

خواص فیزیکی و مکانیکی بتن‌های حاوی لاستیک خردشده

علیرضا خالوⁱ; مهدی دهستانی کلاگرⁱⁱ; پیمان رحمت‌آبادی

چکیده

تایر فرسوده ماشین‌ها، به عنوان یک نوع زباله جامد مشکلات زیادی را از لحاظ زیست محیطی ایجاد می‌کند. جهت رفع این مشکل، استفاده از آن در بتن با توجه به خواص لاستیک واز طرفی ترد و شکننده بودن بتن مورد نظر قرار گرفته است. در این مقاله از لاستیک‌های خرد شده و دانه بندی شده، در سه بخش ریزدانه و درشت دانه و ترکیبی به عنوان جایگزین حجمی از سنگدانه‌های متناظر در طرح اختلاط بتن استفاده گردید. نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر ساخته شده و تحت آزمایش فشاری تک‌محوری و ماوراء صوت قرار داده شدند. خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های بتنی عمل‌آوری شده که حاوی خرده‌های لاستیک بودند، در مقایسه با نمونه‌های کنترلی، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نمونه‌های بتنی حاوی لاستیک نسبت به نمونه‌های کنترلی دارای چگالی کمتر و جذب صوت بیشتری بوده‌اند. همچنین نتایج حاکی از کاهش مقاومت بتن و کم شدن قابل توجه رفتار ترد و شکننده بتن در ازای جایگزینی ذرات لاستیک به جای بخشی از حجم سنگدانه‌ها بوده است.

کلمات کلیدی: بتن‌های لاستیکی، خواص مکانیکی، کارایی، محیط زیست

Physical and mechanical properties of tire rubber concrete

Ali R. Khalooⁱ; M. Dehestani; P. Rahmatabadiⁱⁱ

ⁱ Prof. of Civil Engng. Department, Sharif University of Technology, Center of Excellence in Structures & Earthquake Engng, Tehran

ⁱⁱ Civil Engng. Department, Sharif University of Technology, Tehran

ABSTRACT

Because used tires of cars represent an increasingly serious environmental problem, this study was undertaken to examine the feasibility of using tire rubber particles as aggregate in concrete. In order to reduce the brittle behavior of plain concrete, tire rubber particles with an elastic and flexible type of behavior were used in three types of tire chips, crumb rubber and combined type to replace with 25, 50, 75, 100% by volume of the coarse and fine mineral aggregate in concrete. Cylindrical shape concrete specimens (15 cm in Diameter and 30 cm height) were fabricated and cured. Physical and mechanical properties of the tire rubber concrete were determined through a uniaxial compressive test. An ultrasonic device was utilized to examine the sound absorption in tire rubber concrete. The concrete specimens containing tire rubber particles exhibited lower unit weights and higher sound absorption compared to plain concrete. Test results indicated a large reduction in the strength and significant decrease in concrete brittle behavior with the increase in rubber content.

KEYWORDS: RUBBER CONCRETE; MECHANICAL PROPERTIES, WORKABILITY, ENVIRONMENT

ⁱ استاد سازه، دانشگاه صنعتی شریف؛ تلفن: ۰۲۱-۶۶۱۶۴۲۱۱؛ پست الکترونیکی: khaloo@sharif.edu

ⁱⁱ دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی شریف؛ تلفن: ۰۲۱-۶۶۱۶۴۲۷۴؛ پست الکترونیکی: dehestani@civil.sharif.edu

۱- مقدمه

لاستیک مورد نظر محققین قرار گرفته باشد [۳-۸]. از جمله کارهای انجام شده در این زمینه می‌توان به کارهای خطیب و بویامی در سال ۱۹۹۹ و نیز توپکو و آوکولر در سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۷ اشاره نمود. قبل از آن‌ها نیز الدین و سنوکی در سال ۱۹۹۳ ذرات مربوط به سه نوع لاستیک را جایگزین بخشی از سنگدانه‌ها نمودند. از کارهای انجام‌شده فوق به عنوان نخستین کارهای انجام شده کامل در این زمینه می‌توان نام برد.

کارهای انجام شده فوق در بسیاری موارد نتایج مشابهی بدست داده است. اما باید توجه داشت که عواملی چون آماده‌سازی ذرات لاستیک و نیز جنس لاستیک مورد استفاده و اندازه دانه‌ها تاثیرات قابل ملاحظه‌ای در رفتار بتن‌های حاوی لاستیک داشته است و طبعاً موجب بروز تفاوت‌هایی در نتایج گردیده است. تحقیقات مربوط به بتن‌های حاوی لاستیک در سال‌های بعد نیز همچنان ادامه یافته است.

هرناندرز و همکاران در سال ۲۰۰۲ رفتار استاتیکی و دینامیکی بتن‌های حاوی لاستیک را برای درصدهای ۵ و ۷ درصد مورد بررسی قرار دادند. گوکیانگلی و همکاران نیز در سال ۲۰۰۴ بتن‌های لاستیکی را برای ذرات رشته‌ای شکل لاستیک مورد بررسی قرار دادند. رفعت صدیق و تاران نیک نیز در سال ۲۰۰۴ خواص بتن‌های لاستیکی را در یک مقاله مروری بررسی نمودند. ارهان گونیزی و همکاران نیز در سال ۲۰۰۴ به منظور اصلاح خواص بتن‌های حاوی لاستیک از ذرات سیلیکافوم استفاده نمودند [۸].

مقاله حاضر در راستای کارهای انجام‌شده در این زمینه ضمن بررسی کلی خواص فیزیکی و مکانیکی بتن‌های حاوی لاستیک حائز برخی مطالعات و نتایج نو می‌باشد که در کارهای انجام شده قبل مورد بررسی قرار نگرفته است. از آن جمله می‌توان به انجام آزمایش ماوراء صوت و نیز استفاده از دانه‌های لاستیک با اندازه ترکیبی نام برد. همچنین لاستیک مورد استفاده از لاستیک‌های موجود در ایران بوده است که بدون آماده‌سازی قبلی مورد استفاده قرار گرفته است.

اصلاح خواص بتن امروزه از زمینه‌های پژوهشی فعال می‌باشد. در این راستا استفاده از افزودنی‌های زیادی مورد ملاحظه و بررسی قرار گرفته است. با توجه به ترد بودن بتن، استفاده از لاستیک به عنوان ماده‌ای الاستیک و جاذب انرژی مورد نظر قرار گرفت [۳-۸]. از عوامل دیگری که استفاده از لاستیک را به عنوان افزودنی مناسب و مقرون به صرفه جلوه می‌دهد، مشکلات و معضلات زیست محیطی لاستیک‌ها و مخصوصاً تایرهای فرسوده می‌باشد. به‌طور کلی رشد و توسعه روز افزون صنعت منجر به تولید تعداد انبوهی تایرهای فرسوده گشته که مشکلات زیست محیطی قابل توجهی را به بار آورده است. به‌طور خلاصه می‌توان گفت مساله آلودگی تایرهای کهنه به چند دلیل از مسائل مهم آلودگی‌های زیست محیطی است [۳-۸]:

- متلاشی شدن لاستیک، صدها سال زمان نیاز دارد.
- بزرگترین و آشکارترین خطر مواجهه با دفن کنترل نشده و انبار لاستیک‌های مستعمل، پتانسیل آنها برای آتش سوزی‌های بزرگ است که برای محیط زیست بسیار زیان‌آور است. همچنین مشاهده شده است که آلودگی هوا و خاک با استفاده از کف‌های دی اکسیدکربن و آب جهت خاموش کردن آتش، بیشتر هم می‌شود. به‌همین علت است که تایرهای فرسوده، اغلب به شرط تحت کنترل بودن آتش و نیز به شرط سوختن کامل اجازه سوزانده شدن خواهند داشت.
- تجمع لاستیک‌های دفن شده زیر خاک می‌توانند گازهای سمی فراری تولید کند که بالتبع قابل وارد شدن به هوا هستند و می‌توانند برای هر موجودی که در محل باشد، خطرناک باشند.
- با دفن نامناسب لاستیک‌ها، شرایط زمین و منطقه مورد نظر برای افزایش حشرات موذی و جوندگان و بالتبع شیوع بیماری‌هایی از جمله طاعون و غیره فراهم می‌شود.

لذا طبیعی است که جهت رفع مشکلات زیست محیطی مذکور، استفاده از لاستیک در بتن با توجه به خواص

۲- مواد و نحوه ساخت نمونه‌های بتنی

در ساخت نمونه‌های بتنی از ذرات دانه بندی شده لاستیک به عنوان قسمتی از حجم سنگدانه استفاده گردیده است. خواص لاستیک مورد استفاده و تست‌های انجام شده اولیه روی آن که توسط کارخانه سازنده انجام گرفته و ارائه گردیده است، در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱: خواص دانه‌های لاستیک (مشخصات ارائه شده توسط کارخانه سازنده)

مشخصات لاستیک مورد استفاده		
۱	چگالی نسبی gr/cm^3	۱/۱۶
۲	درصد خاکستر	۵٪
۳	نرم کننده	۱۰٪
۴	دوده	۲۹٪
۵	پلیمر	۵۰٪
۶	باقیمانده روی الک با شبکه ۴۰	۳/۳۶٪
۷	باقیمانده روی الک با شبکه ۴۰	۸۰٪
بسته بندی: کیسه‌های ۳۰ کیلوگرمی		

این الک بعضاً حاوی ذرات بسیار ریز بوده است که ممکن بود این ذرات گیرش سیمان را در بتن کاهش دهند [۹]. این ذرات از الک #100 نیز عبور داده شدند تا ذرات ریزدانه لاستیک فقط شامل آن دسته از ذراتی باشند که روی الک #100 باقی مانده‌اند. دسته‌های دانه‌های لاستیک در شکل ۱ نشان داده شده است.

تعداد نمونه‌ها و مشخصات آن‌ها در جدول ۵ آمده است. طرح اختلاط مربوط به نمونه‌ها و مشخصات کمی اجزای تشکیل‌دهنده آن‌ها نیز با توجه به استاندارد ACI [10211.1-91] و استفاده از طرح اختلاط کنترلی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، به طور خلاصه در جدول ۶ آورده شده است. سیمان مورد استفاده، سیمان تیپ ۱ پرتلند بوده است.

دانه‌بندی نمونه‌ها و مشخصات آن‌ها در جداول ۳ و ۴ و شکل ۲ آورده شده است.

چگالی شن : $۱۷۰۱/۳$ کیلوگرم بر متر مکعب

چگالی ماسه : $۱۷۱۶/۸$ کیلوگرم بر متر مکعب

چگالی لاستیک : ۱۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب

وزن مخصوص ویژه نسبی سنگ‌دانه‌ها: $۲/۶۵$

وزن مخصوص ویژه نسبی لاستیک: $۱/۱۶$

جهت ایجاد تمایز بین دانه های لاستیک از نظر ریزدانه یا درشت دانه بودن از الک $۴/۷۵$ (#4) میلیمتر استفاده گردید، به این ترتیب که دانه های باقیمانده روی این الک با ماکزیمم اندازه ۲۰ میلیمتر در بعد به عنوان درشت دانه های لاستیک انتخاب شد. اما از آنجا که ذرات عبوری از

جدول ۲: نتایج آزمایشات انجام شده روی دانه‌های لاستیک توسط کارخانه سازنده

نتایج آزمایشات انجام شده بر اساس تست‌های موسسه ملی استاندارد آمریکا				
تست	استاندارد	مقدار واقعی	واحد	ملاحظات
JIS K 6313	Max 70	۳۷/۵		در ۱۰۰ رجه MLT+4
JIS K 6313	Max 70	۵	٪	درصد خاکستر
JIS K 6313	Max 70	۵	٪	عصاره استون
JIS K 6313	Min 40	۴۶	٪	درصد پلیمر
JIS K 6313	1.17+/-0.02	۱/۱۴	gr/cm^3	چگالی ویژه در ۲۵ رجه ^۱
JIS K 6313	55+/-5	۵۳	SHA	سختی
JIS K 6313	Min 70	۴۱	kg/cm^2	مقاومت کششی
JIS K 6313	Min 300	۲۰۰	٪	کشیدگی



شکل ۱: دسته‌های دانه‌های لاستیک

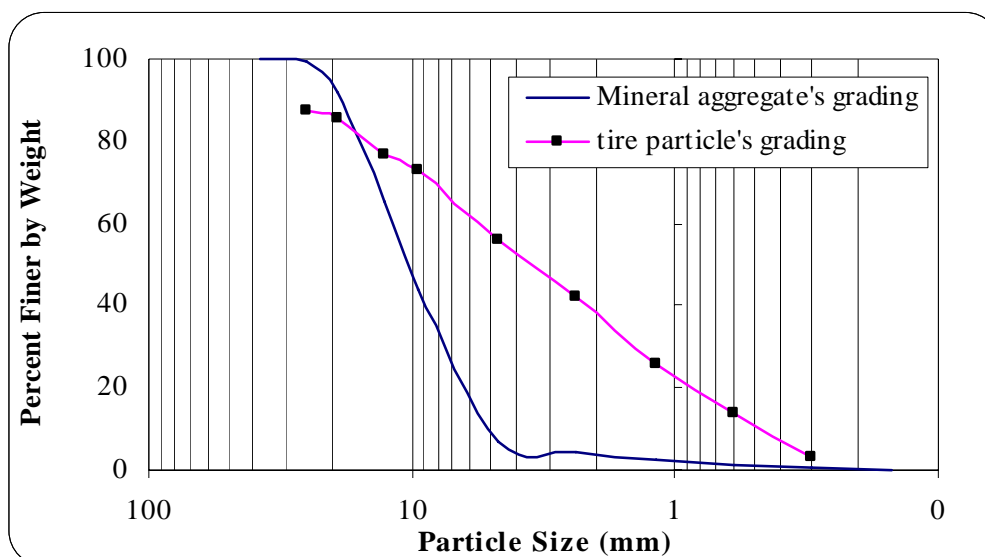
جدول ۳: دانه‌بندی دانه‌های لاستیک

نام الک	اندازه (میلی‌متر)	وزن باقی‌مانده روی هر الک (گرم)	وزن تجمعی باقی‌مانده روی هر الک (گرم)	درصد تجمعی عبوری از هر الک (%)
1"	۲۵/۴۰	۵۶	۵۶	۷۸/۶۲
3/4"	۱۹/۰۶	۹/۹۰	۶۵/۹۰	۸۵/۴۴
1/2"	۱۲/۷۰	۴۰/۴۰	۱۰۶/۳۰	۷۶/۵۱
3/8"	۹/۵۰	۱۷/۱۰	۱۲۳/۴۰	۷۲/۷۳
#4	۴/۷۵	۷۶/۷۰	۲۰۰/۱۰	۵۵/۷۸
#8	۲/۳۶	۶۲/۲۰	۲۶۲/۳۰	۴۲/۰۳
#16	۱/۱۸	۷۴/۳۰	۳۳۶/۶۰	۲۵/۶۱
#30	۰/۶۰	۵۴/۰۰	۳۹۰/۶۰	۱۳/۶۸
#50	۰/۳۰	۴۷/۶۰	۴۳۸/۲۰	۳/۱۶
Pan	۰/۰۰	۱۴/۳۰	۴۵۲/۵۰	۰/۰۰

$W_{ssd} = \% ۴۹/۵۶$

جدول ۴: مشخصات و دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها

نام الک	اندازه (میلی‌متر)	وزن باقی‌مانده روی هر الک (گرم)	وزن تجمعی باقی‌مانده روی هر الک (گرم)	درصد تجمعی عبوری از هر الک (%)
1.5"	۳۸/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
1"	۲۵/۴۰	۱۵/۸۰	۱۵/۸۰	۹۹/۱۶
3/4"	۱۹/۰۶	۱۳۸/۶۰	۱۵۴/۴۰	۹۱/۷۷
1/2"	۱۲/۷۰	۴۹۳/۲۰	۶۴۷/۶۰	۶۵/۴۷
3/8"	۹/۵۳	۴۰۵/۵۰	۱۰۵۳/۱۰	۴۳/۸۴
#4	۴/۷۵	۶۹۷/۸۰	۱۷۵۰/۹۰	۶/۶۳
#8	۲/۳۶	۴۴/۲۱	۱۷۹۵/۱۱	۴/۲۷
#16	۱/۱۸	۳۱/۵۲	۱۸۲۶/۱۲	۲/۵۹
#30	۰/۶۰	۲۱/۱۴	۱۸۴۷/۷۷	۱/۴۶
#50	۰/۳۰	۱۶/۳۹	۱۸۶۴/۱۶	۰/۵۹
#100	۰/۱۵	۷/۴۹	۱۸۷۱/۶۵	۰/۱۹
Pan	۰/۰۰	۳/۵۵	۱۸۷۵/۲۰	۰/۰۰



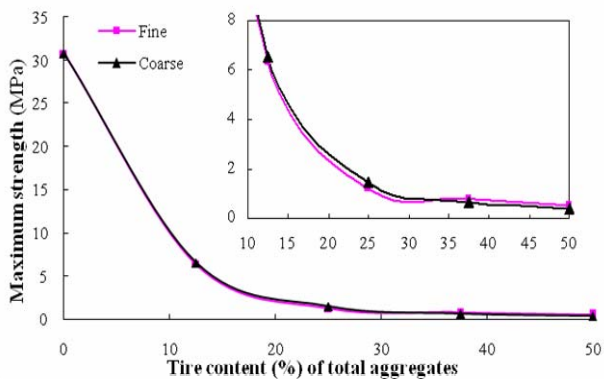
شکل ۲: دانه بندی مصالح

جدول ۵: تعداد نمونه‌ها و مشخصات آن‌ها

محتوای لاستیک در کل حجم سنگدانه‌ها (%)	حجم لاستیک ریزدانه نسبت به ماسه در طرح کنترلی (%)	حجم لاستیک درشت‌دانه نسبت به شن در طرح کنترلی (%)	حجم ماسه نسبت به حجم ماسه در طرح کنترلی (%)	حجم شن نسبت به حجم شن در طرح کنترلی (%)	تعداد نمونه‌ها	نمونه
۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۳	P
۱۲/۵	۰	۲۵	۱۰۰	۷۵	۳	C25
۲۵	۰	۵۰	۱۰۰	۵۰	۳	C50
۳۷/۵	۰	۷۵	۱۰۰	۲۵	۳	C75
۵۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۳	C100
۱۲/۵	۲۵	۰	۷۵	۱۰۰	۳	F25
۲۵	۵۰	۰	۵۰	۱۰۰	۳	F50
۳۷/۵	۷۵	۰	۲۵	۱۰۰	۳	F75
۵۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۳	F100
۲۵	۲۵	۲۵	۷۵	۷۵	۳	C25F25
۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۳	C50F50

جدول ۶: طرح اختلاط نمونه‌ها

آب (لیتر)	لاستیک درشت‌دانه (کیلوگرم)	لاستیک ریزدانه (کیلوگرم)	شن (کیلوگرم)	ماسه (کیلوگرم)	رطوبت شن (%) در شرایط آزمایش	رطوبت ماسه (%) در شرایط آزمایش	اسلامپ (سانتی‌متر)	نمونه
۱۵۷/۵	۰	۰	۹۰۰	۹۰۰	۰	۰	۵	P
۲۴۶/۵	۱۵۲/۳۷۵	۰	۶۷۵	۹۰۰	۲/۶	۵/۵	۲	C25
۳۱۷/۱۴	۳۰۴/۱۸	۰	۴۵۰	۹۰۰	۲	۶/۴	۳/۵	C50
۳۷۳/۴۳	۴۵۶/۳	۰	۲۲۵	۹۰۰	۳	۸	۲	C75
۴۵۹/۲	۶۰۹/۵	۰	۰	۹۰۰	۳	۷	۲/۵	C100
۲۳۲/۶۴	۰	۱۴۹/۵	۹۰۰	۶۷۵	۳	۷	۷/۵	F25
۲۸۹/۹	۰	۲۹۹	۹۰۰	۴۵۰	۴	۷/۵	۶/۵	F50
۳۹۶/۰۴	۰	۴۵۲/۱	۹۰۰	۲۲۵	۳	۲/۵	۷	F75
۴۷۰/۶	۰	۶۰۲/۸	۹۰۰	۰	۳	۷	۲/۵	F100
۳۱۵/۵	۱۵۲/۳۷۵	۱۴۹/۵	۶۷۵	۶۷۵	۳	۶	۵	C25F25
۴۵۱/۲	۳۰۴/۲	۳۰۱/۴	۴۵۰	۴۵۰	۴	۹	۳	C50F50



شکل ۳: مقاومت نهایی نمونه‌ها برحسب محتوای لاستیک در کل حجم سنگدانه‌ها

طبق شکل ۳ بتن‌هایی که بیش از ۴۰٪ از حجم سنگدانه‌های آنها با لاستیک ریز یا درشت جایگزین شده است، بیش از ۹۵٪ از مقاومت خود را از دست داده‌اند. به طور کلی استفاده از لاستیک بیش از ۲۰٪ حجم سنگدانه‌ها به دلیل کاهش کمی و کیفی عمده در خواص مکانیکی توصیه نمی‌گردد.

بر اساس نتایج بدست آمده کاهش مقاومتی برابر با ۶۲٪ به ازای جایگزینی ۱۰٪ از حجم سنگدانه‌ها با لاستیک درشت‌دانه می‌توان انتظار داشت و همچنین کاهش مقاومت در بتن‌های حاوی لاستیک ریزدانه به ازای جایگزینی ۱۰٪ از حجم سنگدانه‌ها با لاستیک ریزدانه برابر ۶۷٪ خواهد بود. نتایج بدست آمده از کارهای خطیب و بویامی [۳] تقریباً با نتایج مقاله حاضر مطابقت دارد. درصد کاهش مقاومت بدست آمده توسط خطیب و بویامی برای محتوای ۱۰ درصد لاستیک ریزدانه و درشت‌دانه به ترتیب ۶۵٪ و ۴۰٪ بوده است.

ملاحظه می‌گردد که کاهش مقاومت بر اساس نتایج کار حاضر به ازای استفاده از لاستیک درشت‌دانه کمتر از حالت استفاده از لاستیک ریزدانه می‌باشد و حال آن‌که نتیجه بدست آمده در [۳] با نتیجه کار حاضر متفاوت است. اما طبق نتایج گزارش شده در [۶] از کارهای علی و همکاران در سال ۱۹۹۳ و همچنین فتاحی و کلارک در سال ۱۹۹۶ در تایید نتایج بدست آمده در مقاله حاضر، استفاده از لاستیک ریزدانه را منجر به کاهش بیشتر مقاومت نسبت به استفاده از لاستیک درشت‌دانه دانسته‌اند.

از عوامل موثر در کاهش مقاومت بتن‌های حاوی

جهت بدست آوردن چگالی سنگدانه‌ها از استاندارد ASTM [2] استفاده گردیده است. برای بدست آوردن چگالی دانه‌های لاستیک نیز رویه‌ای مشابه آنچه برای مصالح معدنی انجام شد، مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های بتنی، مطابق آنچه در بالا به طور خلاصه آورده شد، ساخته و عمل‌آوری شدند. عمل‌آوری نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با رطوبت بیش از ۹۸٪ صورت گرفت. نمونه‌ها پس از مدت ۴۲ روز تحت آزمایش فشار تک‌محوری قرار گرفتند

۳- نتایج آزمایشات و بحث

۳-۱- مقاومت نهایی

با استفاده از آزمایش فشاری تک‌محوری مقاومت نهایی نمونه‌های بتنی ساخته‌شده بدست آمد. منحنی‌های مربوط به مقاومت حداکثر نیز در شکل ۳ برای نمونه‌های حاوی لاستیک ریزدانه و درشت‌دانه آورده شده است. شکل ۲ نشان می‌دهد که استفاده از لاستیک به عنوان سنگدانه منجر به کاهش قابل ملاحظه مقاومت بتن خواهد شد و افزایش میزان لاستیک نیز موجب کاهش بیشتر مقاومت می‌شود. سیر نزولی ماکزیمم مقاومت برحسب درصد لاستیک را می‌توان با استفاده از یک منحنی رگرسیون که مقدار R2 در آن بیشتر از ۹۸٪ انتخاب شده است، نشان داد. چنانچه CR نسبت حجم لاستیک درشت‌دانه موجود در طرح اختلاط به حجم شن در طرح باشد، درصد کاهش مقاومت در بتن‌های حاوی لاستیک نسبت به نمونه‌های بتنی حاوی سنگدانه‌های معمولی را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$SRC(\%) = 325(CR)^3 - 685(CR)^2 + 455CR \quad (1)$$

همچنین اگر FR نسبت حجم لاستیک ریزدانه موجود در طرح اختلاط به حجم ماسه در طرح باشد، درصد کاهش مقاومت در بتن‌های حاوی لاستیک نسبت به نمونه‌های بتنی حاوی سنگدانه‌های معمولی را به صورت زیر می‌توان نوشت:

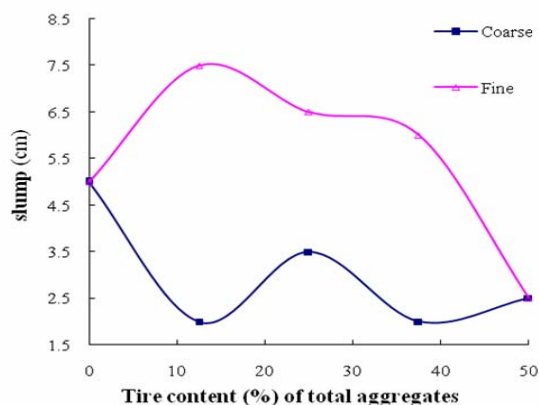
$$SRC(\%) = 335(FR)^3 - 700(FR)^2 + 465FR \quad (2)$$

قسمت خطی نمودار رخ می‌دهند.

نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده روی بتن‌های حاوی دانه‌های لاستیک ترکیبی حاکی از این واقعیت بوده است که به ازای جایگزینی حجمی یکسان از درشت دانه‌ها و ریز دانه‌های لاستیک به نتایجی که مابین نتایج مربوط به دو نمونه‌ای که یا صرفاً دارای ریز دانه و یا فقط درشت دانه لاستیک می‌باشند، خواهیم رسید. یعنی نتایج مربوط به نمونه C25F25 تقریباً بین نتایج مربوط به نمونه‌های C50 و F50 قرار می‌گیرد و همین‌طور برای نمونه C50F50 در مقایسه با نمونه‌های C100 و F100. بنابراین با استفاده از ترکیب‌های مختلف ریزدانه‌ها و درشت دانه‌های لاستیک می‌توان رفتاری مابین رفتارهای مربوط به نمونه‌های بتنی با محتوای لاستیک کل مشابه بدست آورد.

۳-۲- تغییرات کارآیی

مطابق شکل ۴ مشاهده می‌گردد که به ازای درصد لاستیک تقریبی ۱۲ میزان اسلامپ برای نمونه‌های C حداقل می‌شود، حال آنکه این میزان برای نمونه‌های F برای درصد لاستیک ۱۲ به حداکثر میزان خود می‌رسد. ملاحظه می‌شود که نمی‌توان روند تغییر خاصی برای میزان کارآیی نمونه‌های C و F به ازای تغییر میزان دانه‌های لاستیک در نظر گرفت. اما برای محتوای لاستیک کمتر از ۲۵ درصد که معمولاً برای کاربردهای عملی پیشنهاد می‌شود، در نمونه‌های C افزایش کارآیی و برای نمونه‌های F کاهش در میزان کارآیی انتظار می‌رود.



شکل ۴: اسلامپ بتن تازه برحسب محتوای لاستیک در کل

لاستیک می‌توان به ایجاد تخلخل در بتن و همچنین شکل‌گیری ناپیوستگی‌های زیاد در بتن اشاره نمود. به‌علاوه بدلیل تغییرشکل زیاد دانه‌های لاستیک حین بارگذاری و تفاوت عمده این تغییرشکل‌ها با تغییرشکل‌های بتن، می‌توان از خواص مقاومتی این دانه‌های لاستیکی که به عنوان سنگدانه مورد استفاده قرار می‌گیرند، چشم‌پوشی نمود. به این ترتیب بتن‌های لاستیکی سطح موثر مقاوم کوچکتری در مقایسه با بتن‌های معمولی خواهند داشت و این خود یکی از عوامل مهم کاهش مقاومت می‌باشد.

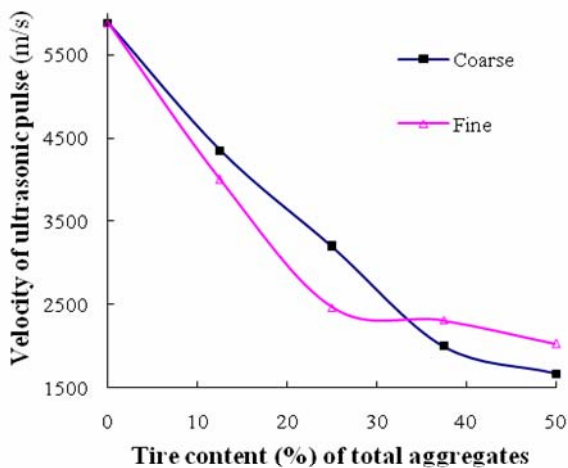
هرچند بتن‌های حاوی لاستیک داری مقاومت کمتری نسبت به بتن‌های معمولی هستند، اما بتن‌های حاوی لاستیک بسته به محتوای لاستیک رفتار انعطاف‌پذیرترین نسبت به بتن‌های معمولی نشان می‌دهند. انتشار نشانه‌های تخریب نظیر ترک‌ها در نمونه‌های بتن لاستیکی به طور یکنواخت و آرام و توام با تغییرشکل زیاد بوده و حال آنکه تخریب نمونه‌های بتنی معمولی انفجاری و همراه با تغییرشکل کوچک بوده است. همچنین نشانه‌های تخریب نیز در نمونه‌های بتنی معمولی متمرکز بوده و به طور سریع گسترش می‌یابد. مساله قابل ملاحظه دیگری که حین بارگذاری دوره ای رخ داد احراز حالت سخت شدگی مجدد و تغییر شکل دایمی بود که برای نمونه‌های بتنی معمولی ایجاد نمی‌شود.

برای نمونه‌های حاوی لاستیک کمتر از ۵۰ درصد نمونه‌های C از نمونه‌های F مقاومت بیشتری را نشان می‌دهند، حال آنکه این نتیجه برای نمونه‌های حاوی لاستیک بیشتر از ۵۰ درصد برعکس است. آنچه حین انجام آزمایش‌ها مشاهده گردید، نشان می‌داد که ترک‌های قابل مشاهده‌ای که در نمونه‌های بتنی حاوی لاستیک رخ می‌داد، در بعد از قسمت تناسب و یا خطی تنش-کرنش قرار می‌گرفت و بنابراین چنانچه در طراحی این نوع بتن‌ها مقادیر قبل از نقطه انتهایی قسمت خطی نمودار را مورد استفاده قرار دهیم با این ترک‌ها مواجه نمی‌شویم و این موضوعی است که در بتن‌های معمولی مشاهده نمی‌شود و یا اینکه این ترک‌ها به طور نسبی زودتر و نزدیک‌تر به نقطه انتهایی

۳-۳- تغییرات چگالی بتن عمل‌آوری‌شده

مطابق آنچه در شکل ۵ ملاحظه می‌گردد با جایگزینی بخشی از سنگدانه‌ها با لاستیک از میزان چگالی بتن کاسته می‌گردد. ملاحظه می‌گردد که چگالی برای میزان‌های یکسان از ریزدانه و درشت‌دانه، برای C ها بیشتر است، زیرا این نمونه‌ها دارای ماسه بیشتری نسبت به F ها می‌باشند و دانه‌های ماسه‌ای دارای چگالی بیشتری نسبت به درشت‌دانه‌های شن هستند. اما توجه داریم که در درصد‌های بالاتر از ۸۰٪ میزان چگالی نمونه‌های F از نمونه‌های C بیشتر است. برای تفسیر این مساله می‌توان گفت از آنجایی که نسبت چگالی ریزدانه‌های لاستیک به چگالی درشت‌دانه‌های لاستیک بیشتر از این نسبت در نمونه‌های سنگی است و به ازای نسبت‌های بالای لاستیک این اثر بیشتر نیز می‌شود، بنابراین میزان چگالی برای درصد‌های بالاتر از ۸۰٪ لاستیک در F ها از C ها بیشتر است. کمتر بودن چگالی و لذا سبک‌تر بودن بتن‌های لاستیکی یکی دیگر از عوامل سودمند استفاده از لاستیک در بتن می‌باشد که می‌تواند در کاهش نیروهای زلزله و کاهش خسارات وارده موثر باشد.

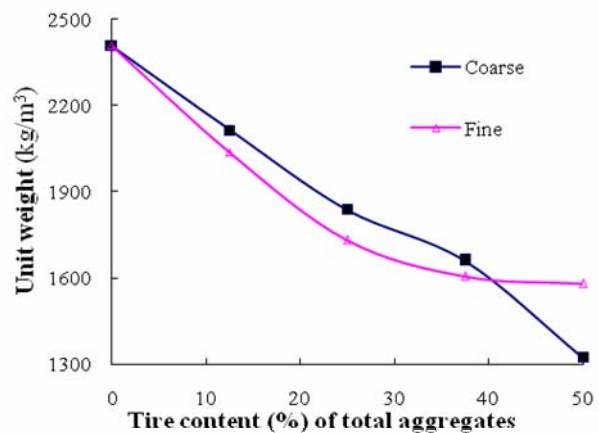
پالس‌های ماوراء صوت را از نمونه‌ها برای درصد‌های لاستیک مختلف نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که استفاده از لاستیک در بتن به جای سنگدانه در بتن منجر به کاهش سرعت عبور صوت و به تبع آن انرژی صوتی از بتن خواهد شد. به این ترتیب بتن‌های لاستیکی عایق صوتی مناسبی برای استفاده در نقاط پرسر و صدا می‌باشد. از آنجایی که اصوات از انرژی‌های مکانیکی ارتعاشی می‌باشند، لذا می‌توان بتن‌های لاستیکی را به عنوان بتن‌های ضد ارتعاش معرفی نمود.



شکل ۶: سرعت عبور صوت در بتن‌های عمل‌آوری‌شده برحسب محتوای لاستیک در کل حجم سنگدانه‌ها

۴- خلاصه و نتیجه‌گیری

بر اساس خواص فیزیکی و مکانیکی که از مواد لاستیکی در نظر داشته‌ایم و ماهیت مضر لاستیک‌ها و تیره‌های فرسوده برای محیط زیست، استفاده از این مواد در بتن مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا تاثیرات مربوط به اضافه نمودن دانه‌های لاستیک به بتن در جهت اصلاح ماهیت ترد و شکننده بودن بتن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایجی که در انتها بدست آمد حاکی از اثرات خاص میزان لاستیک در بتن نظیر کاهش چگالی، کاهش خواص تردی و شکنندگی و شکست نرم در بتن بوده است. عملاً استفاده از بتن‌هایی که بیش از ۲۵ تا ۳۰ درصد حجمی از ریزدانه‌ها و یا درشت‌دانه‌های آن با دانه‌های ریز و درشت لاستیک جایگزین شده‌اند، توصیه نمی‌گردد، زیرا در اینگونه موارد، کاهش مقاومت در اثر وجود لاستیک در بتن به



شکل ۵: چگالی بتن‌های عمل‌آوری‌شده برحسب محتوای لاستیک در کل حجم سنگدانه‌ها

۳-۴- جذب صوت در بتن‌های لاستیکی

با انجام آزمایش ماوراء صوت روی نمونه‌های بتنی عمل‌آوری‌شده و سخت‌شده و تعیین فاصله زمانی عبور صوت از طول نمونه‌ها، سرعت عبور صوت از این نمونه‌ها را تعیین شده است. شکل ۶ سرعت عبور

rubber granulate, J Mater Process. Tech.; 142(2003):427-433
Neil N. Eldin, Ahmed B. Senouci, Rubber-tire particles as concrete aggregate, J Mater Civil Engng 1993; 5(4):478-96
Rafat Siddiquel, Tarun R. Naik, Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview, Waste Management 2004; 24: 563-569

Rostami, H., Lepore, J., Silverstraim, T. Zundi, I. , Use of recycled rubber tires in concrete, In: Dhir, R.K. (Ed.) Proceedings of the International Conference on concrete 2000, University of Dundee, Scotland, UK, pp. :391-399

Guneyisi E., Gesoglu M., Ozturan T., Properties of rubberized concretes containing silica fume, Cement and concrete Research, V 34, (2004) 2309-2317.

Neville, A.M., Properties of Concrete, 4th ed., Longman, London, 1995

ACI 2002. Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight and mass concrete. American Concrete Institute. Document No. ACI 211.1-91.

بیش از ۷۵٪ خواهد رسید که دیگر نمی توان بتن را به عنوان ماده ای که یک نیروی حداقل را تحمل می کند مورد استفاده قرار داد. البته می توان این بتن ها را برای موارد غیر سازه ای مانند عایق های صوتی ، جدا کننده ها و غیره به کار برد. برای ادامه این کار در نظرگیری درصد های کمتر از ۲۵ و بررسی عملکرد دینامیکی نمونه های بتنی حاوی لاستیک، پیشنهاد می شود.

۵- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از زحمات مسئولان آزمایشگاه مصالح و بتن دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف و همکاری های قطب علمی سازه و زلزله در دانشگاه صنعتی شریف تشکر و قدردانی می گردد.

۶- مراجع

[۱] دهستانی کلاگر ، م ، پایان نامه ، خواص فیزیکی و مکانیکی بتن های حاوی لاستیک خرد شده ، دانشگاه صنعتی شریف، پاییز ۱۳۸۳

[۲] “Concrete and aggregate”, 1988. Annual book of ASTM Standards. Vol. 04.02, ASTM, Philadelphia.

[۳] Khatib, Z.K., Bayomy, F.M., 1999, Rubberized Portland cement concrete, ASCE J Mater Civil Engng 1993; 11(3):206-213

[۴] M. Sobral, A.J.B. Samagaio, J.M.F. Ferreira, J.A.Labrincha, Mechanical and acoustic characteristics of bound