١٤٤٩٤

دانشکده فنی
گروه عمران
گرایش سازه

# بررسی خواص مهندسی بتن خود تراکم حاوی ضایعات لاستیک

از
**سعید ابوالقاسمی**

استادان راهنما
**دکتر رحمت مدندوست**
**دکتر عطاء ا... حاجتی مدارایی**

استاد مشاور
**دکتر ملک محمد رنجبر**

تیر ماه ۱۳۸۸

۱۳۸۹/۷/۳
۱۴۱۴۹۴

تقدیم به

عزیزترین کسانم

# پدر و مادر بزرگوارم

# تقدیرنامه

سپاس بی حد ایزد را سزد که بنی آدم را صاحب علم و قلم نمود تا کرامتی در خود یابند و درود فراوان نثار صاحبان فضل و معرفت که روشنی بخش عرصه گیتی شدند.

بر خود لازم می دانم از اساتید راهنمای بزرگوار و ارجمندم آقایان دکتر رحمت مدندوست و دکتر عطاء ا... حاجتی مدارایی که در طول دوره تحصیل و سپس در مراحل انجام پایان نامه با زحمات و راهنمایی های ارزشمند خود مرا همراهی کردند و همچنین از زحمات و تلاش های جناب آقای دکتر ملک محمد رنجبر که مشاورت این پایان نامه را به عهده گرفتند کمال تشکر و قدر دانی را داشته باشم. همچنین از اساتید بزرگوار، جناب آقای دکتر صدر ممتازی و جناب آقای دکتر فلاح که به عنوان داور زحمت بازخوانی این پایان نامه را بر عهده داشته و نظرات ارزنده و مفیدی در هر چه بهتر و پربارتر شدن آن ارائه نموده‌اند سپاسگزاری می نمایم. از کلیه اساتید بزرگوار گروه عمران دانشکده فنی دانشگاه گیلان که در مدت تحصیل دوره کارشناسی ارشد، زحمات فراوانی برای اینجانب کشیده اند و مطالب علمی و اخلاقی فراوانی ازمحضر این بزرگواران آموخته‌ام نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین بر خود لازم می دانم از مسؤلین و کارکنان محترم آزمایشگاه بتن دانشکده فنی، جناب آقایان سرمست،مهندس کاتبی و جهانگیری و سرکار خانم مهندس حاج جعفری، همچنین از دوست عزیزم آقای مهندس میر علی محمد میرگزار که در طول انجام این پایان‌نامه، همواره از همراهی بی دریغشان بهره مند بوده ام تشکر نمایم.

در پایان از خانواده ام که در تمامی مراحل زندگی بدون هیچ چشم داشتی همواره پشتیبان اینجانب بوده و شرایط تحصیل را برایم فراهم نمودند، سپاسگزاری می نمایم.

# فهرست عنوان ها


چکیده فارسی ..... ژ
چکیده انگلیسی ..... س
پیشگفتار ..... ۱
مقدمه ..... ۲
هدف ..... ۳
ساختار پایان نامه ..... ۴
۱. فصل اول: بتن خود تراکم ..... ۶
۱-۱. مقدمه ..... ۷
۱-۲. مزایای بتن خود تراکم ..... ۷
۱-۳. ویژگی ای اصلی بتن خود تراکم ..... ۸
۱-۴. مقایسه بتن خود ترکم و معمولی ..... ۹
۱-۵. مقایسه میزان بتن مصرفی ( بتن خود ترکم) در آمریکا و ژاپن ..... ۹
۱-۶. تعریف بتن خود تراکم ..... ۱۰
۱-۶-۱. تعریف P.Bartos ..... ۱۰
۱-۶-۲. تعریف K.Ozawa ..... ۱۰
۱-۶-۳. تعریف H.Okamura ..... ۱۱
۱-۶-۴. تعاریف موسسه بتن پیش ساخته وپیش تنیده و موسسه بتن آمریکا و مجموعهASTM ..... ۱۱
۱-۶-۴-۱ .تعریف موسسه بتن پیش ساخته وپیش تنیده ..... ۱۱
۱-۶-۴-۲ .تعریف موسسه بتن آمریکا ..... ۱۱
۱-۶-۴-۳ .تعریف مجموعه ASTM ..... ۱۱
۱-۷. مشخصات بتن خود تراکم ..... ۱۱
۱-۷-۱. کارائی ..... ۱۱
۱-۷-۲. مشخصات مکانیکی ..... ۱۲
۱-۷-۳. دوام ..... ۱۲
۱-۸. مطالعات وتحقیقات انجام شده بر روی بتن خود تراکم ..... ۱۲
۱-۸-۱. تحقیقات اوکامورا ..... ۱۲
۱-۸-۲. تحقیقات اوزاوا ..... ۱۴
۱-۸-۲-۱. دیدگاه اوزاوا در بررسی بتن خود تراکم ..... ۱۴
۱-۸-۳. تحقیقات سابرامیان و چاتو ..... ۱۵
۱-۸-۴. تحقیقات خیاط ..... ۱۵
۱-۹. کاربرد های اجرائی ویژه با بتن خود تراکم ..... ۱۶
۱-۱۰. نمونه های اجرائی بتن خود تراکم ..... ۱۷
۱-۱۰-۱. سازه های اجرا شده با بتن خود تراکم در خارج از ایران ..... ۱۷
۱-۱۰-۱-۱. پل معلق Akashi-Kaiko درAwaji- Shima و Kobe ژاپن ..... ۱۷
۱-۱۰-۱-۲. دیواره های مخازن عظیم LNG شرکت گاز Osaka در ژاپن ..... ۱۸

۱-۱۰-۱-۳. بازار بزرگ Midsummer Place واقع در لندن – انگلستان ..... ۱۸
۱-۱۰-۱-۴. آپارتمان مسکونی در Nanterre فرانسه ..... ۱۸
۱-۱۰-۱-۵. پروژه Bunkers Hill در شهر Calgary- غرب کانادا ..... ۱۹
۱-۱۰-۱-۶. پروژه تونل غوطه ور در Kobe ژاپن ..... ۱۹
۱-۱۰-۱-۷. برج Landmark درشهر یوکوهاما- ژاپن ..... ۱۹
۱-۱۰-۲. نمونه های اجرائی بتن خود تراکم در ایران ..... ۲۰
۱-۱۰-۲-۱. تولید قطعات پیش ساخته جهت عبور دستگاهای حفاری متروی شیراز با استفاده از بتن خود تراکم ..... ۲۰
۱-۱۰-۲-۲. پروژه تونل زیرگذر رسالت ..... ۲۲
۱-۱۰-۲-۳. پروژه توسعه حرم حضرت معصومه (س) ..... ۲۲
۱-۱۱. رده بندیSCC ..... ۲۴
۱-۱۱-۱. روانی ..... ۲۴
۱-۱۱-۱-۱. رده $SF_1$ ..... ۲۴
۱-۱۱-۱-۲. رده $SF_2$ ..... ۲۵
۱-۱۱-۱-۳. رده $SF_3$ ..... ۲۵
۱-۱۱-۲. توان عبور ..... ۲۵
۱-۱۱-۲-۱. رده $PA_1$ ..... ۲۵
۱-۱۱-۲-۲. رده $PA_2$ ..... ۲۵
۱-۱۱-۳. مقاومت در برابر جداشدگی ..... ۲۶
۱-۱۱-۳-۱. رده $SR_1$ ..... ۲۶
۱-۱۱-۳-۲. رده $SR_2$ ..... ۲۶
۱-۱۱-۴. لزجت ..... ۲۶
۱-۱۱-۴-۱. رده $VF_1$ ..... ۲۶
۱-۱۱-۴-۲. رده $VF_2$ ..... ۲۶
۱-۱۲. ویژگی های بتن خود تراکم تازه ..... ۲۷
۱-۱۲-۱. رئولوژی بتن خود تراکم ..... ۲۷
۱-۱۲-۱-۱. روان سنج ..... ۲۹
۱-۱۲-۲. کارایی بتن خود تراکم ..... ۳۰
۱-۱۲-۲-۱. توانایی پر کنندگی ..... ۳۰
۱-۱۲-۲-۱-۱. اصطکاک بین ذره ای پایین ..... ۳۱
۱-۱۲-۲-۱-۲. خمیر با توانایی تغییر شکل عالی ..... ۳۱
۱-۱۲-۲-۱-۳. راهکارهای لازم جهت داشتن قابلیت پرکنندگی لازم ..... ۳۲
۱-۱۲-۲-۱-۳-۱. افزایش قابلیت تغییر شکل خمیر ..... ۳۲
۱-۱۲-۲-۱-۳-۲. کاهش اصطکاک بین ذره ای ..... ۳۲
۱-۱۲-۲-۲. مقاومت در برابر جداشدگی ..... ۳۲
۱-۱۲-۲-۲-۱. جداشدگی های نوع اول ..... ۳۳
۱-۱۲-۲-۲-۲. جداشدگی نوع دوم ..... ۳۳

۱-۱۲-۲-۲-۳. اقدامات لازم جهت داشتن مقاومت مناسب در برابر جداشدگی ..... ۳۴
۱-۱۲-۲-۳-۱. کاهش فاصله بین ذرات جامد ..... ۳۴
۱-۱۲-۲-۳-۲. به حداقل رساندن آب انداختگی ..... ۳۴
۱-۱۲-۲-۴. اندازه گیری جدا شدگی اجزا و آب انداختگی ..... ۳۴
۱-۱۲-۲-۳. توانایی عبور کنندگی ..... ۳۵
۱-۱۲-۲-۳-۱. علل انساد بتن خود تراکم ..... ۳۶
۱-۱۲-۲-۳-۲. اقدامات لازم جهت داشتن توانایی عبور مناسب ..... ۳۶
۱-۱۳. اصول طرح اختلاط مناسب بتن خود تراکم ..... ۳۷
۱-۱۳-۱. نکات لازم برای رسیدن به بتن خود تراکم ایده ال ..... ۳۷
۱-۱۴. اساس طرح اختلاط ..... ۳۸
۱-۱۵. روش طرح اختلاط ..... ۳۹
۱-۱۶. آزمایشاتی برای تعیین خصوصیات مختلف بتن تازه خود تراکم ..... ۴۱
۱-۱۶-۱. جریان اسلامپ (Slump Flow) ..... ۴۱
۱-۱۶-۲. حلقهJ (J Ring) ..... ۴۲
۱-۱۶-۳. قیف Vشکل ..... ۴۳
۱-۱۶-۴. جعبه L شکل (L box ) ..... ۴۳
۱-۱۶-۵. جعبه U (U box ) ..... ۴۴
۱-۱۶-۶. جعبه پرکننده (Fill box ) ..... ۴۵
۱-۱۶-۷. GTM ..... ۴۵
۱-۱۶-۸. اریمت ( ORIMET) ..... ۴۶
۲. فصل دوم: بتن لاستیکی (Rubcrete) ..... ۴۷
۲-۱. مقدمه ..... ۴۸
۲-۲. مواد تشکیل دهنده لاستیک ..... ۵۰
۲-۳. صنعت سبز ..... ۵۰
۲-۴. قوانین اخیر در اتحادیه اروپا ..... ۵۱
۲-۴-۱. سه دستورالعمل برای تایر های فرسوده ..... ۵۱
۲-۵. راهکارهای پیشنهادی برای بازیافت و استفاده مجدد از لاستیک های فرسوده ..... ۵۲
۲-۵-۱. لاستیک مستهلک به عنوان سوخت کوره تولید سیمان ..... ۵۳
۲-۵-۱-۱. مزایای تایر به عنوان یک سوخت در مقایسه با زغال سنگ ..... ۵۴
۲-۵-۲. تولید برق ..... ۵۶
۲-۵-۳. کاربرد لاستیک در مهندسی عمران ..... ۵۶
۲-۵-۳-۱. لاستیک های مستهلک خرد شده ..... ۵۷
۲-۵-۳-۱-۱. دسته بندی لاستیک های مستهلک ..... ۵۷
۲-۵-۳-۱-۲. مشخصات فیزیکی لاستیک خرد شده ..... ۶۰
۲-۵-۳-۱-۲-۱. چگالی(Density) ..... ۶۰
۲-۵-۳-۱-۲-۲. تخلخل(Porosity) ..... ۶۰

۲-۵-۳-۱-۳-۲. سختی(Stiffness) ..... ۶۲
۲-۵-۳-۲. آسفالت لاستیکی ..... ۶۳
۲-۵-۳-۲-۱. مزایای آسفالت لاستیکی ..... ۶۵
۲-۵-۳-۲-۲. معایب آسفالت لاستیکی ..... ۶۵
۲-۵-۳-۲-۳. کارهای انجام شده مربوط به آسفالت لاستیکی ..... ۶۶
۲-۵-۳-۳. بتن لاستیکی ..... ۶۷
۲-۵-۳-۳-۱. انواع بتن لاستیکی ..... ۶۷
۲-۵-۳-۳-۲. کاربرد بتن های اصلاح شده با خرده لاستیک ..... ۶۸
۲-۵-۳-۴. پروژه های عمرانی اجرا شده با لاستیک های مستهلک ..... ۶۹
۲-۶. مروری بر کارهای انجام شده ..... ۷۱
۲-۶-۱. خواص بتن تازه حاوی لاستیک ..... ۷۱
۲-۶-۱-۱. اسلامپ( روانی ) ..... ۷۱
۲-۶-۱-۲. چگالی ..... ۷۲
۲-۶-۱-۳. مقدار هوای محبوس ..... ۷۳
۲-۶-۲. خواص بتن سخت شده حاوی لاستیک ..... ۷۳
۲-۶-۲-۱. مقاومت فشاری و کششی ..... ۷۳
۲-۶-۲-۲. انقباض ..... ۸۱
۲-۶-۲-۳. چقرمگی و تست ضربه ..... ۸۲
۲-۶-۳. اصلاح لاستیک (Rubber Treatment) ..... ۸۳
۲-۶-۴. تاثیر نوع سیمان بر روی مقاومت های فشاری و کششی بتن لاستیکی ..... ۸۵
۳. فصل سوم: برنامه آزمایشگاهی ..... ۸۶
۳-۱. مقدمه ..... ۸۷
۳-۲. مصالح مصرفی ..... ۸۸
۳-۲-۱. مصالح سیمانی ..... ۸۸
۳-۲-۱-۱. سیمان پرتلند ..... ۸۸
۳-۲-۱-۲. میکروسیلیس ..... ۸۸
۳-۲-۱-۲-۱. بررسی قابلیت پوزولانی ..... ۹۰
۳-۲-۲. مصالح سنگی ..... ۹۰
۳-۲-۲-۱. شن ..... ۹۱
۳-۲-۲-۲. ماسه ..... ۹۲
۳-۲-۳. آب ..... ۹۳
۳-۲-۴. فوق روان‌کننده ..... ۹۳
۳-۲-۵. لاستیک خرد شده ..... ۹۴
۳-۲-۵-۱. توانایی و کاربرد دستگاه لاستیک خرد کن برقی ..... ۹۴
۳-۲-۵-۲. تشریح اجزای دستگاه لاستیک خرد کن برقی ..... ۹۵
۳-۳. ساخت نمونه ها ..... ۹۷

۳-۳-۱. طرح اختلاط ..... ۹۷
۳-۳-۲. نمونه های مورد آزمایش ..... ۹۸
۳-۳-۳. شرایط عمل آوری نمونه ها ..... ۹۸
۳-۴. روش های آزمایش بتن تازه خود تراکم ..... ۹۹
۳-۴-۱. روش انجام آزمایش جریان اسلامپ ..... ۹۹
۳-۴-۲. روش انجام آزمایش قیف Vشکل ..... ۱۰۰
۳-۴-۲-۱. روش انجام آزمایش قیف V شکل ( $T_5min$ ) ..... ۱۰۰
۳-۴-۳. روش انجام آزمایش جعبه L ..... ۱۰۰
۳-۴-۴. آزمایش تعیین درصد هوای بتن ..... ۱۰۱
۳-۴-۴-۱. روش انجام آزمایش ..... ۱۰۲
۳-۵. آزمایش های بتن سخت شده ..... ۱۰۳
۳-۵-۱. مقاومت فشاری ..... ۱۰۳
۳-۵-۲. مقاومت کششی ..... ۱۰۴
۳-۵-۲-۱. آزمایش شکافتن (دو نیم شدن) ..... ۱۰۴
۳-۵-۳. چقرمگی(Flexual Toughness) ..... ۱۰۵
۳-۵-۴. تعیین مدول الاستیسیته ..... ۱۰۶
۳-۵-۶. ارزیابی میزان انبساط و انقباض ..... ۱۰۷
۳-۵-۶-۱. انبساط (ورم کردن) ..... ۱۰۷
۳-۵-۶-۲. انقباض (جمع شدگی ناشی از خشک شدن) ..... ۱۰۷
۳-۵-۶-۳. روش انجام آزمایش انبساط و انقباض ..... ۱۰۷
۳-۵-۷. اندازه گیری جذب آب نهایی ..... ۱۰۸
۳-۵-۸. بررسی همگنی بتن حاوی ذرات لاستیک ..... ۱۰۹
۳-۵-۸-۱. آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک(Ultrasonic Pulse Velocity) ..... ۱۰۹
۳-۵-۸-۲. تعیین یکنواختی بتن با استفاده از روش سرعت امواج الکترونیکی ..... ۱۱۰
۳-۵-۸-۳. کشف نارسایی ها در بتن با استفاده از روش سرعت امواج اولتراسونیک ..... ۱۱۰
۳-۵-۸-۴. تعیین تغییرات در خواص بتن با استفاده از روش سرعت امواج اولتراسونیک ..... ۱۱۱
۳-۵-۸-۵. اساس کار دستگاه ..... ۱۱۱
۳-۵-۸-۶. آرایش قرار گیری مبدل ها ..... ۱۱۱
۳-۵-۸-۶-۱. انتقال مستقیم ..... ۱۱۱
۳-۵-۸-۶-۲. انتقال نیمه مستقیم ..... ۱۱۱
۳-۵-۸-۶-۳. انتقال غیر مستقیم ..... ۱۱۲
۳-۵-۸-۷. بررسی عوامل موثر در مقاومت بتن از طریق آزمایش اولتراسونیک ..... ۱۱۲
۳-۵-۸-۷-۱. مقدار رطوبت ..... ۱۱۲
۳-۵-۸-۷-۲. دمای بتن ..... ۱۱۳
۳-۵-۸-۷-۳. طول مسیر ..... ۱۱۳
۳-۵-۸-۷-۴. اثر آرماتور ..... ۱۱۳
۴. فصل چهارم: بحث بر روی نتایج ..... ۱۱۴
۴-۱. مقدمه ..... ۱۱۵

۴-۲. نتایج آزمایشات بتن تازه ۱۱۵
۴-۲-۱. جریان اسلامپ و جریان اسلامپ ۵۰ سانتیمتر ۱۱۵
۴-۲-۲. قیف V شکل ۱۱۷
۴-۲-۳. جعبه L شکل ۱۱۸
۴-۲-۴. درصد هوای محبوس ۱۱۹
۴-۳. چگالی ۱۲۰
۴-۳-۱. علل کاهش چگالی بتن لاستیکی با افزایش درصد لاستیک ۱۲۰
۴-۴. نتایج آزمایشات بتن سخت شده ۱۲۱
۴-۴-۱. مقاومت فشاری ۱۲۱
۴-۴-۱-۱. علل کاهش مقاومت فشاری بتن لاستیکی ۱۲۳
۴-۴-۱-۲. تغییرات مقاومت فشاری با چگالی بتن و حجم لاستیک مصرفی ۱۲۷
۴-۴-۱-۳. تاثیر لاستیک بر نحوه شکست ۱۲۸
۴-۴-۲. سطح مقطع موثر ۱۳۰
۴-۴-۳. آزمایش شکافتن (دو نیم شدن برزیلی) ۱۳۱
۴-۴-۳-۱. تئوری گریفت ۱۳۴
۴-۴-۳-۲. علت کاهش مقاومت کششی بتن لاستیکی ۱۳۴
۴-۴-۳-۳. تغییرات مقاومت کششی نسبت به مقاومت فشاری بتن های حاوی لاستیک ۱۳۵
۴-۴-۴. مدول الاستیسیته ۱۳۷
۴-۴-۴-۱. رابطه بین مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری نمونه های بتنی حاوی لاستیک ۱۳۹
۴-۴-۵. چقرمگی (سختی خمشی) ۱۴۰
۴-۴-۶. جذب آب نهایی ۱۴۳
۴-۴-۷. ارزیابی میزان انبساط و انقباض ۱۴۴
۴-۴-۷-۱. انبساط (ورم کردن) ۱۴۴
۴-۴-۷-۲. انقباض (جمع شدگی ناشی از خشک شدن) ۱۴۵
۴-۵. نتایج آزمایش اولتراسونیک برای بررسی همگنی بتن حاوی ذرات لاستیک ۱۴۷
۵. فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۵۰
۵-۱. مقدمه ۱۵۱
۵-۲. نتیجه گیری ۱۵۱
۵-۳. پیشنهاد برای کار های آینده ۱۵۵
مراجع ۱۵۶
ضمائم

# فهرست جدول ها


جدول ۱-۱: محدوده حجمی و وزنی اجزای بتن در بتن خود تراکم ..... ۳۹
جدول ۱-۲: واکنش های تصحیح کننده در صورت مشاهده اشکال در مخلوط ..... ۴۰
جدول ۱-۳: آزمایشات توصیه شده توسط استانداردهای اروپایی ..... ۴۱
جدول ۲-۱: درصد وزنی ترکیب مواد سازنده ی تایرهای سواری ..... ۵۰
جدول ۲-۲: مقایسه گرمای احتراق سوخت حاصل از تایر (TDF) با زغال سنگ ..... ۵۴
جدول ۲-۳: نامگذاری لاستیک طبق استاندارد های آمریکا و اروپا ..... ۵۷
جدول ۲-۴: ترکیب لاستیک تایر به صورت درصد وزنی ..... ۵۸
جدول ۲-۵: مواد مصرفی در آسفالت لاستیکی در سطح جاده ..... ۶۴
جدول ۲-۶: نمونه ی مواد لاستیکی مورد استفاده در ساختار جاده ها در اروپا و آمریکا ..... ۶۴
جدول ۲-۷: مصرف تایر در آسفالت لاستیکی در برخی ایالت های آمریکا ..... ۶۴
جدول ۲-۸: میزان لاستیک مصرفی برای تولید آسفالت لاستیکی در کشورهای اروپایی ..... ۶۴
جدول ۲-۹: مقاومت های فشاری و کششی و مدول الاستیسیته برای بتن های با و بدون سیلیکا فوم و لاستیک ..... ۷۴
جدول ۲-۱۰: مقدار لاستیک استفاده شده در بتن ..... ۷۶
جدول ۲-۱۱: مشخصات لاستیک استفاده شده در آزمایشات Li و همکاران ..... ۷۹
جدول ۲-۱۲: نتایج مربوط به آزمایشات Li و همکاران در مورد بتن حاوی لاستیک ..... ۷۹
جدول ۳-۱: مشخصات شیمیایی سیمان و میکروسیلیس ..... ۸۹
جدول ۳-۲ : الزامات بروز خاصیت پوزولانی در مواد ..... ۹۰
جدول ۳-۳ : دانه بندی شن ..... ۹۱
جدول ۳-۴ : دانه بندی ماسه ..... ۹۲
جدول ۳-۵: ویژگی های فوق روان کننده۱Super viscos ..... ۹۴
جدول ۳-۶: طرح اختلاط ها ..... ۹۷
جدول ۳-۷: ضرایب تصحیح اثر دما بر انتقال سرعت امواج اولتراسونیک ..... ۱۱۳
جدول ۴-۱: سطح زیر منحنی بار-تغییر مکان برای کلیه بتن ها ..... ۱۴۲

# فهرست شکل ها


شکل۱-۱: سیستم ساخت منطقی بتن خود تراکم ..... ۱۰
شکل۱-۲ : لوله های کوچک که به عنوان مانع در داخل قالب مورد استفاده قرار گرفته اند ..... ۱۳
شکل۱- ۳ : تاثیر روان کننده بر روی برهم کنش جریان پذیری و ویسکوزیته بتن ..... ۱۴
شکل۱-۴: پل معلق Akashi-Kaiko ژاپن ..... ۱۷
شکل۱-۵: بازار بزرگ Midsummer Place لندن ..... ۱۸
شکل۱-۶: سازه های ساندویچی تونل غوطه ور Kobe ژاپن ..... ۱۹
شکل۱-۷: برج Landmark یوکوهاما- ژاپن ..... ۲۰
شکل۱-۸: قطعات بتنی پیش ساخته به کار رفته در پروژه متروی شیراز ..... ۲۱
شکل۱-۹: نحوه اجرا قطعات بتنی پیش ساخته در پروژه متروی شیراز ..... ۲۱
شکل۱-۱۰: مقطع لاینینگ نهایی تونل های بلند رسالت ..... ۲۲
شکل۱-۱۱: فضای صحن جدید در حرم حضرت معصومه ..... ۲۳
شکل۱-۱۲: نمونه کتیبه های اجرا شده با بتن خود تراکم در حرم ..... ۲۳
شکل۱-۱۳: نمونه سقف مجوف اجرا شده در حرم ..... ۲۳
شکل۱-۱۴: ویژگی SCC برای کاربرد های مختلف ..... ۲۷
شکل۱-۱۵: مدل سیال بینگهام ..... ۲۸
شکل۱-۱۶: تصاویری از روان سنج هایی با صفحات موازی و استوانه های هم محور ..... ۲۹
شکل۱-۱۷: انسداد سنگدانه ها ..... ۳۵
شکل۱-۱۸: جریان یکنواخت بتن ..... ۳۵
شکل۱-۱۹: نمودار روند برقراری خواص مورد نیاز SCC ..... ۳۷
شکل ۱-۲۰: آزمایش Slump Flow ..... ۴۲
شکل ۱-۲۱: حلقه J ..... ۴۲
شکل ۱-۲۲: قیف V شکل ..... ۴۳
شکل۱-۲۳: جعبه L ..... ۴۴
شکل۱-۲۴: جعبه U شکل ..... ۴۴
شکل۱-۲۵: جعبه پر کننده ..... ۴۵
شکل۱-۲۶: اریمت ..... ۴۶
شکل۲-۱: لاستیک های بازیافت شده در ژاپن، انگلیس و آمریکا ..... ۴۸
شکل۲-۲: تبدیل محل ذخیره سازی لاستیک ها به مکانی برای رشد و پرورش موش ها و حشرات موذی ..... ۴۹
شکل۲-۳: آتش سوزی گورستان لاستیک های مستهلک در اوهایو در سال ۱۹۹۹ ..... ۴۹
شکل۲-۴: روند رشد استفاده از TDF در واحد های سیمان در ایالت های کشور آمریکا ..... ۵۵
شکل۲-۵: مرحله های به کارگیری تایرهای فرسوده در محفظه ی احتراق سیمان ..... ۵۵
شکل۲-۶: نمایی از کارخانه لاستیک خرد کنی درسوئد ..... ۵۹
شکل۲-۷: نمایی از دستگاه لاستیک خرد کن ..... ۶۰
شکل۲-۸: میزان تخلخل را به ازای تنش های وارده مختلف در شرایط مختلف ..... ۶۱
شکل۲-۹: تاثیر اندازه ذرات لاستیک(mm) بر میزان تخلخل در تنش های مختلف بر اساس داده های Moo-Young ..... ۶۱
شکل۲-۱۰: تاثیر اندازه ذرات لاستیک بر میزان تخلخل در تنش های مختلف بر اساس داده های Moo-Young ..... ۶۲

شکل۲-۱۱: میزان سختی لاستیک خرد شده به ازای تنش های مختلف و شرایط تراکمی متفاوت ..... ۶۲
شکل۲-۱۱: بستر لاستیکی زمین چمن ..... ۶۹
شکل ۲-۱۲: میله های ضربه گیر برای کنترل ترافیک در شهر لندن ..... ۷۰
شکل(a وb)۲-۱۳: نمودار روانی بتن های حاوی سیلیکافوم و لاستیک برای دو نسبت آب به سیمان ..... ۷۱
شکل۲-۱۴: وزن مخصوص بتن لاستیکی به ازای درصدهای مختلف لاستیک و سیلیکا فوم ..... ۷۲
.شکل۲-۱۵: دانه بندی سنگدانه های مختلف استفاده شده ( شن، ماسه و لاستیک تایر آسیاب شده) ..... ۷۶
شکل۲-۱۶: رابطه بین RF برای مقاومت فشاری به ازای درصدهای مختلف لاستیک ..... ۷۷
شکل۲-۱۷: رابطه بین RF برای مقاومت کششی به ازای درصدهای مختلف لاستیک ..... ۷۸
شکل۲-۱۸: اثر عملیات سطحی مواد مختلف روی مقاومت فشاری ..... ۸۴
شکل۲-۱۹: تصویر SEM ( I : نمونه کنترل لاستیک بدون اصلاح سطحی، Π : نمونه حاوی لاستیک اصلاح شده ) ..... ۸۵
شکل۳-۱: شکل و اندازه ذرات سیمان پرتلند مصرف شده در آزمایش ..... ۸۸
شکل۳-۲ : شکل و اندازه میکروسیلیس مصرف شده در آزمایش ..... ۸۹
شکل۳-۳: نمودار دانه بندی شن (ASTM C۳۳) ..... ۹۱
شکل۳-۴ : نمودار دانه بندی ماسه (ASTM C۳۳) ..... ۹۲
شکل۳-۵: نمای کلی از دستگاه لاستیک خرد کن برقی ..... ۹۵
شکل۳-۶: جزئیات دستگاه لاستیک خرد کن برقی ..... ۹۶
شکل۳-۷: نحوه انجام آزمایش اسلامپ ..... ۹۹
شکل۳-۹ :جعبه L شکل ..... ۱۰۱
شکل۳-۱۲: دستگاه مورد استفاده برای تعیین درصد هوا ..... ۱۰۲
شکل۳-۱۳ : دستگاه تست مشخصات مکانیکی بتن ..... ۱۰۴
شکل۳-۱۴ : نمونه قرار گرفته در دستگاه بارگذاری به منظور تعیین مقاومت کششی حاصل از روش دو نیم شدن برزیلی ..... ۱۰۵
شکل۳-۱۵: نحوه انجام آزمایش چقرمگی ..... ۱۰۶
شکل۳-۱۶ : آزمایش تعیین مدول الاستیسیته ..... ۱۰۶
شکل۳-۱۷ : کرنش سنج (Demac Gage) ..... ۱۰۸
شکل۳-۱۸ : دستگاه اولتراسونیک مورد استفاده در آزمایش ..... ۱۰۹
شکل۳-۱۹ : روش های انتقال و دریافت پالس های مافوق صوت ..... ۱۱۲
شکل۴-۱: آزمایش جریان اسلامپ به ازای درصدهای مختلف لاستیک برای دو نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳ ..... ۱۱۶
شکل۴-۲: آزمایش جریان اسلامپ ۵۰cm به ازای درصدهای مختلف لاستیک برای دو نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳ ..... ۱۱۷
شکل۴-۳: آزمایش قیف V شکل به ازای درصدهای مختلف لاستیک برای دو نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳ ..... ۱۱۷
شکل۴-۴: آزمایش جعبه L شکل به ازای درصدهای مختلف لاستیک برای دو نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳ ..... ۱۱۸
شکل۴-۵: درصد هوای محبوس به ازای درصد های مختلف لاستیک برای بتن های با آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳ ..... ۱۱۹
شکل۴-۶: تغییرات چگالی به ازای درصدهای مختلف لاستیک برای دو نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳ ..... ۱۲۰
شکل۴-۷: تغییرات مقاومت فشاری بتن به ازای درصد های مختلف لاستیک برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴ ..... ۱۲۱
شکل۴-۸: تغییرات مقاومت فشاری بتن به ازای درصد های مختلف لاستیک برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۵۳ ..... ۱۲۲
شکل۴-۹: تغییرات مقاومت فشاری با گذشت زمان برای بتن با (w/c=۰/۴) و درصد های مختلف لاستیک ..... ۱۲۲
شکل۴-۱۰: تغییرات مقاومت فشاری با گذشت زمان برای بتن با (w/c=۰/۴) و درصد های مختلف لاستیک ..... ۱۲۳
شکل۴-۱۱: درصد کاهش مقاومت فشاری به ازای درصد های مختلف لاستیک برای دو نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳ ..... ۱۲۴
شکل۴-۱۲: مقایسه بین نتایج این تحقیق و نتایج کارهای انجام شده بر روی بتن معمولی ..... ۱۲۵
شکل۴-۱۳: مقایسه بین نتایج این تحقیق و نتایج کارهای انجام شده بر روی بتن خود تراکم ..... ۱۲۶

شکل۵-۱۴ : تغییرات مقاومت فشاری با چگالی بتن تازه در بتن های حاوی لاستیک با نسبت آب به سیمان مختلف..... ۱۲۷
شکل۴-۱۵ : تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه با میزان لاستیک مصرفی در بتن های با نسبت آب به سیمان مختلف..... ۱۲۸
شکل۴-۱۶ : مقایسه شکل گسیختگی بتن حاوی لاستیک و بتن معمولی تحت بارگذاری فشاری..... ۱۲۹
شکل۴-۱۷ : نمونه گسیخته شده و نحوه انتشار ترک در بتن حاوی لاستیک ..... ۱۳۰
شکل۴-۱۸: تغییرات سطح مقطع موثر به ازای درصد لاستیک..... ۱۳۱
شکل۴-۱۹: تغییرات مقاومت کششی به ازای درصد های مختلف لاستیک برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴..... ۱۳۲
شکل۴-۲۰: تغییرات مقاومت کششی به ازای درصد های مختلف لاستیک برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۵۳..... ۱۳۲
شکل۴-۲۱: تغییرات مقاومت کششی با گذشت زمان برای بتن با (w/c=۰/۴) و درصد های مختلف لاستیک..... ۱۳۳
شکل۴-۲۲: تغییرات مقاومت کششی با گذشت زمان برای بتن با (w/c=۰/۴) و درصد های مختلف لاستیک..... ۱۳۳
شکل۴-۲۳: درصد کاهش مقاومت کششی ۲۸ روزه برای درصدهای مختلف لاستیک ..... ۱۳۵
شکل۴-۲۴ : تغییرات مقاومت کششی با مقاومت فشاری در بتن های حاوی درصد های متفاوت لاستیک..... ۱۳۶
شکل۴-۲۵: محدود مجاز کمیته CEB برای رابطه مقاومت فشاری و کششی بتن های نرمال ..... ۱۳۷
شکل۴-۲۶: تغییرات مدول الاستیسیته به ازای درصدهای مختلف لاستیک ..... ۱۳۷
شکل۴-۲۷: درصد کاهش مدول الاستیسیته به ازای درصد های مختلف لاستیک..... ۱۳۸
شکل۴-۲۸ : رابطه بین مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری نمونه های بتنی حاوی لاستیک..... ۱۳۹
شکل۴-۲۹ :نمودار بار-تغییر مکان بتن های با W/C=۰,۴ حاوی درصد های مختلف لاستیک، تحت بارگذاری خمشی..... ۱۴۱
شکل۴-۳۰ : نمودار بار-تغییر مکان بتن با W/C=۰,۵۳ حاوی درصد های مختلف لاستیک، تحت بارگذاری خمشی..... ۱۴۲
شکل۴-۳۱: میزان جذب آب نهایی به ازای درصد های مختلف لاستیک و دو نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳..... ۱۴۳
شکل۴-۳۲: میزان انبساط به ازای درصد های مختلف لاستیک برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳..... ۱۴۴
شکل۴-۳۳: میزان انبساط به ازای درصد های مختلف لاستیک برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۳..... ۱۴۵
شکل۴-۳۴: میزان انقباض به ازای درصد های مختلف لاستیک برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۴..... ۱۴۶
شکل ۴-۳۵: میزان انقباض به ازای درصد های مختلف لاستیک برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۵۳..... ۱۴۶
شکل۴-۳۶: سرعت عبور امواج اولتراسونیک در سه تراز عضو سازه ای بتنی بدون لاستیک..... ۱۴۷
شکل۴-۳۷: سرعت عبور امواج اولتراسونیک در سه تراز عضو سازه ای بتنی با لاستیک..... ۱۴۸
شکل۴-۳۸: مقایسه سرعت عبور امواج اولتراسونیک در دو عضو سازه ای بتنی با و بدون لاستیک..... ۱۴۸

## چکیده

**بررسی خواص مهندسی بتن خود تراکم حاوی ضایعات لاستیک**

**سعید ابوالقاسمی**

یکی از بزرگترین معضلات محیط زیستی در جهان بازیافت و استفاده مجدد از لاستیک های فرسوده و ضایعاتی خودرو ها می باشد. بنابراین از یک طرف به دلیل غیر قابل تجزیه بودنشان، در محیط زیست باقی می مانند و متلاشی شدن آنها ممکن است چندین سال به طول بیانجامد و از طرف دیگر به واسطه قابلیت احتراق پذیری بالایی که دارند در هنگام سوختن زباله ها در گورستان زباله می توانند به عنوان یک منبع قابل ملاحظه در تامین سوخت عمل کرده و خاموش کردن آتش ناشی از سوختن توده ای از لاستیک ها بسیار مشکل شود همچنین در هنگام سوختن لاستیک مقدار زیادی مایع و گاز سمی در هوا منتشر شده که برای محیط زیست و سلامتی انسان بسیار مضر و خطرناک می باشد. از دیر باز دفن کردن (خاک کردن) لاستیک های مستهلک به عنوان یک راهکار اصلی برای انهدام این ضایعات مرسوم بوده، ولی رشد روز افزون وسایل نقلیه و به تبع آن افزایش تعداد لاستیک های فرسوده از یک طرف و تمام شدن مکان های مناسب برای دفن این ضایعات از طرف دیگر، باعث شدهٔ که این راه حل دیگر جوابگو نباشد، بنابراین اتخاذ یک راهکار مناسب ضروری به نظر می رسد. استفاده مجدد از لاستیک های فرسوده از زمان بدو اختراع لاستیک برای استفاده در ضربه گیر لنگرگاهها و ... رایج بوده، ولی خصوصیات برجسته لاستیک های فرسوده خودروها از قبیل چگالی کم و خاصیت الاستیک بالا باعث شده که از آن استفاده های مفیدی در عرصه مهندسی عمران با توجه به خواصشان شود که یکی از راهکارهای پیشنهادی، استفاده از لاستیک های فرسوده در تولید بتن لاستیکی می باشد به طوریکه ذرات لاستیک پس از خرد شدن، جایگزین بخشی از مصالح سنگی (شن یا ماسه) به صورت حجمی یا وزنی می شود. با وارد شدن لاستیک به ماتریس بتن بعضی از نقاط ضعف بتن معمولی از قبیل شکل پذیری کم، جذب انرژی کم و ترک های ناشی از انقباض تا حدی مرتفع می شود، همچنین لاستیک باعث می شود که نحوه شکست بتن از حالت ترد و ناگهانی به حالت نرم و تدریجی تغییر پیدا کند و سرعت انتشار ترک و عرض ترک کاهش یابد. شایان ذکر است، علاوه بر مزایایی که برای بتن لاستیکی ذکر شد، با وارد کردن لاستیک به ماتریس بتن، چقرمگی و مقاومت ضربه ای هم افزایش یافته و مقاومت های فشاری و کششی و مدول الاستیسیته کاهش می یابد. در این پایان نامه خصوصیات مکانیکی نظیر مقاومت فشاری، کششی، مدول الاستیسیته، چقرمگی و انقباض مربوط به بتن خود تراکم حاوی درصدهای مختلف لاستیک با دو عیار سیمان ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و دو نسبت آب به سیمان به ترتیب ۰/۴ و ۰/۵۳ و ۱۰ درصد میکروسیلیس که جایگزین بخشی از سیمان می شود، مورد بررسی قرار گرفته و در تمامی طرح اختلاط ها مقدار لاستیک از ۰ تا ۵۰ درصد حجمی متغیر می باشد. همچنین بر روی خصوصیات بتن تازه با و بدون لاستیک نظیر جریان اسلامپ، جریان اسلامپ ۵۰cmجعبه L شکل، قیف V شکل و درصد هوای محبوس در بتن مطالعاتی صورت گرفته و در نهایت همگنی پخش ذرات لاستیک در دو عضو سازه ایی به ابعاد ۵۰×۳۶×۳۶ سانتیمتر، که حاوی ۰ و ۳۰ درصد لاستیک (درصد بهینه لاستیک) می باشد با انجام آزمایش اولتراسونیک مورد بررسی قرار گرفته است.

**کلید واژه:** بتن خود تراکم، بتن لاستیکی، خواص مکانیکی

## Abstract

**An investigation in engineering properties of self- compacted concrete containing waste rubber**

**Saeed Abolghasemi**

One of the main environmental problems in whole the world is the recycling of waste vehicle tires. these materials can not be analyzed. That's why, it remains in natural environment and disintegration of these materials can take long time to be done. On the other hand, it's severely combustible and it can be used for producing a huge amount of energy when it is burning in landfills and fire which made by burning tire is so hard to extinguish. On the other hand, during burning waste tire, a huge amount of toxic liquids and gases will spread in air which is harmful for natural environment and human's health. Burring waste tire in landfills was a main solution for terminating these waste materials from long time ago. But by increasing the number of vehicles which causes an incensement in number of waste tire and on the other hand, finishing the suitable places for burring these waste materials is caused this solution not to be useful. So, thinking about finding a proper solution for defeating this problem is inevitable. Recycling waste tire was used as energy absorbers in docks and ... from the first years of invention of tire. But, incredible properties of waste tire like low density and high elasticity made it very useful for being used in constructions which one of these cases is using waste tire for producing a concrete named rubberized concrete which can be produced by replacement of aggregates by rubber partially by weight or volume. By addition of rubber in matrix, some weaknesses of ordinary concrete such as low flexibility, low energy absorption capability, cracks caused by shrinkage will be improved. It also causes fracture to change into a gradual fracture instead of a brittle fracture and the rate of spreading cracks and crack's width is decreased. Some other useful properties that caused by using rubber in concrete matrix is increasing flexural toughness, increasing impact resistance. But compressive and tensile strength and modulus of elasticity will be decreased. In this thesis, mechanical properties of rubberized concrete such as compressive strength, tensile strength, modulus of elasticity, flexural toughness and shrinkage are being investigated fo different fraction of rubber with two cement content of 400 and 500 kgs/$m^3$ with two different water cement ratio of 0.4 and 0.53. silica fume was used as a replacement of cement equal to 10 percent of cement by weight. Rubber content in all mixes vary between 0 to 50 percent by volume. Also, a study on fresh concrete properties like slump flow, slump flow of 50 cm, L box, V funnel, air content were done and at last uniform distribution of rubber particles in concrete in two structural elements (36×36×50 cm) containing 0% to 20% of rubber particles (20% is optimized content of rubber in concrete) were investigated by ultrasonic pulse velocity method.

**Key words**: self-compacted concrete, rubcrete, mechanical properties.

# پیشگفتار

## مقدمه

بتن در مفهوم بسیار وسیع به هرفرآورده یا محصولی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن و مواد دیگری به عنوان پرکننده جسم، تشکیل شده باشد، اتلاق می شود. علیرغم سادگی تهیه وساخت بتن ، بعلت وجود مواد مختلف در آن و نیز اندرکنش این مواد به ویژه در ناحیه بین سنگدانه ها و خمیر ماده سیمانی هنوز پیچیدگی ها و نا دانسته های فراوانی وجود دارد که محققان در سطح بین الملل در تلاش برای شناخت آنها هستند. با توجه به زنده بودن بتن و ادامه واکنش های سیمان در آن به مرور زمان، تاثیرات محیطی وارده بر بتن، و تغییرات خواص آن با گذشت زمان، شناخت واقعی این ماده نیاز به نگرشی عمیق دارد. ساخت این ماده مرکب با استفاده از ارزانترین و در دسترس ترین مواد ساده از یک سو، انعطاف پذیری، خواص مقاومتی و دوام آن از سوی دیگر و نیز استفاده از موادی در ساخت آن که به پاکسازی و کاهش آلودگی محیط زیست کمک می نماید، موجب آن شده است که بتن به عنوان مصالحی ممتاز مطرح شود.

با توجه به این که لاستیک های ضایعاتی خودرو ها همواره در محیط زیست باقی می ماند و متلاشی شدن آن اغلب چندین دهه به طول می انجامد، لذا همواره یکی از بزرگترین چالش های محیط زیستی در اطراف کلان شهرها در هر کشوری بازیافت و استفاده مجدد از این ضایعات انبوه می باشد.لاستیک های فرسوده خودرو ها نه تنها به خاطر پتانسیلی که برای تهدید محیط زیست دارند خطرناک می باشند بلکه خطر آتش سوزی را بواسطه قابلیت احتراق بالایی که دارند افزایش داده و همچنین در فضای باز در اثر آب باران، این محل ها قابلیت زیادی برای تبدیل زمین به مکانی برای رشد و پرورش موش ها و حشرات موذی را پیدا خواهند کرد. علاوه بر این به دلیل عدم تجزیه لاستیک دفن شده در گورستان زباله ها بوسیله واکنش های زیستی، تلمبار کردن لاستیک در طی سال ها در این مکان بر مشکلات می افزاید. از طرفی چون گورستان زباله ها هم به دلیل تمام شدن مکان های مناسب برای دفن زباله ، دیگر راه حل مناسبی برای این معضل نیستند، لذا اتخاذ یک راهکار مناسب ضروری به نظر می رسد.

در کشور ما هم با توجه به تولید سالیانه حدود یک میلیون خودرو و با وجود تولید لاستیک های مستهلک فراوان و انباشته شدن آنها، استفاده مجدد از آنها برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست، ضروری می باشد. استفاده مجدد از لاستیک های فرسوده از زمان بدو اختراع لاستیک، برای استفاده در ضربه گیر لنگرگاه ها و تخت کفش رایج بوده، ولی در چند دهه اخیر مطالعاتی برای استفاده مجدد از لاستیک های فرسوده در مقیاس بزرگتر انجام شده است. خصوصیات جالب لاستیک های ضایعاتی خودرو ها (چگالی کم، خاصیت الاستیک بالا، سختی کم و خاصیت زهکشی بالا) باعث شده که از آن استفاده های مفیدی در عرصه مهندسی عمران به عمل آید. یکی از راهکارهای پیشنهادی برای بازیافت و

استفاده مجدد از این لاستیک های ضایعاتی در عرصه مهندسی عمران، بهره برداری در تولید آسفالت و بتن لاستیکی می باشد. هرچند استفاده از لاستیک خرد شده در تهیه آسفالت لاستیکی بیش از سه دهه است که صورت می گیرد ولی کاربرد این ضایعات در بتن به تازگی صورت گرفته و تحقیقات زیادی برای امکان سنجی آن انجام شده و در حال حاضر بررسی ها و تحقیقات ادامه دارد.

## هدف

اگر چه بتن یک ماده مطرح و پر استفاده در مصالح ساختمانی است اما دارای نقاط ضعفی می باشد که عبارتنداز:

۱. مقاومت کششی پایین
۲. جذب انرژی کم
۳. شکل پذیری پایین
۴. انقباض و جمع شدگی در بتن و در پی آن ترک خوردگی ناشی از این پدیده های وابسته به زمان
۵. ترک های ناشی از عمل آوری نا مناسب و سخت شدگی بتن

با توجه به ماهیت ذکر شده برای لاستیک، انتظار می رود با جایگزین کردن لاستیک خرد شده بجای سنگدانه ها (شن یا ماسه) برخی از این نواقص بتن تا حدی مرتفع شود و بتنی با خاصیت چقرمگی و مقاومت ضربه ای بالا بدست آید. البته با مشاهده کارهای انجام شده توسط محققین پیشین، می توان دریافت که اضافه کردن لاستیک به بتن باعث کاهش چشمگیری در مقاومت های فشاری و کششی خواهد شد ولی میزان کاهشی که در مقاومت های فشاری و کششی رخ می دهد در تحقیقات مختلف متفاوت بوده و معطوف به درصد خاصی نمی شود. همچنین این کاهش شامل مدول الاستیسیته هم می شود ولی مقدار آن از کاهشی که در مقاومت های فشاری و کششی رخ می دهد، کمتر خواهد بود.

هدف از انجام این تحقیق بررسی خواص مهندسی بتن خود تراکم حاوی لاستیک های ضایعاتی خرد شده و بدست آوردن درصد بهینه لاستیک خرد شده که جایگزین بخشی از حجم شن می شود می باشد، به شرط آنکه کمترین مقدار کاهش در مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته رخ دهد و چقرمگی آن تا حد مطلوب بالا رود. همچنین در این تحقیق همگنی پخش ذرات لاستیک در یک عضو سازه ای مورد بررسی قرار گرفته است.

## ساختار پایان نامه

این تحقیق شامل یک پیشگفتار و ۵ فصل است. پیشگفتار شامل ۳ بخش مقدمه، هدف و ساختار پایان نامه می باشد. در قسمت مقدمه دلایل لزوم تحقیق در مورد بتن لاستیکی[۱] ارائه گردیده و در قسمت هدف، هدف از انجام این تحقیق تشریح شده و در قسمت ساختار پایان نامه به مطالب فصول مختلف این پایان نامه اشاره شده است. فصل اول در مورد بتن خود تراکم می باشد و شامل مقدمه ای است که در آن شرح بسیار مختصری از خصوصیات، تعاریف، تولید و کاربرد بتن خود تراکم در جهان امروز همراه با مزایای این بتن ارائه شده است. در ادامه در این فصل ضمن معرفی طرح اختلاط بتن خود تراکم و خصوصیات و ویژگی های بتن تازه، مختصری به بررسی کارهای انجام شده در زمینه بتن خود تراکم در داخل و خارج از کشور پرداخته شده است. فصل دوم شامل مقدمه ای درباره علل بازیافت و استفاده مجدد از لاستیک های فرسوده و مشکلات محیط زیستی ناشی از دفن کردن این ضایعات ارائه شده است. و همچنین راهکارهای پیشنهادی برای استفاده مجدد از این ضایعات انبوه با کاربردهای عمرانی و غیر عمرانی بیان گردیده است.و در نهایت توضیحاتی در مورد بتن لاستیکی و تاثیر ذرات لاستیک بر خواص مهندسی (مقاومت های فشاری و کششی، مدول الاستیسیته و چقرمگی) و همچنین کاربردهای اجرایی آن ارائه شده است. در فصل سوم برنامه آزمایشگاهی مورد نظر ارائه گردیده که شامل ۳ بخش می باشد. بخش اول مربوط به معرفی مشخصات و خصوصیات مصالح مصرفی در طرح اختلاط های انجام شده در این پایان نامه می باشد. بخش دوم روش انجام آزمایشات مربوط به بتن تازه می باشد که با توجه به مشخصات استاندارد EFNARC انجام شده است که شامل (جریان اسلامپ، جریان اسلامپ ۵۰cm، جعبه L شکل، قیف V شکل، حلقه J، جعبه U شکل، آزمایش اوریمت و آزمایش GTM ) می باشد که به علت محدود بودن وسایل آزمایش در آزمایشگاه، از موارد بالا فقط آزمایشات، جریان اسلامپ، جریان اسلامپ ۵۰cm، جعبه L شکل و قیف V شکل انجام شده است. بخش سوم مربوط به آزمایشاتی است که برای بتن سخت شده انجام گرفته است که عبارتنداز مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته، چقرمگی[۲] ، انبساط[۳] و انقباض[۴] و جذب آب و همچنین نیز مختصری در مورد آزمایش غیر مخرب اولتراسونیک توضیح داده شده است.

فصل چهارم نیز شامل ارائه و تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده از آزمایشات مربوط به بتن تازه (جریان اسلامپ، جریان اسلامپ ۵۰cm، جعبه L شکل ، قیف V شکل و درصد هوای محبوس در بتن ) و بتن سخت شده ( مقاومت فشاری،

---

[۱] Rubcrete
[۲] Flaxual Toughness
[۳] Shrinkage
[۴] Swelling