

# بررسی آزمایشگاهی خواص بتن سیمانی حاوی مخلوط آسفالت بازیافتی

وحید طاهری<sup>i</sup>

## چکیده

بازیافت مخلوط‌های آسفالتی در ایران و برخی کشورها مورد مطالعه قرار گرفته و البته در قالب روش‌های متنوعی هم نظیر بازیافت سرد، گرم، درجا و یا کارخانه‌ای طراحی و اجرا گردیده است. در عملیات بازیافت که در آن از مصالح بد تولید شده و یا بد اجرا شده استفاده مجدد می‌شود، می‌توان از آسفالت قدیمی برای ساخت روسازی جدید و یا ترمیم روسازی موجود بهره جست. آنچه تاکنون کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته، امکان استفاده از آسفالت بازیافتی در ساخت بتن سیمانی می‌باشد. در نظر نخست وجود مصالح آسفالتی سبب بهبود سختی بتن‌های سیمانی خواهد شد. در این پژوهش سعی شده است طی یک برنامه آزمایشگاهی خصوصیات بتن حاوی ذرات آسفالت با دو نوع دانه‌بندی درشت و ریز مورد بررسی قرار گیرد. قابل ذکر است که ذرات آسفالت را بدون هیچ گونه تغییر و یا عمل‌آوری خاصی قبل از اختلاط می‌توان به بتن سیمانی اضافه کرد. نتایج کلی بدست آمده در این پژوهش نشان داد که اگر چه اضافه نمودن آسفالت بازیافتی سبب کاهش مقاومت فشاری و کششی بتن با سیمان پرتلند می‌شود اما به مقدار قابل توجهی قابلیت جذب انرژی بتن سیمانی را نسبت به نمونه‌های معمولی بهبود می‌بخشد. این خاصیت طبق نمودار تنش- کرنش آستانه گسیختگی بتن را افزایش می‌دهد.

## کلمات کلیدی: سیمان پرتلند، بتن، آسفالت بازیافتی

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۳/۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۶/۱۰

<sup>i</sup> نویسنده مسئول، عضو هیأت علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی سمنان، vahid460@yahoo.com

## ۱- مقدمه

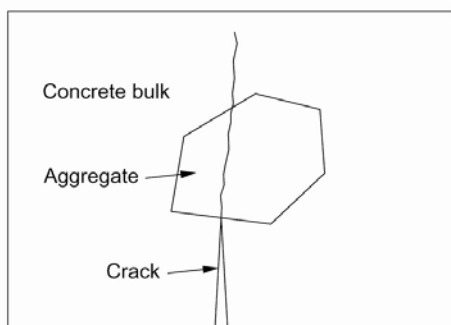
مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهند. اضافه نمودن یا جایگزین کردن بخشی از مصالح سنگی با پودر لاستیک در بتن که تحقیقات متعددی را نیز طی سالیان گذشته زمینه‌ساز بوده است، سبب افزایش سختی و خاصیت جذب انرژی بتن می‌شود. اما مشکلی که پودر لاستیک موجود در بتن ایجاد می‌کند، کاهش نسبی مقاومت کششی و فشاری بتن است. لذا با وجود تحقیقاتی که تاکنون در زمینه امکان افزودن مواد ضایعاتی کارخانه‌های لاستیک‌سازی به مخلوط‌های بتنی انجام شده است، تأکید می‌شود که از پودر لاستیک فقط در سازه‌های بتنی که از آنها انتظار تحمل و مقاومت در برابر نیروهای سازه‌ای را نداریم، می‌توان بهره جست [۶-۱۰]. بهرحال استفاده از

استفاده از مواد بازیافتی در بتن‌های سیمانی از سالها قبل مورد توجه قرار گرفته و همواره بهبود خواص بتن از اهداف اصلی به شمار آمده است. جهت نیل به هدف از خرده‌های بتن به عنوان جایگزینی برای مصالح درشت‌دانه و یا خرده شیشه به عنوان ریزدانه استفاده شده است. در بعضی موارد هم از خاکستر سرباره‌های کوره آهن‌گدازی به عنوان افزودنی‌هایی با خاصیت سیمانی شدن بهره جسته‌اند [۱-۵]. یکی از خاصیت‌های بتن در سازه‌هایی که تحت تأثیر نیروهای مختلف قرار دارند آن است که در برابر شکست‌های ناگهانی و تاب تحمل تنش‌های فشاری

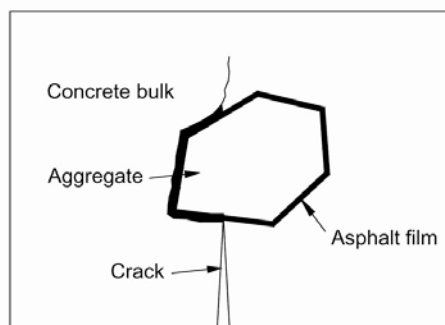
شده است. بر حسب شرایط مصالح بازیافتی یا شامل مصالح سنگی درشت‌دانه و قیر قدیمی هستند و یا اینکه قسمت اعظم آن را مصالح درشت‌دانه و مصالح ریزدانه تشکیل می‌دهد. در نوع نخست مصالح بازیافت شده، ضخامت لایه قیری اطراف سنگدانه‌ها بین ۶ تا ۹ میکرون می‌باشد. در شکل ۱ نشان داده شده است که قیر مصالح بازیافتی موجود در فصل مشترک بین مصالح سنگی و جسم چسبنده به عنوان فاز پیوسته بتن مانع از گسترش انواع ترک‌های سازه‌ای شده و سبب بهبود سختی بتن‌های حاوی مصالح سنگی اندود شده با قیر می‌گردد. به عبارتی دیگر، ترک به جای عبور از سنگدانه بیشتر به سمت حاشیه سطح تماس سنگ و قیر متمایل می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی قابلیت مصالح آسفالتی بازیافت شده در بهبود سختی و کاهش احتمال شکست ترد بتن‌های سیمانی بوده است.

مصالح بازیافتی در مخلوط‌های بتنی چندان مورد توجه قرار نگرفته است. سالهای گذشته مخلوط‌های آسفالتی متنوعی که بخشی از مصالح سنگی یا قیر آنها با پودر لاستیک جایگزین شده مورد مطالعات وسیعی در ایران و سایر کشورها قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در حالت کلی ۱۵٪ پودر لاستیک نسبت به وزن قیر قادر خواهد بود تحت شرایط ویژه‌ای نظیر دمای اختلاط حدود  $180^{\circ}\text{C}$  کند روانی قیر و همچنین مقاومت مخلوط‌های آسفالتی را تا حد قابل قبولی در برابر تأثیر رطوبت بهبود بخشد. اما باید توجه داشت که تأثیر کاهنده پودر لاستیک در مقاومت مارشال نیز از نتایج تحقیقات مزبور بوده است [۱۱]. در طی دهه‌های گذشته تاکنون سالیانه ۱۰۰ میلیون تن مصالح بازیافتی از پروژه‌های بهسازی و تعمیراتی روسازی‌های موجود در آمریکا بدست آمده است. این مصالح بازیافتی به طرق مختلف در ساخت لایه اساس و یا مخلوط‌های آسفالتی گرم استفاده

(a) Normal Concrete



(b) Concrete with RAP

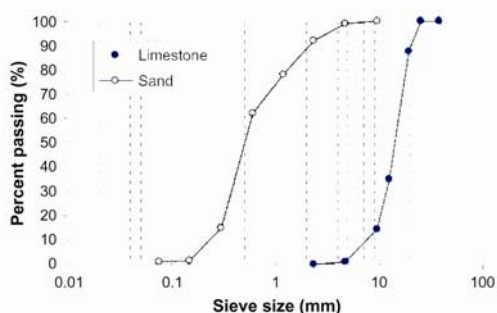


شکل (۱) - گسترش ترک در بتن معمولی و بتن حاوی مصالح سنگی اندود شده با قیر

$3150\text{ kg/m}^3$  مطابق استاندارد ASTM C150 و الزامات آن بود.

## ۲- تحقیقات آزمایشگاهی:

برنامه تحقیقات آزمایشگاهی بر پایه بررسی مشخصات فنی بتن سیمانی حاوی دو نوع آسفالت بازیافتی درشت دانه و ریزدانه استوار بوده و لازم به ذکر است که آسفالت بازیافتی مورد استفاده در این مطالعه به جای نمونه‌های واقعی موجود در بزرگراه‌ها از نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه انتخاب شدند. برای ارزیابی مشخصات فنی نمونه‌های عمل‌آوری شده در ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز، از آزمایش‌های فشاری و کششی بهره گرفته شده است.



شکل (۲) - منحنی دانه‌بندی مصالح

جنس مصالح شنی آهکی بوده و اندازه اسمی حداکثر مصالح ۱۹ میلی‌متر با وزن مخصوص اشباع مصالح  $2790\text{ kg/m}^3$  و جذب آب ۴۹٪ بوده است. منحنی دانه‌بندی

## ۲-۱- مصالح

سیمان استفاده شده از نوع تیپ I با وزن مخصوص

جدول ۲- نسبت اختلاط آزمایشگاهی مخلوط ( $\text{kg/m}^3$ )

مخلوط	RAP ماسه (a)	RAP سنگ آهک (a)	ماسه تازه (b)	سنگ آهک تازه (b)	سیمان	آب
۱	-	-	۶۴۳	۱۱۴۹	۳۹۶	۱۹۸
۲	-	۱۱۴۹	۶۴۶	-	۳۹۶	۱۹۸
۳	۶۴۶	-	-	۱۱۴۹	۳۹۶	۱۹۸
۴	۶۴۶	۱۱۴۹	-	-	۳۹۶	۱۹۸

(a) مخلوط آسفالتی بازیافتی حاوی مصالح سنگی ماسه و آهکی

تهیه شده در آزمایشگاه

(b) مصالح ماسه‌ای و آهکی تازه و بدون افزودنی که معمولاً در تهیه

بتن سیمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## ۲-۲- آماده سازی آسفالت بازیافتی (RAP)

به منظور ارزیابی عملکرد نمونه‌های بتنی حاوی آسفالت بازیافتی، آسفالت بازیافتی تهیه شده در آزمایشگاه بکار گرفته شد. نخست سعی گردید درصد قیر به گونه‌ای تعیین شود که ضخامت لایه قیر اطراف سنگدانه‌ها ۸ میکرون باشد. مصالح سنگی قبل از اختلاط در گرمکن ویژه‌ای قرار گرفتند. معمولاً در شرایط آزمایشگاهی دمای مصالح سنگی را حدود  $120^\circ\text{C}$  نگه می‌دارند. بعد از آنکه مصالح سنگی و قیر توسط دستگاه مکانیکی با یکدیگر مخلوط شدند، نمونه حاصل به مدت ۱۲ ساعت در دمای  $120^\circ\text{C}$  قرار گرفت. سپس مصالح آسفالت بازیافت شد. درشت‌دانه و ریزدانه توسط الک شماره ۴ ( $4/75\text{mm}$ ) از یکدیگر جدا شدند. بنابراین آسفالت‌های بازیافتی مورد مطالعه فقط از نظر اندازه ابعاد با یکدیگر تفاوت داشتند نه از نظر جنس و مشخصات.

## ۲-۳- مشخصات مخلوط‌های بتنی

به منظور بررسی و تحقیق در مورد تأثیر مصالح درشت‌دانه و ریزدانه آغشته به قیر در مشخصات فنی بتن، ۴ نوع مخلوط آماده شد. در جدول ۱ و ۲ مشخصات ۴ نوع مخلوط ارائه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات گزینه‌های بتن تازه و مخلوط شده با آسفالت

بازیافتی

مخلوط	مصالح درشت‌دانه	مصالح ریزدانه	درصد هوا	اسلامپ (cm)
۱	تازه	تازه	۱/۶	۱۶/۵
۲	آسفالت بازیافتی	تازه	۱/۲	۱۴/۰
۳	تازه	آسفالت بازیافتی	۲/۵	۷/۵
۴	آسفالت بازیافتی	آسفالت بازیافتی	۲/۰	۲۰/۰

## ۲-۴- اختلاط و گیرش بتن

نمونه‌های سیمانی پس از اختلاط توسط مخلوط‌کن مکانیکی و استفاده از یک میله فلزی ۵۰ سانتیمتری برای تراکم بهتر به منظور طی شرایط عمل‌آوری در یک اتاق مرطوب تا روز آزمایش نگهداشته شدند.

## ۲-۵- دستورالعمل‌های آزمایش

برای ارزیابی مقاومت فشاری، نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد  $100 * 200$  میلیمتر ( $4 * 8$  اینچ) و برای ارزیابی مقاومت کششی آنها نیز از نمونه‌های با مقطع دایره‌ای به قطر ۱۰۰ و ضخامت ۵۰ میلیمتر استفاده شد. پس از ساخت نمونه‌های مربوط به مقاومت کششی آنها را توسط اره مکانیکی به ۵ قسمت تقسیم کردند. قسمت‌های ابتدا و انتهای نمونه به دلیل جلوگیری از تأثیر نامطلوب بر نتایج آزمایش از چرخه مطالعات حذف شدند و سه نمونه میانی جهت انجام آزمایش مقاومت کششی حفظ گردیدند. مطابق استاندارد ASTM C39 و AASHTO T22 مقاومت فشاری نمونه‌های سیمانی پس از ۳، ۷ و ۲۸ روز در دمای  $25^\circ\text{C}$  اندازه‌گیری شد. در شکل ۳ نمونه‌های مربوطه قبل و بعد از آزمایش فشاری مشاهده می‌شود. در شکل شماره ۴ نتایج آزمایش مقاومت کششی با استفاده از دستگاه MTS بر روی ۴ نوع نمونه ارائه شده است. آزمایش مقاومت کششی نیز بر روی نمونه‌های عمل‌آوری شده در ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز و در دمای  $25^\circ\text{C}$  انجام شد و مطابق استاندارد ASTM C496 نرخ بارگذاری به میزان  $1\text{mpa/min}$  تعیین گردید.

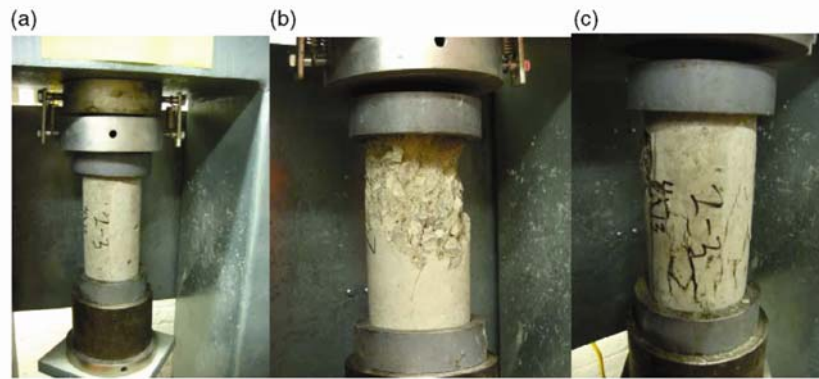


Fig. 3. Cylindrical specimens before and after compression test (a) Before test (b) Specimen without RAP after test (c) Specimen with RAP after test.

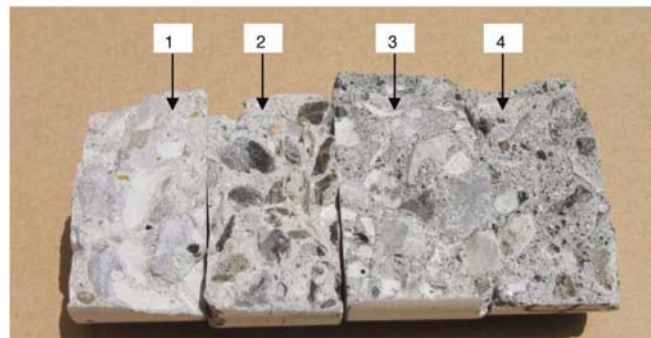


Fig. 4. Samples after split tensile strength test (labels indicate Mix no.).

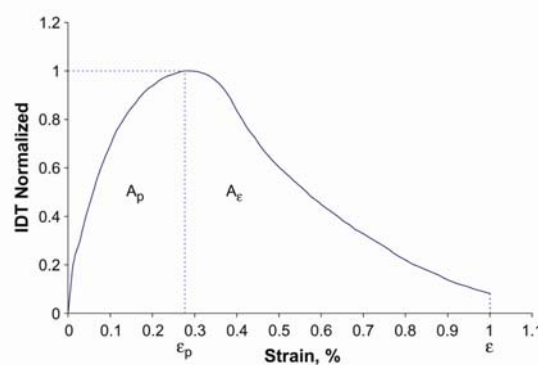


Fig. 5. Normalized IDT curve for TI calculation (after [15]).

$A_p$ : سطح محصور شده بین منحنی کرنش- تنش

نرمال و حد  $\epsilon_p$

$A_\epsilon$ : سطح محصور شده بین منحنی کرنش- تنش

نرمال بین  $\epsilon_p$  و  $\epsilon$

$\epsilon$ : کرنش در نقطه مورد نظر

$\epsilon_p$ : کرنش در نقطه ماکزیمم منحنی

به طور کلی شاخص سختی مصالح با رفتار الاستوپلاستیک در حدود عدد ۱ باقی می ماند و مصالح ترد و شکننده که منحنی تنش- کرنش آنها فاقد یک حداکثر مطلق مشابه اجسام الاستیک است دارای شاخص

یکی دیگر از پارامترهای محاسبه شده شاخص سختی (TI) Toughness Index بود که با آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم بدست آمد. در شکل شماره ۵ توزیع نرمال مقاومت کششی غیرمستقیم و کرنش نشان داده شده است. شاخص بدون بعد (TI) از رابطه ۱ بدست می آید:

$$TI_{it} = \frac{A_\epsilon - A_p}{\epsilon - \epsilon_p} \quad (1)$$

که در آن  $TI_{it}$ : شاخص سختی و اندیس it معرف Indirect Tensile است.

انتظار نیز در جدول ۱ وجود دارد و آن اینکه اسلامپ نمونه‌های سیمانی که هر دو نوع مصالح درشت و ریزدانه آسفالت بازیافتی در آنها بکار رفته، از اسلامپ نمونه‌های کنترل بیشتر است. علت این پدیده احتمالاً ناشی از کم بودن جذب آب مصالح سنگی قیراندود می‌باشد. لازم به ذکر است که جذب آب مصالح آسفالت بازیافتی ریزدانه ۱/۲٪ است که کمتر از مصالح سنگی مشابه می‌باشد. ضمناً علاوه بر موارد فوق باید توجه داشت که نمونه‌های بتنی حاوی آسفالت بازیافتی همانند نمونه‌های معمولی بتنی قابلیت قالب‌گیری و متراکم شدن را دارند و تفاوتی از نظر نوع وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی وجود ندارد.

### ۳-۲- مشخصات بتن عمل‌آورده شده

در جدول شماره ۳ و شکل‌های ۶ و ۷ نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های کششی غیرمستقیم و فشاری و کرنش متناظر حداکثر مقاومت کششی نمونه‌های مختلف بتنی در دوره‌های عمل‌آوری ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه نشان داده شده است.

سختی معادل عدد صفر هستند. در این پژوهش کرنش افقی کششی با استفاده از بار قائمی که با توجه به ضریب پواسون ۰/۱۵ بتن سبب تغییر مکان قائم می‌شود، محاسبه شد. تعیین مقدار شاخص سختی کششی غیر مستقیم نیز با کرنش ۴٪ میسر می‌باشد.

### ۳- بحث در مورد نتایج:

#### ۳-۱- مشخصات بتن تازه (بدون آسفالت بازیافتی)

نتایج اسلامپ و درصد هوای نمونه‌های بتنی تازه در جدول ۱ آمده است. در این جدول مشاهده می‌شود که درصد هوای نمونه‌های سیمانی حاوی آسفالت بازیافتی به مقدار مشابه در نمونه‌های کنترل بسیار نزدیک بوده است. از موارد دیگری که از جدول مزبور استخراج می‌شود این است که اسلامپ نمونه‌هایی که حاوی یک نوع مصالح درشت‌دانه یا فقط ریزدانه آسفالت بازیافتی هستند به سبب ویسکوزیته یا کند روانی قابل ملاحظه قیر بکار رفته، کمتر از اسلامپ نمونه‌های کنترل می‌باشد. در خصوص مقایسه اسلامپ نمونه‌ها یک نتیجه دور از

جدول (۳) - نتایج آزمایشات بتن

مشخصات بتن	مخلوط	سن (روز)			
		3	7	14	28
مقاومت فشاری (مگا پاسکال)	1	22.0 (3.92)	29.3 (1.17)	/	37.7 (2.76)
	2	16.3 (1.29)	19.8 (1.28)	/	22.1 (1.45)
	3	14.1 (0.41)	16.2 (0.14)	/	18.8 (1.2)
	4	6.98 (0.16)	9.43 (0.48)	/	10.4 (0.52)
مقاومت کششی (مگا پاسکال)	1	3.01 (0.21)	3.21 (0.06)	3.23 (0.49)	3.21 (0.3)
	2	2.47 (0.17)	2.86 (0.17)	2.58 (0.37)	3.06 (0.21)
	3	2.08 (0.38)	2.26 (0.30)	2.54 (0.15)	2.54 (0.17)
	4	1.16 (0.16)	1.27 (0.12)	1.60 (0.36)	1.59 (0.14)
کرنش در مقاومت کششی بیشینه (۰/۰۰۱)	1	1.18 (0.12)	1.34 (0.28)	1.37 (0.14)	1.52 (0.04)
	2	1.15 (0.18)	1.26 (0.17)	1.32 (0.23)	1.15 (0.08)
	3	1.25 (0.13)	1.34 (0.21)	1.35 (0.11)	1.34 (0.08)
	4	1.19 (0.22)	1.65 (0.20)	1.57 (0.20)	1.56 (0.16)

میانگین برای سه نمونه به علاوه انحراف معیار استاندارد داخل پرانتز

#### ۳-۲- مقاومت فشاری

نتایج ارائه شده در شکل ۶ حاکی از کاهش ساختاری مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی آسفالت بازیافتی نسبت به نمونه‌های کنترل است. همچنین مقاومت نمونه‌های بتنی حاوی مصالح ریزدانه و درشت‌دانه آسفالت بازیافتی بیشترین کاهش را در بین سه نوع مخلوط بتنی حاوی آسفالت بازیافتی دارا بودند. علاوه بر موارد فوق در شکل ۶ مشاهده می‌شود که مقاومت فشاری نمونه‌هایی که فقط قسمت درشت‌دانه آنها با آسفالت بازیافتی جایگزین شده است کمترین کاهش را نسبت به نمونه‌های کنترل از خود

نشان داده‌اند و پس از آن نمونه‌های حاوی آسفالت ریزدانه بازیافتی در درجه بعدی کاهش قرار گرفته‌اند که در واقع بین دو نوع بتن سیمانی حاوی آسفالت درشت‌دانه بازیافتی و بتن سیمانی حاوی آسفالت درشت‌دانه و ریزدانه بازیافتی مستقر شده‌اند. در آزمایش فشاری ۲۸ روزه مقاومت نمونه‌های نوع دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۵۸/۷٪، ۵۰٪ و ۲۷/۶٪ نمونه‌های بتنی کنترل بوده است.

کششی بطور محسوسی کمتر از نرخ کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی حاوی آسفالت بازیافتی بود که در قسمت قبل به آن اشاره شد. در آزمایش ۲۸ روزه مقاومت کششی نمونه‌های نوع ۲، ۳ و ۴ نسبت به نمونه‌های کنترل به ترتیب برابر بودند با ۹۵/۳٪، ۷۹/۱٪، ۴۹/۵٪ همانگونه که مشاهده می‌شود مقاومت کششی نمونه‌های نوع دوم تقریباً "برابر مقاومت کششی نمونه‌های بتنی کنترل هستند.

### ۳-۲-۳- سختی

در شکل شماره ۸، منحنی تغییرات بار-تغییر شکل در آزمایش مقاومت کششی ۱۴ روزه برای ۴ نوع مخلوط بتنی با و بدون آسفالت بازیافتی نشان داده شده است در این آزمایش تغییر شکل قائم بوسیله تغییر مکان ناشی از بار نهایی اندازه‌گیری شد.

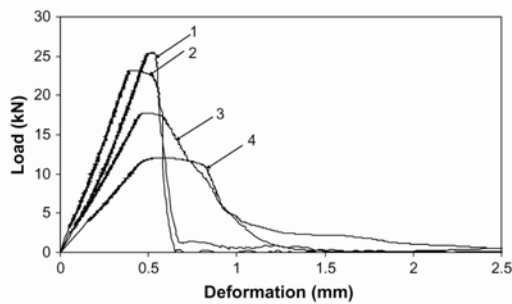


Fig. 8. Typical load-deformation curves of concrete specimens under split tensile strength test at 14 days.

یکی از نکات قابل توجه در شکل ۸ این است که نمونه‌های بتنی حاوی آسفالت بازیافتی از تاب بیشتری حین افزایش تغییر شکل برخوردار بوده‌اند. بدین معنی که محدوده بار حداکثر آنها وسیعتر از نمونه‌های کنترل می‌باشد. البته قابل ذکر است که نمونه‌های کنترل از بار حداکثر بیشتری نسبت به نمونه‌های بتنی نوع ۲، ۳ و ۴ برخوردار بودند. با انجام آزمایش فشاری نیز می‌توان شواهدی دال بر قابلیت بالای انرژی پذیری و تاب بیشتر نمونه‌های حاوی آسفالت بازیافتی در حین متلاشی شدن و شکست نهایی آنها مشاهده کرد چرا که آنها همانند نمونه‌های کنترل بدون آسفالت بازیافتی، به سرعت و بطور ناگهانی به مرحله شکست و متلاشی شدن نمی‌رسیدند. قابل توجه است که روی نمونه‌های بتنی شکسته ساخته شده با مصالح بازیافتی فقط تعدادی ترک به اشکال مختلف مشاهده گردیده است در حالی که نمونه‌های کنترل از شکست و متلاشی شدن شدیدتری برخوردار بودند. این حالت از تفاوت کیفیت شکستن و خرد شدن نمونه‌های بتنی در

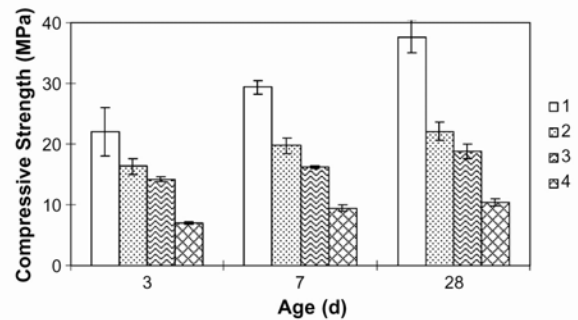


Fig. 6. Compressive strengths at different days.

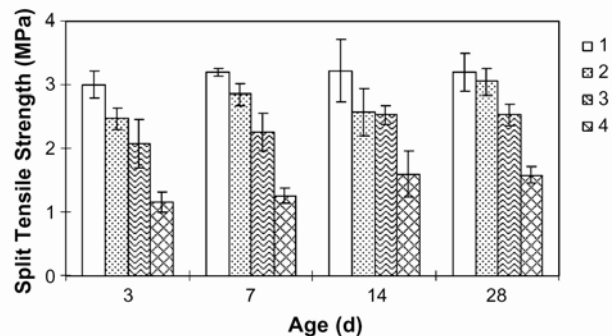


Fig. 7. Split tensile strength at different days.

همانگونه که انتظار میرفت در این پژوهش کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی آسفالت بازیافتی نسبت به نمونه‌های کنترل به سبب تأثیر منفی و کاهنده نرمی‌گیر بر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی قابل فهم می‌باشد. یکی دیگر از نکات مهم راجع به نمونه‌های بتنی حاوی آسفالت این است که حضور قیر نرم و انعطاف‌پذیر سبب تمرکز تنش در بتن گردیده و منجر به بروز ترک‌های مویی در ساختار بتن می‌شود. در مرجع شماره ۷ مکانیسم این تمرکز تنش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. احتمال می‌رود علت دیگر این ضعف عدم اتصال و پیوستگی مناسب در فصل مشترک بین قیر و فاز دوگانه سنگدانه و سیمان باشد. روش‌هایی چند برای تعدیل یا برطرف نمودن نسبی این نقیصه یعنی کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی حاوی آسفالت پیشنهاد شده است که یکی از آنها بهبود مشخصات مربوط به الاستیسیته و مقاومت آسفالت با عمل آوری مناسب و دیگری بهبود شرایط سطح تماس بین آسفالت و بتن از طریق استفاده نمودن از مصالح سنگی تیز گوشه می‌باشد.

### ۳-۲-۳- مقاومت کششی

همانگونه که در شکل شماره ۷ مشاهده می‌شود الگوی کاهش مقاومت کششی نمونه‌های بتنی همانند نتایج بدست آمده از آزمایش فشاری بود. بهرحال نرخ کاهش مقاومت

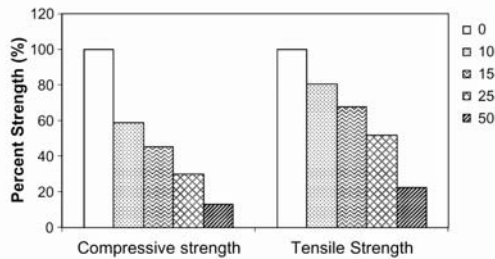


Fig. 10. Decrease in the strength of rubberized concrete (after [16]).

در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که نمونه‌های بتنی که ۵۰ درصد مصالح سنگی آنها با پودر لاستیک جایگزین شده است مقاومتی کمتر از ۲۵ درصد مقاومت نمونه‌های کنترل از خود نشان دادند. با توجه به موارد فوق مصالح آسفالت بازیافتی نسبت به پودر لاستیک از اقبال بیشتری برای جایگزین شدن مصالح سنگی مخلوط‌های بتنی برخوردار می‌باشند.

#### ۴- خلاصه و نتیجه گیری :

یک تحقیق آزمایشگاهی بمنظور بررسی و ارزیابی مشخصات مکانیکی مخلوط‌های بتنی حاوی آسفالت بازیافتی انجام شده و براساس نتایج حاصل از آزمایش‌های مربوط به آن و بحث صورت پذیرفته در این خصوص می‌توان به موارد ذیل بعنوان دستاوردهای این پژوهش اشاره نمود.

- در این پژوهش از ابزار آلات و تجهیزات مرسوم آزمایشگاه استفاده شده و هیچ تغییر ساختاری در آنها بوجود نیامد.
- بتن‌های حاوی آسفالت بازیافتی از مقاومت کششی و فشاری کمتری نسبت به نمونه‌های کنترل برخوردار بودند.
- هرچه بر مقدار یا چگالی آسفالت بازیافتی در نمونه‌های بتنی افزوده شود، سختی و تاب و یا قابلیت جذب انرژی نمونه‌ها افزایش و در مقابل از مقاومت فشاری آنها کاسته می‌شود.
- آسفالت‌های درشت دانه بازیافتی موجود در بتن تاثیر کاهنده کمتری بر مقاومت نمونه‌های بتنی از خود نشان دادند و البته افزایش چشمگیر سختی و انرژی پذیری آنها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به موارد ذکر شده می‌توان ادعا نمود که بخش درشت دانه بتن قابلیت جایگزینی با آسفالت بازیافتی درشت دانه را دارد.

شکل (3b) قابل بررسی است. در شکل شماره ۹ نتایج محاسبه شاخص سختی نمونه‌های بتنی ۱۴ و ۲۸ روزه که توسط آزمایش کششی صورت گرفته ارائه گردیده است. پیرو آنچه در قسمتهای قبل اشاره شد با بررسی شکل ۹ نیز تاثیر مثبت آسفالت بازیافتی در افزایش شاخص سختی نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های بدون این مصالح استنباط می‌شود. فقط نمونه‌هایی که دارای مصالح ریزدانه بازیافتی بودند از شاخص سختی یکسانی نسبت به نمونه‌های کنترل برخوردار بودند و در حالت کلی نمونه‌های بتنی حاوی مصالح درشت دانه و ریزدانه آسفالت بازیافتی دارای بیشترین قابلیت جذب انرژی یعنی همان سطح محصور بین منحنی بار تغییر شکل (شکل شماره ۸) بودند.

#### ۳-۲-۴- مقایسه

برای مقایسه نتایج بدست آمده در این مطالعه با نتایج حاصل شده از پژوهش‌های دیگری که در گذشته با جایگزین کردن مصالح سنگی بتن با مواد اصلاح کننده

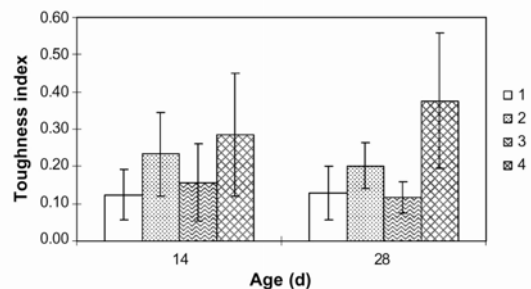


Fig. 9. Calculated toughness index from split tensile strength test to tensile strain of 0.4%.

دیگری غیر از آسفالت بازیافتی انجام شده بود، می‌توان به شکل شماره ۱۰ مراجعه کرد. در این شکل نتایج بدست آمده از جایگزین شدن صفر، ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۵۰ درصد حجمی مصالح سنگی بتن با پودر لاستیک ارائه گردیده است (۱۲). بهر حال نتایج این مقایسه حاکی از تاثیر کاهنده پودر لاستیک و آسفالت بازیافتی از مقاومت کششی و فشاری نمونه‌های بتنی بوده است. از آنجا که تفاوت پودر لاستیک از نظر عملکرد و جنس با مصالح سنگی بیش از تفاوت آسفالت بازیافتی و مصالح سنگی می‌باشد، این کاهش در میزان استقامت نمونه‌های بتنی حاوی پودر لاستیک بیشتر نمود پیدا می‌کند.

B. Huang, G. Li, S.-S. Pang J. Eggers, Investigation into waste tire rubber-filled concrete, *J.Mater. Cive Eng.* 16 (3) (2004) 187-194.

G. Li, M.A. stubblefield. G. Garrick, J. Eggers, C. Abadie, B. Huang. Development of waste tire modified concrete, *Cem. Coner, Res.* 34 (12) (2004)2283-2289.

B. Topcu, the properties of rubberized concrete, *cem. Coner. Res.* 25 (2) (1995) 34-310.

N.N. Eldin, A.B. Senouci, Rubber-tire practices as concrete aggregate, *J.Mater. Cive Eng.* 5 (4) (1993) 478-496.

F. Hernahdez-Olivares, G. Barluenga. M.Bollati, B. Witoszek, static and dynamic behavior of recycled tyre rubber- filled concrete, *Cem. Concr. Res.* 32 (10) (2002) 1587-1596.

طاهری، وحید. " ارزیابی روشهای بهبود مقاومت مخلوطهای آسفالتی در برابر رطوبت " پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف، ایران ۱۳۷۷

E. Guneyisi, M. Gesoglu, T. Qzturan, Properties of rubberized concretes containing silica fume. *Cem. Concr. Compos*, 18 (4) (1996) 223-237.

- بطور کلی نتیجه گرفته می شود که مخلوطهای بتنی حاوی آسفالت درشت دانه از سختی و انرژی پذیری بهتری نسبت به نمونه های بتنی بدون آسفالت بازیافتی برخوردار بوده و لذا در پروژه های عمرانی استفاده از آنها می تواند مورد توجه قرار گیرد.

[۸]

## ۵- مراجع

- [۹] S. Nagataki, A. Gokce, T. Saeki. M. Hisada, Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates, *Cem. Concr. Res.* 34 (6) (2004) 965-971.
- [۱۰] P.Craig, M.C. Steven, V. Rodolfo, Potential for using waste glass in Portland cement concrete, *J. Mater. Civ. Eng.* 10 (4) (1998) 210-219.
- [۱۱] R.N. Swamy, A.R.S. Ali. D.D. Theodorakopoulos . Early strength fly ash concrete for structural applications, *ACI J.* (1983) 414-423.
- [۱۲] K. Sakai, H. Watanabe, M. Suzuki. K. Hamazaki, Proprties of granulated blast-furnace slag cement concret, *ACI Spec, Publ. SP 132* (1993) 1367-1383.
- [۱۳] V.M. Malhotra, M.H. Zhang, P.H. Read, J. Ryell, long term mechanical properties and durability characteristics of high- strength/high performance concrete incorporating supplementary cementing materials under outdoor exposure conditions, *ACI mater. J.*97 (2000) 518-525.