

تأثیر استفاده از ضایعات پلیمری UPVC بر خواص مکانیکی بتن

آرمان کیامرثی

گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

محمد مهدی جباری *

گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

چکیده

در این پژوهش، اثر اختلاط ضایعات پلیمری یوپی‌وی‌سی در دو شکل الیاف و دانه‌ای و در درصدهای حجمی مختلف (۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد برای شکل الیافی) و (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد برای شکل دانه‌ای)، جایگزین ماسه در ساخت بتن و انجام آزمایش‌هایی چون مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و آزمایش‌های بتن تازه نظیر اسلامپ و وزن مخصوص بتن، در دستور کار قرار گرفت. نسبت آب به سیمان در تمامی مخلوط‌ها ثابت (۰/۴۵) و عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه نمونه‌ها طبق شرایط استاندارد آزمایشگاهی انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که استفاده از این ضایعات در بتن، تا ۵ درصد برای شکل الیافی و تا ۱۰ درصد برای شکل دانه‌ای، کاهش ناچیزی در خواص مکانیکی و وزن مخصوص بتن داشته و سبب بهبود مقاومت کششی و خمشی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ضایعات یوپی‌وی‌سی، بتن، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی.

۱- مقدمه

و بالاخره کاهش زمین‌های مناسب برای دفن، اتخاذ یک راهکار مناسب و چاره‌اندیش ضروری به نظر می‌رسد [۲]. تقریباً هم‌زمان با آغاز بازیافت پلیمرها، یکی از راهکارهایی که به‌ویژه مهندسین عمران بر روی آن مطالعه کرده‌اند، استفاده از ضایعات این پلیمرها در عرصه‌ی مهندسی عمران بوده؛ بطوریکه در چند دهه اخیر، مطالعات گوناگونی در زمینه استفاده از پلیمرهایی همچون پت^۴ و پی-وی‌سی در انواع بتن و آسفالت توسط محققین مورد بررسی گرفته است. تعداد زیادی محقق به بررسی تأثیر زباله‌های پلاستیکی بر بتن پرداختند. در سال ۱۹۹۵ ریزز^۵ به بررسی تأثیر ترکیب رزین‌ها و زباله‌های پلاستیکی و استفاده از آن‌ها در بتن پیش‌ساخته با کیفیت بسیار خوب پرداخت [۳].

جوی^۶ و همکارانش به بررسی استفاده از زباله‌های پلیمری (بطری‌های پت) به‌عنوان سنگ‌دانه در بتن پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که مقاومت فشاری بتن حاصله به‌اندازه ۳۳ درصد کمتر از مقاومت فشاری بتن معمولی بوده است [۴]. باتینه^۷ و همکاران طی تحقیقی، اثر مخلوط‌ها ضایعات پت در درصد‌های حجمی ۱۰٪ و ۲۰٪ جایگزین ماسه در نسبت‌های آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۶، بر مقاومت خمشی بتن تحت دماهای مختلف (۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) مورد بررسی قرار داده و شاهد کاهش شدید مقاومت خمشی با افزایش دما بودند [۵].

مارزوک^۸ و همکاران، ضایعات پت را با حداکثر اندازه ۵ میلی‌متر به‌عنوان سنگ‌دانه در بتن بکار گرفتند. نتایج نشان داد که وقتی مقدار سنگ‌دانه پت از صفر درصد به ۵ درصد افزایش یابد، مقاومت نمونه‌ها کاهش جزئی دارد [۶].

نخستین پژوهش در زمینه استفاده از ضایعات پی‌وی‌سی در بتن، توسط کو^۹ و همکاران صورت گرفت. آن‌ها در این پژوهش گرانول‌های پی‌وی‌سی را در درصد‌های حجمی مختلف (۰، ۵، ۱۵، ۳۰ و ۴۵)، جایگزین ماسه در بتن معمولی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان پی‌وی‌سی در بتن، چگالی، انقباض، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و فشاری بتن کاهش و ضریب پواسون و مقاومت در برابر یون کلراید آن افزایش می‌یابد [۷].

در سالیان گذشته، پلیمرها یکی از مهم‌ترین و متنوع‌ترین کالاهای مصرفی در تجهیزات عمومی، صنایع هوایی، دریایی، نظامی، تفریحی، پزشکی و انواع قطعات پلاستیکی محسوب می‌گردد و تقریباً هیچ صنعتی از صنایع خرد و کلان یافت نمی‌شود که برخی از اجزای آن متشکل از پلیمرها نباشد. یکی از این پلیمرهای پر مصرف، پلی‌وینیل کلراید سخت بوده که اصطلاحاً یوپی‌وی‌سی^۱ خوانده می‌شود و از پر مصرف‌ترین مشتقات پی‌وی‌سی^۲ است. پی-وی‌سی در سال ۲۰۱۵، با تولید ۴۲ میلیون تن به‌عنوان دومین پلاستیک پر مصرف در جهان شناخته شد و مصرف جهانی آن امروزه حدود ۳۳/۵ میلیون تن در سال است. در طول سال‌های گذشته، از یوپی‌وی‌سی، در ساخت لوله‌های آبرسانی و پروفیل‌های درب و پنجره استفاده فراوان شده است [۱].

طی سالیان اخیر، مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی ناشی از ضایعات پی‌وی‌سی و مشتقات آن، به‌طور گسترده‌ای مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. این امر موجب پیدایش رهیافت‌های مختلفی برای مدیریت و دفع ضایعات آن‌ها شده است. دفع مواد خطرناکی مانند دیوکسین‌ها^۳ که محصولات جانبی دفع و سوزاندن یوپی‌وی‌سی هستند و سایر مواد افزودنی خطرناک آن هدف اصلی سازمان‌های بین‌المللی قرار گرفت. از آنجاکه این پلیمر معمولاً در کاربردهای درازمدت استفاده می‌شود، مانند سایر پلاستیک‌های مصارف خانگی پس از یک‌بار مصرف وارد جریان شهری نمی‌شود. موارد عمده‌ای که مانع از بازیافت گسترده یوپی‌وی‌سی می‌شود، عبارتند از: آلودگی، ناپایداری نسبی گرمایی، چند جزئی بودن محصولات یوپی‌وی‌سی و کم بودن حجم یوپی‌وی‌سی مصرفی جمع‌آوری شده. درصد کمی از این زباله‌های پلاستیکی هم‌اکنون بازیافت شده و به چرخه تولید بازمی‌گردند. ولی بخش اعظمی از آن‌ها یا سوزانده می‌شوند و یا در اطراف کلان‌شهرهای بزرگ مدفون گشته و هر دو روش گفته‌شده معضلات زیست‌محیطی وسیعی را به دنبال دارند. در مورد اول بارها شدن گازهای سمی ناشی از سوزاندن این مواد در هوا و در مورد دوم نیز به دلیل عدم تجزیه این مواد و بلااستفاده شدن زمین‌های محل دفن

⁶ Choi

⁷ Batayneh

⁸ Marzouk

⁹ Kou

¹ Un Plasticized Poly Vinyl Chloride (UPVC)

² Poly Vinyl Chloride (PVC)

³ Dioxin

⁴ Poly Ethylene Terephthalate (PET)

⁵ Rebeiz

در پژوهشی دیگر هارشد^۵ و همکاران از مخلوط ضایعات پی‌وی-سی و شیشه به صورت پودر در بتن به میزان (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰) درصد وزنی سیمان در یک نسبت آب به سیمان ثابت مورد بررسی قرار داده و پس از انجام آزمایش‌های ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه نمونه‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از این پودر ضایعات تا میزان ۱۵ درصد تأثیر ناچیزی بر خواص مکانیکی بتن داشته ولی با افزایش این میزان خواص مکانیکی بتن کاهش شدیدی می‌یابد [۱۴].

با توجه به مطالعات چند دهه اخیر می‌توان دست‌یافت که محققین به دنبال استفاده از ضایعات پلیمرها در بتن جهت کمک به مشکلات زیست‌محیطی ناشی از این ضایعات بوده‌اند. علیرغم مطالعات فوق، تاکنون پژوهشی جهت استفاده از ضایعات پلیمری یوپی‌وی‌سی در بتن صورت نگرفته است. ضرورت اصلی این پژوهش، بررسی اثر جایگزینی ضایعات پلیمری یوپی‌وی‌سی در دو شکل الیاف و دانه‌ای و در درصدهای حجمی تعیین شده (۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد برای شکل الیاف) و (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد برای شکل دانه‌ای)، جایگزین ماسه در ساخت بتن است در این راستا انجام آزمایش‌هایی چون، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و آزمایش‌های بتن تازه نظیر اسلامپ و وزن مخصوص بتن، در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

سیمان مصرفی در این پژوهش برای تمامی نسبت مخلوط‌ها جهت ساخت نمونه‌های بتنی از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان فیروزآباد بوده که در آن الزامات مربوط به آیین‌نامه ASTM C150 رعایت شده است. چگالی این سیمان $3/15 \text{ gr/cm}^3$ است و مشخصات شیمیایی آن در جدول (۱) ارائه شده است. آب مصرفی در این پژوهش جهت ساخت بتن و همچنین عمل‌آوری نمونه‌ها، از نوع آب آشامیدنی شهری و مطابق با آیین‌نامه ASTM D1129 است. مصالح سنگی مورد استفاده برای ساخت نمونه‌های بتنی در این پژوهش شامل مصالح درشت‌دانه (شن) از نوع گرد گوشه، در دو سایز نخودی و بادامی و همچنین مصالح سنگی ریزدانه (ماسه) طبیعی بوده که از کارخانه شن و

در تحقیقی دیگر، هانوی^۱ و همکاران به مدیریت برای استفاده از مواد بازیافتی پلی‌کربنات^۲ و پت در زمینه مهندسی عمران و ساخت بتن پرداختند. تحلیل اسکن ذره‌بینی الکترونی (SEM) در بتن‌های مذکور، یک چسبندگی ضعیف را بین سنگ‌دانه‌های پلاستیک و بافت نشان می‌دهد [۸].

مدندوست و همکاران به بررسی خواص بتن خودتراکم حاوی ضایعات خردشده لوله‌های پی‌وی‌سی پرداختند. آن‌ها ضایعات خردشده لوله‌های پی‌وی‌سی در درصدهای حجمی (۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۳۰) جایگزین ماسه در بتن خودتراکم کرده و شاهد افزایش خواص مکانیکی ۲۸ روزه بتن با افزایش میزان پودر ضایعات پی‌وی‌سی بودند [۹، ۱۰].

موسوی و همکاران، تأثیر شرایط عمل‌آوری مختلف (مرطوب، نیمه مرطوب و کاملاً خشک) بر مقاومت مکانیکی بتن حاوی درصدهای مختلف (۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) ضایعات پی‌وی‌سی که جایگزین ریزدانه در بتن گردیدند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در شرایط عمل‌آوری مرطوب و با جایگزینی ۲۰ درصد ماسه رودخانه‌ای با دانه‌های پی‌وی‌سی، کمترین مقادیر کاهش در پارامترهای مکانیکی بتن نسبت به سایر درصدها و شرایط عمل‌آوری‌ها حاصل می‌شود [۱۱].

حماد^۳ و همکارانش اثر استفاده از ضایعات بطری‌های پت در اندازه‌های ریز، درشت و مخلوط (۶۰٪ درشت و ۴۰٪ ریز) در مقدارهای مختلف (۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵) درصد وزنی سیمان در بتن خودتراکم را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها پس از انجام آزمایش‌های بتن تازه و سخت شده، به این نتیجه رسیدند که با افزایش ضایعات بطری‌های پت در بتن خودتراکم، کار آبی و مقاومت فشاری این نوع بتن کاهش یافته و ضایعات پت با اندازه ریز، تأثیر بهتری نسبت به سایر اندازه‌های استفاده شده دارد [۱۲].

مهمت^۴ و همکاران ویژگی‌های مکانیکی بتن خودتراکم حاوی پودر ضایعات پی‌وی‌سی را در مقدارهای (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵) درصد وزنی سیمان در یک نسبت آب به سیمان ثابت مورد آزمایش قرار داده و شاهد کاهش خواص فیزیکی ۲۸ روزه بتن با افزایش میزان پودر ضایعات پی‌وی‌سی بودند [۱۳].

⁴ Mehmet

⁵ Harshed

¹ Hannawi

² Poly Carbonate

³ Hama

ماسه در محدوده جاده شیراز-دوکوهک، تهیه شده است. آزمایش انجام شده بر روی سنگ‌دانه‌ها مطابق جدول (۲) است. منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها بر اساس ASTM C136 در نمودار شکل (۱) نشان داده شده است که مطابق آیین‌نامه ASTM C33 است. سایر خصوصیات فیزیکی مربوط به سنگ‌دانه‌ها در جدول (۳) ارائه گردیده است. در این پژوهش از ضایعات پروفیل‌های یوپی‌وی‌سی مشخص که از یک کارخانه ساخت درب و پنجره یوپی‌وی‌سی واقع در شهرک صنعتی شیراز بوده، در دو شکل لیاف و دانه‌ای استفاده شده است (شکل ۲).

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان فارس نو "فیروزآباد"

| نام ماده | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | L.O.I |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-----|-----------------|------------------|-------------------|-------|
| مقدار موجود در سیمان (%) | ۲۱ | ۵/۴ | ۴/۲۱ | ۶۳/۵۹ | ۱/۷ | ۱/۸ | ۰/۸ | ۰/۱۲ | ۱/۳۸ |

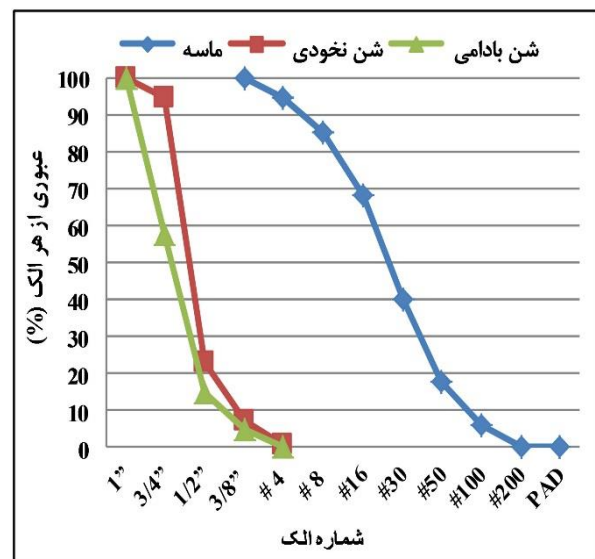


شکل ۲- ضایعات یوپی‌وی‌سی مورد استفاده

خصوصیات فیزیکی این مواد در جدول (۴) نشان داده شده است. ضایعات حاصل از این کارخانه، به دو شکل لیاف و تکه‌های پروفیل است. لیاف حاصل دستگاه سمبه زنی (رنده) در همان کارخانه است. جهت تهیه یوپی‌وی‌سی دانه‌ای مورد استفاده در این پژوهش، از خرد نمودن تکه‌های پروفیل‌های یوپی‌وی‌سی، به وسیله‌ی دستگاهی که به منظور خرد کردن پلاستیک در یک کارخانه بازیافت پلاستیک واقع در شهرک صنعتی شیراز کمک گرفته شد و سرانجام این ذرات دانه‌ای حاصل که پس از اولین بار خرد شدن ابعادی بین ۲-۲۴ میلی‌متر داشتند، دوباره توسط همان دستگاه خرد شده و از الک ۳/۸ اینچ (۹/۵ mm) عبور داده شدند.

جدول ۲- آزمایش‌ها و استانداردهای مربوط به مصالح مصرفی

| استاندارد | آزمایش‌ها |
|---------------|-----------------------------|
| ASTM C136-848 | دانه‌بندی مصالح سنگی با الک |
| ASTM C136-06 | تحلیل دانه‌بندی و ضریب نرمی |
| ASTM C566-89 | رطوبت |
| ASTM C127-88 | چگالی و جذب آب درشت‌دانه |
| ASTM C128-88 | چگالی و جذب آب ریزدانه |
| ISIRI 7090-1 | چگالی ضایعات یوپی‌وی‌سی |



شکل ۱- نمودار دانه‌بندی مصالح سنگی

جدول ۳- مشخصات فیزیکی سنگ‌دانه‌ها

| نوع سنگ‌دانه | چگالی در حالت SSD (gr/cm ³) | درصد جذب آب SSD (%) | مدول نرمی |
|--------------|---|---------------------|-----------|
| ماسه | ۲/۷ | ۱/۴ | ۲/۸۶ |
| شن نخودی | ۲/۶ | ۱ | - |
| شن بادامی | ۲/۶۲ | ۰/۹ | - |

جدول ۴- مشخصات فیزیکی مواد یوپی‌وی‌سی مورد استفاده [۱۵]

| چگالی (Kg/cm ³) | نقطه دمای تغییر شکل (°C) | عایق صدا (db) | تنش کششی (N/mm ²) | حداکثر دما برای استفاده (°C) | دمای ذوب (°C) |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------|
| ۱۳۸۰ | ۸۳ | ۴۲-۳۰ | ۵۵ | ۶۰ | ۹۰ |

مشخصات فیزیکی ضایعات یوپی‌وی‌سی دانه‌ای و الیافی در جداول (۵) و (۶) نشان داده شده است.

جدول ۵- مشخصات فیزیکی یوپی‌وی‌سی الیافی

| | |
|-----------------------------|------|
| طول الیاف (mm) | ۲-۵ |
| قطر (mm) | ۰/۲ |
| چگالی (gr/cm ³) | ۰/۸۴ |

جدول ۶- دانه‌بندی و مشخصه فیزیکی یوپی‌وی‌سی دانه‌ای

| درصد عبوری (%) | اندازه الک (mm) |
|-----------------------------|-----------------|
| ۱۰۰ | ۹/۵ |
| ۹۶ | ۴/۷۵ |
| ۲ | ۲/۳۶ |
| ۲ | ۱/۱۸ |
| مشخصات فیزیکی | |
| چگالی (gr/cm ³) | ۱/۳۸ |

نسب فوق‌روان‌کننده‌ها به حساب می‌آید که مطابق با استاندارد ASTM C494 و استاندارد ۲۹۳۰ ایران ساخته شده است و بر پایه کربوکسیلات‌تر است. مشخصات فنی این فوق‌روان‌کننده که با نام تجاری Super Plast P.C 5000R است، در جدول (۷) آمده است.

۲-۲- نسبت مخلوط‌ها و آماده‌سازی نمونه‌ها

بتن حاوی ضایعات یوپی‌وی‌سی در مقایسه با بتن معمولی نیاز بیشتری به خمیر سیمان جهت اندود نمودن سطوح آن دارد. لذا سیمان بیشتری در این پژوهش استفاده شد. نسبت آب به سیمان در این نوع بتن نباید از ۰/۴ کمتر باشد و جهت کسب کار آبی بهتر باید اندازه بزرگ‌ترین دانه مصالح را محدود و دانه‌بندی را بهینه کرده و سیمان را افزایش داد. در این تحقیق از آیین‌نامه ACI 211 و همچنین استفاده از تجارب سایر محققین در مقالات معتبر علمی که در زمینه بتن حاوی ضایعات پلیمری فعالیت کرده‌اند استفاده شد. همچنین ضایعات یوپی‌وی‌سی طبق روش طراحی در تحقیقات پیشین انجام گرفته، جایگزین بخشی از ماسه مدنظر قرار گرفت.

لازم به ذکر است که جهت تعیین چگالی این ضایعات، از روش غوطه‌وری آیین‌نامه ISIRI 7090 استفاده شد. به جهت ترکیب بهتر افزودنی‌ها و کاهش آب مخلوط‌ها، از فوق‌روان‌کننده استفاده گردید. فوق‌روان‌کننده استفاده‌شده در این پژوهش از جدیدترین

جدول ۷- مشخصات فنی فوق‌روان‌کننده مصرفی

| حالت فیزیکی | مقدار یون کلر | جرم مخصوص | مقدار PH | زمان ماندگاری | مقدار مصرف مجاز |
|-------------|---------------|-----------|----------|---------------|----------------------------|
| مابع | ندارد | ۱/۱±۰/۰۲ | ۶/۲±۰/۵ | یک سال | ۰/۱ الی ۰/۷ درصد وزن سیمان |

انتخاب نسبت مخلوط نهایی نمونه شاهد، بر اساس بهینه‌ترین اثر ضایعات یوپی‌وی‌سی بر روی مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه شاهد در نسبت مخلوط‌های انجام گرفته در نظر گرفته شد. نسبت‌های نهایی مخلوط‌های مورد استفاده در این پژوهش جهت انجام آزمایش‌های ۷ و ۲۸ روزه در جدول (۸) ارائه گردیده است. جهت ساخت نمونه‌ها پس از مرطوب‌سازی مخلوط‌کن، پس از توزین مصالح، برای ساخت نمونه‌ها ابتدا سنگ‌دانه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه در مخلوط‌کن مخلوط شدند. نحوه اضافه کردن آب بر اساس روش‌های تجربی به‌دست‌آمده در تحقیقات پیشین که باهدف اختلاط بهتر و یکنواختی مورد استفاده قرار گرفته است، در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفت. در این راستا نصف آب مصرفی به مدت یک دقیقه در حالی که مخلوط‌کن روشن بود به مخلوط اضافه گردید. پس از این مرحله مخلوط‌کن به مدت ۳۰ ثانیه خاموش شده و سپس ضایعات یوپی‌وی‌سی به آن اضافه گردید و به مدت یک دقیقه دیگر در مخلوط‌کن، مخلوط شدند. در حالی که مخلوط-کن به مدت ۲ دقیقه روشن بود، آب باقیمانده و فوق‌روان‌کننده به

روش‌های تجربی به‌دست‌آمده در تحقیقات پیشین که باهدف اختلاط بهتر و یکنواختی مورد استفاده قرار گرفته است، در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفت. در این راستا نصف آب مصرفی به مدت یک دقیقه در حالی که مخلوط‌کن روشن بود به مخلوط اضافه گردید. پس از این مرحله مخلوط‌کن به مدت ۳۰ ثانیه خاموش شده و سپس ضایعات یوپی‌وی‌سی به آن اضافه گردید و به مدت یک دقیقه دیگر در مخلوط‌کن، مخلوط شدند. در حالی که مخلوط-کن به مدت ۲ دقیقه روشن بود، آب باقیمانده و فوق‌روان‌کننده به

مخلوط اضافه شد. در نهایت بعد از یک دقیقه، مخلوط بتن به میزان ۳ دقیقه دیگر در مخلوط کن مخلوط گردید. پس از انجام این مرحله، زمانی که بتن به صورت یک مخلوط یکنواخت و همگن آماده گردید، بتن را از مخلوط کن خارج کرده و پس از انجام آزمایش- های بتن تازه شامل اسلامپ و اندازه گیری وزن مخصوص، جهت انجام آزمایش های در نظر گرفته شده در قالب های مربوطه ریخته و طبق استاندارد ASTM C172 متراکم گردید. طبق استاندارد

ASTM C430 نمونه ها پس از ۲۴ ساعت جهت قرار دادن در حوضچه آب از قالب ها خارج کرده و جهت عمل آوری تا مدت زمان مورد نظر (۷ و ۲۸ روز) در حوضچه آب با دمای ۲۳ درجه سانتی گراد طبق استاندارد ASTM C31 قرار گرفته و جهت انجام آزمایش های مربوطه، نمونه ها از آب خارج شده و جهت خشک شدن سطح آن ها، به مدت ۳ ساعت در محیط بیرون آزمایشگاه و در هوای آزاد قرار داده شدند.

جدول ۸- نسبت های نهایی مخلوط ها

| نام نسبت مخلوط ها | نسبت آب به سیمان (w/c) | سیمان (kg) | آب (kg) | روان ساز (kg) | شن بادامی (kg) | شن نخودی (kg) | ماسه (kg) | ضایعات یوپی وی سی (kg) |
|--|------------------------|------------|---------|---------------|----------------|---------------|-----------|------------------------|
| نسبت مخلوط ها نمونه های شاهد | | | | | | | | |
| SH | ۰/۴۵ | ۴۰۰ | ۱۸۰ | ۲ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۱۰۷۵ | - |
| نسبت مخلوط های حاوی الیاف یوپی وی سی | | | | | | | | |
| UR۲/۵ % | ۰/۴۵ | ۴۰۰ | ۱۸۰ | ۲ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۱۰۴۸/۱ | ۸/۳۶ |
| UR۵ % | ۰/۴۵ | ۴۰۰ | ۱۸۰ | ۲ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۱۰۲۱/۲۵ | ۱۶/۷۲ |
| UR۷/۵ % | ۰/۴۵ | ۴۰۰ | ۱۸۰ | ۲ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۹۹۴/۳۷ | ۲۵/۰۸ |
| UR۱۰ % | ۰/۴۵ | ۴۰۰ | ۱۸۰ | ۲ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۹۶۷/۵ | ۳۳/۴۴ |
| نسبت مخلوط های حاوی یوپی وی سی دانه ای | | | | | | | | |
| US۵ % | ۰/۴۵ | ۴۰۰ | ۱۸۰ | ۲ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۱۰۲۱/۲۵ | ۲۷/۴۷ |
| US۱۰ % | ۰/۴۵ | ۴۰۰ | ۱۸۰ | ۲ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۹۶۷/۵ | ۵۴/۹۴ |
| US۱۵ % | ۰/۴۵ | ۴۰۰ | ۱۸۰ | ۲ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۹۱۳/۷۵ | ۸۲/۴۱ |

۳-۲- نمونه ها و آزمایش ها

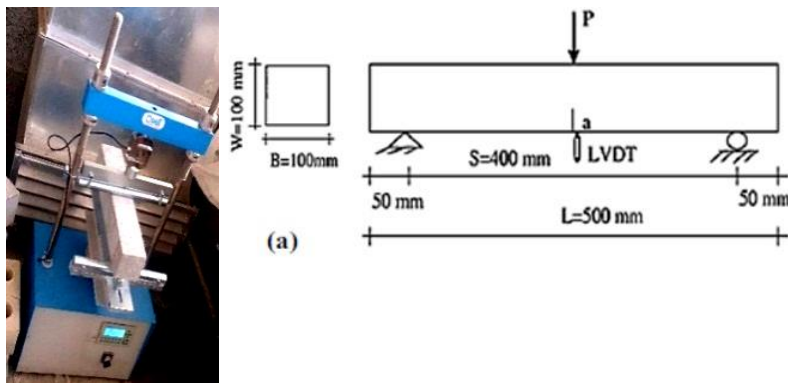
جهت بررسی اثر مخلوط ها ضایعات یوپی وی سی بر خواص بتن، آزمایش های بتن تازه شامل اسلامپ و تعیین وزن مخصوص بتن و آزمایش های بتن سخت شده نظیر مقاومت های فشاری، کششی، خمشی بر روی هر نسبت مخلوط انجام شد. به علت نبود آیین نامه استاندارد برای بتن حاوی پلیمر، آزمایش ها بر اساس استاندارد بتن سیمانی انجام گردید. اکثر آزمایش ها و اندازه گیری ها بر اساس استاندارد امریکا (ASTM) انجام شده است. انتخاب استاندارد بر اساس آزمایش مربوطه و انتخاب روش، معمولاً بر اساس اندازه مصالح سنگی به کاررفته بوده است. آزمایش ها، استانداردهای مربوط به آن ها، مشخصات و تعداد نمونه های بتنی ساخته شده در جدول (۹) تشریح شده است. جهت انجام آزمایش- های مقاومت فشاری و کششی از جک بتن شکن ۲۰۰ تنی یونیورسال (شکل ۳) و جهت انجام آزمایش مقاومت خمشی از دستگاه مقاومت خمشی تیر بتنی (شکل ۴) استفاده گردید.

جدول ۹- برنامه آزمایشگاهی برای هر نسبت مخلوط

| آزمایش | استاندارد | شکل | ابعاد (cm) | | | تعداد نمونه |
|----------------|--------------|------------|------------|-----|-----|-------------|
| | | | ارتفاع | عرض | طول | |
| اسلامپ | ASTM C143-56 | مخروط ناقص | ۳۰ | - | - | ۲۸روزه |
| چگالی بتن تازه | ASTM C138 | استوانه ای | ۳۰ | - | ۱۵ | ۷روزه |
| مقاومت فشاری | ASTM C39 | مکعبی | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۵ |
| مقاومت کششی | ASTM C496 | استوانه ای | ۳۰ | - | ۱۵ | ۵ |
| مقاومت خمشی | ASTM C293 | تیر منشوری | ۱۰ | ۱۰ | ۵۰ | ۵ |

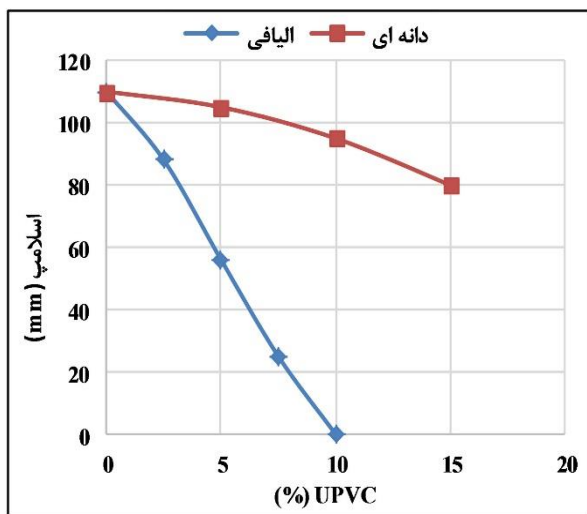


شکل ۳- دستگاه جک بتن شکن یونیورسال



شکل ۴- آزمایش مقاومت خمشی با استفاده تیر ساده با بارگذاری مرکزی

به طور مستقیم موجب افزایش تخلخل در نمونه می گردد. همان طور که در نمودار شکل (۶) نشان داده شده است، بیشترین حالت کاهش چگالی نمونه های بتنی مربوط به یوپی وی سی الیافی بوده که باعث کاهش ۴ درصدی وزن مخصوص بتن گردیده است. و همکاران [۷] نیز با جایگزینی ۱۵ درصد از گرانول پی وی سی بجای ماسه، شاهد کاهش ۷/۵ درصدی چگالی بودند.



شکل ۵- نمودار اسلامپ نسبت های مخلوطها

۳- ارائه نتایج و تفسیر آنها

۱-۳- نتایج آزمایش اسلامپ

نتایج آزمایش اسلامپ در نمودار شکل (۵) ارائه گردیده است. مشاهدات آزمایش نشان دهنده آن است که با افزایش مقدار الیاف یوپی وی سی در بتن، کار آیی آن به شدت کاهش یافته و به همین دلیل زمان ریختن بتن در قالب، تراکم به خوبی صورت نگرفته و در نتیجه این موضوع باعث افزایش تخلخل و کاهش کار آیی بتن شده است. علت این کاهش کار آیی می تواند به دلیل ایجاد غشای ریزساختار ضعیف در اطراف سطح الیاف این ضایعات باشد. برخلاف یوپی وی سی الیافی، شکل دانه ای این ماده تأثیر ناچیزی بر کار آیی بتن داشته و این امر سبب بهبود وضعیت تراکم بتن و در نتیجه کاهش خلل و فرج در آن می گردد.

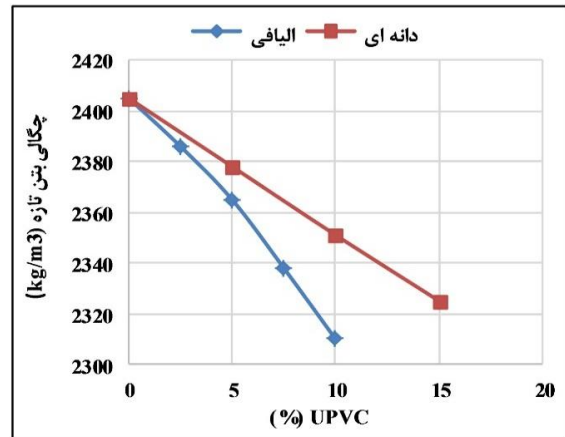
۲-۳- چگالی بتن تازه

بررسی نتایج آزمایش چگالی بتن تازه نسبت مخلوطها، نشان دهنده آن است که مقدار چگالی بتن با افزایش مقدار ضایعات یوپی وی سی کاهش یافته است. این موضوع می تواند ناشی از چگالی پایین ضایعات یوپی وی سی نسبت به ریزدانه (ماسه) باشد که این امر نیز

با بررسی این نتایج ملاحظه می‌شود که مقاومت فشاری بتن با افزایش این ضایعات، ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا کرده است. افزایش ۴ درصدی مقاومت فشاری در ۵ درصد استفاده از این ضایعات می‌تواند ناشی از آب جذب شده توسط سطح این ضایعات که منجر به کاهش آب بتن می‌گردد بوده و کاهش مقاومت فشاری در درصدهای بالاتر استفاده از این ضایعات می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر منفی فضای خالی ایجاد شده به وسیله الیاف و دانه‌های یوپی‌وی‌سی در بتن باشد. افزایش ضایعات یوپی‌وی‌سی تا ۵ درصد حجمی برای شکل الیاف و ۱۰ درصد حجمی برای شکل دانه‌ای، تغییرات چندانی در مقاومت فشاری ایجاد نمی‌کند و پس از آن با افزایش میزان این ضایعات، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. بر مبنای نتایج مطالعه‌ی هارشد و همکاران [۱۴]، جایگزینی ۵ درصد پودر پی‌وی‌سی و پودر شیشه بجای ماسه در بتن، تغییری در مقاومت فشاری بتن به وجود نمی‌آید و با افزایش این مواد، مقاومت فشاری شروع به کاهش می‌کند. مدن دوست و همکاران [۱۰] نیز در مطالعه‌ای شاهد افزایش مقاومت فشاری بتن خودتراکم تا میزان ۱۵ درصد جایگزینی ضایعات خرد شده پی‌وی‌سی به جای ریزدانه (ماسه) بودند.

۳-۴- مقاومت کششی

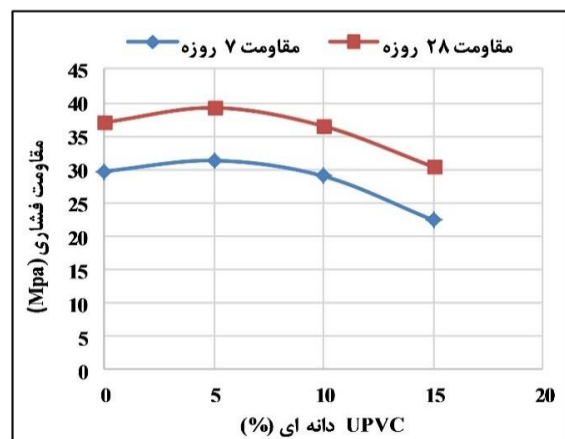
این آزمایش که موسوم به آزمایش تست کشش برزیلی است، بر روی نمونه‌های استوانه‌ای 15×30 سانتیمتری انجام شده است. نتایج حاصل از آزمایش مقاومت کششی نمونه‌های بتنی، در نمودار شکل‌های (۹) و (۱۰) آمده است که نشان می‌دهد با افزودن ذرات یوپی‌وی‌سی به بتن، مقاومت کششی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. در بتن با اعمال تنش، ترک‌های مویی رشد کرده و گسترش می‌یابند. گسترش ترک در خمیر سیمان می‌تواند با موانعی مانند یک حفره‌ی بزرگ، یک ذره سیمان هیدراته نشده و یا مصالح نرم که نیاز به انرژی بیشتری برای گسیختگی دارند برخورد کند و از ادامه گسترش ترک جلوگیری گردد. ذرات یوپی‌وی‌سی می‌تواند به‌عنوان مانعی در برابر گسترش ترک در بتن عمل کند. بنابراین مقاومت کششی بتن حاوی ضایعات یوپی‌وی‌سی باید نسبت به بتن شاهد زیادتر باشد، ولی نتایج در جایگزینی درصدهای بالاتر این ماده عکس این فرضیه را نشان می‌دهد. علت این رفتار می‌تواند به دلایل افزایش تخلخل بتن در درصدهای بالاتر استفاده



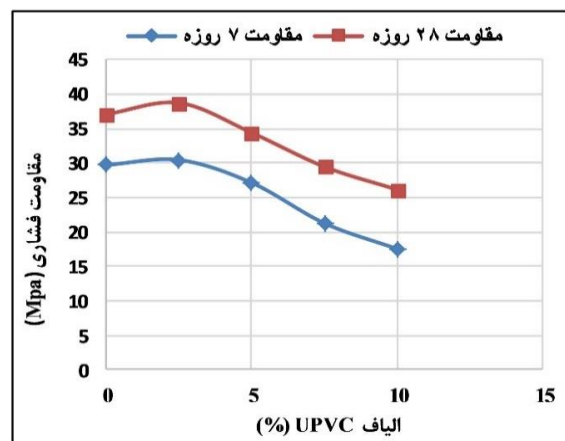
شکل ۶- نمودار چگالی مخلوط‌ها

۳-۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

بررسی نتایج به‌دست آمده از آزمایش مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه روی نمونه‌های مکعبی $15 \times 15 \times 15$ سانتیمتر برای نمونه‌های بتنی با درصدهای مختلف ضایعات یوپی‌وی‌سی در نمودار شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است.



شکل ۷- نمودار مقاومت فشاری مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی دانه‌ای



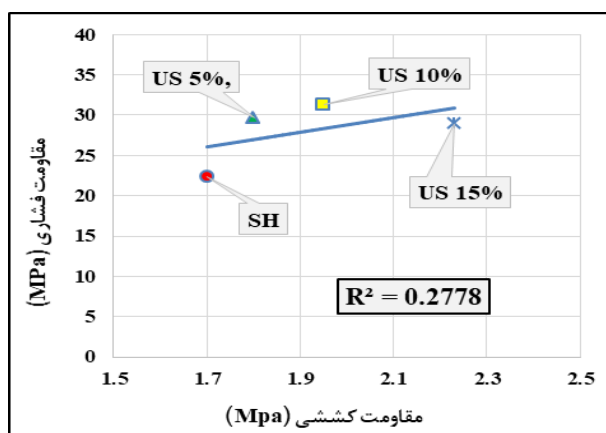
شکل ۸- نمودار مقاومت فشاری مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی الیافی

تأثیر استفاده از ضایعات پلیمری UPVC بر خواص مکانیکی بتن ...

می توان گفت که استفاده از درصدهای بالاتر ضایعات یوپی وی-سی، مثل حفره و نقطه تمرکز تنش عمل می کند و شکستن بتن را تسریع می بخشد. این نظریه با مشاهده سطوح شکسته شده که می توان در این سطوح، ضایعات یوپی وی سی را با نیروی کمی از ماتریس بتن جدا نموده تقویت می شود.

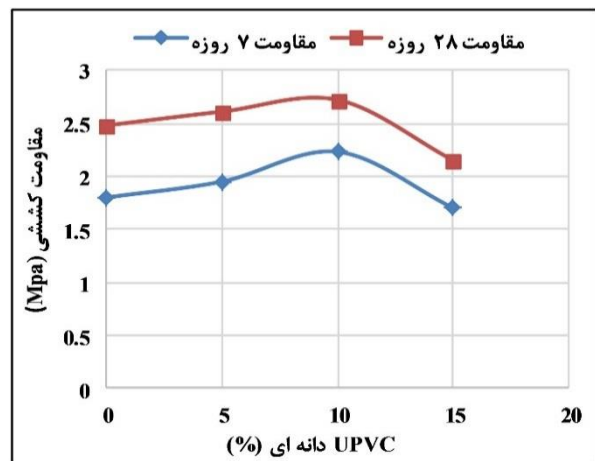
مورد دیگری که به طور کلی برای بتن مناسب است این واقعیت است که محل اصلی گسیختگی، هنگام اعمال تنش، فصل مشترک دانه های درشت و خمیر سیمان است. برای اینکه ضایعات یوپی وی-سی در افزایش مقاومت نقش مثبتی داشته باشند، باید نیروی چسبندگی بین این ضایعات و خمیر سیمان به اندازه کافی بزرگ باشد (یا به بیان دیگر، نیروی چسبندگی ضایعات یوپی وی سی و خمیر سیمان بیشتر از نیروی لازم جهت گسیختگی ذرات این ماده باشد) که در حقیقت این گونه نیست. مشاهدات آزمایشگاهی مبنی بر سالم ماندن ذرات این ماده در محل شکست نمونه های گسیخته شده نیز مؤید این نکته است. بر طبق نتایج مطالعه ی هارشد و همکاران [۱۴]، جایگزینی ۵ درصد پودر پی وی سی و پودر شیشه بجای ماسه در بتن، همانند مقاومت فشاری، تغییری در مقاومت کششی بتن به وجود نمی آید و با افزایش این مواد، مقاومت فشاری شروع به کاهش می کند. مدندوست و همکاران [۱۰] نیز در مطالعه ای با بررسی جایگزینی ضایعات خرد شده پی وی سی به جای ریزدانه (ماسه) تا میزان ۱۵ درصد، شاهد افزایش مقاومت کششی بتن خودتراکم بودند.

ارتباط بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی مخلوط های حاوی ضایعات یوپی وی سی در نمودار شکل های (۱۱) الی (۱۴) ارائه شده است.

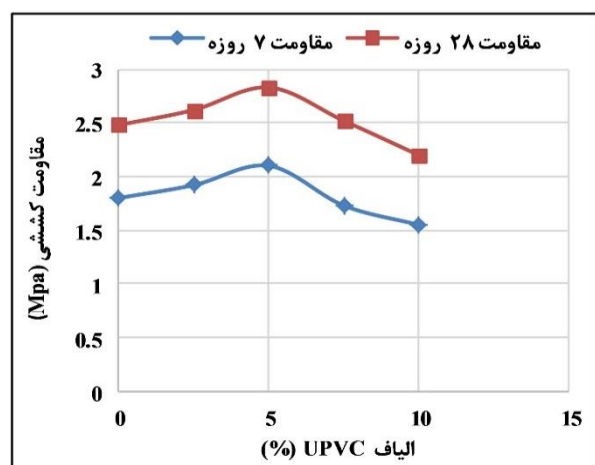


شکل ۱۱- نمودار نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی ۷ روزه مخلوط های حاوی یوپی وی سی دانه ای

از این ضایعات باشد. همچنین به علت چسبندگی کم بین ذرات یوپی وی سی و خمیر سیمان، محل اتصال این دو را می توان به عنوان ترک مویی در نظر گرفت که سبب تسریع شکست بتن می گردد. از طرف دیگر، بررسی نمونه ی بتن شکسته شده نشان می دهد که گسیختگی ضایعات بعد از شکست مشاهده نمی گردد.



شکل ۹- نمودار مقاومت کششی مخلوط های حاوی یوپی وی سی دانه ای

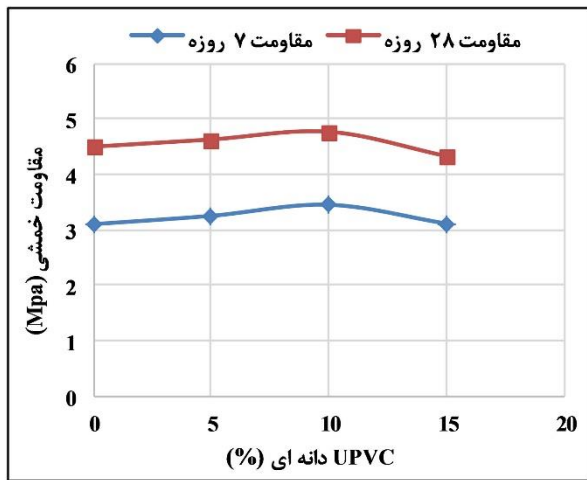


شکل ۱۰- نمودار مقاومت کششی مخلوط های حاوی یوپی وی سی الیافی

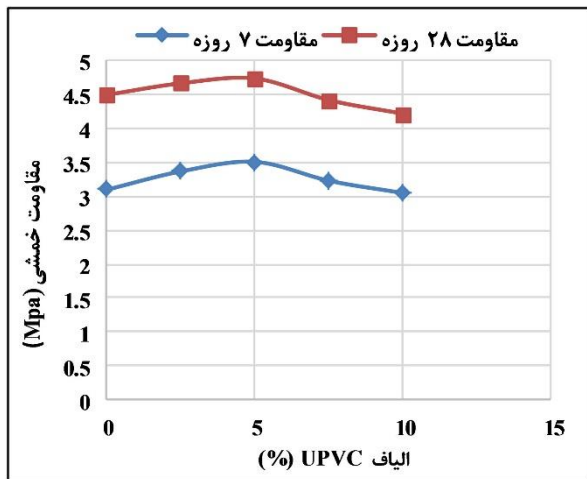
علل این رفتار می تواند به صورت زیر باشد:

برای اینکه ضایعات یوپی وی سی در افزایش مقاومت، نقشی مثبت داشته باشد، بایستی نیروی چسبندگی بین این ضایعات و خمیر سیمان به اندازه کافی بزرگ باشد. در غیر این صورت هنگام گسترش ترک و برخورد آن با این ضایعات، تنش اعمال شده سبب جدایی سطحی ذرات یوپی وی سی و خمیر سیمان می شود. بنابراین

ضایعات یوپی‌وی‌سی به بتن، مقاومت خمشی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

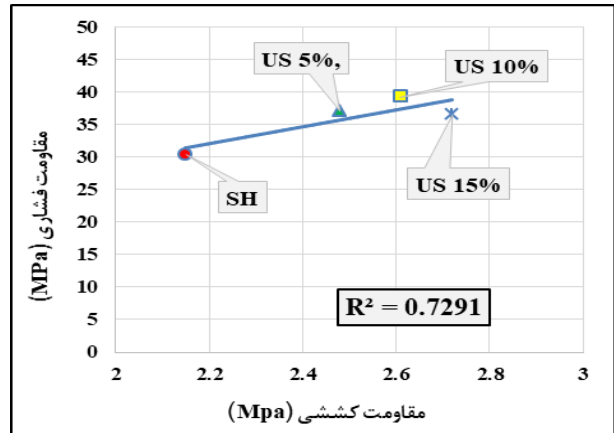


شکل ۱۵- نمودار مقاومت خمشی مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی دانه‌ای

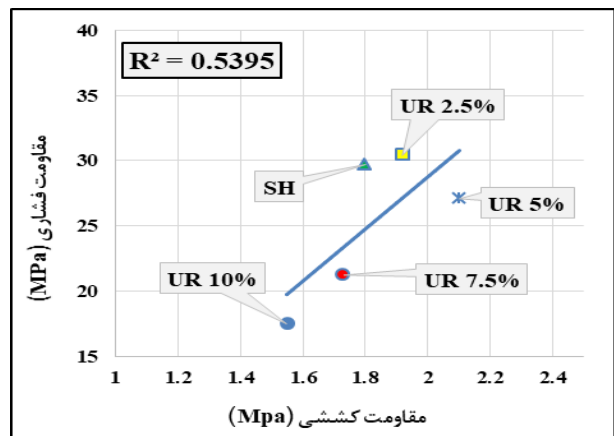


شکل ۱۶- نمودار مقاومت خمشی مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی الیافی

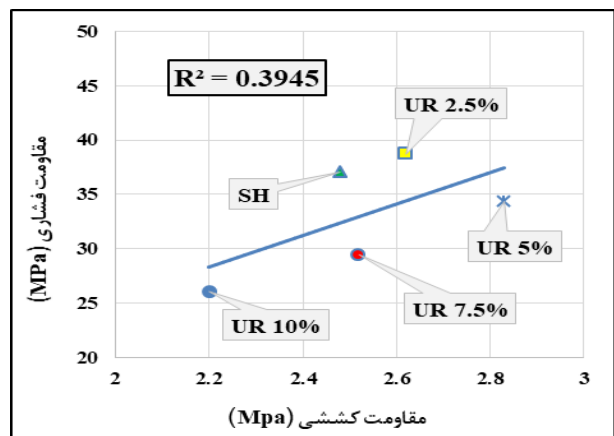
به‌طورکلی افزایش مقاومت خمشی را می‌توان متناسب با افزایش مقاومت کششی دانست، چراکه در عمل کشش ناشی از خمش، کنترل‌کننده میزان بار گسیختگی نمونه است. در آزمایش‌های انجام شده ملاحظه می‌شود که در بارگذاری تک نقطه‌ای، ضایعات یوپی‌وی‌سی توانسته‌اند مقاومت خمشی را افزایش دهند. این نتیجه نشان می‌دهد که این ضایعات در درصد‌های پایین موجب بهبود ناحیه انتقال و کنترل ریزترک‌ها شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در بهترین حالت مقاومت خمشی به میزان ۷ درصد افزایش پیدا کرده است. لیکن مقدار مطلوب



شکل ۱۲- نمودار نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی ۲۸ روزه مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی دانه‌ای



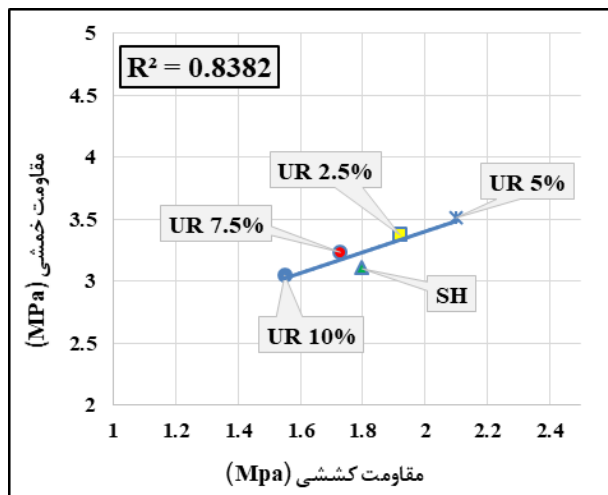
شکل ۱۳- نمودار نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی ۷ روزه مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی الیافی



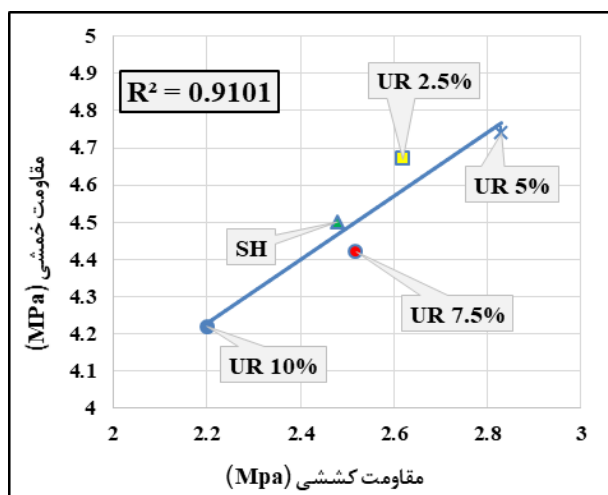
شکل ۱۴- نمودار نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی ۲۸ روزه مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی الیافی

۳-۵- مقاومت خمشی

نتایج آزمایش‌های مقاومت خمشی مخلوط‌ها، در نمودار شکل‌های (۱۵) و (۱۶) رسم گردیده که نشان می‌دهد با افزودن



شکل ۱۹- نمودار نسبت مقاومت خمشی به مقاومت کششی ۷روزه مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی الیافی



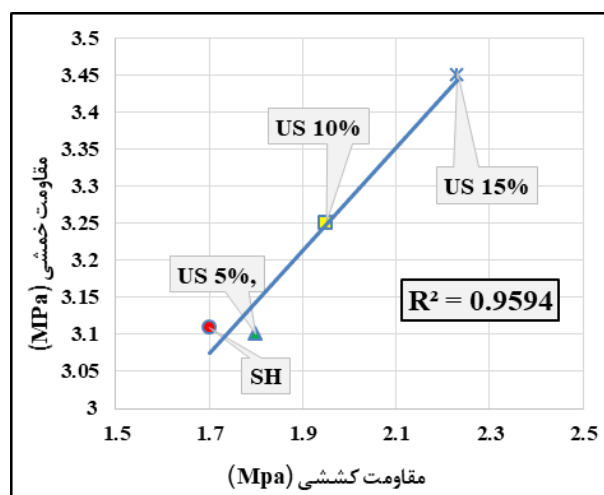
شکل ۲۰- نمودار نسبت مقاومت خمشی به مقاومت کششی ۲۸روزه مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی الیافی

۴- نتیجه‌گیری

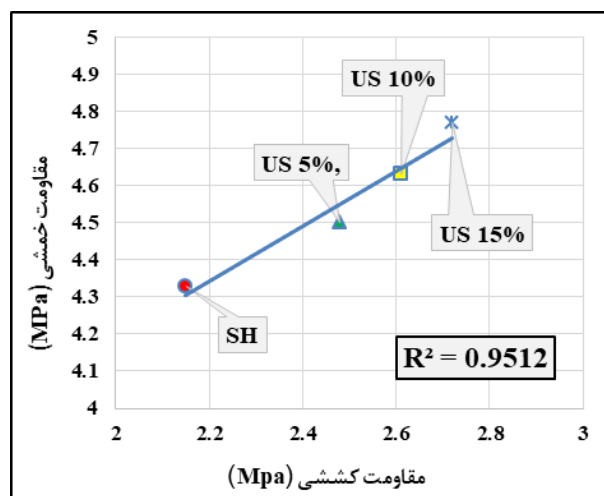
در این تحقیق، از یک نسبت مخلوط آزمایشگاهی بر اساس استانداردهای رایج، برای نمونه شاهد ساخته و تأثیر مخلوط‌های حاوی ضایعات یوپی‌وی‌سی نسبت به مخلوط شاهد مورد بررسی قرار گرفت. لذا نتایج به دست آمده که در ادامه ذکر می‌شود، تنها بر اساس این مطالعات آزمایشگاهی بوده و ممکن است با تغییر شرایط از جمله، ویژگی‌های مصالح، تغییر نسبت مخلوط‌های مواد، نحوه‌ی عمل‌آوری و همچنین استفاده از مواد افزودنی، نتایج تغییر نماید. نتایج حاصل از تحقیق حاضر به شرح زیر است:

۱- روند افزایش مقاومت فشاری بتن حاوی ضایعات یوپی‌وی‌سی در سنین اولیه (۷ روز اول) با این روند در سنین بیشتر (از ۷ تا ۲۸

این ضایعات برای ایجاد بیشترین مقاومت خمشی، ۵ درصد برای شکل دانه‌ای و ۲/۵ درصد برای شکل الیافی بوده است. علت به وجود آمدن چنین تغییراتی را می‌توان در افزایش تخلخل به موازات افزایش ضایعات مصرفی دانست. پس از این محدوده به نظر می‌رسد که تخلخل ناشی از ضایعات، نقش عمده‌ای را در مقدار مقاومت کششی پیدا می‌کنند. در مجموع افزایش توأمان مقاومت کششی و مقاومت خمشی در درصد‌های بهینه‌ای از ضایعات یوپی‌وی‌سی، می‌تواند عاملی برای کنترل ترک‌های سطحی بوده و از نفوذ مواد مضر به بتن جلوگیری به عمل آورد. ارتباط بین مقاومت خمشی و مقاومت کششی مخلوط‌های حاوی ضایعات یوپی‌وی‌سی در نمودار شکل‌های (۱۷-۲۰) ارائه شده است.



شکل ۱۷- نمودار نسبت مقاومت خمشی به مقاومت کششی ۷روزه مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی دانه‌ای



شکل ۱۸- نمودار نسبت مقاومت خمشی به مقاومت کششی ۲۸روزه مخلوط‌های حاوی یوپی‌وی‌سی دانه‌ای

۵- مراجع

- [1]. https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf
- [۲]. فرهنگ‌زاده. س، جمشیدی. ه، "روش‌های بازیافت پلاستیک‌ها: بازیابی پلی‌وینیل کلرید با استفاده از سیستم حلال". پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست. ۱۳۹۰.
- [3]. Rebeiz. K, "Time-temperature properties of polymer concrete using recycled PET", *Cement and Concrete Composites*, 17(2) (1995) 119-124.
- [4]. Choi. Y.-W, Moon. D.-J, Chung. J.-S, Cho. S.-K, "Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete", *Cement and concrete research*, 35(4) (2005) 776-781.
- [5]. Batayneh. M, Marie. I, Asi I, "Use of selected waste materials in concrete mixes", *Waste management*, 27(12) (2007) 1870-1876.
- [6]. Marzouk. O.Y, Dheilly. R, Queneudec. M, "Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites", *Waste management*, 27(2) (2007) 310-318.
- [7]. Kou. S, Lee. G, Poon. C, Lai. W, "Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes", *Waste Management*, 29(2) (2009) 621-628.
- [8]. Hannawi. K, Kamali-Bernard. S, Prince. W, "Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates", *Waste management*, 30(11) (2010) 2312-2320.
- [۹]. مدن دوست. ر، حاجتی مدارای. ع، کوهستانی. س، "بررسی تأثیر ضایعات لوله‌های PVC بر خواص بتن خودتراکم تازه". ششمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان. ۱۳۹۰.
- [۱۰]. مدن دوست. ر، حاجتی مدارای. ع، کوهستانی. س، "بررسی خواص بتن خودتراکم سخت شده حاوی ضایعات لوله‌های PVC به‌عنوان مصالح سنگی ریزدانه"، ششمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان. ۱۳۹۱.
- [۱۱]. موسوی. ی، خالقی. ج، حقیقت‌نژاد. ن، "بررسی خواص مکانیکی بتن حاوی سنگدانه‌های PVC تحت شرایط مختلف عمل‌آوری". هفتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران-تهران. ۱۳۹۴.
- [12]. Hama. S.M, Hilal. N.N, "Fresh properties of self-compacting concrete with plastic waste as partial replacement of sand", *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2) (2017) 299-308.

روز) تفاوت دارد. مهم‌ترین علت این تفاوت، تغییر سرعت هیدراتاسیون در سنین مختلف بتن در طول ۲۸ روز است.

۲- مقاومت فشاری بتن به دو عامل اصلی شکل و اندازه ضایعات یوپی‌وی‌سی اضافه‌شده و نسبت اضافه کردن این ماده به بتن بستگی دارد. به‌طور کلی با افزایش مقدار ضایعات یوپی‌وی‌سی در بتن، همانند سایر پلیمرها، مقاومت فشاری آن کاهش می‌یابد، اگرچه در درصد‌های پایین‌تر، مقاومت نمونه حاوی این ضایعات بالاتر از نمونه کنترل می‌شود.

۳- با افزایش درصد ضایعات یوپی‌وی‌سی در بتن، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. هرچند در جایگزینی ۵ درصد یوپی‌وی‌سی دانه‌ای ۲/۵ یوپی‌وی‌سی الیافی، مقاومت فشاری حدود ۴ درصد افزایش می‌یابد.

۴- بیشترین کاهش مقاومت فشاری، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف یوپی‌وی‌سی از ۷/۵ تا ۱۰ درصد است (مقدار کاهش مقاومت از ۲۰ تا ۳۰ درصد است). علت این کاهش مقاومت می‌تواند به دلیل ایجاد غشای بارز ساختار ضعیف در اطراف سطح الیاف این ضایعات به دلیل جذب آب سطحی باشد.

۵- با افزودن ضایعات یوپی‌وی‌سی (در درصد‌های پایین)، مقاومت کششی بتن ابتدا افزایش و در درصد‌های بالا، مقاومت کششی کاهش می‌یابد. مهم‌ترین علت کاهش مقاومت کششی بتن در درصد‌های بالاتر استفاده از این ماده، عدم چسبندگی بین ذرات یوپی‌وی‌سی و خمیر سیمان است که نقش مهمی در کاهش مقاومت دارد.

۶- در درصد‌های پایین یوپی‌وی‌سی اضافه‌شده به بتن، همانند مقاومت کششی، مقاومت خمشی بهبود یافته و با افزایش مقدار این ماده، این مقاومت‌ها کاهش می‌یابند. در نمونه‌های حاوی ۱۰-۷ درصد یوپی‌وی‌سی دانه‌ای، مقاومت کششی و خمشی به میزان ۱۰-۲ درصد افزایش و در نمونه‌های حاوی ۵-۲/۵ درصد یوپی‌وی‌سی الیافی این مقاومت حدود ۱۳-۵ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است.

۸- روند افزایش یا کاهش مقاومت خمشی و مقاومت کششی در نمونه‌های حاوی یوپی‌وی‌سی دانه‌ای و الیافی، تقریباً یکسان است. مهم‌ترین علت این موضوع می‌تواند در افزایش تخلخل به موازات افزایش ضایعات مصرفی و عدم چسبندگی مناسب با خمیر سیمان باشد.

[13]. Gesoglu. M, Güneyisi. E, Hansu. O, Etili. S, Alhassan. M, “ Mechanical and fracture characteristics of self-compacting concretes containing different percentage of plastic waste powder”, Construction and Building Materials, 140 (2017) 562-569.

[14]. Patel. H.G, Dalal. S.P, “An experimental investigation on Physical and Mechanical properties of Concrete with the replacement of fine aggregate by Poly Vinyl Chloride and Glass waste”, Procedia engineering, 173 (2017) 1666-1671.

[15]. <https://cupvc.com/> - محصولات - کاسپین - یو-پی-وی - سی

- سی / پروفیل / پروفیل - یو-پی-وی - سی / پروفیل

upvc.pdf?tmpl=component

The effect of using Polymeric Wastes UPVC on mechanical properties of concrete

Arman kiamarsi

Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Mohammad Mahdi Jabbari *

Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Abstract

In this research, the effect of the mixing of polymeric waste (UPVC) are reviewed in the two forms of fibers and grains and in various volumetric percentages (0, 2.5, 5, 7.5 and 10% for fiber form) and (0, 5, 10 and 15% for the grain form) in order to replace the sand in the construction of concrete and the experiments carried out such as compressive strength, tensile strength, flexural strength, and fresh concrete tests, such as slump and concrete specific gravity. The ratio of water to cement was fixed (0.45) in all mixtures and the processing of 7 and 28-days of the samples was performed according to standard laboratory conditions. The results of this study indicate that the use of these wastes in concrete improves heat resistance and up to 5% for fiber form and up to 10% for grain form has a slight reduction in the mechanical properties and specific gravity of the concrete and it improves tensile and flexural strength.

Keywords: UPVC waste, Concrete, Compressive Strength, Tensile Strength, Flexural Strength.

* Corresponding Author: mmjabbari@yahoo.com