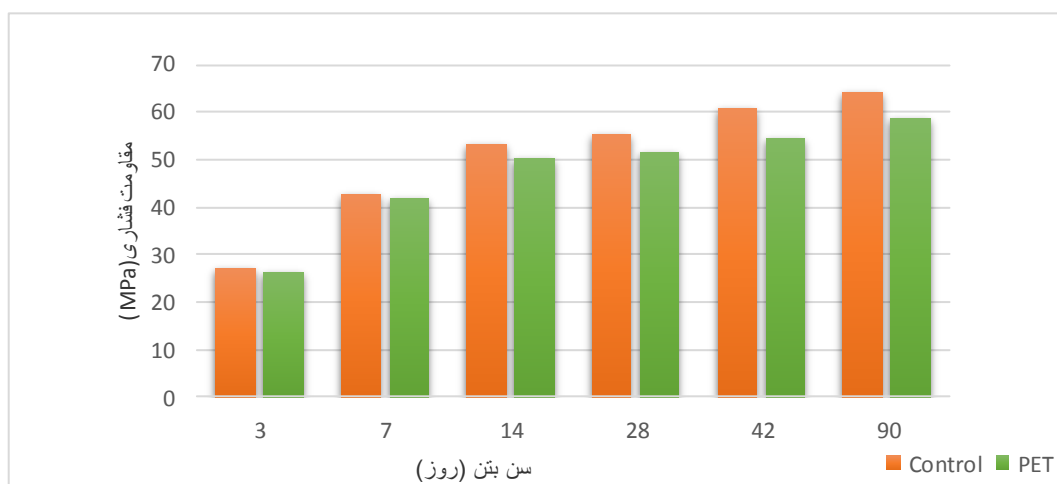
بررسی خواص مکانیکی بتن معمولی با انجام آزمایش های مقاومت فشاری ، مقاومت کششی ، مقاومت خمشی و سرعت امواج اولتراسونیک بر نمونه های مکعبی به ابعاد 15×15×15 سانتی متر و نمونه های استوانه ای به ابعاد 30 (ارتفاع) × (قطر) 15 سانتی متر تعیین شد.



شکل (5) - نمونه بتن سخت شده حاوی PET

1.2.4 مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری پس از عمل آوری در سنین 3 تا 90 روز انجام شد. مقایسه مقاومت فشاری نمونه های بتن خودتراکم معمولی (Control) و بتن خودتراکم حاوی الیاف بازیافتی (PET) در شکل (6) نشان داده شده است.

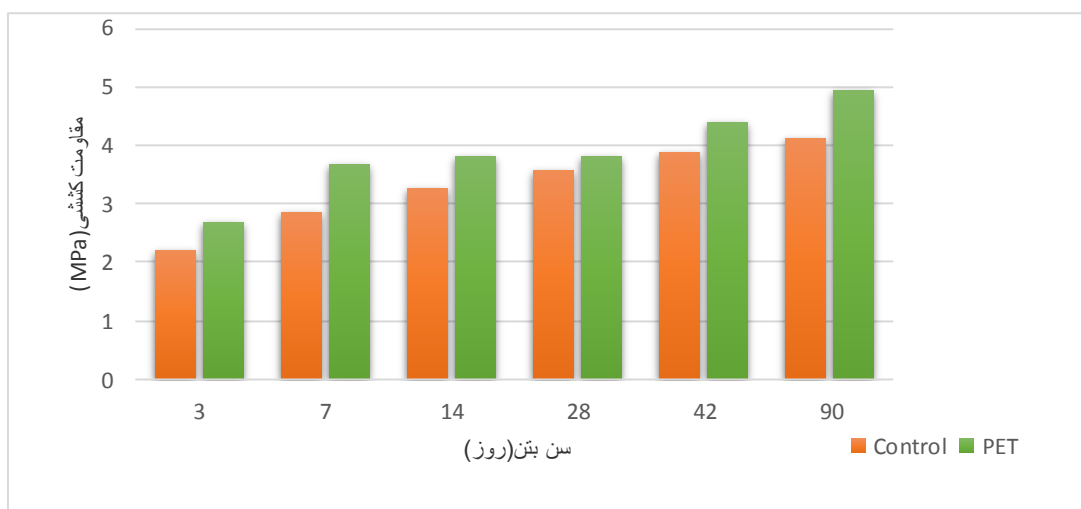


شکل (6) - نمودار مقایسه مقاومت فشاری بتن معمولی و بتن حاوی PET

نتایج نشان می‌دهند که حضور الیاف PET بازتابی کاهش مقاومت فشاری را به دنبال خواهد داشت. این کاهش مقاومت فشاری شاید به این دلیل باشد که استفاده از الیاف PET بازتابی در بتن سبب کاهش تراکم پذیری بتن می‌گردند که این امر ممکن است باعث ایجاد نقاط ضعف در بافت بتن (به دلیل ایجاد تخلخل موضعی ناشی از نفوذ حباب هوا) می‌شوند و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری را فراهم می‌آورد. در نمونه های بتن حاوی PET در حین بارگذاری فشاری، از شکست ترد (ناگهانی) به شکست نرم و تدریجی تغییر ماهیت پیدا کرده است.

2.2.4. مقاومت کششی به روش دو نیم شدن استوانه

آزمایش مقاومت کششی برای تعیین مقاومت کششی بتن به روش دو نیم شدن روی نمونه های استوانه ای انجام شد. نمونه ها در سنین ذکر شده پس از عمل آوری مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج در شکل (7) و جدول (5) نشان داده شده اند.



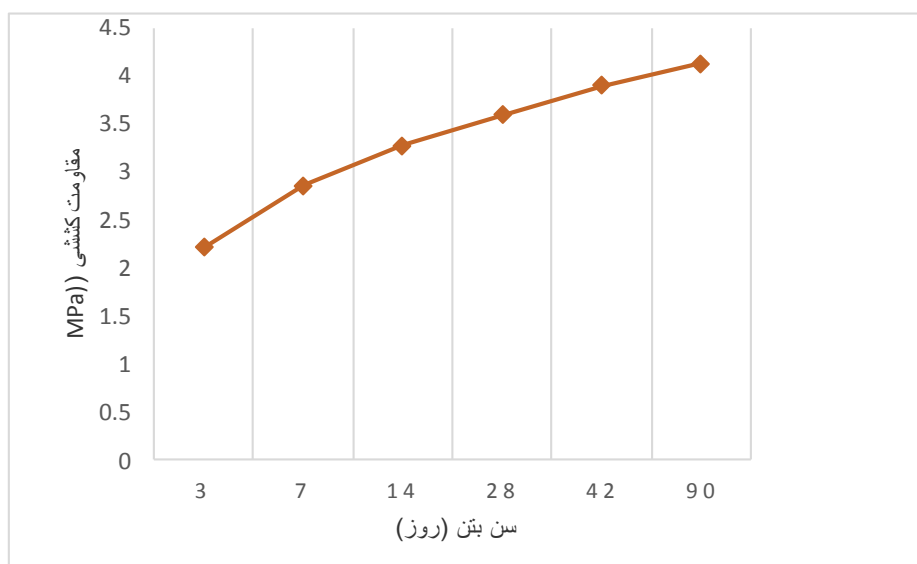
شکل (7) - نمودار مقایسه مقاومت کششی بتن خودتراکم معمولی و بتن حاوی PET



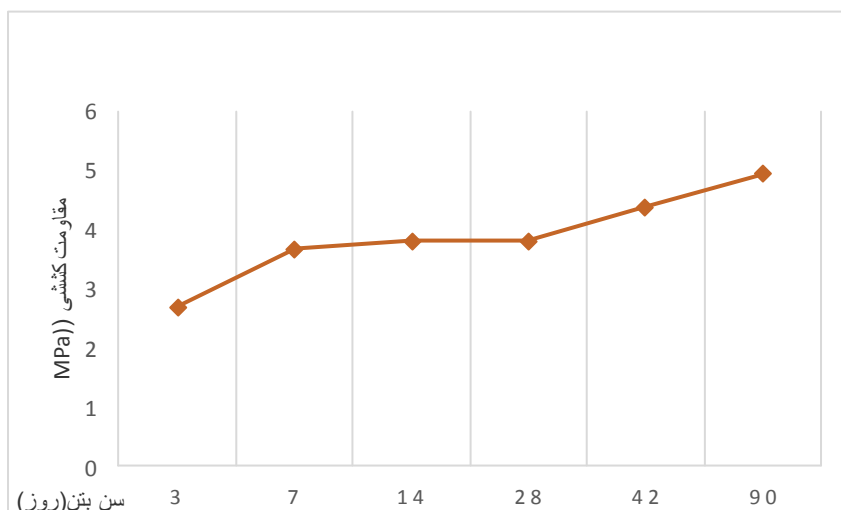
جدول (5) - جدول مقایسه نتایج مقاومت کششی بتن خودتراکم معمولی و بتن حاوی PET

سن بتن (روز) طرح اختلاط	مقاومت کششی (MPa)					
	3	7	14	28	42	90
Control	2/21	2/82	3/30	3/56	3/91	4/11
PET1	2/70	3/66	3/84	3/84	4/39	4/89
PET2	2/91	3/90	4/00	4/10	4/48	5/07
PET3	3/22	4/21	4/38	4/49	4/71	5/22

نتایج نشان می‌دهند که حضور PET بازیافتی باعث افزایش مقاومت کششی می‌شود، نحوه ی شکست نمونه های بتن تحت آزمایش کششی، از حالت شکست ترد (ناگهانی) به حالت نرم و تدریجی تبدیل شده است. آنچه به هنگام افزایش مقاومت کششی در نتیجه استفاده از الیاف، انتقال تنش ها از ماتریس به الیاف، کرنش کششی بیشتری را تحمل می‌کنند. در نتیجه، باعث افزایش مقاومت کششی می‌شود. (شکل های 8 و 9)



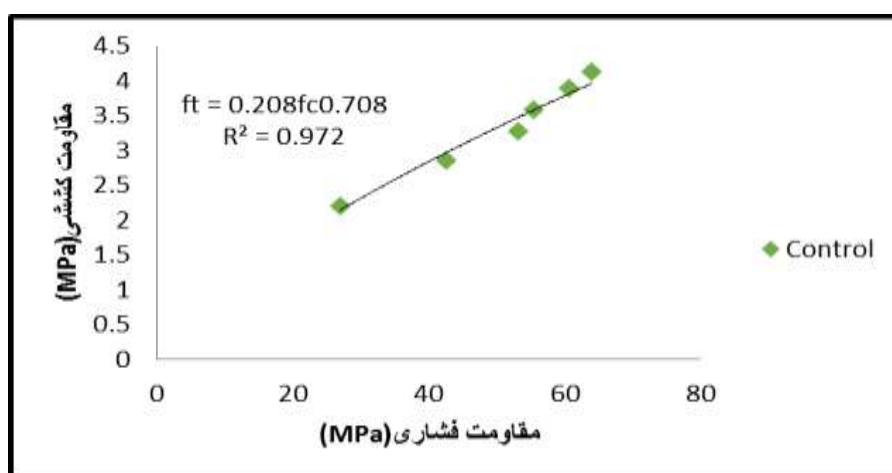
شکل (8) - نمودار مقاومت کششی بتن خودتراکم معمولی در سنین مختلف



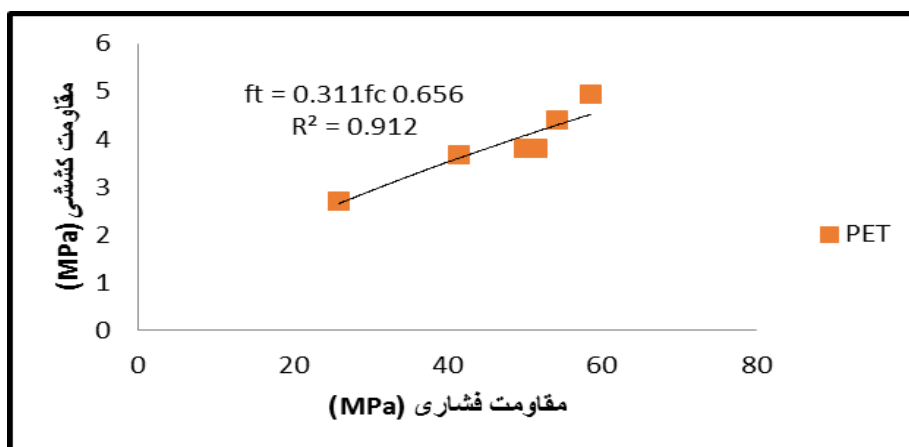
شکل (9) - نمودار مقاومت کششی بتن خودتراکم حاوی PET در سنین مختلف

3.2.4. رابطه بین مقاومت کششی و فشاری

موارد بسیاری بر رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی اثر می‌گذارند. از این عوامل می‌توان، مشخصات سنگدانه‌ها، ریز، دانه بندی سنگدانه‌ها، روش عمل‌آوری نمونه‌ها و میزان حباب هوا را نام برد. رابطه‌های بین مقاومت کششی و فشاری برای بتن خودتراکم حاوی پت و بتن خودتراکم معمولی در شکل‌های (10) و (11) آورده شده است.



شکل (10) - رابطه بین مقاومت فشاری و کششی بتن خودتراکم معمولی



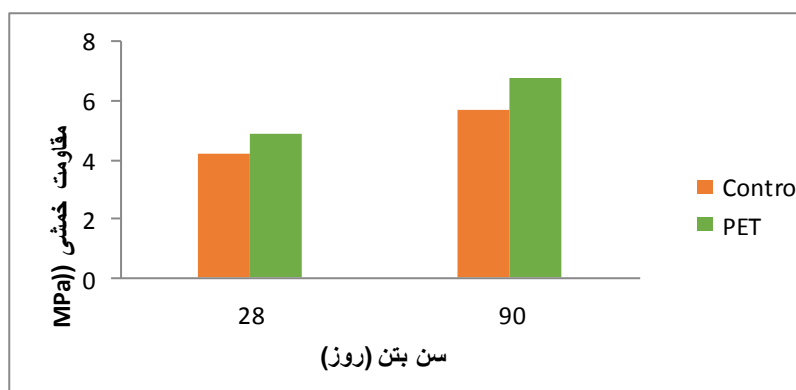
شکل (11) - رابطه بین مقاومت فشاری و کششی بتن خودتراکم حاوی الیاف PET بازیافتی

4.2.4. نتایج آزمایش مقاومت خمشی

آزمایش مدول گسیختگی (مقاومت خمشی) با بارگذاری در وسط یک تیر ساده مطابق با آیین نامه ASTM C293-79 انجام شد [9]. نمونه‌ها پس از عمل آوری در سنین 28 و 90 روز مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج آزمایش مدول گسیختگی در جدول (6) و شکل (12) آورده شده است.

جدول (6) - نتایج آزمایش مدول گسیختگی بتن خودتراکم معمولی و بتن حاوی PET

مقاومت خمشی (MPa)				
طرح اختلاط سن نمونه‌ها	Control	PET1	PET2	PET3
28	4/3	4/8	5/5	5/9
90	5/7	6/8	7/4	7/7



شکل (12) - مقایسه مدول گسیختگی بتن خودتراکم معمولی و بتن حاوی الیاف PET



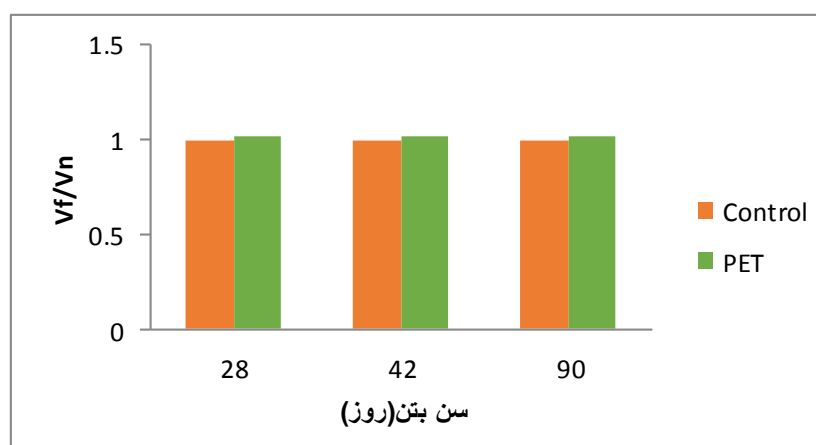
حضور الیاف PET بازیافتی باعث می شود نمونه ها به صورت ترد شکافته نشوند و بعد از افزایش بار، گسیختگی با دو نیم شدن کامل نمونه ها همراه نباشند. نحوه افزایش مقاومت خمشی در اثر استفاده از الیاف را می توان اینگونه تفسیر نمود: استفاده از الیاف به معنی اتصال بسیار گسترده و کاهش فاصله الیاف می باشد، لذا پس از اعمال بار و بروز ترک های بسیار ریز در بافت بتن (ترک های میکروسکوپی)، الیاف قادر خواهند بود از گسترش ترک ها به ترک های ماکروسکوپی جلوگیری کرده و با انتقال تنش بین لبه های ترک از میزان تنش موجود در نوک ترک ها کاسته و از این طریق، از افزایش عرض ترک ها و تبدیل شدن ترک های میکروسکوپی به ماکروسکوپی جلوگیری کنند.

5.2.4. نتایج آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک

اندازه گیری سرعت امواج مافوق صوت بر روی بتن معمولی و بتن های حاوی پت بازیافتی به ابعاد 10×10 سانتی متر و در سنین 28، 42 و 90 روز، پس از عمل آوری در شرایط استاندارد، صورت گرفته است. در جدول (7) و شکل (13)، سرعت امواج در برابر افزایش سن نشان داده شده است.

جدول (7) - نتایج امواج اولتراسونیک بتن خودتراکم معمولی و بتن حاوی PET

سرعت امواج اولتراسونیک (Km/s)				
طرح اختلاط سن (روز)	Control	PET1	PET2	PET3
28	4/48	4/59	4/60	4/65
42	4/69	4/79	4/82	4/86
90	4/84	4/93	4/97	4/99



شکل (13) - مقایسه نسبت سرعت امواج اولتراسونیک بتن های الیافی (V_f) به بتن خودتراکم معمولی (V_n)



همانطور که مشاهده می شود با افزایش سن نمونه های بتن، سرعت امواج اولتراسونیک افزایش می یابد. بنابراین رابطه سرعت امواج با گذشت زمان، نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت فشاری را تایید می کند که با بیشتر شدن سن بتن، میزان مقاومت و تراکم نمونه ها را افزایش می دهد. حضور PET بازایستی تاثیر زیادی روی سرعت امواج اولتراسونیک ندارند. رابطه ی سرعت امواج عبوری و مقاومت فشاری برای دو نوع بتن مورد آزمایش در جدول (8) گرد آوری شده است.

جدول (8) - رابطه سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری برای چهار نوع بتن خودتراکم معمولی و حاوی پت بازیافتی

رابطه	طرح اختلاط
$f_c = 7.863e^{0.431V}$ $R^2 = 0.986$	Control
$f_c = 9.22e^{0.371V}$ $R^2 = 0.952$	PET

6. نتیجه گیری

- نتایج نشان می دهند که حضور الیاف PET بازایستی کاهش مقاومت فشاری را در پی خواهند داشت. این کاهش مقاومت فشاری شاید به این دلیل باشد که استفاده از الیاف PET بازایستی در بتن سبب کاهش تراکم پذیری بتن می گردند که این امر ممکن است باعث ایجاد نقاط ضعف در بافت بتن (به دلیل ایجاد تخلخل موضعی ناشی از نفوذ حباب هوا) شوند و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری را فراهم می آورد ولی برای مواقعی که مقاومت زیاد نیاز نباشد گزینه بسیار مناسبی است.
- استفاده از ضایعات بازایستی PET به دلیل عدم تجزیه، می تواند با کم کردن مشکلات زیست محیطی و اقتصادی ناشی از انباشته شدن و یا دفع آن در محیط زیست از یکسو و از سوی دیگر با کاهش دادن میزان استخراج سنگ دانه از معادن از تخریب روزافزون محیط زیست بکاهد.
- بتن معمولی دارای تعداد بسیاری ترک های موئین است. به دلیل گسترش سریع ترک های موئین و تنش های اعمال شده مقاومت کششی بتن کم است. با به کار بردن الیاف بازایستی PET، از توسعه ترک های موئین جلوگیری شده و در نتیجه مقاومت های کششی و خمشی بتن را افزایش می دهد.
- افزایش مقدار PET بخاطر غیرمعارف بودن شکل ذرات آن باعث کاهش کارایی بتن می شود.

مراجع

1. John, A.C., Martin, G. and Lai, W.L. (2000), "Properties of concrete prepared with PET granules", Time Development of the Material Properties and Bond," Leipzig University,
2. Okamura H, Ouchi M. (2003), "Self-compacting concrete", J Adv Concrete Technol, 1(1), pp 5-15.



3. Dehn Frank, (2000), "behavior of Self-Compacting Concrete", Time Development of the Material Properties and Bond", Leipzig University, pp. 142-148
4. Schlumpf, J. (2004), "Self-compacting concrete structures in Switzerland", Tunnelling and underground space Technology, 5(19), pp 480-484.
5. Lim, L.T., Auras, R., Rubino M. (2005), "Progress in polymer science". pp.4139-4147.
6. ASTM C33, (2005), Standard Specification for Leight weight Aggregates for Structural Concrete.
7. ACI COMMITTEE 221, (March/April 1984), "Guide for Use of Normal Weight Aggregates in concrete", ACI Journal, pp. 115-39.
8. Domone PJ, Jin P. (1999), "Properties of mortar for self-compacting concrete". In: Proceedings of First International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm: RILEM Publications, SARL. pp. 109-20.
9. ASTM C293. (2004), Standard test method for flexural strength of concrete (Using simple beam with center-point loading). Annual Book of ASTM Standards.
10. Cheong Moon Gac. (2008), "Korean Institue of Resources Recycling. Recycling white paper,"
11. Sung Bae Kim, Na Hyun Yi, Hyun Young Kim, Jang Ho Jay Kim, Young-Chul Song.(2010), Material and structural 9. 12performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. Cem Concr Compos. 4(32), pp.232-40.
12. Revathi, P., Selvi, R.S., Velin, S.S. J. Inst. Eng. India Ser. A 94 (2013) 179. <http://dx.doi.org/10.1007/s40030-014-0051-5>.
13. Hu, Z. Wang, Y. Kim, (2013), "Feasibility study of using fine recycled concrete aggregate in producing self-onsolidation concrete" , J. Sustain. Cem.-Based Mater. 2 (1) 20-34.
14. L.A. Pereira-de-Oliveira, M.C.S. Nepomuceno, (2014) J.P. Castro-Gomes, Vila, Permeability properties of self-compacting concrete with coarse recycled aggregates, Constr. Build. Mater.4 (51), pp. 113-120.