دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد (مهندسی عمران - سازه)

عنوان:

بررسی خواص مکانیکی بتن خودتراکم حاوی خرده لاستیک

استاد راهنما:

دکترمحمد رضا سهرابی

تحقیق و نگارش:

یوسف رحمانی

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره‌مند شده است)

زمستان ۱۳۸۹

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان ..... قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد ..... توسط دانشجو ..... تحت راهنمایی استاد پایان نامه ..... تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

(نام و امضاء دانشجو)

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:			
استاد راهنما:			
استاد مشاور:			
داور ۱:			
داور ۲:			
نماینده تحصیلات تکمیلی:			

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضاء

تقدیم به:

پدرم

که بزرگترین تکیه گاه و یاورم بوده است

مادرم

که دستهایش سایبان محبت و خورشید پرتو افشان وجودم بوده است

برادران و خواهرانم

که نگاههای منتظرشان آرام‌بخش خاطرم بوده است

سپاسگزاری

اکنون که به یاری خداوند بزرگ توانسته‌ام برگی دیگر از زندگی خویش را ورق بزنم، لازم می‌دانم از زحمات دلسوزانه استاد راهنمای محترم، جناب آقای دکتر سهرابی که علاوه بر تحصیل علم و ادب به این اینجانب درس اخلاق و زندگی آموخت تشکر و قدردانی کنم. همچنین از جناب آقای دکتر اکبری مدیر محترم گروه مهندسی عمران، آقای حسین بر و آقای سارانی مسئولین محترم آزمایشگاه بتن، آقای نیکفرجام و آقای جهانی تشکر و قدر دانی می‌نمایم.

همچنین از برادر عزیزم احمد عسکری که در تمام مدت انجام پایان نامه یار و یاور من بوده و بدون اغراق بدون کمک ایشان هرگز نمی‌توانستم پایان نامه را به انجام برسانم، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از دیگر دوستانم همانند ایمان کاملی، محمد معدلی، بهزاد فیروزی، حیمد عباسی، حمید خزایی، رضا آهنی، جواد مالکی‌فرد، کامران فرجی، آرش نادری، مجتبی قاسمی، مرتضی خراشادی‌زاده، مهدی قلی‌زاده، محسن تسلیمی، پرویز حسینی، حمزه صائب، احسان جعفری، حسین ذبیحی، محمد کربلایی، محسن مهرآوران، بابک جمشیدی، اسماعیل بهرامی، خلیل اسفندیارپور، نیما پناهی و دیگر عزیزانی که در انجام این پایان نامه مرا یاری رساندند، تشکر می‌نمایم.

چکیده

امروزه با پیشرفت جوامع بشری و استفاده بیشتر از وسایل نقلیه، حجم وسیعی از لاستیک‌های فرسوده در سال از گردونه مصرف خارج می‌شوند که دفن بهداشتی آنها از جدی‌ترین مشکلات زیست محیطی می‌باشد. به علت حجم بالای این لاستیک‌ها، دفن آنها در محل‌های مناسب به علت فضای محدود امکان‌پذیر و اقتصادی نمی‌باشد که خود باعث انباشته شدن غیر قانونی این لاستیک‌ها در فضاهای روباز شده است. از جمله خطرات زیست محیطی که در این رابطه وجود دارد، آتش سوزی و تجمع موجوداتی همچون موش و پشه می‌باشد. متاسفانه در ایران نیز سالانه میلیونها تن لاستیک فرسوده تولید می‌شود که به صورت غیر بهداشتی و نامناسب انبار و یا سوزانده شده و باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی فراوان می‌شوند. یکی از راهکارهای مطرح برای حل این مشکل، کاربرد مجدد لاستیک‌های فرسوده است. در حال حاضر استفاده از لاستیک‌های فرسوده در بتن‌های معمولی و بتن‌های خودتراکم با توجه به کاربرد زیاد آن در صنعت به عنوان یک گزینه مناسب برای دفع این ضایعات مطرح می‌باشد.

بتن خودتراکم بتنی است با روانی و کارایی بسیار بالا که تحت اثر وزن خود و بدون نیاز به عملیات ویبره متراکم می‌شود. این بتن به راحتی در اعضای سازه‌ای جای گرفته و در مواردی که ویبره کردن به علت تراکم بالای آرماتور کار دشواری است، استفاده از این نوع بتن انجام کار را بسیار تسهیل می‌کند. بتن خودتراکم در اواخر دهه ۹۰ میلادی در ژاپن و اساساً برای ساختمانهایی که در محل‌های زلزله خیز قرار داشتند و از تراکم بالای آرماتور برخوردار بودند، بکار برده شد. اخیراً این نوع بتن به طور گسترده‌ای در بسیاری از کشورها برای کاربردهای مختلف و در ساختمان‌های با شکل‌های متفاوت مورد استفاده قرار گرفته است.

در تحقیق حاضر مجموعاً ۳۵ طرح اختلاط بتن خودتراکم با استفاده از خرده لاستیک و پودر لاستیک و ترکیب این مواد با پوزولان‌های میکروسیلیس و نانوسیلیس ساخته شد و آزمایش‌های بتن تازه شامل جریان اسلامپ و $T_{۵۰}$، حلقه J، جعبه L و آزمایش قیف V شکل و همچنین آزمایش‌های بتن سخت شده شامل آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه، مقاومت فشاری ۲۸ روزه، مدول الاستیسیته و چگالی بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد لاستیک در بتن از مقاومت آن کاسته شده بطوریکه با افزودن ۱۵ درصد خرده لاستیک و پودر لاستیک در نمونه‌های ۲۸ روزه بتن، کاهش مقاومت به ترتیب برابر ۱۵/۵ و ۵۱/۵ درصد نسبت به نمونه

شاهد می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که کاهش مقاومت در نمونه‌های حاوی پودر لاستیک بسیار شدیدتر از نمونه‌های حاوی خرده لاستیک می‌باشد که این کاهش شدید مقاومت به دلیل افزایش سطح تماس ذرات پودر لاستیک با ملات سیمان نسبت به خرده لاستیک می‌باشد که باعث افزایش ترک‌های مویی در بتن شده و فرآیند شکست بتن را تسریع می‌کنند.

با افزودن پوزولان‌های میکروسیلیس و نانوسیلیس در بتن، مقاومت افزایش خواهد یافت. افزایش مقاومت در نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی ۵ درصد خرده لاستیک و پودر لاستیک و ۱۵ درصد میکروسیلیس به ترتیب برابر ۲۲/۶ و ۱/۷ درصد می‌باشد. اضافه کردن نانوسیلیس در نمونه ۲۸ روزه حاوی ۵ درصد خرده لاستیک باعث افزایش مقاومت به میزان ۱۲/۷ درصد می‌شود، اما این مقدار نانوسیلیس تاثیری در افزایش مقاومت نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی ۵ درصد پودر لاستیک نسبت به نمونه شاهد ندارد. همچنین نتایج حاکی از آن است که نمونه‌های بتنی حاوی لاستیک، پس از شکسته شدن به صورت کامل از یکدیگر جدا نشده و تکه‌های ترک خورده متصل به نمونه اصلی باقی می‌مانند. در واقع دانه‌های لاستیک در بین تکه‌های ترک خورده بتن به صورت پل عمل کرده و مانع از جدا شدن آنها می‌شوند. بطور کلی می‌توان گفت که با افزودن لاستیک در بتن، شاهد گسیختگی آرامتری خواهیم بود و بتن پس از رسیدن به بار نهایی و ترک خوردگی از هم جدا نشده و با تحمل بارهای کمتر به باربری ادامه می‌دهد که این رفتار نشان دهنده قابلیت جذب انرژی بیشتر بتن حاوی لاستیک می‌باشد.

بطور کلی با استفاده از مقادیر ۵ و ۱۰ درصد خرده لاستیک به همراه میکروسیلیس و یا نانوسیلیس در بتن خودتراکم، می‌توان برخی از خصوصیات آن را بهبود بخشیده و همچنین مشکلات زیست محیطی مربوط به لاستیک‌های فرسوده را نیز حل نمود.

کلمات کلیدی: لاستیک‌های فرسوده، آلودگی محیط زیست، بتن خودتراکم، میکروسیلیس، نانوسیلیس، خواص مکانیکی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- هدف از انجام این تحقیق ۳

۱-۳- فرضیات تحقیق ۴

۱-۴- مروری بر فصول پایان نامه ۴

فصل دوم: کاربرد لاستیک‌های فرسوده در بتن معمولی ۵

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- مقاومت فشاری و کششی ۷

۲-۳- اسلامپ ۱۵

۲-۴- چگالی و درصد هوای محبوس ۱۶

۲-۵- بررسی طاقت ۱۷

۲-۶- مدول الاستیسیته ۱۹

۲-۷- نفوذپذیری ۲۰

فصل سوم: بتن خودتراکم ۲۲

۳-۱- معرفی بتن خودتراکم ۲۳

۳-۱-۱- مقدمه ۲۳

۳-۱-۲- تعریف بتن خودتراکم ۲۳

۳-۱-۳- تاریخچه بتن خودتراکم ۲۴

۳-۱-۴- روش‌های دستیابی به بتن خودتراکم ۲۵

۳-۱-۵- دلایل بکار گیری بتن خودتراکم ۲۶

۳-۱-۶- کاربردهای بتن خودتراکم ۲۷

۳-۱-۷- ترکیبات مخلوط بتن خودتراکم ۲۸

۳-۲- آزمایش‌های بتن خودتراکم و تفسیر نتایج آنها ۳۰
۳-۲-۱- آزمایش جریان اسلامپ و جریان اسلامپ ۵۰ سانتی‌متر ۳۰
۳-۲-۲- آزمایش حلقه J ۳۳
۳-۲-۳- آزمایش قیف V شکل و زمان ۵ دقیقه ۳۵
۳-۲-۴- آزمایش جعبه L شکل ۳۸
۳-۲-۵- آزمایش جعبه U ۴۰
۳-۲-۶- آزمایش اوریمیت ۴۳
۳-۲-۷- آزمایش GTM ۴۵
۳-۳- استفاده از لاستیک‌های فرسوده در بتن خودتراکم ۴۷
فصل چهارم: پوزولان‌ها ۵۰
۴-۱- مقدمه ۵۱
۴-۲- طبقه بندی پوزولان‌ها ۵۱
۴-۳- میکروسیلیس ۵۲
۴-۳-۱- خواص میکروسیلیس ایران ۵۳
۴-۳-۲- تاثیر میکروسیلیس بر مقاومت بتن ۵۴
۴-۳-۳- کاهش جداشدگی و آب انداختگی بتن میکروسیلیسی ۵۴
۴-۳-۴- اثر میکروسیلیس در نفوذپذیری ۵۵
۴-۳-۵- شدت خوردگی آرماتورها در بتن‌های میکروسیلیسی ۵۵
۴-۳-۶- بررسی حرارت‌زایی بتن حاوی میکروسیلیس ۵۶
۴-۳-۷- ضرورت عمل آوردن مرطوب بتن‌های حاوی میکروسیلیس ۵۷
۴-۳-۸- اثر میکروسیلیس در مقاومت سایشی بتن ۵۷
۴-۴- نانو تکنولوژی ۵۸
۴-۴-۱- تاریخچه نانو تکنولوژی ۵۸
۴-۴-۲- تعریف نانو فناوری ۵۹

۴-۴-۳- فنانوری نانو و بتن ۵۹
۴-۴-۴- بررسی ریز ساختاری بتن وملات سیمان حاوی مواد نانو ۶۰
۴-۴-۵- خصوصیتهای بتن بهبود یافته با مواد نانو ۶۳
فصل پنجم: مشخصات مصالح مصرفی و طرح اختلاط ۶۶
۵-۱- مقدمه ۶۷
۵-۲- سنگدانه مورد استفاده ۶۷
۵-۲-۱- درشت دانه مصرفی(شن) ۶۷
۵-۲-۲- ریز دانه(ماسه) ۶۹
۵-۳- سیمان ۷۱
۵-۴- میکروسیلس ۷۳
۵-۵- نانو سیلیس ۷۴
۵-۶- فوق روان کننده ۷۴
۵-۷- پودر سنگ ۷۵
۵-۸- لاستیک مصرفی ۷۵
۵-۹- آب مورد استفاده ۷۶
۵-۱۰- مشخصات طرح اختلاط‌ها ۷۷
فصل ششم: بررسی و ارزیابی نتایج آزمایشگاهی ۸۱
۶-۱- مقدمه ۸۲
۶-۲- نتایج آزمایش‌های بتن تازه ۸۲
۶-۲-۱- آزمایش جریان اسلامپ و $T_{۵۰}$ ۸۲
۶-۲-۲- آزمایش حلقه J ۸۳
۶-۲-۳- آزمایش جعبه L ۸۵
۶-۲-۴- آزمایش قیف V شکل ۸۵
۶-۲-۵- میزان مصرف فوق روان کننده ۸۹
۶-۳- نتایج بتن سخت شده ۹۱

۶-۳-۱- مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۹۸
۶-۳-۲- مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس..۱۰۳
۶-۳-۳- مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس ۱۰۸
۶-۳-۴- مدول الاستیسیته ۱۱۴
۶-۳-۵- بررسی چگالی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۲۳
۶-۳-۶- بررسی نمودار تنش و کرنش نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۲۶
۶-۴- بررسی نحوه توزیع سنگدانه‌ها و لاستیک در نمونه‌های بتنی ۱۲۷
۶-۵- بررسی ریز ساختاری نمونه‌های حاوی لاستیک، میکروسیلیس و نانوسیلیس ۱۳۰
۶-۶- مقایسه خصوصیات مکانیکی بتن معمولی و بتن خودتراکم حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۳۶
۶-۶-۱- مقایسه مقاومت فشاری بتن معمولی و بتن خودتراکم حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۳۷
۶-۶-۲- مقایسه مدول الاستیسیته بتن معمولی و بتن خودتراکم حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۴۲
۶-۶-۳- مقایسه چگالی بتن معمولی و بتن خودتراکم حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۴۵
فصل هفتم: نتیجه گیری ۱۴۸
۷-۱- مقدمه ۱۴۹
۷-۲- نتیجه گیری ۱۴۹
۷-۳- نیازهای پژوهشی دیگر ۱۵۲
مراجع ۱۵۴

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱. ترکیب معمول لاستیک[۵] ۷
جدول ۳-۱. نتایج جریان اسلامپ بتن تازه طبق طبقه‌بندی موسسه EFNARC [۳۳] ۳۲
جدول ۳-۲. رده‌بندی لزجت بتن خود تراکم[۳۳] ۳۷
جدول ۴-۱. حدود ترکیبات شیمیایی میکروسیلیس داخل و خارج[۴۲] ۵۴
جدول ۵-۱. دانه بندی شن مصرفی ۶۸
جدول ۵-۲. دانه بندی ماسه مصرفی قبل از اصلاح دانه بندی ۶۹
جدول ۵-۳. دانه بندی ماسه مصرفی پس از اصلاح دانه بندی ۷۰
جدول ۵-۴. نتایج آنالیز شیمیایی سیمان پرتلند نوعII قائن[۵۲] ۷۲
جدول ۵-۵. مشخصات شیمیایی میکرسیلیس[۵۳] ۷۳
جدول ۵-۶. مشخصات محلول کلوئیدی نانو سیلیس[۵۴] ۷۴
جدول ۵-۷. طرح اختلاط نمونه‌های حاوی خرده لاستک و پودر لاستیک ۷۷
جدول ۵-۸. طرح اختلاط نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۷۸
جدول ۵-۹. طرح اختلاط نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس ۷۹
جدول ۶-۱. نتایج بتن تازه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۸۷
جدول ۶-۲. نتایج بتن تازه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۸۷
جدول ۶-۳. نتایج بتن تازه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و یا پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس ۸۸
جدول ۶-۴. نتایج بتن سخت شده نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۹۴
جدول ۶-۵. نتایج بتن سخت شده نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۹۵
جدول ۶-۶. نتایج بتن سخت شده نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس ۹۶
جدول ۶-۷. درصد تغییر مقاومت، مدول الاستیسیته و چگالی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک نسبت به نمونه شاهد ۹۶
جدول ۶-۸. درصد تغییر مقاومت و مدول الاستیسیته نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلس نسبت به نمونه شاهد ۹۷
جدول ۶-۹. درصد تغییر مقاومت و مدول الاستیسیته نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس نسبت به نمونه شاهد ۹۸
جدول ۶-۱۰. طرح اختلاط نمونه‌های حاوی خرده لاستک و پودر لاستیک [۱۸] ۱۳۷
جدول ۶-۱۱. نتایج بتن سخت شده نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک[۱۸] ۱۳۷

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. نحوه انبارکردن و سوزاندن لاستیک‌های فرسوده[۶] ۷
شکل ۲-۲. نحوه گسیختگی نمونه‌های حاوی لاستیک، تحت بار فشاری[۱۷] ۱۳
شکل ۲-۳. نحوه گسیختگی کششی نمونه‌های حاوی لاستیک[۱۷] ۱۳
شکل ۲-۴. نمونه‌های حاوی لاستیک پس از گسیختگی کششی[۱۷] ۱۳
شکل ۲-۵. نمودار جابجایی بر حسب نیرو[۲۴] ۱۸
شکل ۳-۱. روش های پیشنهادی دستیابی به خودتراکمی در بتن[۲۸] ۲۵
شکل ۳-۲. مقایسه طرح اختلاط بتن معمولی و بتن خودتراکم[۳۰] ۲۶
شکل ۳-۳. ابعاد مخروط اسلامپ و صفحه پایه(MM)[۳۳] ۳۱
شکل ۳-۴. ابعاد دستگاه حلقه J(MM)[۳۳] ۳۴
شکل ۳-۵. ابعاد قیف v شکل(MM) [۳۳] ۳۶
شکل ۳-۶. ابعاد جعبه L شکل(MM) [۳۳] ۳۹
شکل ۳-۷. ابعاد جعبه U شکل(MM) [۳۳] ۴۱
شکل ۳-۸. ابعاد دستگاه اوریمتر(MM)[۳۴] ۴۴
شکل ۴-۱. ریز ساختار بتن شاهد ۱۸۰ روزه با بزرگنمایی ۱۲۰۰۰ برابر[۵۰] ۶۱
شکل ۴-۲. ریز ساختار بتن حاوی نانو سیلیس ۱۸۰ روزه با بزرگنمایی ۱۲۰۰۰ برابر[۵۰] ۶۱
شکل ۴-۳. مقایسه واکنش نانو سیلیس و میکروسیلیس با هیدروکسید کلسیم در نمونه‌های ۲۸ روزه[۵۰] ۶۲
شکل ۴-۴. ریز ساختار میکروسیلیس با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر[۵۰] ۶۲
شکل ۴-۵. ریز ساختار نانو سیلیس با بزرگنایی ۱۰۰۰۰ برابر[۵۰] ۶۳
شکل ۵-۱. دانه بندی شن مصرفی ۶۸
شکل ۵-۲. شن مصرفی ۶۹
شکل ۵-۳. دانه بندی ماسه مصرفی قبل از اصلاح دانه بندی ۷۰
شکل ۵-۴. دانه بندی ماسه مصرفی پس از اصلاح دانه بندی ۷۱
شکل ۵-۵. ماسه مصرفی ۷۱
شکل ۵-۶ . سیمان مصرفی ۷۳
شکل ۵-۷. میکروسیلیس مصرفی ۷۴
شکل ۵-۸. پودر سنگ مصرفی ۷۵
شکل ۵-۹. خرده لاستیک مورد استفاده ۷۶

شکل ۵-۱۰. پودر لاستیک مورد استفاده ۷۶
شکل ۵-۱۱. میکسر مورد استفاده در آزمایشگاه ۸۰
شکل ۶-۱. دستگاه اسلامپ و حلقه J ۸۳
شکل ۶-۲. تصویری از آزمایش اسلامپ ۸۴
شکل ۶-۳. تصویری از آزمایش حلقه J ۸۴
شکل ۶-۴. تصویری از اندازه گیری ارتفاع بتن در قسمت داخلی و خارجی حلقه J ۸۵
شکل ۶-۵. دستگاه‌های جعبه L و قیف V ۸۶
شکل ۶-۶. تصویری از آزمایش جعبه L ۸۶
شکل ۶-۷. فوق روان کننده مصرفی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و میکروسیلیس ۸۹
شکل ۶-۸. فوق روان کننده مصرفی نمونه‌های حاوی پودر لاستیک و میکروسیلیس ۸۹
شکل ۶-۹. فوق روان کننده مصرفی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و نانو سیلیس ۹۰
شکل ۶-۱۰. فوق روان کننده مصرفی نمونه‌های حاوی پودر لاستیک و نانوسیلیس ۹۱
شکل ۶-۱۱. قالب‌های مورد استفاده قبل از بتن ریختن در آن‌ها ۹۲
شکل ۶-۱۲. قالب‌های مورد استفاده بعد از بتن ریختن در آن‌ها ۹۲
شکل ۶-۱۳. جک هیدرولیکی موجود در آزمایشگاه بتن ۹۳
شکل ۶-۱۴. تصویری از آزمایش مقاومت فشاری ۹۳
شکل ۶-۱۵. نحوه عمل آوری نمونه‌ها ۹۴
شکل ۶-۱۶. مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک ۹۹
شکل ۶-۱۷. مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک ۱۰۰
شکل ۶-۱۸. مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی پودر لاستیک ۱۰۰
شکل ۶-۱۹. مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی پودر لاستیک ۱۰۱
شکل ۶-۲۰. مقایسه مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاسیتک و پودر لاستیک ۱۰۱
شکل ۶-۲۱. مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاسیتک و پودر لاستیک ۱۰۲
شکل ۶-۲۲. مقایسه درصد تغییر مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک نسبت به نمونه شاهد ۱۰۲
شکل ۶-۲۳. مقایسه درصد تغییر مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک نسبت به نمونه شاهد ۱۰۳
شکل ۶-۲۴. مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۰۴
شکل ۶-۲۵. مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۰۵
شکل ۶-۲۶. مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۰۵

شکل ۶-۲۷. مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۰۶
شکل ۶-۲۸. مقایسه مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۰۶
شکل ۶-۲۹. مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۰۷
شکل ۶-۳۰. مقایسه درصد تغییر مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس نسبت به نمونه شاهد ۱۰۷
شکل ۶-۳۱. مقایسه درصد تغییر مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس نسبت به نمونه شاهد ۱۰۸
شکل ۶-۳۲. مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و نانو سیلیس ۱۱۰
شکل ۶-۳۳. مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و نانوسیلیس ۱۱۰
شکل ۶-۳۴. مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی پودر لاستیک و نانوسیلیس ۱۱۱
شکل ۶-۳۵. مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی پودر لاستیک و نانوسیلیس ۱۱۱
شکل ۶-۳۶. مقایسه مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس ۱۱۲
شکل ۶-۳۷. مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس ۱۱۲
شکل ۶-۳۸. مقایسه درصد تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس نسبت به نمونه شاهد ۱۱۳
شکل ۶-۳۹. مقایسه درصد تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس نسبت به نمونه شاهد ۱۱۳
شکل ۶-۴۰. تصویری از آزمایش مدول الاستیسیته ۱۱۵
شکل ۶-۴۱. مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک ۱۱۶
شکل ۶-۴۲. مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی پودر لاستیک ۱۱۷
شکل ۶-۴۳. مقایسه مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۱۷
شکل ۶-۴۴. درصد تغییر مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۱۸
شکل ۶-۴۵. مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۱۹
شکل ۶-۴۶. مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۱۹
شکل ۶-۴۷. مقایسه مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۲۰

شکل ۶-۴۸. مقایسه درصد تغییر مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس ۱۲۰
شکل ۶-۴۹. مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک و نانوسیلیس ۱۲۱
شکل ۶-۵۰. مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی پودر لاستیک و نانوسیلیس ۱۲۲
شکل ۶-۵۱. مقایسه مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس ۱۲۲
شکل ۶-۵۲. مقایسه درصد تغییر مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس ۱۲۳
شکل ۶-۵۳. چگالی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک ۱۲۴
شکل ۶-۵۴. چگالی نمونه‌های حاوی پودر لاستیک ۱۲۴
شکل ۶-۵۵. مقایسه چگالی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۲۵
شکل ۶-۵۶. مقایسه درصد تغییر چگالی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک ۱۲۵
شکل ۶-۵۷. نمودار تنش-کرنش نمونه‌های حاوی خرده لاستیک ۱۲۷
شکل ۶-۵۸. نمودار تنش-کرنش نمونه‌های حاوی پودر لاستیک ۱۲۷
شکل ۶-۵۹. نحوه توزیع سنگدانه‌ها در نمونه شاهد ۱۲۸
شکل ۶-۶۰. نحوه توزیع دانه‌های خرده لاستیک در نمونه حاوی ۱۵ درصد خرده لاستیک ۱۲۹
شکل ۶-۶۱. نحوه توزیع ذرات پودر لاستیک در نمونه حاوی ۱۵ درصد پودر لاستیک ۱۲۹
شکل ۶-۶۲. تصویر SEM نمونه شاهد با بزرگنمایی ۲۰۰۰ ۱۳۱
شکل ۶-۶۳. تصویر SEM نمونه حاوی ۱۵ درصد میکروسیلیس با بزرگنمایی ۲۰۰۰ ۱۳۱
شکل ۶-۶۴. تصویر SEM نمونه حاوی ۲ درصد نانوسیلیس با بزرگنمایی ۲۰۰۰ ۱۳۲
شکل ۶-۶۵. تصویر SEM نمونه شاهد با بزرگنمایی ۵۰۰۰ ۱۳۲
شکل ۶-۶۶. تصویر SEM نمونه حاوی ۱۵ درصد میکروسیلیس با بزرگنمایی ۵۰۰۰ ۱۳۳
شکل ۶-۶۷. تصویر SEM نمونه حاوی ۲ درصد نانوسیلیس با بزرگنمایی ۵۰۰۰ ۱۳۳
شکل ۶-۶۸. تصویر SEM نمونه حاوی پودر لاستیک با بزرگنمایی ۱۰۰۰ ۱۳۴
شکل ۶-۶۹. تصویر SEM نمونه حاوی پودر لاستیک و ۱۵ درصد میکروسیلیس با بزرگنمایی ۱۰۰۰ ۱۳۵
شکل ۶-۷۰. تصویر SEM نمونه حاوی پودر لاستیک و ۲ درصد نانوسیلیس با بزرگنمایی ۱۰۰۰ ۱۳۵
شکل ۶-۷۱. مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه حاوی خرده لاستیک ۱۳۸
شکل ۶-۷۲. مقایسه درصد تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه حاوی خرده لاستیک ۱۳۹
شکل ۶-۷۳. مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک ۱۳۹
شکل ۶-۷۴. مقایسه درصد تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک ۱۴۰

شکل ۶-۷۵. مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه حاوی پودر لاستیک ۱۴۱
شکل ۶-۷۶. مقایسه درصد تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه حاوی پودر لاستیک ۱۴۱
شکل ۶-۷۷. مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی پودر لاستیک ۱۴۲
شکل ۶-۷۸. مقایسه درصد تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی پودر لاستیک ۱۴۲
شکل ۶-۷۹. مقایسه مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک ۱۴۳
شکل ۶-۸۰. مقایسه درصد تغییر مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی خرده لاستیک ۱۴۴
شکل ۶-۸۱. مقایسه مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی پودر لاستیک ۱۴۴
شکل ۶-۸۲. مقایسه درصد تغییر مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی پودر لاستیک ۱۴۵
شکل ۶-۸۳. مقایسه چگالی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک ۱۴۶
شکل ۶-۸۴. مقایسه درصد تغییر چگالی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک ۱۴۶
شکل ۶-۸۵. مقایسه چگالی نمونه‌های حاوی پودر لاستیک ۱۴۷
شکل ۶-۸۶. مقایسه درصد تغییر چگالی نمونه‌های حاوی پودر لاستیک ۱۴۷

فهرست اصطلاحات

مخفف	نام کامل
ASTM	American Society for Testing and Materials
CR	Crumb Rubber
CS	Concrete Sample
EFNARC	The European Fedaration of Specialist Constraction Chemicals and Concrete Systems
NS	Nano Silica
PR	Powder Rubber
SCC	Self Compacting Concrete
SEM	Scaning Electron Microscope
SF	Silica fume
XRD	X-Ray Diffraction

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

درعصر حاضر وجود مواد زاید حاصل از فرایندهای مختلف فیزیکی و شیمیایی یکی از معضلات مهم کشورهای صنعتی و در حال توسعه می‌باشد، بطوریکه تحقیقات وسیعی برای روشهای بازیافت یا دفع آنها به منظور به حداقل رساندن آسیبهای وارده به محیط زیست در حال انجام می‌باشد. در این راستا محققان ساختمان نیز همانند سایر صنایع تولیدی و بازیافتی، در جهت استحصال مواد و مصالح زاید به پیشرفتهایی نایل شده‌اند که از آن‌جمله می‌توان استفاده از لاستیکهای مستعمل در بتن را نام برد[۱].

گسترش صنایع خودرو در جهان سبب گردیده است تا به موازات آن، تولید لاستیک فرسوده در جهان نیز رو به افزایش باشد. این امر سبب شده است که وجود لاستیکهای مستعمل و روش دفع آنها یکی از معضلات مهم جهانی باشد. جدای از مشکلات زیست محیطی ایجاد کننده به علت عدم تجزیه، این مواد محیطی مناسب جهت رشد پشه‌ها و موجودات موذی فراهم می‌کنند. از اوایل دهه ۹۰ میلادی تحقیقات زیادی برای بازیافت این مواد زاید صورت گرفته است. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که لاستیکهای مستعمل از موادی تشکیل شده‌اند که به‌دلیل عدم تجزیه آنها در شرایط معمول، سبب ایجاد آلودگی‌های محیط زیست می‌گردند. یکی از راههای از بین این مواد سوزاندن آنها می‌باشد، اما گاز حاصل از سوزاندن نیز آلودگیهای زیادی به دنبال دارد. بر اساس تحقیقات صورت گرفته، یکی از راههای موثر حذف این مواد، استفاده از آنها در بتن‌های معمولی و همچنین بتن‌های خودتراکم می‌باشد[۱].

بتن خودتراکم بتنی است با روانی و کارایی بسیار بالا که تحت اثر وزن خود و بدون نیاز به عملیات ویبره متراکم می‌شود. این بتن به راحتی در اعضای سازه‌ای جای گرفته و در مواردی که ویبره کردن به علت تراکم بالای آرماتور کار دشواری است، استفاده از این نوع بتن انجام کار را بسیار تسهیل می‌کند[۲]. بتن خودتراکم در اواخر دهه ۹۰ میلادی در ژاپن و اساساً برای ساختمانهایی که در محل‌های زلزله خیز قرار داشتند واز تراکم بالای آرماتور برخوردار بودند، بکار برده شد. اخیراً این نوع بتن به طور گسترده‌ای در بسیاری از کشورها برای کاربردهای مختلف و در ساختمان‌های با شکل‌های متفاوت مورد استفاده قرار گرفته است. بتن خودتراکم محیط کاری مناسب‌تری را با حذف صدای ناشی از عملیات ویبره ایجاد می‌کند و همچنین دارای مزایای فراوانی مانند موارد زیر می‌باشد[۳]: