Journal of Structural and Construction Engineering, 8(Special Issue 4), 2022, pp. 351-366

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

effect of recycled sub-tires on the sulfate resistance of concrete road surfaces

Mohammad Saleh Sargazi Moghaddam [1],Mohammad Hassan Mirabimoghaddam [2]*

1- Master of Science, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2.Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

ABSTRACT

In this experimental study, for assessment the durability of concrete containing rubber, 9 mixtures containing 0, 10, 15 and 20% rubber particles as aggregate were considered. For determining fresh and hardened behaviour of this concrete, Slump, T50, V-funnel, J-ring, L-box and compressive and flexural strength tests were performed. In the following, after placing samples in the sulphuric acid corrosive environment with PH=1.5 for 30 and 60 days, weight loss and compressive and flexural strength tests were carried out. Results showed that with increasing rubber particles, fluidity, passing ability and dispersion of concrete decreased. Little increasing observed for compressive and flexural strength up to 30 days immersion in sulphuric acid solution, but After 60 day's immersion, strength reduced for all samples. With adding rubber, durability of samples improved significantly compared to the control sample. Weight of all samples decreased after corrosion that samples containing rubber showed better performance in weight loss compared to the control sample.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 25 April 2021
Revise Date: 27 June 2021
Accept Date: 03 August 2021

Keywords:
Concrete Pavement
Rubber particles
Strength
Sulphuric acid
Weight loss

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.283174.2433

*Corresponding author: Mohammad Hassan Mirabimoghaddam
Email address: mhmirabi@eng.usb.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

بررسی تاثیر خرده لاستیک های بازیافتی بر مقاومت در برابر سولفات رویه های بتنی راه

محمد صالح سرگزی مقدم [۱]، محمد حسن میرابی مقدم*[۲]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان ، ایران

۲- استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده

افزایش مقاومت روسازی های بتنی در برابر حملات و آسیب های ناشی از نفوذ سولفات ها که توسط خاک و اب به داخل آن ها نفوذ می کنند، اثر مهمی در دوام این نوع روسازی ها دارد. از سوی دیگر، نیاز بشر به حمل و نقل و رشد روزافزون صنایع لاستیک، هر ساله حجم انبوهی از لاستیک های فرسوده را وارد چرخه محیط زیست کرده و مشکلات عدیده ای را پدید آورده است. از اینرو ضروری است تا با انجام تحقیقاتی تاثیر ذرات لاستیک های فرسوده در روسازی های بتنی مورد بررسی قرار گرفته و از نتایج آن در بهبود مقاومتی بتن و کاهش آثار زیست محیطی ناشی از این ضایعات، استفاده بعمل آید. در این تحقیق، لاستیک های فرسوده به دوشکل پودر و خرد شده با درصد های مختلف (بین ۵ تا ۲۰ درصد) و بعنوان جایگزین ماسه با سایر مصالح تشکیل دهنده بتن مخلوط و ۹ نمونه ساخته شده در محلول اسید سولفوریک با PH=۱/۵ قرار داده شده و در شرایط عدم وجود یک آزمایش قابل قبول در این خصوص، روی نمونه ها آزمایشات مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و دوام انجام گرفته است. نتایج نشان داد که با افزودن خرده و پودر لاستیک فرسوده به مخلوط های بتنی بهبود نسبی در دوام نمونه ها در برابر خوردگی حاصل و بهترین عملکرد در این مورد نیز در طرح‌های حاوی ۲۰ درصد خرده لاستیک با افت وزنی ۳/۱۷ درصد و ۱۵ درصد پودر لاستیک با افت وزنی ۳/۵۸ درصد بدست آمده است.

کلمات کلیدی: رویه بتنی راه، خرده و پودر لاستیک، درصد جذب آب، آزمایش دوام، مقاومت در برابر سولفات

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.283174.2433	doi:
۱۴۰۰/۰۲/۰۵	۱۴۰۰/۰۴/۰۶	۱۴۰۰/۰۵/۱۲	۱۴۰۰/۰۵/۱۲	۱۴۰۰/۱۲/۲۹	10.22065/jsce.2021.283174.2433	

*نویسنده مسئول: محمد حسن میرابی مقدم

پست الکترونیکی: mhmirabi@eng.usb.ac.ir

۱- مقدمه

خرابی سولفاتی از جدی ترین مشکلاتی است که عمر سرویس دهی سازه های بتنی نظیر رویه راهها را کاهش می دهد. نمک های سولفات موجود در خاک و آب بستر روسازی در دراز مدت با فازهای مختلف خمیر سیمان هیدراته شده مانند هیدرات مونو سولفات و هیدروکسید کلسیم واکنش داده و بلورهای سوزنی شکل اترینگایت و سولفات کلسیم (گچ) تولید می کنند. از آن جا که حجم این بلورها از حجم مواد اولیه تشکیل دهنده بیشتر می باشد، سبب ایجاد فشار در حفره های بتن و در نتیجه بروز ترک هایی در آن می گردد که رفته رفته گسترش یافته و به کاهش مقاومت بتن منجر می گردد. [۱].

برای مقابله با حملات و آسیب های ناشی از یون های سولفاته راه حل های مختلفی تاکنون ابداع و بکار گرفته شده است که طراحی بتن با نسبت آب به سیمان کم (با حدود ۰/۴ یا کمتر)، استفاده از سیمان های ضد سولفات (تیپ های ۲ و ۵)، کاربرد مواد سیمانی مکمل نظیر خاکستر بادی، کاهش نفوذ پذیری و افزایش عمل آوری مرطوب بتن از مهمترین آنها محسوب می شوند [۲].

در این تحقیق اثر لاستیک های فرسوده که هر ساله بصورت انبوه وارد چرخه محیط زیست شده و آثار زیانباری هم بهمراه دارند، به دو شکل خرده و پودر لاستیک بر مقاومت در برابر سولفات رویه های بتنی بررسی شده است. استفاده از دانه های لاستیک در روسازی ها برای اولین بار در دهه ۱۹۹۰ میلادی در روسازی های آسفالتی انجام شده و بعد از آن رشد چشمگیری داشته است. طبق مطالعات انجام شده، کاربرد خرده های لاستیک در روسازی های آسفالتی سبب کاهش هزینه نگهداری، افزایش عمر سرویس دهی و کاهش الودگی صوتی ناشی از تردد وسایل نقلیه می شود [۳]. همچنین، استفاده از خرده های لاستیک در روسازی های آسفالتی سبب افزایش بیشتر مقاومت روسازی های اسفالتی در برابر تغییرات دما و زهکشی بهتر آن می گردد [۴].

۲- پیشینه تحقیق

مطالعات متعددی تاکنون در زمینه استفاده از ذرات لاستیک بعنوان جایگزین سنگدانه ها در انواع بتن انجام گرفته که در ذیل به مهمترین آن ها اشاره شده است:

بنازوک و همکاران در سال ۲۰۰۷ اثر ذرات لاستیکی با اندازه کمتر از یک میلیمتر را بر مقاومت خمشی بتن مورد بررسی قرار دادند. آنها نمونه های بتنی با درصد های مختلف لاستیک را به گونه ای ساختند که در تمامی مخلوط ها، اسلامپ بتن مقدار یکسان ۹۰ تا ۱۰۰ میلیمتر را داشته باشد. نتایج حاصل از آزمایش مقاومت خمشی بر روی این نمونه ها نشان داد که افزودن ذرات لاستیک تا ۲۰ درصد، مقاومت خمشی بتن را افزایش داده و با بکار بردن درصد بیشتر دانه های لاستیک، این مقاومت کاهش می یابد. انها دلیل این افزایش را، جذب انرژی توسط دانه های لاستیکی در هنگام تشکیل ترک ها عنوان کردند که سبب تاخیر در گسیختگی بتن می گردد[۵].

گنجیان و همکاران در سال ۲۰۰۹ با جایگزینی دانه های لاستیک با ۵، ۷/۵ و۱۰ درصد شن و سیمان، نشان دادند که افزودن دانه های لاستیک به مخلوط های بتنی، مقاومت فشاری و خمشی بتن ساده را کاهش و افزایش بیشتر این مواد نیز منجر به کاهش بیشتر مقاومت فشاری و کششی بتن می گردد[۶].

در بحث بررسی دوام بتن حاوی لاستیک در محیط های مهاجم، یانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ به بررسی کاهش وزنی بتن خودتراکم حاوی ۵ تا۲۰ درصد پودر لاستیک با اندازه کوچکتر از ۰/۶ میلیمتر در برابر محلول سدیم سولفات پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بیشتر نمونه‌های حاوی لاستیک با اندازه ریزتر از ۰/۳ میلیمتر افت وزنی داشته، لیکن برای نمونه‌های تا ۱۰ درصد جایگزینی لاستیک با ذرات ۰/۶-۰/۳ میلیمتر، بهبود در این پارمتر حاصل شده است[۷].

فخری و همکاران در سال ۱۳۹۵، تاثیر خرده های لاستیک را بر خصوصیات روسازی بتن غلتکی مورد بررسی قرار دادند. آنها خرده های لاستیک با اندازه تقریبی ماسه را به میزان ۵ تا ۲۰ درصد جایگزین سنگدانه های طبیعی نمودند و با ساخت نمونه های لازم و انجام آزمایشاتی نظیر وزن مخصوص، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و درصد جذب آب به این نتیجه رسیدند که استفاده از خرده های لاستیک تا درصد مشخصی سبب افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن غلتکی می شود[۸]. در ادامه، داسیلوا و همکاران در سال ۲۰۱۵ درصد های مختلف خرده لاستیک (از ۱۰ تا ۵۰ درصد) را در بلوک های روسازی بتنی مورد استفاده قراردادند. براساس نتایج بدست آمده،

با افزایش درصد دانه های لاستیک مقاومت فشاری در نمونه های بتنی با ۱۰ درصد لاستیک افزایش داشته ولی مقاومت فشاری بقیه نمونه ها (۲۰، ۳۰ ، ۴۰ و ۵۰ درصد) روند کاهشی داشته است. همچنین مقاومت خمشی نمونه ها با افزایش درصد خرده های لاستیک کاهش یافته بطوریکه این کاهش مقاومت به میزان حدود ۳۲ درصد در نمونه های بتنی حاوی ۵۰ درصد خرده لاستیک بوده است[۹].

ال وی و همکاران در سال ۲۰۱۵ درصد های مختلف خرده لاستیک (از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد) را جایگزین ماسه کردند و اینطور نتیجه گرفتند که با افزایش درصد دانه های لاستیک، مقاومت فشاری، خمشی و کششی – برشی نمونه های بتنی کاهش می یابد[۱۰].

فرخزاد و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی تأثیر سولفات ها بر مقاومت فشاری، میزان نفوذپذیری و همچنین سرعت امواج فراصوت انواع بتن‌های پزولانی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که نمونه‌های حاوی میکروسیلیس و نانوسیلیس به ترتیب مقاومت بیشتری در برابر حملات سولفات نسبت به سایر نمونه‌ها داشته و سولفات منیزیم، سدیم و کلسیم به ترتیب بیشترین تخریب را دارند[۱۱].

جوکار و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی آزمایشگاهی خصوصیات مکانیکی بتن حاوی خرده لاستیک و زئولیت طبیعی پرداختند. هدف اصلی این پژوهش بهبود خصوصیات مکانیکی بتن حاوی خرده لاستیک با افزودن زئولیت طبیعی بعنوان جایگزین بخشی از سیمان بوده است. مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، وزن مخصوص و مدول الاستیسیته نمونه ها با درصدهای مختلف جایگزینی، مورد بررسی قرار گرفته است. براساس نتایج بدست آمده، برای تمامی درصدهای اضافه شده خرده لاستیک، خصوصیات مکانیکی در مقایسه با نمونه مرجع تضعیف شد. خصوصیات مکانیکی نمونه هایی که فقط از خرده لاستیک در ساخت آنها استفاده شده است، نسبت به نمونه مرجع کاهش یافته است، ولی نمونه دارای ۵ درصد خرده لاستیک، مقاومت خمشی بیشتری نسبت به نمونه مرجع داشته است. در حالیکه افزودن زئولیت موجب ارتقاء خصوصات مکانیکی در تمامی نمونه ها نسبت به نمونه مرجع شد. در مقایسه با نمونه مرجع، بهترین عملکرد در مقاومت فشاری در نمونه حاوی ۵ درصد خرده لاستیک و ۱۵ درصد زئولیت و بهترین عملکرد در مقاومت خمشی در نمونه حاوی ۵ درصد خرده لاستیک و ۱۰ درصد زئولیت حاصل شد[۱۲].

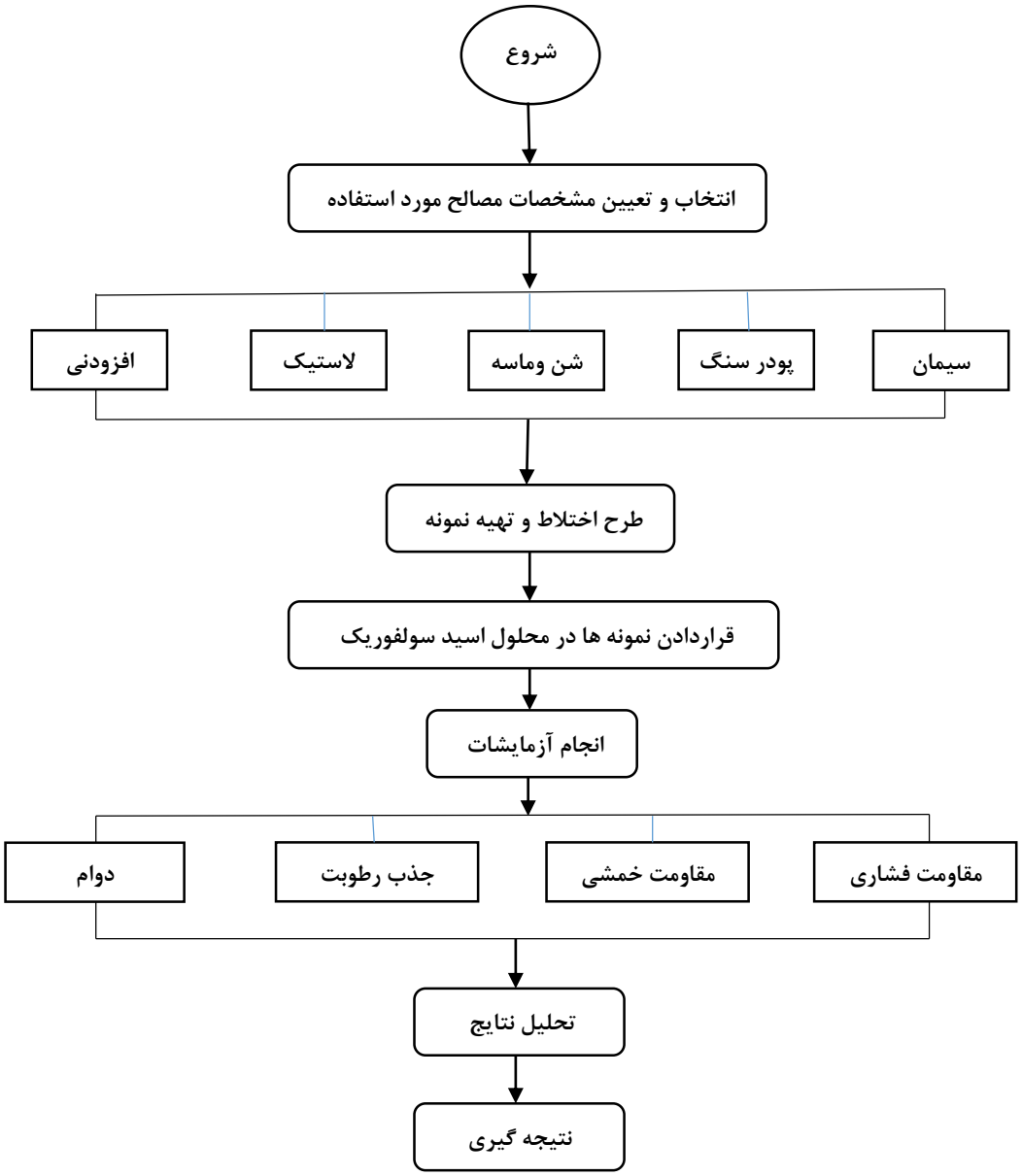
چنی و همکاران در سال ۲۰۱۹ به مطالعه و بررسی خصوصیات دوام مالت های سیمانی حاوی پودر لاستیک بازیافتی با مقادیر ۵ ،۱۰ ،۱۵ ،۲۰ و ۲۵ ٪بعنوان جایگزین سیمان پرداختند. نتایج آن ها نشان داد که استفاده از پودر لاستیک بازیافتی در ملات های سیمانی سبب کاهش حرارت هیدراتاسیون و افزایش مقاومت در برابر خوردگی تا حدود ۲۰ ٪می شود [۱۳].

راحت دهمرده و همکاران در سال ۲۰۲۱ اثر خرده لاستیک های بازیافتی را در بتن خود تراکم مورد بررسی قرار دادند. آنها نمونه هایی با ۵ تا ۲۰ درصد خرده لاستیک را در آزمایشگاه تهیه و با انجام آزمایشاتی نظیرحلقهJ ، جعبه L ، جریان رکورد، قیف V و همچنین مقاومت فشاری و خمشی بتن خود تراکم به این نتیجه رسیدند که افزودن ذرات لاستیک به نمونه های بتن خود تراکم کارایی، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و سرعت پالس اولتراسونیک بتن را کاهش داده ولی می تواند بتن خود تراکم را در برابر حمله سولفات ها را تا میزان زیادی مقاوم سازد[۱۴].

مطالعات فوق نشان می دهد که تلاش محققین بیشتر روی تاثیر خرده و پودر لاستیک بر خصوصیاتی نظیر مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و دوام بتن متمرکز شده و کمتر به تاثیر این مواد بر خصوصیات مقاومتی سازه های بتنی قرار گرفته بر روی خاک در برابر سولفات ها پرداخته شده است.

۳. روش تحقیق و برنامه آزمایشگاهی

برنامه آزمایشگاهی در نظر گرفته شده برای این تحقیق، شامل انتخاب و تعیین مشخصات مصالح مصرفی، تهیه نمونه ها با درصد های مختلف خرده و پودر لاستیک، قراردادن نمونه ها در محیط اسیدی و انجام ازمایشات لازمه بر روی نمونه ها می باشد، که بصورت فلودیاگرام در شکل (۱) نشان داده شده و جزئیات آن در ذیل به تفکیک شرح داده اند:



شکل۱-فلودیاگرام پژوهش

۳-۱- مصالح مصرفی

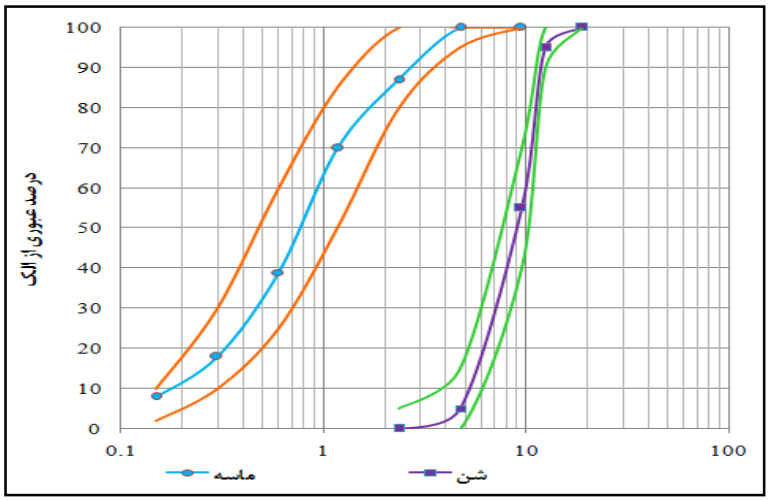
در این تحقیق، از سیمان پرتلند تیپ ۲ با مشخصات مندرج در جدول (۱) استفاده شده است، که از کارخانه سیمان سیستان و مطابق با استاندارد ASTM C150 تهیه گردیده است. پودر سنگ مصرفی با وزن مخصوص ۲۷۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و مشخصات درج شده در جدول (۱) از شهرستان قم تهیه و بعنوان فیلر در مخلوط بتنی بکار گرفته شده است. شن شکسته و ماسه نیز از معادن اطراف شهر زاهدان تهیه گردیده که مشخصات فیزیکی و نمودار دانه بندی آنها بترتیب در جدول (۲) و شکل (۲) ارایه شده است.

جدول۱- مشخصات شیمیایی سیمان و پودر سنگ

نوع مصالح	L.O.I	SO_3	K_2O	Na2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
سیمان تیپ ۲ سیستان	۱/۰۸	۲/۳۶	۰/۴۳	۰/۶	۶۳/۰۴	۱/۷۵	۳/۶	۵/۱۲	۲۱/۰۴
پودر سنگ	–	۰/۲۶	–	۰/۱۴	–	۰/۸۸	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۸۱

جدول۲- مشخصات شیمیایی سیمان و پودر سنگ

نوع مصالح	وزن مخصوص (گرم برسانتیمتر مکعب)	جذب آب (درصد)
شن	۲/۷	۱/۲۳
ماسه	۲/۶۷	۰/۷



شکل ۲- نمودار دانه بندی شن و ماسه معادن اطراف زاهدان

لاستیک های فرسوده به دو صورت خرده به ابعاد بین ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلیمتر و پودر به قطر کمتر ۱/۱۸ میلیمتر از شرکت پودر لاستیک صفرلو تهیه شده است که وزن مخصوص آن ها ۱/۲ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد (شکل ۳).

شکل ۳- خرده و پودر لاستیک مورد استفاده

ماده افزودنی از نوع پلی‌کربوکسیلات اتر با نام تجاری Super Viscose1 انتخاب شده است که یک ابر روان کننده قوی به رنگ ظاهری قهوه ای روشن، حجم ۱/۱۱گرم در سانتی متر مکعب در دمای ۲۰°C و درجه انجماد ۳°C- می باشد و افزودن آن موجب پخش یکنواخت سیمان در سطح بتن در حین ساخت می گردد. این افزودنی که از جدیدترین نوع افزودنی فوق روان‌کننده می باشد، از کارخانه نامی کاران تهیه و در نمونه های بتنی استفاده شده است. همچنین آب با PH برابر ۷/۴۳ از شبکه توزیع آب زاهدان تهیه و بکار گرفته شده است.

۳-۲- نسبت های اختلاط

تعیین نسبت های اختلاط، فرایند تعیین مقادیر کمی مواد تشکیل دهنده بتن است که به منظور دستیابی به مجموعه ای از ویژگی های خواسته شده بکار می رود. با توجه به این که هدف از این تحقیق بررسی تاثیر خرده و پودر لاستیک بر مقاومت در برابر سولفات رویه های بتنی می باشد، برای تعیین نسبت های اختلاط از روش حجم مطلق مطابق با استاندارد ACI211 استفاده شده که نتایج آن در جدول (۳) ارایه گردیده است. در این جدول، پودر و خرده لاستیک با نسبت های ۵، ۱۰، ۱۵، و ۲۰ درصد بعنوان جایگزین ماسه، افزودنی ها به میزان ۲٪ و نسبت آب به سیمان و همچنین آب به مواد پودری بترتیب ۰/۴۲ و ۰/۳۱ در نظر گرفته شده است.

۳-۳- آزمایشات

آزمایشات مورد استفاده در این تحقیق، شامل ازمایشات مربوط به تعیین خواص مکانیکی(مقاومت فشاری و خمشی) و دوام (جذب آب و حمله اسید سولوفوریک) می باشد. در ارتباط با تعیین خواص مکانیکی، مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی مطابق استاندارد ASTM C39 M09-a[۱۵] و مقاومت خمشی تیرها مطابق استاندارد ASTM C78 [۱۶] آزمایش شده اند و برای تعیین جذب آب اولیه نیز مطابق با استاندارد BS 1881 [۱۷] سه آزمونه استوانه‌ای ۷/۵×۱۰ سانتی‌متر برای هر طرح اختلاط در سنین ۲۸ و ۵۶ روز در نظر گرفته شده و پس از سه روز قرارگیری درگرمخانه به صورت خشک وزن و سپس به مدت ۰/۵ ساعت در آب قرار گرفته و در وضعیت اشباع توزین گردیده اند. در نهایت به منظور ارزیابی اثرات محیط خورنده اسید سولفوریک بر مقاومت و دوام بتن حاوی خرده و پودر لاستیک، نمونه‌ها در محیط تسریع شده خوردگی حاوی محلول اسید سولفوریک قرار داده شده و آزمایشات افت وزنی و تغییرات مقاومت بر روی آنها انجام گرفته است.

جدول ۳- نسبت های اختلاط بتن حاوی خرده و پودر لاستیک

نام طرح	شن (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	آب (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	پودر سنگ (kg/m^3)	خرده لاستیک (kg/m^3)	پودر لاستیک (kg/m^3)	فوق روان کننده (kg/m^3)
CS	۷۳۰	۸۹۰	۱۸۹	٤٥۰	۱٥۰	۰		۹
RC5	٦۹٥	۸۹۰	۱۸۹	٤٥۰	۱٥۰	۱٦		۹
RC10	٦٥۷	۸۹۰	۱۸۹	٤٥۰	۱٥۰	۳۲		۹
RC15	٦۲۰	۸۹۰	۱۸۹	٤٥۰	۱٥۰	٤۸		۹
RC20	٥۸٤	۸۹۰	۱۸۹	٤٥۰	۱٥۰	٦٤		۹
RP5	۷۳۰	۸٥۰	۱۸۹	٤٥۰	۱٥۰		۱۸	۹
RP10	۷۳۰	۸۰۱	۱۸۹	٤٥۰	۱٥۰		۳٦	۹
RP15	۷۳۰	۷٥٥	۱۸۹	٤٥۰	۱٥۰		٥٤	۹
RP20	۷۳۰	۷۱۲	۱۸۹	٤٥۰	۱٥۰		۷۲	۹

۴- تحلیل نتایج

۴-۱- خواص مکانیکی

الف) مقاومت فشاری

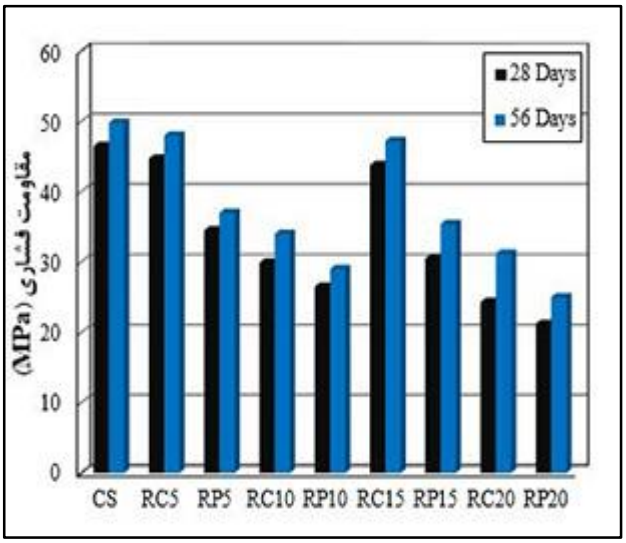
- **مقاومت فشاری قبل از غوطه وری در اسید سولفوریک**

در شکل (۴) نتایج مربوط به تغییرات مقاومت فشاری بتن بر حسب افزودن خرده و پودر لاستیک در سنین ۲۸ و ۵۶ روزه ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که افزودن خرده و پودر لاستیک در بتن باعث کاهش مقاومت در تمامی درصدهای جایگزینی می‌شود. این کاهش در طرح‌های حاوی لاستیک به علت چسبندگی کمتر ذرات لاستیک با ماتریس خمیر سیمان و همچنین چگالی کمتر و ضعف در تحمل بار نسبت به مصالح سنگی می باشد. همچنین، طرح‌های حاوی خرده لاستیک در تمامی درصدهای جایگزینی مقاومت فشاری بیشتری را نسبت به طرح‌های حاوی پودر لاستیک دارا هستند. افت بیشتر مقاومت در نمونه‌های حاوی پودر لاستیک می‌تواند به علت سطح تماس بیشتر ذرات پودر لاستیک با مخلوط بتن و طبیعتاً چسبندگی کمتر آن ها نسبت به خرده لاستیک باشد.

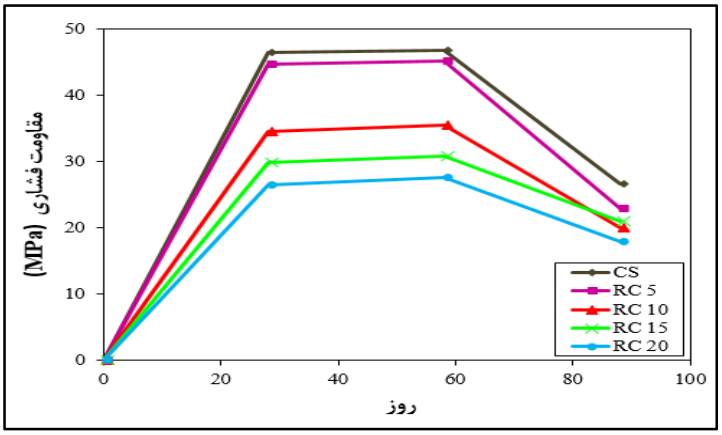
- **مقاومت فشاری پس از غوطه وری در اسید سولفوریک**

نمونه‌های مکعبی حاوی ۰ ، ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ درصد ذرات لاستیک پس از ۲۸ روز عمل آوری در آب شرب، در محیط اسید سولفوریک با PH=۱/۵ به مدت ۳۰ و ۶۰ روز قرار گرفتند. با رسم نمودار تغییرات فشاری (شکلهای ۵ و ۶) در شکل های (۵) و (۶) تغییرات مقاومت فشاری ارائه شده شده است. ملاحظه شد که تمامی طرح‌های مورد بررسی با افزایش زمان خوردگی از ۳۰ به ۶۰ روز دچار کاهش مقاومت فشاری شده‌اند. طبق نتایج می‌توان اینگونه بیان نمود که تمامی نمونه‌های قرار گرفته در اسید پس از ۳۰ روز غوطه‌وری رشد ناچیزی در مقاومت فشاری داشته‌اند که میزان این رشد در نمونه‌های حاوی ۰ ، ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ درصد جایگزینی خرده لاستیک به ترتیب به میزان ۰/۶۵ ، ۱/۱۲ ، ۲/۹ ، ۳/۰۱ و ۳/۹۶ درصد و برای نمونه‌های حاوی ۰ ، ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ درصد جایگزینی پودر لاستیک به ترتیب به میزان ۰/۶۵ ، ۱/۹۶ ، ۳/۹۶ ، ۱۱/۹۳ و ۱۳/۶۸ درصد بوده است. کمترین میزان رشد مقاومتی متعلق به نمونه شاهد است و با

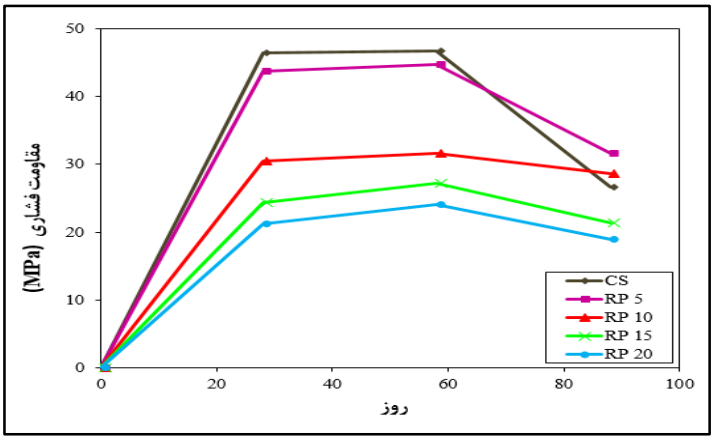
افزایش محتوای لاستیک در نمونه‌ها رشد مقاومتی بیشتر شده است. با افزایش زمان خوردگی تا ۶۰ روز می‌توان کاهش مقاومت فشاری را برای تمامی نمونه‌ها به وضوح مشاهده نمود. این کاهش برای طرح شاهد و نمونه‌های حاوی خرده لاستیک، به ترتیب به میزان ۴۲/۵۸ ، ۴۸/۵۵، ۴۲/۰۳، ۲۹/۷۷و ۳۲/۰۸ درصد و برای طرح‌های حاوی پودر لاستیک، به ترتیب به میزان ۲۷/۶۹، ۶ ، ۱۲/۳۵ و ۱۰/۳۸ درصد نسبت به قبل از غوطه وری در اسید می‌باشد. نتایج گواه این مسئله است که تقریباً تمامی نمونه‌های حاوی لاستیک دارای افت مقاومت کمتری بوده و دوام بیشتری را در محیط اسیدی از خود نشان داده اند.



شکل ۴- تغییرات مقاومت فشاری نمونه های حاوی خرده و پودر لاستیک در سنین ۲۸ و ۵۶ روزه



شکل ۵- روند تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی خرده لاستیک

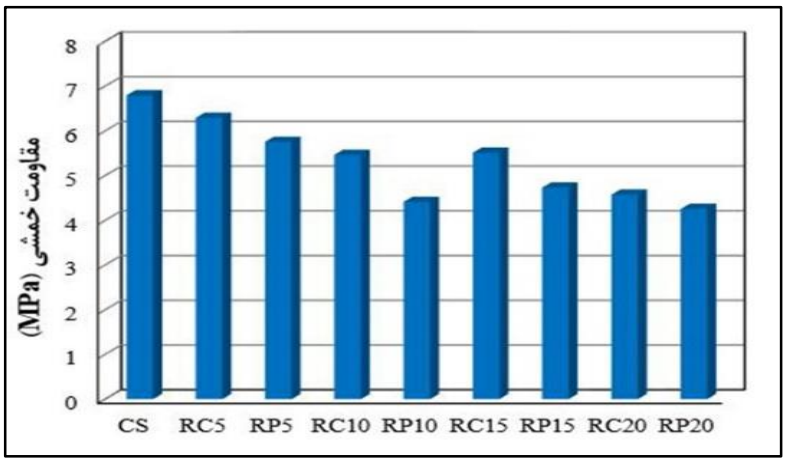


شکل ۶-. روند تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی پودر لاستیک ۳۰ و ۶۰ روزه در اسید سولفوریک

ب) مقاومت خمشی

- **مقاومت خمشی قبل از غوطه وری در اسید سولفوریک**

تأثیر افزودن خرده و پودر لاستیک بر مقاومت خمشی در شکل (۷) ارائه و مقایسه شده است. نتایج حاکی است که افزودن خرده و پودر لاستیک در سن ۲۸ روزه باعث کاهش مقاومت خمشی بتن در تمامی درصدهای جایگزینی می‌گردد. همچنین، مشاهده شد که طرح‌های حاوی خرده لاستیک در تمامی درصدهای جایگزینی مقاومت خمشی بیشتری را نسبت به طرح‌های حاوی پودر لاستیک دارا می-باشند. علت افت مقاومت در طرح‌های حاوی لاستیک را می توان به قفل و بست شدن ضعیف‌تر مصالح سنگی و ذرات لاستیک و همچنین استحکام کمتر قطعات لاستیک در مقابل اعمال تنش‌های کششی و در نهایت ترک خوردگی زودرس در نواحی اتصال لاستیک با مخلوط بتن نسبت داد.

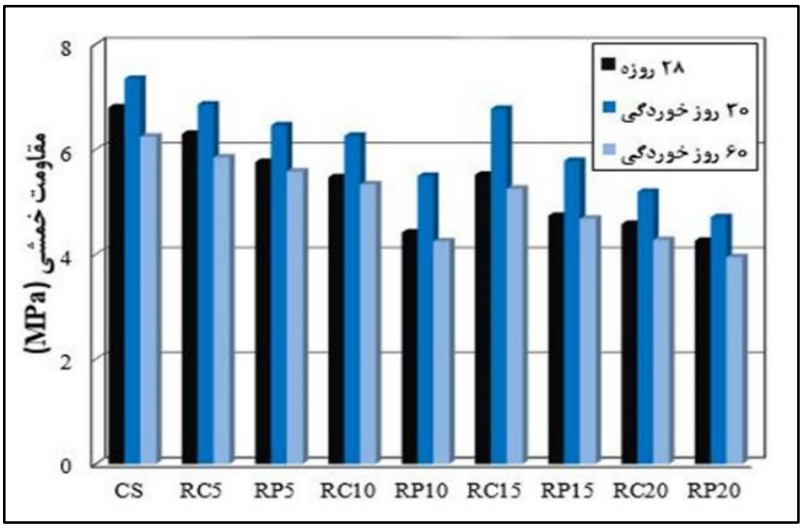


شکل ۷- مقایسه مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده و پودر لاستیک

- **مقاومت خمشی پس از غوطه وری در اسید سولفوریک**

نمونه‌های تیر خمشی حاوی ۰ ، ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ درصد خرده و پودر لاستیک پس از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب شرب، در محیط اسید سولفوریک با PH=1.5 به مدت ۳۰ و ۶۰ روز نگهداری شدند و پس از استخراج از حوضچه مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل

(۸) مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی خرده و پودر لاستیک را پس از ۳۰ و ۶۰ روز خوردگی در اسید سولفوریک در مقایسه با مقاومت نمونه‌های قبل از غوطه‌وری در اسید نشان می دهد.



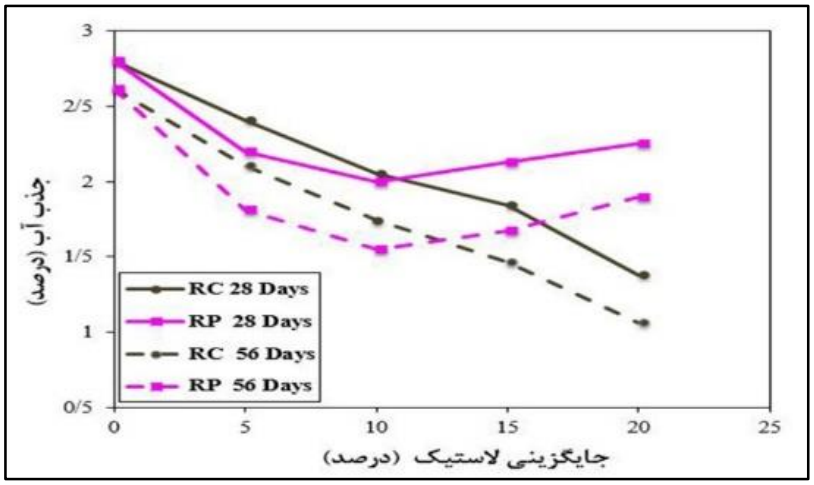
شکل ۸- مقایسه مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی خرده و پودر لاستیک ۳۰ و ۶۰ روزه در اسید

پس از ۳۰ روز غوطه‌وری در اسید، مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی ۰ ، ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ درصد جایگزینی خرده لاستیک به ترتیب به میزان ۸ ، ۸/۸۶ ، ۱۲/۱۹، ۱۴/۴۳ و ۲۴/۵۰ درصد رشد نشان داده است و همچنین طرح‌های حاوی پودر لاستیک نیز دارای رشد مقاومتی به میزان ۸ ، ۲۲/۸۱ ، ۲۲/۱۳ ، ۱۳/۳۷ و ۱۰/۵۴درصد برای ۰ تا ۲۰ درصد جایگزینی نسبت به قبل از غوطه‌وری در اسید بوده اند. با افزایش زمان خوردگی تا ۶۰ روز، مقاومت خمشی تمامی نمونه‌ها کاهش یافتند که برای نمونه‌های حاوی خرده لاستیک در مقایسه با طرح شاهد بیشترین افت مقاومت خمشی در طرح شاهد و کمترین افت مقاومت خمشی در ۱۵٪ جایگزینی خرده لاستیک مشاهده شده است، اما در نمونه‌های حاوی پودر لاستیک کمترین افت مقاومت خمشی در ۱۰٪ جایگزینی قابل رویت می‌باشد.

پ) دوام

- **جذب آب اولیه**

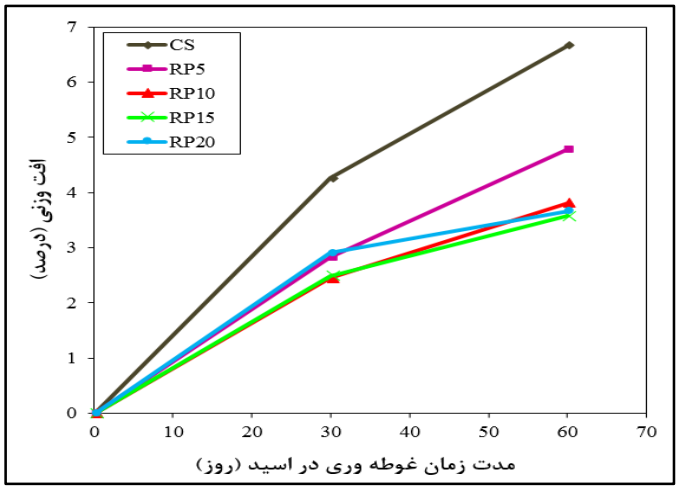
در شکل (۹) منحنی تغییرات تأثیر خرده و پودر لاستیک بر جذب آب اولیه ۲۸ و ۵۶ روزه بتن ارایه شده است. ملاحظه می شود که افزودن لاستیک در بتن در سنین ۲۸ و ۵۶ روز باعث کاهش جذب آب در تمامی درصدهای جایگزینی نسبت به طرح شاهد شده که این امر می تواند جذب آب ناچیز و نفوذ ناپذیری ذرات لاستیک نسبت به مصالح سنگی باشد. با افزایش زمان تا سن ۵۶ روز جذب آب کاهش بیشتری نسبت به ۲۸ روز داشته است. بیشترین کاهش جذب آب برای نمونه‌های حاوی خرده لاستیک در سن ۲۸ و ۵۶ روز در ۲۰ ٪ و کمترین کاهش در ۵ ٪ جایگزینی خرده لاستیک می‌باشد و برای نمونه‌های حاوی پودر لاستیک، بیشترین کاهش در ۱۰ ٪ و کمترین کاهش در ۲۰ ٪ جایگزینی پودر لاستیک مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد افزایش مقدار پودر لاستیک به بالاتر از ۱۰ درصد تأثیر منفی بر جذب آب داشته و باعث افزایش جذب آب بتن می‌گردد که می‌توان این مسئله را به افزایش سطوح در تماس بین ذرات لاستیک و عدم چسبندگی مناسب آنها با مخلوط بتن نسبت داد.



شکل ۹. مقایسه جذب آب نمونه‌های حاوی خرده و پودر لاستیک

- **کاهش وزنی**

در شکل های (۱۰) و (۱۱) افت وزنی طرح‌های حاوی خرده و پودر لاستیک به صورت تابعی از زمان غوطه‌وری در اسید سولفوریک ارائه شده است. ملاحظه می شود که اضافه کردن ذرات لاستیک در بتن برای هر دو بازه ۳۰ و ۶۰ روزه غوطه‌وری، افت وزنی کمتری نسبت به نمونه شاهد دارد. پس از ۶۰ روز خوردگی، افت وزنی نمونه‌های شاهد و حاوی خرده لاستیک، به ترتیب ۶/۶۷ ، ۵/۵۸ ، ۴/۲۶ ، ۳/۴۸ و ۳/۱۷ درصد می‌باشد(در طرح‌های حاوی پودر لاستیک نیز همین روند مشاهده می گردد). در بازه ۳۰ و ۶۰ روزه بیشترین افت وزنی در ۵٪ جایگزینی خرده و پودر لاستیک و کمترین افت وزنی در ۲۰ ٪ جایگزینی مشاهده گردیده است. بعلاوه، با افزایش مقدار لاستیک، دوام بتن در برابر حمله اسید سولفوریک افزایش یافته که این دوام در طرح‌های حاوی پودر لاستیک با افزایش زمان خوردگی به مراتب بیشتر از طرح شاهد و طرح‌های حاوی خرده لاستیک است.

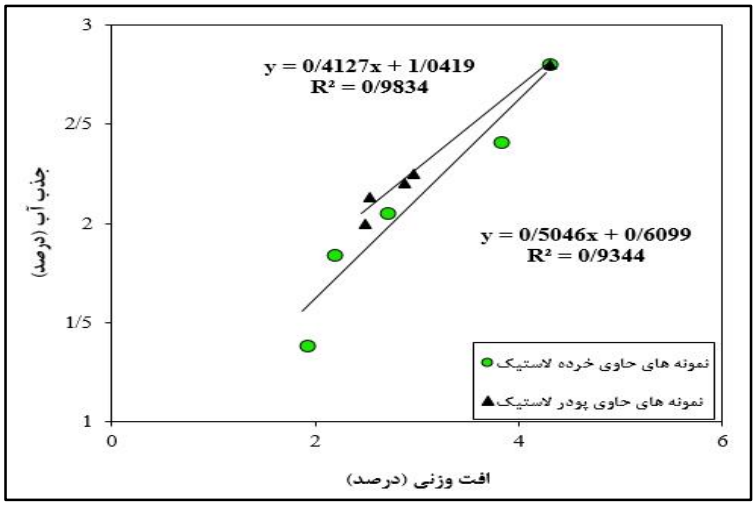


شکل ۱۰- تأثیر مدت غوطه‌وری در اسید سولفوریک بر درصد خوردگی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک

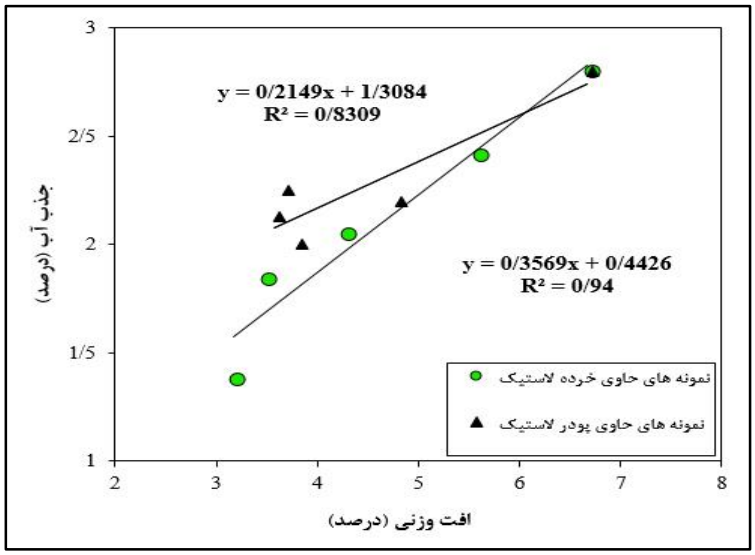
شکل ۱۱- نمایی از نمونه های حاوی ۱۵ و ۲۰ درصد پودر لاستیک پس از خوردگی

ت) ارتباط متقابل نتایج آزمایش‌های دوام بتن

به منظور درک مناسب تری از رفتار بتن در معرض اسید و پی بردن به علل اثر گذاری مثبت پودر و خرده لاستیک بر دوام نمونه-های مورد آزمایش، یکی از روش ها، ارزیابی ارتباط متقابل بین آزمایشات دوامی می‌باشد. در این راستا رابطه بین نتایج جذب آب و تغییرات افت وزنی نمونه‌های مکعبی در اثر خوردگی پس از ۳۰ و ۶۰ روز غوطه‌وری در اسید با استفاده از رگرسیون خطی بررسی و در شکل (۱۲) و (۱۳) ارایه شده است. نتایج نشان می دهد که ارتباط معنی‌داری بین جذب آب و میزان تغییرات افت وزنی وجود دارد. در حقیقت، با افزایش میزان ذرات لاستیک در نمونه‌ها جذب آب کاهش و به تبع آن کاهش افت وزنی در شرایط خورنده بهبود یافته است. این افزایش دوام می تواند ناشی از خلل و فرج و جذب آب کمتر و همچنین عدم واکنش قطعات لاستیک در برابر اسید سولفوریک باشد.



شکل ۱۲- رابطه بین جذب آب و تغییرات افت وزنی در اثر خوردگی پس از ۳۰ روز غوطه وری در اسید



شکل ۱۳- رابطه بین جذب آب و تغییرات افت وزنی در اثر خوردگی پس از ۶۰ روز غوطه وری در اسید

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق جمعاً ۹ طرح اختلاط با نسبت های ۰ ، ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ درصد لاستیک به دو شکل خرده و پودر تهیه و تاثیر آن ها روی برخی مشخصات بتن بویژه مقاومت در برابر سولفات، مورد آزمایش قرار گرفته است که نتایج بدست آمده به شرح زیر می باشد:

۱. افزودن خرده و پودر لاستیک، مقاومت فشاری و خمشی بتن در سنین مختلف در تمامی درصدهای جایگزینی کاهش می دهد که این امر ناشی از چسبندگی ضعیف لاستیک با خمیر سیمان می باشد. در مقام مقایسه، استفاده از پودر لاستیک کاهش مقاومت بیشتری نسبت به خرده لاستیک از خود نشان داده که از دلایل آن می توان به افزایش سطح تماس، ایجاد ترک های مویی و همچنین درگیری کمتر ذرات پودر نسبت به خرده لاستیک اشاره نمود.

۲. افزودن خرده و پودر لاستیک جذب آب در تمامی درصدهای جایگزینی را نسبت به طرح شاهد کاهش داده و در طرح های حاوی ۵ و ۱۰ درصد پودر لاستیک جذب آب کمتری در مقایسه با خرده لاستیک حاصل می گردد.

۳. پس از ۳۰ روز خوردگی نمونه‌ها در محلول اسید سولفوریک، مقاومت فشاری برای تمامی نمونه‌های حاوی خرده و پودر لاستیک نسبت به قبل از غوطه‌وری افزایش یافته و با افزایش زمان خوردگی تا ۶۰ روز مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد و حاوی لاستیک به میزان قابل توجهی کاهش یافتند. کمترین افت مقاومت مربوط به طرح حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک به میزان ۶ درصد بوده است. دوام بیشتر طرح‌های حاوی لاستیک نسبت به طرح شاهد به علت جذب آب کمتر و همچنین دوام قطعات لاستیک در برابر اسید سولفوریک می‌باشد.

۴. مقاومت خمشی تمامی طرح‌ها پس از ۳۰ روز غوطه‌وری در اسید نسبت به قبل از غوطه‌وری افزایش داشته است. با افزایش زمان خوردگی تا ۶۰ روز، مقاومت خمشی نمونه‌ها کاهش یافته که برای نمونه‌های حاوی خرده لاستیک در مقایسه با طرح شاهد بیشترین افت مقاومت خمشی در طرح شاهد و کمترین افت در ۱۵٪ جایگزینی خرده لاستیک به میزان ۲/۴۹ درصد مشاهده شده است، اما در نمونه‌های حاوی پودر لاستیک کمترین افت در ۱۰٪ جایگزینی به میزان ۴/۶ درصد بوده است.

۵. نتایج نشان داد کمترین افت وزنی نمونه‌ها متعلق به طرح‌های حاوی لاستیک می‌باشد. بهترین عملکرد را طرح‌های حاوی ۲۰ درصد خرده لاستیک با افت وزنی ۳/۱۷ درصد و ۱۵ درصد پودر لاستیک با افت وزنی ۳/۵۸ درصد داشتند.

مراجع

۱- رمضانیانپور، علی اکبر؛ پرهیزکار، طیبه؛ قدوسی، پرویز؛ پورخورشیدی، علیرضا، ۱۳۸۳،"توصیه هایی برای پایایی بتن در سواحل جنوبی کشور" (نشریه شماره ۳۹۶)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران

۲- مقدس نژاد، فریدون – بهشتی شیرازی، سید یاشار، ۱۳۹۵، کتاب روسازی بتنی (مصالح، طراحی، اجرا و نگهداری)، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، صفحه ۲۳۹-۲۳۶

3. Batayneh, M. K., Marie, I. and Asi, I. 2008. "Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries". Waste Manage., 28(11): 2171-2176.

4. Amirkhanian, S. N., Lee, S. J., Park, N. and Kim, K. W. 2009. "Characterization of warm mix asphalt binders containing artificially long-term aged binders". J. Constr. Build. Mater., 23: 2371-2379.

5.Benazzouk, A., Douzane, O., Langlet, T., Mezreb, K., Roucoult, J. M. and Quéneudec, M. 2007. "Physicomechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes". Cement Concrete Comp., 29(10): 732-740

6. Ganjian, E., Khorami, M. and Maghsoudi, A. A. 2009. "Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete". Constr. Build. Mater., 23(5): 1828-1836

7.Yung, W. H.,2013, A study of the durability properties of waste tire rubber applied to self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*,Vol. 41, pp. 665–672.

۸- فخری، منصور- حسنی، ابوالفضل – صابری ، فرشاد، ۱۳۹۵، تاثیر استفاده از خرده های لاستیک بر خصوصیات روسازی بتن غلتکی، مجله زیرساخت های حمل و نقل، سال دوم، شماره دوم، صفحه ۵۰-۳۷.

9.Da Silva, F. M., Barbosa, L. A. G., Lintz, R. C. C. and Jacintho, A. E. P. 2015. "Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber". Constr. Build. Mater., 91: 71-79.

10.Eldin, N. N. and Senouci, A. B. 1993. "Rubber-tire particles as concrete aggregate". J. Mater. Civil Eng., 5(4): 478-496.

۱۱- فرخزاد ر.، یاسری س.، انتظاریان م. ح.، یاوری ا.، ۱۳۹۵، بررسی تأثیر سولفات ها بر مقاومت فشاری، میزان نفوذ و آزمون فراصوت انواع بتن های پزولانی، مجله تحقیقات بتن، سال نهم، شماره اول، صفحه ۱۳۰-۱۱۳.

12.F. Jokar, M. Khorram, G. Karimi, N. Hataf, 2019,Experimental investigation of mechanical properties of crumbed rubber concrete containing natural zeolite, Construction and Building Materials, 208 ,651-658.

13. A. Gheni, H. H. Alghazali, M. A. ElGawady, J. J. Myers, D. Feys, 2019, Durability properties of cleaner cement mortar with by-products of tire recycling, Journal of Cleaner Production 213 ,1135-1146

14. S. Rahat Dahmardeh, M.S. Sargazi Moghaddam, M. H. Mirabi Moghaddam,2021, "Effects of waste glass and rubber on the SCC: rheological, mechanical, and durability properties", European Journal of Environmental and Civil Engineering,

15. ASTM C 128, 04a., 2004, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate.

16..British Standard Institution., 1983. Method for determination of water absorption, B.S.1881, Part 122.

16. EFENARC, 2005, Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, *European Federation*.

17. American Society for Testing and Materials. 1991. "Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort". ASTM D1557.