

اثر اسید سولفوریک بر خصوصیات مکانیکی بتن حاوی ذرات خرده لاستیک

هومن جانفشان عراقی^۱، علی شاهینی^۲

^۱ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان.

^۲ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر.

نام نویسنده مسئول:

علی شاهینی

چکیده

امروزه استفاده از مواد بازیافتی حاصل از زباله‌های شهری در صنعت ساختمان رواج پیدا کرده است. یکی از مواد بازیافتی جدید که در صنعت بتن از آن استفاده می‌شود ذرات خرد شده لاستیک خودروها است؛ که می‌تواند به عنوان سنگدانه در بتن استفاده شود و برخی خصوصیات مکانیکی بتن را تغییر می‌دهد. در این تحقیق مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های بتنی ساخته شده از ذرات خرد شده لاستیک صورت گرفت و اثر فرسایش اسیدی در آن بررسی شد. به طوری که نمونه‌ها در محلول رقیق شده‌ی اسید سولفوریک ($\text{PH} \approx 1$) در بازه های زمانی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز تحت آزمایش‌های مدول الاستیسیته، کشش غیرمستقیم، مقاومت فشاری، سنجش اختلاف وزن و فراصوت قرار گرفت. نتایج نشان داد که جایگزینی لاستیک با سنگدانه‌های ریز در بتن، غیر از کاهش وزن و سرعت امواج فرات صوت، تاثیر مثبتی را بر روی برخی خواص بتن نداشته و آهنگ تغییرات وزن و فرسایش بتن در محیط اسیدی، تقریباً یکسان است.

واژگان کلیدی: ذرات خرد شده لاستیک، خصوصیات مکانیکی بتن، اسید سولفوریک، فرسایش بتن.

مقدمه

وسعت‌یابی شهرها در دهه‌های گذشته نیاز به خودرو برای سفرهای درون شهری را از اهمیتی ویژه برخوردار کرده است. روزانه ۱۲۰۰ دستگاه خودروی جدید در کشور تولید می‌شود و سالانه بیش از نیم میلیون خودروی جدید وارد معابر می‌شوند. در حال حاضر مقادیر بسیار زیادی از تایرها انباشته شده و یا دفن می‌شوند که شامل ۳ هزار میلیون در اروپا و ۱۰۰۰ میلیون در آمریکا می‌باشند [۱]. و همچنین شعله‌ور شدن تایرها این خطر را افزایش می‌دهد. هنگامی که این مواد به صورت اتفاقی در محل انباشته شدن مشتعل می‌شوند موجب حرارت زیاد و پخش گازهای سمی شده و علاوه بر آن مواد ذوب شده حاصل از مشتعل شدن آن‌ها به صورت مواد روغنی در آمده خاک و آب اطراف خود را آلوده می‌کند و علی‌رغم این آسیب‌ها، امروزه میلیون‌ها عدد تایر در سرتاسر جهان سوزانده می‌شوند.

با توجه به استفاده گسترده از این مواد و مدت‌زمان طولانی مورد نیاز برای تجزیه زباله‌های مربوط به این مواد در طبیعت، ارائه راهکارهای مهندسی جهت بازیافت و همچنین بهره‌برداری مجدد از مواد مصرفی مزبور، مورد توجه بسیاری از محققین واقع شده است که به بخشی از پیشینه آن اشاره می‌شود:

گونئیسی^۱ (۲۰۱۰) [۲]، ذرات خرده لاستیک را در بتن خود تراکم در درصدهای ۵، ۱۵ و ۲۵ جایگزین سنگدانه کردند و مشاهده نمودند که در ۲۵ درصد جایگزینی به همراه ۴ درصد وزن سیمان فوق روان‌کننده، نمی‌توان به اسلامپ هدف (۷۵۰ میلیمتر) رسید. آن‌ها همچنین گزارش نمودند که اضافه کردن خاکستر سرباره به مصرف کمتر فوق روان‌کننده کمک می‌کند. اگرچه محققین زیادی کاهش در اسلامپ را با افزایش جایگزینی خرده لاستیک گزارش کردند اما تعدادی نیز نتایج متناقضی گرفتند که می‌توان نتیجه گرفت که کارایی بتن‌های حاوی خرده لاستیک به میزان زیادی به مشخصات لاستیک جایگزین شده دارد.

ویرا^۲ و همکاران (۲۰۱۰) [۳]، سه نوع از زباله‌های لاستیکی را مورد مطالعه قرار دادند و همچنین آن‌ها را در درصدهای ۲/۵، ۵ و ۷/۵ جایگزین سنگدانه کردند و نتیجه گرفتند که بهترین عملکرد مکانیکی مربوط به جایگزین ۲/۵ درصد ذرات خرده لاستیک با اندازه ۲/۴ میلیمتر می‌باشد. محققین مختلفی ذرات خرده لاستیک فرآوری شده را به منظور افزایش چسبندگی دانه‌ها با خمیر سیمان مورد استفاده قرار دادند.

گنجیان و همکاران (۲۰۰۹) [۴]، نشان دادند که مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حاوی ذرات درشت دانه لاستیک کمتر از مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حاوی ذرات ریز خرده لاستیک می‌باشد. در حالت جایگزینی درشت دانه کاهش ۳۰ تا ۶۰ درصدی با جایگزینی ۵ تا ۱۰ درصدی خرده لاستیک توسط آن‌ها مشاهده شد و در حالت جایگزینی ریزدانه کاهش ۱۵ تا ۳۰ درصدی در همان درصدهای جایگزینی مشاهده شد. این رفتار ممکن است به دلیل چسبندگی بسیار ضعیف ذرات درشت دانه لاستیک با خمیر سیمان باشد.

لینگ^۳ و همکاران (۲۰۰۹) [۵]، همچنین عملکرد بلوک‌های بتنی سنگفرشی حاوی ذرات خرده لاستیک را مطالعه کرده چقرمگی بالا که به دلیل جذب بالای انرژی نمونه‌های بتنی بود را گزارش نمودند. از موارد ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که از این نوع بتن می‌توان در جاهایی که میزان زلزله بالایی دارند و همچنین محل‌های عبور راه آهن استفاده شود.

خالو و همکاران (۲۰۰۸) [۶]، بیان نمودند که اضافه کردن ذرات خرده لاستیک به بتن موجب افزایش شکل پذیری آن می‌شود. سوکونتاسوکول^۴ و چاپاکاو^۵ (۲۰۰۶) [۷]، نشان دادند که بلوک‌های بتنی حاوی خرده لاستیک مقاومت سایشی کمتری نسبت به بتن معمولی دارند.

بابو^۶ و همکارانش (۲۰۰۴) [۸]، مشاهده کردند که با افزایش سن، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد و همچنین این افزایش تقریباً در همه مخلوط‌ها از ۷ روز تا ۲۸ روز و از ۲۸ روز تا ۹۰ روز بیشتر از ۳۵٪ بود و همچنین مقاومت فشاری با افزایش درصد پلاستیک کاهش یافت.

همچنین جو^۷ و همکارانش (۲۰۰۷) [۹]، نتیجه گرفتند که مدول الاستیسیته نمونه‌های بتنی با افزایش درصد جایگزینی پلاستیک همانند مقاومت فشاری آن کاهش پیدا می‌کند، آن‌ها بیان نمودند که ممکن است رابطه‌ای بین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته وجود داشته باشد.

1 Güneyisi

2 Vieira

3 Ling

4 Sukontasukkul

5 Chaikaew

6 Babu

7 Jo

در این تحقیق آزمایشگاهی با توجه به مطالعات پیشین به بررسی استفاده از ذرات خرده لاستیک به عنوان جایگزین ۱۵ درصد از حجم ماسه در ترکیبات بتن پرداخته شده است.

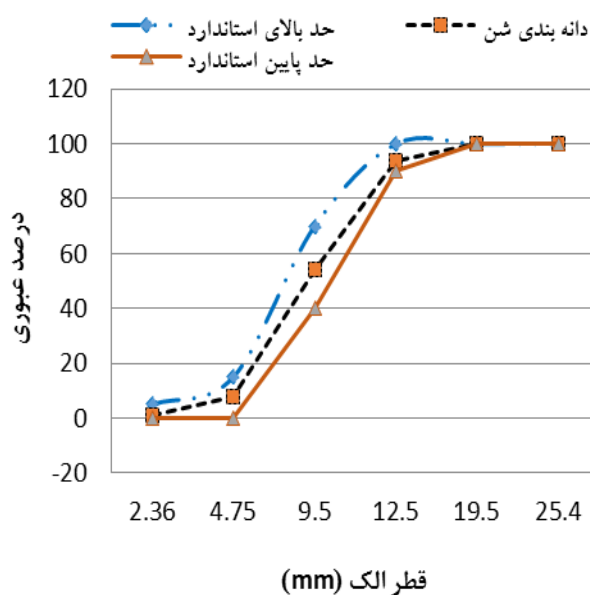
بدین منظور نمونه‌های بتنی مکعبی و استوانه‌ای با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ ساخته شد و سپس تحت اثر اسید سولفوریک با غلظت صد در صد قرار گرفت و میزان مقاومت فشاری، تغییرات وزن و تغییرات سرعت امواج فراصوت آن‌ها تعیین شد.

۱- مواد و روش‌ها

۱-۱- سنگدانه‌ها

براساس استاندارد ASTM C33 [۱۰]، آزمایش دانه‌بندی، جهت تعیین نحوه توزیع اندازه دانه‌های سنگی بکار گرفته شد. مدول نرمی مطابق با استاندارد ASTM C125 [۱۱]، محاسبه شد.

شن مصرفی در این تحقیق از نوع مصالح تیز گوشه می باشد. وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک آن ۲/۷۳ و درصد جذب آب آن ۲/۴۸ درصد و حداکثر اندازه سنگدانه (mm) ۱۲/۵ می باشد. دانه‌بندی شن در جدول (۱) و منحنی آن در شکل (۱) ارائه شده‌است.

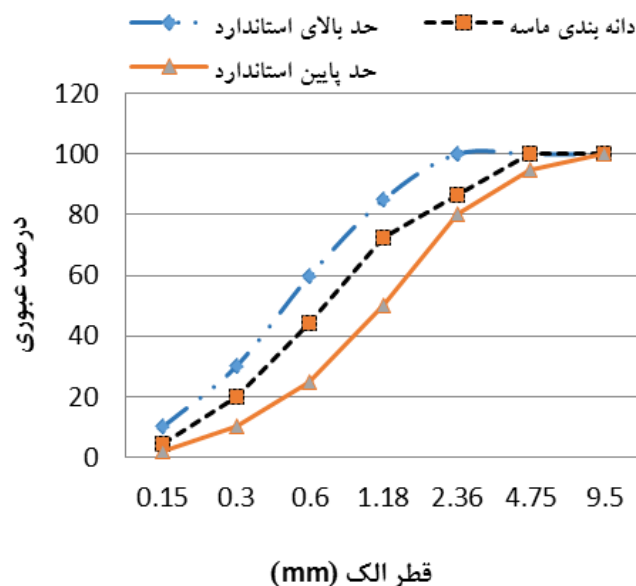


شکل ۱- منحنی دانه‌بندی شن مصرفی و حدود استاندارد ASTM

جدول ۱- دانه‌بندی شن مصرفی

شماره الک	قطر الک (mm)	وزن الک خالی	وزن الک + مصالح روی آن	وزن مانده	وزن عبوری	درصد عبوری	محدوده استاندارد
۱	۲۵/۴	۴۹۵/۱	۴۹۵/۱	۰	۱۵۰۲	۱۰۰	۱۰۰
۰/۷۵	۱۹/۰۵	۵۰۷	۵۰۷	۰	۱۵۰۲	۱۰۰	۱۰۰
۰/۵	۱۲/۵	۵۰۰/۹	۶۴۵/۱	۹۵	۱۴۰۷	۹۳/۶۷	۹۰-۱۰۰
۰/۳۷۵	۹/۶۵	۵۳۰/۵	۱۳۸۶/۳	۵۹۰	۸۱۷	۵۴/۳۹	۴۰-۷۰
۴	۴/۷۵	۴۸۸/۴	۹۲۱/۸	۷۰۰	۱۱۷	۷/۷۸	۰-۱۵
۸	۲/۳۶	۳۸۸/۶	۴۳۷/۷	۱۰۰	۱۷	۱/۱۳	۰-۵
سینی		۳۷۹	۳۹۶	۱۷	۰	۰	
مجموع				۱۵۰۲			

ماسه مصرفی نیز از نوع رودخانه‌ای و با اندازه (۰-۴/۷۵) میلیمتر بوده که میزان نسبت‌های آن به حد مورد نظر استاندارد ASTM C33 [۱۰]، رسیده است. وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک آن ۲/۷ و درصد جذب آب آن ۳ و مدول نرمی ماسه مورد نظر نیز ۲/۷۵ تعیین گردید. نحوه دانه‌بندی ماسه در جدول (۲) و منحنی آن در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی ماسه مصرفی و حدود استاندارد ASTM

جدول ۲- دانه‌بندی ماسه مصرفی

محدوده استاندارد	درصد عبوری	وزن عبوری	وزن مانده	وزن الک + مصالح روی آن	وزن الک خالی	قطر الک (mm)	شماره الک
۱۰۰	۱۰۰	۱۵۰۲	۰	۴۹۵/۱۰	۴۹۵/۱۰	۲۵/۴۰	۱ اینچ
۱۰۰	۱۰۰	۱۵۰۲	۰	۵۰۷/۰۰	۵۰۷	۱۹/۰۵	۰/۷۵ اینچ
۹۰-۱۰۰	۹۳/۶۷	۱۴۰۷	۹۵	۶۴۵/۱۰	۵۰۰/۹۰	۱۲/۵۰	۰/۵ اینچ
۴۰-۷۰	۵۴/۳۹	۸۱۷	۵۹۰	۱۳۸۶/۳۰	۵۳۰/۵۰	۹/۶۵	۰/۳۷۵ اینچ
۰-۱۵	۷/۷۸	۱۱۷	۷۰۰	۹۲۱/۸۰	۴۸۸/۴۰	۴/۷۵	۴ مش
۰-۵	۱/۱۳	۱۷	۱۰۰	۴۳۷/۷۰	۳۸۸/۶۰	۲/۳۶	۸ مش
	۰	۰	۱۷	۳۹۶/۰۰	۳۷۹/۰۰		سینی
			۱۵۰۲				مجموع

۲-۱- سیمان

سیمان مورد استفاده در این تحقیق از نوع پرتلند II محصول کارخانه سیمان شاهرود و دارای وزن مخصوصی برابر (3150 kg/m^3) و سطح مخصوص به روش بلین آن برابر $(306 \text{ m}^2/\text{kg})$ بوده است.

۳-۱- آب

آب مصرفی در این تحقیق آب شرب بوده، که برای ساخت بتن مطلوب می‌باشد.

۴-۱- فوق روان کننده

در این تحقیق از فوق روان کننده نسل سوم با پایه کربوکسیلیک‌اتر استفاده گردیده، این ماده کدر و به رنگ ابری بوده و چگالی آن در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد برابر ۱/۱ کیلوگرم می‌باشد و مقدار یون کلرید موجود در آن کمتر از ۰/۱ درصد است. علاوه بر این غیر از خاصیت روان کنندگی خاصیت دیگری ندارد و جزو فوق روان کننده‌های خنثی محسوب می‌شود.

۵-۱- ذرات خرد لاستیک

ذرات خرد لاستیک استفاده شده به عنوان سنگدانه‌های ریز در این تحقیق، حاصل از آسیاب کردن تایرهای فرسوده خودرو می‌باشند که توسط ماشین آلات صنعتی بدست آمده‌اند. ماکزیمم اندازه ذرات، ۳ میلیمتر بوده و وزن مخصوص محاسبه شده برای آن $1142 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ بوده است.

۶-۱- مدول نرمی $(FM)^8$

مطابق با استاندارد ASTM C125 [۱۱]، مدول نرمی سنگدانه‌های ریز یا درشت با جمع کردن درصدهای وزنی مانده تجمعی هر یک از الک‌ها در یک گروه مشخص از الک‌ها و تقسیم حاصل جمع بر عدد ۱۰۰ بدست می‌آید. بنابر استاندارد فوق مدول نرمی برای سنگدانه‌های ریز نباید کمتر از ۲/۳ و یا بیشتر از ۳/۱ باشد. نحوه محاسبه مدول نرمی ماسه مصرفی در جدول (۳) ارائه شده است.

۷-۱- طرح اختلاط بتن حاوی خرد لاستیک

سنگدانه‌های ریزدانه به اندازه ۱۵ درصد حجمی در طرح اختلاط ثابت نگه داشته شد. در جدول (۴) میزان مصالح مصرفی در طرح اختلاط آمده است.

جدول ۳- مدول نرمی ماسه مصرفی

درصد مانده روی هر الک	وزن مانده	وزن الک خالی	قطر الک (mm)	شماره الک
۰	۰	۶۴۵/۳	۹/۶۵	۰/۳۷۵ اینچ
۰/۴۵	۴/۵	۵۰۴/۴	۴/۷۵	۴ مش
۱۳/۳۲	۱۲۸/۹	۴۲۷/۵	۲/۳۶	۸ مش
۲۷/۵	۱۴۲	۳۵۷/۷	۱/۱۹	۱۶ مش
۵۵/۸۹	۲۸۴/۴	۳۵۲/۴	۰/۶	۳۰ مش
۸۰/۱۸	۲۴۳/۳	۳۳۱/۳	۰/۲۹۷	۵۰ مش
۹۵/۴۹	۱۵۳/۳	۳۱۷/۱	۰/۱۴۹	۱۰۰ مش
	۴۵/۱	۲۸۴/۵		سینی
۲۷۲/۸۵	۱۰۰۱/۵	۲/۷۲ FM=		

جدول ۴- میزان مصالح مصرفی در ساخت بتن حاوی خرد لاستیک (kg/m^3)

مصالح	طرح اختلاط ۱	طرح اختلاط ۲
ماسه	۷۴۵/۸۸	۶۳۴/۱
شن	۹۷۶/۰۵	۹۷۶/۰۵
سیمان	۳۷۹/۶۳	۳۷۹/۶۳
آب	۲۱۰/۱۵	۲۱۰/۱۵
لاستیک	-	۷۳/۸۴
فوق روان کننده	-	۰/۸۱۵

⁸ Fineness Modulus

۸-۱- تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی

جهت ارزیابی مقاومت فشاری، وزن مخصوص و سرعت عبور امواج فراصوت، از هر مخلوط تعداد ۱۲ نمونه مکعبی به ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر ساخته شد که تعداد ۳ نمونه از هر مخلوط در سنین ۲۸ روز عمل‌آوری در آب و ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز غوطه‌وری در اسید، مورد آزمایش قرار گرفتند و مقادیر میانگین گزارش گردید. همچنین برای محاسبه مدول الاستیسیته استاتیکی در سن ۲۸ روز، برای هر طرح اختلاط، از ۳ نمونه استوانه‌ای به قطر ۱۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر مطابق با استاندارد ASTM C469 [۱۲]، استفاده شد.

۹-۱- آزمایش‌های بتن سخت‌شده

۹-۱-۱- وزن مخصوص

به منظور تعیین وزن نمونه‌های بتنی در هر مرحله از آزمایش، ۳ نمونه مکعبی از هر طرح اختلاط، جهت محاسبه وزن مخصوص استفاده شد.

۹-۱-۲- مقاومت فشاری

از آن‌جا که مقاومت فشاری بتن، اساسی‌ترین خصلت بتن به شمار می‌رود، لذا جهت انجام هرگونه آزمایش بعدی الزاما بایستی آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها صورت پذیرد تا یک اطلاع کلی از رفتار بتن تهیه شده در اختیار قرار گیرد. بدین منظور نمونه‌های مکعبی در سنین ۲۸ روزه عمل‌آوری در آب و ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روزه غوطه‌وری در اسید توسط دستگاه جک فشاری که کالیبره شده بود، اندازه‌گیری شد. در هر مرحله آزمایش، ۳ نمونه از هر طرح اختلاط در جهت عمود بر جهت بتن‌ریزی زیر جک قرار گرفت و میانگین آن‌ها به عنوان مقاومت نهایی بتن ثبت شد.

۹-۱-۳- مدول الاستیسیته استاتیکی

برای تعیین مدول الاستیسیته در سن ۲۸ روزه، با نصب کرنش‌سنج با دقت ۰/۰۰۲ میلیمتر بر روی رینگ مدول الاستیسیته و قراردادن نمونه‌های استوانه‌ای در آن، امکان کرنش نمونه‌ها را در اثر نیروهای مختلف فراهم نمودیم. طبق استاندارد ASTM C469 [۱۲]، برای تعیین مدول الاستیسیته با کرنش مربوط به ۴۰ درصد مقاومت نهایی و طبق رابطه (۱) اقدام به محاسبه مدول الاستیسیته نمودیم.

$$E = \frac{\sigma_{40\% \sigma_v}}{\epsilon} \quad (1)$$

۹-۱-۴- آزمایش سرعت عبور امواج فراصوت^۹

در این تحقیق آزمایش فراصوت به وسیله دستگاه پاندیت^{۱۰} با فرکانس ۵۴ کیلوهرتز و دقت ۰/۱ میکروثانیه در سنین ۲۸ روزه عمل‌آوری در آب و ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روزه غوطه‌وری در اسید بر روی نمونه‌های مکعبی انجام گرفت. از ۳ نمونه برای هر طرح اختلاط استفاده شد. آزمایش به صورت انتقال مستقیم، بر روی ۴ وجه از ۶ وجه نمونه‌های مکعبی صورت‌گرفت (۴ وجه عمود بر جهت بتن‌ریزی). هر وجه به ۵ قسمت تقسیم شد و زمان عبور امواج در هر ۵ نقطه ثبت گردید. میانگین این اعداد به عنوان زمان عبور امواج در نظر گرفته شد.

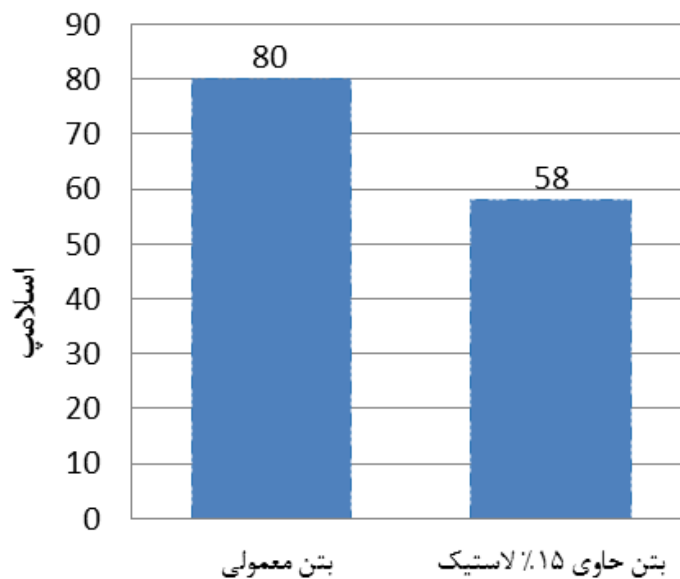
۲- نتایج

۲-۱- آزمایش اسلامپ

شکل (۳) نتایج آزمایش اسلامپ را برای نمونه‌های بتنی حاوی ذرات لاستیک و درصد‌های مختلف پت را نشان می‌دهد. با مشاهده شکل (۳) می‌توان نتیجه گرفت که با جایگزینی ذرات لاستیک، اسلامپ نمونه‌های بتنی کاهش می‌یابد. به طوری که با جایگزینی ۱۵٪ حجمی با ریزدانه در بتن، اسلامپ به میزان ۲۲ میلیمتر کاهش یافت. دلیل این امر می‌تواند تیز گوشه بودن ذرات لاستیک و جلوگیری کردن آن‌ها از حرکت روان بتن تازه باشد.

^۹ ultrasonic

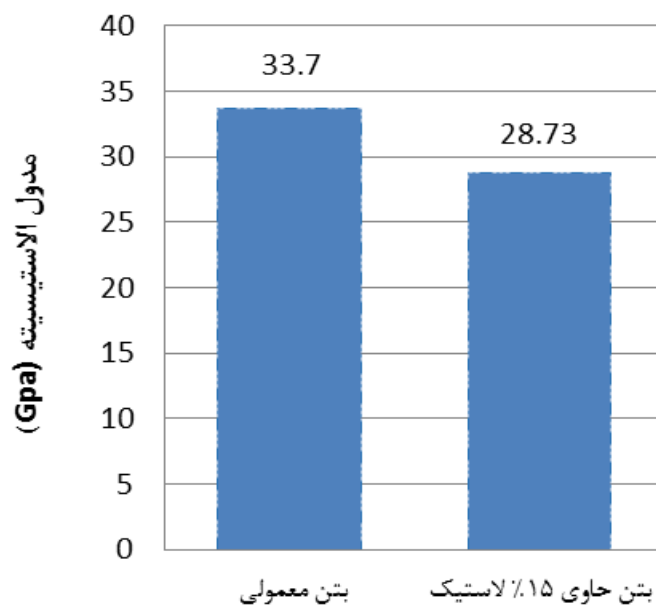
^{۱۰} Portable ultrasonic non-destructive digital indicating tester



شکل ۳- اسلامپ نمونه‌های بتنی

۲-۲- آزمایش مدول الاستیسیته

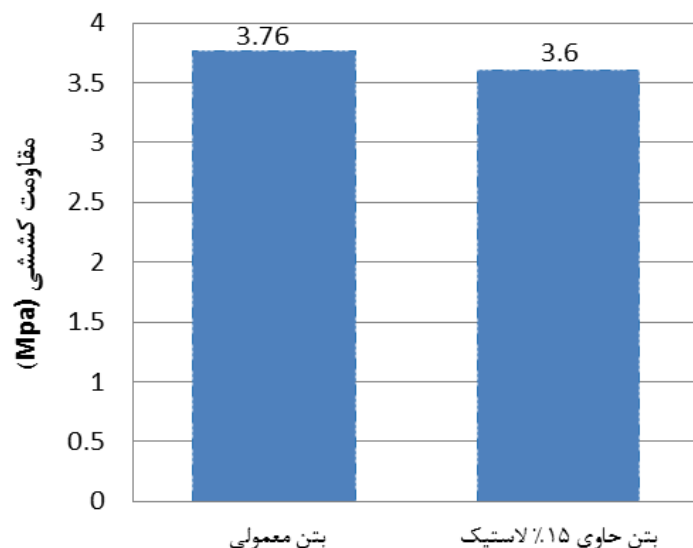
شکل (۴) نتایج آزمایش مدول الاستیسیته بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب را نشان می‌دهد. به روشنی می‌توان مشاهده کرد که با افزایش جایگزینی ذرات لاستیک، مدول الاستیسیته کاهش پیدا می‌کند. با توجه به آن که مقادیر مدول الاستیسیته‌ی بتن‌ها به میزان زیادی به ترکیبات ماتریس بتن وابسته است. می‌توان عنوان کرد که این کاهش در مدول الاستیسیته می‌تواند به دلیل کمتر بودن مدول الاستیسیته‌ی دانه‌های لاستیک نسبت به سنگدانه‌های طبیعی باشد.



شکل ۴- مدول الاستیسیته نمونه‌های بتنی

۳-۲- آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم

در شکل (۵) مشاهده می‌شود، مقاومت کششی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک کمتر می‌باشد. می‌توان گفت به دلیل آن‌که اندازه‌ی مقاومت کششی بتن به میزان زیادی به ناحیه‌ی انتقال بین سنگدانه و خمیر سیمان بستگی دارد و با توجه به ضعیف‌بودن ناحیه‌ی انتقال بین دانه‌های لاستیکی نسبت به سنگدانه‌های طبیعی، با جایگزینی ذرات لاستیکی با سنگدانه‌های طبیعی، مقدار مقاومت کششی بتن کاهش پیدا می‌کند.

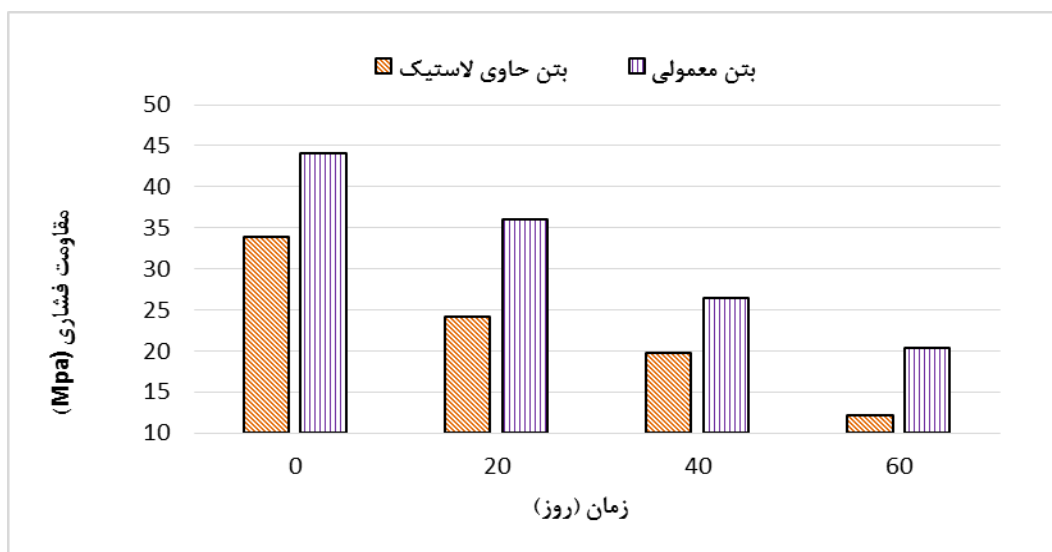


شکل ۵- مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌های بتنی

۴-۲- خصوصیات بتن‌های غوطه‌ور شده در اسید سولفوریک

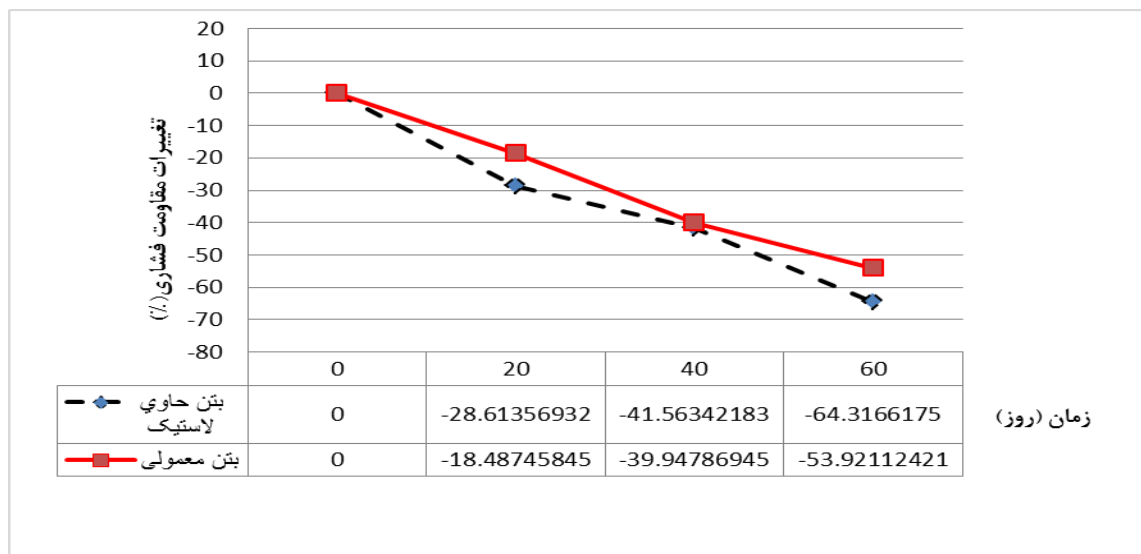
۴-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری

نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های حاوی خرده لاستیک غوطه‌ور شده در اسید در شکل (۶) به تصویر کشیده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه‌های بتنی بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب و صفر روز غوطه‌وری در اسید دارای مقاومت فشاری ۴۴/۱۲، ۳۳/۹۱ می‌باشند. با گذشت زمان غوطه‌وری در اسید سولفوریک به تدریج بتن فرسایش یافته و مقاومت فشاری نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه می‌توان برداشت کرد که با جایگزینی ذرات لاستیک به بتن، مقاومت آن در برابر خوردگی ناشی از اسید سولفوریک کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۶- نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن معمولی و بتن حاوی ۱۵٪ حجمی خرده لاستیک در اسید سولفوریک

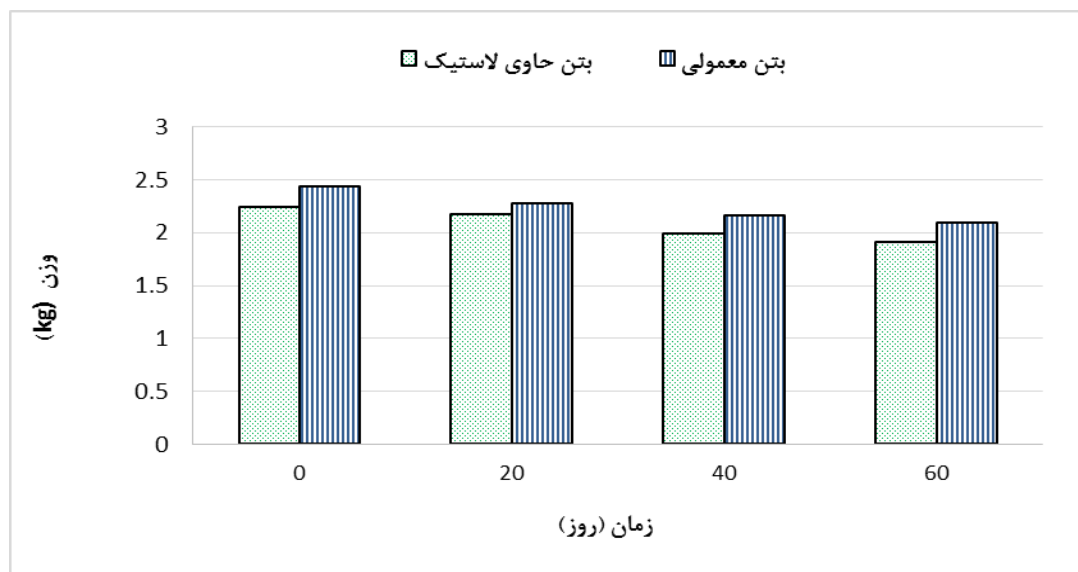
همچنین شکل (۷) تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی حاوی خرده لاستیک غوطه‌ور شده در اسید سولفوریک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان دریافت که نمونه‌های بتنی حاوی ذرات لاستیک، تغییرات تقریباً برابری را در مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی از خود نشان داده‌اند.



شکل ۷- مقادیر تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های غوطه‌ور شده در اسید برای بتن معمولی و بتن حاوی ۱۵٪ حجمی خرده لاستیک

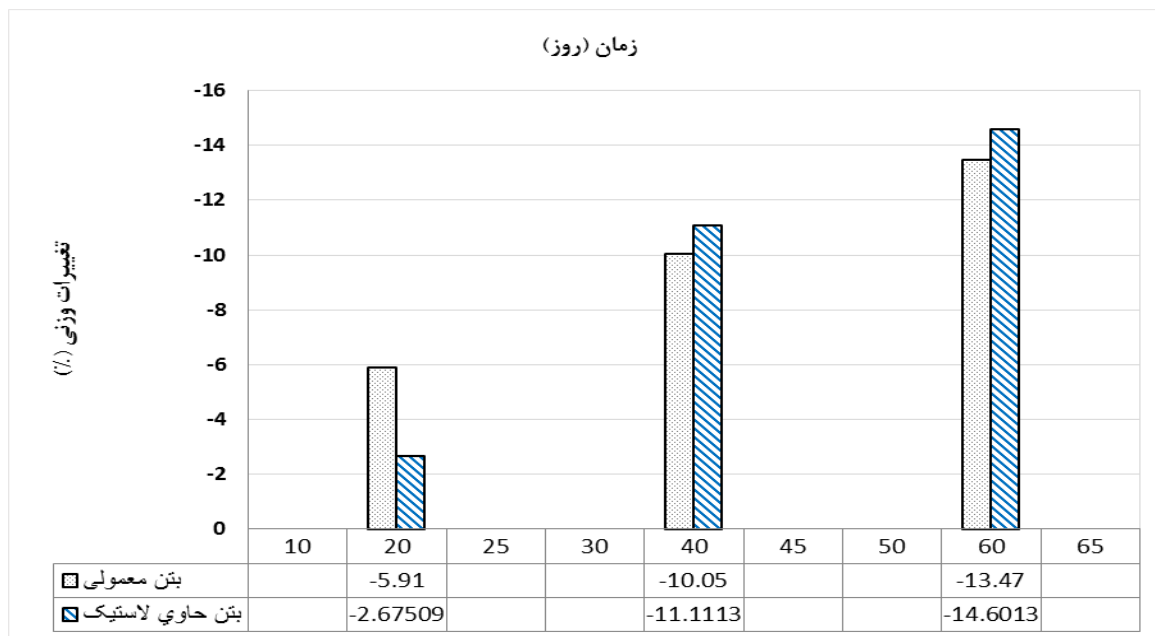
۲-۴-۲- آزمایش تعیین وزن

شکل (۸) نتایج آزمایش تعیین وزن نمونه‌های حاوی خرده لاستیک را در سن ۲۸ روزه ی عمل آوری در آب و سنین ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روزه ی غوطه‌وری در اسید سولفوریک را نشان می‌دهد. همان‌طور که از مشاهده ی شکل نتیجه می‌شود، با جایگزینی لاستیک به بتن وزن آن کاهش یافت که به دلیل وزن کمتر ذرات پلاستیکی نسبت به سنگدانه‌های طبیعی بود. با افزایش سن غوطه‌وری در اسید سولفوریک، نمونه‌ها فرسایش پیدا کرده و وزن آن‌ها کاهش یافته است.



شکل ۸- نتایج آزمایش تعیین وزن نمونه‌های بتن معمولی و بتن حاوی ۱۵٪ حجمی خرده لاستیک

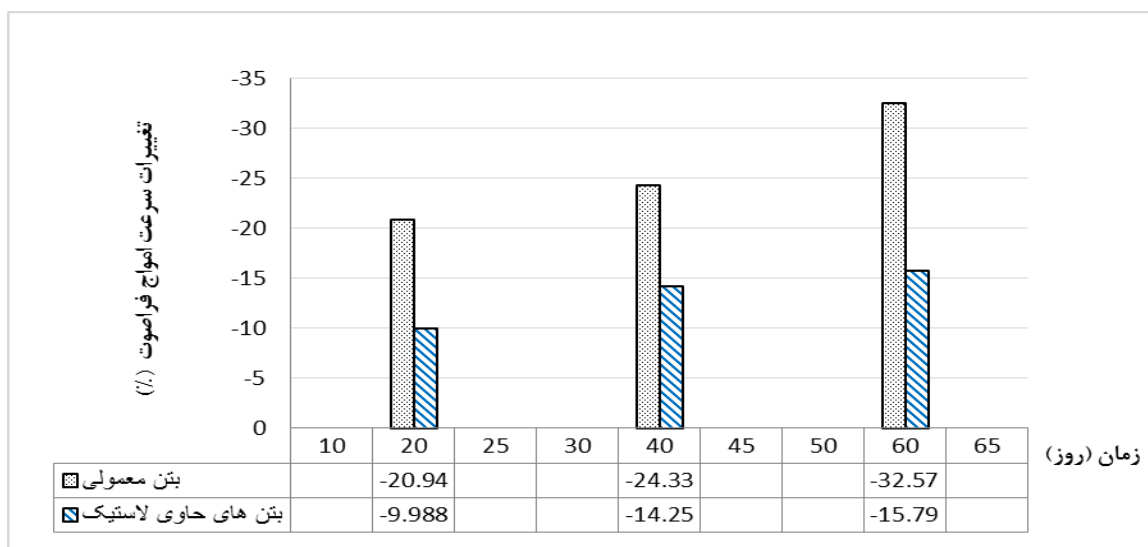
شکل (۹) مقادیر تغییرات وزنی نمونه‌های غوطه‌ور شده در اسید را برای بتن معمولی و بتن معمولی حاوی خرده لاستیک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان دریافت که با اضافه کردن خرده لاستیک به بتن، نمونه‌های بتنی روند کاهش وزن بیشتری را نسبت به بتن معمولی بعد از ۶۰ روز غوطه‌وری در اسید از خود نشان دادند ولی در نهایت میزان کاهش وزن یکسانی را از خود در برابر فرسایش اسیدی داشتند.



شکل ۹- مقادیر تغییرات وزنی نمونه‌های غوطه‌ور شده در اسید برای بتن معمولی و بتن حاوی ۱۵٪ حجمی خرده لاستیک

۲-۴-۳- آزمایش سرعت امواج فراصوت

شکل (۱۰) مقادیر تغییرات سرعت امواج فراصوت نمونه‌های غوطه‌ور شده در اسید را برای بتن معمولی، بتن معمولی حاوی خرده لاستیک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان استنباط کرد که بر خلاف مقاومت فشاری و وزن، با افزودن لاستیک به بتن، میزان سرعت امواج فراصوت کاهش پیدا می‌کند که به دلیل این می‌باشد که ذرات لاستیک به صورت عایق صوت عمل کرده و سرعت آن را کاهش می‌دهد و همچنین با توجه به گزارش محققین، بتن‌های حاوی خرده لاستیک میزان تخلخل بیشتری نسبت به بتن معمولی دارند که این مسئله نیز موجب کاهش در سرعت امواج فراصوت می‌شود.



شکل ۱۰- مقادیر تغییرات سرعت امواج فراصوت نمونه‌های غوطه‌ور شده در اسید برای بتن معمولی و بتن حاوی ۱۵٪ حجمی خرده لاستیک

نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از آزمایش‌های گوناگون از جمله اسلامپ، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، مقاومت فشاری و تغییرات وزنی و سرعت امواج فراصوت رفتار نمونه‌های بتنی حاوی ۱۵ درصد حجمی خرده لاستیک در محیط‌های خورنده و اسیدی بررسی شد که نتایج حاصل از آن به شرح ذیل می‌باشد:

- ذرات لاستیک به دلیل تیز گوشه بودنشان موجب کاهش در اسلامپ نمونه‌های بتنی به میزان ۲۷/۵ درصد شدند.
 - مقاومت کششی نمونه‌های بتنی، با جایگزینی ذرات لاستیک به میزان ۴ درصد کاهش پیدا کرد که می‌تواند به دلیل ضعیف بودن چسبندگی ذرات لاستیک با خمیر سیمان نسبت به سنگدانه‌های طبیعی باشد.
 - با جایگزینی ذرات لاستیک با سنگدانه‌های طبیعی در بتن، مدول الاستیسیته نمونه‌ها به میزان ۱۴/۷ درصد کاهش پیدا کرد که می‌تواند به دلیل کمتر بودن مدول الاستیسیته ذرات لاستیک نسبت به سنگدانه‌های طبیعی باشد.
 - مقاومت فشاری بتن حاوی خرده لاستیک بررسی شد و نتیجه این بود که بتن‌های حاوی مقادیر ذرات لاستیک با توجه به مقاومت کمتر (نسبت به بتن معمولی)، دارای آهنگ کاهش مقاومت تقریباً برابر بعد از طی ۶۰ روز غوطه‌وری در اسید است.
 - پس از بررسی تغییرات وزنی نمونه‌ها در طی ۶۰ روز غوطه‌وری در محیط اسیدی نتیجه گرفته شد که با افزایش سن غوطه‌وری، روند کاهش وزن نمونه‌های در مقایسه با بتن معمولی، تقریباً یکسان است (با اختلاف کمتر از یک درصد).
 - با افزودن خرده لاستیک به بتن و طی ۶۰ روز غوطه‌وری در اسید، سرعت امواج فراصوت حدود ۶ درصد بیشتر کاهش پیدا می‌کند.
- در مجموع به عنوان نتیجه‌گیری نهایی می‌توان عنوان کرد که بتن حاوی خرده لاستیک بعد از قرارگیری در محیط اسیدی، وزن بیشتری را از دست می‌دهد و اثر مقاومت فشاری و مقاومت در برابر فرسایش اسیدی مطلوبی را ندارد و علت این مسئله را می‌توان چسبندگی ضعیف خمیر سیمان و ذرات خرده لاستیک و همچنین مقاومت فشاری کمتر نسبت به سنگدانه‌های طبیعی دانست. البته با توجه به وزن کمتر، عایق صوت بودن، بازیافت مقادیر زیاد زباله و تخریب کمتر محیط زیست می‌تواند علاوه بر کاربری‌هایی که در آن مقاومت فشاری بتن عامل تعیین‌کننده‌ای نباشد در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گیرد.

منابع و مراجع

- [1] N. Oikonomou and S. Mavridou, "The use of waste tyre rubber in civil engineering works," in *Sustainability of construction materials*, ed: Elsevier, 2009, pp. 213-238.
- [2] E. Güneyisi, "Fresh properties of self-compacting rubberized concrete incorporated with fly ash," *Materials and structures*, vol. 43, pp. 1037-1048, 2010.
- [3] R. K. Vieira, R. C. Soares, S. C. Pinheiro, O. A. Paiva, J. O. Eleutério, and R. P. Vasconcelos, "Completely random experimental design with mixture and process variables for optimization of rubberized concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 1754-1760, 2010.
- [4] E. Ganjian, M. Khorami, and A. A. Maghsoudi, "Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete," *Construction and building materials*, vol. 23, pp. 1828-1836, 2009.
- [5] T.-C. Ling, H. M. Nor, M. R. Hainin, and A. A. Chik, "Laboratory performance of crumb rubber concrete block pavement," *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 10, pp. 361-374, 2009.
- [6] A. R. Khaloo, M. Dehestani, and P. Rahmatabadi, "Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles," *Waste Management*, vol. 28, pp. 2472-2482, 2008.
- [7] P. Sukontasukkul and C. Chaikaew, "Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber," *Construction and Building Materials*, vol. 20, pp. 450-457, 2006.
- [8] K. G. Babu and D. S. Babu, "Performance of fly ash concretes containing lightweight EPS aggregates," *Cement and concrete composites*, vol. 26, pp. 605-611, 2004.
- [9] B.-W. Jo, G.-H. Tae, and C.-H. Kim, "Uniaxial creep behavior and prediction of recycled-PET polymer concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 1552-1559, 2007.
- [10] ASTM C33 / C33M, ASTM C33 / C33M – 16e1 Standard Specification for Concrete Aggregates, See also URL
- [11] <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C33C33M-16e1> DOI: 10.1520/C0033_C0033M-16E01
- [12] ASTM C125-15a, Standard Terminology Relating to concrete and Concrete Aggregates, See also URL <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C125-15a> DOI: 10.1520/C0125-15A
- [13] ASTM C469 / C469M-14, ASTM C469 / C469M-14, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, See also URL <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C469C469M-14> DOI: 10.1520/C0469_C0469M