Archive of SID

مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره هجدهم، شماره ۱، سال ۱۳۹۷

# بررسی اثر الیاف بازیافتی از جنس پلی اتیلن ترافتالات (PET) بر خواص مکانیکی بتن

**غلامعلی شفابخش [۱*]، امیر کباری قطبی [۲]، محسن احمدی [۳]**

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
۲- کارشناس ارشد راه وترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
۳- دانشجوی دکتری راه وترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

*ghshafabakhsh@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: [۹۵/۹/۲۷] تاریخ پذیرش: [۹۶/۰۲/۳۱]

## چکیده

دفع زباله چالشی بزرگ در هر کشور است و استفاده از مواد و محصولات پلاستیکی روز به روز در حال افزایش است. بخش عظیمی از زباله‌های پلاستیکی شامل بطری انواع نوشیدنی‌ها است که از جنس پلی اتیلن ترافتالات (پت) هستند. یکی از راهکارها برای بازیافت و استفاده بهینه از آنها، افزودن به بتن بعنوان الیاف است. استفاده از الیاف پت در بتن علاوه بر بهبود خواص مکانیکی بتن باعث رفع مشکل زیست محیطی این مواد نیز می‌شود. در این پژوهش رفتار مکانیکی بتن حاوی الیاف بازیافتی پت بررسی شده است برای این منظور ۱۰ ترکیب بتن، شامل نمونه شاهد و ۹ ترکیب بتن الیافی ساخته شد. الیاف در سه درصد حجمی ٪ ۰/۱۵، ٪۰/۳۰ و ٪۰/۴۵ با طول های ۱، ۲ و۳ سانتی‌متر بطور جداگانه استفاده شد. آزمایش‌های مقاومت فشاری کششی، خمشی و ضربه بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. برای بهبود و افزایش چسبندگی و گیرداری الیاف با ساختار بتن، الیاف را با استفاده از دستگاه تغییر شکل‌دهنده، به شکل موجدار تهیه شد. عمده نتایج حاکی از آن است که با افزودن الیاف، مقاومت فشاری و مقاومت خمشی به ترتیب ۵ تا ۱۸ درصد، ٦ تا ۳۰درصد و افزایش می‌یابند در حالیکه در مقاومت کششی تغییر نامحسوس و حتی کاهش مقاومت مشاهده می‌شود. همچنینی با افزایش طول و حجم الیاف مصرفی مقاومت در برابر ضربه بتن به میزان بسیار زیادی افزایش می‌یابد.

**واژگان کلیدی:** بطری نوشیدنی‌ها، پلی اتیلن ترافتالات، بازیافت، الیاف، بتن، خواص مکانیکی

## ۱- مقدمه

دفع زباله چالش اصلی در هر کشور است و استفاده از پلاستیک روز به روز در حال افزایش است. قوطی‌های نوشابه، آب معدنی و نوشیدنی‌های که از جنس پت (PET[1]) است پس از مصرف به دلیل اینکه زمان طولانی در محیط باقی می‌مانند و قابلیت تجزیه بیولوژیکی ندارند، ازنظر زیست محیطی مشکلاتی همچون اشغال فضای زیادی از مراکز دفن را به‌دنبال دارند. از اینرو احتیاج به مدیریت صحیح داشته و بهترین راه برای مواجه با این نوع پسماندها بازیافت این نوع مواد است.

1 Poly Ethylene Terephthalate



www.SID.ir

Archive of SID


پت یا همان پلی‌اتیلن ترفتالات یک پلی استر ترموپلاستیک خطی است که کاربرد تجاری گسترده‌ای در الیاف مصنوعی و هم چنین تبدیل شدن به فیلم و مواد قالبگیری شده دارد. در سال ۱۹٤۱، برای اولین بار به عنوان الیاف مصنوعی استفاده شد. بعدها، در اواسط دهه ۱۹٦۰، از پت برای بسته بندی فیلم-ها استفاده شد و سپس در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰، با بدست امدن تکنیک دمیدن سه محوری این ماده وارد صنعت بطری سازی شد [1]. پت در بیشتر کشورها در صنایع مختلف مهندسی و مواد غذایی و ظروف آشامیدنی به کار می‌رود ولی در ایران بیشتر برای ساخت انواع بطری‌های آشامیدنی استفاده شده و از این راه وارد زباله‌های شهری می‌شود.

بازیافت بهترین راه‌حل برای رهایی از اینگونه زباله‌ها است. امروزه بازیافت پت در تولید مواد صنعتی کاربرد گسترده‌ای دارد. نمونه‌ای دیگر از بازیافت پت افزودن آن به بتن به عنوان ریزدانه و الیاف است. بر اساسی پژوهش‌های رحمانی و همکاران در استفاده از پت به عنوان ریزدانه در بتن مشخص شد که جایگزنی این ماده با ریزدانه در بتن باعث کاهش خواص مکانیکی بتن می‌شود. همچنین استفاده از ذرات پت بعنوان جایگزینی بخشی از ریزدانه به دلیل کاهش کارایی بتن موجب ایجاد خلل و فرج در بتن می‌شود [2]. در مطالعه‌ای دیگر، فریگیونه به پژوهش روی جانشین سازی ۵٪ وزن سنگدانه‌های ریز با وزن برابر از ذرات پت بازیافتی پرداخت. نتایج به دست آمده نشان دهنده‌ی آن بود که بتن حاوی این ذرات در محدوده‌ی مقادیر سیمان ۳۰۰ تا ٤۰۰ $m^3/kg$ و نسبت آب به سیمان ۰/٤۵ تا ۰/۵۵ در حالت تازه کارایی تقریباً مشابه با بتن معمولی را دارد. همچنین این بتن دارای مقاومت فشاری و کششی کمتری از بتن شاهد بوده و این در حالی است که دارای مدول الاستیسیته کمتر و به عبارتی نرمی بیشتر است [3]. بنا به گزارش‌ها نتایج رامادوی مقاومت خمشی تا ۲ درصد جایگزینی الیاف پت با ریزدانه‌ها افزایش یافته و پس از آن در ٤درصد الی ٦ درصد بطور تدریجی کاهش می‌یابد [4]. در پژوهشی خواص پت به عنوان الیاف به وسیله اُچی و همکارانش بررسی شد. این بررسی شامل کشش تر (از پارامترهای مهم در چسبندگی بین بتن و الیاف)، مقاومت در محیط آلکالی بتن (از پارامترهای مهم در میزان دوام) و تولید گازهای سمی (از پارامترهای مهم ایمنی بهنگام قرارگیری در برابر حرارت و آتش) می‌شود. برای مقایسه الیاف PET با سایر الیاف از الیاف پلی‌پروپیلن و پلی وینیل الکل (PVA) استفاده شد. کشش تر PET از PVA کمتر ولی ازPP بیشتر است. با توجه به اینکه الیاف PET از عناصر کربن، هیدروژن و اکسیژن تشکیل شده‌اند، گاز سمی تولید نخواهد شد [5]. بنا به گزارش مونتدو و همکارانش، دوام و عملکرد مکانیکی الیاف پت در محیط آلکالی بتن و ملاتها، ممکن است رفتارهای متفاوتی از خود نشان بدهند. این رفتارها وابسته به فرآیند تولید الیاف و برهم کنش بین الیاف و ساختار سیمانی است. بنا به نتایجی که مونتدو دست یافت الیاف پت در بلند مدت، در محیط آلکالی بتن دچار تخریب می‌شود و تأثیر خود را از دست می‌دهد [6].

در خصوص اثر الیاف بتن بر بتن تازه، نتایج حاصل از بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی بتن‌های حاوی ذرات پت به وسیله نورباران، حاکی از کاهش کارایی بتن تازه و کاهش در وزن مخصوص بتن تازه است [7]. پژوهش‌های نیبودی و همکارانش، نشان می‌دهد که الیاف پت میزان کارآیی را تحت تست اسلامپ و ضریب تراکم، کاهش می‌دهد [8]. بطور کلی در بتن سخت شده الیاف باعث بهبود خواص مکانیکی آن می-شود اما در خصوص پارامتر مقاومت فشاری نتایج متفاوت دیده شده است، به طوری که هم افزایش و هم کاهش مقاومت فشاری در اثر افزودن الیاف پت بازیافتی گزارش شده است [9-16]. الیاف پت باعث بهبود مقاومت خمشی بتن می‌شود. بنا به پژوهشی که به وسیله فوتی صورت گرفت نشان می‌دهد که با افزودن الیاف نواری شکل پت، مقاومت خمشی به میزان ٪۳/۹ نسبت به بتن معمولی افزایش می‌یابد [10]. نتایج مشابهی به وسیله اُچی در عملکرد خمشی مشاهده شد که با افزودن الیاف پت میزان مقاومت خمشی بین ۷/۸ الی ۲۵/۷ درصد نسبت به بتن معمولی افزایش می‌یابد [14]. نتایج شمس کیا نشان داد که الیاف پت با افزایش جذب انرژی و شکل‌پذیری در نمونه‌های بتن همراه بود. بیشترین شکل‌پذیری در (PC=۱/۵٪) مشاهده شد و با افزایش بیشتر درصد میزان الیاف شکل‌پذیری و جذب انرژی کاهش می‌یابد[16]. مطالعات حسین زاد فخیم در استفاده


www.SID.ir

Archive of SID



از الیاف پت بشکل پانچی شکل نشان می‌دهد که مقاومت خمشی و میزان جذب انرژی به ازای ۰/۵ درصد الیاف بترتیب ٦ و ٤٤ درصد نسبت به بتن معمولی افزایش می‌یابد [17]. نتایج کوردوبا و همکاران نشان می دهد که ذرات کوچکتر PET باعث افزایش مقاومت و کرنش فشاری بتن می‌شود در حالی که ذرات بزرگتر پت باعث کاهش مدول الاستیسیته می‌گردد [18]. بورگ و همکاران الیاف پت بازیافتی را در دو حالت صاف و موجی شکل با طول‌های ۳ و ۵ سانتی متر در درصدهای مختلف در بتن آزمایش کردند نتایج آنها نشان داد که افزودن این الیاف باعث کاهش مقاومت فشاری حداکثر به میزان ۸/۵ ٪ و بهبود مقاومت خمشی می‌شود. همچنین الیاف موجی شکل عملکرد خمشی بهتری نسبت به الیاف صاف از خودن نشان داده‌اند [19].

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش رفتار فیزیکی و مکانیکی بتن حاوی الیاف بازیافتی پت (RPET) بررسی شده است. برای این منظور ۱۰ ترکیب بتن، شامل نمونه شاهد و ۹ ترکیب بتن الیافی ساخته شد. الیاف در سه درصد حجمی ٪ ۰/۱۵، ٪۰/۳۰ و ٪۰/٤٥ با طول‌های ۱، ۲ و۳ سانتی‌متر بطور جداگانه استفاده شد. آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روزه و آزمایش مقاومت کششی، مقاومت خمشی وضربه در سن ۲۸ روزه انجام گرفت.

## ۳- مصالح مصرفی

### ۳-۱- سیمان

در این پروژه، از سیمان تیپ یک رده ٤۲٥ شرکت سیمان شرق استفاده شده است. سیمان مصرفی با مشخصات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۸ هماهنگی کامل دارد. مشخصات فیزیک وشمیایی سیمان در جدول(۱)، ارائه شده است.

### ۳-۲- سنگدانه

مصالح سنگی استفاده شده برای ساخت نمونه‌های آزمایش شده در این گزارش از محدوده جاده کلات، به وسیله واحد شن‌شویی شرکت فرآورده‌های سیمان شرق تهیه شد. نتایج آزمایش‌های اولیه انجام شده روی مصالح سنگی و همچنین منحنی دانه‌بندی به ترتیب در جدول (۲) و شکل (۱) ارائه شده است. در این پروژه با توجه به مصالح در دسترس، حدود دانه‌بندی سنگدانه‌ها با استفاده از استاندارد ملی ۳۰۲ ایران، کنترل و تعیین شد.

**جدول ۱.** مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان٤۲٥-I

| Physical properties | | | | Chemical properties | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cement type I-425 | National standard | | Cement type I-425 | National standard |
| Blain ($cm^2/gr$) | | 2900 | 2800 | $Al_2O_3$ | 4.98 | - |
| Setting time (min) | Initial | 150 | 45(Minimum) | $Fe_2O_3$ | 2.9 | - |
| | Final | 200 | 360(Maximum) | CaO | 65.88 | - |
| Compressive strength at 7 days | | 290 | 290 | $SO_3$ | 2.8 | 3 (Maximum) |
| Autoclave test | | 12.0 | 8.0 | $SiO_2$ | 20.54 | - |
| | | | | MgO | 2.9 | 5 (Maximum) |

**Table 1.** Physical and Chemical properties of Cement type I-425



www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۲.** مشخصات فیزیکی ریزدانه‌ها و درشت دانه‌ها

| Properties | Fine Aggregates | Coarse Aggregates |
|---|---|---|
| maximum nominal size (mm) | 6.2 | 19 |
| Density (kg/m3) | 2620 | 2700 |
| Water saturated surface dry absorption (%) | 1.25 | 0.6 |
| Fineness modulus | 3.7 | - |
| Sand equivalent(%) | 84 | - |

**Table 2.** Fine and Coarse aggregates physical properties

**شکل ۱.** منحنی دانه‌بندی ریزدانه و درشت‌دانه مصرفی طبق استاندارد ملی ۳۰۲ ایران

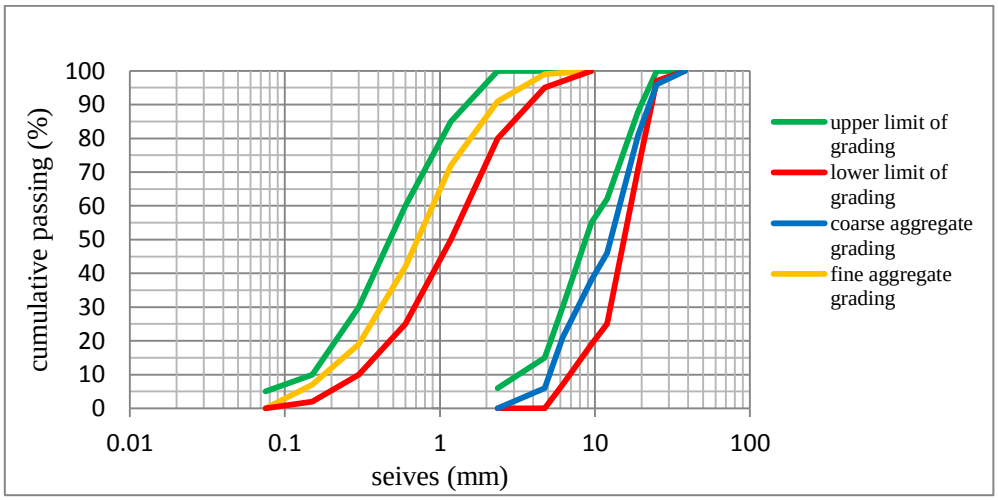


**Fig. 1.** Grading of coarse and fine aggregate according to 302 code Iran natinoal standard

**۳-۳-الیاف پت**

مشخصات پت مصرف شده در جدول (۳) آورده شده است.پس از بررسی و تحلیل نتایج دیگر پژوهشگران در زمینه بتن با الیاف پت، درمورد چگونگی استفاده، درصدهای مصرفی، شکل و طول این نوع الیاف تصمیم‌گیری شد. با توجه به نتایج بدست آمده از سایر پژوهشگران، برای چسبندگی و گیرداری بهتر بین الیاف وماتریس بتن، الیاف به شکل موجدار تهیه شد. برای بررسی اثر طول الیاف و تعیین طول بهینه الیاف، الیاف در سه طول۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر تهیه شد شکل (۲) و در سه درصد حجمی ۰/۱۵، ۰/۳ و ۰/۴۵ درصد، استفاده شد.

**جدول ۳.** مشخصات پت مصرفی

| properties of PET fiber | value |
|---|---|
| Thickness (mm) | 0.8 |
| Tensile strength (N) | 5600 |
| Elongation (%) | 15-17 |

**Table 3.** Characteristics of PET fibers

**شکل ۲.** الیاف موجدار در سه طول ۱، ۲و ۳ سانتیمتری

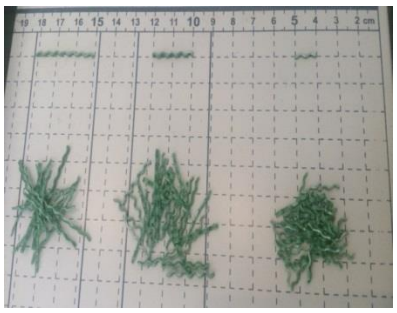

**Fig. 2.** Crimped shape PET fibers in lengths of 1, 2, 3 cm

## ٤- نسبت‌های مخلوط

نسبت‌های مخلوط استفاده شده در این پژوهش براساس ACI211-1 و به روش حجمی و با در نظر گرفتن مقاومت فشاری استوانه‌ای ٤٠ MPa است. نسبت آب به سیمان در این طرح ۰/٤٦ و مقدار سیمان، ریزدانه و درشت دانه به ترتیب ٤١٠ ، ٧٣٥ و ٩٦٤ کیلوگرم بر مترمکعب است. در این پروژه



www.SID.ir

Archive of SID


نامگذاری ترکیبات به گونه‌ای انجام شد که به خوبی بیان کننده درصد الیاف و طول الیاف باشد. برای نمونه‌ی شاهد غیر مسلح از PC و ترکیبات شامل الیاف از FRC X.Y، که در آن X طول الیاف به سانتی‌متر و Y نشانگر درصد حجمی الیاف استفاده شده است.

## ۵- نتایج و بحث

### ۵-۱- بتن تازه

آزمایش‌های اسلامپ (ASTM C143)، وزن مخصوص بتن تازه (ASTM C 138) و درصد هوا (ACTM C 231)، هماهنگ با استانداردهای ذکر شده انجام شد و نتایج آن در جدول (٤) نشان داده شده است. مطابق با این جدول با افزایش حجم وطول الیاف مصرفی، اسلامپ بتن کاهش می‌یابد. بطوری که در نمونه‌های بتن الیافی کمترین کاهش اسلامپ مربوط به نمونه FRC1.15 و بیشترین کاهش اسلامپ مربوط به نمونه FRC3.45 است. همچنین با افزایش الیاف درصد هوای بتن و وزن مخصوص آن کاهش می‌یابد.

### ۵-۲- بتن سخت شده

#### ۵-۲-۱- مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر انجام شد .تمام نمونه‌ها یک روز پس از ساخت، قالب‌برداری شده و بعد از ۷ و ۲۸ روز عمل‌آوری تحت آزمایش مقاومت فشاری طبق استاندارد BS EN 12390-3 قرار گرفتند و مقادیر میانگین آن‌ها در شکل (٤) آورده شده است. این مقادیر، میانگین مقاومت فشاری سه نمونه هستند. با بررسی شکل (۳) نتیجه می‌گیریم بطور کلی افزودن الیاف پت منجر به افزایش ۵ تا ۱۸ درصدی مقاومت فشاری نسبت نمونه شاهد می‌شود. همان‌گونه که پیشتر اشاره شد در خصوص اثر الیاف بر مقاومت فشاری نتایج متفاوت دیده شده است، به گونه‌ای که هم افزایش و هم کاهش مقاومت فشاری در اثر افزودن الیاف پت بازیافتی گزارش شده است [8-12]. در حالی که اوچی وهمکاران گزارش کرده‌اند که با افزاودن الیاف پت تا ۱٪ حجم بتن مقاومت فشاری از ٦٪ تا ۱۳٪ افزایش می‌یابد اما در مقادیر بالای الیاف مقاومت فشاری بتن نسبت به بتن ساده کاهش می‌یابد [10]. اما طبق نتایج کیم وهمکاران الیاف پت باعث کاهش مقاومت بتن تا ۹٪ می‌شود [20]. در مورد روند افزایش مقاومت، با افزایش درصد حجمی، مقدار بهبود مقاومت بیشتر می‌شود. افزایش طول نیز منجر به بهبود و افزایش بیشتر مقاومت می‌شود. شکل (٤) گسیختگی نمونه‌های فشاری حاوی ۱۵ درصد الیاف با طول‌های متفاوت را نشان می‌دهد به طور کلی با افزایش طول، به هنگام گسیختگی ریز ترکهای بیشتری تولید شده و ثبات و پیوستگی بین الیاف و بتن بیشتر شده و مانع متلاشی شدن بتن می‌شود.

**جدول ٤.** اثر الیاف پت بر ویژگی‌های بتن تازه

| | PC | FRC 1.15 | FRC 1.3 | FRC 1.45 | FRC 2.15 | FRC 2.3 | FRC 2.45 | FRC 3.15 | FRC 3.3 | FRC 3.45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Slump (mm)** | 82 | 67 | 60 | 60 | 63 | 62 | 52 | 59 | 53 | 51 |
| **Fresh concrete weight(kg/m$^3$)** | 2446 | 2421 | 2436 | 2415 | 2443 | 2438 | 2412 | 2466 | 2435 | 2419 |
| **Air content (%)** | 2.4 | 2.3 | 2.35 | 2 | 2.1 | 2.35 | 1.8 | 2.1 | 2 | 1.75 |

**Table 4.** Effect of PET fibers on fresh concrete


www.SID.ir

Archive of SID



**شکل ۳.** نمودار روند تغییرات مقاومت فشاری ($kg/cm^2$)

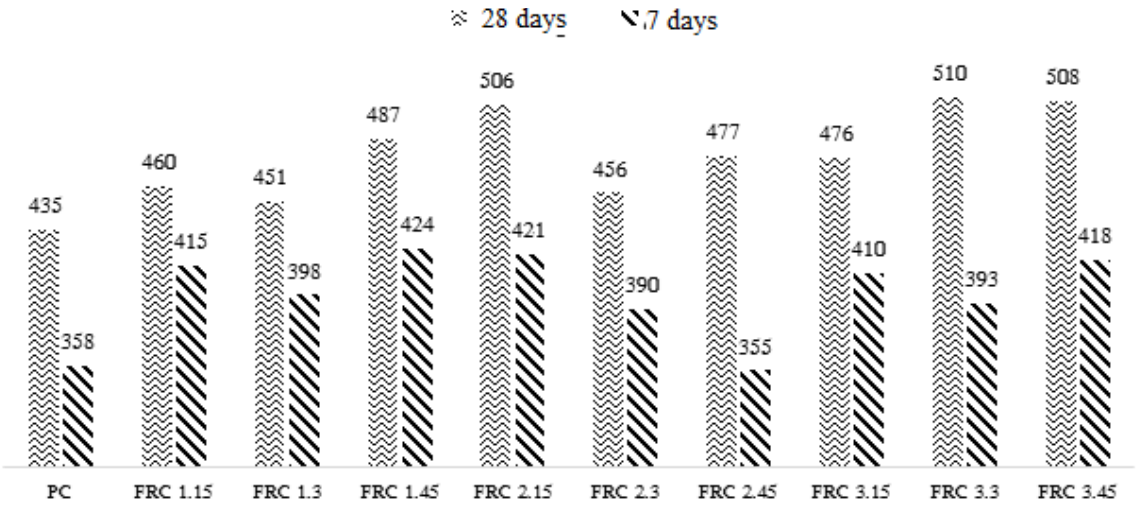


**Fig. 3.** Compressive strength of concrete after 7 and 28 days

**شکل ٤.** نمونه‌های گسیخته شده فشاری حاوی ۱۵ درصد الیاف

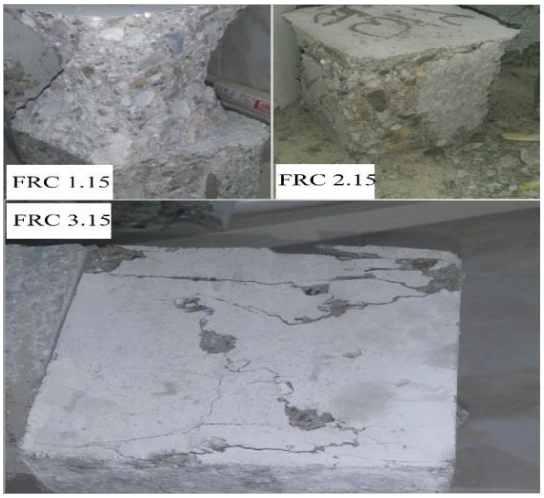


**Fig. 4.** Specimens containing 0.15% PET fiber after compressive test

**۵-۲-۲- مقاومت کششی غیر مستقیم**

آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم روی نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد ۳۰۰× ۱۵۰ میلی‌متر بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری طبق استاندارد ASTM C496-96 انجام گرفت. میانگین نتایج در شکل (۵) آورده شده است. مقاومت کششی غیر مستقیم بتن فاقد الیاف ۳۲ $kg/cm^2$ است مطابق شکل (۵) برخلاف مقاومت فشاری الیاف پت تاثیر متفاوتی روی مقاومت کششی بتن دارد بطوری که هم افزایش و هم کاهش اندک مقاومت در نمونه-های حاوی الیاف مشاهده شد. بطوری که بیشتر مقاومت مربوط به نمونه FRC1.15 و کمترین مقاومت مربوط به نمونه FRC3.45 است. اما می‌توان اذعان نمود که الیاف با طول۱ سانتی‌متر عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند. توجه به نتایج بدست آمده درصد حجمی کم الیاف ( ۰/۱۵درصد حجمی) افزایش اندکی در شکافت کششی پدیدار می‌شود ولی در درصد حجمی بیشتر، تأثیر ناچیز و حتی مقداری کاهش در مقاومت شکافت کششی ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه بتن ماده ناهمگن است و نمی‌توان بطور دقیق تشخیص داد که نقاط مختلف نمونه‌ها چگونه ساختاری دارند، علت این پدیده می‌تواند ناشی از توزیع و جهت قرار گیری الیاف در راستای شکاف باشد.

آزمون مقاومت خمشی بر نمونه‌های تیری شکل با ابعاد ۳۵۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر پس از ۲۸ روز عمل آوری در آب براساس استاندارد ASTM C1116 انجام شد و مقادیر میانگین آن‌ها در شکل (٦) آورده شده است. مقاومت خمشی نمونه فاقد ٤٤kg/cm2 است. همانطور که از شکل (٦) مشاهده می‌شود بطور کلی افزودن الیاف، منجر به افزایش مقاومت خمشی به میزان ٦ تا ۳۳ درصد می‌شود. این نتایج با مشاهدات قبلی هماهنگی کامل دارد بطوری که براساس نتایج الیویرا با



www.SID.ir

Archive of SID



افزودن ۱/۵ ٪ حجمی الیاف پت، مقاومت خمشی بتن از ۱/۸۳ به ۲/۷ Mpa و به میزان ٤۷٪ افزایش می‌یابد [21]. نتایج مشابهی به وسیله اُچی در عملکرد خمشی مشاهده شد که با افزودن الیاف پت میزان مقاومت خمشی بین ۷/۸ الی ۲۵/۷ درصد نسبت به بتن معمولی افزایش می‌یابد [14]. با بررسی شکل (٦) مشخص می‌شود که الیاف با طول ۱ سانتی‌متر عملکرد بهتری نسیت به سایر طول‌ها از خود نشان داده‌اند و با افزایش طول الیاف کاهش مقاومت خمشی بیشتر می‌شود. دلیل این روند، ناشی از توزیع بهتر و همگن بودن ترکیبات مسلح به الیاف یک سانتی‌متری نسبت به ترکیبات مسلح به الیاف ۲ و ۳ سانتی‌متری است. همچنین با افزایش الیاف از۰/۱۵ درصد به ۰/۳۰ درصد تغییر قابل توجهی در مقاومت خمشی مشاهده می‌شود بطوری که در نمونه‌های حاوی الیاف ۱ و ۲ سانتی‌متری باعث کاهش و در نمونه‌های ۳ سانتی‌متر باعث افزایش مقاومت خمشی می‌شود.

**۵-۲-۳- مقاومت خمشی**

**شکل ۵.** نمودار تغییر مقاومت کششی غیرمستقیم ($kg/cm^2$)

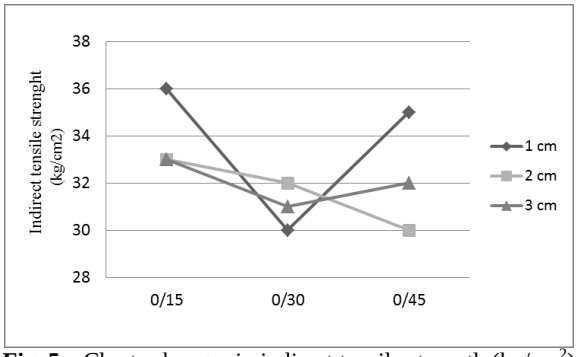


**Fig. 5.** Charts changes in indirect tensile strength ($kg/cm^2$)

**شکل ٦.** نمودار تغییرات مقاومت خمشی (kg/cm2)

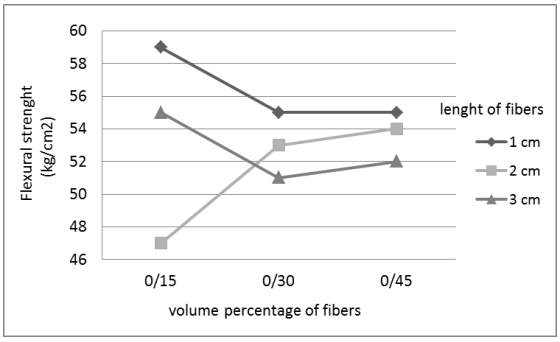


**Fig. 6.** Charts changes in flexural strengh ($kg/cm^2$

**۵-۲-۴- مقاومت در برابر ضربه**

آزمایش تعیین مقاومت ضربه‌ای بتن مسلح به الیاف مطابق با روش Drop-Weight (آزمایش وزنه افتان) روی نمونه‌های دیسکی به قطر ۱۵ سانتی‌متر و ضخامت ٦٤ میلی‌متر، طبق روش پیشنهادی ACI٥٤٤ انجام شد.

آزمایش مقاومت در برابر ضربه بعد از ۲۸ رو عمل‌آوری نمونه-ها انجام شد ونتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. قابل ذکر است که این نتایج میانگین ۳ آزمون برای هر ترکیب است. با بررسی جدول (۵) معلوم می‌شود که با افزایش الیاف، میزان مجموع انرژی جذب شده به وسیله نمونه‌ها نسبت به طرح شاهد، با توجه به درصد و طول الیاف بین ۸۰ تا ۸۰۰ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش درصد حجمی الیاف و طول الیاف، تعداد پرتابه لازم برای گسیختگی افزایش می‌یابد. مطابق با نتایج رخشانی مهر و همکاران، استفاده حداقلی از الیاف، الیاف مقاومت ضربه‌ای تا ظهور اولین ترک و رسیدن به مقاومت نهایی بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. حتی مقدار کم الیاف نیز تاثیر قابل توجهی در بهبود مقاومت ضربه‌ای بتن دارد [22]. بطوری کلی می‌توان بیان نمود که با افزایش درصد و طول الیاف، میزان جذب انرژی بیشتر می‌شود. دلیل این افزایش جذب انرژی و ضربه پذیری را می‌توان در ساختار بتن جستجو کرد. حفرها و نقاط ضعیف موجود در بتن سبب آغاز و گسترش ترک می‌شوند. ساختار بتن با الیاف متراکم تر و یکپارچه‌تر می‌شود. این مطلب به وسیله تعداد زیادی از پژوهشگران بررسی و گزارش شده است. بنابراین ساختار متراکم تر بتن سبب افزایش ضربه پذیری واستهلاک بیشتر انرژی می‌شود و الیاف با پل زدن در ساختار سیمانی و ایجاد پیوستگی بیشتر بین اجزای سازنده بتن، گسیختگی بتن را به مقدار قابل توجهی به تعویق می‌اندازد. نسبت ( N1/NC ) در هر سه طول ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر الیاف، در درصد حجمی ۰/۳ درصد کمینه است که بیان کننده اختلاف بیشتر بین ترک اولیه تا ترک گسیختگی است.



www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۵.** نتایج آزمون مقاومت در برابر ضربه روی نمونه‌های دیسکی شکل

| mix | No of drops for the first crack ($N_1$) | No of drops for the failure ($N_2$) | N1/N2 (%) | Total energy (J) | Changes to control mix (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| PC | 37 | 39 | 94.4 | 793 | - |
| FRC 1.15 | 68 | 71 | 95.8 | 1445 | 82 |
| FRC 1.3 | 43 | 46 | 93.5 | 936 | 18 |
| FRC 1.45 | 130 | 133 | 97.7 | 2706 | 240 |
| FRC 2.15 | 147 | 154 | 95.4 | 3134 | 295 |
| FRC 2.3 | 150 | 170 | 88.2 | 3460 | 336 |
| FRC 2.45 | 342 | 361 | 94.7 | 7346 | 826 |
| FRC 3.15 | 148 | 158 | 93.7 | 3215 | 305 |
| FRC 3.3 | 278 | 302 | 92 | 6145 | 675 |
| FRC 3.45 | 294 | 317 | 92.7 | 6450 | 713 |

**Table 5.** Results of mpact resistance test on disc form samples

## ٦- نتیجه گیری

- افزودن الیاف بازیافتی پت باعث بهبود خواص مکانیکی بتن می‌شود.

- نتایج این پژوهش نشان داد که الیاف پت منجر به افزایش ۵ تا ۱۸ درصدی مقاومت فشاری نسبت نمونه شاهد می‌شود. در مورد روند افزایش مقاومت، با افزایش درصد حجمی، مقدار بهبود مقاومت بیشتر می‌شود. افزایش طول نیز منجر به بهبود و افزایش بیشتر مقاومت. با افزایش طول، به هنگام گسیختگی ریز ترکهای بیشتری تولید شده و ثبات و پیوستگی بین الیاف و بتن بیشتر شده و مانع متلاشی شدن بتن می‌شود.

- الیاف پت، منجر به افزایش مقاومت خمشی به میزان ٦ تا ۳۳ درصد می‌شود. بیشترین مقدار افزایش در FRC 1.15 مشاهده شد. با افزایش طول مقدار افزایش مقاومت نسبت به نمونه شاهد کاهش می‌یابد. دلیل این روند، ناشی از توزیع بهتر و همگن بودن ترکیبات مسلح به الیاف یک سانتی‌متری نسبت به ترکیبات مسلح به الیاف ۲ و ۳ سانتی‌متری است. این الیاف تاثیر چندانی بر مقاومت کششی غیر مستقیم بتن ندارد.

- با افزایش الیاف، میزان مجموع انرژی جذب شده به وسیله نمونه‌ها نسبت به طرح شاهد، با توجه به درصد و طول الیاف بین ۸۰ تا ۸۰۰ درصد افزایش می‌یابد.

- با مقایسه تاثیر طول الیاف بر مقاومت فشاری، کششی و خمشی الیاف با طول ۱ سانتی‌متر به عنوان طول بهینه معرفی می‌شود.

## ۷- مراجع

## References


[1].http://www.petcore-europe.org/

[2]. Dehestani M., Beigi M. 2011, PET bottles for recycling waste and environmental solutions to help replace them as fine aggregate in concrete. Journal of concrete research. 5(1), 7-18 (In Persian).

[3]. Frigione M. 2010, Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. Waste Management 30 1101–1106.

[4].Ramadevi Ms. K., Manju Ms. R, 2012, Experimental Investigation on the Properties of Concrete with Plastic PET (Bottle) Fibres as Fine Aggregates. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 2,42-46.

[5].Ochi T., Okubo S., Fukui K. 2007, Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. Cement & Concrete Composites, Vol. 29 (6) pp-448–455.

[6]Montedo K. R. O., Pelisser F., Jean Paul Gleize P. & Roman H, R. 2012, Mechanical Properties of Recycled PET Fibers in Concrete. Materials Research, Vol. 15 (4), 679-686.

[7]. Nourbaran M. 2012, Physical and mechanical properties of concrete containing PET flakes (PET). Msc thesis.civil engineering group, University of semnan, Semnan, Iran, (In Persian).

[8].Nibudey R. N., Nagarnaik P. B., Parbat D. K., Pande A. M. 2013, Cube and cylinder compressive strengths of waste plastic fiber reinforced concrete". INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL AND STRUCTURAL ENGINEERING, Vol. 4, 174-182.

[9]. Kim J. H. J., Kim Y. H., Kim B. S., Yi H. N., & Lee S. K. 2009, Structural Performance Capacity Evaluation of Recycled PET Fiber Added Concrete .Asia-Pacific Conference on FRP in Construction, Vol. 9, 539-544.




www.SID.ir

Archive of SID


[10].Ochi T., Okubo S., Fukui K. 2007, Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. Cement & Concrete Composites, Vol. 29 (6),448–455.

[11]. Fraternali F., Ciancia V., Chechile R., Rizzano G., Feo L., Incarnato L. 2011, Experimental study of the thermo-mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete. Composite Structures, Vol. 93, 2368-2374.

[12] Nibudey R. N., Nagarnaik P. B., Parbat D. K., Pande A. M. 2013, A model for compressive strength of PET fiber reinforced concrete . American Journal of Engineering Research (AJER), Vol. 2 (12) , 367-372.

[13] Ramadevi Ms. K., Manju Ms. R, 2012, Experimental Investigation on the Properties of Concrete with Plastic PET (Bottle) Fibres as Fine Aggregates. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 2, 42-46.

[14] Foti D. 2013, Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete", Composite Structures, Vol. 96, 396-404.

[15].Foti D. 2011, Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. Construction and Building Materials.Vol. 25, 1906-1915.

[16].Shamskia N 2012, The Influence of Pet Fibers on the Properties of Fresh and Hardened Concrete. Journal of Structural Engineering and Geotechnics, Vol. 2(1), 13-17.

[17] Fakhim B. 2006, performance of PET fibers in concrete pavements. Msc thesis.civil engineering group, University of Tarbiat Modares , Tehran, Iran, (In Persian).

[18]. Córdoba L.A, Barrera G.M, Díaz C.B, Nuñez F.U, Yañez. L.A 2013, Effects on Mechanical Properties of Recycled PET in Cement-Based Composites. International Journal of Polymer Science, Vol. 12, 448–455.

[19]. Borg R.P, Baldacchino O, Ferrara L. 2016, Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete. Construction and Building Materials.Vol. 108, 29-47.

[20]. Kim S., , J. Kim, Song Y., 2010, Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. Cement Concr. Compos. Vol. 35, 232-240.

[21] de Oliviera, L.A.P. , Castro- Gomes, J.P, 2011, Physical and mechanical behavior of recycled PET fiber reinforced mortar.Construction and Building Materials.Vol. 25(4) ,1712-1717.

[22]. Mehr, M. , Bakhshi M., 2014, The effect on the mechanical properties of the fibers and defiance concrete with steel fibers. Journal of concrete research. 5(1), 101-112 (In Persian).


www.SID.ir

Archive of SID


# Effect of recycled fibers made of polyethylene terephthalate (PET) on the mechanical properties of concrete

**Gh. Shafabakhsh[1*], A.Kobari Ghotbi [2], M. Ahmadi[3]**

1- Professor , Transportation Eng. Dept., Faculty of Civil Eng., Semnan University
2- M.Sc. of Transportation Engineering, Faculty of Civil Eng., Semnan University
3- Ph.D Candidate. of Transportation Engineering, Faculty of Civil Eng., Semnan University

[*] **ghshafabakhsh@semnan.ac.ir**

**Abstract**

Disposal of Waste materials is a major challenge in each country and the use of plastics materials is increasing every day.A large part of the plastic wastes are bottles of drinks which are made of Polyethylene terephthalate (PET).The reuse of plastic wastes plays an important role in sustainable solid waste management. Plastic waste management helps to save natural resources that cannot be replenished, decreases pollution of the environment and also helps to save and recycle energy production processes. Now a days, PET has been widely used to produce fibers, particles, or lakes to obtain cement-based products with improved properties.

One transcendental alternative to recycling PETmaterials consists of using them as substitute of concrete aggregates. Due to demands of technological development in the construction area, the possibility for generating alternative materials that can be applied with increasing functionality, low costs, and better physical, chemical, and mechanical properties than conventional materials is being explored. Fiber-reinforced concrete is a composite material resulting from the addition of reinforcing fibers to the brittle matrix of ordinary concrete.The ability to enhance flexural and tensile performance of the concrete matrix, together with the opportunity for improving its durability, pushed boundaries in developing new materials tobe used as fibres. Several studies using reinforced concrete with polymer fibers like polypropylene, polystyrene, polyethylene terephthalate, and polyethylene have evidenced variation of concrete properties according to the nature and size of the aggregate .The level of fibre performance depends strongly on the quality and amount of the employed fibres applied, on their shape and dimensions as well as on their bond to the concrete matrix. The ability to enhance flexural and tensile performance ofthe concrete matrix, together with the opportunity for improving its durability, pushed boundaries in developing new materials tobe used as fibres. Use of PET fibers in concrete will solve environmental problem of this waste material in addition to improvement of mechanical properties of concrete. Research on the use of PET fibres as dispersed reinforcement in concrete and mortars has been ongoing for about a decade withsporadic studies. In this research physical and mechanical behavior of concrete containing recycled PET fiber has been studies. For this purpose 10 concrete mixture, including 1control mixture and 9 pet fiber concrete mixtures were made. Fibers in volume percentage of 0.15%, 0.30% and 0.45% with the length of 1, 2 and 3 cm were used separately. The Compressive strength, tensile strength and flexural strength tests were done on the samples. Fibers deformed with deforming machine to improve the adhesion of fiber with concrete. Compressive strengthwere performed ater7 and 28 days.The results show that PET fibers led to the increment of 5% to 18% in compressive strength compared to the control specimen. Unlike the compressive strength, PET fibers had no significant effect on the concrete tensile strength. Based on the results, in low volume percent of fiber (0.15% volume percent), a slight increase was generated in the tensile strength while in greater volume percent it had negligible effect and even some reduction in tensile strength.

**Keywords**: plastic bottles, polyethylene terephthala, fiber, concrete, mechanical properties


www.SID.ir